

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUZEY ANADOLU FAYI (KAF) BOLU-ÇANKIRI VE AMASYA
BÖLGELERİNDEKİ ASİSMİK TEKTONİK YAPININ PERİYODİK GPS
ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Mehmet Nurullah ALKAN
(501062610)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU

OCAK 2018

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**KUZEY ANADOLU FAYI (KAF) BOLU-ÇANKIRI VE AMASYA
BÖLGELERİNDEKİ ASİSMİK TEKTONİK YAPININ PERİYODİK GPS
ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Mehmet Nurullah ALKAN
(501062610)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU

OCAK 2018

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501062610 numaralı Doktora Öğrencisi Mehmet Nurullah ALKAN, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KUZEY ANADOLU FAYI (KAF) BOLU-ÇANKIRI VE AMASYA BÖLGELERİNDEKİ ASİSMİK TEKTONİK YAPININ PERİYODİK GPS ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Mustafa YANALAK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Halis SAKA
Gebze Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Serdar EROL
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Burak AKPINAR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi :
Savunma Tarihi :



ÖNSÖZ

Tez çalışmam süresince benden hiçbir yardımını esirgemeyen ve yol gösteren Tez Danışmanım Doç. Dr. Hasan Hakan Yavaşoğlu'na en içten saygı ve sevgilerimi, kendisinin nezdinde de bütün bölüm hocalarıma teşekkürlerimi sunarım. Tez çalışması sırasında her türlü desteği sağlayan Doç. Dr. İbrahim Tiryakioğlu'na teşekkürlerimi sunarım. Bu projenin gerçekleşebilmesi için bize her türlü desteği sağlayan Prof. Dr. Reha Metin Alkan hocama teşekkürü bir borç bilirim. Tez boyunca gerçekleştirdiğimiz arazi ve ofis çalışmaları sırasında güzel bir çalışma grubu oluşturarak bana desteklerini esirgemeyen Kayhan Aladoğan, Zafer Köse, İbrahim Murat Ozulu, Veli İlçi, Fazlı Engin Tombuş ve Murat Şahin hocalarıma ve projenin başlangıcı sırasında verdiği destekler için Dr. Öğr. Ü. Serhan Oğuzhan Kıvrak'a şükranlarımı sunarım.

Sadece tez çalışması sırasında değil, hayatımın her aşamasında ve anında yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen aileme minnettarım. Bu tezi onlara ithaf ediyorum.

Bu doktora tezi sırasında arazi çalışmaları aşamasında sağladıkları desteklerden dolayı Hitit Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Projeleri (BAP) birimi (Proje No: MYO19001.14.001), Afyon Kocatepe Üniversitesi BAP birimi (Proje No: 15.FEN.BİL.16) ve İstanbul Teknik Üniversitesi BAP birimine (Proje No: 38146) teşekkürlerimi sunarım.

Aralık 2018

Mehmet Nurullah ALKAN
(Harita Yük.Müh.)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Asismik Krip	6
1.2 İsmetpaşa Segmenti.....	9
1.3 Destek Segmenti.....	9
1.4 İsmetpaşa Ve Destek Segmentlerinde Yapılan Çalışmalar	9
2. GPS TEKNİĞİ İLE TEKTONİK BLOK HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ	15
2.1 GPS (Global Positioning System)	16
2.2 GPS İle Gözlenen Büyüklükler	18
2.3 Taşıyıcı Dalga Fazı Gözlemleri.....	18
2.4 GPS Tekniği İle Konum Belirleme	21
3. TEKTONİK ÇALIŞMALARDA AĞ TASARIMI.....	25
3.1 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı	28
3.2 Saha Çalışmaları.....	28
4. GNSS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	35
4.1 GAMIT	36
4.2 GLOBK	36
4.3 GPS Verilerinin Değerlendirilmesi	37
4.4 GAMIT/GLOBK Sonuçları.....	41
5. BLOK MODELLEME.....	47
5.1 TDEFNODE.....	47
5.2 TDEFNODE İşlem Aşamaları	58
5.3 İsmetpaşa Segmenti.....	60
5.4 Destek Segmenti.....	68
5.5 Orta Anadolu Segmenti	72
6. SONUÇLAR.....	77
6.1 İsmetpaşa Segmenti.....	79
6.2 Destek Segmenti.....	88
6.3 Orta Anadolu Segmenti	90
6.4 Genel Sonuçlar	90
7. ÖNERİLER.....	93
KAYNAKLAR.....	97
EKLER.....	105



KISALTMALAR

ANAD	: Anadolu tektonik bloğu
AVRA	: Avrasya tektonik bloğu
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
EAFZ	: East Anatolian Fault Zone
GAMIT	: GNSS at MIT
GLOBK	: Global Kalman Filter
GLONASS	: Global Navigation Satellive System (Rusya)
GMT	: The Generic Mapping Tool
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
HUAM	: Ham Uydu-Alicı Mesafesi
IGS	: International GNSS Service
IRNSS	: Indian Regional Navigation Satellite System
InSAR	: Interferometric Synthetic Aperture Radar
KAF	: Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
LIDAR	: Light Detection And Ranging
MAGNET	: Marmara Sürekli GPS Ağı
NAF	: North Anatolian Fault
NAFZ	: North Anatolian Fault Zone
QZSS	: Quasi-Zenith Satellite System
PALSAR	: Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
RTCM	: Radio Technical Commission for Maritime Services
TUSAGA-AKTİF	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : 1939-1999 yılları arasında KAF üzerinde oluşan yıkıcı depremler ($M \geq 6.8$) (Aladoğan 2017).	5
Çizelge 1.2 : İsmetpaşa segmenti çalışmalarına ait veriler ve ölçüm yöntemleri.....	10
Çizelge 1.3 : Destek segmentinde asismik krip oranını belirlemek için yapılan çalışma sonuçlarına ait veriler ve ölçüm yöntemleri	11
Çizelge 2.1 : Uydu sayısı ve ölçüm süresi ilişkisi (Kahveci ve Yıldız 2009).	22
Çizelge 3.1 : İsmetpaşa segmentindeki kampanya istasyonları.....	32
Çizelge 3.2 : Destek segmentindeki kampanya istasyonları.....	32
Çizelge 3.3 : Proje kapsamında değerlendirilen TUSAGA-AKTİF istasyonları.	33
Çizelge 3.4 : 2014 yılında yapılan 1.kampanyaya ait GPS ölçüm günleri.	33
Çizelge 3.5 : 2015 yılında yapılan 2.kampanyaya ait GPS ölçüm günleri.	34
Çizelge 3.6 : 2016 yılında yapılan 3.kampanyaya ait GPS ölçüm günleri.	34
Çizelge 3.7 : Kampanyalar sırasında kullanılan GNSS alıcıları, anten kodları ve statik ölçüm tekniği ile elde edilebilecek konum doğrulukları (Url-5, 6, 7, 8, 9).....	34
Çizelge 4.1 : GAMIT prosesi sırasında “sites.defaults” dosyasına tanımlanan IGS istasyonları.....	38
Çizelge 4.2 : GAMIT prosesi sonucu her bir ölçüm gününe ait elde edilen nrms değeri.	39
Çizelge 4.3 : GLOBK stabilizasyonu için kullanılan ve Avrasya bloğu üzerinde yer alan istasyonlar	41
Çizelge 4.4 : Avrasya levhası sabit alınarak hesaplanan istasyon hızları.....	42
Çizelge 5.1 : İsmetpaşa segmentinde gerçekleşen depremler ($M_w \geq 6.8$).	60
Çizelge 5.2 : İsmetpaşa segmenti prosesi için TDEFNODE kontrol dosyasında tanımlanan parametreler.	62
Çizelge 5.3 : İsmetpaşa segmenti için GAMIT/GLOBK hızları (ölçülen) ile TDEFNODE modl.vsum dosyası (model) verilerinin kıyaslanması. ...	68
Çizelge 5.4 : Destek segmenti prosesi için TDEFNODE kontrol dosyasında tanımlanan parametreler.	70
Çizelge 5.5 : Destek segmenti için GAMIT/GLOBK hızları (ölçülen) ile TDEFNODE modl.vsum dosyası (hesap) verilerinin kıyaslanması.....	71
Çizelge 5.6 : Orta Anadolu segmenti prosesi için TDEFNODE kontrol dosyasında tanımlanan parametreler	74
Çizelge 6.1 : GAMIT/GLOBK sonuçlarına İsmetpaşa segmentindeki profiller boyunca fay düzleminde enterpolasyon ile kestirilen asismik krip oranları. Profiller batıda doğuya doğru sıralanmıştır.	83
Çizelge 6.2 : TDEFNODE model sonuçlarına İsmetpaşa segmentinde oluşturulan her bir alt parça için hesaplanan hızlar ve GLOBK sonucu kestirilen krip oranları. Bölümler ve profiller batıdan doğuya doğru sıralanmıştır... ..	85

Çizelge D.1 : İsmetpaşa segmentindeki depremler, odak derinlikleri ve konumları.	173
Çizelge D.2 : Destek segmentindeki depremler, odak derinlikleri, konumları.....	177
Çizelge E.1 : TDEFNODE prosesleri için kullanılan hız dosyası (GLOBK format).	178
Çizelge E.2 : İsmetpaşa segmentine ait kontrol dosyası.....	180
Çizelge E.3 : Destek segmentine ait kontrol dosyası.....	183
Çizelge F.1 : TDEFNODE tarafından oluşturulan “isme.sum” dosyası.....	186
Çizelge F.2 : TDEFNODE tarafından oluşturulan “dest.sum” dosyası.....	186



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 1.1** : Elastik atım teorisine göre, blok sınırlarındaki hareketin fay boyunca oluşturduğu deformasyon ve deprem döngüsü: (a) intersismik dönem, (b) presismik dönem, (c) kosismik dönem ya da deprem anı, (d) postsismik dönem (Reid 1910, Yavaşoğlu 2009)..... 2
- Şekil 1.2** : Yeryüzündeki plakalar boyunca belirlenen sismik aktiviteler (Yavaşoğlu 2009)..... 3
- Şekil 1.3** : GPS çalışmaları ile belirlenmiş olan plaka sınırları (Yavaşoğlu 2009). 3
- Şekil 1.4** : Doğu Akdeniz bölgesine ait aktif fay ve tektonik bölge haritası (Emre et al. 2018). Arabistan ve Afrika plakalarının kuzeye doğru hareketine bağlı olarak Anadolu plakası batıya doğru hareket etmektedir. (1) Batı Anadolu graben sistemi, (2) Dış Isparta bölgesi, (3) İç Isparta bölgesi, (4) Kuzeybatı Anadolu geçiş bölgesi. 4
- Şekil 1.5** : Çalışma bölgesinde 1900 yılından günümüze kadar meydana gelen kayıtlı depremler (Url-2). 6
- Şekil 1.6** : KAF üzerinde 20.yüzyılda meydana gelen depremler ve kırılan bölgeler (Url-3)..... 6
- Şekil 1.7** : Asismik krip gözlenen bir fay düzleminin genel yapısı (Aladoğan 2017). 7
- Şekil 1.8** : İsmetpaşa ve Destek segmentleri. Kırmızı kesikli çizgi KAF'ın yeryüzünde gözlenen izine aittir: (a)"R" İsmetpaşa segmentindeki tren istasyonu duvarını, "H" ise Hamamlı Köyü'nde krip tespit edilen yeri göstermektedir. (b)"D", Destek segmentinde krip gözlenen bölgeyi göstermektedir (Karabacak et al.2011). 8
- Şekil 1.9** : İsmetpaşa'da bulunan mikro-jeodezik ağ ve bölgede 2002-2008 arası meydana gelen depremler (Mw=4) (Kutoğlu vd. 2008, 2009). 11
- Şekil 2.1** : Dünya etrafındaki yörüngelerde yer alan GPS uyduları (Url-10). 17
- Şekil 2.2** : Tek bir uyduya yapılan tekli faz farkı ölçüm yöntemi (Yavaşoğlu 2009). 19
- Şekil 2.3** : İkili faz farkının hesaplanması (Yavaşoğlu 2009). 20
- Şekil 2.4** : (A) koordinatı bilinen ve (B) koordinatı bilinmeyen noktalar. Görelî konum belirleme yöntemi ve uydulara yapılan faz farkı gözlemleri ile A-B arasındaki baz vektörü hesaplanıp B noktasının konumu belirlenebilir (Özbey 2017)..... 22
- Şekil 3.1** : TUSAGA-Aktif ve MAGNET noktaları kullanılarak yapılan bir çalışma örneği (Özdemir 2016). 27
- Şekil 3.2** : Proje kapsamında İsmetpaşa segmentinde tesis edilen profiller (001-1. Profil, 002-2. Profil, 003-3. Profil ve 004-4. Profil) ve profillere ait noktalar (kırmızı üçgenler TUSAGA-Aktif cGPS istasyonlarını göstermektedir) (Yavasoglu et al. 2015). 29

Şekil 3.3 : Proje kapsamında Destek segmentinde tesis edilen profil (005) ve profile ait noktalar (kırmızı üçgenler TUSAGA-Aktif cGPS istasyonlarını göstermektedir) (Yavasoglu et al. 2015).	30
Şekil 3.4 : Proje kapsamında bronz olarak tesis edilen yer noktalarında yapılan ölçümlerde kullanılan GPS jalonu (GPS mast) ve pilye.	31
Şekil 4.1 : GAMIT/GLOBK yazılımında genel işlem aşamaları (Url-12).	37
Şekil 4.2 : HCGR ve BRBY noktalarında 2016 yılında yapılan 2 günlük ölçümlere ait tekrarlılık grafikleri. Grafiklerdeki her bir nokta, sırasıyla o istasyona ait kuzey, doğu ve düşey yöndeki konum bileşenini, her bir dikey çizgi ise o istasyona ait konum belirsizliğini göstermektedir.	40
Şekil 4.3 : BRBY ve CGCS noktalarında 2014-2016 yılları arasındaki bütün ölçüm günlerine ait tekrarlılık grafikleri.	40
Şekil 4.4 : Avrasya levhası sabit kabul edildiğinde, GLOBK değerlendirmesi sonucu elde edilen hız alanları. A) İsmetpaşa segmenti, B) Destek segmenti (Aladoğan vd. 2017).	42
Şekil 4.5 : İsmetpaşa segmentindeki 1.ve 2.profiller için hesaplanan hızlar (kesikli kırmızı çizgiler çalışma öncesi faya dik olarak tasarlanan profilleri göstermektedir) (Aladoğan vd. 2017).	43
Şekil 4.6 : İsmetpaşa segmentindeki 3.ve 4.profiller için hesaplanan hızlar (kesikli kırmızı çizgiler çalışma öncesi faya dik olarak tasarlanan profilleri göstermektedir) (Aladoğan vd. 2017).	43
Şekil 4.7 : Destek segmentindeki profil için hesaplanan hızlar (kesikli kırmızı çizgi çalışma öncesi faya dik olarak tasarlanan 5 numaralı profili göstermektedir) (Aladoğan vd. 2017).	44
Şekil 4.8 : GAMIT/GLOBK sonuçlarına göre, fay boyunca oluşturulan GNSS ağındaki istasyonlara ait hızlar.	45
Şekil 5.1 : Komşu tektonik blokların olağan hareketleri ile fay zonlarındaki hız farklılıkları. Bu zondaki kayma hızlarının blok hızlarından farkı gerinim birikimine neden olmaktadır (Çakmak 2010).	49
Şekil 5.2 : Sağ yönlü ve doğrultu atımlı faylardaki temel hareket yönleri (Tiryakioğlu 2012).	50
Şekil 5.3 : Bir transform faya komşu bloklar üzerindeki noktalarda hesaplanan hızlardan Euler kutbu konumunun kestirimi (Url-14).	51
Şekil 5.4 : Euler kutbu, yeryüzü merkezi ve blok üzerindeki nokta arasındaki açı (Dizio 2016).	52
Şekil 5.5 : TDEFNODE ile fay düzleminin tanımlanması (Url-13). Bu tanım KAF'ın sağ yanal atımlı bir fay olmasına uygun olarak yapılmıştır. Yazılım her bir yüzey altı noktasında tanımlanan değerlere bağlı olarak blok üzerindeki noktalardaki geri kayma miktarını hesaplamaktadır.	54
Şekil 5.6 : Okada (1985) ile tanımlanan ve TDEFNODE yazılımında kullanılan fay düzlemi yapısı ve kayma yönleri (U1: fay doğrultusu yönündeki kayma, U2: fay eğimi doğrultusundaki kayma, U3: fay düzlemine dik doğrultudaki kayma) (Url-13).	54
Şekil 5.7 : Fay düzleminin yapısı ve buna göre gerçekleşen yer değiştirmeler (Aktuğ 2006).	55
Şekil 5.8 : İsmetpaşa segmenti için tanımlanan bloklar ve kampanya istasyonlarının yerleri (Url-16). Kuzeydeki blok Avrasya bloğunu (AVRA), güneydeki ise Anadolu bloğunu (ANAD) göstermektedir.	61
Şekil 5.9 : İsmetpaşa segmenti için tanımlanan fay geometrisi. Her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında tanımlanan kilitleme oranları grafikte	

- belirtilmiştir. Bu değerler fay düzleminin o düğüm noktasında ne oranda kilitli olduğunu göstermektedir (0- serbest kayma, 1-tamamen kilitli)... **63**
- Şekil 5.10** : İsmetpaşa segmenti için tanımlanan parametrelere göre model blok ve fay geometrileri ve hız değerleri (GMT betiği ile çizdirilmiştir). Siyah vektörler GAMIT/GLOBK sonuçlarını, kırmızı vektörler ise TDEFNODE tarafından hesaplanan hız vektörlerini göstermektedir. Ölçüm istasyonlarına ait hata elipsleri ve çizim için oluşturulan profiller de siyah çizgilerle işaretlenmiştir. **64**
- Şekil 5.11** : 1.profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir..... **65**
- Şekil 5.12** : 2.profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir..... **65**
- Şekil 5.13** : 3.profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir..... **66**
- Şekil 5.14** : 4.profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir..... **66**
- Şekil 5.15** : 5., yani ara profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir..... **67**
- Şekil 5.16** : Destek segmenti için tanımlanan bloklar ve kampanya istasyonlarının konumları (Url-16). Kuzeydeki blok Avrasya bloğunu (AVRA), güneydeki ise Anadolu bloğunu (ANAD) temsil etmektedir..... **69**
- Şekil 5.17** : Destek segmenti için tanımlanan fay geometrisi. Her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında tanımlanan kilitleme oranları grafikte gösterilmiştir..... **70**
- Şekil 5.18** : Destek segmenti için tanımlanan parametrelere göre model blok ve fay geometrileri ve hız değerleri (GMT betiği ile çizimi yapılmıştır). Siyah vektörler GAMIT/GLOBK sonuçlarını, kırmızı vektörler ise TDEFNODE tarafından hesaplanan vektörlerdir. Ölçüm istasyonlarına ait hata elipsleri ve çizim için oluşturulan profil de şekilde gösterilmektedir. **71**
- Şekil 5.19** : Destek segmentindeki profile ait grafik. Segment için tesis edilen 4 kampanya istasyonuna ait hız verileri ve hata oranları (dikey çizgiler) gösterilmektedir..... **72**
- Şekil 5.20** : Orta Anadolu için tanımlanan fay ve blok geometrileri (Url-16). Kuzeydeki blok Avrasya (AVRA), güneydeki blok ise Anadolu (ANAD) plakalarını temsil etmektedir. **73**
- Şekil 5.21** : Proje kapsamında incelenen Orta Anadolu segmenti ile örtüşen bir diğer çalışmaya ait fay düzlemindeki kaymaları gösteren grafik (Aktuğ et al.2015). Grafikteki her bir parçanın boyutları 5x7 km'dir..... **75**
- Şekil 5.22** : Orta Anadolu segmentine ait TDEFNODE prosesi hız vektörleri kıyaslaması. **76**
- Şekil 6.1** : İsmetpaşa segmentinde faya yaklaşık dik olarak ve batıdan doğuya doğru oluşturulan profiller. 001-004 nolu profiller istikşaf öncesi tasarlanmış, 005 nolu profil ise bölgede uygun konumda bulunan ve ağa eklenen iki nokta (SLYE-Avrasya bloğu üze üzerinde, CGCS-Anadolu bloğu üzerinde) ile tesis edilmiştir. **80**

Şekil 6.2 : Kayma oranı ve faya olan uzaklık ilişkisi. Kırmızı çizgiler kilitli bir faydaki intersismik (deprem öncesi dönem) ve kosismik (deprem anı) davranışları ayrı ayrı göstermektedir. Siyah çizgiler ise asismik krip gözlenen bir bölgede faya olan uzaklık ve gözlenebilecek yersel hareket arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir. Asismik krip kilitlenme derinlikleri 1-4-8-16 km'ler için seçildiğinde yersel hareketin faya hangi uzaklıklarda optimum olarak tespit edilebileceği de değerlendirilebilir (Yavasoglu et al. 2015).	81
Şekil 6.3 : İsmetpaşa segmenti için son tanımlanan fay geometrisi. Her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında tanımlanan kilitlenme oranları grafikte belirtilmiştir. Bu değerler fay düzleminin o düğüm noktasında ne oranda kilitli olduğunu göstermektedir (0-serbest kayma, 1-tamamen kilitli). Dikey kırmızı çizgiler ise GLOBK sonuçlarına göre oluşturulan profillerin, blok model ile kesiştiği bölgeleri göstermektedir.	84
Şekil 6.4 : Destek segmenti için son tanımlanan fay geometrisi. Her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında tanımlanan kilitlenme oranları grafikte belirtilmiştir. Bu değerler fay düzleminin o düğüm noktasında ne oranda kilitli olduğunu göstermektedir (0-serbest kayma, 1-tamamen kilitli)....	89
Şekil A.1 : 1970-2016 yılları arasında İsmetpaşa segmentinde asismik krip oranını belirlemek için yapılan çalışmaların sonuçları.	106
Şekil A.2 : İsmetpaşa segmentindeki çalışmaların orijinal değerlerine göre asismik krip trendi.	107
Şekil A.3 : İsmetpaşa segmentindeki çalışmaların Bilham et al. (2016) revizyon değerlerine göre asismik krip trendi.	108
Şekil B.1 : TDEFNODE yazılımı akış şeması.....	109
Şekil C.1 : AKDG istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	110
Şekil C.2 : AMAS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	111
Şekil C.3 : ANKR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	112
Şekil C.4 : ANRK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	113
Şekil C.5 : BDRG istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	114
Şekil C.6 : BILE istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	115
Şekil C.7 : BOLU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	116
Şekil C.8 : BOYT istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	117
Şekil C.9 : BRBY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	118
Şekil C.10 : BUCU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	119
Şekil C.11 : BYKY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	120
Şekil C.12 : BYYY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	121
Şekil C.13 : CANK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	122
Şekil C.14 : CGCS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	123
Şekil C.15 : CMLD istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	124
Şekil C.16 : CORU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	125
Şekil C.17 : CRAO istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	126
Şekil C.18 : CYLC istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	127
Şekil C.19 : DVBY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	128
Şekil C.20 : EREN istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	129
Şekil C.21 : ESKS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	130
Şekil C.22 : FASA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	131
Şekil C.23 : GIRS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	132
Şekil C.24 : HCGR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	133
Şekil C.25 : HEND istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.....	134

Şekil C.26 : HMMP istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	135
Şekil C.27 : HMSL istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	136
Şekil C.28 : HYMN istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	137
Şekil C.29 : IMLR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	138
Şekil C.30 : IZMT istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	139
Şekil C.31 : KDZU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	140
Şekil C.32 : KKAL istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	141
Şekil C.33 : KRBK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	142
Şekil C.34 : KRBS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	143
Şekil C.35 : KSTM istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	144
Şekil C.36 : KURU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	145
Şekil C.37 : KVKK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	146
Şekil C.38 : KZDR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	147
Şekil C.39 : MATE istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	148
Şekil C.40 : NAHA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	149
Şekil C.41 : ONSA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	150
Şekil C.42 : ORMN istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	151
Şekil C.43 : OZBR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	152
Şekil C.44 : RDIY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	153
Şekil C.45 : SAM1 istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	154
Şekil C.46 : SIH1 istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	155
Şekil C.47 : SINP istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	156
Şekil C.48 : SIVS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	157
Şekil C.49 : SLYE istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	158
Şekil C.50 : SOFI istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	159
Şekil C.51 : SRKY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	160
Şekil C.52 : SSEH istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	161
Şekil C.53 : SUNL istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	162
Şekil C.54 : TEHN istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	163
Şekil C.55 : TELA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	164
Şekil C.56 : TOK1 istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	165
Şekil C.57 : TUBI istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	166
Şekil C.58 : VEZI istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	167
Şekil C.59 : WZTR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	168
Şekil C.60 : YYLA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	169
Şekil C.61 : YZKV istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	170
Şekil C.62 : ZECK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	171
Şekil C.63 : ZONG istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.	172



KUZHEY ANADOLU FAYI (KAF) BOLU-ÇANKIRI VE AMASYA BÖLGELERİNDEKİ ASİSMİK TEKTONİK YAPININ PERİYODİK GPS ÖLÇÜMLERİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Yer kabuğu, hemen altında yer alan manto tabakasındaki konveksiyon akımları nedeniyle sürekli hareket halindedir ve bundan dolayı zaman içerisinde çok sayıda irili ufaklı parçaya bölünmüştür. Tektonik levha adı verilen bu yapıların hareketleri kıtaların bugünkü şeklini almasında en önemli rolü oynamıştır. Gözle görülemeyen, ancak günümüz modern ölçüm yöntemleri ile anlaşılabilen bu hareketler milyonlarca yıldır çok yavaş bir şekilde devam etmektedir. Bunun sonucu olarak da blok sınırlarında fay zonları oluşmaktadır.

Fay zonları, blokların birbirlerine göre yaptığı rölatif hareketlerin sönümlendiği bölgeler olarak tanımlanmaktadır. Bu bölgelerde bloklar, kayaçlardaki sürtünme kuvveti nedeniyle serbest hareket edemezler; yani kısmen ya da tamamen kilitli durumdadırlar. Bloklar sürekli hareketlerine devam ederken, kayaçlar fay boyunca bu harekete belirli bir eşiğe kadar mukavemet göstermekte ve bu da gerinim birikimine neden olmaktadır. Zaman içerisinde birikerek artan bu gerinim sürtünme kuvvetine baskın geldiğinde mevcut potansiyel enerji açığa çıkar. Bu enerji boşalma hareketi ise “deprem” olarak nitelendirilmektedir.

Yeryüzündeki fayların büyük kısmı belirli aralıklarla deprem üretme potansiyeline sahiptir. Blok hareketleri ve buna bağlı olarak faylar boyunca biriken gerinimin belirlenmesi de potansiyel deprem riskinin belirlenmesi açısından önem taşımaktadır.

Blok hareketlerinin belirlenebilmesi için sismik ve jeolojik yöntemlerin yanı sıra, saha ölçümlerinde kullanılan bazı teknikler de mevcuttur. GPS, InSAR, LIDAR ve kriptometre gibi tekniklerle bu hareketler yüksek doğrulukla belirlenebilmektedir. Ayrıca, fay zonları ve yakın çevresinde tesis edilen istasyonlarda yapılan periyodik ya da sürekli ölçümler sismik risk değerlendirmeleri için veri sağlayabilmektedir. Bu ölçüm teknikleri içerisinde ise GPS en fazla öne çıkan yöntemdir. 90’lı yıllardan bu yana kullanılan GPS tekniği düşük maliyet, portatif alıcılar, yüksek doğruluk ve sahada esnek ağı tasarımına imkân verebilme avantajlarına sahiptir.

Anadolu coğrafyası sürekli devam eden blok hareketlerine ve sismik risk açısından önemli faylara ev sahipliği yapan bir konumdadır. Ülkemizin büyük kısmının üzerinde bulunduğu Anadolu bloğu, güneyindeki Arabistan bloğunun kuzeye doğru hareketinden dolayı kuzeyde Avrasya bloğu tarafından sıkıştırılmakta ve kütlece kendisinden çok daha büyük olan bu bloğa göre batıya doğru ~20 mm/yıl hızla hareket etmektedir. Bu hareketler sonucu da zaman içerisinde iki önemli fay zonu oluşmuştur: Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ).

KAF, doğuda Karlıova’dan başlayıp Orta Anadolu’yu doğudan batıya doğru kat etmekte ve Ege Denizi’ne kadar ulaşmaktadır. Yaklaşık 1200 km uzunluğundaki bu yapı tarihte çok sayıda yıkıcı depremlere sahne olmuştur. Yapılan çalışmalar bu fay

üzerinde doğudan batıya doğru bir deprem göçünün ortaya çıktığını da göstermektedir. 1939'daki Erzincan depremi ile başlayan bu olgu, en son 1999 yılındaki Gölcük ve Düzce depremleri ile KAF'ın Marmara Denizi'ne kadar olan kısmının kırılmasına neden olmuştur.

Yeryüzündeki fayların büyük kısmı kilitli durumdadır ve blok sınırlarındaki bu düzlemlerde sürtünme kuvveti nedeniyle bir hareket gözlenmez. KAF'ın yapısı da bu genel duruma uygundur ve genel olarak sismojenik tabakanın tabanına kadar (15-20 km) kilitli durumdadır.

Buna rağmen yeryüzünde bazı bölgelerde fay yüzeyinden de gözlenebilen ve depreme bağlı olmayan kayma hareketleri oluşabilmektedir. Bu nadir hareketler "asismik kripi" olarak tanımlanmaktadır.

Asismik kripi hareketi fay düzlemi boyunca sismojenik tabakanın tamamında ya da yüzeyden derine doğru belirli bir kısımda görülebilmektedir. Birinci durumda, kripi hızı bölgedeki rölatif blok hızlarına yakın ya da eşitse bir deprem oluşmayabilir. İkinci durumda ise deprem oluşması için gerekli olan enerji birikiminin önlenememesi söz konusudur. Her halükarda bu nadir görülen doğa olayı sismik risk değerlendirmeleri için dikkatli bir şekilde incelenmelidir.

KAF üzerinde de yüzeyden kısmi hareket gözlenen ve günümüze kadar raporlanan iki segmenti mevcuttur: İsmetpaşa ve Destek segmentleri. Bu bölgelerde KAF tamamen kilitli olmayıp yeryüzünde gözle de görülebilen bazı deformasyonlara sebep olmaktadır ve doğrudan o bölgedeki fay düzleminin jeolojik yapısıyla ilişkilidir.

Bu kapsamda, KAF'ın asismik kripi gözlenen bölgelerinde fay boyunca yeterli gözlem istasyonunun olmadığı ve GPS verisinin ya da hız alanının yetersiz olduğu değerlendirilmiştir. Bu nedenle her iki segment için sahada bir GPS ölçüm ağı kurulmuş ve 2014-2016 yılları arasında düzenlenen kampanya tipi ölçümlerle de ağıdaki bütün istasyonlar gözlenmiştir. Elde edilen verilerden her iki segmente ve ilave olarak bu iki segmentin arasındaki bölgeye ait hızlar ilk aşamada GAMIT/GLOBK yazılımı ile hesaplanmış; bu adımın sonuçları ise TDEFNODE yazılımında blok modelleme için girdi olarak kullanılmıştır. Sonuç olarak da bu bölgelerdeki fay düzlemi geometrisi tahmin edilmiş ve kripi olayına bağlı olarak sismik risk değerlendirmesi yapılmış, bütün işlem aşamaları da detaylı olarak açıklanmıştır.

Hesaplanan sonuçlara göre her iki segmentteki kripi trendinin devam etmekte olduğu ve mevcut asismik kripi oranlarının orta-uzun vadede büyük ölçekli bir depremin oluşmasını engelleyemeyeceği öngörülmektedir.

DETERMINATION OF ASEISMIC TECTONIC STRUCTURE IN BOLU- ÇANKIRI AND AMASYA REGIONS THROUGH THE NORTH ANATOLIAN FAULT (NAF) WITH PERIODIC GPS OBSERVATIONS

SUMMARY

Earth crust is in a continuous motion due to the convection current in the mantle layer below it and divided into several parts in time. These structures' movements have played the most important role in the formation of continents and called "tectonic plates". These movements can only be observed with modern observation techniques and still in motion for millions of years. Hence, fault zones are formed at the block boundaries.

These tectonic blocks move relative to each other, and this generally reveals with 4 different movement types: If the density of two neighbor blocks are close or equal to each other, then they overlap on each other to form depression. However, if the density of blocks are different, then the lower density block *dives under the other. Also, seperated blocks move apart from each other because of the tectonic mechanism. And the last type is observed between the blocks which have lateral movements between them.

Fault zones are the regions which relative block movements attenuated. In these regions, blocks don't have free motion due to the friction force in the rocks, they're partially or fully locked. While these blocks continue their movements, the rocks along the fault resist this movement to a certain threshold which causes strain accumulation. When this strain prevail the friction force, current potential energy is emerged. This energy discharge is called "earthquake".

Most of the faults on the earth crust have the potential to produce earthquakes periodically. Block movements and determination of the accumulated strain along the faults are important factors for the assessment of potential earthquake risk.

In addition to seismic and geological data, different techniques are also available in the field observations. These motions can be determined with high precision with the help of GPS, InSAR, LIDAR and creepmeter measurements. In addition, periodic or continuous observations on the stations, which established around or nearby the fault zone, can provide data for seismic risk assessment. Experimental studies shows that observation at the stations near and far from the fault plane can be used to predict the locking depth of the fault, and distant stations are suitable for long-term block movement detection.

GPS is the most prominent method along these studies. It has the advantage to provide low cost, portable receivers, high precision and flexible network design on the field and has been used since the 90s.

The geography of Anatolia hosts continuous block movements and significant faults in the terms of seismic risk. Most of our country is located on the Anatolian block, which is compressed by a much bigger Eurasian block on the north and northward

movement of the Arabian block on the south, and moves to the west ~20 mm/year relative to the Eurasian block. These significant movements results two important fault zones over time: North Anatolian Fault Zone(NAFZ) and East Anatolian Fault Zone(EAFZ).

NAF is a right lateral strike slip fault, which starts from Karlıova in the East and passes through mid Anatolia by Erzincan, Ladik, Kargı, Ismetpasa, Gerede, Izmit and reaches the Marmara and north of Egean Sea with two branches. This almost 1200 km structure causes many destructive earthquakes in the history. Studies indicates that these earthquakes migrate from the east to the west along the fault. This phenomenon starts with 1939 Erzincan earthquake, and finally breaks the NAF into the Marmara Sea with 1999 Gölcük and Düzce earthquakes.

Most of the fault on the earth surface are locked and zero movement observed in these block boundaries, fault planes, due to friction between rocks. The structure of the NAF demonstrates this general situation and is generally locked to the bottom of seismogenic layer(15-20 km depths).

However, a few specific region on earth slip freely without an earthquake and can be observed from the fault surface. These rare events are defined as “aseismic creep”, where NAF also hosts this phenomena on the middle part.

Aseismic creep can be observed to the bottom of seismogenic layer or to some certain depths. In the first case, an earthquake may not occur if the creep ratio is close or equal to the long-term block movements in the region. In the second case, if the aseismic creep is not occurred to the bottom of seismogenic layer, or if this movement’s speed is lower than the long-term block’s relative motions, the accumulation of the energy for an earthquake cannot be prevented. But in any case, this rare nature event should be monitored carefully for seismic risk assessment.

There are two segments on the NAF reported to have this rare movement on its route to the Egean Sea: Ismetpasa and Destek. In these regions, NAF is not fully locked and have some deformations which can be observed from the earth surface and directly related to the geological structure of the fault plane in that region.

Aseismic creep in Ismetpasa segment, which is almost 100 km to the north of Ankara, is monitored since this movement has been observed on a wall at 1970. Until then numerous studies were conducted in the region to better understand the mechanism and creep ratio with different techniques such as Geodetic (GPS, InSAR and terrestrial measurements) and Geological and Geophysical methods. Geodetic surveys and studies generally focused on the Ismetpasa town and on Hamamlı village, a few kilometers to the east of Ismetpasa, where GPS, creepmeter, LIDAR, etc. techniques are used. These studies cover only a few kilometers of the whole segment. Thus, other InSAR based studies also carried out in the region and revealed that aseismic creep occur almost 70-80 km around the segment. Results from these studies show different creep velocities, and they are not suitable to detect the 3D rate of this rare event.

On the other hand, aseismic creep has been observed recently at the Destek segment, which is almost 30 km to the northwest of Amasya, and there is not much studies around this segment.

NAF have many earthquakes on the last century which effects the aseismic creep along the segments. There seems that 3 main earthquakes occurred along these regions before the catastrophic 1999 earthquakes: Ladik-Kargı-Tosya-Ilgaz 1943 earthquake ($M_s=7.2$), Bolu-Gerede 1944 earthquake ($M_s=7.2$), and Kursunlu 1951 earthquake

(6.9). Studies around this region cannot clearly reveal that if this creeping movement starts before, after or between these earthquakes.

In this context, it was evaluated that there were not enough observation stations along the NAF's aseismic creep regions, insufficient GPS data or velocity area. For this purpose, a GPS network established on the field and all stations of it have been observed between 2014-2016 by a large scaled network. There were 5 profiles planned along the study area: 4 on the Ismetpasa, and 1 on the Destek segment. Through the field studies, 23 points established, where 9 of them are pillars and the rest of them are placed on the local rocks. There is another two-point profile between 2nd and 3rd profiled formed because of the suitable positions of exiting pillars. In addition, a new point established on the 2nd profile at the intersection between the profile and fault plane.

Finally, there are 23 campaign stations were established, but one of the stations damaged after the observations on 2014. It is removed from the further evaluation and a 22 station network has been observed.

Also, data of 30 continuous GPS stations around the region (CORS-TR) are evaluated between 2009-2016, to make connection between global network and Ismetpasa - Destek and to strengthen to velocity field between them for block modelling. This allows to form a network including 52 stations.

Velocities for these two segments and the segment between them were estimated with the GAMIT/GLOBK software at first, and all velocities for the observation stations are calculated at the ITRF2008 reference frame where Anatolian plate moves westwards relative to a fixed Eurasian plate.

The result of this step were used as input to the block modelling with the TDEFNODE software. Earlier studies along these segments and seismic activities examined carefully to reveal the model parameters for each segment. Finally, the fault plane geometry estimated in these regions and seismic risk has been evaluated according to the creep movement, and all the steps of the processes explained in detail.

Model results indicate that the creeping event continues at both segments since they discovered. Fault plane in both segments show aseismic creeping event to some depths, and attenuate almost half way to the bottom of seismogenic layer. Creeping trend at both segment seems to accelerate, but much clear at the Destek segment. Nevertheless, this movement cannot prevent a large-scale earthquake in the mid-long term, thus the fault plane is not fully locked and the creeping ratio at both segments are lower than the long-term relative block movements.



1. GİRİŞ

1912 yılında Alfred Wegener tarafından ortaya atılan “levha tektoniği teorisi” kıtaların hareketlerini açıklamaya yönelik çalışmalardan birisidir. Bu teoriye göre kıtalar sürekli hareket halinde olup, ilk olarak “Pangea” adı verilen bir ana kıtanın parçalanması ve milyonlarca yıldır meydana gelen çok küçük hareketleri sonucu bugünkü pozisyonlarını almışlardır. Bu durum, kıtaların da üzerinde bulunduğu litosfer tabakasının çok parçalı olduğuna işaret etmektedir (Url-1).

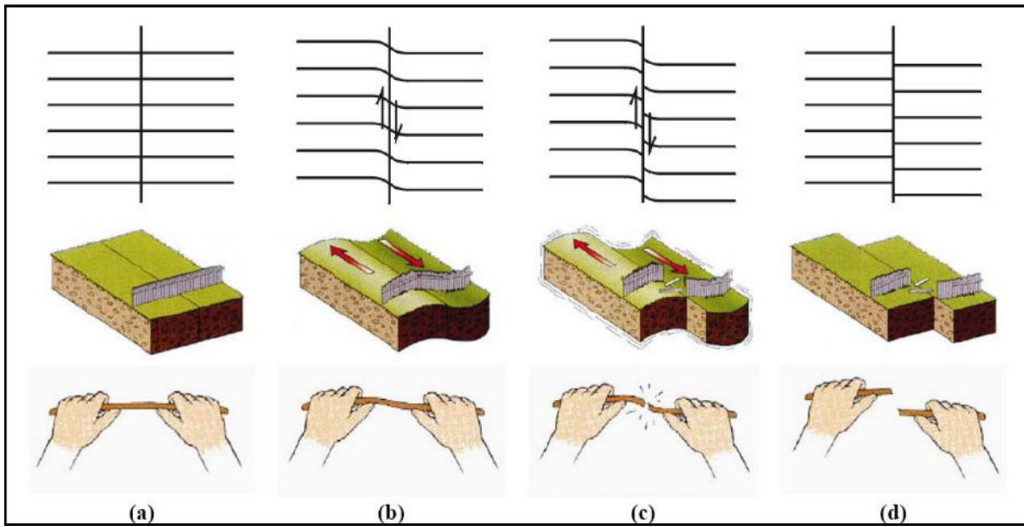
Yer kabuğunun mevcut jeolojik yapısı ve kıtaların da üzerinde bulunduğu levhaların bu hareketleri, bunların doğal sınırlarındaki faylarda depremlere neden olmaktadır. Ülkemiz de bu depremlerin sıkça görüldüğü ve tektonik açıdan aktif bir bölgededir. Günümüze dek meydana gelen bu depremler çok sayıda can ve mal kaybına neden olmuştur. Dolayısıyla bu doğa olaylarının mekanizmalarının araştırılması ve buna bağlı sismik risk değerlendirmelerinin yapılması, insan hayatının korunması açısından oldukça önemlidir.

Depreme ilişkin olarak H. F. Reid’in ortaya attığı elastik atım (yer değiştirme) teorisine göre depremler plaka sınırlarında yani faylarda meydana gelmektedir. Faylar blokların birbirlerine göre göreceli hareketinden dolayı kilitlenmıştır ve plakaların iç bölgeleri gibi hareket edemezler, bu da fay bölgelerinde gerinim birikimine yol açmaktadır. Bu gerinim, belirli bir aşamadan sonra faydaki mevcut sürtünme kuvvetine baskın gelir ve deprem meydana gelir. Bu sayede faydaki mevcut gerinim boşalır ve durum başa döner. Bu döngü sürekli devam etmekte ve kalıcı veya geçici deformasyonlara neden olmaktadır (Reid 1910, Rüzgar 2004, Aktuğ ve Çelik 2008, Halıcıoğlu vd. 2009, Yavaşoğlu 2009, Poyraz 2011).

Bu döngü göz önüne alındığında, depremlerin 4 aşamada meydana geldiği açıklanmaktadır (Şekil 1.1):

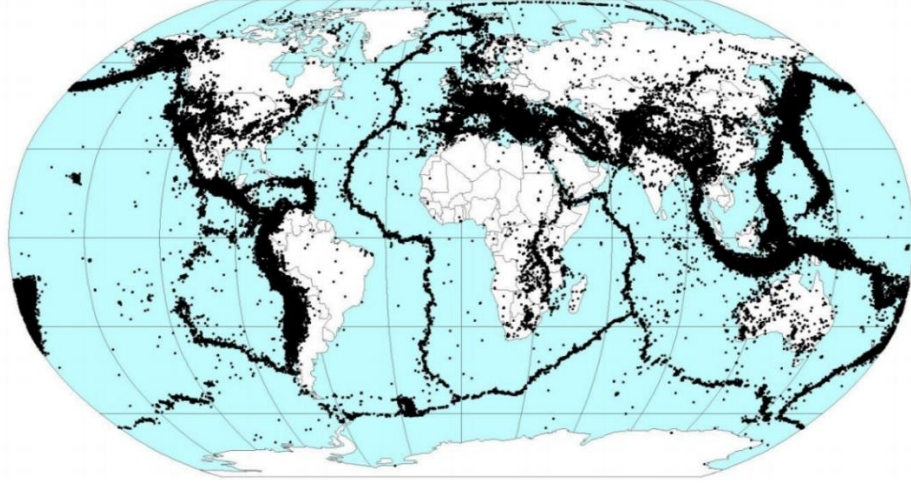
- 1- İntersismik dönem: Fay üzerinde hareket gözlenmez ancak bloklar arasındaki gerinim artmaktadır.

- 2- Presismik dönem: Fay üzerindeki gerinim, faydaki sürtünme kuvvetini yenmek üzeredir.
- 3- Kosismik dönem: Mevcut gerinim kinetik enerjiye dönüşerek depremi oluşturur.
- 4- Postsismik dönem: Ana depremden sonra fayın ve sonuç olarak komşu blokların birbirlerine göre yeniden dengelendiği dönemdir. Bu dönemde artçı depremler de ortaya çıkar. Postsismik dönem bittiğinde intersismik dönem yeniden başlar ya da hareket tamamen sona erer (Rüzgar 2004, Yavaşoğlu 2009, Poyraz vd. 2011, Yavasoglu et al. 2015).

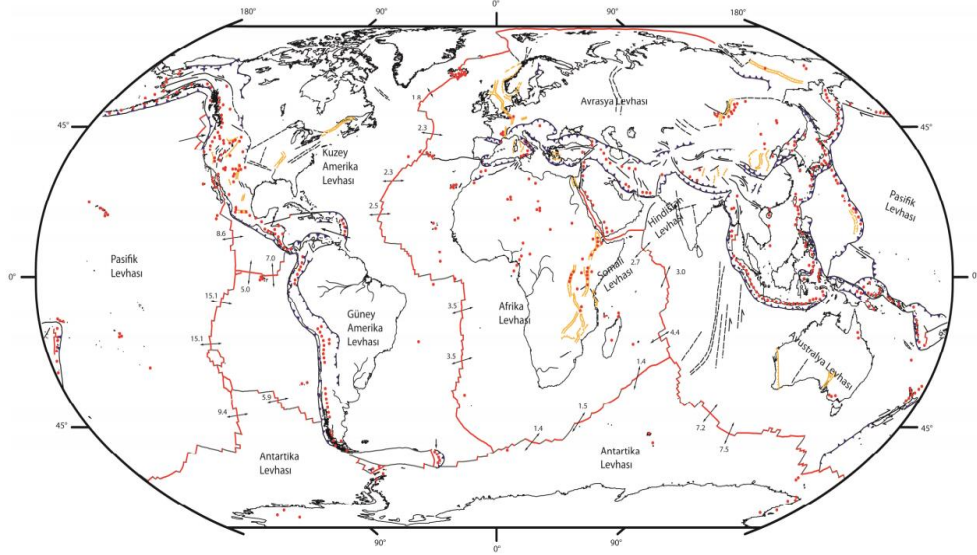


Şekil 1.1 : Elastik atım teorisine göre, blok sınırlarındaki hareketin fay boyunca oluşturduğu deformasyon ve deprem döngüsü: (a) intersismik dönem, (b) presismik dönem, (c) kosismik dönem ya da deprem anı, (d) postsismik dönem (Reid 1910, Yavaşoğlu 2009).

Litosfer tabakasının mevcut yapısı, tektonik blok hareketleri ve odak noktaları göz önüne alındığında, depremlerin blokların birleşme sınırları olan fay zonlarında meydana geldiği kesin olarak anlaşılmaktadır (Şekil 1.2-1.3). Buna göre GPS çalışmaları sonucu belirlenmiş olan blok sınırları ile sismik aktivitelerin üst üste çakışması tesadüf değildir (Rüzgar 2004, Yavaşoğlu 2009, Yavasoglu et al.2015). GPS tekniği, blok hareketlerinin karakteristiğinin anlaşılabilmesi için kullanılan, ekonomik ve yüksek doğruluğa sahip bir ölçüm yöntemi olarak öne çıkmaktadır (Cakir et al.2005, Aktuğ ve Çelik 2008, Yavaşoğlu 2009).



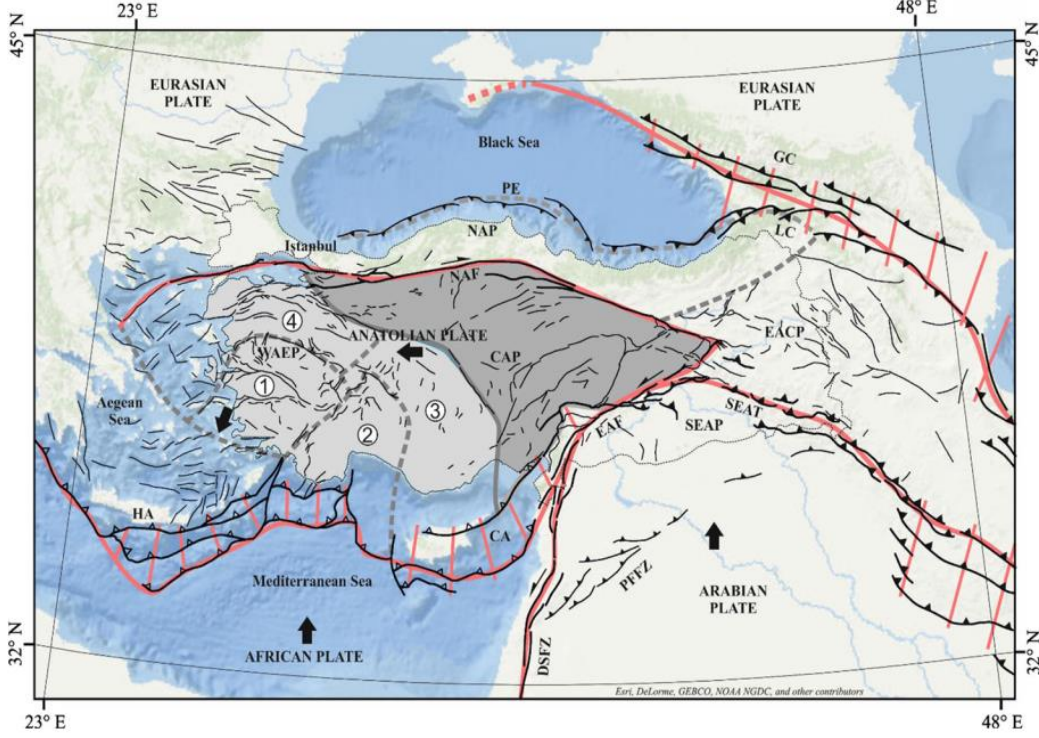
Şekil 1.2 : Yeryüzündeki plakalar boyunca belirlenen sismik aktiviteler (Yavaşoğlu 2009).



Şekil 1.3 : GPS çalışmaları ile belirlenmiş olan plaka sınırları (Yavaşoğlu 2009).

Ülkemizde deprem üretebilen çok sayıda aktif fay bulunmaktadır ve Kuzey Anadolu Fayı (KAF) da bunlardan biridir (Şekil 1.4). Sağ yanal atımlı bu fay sistemi Avrasya ve Anadolu plakalarını birbirinden ayırmakta olup, Doğu Akdeniz bölgesindeki en aktif tektonik bölgelerden biridir ve çok sayıda yıkıcı depreme sahne olmuştur. Afrika ve Arabistan levhalarının kuzeye doğru hareketleri, Anadolu levhasını Avrasya levhası ile bu levhalar arasında sıkıştırmakta; Anadolu bloğunun da kendisinden görel olarak çok daha büyük olan Avrasya bloğuna göre batı yönünde ~20 mm/yıl hızında hareket etmesine ve sonuç olarak da depremlere neden olmaktadır (Ketin 1948, McClusky et al. 2000, Reilinger et al. 2006, Yavaşoğlu et al. 2011, Kaneko et al. 2013, Duman TY

et al. 2018, Emre Ö et al. 2018) (Çizelge 1.1-1.2). Yapılan GPS çalışmalarına göre, Anadolu bloğunun yaptığı bu batıya doğru kaçma hareketi, saatin dönme yönünün tersine doğru bir karakteristiğe de sahiptir (Yavasoglu et al.2005).



Şekil 1.4 : Doğu Akdeniz bölgesine ait aktif fay ve tektonik bölge haritası (Emre et al. 2018). Arabistan ve Afrika plakalarının kuzeye doğru hareketine bağlı olarak Anadolu plakası batıya doğru hareket etmektedir. (1) Batı Anadolu graben sistemi, (2) Dış Isparta bölgesi, (3) İç Isparta bölgesi, (4) Kuzeybatı Anadolu geçiş bölgesi.

KAF, Türkiye'nin doğusundaki Karlıova üçlü birleşim bölgesinden başlayarak yaklaşık 1200 km kadar batıya doğru devam eden ve Ege Denizi'ne kadar uzanan bir faydır. Fayın gözlenebilen yapısı doğuda Erzincan, Niksar, Ladik, Kargı, İsmetpaşa, Gerede güzergahı ile batıya doğru uzanmakta ve iki ana kola ayrılmaktadır. Bu kollardan kuzeyde olanı Marmara Denizi-Şarköy güzergâhını; güneyde olanı ise Bursa-Biga Yarımadası güzergâhını takip Ege Denizi'ne ulaşmaktadır. Sağ yanall doğrultu atımlı bu fayın yeryüzündeki gözlenebilen genişliği de 100 metre ile 10 km arasında değişmektedir (Ketin 1969-1976, Gürkan vd. 2005, Hamiel&Fialko 2007, Yavaşoğlu 2009, Görmüş 2011, Zabcı 2012, Ellero et al. 2015, Bohnhoff et al. 2016).

Tarih boyunca KAF üzerinde çok sayıda yıkıcı deprem oluşmuş, geçtiğimiz yüzyılda ise 12 büyük deprem ($M_w > 6.7$) meydana gelmiştir. 1939 yılında fayın doğusundaki Erzincan ($M_w = 7.9$)'da başlayan bu depremler, 1999 yılındaki Düzce ($M_w = 7.1$)

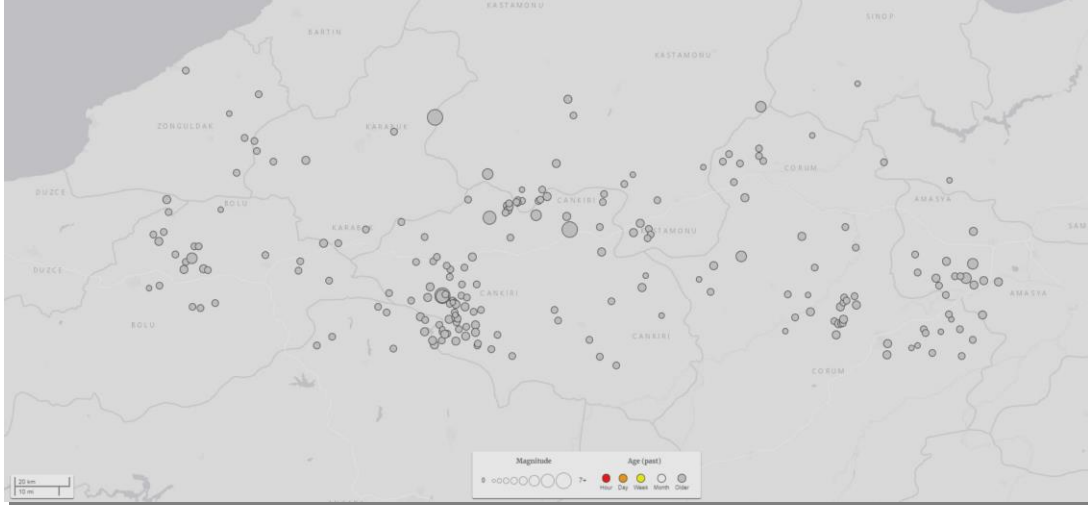
depremine kadar fayı farklı uzunluklarda kırarak batıya doğru göç etmiştir (Çizelge 1.1) (Şengör et al.2005, Cakir et al.2005, Yavasoglu et al.2005, Kutoglu et al.2010, Görmüş 2011, Poyraz vd.2011, Kadirioglu 2015, Rousset et al.2016).

Çizelge 1.1 : 1939-1999 yılları arasında KAF üzerinde oluşan yıkıcı depremler ($M \geq 6.8$) (Aladoğan 2017).

Depremin merkezi	Tarih	Yüzey Dalgası Büyüklüğü (Ms)
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
Kurşunlu	13.08.1951	6.9
Yenice-Gönen	18.03.1953	7.2
Abant	26.05.1957	7.1
Manyas	22.07.1967	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

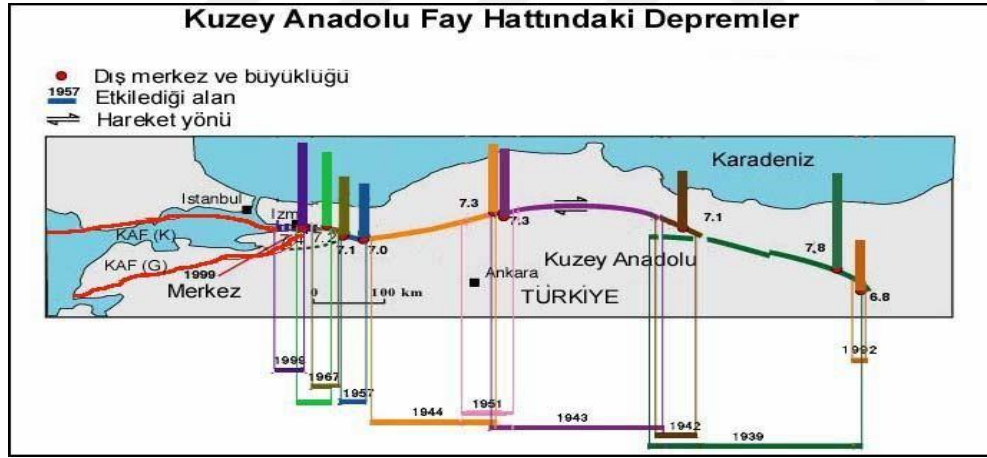
Tektonik bloklar üzerindeki hareketin anlaşılabilmesi için 1990'lı yıllardan bu yana yapılan GPS tabanlı çalışmalarla KAF'a ait hızların belirlenmesine çalışılmıştır. Bu çalışmalar Anadolu bloğunun Avrasya bloğuna göre rölatif olarak ~20-25 mm/yıl ile batıya doğru hareket ettiğini ortaya koymakla beraber; fay boyunca gözlenen hızlar bütün bölgelerde aynı değildir, batı bölümündeki kayma miktarı nispeten daha yaşlı olan doğu bölümüne göre daha fazladır (Rüzgar 2004, Cakir et al. 2005, Yavasoglu et al. 2005, Kutoglu&Akcin 2006, Reilinger et al. 2006, Poyraz vd. 2011, Bohnhoff 2016). KAF, doğrultu atımlı ve sağ yönlü bir faydır. Bu özelliği 1939, 1942, 1943 ve 1944 depremlerinde de görülmektedir (Ketin 1976, Yavaşoğlu 2009).

Transform özelliğe sahip olan KAF üzerinde genel olarak sığ odaklı depremler gözlenmektedir. Transform fay özelliği gösteren bir diğer fayla, Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunan San Andreas Fayı ile benzerlikler de taşımaktadır. Faylara ait jeolojik verilere göre, her iki fayın yaşı (10-12 milyon yıl), uzunluğu (1100-1600 km) ve genişlikleri (100 m-10 km) benzerlik göstermekte; ancak gözlenebilen atım konusunda birbirlerinden ayrılmaktadır (Ketin 1976, Rüzgar 2004). Ayrıca KAF'ın mevcut derinliğinin 25 km'den az olduğu tahmin edilmektedir. Sismik veriler ve yapılan bazı çalışmalara göre (Ketin 1976, Aktuğ ve Çelik 2008) deprem odak derinlikleri 12-20 km arasında değişiklik göstermektedir (Şekil 1.5).



Şekil 1.5 : Çalışma bölgesinde 1900 yılından günümüze kadar meydana gelen kayıtlı depremler (Url-2).

KAF tek bir parçadan değil çok sayıda parçadan oluşmaktadır. Bu parçalar ardışık olarak sıralanmaktadır ve tarih boyunca çeşitli segmentler boyunca kırılmıştır (Şekil 1.6). Ayrıca 1999 Düzce depreminin etkilediği bölgedeki fay parçasının 2 ve 5 parçalı olarak değerlendirildiği çalışmalar da mevcuttur (Ketin 1976, Bohnhoff et al.2011).



Şekil 1.6 : KAF üzerinde 20.yüzyılda meydana gelen depremler ve kırılan bölgeler (Url-3).

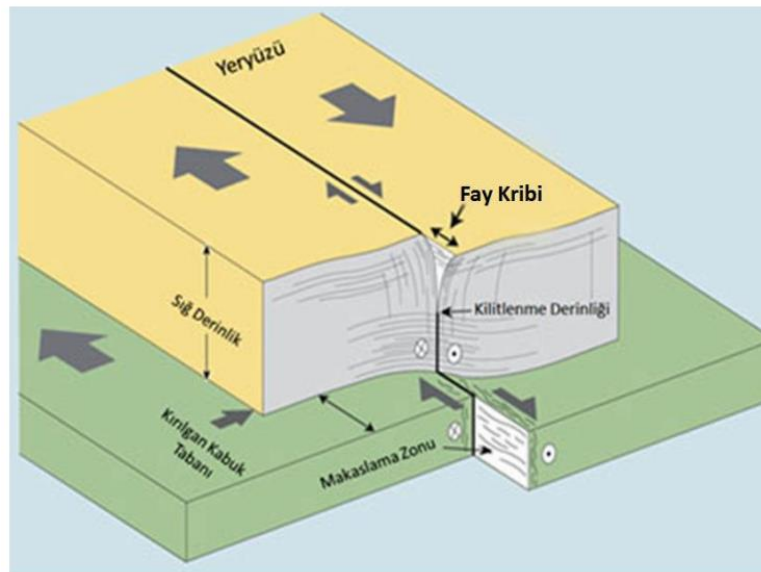
1.1 Asismik Krip

Tektonik levhaları sınırlayan faylar tamamen ya da kısmen kilitli durumdadır. KAF gibi transform faylarda iki levhanın birbirine göre görelî hareketleri, fay düzlemi boyunca bulunan kayalardaki sürtünme kuvveti ile karşılaşır. Ancak levhaları hareket ettiren kuvvet belirli bir aşamadan sonra bu sürtünme kuvvetine üstün gelecek ve potansiyel olarak biriken enerji ani bir hareket ya da deprem olarak açığa çıkacaktır.

Bu döngüsel hareket, fay düzleminde sürekli olarak devam etmektedir (Reid 1910, Yavaşoğlu 2009).

Faylardaki bu mekanizma, yeryüzündeki bazı spesifik bölgelerde farklı bir şekilde tezahür etmektedir. Ender olarak ortaya çıkan ve Hayward (San Andreas Fayı) İsmetpaşa (KAF), İzmit (KAF) gibi bazı bölgelerde raporlanan bu hareketlere “krip” denilmektedir (Schmidt et al. 2005, Cakir et al. 2012, Kaduri et al. 2017). Krip, bir fay boyunca ya da fayın bazı bölgelerinde gözlenebilen bir serbest kayma hareketidir ve bu hareket fay üzerinde biriken gerinin bir kısmının ya da tamamının deprem oluşmaksızın boşalmasına neden olmaktadır. Diğerlerinden farklı olarak bu tip hareketlerin gözlemlendiği bölgelerde fay düzlemi sismojenik tabakanın en altına kadar kilitli olmayabilir; yüzeyden belirli bir derinliğe kadar ya da düzlemin tamamı boyunca ve fayın belirli bölgelerinde yüzeyden de gözlenebilen hareketlere neden olmaktadır (Kutoglu et al. 2006, Görmüş 2011, Mavrommatis et al. 2015, Yavasoglu et al. 2015, Hussain et al. 2016, Url-4).

Fay zonundaki jeolojik yapı farklılık gösterebilir. Özellikle krip hareketinin gözlemlendiği bölgelerde fayın alt ve üst kabuk olarak iki farklı parça şeklinde davrandığı, reolojik yapının ve sıvı basıncının bu hareket üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir (Howthorne et al. 2016), (Şekil 1.7). Krip hareketinin gözlemlendiği sismojenik bölgenin (üst kabuk) hareketine nazaran, alt katmanda bu hareketin devam edip etmediğini gösteren bir bulgunun olmadığı söylenebilir (Şaroğlu ve Barka 1995, Bohnhoff et al. 2016).

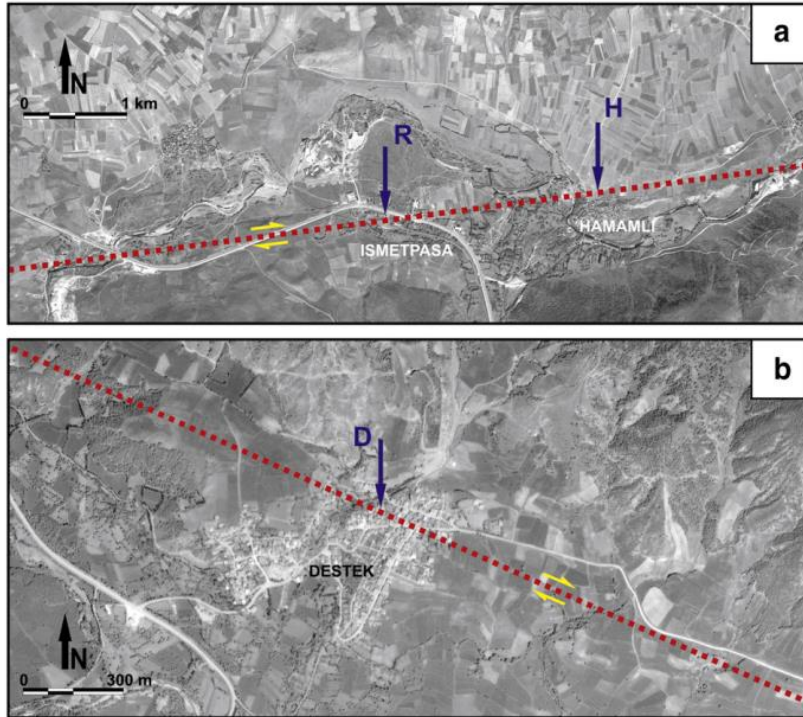


Şekil 1.7 : Asismik krip gözlenen bir fay düzleminin genel yapısı (Aladoğan 2017).

Yeryüzünde çeşitli bölgelerde gözlenen bu doğa olayı, birkaç şekilde ortaya çıkıp farklı sonuçlara neden olabilir:

- 1- Krip hareketi depremin oluştuğu sismojenik tabakanın en altına kadar ortaya çıkar ve gözlenen yüzeysel hız, tektonik levhaların jeolojik kayma hızlarına yakın ya da eşit olursa; fay üzerinde büyük bir deprem oluşacak kadar enerji birikmez.
- 2- Krip, sismojenik tabakanın en altına kadar oluşmayabilir ya da gözlenen hızı jeolojik olarak belirlenen kayma hızlarından daha düşük olabilir. Bu durumda fay üzerinde enerji birikmesi engellenemez ve orta ya da büyük şiddette bir deprem meydana gelebilir (Şaroğlu ve Barka 1995, Çakır et al.2005, Schmidt et al. 2015, Kaneko et al.2013, Ozener et al.2013, Yavasoglu et al.2015, Bohnhoff et al.2016).

Krip hareketi bir fay zonunda sürekli olarak gözlenebilir ya da geçici olarak ortaya çıkıp tekrar sönmülenebilir (Görmüş 2011, Kadirioglu 2015). Türkiye’de KAF boyunca asismik krip gözlenen ve raporlanan iki bölge bulunmaktadır: İsmetpaşa ve Destek segmentleri (Şekil 1.8).



Şekil 1.8 : İsmetpaşa ve Destek segmentleri. Kırmızı kesikli çizgi KAF'ın yeryüzünde gözlenen izine aittir: (a)"R" İsmetpaşa segmentindeki tren istasyonu duvarını, "H" ise Hamamlı Köyü'nde krip tespit edilen yeri göstermektedir. (b)"D", Destek segmentinde krip gözlenen bölgeyi göstermektedir (Karabacak et al.2011).

1.2 İsmetpaşa Segmenti

KAF üzerinde asismik krip raporlanan ilk segment İsmetpaşa segmentidir. 1970 yılındaki saha çalışmaları sırasında fark edilen bu olgunun Çankırı'nın Bayramören İlçesi yakınlarından başladığı ve İsmetpaşa'dan geçerek Gerede civarında sönümlendiği tahmin edilmektedir. Bu güzergâhta yaklaşık 70-80 km boyunca gözlenen krip hareketi ilk kez İsmetpaşa Kasabası'ndaki tren istasyonunun duvarında fark edilmiş, o tarihten bu yana da yersel ölçümler, InSAR ve GPS teknikleri ile izlenmektedir. Bu bölgeyi ilgilendiren ve kayıtlara geçmiş üç deprem bulunmaktadır: 1943 Tosya $M_w=7.2$, 1944 Gerede $M_w=7.2$, 1951 Kurşunlu $M_w=6.9$ (Şaroğlu ve Barka 1995, Cakir et al.2005, Kondo et al. 2005, Karabacak et al. 2011, Zabcı 2012, Kaneko et al.2013, Yavasoglu et al. 2015, Rousset et al.2016).

1.3 Destek Segmenti

Bu bölge Amasya'nın yaklaşık 30 km kuzeydoğusunda yer almaktadır. 2003 yılındaki bir saha çalışması sırasında asismik krip olgusu fark edilmiş, ancak krip gözlenen segmentin uzunluğu tam olarak belirlenememiştir. Bu segmentin 1943 Tosya depremi sırasında kırıldığı bilinmektedir (Karabacak et al.2011).

1.4 İsmetpaşa Ve Destek Segmentlerinde Yapılan Çalışmalar

İsmetpaşa segmentindeki çalışmalar 1970 yılından bu yana düzenli olmayan aralıklarla ve farklı ölçüm yöntemleriyle yapılmaktadır. Çalışmaların bir kısmı sadece İsmetpaşa Kasabası'nda yapılmışken (Ambraseys 1970, Aytun 1982, Eren 1984, Altay&Sav 1991, Deniz et al. 1993, Kutoglu&Akcın 2006, Kutoglu et al. 2008-2010-2013, Karabacak et al. 2011, Ozener et al. 2013, Görmüş 2011, Bilham et al. 2016), bir kısmı da (Cakir et al. 2005, Deguchi 2011, Fialko et al. 2011, Köksal 2011, Kaneko et al. 2013, Cetin et al. 2014, Kutoglu et al. 2013) segmentin tamamı üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu segment Hamamlı vadisi boyunca uzanarak Gerede'ye kadar varmaktadır. Bölgede kilitlenme derinliğinin yaklaşık 15 km civarında olduğunu ve asismik krip gözlenen kısmın da sismojenik tabakanın en altına kadar ulaşmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur (Cakir et al. 2005, Rousset et al. 2016).

İsmetpaşa segmentindeki çalışmalara ait orijinal veriler incelendiğinde, 1970 yılındaki saha çalışmalarından sonra (Ambraseys 1970), asismik krip trendinin gittikçe azalan

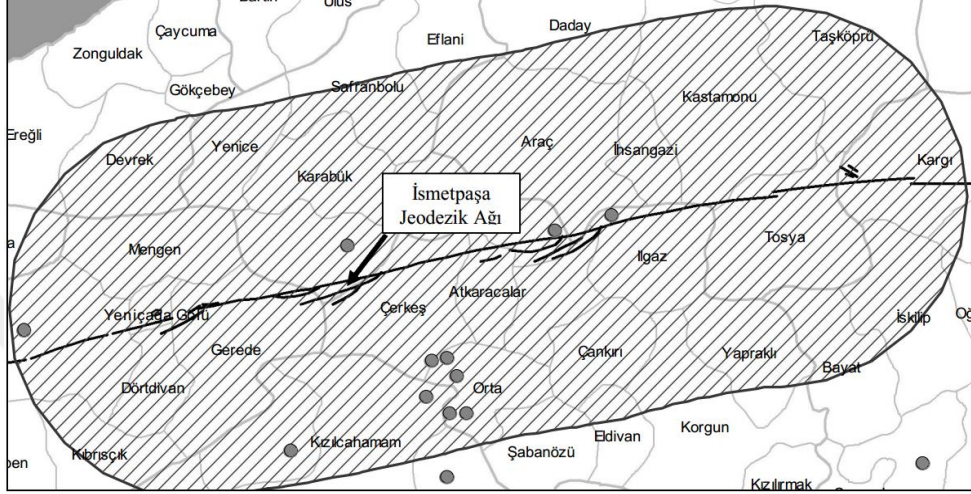
bir trendde sahip olduğu ve belirsiz bir zaman sonra sönümlenebileceği öngörülebilir. Ancak *Bilham et al.* (2016) çalışmasında, *Ambraseys* (1970) tarafından bildirilen 20 ± 6 mm/yıl krip oranının hatalı değerlendirildiği ve orijinal oranın 10.4 ± 0.4 mm/yıl olduğu öne sürülmektedir. Bu çalışma baz alındığında ise krip trendi yıllara göre değişken ve tekdüze değildir. Ayrıca farklı ölçüm yöntemlerine göre yapılan çalışmaların lokal ya da segmentin tamamı için yapıp yapılmadığına göre de asismik krip oranlarının ve genel trendinin değişkenlik gösterdiği görülmektedir (Çizelge 1.2).

Çizelge 1.2 : İsmetpaşa segmenti çalışmalarına ait veriler ve ölçüm yöntemleri.

Çalışma	Krip oranı (mm/yıl)	Çalışma yılları	Ölçüm Yöntemi
Ambraseys (1970)	20.0 ± 6.0	1957-1969	Duvar offset ölçümleri
Aytun (1982)	11.0 ± 1.1	1969-1978	Doppler
Eren (1984)	10.0 ± 4.0	1972-1982	Eğik mesafe
Deniz et al. (1993)	9.3 ± 0.7	1982-1992	Eğik mesafe
Cakir et al. (2005)	8.0 ± 3.0	1992-2000	InSAR
Kutoglu&Akcin (2006)	7.8 ± 0.5	1992-2002	GPS
Kutoglu et al. (2008)	12.0 ± 1.1	2002-2007	GPS
Kutoglu et al. (2010)	15.1 ± 4.1	2007-2008	GPS
Karabacak et al. (2011) [1.bölge]	8.4 ± 4.0	2007-2009	LIDAR
Karabacak et al. (2011) [2.bölge]	9.6 ± 4.0	2007-2009	LIDAR
Deguchi (2011)	14.0	2007-2011	PALSAR
Fialko et al. (2011)	10.0	2007-2010	PALSAR
Ozener et al. (2013)	7.6 ± 1.0	2005-2011	GPS
Köksal (2011)	15.7 ± 2.0	2007-2010	DInSAR
Görmüş (2011)	13.0 ± 3.9	2008-2010	GPS
Kaneko et al. (2013)	9.0 ± 2.0	2007-2011	InSAR
Cetin et al. (2014)	8.0 ± 2.0	2003-2010	InSAR (PSI)
Altay&Sav (1991)	7.6 ± 1.0	1982-1991	Kripmetre
Kutoglu et al. (2013)	13.0 ± 2.0	2008-2010	GPS
Kutoglu et al. (2013)	12.5 ± 2.0	2007-2010	InSAR
Ambraseys (1970) - Bilham et al. (2016) revizyon	10.4 ± 0.4	1957-1969	Fotoğrafların yeniden değerlendirilmesi
Aytun (1982)	15.0	1957-1969	Fotoğrafların değerlendirmesi
Aytun (1982) – Bilham et al. (2016) revizyon	10.45 ± 0.35	1957-1969	Fotoğrafların yeniden değerlendirilmesi
Bilham et al. (2016)	6.1 ± 0.2	2014-2016	Kripmetre

Bölgedeki bazı çalışmalarda krip trendinin giderek azaldığı ve sona ereceği (Kutoğlu vd. 2005), ayrıca 1999 yılında KAF üzerinde meydana gelen Gölcük ve Düzce depremlerinin bölgedeki krip hareketini etkilemediği yönünde sonuçlara da ulaşılmıştır (Kutoglu&Akcin 2006). Ayrıca asismik kripin bu bölgede 1944 depremi ile başladığı ve geçici bir olay olduğu sonucunu açıklayan çalışmalar da mevcuttur (Cakir et al. 2005).

Bu çalışmaların geneli 1970-2002 arasındaki periyodu kapsamaktadır. Ancak 2000’li yıllardan sonraki diğer bazı çalışmalarda ise asismik krip hızının beklendiği gibi olmadığı ve hızlandığını gösteren çıkarımlara da ulaşılmıştır (Kutoğlu vd. 2005, Cakir et al. 2005, Kutoglu et al. 2008) (Şekil 1.9). Bu segment ile ilgili yapılan çalışmalara ait krip oranı grafiği ile orijinal ve *Bilham et al.* (2016) revize değerlerine göre asismik krip trendi Ek A’da sunulmuştur.



Şekil 1.9 : İsmetpaşa’da bulunan mikro-jeodezik ağ ve bölgede 2002-2008 arası meydana gelen depremler ($M_w=4$) (Kutoğlu vd. 2008, 2009).

Sonuçlara göre bölgedeki asismik krip trendi ile ilgili kesin bir varsayımda bulunmak mümkün değildir. Ayrıca bölge ve civarında meydana gelen küçük ve orta büyüklükteki depremlerle, segmentin batı kısmındaki Düzce ve Gölcük depremlerinin bölgedeki durumu değiştirip değiştirmediği ile ilgili kesin bir kaniya varmak da oldukça güçtür.

Destek segmentinde yapılan çalışmalar ise sayıca daha az olup 2008 yılından günümüze kadar olan zaman dilimini kapsamaktadır (Çizelge 1.4). Bu segmentteki çalışmalarda da (Fraser et al. 2009, Karabacak et al. 2011) İsmetpaşa segmentine benzer sonuçlara ulaşılmıştır. Ancak krip trendinin belirlenebilmesi için daha uzun vadeli gözlemler gerekmektedir.

Çizelge 1.3 : Destek segmentinde asismik krip oranını belirlemek için yapılan çalışma sonuçlarına ait veriler ve ölçüm yöntemleri

Çalışma	Krip oranı (mm/yıl)	Çalışma yılları	Ölçüm Yöntemi
Karabacak et al. (2011)	6.6 ± 4.0	2007-2009	LIDAR
Fraser et al. (2009)	6.0	2009	Kazı çalışması

Bu çalışmaların sonuçlarına göre İsmetpaşa'daki durumla ilgili farklı senaryolarda ortaya konulmuştur:

1. Asismik krip hareketi KAF üzerinde meydana gelen 1944 Gerede ve 1951 Kurşunlu depremlerinden sonra ya da bu iki deprem arasında herhangi bir zamanda ortaya çıkmıştır.
2. Segmentteki krip hareketi bu iki büyük depremden önce de mevcuttur ve yavaşlayarak depremden önceki durumuna dönmektedir.
3. Gözlenen krip hareketi çok uzun süredir belirli bir trende sahip olarak devam etmektedir.
4. Asismik krip hiçbir zaman stabil bir hıza sahip olmamıştır, değişken bir hız döngüsüne sahiptir.
5. Krip hareketi sabit olmakla beraber, günümüzde süresiz ve belirli aralıklarla tekrarlanan bir duruma evrilmiştir (Kutoglu&Akcin 2006, Kutoglu et al. 2008, Kutoğlu vd. 2009, Rousset et al. 2016).

Yapılan çalışmalar bu senaryolar bağlamında değerlendirildiğinde ise farklı sonuçlar ortaya çıkmaktadır:

- 1- Krip hareketi yeniden ivme kazanmaya başlamıştır ve 3 nolu senaryo geçerlidir. Krip hareketinin azaldığını gösteren emareler ve çalışmalar yanlıştır (Kutoğlu et al. 2008).
- 2- Ambraseys'in 1970 yılındaki varsayımı hatalıdır; krip hareketinin ilk fark edildiği zamanki hız daha düşük olmalıdır. Ayrıca bölgedeki krip hareketi gittikçe yavaşlamaktadır ve uzun vadede fay tamamen kilitlenebilir. İsmetpaşa segmenti civarındaki depremler ile segmentin batı ucundaki Düzce depreminin bölgedeki krip hareketini tetiklediğine dair bir kanıt bulunmamaktadır (Bilham et al. 2016) .
- 3- Krip hareketinin gözlendiği derinliklerle ilgili farklı sonuçlar mevcuttur (Cakir et al. 2005).

İsmetpaşa'da yapılan çalışmaların çoğunluğu (Ambraseys 1970, Aytun 1982, Eren 1984, Altay&Sav 1991, Deniz et al. 1993, Kutoglu&Akcin 2006, Kutoglu et al. 2008-2010-2013, Karabacak et al. 2011, Ozener et al. 2013, Görmüş 2011, Bilham et al.

2016) segmentin sadece küçük bir kısmı üzerinde ve mikro-jeodezik ağda yapılan GNSS, triangülasyon ve trilaterasyon gözlemleri ile yersel LIDAR ve kripmetre ölçümleri ile yapılmıştır. Bu segmentin uzunluğunun ~70-80 km olduğu göz önüne alınır, çalışmaların segmentin bütünü için blok hareketlerini tam olarak temsil edemeyeceği söylenebilir. Bölgedeki InSAR çalışmaları ise segmentin tamamı için gerçekleştirilmiş olsa da, InSAR sadece düşey harekete duyarlıdır ve yersel doğrulamaya ihtiyaç duymaktadır. Ayrıca InSAR, çalışma bölgesindeki toprak hareketleri, mevsimsel su seviyesi ve bitki örtüsü değişikliği gibi unsurlardan etkilenmekte; su buharından kaynaklanan atmosferik etkiler InSAR tekniğinin doğruluğuna etki etmektedir (Cakir et al.2005). Ayrıca KAF üzerindeki bu bölgelerde daha önce yapılan GPS gözlemlerinden elde edilen vektör sayısı seyrek olup faya dik ve paralel hızlar çok az bilinmektedir. Bütün sonuçlar İsmetpaşa'daki asismik krip hareketinin devam ettiğini, ancak hızının KAF'ın bu bölgedeki ortalama kayma hızının altında kaldığına işaret etmektedir. Ancak bütün bu çalışmalar birbirinden farklılık göstermekte ve çelişkili sonuçlar doğurmaktadır. Bu kapsamda söz konusu bölgelerde geniş kapsamlı bir gözlem ağı kurulması, bunun belirli periyodlarla ölçülmesi, ortaya çıkan sonuçların değerlendirilmesi, modellenmesi, hız alanının ortaya çıkarılması ve fayın karakteristiği hakkında önemli bilgilere ulaşılması gerekmektedir (Yavasoglu et al. 2015).

Bu bağlamda, Kuzey Anadolu Fayı'nın asismik krip gözlenen Bolu-Çankırı (İsmetpaşa segmenti) ve Amasya (Destek segmenti) bölgelerindeki tektonik yapının periyodik GPS ölçümleri ile belirlenerek kinematığının modellenmesi sorusuna bu çalışma ile cevap aranmıştır.

Bu çalışma kapsamında da İsmetpaşa ve Destek segmentlerini kapsayan bir GPS ağının sahada tesis edilmesi ve 2014-2016 yılları arasında 3 periyot ile izlenmesi planlanmıştır. Çalışma sırasında kampanya tipi istasyonlarla beraber her iki segmenti ve bunların arasında kalan KAF bölümünü de kapsayacak şekilde sürekli GPS istasyonlarına (TUSAGA-AKTİF) ait veriler de değerlendirilmiştir. İlk aşamada elde edilen istasyon hızları, sonraki aşamada blok modelleme için girdi olarak kullanılarak fay düzlemine ait parametreler belirlenmiştir.



2. GPS TEKNİĞİ İLE TEKTONİK BLOK HAREKETLERİNİN İNCELENMESİ

Depremler tarih boyunca yeryüzünde çok sayıda can ve mal kaybına neden olan bir olgudur. Bu durum deprem oluşma mekanizmalarının daha iyi anlaşılabilmesi için çok sayıda ve çeşitli ölçek ve tekniklerle ölçümlerin yapılması sonucunu doğurmuştur. Yer altı su seviyelerindeki değişimlerin incelenmesi, gravite ve tektomanyetik çalışmalar, radon gazı ölçümleri, GPS ile tektonik blok hareket ve deformasyonların izlenmesi gibi çok sayıda araştırma bu amaçla uzun zamandır yürütülmektedir (Segall&Davis 1997, Petrie et al. 2010, Görmüş 2011).

Bir fay düzlemi boyunca karşılıklı iki blok üzerindeki noktaların birbirlerine göre rölatif hareketlerinin belirlenmesi, blokların uzun dönem hızlarının kestiriminde en fazla kullanılan yöntemlerden birisidir. Bu amaçla çok sayıda çalışmada GPS (Global Positioning System) tekniği kullanılmıştır. Bu teknik temel olarak ölçüm istasyonlarının vektörel hızlarının kıyaslanmasına dayanmakta; sonuçlar ise blokların rölatif hareketlerinin yeryüzünün çeşitli bölgelerinde 50-100 mm/yıl değerlerine ulaşabildiğini göstermektedir (McCaffrey et al. 2007, Poyraz 2009). Buna bağlı olarak, Anadolu bloğunun Avrasya bloğuna göre rölatif hızının belirlenmesinde de GPS tekniği başarılı bir şekilde kullanılmıştır (McClusky et al. 2000, Reilinger et al. 2006, Yavasoglu et al. 2011).

GNSS (Global Navigation Satellite System) genel olarak çok sayıda ülkenin konumlandırma sisteminin tamamını tanımlamak için kullanılmaktadır. ABD'nin GPS (Global Positioning System), Rusya'nın GLONASS (Global Navigation Satellite System), Avrupa Birliği'nin GALILEO, Çin'in BEIDOU, Japonya'nın QZSS ve Hindistan'ın IRNSS sistemleri ve diğer yer bazlı sistemler (Ground Based Augmentation Systems) ile yer bazlı bölgesel sistemler (Ground Based Regional Augmentation Systems) hep birlikte GNSS sistemini oluşturmaktadır. GPS'de bu sistemin alt bölümlerinden biridir (Kahveci ve Yıldız 2009, Groves 2013, Özbey 2017).

GPS tekniği, büyük ölçeklerde oluşturulan ve büyük bazlara sahip gözlem ağlarında alıcıların portatif bir şekilde kullanılabilmesi, yüksek doğruluğu ve düşük maliyeti nedeniyle günümüzde en fazla tercih edilen tekniklerden biridir. SLR (Satellite Long Range-Yapay uydulara lazer ile mesafe ölçümleri) ve VLBI (Very Long Base Interferometry-çok uzun bazlı interferometri) teknikleri de tektonik hareketlerin analizi için kullanılsa da, GPS, bu özelliklerinden dolayı yer kabuğu hareketlerinin incelenmesinde en fazla kullanılan yöntemdir (Rüzgar 2004, Yavaşoğlu 2009, Çakmak 2010, Tiryakioğlu 2012).

GPS ile konum belirleme temel olarak “uzay geriden kestirme” mantığına dayanmaktadır. Koordinatı bilinmeyen nokta olarak yeryüzündeki GPS antenin bulunduğu istasyon, koordinatı bilinen noktalar olarak da sistemi oluşturan uyduların yörüngeleri ve uydulardan gelen navigasyon sinyalleri hesaplamasının temelini oluşturmaktadır. Yer kabuğu hareketlerinin GPS yöntemi ile incelenebilmesi için çalışma bölgesindeki fay düzlemi boyunca, blokları ve fayı temsil edecek şekilde sabit noktalar tesis edilir. Bu noktalar üzerinde sürekli ya da belirli periyotlarla yapılan gözlemler, yeryüzündeki mevcut ve çok uzun zamandır ölçüm yapan GPS istasyonları vasıtasıyla değerlendirilir ve çalışma bölgesinde tesis edilen noktaların zaman içerisindeki hareketi tespit edilir. Bu hareketler ya da noktaların vektörel hızları kullanılarak da bölgedeki fay parametrelerinin belirlenmesine çalışılır (Dixon 1991, Daniels& Huxford 2000, McClusky 2000, Reilinger 2006, Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012).

Bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda GPS sistemi kullanılmıştır.

2.1 GPS (Global Positioning System)

GPS sistemi ABD tarafından geliştirilmiş olan bir sistemdir. Sistemin temel amacı, GPS alıcısına sahip herhangi bir sivil ya da askeri kullanıcının uydu sinyalleri vasıtasıyla hava koşullarından bağımsız olarak yeryüzünün herhangi bir açık gökyüzü gören bölgesinde yüksek doğrulukta ve ekonomik olarak koordinat verisi elde edebilmesine olanak sağlamaktır (Hager et al. 1991, Kahveci ve Yıldız 2009).

Sistem üç ana bölümden oluşur: Uzay bölümü, kontrol bölümü, kullanıcı bölümü.

Uzay bölümü GPS uydularından oluşmaktadır. Uydular ekvator düzlemi ile 55°'lik açı yapacak şekilde planlanan 6 yörünge düzlemi üzerinde yer almaktadır. Uyduların

yerküreden yüksekliği yaklaşık olarak 20.200 km olup, her yörüngede 4 ve daha fazla uydudan oluşacak şekilde konumlandırılmışlardır (Şekil 2.1). 2009 yılı itibariyle sistemde aktif olarak toplam 31 uydudur ve uydular yörüngeleri boyunca dünyanın etrafında 11 saat 58 dakikada 1 defa dönmektedir (Daniels& Huxford 2000, Yavaşoğlu 2009, Url-17).



Şekil 2.1 : Dünya etrafındaki yörüngelerde yer alan GPS uyduları (Url-10).

Yörüngedeki GPS uyduları yeryüzüne sürekli olarak sinyaller vasıtasıyla bazı bilgiler gönderirler. Zaman bilgileri, diğer uyduların konumuna ait veriler ve yörünge parametre verileri temel olarak GPS uydularından yayınlanan L1 (1575.42 MHz) ve L2 (1227.60 MHz) frekanslarıyla taşınırlar. Bunun yanı sıra sisteme yeni eklenen uydular L2C, L3 (1381.05 MHz) ve L5 (1176.45 MHz) frekanslarından da yayın yapmaktadır (Dixon 1991, Hager 1991, Özbey 2017).

Kontrol bölümü dünyanın çeşitli bölgelerinde bulunan 1 ana ve 1 alternatif ana kontrol istasyonu, 11 komuta ve kontrol anteni ile 16 izleme istasyonundan oluşmaktadır. İzleme istasyonları uyduların izlenmesinden ve efemeris verilerinin ana merkeze iletilmesinden sorumludur. Ana istasyon ise tüm sistemi kontrol ederek her bir uydunun için yörünge verilerini ve saat düzeltmelerini hesaplayarak uydulara iletir. Kullanıcı bölümü ise yeryüzündeki sivil ve askeri kullanıcıları kapsar. Konum doğruluğu değişken olmakla beraber el tipi GPS alıcıları ya da çok frekanslı hassas GPS alıcıları çeşitli amaçlara haiz şekilde koordinat verisi üretmek için kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2009, Görmüş 2011, Aladoğan 2017, Url-17).

2.2 GPS İle Gözlenen Büyüklükler

GPS uyduları ile yapılan ölçümlerde temel olarak “Ham Uydu Alıcı Mesafesi (HUAM/Kod Pseudorange)” ve “Taşıyıcı Dalga Fazı (Carrier Beat Phase)” gözlenerek konum belirlenmesi sağlanır. HUAM yeryüzündeki alıcı anteni-uydu arası mesafe olarak tanımlanabilir. Bu değer, yüksek doğruluk gerektirmeyen ancak gerçek zamanlı kullanılan navigasyon, vb. amaçlı kullanılmaktadır ve birkaç metreye kadar koordinat verisi üretebilir. Yüksek doğruluk gerektiren tektonik blok hareketlerinin izlenmesi gibi amaçlara özgü olarak ise taşıyıcı dalga fazı büyüklükleri kullanılarak sonuca ulaşılır. Bu durumda konum doğruluğu birkaç mm’ye kadar inmektedir. Uydu-alıcı anteni arasındaki mesafeyi ölçümün bir diğer yolu olan taşıyıcı dalga fazı büyüklükleri HUAM’a göre çok daha hassastır. Bunun sebebi bu yöntemde gözlenen taşıyıcı frekansların dalga boylarının HUAM’a göre çok daha küçük olmasıdır. Ayrıca yansıtıcı engel etkilerinden (multipath) daha az etkilenirler (Hager et al. 1991, Kahveci ve Yıldız 2009, Aladoğan 2017, Özbey 2017). Bu nedenlerle, bu tez kapsamında yapılan çalışmalarda da taşıyıcı dalga fazı gözlemleri değerlendirilmiştir.

2.3 Taşıyıcı Dalga Fazı Gözlemleri

Bu yöntem herhangi bir GPS uydusundan yayınlanan sinyalin fazının yeryüzündeki alıcı tarafından gözlenmesi esasına dayanır. GPS uydusundan kaydedilen sinyalin bir benzeri yeryüzündeki alıcıda da üretilir. Uydudan gelen sinyaller sinüs dalgası şeklinde yayınlanmaktadır ancak alıcı, uydudan gelen sinyalin kaç tam dalga boyu içerdiğini tespit edemez. Gelen sinyal ile alıcıda üretilen sinyalin dalga boyu arasında bir miktar farklılık olacaktır. Bu fark “tam sayı faz bilinmeyi” (integer ambiguity) olarak tanımlanmaktadır. Eğer bu fark tespit edilebilirse ölçüm yapılan istasyonun konumu yüksek doğrulukla belirlenebilir (Kahveci ve Yıldız 2009, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012). Bu durum temel olarak şu eşitlikle gösterilebilir:

$$\phi_{GPS,R}^{SV} = \phi_R^{GPS,SV} - N_R^{SV} \quad (2.1)$$

$\phi_{GPS,R}^{SV}$: tR alıcı saati zamanında SV uydusundan kaydedilen GPS sinyali fazı

$\phi_R^{GPS,SV}$: t^{SV} uydu zamanında yayınlanan ve R alıcısı tarafından kaydedilen GPS sinyali fazı

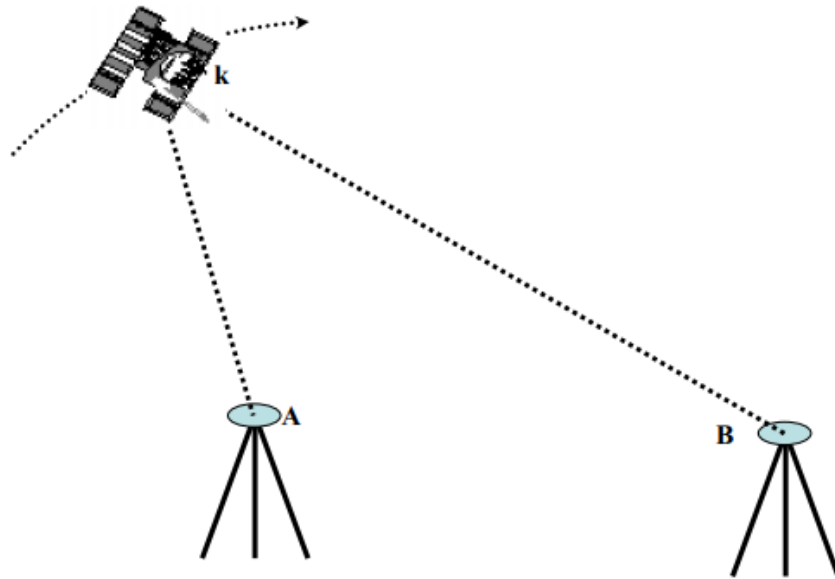
N_R^{SV} : SV uydusu ile R alıcısı arasındaki tamsayı faz bilinmeyi

Bu eşitlik anlık faz farkının hesaplanmasında atmosferik (troposferik ve iyonosferik) etkiler, alıcı saat hatası, vb. hataların ihmal edilmesi durumunda elde edilir. Ancak bu etkiler de göz önüne alındığında bir alıcı (R) ile uydu (SV) arasındaki faz farkı:

$$\phi_R^{SV}(t_R) = \phi^{SV} \left(t_R - \frac{\rho_R^{SV}}{c} - \frac{I_R^{SV} + T_R^{SV}}{c} \right) - \phi_R(t_R) + N_R^{SV} \quad (2.2)$$

ile ifade edilir. Eşitlikteki I_R^{SV} iyonosferik etkiyi, T_R^{SV} troposferik etkiyi; $\phi_R(t_R)$ ise alıcının uydu sinyalini aldığı t_R zamanında alıcıda üretilen fazı göstermektedir. GPS ile gözlenen iki temel büyüklüğe, yani HUAM ve faz gözlemlerine “sıfır farklar” (zero differences) da denmektedir. Ancak yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda bu farkların tekli, ikili ve üçlü olmak üzere çeşitli kombinasyonları da kullanılmaktadır. Bu sayede uydu ve alıcı saati hataları, faz başlangıç belirsizliği gibi çok sayıda hata elimine edilebilmekte ve yüksek doğrulukta konum verisi üretilebilmektedir. Bu kombinasyonlar arasında ikili farkların hesaplanması, GPS değerlendirme yazılımlarında en fazla başvurulan yöntemdir (Kahveci ve Yıldız 2009, Yavaşoğlu 2009).

Tekli fark gözlemleri, bir uydudan gelen sinyalin eş zamanlı olarak iki farklı konumdaki GPS alıcıları tarafından kaydedilmesi ve faz farkının hesaplanması yöntemidir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 : Tek bir uyduya yapılan tekli faz farkı ölçüm yöntemi (Yavaşoğlu 2009).

A noktasında bulunan bir GPS alıcısı ile k uydusu için herhangi bir t anında ölçülen faz farkı:

$$\phi_A^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_A^k(t) + N_A^k + \phi^k(t) - \phi_A(t) + \text{diğer hatalar} \quad (2.3)$$

B noktasındaki alıcı ile k uydusu arasındaki ölçülen faz farkı da:

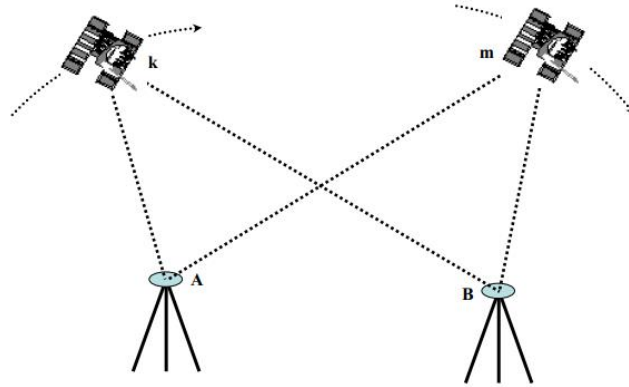
$$\phi_B^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_B^k(t) + N_B^k + \phi^k(t) - \phi_B(t) + \text{diğer hatalar} \quad (2.4)$$

olarak hesaplanır. Bu eşitlikler taraf tarafa çıkarılırsa faz başlangıç belirsizliği:

$$\phi_{AB}^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k + \phi^k(t) - \phi_B(t) + \text{diğer hatalar} \quad (2.5)$$

formülü ile belirlenebilir. Bu durumda uydu saatlerindeki hatalar giderilebilmektedir (Sickle 2001, Yavaşoğlu 2009).

İkili fark gözlemleri ise temel olarak iki tekli farkın farkı olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda aynı oturumdaki iki farklı uydu için faz farkı hesaplanabilir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : İkili faz farkının hesaplanması (Yavaşoğlu 2009).

Yeryüzündeki A ve B alıcıları ile k uydusuna yapılan gözlemlerin faz farkı:

$$\phi_{AB}^k(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^k(t) + N_{AB}^k + \phi_{AB}^k(t) + \text{diğer hatalar} \quad (2.6)$$

Yine aynı epokta aynı alıcılar ile m uydusuna yapılan gözlemlerin faz farkı da:

$$\phi_{AB}^m(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^m(t) + N_{AB}^m + \phi_{AB}^m(t) + \text{diğer hatalar} \quad (2.7)$$

Bu durumda her iki uydu için yapılan gözlemlerin farkı da:

$$\phi_{AB}^{km}(t) = -\frac{f}{c}\rho_{AB}^{km}(t) + N_{AB}^m + \text{diğer hatalar} \quad (2.8)$$

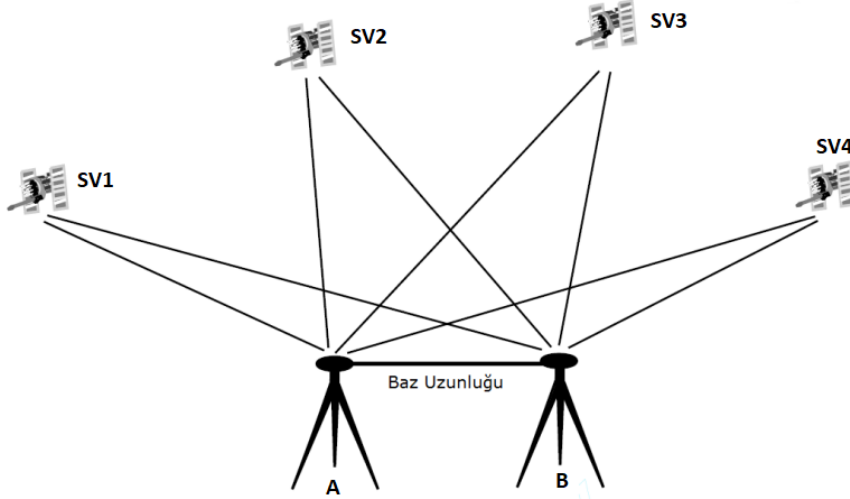
şeklini alır. Bu durumda uydu ve saat alıcı hatalarının ikisi birden giderilmektedir (Sickle 2001, Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012).

İkili farklar ile yapılan GPS gözlemlerinde bazı durumlarda önlenemeyen rastlantısal ya da sistematik hataların da (multipath, faz merkezi belirsizliği, vb.) varlığı söz konusu olabilmektedir. Kullanıcılar bu hataları en aza indirebilmek için bazı ilave yazılım ve donanıma da ihtiyaç duyabilir. Bu çalışmada multipath etkisini en aza indirebilmek için standart GPS alıcılarına groundplane ve choke ring antenler monte edilmiştir. Ayrıca alıcılar manyetik kuzeye yönlendirilerek anten faz merkezi hatasının giderilmesine çalışmış; ölçüm istasyonlarının bir kısmı zorunlu merkezlendirmeye olanak sağlayan pilyeler üzerine tesis edilmiş, diğerlerinde ise GPS jalonu (GPS mast) ile uydu gözlemleri yapılmıştır. Ölçümlerdeki rastlantısal hataların giderebilmek için de GAMIT/GLOBK akademik yazılımı ile veriler değerlendirilmiştir.

2.4 GPS Tekniği İle Konum Belirleme

GPS ile iki farklı şekilde konum belirleme yapılmaktadır: mutlak ve görel konum belirleme. Mutlak konum belirleme yeryüzündeki tek bir alıcının en az 4 uydudan alınan sinyalleri ve kod gözlemleri değerlendirilerek yapılan bir gözlemdir. Bu yöntemin konum doğruluğu tektonik blok hareketlerinin belirlenmesi gibi hassas çalışmalarda kullanılmaya elverişli değildir. Bu nedenle faz farkı, farklı yöntemlerle hesaplanarak sonuçlara ulaşılabilir (Yıldız ve Kahveci 2009, Özbey 2017).

Görel konum belirleme yöntemi ise temel olarak yeryüzünde en az 2 GPS alıcısı gerektiren bir tekniktir. Bu teknik bir noktanın diğerine olan uzaklığının (baz vektörün) belirlenmesine ve konumun hesaplanmasına dayanır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 : (A) koordinatı bilinen ve (B) koordinatı bilinmeyen noktalar. Göreli konum belirleme yöntemi ve uydulara yapılan faz farkı gözlemleri ile A-B arasındaki baz vektörü hesaplanıp B noktasının konumu belirlenebilir (Özbey 2017).

Görelî konum belirleme sırasında en az 2 GPS alıcısının da aynı uydulara eş zamanlı gözlem yapması söz konusudur. Bunun için literatürde 5 farklı yöntem tanımlanmış olup, yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda “statik ölçüm yöntemi” tercih edilmektedir. Uzun bazlara sahip ağlarda bu yöntemle yapılan gözlem süreleri diğer 4 yöntemden (hızlı statik, tekrarlı, dur-git (stop-go), kinematik) daha uzundur. Bu sürenin belirlenmesinde ise noktalar arası baz uzunlukları, konum, uydu geometrisi ve gözlenebilen uydu sayısı etkili olmaktadır (Çizelge 2.1). Bu durum ölçümler arasındaki korelasyonun artırılabilmesi için de gereklidir. Statik ölçüm yöntemi ile yapılan gözlemler ofis çalışması (post proses) da gerektirir. Bunun için de ölçüm tarihlerindeki hassas uydu yörünge verilerinin çevrimiçi olarak yayınlanması beklenmektedir. Bu süre 12-14 gün arasında değişebilir (Kahveci ve Yıldız 2009, Aladoğan 2017, Özbey 2017, Url-11).

Çizelge 2.1 : Uydu sayısı ve ölçüm süresi ilişkisi (Kahveci ve Yıldız 2009).

Uydu Sayısı	Ölçüm Süresi
4	>20
5	10-20
6 ve daha fazla	5-10

Kampanya tipi ölçümlerde genel olarak 4-12 saat arası süreler tercih edilmektedir. Tam sayı belirsizliklerin belirlenebilmesi içinse genel olarak en az 4 saatlik süreler yeterli olmakta ve ölçüm periyodu sayısının deformasyon ölçümlerinde birden fazla olmasından dolayı yüksek doğruluğa ulaşılabilir. Ayrıca yapılan bazı deneysel

Çalışmalarda, 24 saatlik ölüm sürelerinin 6 saatlik gözlemlere nazaran anlamlı bir fark oluşturmadığı da gözlenmiştir (Tiryakioğlu vd. 2010, Yigit et al. 2016, Aladoğan 2017, zbey 2017). Bu sebeplerden dolayı bu çalışma kapsamında sistematik ve rastlantısal hataların da giderilebilmesi için ölüm süreleri >8 saat olarak planlanmış ve tamamlanmıştır. Eş zamanlı gözlenen uydu sayısı ise nokta konumlarına bağlı olarak çalışmanın tamamı boyunca en az 6 olarak gerçekleşmiştir.





3. TEKTONİK ÇALIŞMALARDA AĞ TASARIMI

Jeodezik ölçüm yöntemleri açısından GPS tabanlı tektonik blok ya da deformasyon ölçümlerine başlamadan evvel, hedef bölge için bir ağ tasarımı yapılması gereklidir. Fay üzerinde asismik krip hareketi olsun ya da olmasın, mevcut hız alanlarının oluşturulabilmesi ve blokların birbirlerine göre kayma hareketlerinin belirlenebilmesi için faya yakın / uzak bölgelerde ve fayı temsil edecek şekilde istasyonlar tesis edilerek bir ölçüm ağı oluşturulur (Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012). Bu ağ tesis edilirken bölge için fay kilitlenme derinlikleri göz önüne alınarak, ölçüm istasyonlarının faya uzaklıkları tespit edilir. KAF üzerinde yapılan çalışmalar ve bölgede meydana gelen depremlerin odak derinlikleri de göz önüne alındığında, çalışma bölgesi için fay boyunca genel olarak kilitlenme derinliği yaklaşık olarak 15 km civarındadır (McClusky et al. 2000, Poyraz vd. 2011, Bohnhoff et al. 2016).

Tektonik blok hareketlerinin izlenmesi için, blok boyunca tesis edilen sabit GNSS istasyonlarının tek başına kullanılması yeterli değildir; ayrıca fay düzlemi boyunca da ek çalışmalar yapılması gerekir. Bunun için genel olarak izlenen yol bölgeye özgü yerel ağların tasarlanması ve ölçüm istasyonlarının tesis edilmesidir. Bölge üzerinde tesis edilecek olan nokta sayısı ise deformasyonun kendisine ve gözlemlendiği bölge büyüklüğüne de bağlıdır (Kutoğlu vd. 2009, Halıcıoğlu vd. 2009).

Lokal gözlem ağlarının tasarımı sırasında fay yapısını temsil edecek noktaların tesis edilmesinin yanı sıra, fayın yıllık atım miktarı ve kilitlenme derinliklerinin belirlenebilmesi için ölçüm istasyonlarının faya olan dik uzaklıkları ve bölgenin jeolojik özellikleri de göz önüne alınmalıdır. Yapılan çalışmalarda, faya uzak olan noktaların kayma hızını; yakın olan noktaların ise fayın kilitlenme derinliğini belirlemek için kullanılabildiği gözlenmiştir (Taskin et al. 2003, Halıcıoğlu vd 2009, Bohnhoff et al. 2016).

Yapılan çalışmalarda fay bölgesine yakın olarak tesis edilen noktalarda yapılan gözlemler ile fayın kilitlenme derinliği, uzak olarak tesis edilen noktalarda yapılan gözlemler ile de atım miktarı prezisyonlu olarak belirlenebildiği anlaşılmaktadır. Bunun için nispeten hassas bir denge oluşturulması gerekir. Yapılan deneysel

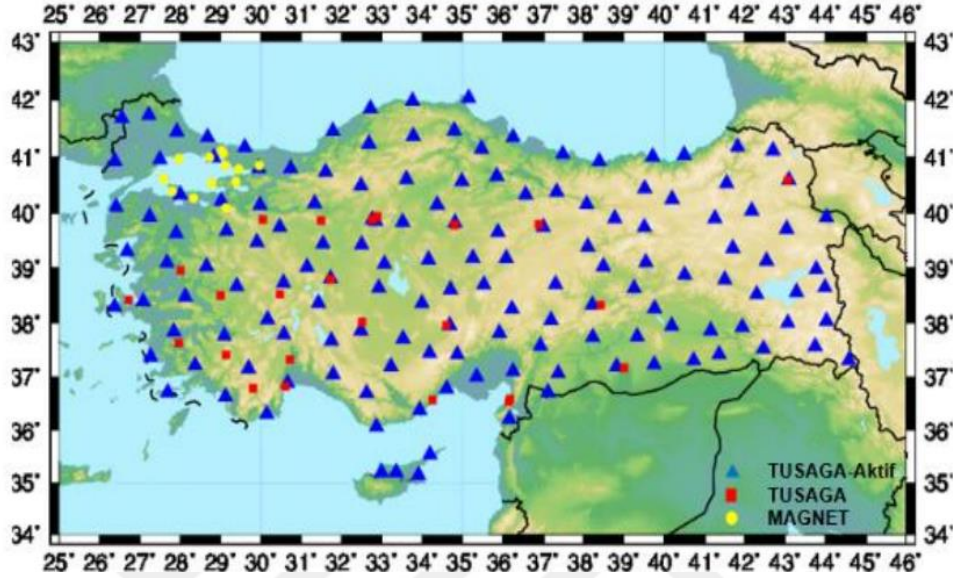
çalışmalarda, tesis edilecek ve ölçülecek noktaların fay bölgesine, fayın kilitlenme derinliğinin ($\pm 1/\sqrt{3}$) katı kadar uzakta olması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Ağ tasarımı sırasında, ölçüm yapılacak noktaların yeri de faydan çok uzakta seçilmemelidir (Kutoglu&Akcin 2006, Halıoğlu vd. 2009).

Fay bölgesinde tesis edilen küçük çapta ağlarda yapılan ölçümlerle, plaka boyunca yapılan gözlemlerin birlikte incelenmesi sonucu da fayların hareketlerinin anlaşılması mümkün olabilir. Ancak, fay bölgesinde gözlem yapılacak nokta sayısının belirli bir değerin üzerinde olmasının sonuçlara anlamlı bir katkısının olmadığını gösteren çalışmalar da mevcuttur (Taskin et al. 2003, Kutoglu&Akcin 2006, Halıoğlu vd. 2009).

Fay parametrelerinin belirlenebilmesi için iki farklı yaklaşım söz konusudur. Birinci yaklaşıma “direkt (doğrudan) modelleme” denir. Bu modellemede, noktalardan elde edilen ölçümler sonucu deprem anında ortaya çıkabilecek etkiler elastik yarı-uzay modelleri ile belirlenebilir. Diğer yaklaşım ise “ters modelleme” olup; deprem öncesinde ve sonrasında bölgedeki sabit noktalarda yapılan ölçümler sonucu ortaya çıkan yatay ve düşey konum farkları göz önüne alınır ve fay parametreleri belirlenebilir. Ayrıca fay konumu, derinliği, eğim açısı, vb. değişkenler de fay bölgesinde meydana gelen yeryüzü değişimlerinin belirlenebilmesi için gereklidir (Aktuğ ve Çelik 2008, Halıoğlu vd. 2009). Bunun için 2 boyutlu modeller geliştirilmiş ve elastik yarı uzay içerisinde değerlendirilmesi için matematiksel karşılıkları bulunmuştur (Taskin et al. 2003, Cakir et al. 2005, Aktuğ ve Çelik 2008, Halıoğlu vd. 2009, Yavaşoğlu 2009).

Fay düzlemi boyunca tesis edilen noktalar üzerinde GPS tekniği ile yapılan çalışmalarda sürekli ya da periyodik ölçümler yapılan istasyonlar kullanılmaktadır. Sürekli ölçümler için genellikle o ülke içerisinde ya da fay zonu boyunca kurulmuş olan sabit GPS istasyonları kullanılmaktadır. Bunlara Türkiye için MAGNET (Marmara GPS Network) ve TUSAGA-AKTİF (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı Aktif) örnek olarak verilebilir (Yavasoglu et al. 2005, Özdemir 2016, Rousset et al. 2016) (Şekil 3.1). Periyodik ölçümler ise, incelenen alana özgü olarak sahada tesis edilen noktalarda; nispeten kısa süreli ve tekrarlı olarak yapılan ölçümleri kapsamaktadır. Bu sayede bölgedeki fay parametrelerinin belirlenmesi mümkün olabilmektedir (Rüzgar 2004, Yavasoglu et al. 2005, Yavaşoğlu 2009).

Benzer bir periyodik ölçüm örneği, 2001-2004 yıllarında 4 kampanya şeklinde ve KAF'ın Amasya-Çankırı arasındaki bölgede yapılan çalışmalardır. Bu çalışmada, eş zamanlı ölçülemeyen noktalar arasında korelasyon kurulması için ağda yer alan noktalardan ikisi sürekli istasyon olarak çalıştırılmıştır (Yavasoglu et al. 2005).



Şekil 3.1 : TUSAGA-Aktif ve MAGNET noktaları kullanılarak yapılan bir çalışma örneği (Özdemir 2016).

Günümüzde ise Türkiye’de yaygın olarak kullanılan TUSAGA-Aktif sistemi ve IGS sayesinde sabit (sürekli) ölçüm noktaları ihtiyacı tamamen olmamakla birlikte giderilmiştir. Kampanya bazındaki sabit istasyonların yerini bölgeye yakın bulunan çok sayıdaki TUSAGA-Aktif noktaları alabilmekte ve noktalar arasındaki bağlantı bu sayede kurulabilmektedir (Rüzgar 2004, Özdemir 2016). Sahada tesis edilen istasyonlarda ise GPS ile uzun süreli statik ölçümler yapılmaktadır. Ölçümlerin uyumsuz olduğu durumlarda ya da arazi şartları ve uydu geometrisinden dolayı bu süre artırılabilir ya da birkaç gün boyunca tekrar edilebilir (Yavasoglu et al 2005).

GPS tekniğiyle yapılan ölçümlerde elde edilen uydu verilerinin değerlendirilmesi için kullanılan çok sayıda yazılım bulunmaktadır. Bu çalışmada, GPS verilerinden hız alanlarının elde edilebilmesi için GAMIT/GLOBK, blok hareketlerinin modellenmesi için de TDEFNODE yazılımı kullanılmıştır (Yavasoglu et al. 2005, Yavaşoğlu 2009).

3.1 Çalışmanın Kapsamı ve Amacı

Tezin genel amacı, KAF üzerinde İsmetpaşa ve Destek segmentlerinde gözlenen asismik krip hareketinin izlenmesi ve fay mekanizmasının anlaşılmasıdır. Bu amaçla:

- 1- KAF'ın asismik krip gözlenen İsmetpaşa ve Destek segmentlerinde, fayı temsil edebilecek bir yersel ölçüm ağının tesis edilmesi ve bunların periyodik olarak ölçülmesi,
- 2- Verilerin değerlendirilmesiyle bölgedeki hız alanının ortaya çıkarılması,
- 3- Doğuda Destek ve batıda İsmetpaşa arasındaki segmentte gerininin belirlenmesi,
- 4- Elastik atım teorisine göre KAF'ın söz konusu bölgelerinde kilitlenme derinliklerinin ve asismik kayma miktarının belirlenmesi,
- 5- Elde edilen gözlemlere dayalı olarak farklı modeller geliştirilmesi ve faydaki yıllık gerininin miktarlarının belirlenmesi hedeflenmiştir.

Bu tez çalışmasının temel amaçları içerisinde, tasarlanacak ağın ve ölçümlerin düşük maliyetli ve yüksek doğrulukta olması da planlanmış, bu nedenle GPS ile yapılacak statik ölçüm kampanyaları planlanmış ve bu çalışma kapsamında; 2014,2015 ve 2016 yıllarında 3 kampanya ölçüm tamamlanmıştır.

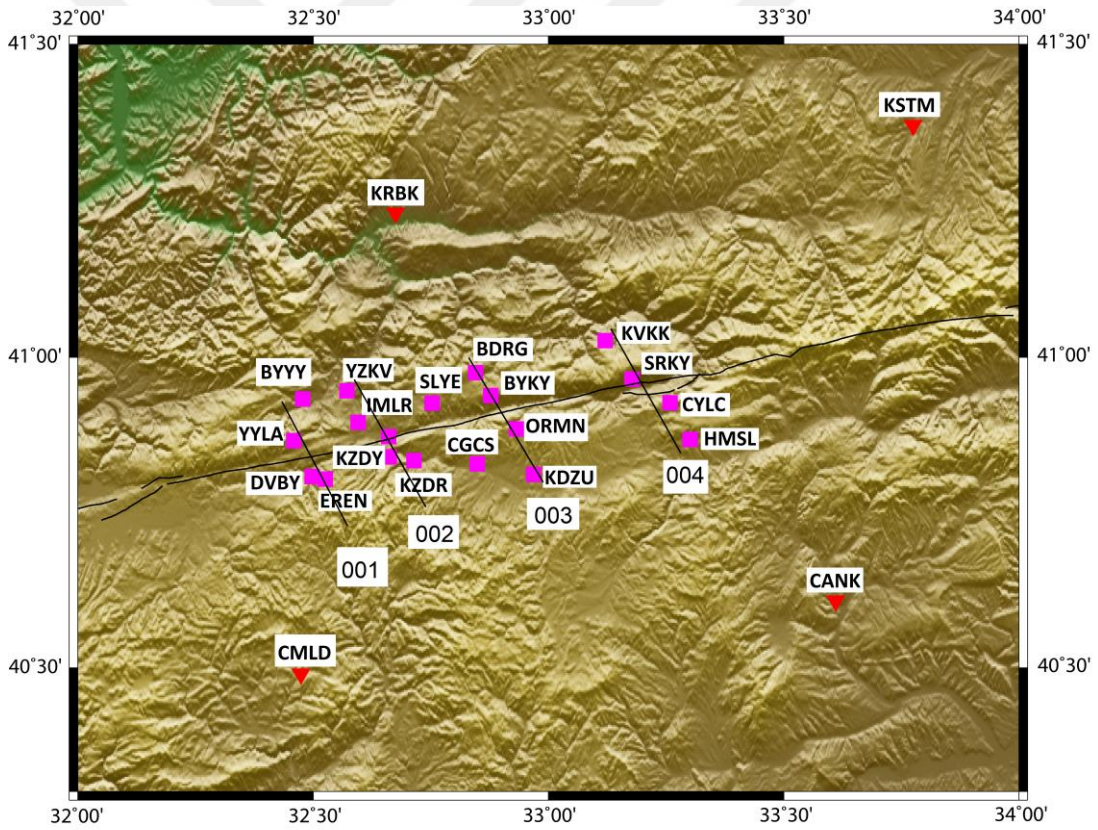
3.2 Saha Çalışmaları

Faya dik olacak şekilde profillerin oluşturulması için önceki çalışmalar incelenmiştir. Sismojenik tabaka kalınlığının yaklaşık 15 km, asismik krip gözlenen kısmın derinliğinin ise yüzeyden 5-7 km arasında olduğunu gösteren çalışmalar da (Cetin et al. 2014) mevcuttur. Ölçüm istasyonlarının tesisi sırasında bu derinlikler temel olarak alındığında, profillerin dörder noktadan oluşturulması ve jeodezik noktaların faya, kilitlenme derinliğinin ($H/\sqrt{3}$) katı kadar uzaklıkta olması kriteri göz önüne alınmıştır. Bu nedenle hem sismojenik tabaka, hem de asismik krip gözlenen tabaka kalınlıkları göz önüne alındığında, istasyonların fay düzlemlerinin her iki yanında Avrasya ve Anadolu blokları üzerinde faya yaklaşık olarak 3 ve 10 km'lik dik uzaklıklara sahip olacak şekilde tesis edilmesi planlanmıştır (Halıcıoğlu et al. 2009, Poyraz vd. 2011).

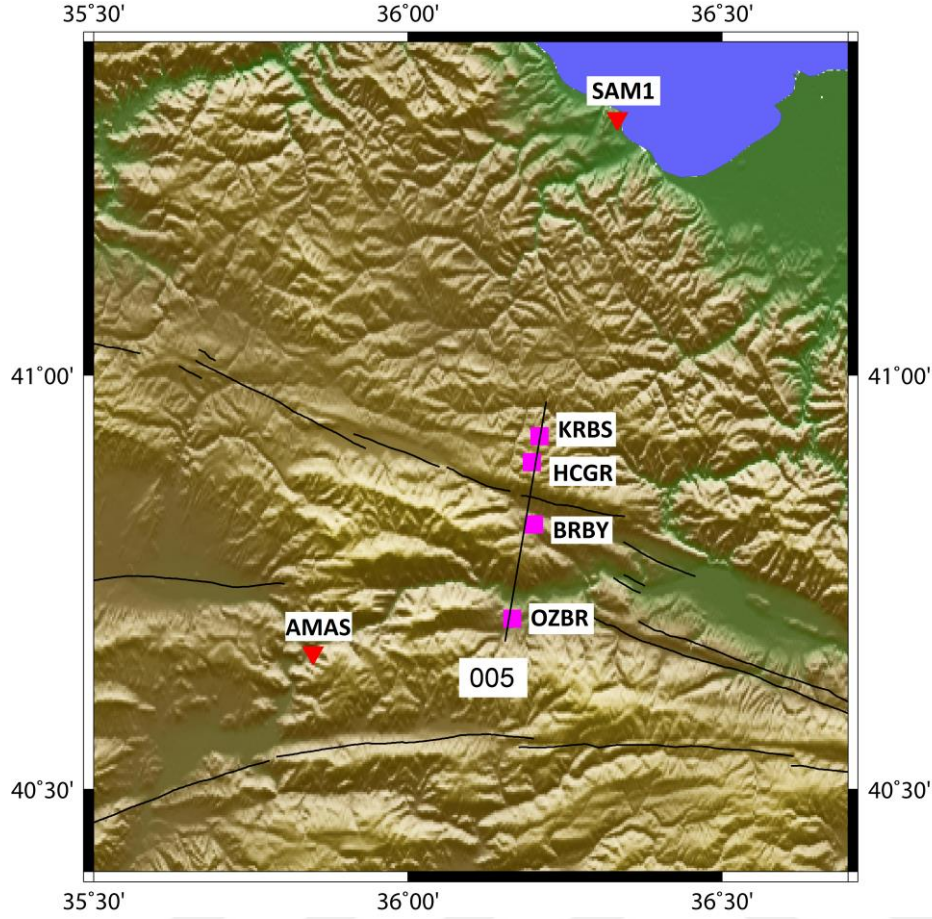
İstasyon konumlarının seçiminde arazi topoğrafyası, ulaşım ve lojistik ile güvenlik açısından uygun yerlerde olması, ayrıca ölçümler sırasında maksimum sayıda GPS

uydusundan veri kaydedilebilmesi, GPS sinyallerini engelleyici orman, yüksek enerji nakil hatları, vb. etkenlerin olmaması göz önüne alınmıştır. İstasyonlar, bu kriterlere uygun yerlerde bulunan ve daha önceden bazı kurum ve kuruluşlarca tesis edilen ve zorunlu merkezleştirmeye imkân tanıyan pilyeler ile sağlam kayaların üzerine bronz şeklinde tesis edilen noktalardan oluşturulmuştur. Bronzlar üzerinde yapılan ölçümlerde ise zincirli GPS jalonları kullanılmıştır.

Oluşturulan 5 profilden dördü İsmetpaşa, diğeri ise Destek segmentinde tesis edilmiştir (Şekil 3.2-3.3). 2014 yılında tesis edilen bütün istasyonlarda ölçümler yapılmış olmasına rağmen, İsmetpaşa’da tesis edilen 2 numaralı profilde bulunan KZDY noktası hasar gördüğünden sonraki kampanyalardan çıkarılmıştır. Bu durum, o profilin güneyinde yer alan TUSAGA-Aktif sabit istasyonunun profile dâhil edilmesinden dolayı değerlendirme sırasında herhangi bir olumsuz etkiye neden olmamıştır.



Şekil 3.2 : Proje kapsamında İsmetpaşa segmentinde tesis edilen profiller (001-1. Profil, 002-2. Profil, 003-3. Profil ve 004-4. Profil) ve profillere ait noktalar (kırmızı üçgenler TUSAGA-Aktif cGPS istasyonlarını göstermektedir) (Yavasoglu et al. 2015).



Şekil 3.3 : Proje kapsamında Destek segmentinde tesis edilen profil (005) ve profile ait noktalar (kırmızı üçgenler TUSAGA-Aktif cGPS istasyonlarını göstermektedir) (Yavasoglu et al. 2015).

Profillerin dışında 2. ve 3. profiller arasında iki istasyon daha (CGCS, SLYE) ölçümlere dâhil edilmiştir. Bu istasyonlar söz konusu profillerdeki değerlendirmelere destek verebilecek konumlardadır. Ayrıca 2 numaralı profilin geçtiği ve KAF ile kesiştiği Hamamlı Köyü'nde bulunan bir pilye de (HMMP) kampanya istasyonlarına eklenmiştir. Buna ilave olarak bütün istasyonlar dört harfle kodlandırılmıştır.

Toplamda 3 periyot olarak planlanan ölçümler, tesis edilen 22 ölçüm istasyonu üzerinde 2014-2016 yılları arasında tamamlanmıştır. İstasyonların 13 tanesi bronz olarak tesis edilmiş, diğer 9 tanesi ise daha önceden tesis edilen pilyelerden seçilmiştir.

Bütün ölçümlerde çift frekanslı GPS alıcıları kullanılmıştır. Örnekleme aralığı 5 saniye olarak seçilmiş; uydu yükseklik açısı ise alıcı antenini etkileyebilecek atmosferik gecikme ve anten faz merkezi gibi değişimleri çalışan diğer bilim insanlarına faydalı olması açısından bütün alıcılarda 5° olarak belirlenmiştir. Ölçümler her bir profil için aynı gün olacak şekilde tamamlanmış ve günlük en az 8 saatlik veri kaydı yapılmıştır.

2014 ve 2015 kampanyalarında istasyon başına 1 gün olarak yapılan ölçümler, son periyotta yeterli lojistik destek sayesinde 2 gün olarak tamamlanmıştır. Anten yükseklikleri pilyeler üzerinde 3 farklı noktadan ölçülerek ortalamaları alınmıştır. Zincirli GPS jalonu kullanılan noktalarda ise doğrudan jalon yükseklikleri kaydedilmiştir. Kullanılan 4 farklı tip GPS alıcısı için anten yükseklikleri, üretici kataloglarındaki bilgilere göre anten ARP noktasından ölçülmüştür veya dönüştürülmüştür. Bütün alıcı antenleri, anten faz merkezi hatasının ölçümlere etkisini minimuma indirgeyebilmek için takribi olarak kuzeye yönlendirilmiştir (Şekil 3.4).



Şekil 3.4 : Proje kapsamında bronz olarak tesis edilen yer noktalarında yapılan ölçümlerde kullanılan GPS jalonu (GPS mast) ve pilye.

2014 yılında yapılan istikşaf ve tesis işlemlerini müteakip ilk kampanya ölçümleri İsmetpaşa segmenti için 23-29 Ağustos tarihleri arasında tamamlanmıştır. 2015 ve 2016 kampanyalarında ise öncelikle tesis edilen bütün istasyonlar kontrol edilmiş, ardından ölçümlere geçilmiştir.

2014 yılındaki kampanya sırasında arazide kullanılan ve pilye olarak tesis edilmiş KZDY noktasının tahrip olduğu anlaşıldığından 2015 ve 2016 yılı kampanya ölçümlerinden çıkarılmıştır. 2014 ve 2015 kampanyaları her bir istasyon ve profil için birer gün ve en az 8'er saatlik gözlemler ile düzenlenmiş; 2016 kampanyasında ise ölçüm süreleri yine her gün en az 8 saat olmak üzere bütün istasyonlar için ikişer güne

çıkarılmıştır. 2015 yılı ölçümlerinde Destek segmentindeki KRBS ve HCGR istasyonlarındaki hatalı veri kaydından dolayı, bu iki istasyon için ölçümler ertesi gün de tekrar edilmiştir.

Bütün istasyonlarda farklı donanım kullanılarak kaydedilen statik ölçüm verileri öncelikle bağımsız veri formatına (RINEX) dönüştürülmüş ve ardından GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiş ve ölçüm istasyonlarına ait hızlar oluşturulmuştur. Sonraki aşamada da bu hızlar TDEFNODE yazılımı ile değerlendirilerek blok hareketleri yorumlanmıştır (Çizelge 3.1-3.7).

Çizelge 3.1 : İsmetpaşa segmentindeki kampanya istasyonları.

Pr. No	Nokta Kodu	İl	İlçe	Yerleşim Yeri	Boylam (°)	Enlem (°)	Tesis Türü
1	BYYY	Karabük	Eskipazar	Büyükyayalar	32.47	40.93	Bronz
	YYLA	Bolu	Gerede	Yayla Köyü	32.45	40.86	Bronz
	DVBY	Bolu	Gerede	Davutbeyli Köyü	32.49	40.80	Bronz
	EREN	Bolu	Gerede	Elören Köyü	32.52	40.80	Bronz
2	YZKV	Karabük	Eskipazar	Yazıkavak Köyü	32.57	40.94	Bronz
	IMLR	Karabük	Eskipazar	İmanlar Köyü	32.59	40.94	Bronz
	HMMP	Karabük	Eskipazar	Hamamlı Köyü	32.65	40.87	Pilye
	KZDR	Çankırı	Çerkeş	Kuzdere Köyü	32.71	40.83	Pilye
A R A	SLYE	Karabük	Eskipazar	Kapaklı Köyü	32.75	40.92	Pilye
	CGCS	Çankırı	Çerkeş	D100 yolu kenarı	32.84	40.82	Pilye
3	BDRG	Kastamonu	Ovacık	Boduroğlu Köyü	32.84	40.97	Bronz
	BYKY	Çankırı	Çerkeş	Beyköy Köyü	32.86	40.93	Pilye
	ORMN	Çankırı	Çerkeş	Orman	32.90	40.90	Bronz
	KDZU	Çankırı	Çerkeş	Kadıözü Köyü	32.93	40.88	Pilye
4	KVKK	Çankırı	Bayramören	Kavak Köyü	33.12	41.02	Bronz
	SRKY	Çankırı	Bayramören	Sarıkaya Köyü	33.17	40.96	Bronz
	CYLC	Çankırı	Kurşunlu	Çaylıca Köyü	33.25	40.92	Bronz
	HMSL	Çankırı	Kurşunlu	Hacımusla Köyü	33.30	40.86	Pilye

Çizelge 3.2 : Destek segmentindeki kampanya istasyonları.

Pr. No	Nokta Kodu	İl	İlçe	Yerleşim Yeri	Boylam (°)	Enlem (°)	Tesis Türü
5	KRBS	Amasya	Taşova	Korubaşı Köyü	36.20	40.92	Bronz
	HCGR	Amasya	Taşova	Hacıgeriç Köyü	36.19	40.89	Bronz
	BRBY	Amasya	Taşova	Borabay	36.20	40.82	Pilye
	OZBR	Amasya	Taşova	Özbaraklı Köyü	36.16	40.70	Pilye

Çizelge 3.3 : Proje kapsamında değerlendirilen TUSAGA-AKTİF istasyonları.

Nokta Adı	İl	İlçe	Enlem (°)	Boylam (°)
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
SAMI	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

Çizelge 3.4 : 2014 yılında yapılan 1.kampanyaya ait GPS ölçüm günleri.

GNSS GÜNÜ	İSTASYON KODU																							
	DVBY	EREN	YYLA	IMLR	YZKV	KZDY	KZDR	HMM	BYYY	BYKY	BDRG	SLYE	ORMN	KVKK	KDZU	CGCS	SRKY	CYLC	HMSL	KRBS	HGGR	OZBR	BRBY	
235	X	X	X	X																				
236					X	X	X	X	X															
237										X	X	X	X											
238														X	X	X	X	X	X					
241																				X	X	X	X	

Çizelge 3.5 : 2015 yılında yapılan 2.kampanyaya ait GPS ölçüm günleri.

GNSS GÜNÜ	İSTASYON KODU																					
	DVBY	EREN	YYLA	IMLR	YZKV	KZDR	HMM	BYYY	BYKY	BDRG	SLYE	ORMN	KVKK	KDZU	CGCS	SRKY	CYLC	HMSL	KRBS	HCGR	OZBR	BRBY
215																			X	X	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												

Çizelge 3.6 : 2016 yılında yapılan 3.kampanyaya ait GPS ölçüm günleri.

GNSS GÜNÜ	İSTASYON KODU																					
	DVBY	EREN	YYLA	IMLR	YZKV	KZDR	HMM	BYYY	BYKY	BDRG	SLYE	ORMN	KVKK	KDZU	CGCS	SRKY	CYLC	HMSL	KRBS	HCGR	OZBR	BRBY
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		X	X							
220						X						X		X	X							

Çizelge 3.7 : Kampanyalar sırasında kullanılan GNSS alıcıları, anten kodları ve statik ölçüm tekniği ile elde edilebilecek konum doğrulukları (Url-5, 6, 7, 8, 9).

GNSS Alıcısı	Anten Bilgileri ve NGS (National Geodetic Survey) Kodları	Yatay Doğruluk	Düşey Doğruluk
Ashtech Z-Extreme	Geodetic IV, Rew A ASH701975.01Agp	5 mm + 1 ppm	10 mm + 1 ppm
Thales Z-Max	Z-Max receiver THA800961+REC	5 mm + 0.5 ppm	10 mm + 0.5 ppm
Spectra Precision	SP80 SPP91564_2	3 mm + 0.5 ppm	5 mm + 0.5 ppm
Spectra Precision	EPOCH 50 SPP68410_10	3 mm + 0.1 ppm	3.5 mm + 0.4 ppm

4. GNSS VERİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada farklı tiplerde GPS alıcıları kullanılmıştır. Her bir alıcının kaydettiği veriler ise üretici firmanın belirlediği formatlarda cihaz hafızalarına kayıt edilmektedir. Ancak verilerin bu ham halleri ile değerlendirilmesi mümkün değildir. Bu nedenle her alıcıdan elde edilen veriler ortak bir formata dönüştürülmüş ve ardından GAMIT/GLOBK akademik yazılımı ile değerlendirilmiştir.

GPS uydularından alınan sinyaller alıcı antenleri tarafından kaydedilir ve ölçüm sonrası ofis çalışmaları (post-proses) için belirlenen ortak bir formata dönüştürülebilir. Faz farkı gözlemleri için elde edilen veriler, genel olarak alıcıdan bağımsız olan RINEX (Receiver Independent Exchange Format) formatına dönüştürülür ve ardından istenen bir yazılımla değerlendirilebilir (Yavaşoğlu 2009, Aladoğan 2017). Bu çalışmada her bir alıcının üretici firması tarafından geliştirilen ve Windows tabanlı işletim sistemlerinde de çalışabilen yazılımlar kullanılarak bütün ham veriler RINEX formatına dönüştürülmüştür.

GPS üretici firmalarından bazıları bu verilerin değerlendirilebilmesi için farklı yazılımlar geliştirmişlerdir. Ticari amaçlı bu yazılımlar temel mühendislik çalışmalarında kullanılabilirle beraber tektonik blok hareketleri ve deformasyon belirlenmesi gibi çalışmalarda istenen doğruluğu sağlayamayabilir. Bu nedenle bu amaçla yapılan değerlendirmelerde GAMIT/GLOBK, BERNESE, GIPSY, PAGE5, vb. akademik yazılımlar kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız 2009, Yavaşoğlu 2009).

Bu çalışmada ölçüm istasyonlarına ait hız vektörlerinin üretilebilmesi için tercih edilen akademik yazılım GAMIT/GLOBK'dir. MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilen yazılım temel olarak iki alt modülden oluşmaktadır. İlk olarak GAMIT modülü ile RINEX formatındaki GPS gözlem verileri değerlendirilir. Ardından GLOBK yazılımı ile GAMIT tarafından üretilen ve farklı epoklar için elde edilen verilere Kalman filtresi uygulanır ve çözümler ve sonuç çıktıları kullanıcı isteğine göre şekillendirilebilir (King&Bock 2002, Herring et al. 2015a, Yavaşoğlu 2009).

4.1 GAMIT

Unix tabanlı işletim sistemlerinde çalışan yazılım, HUAM (Ham Uydu Alıcı Mesafesi) ve faz gözlemlerini kullanarak istasyonlara ait 3 boyutlu koordinat verileri ile atmosferik gecikmeleri, uydu yörüngelerini ve dünya dönüklük parametrelerini kestirmek için tasarlanmıştır. Faz belirsizliklerinin çözümü içinse ikili farklar yöntemi kullanılmaktadır (Herring et al. 2015).

İlk aşamada uydu saat ve yörünge verileri elde edilir ve her bir noktada kaydedilen ve RINEX formatına dönüştürülmüş dosyalardaki yaklaşık koordinatlar ve HUAM verileri de kullanılarak istasyon saat düzeltmeleri hesaplanır. Ardından da ikili farklar yöntemi ile istasyonlardaki devir kesiklikleri düzeltilir ya da ortadan kaldırılır (Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012).

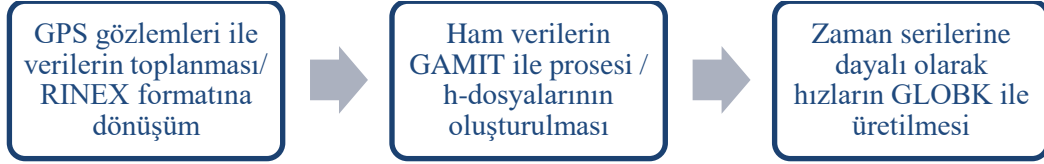
Yazılım bu aşamadan sonra öncül değerlere göre dengeleme işlemi uygular. Bunun sonucunda istasyonlara ait üç boyutlu koordinatlar, atmosferik gecikme parametreleri ve her bir ikili istasyon çifti için faz belirsizlikleri hesaplanır. Ardından uydulardan gelen sinyallerdeki dalga boyundaki faz farkına en yakın tamsayıyı belirleyebilmek için ikinci bir dengeleme işlemi daha uygulanır. Son bir dengeleme daha yapılarak ikili farkların iyonosferik etkilerden arındırılmış bütün parametrelerinin kestirimi yapılır (Özbey 2017).

4.2 GLOBK

GAMIT modülü ile elde edilen veri sonuçları GLOBK modülü için girdi dosyaları olarak kullanılır. GLOBK, temel olarak uzay ve yersel ölçüm veri kombinasyonlarına Kalman filtrelemesi uygulanması amacıyla geliştirilmiştir. Yazılımın girdi verileri olarak GAMIT sonuç dosyalarındaki istasyonların koordinatları, uydu hassas yörünge verileri ve yer dönüklük parametrelerini içeren kovaryans matrisleri kullanılmaktadır. Sonuç çıktısı olarak da bir istasyonda yapılan çok zamanlı (birden fazla günü içeren) ölçümlerden koordinat kestirimini elde edilebilmektedir. Ayrıca farklı epoklarda yapılan ölçümlerden herhangi bir istasyona ait hız vektörünün tahmini ve gün aşırı ya da yıl aşırı zaman serisine açılımını da hesaba katarak bağımsız bir şekilde koordinat hesaplamalarını da yapmak için geliştirilmiştir (Herring et al. 2015b) (Şekil 4.1).

Kalman filtreleme tekniği GPS ölçümleri gibi çok sayıda veri içeren sonuçların kestirimi için kullanılan bir yöntemdir. Bu filtreleme yöntemi, ölçüm sonuçları

içerisinde hatalı verilerin olduğunun bilindiği durumlarda ve sistemin stokastik modelinin belirlenebildiği veri kümelerine uygulanabilir. Bu yöntem sayesinde ilerideki bir zamana ait hız vektörünün kestirimi ve stokastik modelin tanımlanması mümkündür. GLOBK, bilinen ve hatalı veri dâhi içeren GPS gözlemleri sonuçlarına göre bu parametrelerin kestirimi için kullanılır (Tiryakioğlu 2012).



Şekil 4.1 : GAMIT/GLOBK yazılımında genel işlem aşamaları (Url-12).

4.3 GPS Verilerinin Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında 2014-2016 yılları arasında yapılan 3 ölçüm kampanyasına ait veriler ilk aşamada GAMIT yazılımı ile değerlendirilmiştir. Bunun için öncelikle istasyonlara ait veriler RINEX formatına dönüştürülmüş ve girdi verisi olarak hazırlanmıştır.

GAMIT kullanıcı ara yüzü olmayan bir yazılımdır. Bunun için girdi verilerin manuel olarak hazırlanması ve ardından terminal satırından gerekli komutun çalıştırılması gereklidir. Proses öncesinde istasyonlara ait RINEX verilerinin haricinde kullanıcı tarafından iki farklı dosya daha hazırlanmaktadır. Ardından bu dosyalar projeye ait oluşturulan bir klasörün içerisine yüklenir ve GAMIT proses aşamalarına geçilir.

GAMIT girdi verilerinden “station.info” dosyasında proste kullanılacak bütün sabit istasyonlar (IGS ve TUSAGA-AKTİF) ve kampanya istasyonları tanımlanmaktadır. Bu dosyada istasyonlara ait 4 harfli kod isimler, GPS gözlem başlangıç ve bitiş saatleri ile tarihi, arazideki loglara kaydedilen anten yükseklikleri ile o istasyonda kullanılan anten ve alıcı tipleri verileri manuel olarak eklenir. İkinci dosya ise “sites.defaults” dosyasıdır. Bu dosya içerisinde stabilizasyon için kullanılan global istasyon isimleri girilir (Çizelge 4.1). Bu istasyonlar ile de mevcut ölçüm ağının global bir koordinat sistemine bağlantısı, küresel ölçekte sürekli ölçüm yapılan IGS istasyonları ile yapılabilmektedir (Tiryakioğlu 2012).

GAMIT prosesinin ardından her bir güne ait veri dosyaları oluşturulur. Bu klasörler içerisinde ise q- dosyaları da GAMIT tarafından düzenlenir. Bu dosyalarda kontrol edilecek ilk değer olan nrms (normalized root mean square) değeri 0.15-0.25 arasında

olması gerekir. Bu durumda kullanıcı tarafından oluşturulan modelin doğruluğu test edilebilir. Dosyada bununla beraber istasyonlara ait koordinat verileri, yer dönüklük parametreleri ve uydu yörünge bilgilerine ait kısıtlar da bulunmaktadır (Herring et al. 2015b, Aladoğan 2017).

Çizelge 4.1 : GAMIT prosesi sırasında “sites.defaults” dosyasına tanımlanan IGS istasyonları.

İstasyon	Şehir/Ülke
ANKR	Ankara/Türkiye
BUCU	Bükreş/Romanya
CRAO	Simeiz/Ukrayna
MATE	Metara/İtalya
ONSA	Onsala/İsviçre
SOFI	Sofya/Bulgaristan
TEHN	Tahran/İran
TELA	Telaviv/İsrail
TUBI	Kocaeli/Türkiye
WZTR	Koetzing/Almanya
ZECK	Zelenchukskaya/Rusya

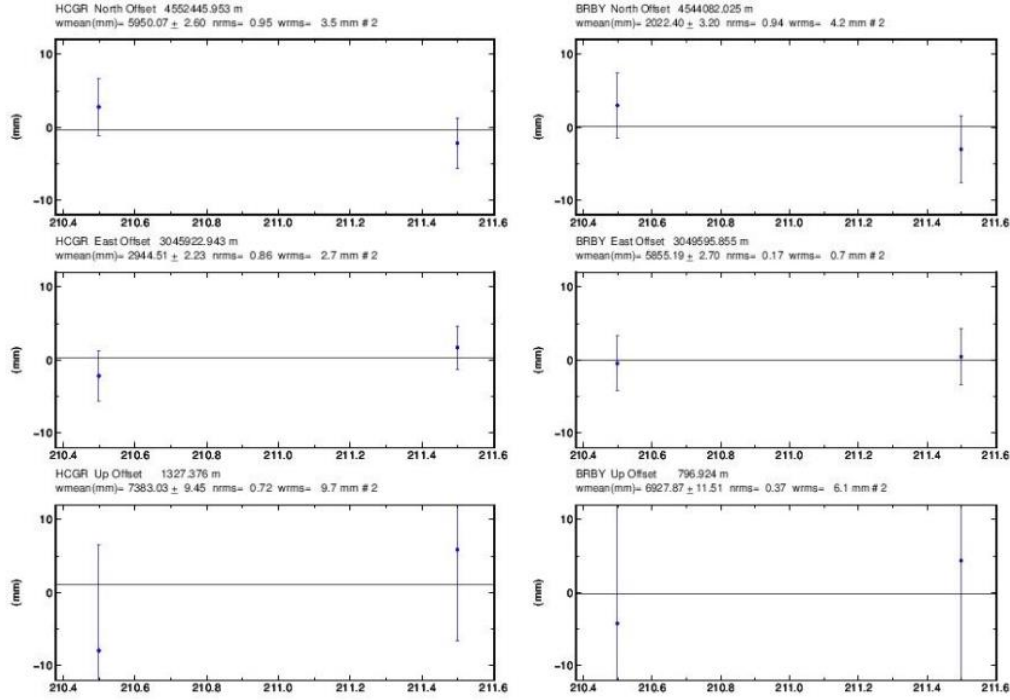
Bu sonuçlara göre ilk aşamada tanımlanan verilerin kontrolü sağlanmıştır. Bir sonraki aşamada GLOBK modülü için girdi dosyası olarak kullanılacak olan h- dosyalarının üretilmesine geçilir. Bu dosyalarda her bir istasyona ait günlük ve yıllık tekrarlılıklar, yani zaman serileri bulunmaktadır. Günlük tekrarlılıklar, o istasyona ait gün aşırı ya da yıl aşırı verilerin tutarlılığının kontrolü için kullanılmaktadır. Yani aynı istasyonda farklı günlerde yapılan ölçümlerin yorumlanması için tekrarlılıklar kullanılır. Her bir istasyon için oluşturulan h- dosyalarındaki grafikler ve normalize edilmiş karesel ortalama hata (nmrs) ile ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata (wrms) değerleri incelenerek nokta konum bileşeni ve belirsizlikleri de incelenerek yorum yapılabilir (Çizelge 4.2). Buradaki veriler için sınır değerler teorik olarak tanımlanmıştır. Değerlendirmesi yapılan ve sürekli ölçüm yapılan sabit istasyonlarda (TUSAGA-AKTİF, vb.) yatayda wrms değerinin 1-2 mm, düşeyde 2-4 mm olarak hesaplanması beklenmelidir. Kampanya tipi ölçüm yapılan noktalarda ise bu değerler yatay da 2-4 mm, düşeyde ise en fazla 10-15 mm olmalıdır (Tiryakioğlu 2012, Herring et al. 2015b) (Şekil 4.2-4.3). Burada oturum süresi ile wrms değeri arasında doğrudan bir ilişki de bulunmaktadır. Ölçüm süresinin kısa olması wrms değerinin yüksek olmasına neden olabilir (Özbey 2017). Bütün istasyonlara ait oluşturulan h- dosyaları bir sonraki aşamada GLOBK modülü için girdi olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 4.2 : GAMIT prosesi sonucu her bir ölçüm gününe ait elde edilen nrms değeri.

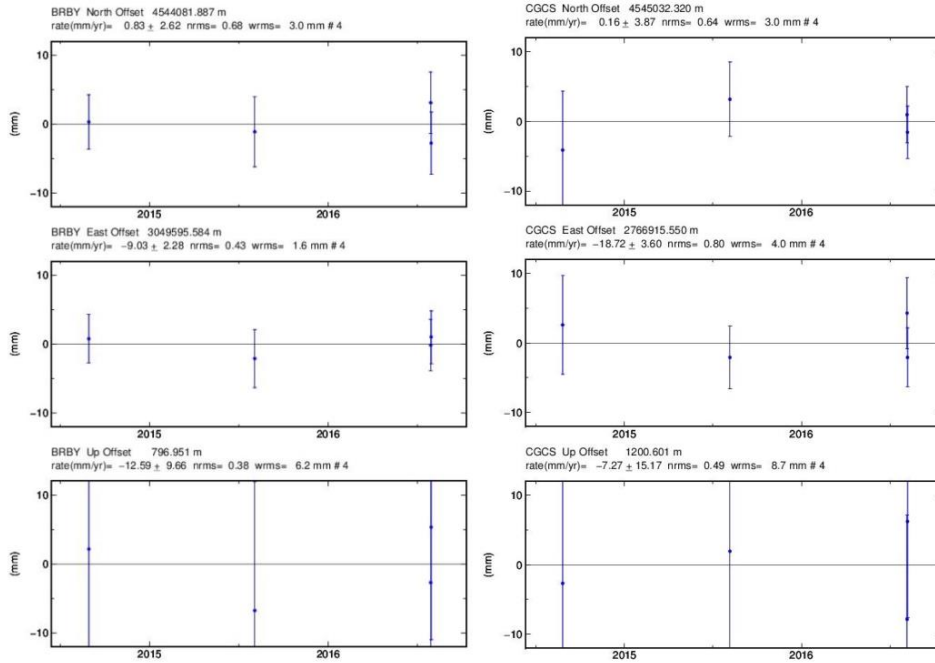
Yıl	Gün	nrms	Yıl	Gün	nrms
2014	235	0.17917	2016	210	0.17703
	236	0.17552		211	0.17574
	237	0.17759		213	0.17661
	238	0.17923		214	0.17579
	241	0.1768		215	0.17453
2015	215	0.17409		216	0.17596
	216	0.17249		217	0.17512
	217	0.17296		218	0.17397
	218	0.17486		219	0.17327
	219	0.17015		220	0.17518
	220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

GAMIT prosesi ile elde edilen h- dosyaları her bir istasyona ait hız vektörlerinin hesaplanması için kullanılmaktadır. GLOBK modülünde Kalman filtreleme tekniği ile yapılan değerlendirme sonucu zaman serisine göre istasyon koordinatları üretilmektedir. Üretilen zaman serileri çizimleri farklı zaman ölçeklerine göre incelenip, istasyonlara ait belirgin hatalar görünen ölçüm epokları değerlendirmeden çıkarılabilir. Kalman filtrelemesi ile yapılan analizde, ileri ve geri çözüm hataları her istasyona ait zaman serileri boyunca dağıtıldığı için bütün verilerin dikkatli bir şekilde yorumlanması gerekir (Herring et al. 2015a, Aladoğan 2017). Çalışma kapsamında 3 epok için üretilen tekrarlılıklarda ölçümlere ilişkin belirgin bir hatanın olmadığı anlaşılmıştır. Bütün ölçüm istasyonlarına ait tekrarlılık grafikleri Ek C'de sunulmuştur.

Her istasyonda yapılan ölçümlere ait h- dosyaları GLOBK aşamasında zaman serilerine bağlı tek bir dosya haline getirilir. Burada istasyon verileri herhangi bir referans sisteminden bağımsız olarak birleştirilir. Ardından bu veriler bütün ölçüm periyotları için ve bütün istasyonların hızlarının kestirimi için kullanılır. Bu aşamada kullanıcı tarafından tanımlanan referans koordinat sistemi ve kısıtlara göre sonuçlar elde edilir. GLOBK ile yapılan en önemli adım stabilizasyon ise aşamasıdır. Bu aşamada ölçüm istasyonlarına ait hızlar, teorik olarak daha önce belirlenmiş olan tektonik plaka istasyonlarının referans sistemine göre yeniden hesaplanır. Global ölçekte yapılan stabilizasyondan başka, kullanıcı bölgesel olarak bu işlemi yaparak istasyonların birbirlerine göre rölatif hızlarını belirlemek için de kullanabilir (Tiryakioğlu 2012, Herring et al. 2015a).



Şekil 4.2 : HCGR ve BRBY noktalarında 2016 yılında yapılan 2 günlük ölçümlere ait tekrarlılık grafikleri. Grafiklerdeki her bir nokta, sırasıyla o istasyona ait kuzey, doğu ve düşey yöndeki konum bileşenini, her bir dikey çizgi ise o istasyona ait konum belirsizliğini göstermektedir.



Şekil 4.3 : BRBY ve CGCS noktalarında 2014-2016 yılları arasındaki bütün ölçüm günlerine ait tekrarlılık grafikleri.

Çalışma kapsamında global stabilizasyon tercih edilmiştir. Bunun için Avrasya tektonik bloğu doğal olarak sabit kabul edilmiş ve bu bloğu temsil edebilecek

istasyonlar stabilizasyonda kullanılmıştır (Çizelge 4.3). Bu değerlendirme için seçilen istasyonlar, GAMIT prosesi aşamasında da kullanılan ancak zaman serilerine bağlı tekrarlılıkları incelendiğinde yatay konum bileşeni için wrms değeri 1-2 mm, nrms değeri ise 1 mm olan noktalardan seçilmiştir. Ayrıca daha önce yapılan tektonik amaçlı çalışmalarda stabilizasyon için kullanılan noktaların tercih edilmesine çalışılmıştır. Sonuçlar ise ITRF08 referans koordinat sistemine göre üretilmiştir.

Proses sonrasında Avrasya bloğu için dengeleme sonrası RMS değeri 0.7 mm/yıl olarak bulunmuştur. Bu sonuç stabilizasyon için tercih edilen istasyonların istenen nrms (1 mm) değerine uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 4.3 : GLOBK stabilizasyonu için kullanılan ve Avrasya bloğu üzerinde yer alan istasyonlar

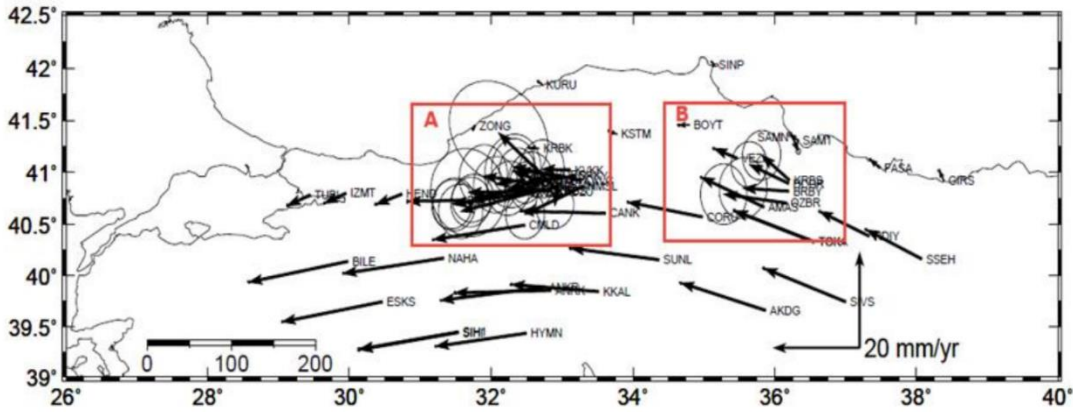
İstasyon	Şehir/Ülke	İstasyon	Şehir/Ülke
BUCU	Bükreş/Romanya	SOFI	Sofya/Bulgaristan
CRAO	Simeiz/Ukrayna	TEHN	Tahran/İran
MATE	Matera/İtalya	WZTR	Koetzting/Almanya
ONSA	Onsala/İsviçre	ZECK	Zelenchuskaya/Rusya

4.4 GAMIT/GLOBK Sonuçları

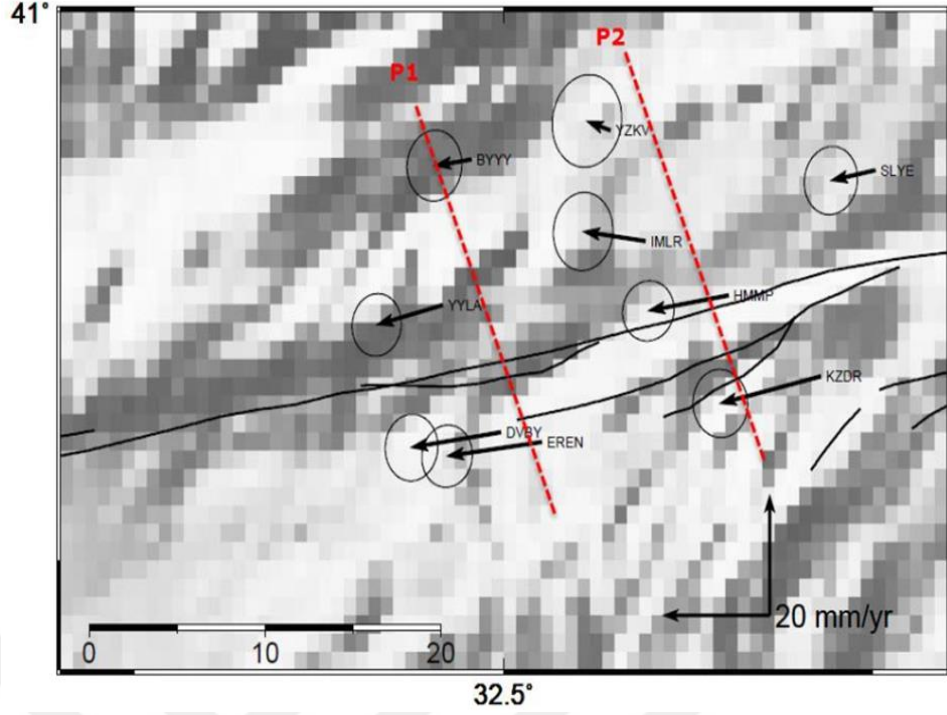
Bütün veriler GAMIT/GLOBK yazılımı değerlendirilmiş ve kampanya istasyonları ile beraber, çalışma bölgesine yakın konumlarda bulunan TUSAGA-AKTİF istasyonlarının hızları; Avrasya plakası sabit alınarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.4). Bütün ölçüm epokları için hesaplanan verilerden istasyonlara ait toplam 2 periyoda ait yıllık hızlar hesaplanmış ve GLOBK hız sonuçları GMT (The Generic Mapping Tools) yazılımı ile çizdirilmiştir (Şekil 4.4-4.7). Bu sayede noktalara ait hız vektörlerinin görsel olarak değerlendirilmesi de mümkün olmuştur.

Çizelge 4.4 : Avrasya levhası sabit alınarak hesaplanan istasyon hızları.

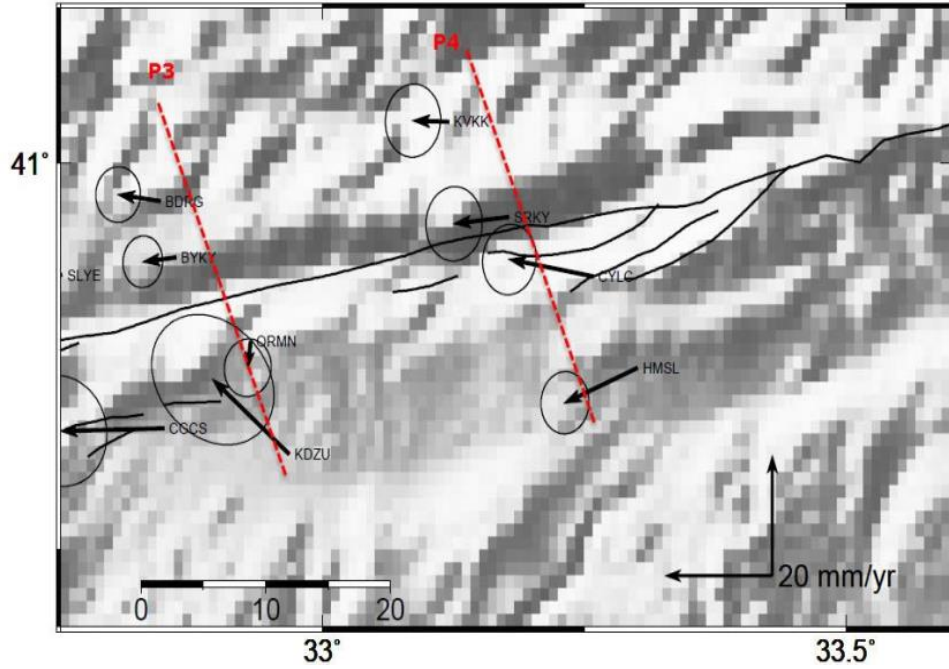
Nokta No	Hız (mm/yıl)		Hata miktarı		Nokta No	Hız (mm/yıl)		Hata miktarı	
	V _{DOĞU}	V _{KUZEY}	V _{DOĞU}	V _{KUZEY}		V _{DOĞU}	V _{KUZEY}	V _{DOĞU}	V _{KUZEY}
AKDG	-19.5	5.7	0.1	0.1	KDZU	-14.1	12.3	4.6	4.4
AMAS	-14.5	6.2	0.1	0.1	KKAL	-20.1	1.5	0.1	0.1
ANRK	-22.1	-0.5	0.1	0.1	KRBK	-2.3	0.1	0.1	0.1
BDRG	-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



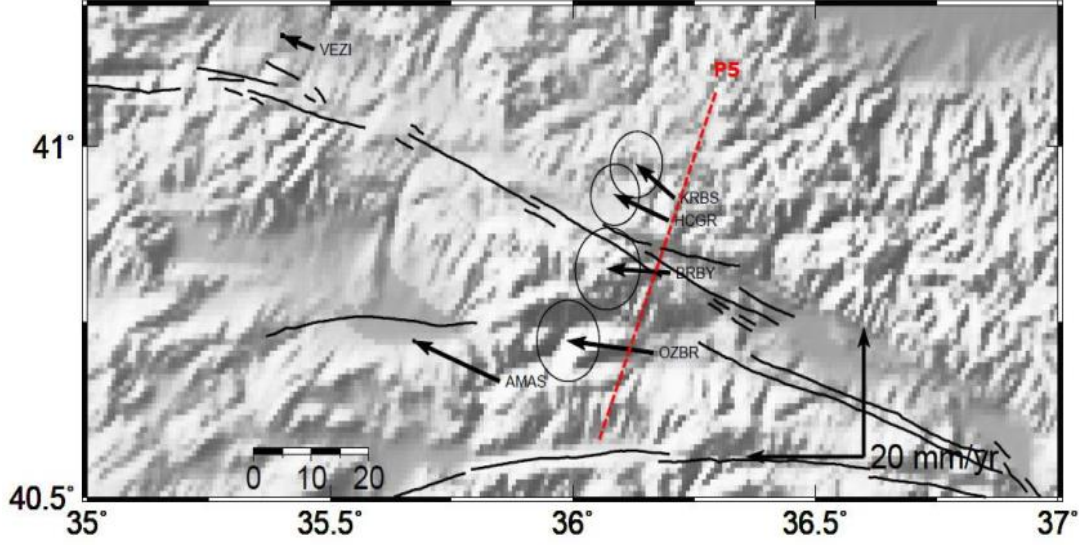
Şekil 4.4 : Avrasya levhası sabit kabul edildiğinde, GLOBK değerlendirmesi sonucu elde edilen hız alanları. A) İsmetpaşa segmenti, B) Destek segmenti (Aladoğan vd. 2017).



Şekil 4.5 : İsmetpaşa segmentindeki 1.ve 2.profiller için hesaplanan hızlar (kesikli kırmızı çizgiler çalışma öncesi faya dik olarak tasarlanan profilleri göstermektedir) (Aladoğan vd. 2017).



Şekil 4.6 : İsmetpaşa segmentindeki 3.ve 4.profiller için hesaplanan hızlar (kesikli kırmızı çizgiler çalışma öncesi faya dik olarak tasarlanan profilleri göstermektedir) (Aladoğan vd. 2017).

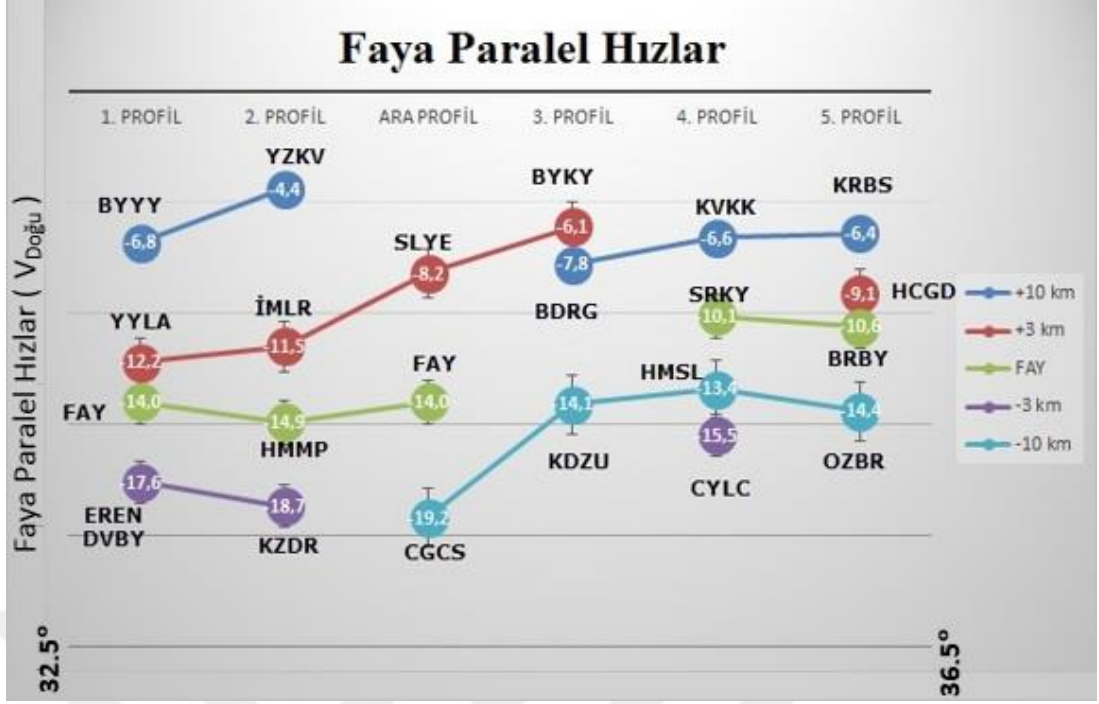


Şekil 4.7 : Destek segmentindeki profil için hesaplanan hızlar (kesikli kırmızı çizgi çalışma öncesi faya dik olarak tasarlanan 5 numaralı profili göstermektedir) (Aladoğan vd. 2017).

Bu sonuçlar fayın en kuzeyindeki istasyonlar için (~10 km) hızlar batıya doğru 4.4-7.8 mm/yıl aralığındadır. Fayın kuzeyindeki diğer istasyonlar içinse (~3 km) hızlar yine batıya doğru 6.1-12.2 mm/yıl şeklinde bulunmuştur. Fayın güneyindeki bütün istasyonlar içinse hız vektörleri batıya doğru olmak üzere 13.4-19.2 cm/yıl şeklindedir (Şekil 4.8). Bu durum, Anadolu levhasının Avrasya levhası sabit olarak kabul edildiğinde batıya doğru hareket ettiği varsayımını doğrulamaktadır.

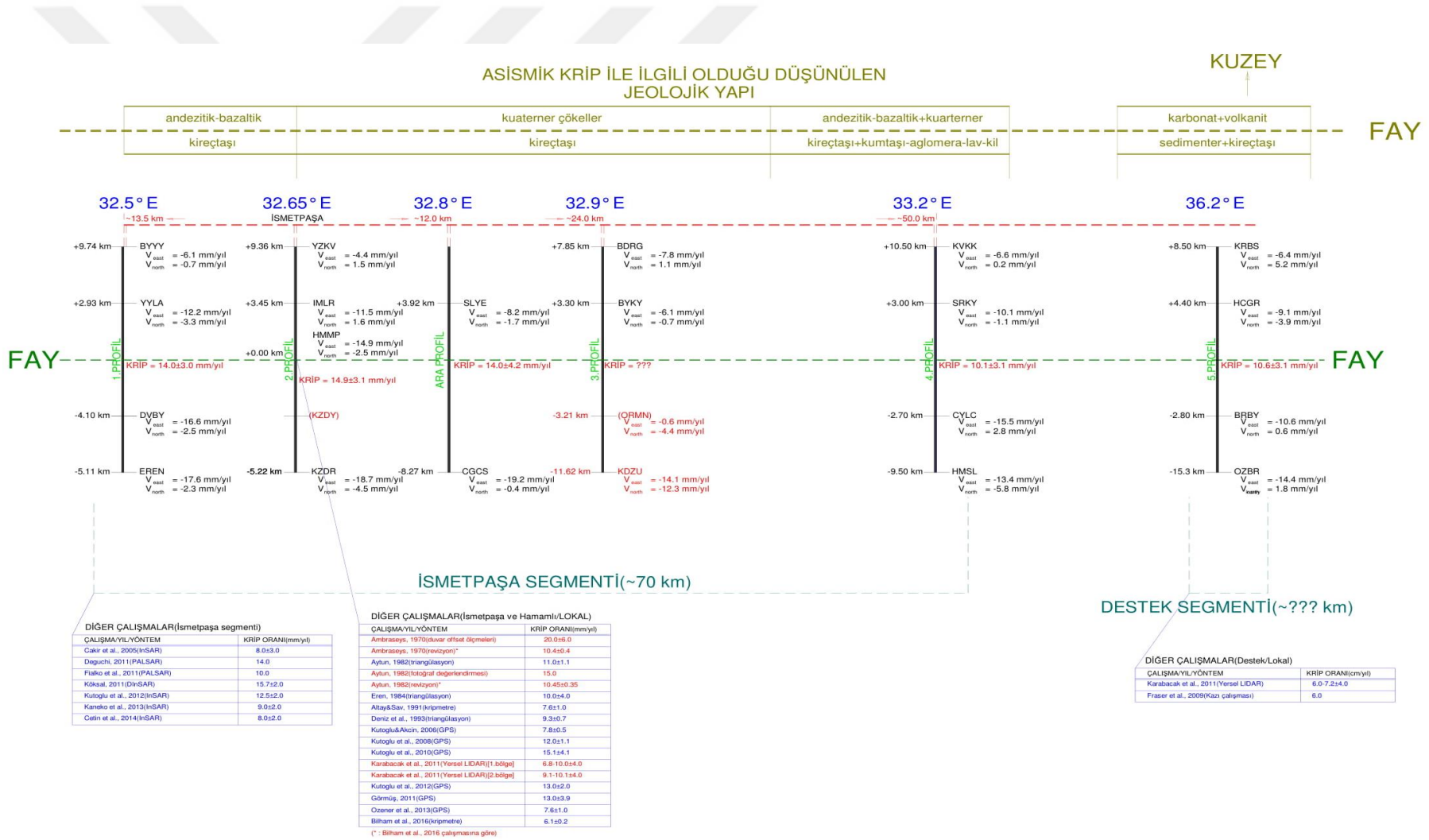
3.profildeki BYKY istasyonunda, batıda ve faya aynı dik uzaklıktaki noktalara göre hareketin daha yavaş olduğu gözlenmektedir. BYKY istasyonuna ait tekrarlılık grafiklerinde, 3.periyod ölçümleri için noktaya ait kuzey ve doğu offsetlerinde trende aykırı bir hareket göz çarpmaktadır. Bu durum bölgede lokal bir hareketin varlığına işaret edebilir. Aynı şekilde 3.profilin en güneyindeki KDZU istasyonunda da trend dışı bir hareket görülmediğinden; bu bölgede de lokal bir hareketin varlığından söz edilebilir.

3.profilde KDZU istasyonunun kuzeyindeki ORMN noktasında ise bölge için hesaplanan vektörlerden daha farklı bir trend gözlenmekte ve güney doğrultusunda bir hareket göze çarpmaktadır. ORMN noktası için tekrarlılık grafikleri incelendiğinde, trend dışı hareket görülmektedir. Bu da o bölgede lokal deformasyon olabileceğine işaret edebilir.



Şekil 4.8 : GAMIT/GLOBK sonuçlarına göre, fay boyunca oluşturulan GNSS ağındaki istasyonlara ait hızlar.

Hem İsmetpaşa, hem de Destek segmentinde yapılan çalışmalar, bölgenin jeolojik yapısı ve bu çalışma kapsamında GAMIT/GLOBK hızlarına göre kestirilen asismik krip hızları Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 : İsmetpaşa ve Destek segmentlerindeki jeolojik durum, GAMIT/GLOBK sonuçlarına göre hesaplanan istasyon hızları, profiller boyunca kestirilen krıp oranları, segmentlerin yaklaşık uzunlukları ve geçmişte yapılan çalışmalar (Akbaş vd., Cetin et al. 2014).

5. BLOK MODELLEME

Tektonik plaka ya da blok hareketleri, blok sınırlarındaki faylar üzerinde bazı değişikliklerin gözlenmesine neden olmaktadır. Temel olarak bu hareketler deprem olarak ortaya çıkmaktadır. Fay sınırlarındaki kayaçlar, depremlerden sonra eski durumlarına ya da konumlarına geri dönerler. Bu hareketler “Elastik Geri Dönme” (elastic rebound) teorisi kapsamında değerlendirilebilir (Reid 1910).

Fay boyunca görülen ve bir döngüye sahip bu kayma hareketi, fayların en karakteristik özelliğidir ve “fay kayma oranı” (fault slip rate) ile de tanımlanabilir. Bu oran blokların birbirine göre rölatif hareketini açıklamak için kullanılmaktadır. Bu oranı bulabilmek için birkaç yöntem mevcut olup; blok sınırlarındaki belirgin bazı jeolojik yapıların (kaya, nehir, vb.) belirli bir periyod içerisindeki hareketinin yıllık yer değiştirme miktarından yola çıkılarak yapılan hesaplamalar (jeolojik fay kayma oranı) ile özellikle GPS ile yapılan gözlemler ile de bu oran belirlenebilir. Genel olarak fay boyunca yer alan spesifik noktalarda zaman içerisinde belirlenen yer değiştirme miktarları ile fay kayma oranı belirlenebilir. Yani temel olarak bölgede yapılan çeşitli zaman aralıklarındaki ölçümlere ait sonuçlar birbirleri ile kıyaslanarak kayma oranları hesaplanabilir (McCaffrey 2002, Yavaşoğlu 2009, DiZio 2016, Kaduri et al. 2017).

Projenin önceki aşamalarında yapılan çalışmalar ve GAMIT/GLOBK sonuçları, bölgedeki ölçüm istasyonlarının yıllık hareketlerini gözlemlemek ve yorumlamak için kullanılmaktadır. Ancak, ölçüm istasyonlarını içeren ve faya sınır olan komşu plakaların birbirlerine göre hareketini daha iyi anlayabilmek için blok modelleme ile sonuçların değerlendirilmesi gereklidir. Bu aşamada blok modelleme için TDEFNODE programı kullanılmıştır (McCaffrey 2009).

5.1 TDEFNODE

TDEFNODE, Rob McCaffrey tarafından geliştirilmiş ve Fortran programlama dili ile oluşturulmuş bir yazılımdır. Kullanıcı arayüzü olmayan yazılım Unix tabanlı işletim sistemlerinde çalışabilmektedir. Girdiler GAMIT/GLOBK yazılımında olduğu gibi manuel olarak oluşturulmakta, sonuç dosyalarına ait veriler incelenerek

yorumlanmaktadır. Yazılım yine GLOBK'da olduğu gibi GMT betiklerini kullanarak çalışma alanına ait hesap ve ölçüm hız vektörlerinin çizimini yapabilmektedir.

Bu yazılım ile;

- Blok sınırlarındaki kayma hareketlerinin bölgedeki değişimi,
- İntersismik ya da kosismik dönemdeki blokların birbirine göre rotasyonları,
- Blok içi gerilme oranları

hesaplanabilmektedir. Yazılım temel olarak Okada (1985)'deki temel eşitlikleri kullanarak sonuçları üretmektedir (Okada 1985, McCaffrey 2009, Yavaşoğlu 2009).

Yazılımın temel girdi verileri GPS hızları, blok ve fay geometrileri ile Euler kutup değerlerinden oluşmaktadır. Yeryüzünün gerçek durumu elastik bloklar şeklinde tanımlanmakta ve Euler kutbu etrafındaki rotasyonları sonucu elastik deformasyona uğradığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Yazılımın bir diğer özelliği değerlendirilen tektonik bloklardan birinin sabit olarak kabul edilmesidir. Bu durum yazılım girdi çıktılarında referans blok tanımlaması ile sağlanmaktadır. Böylelikle bir elastik yarı-uzay modeli oluşturulmakta ve proses yapılacak veri yükü azalmaktadır. Yarı-uzay modellemesi, prosese dâhil edilen bloklardan biri üzerinde gerinim ve yüzey kuvvetlerinin sıfır olduğu varsayımına dayanmaktadır (McCaffrey 2002, Aktuğ 2006, Yavaşoğlu 2009, Çakmak 2010).

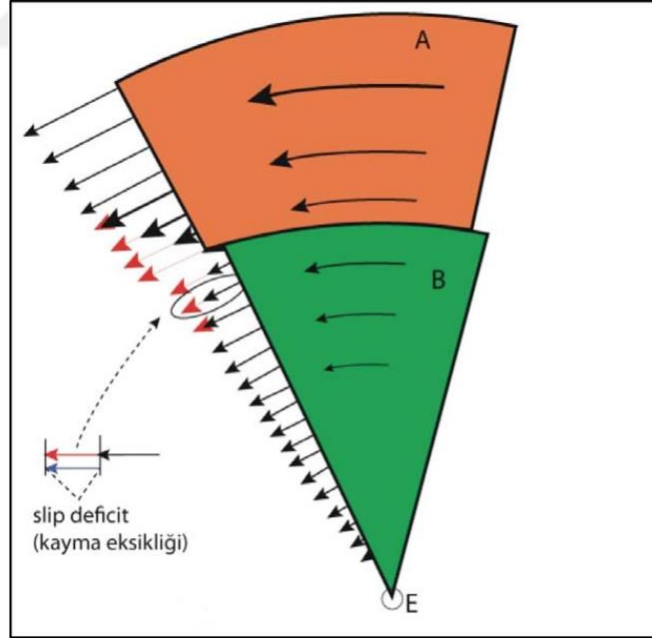
Yazılımın temel girdi verileri GPS hızları (GAMIT/GLOBK sonuçları), blok ve fay geometrileri ile Euler kutup değerlerinden oluşmaktadır. Bunun yanı sıra InSAR (Interferometric Synthetic-Aperture-Radar) verilerini de değerlendirip bloklar arası elastik deformasyonu hesaplayabilmektedir. Yeryüzünün gerçek durumu yarı elastik uzay içerisinde sınırları belirgin bloklar şeklinde tanımlanmakta ve Euler kutbu etrafındaki rotasyonları sonucu elastik deformasyona uğradığı kabul edilerek hesaplamalar yapılmaktadır. Euler kutbu üç boyutlu bir yüzeyde tektonik blokların hareketlerini açıklayan bir kuramdır. Buna göre bloklar belirli bir merkez nokta (kutup) etrafında dairesel dönme hareketi gerçekleştirmektedir. Bu nokta "Euler kutbu" olarak tanımlanmıştır (Yavaşoğlu 2009, Url-13).

Yazılım temel olarak 2 aşamalı bir prosedür izlemektedir. İlk aşamada GPS verilerini kullanarak bir hız alanı oluşturulmakta ve fay boyunca kayma oranları hesaplanmaktadır. Burada temel varsayım blok sınırlarındaki fay düzleminin tamamen serbest kayma hareketi yapmakta olduğudur. Sonraki aşamada ise bu yaklaşım yeryüzünün gerçek durumunu yansıtabilmek için değiştirilmektedir. Zira aslında

yeryüzündeki faylar kısmen ya da tamamen kilitli durumdadır. Özellikle asismik krip gözlenen bölgelerde fayların tamamen kilitli olmadığı, bazı durumlarda sismojenik tabakanın en altına kadar; bazı durumlar da ise yeryüzünden belirli derinliklere kadar kilitli olduğu bilinmektedir (Kutoglu et al. 2006, Yavasoglu et al. 2015).

Bu aşamada değişen varsayıma göre blokların birbirlerine göre rölatif hareketleri hesaplanabilmektedir. Yazılım, hem tamamen kilitli; hem de kısmen ya da tamamen serbest kayma hareketi (asismik krip) gözlenen fay düzlemleri için kullanılabilir. Bunun için temel olarak fay düzlemi için (0-1) arasında bir değer tanımlanabilir. (0) fayda tamamen serbest kayma hareketi olduğunu, (1) ise fayın tamamen kilitli olduğunu temsil eder (McCaffrey 2002).

Bloklar, kendi iç bölgelerinde jeodezik olarak belirlenen hızlarda hareket edebilirler; ancak blok sınırlarında durum farklıdır. Bu bölgelerdeki sürtünmeden dolayı fay zonlarında blok hareketleri sınırlı ya da tamamen sönümleniyor olabilir, yani beklenen blok hızları bu bölgelerde gözlenmeyebilir. Aradaki hız farkı ise kayma eksikliğini ifade eder, yani blokların gerçekte hareket ettikleri hızla fay sınırlarındaki hız arasındaki fark deformasyon birikimine işaret edebilir (Çakmak 2010) (Şekil 5.1).

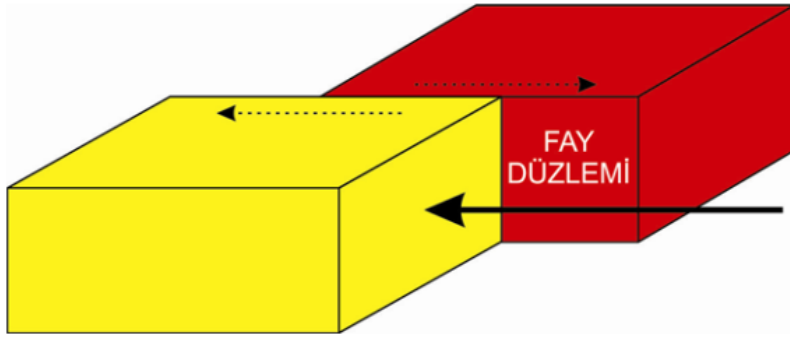


Şekil 5.1 : Komşu tektonik blokların olağan hareketleri ile fay zonlarındaki hız farklılıkları. Bu zondaki kayma hızlarının blok hızlarından farkı gerinim birikimine neden olmaktadır (Çakmak 2010).

TDEFNODE ile prosese başlamadan önce blok sınırları, fay sınırları ve parametrelerinin belirlenmesi gereklidir. Bunun için KAF'ın çalışma bölgesindeki

yapısını gözden geçirilmeli ve buna uygun parametre tahminleri başlangıçta ortaya konmalıdır.

Tektonik blokların bir fay düzlemi boyunca hangi yöne hareket ettiği fay parametrelerinin belirlenmesi için önemlidir. Bu hareketin kestirimi ise komşu bloklardan herhangi birinin üzerinde durulduğunda karşı bloğun hangi yöne doğru hareket ettiğine göre yapılır (Şekil 5.1). Bu tanıma göre KAF doğrultu atımlı bir faydır ve sağ yönlüdür. Fayın her iki yakasındaki bloklar sadece yatayda konum değiştirmekte; bu da düşey hareketin ihmal edilebilir olduğunu göstermektedir. Anadolu bloğunun Avrasya bloğuna göre yaklaşık 20 mm/yıl batıya doğru kaydığından hareketle, yapılan bu tanımlamalar GAMIT/GLOBK ile belirlenen hızlardan düşey bileşenin TDEFNODE proseslerinde kullanılmayacağı anlamına gelmektedir (Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012).



Şekil 5.2 : Sağ yönlü ve doğrultu atımlı faylardaki temel hareket yönleri (Tiryakioğlu 2012).

Bu parametreler yazılıma bir kontrol dosyası ile tanımlanmaktadır. Bu dosyada blok sınırları ve fay yüzey koordinatlarının yanı sıra fay düzlemi yapısı da kullanıcı tarafından girilmektedir. Bu düzlem temel olarak düğüm noktalarından (node) oluşturulmakta, fayı alt parçalara bölmekte ve fayın gerçek arazi durumunu temsil ettiği varsayılmaktadır. Hem blok sınırları, hem de fay yüzey noktaları enlem ve boylam koordinatlarıyla kontrol dosyasına eklenmektedir.

Yazılım ilk aşamada kullanıcı tarafından tanımlanan (GLOBK sonuçları) hızlar ve hata oranlarını kullanarak her bir blok için hız alanlarını hesaplamaktadır:

$$V(x, y) = L \cdot X + T + E(x) \quad (5.1)$$

Burada:

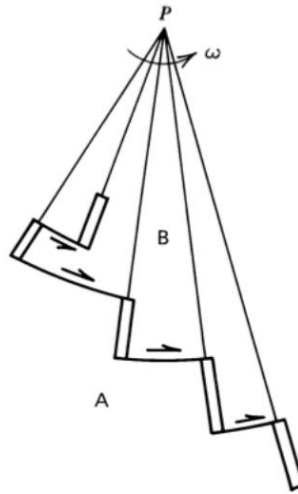
- L: Hız değişim tensörü,

- X: Konum vektörü,
- T: Konumdan bağımsız dönüşüm vektörü,
- E (x): Konuma bağlı vektör alanı hata bileşenidir.

L ve T matrisleri ağırlıklandırılmış en küçük kareler yöntemine göre kestirilebilir. Bunun için GPS gözlemlerinden her bir istasyon için elde edilen hızların V_x ve V_y bileşenleri kullanılır. Burada L matrisi:

$$L = \begin{bmatrix} \delta V_x / \delta x & \delta V_x / \delta y \\ \delta V_y / \delta x & \delta V_y / \delta y \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

şeklinde ifade edilebilir. Bu matris simetrik ve anti-simetrik matrisler şeklinde de ifade edilebilir. Simetrik matris, bu hız alanı için “gerinim alan tensörü (ϵ)”nü, anti-simetrik matris ise “dönüklük oran tensörü (θ)”nü temsil eder. Yazılım, bu aşamadan sonra dönüklük oran tensörünü (θ) kullanarak her bir blok için açısal hızları (ω) hesaplamaktadır. Açısal hızlar ise her bir ölçüm istasyonuna göre ortalama Euler kutbu konumunun kestirimi için kullanılmaktadır (Şekil 5.2).



Şekil 5.3 : Bir transform faya komşu bloklar üzerindeki noktalarda hesaplanan hızlardan Euler kutbu konumunun kestirimi (Url-14).

Eldeki veriler şu eşitlikle birlikte değerlendirilebilir:

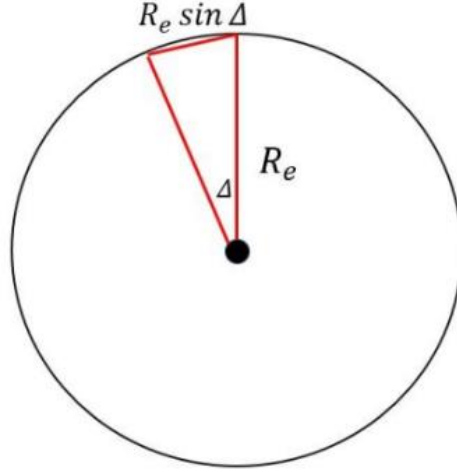
$$V(x, y) = \omega \cdot R_e \cdot \sin \Delta \quad (5.3)$$

Bu eşitlikte:

- $V(x, y)$: Blok üzerindeki her bir istasyon için hız değerini,
- (ω): Bloğun açısal hızını,

- R_e : Yeryüzünün yarıçapını,
- (Δ): Yeryüzü merkezi, blok üzerindeki nokta ve Euler kutbu arasındaki açıyı temsil eder.

Yazılım bu verilerle her bir ölçüm istasyonu için (Δ) açısını hesaplar ve bloklar için Euler kutuplarının kestirimini yapar (Şekil 5.3). Ardından, elde edilen bu değerlere göre fay yüzey noktaları için hızları belirler.



Şekil 5.4 : Euler kutbu, yeryüzü merkezi ve blok üzerindeki nokta arasındaki açı (Dizio 2016).

Bu aşamanın sonunda yazılım şu verileri hesaplar:

- GPS hızlarına göre sistemdeki blokların açısal hızları
- Tanımlanan blokların hangi yöne ve hangi hızla döndüğü
- Bloklar üzerindeki ölçüm istasyonlarına ait dönüklükler

Bu veriler, fayın tamamen serbest kayma yaptığından hareketle blok sınırlarındaki fay düzleminin yüzey noktaları hızlarının hesaplanması için kullanılır. Ancak istenen değerler, yazılımın kontrol dosyasında kullanıcı tarafından tanımlanan yüzey altı düğüm noktalarındaki hızlardır. Ayrıca blok sınırlarındaki faylar tamamen ya da bu çalışma bölgesinde, önceki çalışmalarda tanımlandığı gibi, kısmen kilitli de olabilir. Bunun için yazılım sonraki aşamada “backslip” (geri kayma) denen bir yaklaşım uygulamaktadır. Burada kullanıcı tarafından her bir düğüm noktası için tanımlanan fay kilitlenme oranları önemli rol oynamaktadır:

$$B_f = -\phi \cdot V \quad (5.4)$$

Burada:

- Bf: Fay yüzey noktaları boyunca uygulanacak geri kayma miktarını,
- ϕ : Her bir fay yüzey noktası için tanımlanan kilitlenme oranını,
- V: Bir önceki aşamada fay yüzey noktaları için yazılım tarafından hesaplanan hızları ifade etmektedir.

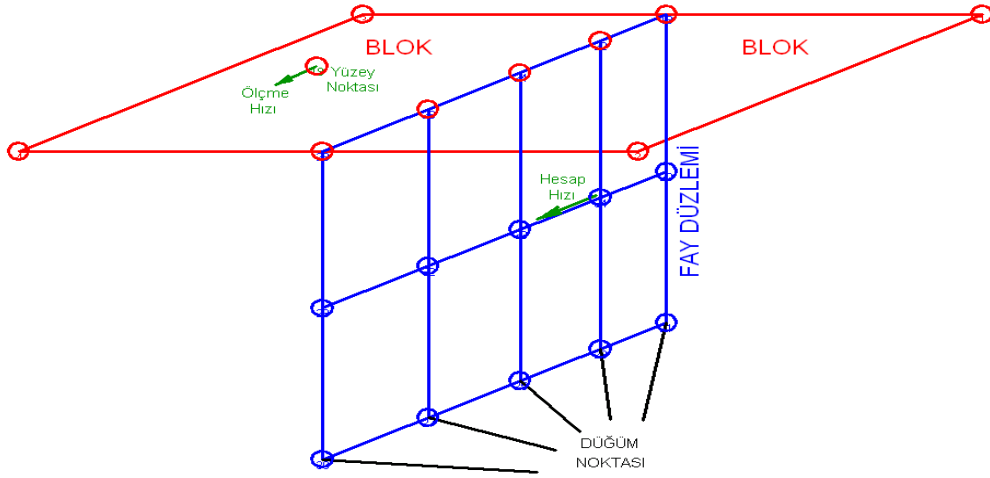
Kilitlenme oranları belirlenirken GAMIT/GLOBK sonucu her bir profil için elde edilen hızlardan fay yüzey noktaları için hız kestirimi ve kilitlenme oranlarının tahmini yapılabilir. Sonuç olarak hesaplanan bu geri kayma oranı, fay yüzey noktalarının hesaplanan hızlarından çıkarılır ve gerçek kayma oranları elde edilebilir. Örnek olarak, bir fayın önceden tamamen kilitli olduğunun bilindiği bir model üzerinde çalışıldığını varsayarsak; bunun için oluşturulan modelde her bir fay yüzey noktası için kullanıcı tarafından (ϕ) değeri (1) olarak tanımlanmalıdır. Bu durumda o yüzey noktasına uygulanacak geri kayma miktarı (-1), fayın o noktası için hesaplanan gerçek değer hız değeri de (0) olarak bulunur.

Burada temel sorun, hesaplanan bu değerlerin blok sınırları için geçerli olmasıdır. Ancak tasarlanan ve ölçülen ağ genel olarak fayın her iki tarafındaki bloklar üzerindeki noktalardan oluşmaktadır (bu çalışmada ise ölçüm noktaları fayın her iki tarafında olmak üzere yaklaşık faydan 3 ve 10 km uzaklıklarda tesis edilmiştir). Yani istasyon konumları blokları temsil edecek şekilde seçilir. Bu durumda fay yüzey noktaları için hesaplanan geri kayma miktarının, blok içerisindeki ölçüm istasyonları da için de hesaplanması gereklidir. Yazılım bu aşamada *Okada*(1985) tarafından tanımlanan prosedürlere göre yüzey altı-blok içi noktalar arasında bağlantıyı kurmaktadır.

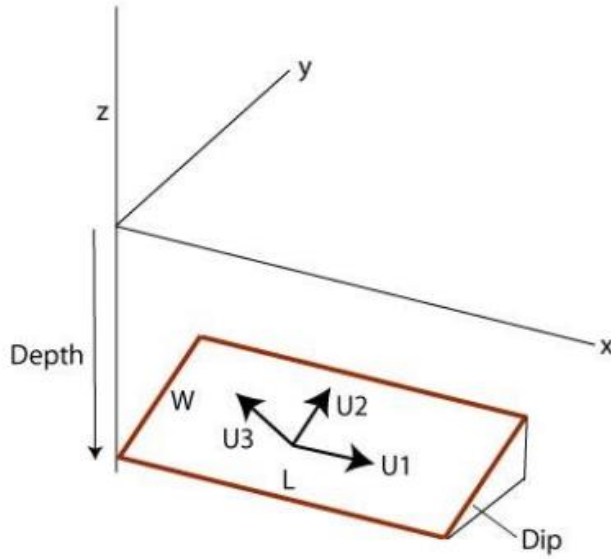
Fay yüzey noktalarından hareketle fay düzlemindeki düğüm noktalarının tanımları kullanıcı tarafından oluşturulur (Şekil 5.4). Yüzey noktalarında hesaplanan geri kayma miktarı belirlenen oranlarda yüzey altı noktalarına uygulanır. Ardından bu verilere göre fay düzleminde tahmin edilen hareketlerle blok üzerindeki ölçüm noktaları arasında bir bağıntı kurulabilir.

Yüzey altındaki düğüm noktaları yüzey noktaları ile aynı koordinatlara sahip olmakla beraber, bu noktaları birbirinden ayıran veriler tanımlanan derinlik değerleridir (Şekil 5.5). Kontrol dosyasındaki verilerde istenen derinliklerden “derinlik eğrisi” geçirilerek fay düzlemi alt parçalara ayrılmaktadır. Derinlik eğrilerinin belirlenmesinde sismolojik veriler, jeolojik yapı ve daha önceki çalışmalar göz önüne alınmalıdır.

Ayrıca her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında farklı kilitleme oranları da tanımlanabilmektedir.

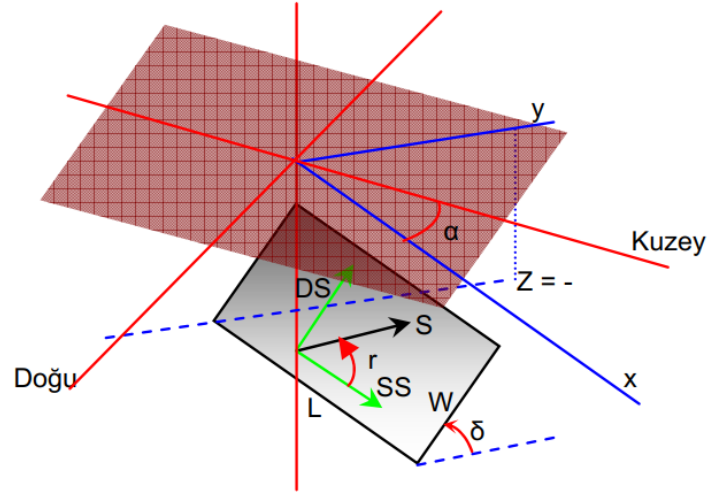


Şekil 5.5 : TDEFNODE ile fay düzleminin tanımlanması (Url-13). Bu tanım KAF'ın sağ yanal atımlı bir fay olmasına uygun olarak yapılmıştır. Yazılım her bir yüzey altı noktasında tanımlanan değerlere bağlı olarak blok üzerindeki noktalardaki geri kayma miktarını hesaplamaktadır.



Şekil 5.6 : Okada (1985) ile tanımlanan ve TDEFNODE yazılımında kullanılan fay düzlemi yapısı ve kayma yönleri (U1: fay doğrultusu yönündeki kayma, U2: fay eğimi doğrultusundaki kayma, U3: fay düzlemine dik doğrultudaki kayma) (Url-13).

Okada (1985) tarafından tanımlanan fay düzlemi ve yer değiştirmeler arasındaki ilişki gerçek yeryüzü konumuna göre de uyarlanabilir (Aktuğ 2006) (Şekil 5.6).



Şekil 5.7 : Fay düzleminin yapısı ve buna göre gerçekleşen yer değiştirmeler (Aktuğ 2006).

Şekil 5.7'ye göre:

- S: kayma vektörü
- δ : eğim açısı
- α : fay doğrultusunun azimutu
- d: fay düzleminin derinliği
- L: fay düzleminin uzunluğu
- W: fay düzleminin genişliği
- SS: kayma vektörünün fay doğrultusu yönündeki bileşeni
- DS: kayma vektörünün fay doğrultusuna dik yöndeki bileşeni
- x, y: fay düzlemine ait koordinat sistemi eksenleri
- r: kayma vektörünün yönü. Bu değer açı cinsinden olup fay düzlemindeki yer değiştirme miktarlarının fay doğrultusu ve faya dik yöndeki bileşenleri trigonometrik fonksiyonlarla hesaplanabilir (Aktuğ 2006).

Bu veriler incelendiğinde, yanal atımlı bir fay için yer değiştirme miktarları şu eşitliklerle hesaplanabilir:

$$u_x = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{\xi q}{R(R + \eta)} + \tan^{-1} \frac{\xi \eta}{qR} + I_1 \sin \delta \right] \quad (5.5)$$

$$u_y = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{y'q}{R(R+\eta)} + \frac{q\cos\delta}{R+\eta} + I_2\sin\delta \right] \quad (5.6)$$

$$u_z = -\frac{U_1}{2\pi} \left[\frac{d'q}{R(R+\eta)} + \frac{q\sin\delta}{R+\eta} + I_4\sin\delta \right] \quad (5.7)$$

Bu eşitliklerdeki bileşenlerden:

$$I_1 = \frac{\mu}{\lambda+u} \left[\frac{-1}{\cos\delta} \frac{\xi}{R+d'} \right] - \frac{\sin\delta}{\cos\delta} I_5 \quad (5.8)$$

$$I_2 = \frac{\mu}{\lambda+u} [-\ln(R+\eta)] - I_3 \quad (5.9)$$

$$I_3 = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \left[\frac{1}{\cos\delta} \frac{y'}{R+d'} - \ln(R+\eta) \right] + \frac{\sin\delta}{\cos\delta} I_4 \quad (5.10)$$

$$I_4 = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \frac{1}{\cos\delta} [\ln(R+d') - \sin\delta \cdot \ln(R+\eta)] \quad (5.11)$$

$$I_5 = \frac{\mu}{\lambda+\mu} \frac{1}{\cos\delta} \tan^{-1} \frac{\eta(X+q\cos\delta) + X(R+X)\sin\delta}{x'(R+X)\cos\delta} \quad (5.12)$$

ile hesaplanabilir.

Eşitliklerde:

- u_x : fay doğrultusu yönündeki kayma vektörü bileşeni
- u_y : fay eğim açısı yönündeki kayma vektörü bileşeni
- u_z : fay düzlemine dik yöndeki kayma vektörü bileşeni
- δ : eğim açısı
- λ, μ : Lamé sabitleri
- y', d' : fay düzlemi bir koordinat sisteminin merkezi iken fay düzlemine paralel bir koordinat sistemindeki koordinatlar
- ξ, η, q : fay düzlemi başlangıç noktasının tanımlanan fay düzlem koordinat sistemi üzerindeki koordinatları
- R : fay başlangıç noktasının orijine uzaklığı
- X : noktanın fay doğrultusu yönündeki koordinatları

ifade etmektedir (Okada 1985, Aktuğ 2006).

Bu eşitlikler fay düzlemindeki bir düğüm noktasında ve fayın atım yönü doğrultusunda meydana gelen kaymanın (U1 bileşeni), yeryüzündeki bir noktada (ölçüm noktası) meydana getireceği yer değiştirmenin hesaplanması için kullanılabilir. KAF temel olarak yanal atımlı bir fay olduğundan, Okada (1985)'te tanımlanan ve düşey atım için verilen eşitlikler bu durumda ihmal edilebilir. Bunun için yazılımın kontrol dosyasında fayın eğim açısı (δ) için yeryüzü ile yaklaşık 90° bir açı yaptığı da tanımlanabilmektedir. Eğim açısının tam olarak 90° olarak tanımlanması ise daha önce verilen eşitliklerdeki I_1 , I_3 , I_4 ve I_5 bileşenlerinin sıfır olarak hesaplanmasına neden olmaktadır. Bu nedenle fay eğim açısı buna uygun olarak değiştirilebilir (bu çalışmada fay eğim açısı 89° olarak alınmıştır).

Yazılım bu aşamada fay yüzey noktaları için hesaplanan geri kayma miktarları kullanılarak yüzey altı noktaları için bir geri kayma hesaplanır. Yüzey altındaki bu noktaların blok içerisindeki bağlantısı ise "Green fonksiyonları" ile tanımlanmaktadır. Yani yüzey altındaki düğüm noktalarında uygulanan geri kaymanın, bloklar üzerindeki ölçüm istasyonlarına etkisi bu fonksiyonlarla hesaplanmaktadır. Bu sayede her bir düğüm noktası ile blok üzerindeki her bir nokta için çok sayıda fonksiyon oluşturulur. Bir yüzey noktasındaki toplam geri kayma oranı ise düğüm noktalarındaki hareketlerin bu nokta üzerindeki toplam etkisi olarak ifade edilmektedir. Bu durumda her bir ölçüm istasyonu için geri kayma miktarı:

$$B_s = V - G(X, X_{nk}) \phi V \quad (5.13)$$

formülü ile hesaplanır. Burada:

- V : İlk aşamada hesaplanan fay yüzey noktalarındaki hızı,
- $G(X, X_{nk})$: Düğüm noktalarındaki toplam geri kaymanın her bir yüzey noktasındaki etkisi için hesaplanan Green fonksiyonunu,
- ϕ : Her bir fay yüzey noktası için tanımlanan kilitleme oranını,

temsil etmektedir (McCaffrey 2002, DiZio 2016, Url-13).

Hesaplanan bu geri kayma miktarı ölçüm istasyonlarındaki hızlardan çıkarılarak her bir nokta için yeni hız değerleri hesaplanır. İdeal koşullar, tanımlanan parametrelere göre TDEFNODE tarafından hesaplanan hızlarla, GAMIT/GLOBK tarafından hesaplanan hızlar arasındaki farkın olmamasıdır. Bunun için yazılım çıktılarında iki temel gösterge mevcuttur. İlk olarak hesaplanan hızlarla ölçülen hızlar kıyaslanabilir.

Bütün hızların aynı grafikte GMT yardımıyla çizilmesi, oluşturulan modeldeki kaba hataların tespit edilebilmesini de sağlar. Diğer bir gösterge ise model sonuç dosyalarında yer alan χ^2 testi sonuçlarıdır. Teorik olarak bu değer (1.0) değerine yakın olması beklenmelidir.

5.2 TDEFNODE İşlem Aşamaları

Bu çalışmada yazılımın temel girdi verilerinden GPS hızları GAMIT/GLOBK sonuçlarından, Euler kutup verileri ise daha önce yapılan çalışmalardan elde edilmiştir (McClusky et al. 2000). Blok ve fay geometrileri ise, bu çalışmanın literatürdeki bahsedilen önceki çalışmalar ile sismik verilerin birlikte değerlendirilmesi ile belirlenmiş; ayrıca bölgede yapılan diğer ölçümlere göre tanımlanmıştır.

Proje kapsamındaki bütün saha çalışmaları İsmetpaşa ve Destek segmentlerinde yoğunlaştırılarak tamamlanmıştır. Gösterdikleri spesifik özelliklerden dolayı (asismik krip) bu bölgeler 2 farklı model olarak; Destek-İsmetpaşa segmentleri arasındaki bölge ise üçüncü bir model olarak değerlendirilmiştir. Her ne kadar projedeki kampanya istasyonlarından elde edilen hız sonuçları ilk 2 model için kullanılmış olsa da; 3.bölge için, ilk 2 model sonuçlarının değerlendirilmesinde kullanılan TUSAGA-AKTİF istasyonları hız değerleri ile Orta Anadolu bölgesinde daha önce yapılan çalışmalardan elde edilen hız değerleri de değerlendirmeye dâhil edilmiştir (Aktug et al. 2015).

GPS hızlarından başka, blok ve fay geometrileri TDEFNODE yazılımına bir kontrol dosyası ile tanımlanmaktadır. Bunun için blok sınırları ayrı bir dosya ile oluşturulabileceği gibi, doğrudan kontrol dosyası içinde de yer alabilir. Fay geometrisi ise öncelikle yüzey düğüm noktaları ve derinlik eğrileri ile tanımlanmalı ve kontrol dosyası içerisinde yer almalıdır. Fay geometrisi tasarlanırken krip görülen tabaka ve ana kilitlenme derinliği verileri ile her bir düğüm noktasındaki kilitlenme oranları kullanıcı tarafından girdi olarak verilebilmektedir.

TDEFNODE ile yapılan prosesler için fayların ve blokların tamamı yerine sadece çalışma bölgesi için ilgili bloğun tanımlanması yeterlidir. Ancak bu durum eldeki mevcut veriler, çalışma bölgesinin jeolojik verileri ve değerlendirilen bütün ölçüm istasyonlarının konumları ile doğrudan ilgilidir.

TDEFNODE kontrol dosyasında kullanıcı tarafından belirlenebilen bazı parametreler şu şekilde özetlenebilir:

- Model adı
- GPS hız vektörü dosyası
- Referans olarak kabul edilecek blok
- Bloklar için Euler kutup değerleri
- Blok geometrisi
- Fay yüzey düğüm noktaları konumları
- Derinlik eğrilerinin konumları
- Düğüm noktaları kilitlenme oranları (ϕ)
- Profil çizimleri

TDEFNODE kullanıcı kılavuzuna göre fay ve blok geometrileri için kontrol dosyasındaki koordinatlar boylam-enlem; Euler kutup değerleri ise enlem-boylam şeklinde tanımlanmaktadır. Rölatif blok hareketleri tanımlanacağından bloklardan biri referans olarak belirlenmeli ve Euler kutup değerleri (0) olarak girilmelidir. Ayrıca blok koordinatları saat dönme yönünün tersinde ve kapalı bir poligon oluşturacak şekilde; fay koordinatları ise saat dönme yönünde ve blokların tam olarak kesiştiği noktalarda tanımlanmalıdır.

Proses sonucunda yazılım tarafından kullanıcı tanımlı model adını içeren bir klasör oluşturularak hesaplanan hızlar, χ^2 testi sonuçları, bölge içinde ve dışında kalan hız vektörlerinin konumları, vb. veriler farklı dosyalar altında kaydedilmektedir. Proses sırasında hesaplanan Green fonksiyonlarına ait veriler ise yine isteğe bağlı olarak kullanıcı tanımlı başka bir klasöre kaydedilmektedir. Kullanıcı blok ve fay geometrisi ile gözlenen ve hesaplanan hızlarının çizimi içinse, yine yazılımla beraber gelen betikleri kullanılarak GMT üzerinden yapabilmektedir.

Temel olarak incelendiğinde, TDEFNODE ile hesaplanan hızların saha ölçümleri ile hesaplanan hızlarla aynı ya da yakın olması beklenmelidir. Bunun için de kullanıcı tarafından tanımlanan fay geometrisi büyük önem taşır. Kullanıcı bu iki farklı hızın birbirine yakınsamasını sağlamak için fayın ve blokların gerçek durumlarını da göz önüne alarak gerekli parametreleri yeniden tanımlamalıdır. Ardından prosesi yeniden çalıştırmalı ve model sonuçları gerçek şartlara yakınsayana kadar parametrelerde uygun değişikliklere gidilmelidir. Yani model hızları GPS sonuçlarına belirli hata

oranları içerisinde yakınsayana kadar ters modelleme ile çözüme ulaşılmaktadır (Ek B). Bu çalışma kapsamında blok modelleme ile değerlendirilen GAMIT/GLOBK hızları Ek E.1’de sunulmuştur.

5.3 İsmetpaşa Segmenti

İsmetpaşa bölgesindeki asismik krip 1970’li yıllardan beri bilinmekte ve daha da önceki tarihlere kadar uzandığı düşünülmektedir. Bu nedenle blok ve fay parametrelerinin belirlenebilmesi için öncelikle bölgedeki meydana gelen bütün depremler ile saha için daha önce yapılan çalışmalar birlikte değerlendirilmiştir (Çizelge 5.1 - Ek D.1).

Çizelge 5.1 : İsmetpaşa segmentinde gerçekleşen depremler ($M_w \geq 6.8$).

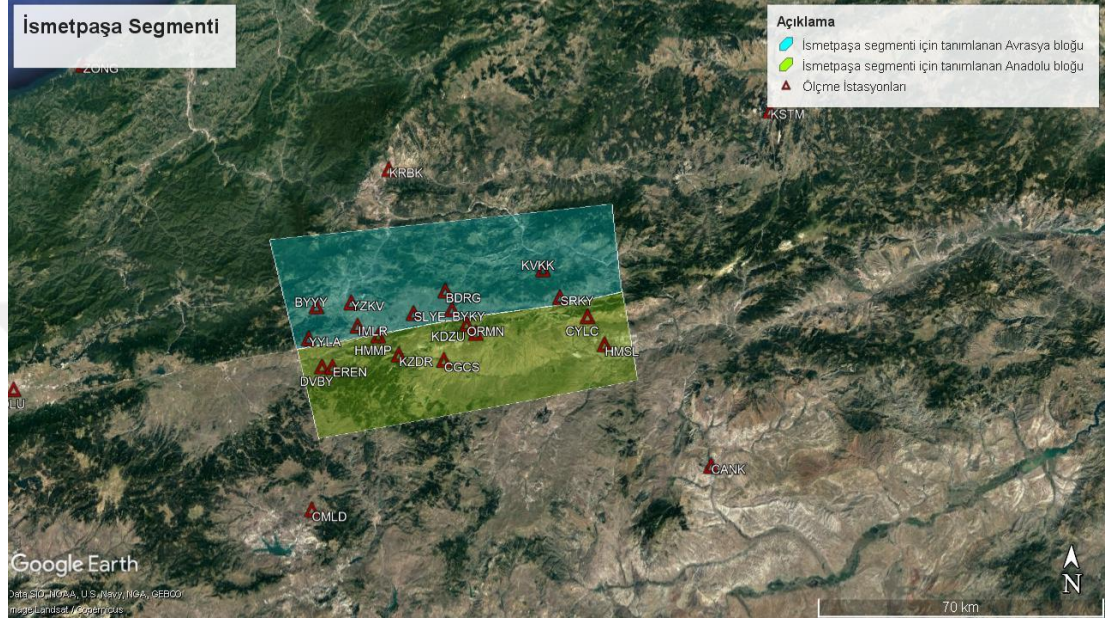
Enlem	Boylam	Derinlik	Tarih	Büyükölük (Mw)
41.05	33.72	10	1943	7.2
40.80	32.20	10	1944	7.2
40.88	32.87	10	1951	6.9
40.96	33.20	10	1953	6.1

Bölgedeki kayıtlı bütün depremler incelendiğinde ise ortalama deprem derinliği 9.0 km, ortalama büyükölükleri ise (ilk 4 ana deprem haricinde) 3.1 olarak bulunmuştur. Bu durumdan hareketle, 1999 öncesi ve sonrası depremler, bunların büyükölükleri ve ortalama derinlikleri de dikkate alınarak başka bir değerlendirme de yapılmıştır. Buna göre 1999 öncesi deprem odak noktaları ortalama 8.0 km derinlikte, 1999 sonrası depremler ise ortalama 15.2 km derinliklerde gerçekleşmiştir (Url-15). Asismik kripin temel olarak deprensiz fay hareketi olarak tanımlandığı düşünüldüğünde, bu durum krip hareketinin sismojenik tabakanın tabanına kadar değil; özellikle yüzeye daha yakın olan belirli bir kısmında gözlendiğini düşündürmektedir. Bu durum 5-7 km derinliklere kadar asismik krip hareketinin devam ettiği sonucuna ulaşan çalışmalarla (Kaneko et al. 2013, Ozener et al. 2013, Cetin et al. 2014, Bilham et al. 2016, Rousset et al. 2016) uyumludur.

İsmetpaşa segmenti için oluşturulan ölçüm ağı, fayın varsayılan kilitleme derinliği göz önüne alınarak oluşturulmuştur (Halıcıoğlu vd. 2009). Ağ üzerindeki istasyonlar, fayın her iki tarafında yaklaşık bir profil oluşturacak şekilde ve segmentin tamamını kapsayabilecek uzunlukta tesis edilmiştir. İstasyonların konumları faya yaklaşık olarak ± 3 km ve ± 10 km olacak şekilde belirlenmiş ve ölçümler tamamlanmıştır. Bu ölçüm

ağına göre, TDEFNODE için fay uzunluğu yaklaşık 80 km ve blok genişlikleri de yaklaşık 25 km olarak tanımlanmıştır (Şekil 5.7).

Fay boyunca yer alan 6 yüzey noktasının tanımlanması sırasında bölgedeki fay haritası ile fay boyunca kurulan lokal ölçüm ağlarından da faydalanılmıştır (Emre vd. 2013, Emre et al. 2018).



Şekil 5.8 : İsmetpaşa segmenti için tanımlanan bloklar ve kampanya istasyonlarının yerleri (Url-16). Kuzeydeki blok Avrasya bloğunu (AVRA), güneydeki ise Anadolu bloğunu (ANAD) göstermektedir.

Sismik veriler ve bölgede daha önce yapılan çalışmalardan yola çıkılarak fay parametreleri ile asismik krip gözlenen bölgenin derinliği başlangıçta 5 km ve sismojenik tabaka kalınlığı ve kilitleme derinliği de 16 km olarak tanımlanmıştır (Yavaşoğlu 2009, Kaneko et al. 2013, Ozener et al. 2013, Cetin et al. 2014, Bilham et al. 2016, Rousset et al. 2016). Fay düzlemi için derinlik eğrileri ve kilitleme oranları ilk olarak bu değerlere göre belirlenmiş, yapılan proseslerin sonuçlarına göre ise orijinal değerlerinden farklı değerler tanımlanarak ölçüm ve hesaplanan hızların birbiriyle uyumlu olabilmesi için doğru fay parametrelerinin tahmin edilmesine çalışılmıştır (Ek E-2).

Proses sırasında fay noktalarının kilitleme oranları manuel olarak tanımlanmış ve fayın yüzey noktalarına göre farklı derinliklerde eğriler belirlenmiştir (Çizelge 5.2). Bu derinlik eğrileri ile fay düzleminde asismik krip gözlenen tabaka ve sismojenik tabaka kalınlıkları ile asismik kripin sönümlendiği derinlik tanımlanabilmektedir.

Çizelge 5.2 : İsmetpaşa segmenti prosesi için TDEFNODE kontrol dosyasında tanımlanan parametreler.

PARAMETRE TANIMI	PARAMETRE DEĞERİ
Euler kutup değerleri	AVRA referans bloğu: 0 0 0
(enlem-boylam-açısal hız)	ANAD bloğu: 30.7 32.6 1.2
AVRA referans blok geometrisi	32.4155 40.8336
(koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	32.6183 40.8687
	32.7779 40.8947
	32.9197 40.9162
	33.2122 40.9486
	33.3460 40.9730
	33.3122 41.1607
	32.3250 41.0680
ANAD blok geometrisi	32.4155 40.8336
(koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	32.4825 40.6425
	33.3980 40.7830
	33.3460 40.9730
	33.2122 40.9486
	32.9197 40.9162
	32.7779 40.8947
	32.6183 40.8687
Fay yüzey noktaları ve derinlik eğrileri	33.3460 40.9730
(koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	33.2122 40.9486
(derinlik eğrileri “zd:” parametresi ile	32.9197 40.9162
tanımlanmaktadır)	32.7779 40.8947
	32.6183 40.8687
	32.4155 40.8336
	zd: 4.5 89.
	zd: 6.75 89.
	zd: 15.0 89.

Fay düğüm noktalarındaki kilitlenme oranları tanımlanırken, fayın gerçekteki durumunu temsil edecek şekilde bir tanımlama yapılabilmektedir. Bunun için kontrol dosyasında tanımlanan (nng:) ve (nv:) komutları kullanılmaktadır. Bu verilere göre model ve fay geometrisi kontrol dosyasında şu şekilde tanımlanmaktadır:

nng: 1 6 4

1 1 1 2 2 3

4 4 4 4 4 4

5 5 5 5 5 5

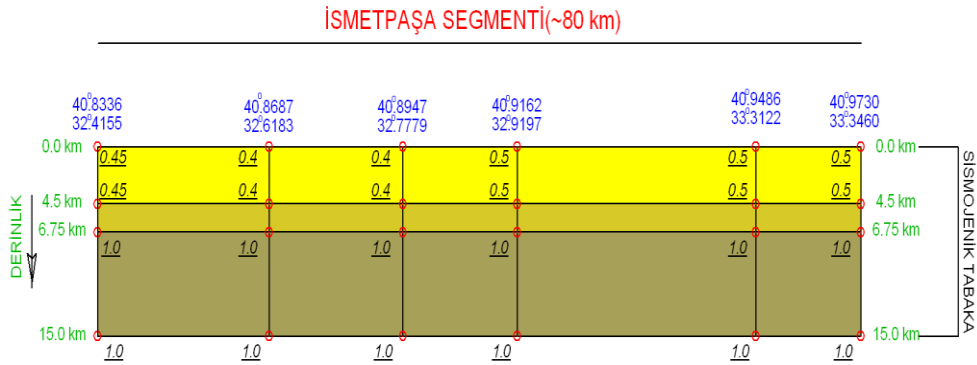
zd: 4.5 89.

zd: 6.75 89.

zd: 15.0 89.

nv: 1 0.5 0.4 0.45 1.0 1.0

(nng:) satırındaki “1” değeri kontrol dosyasındaki fay numarasını, “6” değeri fay yüzey noktası sayısını ve “4” değeri de fay boyunca tanımlanacak derinlik eğrilerini göstermektedir. Sonraki 4 satırda verilen değerler, her bir düğüm noktası için tanımlanacak olan kilitlenme oranları için indisleri doğudan batıya doğru göstermektedir. (zd:) satırları (nng:) satırında belirtilen derinlik eğrileri sayısı ile (4) aynı olmalıdır (fayın yüzeyindeki düğüm noktaları dâhil). Her bir düğüm noktasındaki kilitlenme oranları ise (nv:) satırında belirtilmektedir. Bu satırdaki “1” değeri fay numarasını, ardından gelen değerler ise kilitlenme oranlarını sırasıyla ilgili kilitlenme oranı indislerine atanması için kullanılmaktadır (Şekil 5.9). İsmetpaşa segmenti için TDEFNODE yazılımına tanımlanan kontrol dosyası Ek E.2’de sunulmuştur.

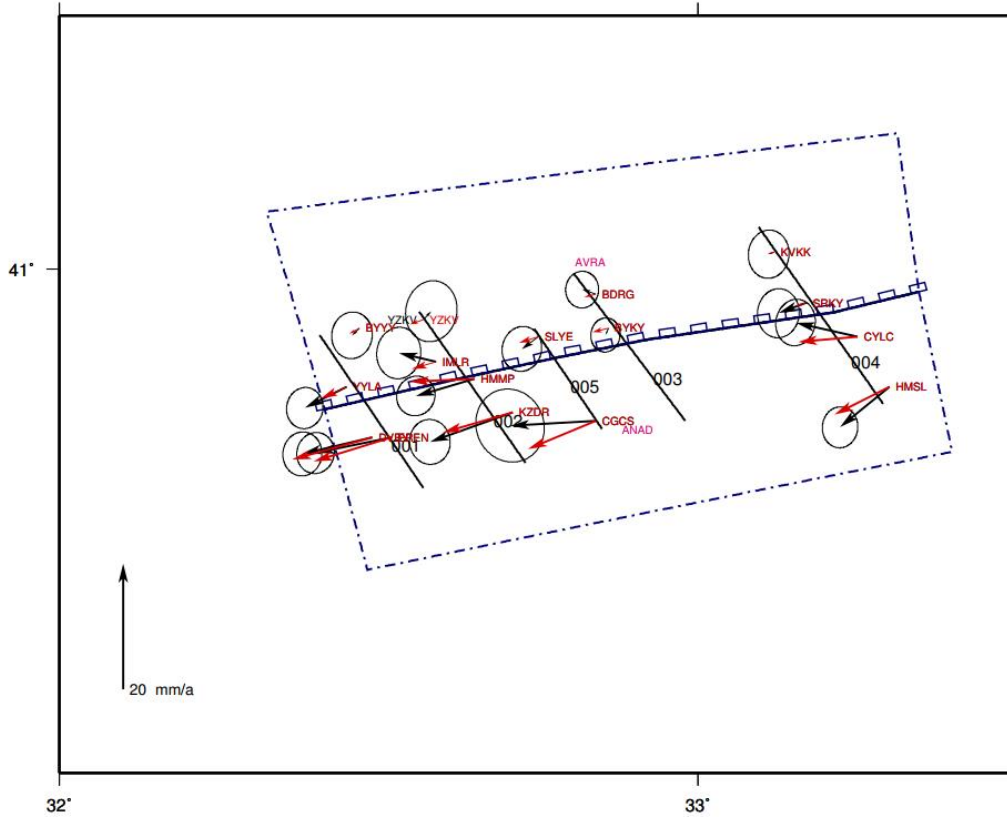


Şekil 5.9 : İsmetpaşa segmenti için tanımlanan fay geometrisi. Her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında tanımlanan kilitlenme oranları grafikte belirtilmiştir. Bu değerler fay düzleminin o düğüm noktasında ne oranda kilitli olduğunu göstermektedir (0- serbest kayma, 1-tamamen kilitli).

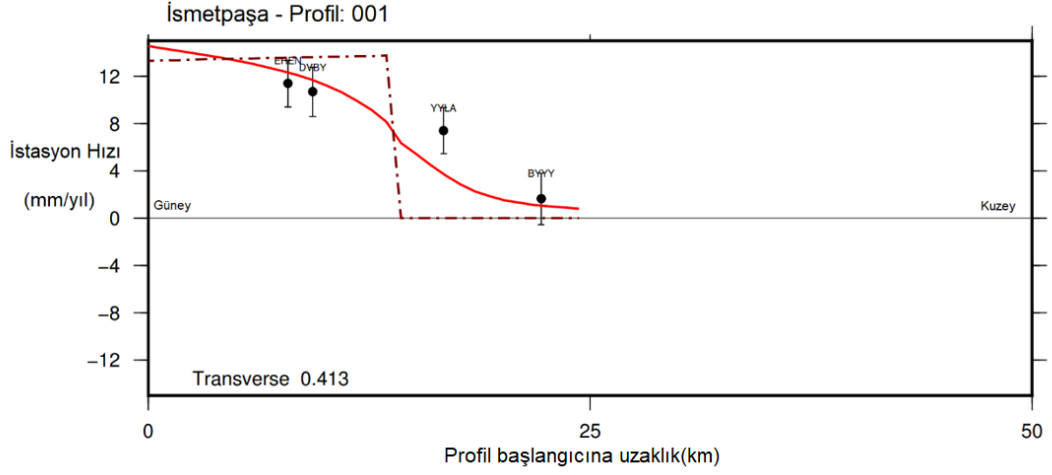
Bölgeye ait profiller ile fay üzerindeki deformasyon birikiminin belirlenmesine çalışılmıştır (Şekil 5.9). Bu profiller ile Avrasya bloğundan Anadolu bloğuna geçişler

sırasındaki hız değişimleri incelenmiştir (Şekil 5.10-5.12). Bu çalışma bölgesi için yalnızca sahada ölçülen yüzey hızları değerlendirilerek bu hareketin asismik krip ya da intersismik bir hareket olup olmadığı ile ilgili kesin bir veriye ulaşılamadığı gözlenmektedir. Bunun için model sonuçlarının değerlendirilmesi uygun olacaktır.

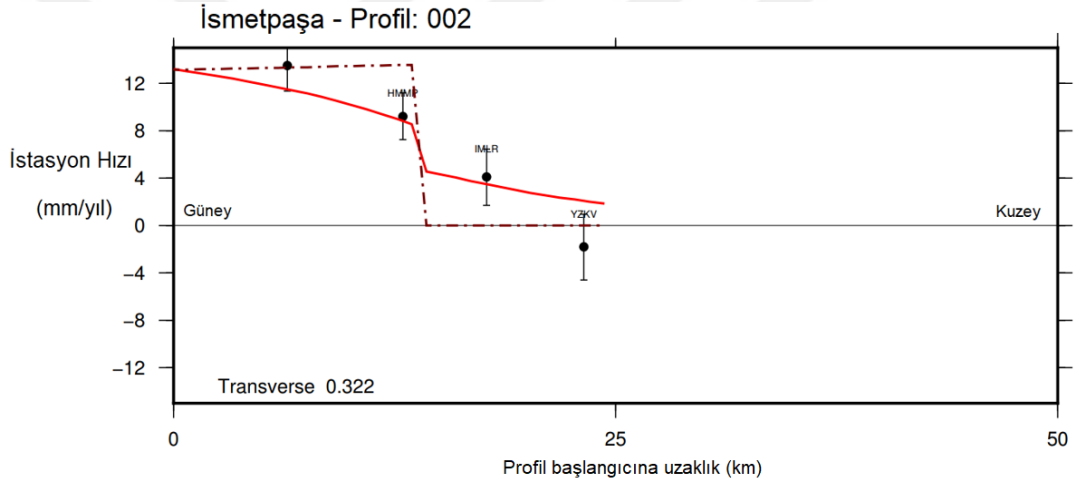
Tanımlanan model parametreleri ve Orta Anadolu bölgesi için daha önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlar ele alındığında ise, Anadolu bloğunun Avrasya bloğu sabit alındığında batıya doğru hareketinin İsmetpaşa segmenti boyunca oluşan gerinimin %45-60'lık bir kısmı asismik krip ile salınmakta ve kısa-orta vadede fay boyunca oluşacak orta-büyük şiddette bir deprem için gerekli birikimin oluşamadığı düşüncesini doğurmaktadır.



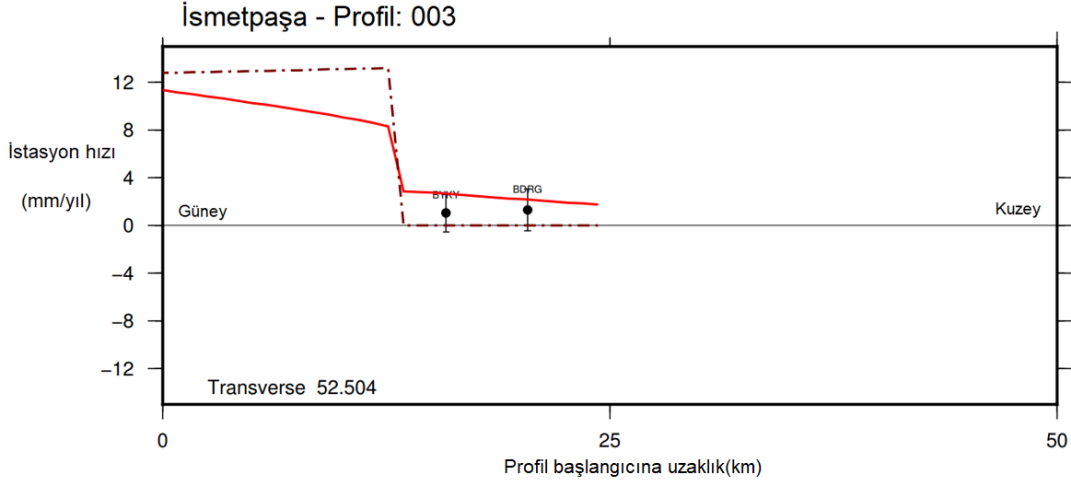
Şekil 5.10 : İsmetpaşa segmenti için tanımlanan parametrelere göre model blok ve fay geometrileri ve hız değerleri (GMT betiği ile çizdirilmiştir). Siyah vektörler GAMIT/GLOBK sonuçlarını, kırmızı vektörler ise TDEFNODE tarafından hesaplanan hız vektörlerini göstermektedir. Ölçüm istasyonlarına ait hata elipsleri ve çizim için oluşturulan profiller de siyah çizgilerle işaretlenmiştir.



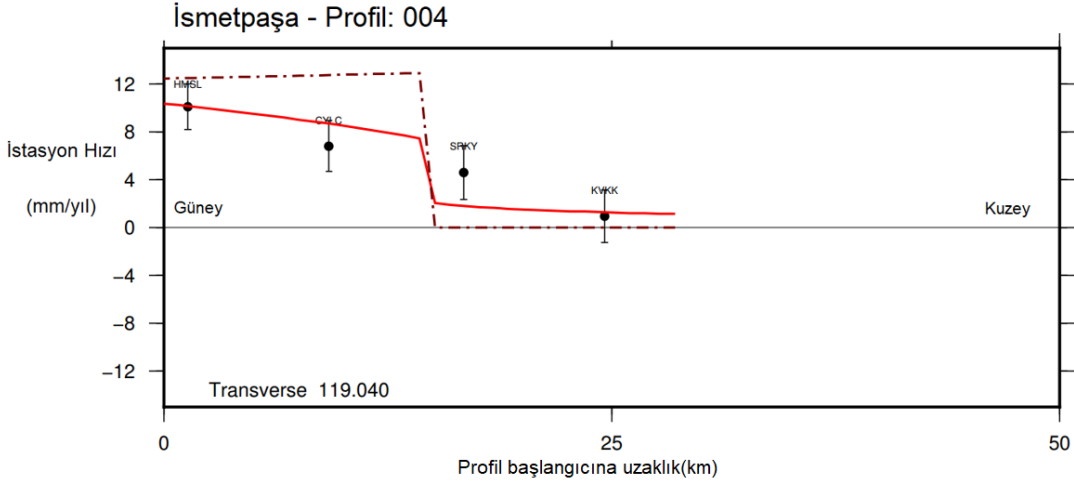
Şekil 5.11 : 1.profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir.



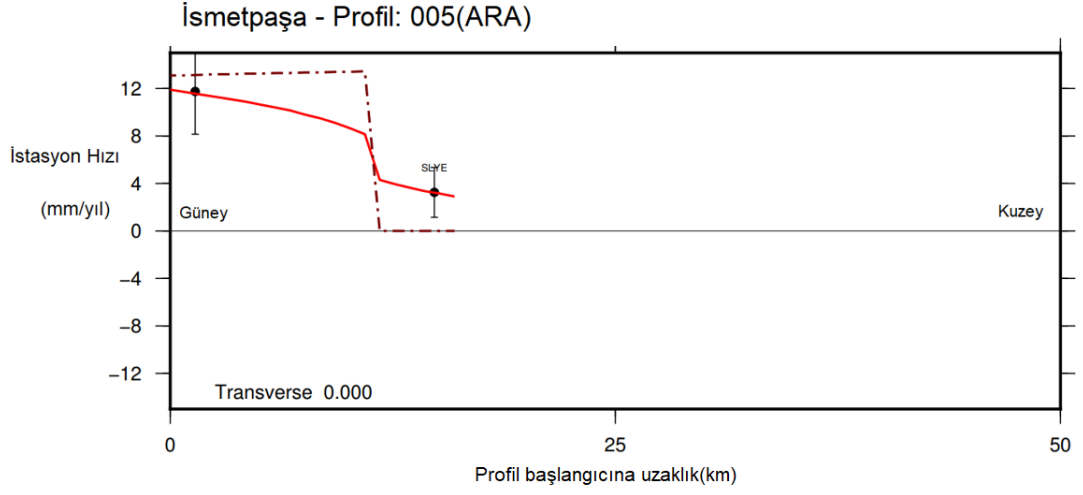
Şekil 5.12 : 2.profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir.



Şekil 5.13 : 3.profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir.



Şekil 5.14 : 4.profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir.



Şekil 5.15 : 5., yani ara profile ait grafik. Profil hattı boyunca 25 km doğu ve batıda kalan istasyonlara ait hız verileri ve bunlara ait hata oranları (dikey çizgiler) da gösterilmektedir.

Bu parametrelere göre yapılan prosesler sonucunda; χ^2 değeri (1.00) bulunmuştur. Bu değer fay ve bloklar için tahmin edilen parametrelerin birbiriyle uyumlu olduğu sonucuna ulaştırmaktadır (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 : İsmetpaşa segmenti için GAMIT/GLOBK hızları (ölçülen) ile TDEFNODE modl.vsum dosyası (model) verilerinin kıyaslanması.

İstasyon kodu	Blok adı	V_E	V_E	V_E	V_E	V_N	V_N	V_N	V_N
		Ölçülen (mm/yıl)	Hesap (mm/yıl)	Fark (mm/yıl)	1- sigma	Ölçülen (mm/yıl)	Hesap (mm/yıl)	Fark (mm/yıl)	1- sigma
HMSL	ANAD	-7.74	-8.68	0.93	1.82	-6.18	-4.23	-1.94	2.10
CYLC	ANAD	-9.78	-9.30	-0.48	2.03	2.43	-0.63	3.06	2.38
SRKY	AVRA	-4.40	-1.58	-2.82	2.14	-1.48	-0.55	-0.93	2.51
KVKK	AVRA	-0.89	-1.04	0.15	2.09	-0.16	-0.34	0.18	2.47
BYKY	AVRA	-0.39	-2.38	1.98	1.50	-1.02	-0.59	-0.44	1.75
CGCS	ANAD	-13.49	-10.73	-2.77	3.51	-0.72	-4.45	3.73	3.74
BDRG	AVRA	-2.09	-1.81	-0.28	1.69	0.80	-0.47	1.27	1.88
SLYE	AVRA	-2.52	-2.98	0.46	2.03	-1.94	-0.95	-1.00	2.30
KZDR	ANAD	-13.04	-11.04	-2.00	2.08	-4.70	-3.22	-1.49	2.30
HMMP	ANAD	-9.20	-10.04	0.84	1.96	-2.76	-0.45	-2.31	2.03
IMLR	AVRA	-5.84	-3.79	-2.06	2.26	1.36	-1.12	2.48	2.64
YZKV	AVRA	1.35	-2.11	3.46	2.64	1.30	-0.73	2.04	3.12
EREN	ANAD	-11.92	-12.23	0.31	1.92	-2.51	-3.85	1.33	2.10
DVBY	ANAD	-10.97	-12.56	1.59	2.00	-2.67	-3.55	0.88	2.25
BYYY	AVRA	-1.10	-1.63	0.53	2.08	-1.22	-0.87	-0.34	2.39
YYLA	AVRA	-6.54	-4.06	-2.48	1.87	-3.42	-1.83	-1.59	2.11

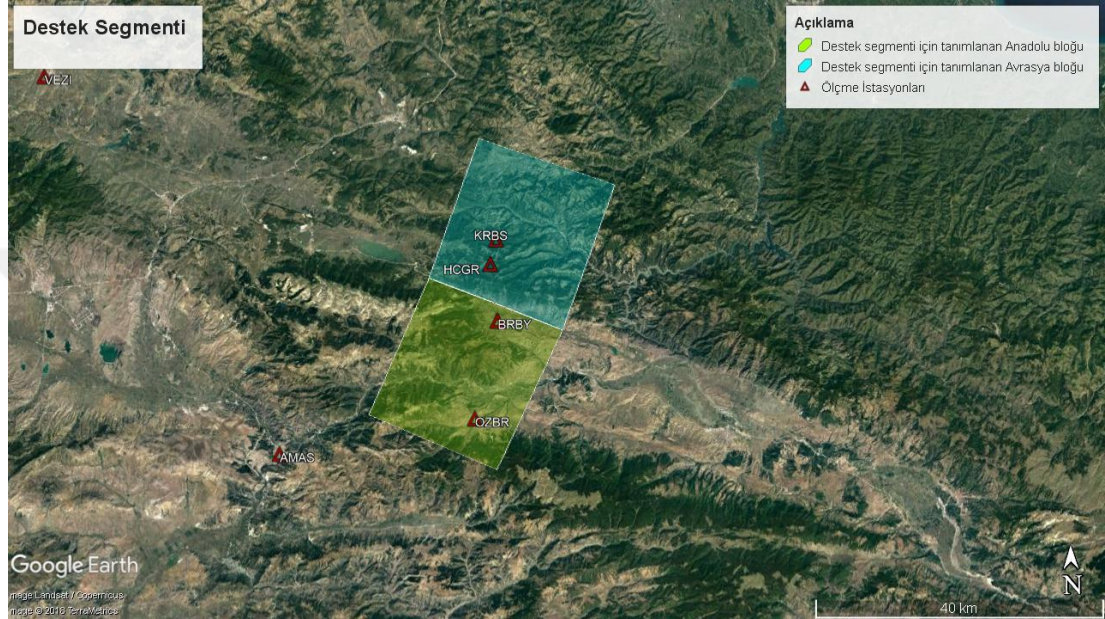
5.4 Destek Segmenti

Bu segmentte gözlenen asismik krip hareketi yakın zamanda yapılan saha çalışmaları sırasında (Karabacak et al. 2011) belirlenmiştir. İsmetpaşa segmentinden farklı olarak krip hareketi gözlenen segmentin uzunluğu ile ilgili herhangi bir veri bulunmamaktadır. İsmetpaşa segmentinde yer alan lokal ölçüm ağlarının bir benzeri bu bölgede de bulunmaktadır. Destek Kasabası'nda yer alan bu ağ için çeşitli aralıkla ve yersel ölçümlerle asismik krip oranı belirlenmeye çalışılmaktadır. 1943 Tosya depreminin bu bölgeden geçen fay segmentini kırdığı bilinmektedir (Karabacak et al.2011).

Bu segment için blok ve fay parametreleri tanımlanırken, İsmetpaşa segmentindeki benzer ön çalışmalar/istikşaf yapılmıştır. Bölge için kaydedilen depremlerin odak çözümlerine göre, deprem derinlikleri ortalama 10.8 km; ortalama büyüklükleri ise $M=2.5$ olarak bulunmuştur (Url-15) (Ek D.2). Bu durum kısmen İsmetpaşa

segmentindeki deprem faaliyetlerine benzerlik göstermekte; bu nedenle özellikle fay geometrisi için İsmetpaşa'daki ilk değerler kullanılarak proseslere başlanmıştır.

Segment için tesis edilen kampanya istasyonlarının konumları blok genişliklerinin belirlenmesi için en önemli etkenlerden biridir. Bölgedeki jeolojik yapının İsmetpaşa segmenti ile benzer özellikler gösterdiği de göz önüne alınarak, blok genişlikleri ve fay uzunluğu için yaklaşık 20 km değeri proses sırasında kullanılmıştır (Şekil 5.13).

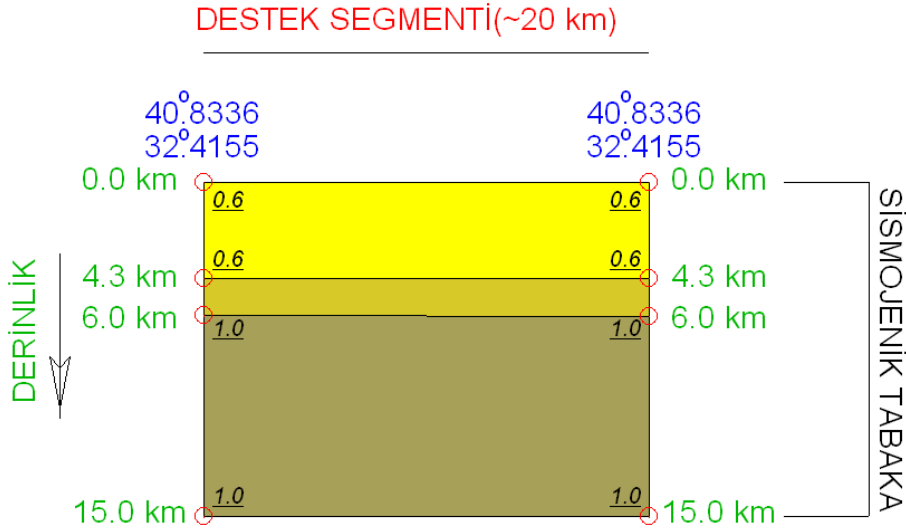


Şekil 5.16 : Destek segmenti için tanımlanan bloklar ve kampanya istasyonlarının konumları (Url-16). Kuzeydeki blok Avrasya bloğunu (AVRA), güneydeki ise Anadolu bloğunu (ANAD) temsil etmektedir.

Sismik veriler, önceki çalışmalar ve İsmetpaşa segmenti TDEFNODE proses sonuçları ele alındığında asismik kripin İsmetpaşa'ya benzer şekilde fay düzleminin tamamı için değil, belirli bir kısmında bu hareketin gözlemlendiği çıkarımından hareket edilerek (Kaneko et al. 2013, Ozener et al. 2013, Cetin et al. 2014, Bilham et al. 2016, Rousset et al. 2016); başlangıç için asismik krip gözlenen katman derinliği 5 km ve sismojenik tabaka kalınlığı için de 15 km değerleri belirlenmiştir (Çizelge 5.4). Prosesler sırasında, fay düzleminde düğüm noktaları için kayma oranları manuel olarak tanımlanmış ve farklı derinliklerde eğriler belirlenerek asismik kripin sönümlendiği kısımların da belirlenmesine çalışılmıştır (Şekil 5.14).

Çizelge 5.4 : Destek segmenti prosesi için TDEFNODE kontrol dosyasında tanımlanan parametreler.

PARAMETRE TANIMI	PARAMETRE DEĞERİ
Euler kutup değerleri	AVRA referans bloğu: 0 0 0
(enlem-boylam-açısal hız)	ANAD bloğu: 30.7 32.6 1.2
AVRA referans blok geometrisi	36.0891 40.8735
(koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	36.3075 40.8095
	36.3965 40.9853
	36.1751 41.0461
ANAD blok geometrisi	36.0891 40.8735
(koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	35.9874 40.7062
	36.1934 40.6359
	36.3075 40.8095
Fay yüzey noktaları ve derinlik eğrileri	36.0891 40.8735
(koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	36.3075 40.8095
(derinlik eğrileri "zd:" parametresi ile - tanımlanmaktadır)	zd: 4.3 89.
	zd: 6.0 89.
	zd: 15.0 89.



Şekil 5.17 : Destek segmenti için tanımlanan fay geometrisi. Her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında tanımlanan kilitlenme oranları grafikte gösterilmiştir.

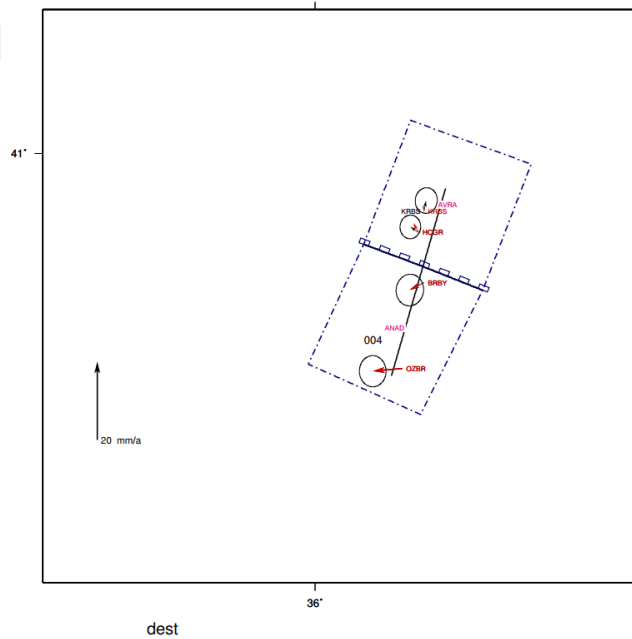
Bu parametrelere göre yapılan proselerde χ^2 değeri (1.00) bulunmuştur. Bu değer, fay ve bloklar için tanımlanan modelin fay düzleminin gerçek durumunu yansıttığı

sonucuna ulaştırmaktadır (Çizelge 5.5). Destek segmenti için TDEFNODE yazılımında kullanılan kontrol dosyası Ek E.3'te sunulmuştur.

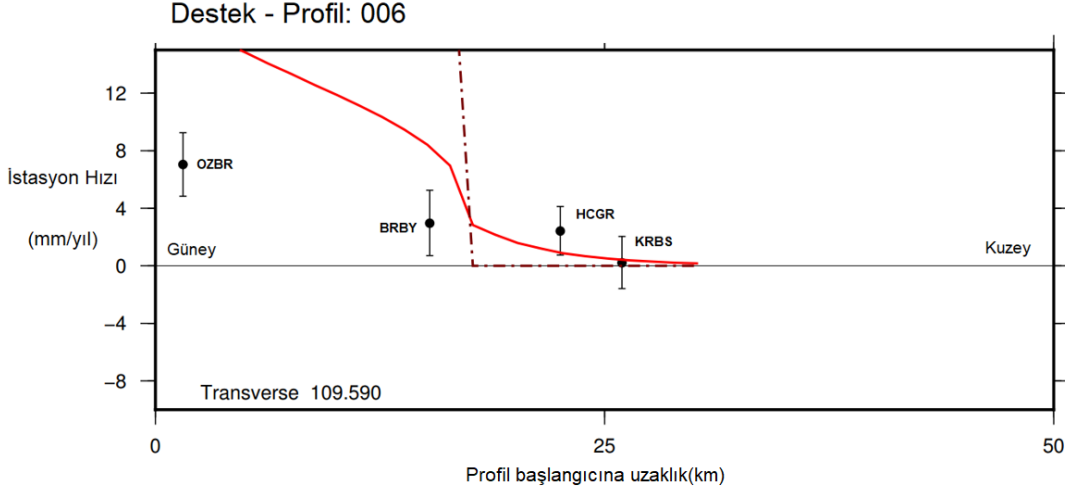
Çizelge 5.5 : Destek segmenti için GAMIT/GLOBK hızları (ölçülen) ile TDEFNODE modl.vsum dosyası (hesap) verilerinin kıyaslanması.

İstasyon kodu	Blok adı	V_E	V_E	V_E	V_E	V_N	V_N	V_N	V_N
		Ölçülen	Hesap	Fark	1-sigma	Ölçülen	Hesap	Fark	1-sigma
		(mm/yıl)	(mm/yıl)	(mm/yıl)		(mm/yıl)	(mm/yıl)	(mm/yıl)	
KRBS	AVRA	0.53	-0.29	0.82	1.81	2.67	1.39	1.27	2.10
BRBY	ANAD	-3.63	-3.66	0.03	2.25	-1.87	-1.79	-0.08	2.59
HCGR	AVRA	-2.12	-1.41	-0.72	1.69	1.43	2.46	-1.03	1.94
OZBR	ANAD	-7.53	-7.52	-0.01	2.18	-0.66	-0.67	0.01	2.56

Çalışma bölgesinde oluşturulan profil ile fay üzerindeki deformasyondaki değişimin belirlenmesine çalışılmıştır (Şekil 5.15). Mevcut hız farklılıkları incelendiğinde, bloklar arasındaki hız farkının asismik krip hareketine işaret ettiği söylenebilir (Şekil 5.16).



Şekil 5.18 : Destek segmenti için tanımlanan parametrelere göre model blok ve fay geometrileri ve hız değerleri (GMT betiği ile çizimi yapılmıştır). Siyah vektörler GAMIT/GLOBK sonuçlarını, kırmızı vektörler ise TDEFNODE tarafından hesaplanan vektörlerdir. Ölçüm istasyonlarına ait hata elipsleri ve çizim için oluşturulan profil de şekilde gösterilmektedir.



Şekil 5.19 : Destek segmentindeki profile ait grafik. Segment için tesis edilen 4 kampanya istasyonuna ait hız verileri ve hata oranları (dikey çizgiler) gösterilmektedir.

Tanımlanan model ve TDEFNODE proses sonuçlarına göre ise, Destek segmentindeki 20 km boyunca asismik krip hareketinin 4.3 km derinliklere kadar 0.6 kilitlenme oranı ile gerçekleştiği (~10 mm/yıl); krip hareketinin 4.3-6.0 km derinliklerde sönümlendiği ve 6.0-15.0 km derinlikler arasında ise tamamen kilitli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

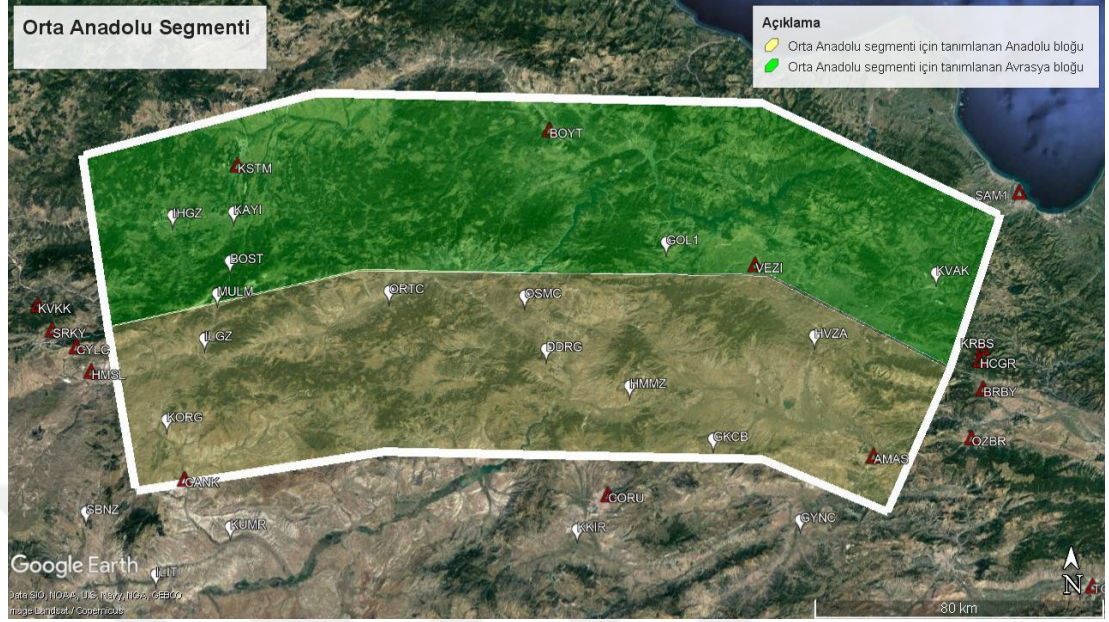
5.5 Orta Anadolu Segmenti

Kuzey Anadolu Fayı'nın doğuda Destek ve batıda İsmetpaşa segmentleri arasındaki kısmı için herhangi bir asismik krip hareketi rapor edilmemiştir. Bu durum göz önüne alınarak, segmentin tamamen ya da büyük oranda kilitli olduğu varsayımından yola çıkılarak fay ve blok geometrileri tanımları yapılmıştır.

Çalışma kapsamında 2014-2016 yılı için düzenlenen kampanyalar bu segmenti kapsamamakla beraber, GAMIT/GLOBK ile istasyonlara ait yıllık hız verileri üretilirken; TUSAGA-AKTİF kapsamında çalışan bölge istasyonlarının hız verileri ile bölgede daha önceden düzenlenen kampanya ölçümlerine ait hız sonuçları TDEFNODE prosesleri aşamasında girdi veriler olarak kullanılmıştır (Aktuğ et al.2015).

Modellenen Orta Anadolu segmenti doğudan batıya yaklaşık olarak 240 km uzunluktadır. Tanımlanan fay, mevcut Destek ve İsmetpaşa faylarına komşu olarak tanımlanmış olup; blok genişlikleri ise bölgedeki mevcut hızların mümkün olduğu

kadar prosese eklenebilmesi için diğer segmentlerden farklı biçimde yaklaşık 45 km olarak belirlenmiştir (Şekil 5.17).



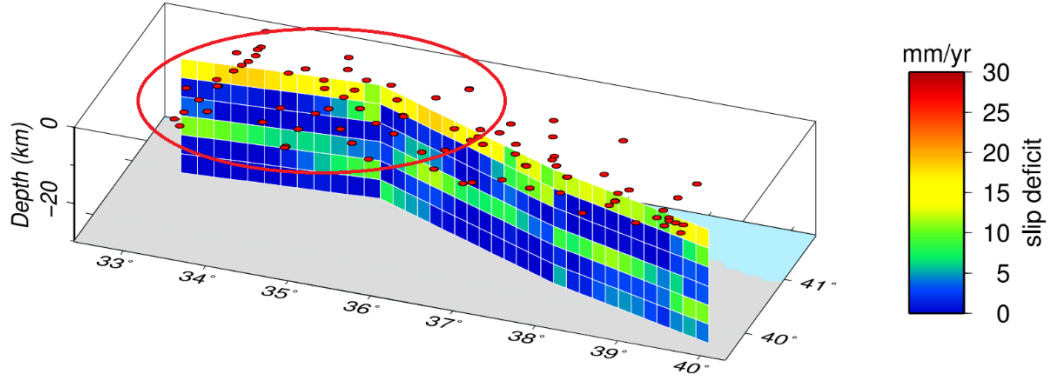
Şekil 5.20 : Orta Anadolu için tanımlanan fay ve blok geometrileri (Url-16). Kuzeydeki blok Avrasya (AVRA), güneydeki blok ise Anadolu (ANAD) plakalarını temsil etmektedir.

Bölgeye ait daha önceki çalışmalar incelendiğinde (Yavaşoğlu 2009, Aktuğ et al. 2015), kilitleme derinliği olarak başlangıçta ~15 km tanımlanmıştır. Fay düzlemindeki düğüm noktaları için kayma oranları manuel olarak girilmiş ve başlangıçta tamamı için tam kilitleme olduğu ($\phi=1$) belirtilmiştir (Çizelge 5.6).

Çizelge 5.6 : Orta Anadolu segmenti prosesi için TDEFNODE kontrol dosyasında tanımlanan parametreler

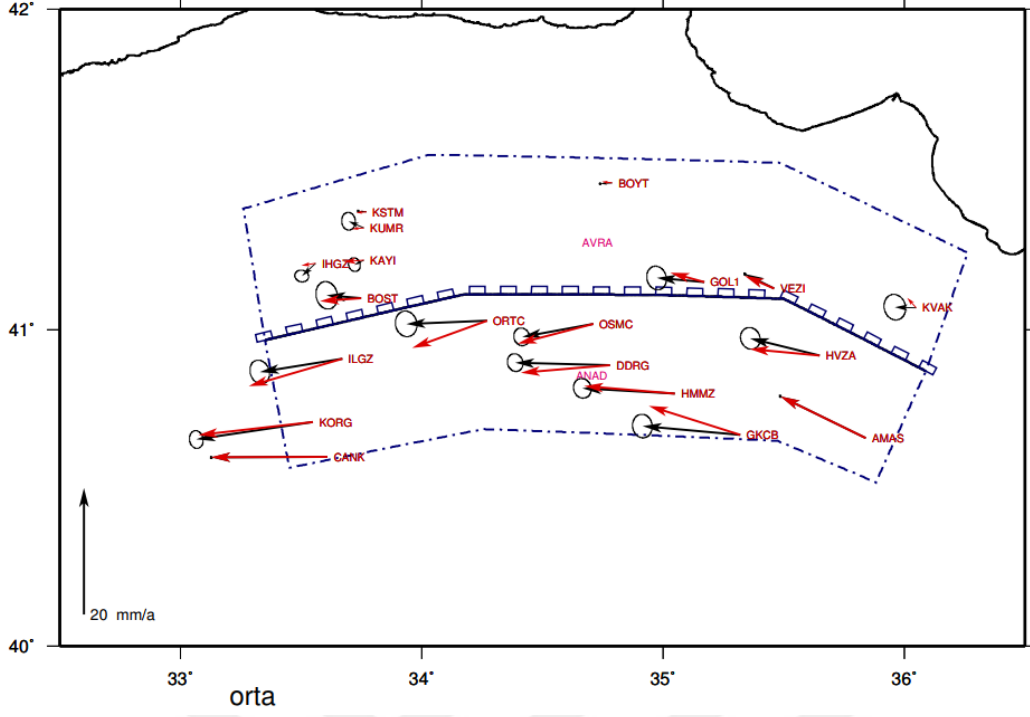
PARAMETRE TANIMI	PARAMETRE DEĞERİ	
Euler kutup değerleri (enlem-boylam-açısal hız)	AVRA referans bloğu: 0 0 0 ANAD bloğu: 30.7 32.6 1.2	
AVRA referans blok geometrisi (koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	33.3500	40.9680
	34.1750	41.1120
	41.1100	34.9930
	35.5000	41.0980
	35.6510	41.0410
	36.0890	40.8710
	36.2630	41.2420
	35.4850	41.5230
	34.0300	41.5480
	33.2610	41.3800
ANAD blok geometrisi (koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	33.3500	40.9680
	33.4510	40.5660
	34.2540	40.6680
	35.4750	40.6510
	35.8820	40.5200
	36.0890	40.8710
	35.6510	41.0410
	35.5000	41.0980
	34.9930	41.1100
	34.1750	41.1120
Fay yüzey noktaları ve derinlik eğrileri (koordinatlar boylam-enlem sırasına göre)	36.0890	40.8710
	35.6510	41.0410
(derinlik eğrileri “zd:” parametresi ile tanımlanmaktadır)	35.5000	41.0980
	34.9930	41.1100
	34.1750	41.1120
	33.3500	40.9680
	zd: 4.5	89.
	zd: 6.75	89.
	zd: 15.0	89.

Bu proje kapsamında değerlendirilen Orta Anadolu segmentinin bir kısmını içeren *Aktuğ et al.* 2015 çalışması da mevcuttur (Şekil 5.18). Bu çakışan bölge Destek segmentinin batısından başlamakta olup, proses kapsamında tanımlanmış olan fayın ~100 km'lik bir kısmını içermektedir.



Şekil 5.21 : Proje kapsamında incelenen Orta Anadolu segmenti ile örtüşen bir diğer çalışmaya ait fay düzlemindeki kaymaları gösteren grafik (*Aktuğ et al.*2015). Grafikteki her bir parçanın boyutları 5x7 km'dir.

Aktuğ et al. 2015 çalışmasının incelediği bölge, bu çalışma için tanımlanan Orta Anadolu segmentinin ~100 km'lik kısmı ile örtüşmektedir. Çalışmaya göre KAF'ın bu kısmında 0-5 km derinlikler arasında kilitlenme oranlarına ilişkin veriler de sunulmuştur. Bu veriler, bu çalışma sırasında TDEFNODE ile tanımlanan kontrol dosyasındaki fay parametreleri üzerinde değişiklik yapmak için kullanılmış ve bu çalışma ile tanımlanan modele olan etkisi incelenmiş; sonuç dosyalarındaki model ve ölçüm hızları kıyaslanmıştır. Ancak, *Aktuğ et al.* (2015) verileri mevcut fay geometrisine uygulanmasın ya da uygulanmasın; yani fay tamamen ya da kısmen kilitli (~5 km derinliğe kadar) olarak tanımlandığında bile χ^2 testi sonuçları 6.00-6.50 değeri arasında değişmektedir.



Şekil 5.22 : Orta Anadolu segmentine ait TDEFNODE prosesi hız vektörleri kıyaslaması.

Orta Anadolu segmenti için yapılan proses sonuçlarına göre, ölçüm ve hesap hız vektörlerinin birbirine yakın değerler bulunması; ancak χ^2 değerinin istenen (1.00) değerine yakınsamaması (~ 6.00); tanımlanan blok ve fay geometrisi ile ilgili bazı sorunların olabileceği kanısını doğurmuştur. Prosesler sırasında blok genişliklerinde daraltma yapıldığında (~ 25 km) χ^2 sonuçlarında belirgin bir düşüş olmasına rağmen (~ 4.00) hız vektörleri kıyaslamasında yine kayda değer farkların bulunmaması; fay geometrisindeki tanımlama yeterli olsa bile, özellikle tanımlanan Avrasya bloğunun kuzeyindeki mevcut hız vektörlerinin sayısının yetersiz olduğuna ve bölge için tıpkı İsmetpaşa ve Destek segmentlerindeki benzer profiller şeklinde her 2 blok üzerinde tesis edilecek istasyonlar ile ölçümlerin yapılması gerektiği düşüncesine ulaştırmaktadır.

6. SONUÇLAR

Bu tez çalışması kapsamında; dünyada nadir olarak gözlenen asismik krip hareketi, Türkiye’de tespit edildiği İsmetpaşa ve Destek segmentlerinde oluşturulan profiller boyunca 2014-2016 yılları arasında 3 kampanya GPS ölçümleriyle gözlenmiştir. Ayrıca KAF’ın bu iki segmenti arasında kalan yaklaşık 240 km uzunluğundaki kısmı da sürekli ve kampanya noktaları ağıma dahil edilerek değerlendirilmiştir. Fay parametrelerinin belirlenmesinde önceki çalışmalardan elde edilen sonuçlar ile sismik ve jeolojik verilerden de faydalanılmıştır.

Blok sınırları ve dolayısıyla fay yüzey koordinatlarının tespit edilebilmesi için MTA tarafından sunulan diri fay haritaları mevcuttur. Ancak İsmetpaşa ve Destek segmentlerinde bu haritalardan ziyade bölgede tesis edilmiş olan lokal jeodezik ölçüm ağlarından yararlanılarak fay yüzey koordinatları belirlenmiştir. Bu ağlar, bu tez çalışmasından önce İsmetpaşa ve Destek segmentlerinin yüzeyden doğrudan asismik krip gözlenen çeşitli kısımlarında tesis edilmiştir. Fayın bu lokal ağları takip ederek yeryüzünde bir iz oluşturduğu göz önüne alınmış ve model çalışması için fay yüzey koordinatları bu ağların ortasından geçecek şekilde hesaplanmıştır. Orta Anadolu segmentinin yüzey koordinatları belirlenirken ise MTA’ya ait diri fay haritası kullanılmıştır (Karabacak et al. 2011, Emre Ö vd. 2013, Emre et al. 2018).

İstikşaf çalışmaları sonucunda toplam 22 noktadan oluşan bir GPS ağı oluşturulmuştur. Bu ağa bölgedeki 30 adet TUSAGA-AKTİF istasyonu da dâhil edilerek toplam 52 noktaya sahip bir ağ elde edilmiştir. Ölçüm kampanyaları her ne kadar 2014-2016 yılları arasındaki Ağustos aylarında yapılmış olsa bile, özellikle GLOBK değerlendirme aşamasında stabilizasyonu artırabilmek amacıyla, TUSAGA-AKTİF istasyonlarına ait 2009-2016 yılları arasındaki veriler de kampanyalarla uyumlu olacak şekilde 6 ayda bir olmak üzere (Ocak-Ağustos dönemleri) değerlendirmeye dâhil edilmiştir. Bunun yanı sıra bölgede meydana gelen 1943 ve 1944 depremleri ve sonrasındaki bütün depremler değerlendirilmiş ve o dönemden sonraki bütün deprem odak derinlikleri incelenerek fay parametrelerinin belirlenmesinde veri olarak kullanılmıştır.

Yapılan ölçümler öncelikle GAMIT/GLOBK yazılımıyla değerlendirilerek istasyon hızlarının ölçüm periyotları boyunca değişimi ITRF2008 datumunda hesaplanmış; ardından da TDEFNODE yazılımı ile fay parametrelerinin belirlenmesine çalışılmıştır.

Deprem odak noktalarının belirlenmesinde önceki çalışmalardan faydalanılmış ve sismojenik tabaka kalınlığı ve kilitlenme derinliği bu çalışma kapsamında her 3 segment için de 15 km olarak seçilmiştir. Yapılan deprem odak derinliğine ait veriler ve model prosesleri ile KAF üzerinde yapılan önceki çalışmalar, seçilen bu optimum kilitlenme derinliğinin durumunu destekler niteliktedir (Ketin 1976, Aktuğ ve Çelik 2008, Yavaşoğlu 2009).

Çalışma bölgesi KAF'ın orta kesimlerinde yer almaktadır. Bu bölge için daha önce yapılan çalışmalarda Anadolu levhasının Avrasya levhası sabit alındığında, uzun dönem jeodezik kayma hızları 24 ± 2 mm/yıl; çalışma bölgesinin doğusunda kalan ve nispeten lokal bir alanı kapsayan Ilgaz-Amasya arasındaki segment için ise 20.5 ± 1.8 mm/yıl olarak bulunmuştur (McClusky et al.2000, Reilinger et al. 2006, Yavaşoğlu 2011). Ancak bölgesel bir değerlendirme yapılmak istendiğinde, genel yaklaşım levha hızlarının bütün Anadolu'yu kapsamayı yönünde olacaktır. Bu nedenle bu çalışma kapsamında uzun dönem jeodezik kayma hızları 24 mm/yıl olarak kabul edilmiş ve fay parametreleri buna göre değerlendirilmiştir. İsmetpaşa ve Destek segmentleri için yapılan değerlendirmeler, özellikle Anadolu levhasının iç kısımlarında ve çalışma bölgesinin güneyinde yer alan istasyon hızları göz önüne alındığında bu değere yakın sonuçlar vermektedir. Sonuçlar arasında bir takım farkların gözlenmesinin, bölgedeki jeolojik yapı, incelenen fay segmenti yeri ve istasyon konumları gibi bazı koşullardan kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak elde edilen bu hız değerleri ile önceki çalışmalar arasındaki farklar herhangi bir anomaliye işaret etmemektedir.

Fay parametrelerinin belirlenmesi aşamasında, İsmetpaşa, Destek ve Orta Anadolu segmentleri için yapılan son tanımlamalarda 2 blok ve 1 faydan oluşan modeller kullanılmıştır. Her bir segment için birden fazla blok ve fayın olduğu çok sayıda model tanımlanmış olsa da; bunlara ait model ve ölçüm hızları arasındaki uyumsuzluk ve χ^2 testi sonuçlarının istenen değerlere yakınsamaması (~ 1.00) sonuç olarak bu tasarıma ulaşılmasına neden olmuştur. Özellikle İsmetpaşa ve Orta Anadolu segmentleri için yapılan çalışmalarda, tanımlanan bloklar içerisinde yer aldığı düşünülen Laçın fayı; önceki çalışmalarda olduğu gibi anlamlı bir hareket üretmediğinden hareketle fay geometrisinden çıkarılmıştır. Ayrıca bölgedeki

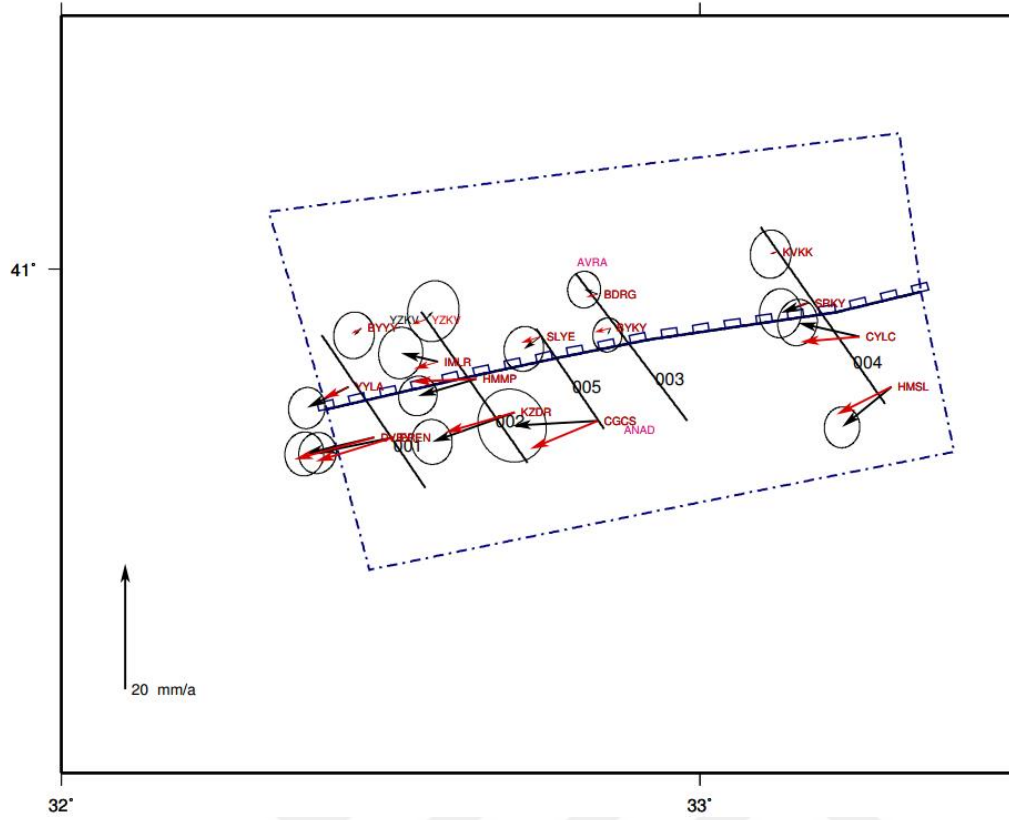
istasyonların hızları değerlendirildiğinde, bu fayın asismik krip gözlenen bölgenin etki alanı dışında olduğu ya da bloğun o bölgesindeki hız alanının yetersiz olduğu düşünülmektedir (Yavaşoğlu 2009).

Çalışma sonuçları 3 farklı segmente göre ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

6.1 İsmetpaşa Segmenti

İsmetpaşa segmentindeki asismik krip olgusu 1970’li yıllardan beri bilinmektedir. Bu hareketin doğasını anlayabilmek için bölgede çok sayıda çalışma yapılmış; ancak bunların çoğunluğu lokal olarak yersel ölçüm yöntemleri ile İsmetpaşa Kasabası civarında yoğunlaşmıştır. Segmentin tamamı için InSAR ve PALSAR tabanlı çalışmalar yapılmış olsa da; bu tez çalışmasında olduğu gibi bölgenin tamamını içeren bir yersel gözlem ağı mevcut değildir. Daha önceki çalışmalarda yersel ölçüm yöntemleri ile 6.1-20.0 mm/yıl; InSAR ile elde edilen yöntemler de ise 8.0-15.7 mm/yıl krip hızları elde edilmiştir (Ambraseys 1970, Aytun 1982, Eren 1984, Altay&Sav 1991, Deniz et al.1993, Kutoglu&Akcin 2006, Kutoglu et al. 2008, Kutoglu et al. 2010, Karabacak et al. 2011, Görmüş 2011, Kutoglu et al. 2012, Ozener et al. 2013, Bilham et al. 2016, Cakir et al. 2005, Deguchi 2011, Fialko et al. 2011, Köksal 2011, Kutoglu et al. 2012, Kaneko et al. 2013, Cetin et al. 2014).

Çalışma öncesinde İsmetpaşa segmentinde fayı yaklaşık dik olarak kesecek şekilde 4 ana profil tasarlanmış (001-004 nolu profiller); ayrıca uygun konumlarından dolayı ölçüm ağına eklenen 2 istasyon yardımıyla bir de yardımcı profil oluşturulmuştur (005 nolu profil) (Şekil 6.1).

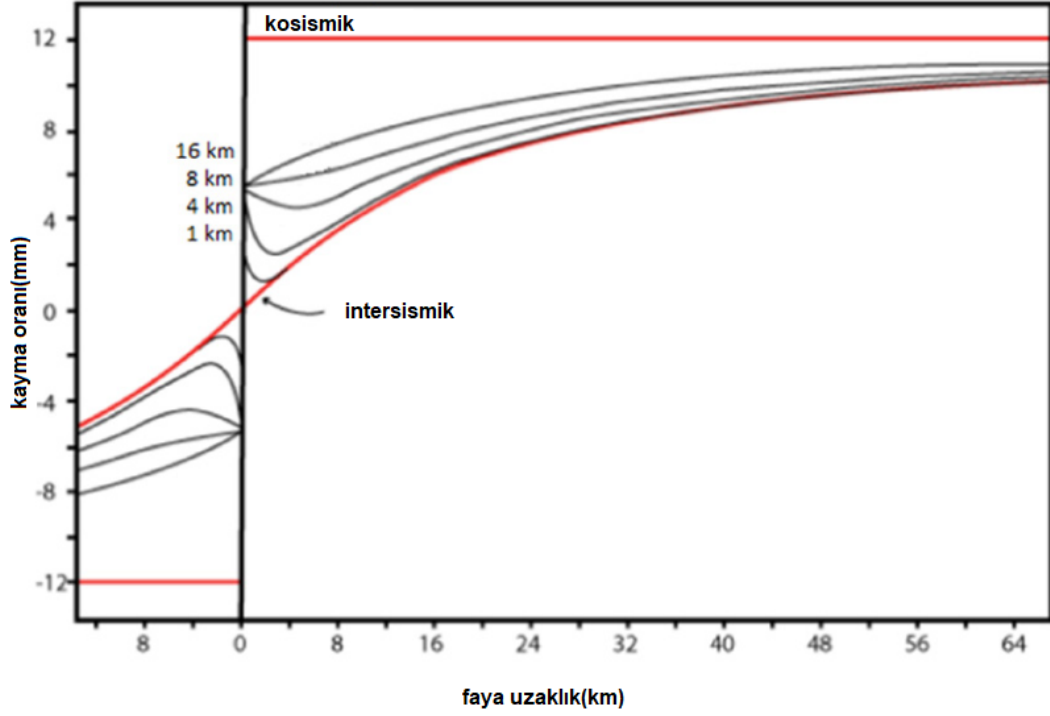


Şekil 6.1 : İsmetpaşa segmentinde faya yaklaşık dik olarak ve batıdan doğuya doğru oluşturulan profiller. 001-004 nolu profiller istikşaf öncesi tasarlanmış, 005 nolu profil ise bölgede uygun konumda bulunan ve ağa eklenen iki nokta (SLYE-Avrasya bloğu üye üzerinde, CGCS-Anadolu bloğu üzerinde) ile tesis edilmiştir.

Ölçüm istasyonlarının faya olan dik uzaklıkları, kilitlenme derinliklerinin tespit edilebilmesi için en önemli etkenlerden biridir. Faydan uzakta ve blokların iç bölgelerinde yer alan noktalara ait hızlar uzun dönem jeolojik kayma hızlarının tespit edilebilmesi için; fay düzlemine yakın noktaların hızları ise kilitlenme derinliğini belirleyebilmek için kullanılabilir (Taskin et al. 2003, Halıcıoğlu vd 2009, Bohnhoff et al. 2016). İstikşaf öncesi ölçüm istasyonlarının yaklaşık konumları bu kriterler göz önüne alınarak tespit edilmiştir.

Asismik krip hareketi, hareketin mekanizmasına bağlı olarak bir fayın her iki yanında da belirli miktarlarda gözlenebilmektedir. Krip gözlenen tabaka kalınlığı ile fay üzerinde gözlem yapmak üzere kurulacak istasyonların faya dik uzaklıkları buna göre belirlenebilir (Şekil 6.2). Burada asismik krip davranışının intersismik dönemdeki hareketten karakter olarak ayrıştığı faya dik uzaklıklar da tespit edilmelidir. Sismik veriler, bölgede 1999 öncesinde meydana gelen depremlerin ortalama 15.2 km derinliklerde; 1999 sonrasında ise ortalama 8.0 km derinliklerde oluştuğunu

göstermektedir. 1999 Düzce depremi ($M_w=7.1$) İsmetpaşa segmentinin batısında meydana geldiğinden, bu ve sonrasındaki depremlerin asismik krip üzerine olası etkilerini değerlendirmek üzere deprem odak derinlikleri de incelenmiştir. Gözlenen durum asismik kripin sismojenik tabakanın tabanına kadar (15 km derinlik) gözlenmediği ve yüzeye yakın bölgelerle sınırlı olduğuna işaret etmektedir. Bu durum önceki çalışmalarla da uyumludur (Cetin et al. 2014, Url-15).



Şekil 6.2 : Kayma oranı ve faya olan uzaklık ilişkisi. Kırmızı çizgiler kilitli bir faydaki intersismik (deprem öncesi dönem) ve kosismik (deprem anı) davranışları ayrı ayrı göstermektedir. Siyah çizgiler ise asismik krip gözlenen bir bölgede faya olan uzaklık ve gözlenebilecek yersel hareket arasındaki ilişkiyi temsil etmektedir.

Asismik krip kilitlenme derinlikleri 1-4-8-16 km'ler için seçildiğinde yersel hareketin faya hangi uzaklıklarda optimum olarak tespit edilebileceği de değerlendirilebilir (Yavasoglu et al. 2015).

Bunun yanı sıra yapılan bazı deneysel çalışmalarda, kilitlenme derinliklerinin prezisyonlu olarak belirlenebilmesi için ölçüm istasyonlarının faya, kilitlenme derinliğinin ($\pm 1/\sqrt{3}$) katı kadar ve fayın her iki yanında tesis edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır (Kutoglu&Akcin 2006, Halıcıoğlu vd. 2009).

İsmetpaşa segmentindeki fay düzleminin tamamında değil, sadece belirli bir kısmında asismik krip hareketinin oluştuğu düşünülmektedir. Bu durumda bölgede izlenmesi gereken 2 farklı büyüklük ortaya çıkmaktadır: fayın ana kilitlenme derinliği ve asismik krip hareketinin sönümlendiği derinlikler.

Bu veriler yukarıdaki şekille beraber değerlendirildiğinde, fay boyunca sismojenik tabaka kalınlığının 15 km olduğu; asismik krip gözlenen tabakanın ise 5-8 km civarında sönümlenmeye başladığı düşünülmektedir. Buna göre asismik krip hareketinin belirgin olarak gözlenebileceği optimum istasyon konumlarının faya dik olarak 3 ve 10 km'ler civarında olması gerektiği sonucuna varılabilir; ayrıca jeolojik yapı, güvenlik, vb. konularda göz önüne alınarak istasyon konumları bu değerlere uygun olarak her bir profil için 4'er noktadan oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Bu segmentteki blok ve fay tanımları Ek E.2'de verilmiştir.

İstikşaf sırasında bahse konu koşullara uygun konumlarda noktaların tesis edilmesi planlanmıştır. Ancak gerek bölgedeki kayaç yapısı, gerekse de güvenlik gibi koşullar nedeniyle 001 ve 002 nolu profillerin Anadolu bloğu üzerindeki kısımlarında faya 10 km dik uzaklık şartı sağlanamamıştır. Ancak bu istasyonlara ait veriler asismik kripin gözlenebilmesi için ideal uzaklıkların sağlandığını düşündürmektedir.

002 nolu profilin Anadolu bloğu üzerinde yaklaşık olarak 3 km güneyde yer alan KZDY istasyonu daha önce resmi kurumlarca tesis edilen bir pilye olup; bu istasyon 2014 kampanyasından sonra tahrip edilmiş, bundan dolayı da değerlendirmelerden çıkarılmıştır.

003 nolu profilin güneyinde yer alan ORMN ve KDZU istasyonlarına ait ilk aşamada GAMIT/GLOBK ile hesaplanan hızlar ise, bu noktalarda görülen anomalilerden dolayı değerlendirmeden çıkarılmıştır. Bu durum mevcut yüzey hızları kullanılarak bu profildeki asismik krip oranının kestirimine imkân vermemektedir. Ayrıca bu istasyonlara ait hızlar blok modellemede de kullanılmamıştır.

Bölgesel olarak bütün kampanya ve sürekli ölçüm istasyonlarına ait GLOBK sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, fay düzleminden kuzeye doğru gidildiğinde Avrasya bloğu üzerindeki hızlar gittikçe azalmakta; güneye doğru ise Anadolu bloğu üzerindeki hızlar ise gittikçe artış göstermekte ve sürekli ölçüm istasyonlarında (TUSAGA-AKTİF) 2.3-2.4 cm/yıl değerlerine ulaşmaktadır. Bu durum Anadolu bloğunun Avrasya bloğuna göre rölatif olarak batıya doğru hareket ettiği savıyla örtüşmektedir. Ayrıca bölgeye ait uzun dönem jeolojik kayma hızları ile GLOBK sonuçlarına göre fay düzlemlerinde kestirilen asismik krip hızlarının farklarının ise bölgede biriken gerinime işaret ettiği düşünülmektedir (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1 : GAMIT/GLOBK sonuçlarına İsmetpaşa segmentindeki profiller boyunca fay düzleminde enterpolasyon ile kestirilen asismik krip oranları. Profiller batında doğuya doğru sıralanmıştır.

Profil No	Asismik krip oranı (mm/yıl)
001	14.0±3.0
002	14.9±3.4
005 (ara profil)	14.0±4.2
003	?
004	10.0±3.1

Asismik kripin doğrudan bölgenin jeolojik yapısıyla ilişkili olduğu bilinmektedir (Kaduri et al. 2017). Bölge ile ilgili yapılan çalışmalarla oluşturulan profiller beraber değerlendirildiğinde, İsmetpaşa'nın yaklaşık 14 km batısından geçen 001 nolu profilden doğuda 003 nolu profilin 16 km doğusuna kadar uzanan yaklaşık 54 km'lik kısmında kireçtaşı; 004 nolu profili içeren diğer kısmında da kireçtaşı ve kumtaşı-aglomera-lav-kil karışımında bir jeolojik yapıya sahip olduğu bilinmektedir (Cetin et al. 2014). 001-002-005 nolu profillerde gözlenen yaklaşık 14-15 mm/yıl yüzey hızlarının 004 nolu profilde 10 mm/yıl civarında olmasının, fayın jeolojik yapısındaki yoğunluk değişiminden ve/veya kayaç yapılarındaki farklılıklarından oluşabileceği düşünülmektedir.

GLOBK sonuçlarına göre kestirilen hızlar değerlendirildiğinde, asismik kayma hareketinin 001-002-005 nolu profiller boyunca segmentteki biriken gerininin yaklaşık %60'lık; 004 nolu profilde ise yaklaşık %42'lik kısmının boşaldığı tahmin edilmektedir. 003 nolu profilde herhangi bir kestirimde bulunulamamasına rağmen, segment geneline (~80 km) bakıldığında ise mevcut blok gerininin %55 kadarının asismik krip ile boşaldığı ilk aşamada hesaplanmaktadır. Bu da asismik kripin uzun zaman jeodezik kayma hızlarına göre blok genelinde ortalama 13.2±3.2 mm/yıl oranında gözlendiğine işaret etmektedir. Gözlenemeyen 10.8 mm/yıl oranındaki hızın ise fay üzerindeki gerininin birikmesine neden olduğu düşünülmektedir.

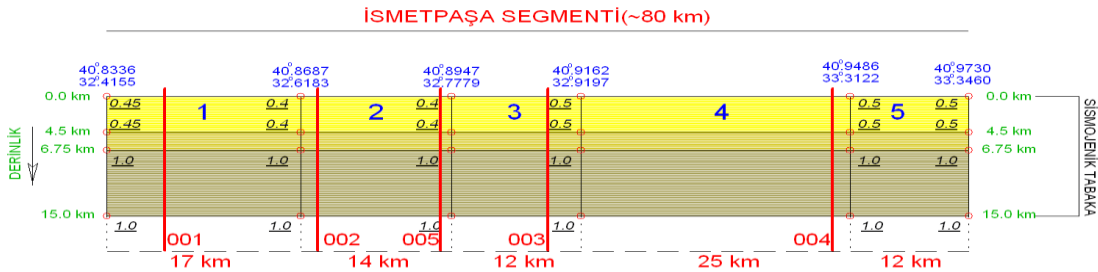
GLOBK sonuçlarına göre hesaplanan asismik krip oranı yüzey hızlarından hareketle kestirilebilir, ancak derinlik ögesinden bağımsız olup fayın ne kadarlık bir kısmında bu olgunun gerçekleştiği ile ilgili kesin bir bilgi sağlamaz. Bu nedenle fay geometrisinin kestirilebilmesi için blok davranışlarını temsil eden bir model çalışması da gereklidir.

Bölgeyi temsil eden blokların ve fay düzleminin bir arada değerlendirilmesi, 5 numaralı bölümde ayrıntılı olarak açıklandığı şekilde TDEFNODE yazılımı ile

mümkün olabilmektedir. Blokların Euler kutuplarına göre açısal hızları ile çalışma bölgesindeki fay düzlemi için tanımlanan parametreler sonucu hesaplanan hızlar arasındaki farklılıklar, fay düzlemi geometrisinin anlaşılabilmesi için önemli etkenlerdir. Buna göre model sonuçlarına göre elde edilen hızlar ile ölçüm hızları arasındaki farkın az olması beklenmelidir. Ayrıca verilerin test edilmesi için kullanılan χ^2 testi değerinin de mümkün olduğunda düşük bir değer alması ve (1.00) değerine yakınsaması, model ve yüzey hızlarının uyumluluğunu göstermektedir.

Blok model parametreleri ile yüzeyde mevcut 6 nokta ile tanımlanan fay 5 alt parçaya bölümlenmiş; oluşturulan derinlik eğrileri boyunca her bir düğüm noktası için tanımlanan phi değerleri ise fayın o bölgedeki davranışını temsil etmekte ya da fayın kilitlenme oranlarını göstermektedir. Phi değerinin “0” olduğu yerlerde fayın tamamen serbest kayma hareketi yaptığı, “1” olduğu yerlerde ise tamamen kilitli olduğu kullanıcı tarafından modelde göz önüne alınmaktadır. Yani tanımlanan parametrelere göre phi değeri ile fayın o düğüm noktasındaki hızı arasında ters orantı mevcuttur. Phi değeri ne kadar yüksekse o düğümdeki model hızı o kadar düşük olacaktır. Bölgedeki uzun dönem jeolojik hızlara göre bu kilitlenme değerleri oranlandığında da düğüm noktalarındaki hızlar hesaplanabilir. Bölgedeki jeodezik hızlar 24 ± 0.2 mm/yıl olarak daha önceki çalışmalarda tanımlanmıştır. Bu değerler ve düğüm noktalarındaki phi değerleri oranlanarak da fay düzleminde tanımlanan düğüm noktalarına ait hızlar hesaplanabilir.

Fay düzlemi batıdan doğuya doğru değerlendirildiğinde; düğüm noktalarına ait phi değerlerindeki farklılıklar, fayın o alt parçası için ortalama bir değer alınmasını gerektirmektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 : İsmetpaşa segmenti için son tanımlanan fay geometrisi. Her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında tanımlanan kilitlenme oranları grafikte belirtilmiştir. Bu değerler fay düzleminin o düğüm noktasında ne oranda kilitli olduğunu göstermektedir (0-serbest kayma, 1-tamamen kilitli). Dikey kırmızı çizgiler ise GLOBK sonuçlarına göre oluşturulan profillerin, blok model ile kesiştiği bölgeleri göstermektedir.

GLOBK sonuçlarına göre oluşturulan profillerin konumu ile blok modelleme sonucu oluşturulan alt parçaların konumları yaklaşık olarak örtüşmektedir. Bu nedenle her iki yöntem ile elde edilen hızların birbirleriyle karşılaştırılması mümkün olabilir (Çizelge 6.2).

Çizelge 6.2 : TDEFNODE model sonuçlarına İsmetpaşa segmentinde oluşturulan her bir alt parça için hesaplanan hızlar ve GLOBK sonucu kestirilen krip oranları. Bölümler ve profiller batıdan doğuya doğru sıralanmıştır.

Alt bölüm no	Uzunluk (km)	Asismik krip oranı (mm/yıl) [TDEFNODE]	Profil No	Başlangıca uzaklık (km)	Asismik krip oranı (mm/yıl) [GLOBK]
1	17	13.7	001	5	14.0±3.0
2	14	14.4	002	19	14.9±3.4
3	12	13.2	005 (ara profil)	31	14.0±4.2
4	25	12.0	003	41	?
5	12	12.0	004	67	10.1±3.1

Hem yüzey hızları, hem de model hızları göz önüne alındığında birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ancak blok modellemenin en önemli avantajı, yüzey hızlarına göre asismik krip hızının kestirilemediği bölgelerde de (003 nolu profilde) hızın tahmin edilmesine olanak sağlamasıdır. Hız oranları fay düzlemi boyunca farklılık göstermekle beraber, blok alt parçalarının uzunluklarına göre ağırlıklandırılması ile bölgenin ortalama asismik krip hızından bahsetmek mümkün olabilir. Hesaplanan hızlara göre de bölgedeki asismik krip ortalama 13.0 ± 3.3 mm/yıl olarak gözlenmektedir. Bu da bölgedeki gerininim %55 civarında asismik krip ile boşaldığını göstermekte; GLOBK sonuçlarına göre de ortalama olarak hesaplanan hız 13.2 mm/yıl olup; hem model hem de ölçüm sonuçları birlikte değerlendirildiğinde yaklaşık aynı değere işaret etmektedir. χ^2 testi sonuçları da (1.00) göz önüne alındığında, oluşturulan modelin fay düzlemi parametrelerini doğru olarak yansıttığı; model hızları ile ölçüm hızları arasındaki farkların ise segment boyunca meydana gelen ve modellenemeyen lokal deformasyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Modele göre oluşturulan fayın alt parçaları incelendiğinde ise asismik krip yüzeyden itibaren belirli derinliklere kadar farklılık göstermektedir. Tanımlanan parametrelere göre fayda gözlenen asismik krip, sismojenik tabakanın tabanına kadar gözlenmeyip 0-6.75 km derinliklerle sınırlıdır. Segment boyunca asismik kripin fay düzleminin 4.5-6.75 km'leri arasında lineer olarak azaldığı ve sönümlendiği; 6.75 km'den sismojenik tabakanın tabanına kadar (15 km) ise fayın tamamen kilitli olduğu tahmin edilmektedir.

Blok ve fay geometrileri göz önüne alınarak yapılan prosesler sonucu elde edilen model hızları ve model öncesi hızlar birlikte değerlendirildiğinde, gözlenen istasyonlar, profiller ve sonuç olarak blok bazında gözlenen asismik krip olgusunun; proje ölçüm takvimi ve önceki çalışmalar da düşünüldüğünde süregiden ve fay düzlemi boyunca nispeten lineer bir davranışa sahip olduğu; ancak jeolojik yapıdaki yoğunluk ve sürtünme gibi değişimlerden dolayı segmentin doğuda kalan kısmının daha yavaş; batı tarafında kalan kısmının ise daha hızlı hareket ettiği tahmin edilmektedir.

Bu segmentte 1970'li yıllardan bu yana ve özellikle 2004 yılından sonra yoğunlaşmak üzere, çok sayıda çalışma yapılmıştır. Farklı ölçüm teknikleri ile segmentin tamamı ya da lokal bir bölgesi üzerinde yapılan bu araştırmalar, asismik krip oranını bildirmekle beraber hareketin trendi ile ilgili kesin bir bilgi vermemektedir. Ölçüm tekniklerine göre ayrı ayrı incelendiğinde ise, segmentin tamamı boyunca yapılan InSAR ve PALSAR tabanlı çalışmaların sonuçları, krip trendinin 2005 (8.0 mm/yıl) yılından sonra artıp 2011 yılında en yüksek oranlara ulaştığını (15.7 mm/yıl) ve 2013-2014 yıllarında (9.0 ve 8.0 mm/yıl) yeniden bir yavaşlama trendine girdiğini düşündürmektedir. Benzer bir trend, yapılan daha eski çalışmalara ait veriler incelendiğinde de göz çarpmaktadır. Lokal olmakla beraber İsmetpaşa yakınlarında yapılan GPS çalışmalarında da benzer bir trend göze çarpmaktadır. Revize edilen değerlere göre ve ölçüm yöntemi ile lokal/segment bazında yapılmasından bağımsız olarak, ilk olarak 1970 yılında tespit edilen krip hızı ilerleyen yıllarda (1975) azalmış; ardından 1990 yılından itibaren yeniden hızlanma eğilimine girmiş görüntüsü vermektedir. Özellikle 2006 yılında yapılan ilk GPS ölçümlerinden (7.8 mm/yıl) sonra bu trend hızlanmaya başlamış ve 2010 yılında (15.1 mm/yıl) en üst seviyeye ulaştıktan sonra 2013 yılında yeniden azaldığı (7.6 mm/yıl) gözlenmiştir. Bölgede 2011 yılında yapılan LIDAR çalışmalarında da 6.8-10.1 mm/yıl civarında krip olduğu bilgisi de mevcuttur. Ayrıca yapılan daha eski çalışmalarda da (triangülasyon, kripmetre, vb.) ~10 mm/yıl gibi değerler elde edilmiştir. Ancak 2016 yılında yapılan kripmetre ölçümleri ise 6.1 mm/yıl değerine işaret etmektedir (Ambraseys 1970, Aytun 1982, Eren 1984, Altay&Sav 1991, Deniz et al.1993, Kutoglu&Akcın 2006, Kutoglu et al. 2008, Kutoglu et al. 2010, Karabacak et al. 2011, Görmüş 2011, Kutoglu et al. 2012, Ozener et al. 2013, Bilham et al. 2016, Cakir et al. 2005, Deguchi 2011, Fialko et al. 2011, Köksal 2011, Kutoglu et al. 2012, Kaneko et al. 2013, Cetin et al. 2014). 2014-

2016 yılları arasında yapılan bu çalışmada ise model sonuçlarına göre 13.0 mm/yıl krip oranı olduğu hesaplanmaktadır. Bu çalışmalar lokal ya da segmentin tamamını kapsayıp kapsamadığına göre, ayrıca kullanılan ölçüm tekniğine göre sınıflandırılabilir.

Bu çalışmaya ait veriler, ölçüm tekniğine ve dönemine bağlı olarak da önceki çalışmalarla beraber değerlendirilebilir. Elde edilen sonuçlar, 2005-2014 yılları arasında InSAR tabanlı yapılan çalışma sonuçlarına göre krip oranının en yükseğe ulaştığı 2011-2012 dönemine (Köksal 2011, Kutoglu et al. 2012) yakın krip oranlarına işaret etmektedir. 2013-2014 yıllarındaki çalışmaların sonuçları (Kaneko et al. 2013, Cetin et al. 2014) ve bu model çalışması sonuçları arasındaki farklılıkların ise ölçüm tekniği farklılıkları ile elde edilebilecek doğruluklar ya da mevsimsel etkilerden dolayı ortaya çıkabileceği tahmin edilmektedir.

Bu segmentte lokal olarak yapılan çalışmaların sonuçları ise, özellikle 2008 yılından itibaren krip oranındaki artışa işaret etmektedir (Kutoglu et al. 2008). 2006 yılından bu yana yapılan bu çalışmalar ağırlıklı olarak GPS ölçümlerine dayanmakta (Kutoglu&Akcin 2006, Kutoglu et al. 2008, Kutoglu et al. 2010, Görmüş 2011, Kutoglu et al. 2012, Ozener et al. 2013); ayrıca segmentin 2 farklı bölgesinde yapılan LIDAR çalışmaları da (Karabacak et al. 2011) bölgeye ait farklı veriler sunmaktadır. GPS sonuçları krip trendinde bir artışı gösterirken, LIDAR çalışmaları ise 2005 öncesindeki çalışmalarla (Ambraseys 1970, Aytun 1982, Eren 1984, Altay&Sav 1991, Deniz et al. 1993) kıyaslandığında stabil bir trende işaret etmektedir. Bu çalışmanın sonuçları ise 2008-2011 yılları arasındaki GPS çalışmaları ile benzer oranları vermekte; diğer çalışmalardan ise belirgin olarak farklılıklar göstermektedir. 2011'ten sonra yapılan lokal çalışmalar ise bu çalışmanın sonuçlarından farklılık göstermektedir. Bu durum ilk aşamada, krip trendindeki artışa işaret ediyor olabilir. Uyuşumsuz sonuçların ise modellenemeyen deformasyonlar, ölçüm tekniği farklılıkları ya da mevsimsel etkilerden dolayı ortaya çıkabileceği tahmin edilmektedir.

İsmetpaşa segmentindeki bütün çalışmalar birlikte değerlendirildiğinde, 1970-2005 yılları arasında bir artışın ve sonra bu dönemin sonuna doğru bir azalmanın görüldüğü; ardından 2005-2014 döneminde yeniden bir artış ve 2014 yılına doğru bir azalma meydana geldiği göze çarpmaktadır. Bu çalışma ile ise 2014-2016 yıllarından itibaren krip trendinde yeniden bir artış olduğundan söz edilebilir; ancak bu hareketin frekansı

ile ilgili kesin bir yorumda bulunmak mümkün değildir. 1970-2005 yılları arasındaki çalışmalar için kısmi bir süreklilik görülse de, gerek ölçüm yöntemleri; gerekse de ölçüm kampanyalarının sıklığı bu konudaki belirsizliği giderememektedir. Ayrıca bu çalışma sonuçlarına göre de nispeten artan bir hızın görülmesi söz konusu olup, asismik krip hareketinin kesin olarak sonlanacağını gösteren herhangi bir bulguya ulaşılamamıştır. Bu nedenlerle bölgedeki hareketin sürekli istasyonlar ile segmentin tamamı boyunca izlenmesi; trendin değişkenliği hakkında daha fazla bilgi sunabileceği değerlendirilmiştir..

Ayrıca bölgede uzun vadede büyük ölçekli bir deprem oluşabileceği model sonuçlarından görülmektedir. Bu durum asismik krip hızının gözlenen blok hızlarından düşük olması ve asismik kripin sismojenik tabakanın tamamında değil belirli bir kısmında gözlenmesi sonucu ortaya çıkmaktadır..

6.2 Destek Segmenti

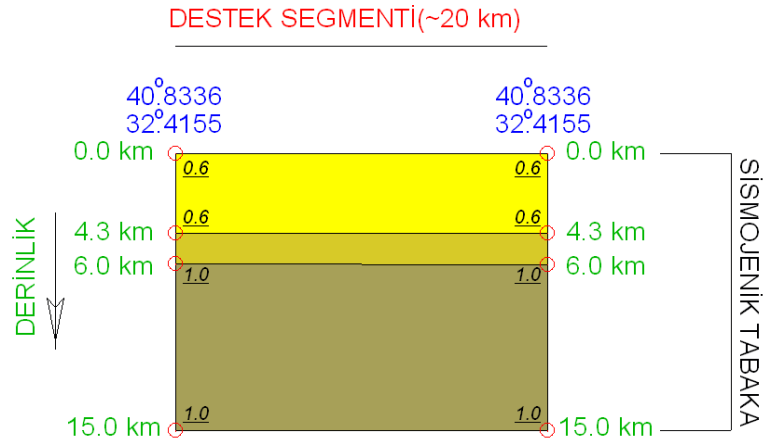
Bu segmentteki asismik krip hareketi, İsmetpaşa segmentine nazaran yakın tarihte fark edilmiştir. Ayrıca segmentte yapılan çalışmaların sayısı sınırlıdır ancak benzer sonuçlara işaret etmektedir (6 ve 6.6 mm/yıl) (Fraser et al. 2009, Karabacak et al. 2011).

Bu segmentteki ölçümler İsmetpaşa segmenti ile eş zamanlı olarak tamamlanmış olup, istikşaf öncesi tek bir profil oluşturulması ve ağ yapısının ise 4 noktalı olması planlanmıştır. Ölçüm istasyonların faya olan uzaklıklarının fayın her iki yanında 3 ve 10 km'lerde olması planlanmış olsa da jeolojik durum, lojistik ve güvenlik nedenleriyle istasyon konumlarında bazı değişiklikler yapılmıştır. Bölgeye ait sismik verilerin değerlendirilmesi ile de, bu bölgedeki asismik kripin İsmetpaşa segmentine benzer şekilde sismojenik tabakanın tabanına kadar gözlenmediği; sadece belirli derinliklerle sınırlı olduğu düşünülmektedir. Fayın sismojenik tabaka kalınlığı ise 15 km olarak seçilmiştir (Ketin 1976, Aktuğ ve Çelik 2008, Yavaşoğlu 2009).

Yapılan değerlendirmeler sonucu GLOBK ile hesaplanan istasyon hızları kullanılarak kestirilen asismik krip hızı 10.6 ± 3.1 mm/yıl olarak hesaplanmıştır. Uzun dönem jeodezik hızlar (24 mm/yıl) düşünüldüğünde ise bölgedeki mevcut gerinimin yaklaşık %44'lük kısmının asismik krip ile boşaldığı hesaplanmaktadır (McClusky et al. 2000, Reilinger et al. 2006, Yavasoglu et al. 2011).

Bölgede asismik krip gözlenen bölgenin uzunluğu ile ilgili herhangi bir veri yoktur. Bu nedenle fay uzunluğu ve blok genişliklerinin belirlenmesinde ölçüm istasyonlarının konumları ve İsmetpaşa modeli baz olarak alınmış; fay uzunluğu ve blok genişlikleri 20 km olarak seçilmiştir.

Tanımlanan model (Şekil 6.4), tektonik blokların uzun dönem jeodezik hızları ile beraber değerlendirildiğinde bu segmentteki asismik krip oranı, yüzeyden 4.3 km derinliklere kadar 9.6 ± 3.1 mm/yıl olarak hesaplanmaktadır. Jeodezik hızlardan farkının ise (14.4 mm/yıl) bölgede gerinim birikimine neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca asismik kripin 4.3-6.0 km'ler arasında giderek sönümlendiği; fay düzleminin 6-15 km derinlikleri arasında ise tamamen kilitli olduğu düşünülmektedir. χ^2 testi sonuçları da (1.01) göz önüne alındığında, oluşturulan modelin fay düzlemi parametrelerini doğru olarak yansıttığı; model hızları ile ölçüm hızları arasındaki farkların ise segment boyunca meydana gelen ve modellenemeyen lokal deformasyonlardan kaynaklandığı düşünülmektedir.



Şekil 6.4 : Destek segmenti için son tanımlanan fay geometrisi. Her bir düğüm noktası için kontrol dosyasında tanımlanan kilitlenme oranları grafikte belirtilmiştir. Bu değerler fay düzleminin o düğüm noktasında ne oranda kilitli olduğunu göstermektedir (0-serbest kayma, 1-tamamen kilitli).

GLOBK ile kestirilen hızlar (10.6 mm/yıl) ve TDEFNODE ile belirlenen modele göre hesaplanan asismik krip oranları (9.6 mm/yıl) benzer sonuçlar vermektedir. Bu sonuçlar daha önce yapılan çalışmalarla (Fraser et al. 2009-6.0 mm/yıl, Karabacak et al. 2011-6.6 mm/yıl) birlikte değerlendirildiğinde ise krip trendinde bir artış olduğu değerlendirilmektedir. Bu segmentteki krip hareketinin varlığı birkaç senedir bilinmektedir (Karabacak et al. 2011). Bu süre bölgedeki krip trendinin tam olarak

belirlenebilmesi için yeterli olmayabilir. Bu nedenle bölgede periyodik ölçümlerin tekrarlanması veya sabit istasyonların kurularak jeodezik ölçümlerin yapılması ve segment uzunluğunun tam olarak belirlenebilmesi için saha çalışmalarının sürdürülmesinin gerekli olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

6.3 Orta Anadolu Segmenti

Bu segment için yapılan değerlendirmelere göre model ve ölçüm hızları global hızlar için uyumlu sonuçlar vermesine rağmen, bölge genelinde; özellikle χ^2 testi sonuçlarına göre modelin tektonik gerçekliği tam yansıtmadığına işaret etmektedir. Bu durumun bölgedeki hız vektörlerinin yetersiz olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu nedenle bu bölgedeki ölçüm istasyonu sayılarının bu projede tasarlandığı gibi profiller oluşturularak artırılması ve sürekli ölçümlerin yapılması bu segmentteki fay düzlemini parametrelerinin belirlenmesi için gerekli olduğu kanısına varılmıştır (McClusky et al. 2000, Reilinger et al. 2006, Yavasoglu et al. 2011).

6.4 Genel Sonuçlar

Bu çalışmada İsmetpaşa ve Destek segmentleri ile için şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Asismik krip oranını belirleyebilmek için ilk kez İsmetpaşa segmentinin tamamını kapsayan bir GPS ağı bu çalışma sırasında kurulmuş ve gözlenmiştir. Destek segmentindeki ilk GPS ağı yine bu çalışma sırasında tesis edilmiştir.
- Bu ağlar tesis edilirken sadece ana kilitleme derinliği değil, asismik kripin sönmülenebileceği derinlikler de dikkate alınıp fay düzlemine yaklaşık dik olarak şekilde 4'er noktalı profiller oluşturulmuştur. Lokal olarak İsmetpaşa ve Destek bölgelerinde tesis edilen bu ağların yanı sıra, her iki bölgeyi ve ikisi arasındaki Orta Anadolu segmentini de kapsayacak şekilde, uygun konumlara sahip cGPS (TUSAGA-Aktif) istasyonlarının verileri de değerlendirmeye dâhil edilmiştir. Bu sayede mikro (lokal) ölçekte değil makro (bölgesel) ölçekte blok hızlarının değerlendirilmesi mümkün olmuştur. IGS istasyonları da dâhil olmak üzere çok geniş bir bölgeyi kapsayan toplam 62 ölçüm istasyonunununa ait verilerin değerlendirilmesi

sonucu, Anadolu bloğunun Avrasya bloğu sabit kabul edildiğinde, batıya doğru 20-25 mm/yıl hızlarda hareketi doğrulanmaktadır.

- Her iki segmentteki asismik krip hareketi, raporlandıkları tarihten bu zamana kadar devam etmektedir. Bu hareketin sönümleneceğine ilişkin herhangi bir sonuca ulaşılamamıştır.
- Her iki bölge içinde sismojenik tabaka kalınlığı (kilitlenme derinliği) ~15 km'dir.
- Asismik krip gözlenen tabaka ise her iki segmente de yüzeyden sadece belirli derinliklere kadar oluşmaktadır. Bu durum *Bölüm 1.1*'de açıklanan 2 nolu senaryonun geçerli olduğunu göstermektedir.
- Tanımlanan modele göre İsmetpaşa segmentinde krip hareketinin 0-4.5 km derinliğe kadar devam ettiği anlaşılmakta ve 4.5-6.75 km arası lineer olarak azalarak sönümlenmektedir. Fay düzleminin 6.75-15 km arası derinlikleri tamamen kilitli durumdadır.
- Destek segmentinde ise asismik krip 0-4.3 km derinliğe kadar gözlenmekte ve 4.3-6.0 km arası sönümlenmektedir. Fay düzlemi 6.0-15 km'ler arası tamamen kilitli durumdadır.
- İsmetpaşa segmentinde yapılan bütün çalışmalar ve bu çalışma ile elde edilen sonuçlar birlikte incelendiğinde, asismik krip trendinde yeniden bir artış gözlenmektedir. Bu durum, Bölüm 1.4'te açıklanan beş farklı senaryodan 4 numaralı senaryoya uygun görünmektedir; yani asismik krip trendi stabil değil, sürekli değişen bir frekansa sahiptir. Trendin 1970-2016 yılları arasında stabil olmaması *Kutoglu et al. 2008* çalışmasında bahsedilen 3 nolu senaryonun geçerli olabileceği kanısını kuvvetli kılmaktadır. Buna göre asismik krip depremlerden önce ya da sonra uzun vadede değişik oranlarda gözlenebilir.
- Destek segmentinde ise *Fraser et al. 2009* ve *Karabacak et al. 2011* çalışmalarındaki değerler baz alındığında, krip trendinde %50 civarında bir oranda artış gözlenmektedir. Bu durum bölgede gerinim birikiminin giderek artan bir oranda asismik krip ile boşaldığına işaret etmektedir. Ancak asismik kripin yüzeyden sadece belirli derinliklere kadar gözlenmesi, bölgedeki gerinimin tamamen boşalmasına yetecek oranda değildir. Bu durum segmentin doğusu ve batısı için gerinim birikimine neden olabilir.

- Gözlenen krip oranları, Anadolu bloğunun Avrasya bloğu sabit alındığında gözlenen hızlarından daha düşüktür ve her iki segmentteki gerinim birikiminin oluşmasını tek başına engelleyemez. Bu durum, her iki bölgede de uzun vadede büyük ölçekli bir depremin oluşacağına işaret etmektedir.



7. ÖNERİLER

Asismik krip yeryüzünde nadir görülen doğal olaylardandır. Bu çalışma ile KAF boyunca 2 farklı yerde gözlenen bu hareket, tesis edilen çok geniş bir GPS ağı ile 2014-2016 yılları arasında izlenmiştir.

Blok modelleme sonucu elde edilen veriler İsmetpaşa ve Destek segmentlerindeki krip trendinde bir artış olduğunu düşündürmektedir. Orta Anadolu segmenti içinse anlamlı bir sonuca ulaşamamıştır.

Oluşturulan profillerdeki istasyonların fay düzlemine dik uzaklıkları göz önüne alındığında, özellikle Anadolu bloğu üzerindeki istasyon konumlarının asismik krip hareketinin yüzey hareketinin belirlenebilmesi için önemli olduğunu düşündürmektedir. Avrasya bloğu üzerinde kuzeye doğru gidildiğinde istasyon hızlarının giderek azalması; istasyon konumlarına ait belirsizliklerin tespit edilebilmesi için uzun periyot ölçümlerin gerekli olduğuna işaret etmektedir.

Asismik gözlenen tabakanın kilitleme derinliği ve fayın ana kilitleme derinliği için istasyonların faya dik uzaklıkları ($H/\sqrt{3}$) değerine göre hesaplanabilir. Ancak bu çalışma kapsamında oluşturulan modeller, asismik krip olgusunun fay düzleminin belirli derinliklerine lineer olarak gözlenebileceğini ve bazı kısımlarında da azalarak sönümlenebileceğine işaret etmektedir. Bu da asismik kripin gözlendiği tabakanın sadece kilitleme derinliği değil, sönümlenmeye başladığı tahmin edilen derinliklere göre de yüzeyde tesis edilecek istasyonların model-ölçüm hızlarının uyumunu artıracığı düşünülmektedir. Bu segmentlerdeki asismik krip genel olarak bakıldığında Anadolu bloğunun Avrasya bloğuna göre rölatif hareketi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle özellikle referans bloğu olan Avrasya üzerinde değil, hız değişiminin fazla olduğu Anadolu bloğu üzerindeki istasyon sayılarının kilitleme ve sönümlenme derinlikleri ön tahminlerine göre artırılması ve ağı tasarlanması uygun olabilir. Bu segmentlerde asismik kripin sönümlenmeye başladığı derinlikler, kripin tamamen sönümlendiği derinlikler ve sismojenik tabaka tabanı derinliği tahminlerine özgü olarak Anadolu bloğu üzerinde en az 3 ölçüm istasyonunun daha tesis edilmesi ve

ölçülmesinin, model parametrelerinin belirlenebilmesi için daha faydalı olacağı düşünülmektedir.

Bu veriler ve tez çalışması ile elde edilen bilgiler ışığında, bundan sonraki aşamalarda şu önerilere yer verilmektedir:

- Asismik krip hareketinin bölgedeki gerinimi azalttığını gösteren sonuçlar elde edilmiştir ancak bu durum, bölgede meydana gelen 1943 ve 1944 depremlerine rağmen orta-büyük şiddette bir depremin oluşmayacağını tek başına gösteremez. Bu nedenle ölçümlere belirli periyotlarla devam edilmesi uygun olacaktır.
- Asismik krip hareketinin tamamen sönümleneceği ile ilgili kesin bir bulgu yoktur. Bu nedenle bu trendin belirlenebilmesi için yüksek frekansta kampanya ölçümlerinin yapılması ya da sürekli ölçüm istasyonlarının (cGPS) kurulması önerilmektedir. Ayrıca nokta konum hatalarının en aza indirgenebilmesi için de sürekli gözlem yapan istasyonların kurulması uygun olacaktır.
- Kampanya tipi ölçümlere devam edilecek ise günlük ve yıllık tekrarlılıkların sağlıklı bir şekilde değerlendirilmesi için her ölçüm kampanyası için istasyonlarda en az iki günlük gözlemlerin yapılması gereklidir.
- Orta Anadolu segmentinin, özellikle Avrasya bloğu üzerindeki hız vektörlerinin az olması bölgede yeterli bir değerlendirme yapılamamasına neden olmuştur. Bu nedenle bu bölgelerde de bölgenin jeolojik ve tektonik yapısına uygun olarak yeni ölçüm istasyonları tesis edilmelidir.
- Çalışma bölgesinde tesis edilen istasyonlar mutlaka zorunlu merkezleştirme donanımına elverişli olmalıdır. Bunun için gerektiğinde bölgede daha evvel başka kurum ya da kuruluşlarca tesis edilen pilyelerin kullanılması ekonomik bir çözüm olacaktır. Model çalışmasında belirlenen bölgelerde buna benzer yapıların bulunmadığı durumlarda ise bölgedeki yerli ve sağlam kayalar üzerinde yapılacak tesisler de ölçümler için kullanılmalıdır. Ancak bu durumda bu projede de kullanılan zincirli GPS jalonları tercih edilmelidir.

- Bölgede tesis edilecek yeni noktaların konumları belirlenmeden evvel multi-disipliner ön çalışmaların yapılması gereklidir.
- Asismik krip olgusunu doğasının anlaşılabilmesi için yapılan bu çalışmalar ile her iki bölgedeki GPS hız vektörlerinin arttırılması sağlanmış ve bölgede tektonik yapıya ilişkin fay parametrelerinin kestirimi yapılmıştır. Bu sonuçların daha sonra yapılacak gözlemler ile güçlendirilmesi, bölgedeki tektonik yapının multi-disipliner olarak daha iyi yorumlanmasına katkı sağlayacaktır.





KAYNAKLAR

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ., Balcı, V., Bilginer, ve diğerleri.** Türkiye Jeoloji Haritası, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını. Ankara, Türkiye.
- Aktuğ, B.** (2006). *Jeodezik ölçüler ile deprem kaynak parametrelerinin belirlenmesi.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Aktuğ, B., ve Çelik, R. N.** (2008). Jeodezik ölçüler ile deprem kaynak parametrelerinin belirlenmesi. *İTÜ dergisi*, 7, 89-102.
- Aktuğ, B., Doğru, A., Özener, H. & Peyret, M.** (2015). Slip rates and locking depth variation along central and easternmost segments of North Anatolian Fault, *Geophysical Journal International*, 202, 2133-2149.
- Aladoğan, K.** (2017). *Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi.* (Yüksek Lisans Tezi). Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar.
- Aladoğan, K., Tiryakioğlu, İ., Yavaşoğlu, H., Alkan, R. M., Alkan, M. N., Köse, Z., İlçi V., Ozulu İ. M., Tombuş F. E., ve Şahin M.** (2017). Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17 (3), 997-1003.
- Altay, C. & Sav, H.** (1991). Continuous creep measurement along the North Anatolian fault zone, *Bulletin of Geological Congress of Turkey*, 6, 77-84
- Ambraseys, N. N.** (1970). Some characteristic features of the Anatolian fault zone, *Tectonophysics*, 9, 143-165.
- Aytun, A.** (1982). Creep measurements in the İsmetpaşa region of the North Anatolian Fault Zone. *Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction*, 2, 279-292.
- Bilham, R., Özener., H., Mencin, D., Doğru, A., Ergintav, S., Cakir Z., Aytun A, Aktug B., Yilmaz O., Johnson W. & Mattioli G.** (2016). Surface creep on the North Anatolian Fault at İsmetpasa, Turkey, 1944-2016, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121, 7409-7431.
- Bohnhoff, M., Martinez-Garzon, P., Bulut, F., Stierle, E. & Ben-Zion Y.** (2016). Maximum earthquake magnitudes along different sections of the North Anatolian fault zone, *Technophysics*, 674, 147-165.
- Cakir, Z., Akoglu, A. M., Belabbes, S., Ergintav, S. & Meghraoui, M.** (2005). Creeping along the İsmetpasa section of the North Anatolian fault (Western Turkey): Rate and extent from InSAR, *Earth and Planetary Science Letters*, 238: 225-234.

- Cetin, E., Cakir, Z., Meghraoui, M., Ergintav, S. & Akoglu, A. M.** (2014). Extent and distribution of aseismic slip on the Ismetpaşa segment of the North Anatolian Fault (Turkey) from Persistent Scatterer InSAR, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15, 2883-2894.
- Çakir, Z., Ergintav, S., Özener, H., Doğan, U., Akoglu, A. M., Meghraoui, M. & Reilinger, R.** (2012). Onset of aseismic creep on major strike-slip faults, *Geology*, 40 (12), 1115-1118.
- Çakmak, R.** (2010). *Jeodezik çalışmalarla Marmara Bölgesinde deprem döngüsünün belirlenmesi ve modellerle açıklanması*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Daniels, R. C. & Huxford, R. H.** (2000). *Using Global Positioning Systems (GPS): How it Works, Its Limitations, and Some Guidelines for Operation*. Publication No. 00-06-015, Shorelands & Environmental Assistance Program, Washington Department of Ecology, Olympia, WA.
- Deguchi, T.** (2011). Detection of fault creep around NAF by InSAR time series analysis using PALSAR data, *Proceedings of SPIE*, 8179, 16. doi: 10.1117/12.898478.
- Deniz, R., Aksoy, A., Yalin, D., Seeger, H. & Hirsch, O.** (1993). Determination of crustal movement in Turkey by terrestrial geodetic methods, *Journal of Geodynamics*, 18, 13-22.
- Dixon, T. H.** (1991). An Introduction to the Global Positioning System and Some Geological Applications, *Reviews of Geophysics*, 29 (2), 249-276.
- DiZio, L.** (2016). Elastic block modeling of fault slip rates across Southern California, *Macalester Journal of Physics and Astronomy*, 4 (1), Article 3.
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioğlu, F. T., Baştürk, N. B., Kılıç, T., Kurt A.** (2018). Seismotectonic database of Turkey. *Bull. Earthquake Eng*, 16, 3277-3316.
- Ellero, A., Ottria, G., Marroni, M., Pandolfi, L. & Göncüoğlu, M.C.** (2015). Analysis of the North Anatolian Shear Zone in Central Pontides (northern Turkey): Insight for geometries and kinematics of deformation structures in a transpressional zone, *Journal of Structural Geology*, 72, 124-141.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., Olgun, Ş., Şaroğlu, F.** (2013). 1/250.000 ölçekli Türkiye diri fay haritası, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi*. Ankara, Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. & Çan, T.** (2018). Active fault database of Turkey, *Bull Earthquake Eng*, 16, 3229-3275.
- Eren, K.** (1984). Strain analysis along the North Anatolian fault by using geodetic surveys. *Bull. Geodesique*, 58, 137-149.
- Hamiel, Y. & Fialko, Y.** (2007). Structure and mechanical properties of faults in the North Anatolian Fault system from InSAR observations of coseismic deformation due to the 1999 Izmit (Turkey) earthquake, *Journal of Geophysical Research*, 112 (B7), doi: 10.1029/2006JB004777.

- Fialko, Y., Kaneko, Y., Tong, X., Sandwell, D. T. & Furuya, M.** (2011). Investigation of interseismic deformation along the central section of the North Anatolian fault (Turkey) using InSAR observations and earthquake-cycle simulations. *American Geophysical Union, Fall Meeting Abstracts*, #T31E-08.
- Fraser, J., Pigatii, J. S., Hubert-Ferrari, A., Vanneste, K., Avsar, U. & Altinok S.** (2009). A 3000-Year Record of Ground-Rupturing Earthquakes along the North Anatolian Fault near Lake Ladik, Turkey, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 99, 2651-2703.
- Görmüş, K. S.** (2011). *Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa segmentindeki krip hızı değişiminin izlenmesi*. (Doktora tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Groves, P. D.** (2013). *Principles of GNSS, Inertial, and Multisensor Integrated Navigation Systems Second Edition*. Boston, MA: Artech House.
- 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, Türkiye : Mart 28-Nisan 1.
- Hager, B. H., King, R. W. & Murray, M. H.** (1991). Measurement of Crustal Deformation Using the Global Positioning System, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci*, 19, 351-382.
- Halıcioğlu, K., Özener, H., ve Ünlütepe A.** (2009). Fay parametreleri ve kontrol ağlarının tasarımı. *12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye : Mayıs 11-15.
- Hawthorne, J. C., Simons, M. & Ampuero, J. P.** (2016). Estimates of aseismic slip associated with small earthquakes near San Juan Bautista, CA, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121, 8254-8275.
- Herring, T.A.** (1999). Geodetic applications of GPS. *Proceedings of the IEEE*, 87, 92-110.
- Herring, T., King, R. W., Floyd, M. A. & McClusky, S. C.** (2015a). *Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program, Program manuel*. Department of Earth Atmospheric, And Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA.
- Herring, T., King, R. W., Floyd, M. A. & McClusky, S. C.** (2015b). *Introduction to GAMIT/GLOBK, Program manuel*. Department of Earth, Atmospheric, And Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Boston, USA.
- Hussain, E., Wright, T. J., Walters, R. J., Bekaert, D., Hooper, A. & Houseman, G. A.** (2016). Geodetic observations of postseismic creep in the decade after the 1999 Izmit earthquake, Turkey: Implications for a shallow slip deficit, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 121, 2980-3001.
- Kadirioğlu, F. T.** (2015). Asismik deformasyonların InSAR yöntemi ile incelenmesi: İsmetpaşa (Eskipazar-Karabük) ve Sarıgöl (Manisa) örnekleri. Ankara Üniversitesi, Doktora Semineri.

- Kaduri, M., Gratier, J. P., Renard, F., Çakir, Z. & Lasserre C.** (2017). The implications of fault zone transformation on aseismic creep: Example of the North Anatolian Fault, Turkey, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122, 4208-4236.
- Kahveci M, ve Yıldız F.** (2009). *GPS/GNSS Uydularla konum belirleme sistemleri teori ve uygulama*. Ankara, Türkiye: Nobel.
- Karabacak, V., Altunel, E. & Cakir, Z.** (2011). Monitoring aseismic surface creep along the North Anatolian Fault (Turkey) using ground-based LIDAR, *Earth and Planetary Science Letters*, 304, 64-70.
- 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: Solid Earth*, 118, 316-331.
- Ketin, İ.** (1948). Über die tektonisch-mechanischen Folgerungen aus den grossen anatolischen Erdbeben des letzten Dezenniums, *Geo Rundsch*, 36, 77-83.
- Ketin, İ.** (1969). Kuzey Anadolu Fayı hakkında. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 72, 1-27.
- Ketin, İ.** (1976). San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, 19, 149-154.
- King, R. W. & Bock, Y.** (2002). *Documentation for the GAMIT GPS Analysis software, Program Manuel*, Massachusetts Institute of Technology, USA.
- Kondo, H., Awata, Y., Emre, Ö., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F., Okumura, K.** (2005). Slip Distribution, Fault Geometry, and Fault Segmentation of the 1944 Bolu-Gerede Earthquake Rupture, North Anatolian Fault, Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95 (4), 1234-1249.
- Köksal, E.** (2011). *Yüzey deformasyonlarının Diferansiyel InSAR Tekniği ile Belirlenmesi: İsmetpaşa Örneği*. (Doktora tezi). Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Kutoğlu, H. Ş., Akçın, H. ve Azar, A.** (2005). 1972'den 2002'ye İsmetpaşa jeodezik ağıнын deformasyon gözlemleri. *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye : Mart 23-25.
- Kutoglu, H. S. & Akcin, H.** (2006). Determination of the 30-year creep trend on the İsmetpaşa segment of the North Anatolian Fault using an old geodetic network, *Earth Planets Space*, 58, 937-942.
- Kutoglu, H. S., Akcin, H., Kemaldere, H. & Gormus, K. S.** (2008). Triggered creep rate on İsmetpaşa segment of the North Anatolian Fault, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 1369-1373.
- Kutoğlu, H. Ş., Akçın, H., Görmüş, K. S. ve Kemaldere, H.** (2009). Kuzey Anadolu Fayı İsmetpaşa segmentinde gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar. *12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye : Mayıs 11-15.

- Kutoglu, H. S., Akcin, H., Gundogdu, O., Gormus, K. S. & Koksall, E.** (2010). Relaxation on the Ismetpasa segment of the North Anatolian Fault after the Golcuk $M_w=7.4$ and Duzce $M_w=7.2$ shocks, *Nat. Hazards Earth Syst.Sci.*, 10, 2653-2657.
- Kutoglu, H. S., Gormus, K. S., Deguchi, T., Koksall, E., Kemaldere, H. & Gundogdu O.** (2013). Can a creeping segment become a monitor before destructive major earthquakes, *Natural Hazards*, 65, 2161-2173.
- Mavrommatis, A. P., Segall, P., Uchida, N. & Johnson, K. M.** (2015). Long-term acceleration of aseismic slip preceding the M_w9 Tohoku-oki earthquake: Constraints from repeating earthquakes, *Geophysical Research Letters*, 42, 9717-9725.
- McCaffrey, R.** (2002). Crustal block rotations and plate coupling, *Plate Boundary Zones, Geodynamic Series*, 30, 101-122
- McCaffrey, R., Qamar, A. I., King, R. W., Wells, R., Khazaradze, G., Williams, C. A., Zwick, P.** (2007). Fault locking, block rotation and crustal deformation in the Pacific Northwest. *Geophysical Journal International*, 169 (3), 1315-1340.
- McCaffrey, R.** (2009). Time-dependent inversion of three-component continuous GPS for steady and transient sources in northern Cascadia, *Geophysical Research Letters*, 36 (7), L07304.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Veis, G.** (2000). Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695–5719.
- Okada, Y.** (1985). Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull.Seismol.Soc.Am.*, 75, 1135-1154.
- Ozener, H., Dogru, A. & Turgut, B.** (2013). 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.
- Özbey, V.** (2017). *Orta Marmara Fayının kinematiğinin GPS ölçmeleriyle belirlenmesi.* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özdemir, S.** (2016). TUSAGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının hassas koordinat ve hızlarının hesaplanması üzerine. *Harita Dergisi*, 155, 53-81.
- Petrie, E. J., King, M. A., Moore, P. & Lavallee, D. A.** (2010). Higher-order ionospheric effects on the GPS reference frame and velocities, *Journal of Geophysical Research*, 115, B03417. doi: 10.1029/2009JB006677.
- Poyraz, F.** (2009). *Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması.* (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Poyraz, F., Tatar, O., Hastaoğlu, K. Ö., Türk, T., Gürsoy, T., Gürsoy, Ö. ve Ayazlı, İ. E.** (2011). Elastik atım teorisi: Kuzey Anadolu Fay Zonu örneği. *13.Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye : Nisan 18-22.

- Reid, H. F.** (1910). The Mechanics of the Earthquake, The California Earthquake of April 18, 1906. *Report of the State Investigation Commission, Carnegie Institution of Washington, 2*, 16-28.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrance, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Karam G.** (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia, Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophys. Research-Solid Earth, 111*, 1-26 (B05411).
- Rüzgar, G.** (2004). *Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu bölümündeki hareketlerinin üç yıllık GPS ölçmeleri ile belirlenmesi.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Rousset, B., Jolivet, R., Simons, M., Lasserre, C., Riel, B., Milillo, P., Renard, F.** (2016). An aseismic slip transient on the North Anatolian Fault. *Geophysical Research Letters, 43*, 3254-3262.
- Schmidt, D. A., Bürgmann, R., Nadeau, R. M. & d'Alessio M.** (2005). Distribution of aseismic slip rate on the Hayward fault inferred from seismic and geodetic data, *Journal of Geophysical Research, 110*, B08406.
- Segall, P. & Davis, J. L.** (1997). GPS Applications for Geodynamics and Earthquake Studies, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci, 25*, 301-336.
- Sickle, J. V.** (2001). *GPS for Land Surveyors Second Edition.* New York, NY: Taylor&Francis.
- Şengör, A. M. C., Tüysüz, O., İmren, C., Sakınç, M., Eyidoğan, H., Görür, N., Rangin, C.** (2005). The North Anatolian Fault: A new look. *Annu.Rev.Earth Planet, 33*, 37-112.
- Şaroğlu, F., ve Barka, A.** (1995). Deprem sonrası devam eden uzun dönem yerdeğiştirmelerin anlamı ve önemi. *Jeofizik Dergisi, 9*, 339-343.
- Taskin, G., Uskurlu, S., Saygin, H. & Ergintav, S.** (2003). Optimization of GPS observation strategy for improvement of tectonic measurements. *The IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling, Marbella, Spain : September 3-5.*
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Erdoğan, S., ve Gülal, E.** (2010). Tektonik Hareketlerin Belirlenmesine Yönelik Ölçü Kampanyalarında GNSS Gözlem Sayı ve Sürelerinin Konum Doğruluğuna Olan Etkilerinin Araştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 2 (2)*, 32-38.
- Tiryakioğlu, İ.** (2012). *GNSS ölçüleri ile Güneybatı Anadolu'daki blok hareketleri ve gerinim alanlarının belirlenmesi.* (Doktora tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Url-1** <<http://www.wikizeroo.com/index.php?q=aHR0cHM6Ly90ci53aWtpcGVkaW Eub3JnL3dpa2kvTGV2aGFfaGFyZWtldGxlcmk>> erişim tarihi 29.10.2018.
- Url-2** <<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>> erişim tarihi 05.11.2018.
- Url-3** <<https://www.bakiacil.com/faylar.html>> erişim tarihi 02.04.2018.
- Url-4** <<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>> erişim tarihi 11.06.2018.

- Url-5** <[https://ashgps.com/mirror/master/Z-Xtreme/Manuals/ZX%20Operations% 20and% 20Reference%20Manual.pdf](https://ashgps.com/mirror/master/Z-Xtreme/Manuals/ZX%20Operations%20and%20Reference%20Manual.pdf)> erişim tarihi 11.06.2018.
- Url-6** <[http://www.geonavsystems.com/geonavsystems_support_Z-Maxdatasheet. pdf](http://www.geonavsystems.com/geonavsystems_support_Z-Maxdatasheet.pdf)> erişim tarihi 11.06.2018.
- Url-7** <<https://geomaticsgroup.com/gnss-gps/cors-rtk-gnss/spectra-precision-sp80gnss-alicisi.html>> erişim tarihi 11.06.2018.
- Url-8** <https://geomaticsgroup.com/upload/urunler/gnss/cors-rtk-gnss/epoch50/Spectra_Precision_Epoch50.pdf> erişim tarihi: 11.06.2018
- Url-9** <<https://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/#>> erişim tarihi: 11.06.2018
- Url-10** <[https://securityaffairs.co/wordpress/37230/security/eloran-thwart-gps-jammi ng.html/a ttachment/eloran-gps-backup](https://securityaffairs.co/wordpress/37230/security/eloran-thwart-gps-jamming.html/a ttachment/eloran-gps-backup)> erişim tarihi 14.06.2018.
- Url-11** <https://www.ngs.noaa.gov/orbits/orbit_data.shtml> erişim tarihi 14.06.2018.
- Url-12** <[http://geoweb.mit.edu/~floyd/courses/gg/201706_UNAVCO/ppt/13-workflo w_ basic.s.pptx](http://geoweb.mit.edu/~floyd/courses/gg/201706_UNAVCO/ppt/13-workflow_basic.s.pptx)> erişim tarihi 14.06.2018.
- Url-13** <<http://www.web.pdx.edu/~mccaf/defnode/manual/tdefnode.html>> erişim tarihi 14.06.2018.
- Url-14** <http://www.tau.ac.il/~zivalon/geodynamics/Front/tectonics_4.pdf> erişim tarihi 14.06.2018.
- Url-15** <<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>> erişim tarihi 14.06.2018.
- Url-16** <<https://www.google.com/earth/>> erişim tarihi 14.06.2018.
- Url-17** <<https://www.gps.gov/systems/gps/>> erişim tarihi 15.11.2018.
- Yavasoglu, H., Tarı, E., Şahin, M., Karaman, H., Erden, T., Bilgi, S., Erdoğan, S.** (2005). Applications of Global Positioning System (GPS) in geodynamics: With three examples from Turkey. *Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, (pp.385-389). Istanbul, Turkey.
- Yavasoglu, H., Alkan, M. N., Ozulu, I. M., Ilci, V., Tombus, F. E., Aladogan, K., Kivrak, 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.** (2009). *Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu bölümündeki güncel tektonik aktivitenin jeodezik yöntemler ve elastik yarı uzay modelleme ile belirlenmesi*. (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yavasoglu, H., Tarı, E., Tüysüz, O., Çakır, Z. & Ergintav S.** (2011). Determining and modeling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements, *Journal of Geodynamics*, 51, 339-343.
- Yigit, C. O., Coskun, M. Z., Yavasoglu, H., Arslan, A. & Kalkan, Y.** (2016). The potential GPS Precise Point Positioning method for point displacement monitoring: A case study. *Measurement*, 91, 398-404.

Zabcı, C. (2012). *Kuzey Anadolu Fayı'nın Ilgaz (Çankırı)-Karlıova (Bingöl) arasında kalan kesiminin morfolkronoloji tabanlı son beşbin yıllık kayma hızı tarihçesi ve depremselliği.* (Doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.



EKLER

EK A: İsmetpaşa segmentinde yapılan asismik krip çalışmalarına ait veri grafikleri

EK B: TDEFNODE yazılım akış şeması

EK C: Proje kapsamındaki bütün ölçüm istasyonları için GAMIT/GLOBK prosesi sonucu elde edilen tekrarlılık grafikleri

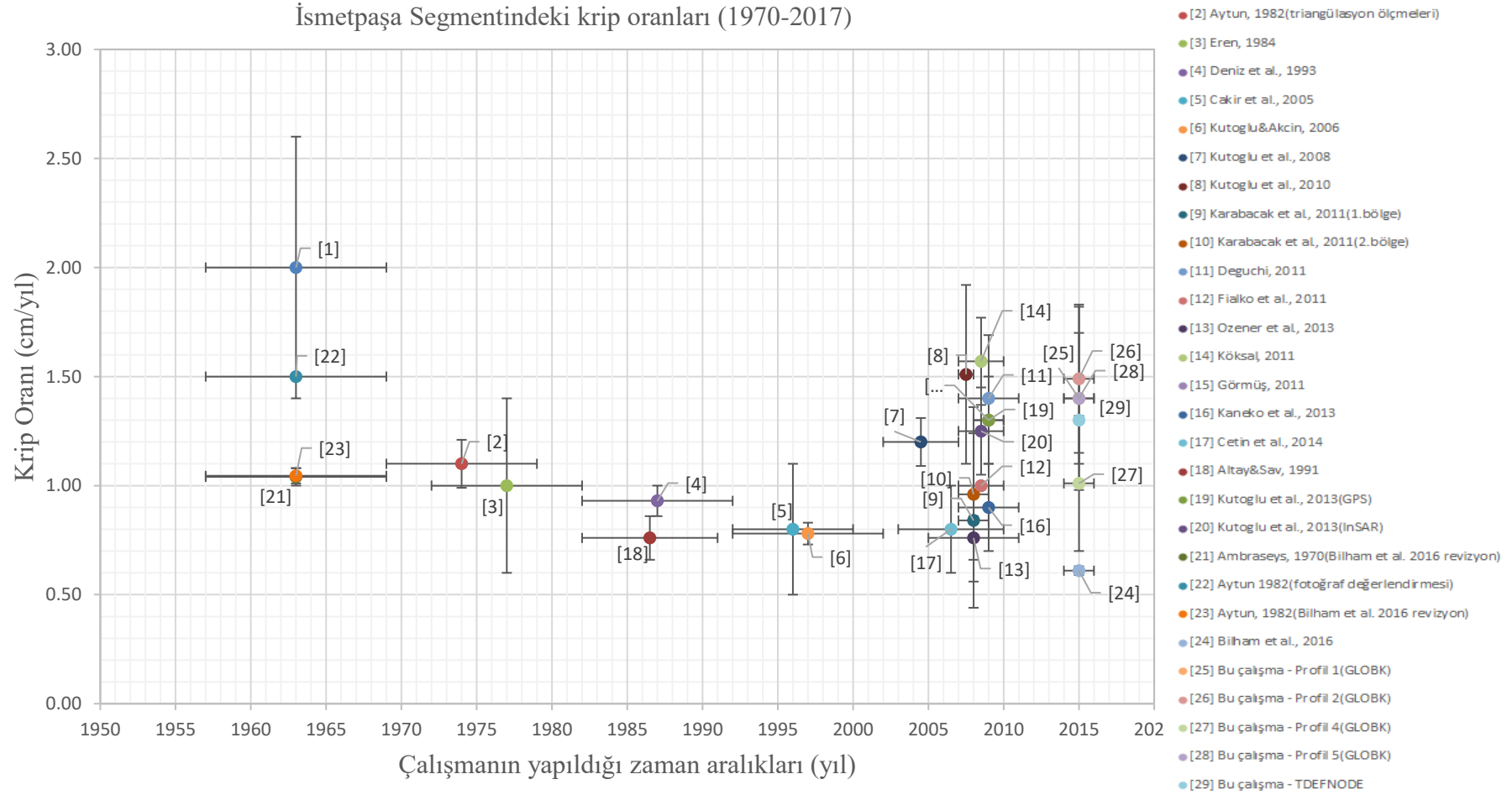
EK D: Çalışma bölgesindeki kayıtlı depremler

EK E: Model çalışması için tanımlanan TDEFNODE kontrol dosyaları

EK F: Model çözümü için TDEFNODE tarafından oluşturulan özet dosyaları



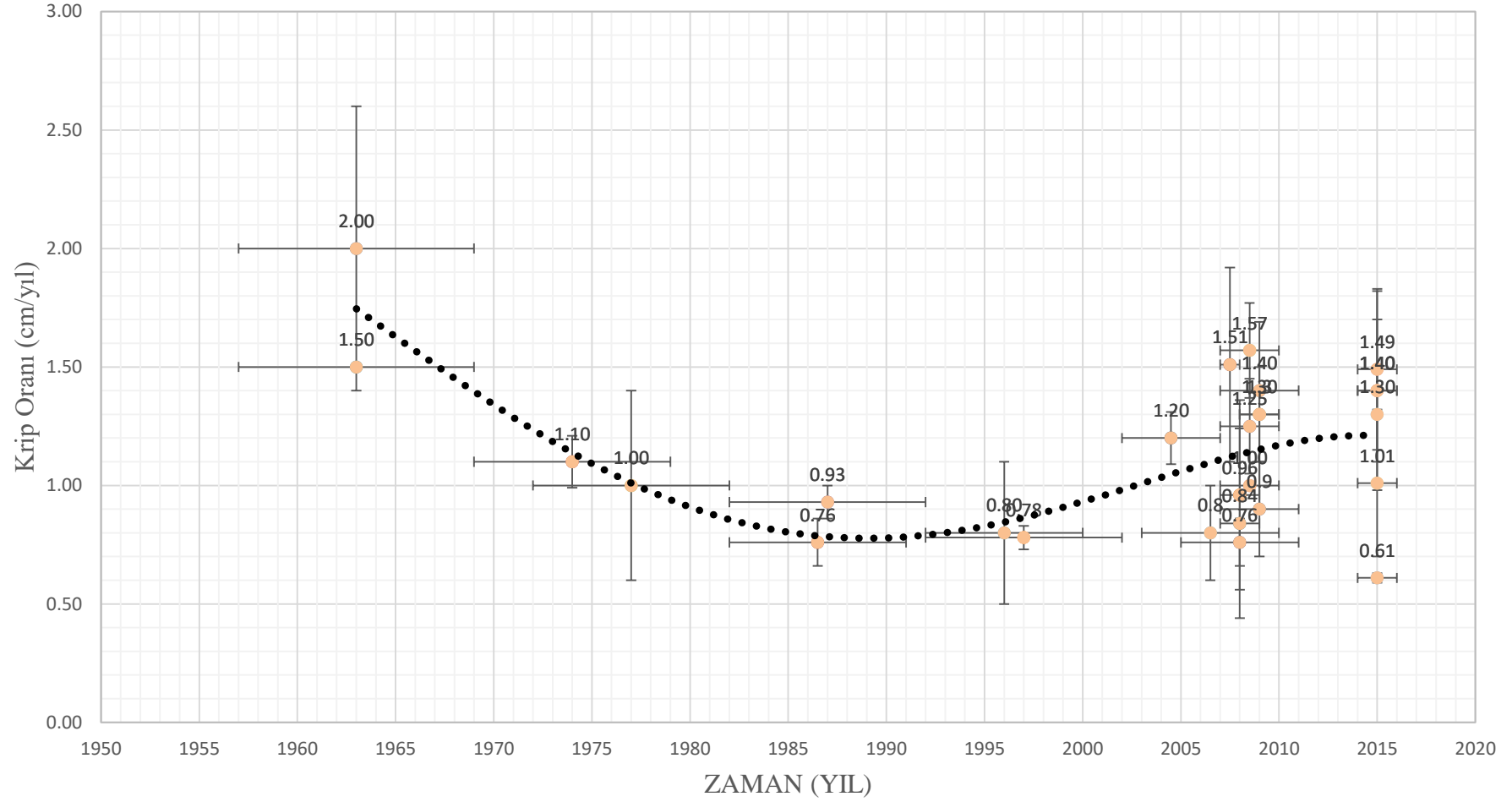
EK A. İsmetpaşa segmentinde yapılan asismik krip çalışmalarına ait veri grafikleri.



Şekil A.1 : 1970-2016 yılları arasında İsmetpaşa segmentinde asismik krip oranını belirlemek için yapılan çalışmaların sonuçları.



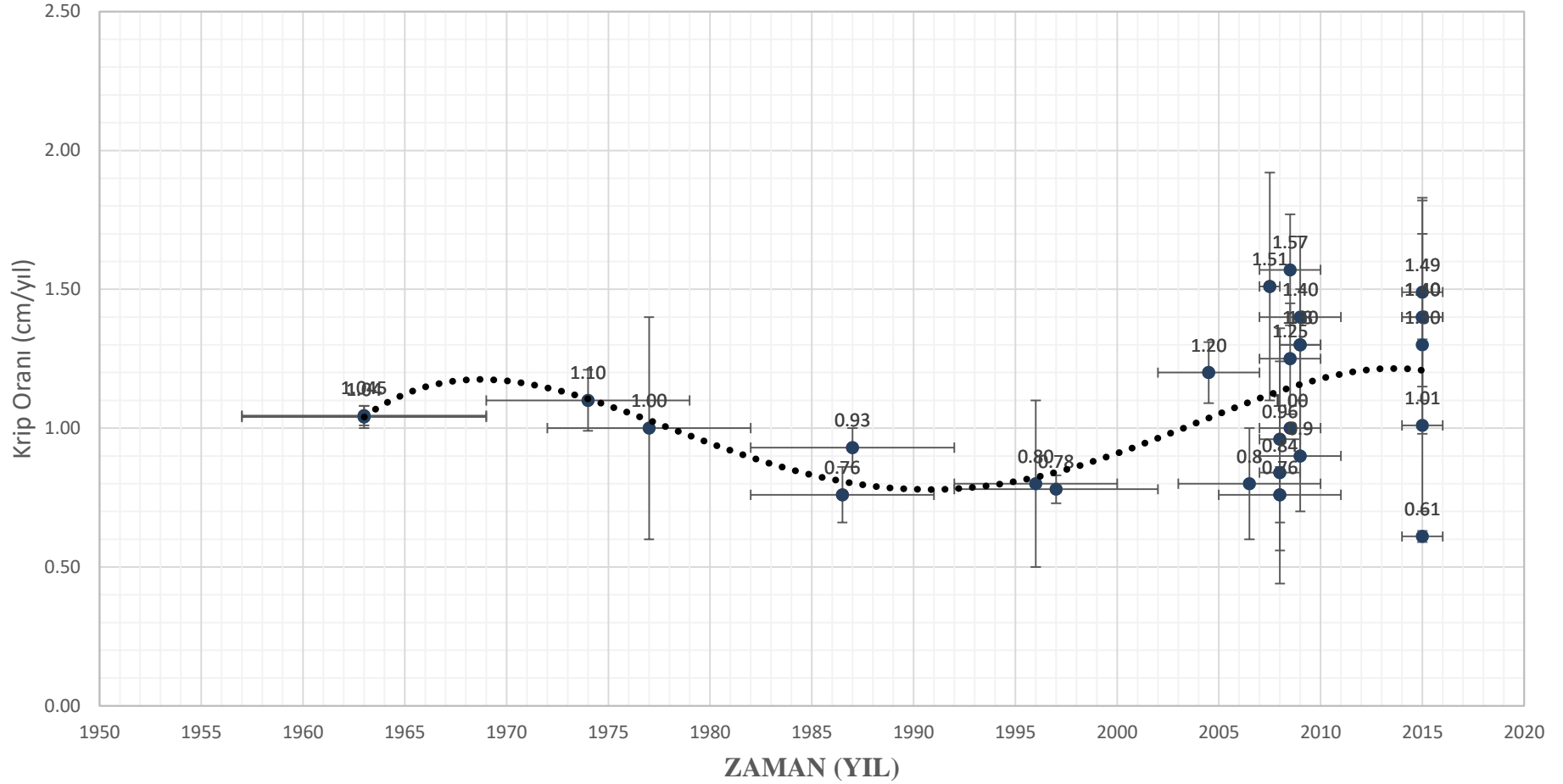
İsmetpaşa Segmentindeki krip oranları (1970-2017)



Şekil A.2 : İsmetpaşa segmentindeki çalışmaların orijinal değerlerine göre asismik krip trendi.

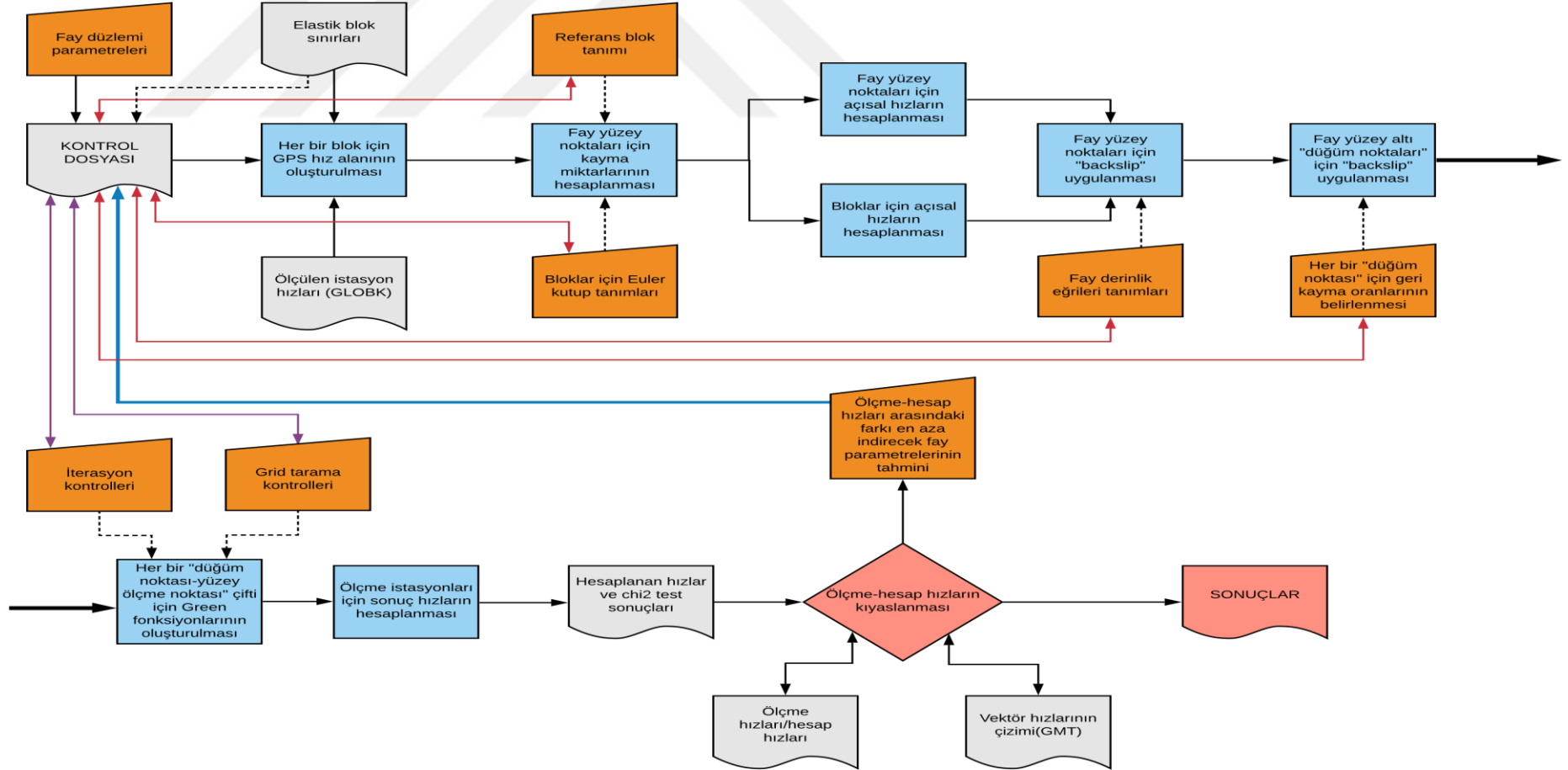


İsmetpaşa Segmentindeki krip oranları (1970-2017)



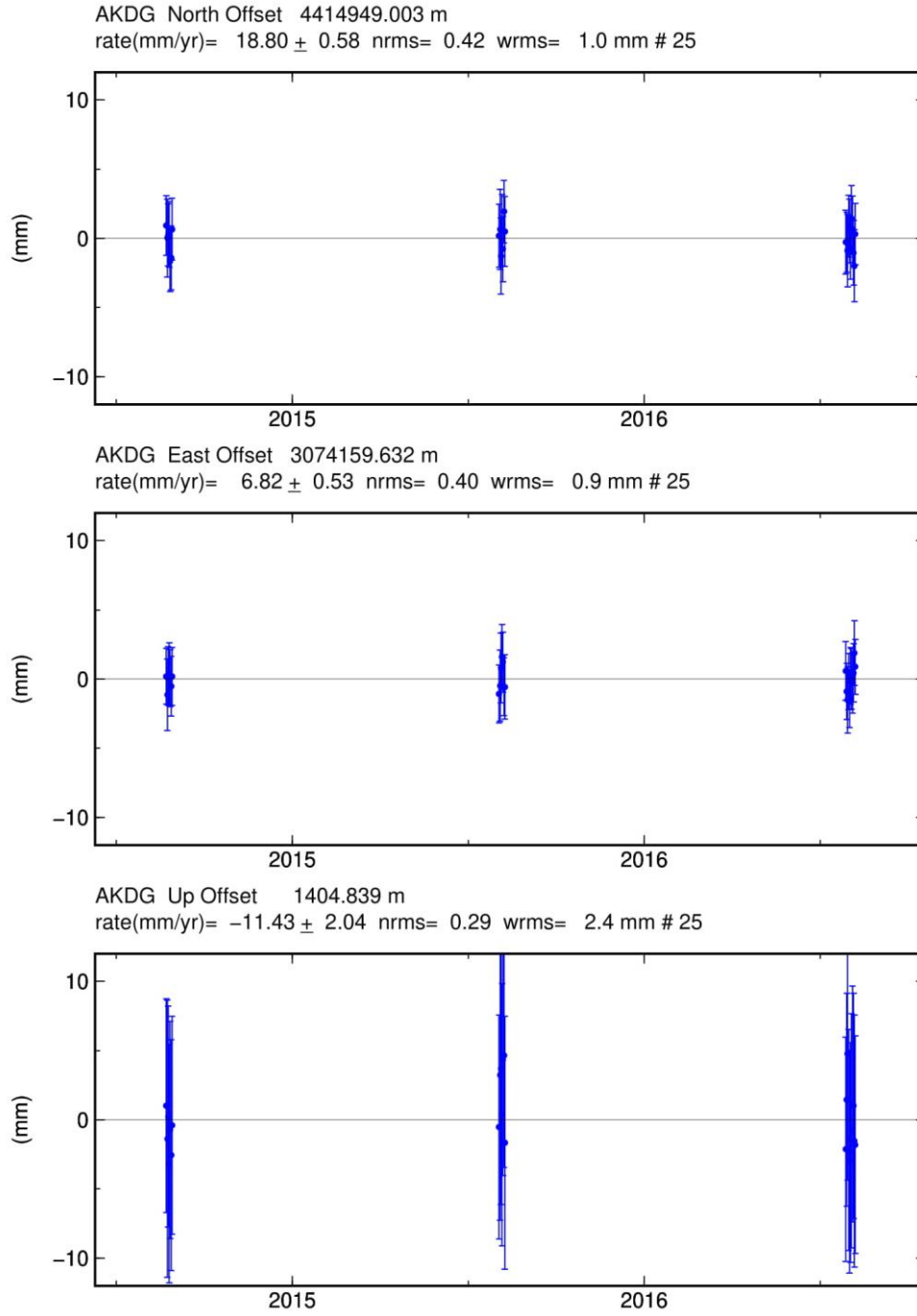
Şekil A.3 : İsmetpaşa segmentindeki çalışmaların Bilham et al. (2016) revizyon değerlerine göre asismik krip trendi.

EK B. TDEFNODE yazılım akış şeması.



Şekil B.1 : TDEFNODE yazılımı akış şeması.

EK C : Proje kapsamındaki bütün ölçüm istasyonları için GAMIT/GLOBK prosesi sonucu elde edilen tekrarlılık grafikleri.

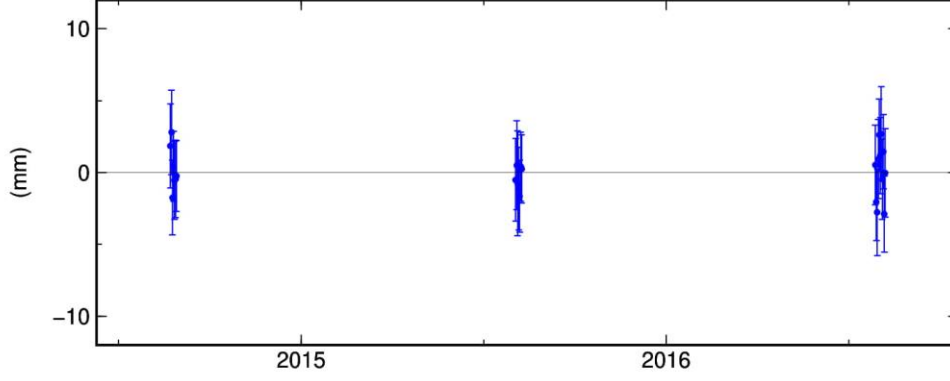


GAMIT 2016 Oct 27 11:44:14

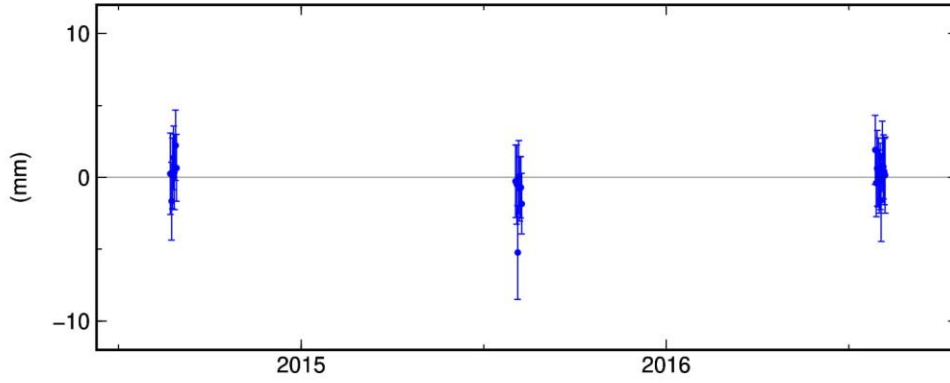
p: 1

Şekil C.1 : AKDG istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

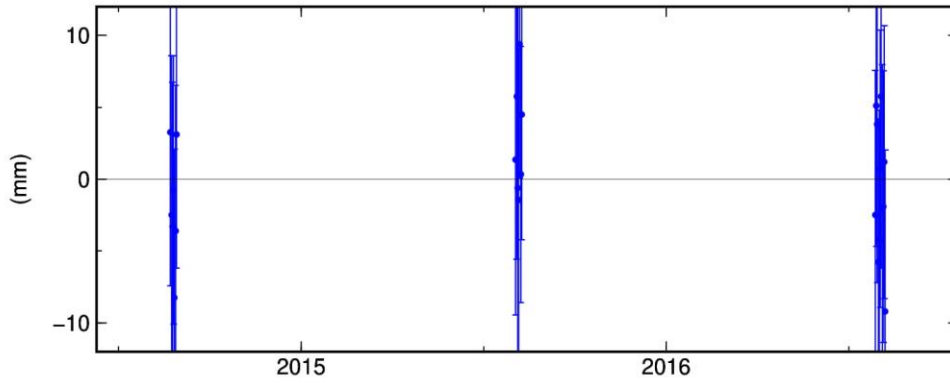
AMAS North Offset 4526884.199 m
rate(mm/yr)= 19.04 ± 0.67 nrms= 0.58 wrms= 1.6 mm # 25



AMAS East Offset 3027073.760 m
rate(mm/yr)= 11.26 ± 0.61 nrms= 0.55 wrms= 1.3 mm # 25



AMAS Up Offset 443.630 m
rate(mm/yr)= -7.84 ± 2.49 nrms= 0.45 wrms= 4.6 mm # 25

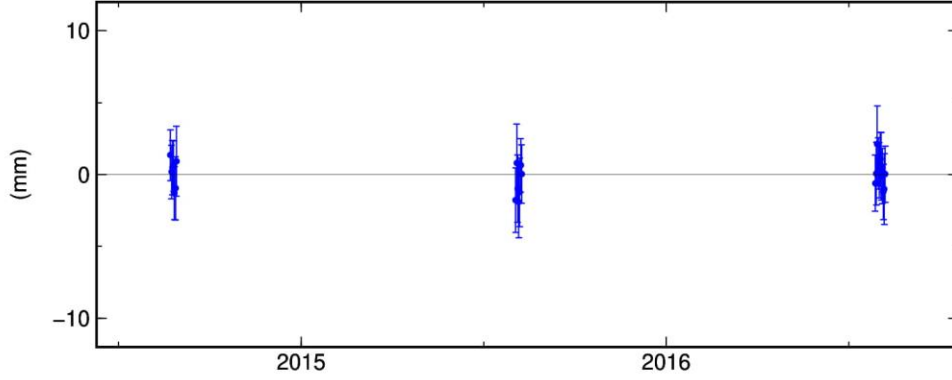


GM 2016 Oct 27 11:44:14

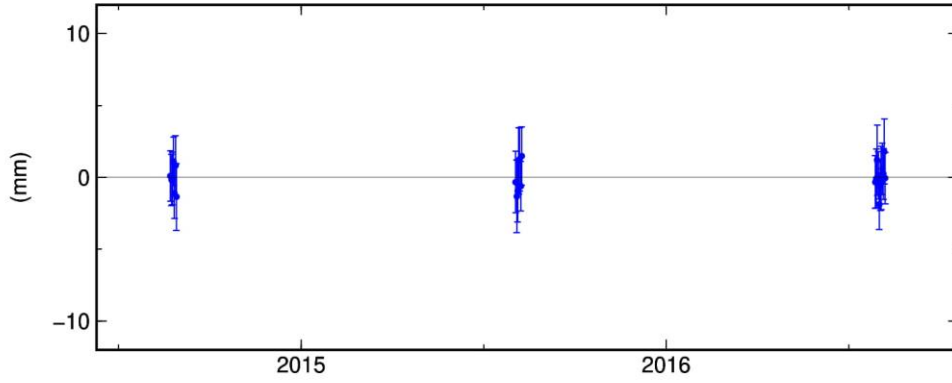
p: 2

Şekil C.2 : AMAS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

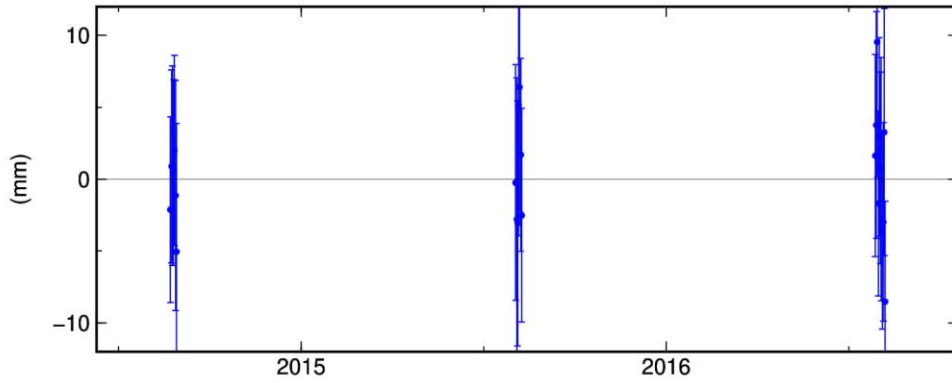
ANKR North Offset 4440241.957 m
rate(mm/yr)= 13.29 ± 0.49 nrms= 0.48 wrms= 1.0 mm # 25



ANKR East Offset 2798148.971 m
rate(mm/yr)= 3.13 ± 0.46 nrms= 0.48 wrms= 0.9 mm # 25



ANKR Up Offset 976.032 m
rate(mm/yr)= -6.86 ± 1.77 nrms= 0.49 wrms= 3.6 mm # 25



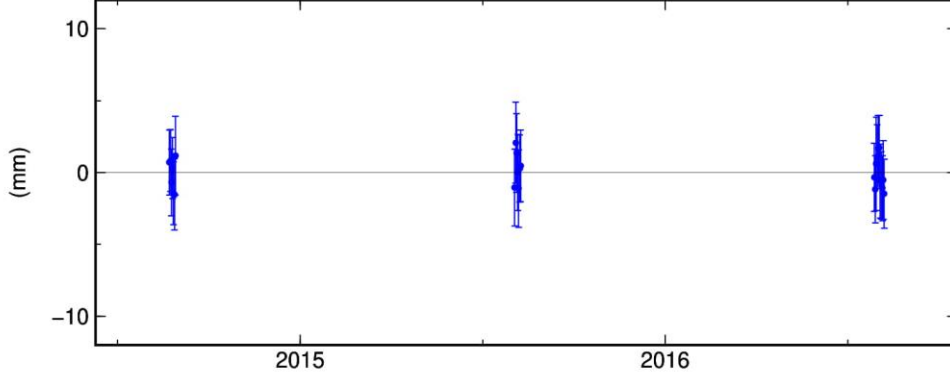
GM 2016 Oct 27 11:44:14

p: 3

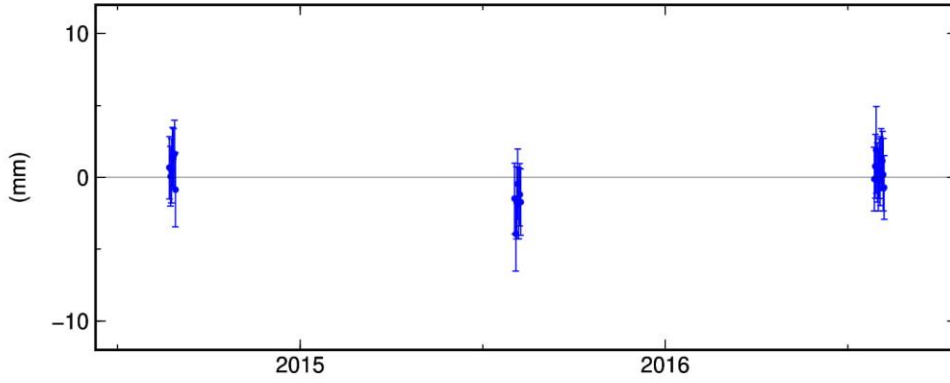
Şekil

C.3 : ANKR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

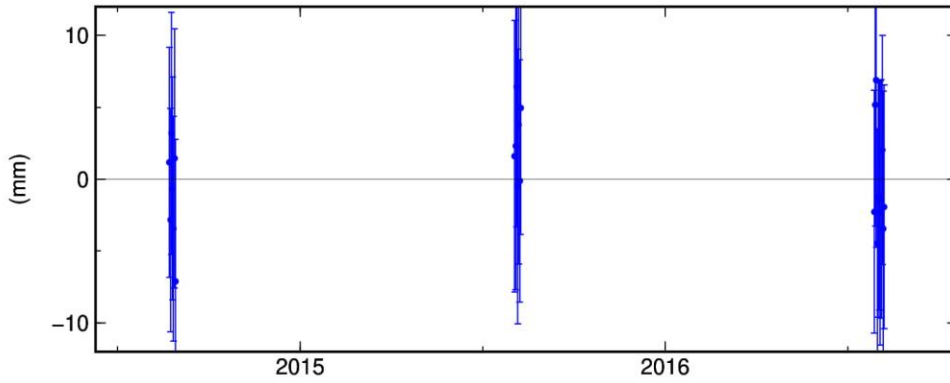
ANRK North Offset 4436745.849 m
rate(mm/yr)= 12.39 ± 0.58 nrms= 0.47 wrms= 1.1 mm # 25



ANRK East Offset 2806932.029 m
rate(mm/yr)= 3.93 ± 0.55 nrms= 0.58 wrms= 1.3 mm # 25



ANRK Up Offset 1231.305 m
rate(mm/yr)= -8.16 ± 2.09 nrms= 0.39 wrms= 3.4 mm # 25

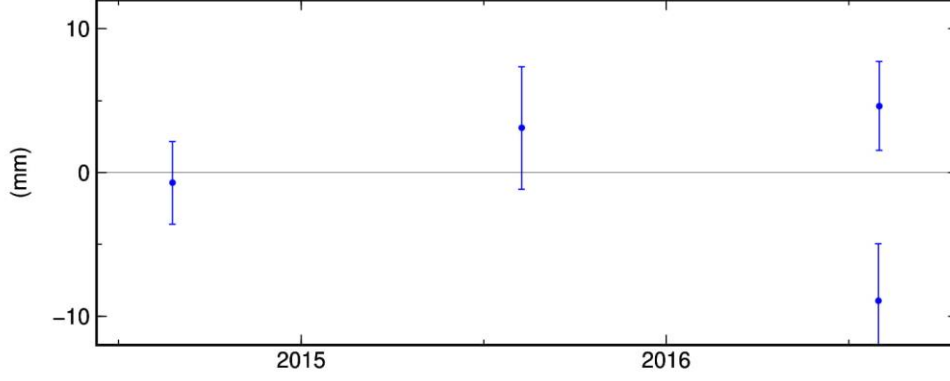


GM 2016 Oct 27 11:44:15

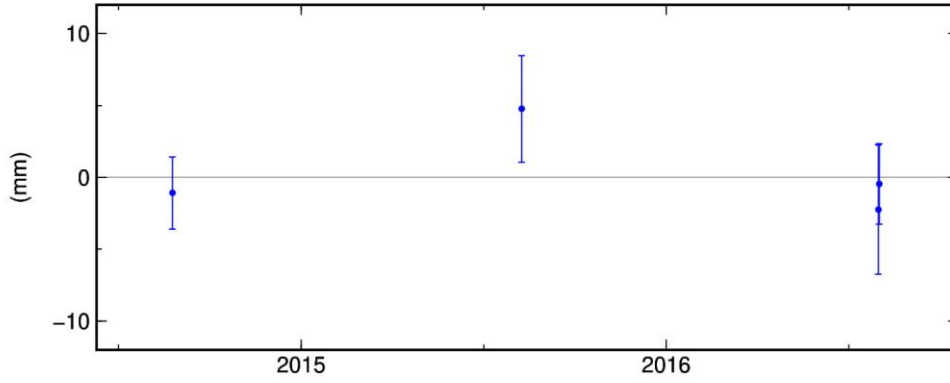
p: 4

Şekil C.4 : ANRK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

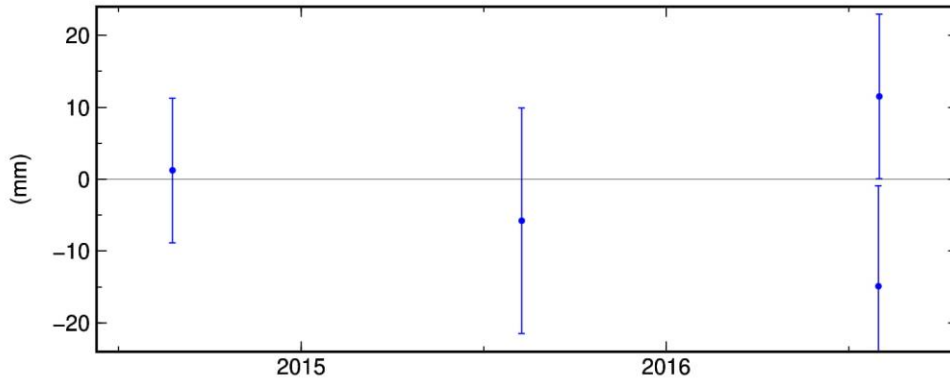
BDRG North Offset 4561375.670 m
rate(mm/yr)= 15.02 ± 1.95 nrms= 1.99 wrms= 6.8 mm # 4



BDRG East Offset 2760510.155 m
rate(mm/yr)= 17.56 ± 1.78 nrms= 1.03 wrms= 3.2 mm # 4

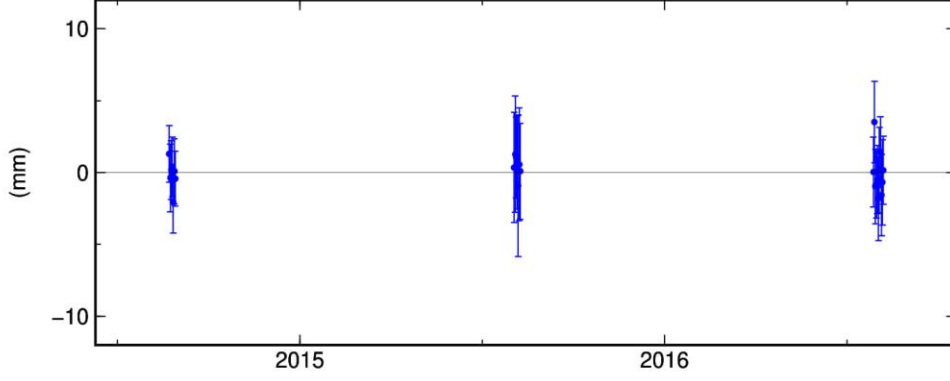


BDRG Up Offset 1446.739 m
rate(mm/yr)= 7.29 ± 6.92 nrms= 1.07 wrms= 13.1 mm # 4

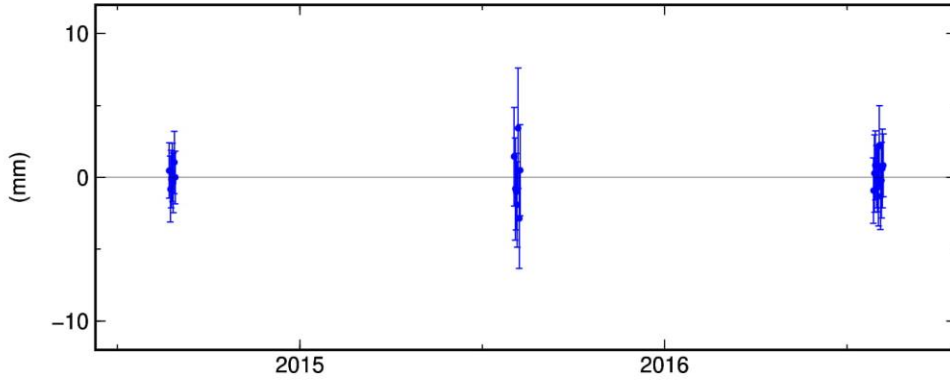


Şekil C.5 : BDRG istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

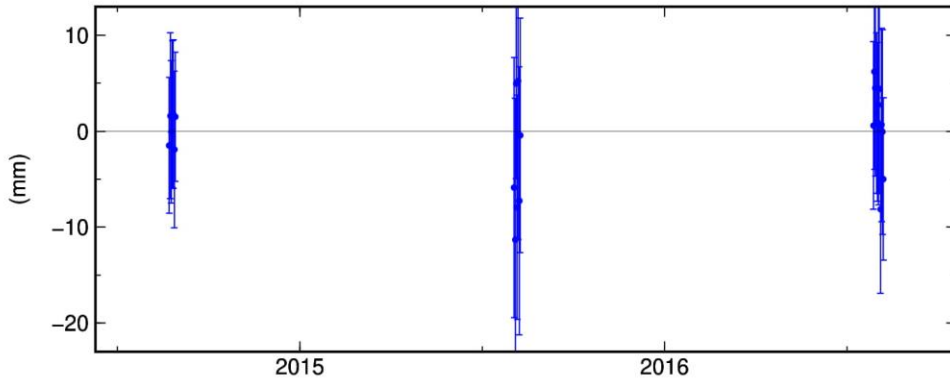
BILE North Offset 4468527.067 m
rate(mm/yr)= 9.41 ± 0.58 nrms= 0.46 wrms= 1.2 mm # 25



BILE East Offset 2551047.970 m
rate(mm/yr)= 2.72 ± 0.55 nrms= 0.43 wrms= 1.0 mm # 25



BILE Up Offset 584.340 m
rate(mm/yr)= -6.24 ± 2.07 nrms= 0.43 wrms= 4.0 mm # 25

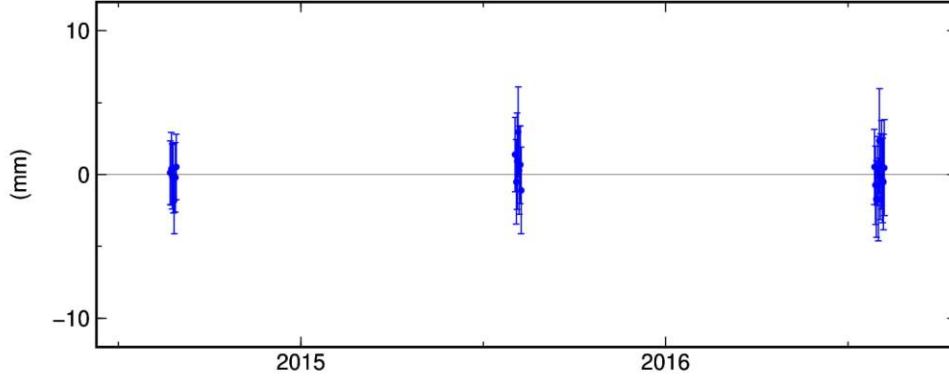


GM 2016 Oct 27 11:44:15

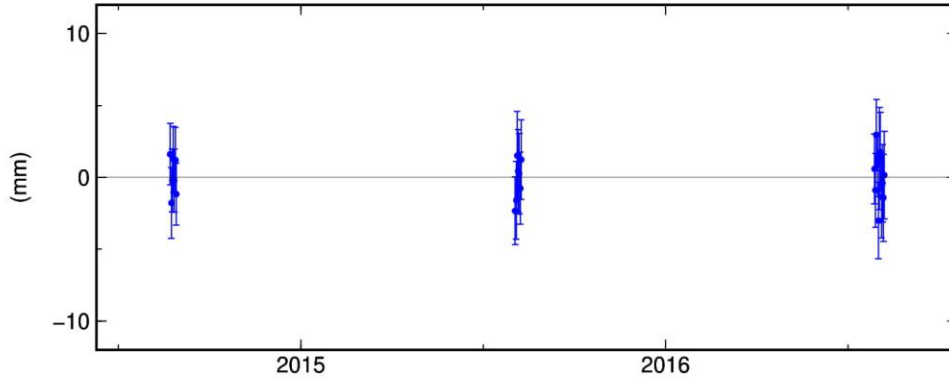
p: 6

Şekil C.6 : BILE istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

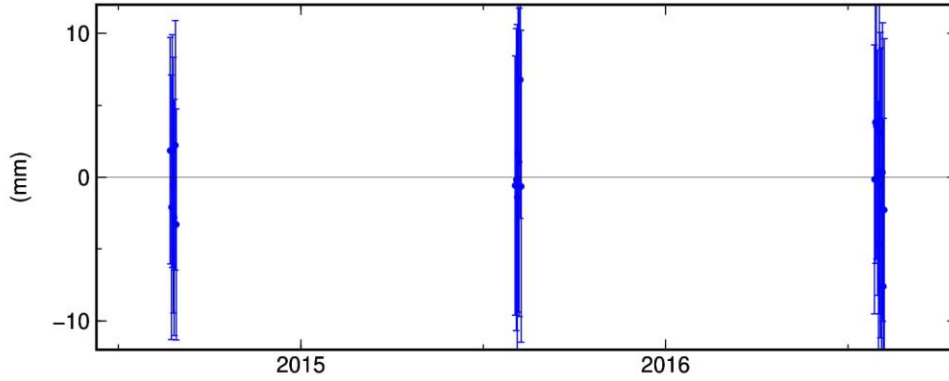
BOLU North Offset 4534437.056 m
rate(mm/yr)= 13.67 ± 0.64 nrms= 0.40 wrms= 1.1 mm # 25



BOLU East Offset 2665686.969 m
rate(mm/yr)= 12.91 ± 0.61 nrms= 0.59 wrms= 1.5 mm # 25



BOLU Up Offset 789.282 m
rate(mm/yr)= -5.16 ± 2.29 nrms= 0.30 wrms= 2.9 mm # 25



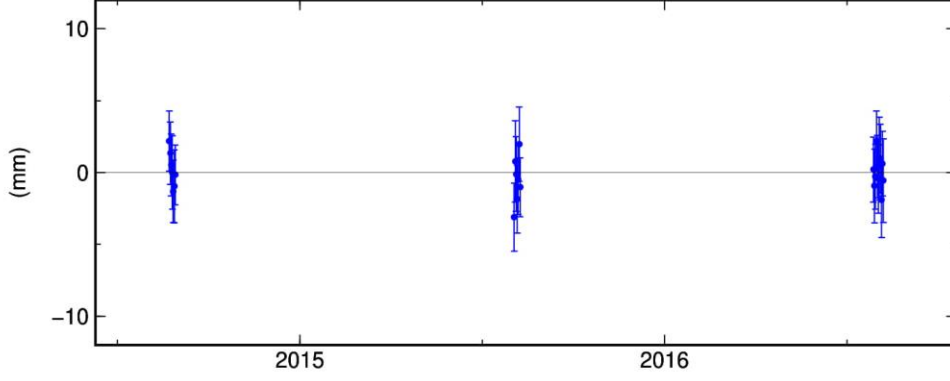
GM 2016 Oct 27 11:44:15

p: 7

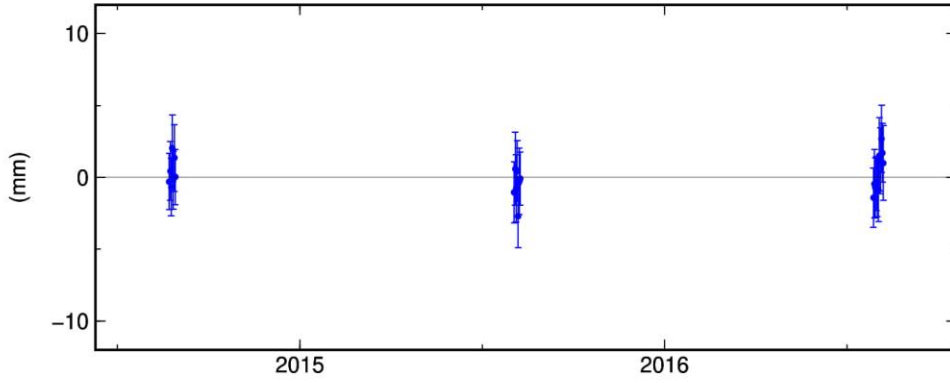
Şekil

C.7 : BOLU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

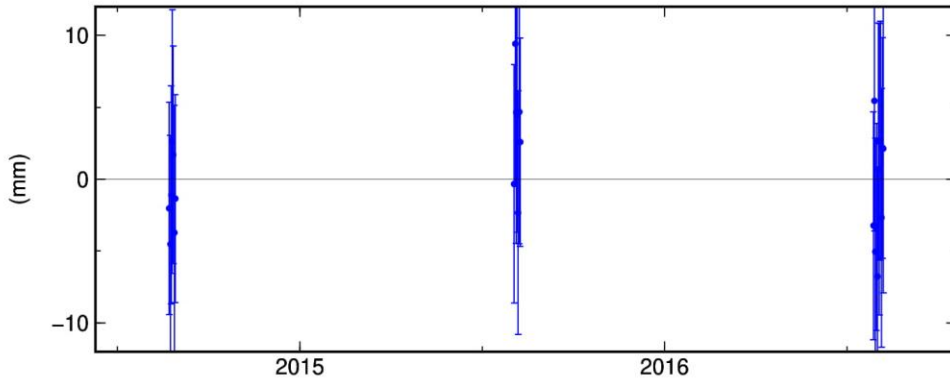
BOYT North Offset 4615421.987 m
rate(mm/yr)= 13.77 ± 0.57 nrms= 0.57 wrms= 1.4 mm # 25



BOYT East Offset 2902822.047 m
rate(mm/yr)= 23.63 ± 0.52 nrms= 0.56 wrms= 1.2 mm # 25



BOYT Up Offset 404.697 m
rate(mm/yr)= -9.08 ± 1.99 nrms= 0.47 wrms= 3.9 mm # 25

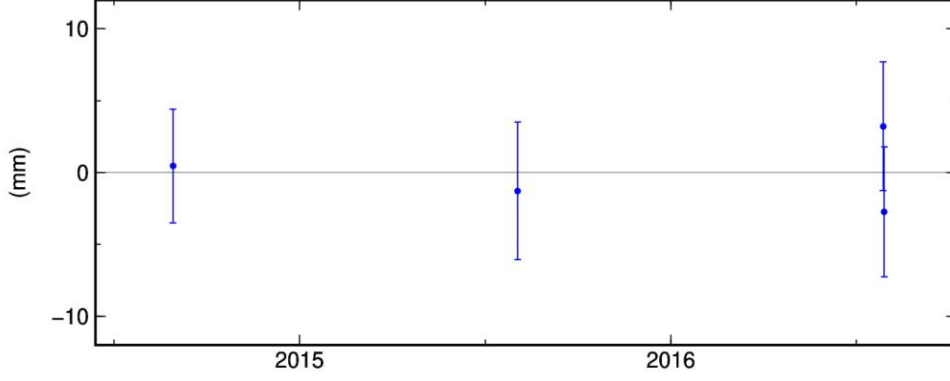


GMD 2016 Oct 27 11:44:16

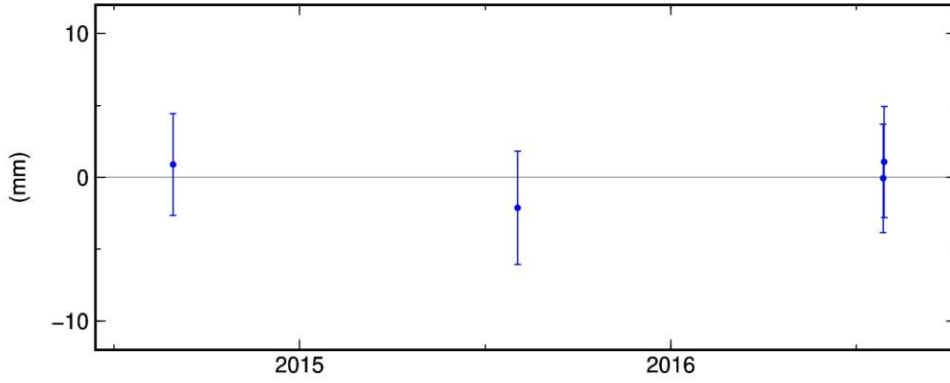
p: 8

Şekil C.8 : BOYT istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

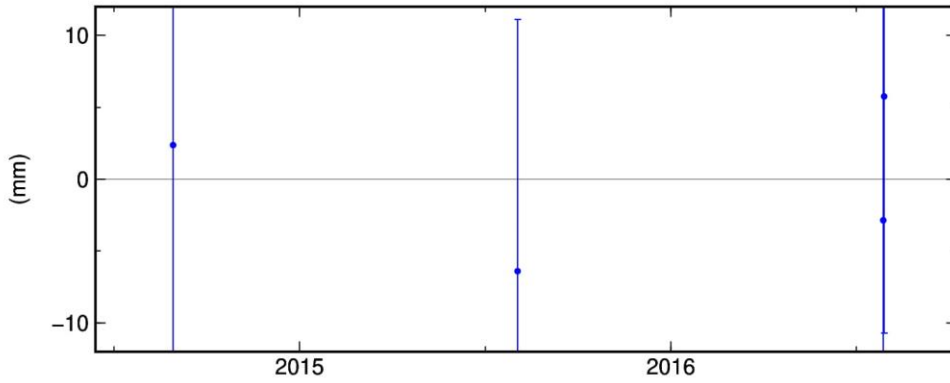
BRBY North Offset 4544081.997 m
rate(mm/yr)= 13.21 ± 2.63 nrms= 0.69 wrms= 3.1 mm # 4



BRBY East Offset 3049595.825 m
rate(mm/yr)= 15.95 ± 2.30 nrms= 0.46 wrms= 1.7 mm # 4



BRBY Up Offset 796.955 m
rate(mm/yr)= -14.16 ± 9.69 nrms= 0.40 wrms= 6.4 mm # 4

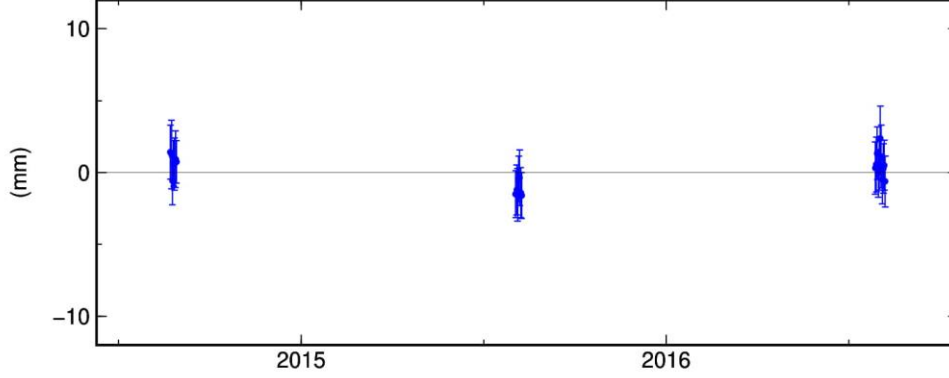


GMD 2016 Oct 30 08:59:05

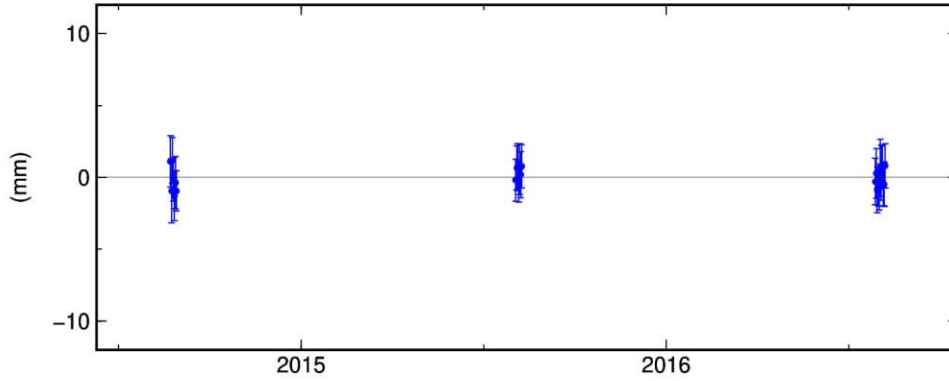
p: 9

Şekil C.9 : BRBY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

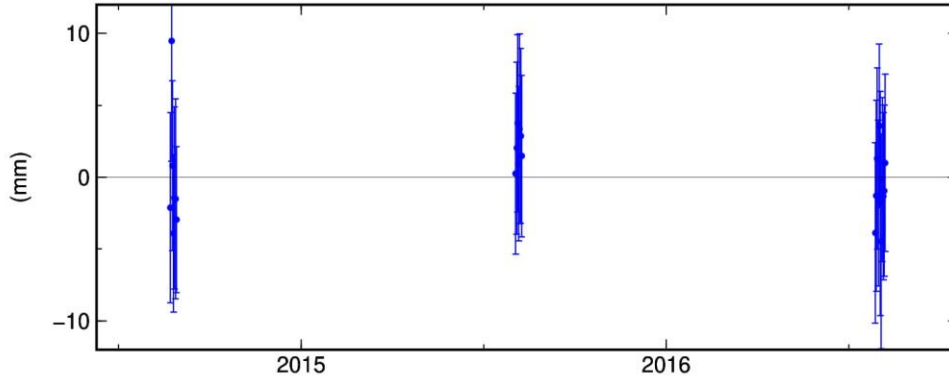
BUCU North Offset 4949703.822 m
rate(mm/yr)= 12.14 ± 0.44 nrms= 0.59 wrms= 1.0 mm # 25



BUCU East Offset 2075623.477 m
rate(mm/yr)= 24.25 ± 0.41 nrms= 0.45 wrms= 0.7 mm # 25

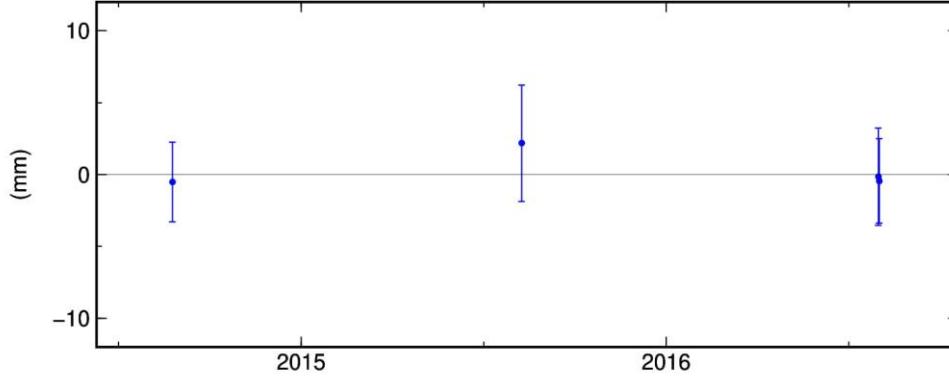


BUCU Up Offset 143.236 m
rate(mm/yr)= -1.46 ± 1.54 nrms= 0.46 wrms= 2.8 mm # 25

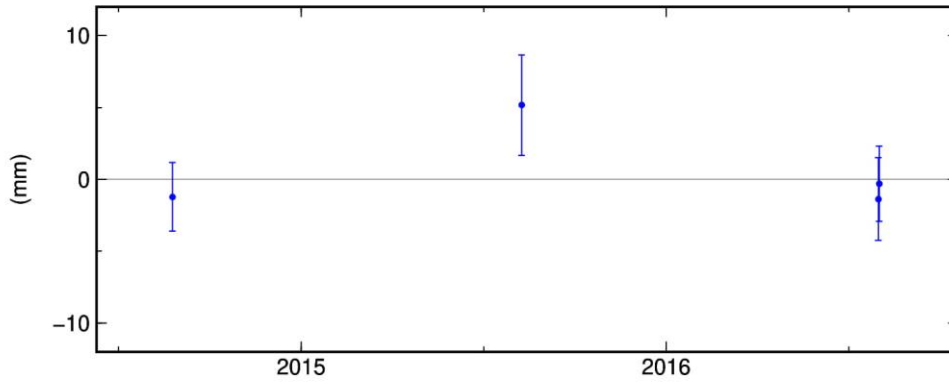


Şekil C.10 : BUCU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

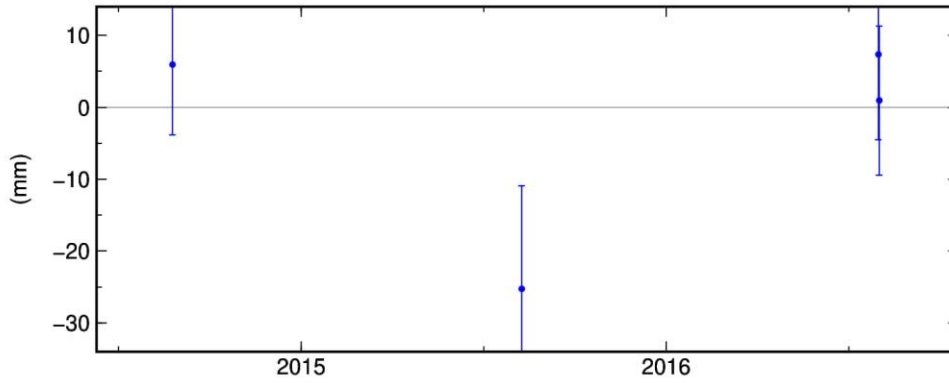
BYKY North Offset 4557334.376 m
rate(mm/yr)= 13.36 ± 1.83 nrms= 0.42 wrms= 1.3 mm # 4



BYKY East Offset 2763191.533 m
rate(mm/yr)= 19.29 ± 1.58 nrms= 1.16 wrms= 3.2 mm # 4



BYKY Up Offset 1492.919 m
rate(mm/yr)= -3.50 ± 6.46 nrms= 1.39 wrms= 15.6 mm # 4

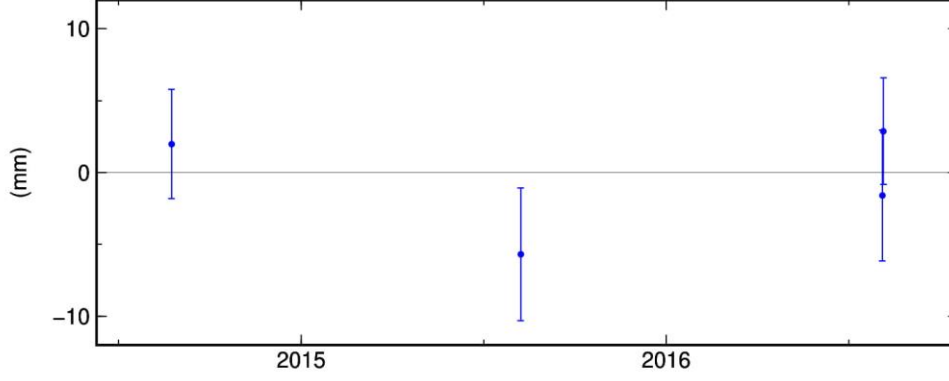


GM 2016 Oct 30 08:59:07

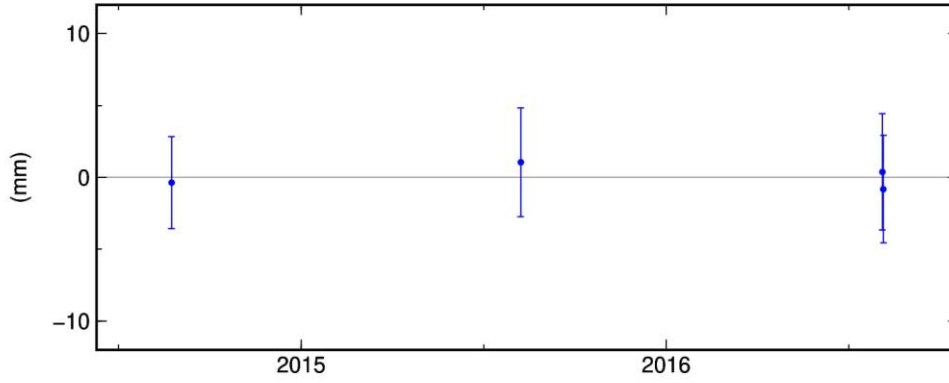
p: 11

Şekil C.11 : BYKY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

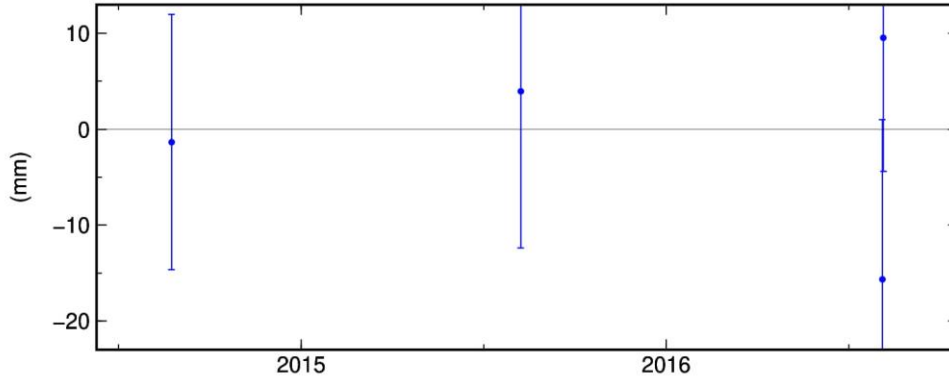
BYYY North Offset 4556630.200 m
rate(mm/yr)= 12.40 ± 2.43 nrms= 1.12 wrms= 4.6 mm # 4



BYYY East Offset 2731404.951 m
rate(mm/yr)= 19.69 ± 2.16 nrms= 0.27 wrms= 1.0 mm # 4

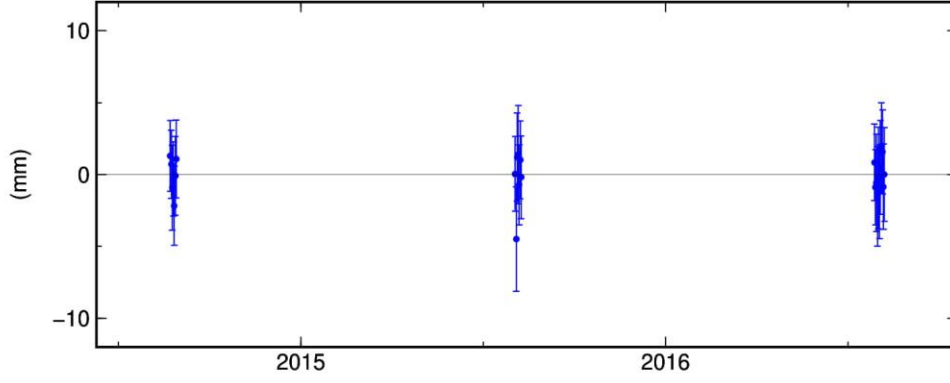


BYYY Up Offset 1012.149 m
rate(mm/yr)= -6.58 ± 8.72 nrms= 0.84 wrms= 12.5 mm # 4

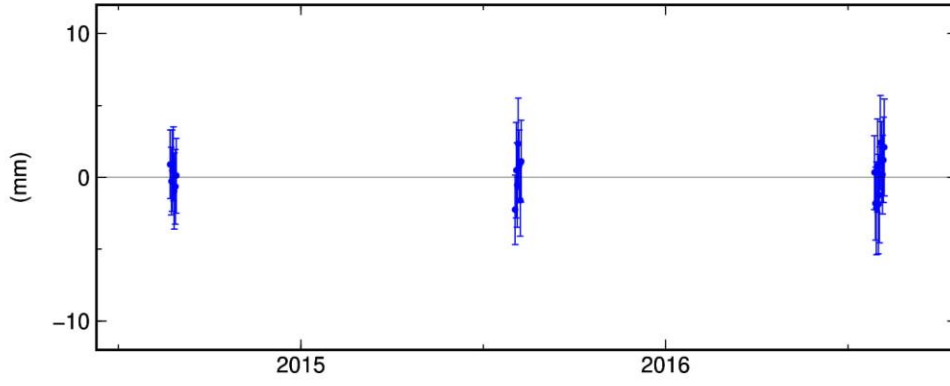


Şekil C.12 : BYYY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

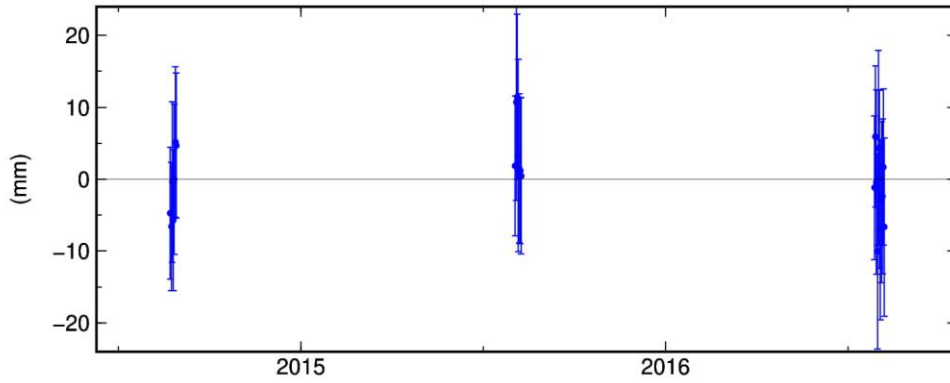
CANK North Offset 4520526.144 m
rate(mm/yr)= 12.26 ± 0.70 nrms= 0.45 wrms= 1.3 mm # 25



CANK East Offset 2840459.024 m
rate(mm/yr)= 3.41 ± 0.68 nrms= 0.48 wrms= 1.3 mm # 25



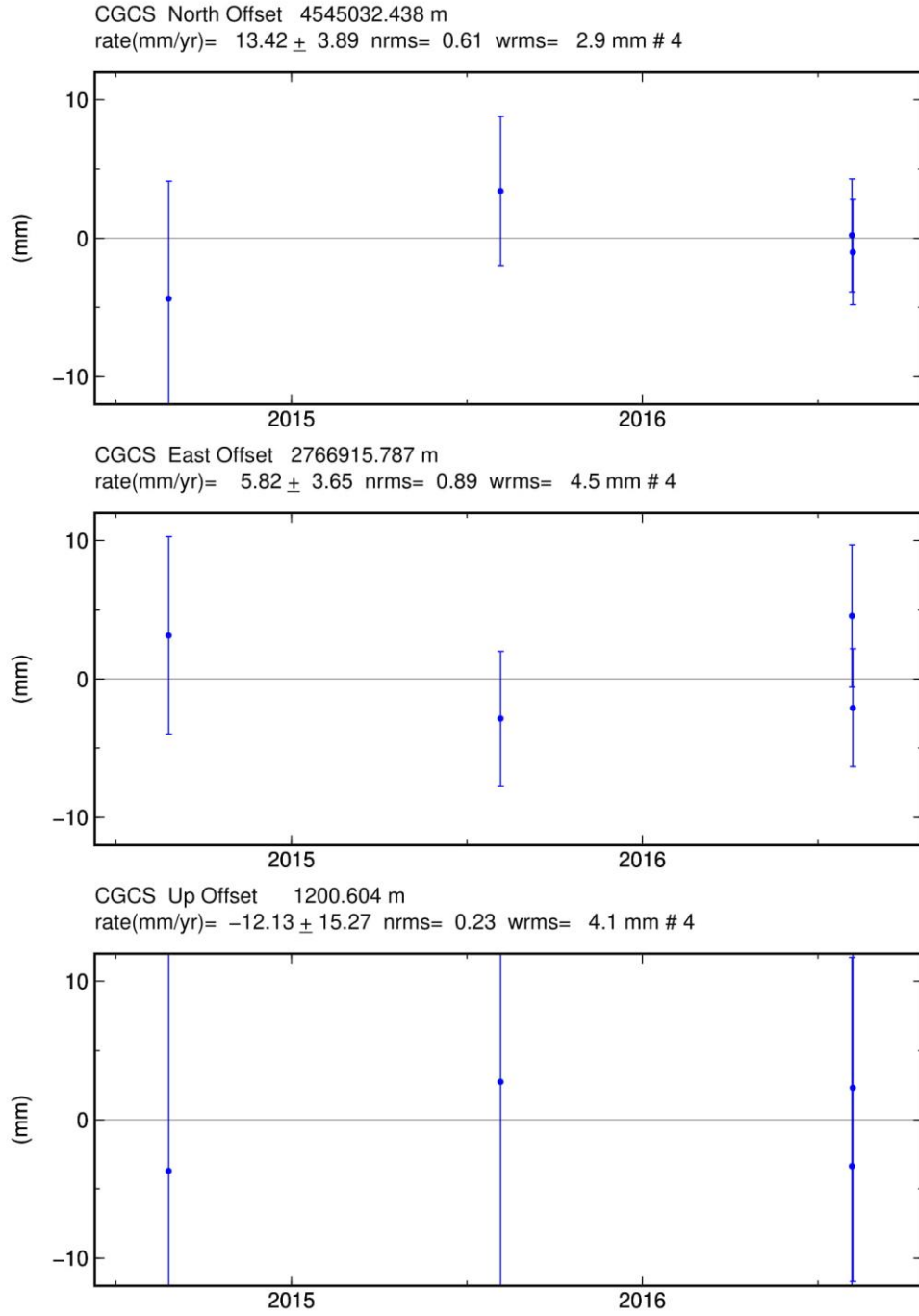
CANK Up Offset 794.959 m
rate(mm/yr)= -2.79 ± 2.65 nrms= 0.47 wrms= 5.2 mm # 25



GM 2016 Oct 27 11:44:17

p: 13

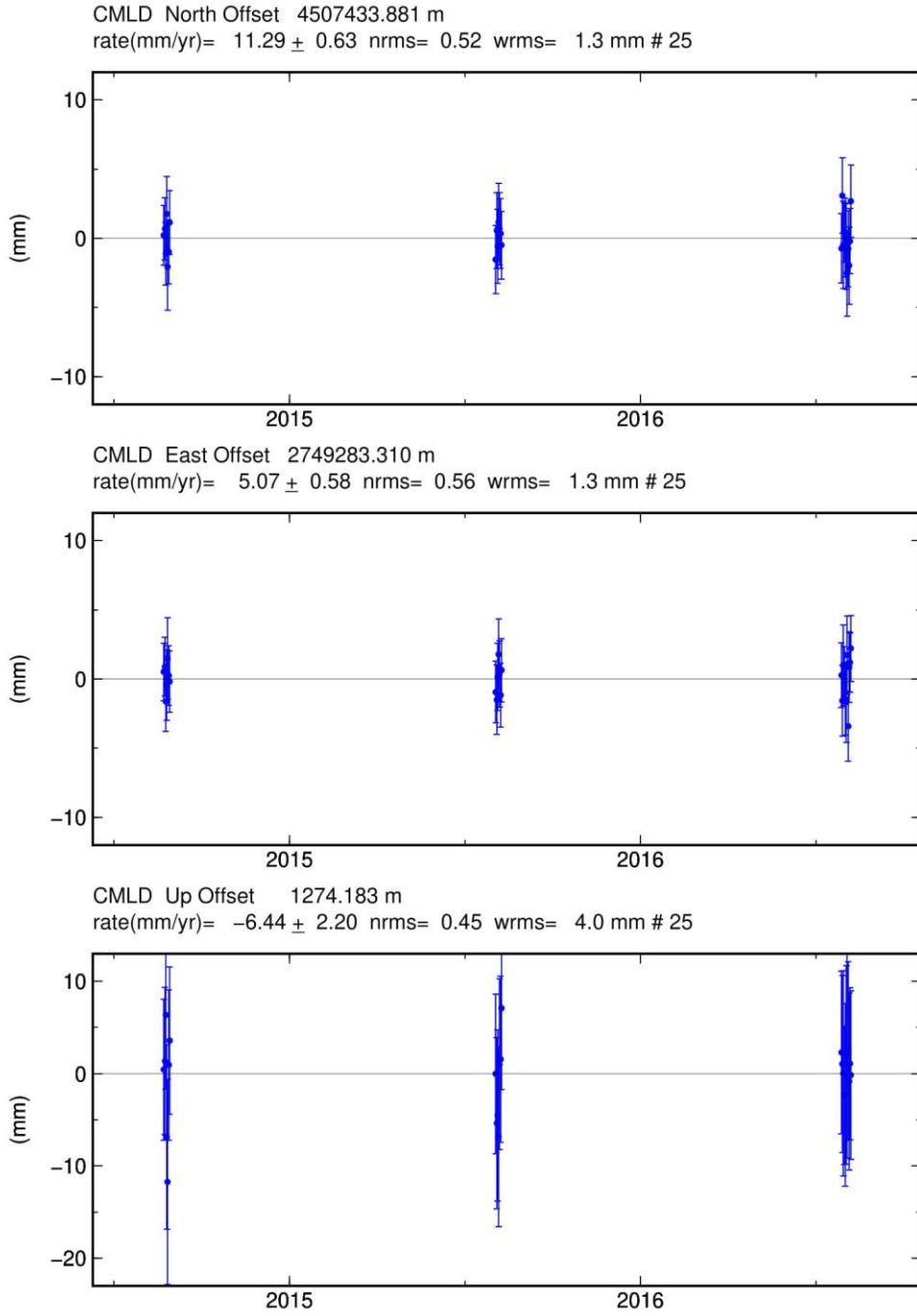
Şekil C.13 : CANK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 30 08:59:09

p: 14

Şekil C.14 : CGCS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

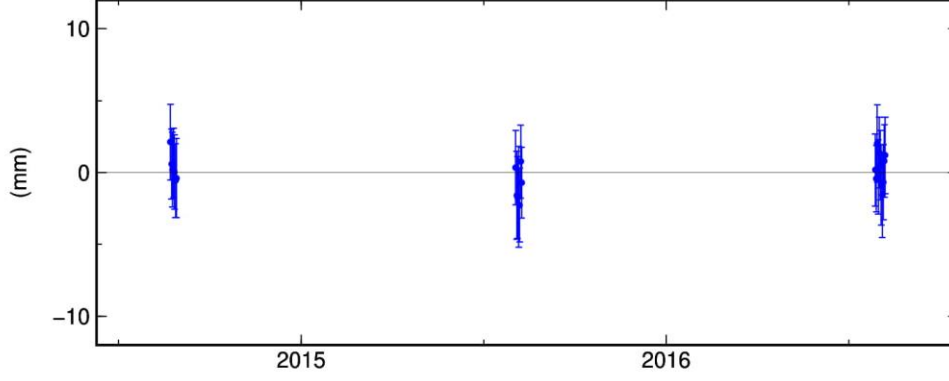


GM 2016 Oct 27 11:44:18

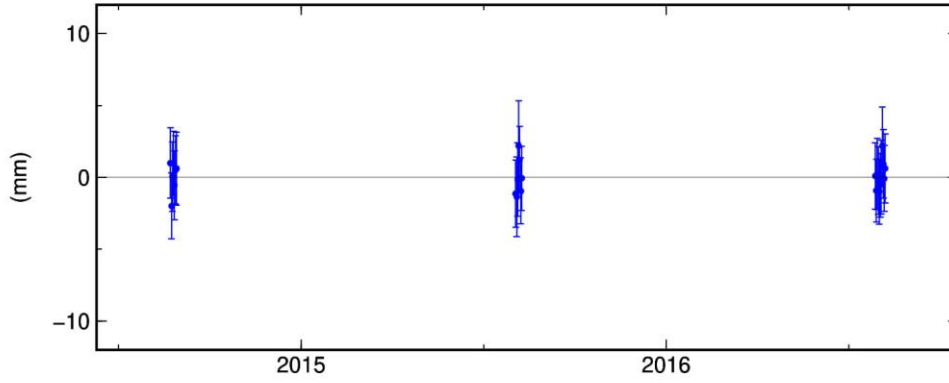
p: 15

Şekil C.15 : CMLD istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

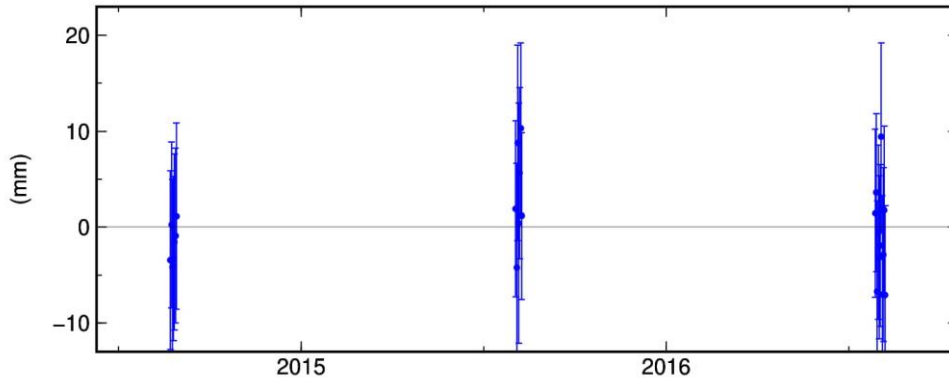
CORU North Offset 4516277.673 m
rate(mm/yr)= 15.19 ± 0.64 nrms= 0.44 wrms= 1.1 mm # 25



CORU East Offset 2958040.599 m
rate(mm/yr)= 9.42 ± 0.59 nrms= 0.42 wrms= 1.0 mm # 25



CORU Up Offset 922.116 m
rate(mm/yr)= -7.42 ± 2.24 nrms= 0.52 wrms= 4.8 mm # 25

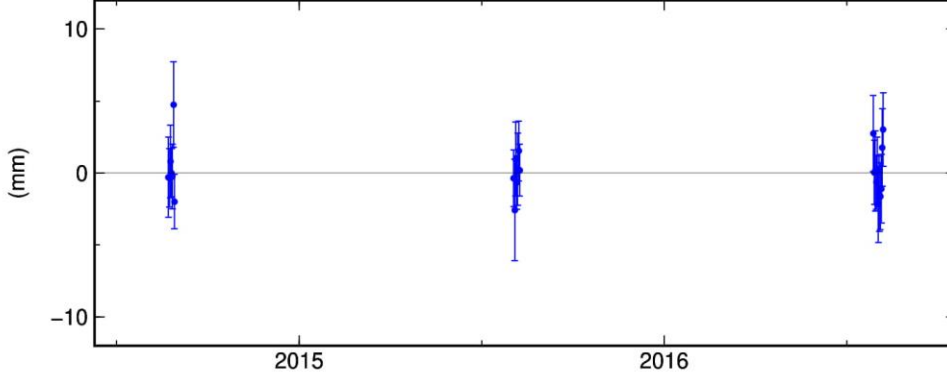


GM 2016 Oct 27 11:44:18

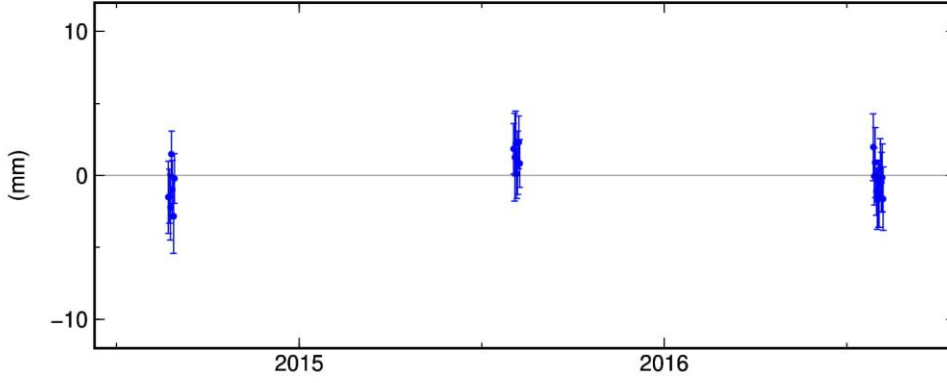
p: 16

Şekil C.16 : CORU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

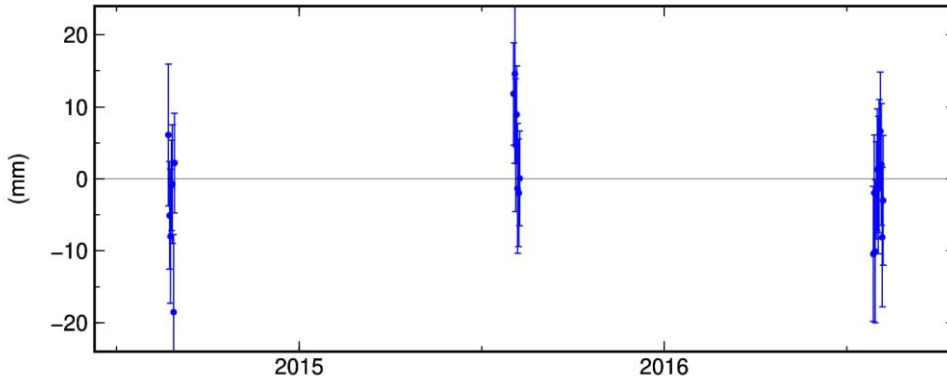
CRAO North Offset 4944061.571 m
rate(mm/yr)= 13.68 ± 0.57 nrms= 0.66 wrms= 1.5 mm # 25



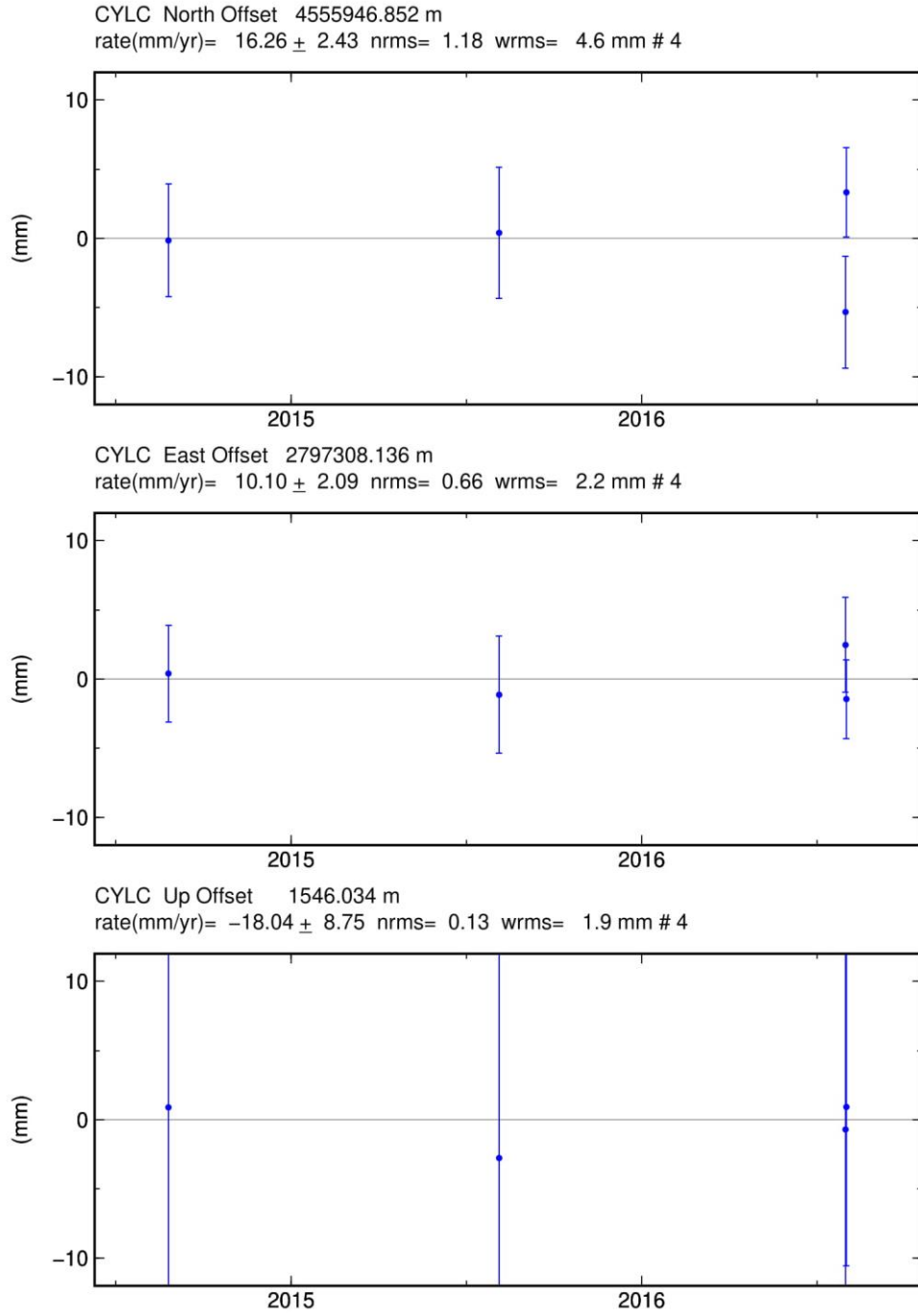
CRAO East Offset 2702881.118 m
rate(mm/yr)= 25.08 ± 0.51 nrms= 0.71 wrms= 1.5 mm # 25



CRAO Up Offset 365.816 m
rate(mm/yr)= -9.10 ± 2.06 nrms= 0.80 wrms= 6.6 mm # 25



Şekil C.17 : CRAO istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

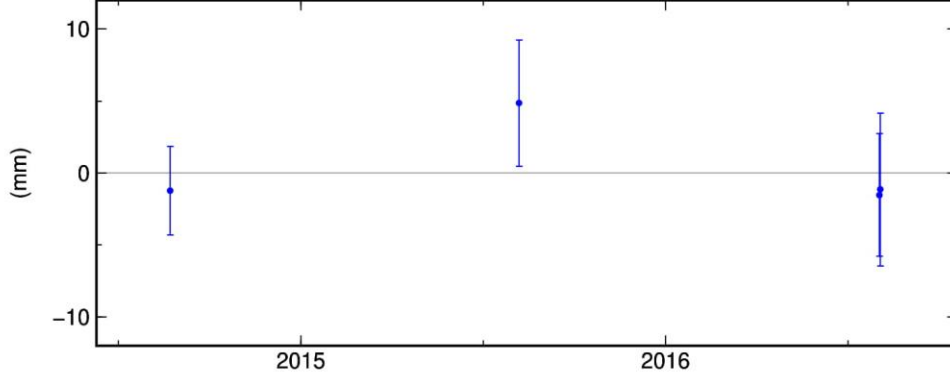


GM 2016 Oct 30 08:59:12

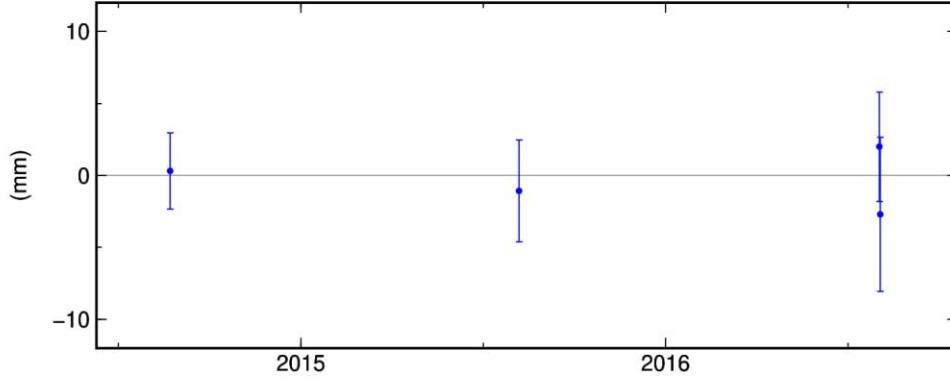
p: 18

Şekil C.18 : CYLC istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

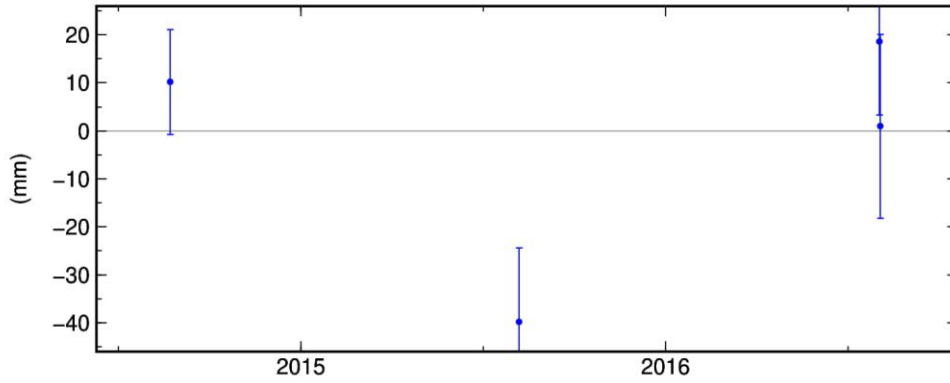
DVBY North Offset 4542782.409 m
rate(mm/yr)= 10.85 ± 2.33 nrms= 0.88 wrms= 3.5 mm # 4



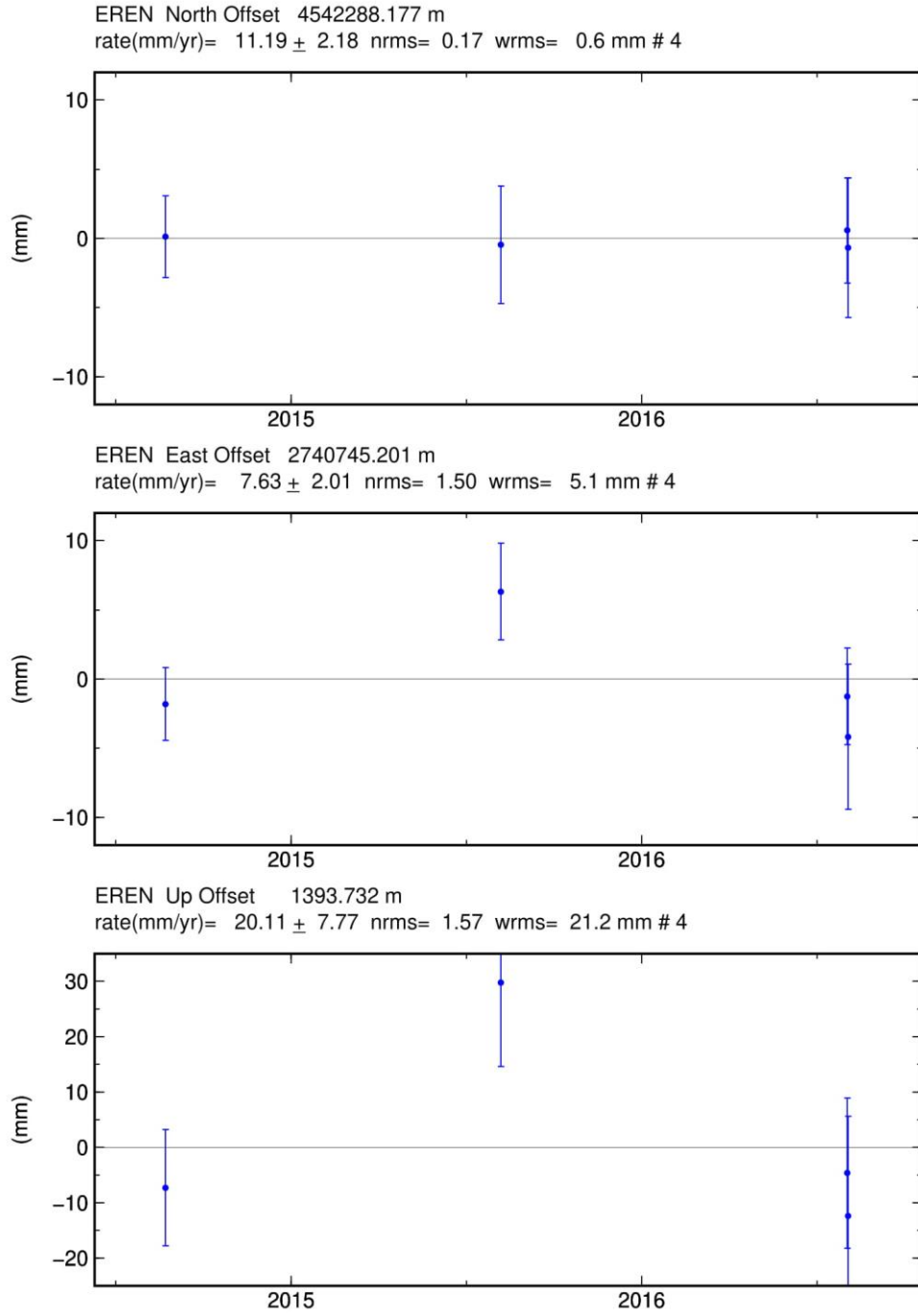
DVBY East Offset 2738195.113 m
rate(mm/yr)= 8.50 ± 2.09 nrms= 0.56 wrms= 2.0 mm # 4



DVBY Up Offset 1219.215 m
rate(mm/yr)= 10.91 ± 8.32 nrms= 2.12 wrms= 30.3 mm # 4



Şekil C.19 : DVBY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

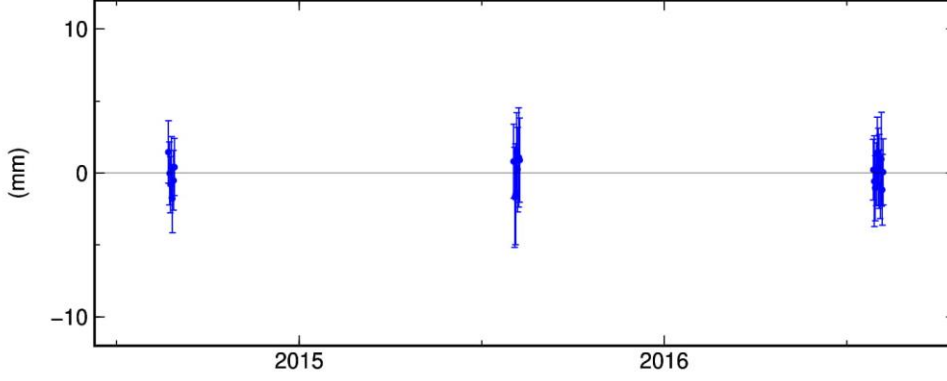


GM 2016 Oct 30 08:59:13

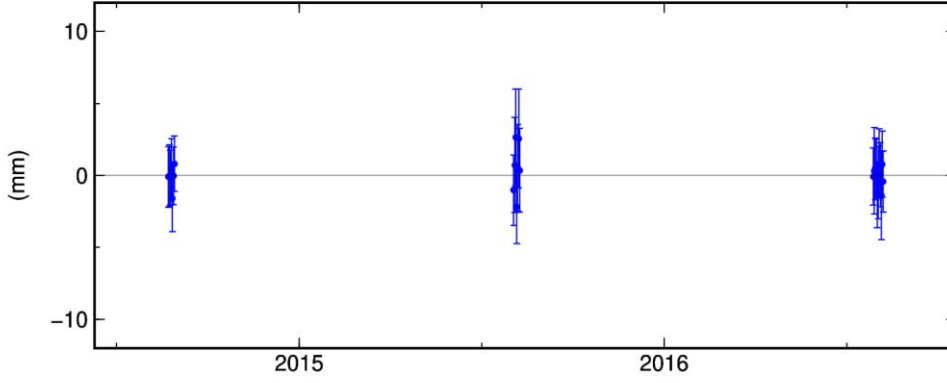
p: 20

Şekil C.20 : EREN istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

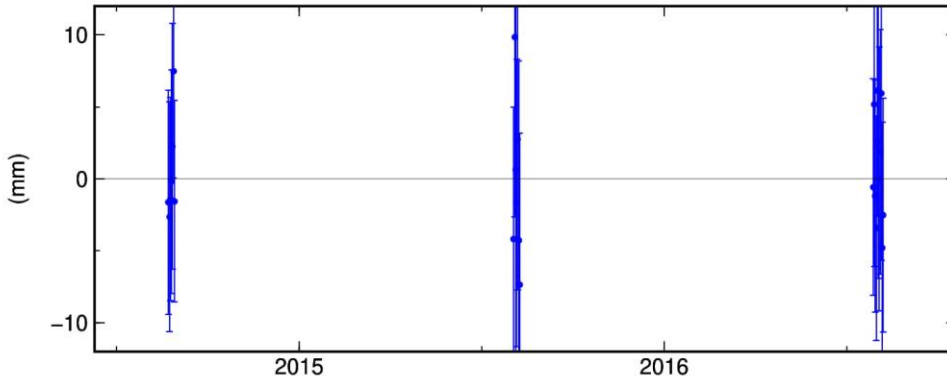
ESKS North Offset 4424469.696 m
rate(mm/yr)= 10.16 ± 0.56 nrms= 0.38 wrms= 0.9 mm # 25



ESKS East Offset 2607447.874 m
rate(mm/yr)= 2.09 ± 0.54 nrms= 0.41 wrms= 1.0 mm # 25



ESKS Up Offset 850.765 m
rate(mm/yr)= -6.55 ± 2.02 nrms= 0.45 wrms= 3.9 mm # 25

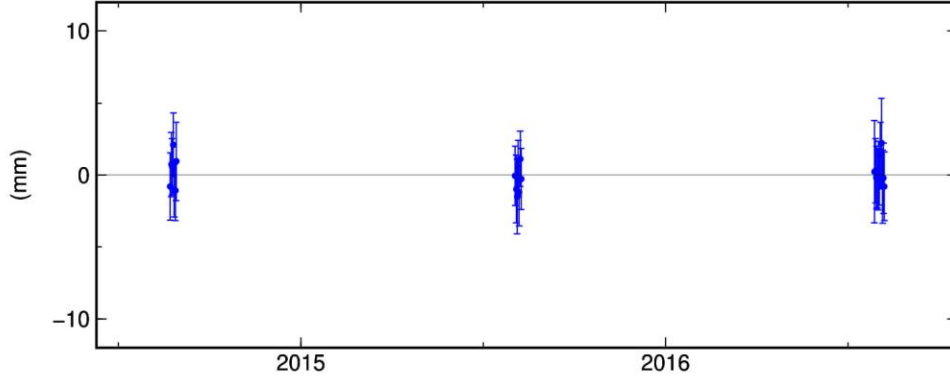


GM 2016 Oct 27 11:44:19

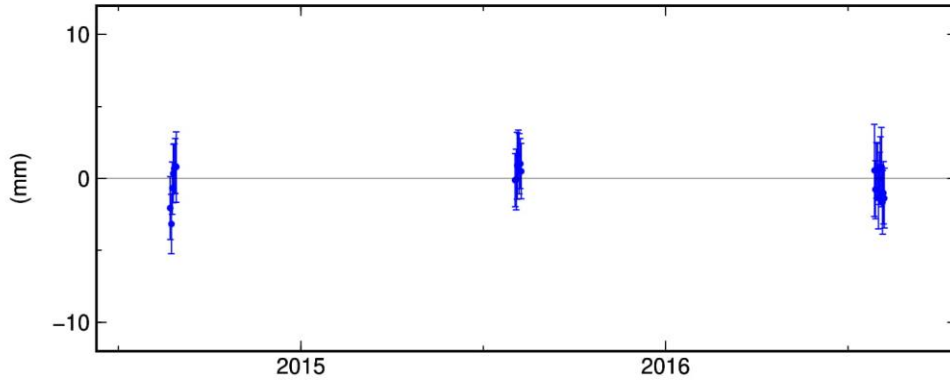
p: 21

Şekil C.21 : ESKS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

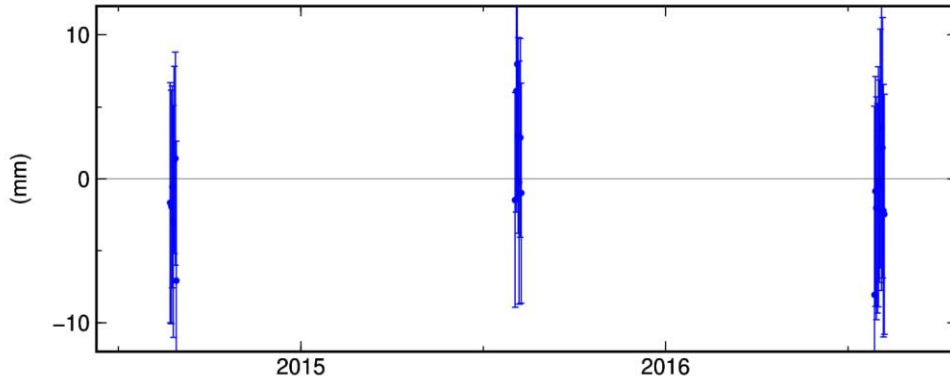
FASA North Offset 4569167.352 m
rate(mm/yr)= 14.72 ± 0.56 nrms= 0.43 wrms= 1.0 mm # 25



FASA East Offset 3147017.433 m
rate(mm/yr)= 24.60 ± 0.51 nrms= 0.58 wrms= 1.2 mm # 25



FASA Up Offset 40.997 m
rate(mm/yr)= -10.52 ± 1.99 nrms= 0.39 wrms= 3.1 mm # 25

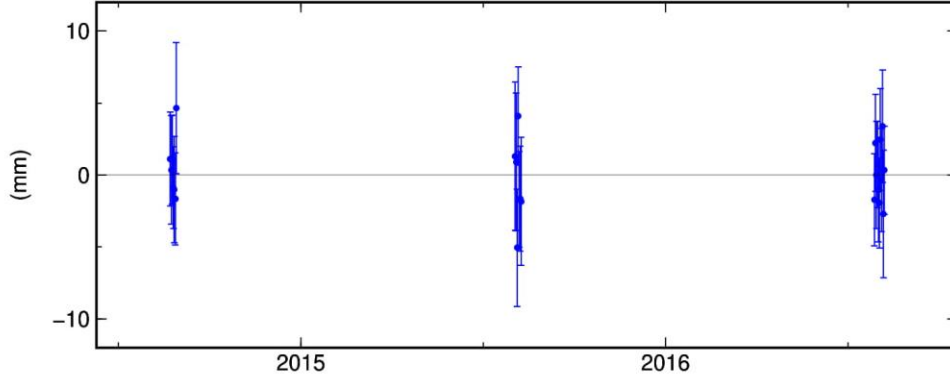


GM 2016 Oct 27 11:44:19

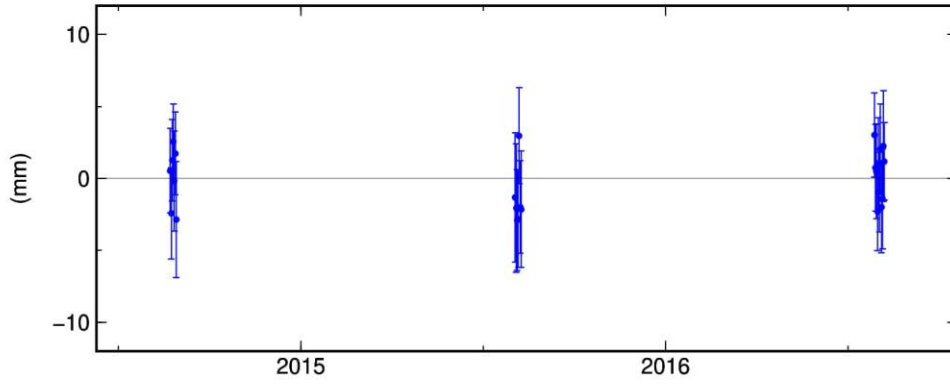
p: 22

Şekil C.22 : FASA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

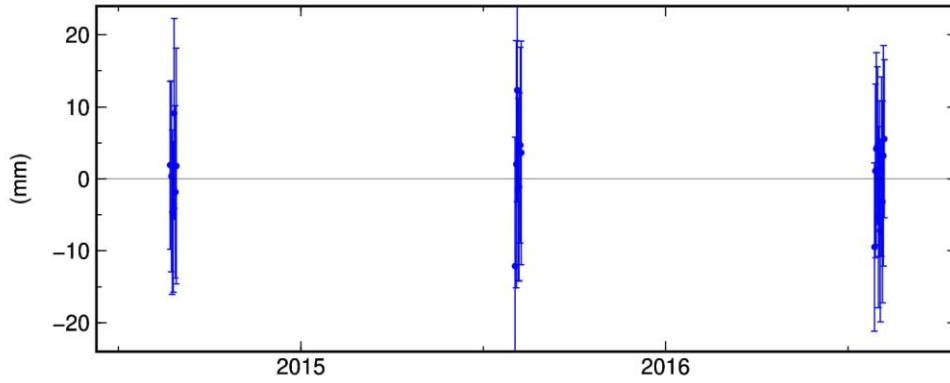
GIRS North Offset 4555486.405 m
rate(mm/yr)= 14.47 ± 0.85 nrms= 0.60 wrms= 2.1 mm # 25



GIRS East Offset 3228888.631 m
rate(mm/yr)= 25.57 ± 0.76 nrms= 0.64 wrms= 2.0 mm # 25



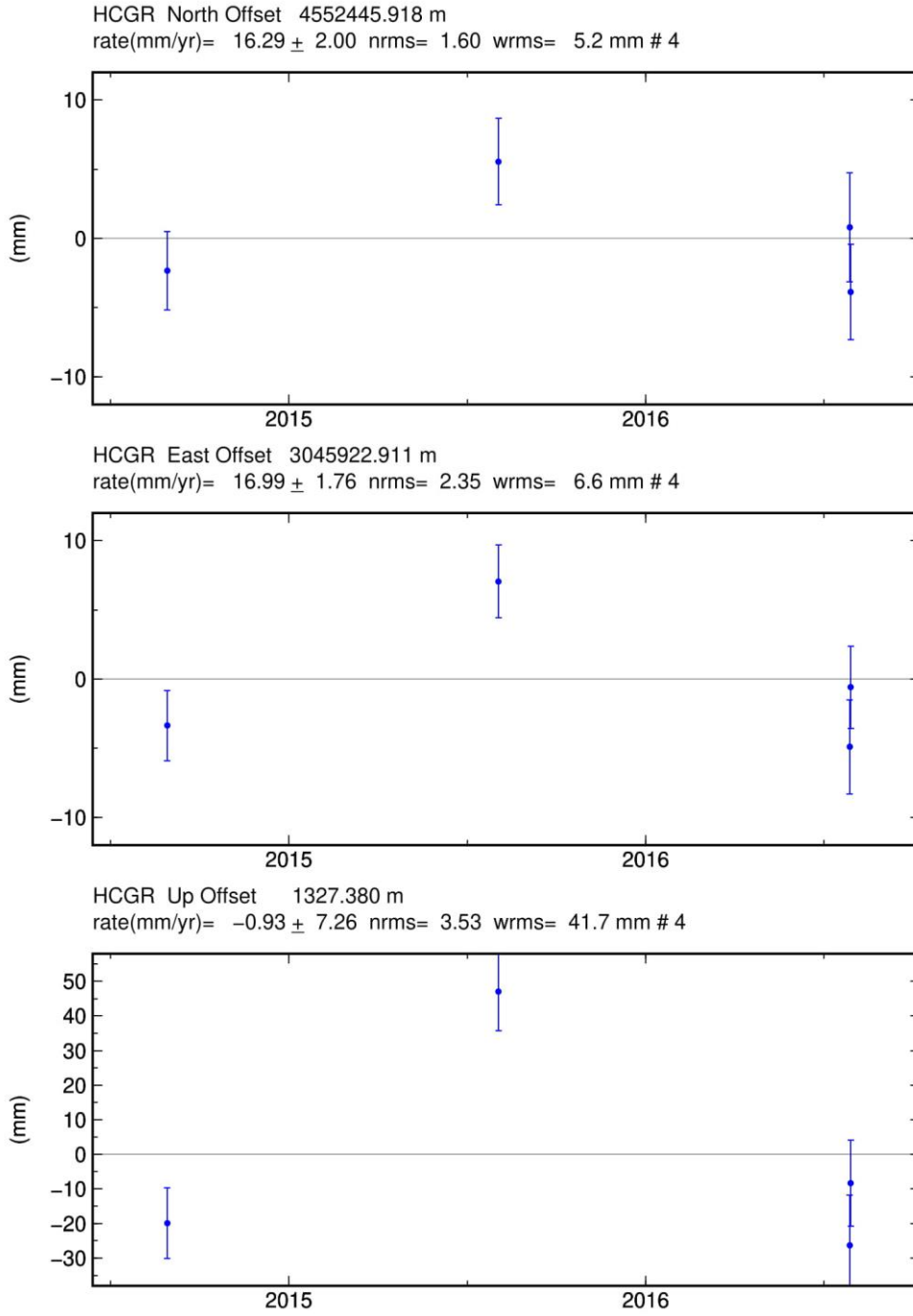
GIRS Up Offset 81.296 m
rate(mm/yr)= -13.66 ± 3.05 nrms= 0.42 wrms= 5.4 mm # 25



GM 2016 Oct 27 11:44:20

p: 23

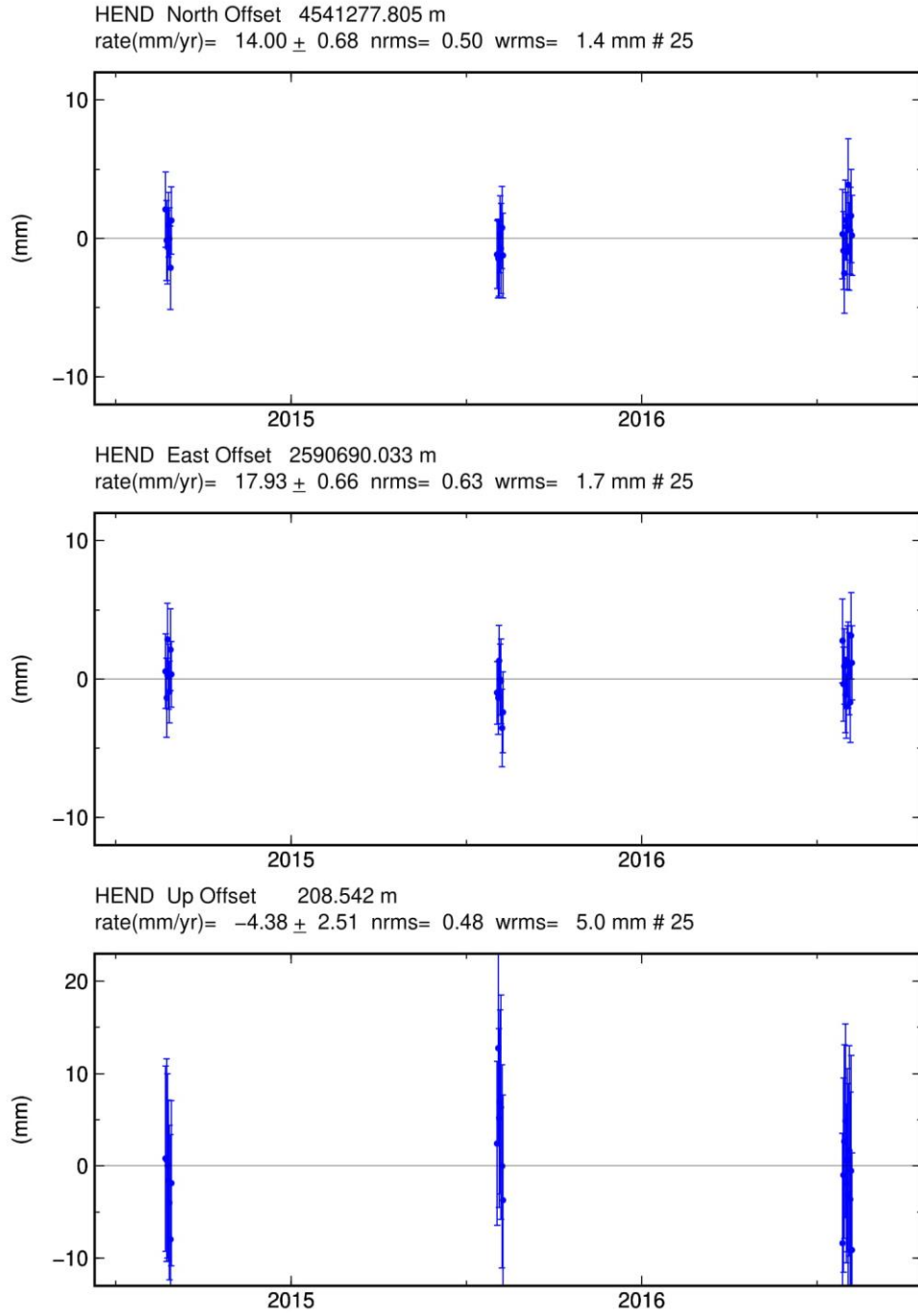
Şekil C.23 : GIRS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 30 08:59:16

p: 24

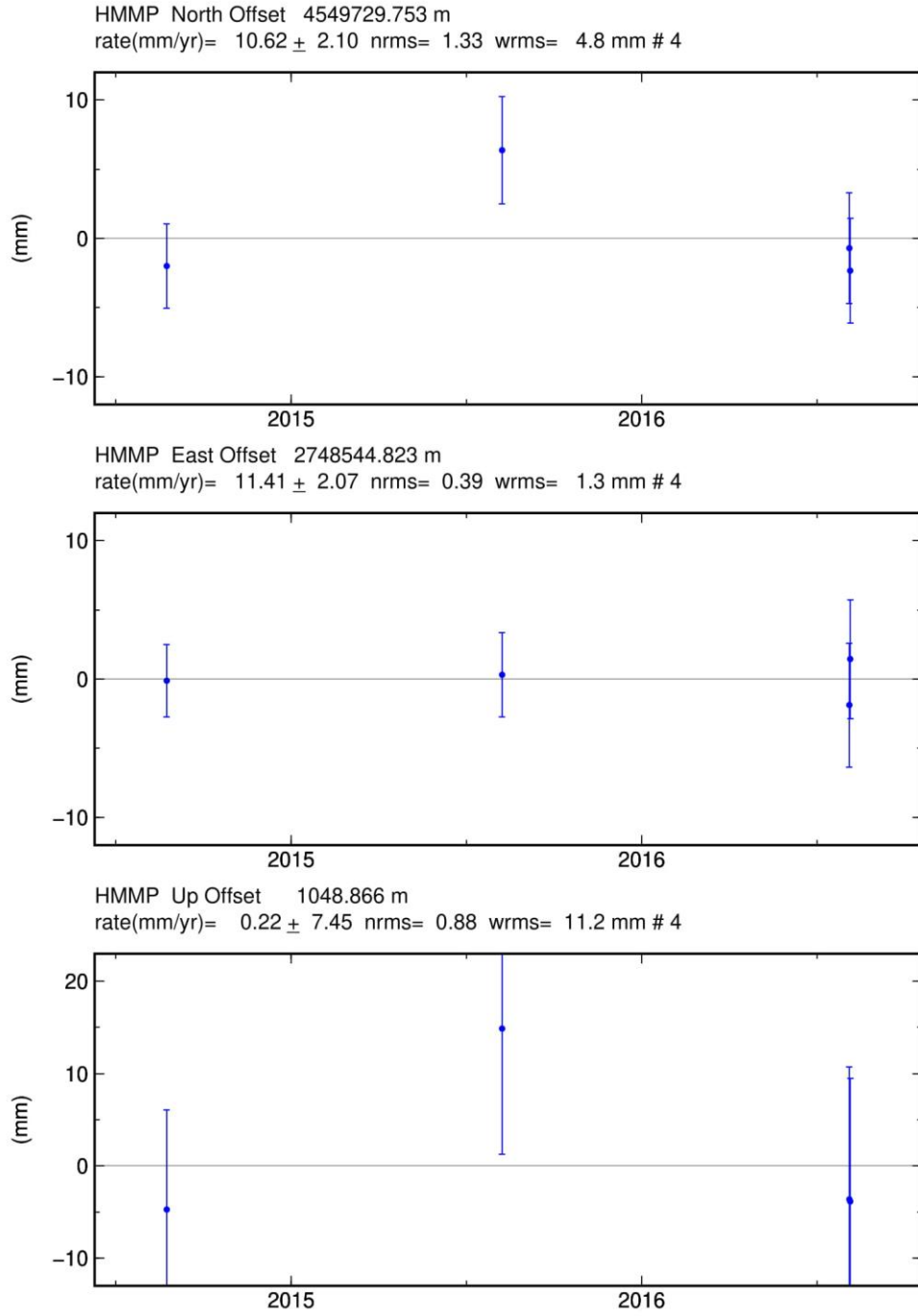
Şekil C.24 : HCGR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 27 11:44:20

p: 25

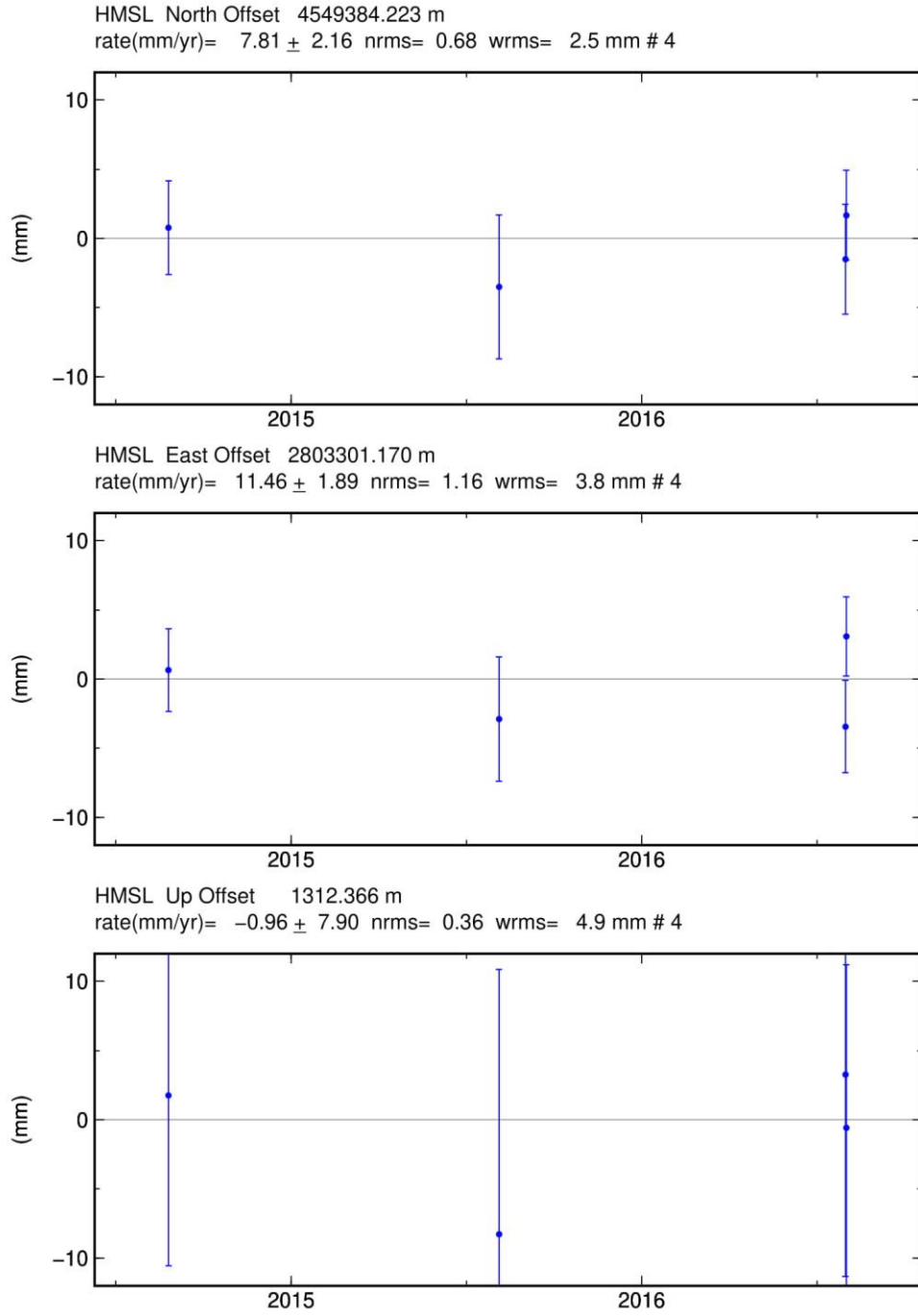
Şekil C.25 : HEND istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 30 08:59:18

p: 26

Şekil C.26 : HMMP istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

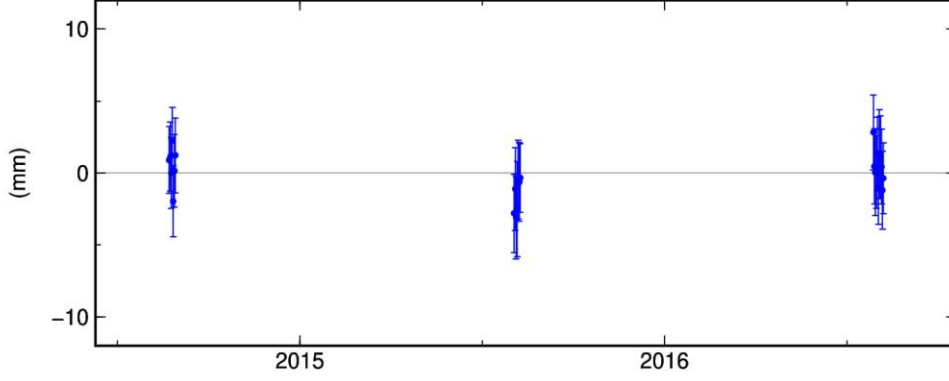


GM 2016 Oct 30 08:59:18

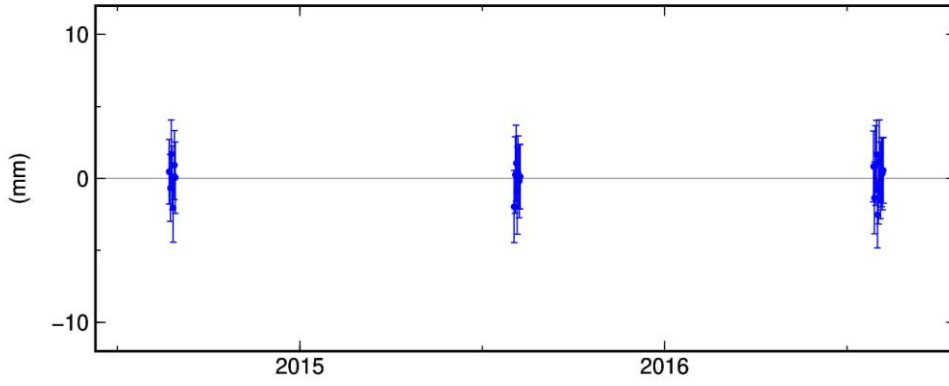
p: 27

Şekil C.27 : HMSL istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

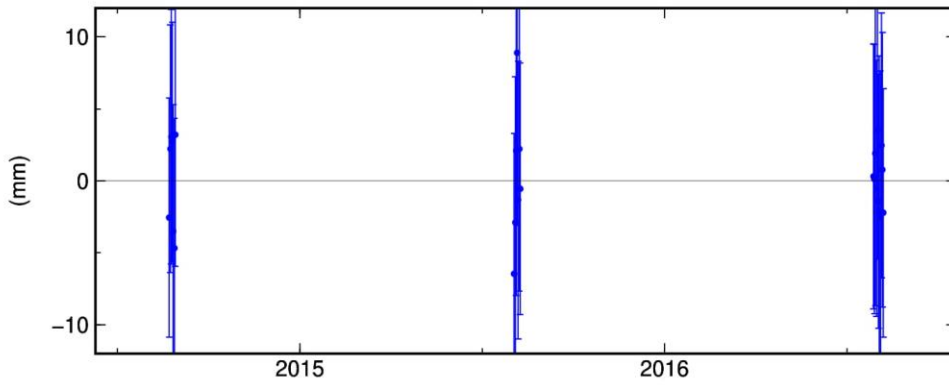
HYMN North Offset 4389853.605 m
rate(mm/yr)= 8.94 ± 0.63 nrms= 0.57 wrms= 1.5 mm # 25



HYMN East Offset 2793944.013 m
rate(mm/yr)= 3.60 ± 0.60 nrms= 0.47 wrms= 1.1 mm # 25



HYMN Up Offset 1261.544 m
rate(mm/yr)= -11.31 ± 2.23 nrms= 0.34 wrms= 3.1 mm # 25

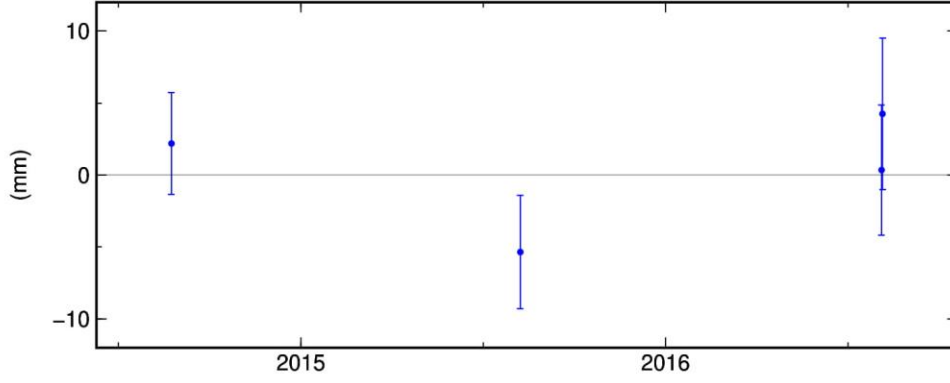


GM 2016 Oct 27 11:44:21

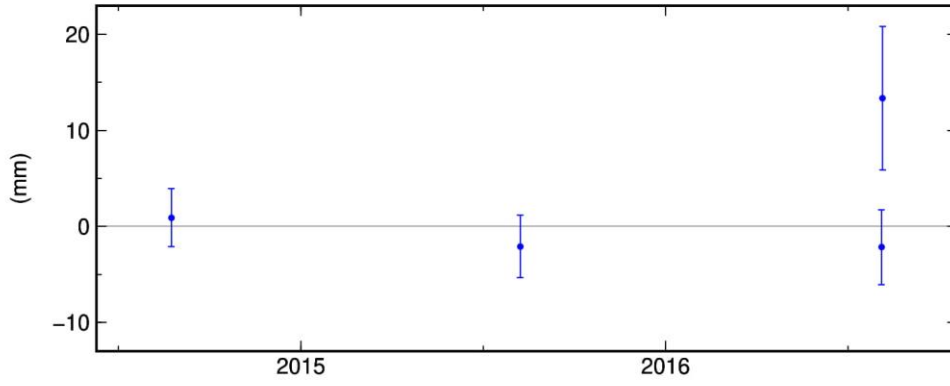
p: 28

Şekil C.28 : HYMN istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

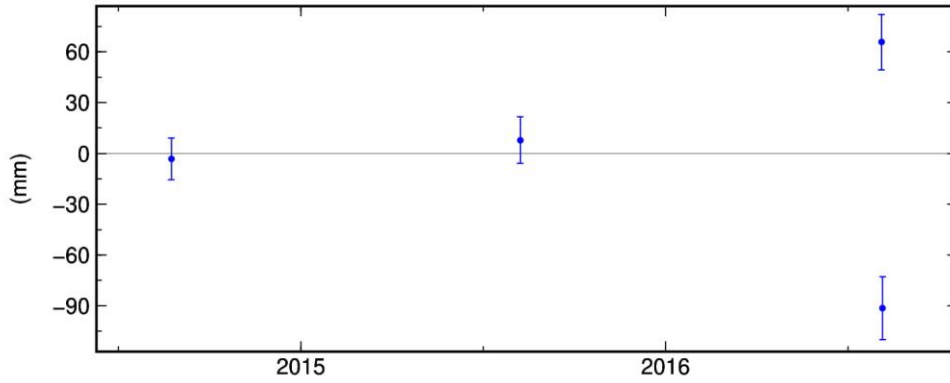
IMLR North Offset 4552485.859 m
rate(mm/yr)= 16.23 ± 2.53 nrms= 1.20 wrms= 5.0 mm # 4



IMLR East Offset 2742852.667 m
rate(mm/yr)= 16.83 ± 2.35 nrms= 1.42 wrms= 5.3 mm # 4



IMLR Up Offset 1088.214 m
rate(mm/yr)= -35.49 ± 8.90 nrms= 4.52 wrms= 66.2 mm # 4

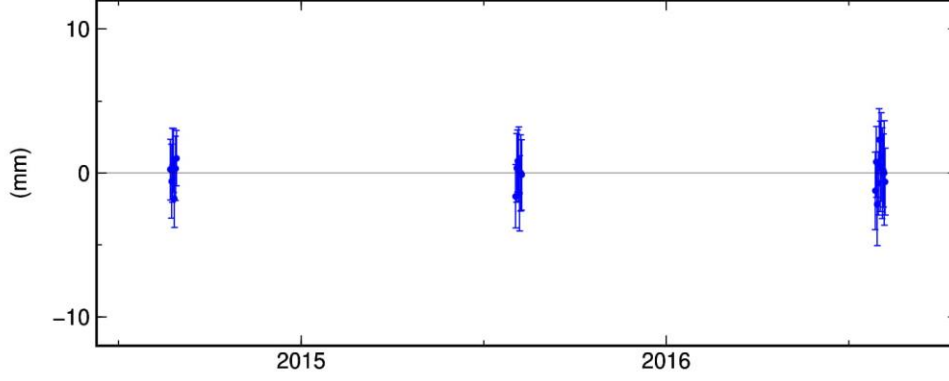


GM 2016 Oct 30 08:59:20

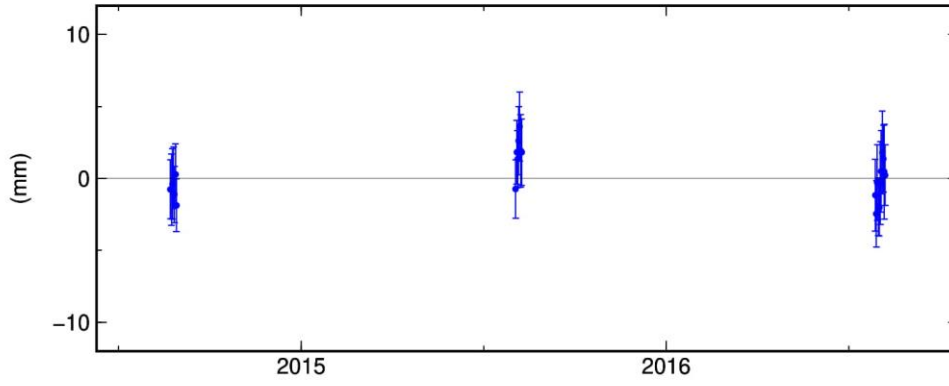
p: 29

Şekil C.29 : IMLR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

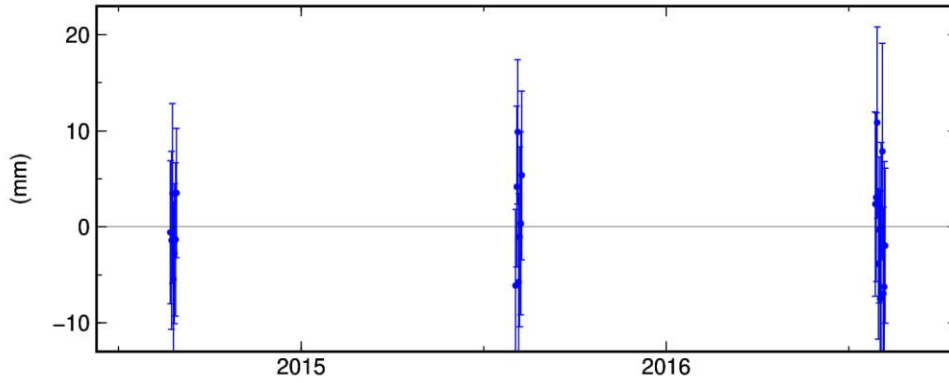
IZMT North Offset 4542055.584 m
rate(mm/yr)= 12.03 ± 0.59 nrms= 0.46 wrms= 1.1 mm # 25



IZMT East Offset 2523801.298 m
rate(mm/yr)= 20.73 ± 0.56 nrms= 0.72 wrms= 1.6 mm # 25



IZMT Up Offset 326.098 m
rate(mm/yr)= -7.28 ± 2.12 nrms= 0.59 wrms= 5.1 mm # 25

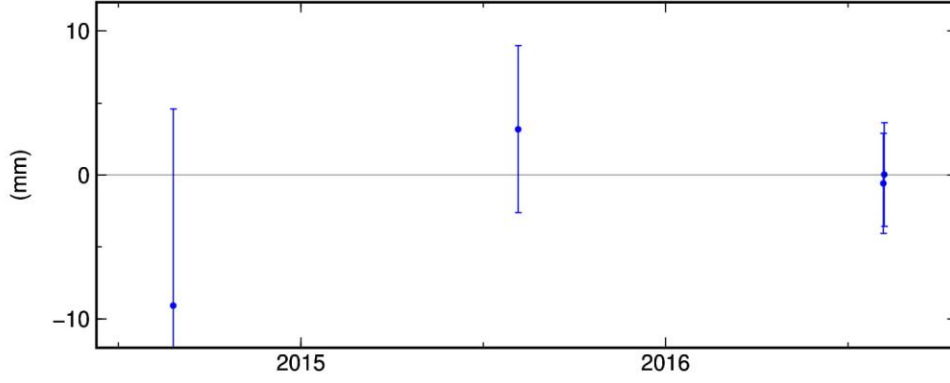


GMD 2016 Oct 27 11:44:22

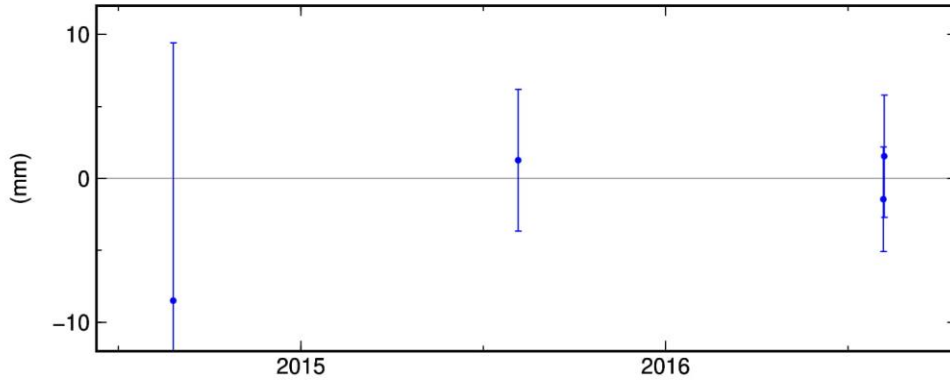
p: 30

Şekil C.30 : IZMT istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

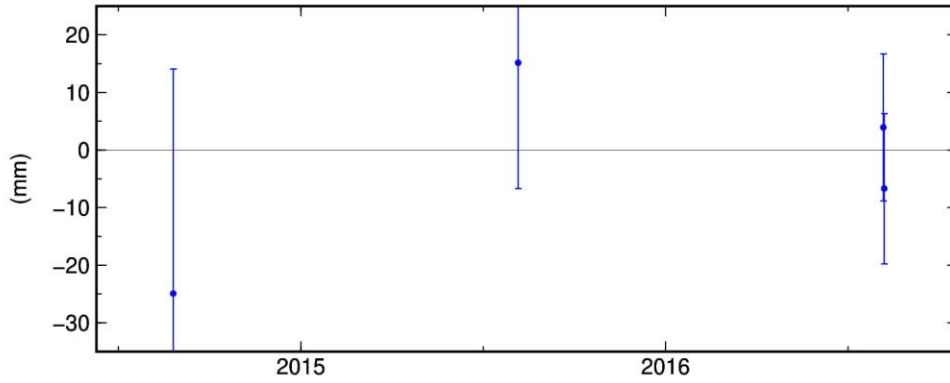
KDZU North Offset 4543167.456 m
rate(mm/yr)= 24.44 ± 4.89 nrms= 0.62 wrms= 2.8 mm # 4



KDZU East Offset 2777695.150 m
rate(mm/yr)= 8.63 ± 4.97 nrms= 0.54 wrms= 2.6 mm # 4



KDZU Up Offset 1259.689 m
rate(mm/yr)= -3.58 ± 16.17 nrms= 0.79 wrms= 13.0 mm # 4

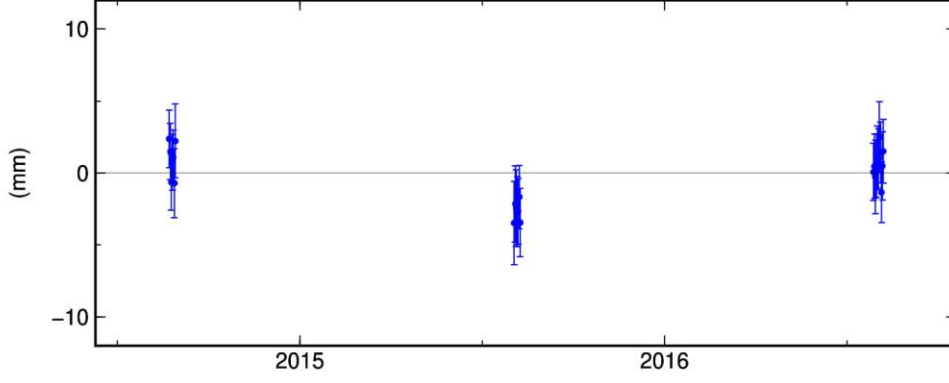


GM 2016 Oct 30 08:59:21

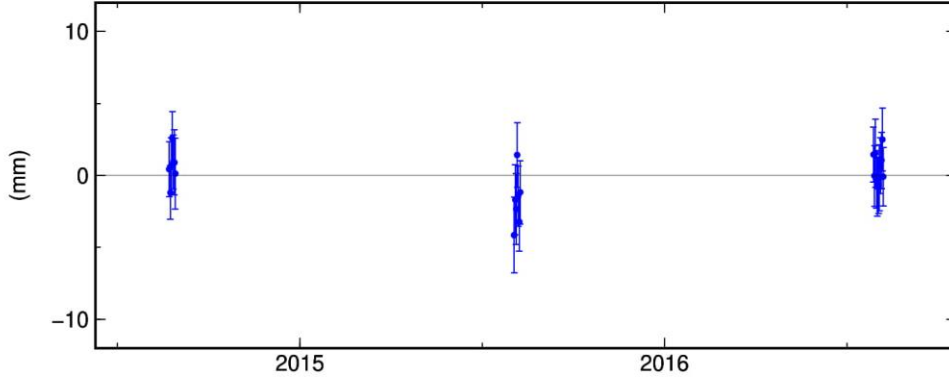
p: 31

Şekil C.31 : KDZU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

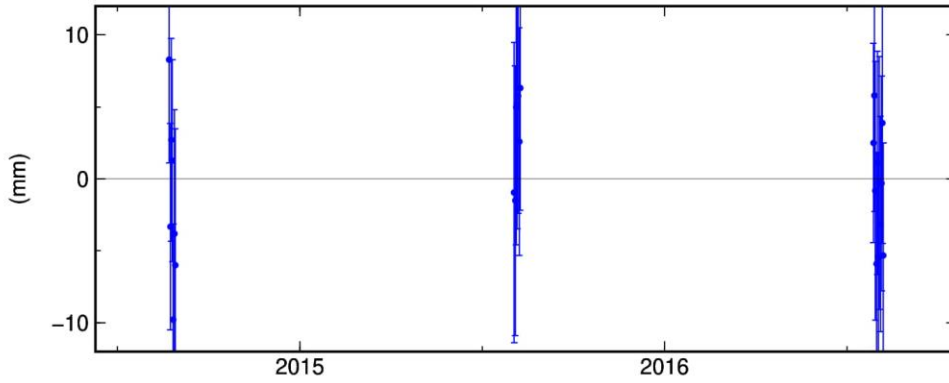
KKAL North Offset 4435332.163 m
rate(mm/yr)= 15.94 ± 0.53 nrms= 0.80 wrms= 1.8 mm # 25



KKAL East Offset 2864810.013 m
rate(mm/yr)= 6.77 ± 0.50 nrms= 0.77 wrms= 1.6 mm # 25



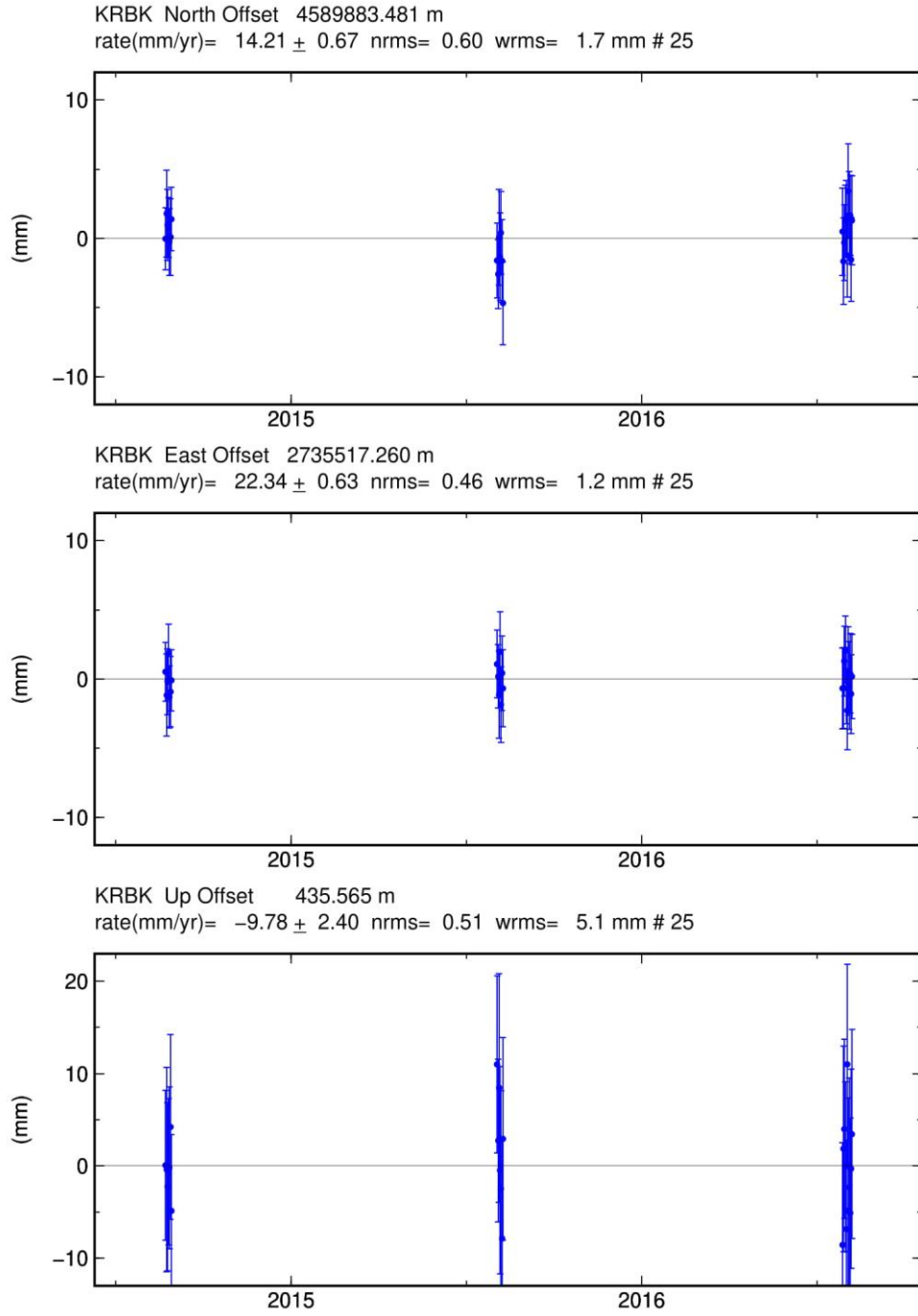
KKAL Up Offset 794.595 m
rate(mm/yr)= -7.38 ± 1.88 nrms= 0.63 wrms= 5.0 mm # 25



GM 2016 Oct 27 11:44:22

p: 32

Şekil C.32 : KKAL istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

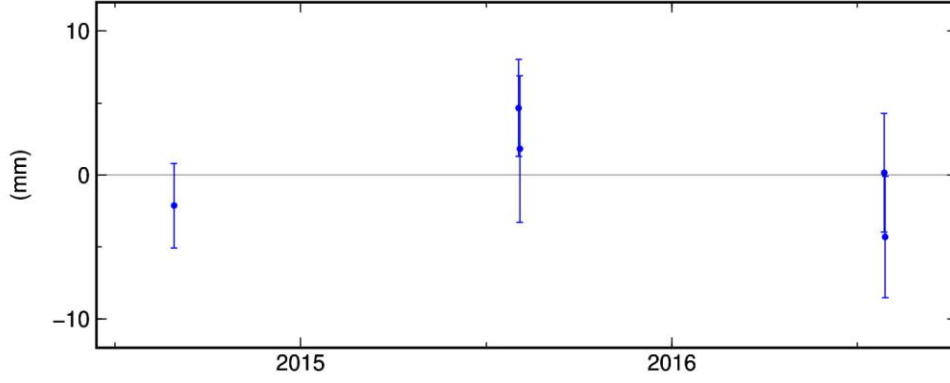


GM 2016 Oct 27 11:44:22

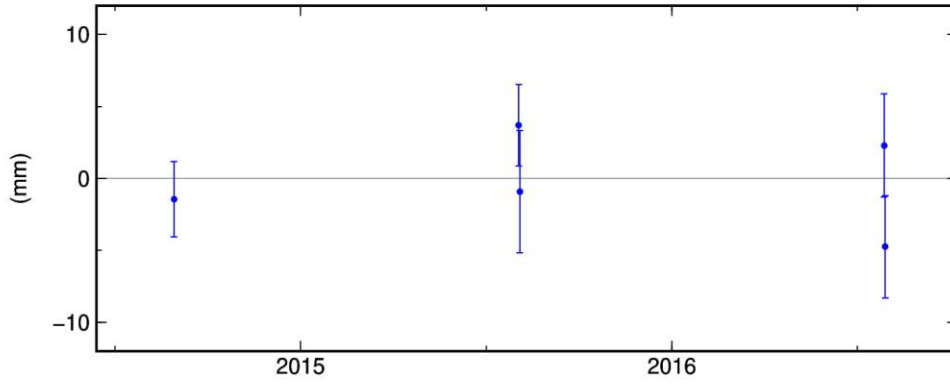
p: 33

Şekil C.33 : KRBK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

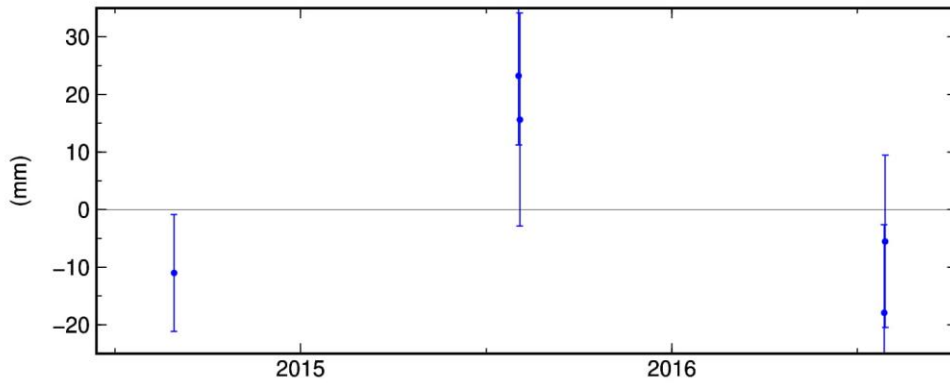
KRBS North Offset 4555928.179 m
rate(mm/yr)= 17.51 ± 2.17 nrms= 1.10 wrms= 4.1 mm # 5



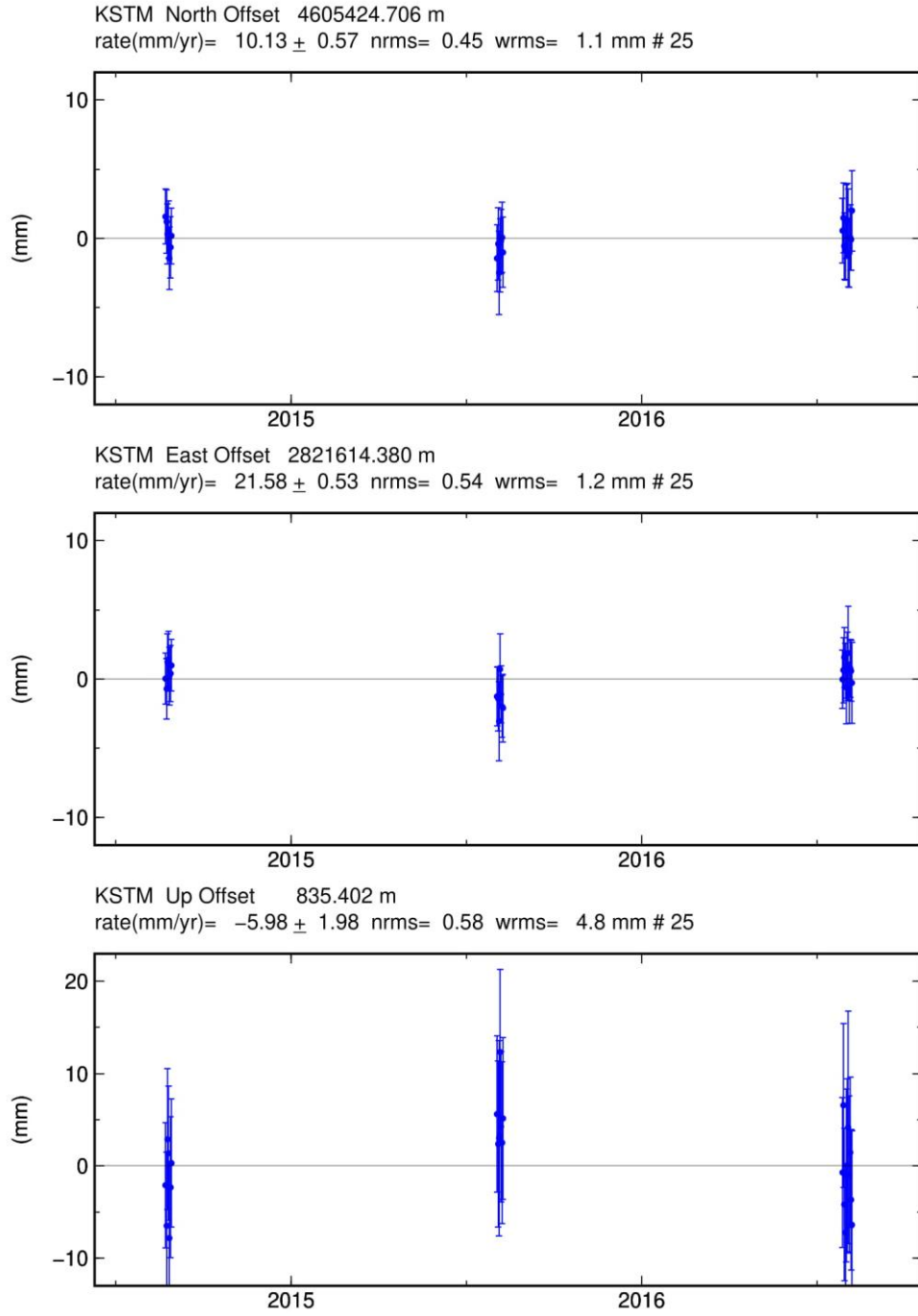
KRBS East Offset 3045455.145 m
rate(mm/yr)= 19.75 ± 1.89 nrms= 1.19 wrms= 3.8 mm # 5



KRBS Up Offset 1208.621 m
rate(mm/yr)= 17.80 ± 7.70 nrms= 1.55 wrms= 20.5 mm # 5



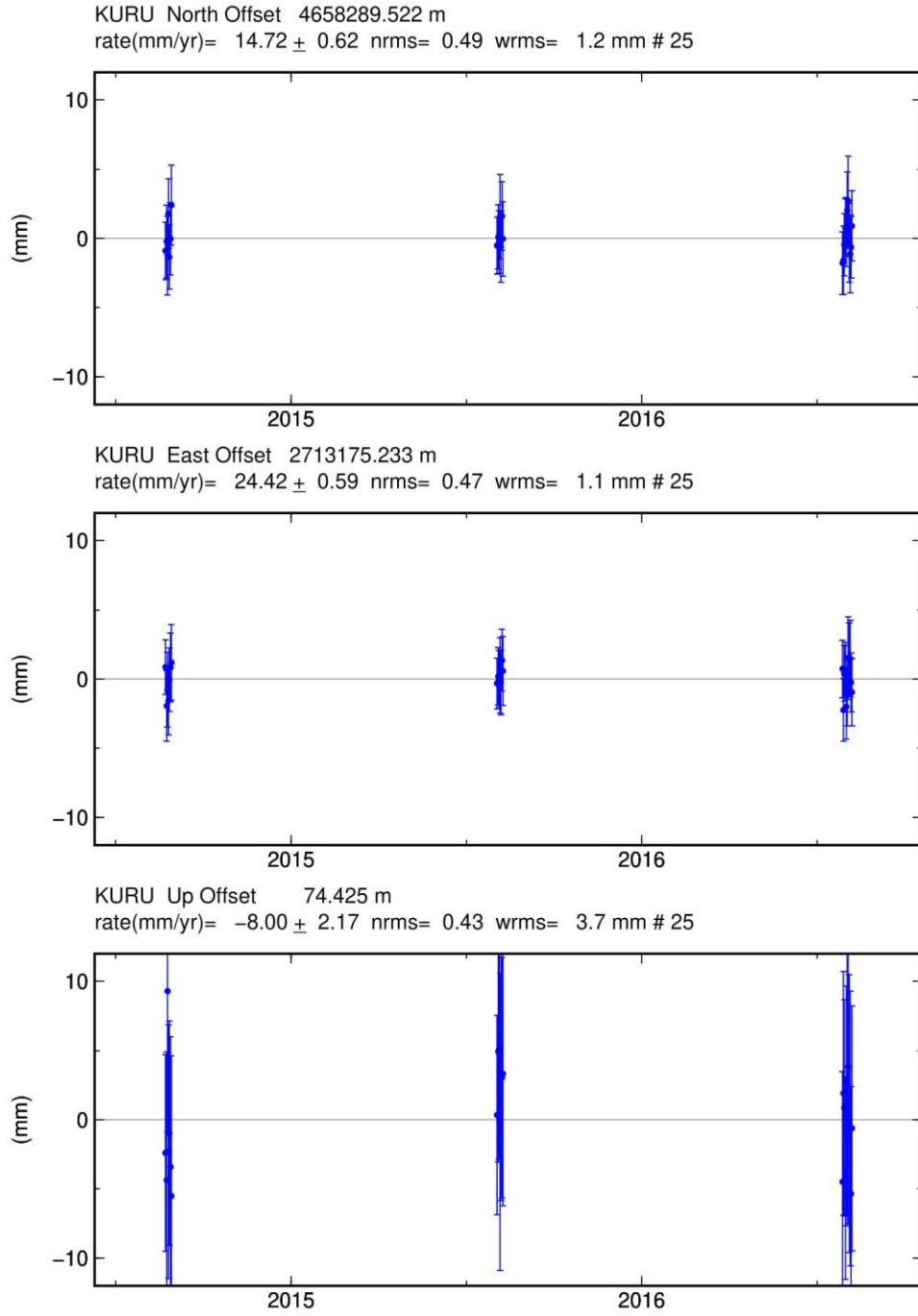
Şekil C.34 : KRBS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 27 11:44:23

p: 35

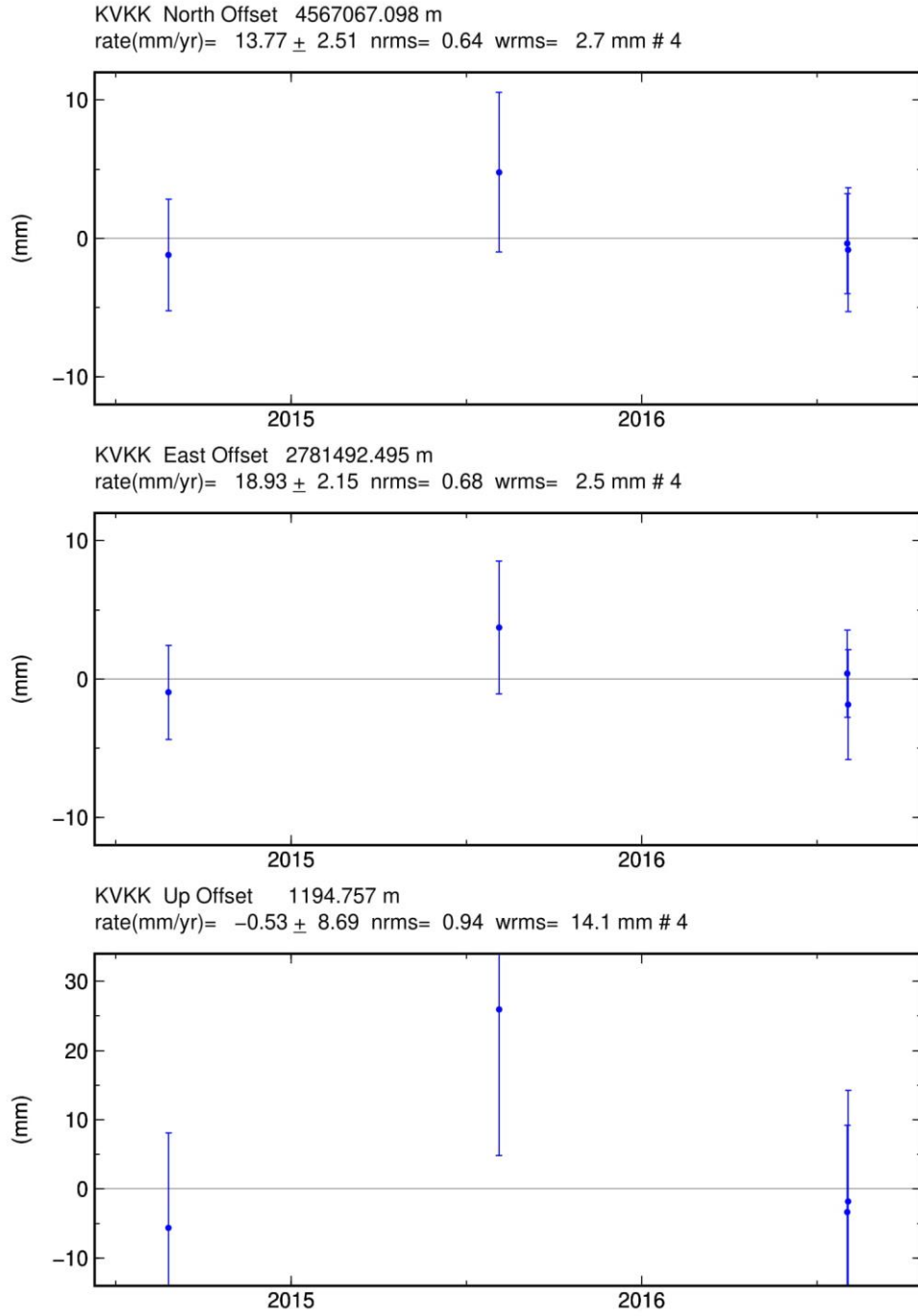
Şekil C.35 : KSTM istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 27 11:44:23

p: 36

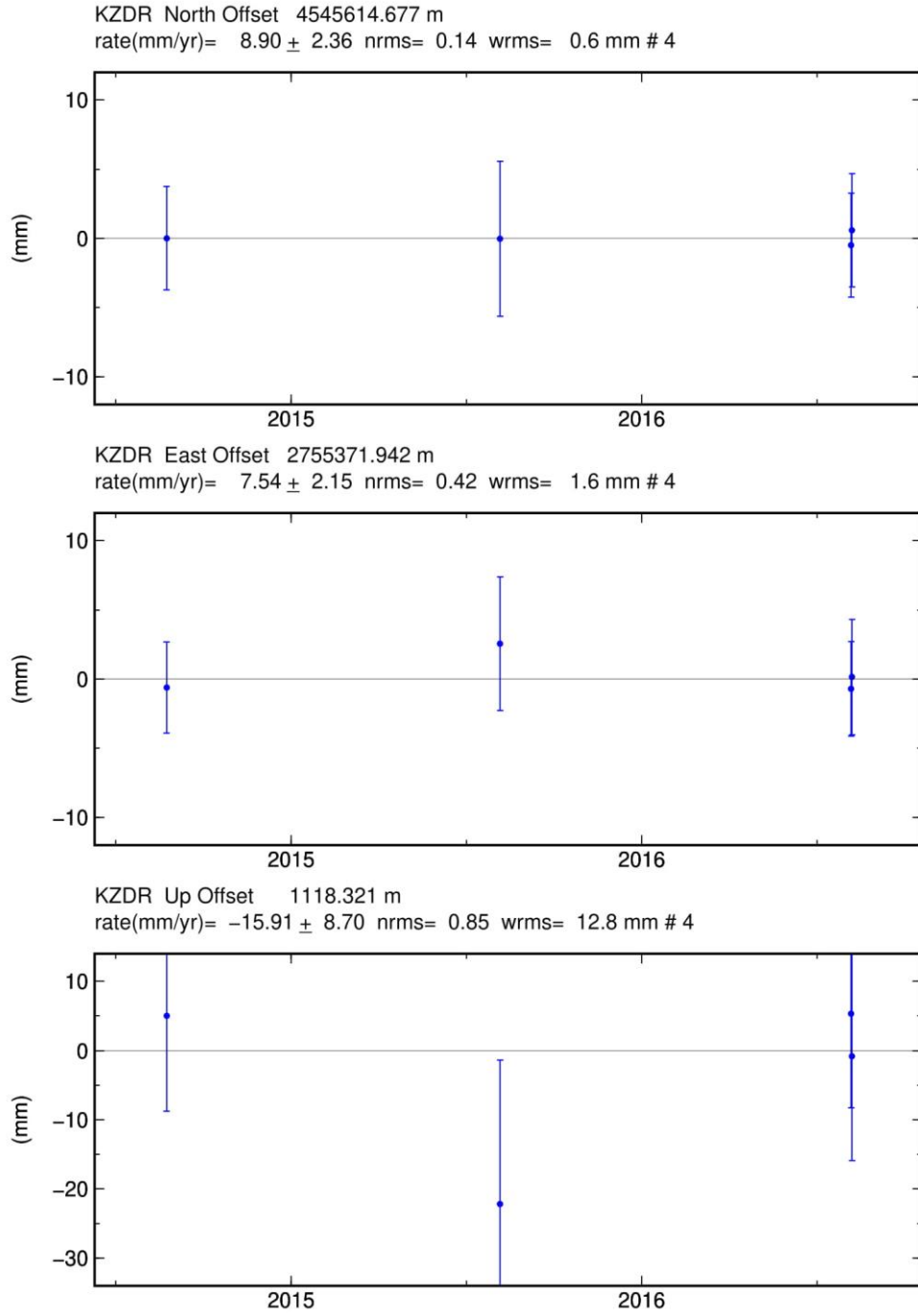
Şekil C.36 : KURU istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 30 08:59:26

p: 37

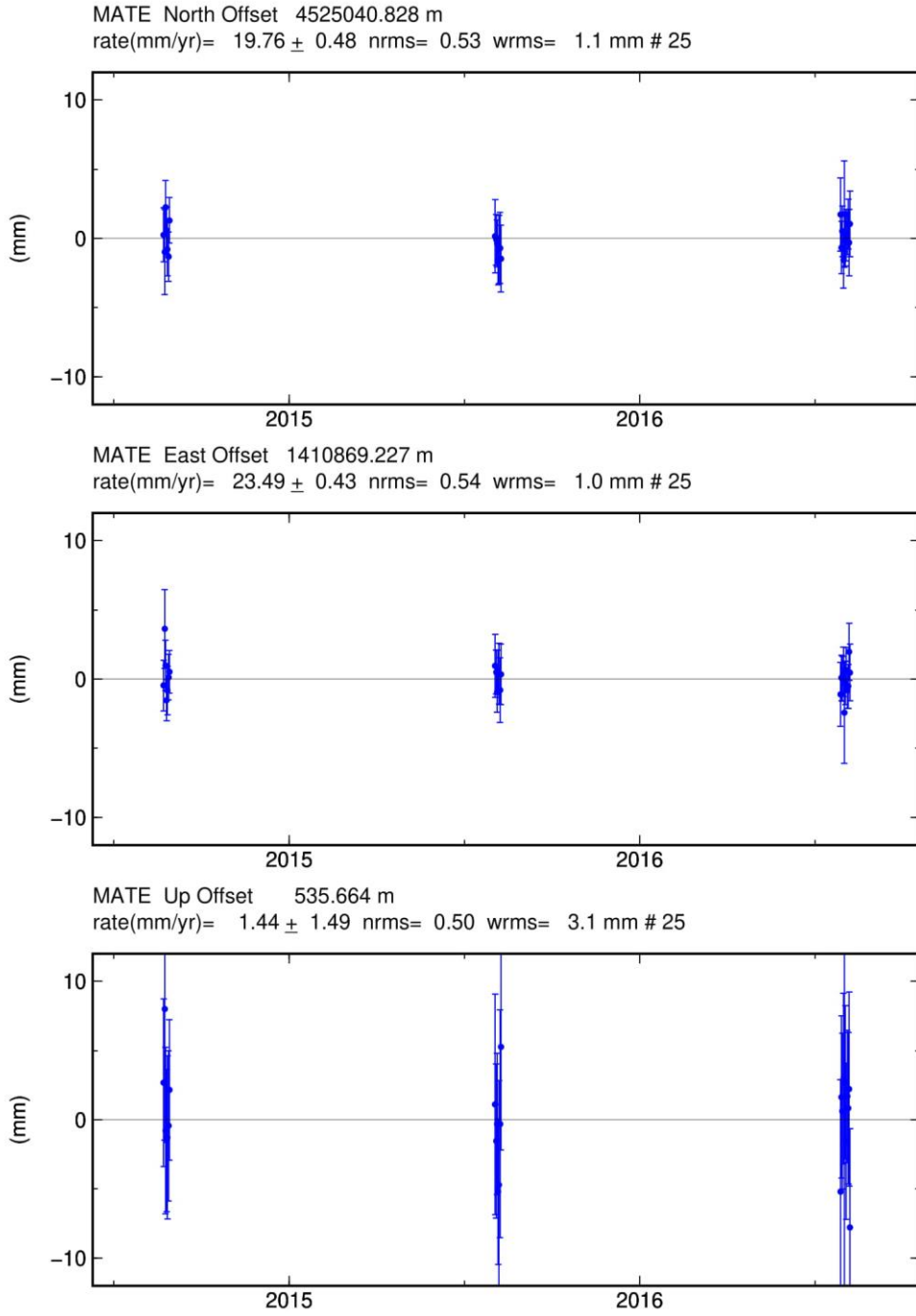
Şekil C.37 : KVKK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 30 08:59:26

p: 38

Şekil C.38 : KZDR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

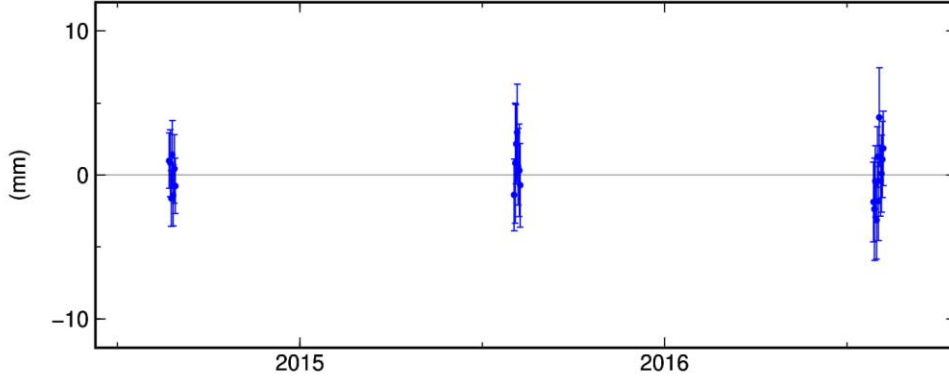


GM 2016 Oct 27 11:44:24

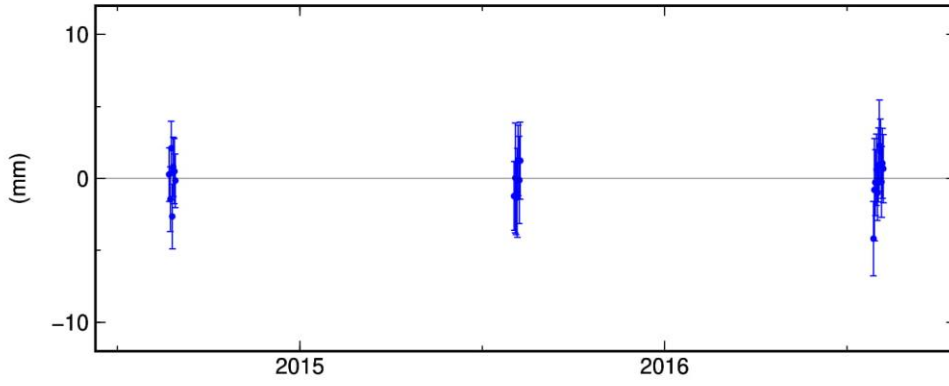
p: 39

Şekil C.39 : MATE istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

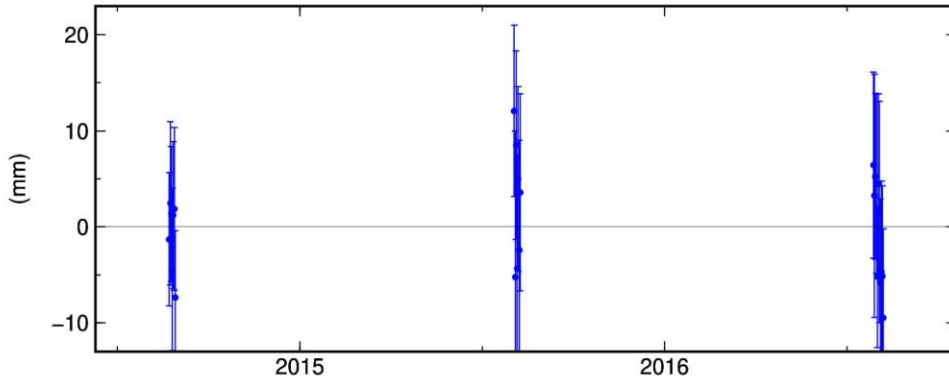
NAHA North Offset 4472071.833 m
rate(mm/yr)= 10.47 ± 0.58 nrms= 0.63 wrms= 1.6 mm # 25



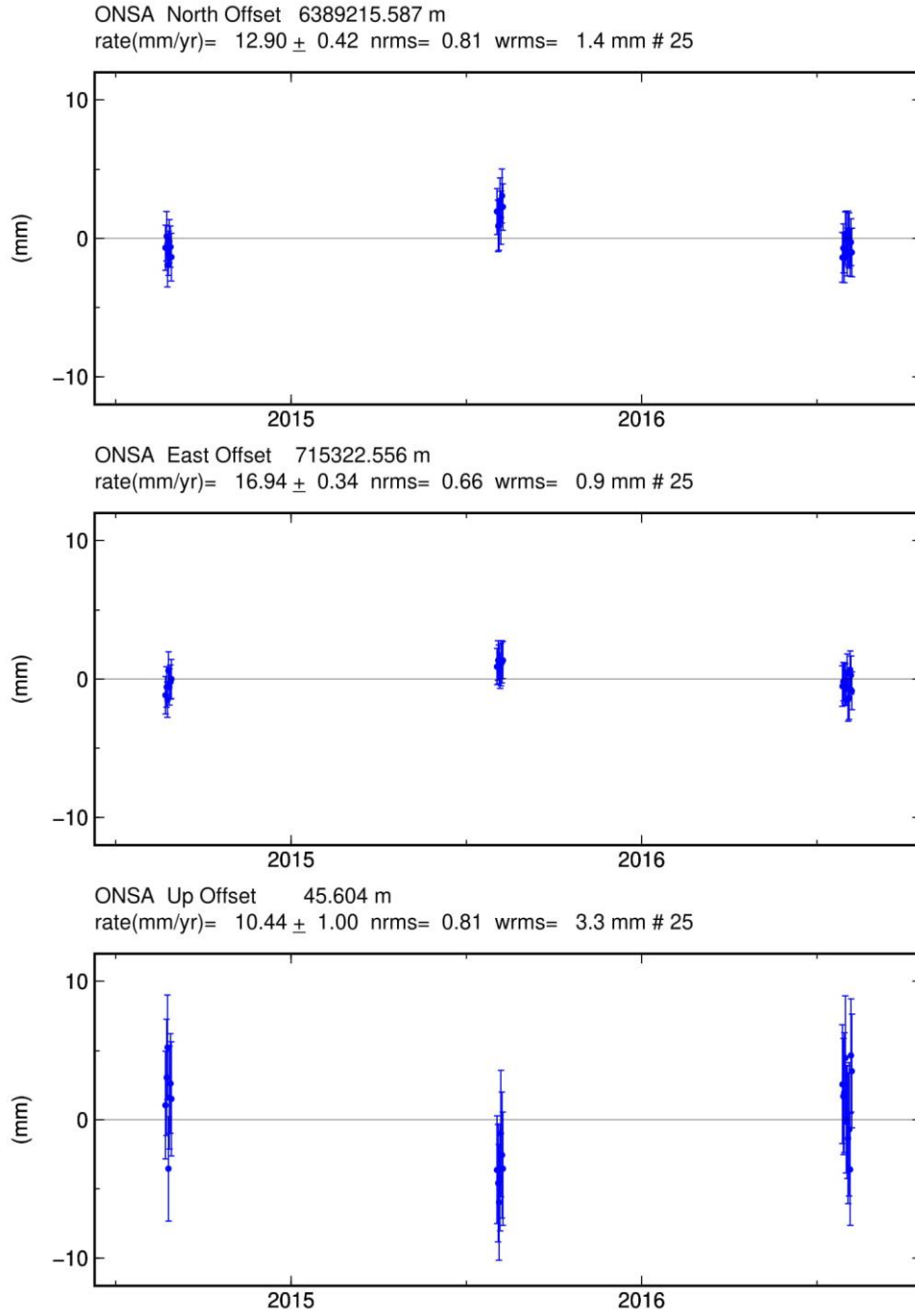
NAHA East Offset 2665094.217 m
rate(mm/yr)= 2.56 ± 0.55 nrms= 0.63 wrms= 1.5 mm # 25



NAHA Up Offset 705.543 m
rate(mm/yr)= -5.50 ± 2.08 nrms= 0.62 wrms= 5.6 mm # 25



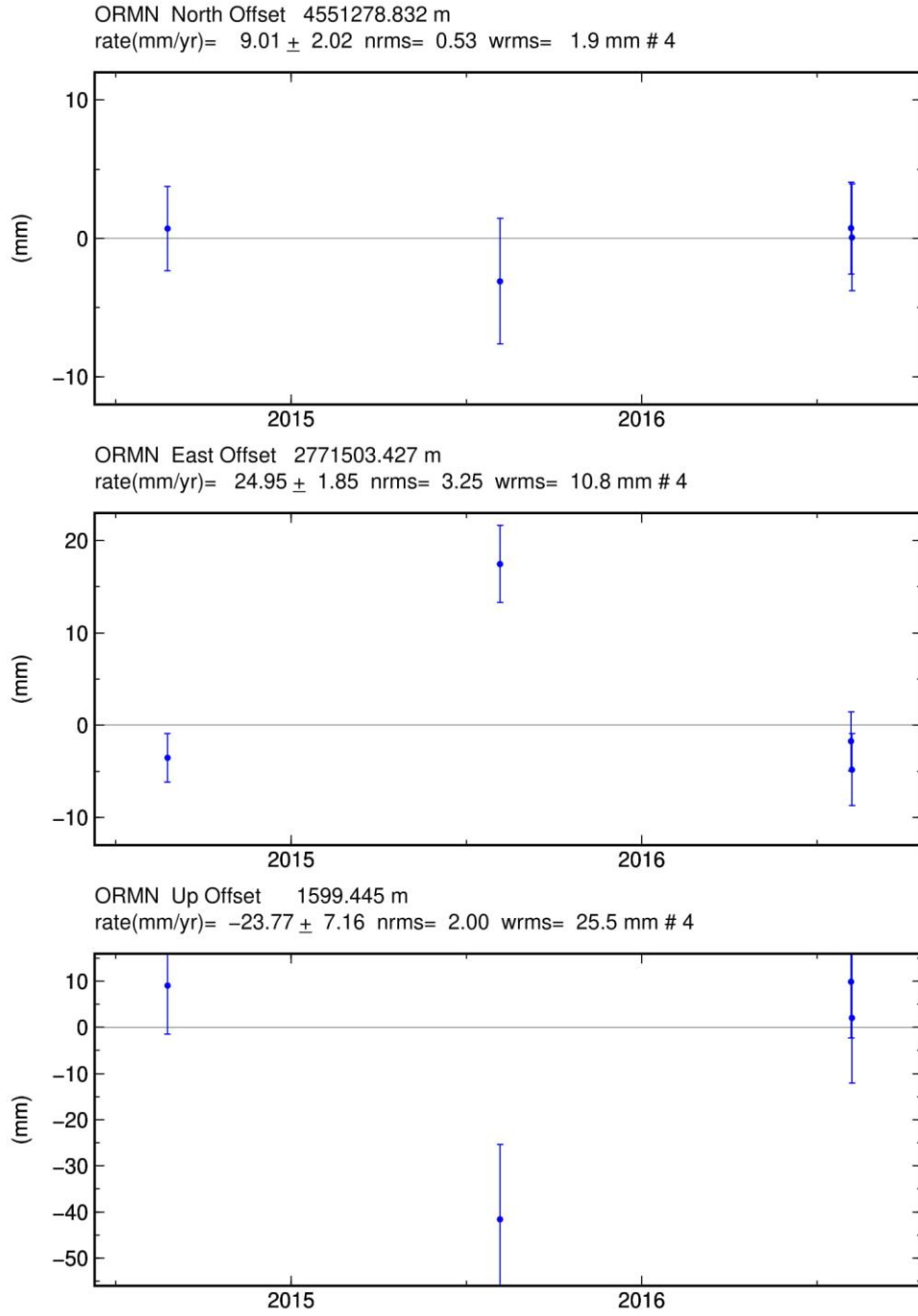
Şekil C.40 : NAHA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 27 11:44:25

p: 41

Şekil C.41 : ONSA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

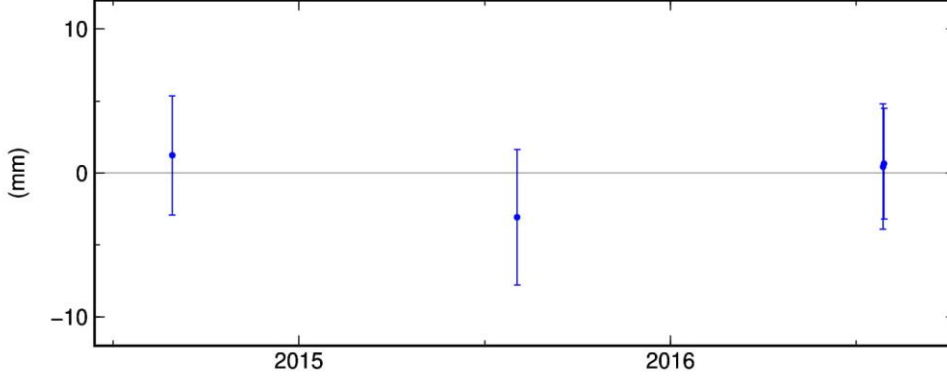


GM 2016 Oct 30 08:59:29

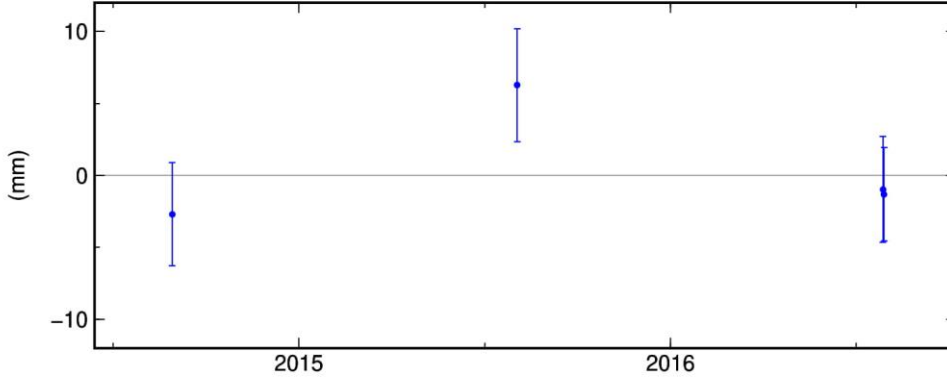
p: 42

Şekil C.42 : ORMN istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

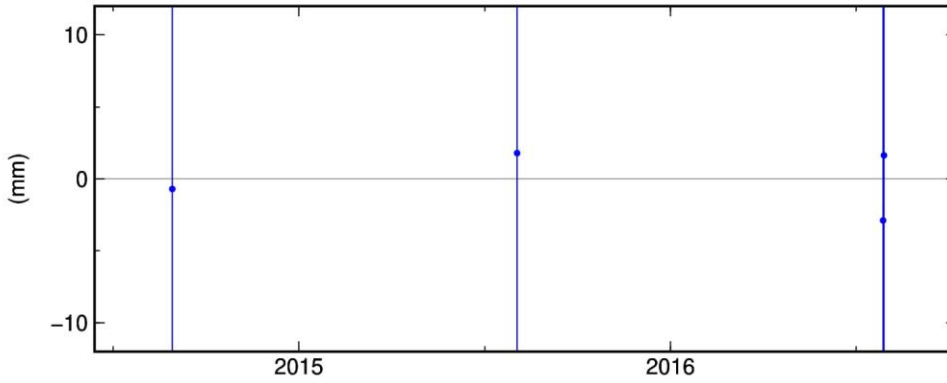
OZBR North Offset 4531402.423 m
rate(mm/yr)= 14.32 ± 2.59 nrms= 0.53 wrms= 2.2 mm # 4



OZBR East Offset 3051946.177 m
rate(mm/yr)= 11.91 ± 2.22 nrms= 1.29 wrms= 4.6 mm # 4

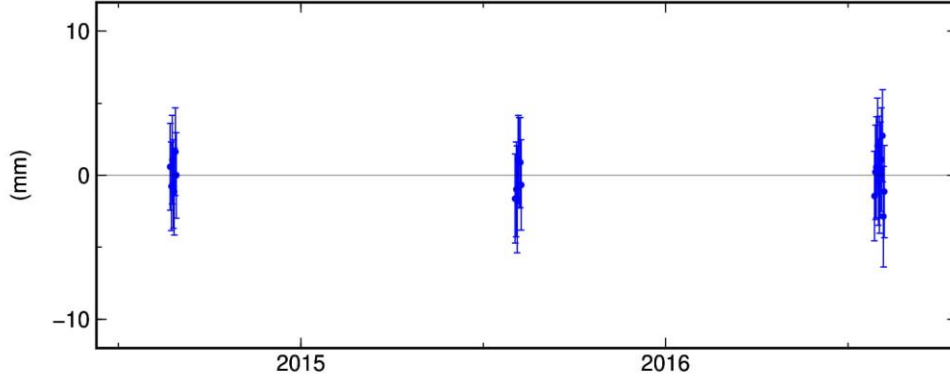


OZBR Up Offset 531.273 m
rate(mm/yr)= -14.45 ± 9.59 nrms= 0.17 wrms= 2.7 mm # 4

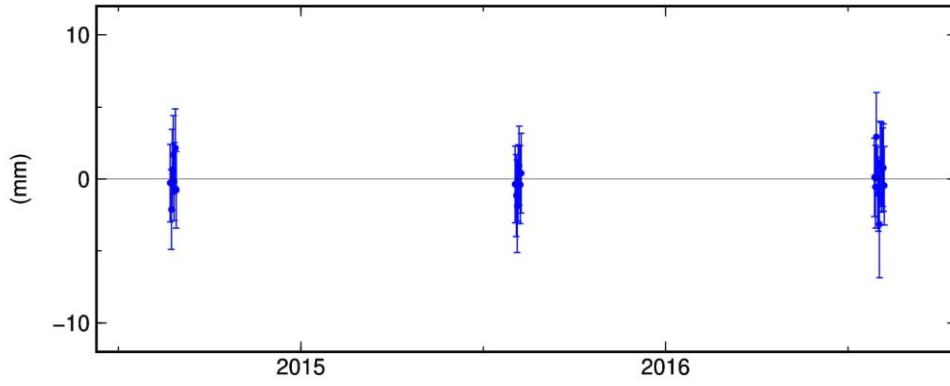


Şekil C.43 : OZBR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

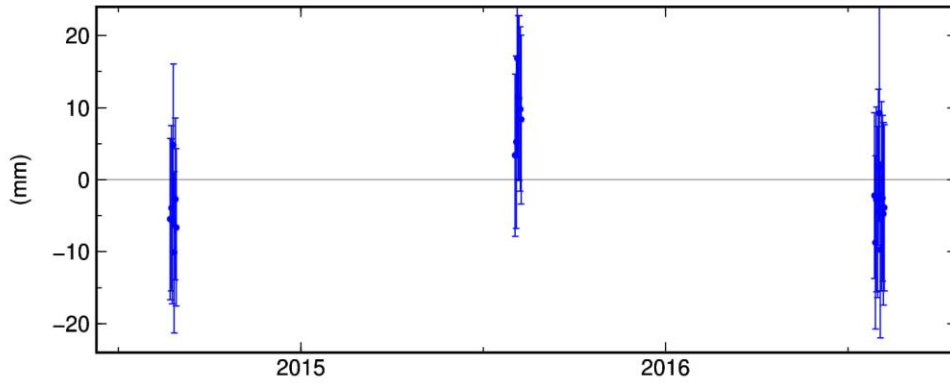
RDIY North Offset 4495663.971 m
rate(mm/yr)= 18.77 ± 0.79 nrms= 0.41 wrms= 1.3 mm # 25



RDIY East Offset 3165814.349 m
rate(mm/yr)= 15.33 ± 0.69 nrms= 0.45 wrms= 1.3 mm # 25



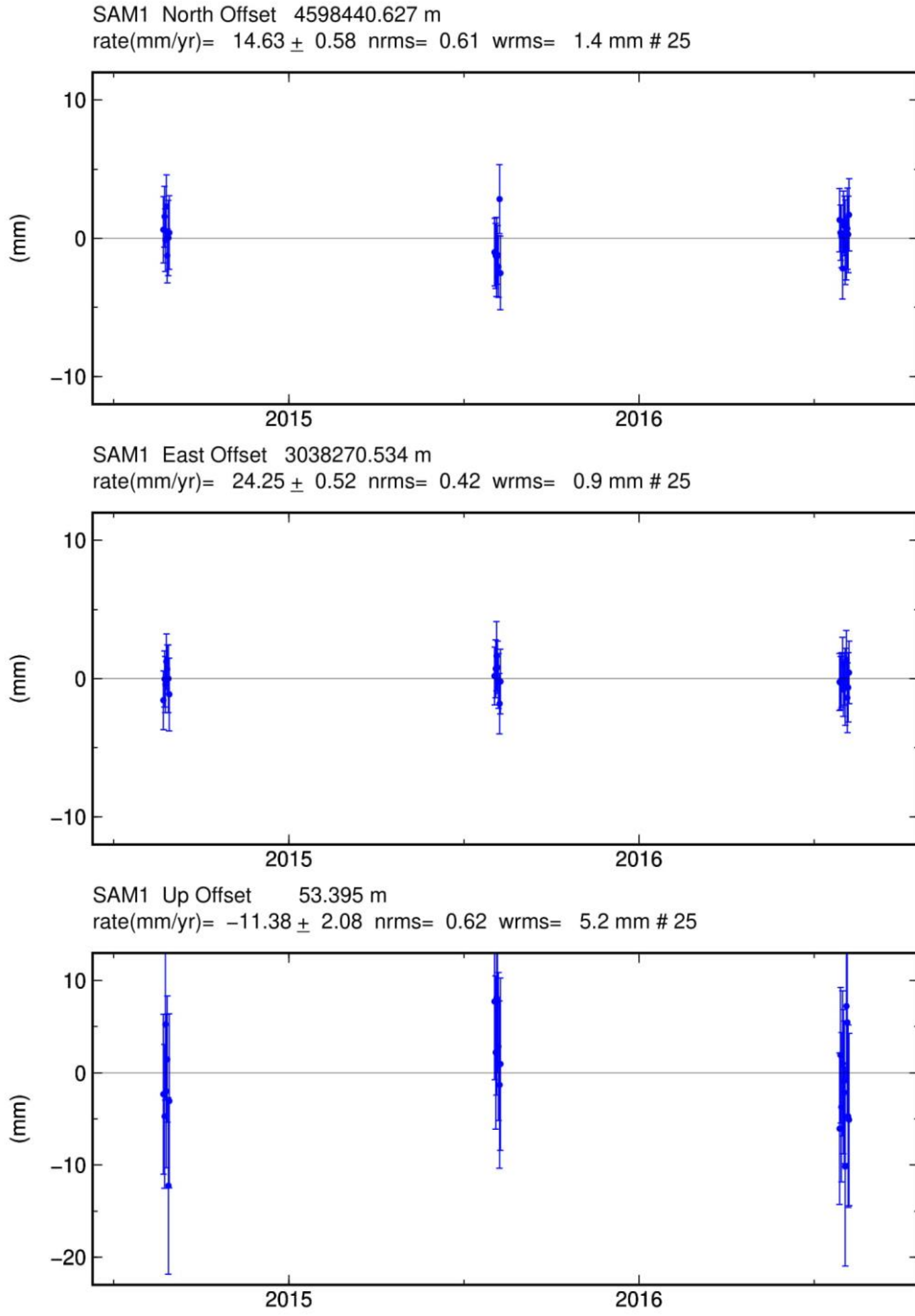
RDIY Up Offset 539.837 m
rate(mm/yr)= -12.43 ± 2.89 nrms= 0.63 wrms= 7.4 mm # 25



GM 2016 Oct 27 11:44:25

p: 44

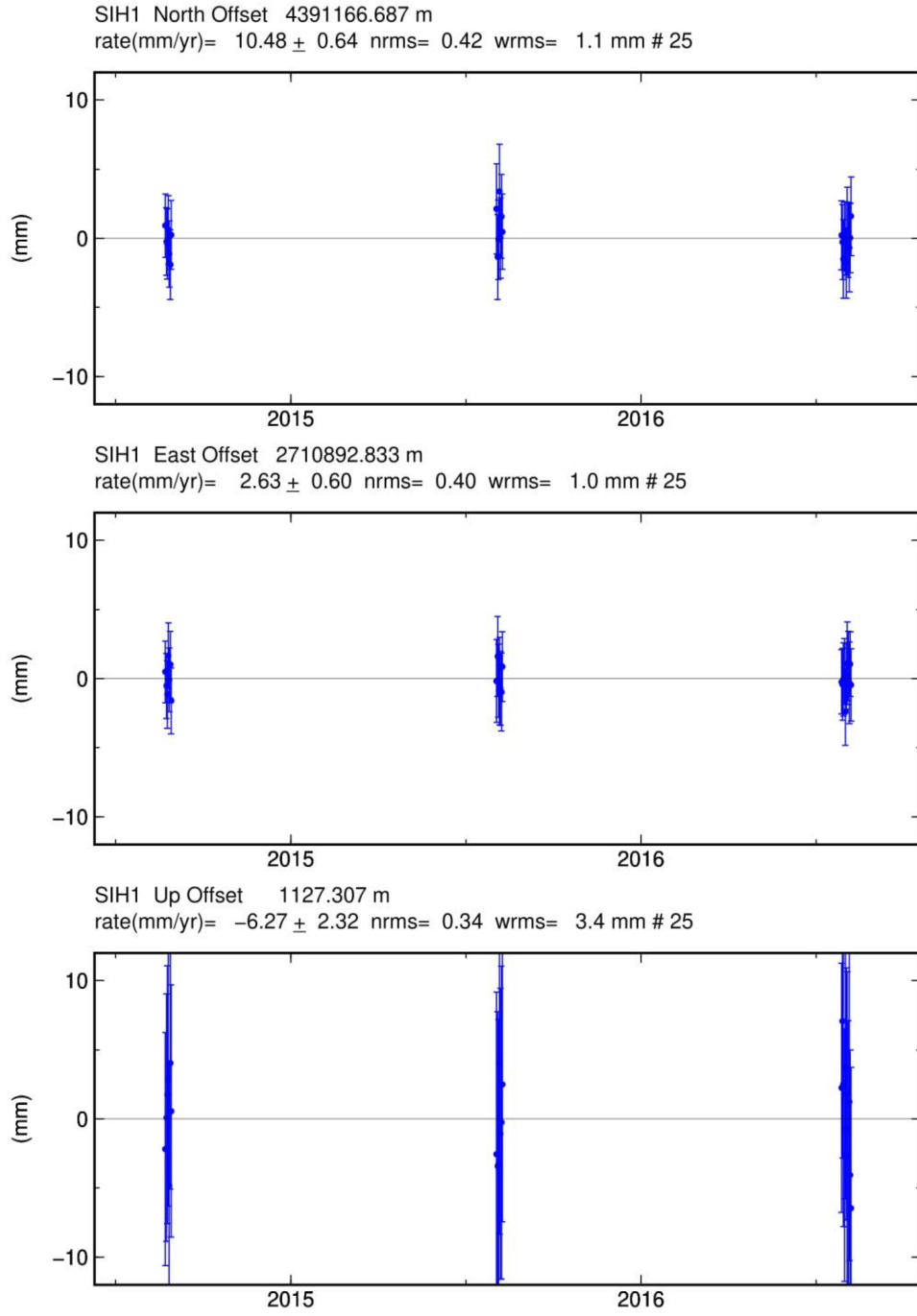
Şekil C.44 : RDIY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GMD 2016 Oct 27 11:44:26

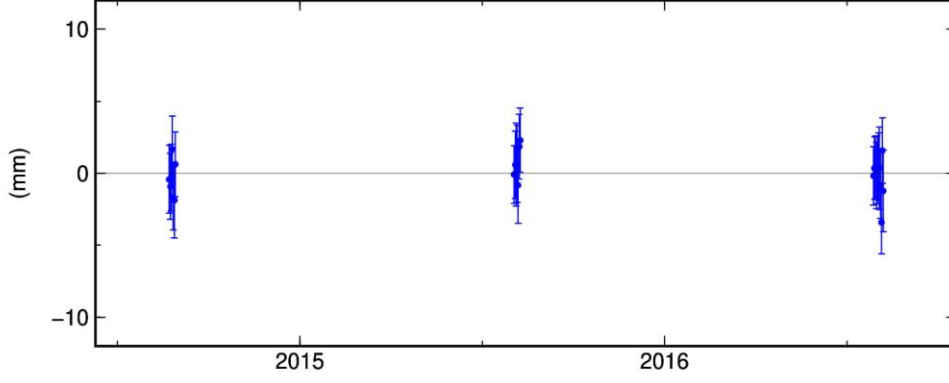
p: 45

Şekil C.45 : SAM1 istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

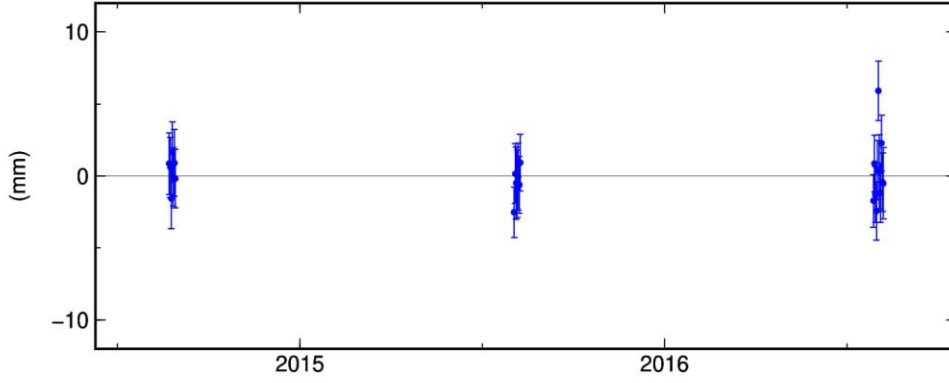


Şekil C.46 : SIH1 istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

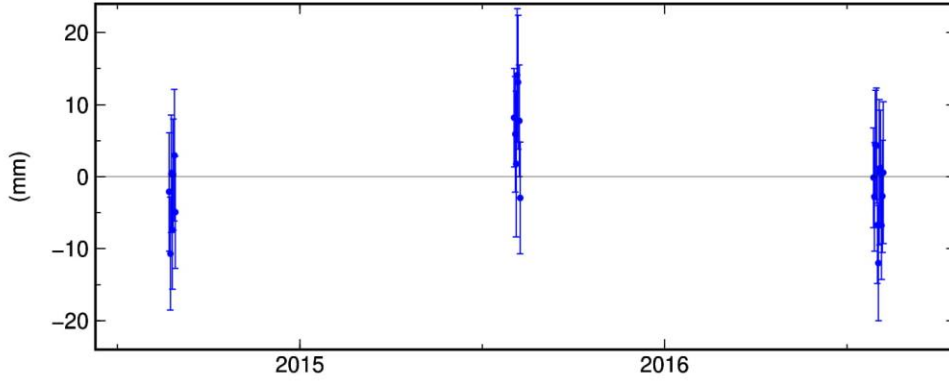
SINP North Offset 4678784.445 m
rate(mm/yr)= 12.66 ± 0.58 nrms= 0.56 wrms= 1.3 mm # 25



SINP East Offset 2906832.481 m
rate(mm/yr)= 25.98 ± 0.52 nrms= 0.86 wrms= 1.8 mm # 25



SINP Up Offset 54.575 m
rate(mm/yr)= -9.99 ± 2.00 nrms= 0.82 wrms= 6.6 mm # 25

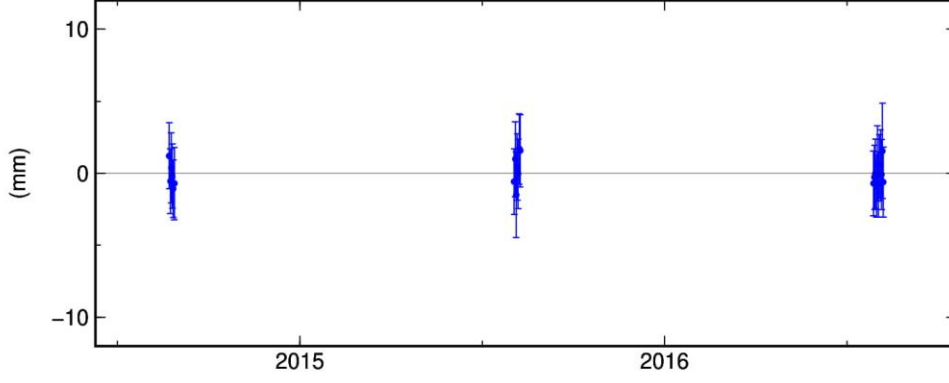


GM 2016 Oct 27 11:44:26

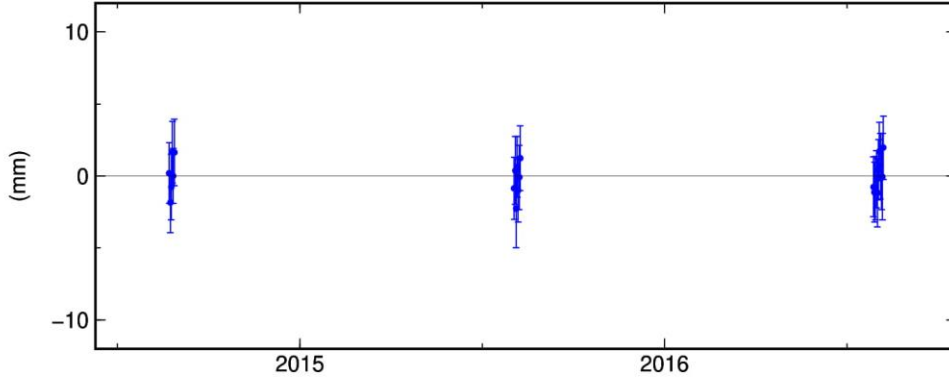
p: 47

Şekil C.47 : SINP istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

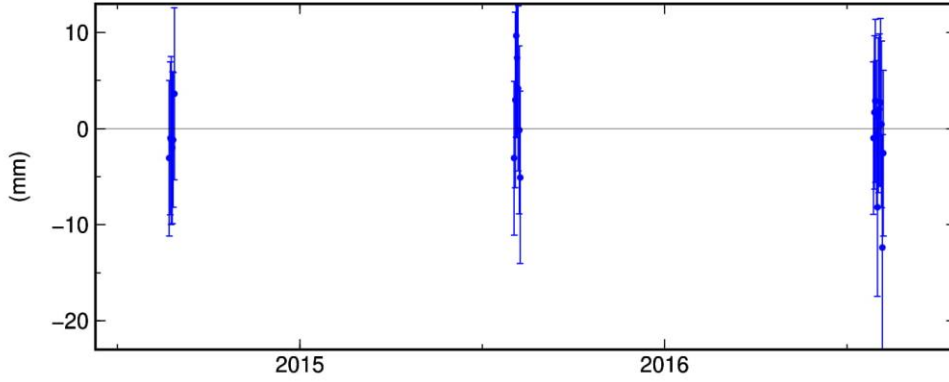
SIVS North Offset 4424248.537 m
rate(mm/yr)= 19.97 ± 0.60 nrms= 0.37 wrms= 0.9 mm # 24



SIVS East Offset 3167257.018 m
rate(mm/yr)= 8.44 ± 0.56 nrms= 0.52 wrms= 1.1 mm # 24



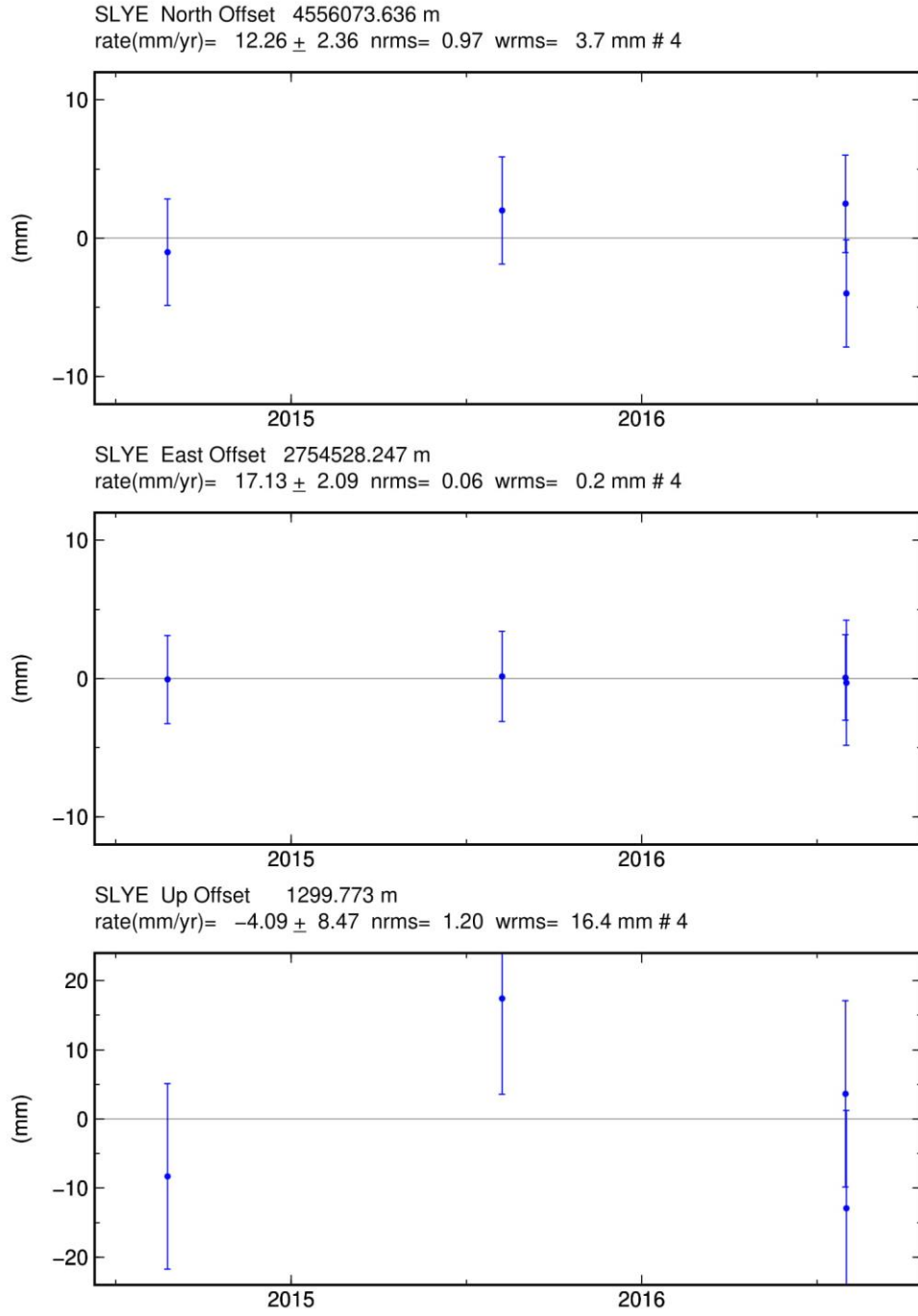
SIVS Up Offset 1325.511 m
rate(mm/yr)= -8.32 ± 2.13 nrms= 0.49 wrms= 4.1 mm # 24



GM 2016 Oct 27 11:44:27

p: 48

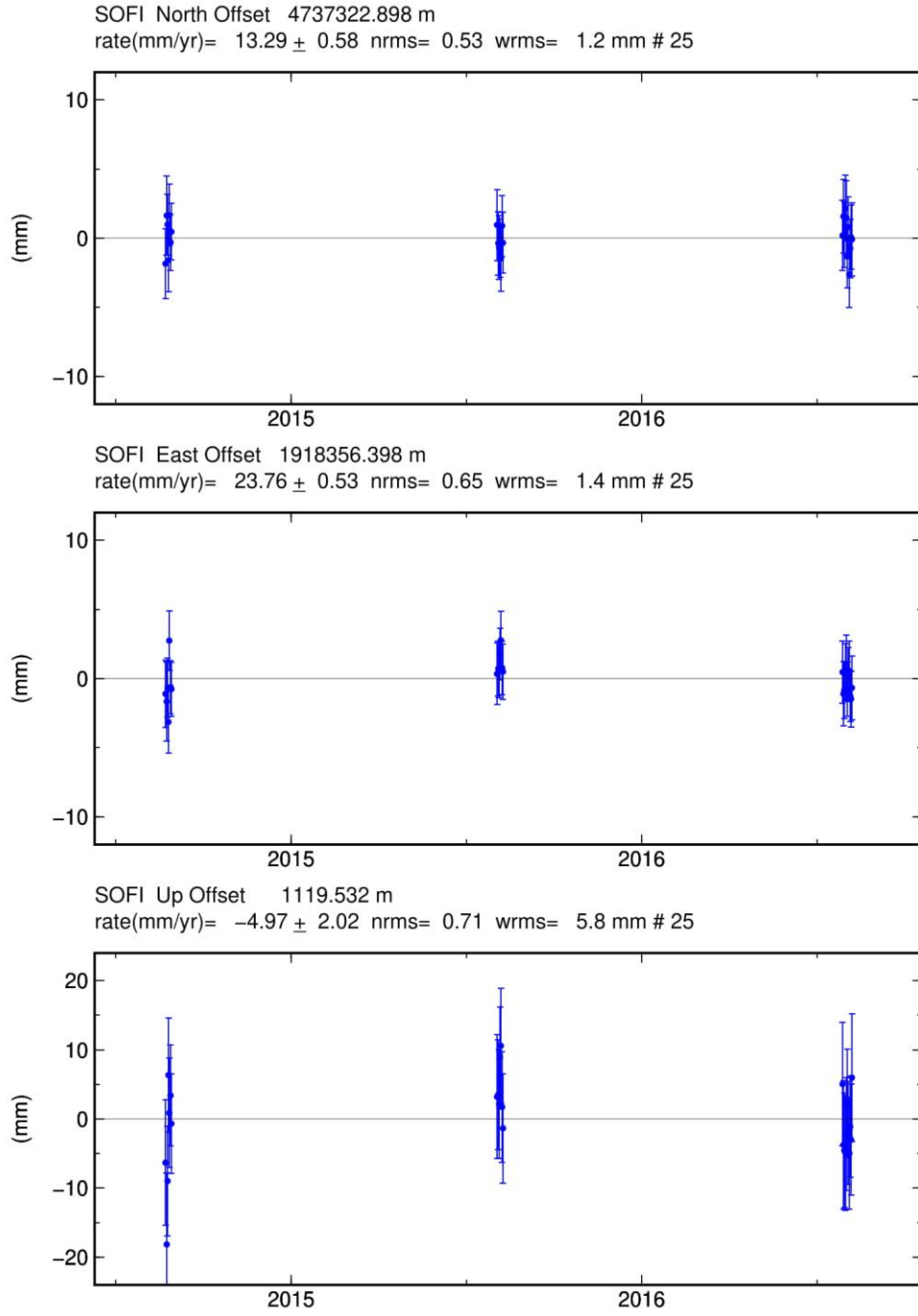
Şekil C.48 : SIVS istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GM 2016 Oct 30 08:59:34

p: 49

Şekil C.49 : SLYE istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

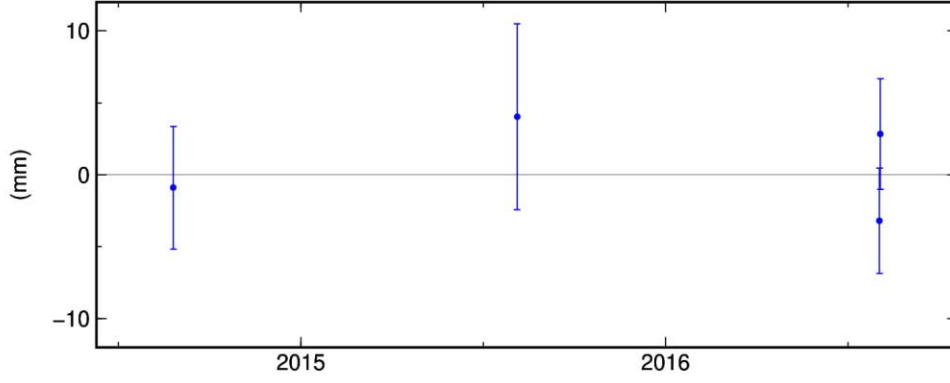


GM 2016 Oct 27 11:44:27

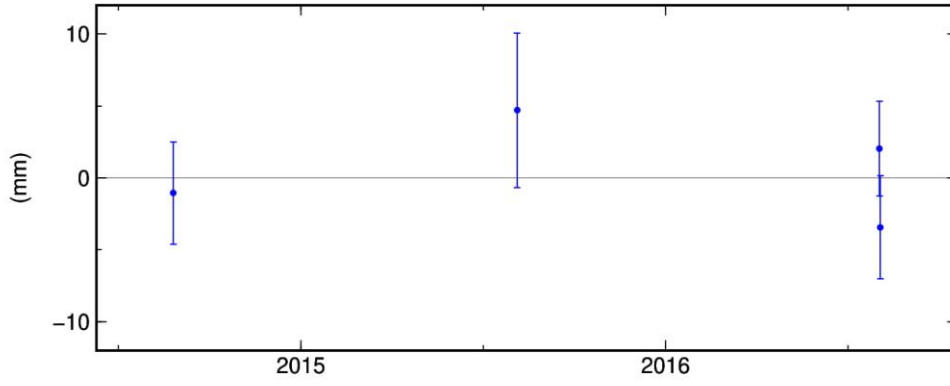
p: 50

Şekil C.50 : SOFI istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

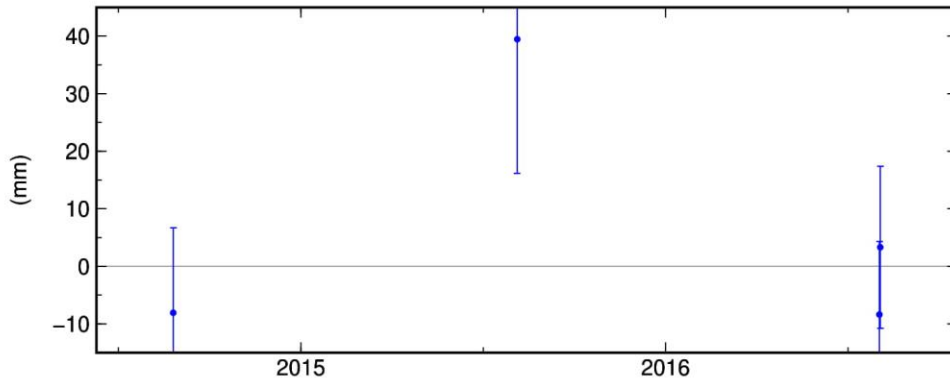
SRKY North Offset 4560225.335 m
rate(mm/yr)= 12.53 ± 2.55 nrms= 0.93 wrms= 4.0 mm # 4



SRKY East Offset 2788839.797 m
rate(mm/yr)= 15.44 ± 2.20 nrms= 1.04 wrms= 3.9 mm # 4



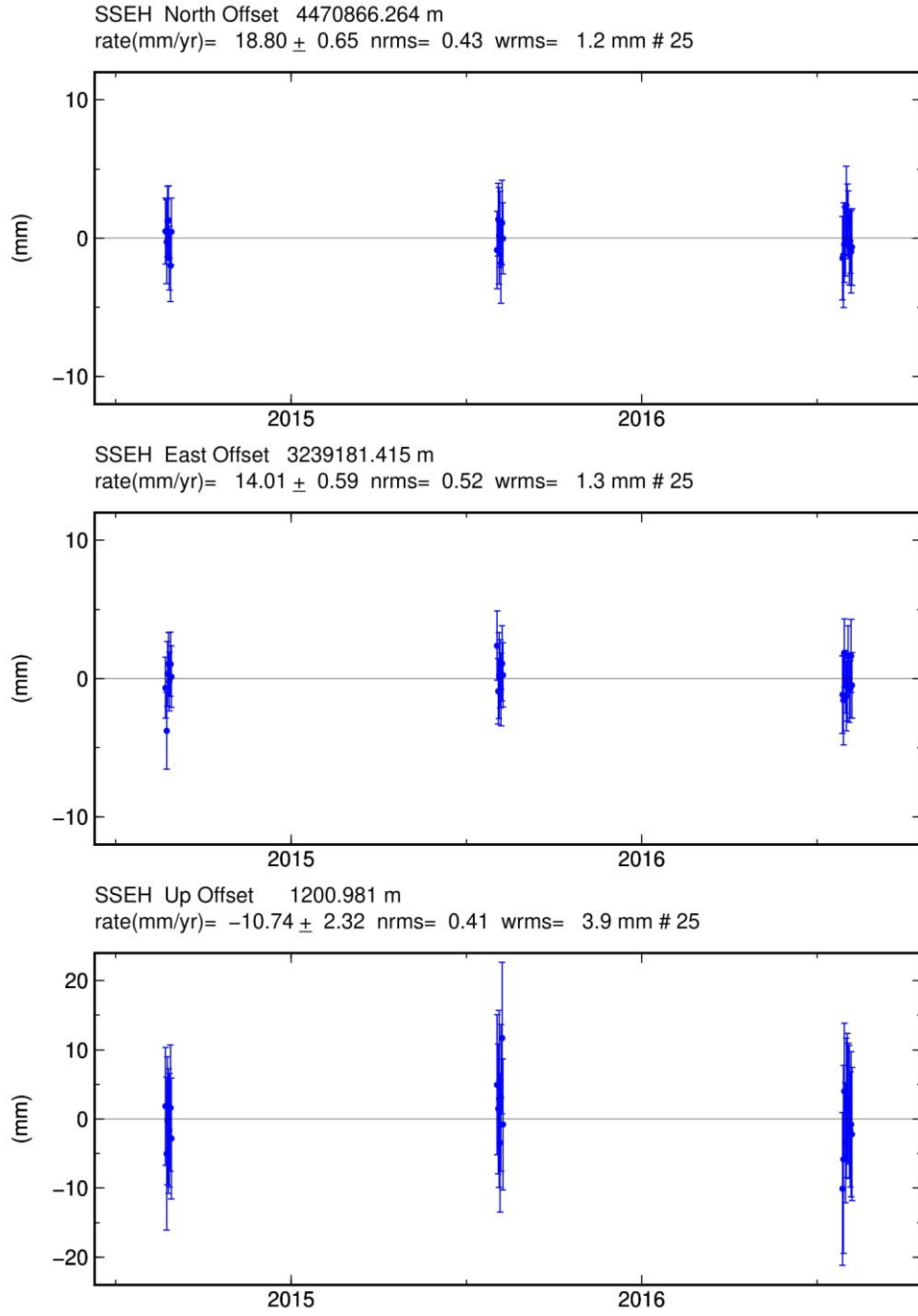
SRKY Up Offset 1396.537 m
rate(mm/yr)= -6.14 ± 8.91 nrms= 1.35 wrms= 20.3 mm # 4



GM 2016 Oct 30 08:59:36

p: 51

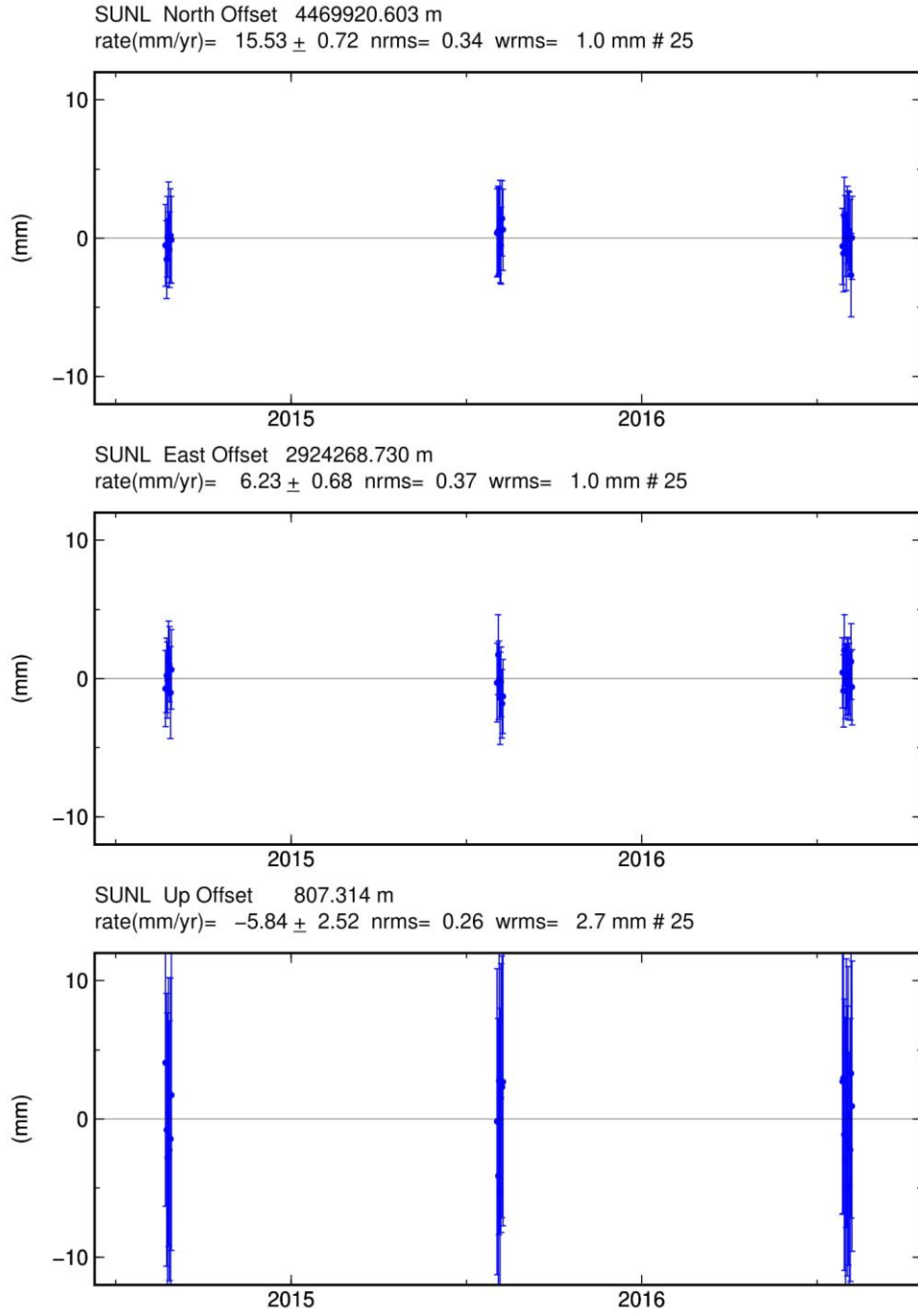
Şekil C.51 : SRKY istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GMD 2016 Oct 27 11:44:28

p: 52

Şekil C.52 : SSEH istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

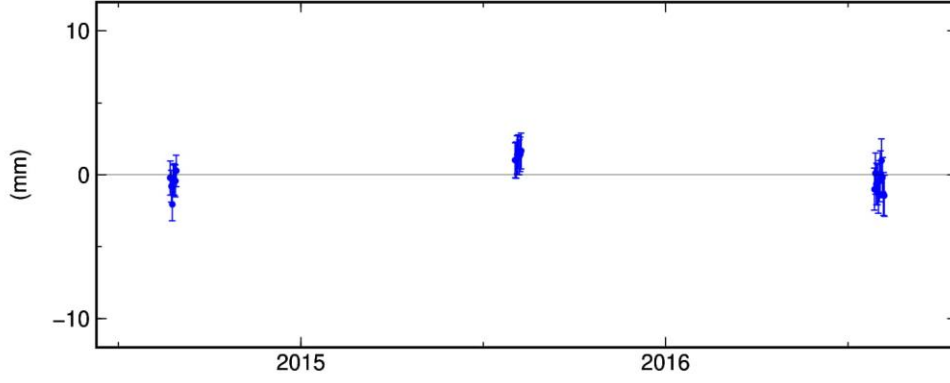


GM 2016 Oct 27 11:44:28

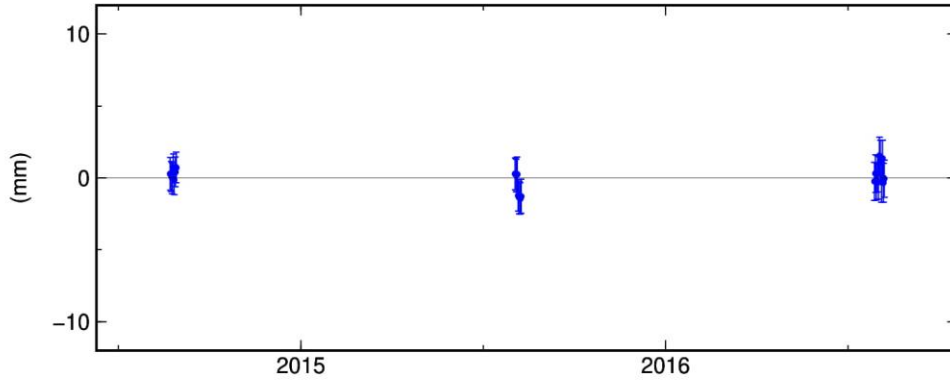
p: 53

Şekil C.53 : SUNL istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

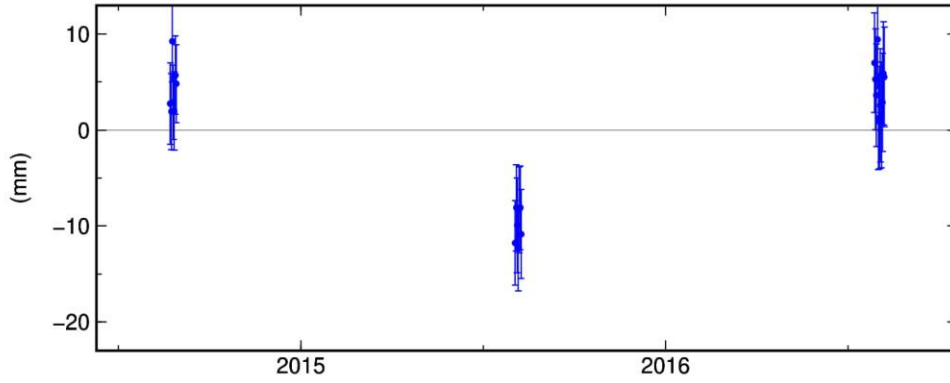
TEHN North Offset 3973803.448 m
rate(mm/yr)= 18.28 ± 0.31 nrms= 0.86 wrms= 1.1 mm # 25



TEHN East Offset 4640760.211 m
rate(mm/yr)= 25.02 ± 0.29 nrms= 0.67 wrms= 0.8 mm # 25



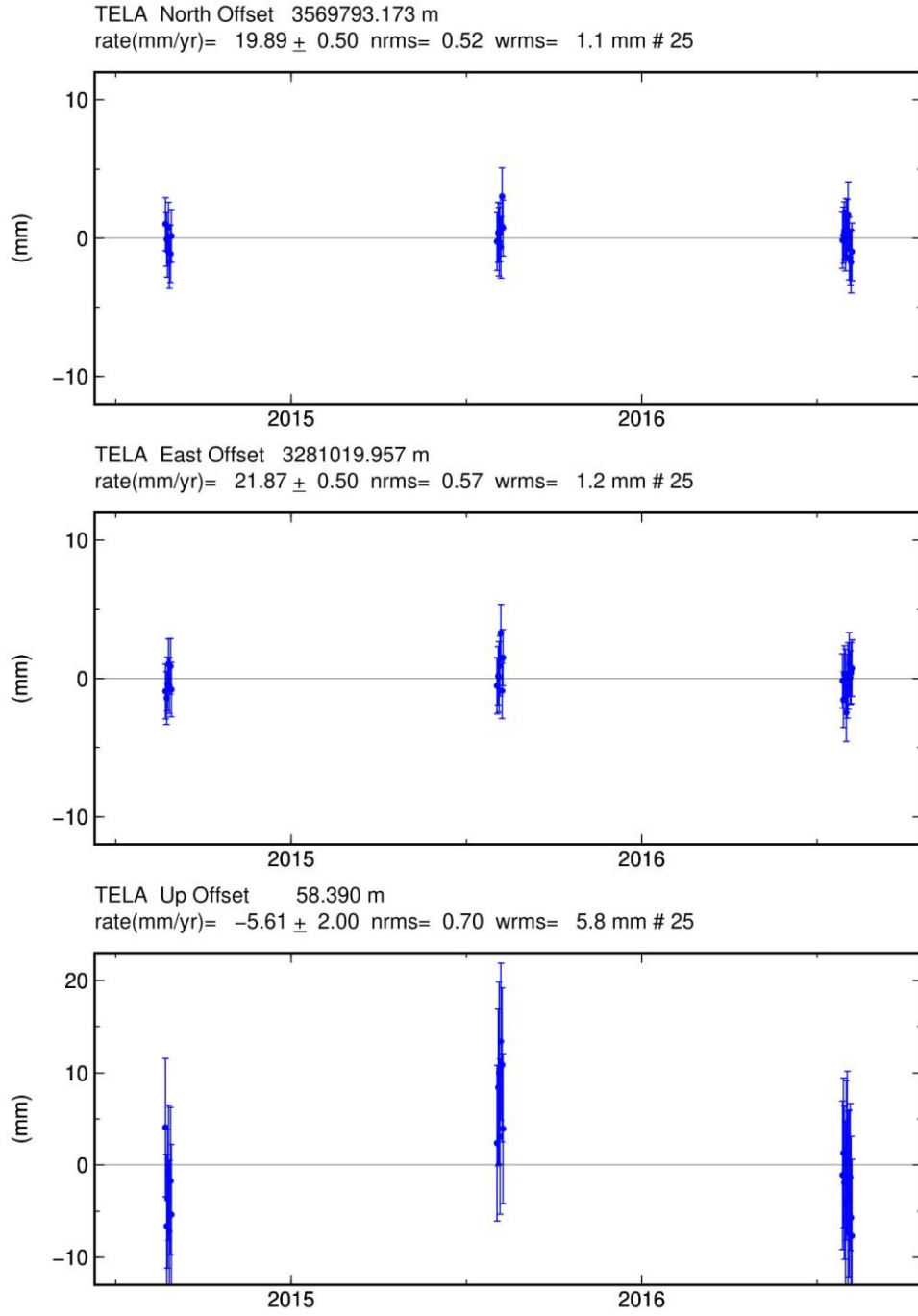
TEHN Up Offset 1194.578 m
rate(mm/yr)= 16.69 ± 1.15 nrms= 1.53 wrms= 7.1 mm # 25



GM 2016 Oct 27 11:44:28

p: 54

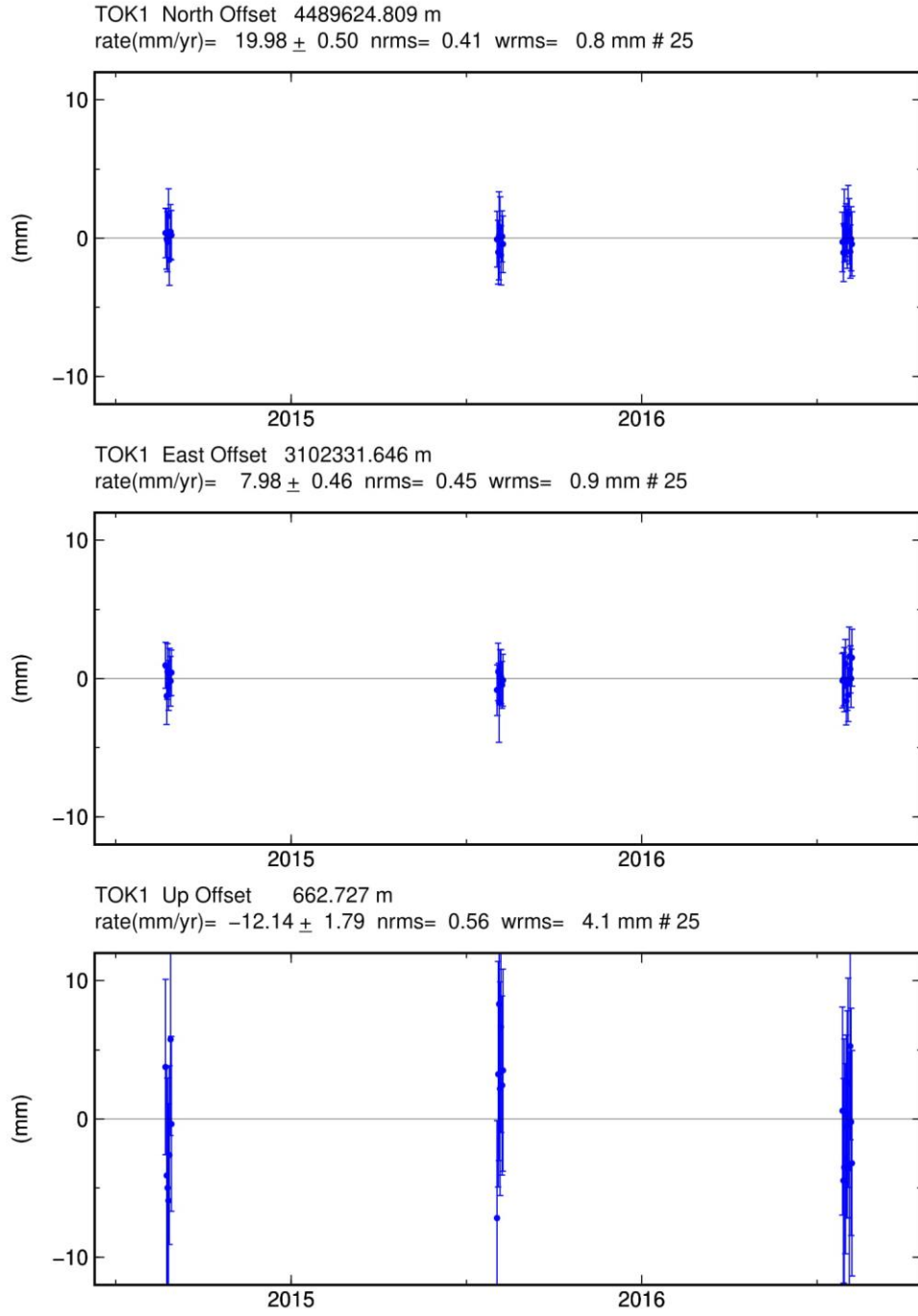
Şekil C.54 : TEHN istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.



GMD 2016 Oct 27 11:44:28

p: 55

Şekil C.55 : TELA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

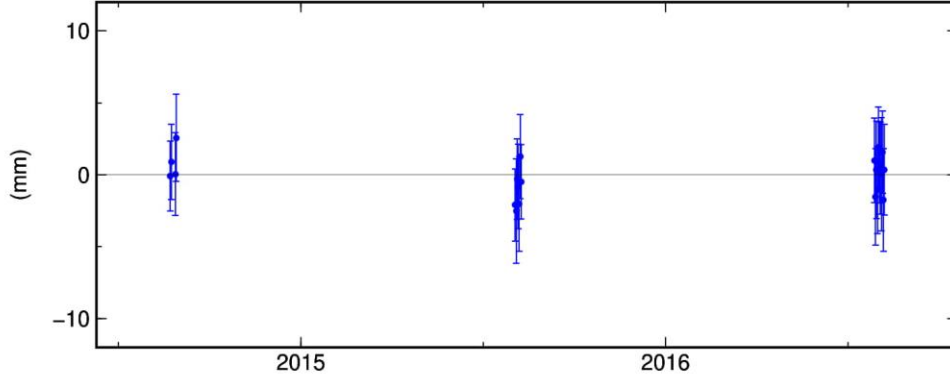


GM 2016 Oct 27 11:44:29

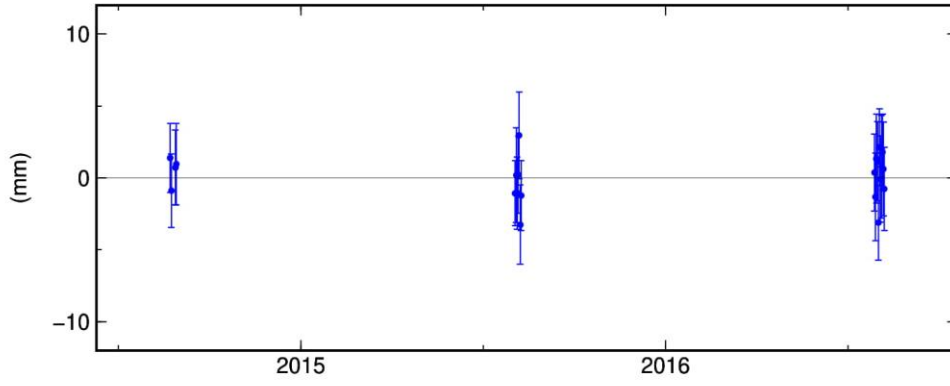
p: 56

Şekil C.56 : TOK1 istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

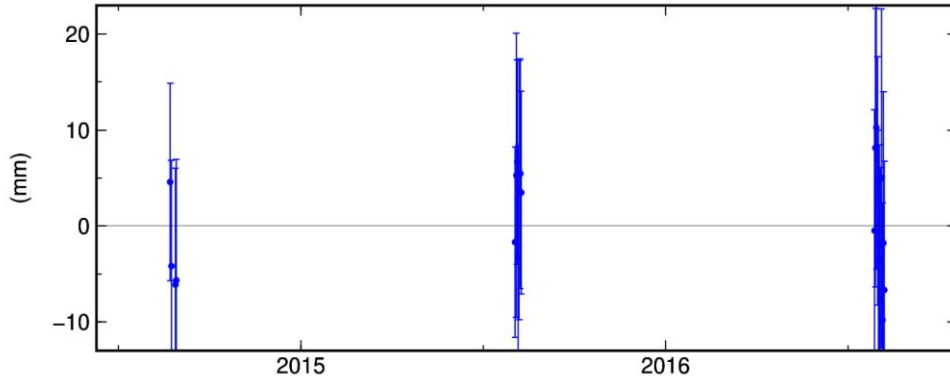
TUBI North Offset 4540357.568 m
rate(mm/yr)= 13.14 ± 0.83 nrms= 0.46 wrms= 1.4 mm # 22



TUBI East Offset 2482290.543 m
rate(mm/yr)= 19.60 ± 0.78 nrms= 0.59 wrms= 1.6 mm # 22



TUBI Up Offset 220.349 m
rate(mm/yr)= -4.72 ± 3.53 nrms= 0.46 wrms= 5.7 mm # 22

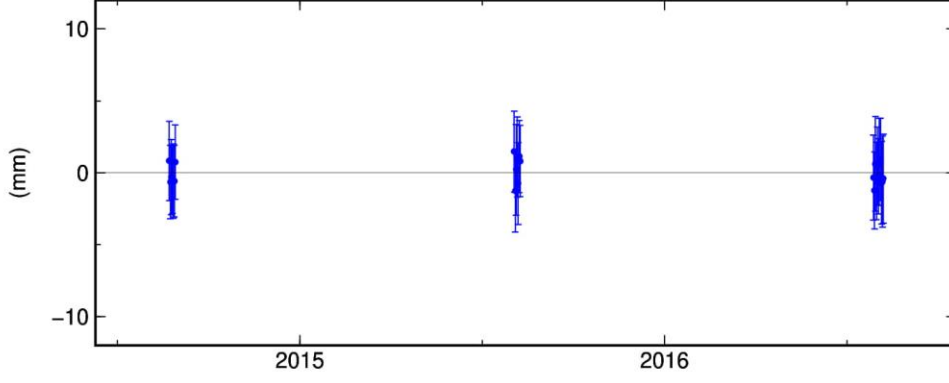


GMD 2016 Oct 27 11:44:29

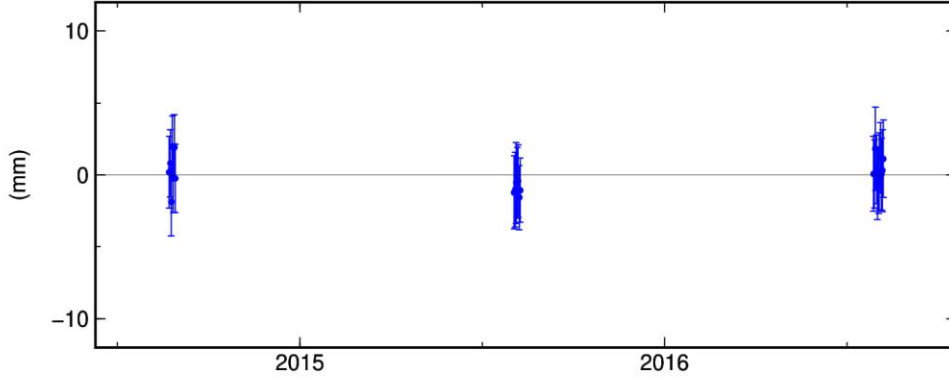
p: 57

Şekil C.57 : TUBI istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

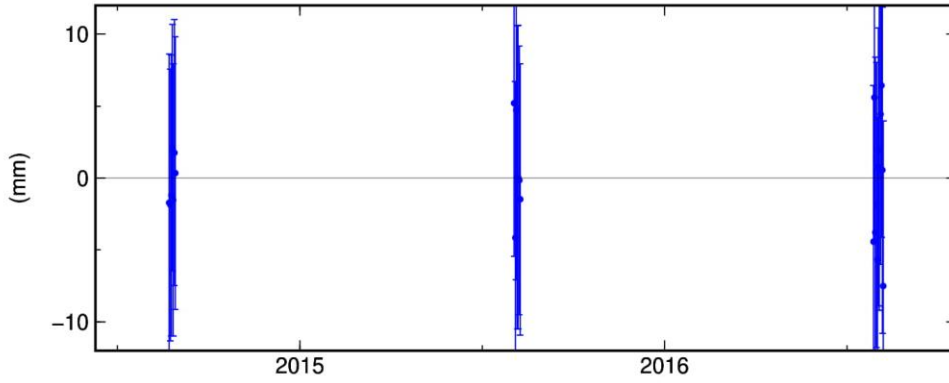
VEZI North Offset 4579461.441 m
rate(mm/yr)= 15.04 ± 0.67 nrms= 0.30 wrms= 0.8 mm # 25



VEZI East Offset 2973437.324 m
rate(mm/yr)= 20.87 ± 0.60 nrms= 0.44 wrms= 1.1 mm # 25



VEZI Up Offset 373.011 m
rate(mm/yr)= -10.01 ± 2.47 nrms= 0.35 wrms= 3.5 mm # 25

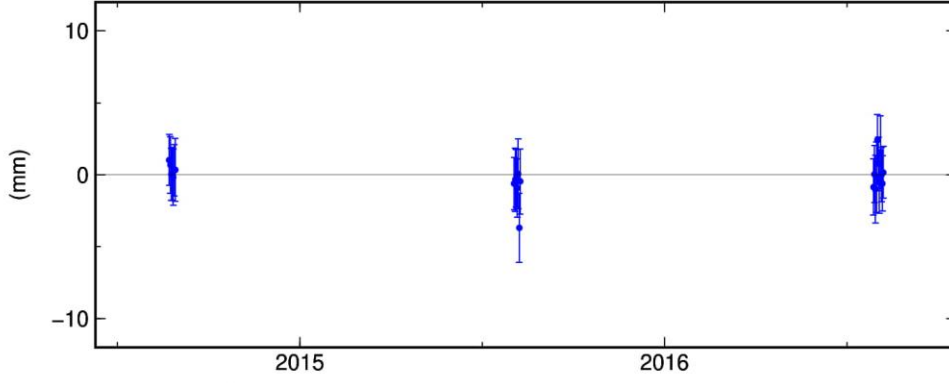


GM 2016 Oct 27 11:44:29

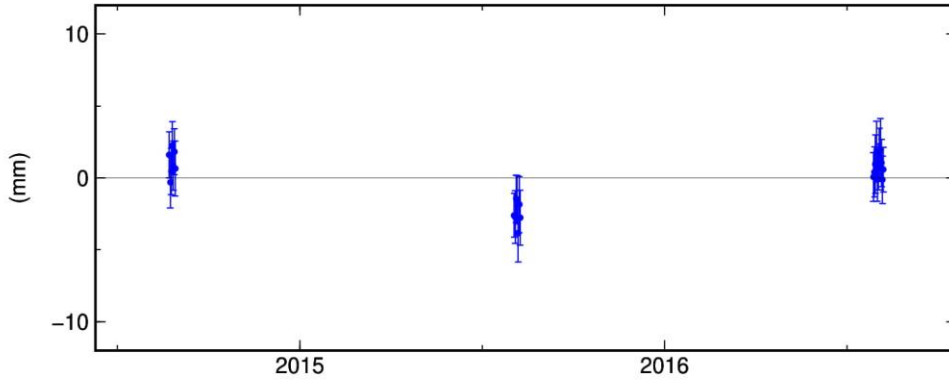
p: 58

Şekil C.58 : VEZI istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

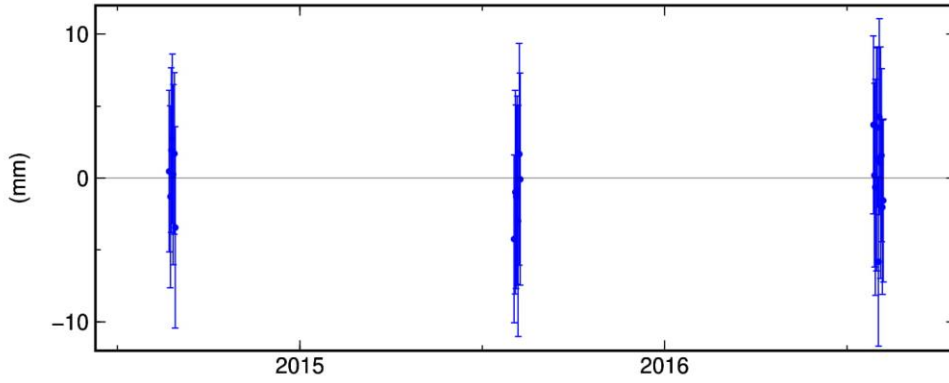
WTZR North Offset 5470707.298 m
rate(mm/yr)= 15.37 ± 0.48 nrms= 0.53 wrms= 1.1 mm # 25



WTZR East Offset 937828.861 m
rate(mm/yr)= 18.87 ± 0.42 nrms= 0.96 wrms= 1.7 mm # 25



WTZR Up Offset 666.022 m
rate(mm/yr)= 4.97 ± 1.53 nrms= 0.41 wrms= 2.6 mm # 25

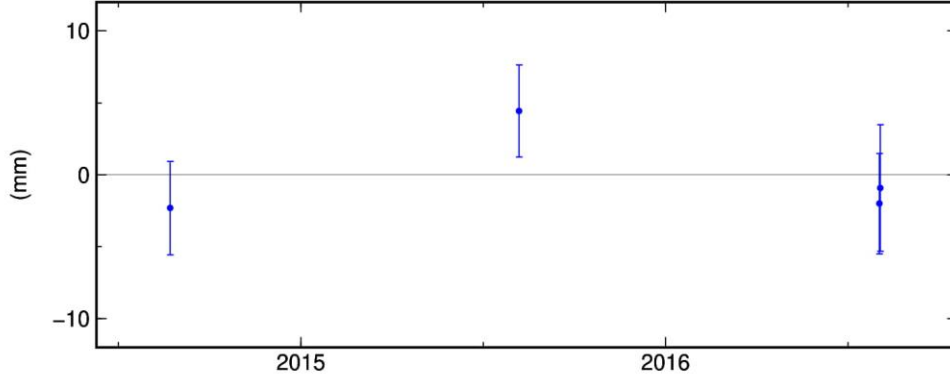


GM 2016 Oct 27 11:44:29

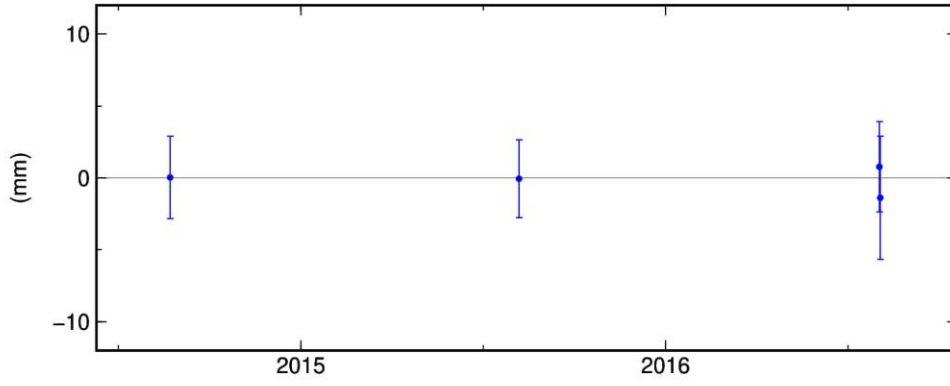
p: 59

Şekil C.59 : WZTR istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

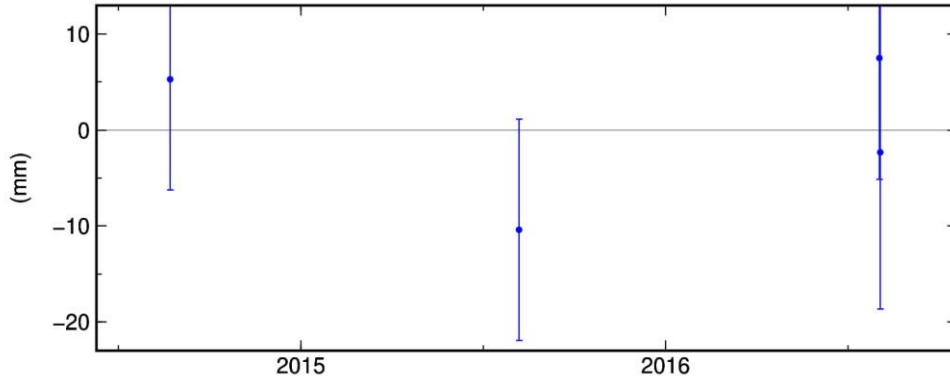
YYLA North Offset 4549239.626 m
rate(mm/yr)= 10.36 ± 2.17 nrms= 1.18 wrms= 4.1 mm # 4



YYLA East Offset 2732497.397 m
rate(mm/yr)= 13.35 ± 1.96 nrms= 0.29 wrms= 0.9 mm # 4

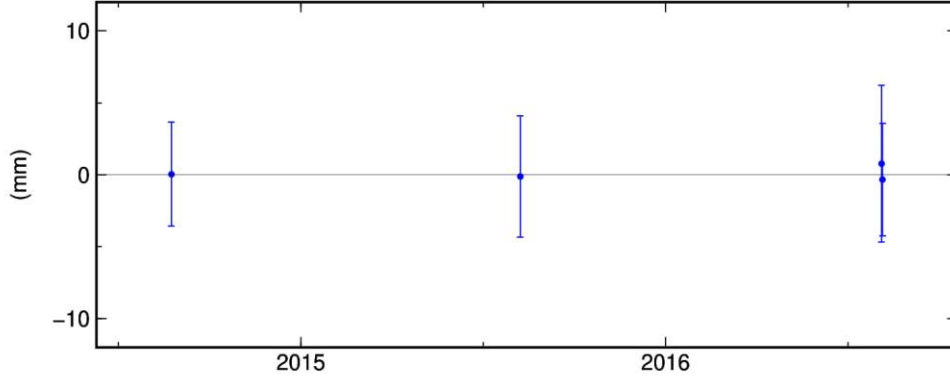


YYLA Up Offset 1532.265 m
rate(mm/yr)= -4.56 ± 7.83 nrms= 0.84 wrms= 10.6 mm # 4

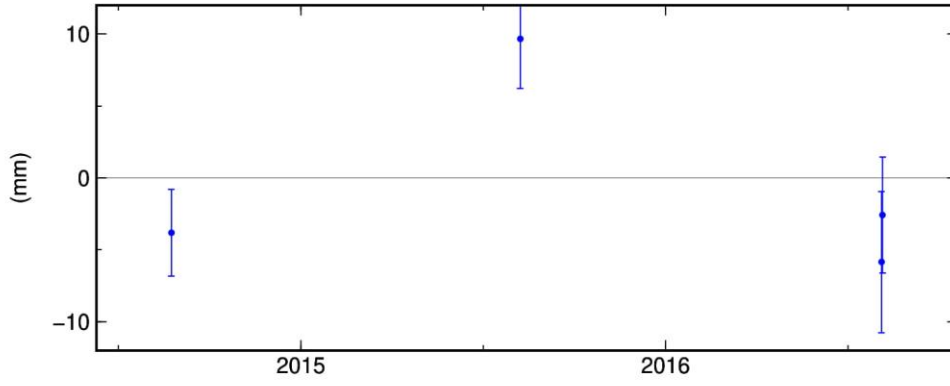


Şekil C.60 : YYLA istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

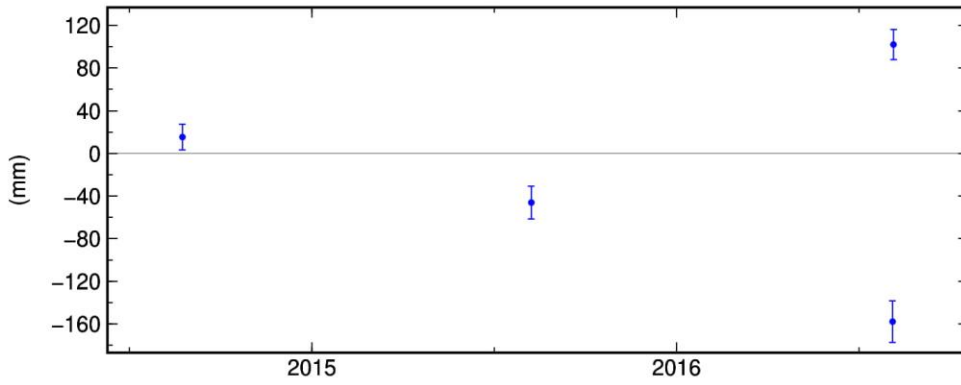
YZKV North Offset 4558109.688 m
rate(mm/yr)= 17.18 ± 2.46 nrms= 0.12 wrms= 0.5 mm # 4



YZKV East Offset 2738743.595 m
rate(mm/yr)= 23.80 ± 2.23 nrms= 2.38 wrms= 8.7 mm # 4

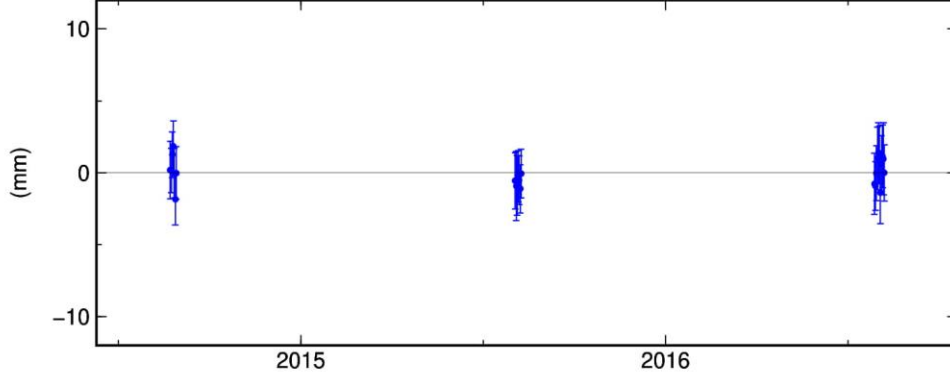


YZKV Up Offset 862.096 m
rate(mm/yr)= 67.23 ± 8.57 nrms= 8.05 wrms= 117.7 mm # 4

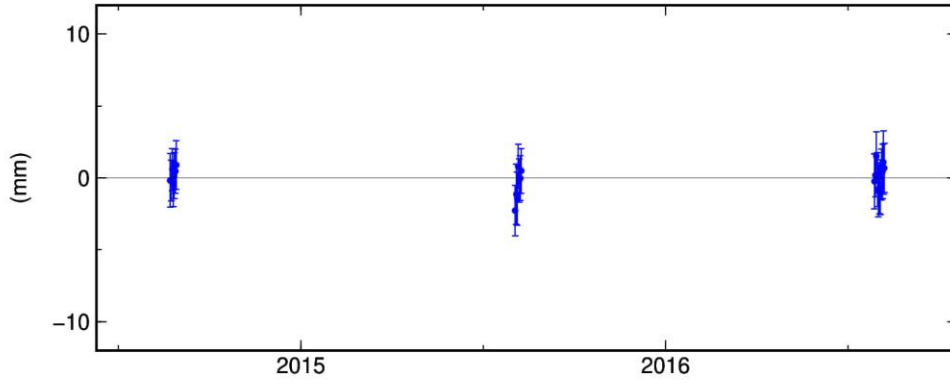


Şekil C.61 : YZKV istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

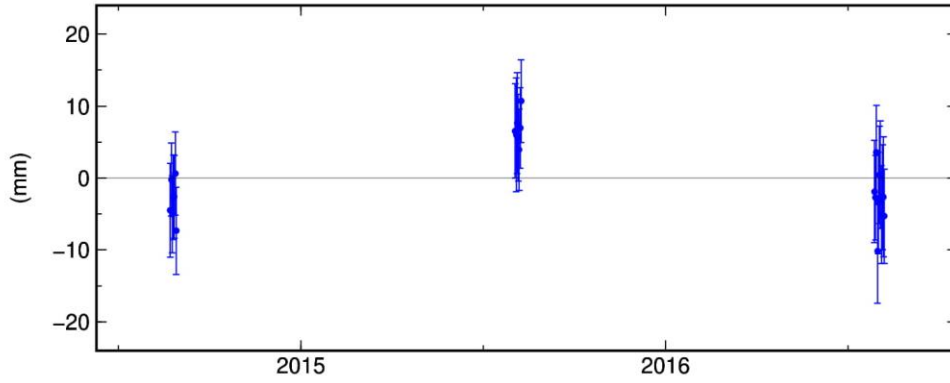
ZECK North Offset 4874501.710 m
rate(mm/yr)= 12.33 ± 0.46 nrms= 0.52 wrms= 1.0 mm # 25



ZECK East Offset 3340251.958 m
rate(mm/yr)= 26.12 ± 0.42 nrms= 0.49 wrms= 0.8 mm # 25



ZECK Up Offset 1166.298 m
rate(mm/yr)= -11.88 ± 1.55 nrms= 0.85 wrms= 5.4 mm # 25

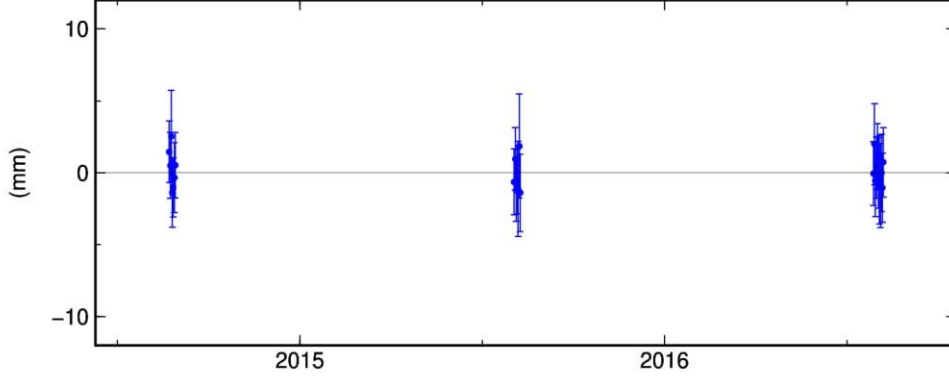


GM 2016 Oct 27 11:44:30

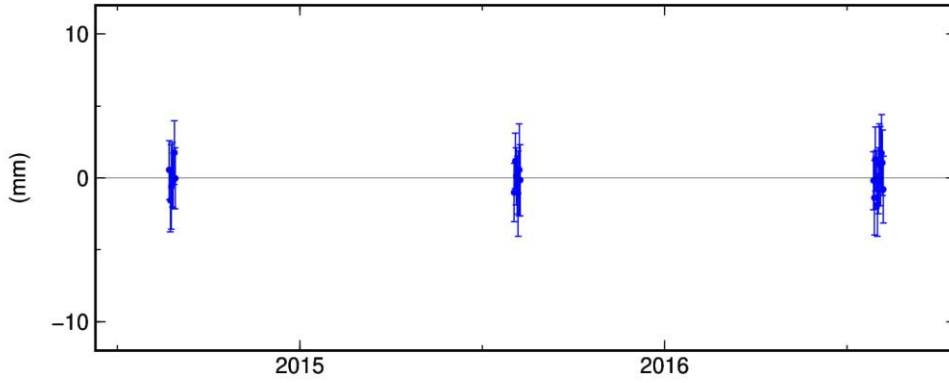
p: 62

Şekil C.62 : ZECK istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

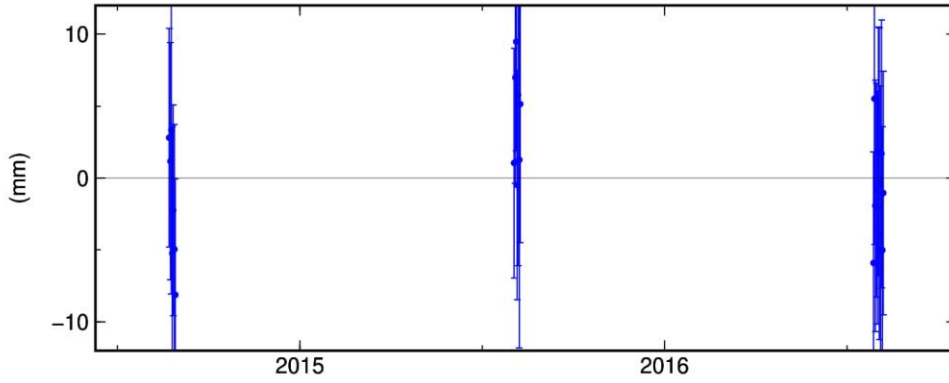
ZONG North Offset 4614140.242 m
rate(mm/yr)= 14.39 ± 0.60 nrms= 0.43 wrms= 1.1 mm # 25



ZONG East Offset 2651480.729 m
rate(mm/yr)= 24.35 ± 0.56 nrms= 0.44 wrms= 1.0 mm # 25



ZONG Up Offset 168.091 m
rate(mm/yr)= -9.01 ± 2.12 nrms= 0.54 wrms= 4.6 mm # 25



GM 2016 Oct 27 11:44:31

p: 63

Şekil C.63 : ZONG istasyonuna ait tekrarlılık grafikleri.

EK D: Çalışma bölgesinde incelenen kayıtlı depremler.

Çizelge D.1 : İsmetpaşa segmentindeki depremler, odak derinlikleri ve konumları.

Enlem	Boylam	Derinlik (-km)	Tarih	Büyükük
41.05	33.72	-10	26.11.1943	7.2
40.8	32.2	-10	1.02.1944	7.2
40.88	32.87	-10	13.08.1951	6.9
40.956	33.204	-10	7.09.1953	6.1
40.963	33.411	-33	5.10.1977	5.8
40.89	33.41	-10	9.08.1918	5.8
40.98	33.26	-60	22.09.1936	4.9
41	33	-30	1.02.1940	5.2
40.94	32.71	-20	13.05.1949	5.3
41.07	33.21	-2	12.10.1978	4.1
40.91	32.35	-10	3.11.1978	4.2
40.9	33.4	-33	18.10.1979	3.2
40.88	33.29	-44	22.12.1991	3.5
40.74	32.48	-7	19.05.1992	3.6
41	33.11	-10	12.09.1992	3.0
40.87	32.81	-5	3.02.1993	3.9
41.01	33.34	-10	20.02.1993	3.9
40.89	32.66	0	10.11.1995	3.4
40.84	32.9	0	23.04.1997	3.4
40.81	32.86	-5	15.12.1997	3.1
40.78	32.72	-12	6.01.1998	3.5
40.87	32.52	-4	5.11.1998	3.9
40.95	32.97	-3	13.02.1999	3.0
40.99	32.99	-9	17.02.1999	3.6
40.78	32.36	0	19.05.1999	3.4
40.89	32.91	-9	21.05.1999	3.4
40.81	32.87	-22	4.07.1999	3.8
40.83	32.99	0	4.07.1999	3.0
40.81	32.36	-5	7.07.1999	3.0
40.86	32.95	0	1.05.2000	3.1
40.85	32.9	0	6.06.2000	3.3
40.8	32.98	0	6.06.2000	2.9
40.9	32.94	-6	6.06.2000	3.0
40.83	32.94	-8	6.06.2000	3.2
40.87	32.93	-1	6.06.2000	3.0
40.92	32.9	0	7.06.2000	3.0
40.8	32.93	0	8.06.2000	3.5
40.92	32.83	-16	8.06.2000	3.0
41	32.83	-6	9.06.2000	2.8
40.82	33.01	-31	9.06.2000	3.2

Çizelge D.1 (devamı) : İsmetpaşa segmentindeki depremler, odak derinlikleri ve konumları.

Enlem	Boylam	Derinlik (-km)	Tarih	Büyüklik
40.82	32.99	-3	9.06.2000	3.0
40.84	32.98	-1	9.06.2000	3.7
40.86	33.17	0	9.06.2000	3.1
40.93	32.97	0	9.06.2000	3.5
40.8	32.95	0	9.06.2000	3.0
40.88	32.98	0	10.06.2000	3.1
40.96	32.94	-2	11.06.2000	3.2
40.82	32.93	0	11.06.2000	3.1
40.96	32.71	-22	15.06.2000	3.0
40.81	32.91	0	16.06.2000	3.3
40.96	32.94	-2	21.06.2000	3.1
40.84	32.91	0	21.06.2000	3.1
40.81	32.92	-32	23.06.2000	3.0
40.86	32.89	0	24.06.2000	3.4
41.01	32.85	-11	13.07.2000	3.1
40.79	32.92	-6	18.07.2000	3.3
40.82	32.88	-5	22.07.2000	3.2
40.89	32.92	0	2.08.2000	3.1
40.81	32.91	0	3.08.2000	3.3
40.82	32.98	0	10.08.2000	3.2
40.86	32.99	-11	27.08.2000	2.9
40.94	32.98	0	1.09.2000	3.2
40.83	32.94	0	10.09.2000	3.4
40.86	33.05	0	23.09.2000	2.9
40.8	33.02	-9	4.10.2000	3.3
40.84	33.02	-5	26.11.2000	3.1
41.05	33.2	0	19.12.2000	3.5
40.97	33.22	-7	20.04.2001	2.8
40.76	32.53	-7	4.10.2001	3.0
40.81	33.07	-10	2.02.2002	3.0
40.99	33.25	-31	3.06.2002	2.7
40.92	32.99	-2	23.07.2002	3.3
40.96	32.64	-5	23.07.2002	4.0
40.81	33.05	-8	26.09.2002	3.1
40.9	33.33	-22	17.10.2002	2.6
40.82	33.05	-10	18.01.2003	3.0
40.89	32.72	-6	17.05.2003	2.5
40.88	32.47	-10	28.07.2003	2.8
40.9	32.42	-9	1.09.2003	3.8
40.96	33.34	-3	6.11.2003	2.9
40.94	32.81	-5	1.01.2004	3.1

Çizelge D.1 (devamı) : İsmetpaşa segmentindeki depremler, odak derinlikleri ve konumları.

Enlem	Boylam	Derinlik (-km)	Tarih	Büyüklik
40.82	33.01	-8	23.01.2004	2.8
40.93	33.29	-10	17.05.2004	2.8
40.82	33.06	-6	24.09.2004	2.9
40.8925	33.1625	-5	4.02.2005	2.8
40.8872	32.4465	-5	6.03.2005	3.2
40.8645	32.591	-7.8	24.04.2005	2.9
40.9037	32.439	-16	11.05.2005	2.9
40.8493	33.2798	-22.2	20.07.2005	2.7
40.8112	32.6395	-32.4	30.07.2005	2.7
40.937	33.312	-11.5	30.07.2005	2.7
40.907	32.641	-16.1	15.08.2005	3.0
40.9232	32.3897	-14.8	9.11.2005	2.9
40.909	33.2135	-25.6	17.11.2005	2.8
40.9602	32.8325	-20.1	1.12.2005	3.1
40.9398	32.8558	-21.7	8.12.2005	2.9
40.8633	32.8858	-26.1	18.12.2005	2.6
40.9748	33.2908	-6.4	28.12.2005	4.4
41.003	33.3227	-7.7	28.12.2005	3.2
41.0185	33.3277	-7.5	28.12.2005	2.8
41.0198	33.3147	-9.7	28.12.2005	2.9
40.9692	33.2788	-18.2	28.12.2005	3.0
40.9883	33.2958	-5	28.12.2005	3.4
41.0023	33.3157	-9.2	28.12.2005	3.2
40.9878	33.2932	-8.5	28.12.2005	3.1
41.0378	33.3463	-6.7	28.12.2005	2.7
40.874	32.4225	-12.6	29.03.2006	3.1
40.8053	32.6618	-7.4	15.05.2006	3.0
40.8865	32.9857	-5	15.06.2006	3.1
40.9002	32.5815	-7.5	24.06.2006	3.0
40.8025	33.0253	-10.1	19.07.2006	3.3
40.8742	32.9848	-9	10.09.2006	3.1
40.9897	33.2912	-12.4	5.12.2006	3.3
40.7427	32.4148	-5.4	9.01.2007	3.0
40.839	33.1683	-27.2	28.07.2007	2.8
40.9392	33.2427	-6.6	6.09.2007	2.8
40.907	32.4673	-5	28.09.2007	3.1
40.7773	32.832	-5	15.10.2007	3.5
40.8045	32.6992	-2.9	21.05.2008	3.4
40.9945	33.3252	-7.7	23.01.2009	2.9
40.8963	32.5997	-7.6	26.05.2009	2.8
40.9475	32.9787	-8.4	23.08.2009	2.9

Çizelge D.1 (devamı) : İsmetpaşa segmentindeki depremler, odak derinlikleri ve konumları.

Enlem	Boylam	Derinlik (-km)	Tarih	Büyükük
40.7842	32.87	-6.8	12.10.2009	2.7
40.9945	33.2537	-5	21.10.2009	3.3
40.9165	32.4712	-5.4	20.12.2009	3.5
41.0075	32.9555	-5	15.03.2010	2.7
40.7727	32.5753	-28.7	10.08.2010	2.8
40.9148	33.1822	-9.4	26.12.2010	2.6
40.7575	32.605	-13	18.01.2011	2.8
40.9023	33.1137	-15.4	29.01.2011	2.6
40.9523	32.6292	-5.7	17.05.2011	3.1
40.8667	32.4912	-11	9.08.2011	2.2
40.7887	32.718	-5.6	3.01.2012	2.4
40.9643	32.8963	-4.9	10.05.2014	2.2
40.8127	32.8925	-5	18.09.2014	2.6
40.9252	32.5563	-5	20.12.2014	1.8
40.908	32.5803	0	15.01.2015	1.8
40.8702	32.6307	0	8.02.2015	1.9
40.7995	32.8383	-8.1	30.03.2015	2.1
40.8445	32.4925	-1.8	2.05.2015	4.1
40.9087	32.5442	-9.3	2.05.2015	2.7
40.969	32.4527	-5	5.11.2015	2.3
40.9492	33.3233	-1.3	22.01.2016	2.5
40.9425	33.2362	0	12.02.2016	2.3
40.8177	33.0322	-10	4.04.2016	2.4
40.8023	32.3535	-9.7	20.05.2016	2.2
40.8233	32.6342	-11.5	11.06.2016	2.5
40.9768	33.3262	-5.4	9.10.2016	2.1
40.7873	32.7658	-5	24.11.2016	3.3
Ortalama deprem derinliği (km)				9.09
Ortalama deprem büyüklüğü (Mw) (4 ana deprem hariç)				3.1
1999 ve öncesi için ortalama deprem derinliği				-15.2
1999'dan sonra ortalama deprem derinliği				-8.0

Çizelge D.2 : Destek segmentindeki depremler, odak derinlikleri, konumları.

Enlem	Boylam	Derinlik (-km)	Tarih	Büyükük
40.988	40.615	14.3	22.08.2016	2.4
40.972	40.5085	0.0	27.05.2016	2.3
40.509	40.752	22.0	29.04.2016	2.6
40.507	40.746	5.0	18.12.2015	2.2
40.923	40.744	27.6	4.09.2013	2.1
40.742	40.621	13.5	27.02.2013	2.0
40.739	40.632	14.5	15.05.2012	2.3
40.877	40.561	14.9	23.04.2012	2.1
40.952	40.653	19.9	10.05.2011	2.6
40.766	40.71	9.5	20.01.2011	2.5
40.546	40.766	6.4	2.12.2010	2.5
40.935	40.556	9.1	28.03.2009	2.7
40.919	40.703	5.5	3.01.2009	2.3
40.869	40.614	14.6	1.01.2009	2.2
40.98	40.718	2.0	14.10.2008	2.1
40.614	40.537	5.0	8.10.2008	2.2
40.517	40.75	8.1	16.09.2008	2.9
40.505	40.752	11.3	19.08.2008	2.9
40.975	40.532	9.1	7.03.2008	2.9
40.999	40.669	11.1	15.02.2008	2.9
40.548	40.691	9.0	12.11.2007	2.8
40.986	40.784	9.0	4.05.2007	2.8
40.873	40.56	14.7	1.03.2007	3.0
40.784	40.553	5.7	11.01.2007	2.9
40.894	40.599	9.3	16.12.2005	3.2

Ortalama deprem derinliği (km) 10.84

Ortalama deprem büyükükü (Mw) 2.54

EK E : Model çalışması için tanımlanan TDEFNODE kontrol ve hız dosyaları.

Çizelge E.1 : TDEFNODE proseleri için kullanılan hız dosyası (GLOBK format).

BOYLAM	ENLEM	Ve	Vn	Se	Sn	Rho	İstasyon Kodu
51.33	35.69	-0.06	10.99	0.14	0.11	-0.79	TEHN
41.56	43.78	-0.04	0.65	0.1	0.07	-0.287	ZECK
38.38	40.92	-1.04	2.07	0.12	0.12	-0.248	GIRS
38.07	40.16	-12.77	6.06	0.1	0.1	-0.287	SSEH
37.48	41.04	-2.22	1.8	0.1	0.09	-0.274	FASA
37.33	40.38	-11.41	5.13	0.12	0.13	-0.183	RDIY
37	39.74	-18.8	6.96	0.09	0.1	-0.312	SIVS
36.55	40.33	-18.36	6.44	0.12	0.13	-0.186	TOK1
36.55	40.33	-18.36	6.44	0.12	0.13	-0.186	TOKA
36.33	41.3	-1.94	1.32	0.19	0.22	-0.127	SAM1
36.25	41.34	1.3	-2.97	0.21	0.24	-0.062	SAMN
36.2	40.92	-6.41	5.18	1.81	2.1	0.041	KRBS
36.2	40.82	-10.55	0.64	2.25	2.59	0.037	BRBY
36.19	40.89	-9.06	3.94	1.69	1.94	0.021	HCGR
36.16	40.7	-14.43	1.84	2.18	2.56	-0.003	OZBR
35.87	39.66	-19.47	5.69	0.09	0.1	-0.289	AKDG
35.84	40.66	-14.48	6.21	0.09	0.1	-0.294	AMAS
35.46	41.13	-5.32	2.06	0.1	0.11	-0.243	VEZI
35.15	42.03	-0.67	0.54	0.08	0.08	-0.196	SINP
34.98	40.57	-17.15	3.07	0.09	0.1	-0.212	CORU
34.79	41.46	-2.45	-0.08	0.08	0.08	-0.235	BOYT
34.78	32.06	-3.47	7.18	0.08	0.13	-0.502	TELA
34.36	40.15	-20.37	2.39	0.1	0.11	-0.177	SUNL
33.99	44.41	-0.53	-0.34	0.08	0.08	-0.123	CRAO
33.77	41.37	-1.87	0.58	0.08	0.09	-0.189	KSTM
33.61	40.6	-19.43	0.46	0.09	0.1	-0.126	CANK
33.51	39.84	-20.1	1.47	0.08	0.09	-0.282	KKAL
33.3	40.86	-13.42	-5.78	1.82	2.1	0.025	HMSL
33.25	40.92	-15.47	2.81	2.03	2.38	0.061	CYLC
33.17	40.96	-10.1	-1.12	2.14	2.51	0.025	SRKY
33.12	41.02	-6.61	0.19	2.09	2.47	0.033	KVKK
32.86	40.93	-6.09	-0.74	1.5	1.75	0.038	BYKY
32.84	40.82	-19.16	-0.44	3.51	3.74	-0.068	CGCS
32.84	39.85	-22.14	-0.52	0.09	0.1	-0.186	ANRK
32.84	40.97	-7.8	1.08	1.69	1.88	0.015	BDRG
32.75	39.88	-23.98	-2.75	0.07	0.08	-0.308	ANKR
32.75	40.92	-8.21	-1.69	2.03	2.3	0.06	SLYE
32.71	41.84	-0.86	0.54	0.07	0.08	-0.175	KURU
32.71	40.83	-18.71	-4.46	2.08	2.3	-0.024	KZDR

Çizelge E.1 (devamı) : TDEFNODE prosesleri için kullanılan hız dosyası (GLOBK format).

BOYLAM	ENLEM	Ve	Vn	Se	Sn	Rho	İstasyon Kodu
32.67	41.23	-2.3	0.14	0.09	0.1	-0.16	KRBK
32.65	40.87	-14.88	-2.53	1.96	2.03	0.052	HMMP
32.59	40.89	-11.53	1.57	2.26	2.64	0.042	IMLR
32.57	40.94	-4.35	1.51	2.64	3.12	0.071	YZKV
32.52	40.8	-17.58	-2.32	1.92	2.1	0.045	EREN
32.49	40.8	-16.63	-2.49	2	2.25	0.028	DVBY
32.49	39.43	-20.87	-2.73	0.09	0.1	-0.186	HYMN
32.47	40.93	-6.8	-1.04	2.08	2.39	0.039	BYYY
32.47	40.49	-21.14	-3.02	0.08	0.1	-0.184	CMLD
32.45	40.86	-12.22	-3.25	1.87	2.11	0.046	YYLA
31.77	41.44	-0.49	-0.71	0.08	0.09	-0.119	ZONG
31.6	40.73	-12.79	-0.24	0.09	0.1	-0.128	BOLU
31.53	39.44	-22.8	-3.58	0.13	0.15	-0.093	SIHI
31.53	39.44	-22.8	-3.58	0.13	0.15	-0.093	SIHI
31.33	40.17	-23.14	-3.2	0.08	0.09	-0.187	NAHA
30.74	40.79	-6	-2.16	0.08	0.1	-0.123	HEND
30.46	39.74	-23.05	-4.17	0.08	0.09	-0.148	ESKS
29.97	40.14	-22.81	-4.31	0.08	0.09	-0.115	BILE
29.95	40.8	-5.03	-2.08	0.07	0.09	-0.124	IZMT
29.45	40.78	-5.33	-2.23	0.08	0.1	-0.106	TUBI
26.12	44.46	-0.68	-2.04	0.05	0.06	-0.01	BUCU
23.39	42.55	0.09	-2.63	0.07	0.08	0.091	SOFI
16.7	40.64	0.74	3.3	0.09	0.08	0.431	MATE
12.87	49.14	0.37	-0.83	0.1	0.07	-0.293	WTZR
11.92	57.39	-0.65	-1.63	0.1	0.11	-0.667	ONSA

Çizelge E.2 : İsmetpaşa segmentine ait kontrol dosyası.

```
# flag tanımları
fl: +cov -ddc +dgt +gcv

# model ismi
mo: isme

# GPS vektor dosyası
gp: kafz "globk.data" 1 1.0 0 0 0 2009.0 2017.0 0 0 0 1 1 0

# Dengelenecek GPS hız vektörü kutbu
gi: 1

# iterasyon kontrolü (1:sim.anneal., 2:grid sear.)
# önce sim.anneal., sonra grid sear. yap
ic: 1 2 1 2

em:

# referans blok
re: AVRA

# bloklar için başlangıç kutup değerleri
po: 1 0 0 0
po: 2 30.7 32.6 1.2

# blok tanımları
bl: AVRA 1 1
8
32.4155 40.8336
32.6183 40.8687
32.7779 40.8947
32.9197 40.9162
33.2122 40.9486
33.3460 40.9730
33.3122 41.1607
32.3250 41.0680

bl: ANAD 2 2
8
32.4155 40.8336
32.4825 40.6425
33.3980 40.7830
```

Çizelge E.2 (devamı) : İsmetpaşa segmentine ait kontrol dosyası.

```
33.3460 40.9730
33.2122 40.9486
32.9197 40.9162
32.7779 40.8947
32.6183 40.8687

# ters dönüşümde dengelenecek kutuplar
pi: 2

# dengelenecek strain rate tensor (SRT)
si: 2

# iterasyon sayısı
ni: 6

# green fonksiyonları
gd: gf1 10 5 0 1.0 1.0 800.

# simul.anneal. kontrolleri
sa: 0 8 800

# grid tarama kontrolleri
gs: 10 0.1 5 0

# önce sim.anneal., sonra grid sear. yap
ic: 1 2 1 2

# fay düzlemindeki alt bölüm boyutları
# in: 10 5

# parametre sınır değerleri
pm: 6 0 15

# dengelenecek faylar
ff: 1
fi: 1

# fay tanımı
fa: fayisme 1
6 4 AVRA ANAD 0
0
33.3460 40.9730
33.2122 40.9486
32.9197 40.9162
```

Çizelge E.2 (devamı) : İsmetpaşa segmentine ait kontrol dosyası.

```
32.7779 40.8947
32.6183 40.8687
32.4155 40.8336
zd: 4.5 89.
zd: 6.75 89.
zd: 15.0 89.

# nodelar için parametreler
ft: 1 0

# fay node tanımları
nng: 1 6 4
1 1 1 2 2 3
1 1 1 2 2 3
4 4 4 4 4 4
5 5 5 5 5 5
nv: 1 0.5 0.4 0.45 1.0 1.0
nx: 1 5

# çizim için profil tanımları
pr: 1 32.64 40.71 25 0.02 345 10
pr: 2 32.89 40.75 25 0.02 345 10
pr: 3 33.20 40.79 25 0.017 345 10

# dosya sonu
en:
```


Çizelge E.3 : Destek segmentine ait kontrol dosyası.

```
# flag tanımları
fl: +cov -ddc +dgt +gcv

# model ismi
mo: dest

# GPS vektor dosyası
gp: kafz "globk.data" 1 1.0 0 0 0 2009.0 2017.0 0 0 0 1 1 0

# Dengelenecek GPS hız vektörü kutbu
gi: 1

# iterasyon kontrolü (1:sim.anneal., 2:grid sear.)
# önce sim.anneal., sonra grid sear. yap
ic: 1 2 1 2

em:

# referans blok
re: AVRA

# başlangıç kutup değerleri
po: 1 0 0 0
po: 2 30.7 32.6 1.2

# blok tanımları
bl: AVRA 1 1
5
36.0891 40.8735
36.1873 40.8457
36.3075 40.8095
36.3965 40.9853
36.1751 41.0461

bl: ANAD 2 2
5
36.0891 40.8735
35.9874 40.7062
36.1934 40.6359
36.3075 40.8095
36.1873 40.8457

# ters dönüşümde dengelenecek kutuplar
pi: 2
```

Çizelge E.3 (devamı) : Destek segmentine ait kontrol dosyası.

dengelenecek strain rate tensor (SRT)

si: 2

iterasyon

ni: 6

green fonksiyonları

gd: gf1 10 5 0 1.0 1.0 800.

simul.anneal. kontrolleri

sa: 0 8 800

grid

gr: 1 32.1 20 0.1 40.8 20 0.1

grid tarama kontrolleri

gs: 10 0.1 5 0

önce sim.anneal., sonra grid sear. yap

ic: 1 2 1 2

fay düzlemindeki alt bölüm boyutları

in: 10 5

parametre sınır değerleri

pm: 6 0 15

dengelenecek faylar

ff: 1

fi: 1

fay tanımı

fa: faydest 1

3 4 AVRA ANAD 0

0

36.3075 40.8095

36.1873 40.8457

36.0891 40.8735

zd: 4.3 89.

zd: 6.0 89.

zd: 15.0 89.

nodelar için parametreler

ft: 1 0

Çizelge E.3 (devamı) : Destek segmentine ait kontrol dosyası.

```
# fay node tanımları
nng: 1 3 4
1 1 1
2 2 2
3 3 3
4 4 4
nv: 1 0.6 0.6 1.0 1.0
nx: 1 4

# çizim için profil tanımları
pr: 4 36.14 40.69 25 0.015 16 20

# dosya sonu
en:
```

EK F: Model çözümü için TDEFNODE tarafından oluşturulan özet dosyaları.

Çizelge F.1 : TDEFNODE tarafından oluşturulan “isme.sum” dosyası.

Modl	YYYYMMDDHHMM	Misfit	DOF	Ndata	Nparm	Prob	Variance	Data Chi2	Penalty	
SUM:	isme 201709151139	1.005	19	32	13	45.130	1.9087E+01	1.0046E+00	0.0000E+00	
Indx	Code	WtFac	SigMin	SigMax	R/S_Max	---Reference Velocity---	File name			
1	kafz	1.00	0.00	1000.00	0.00	0.00	0.00	globk.data		
Name	#obs	Nrms	Wrms	Prob	SumWt	SSData	SSfit	SSres	Chi2/N	Filename
GPS	32	0.774	1.645	96.4	7.077E+00	2.366E+02	2.178E+02	1.916E+01	5.987E-01	
vE	16	0.815	1.635	83.1	3.979E+00	2.130E+02	2.028E+02	1.064E+01	6.649E-01	
vN	16	0.730	1.658	93.2	3.098E+00	2.351E+01	1.493E+01	8.521E+00	5.325E-01	
kafz	32	0.774	1.645	96.4	7.077E+00	2.366E+02	2.178E+02	1.916E+01	5.987E-01	globk.data
vE	16	0.815	1.635	83.1	3.979E+00	2.130E+02	2.028E+02	1.064E+01	6.649E-01	globk.data
vN	16	0.730	1.658	93.2	3.098E+00	2.351E+01	1.493E+01	8.521E+00	5.325E-01	globk.data
AVRA	18	0.771	1.613	90.7	4.108E+00	3.194E+01	1.693E+01	1.069E+01	5.937E-01	
ANAD	14	0.778	1.689	86.3	2.969E+00	2.046E+02	2.008E+02	8.472E+00	6.052E-01	
P001	18	0.771	1.613	90.7	4.108E+00	3.194E+01	1.693E+01	1.069E+01	5.937E-01	
P002	14	0.778	1.689	86.3	2.969E+00	2.046E+02	2.008E+02	8.472E+00	6.052E-01	
S001	18	0.771	1.613	90.7	4.108E+00	3.194E+01	1.693E+01	1.069E+01	5.937E-01	
S002	14	0.778	1.689	86.3	2.969E+00	2.046E+02	2.008E+02	8.472E+00	6.052E-01	
G001	32	0.774	1.645	96.4	7.077E+00	2.366E+02	2.178E+02	1.916E+01	5.987E-01	

Çizelge F.2 : TDEFNODE tarafından oluşturulan “dest.sum” dosyası.

Modl	YYYYMMDDHHMM	Misfit	DOF	Ndata	Nparm	Prob	Variance	Data Chi2	Penalty	
SUM:	dest 201709210341	1.006	1	8	12	31.588	1.0059E+00	1.0059E+00	0.0000E+00	
Indx	Code	WtFac	SigMin	SigMax	R/S_Max	---Reference Velocity---	File name			
1	kafz	1.00	0.00	1000.00	0.00	0.00	0.00	globk.data		
Name	#obs	Nrms	Wrms	Prob	SumWt	SSData	SSfit	SSres	Chi2/N	Filename
GPS	8	0.360	0.747	99.8	1.857E+00	1.893E+01	1.785E+01	1.037E+00	1.296E-01	
vE	4	0.310	0.601	98.4	1.063E+00	1.619E+01	1.525E+01	3.842E-01	9.604E-02	
vN	4	0.404	0.906	95.7	7.941E-01	2.747E+00	2.598E+00	6.525E-01	1.631E-01	
kafz	8	0.360	0.747	99.8	1.857E+00	1.893E+01	1.785E+01	1.037E+00	1.296E-01	globk.data
vE	4	0.310	0.601	98.4	1.063E+00	1.619E+01	1.525E+01	3.842E-01	9.604E-02	globk.data
vN	4	0.404	0.906	95.7	7.941E-01	2.747E+00	2.598E+00	6.525E-01	1.631E-01	globk.data
AVRA	4	0.509	0.950	90.4	1.148E+00	3.824E+00	2.770E+00	1.035E+00	2.589E-01	
ANAD	4	0.018	0.043	100.0	7.096E-01	1.511E+01	1.508E+01	1.307E-03	3.268E-04	
P001	4	0.509	0.950	90.4	1.148E+00	3.824E+00	2.770E+00	1.035E+00	2.589E-01	
P002	4	0.018	0.043	100.0	7.096E-01	1.511E+01	1.508E+01	1.307E-03	3.268E-04	
S001	4	0.509	0.950	90.4	1.148E+00	3.824E+00	2.770E+00	1.035E+00	2.589E-01	
S002	4	0.018	0.043	100.0	7.096E-01	1.511E+01	1.508E+01	1.307E-03	3.268E-04	
G001	8	0.360	0.747	99.8	1.857E+00	1.893E+01	1.785E+01	1.037E+00	1.296E-01	

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Mehmet Nurullah ALKAN
Doğum Tarihi ve Yeri : Merzifon, 26.05.1978
E-posta : alkanme@itu.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2001, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve *Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- Aladoğan, K., Tiryakioğlu, İ., Yavaşoğlu, H., Alkan, R. M., **Alkan, M. N.**, Köse, Z., İlçi, V., Ozulu, İ. M., Tombuş, F. E. ve Şahin, M. (2017). Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 17 (3), 997-1003.
- Yavaşoğlu, H., **Alkan, M. N.**, Ozulu, I. M., İlci, V., Tombuş, F. E., Aladogan, K., Sahin, M., Tiryakioğlu, I., Kıvrak, O. Recent tectonic features of the central part (Bolu-Corum) of the North Anatolian Fault, *Hittite Journal of Science & Engineering*, 2 (1), 77-83.
- Yavasoglu, H., **Alkan, M.N.**, Aladogan, K., Ozulu, I.M., Ilci, V., Sahin, M., Tombuş, F.E., Tiryakioğlu, I. (2016). Ismetpasa and Destek Regions: Creeping or Accumulating Strain, *European Geosciences Union General Assembly(EGU2016)*, April 17-22, 2016, Vienna, Austria.

