



**İZMİR-BALIKESİR TRANSFER ZONU VE ÇEVRESİNDEKİ GÜNCEL
DEFORMASYONLARIN GNSS YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Halil İbrahim SOLAK

Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

HAZİRAN 2020

Bu tez çalışması 19.FEN.BİL.02 numaralı proje ile AKÜ BAP tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

İZMİR-BALIKESİR TRANSFER ZONU VE ÇEVRESİNDEKİ
GÜNCEL DEFORMASYONLARIN GNSS YÖNTEMİ İLE
İNCELENMESİ

Halil İbrahim SOLAK

Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2020

TEZ ONAY SAYFASI

Halil İbrahim SOLAK tarafından hazırlanan “İzmir-Balıkesir Transfer Zonu ve Çevresindeki Güncel Deformasyonların GNSS Yöntemiyle İncelenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 16/06/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman	: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Başkan	: Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ Ankara Ü., Mühendislik Fakültesi
Üye	: Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR Dokuz Eylül Ü., Mühendislik Fakültesi
Üye	: Prof. Dr. Tamer BAYBURA Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi
Üye	: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi
Üye	: Doç. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU İstanbul Teknik Ü., İnşaat Fakültesi
Üye	: Doç. Dr. Mustafa YILMAZ Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi
Üye	: Doç. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK Afyon Kocatepe Ü., Mühendislik Fakültesi



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

.....
Prof. Dr. İbrahim EROL
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

16 / 06 / 2020


Halil İbrahim SOLAK

ÖZET

Doktora Tezi

İZMİR-BALIKESİR TRANSFER ZONU VE ÇEVRESİNDEKİ GÜNCEL DEFORMASYONLARIN GNSS YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Halil İbrahim SOLAK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Bu tez çalışması kapsamında İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) ve çevresinin güncel deformasyonunu belirlemek amacıyla 62 noktalık bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Ağda yer alan noktaların geçmiş yıllardaki ölçüleri temin edilmiş ve ihtiyaç duyulan noktalarda 2018-2019 yıllarında 2 GNSS kampanyası gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiş ve bölgenin Avrasya sabit (ITRF2008) hız alanı üretilmiştir. Bu hız alanı ile önceki çalışmalarda yayımlanan hız alanları dönüşüm sağlanarak birleştirilmiş ve 111 noktalık kapsamlı bir hız alanı oluşturulmuştur. Elde edilen güncel hız alanı yardımıyla bölgenin gerinim alanı ve $M_w \geq 5.5$, $M_w \geq 6$, $M_w \geq 6.5$ ve $M_w \geq 7$ büyüklüğündeki depremler için jeodezik deprem tekrarlama periyotları belirlenmiştir. Bölge için önceki çalışmalarda önerilen blok modeller test edilmiş ve bölgeye dair yeni bir blok model geliştirilmiştir. Son olarak bölgede yer alan fayların deprem üretme potansiyelleri hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar önceki çalışmalarla uyumlu olarak İBTZ ve yakın çevresinin 18-28 mm/yıl ile güneybatı yönünde hareket ettiğini göstermektedir. Havzan-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ), Gelenbe Fay Zonu (GFZ) ve Karaburun Yarımadasında (MoF civarı) gerinimlerin yüksek olduğu ve bu bölgelerde jeodezik deprem tekrarlama periyotlarının düşük olduğu ($M_w \geq 6$ için ~100 yıl, $M_w \geq 7$ için ~1000 yıl) belirlenmiştir. HBFZ üzerinde yer alan Gökçeyazı-Ovacık-Kepsut segmentlerinin birleşim bölgesinde gerinimlerin 170 ns/yıla ulaştığı ve bu segmentlerin $M_w:7.3$ büyüklüğünde bir deprem

retme potansiyeline sahip olduğu hesaplanmıştır. Bölgenin 6 blok ve 16 segmentten oluşan ve açılma rejiminin baskın olduğu bir blok model ile temsil edilebileceği değerlendirilmiştir.

2020, xii + 147 sayfa

Anahtar Kelimeler: İzmir-Balıkesir Transfer Zonu, GNSS, Tektonik, Gerinim, Blok Model



ABSTRACT

Ph.D. Thesis

INVESTIGATION OF RECENT DEFORMATIONS IN İZMİR-BALIKESİR TRANSFER ZONE AND ITS SURROUNDING BY GNSS METHOD

Halil İbrahim SOLAK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

In this research, a 62-site GNSS network was generated to determine deformations in İBTZ and its surrounding. Old data of these sites were prosided and 2 campaign GNSS measurements were carried out in 2018-2019 where needed. All data were evaluated with GAMIT / GLOBK software and the region's Eurasian fixed (ITRF2008) velocities were calculated. By combining this velocities with the velocities published in previous studies, a comprehensive velocity field of 111 sites was obtained. Using this velocity field, strain area and the geodetic earthquake recurrence periods for $M_w \geq 5.5$, $M_w \geq 6$, $M_w \geq 6.5$ and $M_w \geq 7$ earthquakes were calculated. In addition, a new block model for the region has been suggested. Finally, the earthquake potential of the faults in the region has been calculated. The results show that İBTZ and its immediate surroundings move in the southwest direction with 18-28 mm/yr. The strains were high around HBFZ and MoF, therefore, the earthquake recurrence periods were low in these regions (for $M_w \geq 6$ approximately 100 years, $M_w \geq 7$ approximately 1000 years). It has been calculated that the segments on HBFZ may cause an earthquake with a maximum magnitude of M_w : 7.3. It was evaluated that the region could be represented by a model consisting of 6 blocks and 16 segments where the extension regime was dominant.

2020, xii + 147 pages

Keywords: İzmir-Balıkesir Transfer Zone, GNSS, Tectonic, Strain, Block Model

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışması ve akademik tüm konularda bilgisini ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman saygı duyduğum ve duyacağım tez danışmanım Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na çok teşekkür ederim. Bu tez çalışmasının gelişmesi ve şekillenmesinde emeği olan değerli hocalarım Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ, Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR, Prof. Dr. Tamer BAYBURA, Doç. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK, Doç. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU ve Doç. Dr. Mustafa YILMAZ'a çok teşekkür ederim. Geçmiş yıllardaki verilerini bizimle paylaşan tüm kamu kurum ve kuruluşları ile özel sektör çalışanlarına teşekkür ederim. Tez kapsamında yapılan arazi çalışmalarına eşlik eden tüm öğrenci arkadaşlarıma teşekkür ederim. Bu tez çalışmasını 19.FEN.BİL.02 numaralı proje ile destekleyen AKÜ BAP Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Doktora süreci boyunca gösterdiği tatlı/sert sabrı ve desteği için eşim Gönül SOLAK ile henüz bu satırları okuyamayan oğlum Halil Kaan SOLAK'a teşekkür ederim. Süreç boyunca tüm zorluklarda yanımda olan aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Halil İbrahim SOLAK
Afyonkarahisar 2020

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	v
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xii
1. GİRİŞ	1
2. BATI ANADOLU VE İBTZ TEKTONİĞİ.....	3
2.1 Transfer Zonu	4
2.2 İzmir Balıkesir Transfer Zonu	7
2.2.1 Çalışma Bölgesinde ve Çevresinde Yer Alan Diri Faylar	9
2.3 Literatür	15
2.4 İBTZ'nin Depremselliği ve Deprem Üretme Potansiyeli	20
2.4.1 Yakın Dönem Depremsellik.....	24
3. MATERYAL VE METOT	26
3.1 Küresel Konumlama Sistemleri	26
3.2 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi.....	27
3.2.1 GAMIT/GLOBK.....	28
3.2.1.1 Veri Değerlendirme ve İşlem Aşamaları	30
3.3 Gerinim Analizi	42
3.3.1 GeodSuit.....	45
3.4 Jeodezik Deprem Tekrarlılık Analizi.....	50
4. UYGULAMA	53
4.1 Çalışma Bölgesinin Özellikleri	53
4.2 GNSS Ağı	54
4.3 GNSS Ölçüleri	57
4.4 Hız Alanının Belirlenmesi	62
4.4.1 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi	62
4.4.2 Hız Alanlarının Birleştirilmesi.....	68
4.5 Gerinim Alanlarının Belirlenmesi	72
4.5.1 İBTZ ve Çevresinin Gerinim Alanı.....	72

4.5.2 Faylar Üzerindeki Gerinimler	80
4.5.3 Literatürdeki Gerinim Alanları ile Karşılaştırma.....	85
4.5.4 Odak Mekanizma Çözümleri ile Uyum	89
4.5.4.1 2006 öncesi	93
4.5.4.2 2006 ve sonrası	96
4.6 Blok Modelleme Çalışmaları	99
4.6.1 Mevcut Blok Modellerin Çözümü	100
4.6.2 Önerilen Blok Model ve Çözümü	103
4.7 Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi.....	116
4.7.1 $M \geq 5.5$ ve $M \geq 6$ Deprem Tekrarlama Periyotları	117
4.7.2 $M \geq 6.5$ ve $M \geq 7$ Deprem Tekrarlama Periyotları	119
4.8 Potansiyel Deprem Büyüklüklerinin Belirlenmesi	121
5. SONUÇLAR.....	127
6. KAYNAKLAR	132
ÖZGEÇMİŞ.....	145

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
CORS	Sürekli Gözlem Yapan Referansİstasyonu
EKK	En Küçük Kareler
GAMIT	GPS Analysis at Massachussets Institute of Technology
GLOBK	Global Kalman
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HGM	Harita Genel Müdürlüğü
IERS	International Earth Rotation Service
IGS	International GNSS Service
IGSF	International GNSS Service Final
IGSR	International GNSS Service Rapid
IGSU	International GNSS Service Ultra Rapid
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
KAFZ	Kuzey Anadolu Fay Zonu
KOERI	Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTA	Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
NRMS	Normalized Root Mean Square
RINEX	Receiver Independent Exchange
TUSAGA	Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı
USGS	United States Geological Survey
WGS	World Geodetic System
WRMS	Weighted Root Mean Square

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Türkiye'nin başlıca neotektonik yapıları (Bozkurt vd. 2001).	3
Şekil 2.2 Transfer Fayı (İnt.Kyn.4).	5
Şekil 2.3 Conjugate ve synthetic transfer zonları (Dasgupta 2019).	5
Şekil 2.4 Dünyada transfer fayı ve zonu örnekleri (Acocella vd. 2005).	6
Şekil 2.5 İBTZ'nin Batı Anadolu içindeki yeri (Sözbilir vd. 2011, Uzel vd. 2012).	8
Şekil 2.6 İBTZ sınırları içerisinde ve çevresinde yer diri alan faylar (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler).	9
Şekil 2.7 Havran-Balıkesir Fay Zonu (Sözbilir vd. 2016c).	10
Şekil 2.8 İzmir ve çevresinde yer alan diri faylar (kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler).	14
Şekil 2.9 İBTZ ve yakın çevresinde 1900-2020 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4$ depremler (AFAD 2020).	23
Şekil 2.10 İBTZ ve yakın çevresinde 2000-2020 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4$ depremler (AFAD 2020).	25
Şekil 3.1 Uydu bazlı konum belirleme teknikleri.	26
Şekil 3.2 RINEX dosyasının başlık bölümü.	31
Şekil 3.3 station.info dosyası içeriği.	32
Şekil 3.4 sites.defaults dosyası içeriği.	32
Şekil 3.5 lfile. Dosyası içeriği.	33
Şekil 3.6 GAMIT/GLOBK klasör yapısı ve düzenlenecek dosyalar.	34
Şekil 3.7 tables klasörü içeriği.	35
Şekil 3.8 HMDY noktasına ait günlük tekrarlılık grafiği.	38
Şekil 3.9 DEMR noktasına ait yıllık tekrarlılık grafiği.	40
Şekil 3.10 Hız dosyası içeriği.	42
Şekil 3.11 Gerinim elipsi (Doğan 2002).	45
Şekil 3.12 GeodSuit yazılımı arayüzü.	46
Şekil 3.13 GeodSuit gridleme ekranı ve strain (gerinim) işlemleri menüsü.	47
Şekil 3.14 GeodSuit blok işlemleri menüsü.	49
Şekil 4.1 Çalışma bölgesi (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler).	53

Şekil 4.2 Önceki çalışmalarda kullanılan noktaların coğrafi dağılımı (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).	55
Şekil 4.3 İBTZ boyunca oluşturulmuş olan GNSS Ağı (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).	56
Şekil 4.4 Arazide istasyon kurulumu sırasında yapılan çalışmaların görüntüleri.	58
Şekil 4.5 BUKR ve IZMI noktalarının günlük tekrarlılık grafikleri.	64
Şekil 4.6 TRGT ve EGM2 noktalarının yıllık tekrarlılık grafikleri.	65
Şekil 4.7 Ham verisi olan 60 noktadan üretilen Avrasya sabit ITRF2008 hızlar (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları, mavi oklar: hızlar, siyah elipsler: hız doğrulukları).	66
Şekil 4.8 Hız bileşenlerinin doğrulukları.	67
Şekil 4.9 Dönüşmüş hızlara ait doğruluklar.	68
Şekil 4.10 Birleşmiş hız alanı (siyah düz çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı kıvrımlı çizgiler: diri faylar, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, mavi oklar: hızlar, siyah elipsler: hız doğrulukları).	69
Şekil 4.11 İBTZ ve çevresindeki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).	74
Şekil 4.12 Çalışma bölgesinin sol üst kısmındaki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).	76
Şekil 4.13 Çalışma bölgesinin sol alt kısmındaki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).	77
Şekil 4.14 Çalışma bölgesinin sağ alt kısmındaki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler:	

diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).....	78
Şekil 4.15 Çalışma bölgesinin sağ üst kısmındaki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).....	79
Şekil 4.16 İBTZ ve çevresindeki diri fayların üzerindeki güncel gerinimler (kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).	82
Şekil 4.17 Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006) gerinim alanı.	86
Şekil 4.18 Aktuğ vd. (2009) gerinim alanı.	87
Şekil 4.19 Özener vd. (2012) gerinim alanı.	89
Şekil 4.20 Çalışma bölgesinde 1900-2020 yılları arasında meydana gelen $M \geq 5$ depremlerin odak mekanizma çözümleri.....	90
Şekil 4.21 2006 öncesi $M \geq 4.5$ deprem odak çözümleri ve gerinim alanı.	94
Şekil 4.22 2006-2020 yılları arası $M \geq 4.5$ deprem odak çözümleri ve gerinim alanı...	97
Şekil 4.23 2006-2020 yılları arası $M \geq 4.5$ deprem odak çözümleri ve gerinim alanı...	98
Şekil 4.24 2006-2020 yılları arası $M \geq 4.5$ deprem odak çözümleri ve gerinim alanı...	99
Şekil 4.25 Aletsel dönemde meydana gelen depremlerin derinlikleri (Yeşil nokta: $M \geq 4$, Mavi nokta: $M \geq 5$, Kırmızı nokta: $M \geq 6$).	100
Şekil 4.26 Blok çözümü ve ortalama blok hızları (Reilinger vd. (2006)).	101
Şekil 4.27 Blok çözümü ve ortalama blok hızları (Aktuğ vd. (2009)).	103
Şekil 4.28 NALL-MIHA-YUNA-YUNK sabit göreceli hızlar (Anadolu Plakası).	104
Şekil 4.29 Önerilen blok model ve ortalama blok hızları (mm/yıl).	105
Şekil 4.30 Blok 1 sabit göreceli hızlar (mm/yıl).	106
Şekil 4.31 Blok 2 sabit göreceli hızlar (mm/yıl).	107
Şekil 4.32 Blok 3 sabit göreceli hızlar (mm/yıl).	107
Şekil 4.33 Blok 4 sabit göreceli hızlar (mm/yıl).	108
Şekil 4.34 Blok 5 sabit göreceli hızlar (mm/yıl).	109
Şekil 4.35 Blok 6 sabit göreceli hızlar (mm/yıl).	109
Şekil 4.36 Önerilen blok model çözümü.	112
Şekil 4.37 $M \geq 5.5$ deprem tekrarlama periyodu ($\log_{10}$).	118

Şekil 4.38 $M \geq 6$ deprem tekrarlama periyodu ($\log_{10}$).....	119
Şekil 4.39 $M \geq 6.5$ deprem tekrarlama periyodu ($\log_{10}$).....	120
Şekil 4.40 $M \geq 7$ deprem tekrarlama periyodu ($\log_{10}$).....	121



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1 İBTZ içerisinde yer alan faylar ve üretebilecekleri maksimum deprem büyüklükleri (Emre vd. 2016, Duman vd. 2017).....	21
Çizelge 3.1 GAMIT girdileri.....	33
Çizelge 3.2 GAMIT veri değerlendirme komutları.....	34
Çizelge 3.3 GLOBK tekrarlılık ve hız üretme komutları.....	39
Çizelge 4.1 Bölgede mevcutta yer alan ve ölçüsü olan noktalar.....	57
Çizelge 4.2 GNSS ölçüleri için kullanılan ekipmanlar.....	58
Çizelge 4.3 2018 ve 2019 kampanyaları ve toplam kampanya sayısı.....	59
Çizelge 4.4 GNSS ölçü stratejisi.....	59
Çizelge 4.5 Ölçü yapılan/verisi temin edilen noktalar ve toplam kampanya sayıları....	60
Çizelge 4.6 Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları.....	62
Çizelge 4.7 GAMIT değerlendirme stratejisi.....	63
Çizelge 4.8 Birleşmiş hızlar ve doğrulukları (mm/yıl).....	70
Çizelge 4.9 Aletsel dönemde bölgede meydana gelen $M \geq 4.5$ depremlerin odak çözümleri.....	91
Çizelge 4.10 Artık hızlar ve hataları (mm/yıl).....	114
Çizelge 4.11 Jeolojik-Jeodezik deprem tekrarlama periyotları ve potansiyel deprem büyüklükleri.....	123
Çizelge 4.12 Gökçeyazı ve Ovacık segmentlerinde açığa çıkan enerji ve deprem büyüklüğü ilişkisi.....	125

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesiyle birlikte bilimin her alanında değişim ve gelişim süreci başlamıştır. Jeodezi bu gelişmelerden en çok etkilenen ve faydalanan disiplinler arasındadır. Uzun süreli Global Navigation Satellite System (GNSS) ölçüleri ile kısa sürede elde edilen yüksek konum doğruluğu, bu bilginin ihtiyaç duyulan birçok alanda kullanılmasının önünü açmış ve jeodezinin tüm disiplinler içerisindeki önemini arttırmıştır. Yer bilimleri günümüzde bu bilginin en çok kullanıldığı alanlardan biridir (Poyraz 2009, Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012).

GNSS teknolojisinin etkin olarak kullanılmaya başlanması ile birlikte yapılarda ve yer kabuğunda deformasyon belirleme çalışmaları hız kazanmıştır (McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Yavaşoğlu vd. 2011, Tiryakioğlu 2012, Solak 2015, Tiryakioğlu vd. 2018). Diri (aktif) fayların çevresine uygun geometri ile fayı en iyi temsil edecek deformasyon ağlarının kurulması ve izlenmesi yöntemiyle elde edilen GNSS hızları sayesinde ölçüm yapılan bölgeye ait gerinim alanları belirlenebilmektedir. Bu gerinimler yardımıyla depremin zamanı tam olarak belirlenemese de olası deprem yerleri ve fayların deprem tekrarlama periyotları tahmin edilebilmektedir (Aktuğ 2017).

Batı Anadolu, tektonik açıdan karmaşık bir yapıya sahip olup dünyada sismik olarak en aktif ve hızla genişleyen önemli bölgelerden biridir (Blumenthal 1963, Brunn vd. 1971, Jackson ve McKenzie 1984, Poisson 1984, 1990, Macoux 1987, Kissel vd. 1993, Frizon vd. 1995). Bölge aktif tektonik yapısı nedeniyle tarihsel ve aletsel dönemde sürekli olarak değişen büyüklüklerde depremlere maruz kalmış olup içerisinde halen deprem üretme potansiyeli bulunan çok sayıda diri faya sahiptir (İnt.Kyn.1,İnt.Kyn.2). Çalışma bölgesi Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından 2019 yılında güncellenen Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre yüksek deprem tehlikesi içeren bölgeler arasındadır (AFAD 2020).

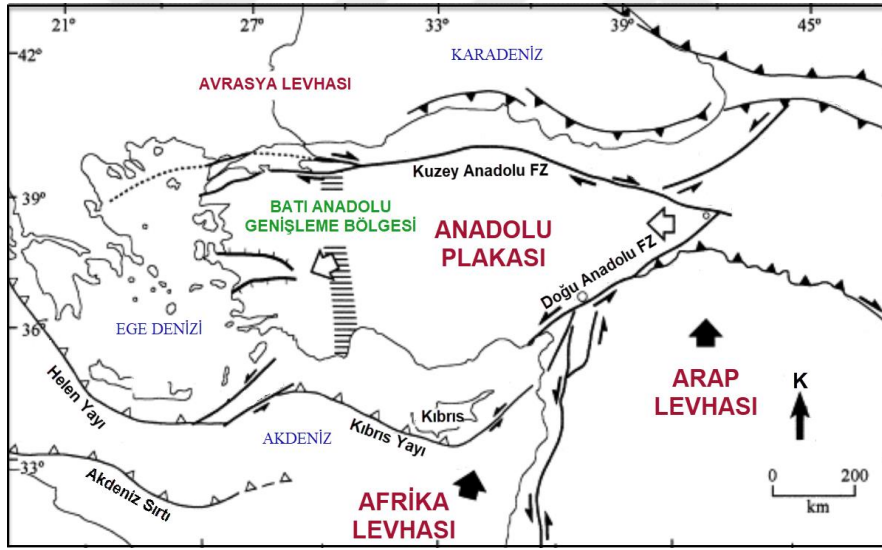
Son yıllarda Batı Anadolu'da yapılan çalışmalarda doğrultu atımlı fayların baskın olduğu bir makaslama zonu olan ve KD-GB yönlü İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) kıtasal ölçekli bir zayıflık zonu olarak tanımlanmış ve GNSS çalışmalarıyla

takip edilmesi gerektiği vurgulanmıştır (Sözbilir vd. 2003a, 2003b, Özkaymak ve Sözbilir 2008, Uzel ve Sözbilir 2008, Sözbilir vd. 2011, Özkaymak vd. 2013). Bölge jeolojisi ve bölgenin depremselliği incelendiğinde bölgede tektonik aktivitenin yüzyıllardır devam ettiği ve enerji birikiminin sürdüğü değerlendirilmektedir. Bölgede gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar incelendiğinde İBTZ sınırları içerisinde kapsamlı sayılabilecek son jeodezik çalışmanın Aktuğ vd. (2009) tarafından yapıldığı ve genel olarak diğer çalışmaların bölgenin güney kısmında yoğunlaştığı görülmüştür (Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, Özener vd. 2013, Çırmık vd. 2017, Kavak 2020). Kuzey tarafını içeren çalışmalarda ise nokta sayısı ve sıklığının bölgenin tektonik yapısını ve kinematiğini ifade edebilecek yoğunlukta olmadığı gözlenmiştir (McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009).

Bu tez çalışması kapsamında jeodezik olarak yeterli veri bulunmayan İBTZ'nin kuzey kısmına odaklanılmış ve toplamda 62 noktalık bir ağ oluşturulmuştur. Ağda yer alan noktaların en eskisi 2006 yılında olan eski ölçüleri çeşitli kurum ve kuruluşlardan temin edilmiş ve ihtiyaç duyulan noktalarda 2018-2019 yıllarında 2 GNSS kampanyası gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiş ve bölgenin hız alanı üretilmiştir. Bu hız alanı ile önceki çalışmalarda yayımlanan GNSS hızları birleştirilerek İBTZ ve yakın çevresini kapsayan 111 noktalık kapsamlı bir hız alanı oluşturulmuştur. Elde edilen hız alanı yardımıyla GeodSuit yazılımı kullanılarak bölgenin gerinim alanı ve $M_w \geq 5.5$, $M_w \geq 6$, $M_w \geq 6.5$ ve $M_w \geq 7$ büyüklüğündeki depremler için jeodezik deprem tekrarlama periyotları belirlenmiştir. Jeodezik gerinimlerden yararlanarak depremsizlik süresi bilinen faylara ait potansiyel deprem büyüklükleri belirlenmiştir. Son olarak önceki çalışmalarda önerilen blok modeller test edilmiş ve bölgeye dair yeni bir blok model geliştirilmiştir.

2. BATI ANADOLU VE İBTZ TEKTONİĞİ

Anadolu plakası dünyanın en önemli 3 deprem kuşağından biri olan Alp-Himalaya tektonik kuşağı içerisinde yer almaktadır. Bu kuşak Afrika, Arap ve Hindistan plakalarının kuzeye doğru hareket ederek Avrasya plakası ile çarpışması sonucunda dağ oluşumu şeklinde meydana gelmiştir. Kıtasal ölçekte gerçekleşen bu çarpışmanın sonucunda “tektonik kaçma modeli” olarak tanımlanan bir tektonik rejim meydana gelmiştir. Bu modele göre Anadolu plakası Avrasya ve Arap plakalarının yaklaşma hareketi neticesinde saatin tersi yönünde, Helen ve Kıbrıs yayına doğru hareket etmektedir. Bu hareketin sonucu olarak Batı Anadolu yaklaşık K-G yönlü genişleme rejimi sergilemektedir (Şekil 2.1) (Blumenthal 1963, Brunn vd. 1971, Jackson ve McKenzie 1984, Poisson 1984, 1990, Macoux 1987, Kissel vd. 1993, Frizon vd. 1995, Şengör 1979, Barka 1999, Bozkurt 2001, Sözbilir vd. 2012).



Şekil 2.1 Türkiye'nin başlıca neotektonik yapıları (Bozkurt vd. 2001).

Tektonik kaçma modeline ek olarak “yay ardı açılma modeli”ne göre Afrika levhası Girit yayı boyunca kuzeye dalmış ve buna bağlı olarak Ege Bölgesi'nde kabuksal gerilme meydana gelmiştir (Le Pichon ve Angelier 1979, Meulenkaamp vd. 1988, Jackson ve Mckenzie 1988). Dewey (1988) ve Seyitoğlu ve Scott (1991) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda Batı Anadolu horst-graben sisteminin oluşumu “orojenik çökme modeli” olarak tanımlanmıştır.

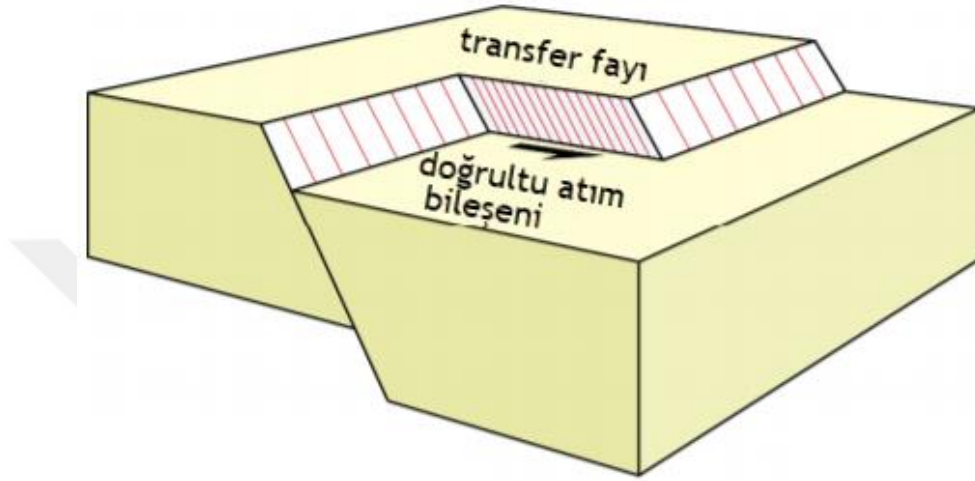
Batı Anadolu içerisinde çok sayıda tektonik oluşumu barındıran karmaşık bir yapıya sahip olup dünyada sismik olarak en aktif ve hızla genişleyen en önemli bölgelerden biridir (Şekil 2.1) (Dewey ve Şengör 1979, Şengör ve Yılmaz, 1981, Jackson ve McKenzie 1984, Şengör vd. 1985, Eyidoğan ve Jackson 1985, Şengör 1987, Seyitoğlu ve Scott 1992, Bozkurt 2001). Bölge karmaşık tektonik yapısı nedeniyle geçmişten günümüze sürekli olarak değişen büyüklüklerde depremlere maruz kalmış olup içerisinde halen deprem oluşturma potansiyeli bulunan çok sayıda tektonik yapıyı barındırmaktadır. Bölge ortalama 30-40 mm/yıllık hızlarla güneybatıya doğru hareket etmekte ve yaklaşık K-G yönlü olarak genişlemektedir (Oral vd. 1995, Le Pichon vd. 1995, Reilinger vd. 2006, McClusky vd. 2000). Kıtasal kabuk üzerinde yer alan ve genişleme rejimi etkisinde şekil değiştiren bölgelerde genişleme doğrultusuna dik uzanımlı olarak çöküntü alanları (graben ve kıtasal rift gibi) meydana gelebilmektedir. Bu tür alanlarda gerilmenin bir bölümü genişleme doğrultusuna paralel/oblik gelişen zayıflık zonlarıyla karşılanmaktadır (Sözbilir vd. 2012).

Batı Anadolu'da yaklaşık K-G yönlü bu genişleme rejimine bağlı olarak yaklaşık D-B yönlü birçok graben oluşmuştur (Philippson 1915, Ketin 1968, McKenzie 1978, Dewey ve Şengör 1979, Şengör 1982, 1987, Jackson ve McKenzie 1984, Şengör vd. 1984). Bunlardan en önemlileri Gediz, Büyük Menderes ve Küçük Menderes grabenleridir. Bununla birlikte yaklaşık K-G ve KD-GB uzanımlı, normal bileşeni olan doğrultu atımlı faylar da bölge tektoniği açısından önem arz etmektedir. Son yıllarda Batı Anadolu'da yapılan çalışmalarda ise Ege genişleme sistemindeki Kikladik ile Menderes Masifi arasındaki farklı deformasyonu karşılayan ve doğrultu atımlı fayların baskın olduğu bir makaslama zonu olan İBTZ kıtasal ölçekli bir zayıflık zonu olarak tanımlanmıştır (Sözbilir vd. 2003a, 2003b).

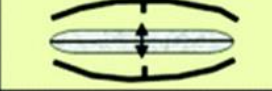
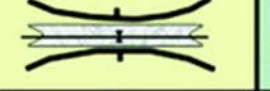
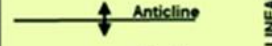
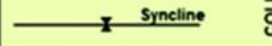
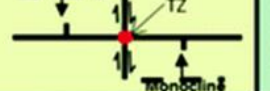
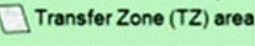
2.1 Transfer Zonu

Fay üzerindeki hareketin fay doğrultusuna paralel, eğim yönüne dik olduğu faylar doğrultu atımlı faylar olarak tanımlanmaktadır. Aynı karakterdeki faylar için bulundukları ortam özelliklerine göre çeşitli terimler (Transform, Yırtılma, Transfer, Burulma vb.) kullanılmaktadır. Yırtılma ve transfer fayları yaklaşık aynı özelliklere

sahip olup, sırası ile bindirme ve normal fay sistemlerinde gelişen sığ doğrultu atımlı faylardır. Transfer fayları iki normal fayı birleştiren ve normal hareketi bir faydan diğerine aktaran (karşılayan, transfer eden) doğrultu atımlı faylardır (Şekil 2.2). Bu nedenle tavan bloktaki listrik faylar ve monoklinal kıvrımlar, transfer zonlarıyla bağlantılı tipik yapılardır (İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4, İnt.Kyn.5).



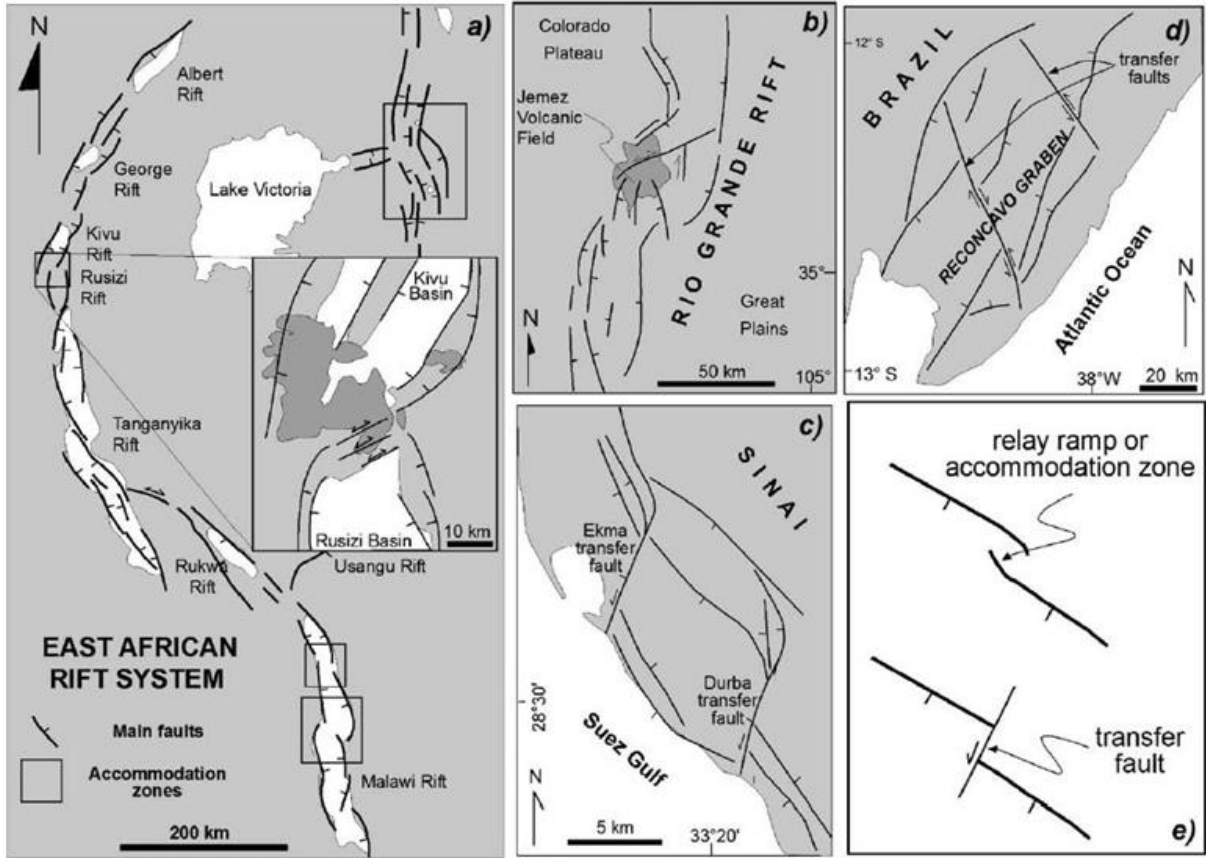
Şekil 2.2 Transfer Fayı (İnt.Kyn.4).

	CONJUGATE		SYNTHETIC
	Convergent	Divergent	
yaklaşan			
çakışan			
kolateral			
	 Anticline  Syncline COLLINEAR	 TZ Monocline	 Normal Fault Fault tip  Transfer Zone (TZ) area

Şekil 2.3 Conjugate ve synthetic transfer zonları (Dasgupta 2019).

İnterbasin ve intrabasin transfer zonu terimlerinin, transfer zonlarının büyüklüğünü tanımlaması önerilmiştir. İnterbasin transfer zonları genellikle büyük sınır geçişleri ile

ilgilendir ve interbasin sırtları, geniş faylı yükseklikler veya büyük aktarım rampaları olabilir. Tüm bunlar rift sistemi üzerinde büyük etkiye sahiptir. Intrabasin transfer zonları, interbasin transfer bölgelerinin kısıtlamaları içindedir ve normalde daha küçük bir büyüklük sırasına sahiptir. Transfer zonları, fay eğim yönlerine göre sentetik (synthetic) veya konjugat (conjugate), deformasyon stillerine göre yaklaşan (convergent) veya uzaklaşan (divergent) olarak tanımlanabilir (Şekil 2.3) (İnt.Kyn.5).



Şekil 2.4 Dünyada transfer fayı ve zonu örnekleri (Acocella vd. 2005).

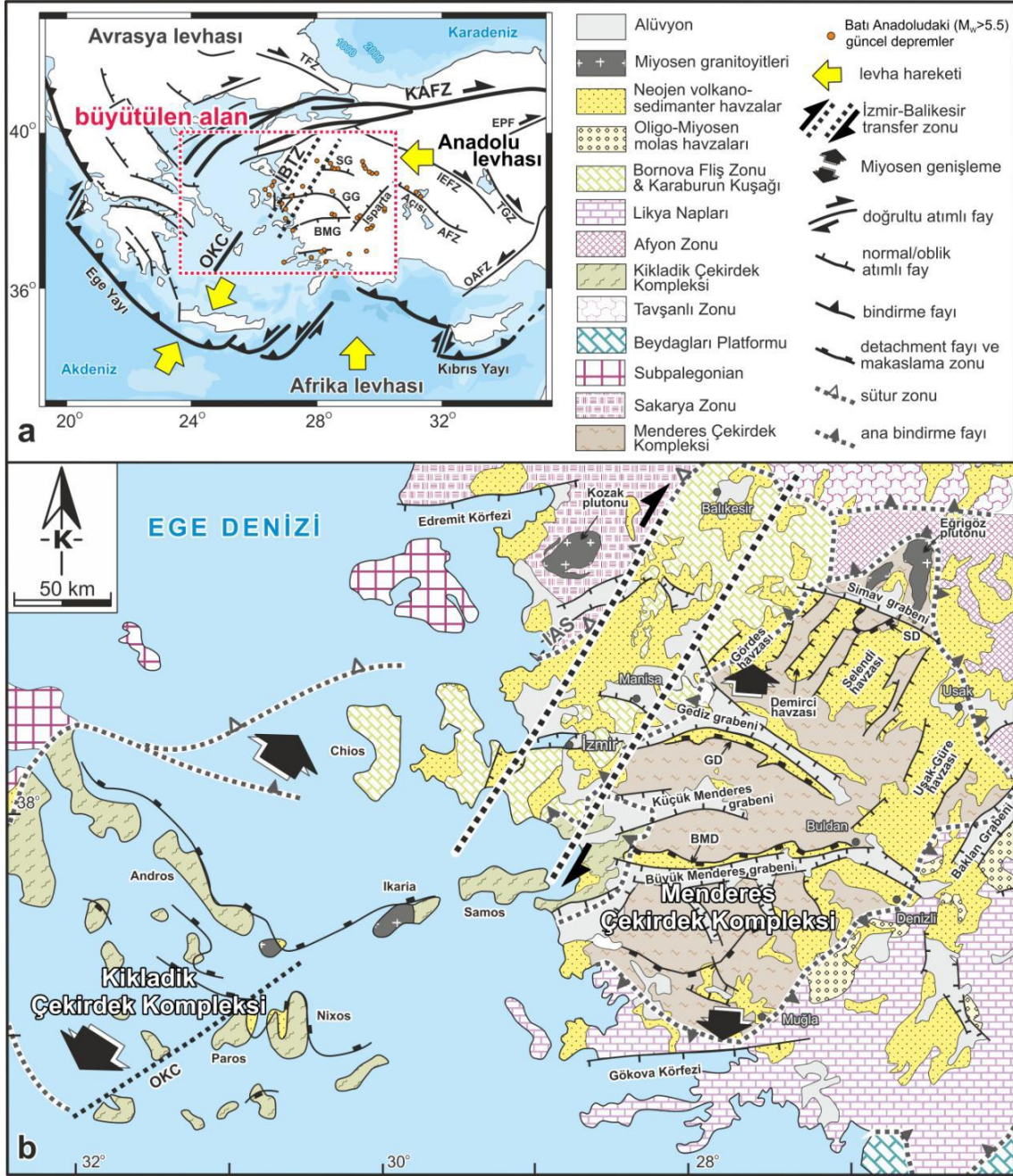
Transfer fayları ve zonları, bitişik bloklarda diferansiyel yer değiştirme ve/veya gerinimi barındırabilen yanal rampalardır. Bindirme ve normal fayların kayma yönüne yüksek bir açıyla hareketi varsayılarak, iki bindirme veya normal fayı birbirine bağlayan transfer fayları hareket yönüne neredeyse paraleldir. Buna bağlı olarak eğer transfer zonu boyunca yer değiştirme değişirse transfer faylarının doğrultu atım bileşenleri meydana gelir. Transfer zonları genellikle diğer faylar ya da yapılarla bağlantılı oldukları sınırlarda sonlanır. Transfer zonları normal olarak genişleme

ortamlarında bulunduğundan Doğu Afrika Rift Sistemi (East African Rift System), Süveyş Körfezi Rift Sistemi (Gulf of Suez Rift System) vb. bölgelerde çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir (Şekil 2.4) (Acocella vd. 2005, İnt.Kyn.3, İnt.Kyn.4, İnt.Kyn.5).

2.2 İzmir Balıkesir Transfer Zonu

İzmir, Manisa ve Balıkesir civarında son yıllarda meydana gelen depremler bölgenin baskın olarak doğrultu atımlı fayların kontrolünde geliştiğini göstermektedir. Bu durum bölgesel ölçekte İzmir (Gümüldür) ve Balıkesir (Bigadiç) arasında bir transfer zonunun varlığıyla açıklanmaktadır. Bu zon İBTZ olarak tanımlanmış olup KD-GB doğrultusunda yaklaşık 150 km uzunluğunda ve 20 km genişliğindedir (Şekil 2.5). İBTZ normal faylar ile baskın olan Batı Anadolu Genişleme Bölgesi (BAGB) ile doğrultu atımlı faylar ile baskın olan Kuzey Ege Bölgesi (KEB) arasındaki yapısal sınırı oluşturmaktadır. (Sözbilir vd. 2003a, 2003b, Sözbilir vd. 2004, Emre vd. 2005, Sözbilir vd. 2005, Uzel ve Sözbilir, 2008, Özkaymak ve Sözbilir, 2008, Sözbilir vd. 2008, Sözbilir vd. 2009, Uzel vd. 2012).

Bu zonun farklı zamanlarda aktif hale gelerek Batı Anadolu kabuğunun sürekli deformasyona uğramasına ve şekil değiştirmesine neden olduğu çeşitli araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir (Ring vd. 1999, Sözbilir vd. 2003a, 2003b, Uzel ve Sözbilir 2008, Özkaymak ve Sözbilir 2008, Sözbilir vd. 2008). Zon içerisinde kalan fay düzlemleri üzerinde birbirini kesen fay çizikleri yer almaktadır. Bu durum zon içerisinde kalan fayların, oluşumundan bu yana Anadolu ve Afrika levhalarındaki gerilim değişimlerine bağlı olarak farklı zamanlarda farklı fay türü şeklinde (hem sağ hem de sol yönlü doğrultu atımlı fay zonu) çalıştığını göstermektedir (Bozkurt ve 2006, Özkaymak ve Sözbilir 2008, Sözbilir vd. 2009, Sözbilir vd. 2011, Özkaymak vd. 2013, Uzel vd. 2013).



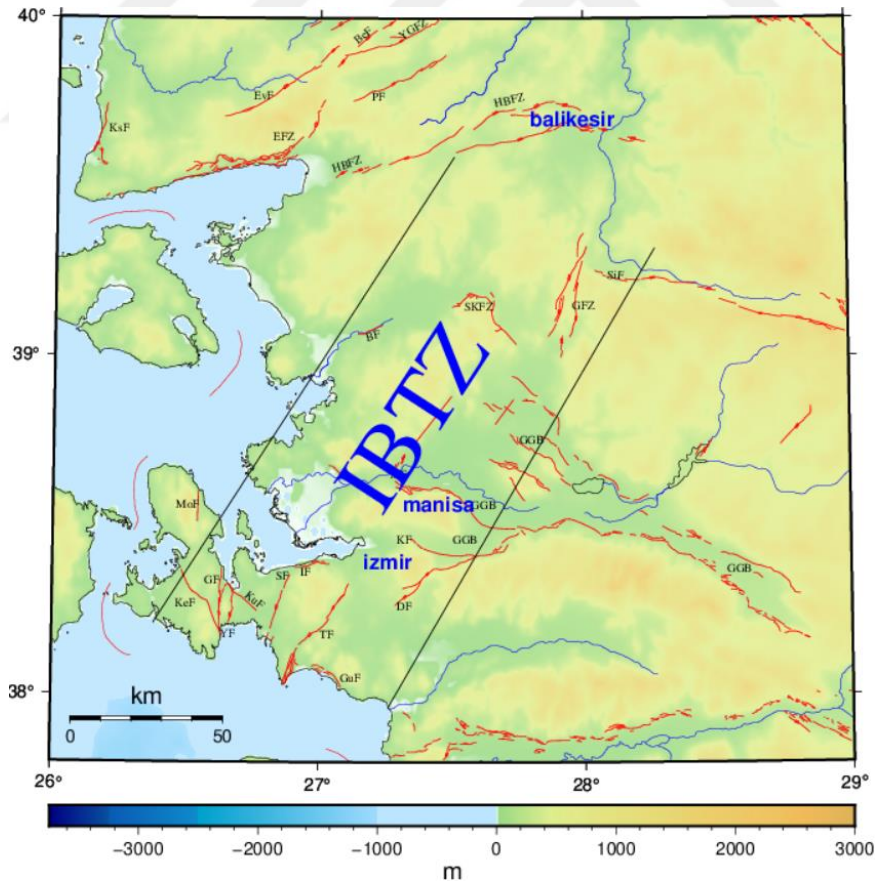
Şekil 2.5 İBTZ'nin Batı Anadolu içindeki yeri (Sözbilir vd. 2011, Uzel vd. 2012).

Batı Anadolu'daki en büyük yeniden aktif olan yapı olup İBTZ içinde ve çevresinde yakın dönemde $M \geq 4$ olan 100'den fazla deprem meydana gelmiştir (AFAD). Sözbilir vd. (2009), bu depremler göz önüne alındığında, fayların birbirlerinin etkisi altında olduğu ve 1992'den beri kırılan bu fayların üzerinde oluşan depremlerin doğudan batıya doğru gelişen bir enerji transferi şeklinde göç ettiğinin değerlendirilebileceğini ifade

etmiştir. Bununla birlikte aletsel dönemde bölgede büyük depremlerin meydana gelmemiş olması bölgede sismik bir boşluk olabileceğini göstermektedir.

2.2.1 Çalışma Bölgesinde ve Çevresinde Yer Alan Diri Faylar

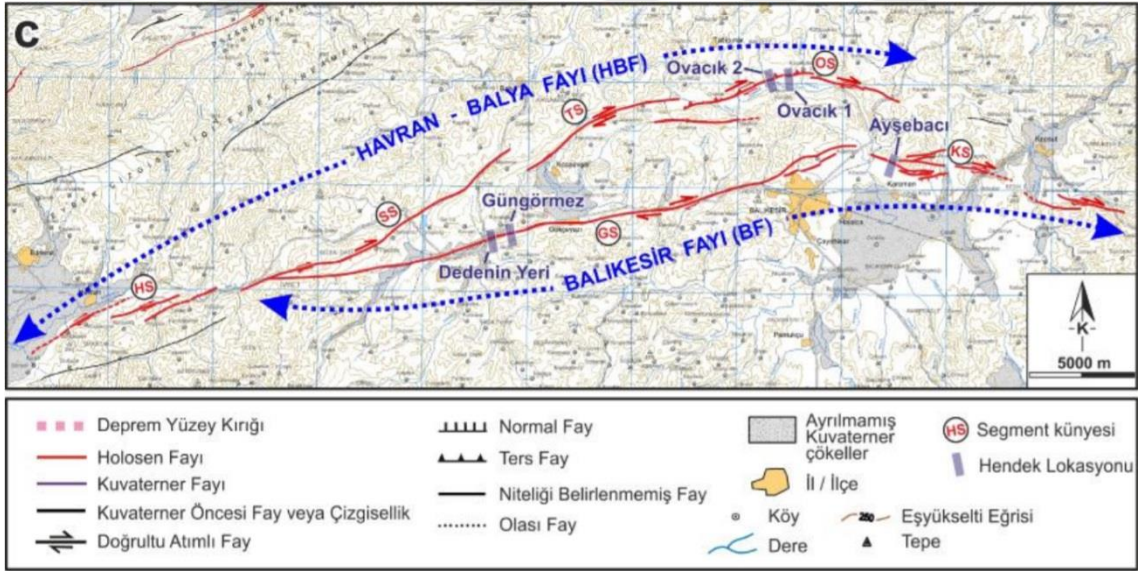
İBTZ sınırları içerisinde bazıları yakın zamanda deprem üretmiş birçok diri fay bulunmaktadır. Bu faylardan Manisa-Balıkesir arasında olanlar kuzeyden güneye Havran-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ), Gelenbe Fay Zonu (GFZ), Soma-Kırkağaç Fay Zonu (SKFZ), Bergama Fayı (BF) ve Gediz Grabeni (GGB)'dir (Şekil 2.6). İzmir bölgesinde ise doğudan batıya Gümüldür Fayı (GuF), Tuzla Fayı (TF), İzmir Fayı (IF), Seferihisar Fayı (SF), Kuşçular Fayı (KuF), Yağcılar Fayı (YF), Gülbahçe Fayı (GF): Kenelidağ Fayı (KeF) ve Mordoğan Fayı (MoF) yer alır (Emre vd. 2005, Emre vd. 2016, İnt.Kyn.1, Ulutaş 2019). Bu faylar aşağıda sırasıyla açıklanmıştır. Bölgede yer alan faylar (kırmızı çizgiler) Şekil 2.6'da verilmiştir.



Şekil 2.6 İBTZ sınırları içerisinde ve çevresinde yer alan diri faylar (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler).

Havran-Balıkesir Fay Zonu

Edremit'in doğusunda yer alan Havran-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ), Balıkesir'e kadar KKD–GGB yönünde uzanır. Edremit ile Balıkesir arasındaki alanda haritalanan 2-5 km uzunluğa ve 100-120 km genişliğe sahip, yaklaşık K70°D uzanımlı, kuzeydoğu ve güneybatıya eğimli 2 ana fay ve 6 segmentten oluşur. Ana faylardan biri Havran-Balya Fayı olup Havran, Osmanlar, Turplu ve Ovacık segmentlerinden oluşur. Bu segmentlerden Ovacık oblik atımlı iken diğer segmentler doğrultu atımlıdır. Diğer ana fay olan Balıkesir fayı ise Gökçeyazı ve Kepsut segmentlerinden oluşur. Doğrultu atımlı bir faydır (Şekil 2.7) (Sözbilir vd. 2016c).



Şekil 2.7 Havran-Balıkesir Fay Zonu (Sözbilir vd. 2016c).

Gelenbe Fay Zonu

Bigadiç ve Akhisar arasında KKD-GGB yönlü uzanan ve toplam 45 km uzunluğunda olan faylar Gelenbe Fay Zonu (GFZ) olarak adlandırılmış olup doğrultu atımlıdır (Şaroğlu vd. 1987, 1992). Bu zon birbirine paralel 2 ana faydan oluşmaktadır. (Emre vd. 2011b) tarafından fay geometrisi dikkate alındığında zondaki iki fay segmentinin birbirinden bağımsız depremler üretebileceği ifade edilmiştir. Zonun aletsel dönemde küçük ve orta büyüklükte deprem ürettiği bilinmektedir (Şekil 2.6) (Sözbilir vd. 2020a).

Soma – Kırkağaç Fay Zonu

Soma – Kırkağaç Fay Zonu (SKFZ), Soma ve Kırkağaç ilçe merkezlerinden geçen ve Soma'nın güneyinde yer alan Köseadağı yükseltisini kuzeyden ve doğudan sınırlayan toplam uzunluğu yaklaşık 40 km olan geniş bir fay zonu olarak tanımlanmıştır. Soma civarında 18.11.1919'da meydana gelen Ms:6.88 büyüklüğündeki Soma depremi ve 28.10.1942'de meydana gelen Ms:6.03 büyüklüğündeki Kırkağaç depremlerinin bu zon ile bağlantılı olduğu ifade edilmektedir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) diri fay haritalarına göre normal faylanma yapısına sahiptir (Şekil 2.6) (Emre vd. 2013, Sözbilir vd. 2020a, İnt.Kyn.1). Sözbilir vd. (2020) 22.01.2020 tarihinde Akhisar civarında meydana gelen depremin Kırkağaç fayından kaynaklanmış olabileceğini ifade etmiştir.

Kaleköy Fay Zonu

Manisa'nın Akgedik ile kuzeydoğudaki Çaltepe mahalleleri arasında uzanan ve yaklaşık 30 km uzunluğa ve 5 km genişliğe sahip doğrultu atımlı fay zonu Kaleköy Fay Zonu (KaFZ) olarak tanımlanmıştır. Zon KD-GB (ortalama K30°D) uzanımlı, çizgisel gidişli ve sağa sıçramalı doğrultu atımlı fay segmentlerinden oluşur ve Manisa havzasını batıdan, Yuntadağı volkanik kayalarını doğudan sınırlar (Şekil 2.6) (Özkaymak 2012).

Bergama Fayı

Bergama Fayı (BF), DKD uzanımlı olup, Bergama ilçe merkezinin 3 km güneyinde ve yaklaşık 10 km uzunluğundadır. Normal faylanma yapısındadır (Şekil 2.6) (İnt.Kyn.1).

Menemen Fayı

Menemen Fayı (MeF), Menemen ilçesinin 5 km kuzeyinde olup GD uzanımlı ve yaklaşık 8 km uzunluğundadır. Normal faylanma yapısına sahiptir (Şekil 2.6) (İnt.Kyn.1).

Gediz Grabeni Fay Sistemi

Gediz Grabeni (GGB), yaklaşık 150 km uzunluğunda ve BKB-DGD uzanımlıdır. Doğuda Sarıgöl ilçesinden başlar ve Salihli ilçesine kadar tek kol olarak gelir ve sonrasında 3 kola ayrılır. Bu kollar güneyde Kemalpaşa Havzası, kuzeyde Gölarmara Havzası ve bu iki havza arasında ise Manisa havzasıdır. Graben doğuda 10 km genişliğindeyken batıda kuzey ve güney havzaları arası yaklaşık 60 km'dir. Gediz grabeni içerisinde çok sayıda fay barındırır. Bunlar Manisa Fay Zonu (MFZ), Ozanca Fay Zonu (OFZ), Akselendi Fay Zonu (AFZ), Gölarmara Fay Zonu (GoFZ), Dağkızılca Fayı ve Kemalpaşa Fayı olarak tanımlanmıştır (Şekil 2.6) (Emre vd. 2005, Özkaymak ve Sözbilir, 2008, Özkaymak vd. 2011, 2013, Özkaymak 2012, Emre vd. 2016).

İzmir Fay Zonu

Yaklaşık 40 km uzunluğundaki İzmir Fay Zonu (İFZ) normal faylanma yapısına sahip olup, İzmir Körfezi'nin güney sınırı boyunca devam eder ve Seferihisar yükseltisini kuzeyden sınırlar. Fay doğuda Kavaklıdere mahallesinin hemen güneyinden başlar ve Üçkuyular'a doğru devam eder. Burada yaklaşık D-B uzanımlı olan İzmir Fayı'na ait fay segmentleri batıda Balçova ve Narlıdere'ye doğru devam ederek önce BKB-DGD, sonra da BGB-DKD uzanımlı olarak Güzelbahçe'ye ulaşır. Zonun batıdaki 7 km'lik kısmı holosen fay olarak tanımlanmış olup İzmir Fayı (İF) olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2.8) (Emre ve Barka 2000, Sözbilir vd. 2012, Uzel vd. 2012).

Seferihisar Fayı

Seferihisar Fayı (SF), Sığacık Körfezi ile İzmir Körfezi arasında uzanır ve Seferihisar Yükseltisinin batı sınırını oluşturur. Fay zonunun karadaki uzunluğu yaklaşık 23 km olup, su altındaki uzantısı ile birlikte toplam uzunluğu 30 km civarındadır (Şekil 2.8) (Sözbilir vd. 2003, İnci vd. 2003; Ocakoğlu vd. 2004, 2005, Emre vd. 2005). 2003 yılında meydana gelen Mw:5.7 büyüklüğündeki Seferihisar depremi, bu fay zonunun günümüzde de aktif olduğuna ve bu aktivitenin sağ yönlü doğrultu atımlı fay niteliğinde

geliştiğini göstermektedir (Kaya 1979, Tan ve Taymaz 2003, Akyol vd. 2006, Zhu vd. 2006, Sözbilir vd. 2012)

Gölbahçe Fay Zonu

Gölbahçe Fay Zonu (GFZ) İzmir Körfezi ve Kuşadası Körfezi arasında çok sayıda fay parçasından meydana gelmekte ve Urla havzası ve Karaburun bloğunun yapısal sınırını oluşturmaktadır. Gölbahçe Körfezi'ni yaklaşık K-G doğrultusunda geçen fay zonu, Mordoğan'dan kuzeye doğru KKB-GGD doğrultusuna döner (Şekil 2.7). Zon sağ yönlü doğrultu atımlı karaktere sahiptir. Bu zon 2006 yılında yüzey kırığı oluşturan Mw:5.9 büyüklüğünde bir deprem üretmiştir (Emre vd. 2005, Ocakoğlu vd. 2005, 2006, Sözbilir vd. 2012, Ulutaş 2019).

Yağcılar Fayı

GF'ye paralel olarak gelişen ve Yağcılar köyünün batısında yer alan Yağcılar Fayı (YF) sağ doğrultu atımlı karakterde ve yaklaşık K-G doğrultusundadır. Fayın karadaki uzunluğu yaklaşık 12 km'dir (Sözbilir vd. 2012, Emre vd. 2016).

Kenelidağ Fayı

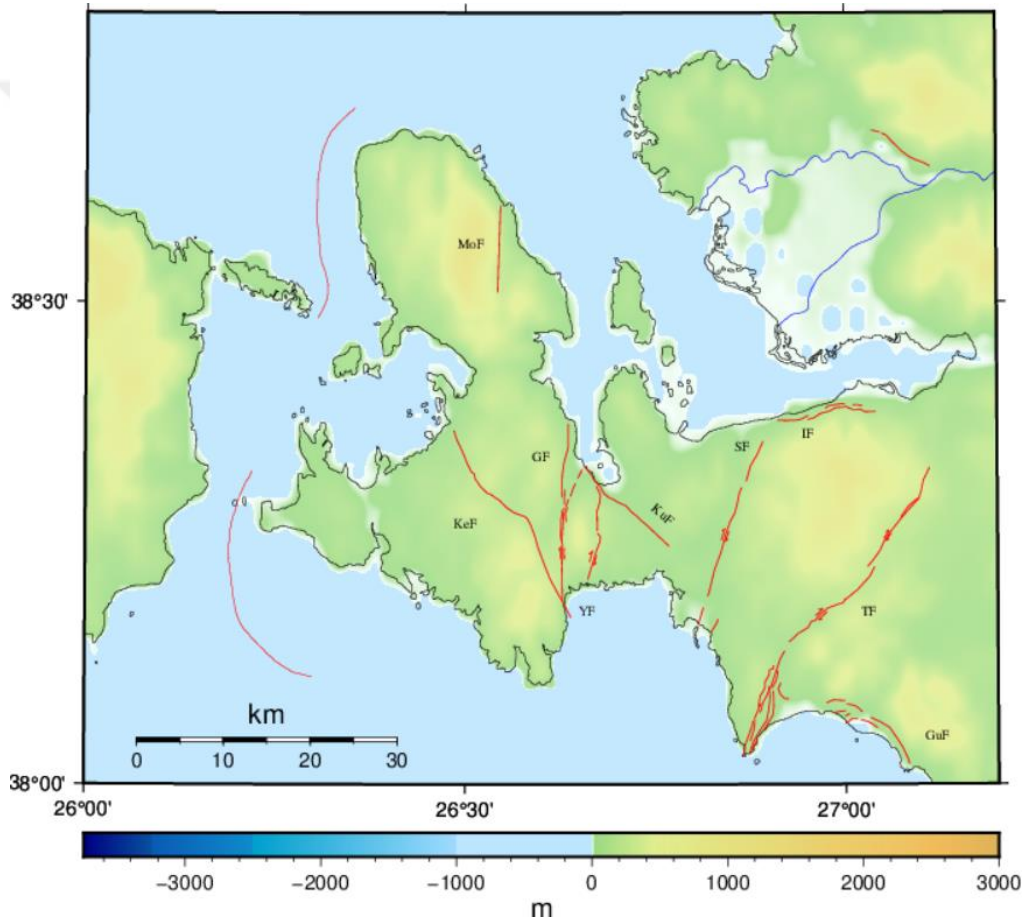
GFZ'nin batısında yer alan ve Karaburun Yarımadasını iki mikro plakacığa bölen KB-GD uzanımlı olan Kenelidağ Fayı (KeF), Ildırı ve Sığacık koyları arasında ve yaklaşık 22 km uzunluğundadır. Fay sol doğrultu atımlı faylanma yapısına sahiptir (Ulutaş 2019).

Kuşçular Fayı

YF ile SF arasında ve YF'nin Gölbahçe körfezi ile sınırından SF'nin güneyine doğru KB-GD yönlü uzanan Kuşçular Fayı (KuF) sol doğrultu atımlı faylanma yapısında olup yaklaşık 13 km uzunluğundadır (Uzelli 2013).

Gümüldür Fayı

İzmir'in güneybatısında Gümüldür ile Özdere beldeleri arasında uzanan Gümüldür Fayı (GF) farklı kaynaklarda Ortaköy fayı olarak da tanımlanır (Genç vd. 2001, Emre vd. 2005). KB-GD uzanımlı olup güneybatıya bakan hafif bir yay geometrisi sunar (Şekil 2.8). Yaklaşık uzunluğu 10 km civarında olup normal karaktere sahiptir. Fayın taban ve tavan blokları arasındaki görünür yükselti farklılıkları 300 metreyi aşar (Emre vd. 2005).



Şekil 2.8 İzmir ve çevresinde yer alan diri faylar (kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler).

Mordoğan Fayı

Mordoğan fayı Karaburun yarımadasında Eğlenhoca ve Anbarseki mahalleleri arasında K-G uzanımlı ve yaklaşık 12 km uzunluğunda ve doğrultu atımlı karaktere sahiptir

(Şekil 2.8) (Emre vd. 2005). Bu fay Kaya (1979) tarafından Karaburun Yükseltisi, Ocakoğlu vd. (2004, 2005) tarafından Karaburun Fayı, Uzel vd. (2013) tarafından Karaburun Fay Zonu olarak isimlendirilmiştir. Ancak MTA diri fay haritalarında “Mordoğan fayı” ismi kullanılmıştır (Emre vd. 2011).

Tuzla Fayı

Tuzla Fayı, İzmir’in güneybatısında Doğanbey burnu ve Gaziemir arasında yer alan KD-GB uzanımlı ve sağ doğrultu atımlı bir faydır (Şekil 2.8) (Emre ve Barka 2000, Sözbilir vd. 2015). Tuzla Fayının karadaki uzunluğu 42 km’dir. Ayrıca Doğanbey körfezinde MTA Sismik1 araştırma gemisiyle yapılan sismik çalışmalar, Tuzla fayının GB doğrultusunda, Ege Denizi tabanında devam ettiğini ve toplam uzunluğunun 50 km’yi aştığını göstermiştir (Özener vd. 2012). Ayrıca bu fayın 1992’de meydana gelen Mw:6.2 Doğanbey depreminden sorumlu olduğu bilinmektedir (Barka vd. 1996, Emre vd. 2005, Uzel ve Sözbilir 2008).

2.3 Literatür

İBTZ içinde kalan faylar ve bu fayların sınırladığı jeolojik ve fiziki yapılar, meydana gelen ve gelebilecek depremler nedeniyle çeşitli disiplinlerden çok sayıda araştırmacının çalışma konusu olmuştur (Kaya 1979, 1981, Genç vd. 2001, Kaya vd. 2004, Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, Bozkurt ve Sözbilir 2006, Uzel ve Sözbilir 2008, Özkaymak ve Sözbilir 2008, Sözbilir vd. 2008, 2009, Aktuğ vd. 2009, Uzel vd. 2012, Özener vd. 2013, Çırmıkçı vd. 2017, Malaliçi 2019, Ulutaş 2019). Bu çalışmalarda İBTZ’nin değişik zamanlarda aktif olduğuna dair veriler bulunmaktadır. Bölgede gerçekleştirilen çalışmalarda yoğun olarak İzmir bölgesine odaklanıldığı görülmektedir.

Genç vd. (2001) tarafından Cumaovası havzasında (İzmir Körfezi güneyi) yaptıkları çalışmada havzanın batıdan sol doğrultu atımlı fay niteliğindeki Tuzla (Orhanlı) Fay Zonu ile sınırlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Bozkurt ve Sözbilir (2006) Manisa Fay Zonu’nun (MFZ) doğu kesiminde gerçekleştirdikleri çalışmada, fayın uzunlukları birkaç yüz metre ile birkaç kilometre

arasında kademeli dizilimli doğrultu atım segmentleri şeklinde oluşmaya başladığını ancak daha sonra aktarım rampalarıyla birbirlerine bağlanarak fayın yeniden aktif hale geçerek normal fay şeklinde büyüdüğünü aktarmışlardır.

Uzel ve Sözbilir (2008) yapmış oldukları çalışmada Cumaovası havzasının doğrultu ve oblik atımlı fayların kontrolünde gelişen bir doğrultu-atım havzası niteliğinde asimetrik bir havza olduğunu ifade etmişlerdir. Araştırmacılara göre, Cumaovası havzasının batı sınır fayı önce sol ve sonra sağ yönlü doğrultu atımlı faylanma içeren reaktive bir yapıya sahiptir.

Özkaymak ve Sözbilir (2008) Manisa Fay Zonu'nda (MFZ) yaptıkları çalışmada faylanma mekanizmasında yeniden aktif hale geçen fay segmentlerinin bulunduğunu ifade etmişlerdir. Buna göre MFZ, batı ucunda toplam uzunluğu 10 km'ye yaklaşan, aktarım rampalarıyla birbirine bağlı ve sol kademeli olan üç fay segmentinden oluşmaktadır. Bu fay segmentleri üzerindeki faylanmanın D-B uzanımlı sıkışma evresinde sol doğrultu atımlı faylanma, KD-GB uzanımlı genişleme evresinde sağ doğrultu atım bileşenine sahip oblik atımlı normal faylanma, ve KD-GB genişleme evresinde eğim atımlı normal faylanma şeklinde üç farklı evreden oluştuğunu aktarmışlardır.

Sözbilir vd. (2008) Sığacık körfezi depremine (17-20 Ekim 2005, Mw: 5.4 – 5.8 – 5.9) yönelik yaptıkları çalışmada deprem kaynaklı olarak yüzeyde meydana gelen deformasyonların KD-GB ve KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı faylarla D-B uzanımlı normal fay mekanizmasıyla ilişkisini ifade etmişlerdir. Ayrıca araştırmacılar 2005 Sığacık körfezi depreminin doğrultu atımlı fayların karakteristik özelliklerinden olan negatif çiçek yapısıyla ilişkili olduğunu belirtmişlerdir.

Sözbilir vd. (2009) İzmir Körfezi ve çevresinde yaptıkları çalışmada körfezin D-B, KB-GD, KD-GB ve K-G doğrultulu fayların kontrolünde şekillendiğini ve KD-GB uzanımlı Seferihisar fayı ile D-B uzanımlı İzmir fayı ve D-B uzanımlı Karşıyaka fayının birlikte çalışarak İzmir iç körfezinin oluşumunu sağladığını aktarmışlardır. Yine araştırmacılara

göre İzmir iç körfezi K-G çekme ve D-B uzanımlı sıkışma kuvvetleri etkisinde transtansiyonel ortamda oluşumunu sürdürmektedir.

Uzel vd. (2012)'nin İzmir Körfezi çevresinde gerçekleştirdikleri çalışmaya göre İzmir Körfezi ve çevresinde üç farklı deformasyon evresi tespit edilerek bulguları ile birlikte İBTZ'ye ait veriler sunulmuştur.

Malaliçi (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışmada, İzmir iç ve dış körfezi boyunca K-G açılma rejimi görülürken Urla havzası ve Gülbahçe Fay Zonunun bulunduğu bölgede ise sıkışma rejiminin baskın olduğu ifade edilmiştir. Ayrıca İzmir iç körfezi ile Güzelbahçe Fay Zonu civarındaki hacim artış ve azalış farklarından dolayı bölgenin kuzey ve güney bölümünün farklı tektonik yapıların kontrolünde olduğu ve bölgedeki fayların Mw:6.7 büyüklüğüne varan deprem üretme potansiyeli olduğu belirtilmiştir.

Ulutaş (2019) tarafından Karaburun yarımadasında gerçekleştirilen çalışmada ise bölgenin jeolojik yapısı ile fayları ilişkilendirmiştir. Ayrıca Mordoğan Fayının Balıklıova aktarım rampası aracılığıyla Gülbahçe Fay Zonuyla bağlantılı olduğu ve zonun İBTZ'nin Batı sınırını oluşturması nedeniyle denizdeki kısmının araştırılarak fayın toplam uzunluğunun belirlenmesinin deprem üretme potansiyeli çalışmaları için önemli olduğu vurgulanmıştır.

Çalışma bölgesi ve çevresinde jeodezik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen ve bölgeye ait veriler içeren 7 jeodezik çalışma yer almaktadır (Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, McClusky 2000, Reilinger 2006, Aktuğ vd. 2009, Çirmikçi vd. 2017, Özener vd. 2013, Kavak 2020). Ancak bu çalışmalardan yalnızca 5 tanesinde bölgeye odaklanılmış olup diğer çalışmalarda bu bölge ya sınırda kalmış ya da çalışmanın çok küçük bir kısmını oluşturmuştur. Bu nedenle bu çalışmalarda bölgeye ait az sayıda veri ile değerlendirme yapılmıştır. İBTZ sınırları içerisinde gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar incelendiğinde Aktuğ vd. (2009) dışındakilerin genel olarak İBTZ'nin güney kısmında, İzmir ve çevresinde yoğunlaştığı ve İBTZ'nin kuzey kısmının jeodezik anlamda kapsamlı olarak incelenmediği görülmektedir.

Reilinger vd. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 1988-2005 yılları arasındaki GPS verilerinden yararlanarak Nubia, Somali, Arap ve Avrasya plakalarının etkileşim bölgesindeki hızlar belirlenmiştir. Buna göre Arap, Anadolu ve Ege bölgeleri ile Zagros ve İran'ın bitişik kısımlarını içeren geniş bir alanın saat yönünün tersi yönünde döndüğü ifade edilmiştir.

Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada İzmir, Batı Anadolu ve çevresindeki bölgelerin güncel gerinim alanları ve kabuk deformasyonu GPS ölçüleri ile belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında bölgede Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktalarından oluşan 37 noktalık bir GPS ağı kurulmuştur. Kurulan ağda yer alan noktalarda 1992 – 2004 yılları arasında değişen sayılarda GPS ölçüsü yapılmıştır. Tüm veriler BERNESE v4.0 ve GLOBK yazılımı ile değerlendirilerek noktalara ait ITRF2000 referans sisteminde Avrasya ve Anadolu sabit hızlar üretilmiştir. Elde edilen hız alanı yardımıyla gerinim alanları (8' x 8' grid aralığında), rölatif hızlar, rotasyonlar ve kayma parametreleri hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda bölge genelinde KG yönlü açılmanın baskın olduğu ifade edilmiştir.

Aktuğ vd. (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışmada sabit GPS istasyonu verileri, kampanya ölçüleri ve daha önceden üretilmiş hız alanlarının kombinasyonu yardımıyla Türkiye'nin batısına yönelik deformasyon belirleme ve blok modellemeye yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında 69 istasyonda kampanya ölçüsü yapılmış ve çalışma bölgesinde yer alan 12 sabit istasyon verisi kullanılmıştır. Elde edilen kampanya tipi veriler BERNESE v5.0 (Rothacher ve Mervart 1996) yazılımıyla, sabit istasyon verileri ise GAMIT yazılımıyla değerlendirilerek Avrasya sabit hız alanı elde edilmiştir. Ayrıca Reilinger vd. (2006) tarafından yayınlanan hızları dönüştürerek kendi hız alanlarına dâhil etmişler ve kapsamlı bir hız alanı elde etmişlerdir. Elde edilen hız alanı yardımıyla gerinim alanlarını (24km x 24km grid aralığı) üretmiş ve kinematik elastik blok model çalışması gerçekleştirmişlerdir. Çalışma sonucunda Türkiye'nin kuzeybatısındaki KKD-GGB yönlü açılmaların güneybatıda yerini GD-KB yönlü açılımlara bıraktığı ifade edilmiştir.

Bölgede yer alan bir diğer çalışma Özener vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen ve TÜBİTAK-ÇAYDAG tarafından desteklenen 108Y295 numaralı proje kapsamında İzmir ve yakın çevresi fayları üzerinde 16 noktalı bir jeodezik ağ kurulmuş olup 2009-2012 yılları arasında 4 kampanya GPS ölçüsü (15 noktada) ve faya dik/paralel 3 güzergâhta 5 kampanya hassas nivelman çalışması (3 noktada) gerçekleştirilmiştir. GPS verileri GAMIT/GLOBK yazılımı ile ITRF2005'e göre değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla KB-GD uzanımlı Doğanbey Burnu-Cumaovası arasında yer alan Tuzla fayı ve civarının kinematığının incelenmiş, bölgedeki bağıl yer değiştirmelerin tespit edilerek yorumlama ve gerinim analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda bölgeye ait hız alanı (4 kampanya GNSS ölçüsü ile), rölatif hızlar, gerinim alanları ve nivelman noktalarındaki yükseklik değişimleri belirlenmiştir. Çalışma sonucunda Tuzla fayının GGB-KKD uzanımlı kuzey bölümünde elde edilen gerinim modelleri sağ yanal doğrultu atımlı bir sistemle uyumlu olduğu buna karşın, fayın güneyinde yer alan Doğanbey Burnuna yakın kesimlerde ağırlıklı olarak sıkışma elde edildiği ifade edilmiştir.

Pamukçu vd. (2012) İzmir ve çevresinde TÜBİTAK-ÇAYDAG tarafından desteklenen 108Y285 numaralı proje ile jeofizik ve jeodezi disiplinlerini kapsayan bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışma kapsamında İzmir ve yakın çevresi fayları üzerinde 21 noktalı bir jeodezik ağ kurulmuş olup 2009-2011 yılları arasında 3 kampanya GPS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. GPS verileri GAMIT/GLOBK yazılımı ile ITRF_2005 referans sistemine göre değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler yardımıyla bölgenin kinematığı incelenmiştir. Bu kapsamda bölgeye ait hız alanı ve rölatif hızlar üretilmiştir. Çalışma sonucunda bölgede aktif lokal iki blok olduğu ifade edilmiştir.

Karaburun yarımadasında Kavak (2020) tarafından gerçekleştirilen tez çalışması bölgede gerçekleştirilen ve yayınlanan son jeodezik çalışmadır. Bu çalışmada Karaburun yarımadasını kapsayacak şekilde 6 noktadan oluşan bir GNSS ağı kurulmuştur. Söz konusu 6 noktada 2018-2019 yıllarında 2 kampanya ölçü yapılmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla bölgeye ait hız ve gerinim alanı hesaplanmıştır. Bu kapsamda Karaburun yarımadası üzerinde KD-GB baskın açılma ve KB-GD sıkışma rejiminin hâkim olduğu ifade edilmiştir.

2.4 İBTZ'nin Depremselliği ve Deprem Üretme Potansiyeli

Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer alan Türkiye, jeolojik özellikleri ve topografik yapısı nedeniyle geçmişten günümüze deprem riskiyle iç içe olmuştur. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (İnt.Kyn.6) verilerine göre ülkemizin Batı – Kuzey ve Doğu'su daha şiddetli olmak üzere büyük çoğunluğu deprem tehlikesi altındadır. Yakın dönemde farklı bölgelerde ve farklı büyüklüklerde meydana gelen depremler bunu doğrular niteliktedir.

Çalışma bölgesi Türkiye'nin batısında yer almakta olup İzmir, Manisa ve Balıkesir ili sınırları içerisindedir. Bu illerin yüzölçümleri toplamı ~40 bin km² ve nüfusları toplamı 7 milyonun üzerinde olup ülke nüfusunun yaklaşık %9'una karşılık gelmektedir. 2019 yılı güncel ihracat rakamlarına göre ise yaklaşık 15 milyar \$ ile ülke ihracatında yaklaşık %9'luk bir paya sahiptir (İnt.Kyn.7). Yine çalışma bölgesi içerisinde ve çevresinde kömür madenleri, turizm bölgeleri, tarihi ve kültürel alanlar bulunmakta ve ayrıca İstanbul-İzmir otoyolunun büyük bir kısmı bölge içerisinden geçmektedir. Tüm bu parametreler değerlendirildiğinde bölgede meydana gelebilecek tektonik kaynaklı büyük afetlerin yalnızca bölgeyi değil tüm ülkeyi etkileyeceği değerlendirilmektedir. 17 Ağustos 1999 Marmara depreminden doğrudan veya dolaylı olarak etkilenen kişi sayısı, yaşanan can ve mal kaybı ile deprem kaynaklı üretim, sanayi, alt yapı ve ulaşım konusunda yaşanan sorunlar buna en büyük örnektir. Bu durumlar ve çalışma bölgesinin AFAD deprem tehlike haritasında yüksek tehlike bölgesinde olması değerlendirildiğinde bölgenin tektonik açıdan periyodik olarak izlenip modellenmesinin can ve mal kaybıyla birlikte deprem kaynaklı üretim, sanayi, alt yapı ve ulaşım konusunda meydana gelebilecek olumsuz durumların azaltılabilmesi için büyük önem arz ettiği değerlendirilmektedir.

Bir bölgenin deprem tehlikesini belirlemeye yönelik yapılacak çalışmaların daha anlamlı olması açısından bölgede yer alan fayların özellikleri ve bölgenin aletsel ve tarihsel dönemde ürettiği depremlerin iyi incelenmesi gerekmektedir. Bu durum bölgeyle ilgili elde edilecek sonuçların ve yapılacak yorumların beklenen sonuca hizmet etmesini ve daha güvenilir olmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte sismik tehlike

analizi için her bir fay segmenti tarafından üretilebilecek maksimum deprem büyüklüğünü tahmin etmek gerekir.

Çizelge 2.1 İBTZ içerisinde yer alan faylar ve üretebilecekleri maksimum deprem büyüklükleri (Emre vd. 2016, Duman vd. 2017)

Fay		Uzunluk		Eğim (°)		Büyük­lük (Mw)
Segment	Tür	Yaş	(km)	Min.	Maks.	
Havran Balıkesir FZ	Havran S	SaY	H	19	87 90	6.59
	Osmanlar S	SaY	H	28	87 90	6.78
	Turplu S	SaY	H	16	87 90	6.51
	Ovacık S	SaY +T	H	21	87 90	6.64
	Gökçeyazı S	SaY	H	39	87 90	6.94
	Kepsut S	SaY +N	H	25	87 90	6.73
Zeytindağ FZ	SaY	K	18	87	90	6.52
Bergama F	N	H	9	65	70	6.12
	N	H	17	65	70	6.48
Soma-Kırkağaç FZ	N	H	20	65	70	6.58
	N	H	27	65	70	6.9
Gelenbe FZ	Doğu S	SaY	H	35	87 90	6.89
	Batı S	SaY	H	36	87 90	6.9
Yenifoça F	N	K	14	87	90	6.37
	N	K	15	87	90	6.41
Mordoğan F	N	K		65	70	6.28
	SaY	H	21	87	90	6.64
Gülbahçe FZ	SaY	H	24	87	90	6.71
	SaY	H	24	87	90	6.71
Yağcılar F	SaY	YK	12	87	90	6.37
Kenelidağ F	SoY	H	23			6.68
Seferihisar F	SaY	H	25	87	90	6.73
Güzelhisar F	SaY	K	24	0	90	6.68

Çizelge 2.1 (Devam) İBTZ içerisinde yer alan faylar ve üretebilecekleri maksimum deprem büyüklükleri (Emre vd. 2016, Duman vd. 2017)

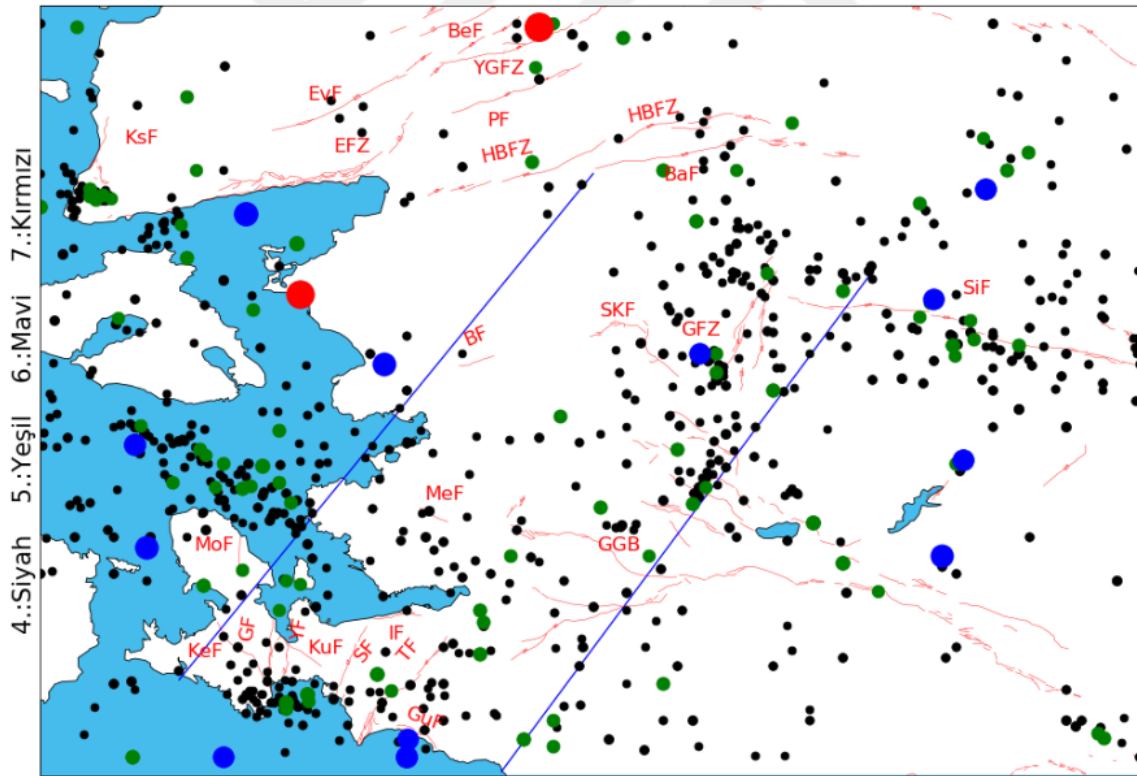
Menemen FZ	N	H	11	65	70	6.23
İzmir F	N	H	19	65	70	6.55
	N	H	19	65	70	6.59
Tuzla F	SaY	H	24	87	90	6.68
	SaY	H	16	87	90	6.51
Gümüldür F	N	H	14	55	65	6.44
Dağkızılca F	SaY	H	27	87	90	6.75
İsimsiz F	N	K	7	87	90	5.98
Gediz Graben Sistemi						
Kemerdamları S	N	H	18	65	70	6.52
Halitpaşa F	N	H	23	65	70	6.66
	N	H	27	65	70	6.75
Ozanca F	N	H	11	65	70	6.23
Gölmarmara F	N	H	18	65	70	6.52
Akselendi F	N	H	19	65	70	6.55
Akhisar F	N	H	12	65	70	6.37
Muradiye F	SoY	H	8	87	90	6.5
Armutlu S	N	H	35	55	70	6.9
Nifdağı S	N	H	11	65	70	6.23
Kemalpaşa S	N	H	24	55	70	6.68
	N	H	35	55	65	6.9
Manisa F	N	H	26	55	65	6.73

F: Fay, FZ: Fay Zonu, S: Segment, N: Normal, T: Ters, SaY: Sağ Yönlü, SoY: Sol Yönlü, H: Holosen, K: Kuvaterner, YK: Yüzey Kırığı

Çalışma bölgesinde yer alan fayların neredeyse tamamı Emre vd. (2011, 2018)'e göre aktif (diri) fay olarak tanımlanmaktadır. Her bir fay segmentinin üretebileceği maksimum deprem büyüklüğünün tahmin edilmesine yönelik yaklaşımlar büyüklük, kırılma uzunluğu, kırılma genişliği, kırılma alanı ve yüzey yer değiştirme arasındaki ampirik ilişkilere dayanmaktadır. Büyüklükle ilişkilendirilen en yaygın özellik, kayma tipinin bir fonksiyonu olarak yüzey kırığının uzunluğudur (Wells ve Coppersmith

1994). Emre vd. (2016) tarafından bölgede yer alan fayların üretebilecekleri maksimum büyüklükler Wells ve Coppersmith (1994)'te ifade edilen maksimum büyüklük ve yüzey kırığı uzunluğu arasındaki ampirik ilişki yardımıyla hesaplanmıştır (Çizelge 2.1). Çizelge 2.1 incelendiğinde bölgede yer alan fayların Mw:6.1 ile Mw:6.9 arasında deprem üretme potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

İBTZ ve yakın çevresinde M.Ö. 31 – M.S. 1899 yılları arasında 200'den fazla tarihsel dönem deprem kaydı vardır. Bu depremlerin bazılarının şiddeti bilinmemekle birlikte en küçüğü 5 (V) en büyüğü 10 (X) şiddetindedir. Bu depremlerin bazılarında tsunami meydana gelmiş, çok sayıda kişi hayatını kaybetmiş ya da evsiz kalmıştır. Tarihsel depremlerin meydana geldiği yerlerin lokasyonları dönemin koşullarından dolayı hassas olarak belirlenemediği için yaklaşık koordinatlar kullanılmaktadır. Bu nedenle bu depremlere ait sağlıklı bir görselleştirme çalışması yapılamamıştır (İnt.Kyn.2).



Şekil 2.9 İBTZ ve yakın çevresinde 1900-2020 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4$ depremler (AFAD 2020).

Zon boyunca aletsel dönemde meydana gelen depremler ve bölgede yapılan jeolojik çalışmalar, zon içindeki birçok fayın değişik zamanlarda aktif olarak çalıştığını

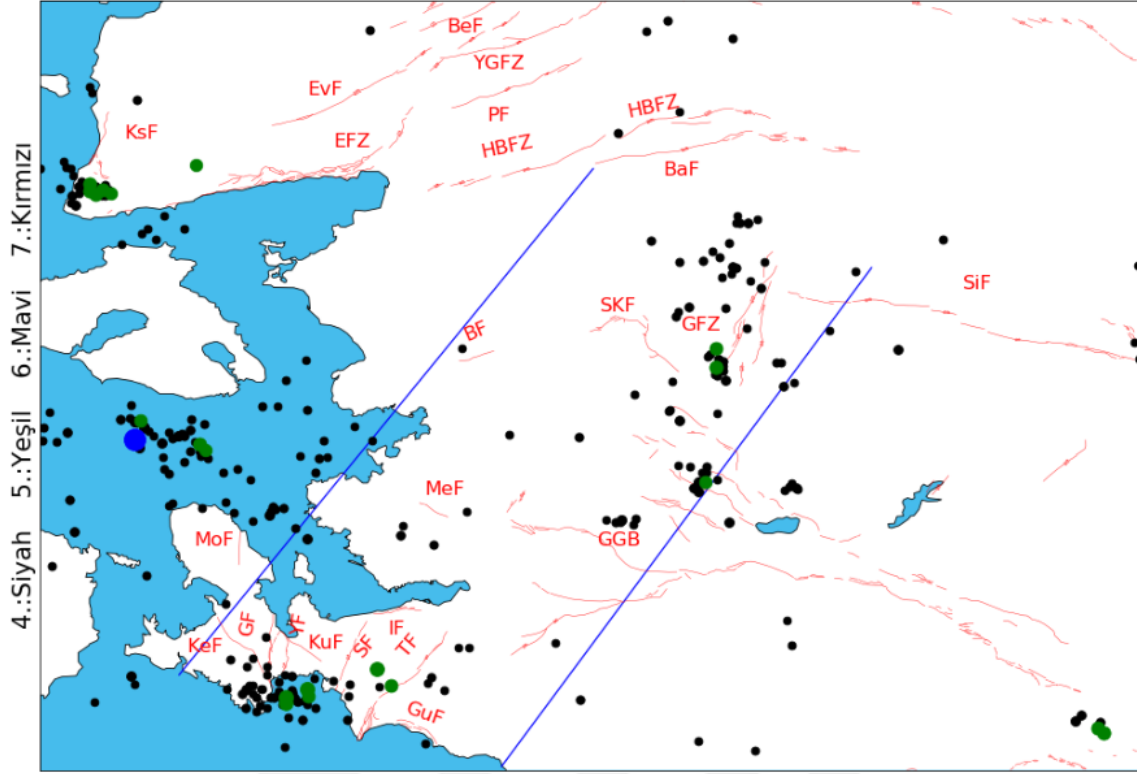
göstermektedir (Sözbilir vd. 2012). İçerdiği çok sayıda aktif fay ile İBTZ ve yakın çevresinde yer alan faylar aletsel dönemde de büyüklükleri 3 ile 6.8 arasında değişen çok sayıda deprem üretmiştir. Bu depremlerden $M \geq 3$ ~4500, $M \geq 4$ ~600, $M \geq 5$ 80, $M \geq 6$ 12 ve $M \geq 7$ 2 adet meydana gelmiştir (Şekil 2.9).

Şekil 2.8 incelendiğinde İBTZ sınırları içerisinde aletsel dönemde kaydedilebilen $M \geq 7$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmediği görülmektedir. Bununla birlikte $M \geq 6$ büyüklüğündeki 12 depremden 4'ü İBTZ sınırları içerisinde meydana gelirken diğer depremlerin ise genel olarak İBTZ çevresinde yoğunlaşmış olması dikkat çekmektedir. İBTZ içerisinde $M \geq 6$ büyüklüğünde bir deprem en son 1992 yılında Tuzla Fayının güneyinde meydana gelmiştir. Çalışma bölgesinde meydana gelen depremler ve Çizelge 2.1'de yer alan fayların üretebilecekleri depremlerin maksimum büyüklükleri göz önünde bulundurulduğunda, bölgede büyüklükleri 6 ile 6.9 arasında değişen çok sayıda deprem meydana gelebileceği değerlendirilmektedir. Bu durum gerinim alanları ve jeodezik deprem tekrarlama periyotları bölümünde detaylı olarak ele alınacaktır.

2.4.1 Yakın Dönem Depremsellik

İBTZ ve çevresinin yakın dönem depremselliği incelendiğinde 2000-2020 yılları arasında bölgede çok sayıda deprem meydana geldiği görülmektedir. Bu depremler $M \geq 3$ ~2050 adet, $M \geq 4$ ~250 adet, $M \geq 5$ ~25 adet ve $M \geq 6$ 1 adet olup en büyüğü ($M_w:6.2$) Karaburun yarımadası açıklarında meydana gelmiştir (Şekil 2.10). Şekil 2.10 incelendiğinde İBTZ içerisinde yakın dönemde meydana gelen depremlerin 3 bölgede yoğunlaştığı görülmektedir. Bunlar GF-TF arası, GFZ-SKFZ arası ve Karaburun yarımadası açıklarıdır.

En yoğun deprem aktivitesinin olduğu GF-TF arasında 6'sı 5-5.9 arasında olmak üzere $M \geq 4$ toplam 29 deprem meydana gelmiştir. Karaburun yarımadası açıklarında meydana gelen depremler ise 1'i 6.2, 5'i 5-5.3 olmak üzere $M \geq 4$ toplam 29 adettir. GFZ-SKFZ arasında ise 2'si 5.2 ve 5.4 büyüklüğünde olmak üzere $M \geq 4$ toplam 28 deprem meydana gelmiştir. Gediz Grabeninin kuzey kolu olan Gölarmara havzasında ise küçük bir deprem kümelenmesi görülmektedir.



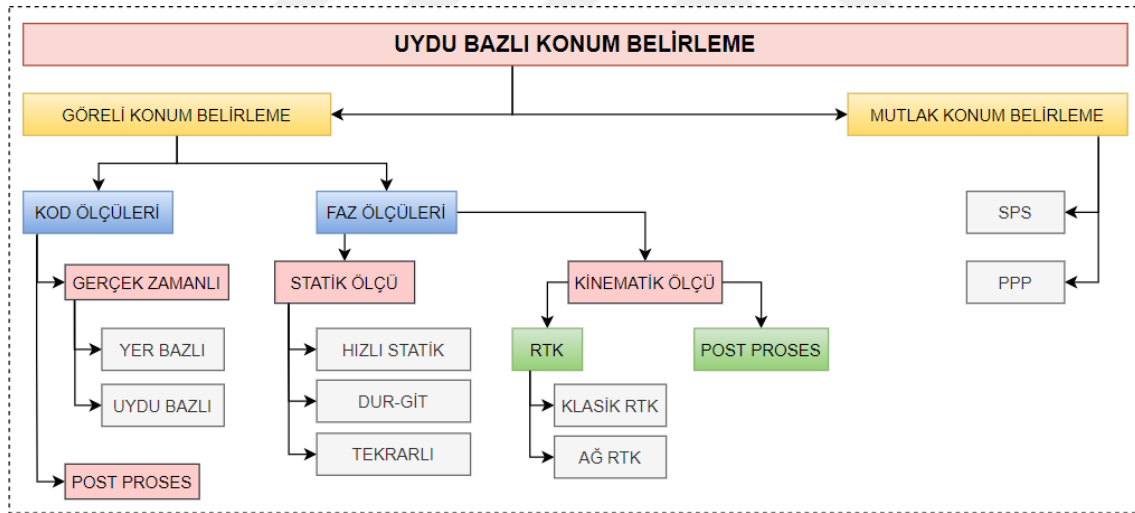
Şekil 2.10 İBTZ ve yakın çevresinde 2000-2020 yılları arasında meydana gelen $M \geq 4$ depremler (AFAD 2020).

İBTZ içerisinde yalnızca 2019-2020 yıllarında büyüklükleri 4 ile 5.4 arasında 23 deprem meydana gelmiş olup bu depremlerin 19'u İBTZ'nin kuzey kısmında yer alan HBFZ-SKF-GFZ üçgeninde gerçekleşmiştir. $M \geq 5$ olan depremler ise GFZ-SKFZ arasında meydana gelmiştir. Bu durum bölgede tektonik aktivitenin yoğunlaştığını göstermektedir. Ayrıca HBFZ'nin diri faylardan oluşmasına rağmen deprem aktivitesinin çok düşük olması çeşitli çalışmalarda da belirtildiği üzere bölgede yüksek enerji birikimi olabileceği şeklinde değerlendirilmektedir (Sözbilir vd. 2016c).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Küresel Konumlama Sistemleri

Küresel Konumlama Sistemleri (GNSS ya da Multi-GNSS) birden fazla konumlama sisteminin bir araya gelmesi ile oluşmakta ve yeryüzü üzerinde bir noktanın 3 boyutlu konumunu belirlemeye dayanmaktadır. Çalışma prensibi Atmosferin Ekzosfer katmanında yer alan yapay uydular ile yerküre üzerinde bulunan ve bu uydulardan gelen sinyalleri toplayıp işlemeye yarayan bir alıcı yardımıyla alıcının bulunduğu konumun belirlenmesine dayanır. Konum belirlenebilmesi için alıcının aynı anda en az 4 uydudan gelen sinyali toplaması gerekli olmakla birlikte anlık konum belirlemelerde doğruluk cm seviyesinde iken elde edilen ölçünün kullanılacağı çalışma konusuna göre gerçekleştirilebilecek çeşitli ölçü ve değerlendirme teknikleri ile bu doğruluk mm seviyesine ulaşabilmektedir (Şekil 3.1) (Tiryakioğlu 2012).



Şekil 3.1 Uydu bazlı konum belirleme teknikleri.

Günümüzde farklı ülkelere ait çok sayıda konum belirleme sistemi bulunmakta olup bazıları bölgesel bazıları ise küresel olarak hizmet vermektedir. Bu sistemlerden Global Positioning System (GPS), Global Navigation Satellite System (GLONASS) ve GALILEO küresel olarak hizmet vermekte ve ülkemizdeki konum belirleme çalışmalarında aktif olarak kullanılmaktadır.

GPS, dünyada ilk fonksiyonel konum belirleme sistemi olup Amerika Birleşik Devletleri (ABD) tarafından geliştirilmiş ve ülkemizde yapılan konum belirleme çalışmalarında en çok kullanılan sistemdir. Ülkemizde günün herhangi bir saatinde gerçekleştirilecek GNSS ölçüsünde en az 10 GPS uydusu sinyali alıcı tarafından toplanabilmektedir. Bu sistem günümüzde 31 aktif uydu ile hizmet vermektedir (İnt.Kyn.8).

GLONASS, Rusya tarafından geliştirilmiştir ve GPS sisteminden sonra dünyada fonksiyonel hale gelen ikinci konum belirleme sistemidir. Ülkemizdeki konum belirleme çalışmalarında en çok kullanılan ikinci sistemdir. Günün herhangi bir saatinde yapılacak GNSS ölçüsünde en az 4 GLONASS uydusu sinyali alıcı tarafından toplanabilmektedir. Bu sistem günümüzde işler haldeki 24 uydu ile hizmet vermektedir (İnt.Kyn.9).

GALILEO, Avrupa Birliği tarafından geliştirilen ve ülkemizde en çok kullanılan üçüncü konum belirleme sistemidir. Günümüzde 22 aktif uydu ile hizmet vermektedir. Ülkemizde yapılan GNSS ölçülerinde alıcılar tarafından en az 2-3 GALILEO uydu sinyali toplanabilmektedir (İnt.Kyn.10).

3.2 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

GNSS gözlemlerinden elde edilen veriler ham veriler olup deformasyon çalışmalarında kullanılabilmesi için veri değerlendirme işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. GNSS verilerinin değerlendirilmesi için çeşitli ticari ve bilimsel yazılımlar mevcuttur. Bu yazılımlardan ticari olanların (Leica Geo Office, Trimble Total Control Pinnacle, Thales GNSS, Ashtech Office Suite vb.) algoritmaları kontrol ve düzenlemeye kapalı olup, GNSS alıcısı üreten firmalar tarafından geliştirilmekte ve çoğunlukla yalnızca o markaya ait GNSS verilerini değerlendirilebilmektedir. Bununla birlikte GNSS tabanlı bir deformasyon çalışması için çalışma alanının büyüklüğüne bağlı olmakla birlikte çok sayıda noktada GNSS gözlemi yapmak gerekmektedir. Bu durum bir çalışmada çeşitli marka GNSS alıcılarının kullanılmasına sebep olmaktadır. Bilimsel yazılımlar ise kullanım açısından daha karmaşık olması dezavantajına rağmen ticari yazılımlara göre

daha hassas sonuçlar üretme avantajı ve ücretsiz olması nedeniyle daha yoğun bir kullanım oranına sahiptir. Bilimsel yazılımlara GAMIT/GLOBK, BERNESSE ve Gipsy örnek olarak verilebilir (Solak 2015).

GNSS verilerinin değerlendirilmesi işlemi GNSS ölçülerine etki eden faktörleri minimize etmeye yarayan fiziksel modellerin uygulanması (iyonosferik vb.), ön değerlendirme algoritmalarının uygulanması (Kalman, Robust, EKK vb.) aşamalarından oluşmaktadır. Bununla birlikte veri değerlendirmeye etki etmeyen ancak verilerin yorumlanması ve analizini kolaylaştırmaya yarayan çeşitli görselleştirme araçları da değerlendirme yazılımlarının içerisinde gömülü ya da harici olarak bulunmaktadır.

3.2.1 GAMIT/GLOBK

GAMIT/GLOBK yazılımı Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilmiş olup ücretiz, açık kaynak kodlu olması ve sürekli güncellenmesi nedeniyle günümüzde çok sayıda bilimsel çalışmada etkin olarak kullanılmaktadır. Yazılım Unix işletim sistemi üzerinde çalışmakta olup komut satırı (terminal, uçbirim) üzerinden kontrol edilmesi nedeniyle arayüz tabanlı programlara göre öğrenilmesi ve kullanılması daha karmaşıktır. Son sürümü 10.71 olup Mart 2020'de yayınlanmıştır (Herring vd. 2018). GAMIT/GLOBK yazılımı ile GNSS verilerinin değerlendirilebilmesi için verilerin RINEX (Receiver Independent Exchange) formatında olması gerekmektedir. Ham GNSS verisini RINEX formatına çevirmek için kullanılabilecek çok sayıda program mevcuttur. Bu çalışma için RINEX dönüşümünde ve kalite kontrolünde RINEX Converter ve TEQC programları kullanılmıştır.

GAMIT modülü ile yapılan analizlerde taşıyıcı dalga faz ölçüleriyle kod (pseudorange) gözlemleri kullanılır. Böylelikle dünya dönüklük parametreleri, atmosferik zenit gecikmeleri, uydu yörüngeleri ve bir noktaya ait koordinatlar (X,Y,Z) kestirilebilmektedir. GAMIT faz belirsizliklerinin çözümü için çiftli fark metodunu kullanmaktadır.

GAMIT modülü ile ilk işlem olarak uydu yörünge bilgileri ile uydu saat verileri elde edilir. Yörünge bilgileri ve kod ölçüleri kullanılarak istasyon saat düzeltmeleri yaklaşık nokta koordinatlarına dayalı olarak hesaplanır. Bir sonraki aşamada ise ölçülere ait faz kesiklikleri tespit edilerek ortadan kaldırılır (Tiryakioğlu 2012, Herring vd. 2018).

Sonraki adımlar için GAMIT, birbirinden bağımsız ikili farkları oluşturmak üzere bir algoritma kullanmaktadır. Çift- fark oluşturulmuş iyonosferden bağımsız gözlemleri kullanımı ile ilk dengelemede gerekli olan tüm parametreler kestirilir. Birinci dengelemede saptanan birbirinden bağımsız çift- farkların faz belirsizlik parametreleri, faz verisinin dağılımı ve baz uzunluğuna dayalı eşleme ile orijinal taşıyıcı faz belirsizliklerinden üretilir. Bu eşleme, kısa baz uzunluklarından elde edilen belirsizlik çözümünün daha güvenli olmasının avantajını ağırlıklı olarak kullanarak en kısa bağımsız yola göre birbirinden bağımsız çift- fark kümesini oluşturur. Bir sonraki adım, L1 ve L2 faz gözlemlerini bağımsız olarak kullanarak çift- fark uzun dalga boylu belirsizlik parametreleri için en iyi uyan tamsayıyı iterasyon yaparak hesaplama işlemidir. Uzun dalga boylu belirsizlikler bir kere güvenli bir şekilde çözüldükten sonra doğru tamsayı değerlerine yuvarlanır. Tüm parametreleri saptamak ve ardışık olarak kısa dalga boylu belirsizlikleri çözmek için iyonosferden bağımsız çift- farklı gözlemler üzerinde başka bir dengeleme işlemi yapılır (Erdoğan 2005, Yavaşoğlu 2009, Poyraz 2009, Herring vd. 2018).

GLOBK modülü uzay ve yersel ölçüm veri kombinasyonlarına Kalman filtresi uygulanması prensibiyle geliştirilmiştir. Kalman filtresi karışık sistemlerin optimal kestiriminde kullanılan bir yöntemdir. Kalman filtresi genel olarak, hatalı verilerin olması ve sistemin stokastik modelinin bilinmesi durumunda bilinmeyen parametreleri kestirmek için kullanılan bir sistemdir. Ayrıca ilerideki bir ölçme zamanına ilişkin durum vektörünü ve bunun stokastik modelini tanımlaması diğer kestirim yöntemlerine göre avantajlı kılan nedenlerin başında gelir (Chui 1991, Doğan 2002)

GLOBK modülü, GAMIT modülü tarafından üretilen h dosyalarını girdi verisi olarak kullanır. GAMIT tarafından H dosyaları her bir oturum için ayrı ayrı elde edilir. Bütün kampanya H dosyalarını birleştirmek için global ölçeğe değerlendirilmiş ve internet

aracılığıyla kullanıcılara sunulan H dosyalarından faydalanılır. Global ve lokal H dosyaları yardımıyla çözümler bir araya getirilir. Bu entegrasyon işlemi GLRED programı aracılığıyla gerçekleştirilerek her bir istasyona ait uzun dönem ve kısa dönem zaman serileri elde edebilir. Elde edilen günlük birleştirilmiş H dosyaları amaca göre haftalık, aylık ve senelik olarak birleştirilerek tek bir H dosyası elde edebilir. Bu işlemi gerçekleştirebilmek için GLOBK alt programı kullanılır. GLORG programı referans sisteminin tanımlanmasında ve istasyonlara ait hız bilgisinin elde edilmesinde kullanılır.

GAMIT'in nokta ve uydu vektörü sonuçları, büyük varyanslı ve korelasyonlu bir 30isimojeni matrisine sahip olup, ancak yüksek miktarlarda kısıtlanmış çözümlerin normal geometrik ilişkilerinin sürmesine olanak sağlar. Örneğin, bir durum vektörü, üç nokta konumu üzerinde yüksek miktarla kısıtlanmış bir Kalman filtresi kullanarak birleştirilerek bulunan çözüm vektörü, GAMIT'te kestirilen modele lineer olarak yakın bir apriori modele uygulandığında saptanan çözümün aynısı olmaktadır. Bu teknik, koordinatların eş zamanlı saptanması için birden fazla oturumdan gelen dengelemeleri birleştirmek kapasitesine sahip olup, hem nokta hem de uydu parametrelerindeki farklı apriori kabullerin kullanımının etkisini test etmek için etkin bir yöntemdir. Bu olanaklar özellikle farklı güvenilir ağların kullanılmasından çıkarılan dengelemelerin tek tip olarak birleştirilmesinde kullanışlıdır. Zamana göre noktaların hızlarını tanımlayan parametreler bu çerçeveye kolayca oturtulabilir ve bu oranla ilgili nokta koordinat GLOBK işlem aşamalarından sonra her bir noktaya ait hız bilgisi elde edilir (Tiryakioğlu 2012).

3.2.1.1 Veri Değerlendirme ve İşlem Aşamaları

GAMIT modülü ile veri değerlendirme işleminin yapılabilmesi için öncelikle RINEX dosyalarının düzenlenmesi gerekmektedir. Bir RINEX dosyasının başlık (header) kısmında RINEX sürümü, nokta adı, anten yüksekliği, alıcı ve anten türü, noktanın yaklaşık koordinatları, ölçü başlangıç ve bitiş tarihi, ölçü süresi vb. bilgiler bulunmaktadır (Şekil 3.2). Bu bilgilerin çoğu başlıkta düzenli olarak bulunmakla birlikte gerek GNSS ölçüsü sırasında eksik/yanlış girilen oturum bilgileri, gerekse alıcı türü veya modelinden dolayı nokta adı, anten yüksekliği, alıcı ve anten türü, ölçü

başlangıç ve bitiş tarihleri eksik/yanlış olabilmektedir. Bu bilgilerin ilk aşamada RINEX dosyası içerisinde tanımlanması ya da düzeltilmesi gerekmektedir. Bu bilgiler yazılımın çalışması için oluşturulması gereken girdi dosyalarında kullanılmaktadır. Bu bilgilerin RINEX verisinde olmaması durumunda girdi dosyalarının tek tek el ile düzenlenmesi gerekecektir.

1	2	OBSERVATION DATA						G	RINEX VERSION / TYPE
2	LEICA GEO OFFICE 2.0							12-12-6 11:33	PGM / RUN BY / DATE
3									OBSERVER / AGENCY
4	IVRD								MARKER NAME
5									MARKER NUMBER
6	460439	LEICA GX1230						2.14	REC # / TYPE / VERS
7		LEIAX1202							ANT # / TYPE
8	4366019.9036	2271774.9355	4043623.8716					APPROX POSITION XYZ	
9	0.1910	0.0000		0.0000					ANTENNA: DELTA H/E/N
10	L1PhaOff: 0.0648	L2PhaOff: 0.0622							COMMENT
11	1	1							WAVELENGTH FACT L1/2
12	6	C1	L1	D1	P2	L2	D2	# / TYPES OF OBSERV	
13	2006	12	2	6	42	45.000000		TIME OF FIRST OBS	
14	2006	12	2	15	16	40.000000		TIME OF LAST OBS	
15	14								LEAP SECONDS
16	12								# OF SATELLITES

Şekil 3.2 RINEX dosyasının başlık bölümü.

RINEX verilerinin düzenlenmesi aşamasından sonra yazılımın verileri değerlendirmek için ihtiyaç duyduğu fiziksel modeller, ay ve güneş yörünge bilgileri içeren dosyaların (luntab, soltab), nokta bilgilerinin özet halinde bulunduğu dosyaların (station.info, sites.defaults, lfile.) ve diğer yardımcı dosyaların düzenlenmesi/kopyalanması gerekmektedir. Bahsedilen işlemlerin bazıları manuel olarak yapılırken bazıları için yazılım içerisinde yardımcı komutlar bulunmaktadır.

GAMIT yazılımı için noktalara ait bilgileri içeren 4 girdi dosyası hazırlanır. Bu dosyalar tables klasörü içerisinde yer alan **station.info**, **process.defaults**, **site.defaults** ve **lfile**. Dosyalarıdır. “**station.info**” dosyası tüm noktalara ve değerlendirmede kullanılacak IGS istasyonlarına ait bilgilerin bulunduğu dosyadır (Şekil 3.3). Her satırda tek bir noktaya ait bilgiler bulunur. Bu bilgiler sırasıyla nokta adı, açıklama, ölçü başlangıç ve bitiş tarihi (yıl / yılın günü / saat), anten yüksekliği, anten referans noktası, alıcı türü, anten tipi şeklindedir. Bu dosyanın otomatik olarak oluşturulabilmesi için GAMIT modülü içerisinde pratik komutlar bulunmaktadır.

1	ILPN	Pilye	2019	270	0	0	0	2019	274	0	0	0	0.3670	DHARP	0	0	THALES	Z-MAX	9.90	THA800961+REC
2	TRGT	Pilye	2019	270	0	0	0	2019	274	0	0	0	0.0850	DHARP	0	0	ASHTECH	Z-X	9.90	ASH701975.01A
3	BOYA	Tutga	2019	270	0	0	0	2019	274	0	0	0	0.3650	DHARP	0	0	THALES	Z-MAX	9.90	THA800961+REC

Şekil 3.3 station.info dosyası içeriği.

Bir diğer girdi dosyası olan “**sites.defaults**” içinde ise değerlendirmeye alınacak noktalar ile IGS istasyonlarının isimleri bulunur (Şekil 3.4). IGS istasyonlarına ait verilerin tek tek indirilmesine gerek yoktur. Yazılım bu dosya içerisinde ‘ftprnx’ opsiyonu ile bu noktalara ait verileri istasyonların yazılım içerisinde tanımlanmış ftp adreslerinden ilgili dizine otomatik olarak indirecek şekilde geliştirilmiştir. Eğer daha önce değerlendirilen bir gün yeniden değerlendirilmek istenirse bu dosya tüm noktalar için ‘localrx’ opsiyonu tanımlanabilir.

1	sofi_gps	ibtz	ftprnx	xstinfo	glrepu	glreps	glts
2	akts_gps	ibtz	localrx	xstinfo	glrepu	glreps	glts
3	aydl_gps	ibtz	localrx	xstinfo	glrepu	glreps	glts

Şekil 3.4 sites.defaults dosyası içeriği.

GAMIT modülü ile değerlendirme aşamasında; günlük nokta koordinatları, her bir nokta için atmosferik gecikmeler ve yörünge bilgileri, değerlendirme aşamasında kullanılan parametrelerin hiçbirinde kısıtlama yapılmadan elde edilir. Bu aşamada, hem lokal ağı global bir ağ ile ilişkilendirmek, hem de milimetre duyarlılığındaki koordinatlardan yararlanarak, yörünge ve Dünya dönme parametrelerinin daha hassas hesaplanmasını sağlamak amacıyla IGS global ağına bağlı noktalardan faydalanılması gerekmektedir (Poyraz 2009, Herring vd. 2018).

“**lfile.**” Dosyasında ise tüm noktalara ait yaklaşık koordinatlar (RINEX başlığında yer alan) bulunmaktadır (Şekil 3.5). GAMIT ilk çözüme bu koordinatlardan başlar. Bu dosyanın otomatik olarak oluşturulabilmesi için GAMIT içerisinde pratik komutlar mevcuttur. Son dosya ise “**process.defaults**” dosyasıdır. Bu dosyaya veri değerlendirme işlemi tamamlandığında değerlendirme özetinin gönderileceği mail adresi yazılmaktadır. Buna ek olarak verilerin değerlendirmeye alınabilmesi için gereken minimum epok sayısı da bu dosya içerisinde tanımlanır. Bahsedilen 4 dosya dışında veri değerlendirme için kullanılan çok sayıda dosya bulunmaktadır (Çizelge

3.1). Bu dosyalar yazılım kök dizininde yer almakta olup veri değerlendirilecek her yıl için ilgili komutlar ile kök dizinden proje dizinine otomatik olarak kopyalanmaktadır.

1	AYVL_GPS	4415163.3665	2219261.4425	4019162.6151
2	BALK_GPS	4347061.6009	2301032.0129	4047360.2228
3	CESM_GPS	4490049.3498	2226201.2517	3931995.6507

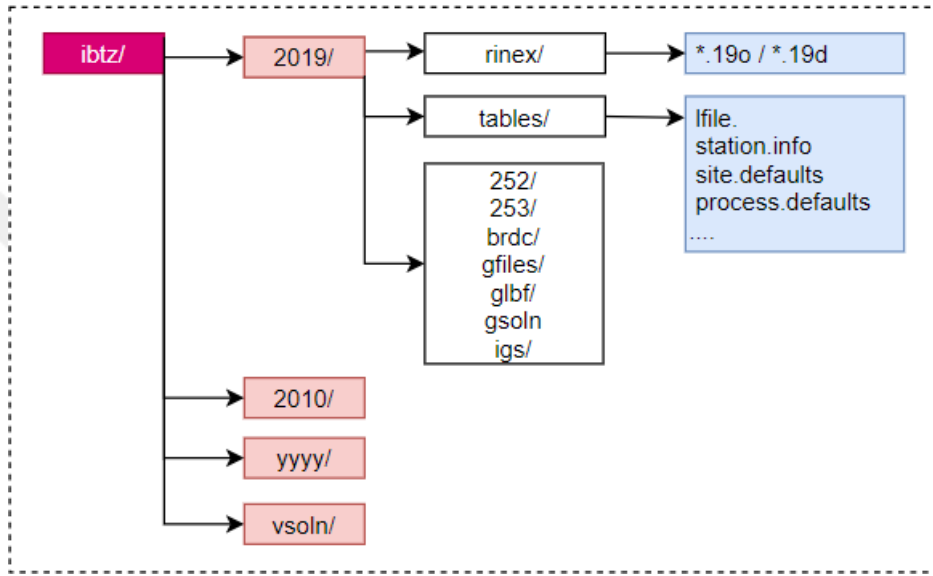
Şekil 3.5 lfile. Dosyası içeriği.

Çizelge 3.1 GAMIT girdileri

Dosya	Açıklama
gdetic.dat	Jeodezik datum parametreleri
tform.dat	Koordinat dönüşüm parametreleri
antmod.dat	Anten faz merkezi değerleri
rcvant.dat	Alıcı ve anten özellikleri
svnav.dat	Uydu tanıma bilgileri
leap.sec	UTC'ye kadar eklenen 1 saniyelik ofsetler
lubtab.	Ay efemeris tablosu
nutabl.	Nutasyon efemerisi
soltab.	Güneş efemerisi
pole	IERS bülteni B değerleri
ut1	IERS bülteni UT1
itrf08.apr	Koordinat değerleri

Bu girdi dosyaları hazırlandıktan sonra GAMIT programının tüm kontrol aşamasını içeren komutların bulunduğu sestbl. Dosyası hazırlanmıştır. Sestbl. Dosyası ile verilerin değerlendirilmesi için gerekli olan stratejiler hazırlanmaktadır. Bu stratejiler kısaca ölçülerin ağırlıklandırılması, tamsayı belirsizliği çözümü, atmosferik parametrelerin ve yörünge parametrelerinin belirlenmesi ve model parametreleri (yer dönüş, yeryuvarı gel-git ve anten faz merkezi parametreleri) için yapılan kestirimlerdir. Sestbl. Dosyası içinde radyasyon modeli için BERN1, BERN2, SPHRC gibi farklı modeller, çözümü yapılacak ölçme türü içinde L1_ONLY, L2_ONLY, LC_ONLY, L1,L2_INDEPEND ve LC_HELP gibi farklı değerlendirme stratejileri çalışma seçenekleri mevcuttur. Ayrıca sestbl. Dosyasının zenit gecikmesi kestirimi büyük ölçekli ağlarda atmosfer

parametrelerin özellikle zenit gecikme parametrelerinin kestirimi için gereklidir. Atmosferik gecikmeler, faz merkezi değişimleri ve istasyon nokta yükseklikleri, uydudan alıcıya gelen sinyalin yükseklik açısına bağlı olarak değişirler. GAMIT kontrol dosyası olan oturum tablosunda bu kontrol satırlarının yanı sıra yer dönme parametreleri, uydu yörünge parametreleri ve ölçüleri ağırlıklandırma ile ilgili kontrol satırları bulunmaktadır (Poyraz 2009, Herring vd. 2018).



Şekil 3.6 GAMIT/GLOBK klasör yapısı ve düzenlenecek dosyalar.

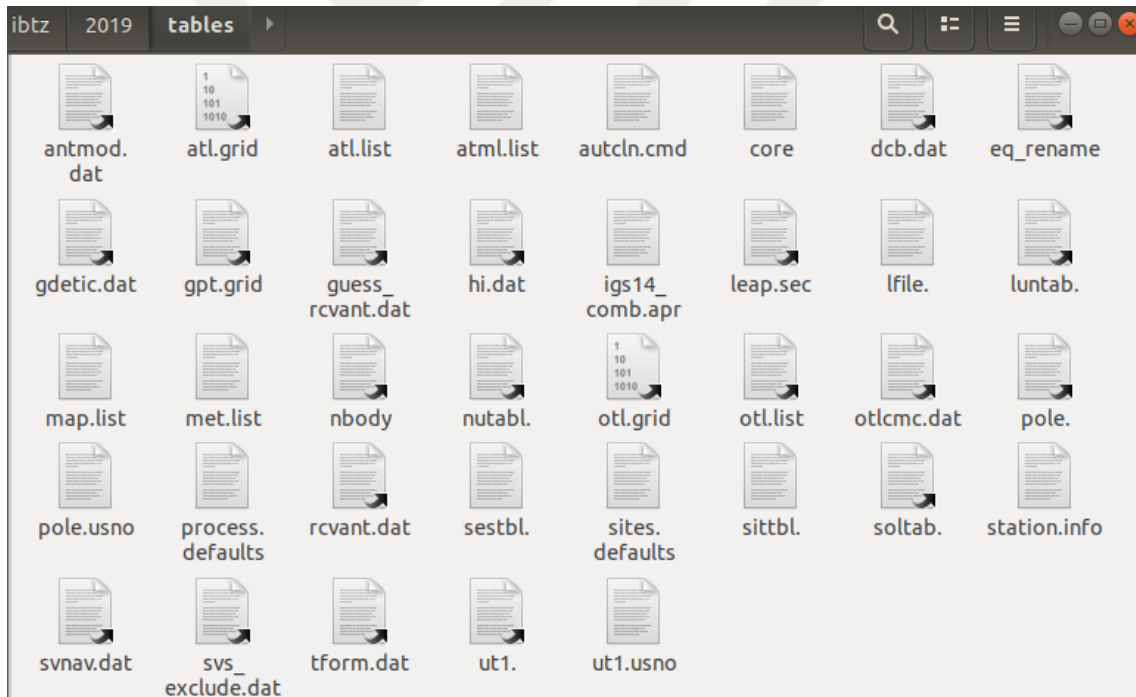
Çizelge 3.2 GAMIT veri değerlendirme komutları.

İşlem Sırası	Fonksiyon	Çalışacağı klasör	Komut
1	sh_setup	2019	sh_setup -yr 2019
2	sh_upd_stnfo	2019/tables	sh_upd_stnfo -ref station.info -l sd
3	sh_upd_stnfo	2019/tables	sh_upd_stnfo -files ../rinex/*o
4	sh_rx2apr	2019/rinex	sh_rx2apr -site yskn0258.19o
5	cat	2019/rinex	cat yskn.apr >> ../tables/lfile.
6	sh_gamit	2019	sh_gamit -expt ibtz -s 2019 258 262 -pres -orbit IGsf
7	sh_glred	2019	sh_glred -s 2019 258 2019 262 -expt ibtz -opt H G E

GAMIT/GLOBK klasör yapısı ve değerlendirme için düzenlenmesi gereken dosyalar ana hatlarıyla Şekil 3.6'da verilmiştir. Burada **ibtz** proje klasörüdür ve 4 karakter olmalıdır. Projeye ait bütün dosyalar bu klasör altındaki klasörlerde bulunur. **İbtz**

klasörü içerisinde **yıl** ve **vsoln** klasörleri yer alır. Her yıl klasörü içerisinde bir **rinex** klasörü oluşturulur ve içerisinde o yıla ait GNSS verileri (RINEX formatında) kopyalanır. Bu veriler yukarıda bahsedildiği şekilde düzenlenmiş olmalıdır. “**vsoln**” klasörü ise yıllık tekrarlılıklar ve noktalara ait hızların üretileceği klasördür, GLOBK aşamasında kullanılır.

2019 yılı 252 ve 253. Günler için GAMIT ile veri değerlendirme için kullanılacak komutlar, işlem sırası ve komutların çalıştırılacağı klasörler Çizelge 3.2’de verilmiştir. Veri değerlendirme sürecine başlamak için ilk komut **sh_setup** komutudur (1). Bu komut yıl klasörü içerisinde çalıştırılır ve sonucunda yıl klasörü içerisinde bir **tables** klasörü oluşur. **Tables** klasörü içerisinde yazılımın çalışması için GAMIT/GLOBK ana dizininden kopyalanan ya da kısa yolu (link) oluşturulan dosyalar yer alır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 tables klasörü içeriği.

Sh_upd_stnfo komutu (2-3) yukarıda da bahsedilen girdi dosyalarından station.info dosyasının oluşturulması için kullanılacak komuttur ve yıl içerisinde yer alan tables klasöründe önce (2) sonra (3) sırasıyla çalıştırılır. Yazılım bu komut ile rinex klasörü içerisinde yer alan RINEX dosyalarının başlıklarından nokta adı, açıklama, ölçü

başlangıç ve bitiş tarihi, anten yüksekliği, anten referans noktası, alıcı türü, anten tipi bilgilerini ilgili dosyaya kaydeder. Eğer RINEX başlıklarında eksik bilgi var ise yazılım veri değerlendirme aşamasında hata verecektir.

Sh_rx2apr (4) ve **cat** (5) komutları lfile. Dosyasını oluşturmak için kullanılır ve rinex klasörü içerisinde çalıştırılır. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ilgili rinex klasörü içerisindeki tüm noktalar için bu iki komutun birer defa çalıştırılması gerekir. Çok sayıda nokta içeren ağlar için bu işlem pratik değildir ancak temel yazılım bilgisi kullanarak tüm noktalar için ayrı ayrı çalışacak şekilde küçük bir kod parçası geliştirilebilir.

Bir sonraki aşamada **sites.defaults** dosyasında gerekli düzenlemeler yapılır. Dosya içerisine ağda yer alan noktalar (localrx opsiyonu ile) ve değerlendirmede kullanılacak IGS noktaları (ftprnx opsiyonu ile) yazılır. Son olarak ise **process.defaults** dosyasında gerekli düzenlemeler yapılır ve veri değerlendirme işlemi için **sh_GAMIT** komutu çalıştırılır.

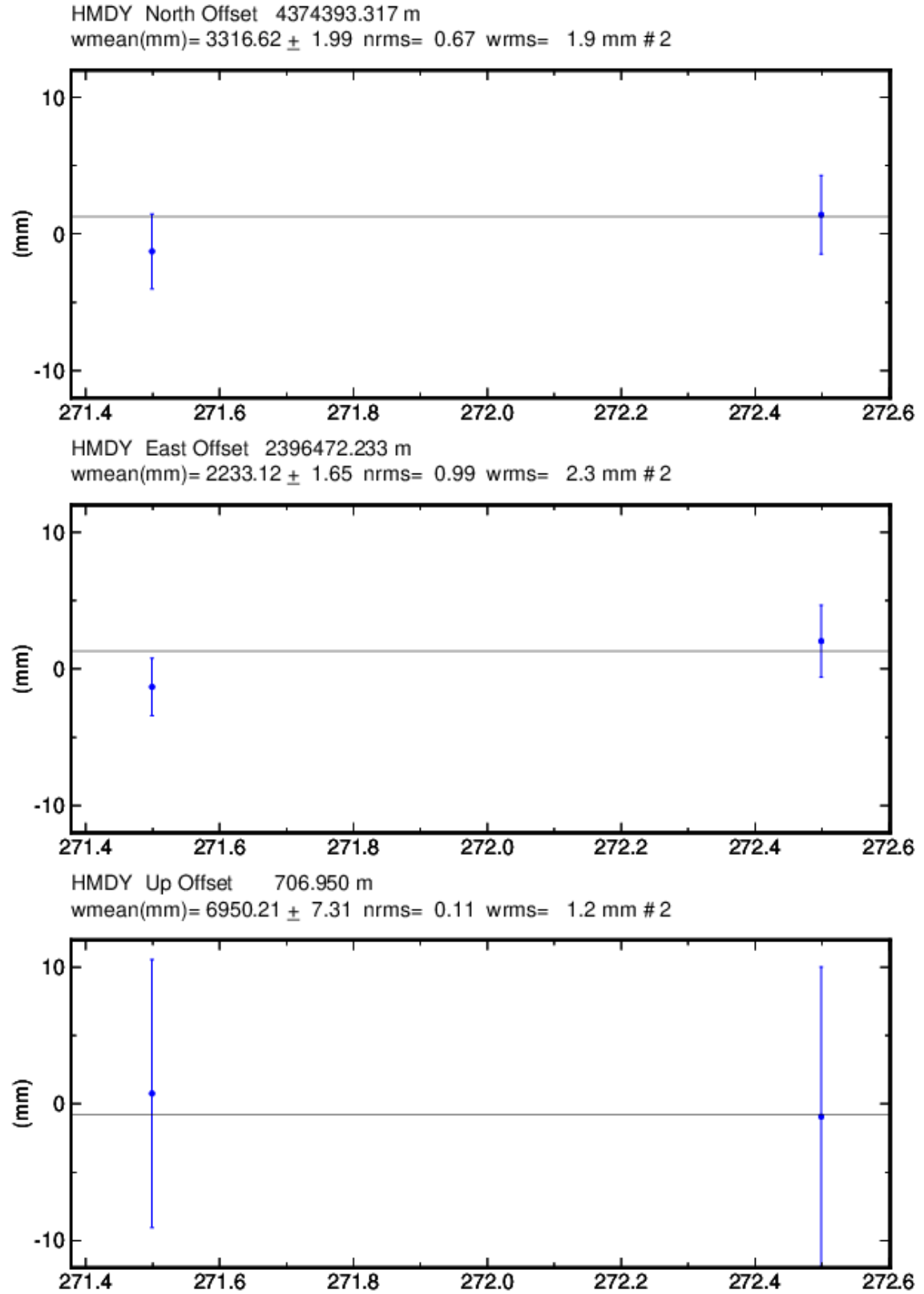
Sh_gamit (6) komutu ile yazılıma proje adı, değerlendirilecek günler ve değerlendirmede kullanılacak uydu yörünge bilgisi (IGSU, IGSR, IGSF) tanımlanarak veri değerlendirme işlemi başlatılır. Bu komut GAMIT/GLOBK yazılımı ile nokta hızlarının üretilmesi sürecinde en uzun işlem süresine sahiptir. İşlem süresi ağda yer alan toplam nokta sayısı, ölçü süresi, değerlendirmede kullanılan IGS istasyonu sayısı, bilgisayar özellikleri ve son olarak internet bağlantı hızı ile doğrudan ilgilidir. Yazılımın veri değerlendirme aşamasında hata vermesi durumunda hata ile ilgili bilgiler terminal ekranından ya da ilgili gün klasörünün içerisinde oluşan GAMIT.fatal dosyasından incelenebilir.

Bu aşama tamamlandıktan sonra verisi olan her gün için yıl klasörü içerisinde bir gün klasörü oluşur ve çözme ait dosyalar bu klasör içerisinde yer alır (Şekil 3.7). Ek olarak her gün klasörü içerisinde o güne ait çözümün özetini içeren bir özet dosyası yer alır (sh_gamit_252.summary). Bu dosya içerisinde değerlendirme komutu, değerlendirme başlangıç ve bitiş zamanı, ikili fark istatistikleri, Normalized Root Mean Square

(NRMS) vb. bilgiler yer alır. Bu bilgilerden NRMS değeri çözümün kalitesini gösterir ve bu değerin 0.15 ile 0.25 arasında olması beklenir.

Bir yıla ait verilerin değerlendirilmesi süreci **sh_gfred** komutu ile tamamlanır. Bu komut ile gsoln klasörü içerisinde noktalara ait günlük tekrarlılıklar üretilir. Günlük tekrarlılık bilgileri glx uzantılı dosyalarda (h dosyaları) saklanır. Aynı yıl içerisinde bir noktaya ait 2 veya daha fazla veri var ise o noktaların X,Y ve Z koordinatlarına ait günlük tekrarlılık grafikleri çizilir ve PostScript (.ps) formatında kaydedilir (Şekil 3.8).

Günlük tekrarlılıklar, tekrarlı ölçülerin yani aynı noktada farklı günlerde yapılan ölçülerin kontrol edilmesinde önemli rol oynamaktadır. Günlük tekrarlılıklar grafiklerinin üzerinde noktaların o güne ait 37ismojeni koordinatları ile normlandırılmış karesel ortalama hata (NRMS) ve ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata (Weighted Root Mean Square – WRMS) değerleri yer alır. NRMS ve WRMS değerlerine bakılarak tekrarlı ölçüler hakkında yorum yapmak mümkündür. GNSS'ten elde edilecek konum belirsizliğine bilinen hataların yanı sıra anten yüksekliğinin yanlış ölçülmesi veya anten özelliklerinin hatalı girilmesi de etkili olabilmektedir. Koordinat belirsizlikleri, 24 saatlik ölçümlerle yatay koordinatlar için WRMS değeri 1-2 mm, yüksekliklerde ise 2-4 mm olarak elde edilebilir. 8 saatlik ölçümlerde, yatay koordinatlar için WRMS değeri 2-4 mm, yüksekliklerde ise, WRMS değeri 10-15 mm olmalıdır (Tiryakioğlu 2012, Herring vd. 2018).



Şekil 3.8 HMDY noktasına ait günlük tekrarlılık grafiği.

Günlük tekrarlılık grafikleri üzerinde noktaların o güne ait koordinatları ile NRMS ve WRMS değerleri yer alır. Grafikte yer alan noktanın alt ve üstündeki mavi çizgi ise konum belirsizliğini ifade eder. Bu çizgi büyüdükçe belirsizlik artar. GNSS verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilecek konum belirsizliğinde, bilinen hatalara ek olarak arazide ölçü sırasında anten yüksekliğinin yanlış belirlenmesi, bu yüksekliğin RINEX dosyasının başlığına ya da **station.info** dosyası içerisine yanlış girilmesi veya anten özelliklerinin hatalı girilmesi de etkili olabilmektedir (Tiryakioğlu 2012).

Yukarıda bahsedilen 7 işlem veri olan her yıl için (ilgili yıl klasörü içerisinde) tekrarlanarak tüm yıllara ait çözümler tamamlanır. Tüm yıllara ait değerlendirmeler bittikten sonra yıllık tekrarlılıklar ve noktalara ait hızların üretilmesi için GLOBK aşamasına geçilir.

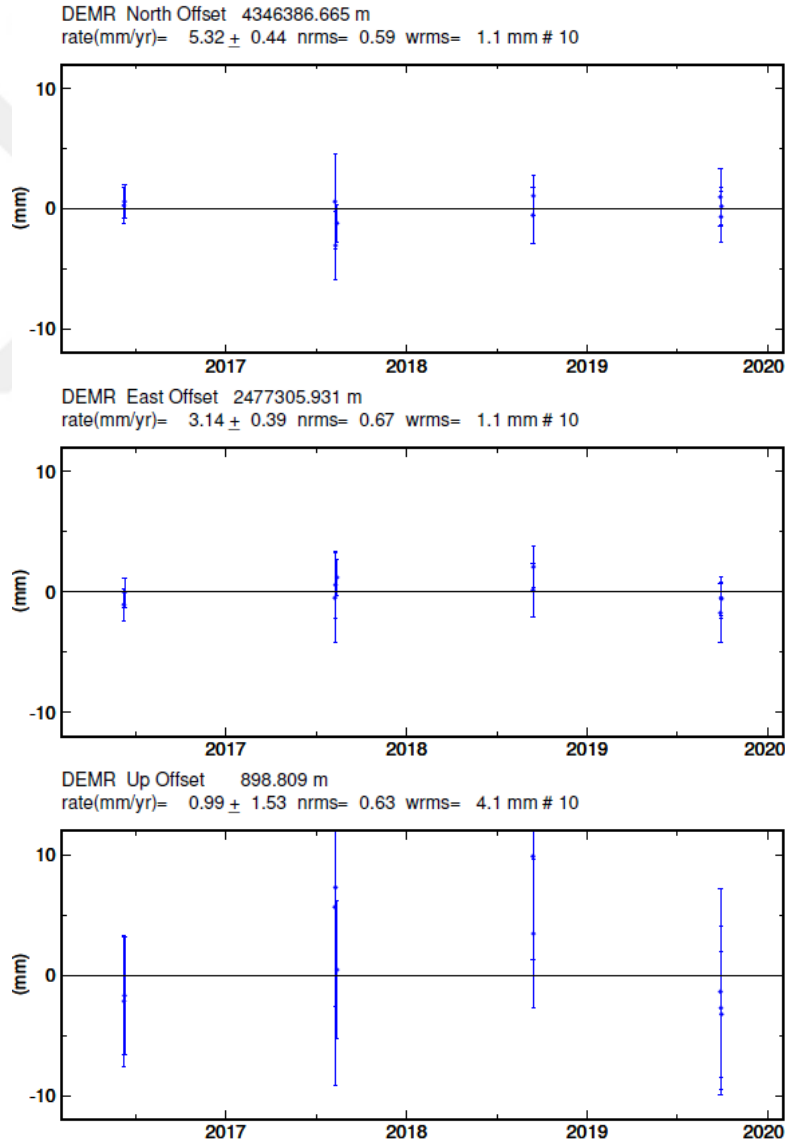
GLOBK modülü, GAMIT modülü tarafından üretilen h dosyalarını girdi verisi olarak kullanır. GAMIT tarafından h dosyaları her bir oturum için ayrı ayrı elde edilir. GLOBK aşaması sonrasında noktalara ait hız değerleri üretilir. Ancak hız üretilmeden önce noktaların yıllık tekrarlılık grafikleri (zaman serisi) üretilerek hız analizi için uygun olup olmadıklarına karar verilmelidir. GLOBK aşamasında kullanılan komutlar Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 GLOBK tekrarlılık ve hız üretme komutları.

İşlem Sırası	Fonksiyon	Çalışacağı klasör	Komut
1	ls	vsoln	ls ../20*/glbf/h*glx > 2019_ibtz.gdl
2	sh_plotcrd	vsoln	sh_plotcrd -f ../20*/gsoln/ globk_ibtz_*.org -span long -res -o 1 -cols 1
3	globk	vsoln	globk 6 2019.prt 2019.log 2019_ibtz.gdl globk_vel.cmd

GLOBK ile yıllık tekrarlılık grafiği üretmenin ilk aşaması **sh_glred** komutu ile yıl klasörlerinde bulunan glbf klasörlerinin içerisinde üretilen h dosyalarına (.glx) ait dosya yollarının (path) tek bir dosyada listelenmesidir. Bunun için **ls** komutu kullanılır (1) ve

h dosya yolları daha sonra kullanılmak üzere belirtilen dosyaya kaydedilir (2019_ibtz.gdl). Sonraki aşamada ise **sh_plotcrd** komutu ile yıl klasörlerinin içerisindeki gsoln klasörlerinde yer alan glx dosyaları kullanılarak noktalara ait yıllık tekrarlılık üretilir ve PostScript (.ps) formatında kaydedilir (Şekil 3.9). Bir noktaya ait yıllık tekrarlılık grafiğinin çizilebilmesi için bir noktanın en az 2 farklı yılda değerlendirilmiş verisi olmalıdır. Yıllık tekrarlılık grafikleri üzerinde noktaların o 40ismojeni koordinatları ile NRMS ve WRMS değerleri yer alır. Grafikte yer alan noktanın alt ve üstündeki mavi çizgi ise konum belirsizliğini ifade eder. Bu çizgi küçüldükçe belirsizlik azalır.



Şekil 3.9 DEMR noktasına ait yıllık tekrarlılık grafiği.

GLOBK ile hızlar üretilirken dikkat edilmesi gereken en önemli aşama stabilizasyon aşamasıdır. Burada ağda yer alan noktaların seçilen referans noktalarına göre göreceli (rölatif) hızları hesaplanır. Stabilizasyon çalışması global ve bölgesel olarak iki şekilde uygulanabilir. Global stabilizasyonda daha önce tanımlanmış olan büyük plakalara göre (Avrasya vb.) hız üretilirken bölgesel stabilizasyonda noktaların birbirine göre ya da üzerinde bulunduğu plakaya göre hızları üretilir. Her iki durumda da üretilen hızlar artık hızlardır. Elde edilen artık hızların doğruluğu yapılan ölçülere bağlıyken büyüklüğü ve yönü ise referans alınan nokta/plaka hızı ile de bağlantılıdır. Referans alınan noktaların ya da plakanın hızlarının büyüklüğü ve yönüne göre ağdaki noktaların hızlarının büyüklüğü ve yönü değişir fakat ağ içindeki noktaların hızları aralarındaki farklar değişmez. Ancak daha güvenilir sonuçlar için referans noktalarının hız doğrulukları yüksek olan noktalar arasından seçilmesi önemlidir. Bundan dolayı veri değerlendirme aşamasında IGS istasyonlarının seçimi önem arz etmektedir. Mümkünse hataları 1 mm'nin altında olan noktalar seçilmelidir. Ayrıca ağdaki ölçü günlerinde verisi olan IGS noktaları tercih edilmelidir. Bu sayede referans noktaları ile ağdaki noktalara ait ölçüler aynı etkilere (güneş vb.) maruz kalacağı için görecelilikte elimine edilmiş olacaktır (Tiryakioğlu 2012).

Stabilizasyon için kullanılacak noktaların yazılımın kullanabileceği şekilde tanımlanması gerekmektedir. Bunun için kök dizinde yer alan **glorg_vel.cmd** ve **globk_vel.cmd** dosyaları ilgili vsoln klasörü içerisine kopyalanır. Stabilizasyon için kullanılacak noktalar **glorg_vel.cmd** dosyası içerisinde stab_site değişkeni ile tanımlanır ancak yapılan iterasyonlar sonucunda GLOBK bu noktaların tamamını kullanmayabilir. İterasyonlar sonucunda stabilizasyonda kullanılmak üzere kalan nokta sayısının 7'den az olmaması önerilmektedir (Tiryakioğlu 2012). GLOBK stabilizasyon için kullanılan noktaları hız dosyasında * ile işaretler (Şekil 3.10).

globk_vel.cmd dosyasında ise hızların üretileceği referans frame'i ve plakayı tanımlamak gerekmektedir (itr08_eura.apr vb.). Eğer ilk ölçü epöğü ile son ölçü epöğü arasında çalışma bölgesi veya çevresinde ağda yer alan noktaları etkileyebilecek bir deprem meydana gelmişse, ilgili yıl klasörü içerisindeki tables klasöründe bir dosya

içerisine bu depremler tanımlanmış formatta kayıt edilmelidir (örnek: eq_rename). Deprem meydana gelen yıllardaki tüm deprem tanımlama dosyalarının yolları (path) **globk_vel.cmd** dosyasına eq_file değişkeni ile sırayla tanımlanmalıdır.

Tüm düzenlemeler tamamlandıktan sonra **globk** (3) komutu çalıştırılır ve vsoln klasörü içerisinde ağ noktaları ile IGS noktalarının hızlarının ve hatalarının da bulunduğu bir org dosyası oluşur (Şekil 3.10). Bu dosyada konum ve konum doğrulukları bilgileri de yer almaktadır. Elde edilen hızlar kullanılarak çeşitli yazılımlar yardımıyla bölgeye ait gerinim alanları hesaplanır.

1	SUMMARY VELOCITY ESTIMATES FROM GLOBK Ver 5.30												
2	Long	Lat	E	& N Rate	E	& N Adj.	E	& N +- RHO	H Rate	H adj.	+-	SITE	
3	deg	deg		(mm/yr)		(mm/yr)		(mm/yr)		(mm/yr)			
4	41.56	43.78	-0.20	0.03	-0.04	-0.90	0.04	0.03	-0.031	1.72	0.45	0.12	ZECK_GPS*
5	33.99	44.41	-0.28	-0.99	0.29	-0.78	0.03	0.04	0.015	-0.17	-0.52	0.13	CRAO_GPS*
6	33.39	35.14	-6.30	2.70	-0.44	-0.16	0.04	0.04	-0.190	-0.81	-0.97	0.14	NICO_GPS*
7	28.21	39.09	-24.08	-10.03	-24.08	-10.03	0.40	0.49	0.117	-4.98	-4.98	1.88	AKTS_GPS
8	28.14	39.38	-20.88	-7.03	-20.88	-7.03	0.34	0.41	-0.052	2.53	2.53	1.48	BGDC_GPS
9	28.12	38.48	-22.99	-12.11	-22.99	-12.11	0.12	0.13	0.049	-8.96	-8.96	0.49	SALH_GPS

Şekil 3.10 Hız dosyası içeriği.

3.3 Gerinim Analizi

Gerinim (yamulma, birim deformasyon); bir cisme etkiyen iç (merkezkaç etkisi, gravite çekimi vb.) ve dış (diğer cisimler) kuvvetlerin etkisi ile cismin komşu noktaları arasında fiziksel ve mekanik bağ kopmaksızın meydana gelen yer değiştirmeler, dönme, esnemeler veya şekil/biçim değişiklikleri şeklinde ifade edilebilir. Cismin homojen olmaması ve gerilmelerin cismin her noktasında aynı kuvvette etki etmemesinden dolayı cisim üzerindeki noktalara göre gerinim değeri değişkenlik gösterir. Ortalama gerinim değeri uzunlukta meydana gelen değişimin orijinal uzunluğa oranı ile elde edilir. Gerinim bir oranı ifade ettiği için birimi yoktur (Lambeck 1988, Tiryakioğlu 2012). Bir cisme ait deformasyonun belirlenebilmesi için cisim üzerinde mümkünse homojen dağılımda noktalar seçilmeli veya deformasyon beklenen alanı en uygun şekilde temsil edecek noktalar seçilmelidir.

Gerinim hesaplaması bir dönüşüm problemi gibi değerlendirilebilir. Cisim üzerindeki bir noktanın iki farklı zamanda hesaplanan koordinatları arasındaki fark yer değiştirme

miktarı olarak ifade edilir. Buna göre bir noktanın t_1 zamanında bulunduğu koordinatların homojen deformasyona uğrayarak t_2 zamanındaki koordinatlara gelmesi arasındaki ilişki basit bir afın dönüşüm eşitliği ile tanımlanabilir (Kakkuri ve Chen 1992).

Bu yaklaşımlar çerçevesinde bağıl konum değişimi,

$$du = (E + w)r + t_0 \quad (3.1)$$

şeklinde elde edilir (Kakkuri ve Chen 1992). Burada E simetrik gerinim tensörü, w ters simetrik gerinim tensörüdür. T_0 tüm noktalar için geçerli olan ötelenme katı blok hareketi, r ise koordinatları göstermektedir. Ayrıca ötelenme,

$$t_0 = [t_1 t_1]^T \quad (3.2)$$

$$d_u^T = [u_x u_y], \quad r = [x y]^T \quad (3.3)$$

ile açıklanabilmektedir. Simetrik gerinim tensörü,

$$E = \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} & \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yx} & \varepsilon_{yy} \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

ile ifade edilir.

Simetrik tensörün köşegen elemanları koordinat eksenleri boyunca birim uzunlukta meydana gelen genleşmeyi, köşegen dışındaki elemanlar ise koordinat eksenlerine göre deformasyon sonucu ortaya çıkan küçük açısız bozulmaları tanımlar (Doğan 2002). Ters simetrik tensör,

$$w = \begin{bmatrix} 0 & w \\ -w & 0 \end{bmatrix} \quad (3.5)$$

ilgili koordinat eksenlerini içeren düzlemde deformasyon nedeniyle oluşan katı bloğun diferansiyel dönmesini tanımlar. d_u deformasyon vektörü ise t_1 ve t_2 epoklarında elde edilen koordinatların afin dönüşümünün sonucu olarak yazılacak olursa,

$$d_u = Bu \quad (3.6)$$

olarak ifade edilir (Brunner 1979). B katsayılar matrisi olmak üzere

$$B = \begin{bmatrix} x & y & 0 & y & 1 & 0 \\ 0 & x & y & -x & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

şeklinde gösterilir. Eşitlik 2.8’de yerine konursa,

$$\begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x & y & 0 & y & 1 & 0 \\ 0 & x & y & -x & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yy} \\ w \\ t_1 \\ t_2 \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

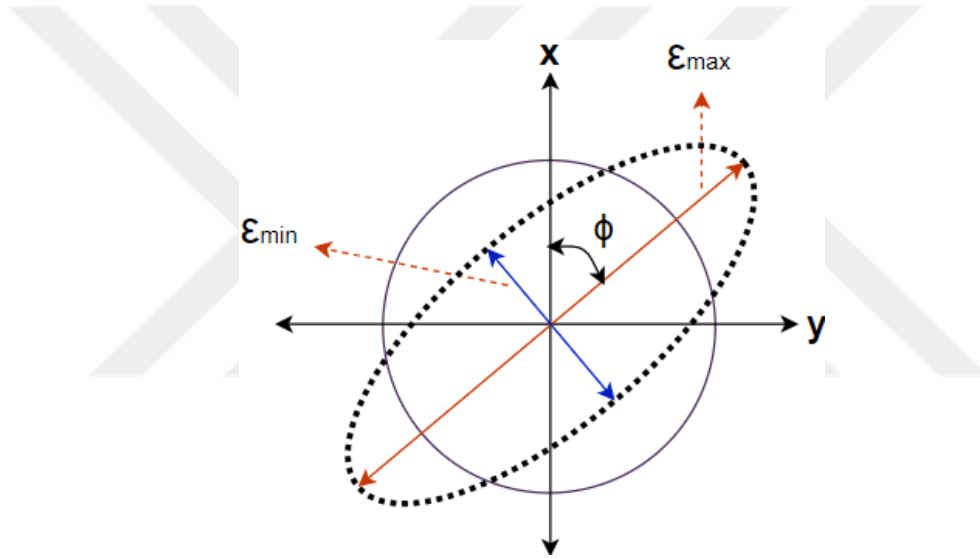
elde edilir (Prescott 1976, Brunner 1979, Lambeck 1988, Deniz 1990, Doğan 2002,). Gerinim parametreleri En Küçük Kareler Yöntemi’ne (EKK) göre belirlenir. Bu parametrelerden yararlanarak da gerinim elips parametreleri aşağıdaki gibi hesaplanır. Maksimum ve minimum asal gerinimler,

$$\varepsilon_{mak}/\varepsilon_{min} = \frac{1}{2} \left[(\varepsilon_{xx} + \varepsilon_{yy}) \mp \sqrt{(\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy})^2 + 4\varepsilon_{xy}^2} \right] \quad (3.9)$$

İle hesaplanır. Gerinim elipsinin büyük eksen ε_{max} , küçük eksen ε_{min} olur. Gerinim için ekstrem değerler $\emptyset$ ve $\emptyset + \frac{\pi}{2}$ doğrultularında meydana gelir ve

$$\emptyset = \frac{1}{2} \arctan \left(2\varepsilon_{xy} / (\varepsilon_{xx} - \varepsilon_{yy}) \right) \quad (3.10)$$

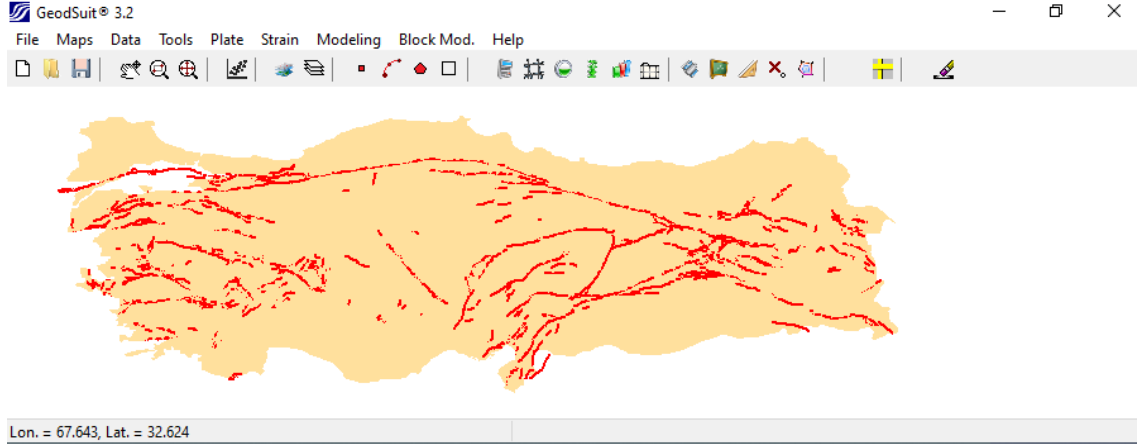
eşitliği ile hesaplanır. Hesaplanan bu açı asıl eksen gerinim yönlendirilmesini açıklar. Bu doğrultu gerinim elipsinin büyük ekseninin açıklık açısıdır. Gerinim alanının homojen olması durumunda, deformasyondan önce bir daire üzerinde bulunan noktalar, deformasyondan sonra bir elips üzerinde yer alırlar (Şekil 3.11). Gerinim elipsinde çıkan pozitif asal gerinim değerleri genişmeyi, negatif asal gerinim değerleri sıkışmayı belirtir. Deformasyon gerinim parametrelerinin her ikisi de pozitif olacağı gibi biri pozitif diğeri negatif ya da ikisi de negatif olabilmektedir. Asal gerinim değerlerinden herhangi biri negatif ise gerinim elipsi sanal elips şeklindedir. Grafik gösterimde genişleme yönü noktadan dışarıya doğru, sıkışma yönü ise bunun tersi işaretlerle gösterilir (Doğan 2002).



Şekil 3.11 Gerinim elipsi (Doğan 2002).

3.3.1 GeodSuit

GeodSuit, Türkiye merkezli MDSOFT firması tarafından geliştirilmiş ve deformasyon çalışmaları ile ilgili çok sayıda işlemi yapmaya yarayan, Windows ortamında çalışan bir yazılımdır. Gelişmiş ve kolay kullanım olanağı sunan arayüz desteği sayesinde herhangi bir kodlama veya algoritma bilgisine gerek kalmaksızın oldukça pratik işlem yapma olanağı sağlar (Şekil 3.12). Yazılım içerisinde altlık olarak ülke sınırları, faylar, deprem kataloğu, il ve ilçe merkezleri yer almaktadır (GeodSuit 2017, İnt.Kyn.11).



Şekil 3.12 GeodSuit yazılımı arayüzü.

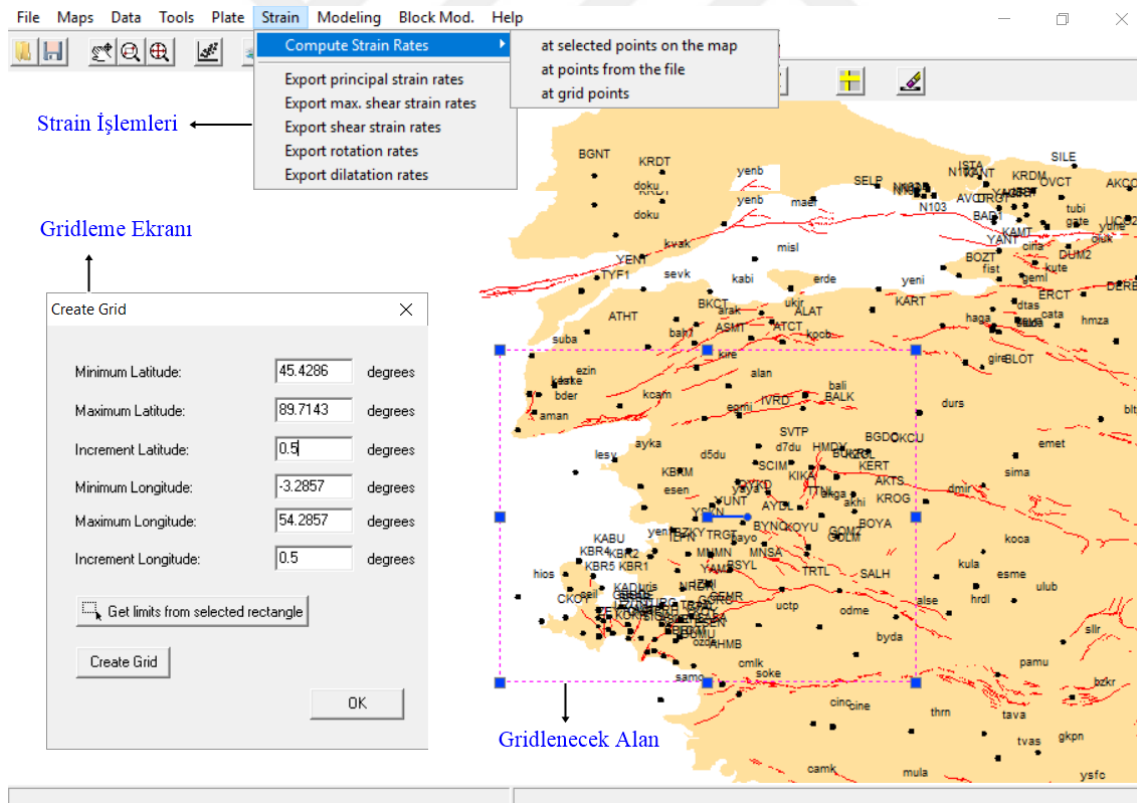
GeodSuit ile gerinim analizi, blok modelleme, intersismik deformasyon analizi, sismik yer değiştirmelerin modellenmesi, plaka hız modellemesi, göreceli (relative) hızların hesaplanması gibi çok sayıda işlem yapılabilmektedir (GeodSuit 2017, İnt.Kyn.11). GeodSuit ile yapılacak analizlerde üretilecek çıktı dosyalarının (gerinim, blok model vb.) en çok tercih edilen görselleştirme yazılımlarından olan GMT formatında kaydedilmesi sonuçların görselleştirilmesi aşamasında büyük kolaylık sağlamaktadır.

GNSS hızları ile gerinim analizi yapmak için birçok yöntem bulunmaktadır. Yazılım geliştiricileri önceki çalışmalarında elde edilen sonuçların güvenilirliğine dayanarak Shen vd. (1996) ve Aktuğ vd. (2009)'da belirtilen yöntemi kullanmaktadır. Bu yöntemde göre EKK metodu kullanılarak grid noktalarındaki gerinimler ve dönüklükler hesaplanır (GeodSuit 2017).

Yazılım ile yapılacak gerinim analizi için girdi verisi olarak GNSS noktalarına ait hızlar ve bu hızlara ait doğruluklar kullanılmaktadır. Hız verilerinin yazılım girdi formatında (*Boylam, Enlem Ve, Vn, Se, Sn, RHO, Nokta Adı*) düzenlenmesi gerekmektedir. Ancak GAMIT/GLOBK ve BERNESE ile elde edilen hız dosyaları yazılımda ön tanımlı olup herhangi bir düzenleme işlemine gerek kalmaksızın doğrudan kullanılabilir.

Yazılım ile gerinim analizi yapmak için öncelikle **Maps** menüsünden altlık **Add Base Map** ve faylar **Add Fault Map** eklendikten sonra üst menüde **Data > Load GPS Velocity/Displacements** sekmesinden bir hız dosyası yüklenir. Daha sonra gerinim

analizi yapılmak istenen bölge araç çubuğunda (toolbar) yer alan ve kare ile gösterilen “**Select Rectangle**” ile dörtgen içerisine alınır. Sonrasında bu dörtgen imleç ile seçilir ve **Tools > Create Grid** ile grid sınırları ve grid aralığının tanımlanacağı menü açılır. Burada “**Get limits from selected rectangle**” butonu ile gridleme yapılacak alan koordinatları çizilen dörtgenin köşe noktalarının koordinatları olarak güncellenir. Bu işlem dikdörtgen seçmeksizin **Create Grid** ekranına enlem boylam girilerek de yapılabilmektedir. Bir sonraki aşamada ise “**Increment Latitude/Longitude**” ile gerinimlerin hesaplanacağı grid aralığı tanımlanmalıdır. Son olarak “**Create Grid**” ile gridleme işlemi tamamlanır (Şekil 3.13). Yazılım buraya kadar ekranda herhangi bir çıktı üretmez. Son olarak üst menüdeki **Strain** sekmesinden **Compute Strain Rates > at grid points** seçeneği seçilerek daha önce tanımlanmış olan grid noktalarında gerinim hesaplaması yapılır. Strain menüsünden gerinim, kayma, rotasyon ve dilatasyon oranları **Export** ile bir dosyaya kayıt edilebilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 GeodSUIT gridleme ekranı ve strain (gerinim) işlemleri menüsü.

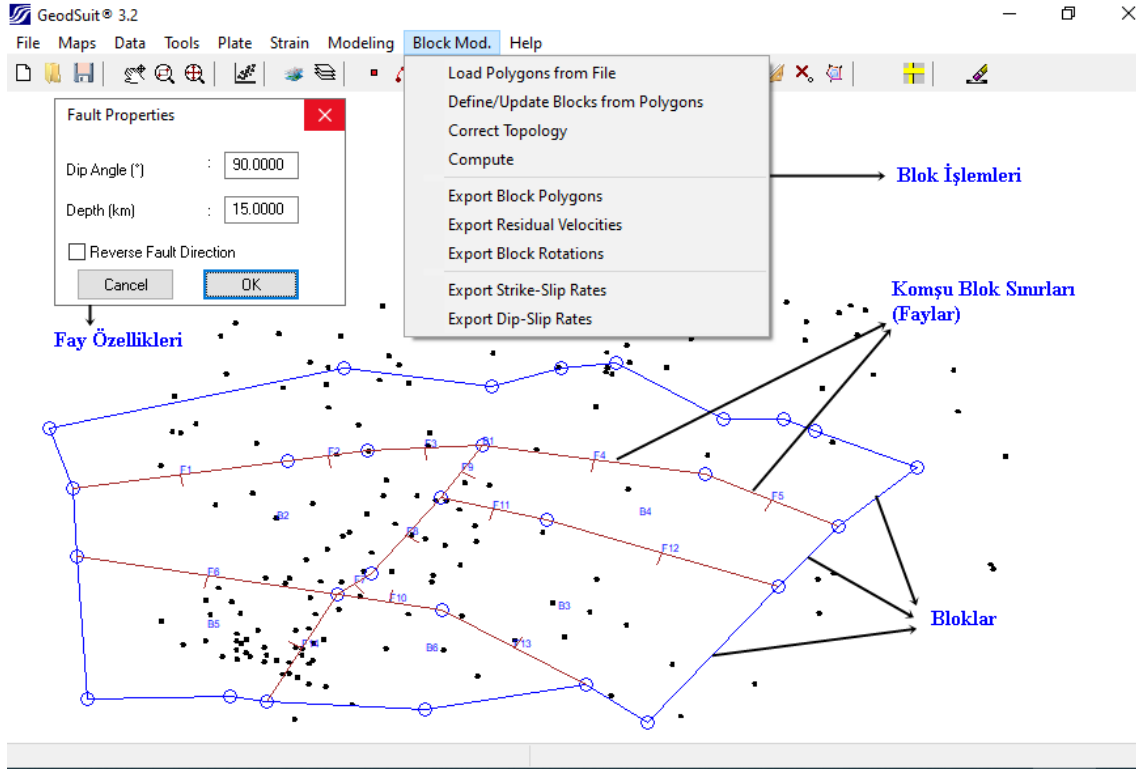
Yazılım gerinim hesaplaması için grid noktalarına alternatif olarak 2 seçenek daha sunar. Bunlar “**at selected points on the map**” ve “**at points from the file**”

seçenekleridir. “**at selected points on the map**” ile çizim ekranında seçilen herhangi bir noktada gerinim hesaplaması yapılabilir. “**at points from the file**” seçeneği ile de gerinim hesaplanmak istenilen noktalara ait boylam ve enlemlerin yazdığı bir metin dosyası seçilerek o noktalardaki gerinimler hesaplanabilir. Bu iki özellik sayesinde doğrudan fayların üzerindeki gerinimler hesaplanabileceği gibi farklı zamanlarda gerçekleştirilen çalışmalar için her zaman aynı koordinatlardaki gerinimler de hesaplanabilir. Bahsedilen zellikler bu tez çalışması kapsamında kullanılmıştır.

GAMIT/GLOBK ile elde edilen hızlar nokta bazında yıllık hareket miktarını verirken gerinim analizleri ise bu hızlara ve aralarındaki mesafelere bağlı olarak bölge genelindeki stres birikimini ifade eder. Ancak faya komşu blokların (plaka) hareketlerinin anlaşılabilmesi için blok modelleme çalışması yapılması gerekmektedir. GeodSuit yazılımının en önemli özelliklerinden biri blok modelleme ve blok çözüm olanağı sunmasıdır (GeodSuit 2017).

Blok sınırları belirlenirken uygulanacak yaklaşım aynı blok üzerinde yer alan noktaların hızlarının aynı yönlü ve birbirine yakın olacağıdır. Bununla birlikte hareketlerin faylanma görülen kısımlarda gerçekleştiği düşünüldüğünde blok sınırlarının fayları temsil etmesi gerekmektedir. Dolayısıyla blok sınırlarının faylar üzerinden geçmesi anlamlı olacaktır. Ancak henüz yüzey kırığı oluşturmayan veya bilinen bir fay olmayan bölge de blok sınırı olabilir.

Blok sınırları belirlenirken kullanılabilecek en etkili yöntemlerden biri noktaların grelı hızlarını incelemek olacaktır. Bunun için mümkünse çalışma bölgesi dışındaki noktalar sabit alınarak tüm noktaların grelı hızları hesaplanmalı ve elde edilen grelı hızlar yardımıyla blok sınırları belirlenmelidir. Yazılım üzerinde bu işlem sabit alınacak noktalar işaretçi ile seçildikten sonra “**Plate**” menüsünden “**Compute Relative Velocities**” seçeneği ile gerçekleştirilir (şekil 3.14). Sonrasında ise her defasında bir blok sabit alınarak ağda yer alan tüm noktaların grelı hızları hesaplanmalı ve noktaların blok ile uyumu incelenmeli ve en uygun blok model belirlenmelidir. Blok model belirlendikten sonra çözüm yapılması yani blokların birbirlerine göre grelı hareketleri ile noktaların artık hızları hesaplanmalıdır.



Şekil 3.14 GeodSUIT blok işlemleri menüsü.

GeodSUIT ile blok model çözümü için hız dosyası yüklendikten sonra araç çubuğu üzerinde yer alan **“Digitize Polygons”** butonu ile blok sınırları çizilir. Bu aşamada her bir blok kapalı alan şeklinde çevrilmeli ve aralarında boşluk olmamalıdır. Aksi takdirde yazılım ilgili bloğu kullanmayacaktır. Daha sonra tüm bloklar işaretçi ile seçilmeli ve **“Block Mod.”** Menüsünden **“Define/Update Blocks From Polygons”** bloklar tanımlanmalı ve **“Correct Topology”** uygulanmalıdır (Şekil 3.14). Eğer blok sınırları ile ilgili eğim açısı (varsayılan 90°) ve sismojenik kalınlık (varsayılan 15 km) belirlenmek isteniyorsa her bir sınıra çift tıklayarak açılan **“Fault Properties”** penceresinde ilgili veriler girilmelidir. Son olarak yine aynı menüden **“Compute”** ile blok çözümü gerçekleştirilir. Blok çözümüyle hesaplanan blok hareketleri, artık hızlar ve blok rotasyonları menüde yer alan **“Export”** seçenekleri kullanılarak dışarıya aktarılabilir (Şekil 3.14). Bu değerlerin uygun şekilde görselleştirilmesi için alternatif yazılımlar kullanılmalıdır.

3.4 Jeodezik Deprem Tekrarlılık Analizi

Gerinim bir cisim üzerinde o ana kadar meydana gelen güncel deformasyon hakkında bilgi verir. Tektonik olarak düşündüğümüzde bu durum levhalar veya daha küçük bloklar üzerinde meydana gelen stres birikimine karşılık gelir. Bir bölgenin depremselliği incelenirken gerinimlerle birlikte bölgenin deprem tekrarlama periyotları da incelenmelidir. Bu periyotları hesaplama yöntemlerinden biri jeodezik verilerden elde edilen gerinim değerlerini kullanmaktır.

Belirli bir büyüklükteki (M , $M < M_{max}$) yıllık deprem sayısı (N) aşağıdaki şekilde Kesikli Gutenberg-Richter modeli ile ifade edilebilir.

$$N(M) = 10^{a+bM} (M < M_{max}) \quad (3.11)$$

Buna göre büyüklüğü M 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığı ise

$$T(\geq M) = \frac{1}{10^a \int_M^{M_{max}} 10^{bM} dM} \quad (3.12)$$

şeklinde hesaplanabilir. Sismik moment (M_0) ile moment büyüklüğü (M_w) arasında Hanks and Kanamori (1979) tarafından verilen

$$M_0 = 10^{\frac{3}{2}(M_w + 6.07)} \quad (3.13)$$

bağıntısı 3.11 eşitliği kullanılarak tüm depremler için toplam yıllık moment hızı (M_0)

$$M_0 = 10^a \int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w + 9.105} dM \quad (3.14)$$

şeklinde hesaplanabilir (Ward 1994). Burada 10^a terimi eşitliğin sol tarafında kalacak şekilde 3.14 eşitliği yeniden düzenlenirse

$$10^a = \frac{M_0}{10^a \int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.105} dM} \quad (3.15)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitliğin integrali alınarak

$$10^a = \frac{(1.5+b)M_0 \cdot \log 10}{10^{(1.5+b)M_{max}+9.105}} \quad (3.16)$$

bulunabilir (Ward 1994). 3.15 eşitliğindeki 10^a değeri 3.12 eşitliğinde yerine konursa büyüklüğü M' 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığı

$$T(\geq M) = \frac{\int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.105} dM}{M_0 \int_M^{M_{max}} 10^{bM} dM} \quad (3.17)$$

şeklinde hesaplanabilir (Ward 2007). Burada, paydadaki integral hesaplanıp, paydaki integral yerine 3.16 eşitliği kullanılırsa 3.17 eşitliği;

$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5+b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w+9.105}}{M_0(10^{bM_{max}} - 10^{bM_w})} \quad (3.18)$$

haline gelir. Gerinim tensöründen maksimum gerinim hızının belirlenmesi için çeşitli yöntemler olmakla birlikte en fazla kabul gören

$$\varepsilon_{max} = \max(\lambda_1, \lambda_2) \quad (3.19)$$

eşitliği kullanılmıştır. Birim alandaki yıllık moment hızı ise maksimum gerinim hızı kullanılarak

$$M_0^{geodetic} = 2\mu H_{sismojenik} \varepsilon_{max} \quad (3.20)$$

elde edilir. Elde edilen sonuçlar, ülkemiz için $M_{max}=8.0$ ve b için ise -1.0 ile -0.9 arasındaki bir değer kabul edilebilir olduğunu göstermektedir. 3.18 eşitliğindeki sismik moment hızı yerine, jeodezik verilerden hesaplanan moment hızı kullanıldığında 3.18 eşitliği

$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5+b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w+9.105}}{2\mu H_{sismojenik} \varepsilon_{max} (10^{bM_{max}} - 10^{bM_w})} \quad (3.10)$$

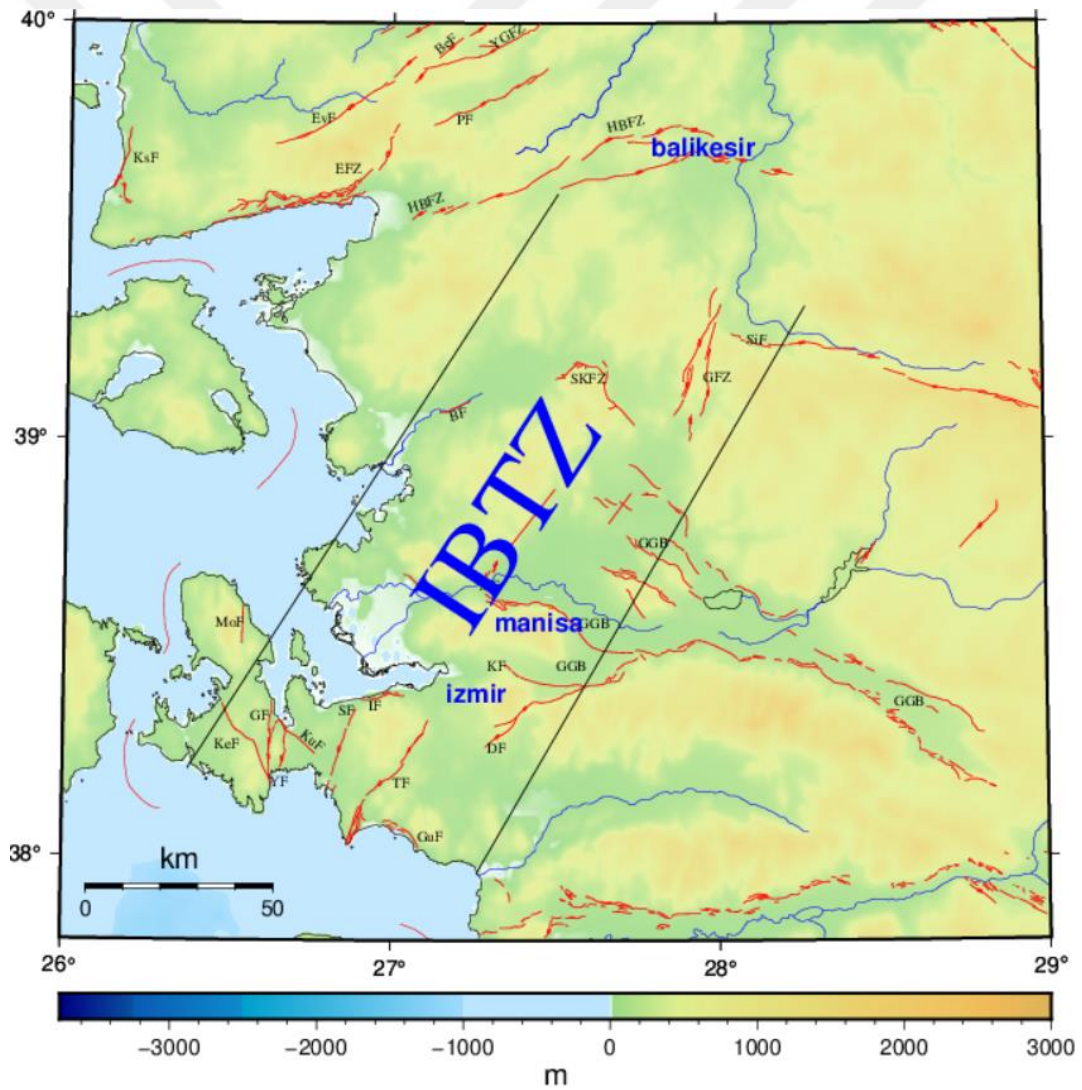
şekline gelir (Aktuğ 2017).



4. UYGULAMA

4.1 Çalışma Bölgesinin Özellikleri

Batı Anadolu'yu bloklara bölen ve kıtasal ölçekli ana zayıflık zonlarından biri olan İBTZ Batı Anadolu'da yer alan D-B uzanımlı grabenleri (Gediz, Küçük Menderes ve Büyük Menderes), Menderes metamorfik çekirdek kompleksini ve bunlarla bağlantılı olarak gelişen sıyrılma faylarını batıdan sınırlar (Şekil 2.5). Gümüldür (İzmir) ve Bigadiç (Balıkesir) ilçeleri arasında KD-GB doğrultusunda uzanan İBTZ yaklaşık 150 km uzunluğunda ve ortalama 20 km genişliğe sahiptir.

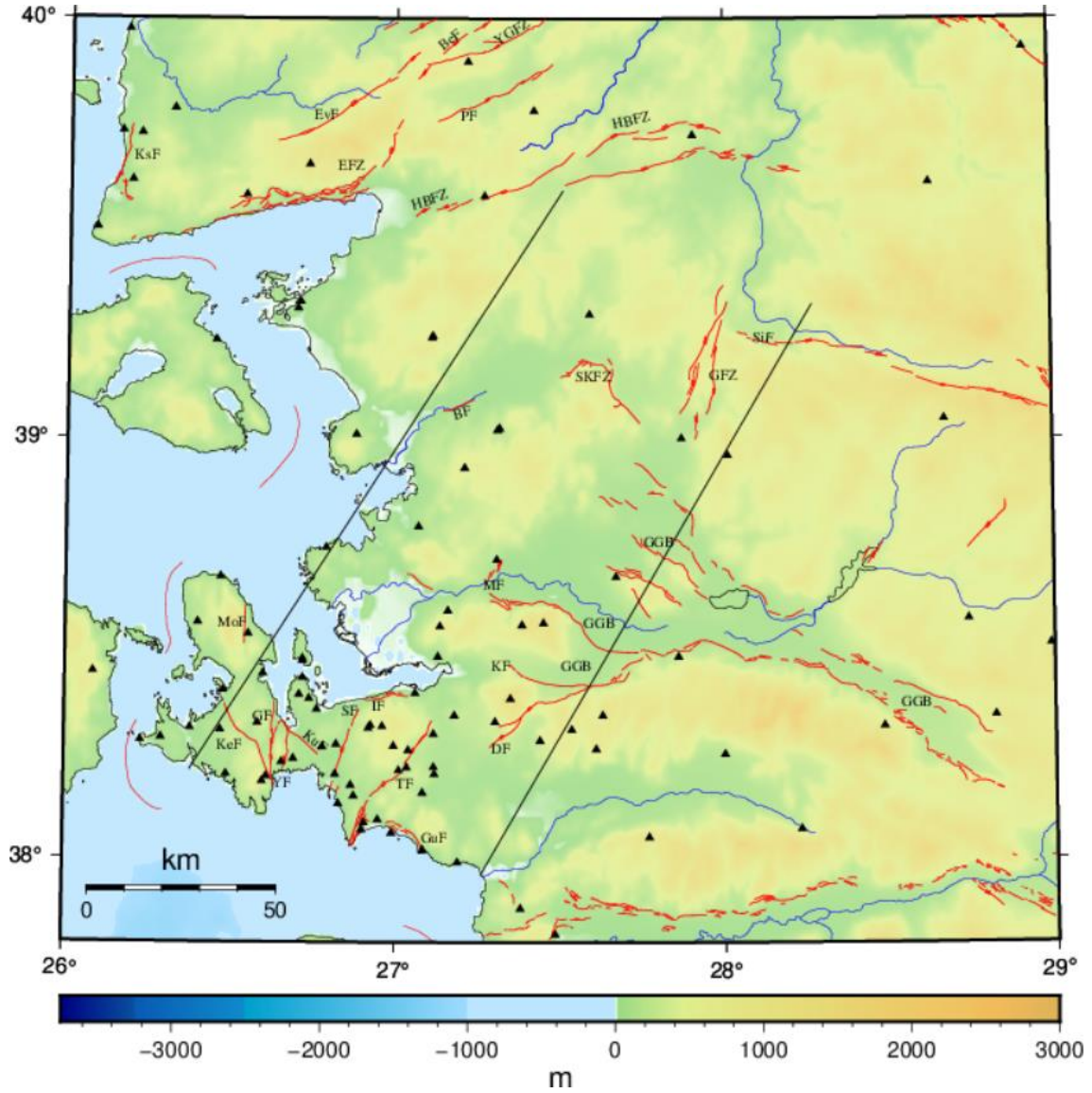


Şekil 4.1 Çalışma bölgesi (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler).

Salihli-Turgutlu (Manisa) arasında yaklaşık D-B doğrultusunda uzanım sunan Gediz grabeni zona yaklaştığında genişler ve Kemalpaşa, Manisa ve Gölarmara olarak üç kola ayrılır. Bu kollar İBTZ içinde sonlanmaktadır. Seferihisar Horstu, Yamanlar, Yuntdağı ve Spil Dağı gibi yükseltiler de yine İBTZ içinde yer almaktadır. İBTZ'nin Gümüldür güneyindeki bölümü Kuşadası Körfezi boyunca Ege Denizi'nin altında devam etmektedir (Sözbilir vd. 2012). İBTZ ve çevresi içerdği çok sayıda diri fay ve yakın dönem deprem aktivitesine ek olarak bölgede yaşayan nüfus ve ülke ekonomisine katkısı dolayısıyla önem arz etmektedir (Şekil 4.1). Ayrıca çalışma bölgesinin AFAD deprem tehlike haritasında yüksek tehlike bölgesinde olması da göz önünde bulundurulduğunda bölgenin tektonik açıdan periyodik olarak izlenip modellenmesinin can ve mal kaybıyla birlikte deprem kaynaklı üretim, sanayi, alt yapı ve ulaşım konusunda meydana gelebilecek olumsuz durumların azaltılabilmesi için büyük önem arz ettiği değerlendirilmektedir.

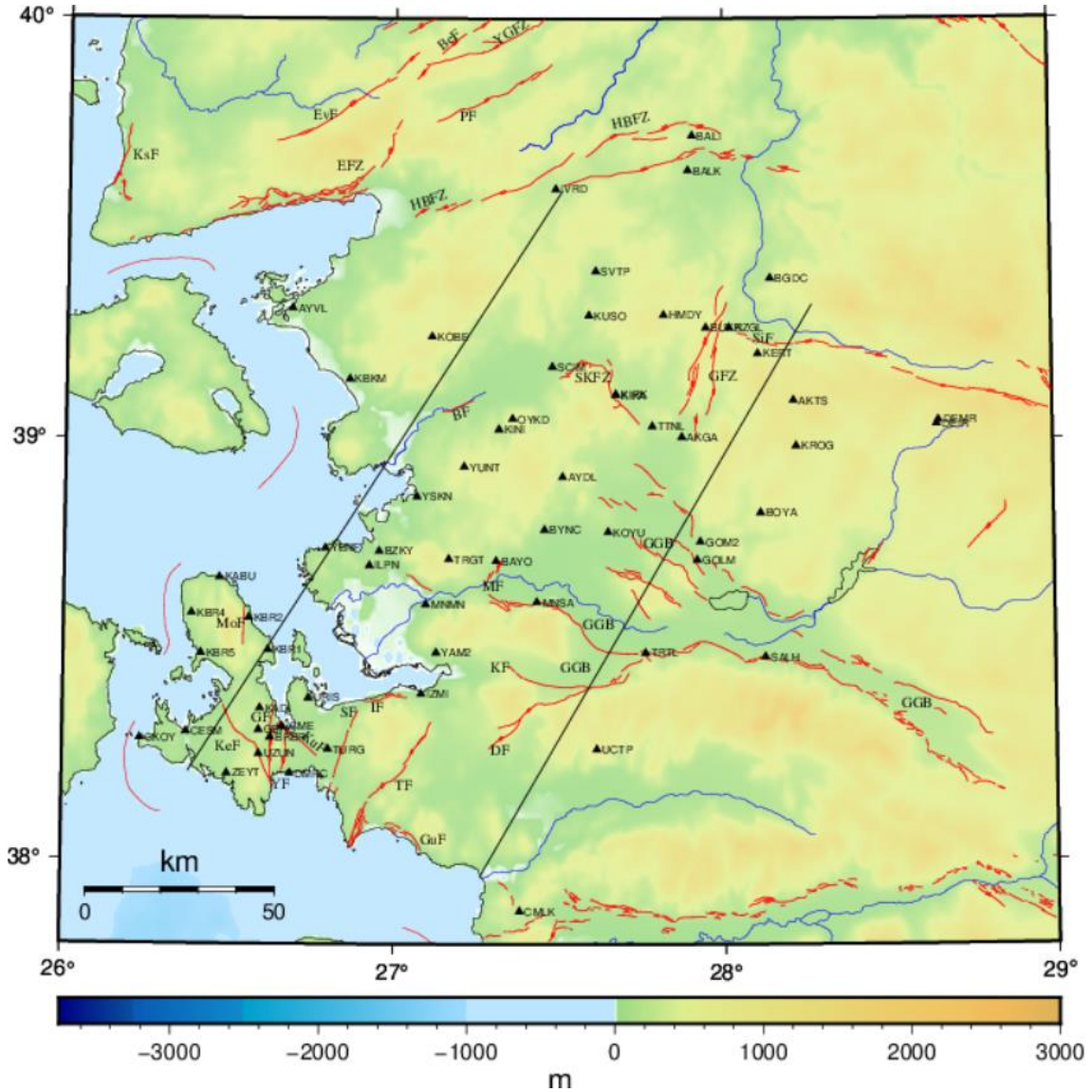
4.2 GNSS Ağı

Bölgede daha önce gerçekleştirilen jeodezik çalışmalarda yer alan noktalar genel olarak İBTZ güneyinde yoğunlaşmıştır (Aktuğ ve Kılıçoğlu, 2006, Aktuğ vd. 2009, Çırmıkçı vd. 2017, Özener vd. 2013, Kavak 2020). Bu çalışmalarda kullanılan noktalar bir arada değerlendirildiğinde İBTZ'nin güneyinde bölge faylarını temsil edecek şekilde yoğun bir ağı ve kapsamlı bir hız alanı olduğu görülmektedir (Şekil 4.2). Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında oluşturulan ağı için nokta yoğunluğunun çok az olduğu İBTZ'nin kuzey kısmına odaklanılarak elde edilecek hız alanıyla güneydeki hız alanının birleştirilmesi ile İBTZ'nin tamamına yönelik bir hız alanı oluşturmak amaçlanmıştır.



Şekil 4.2 Önceki çalışmalarda kullanılan noktaların coğrafi dağılımı (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).

Bölgede oluşturulan GNSS ağında yer alan noktalar için çeşitli disiplinlerden bölge tektoniğine hâkim bilim insanları ile ortak bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma kapsamında öncelikle bölgede yer alan ve verisi temin edilebilecek TUTGA ve CORST-TR ağlarına ait istasyonlar ile çeşitli kurum ve kuruluşlar tarafından işletilen sabit istasyonların dağılımı incelenmiştir. Yeni noktaların bölge jeolojik yapısına ve blok sınırlarına uygun olması ve ölçme tekniğine uygun konumda olması göz önünde bulundurulmuştur.



Şekil 4.3 İBTZ boyuncu oluşturulmuş olan GNSS Ağı (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).

Çalışma bölgesi tektoniğini ifade edebilecek bir ağ için bölgede var olan noktalara ek olarak 20 yeni noktaya daha ihtiyaç duyulmuş ve bu noktaların konumları belirlenmiştir. Ayrıca AKÜ BAP tarafından desteklenen **19.FEN.BİL.17** numaralı proje kapsamında İBTZ'nin güneyinde yer alan 7 noktanın ve Kavak 2020'de kullanılan 4 noktanın RINEX verileri temin edilmiştir. Böylelikle 20'si yeni nokta, 11'i diğer proje noktası, 20'si TUTGA noktası, 7'si CORS-TR ve 4'ü sabit istasyon olmak üzere GNSS verisi olan 62 noktalık bir ağ planlaması yapılmıştır (Şekil 4.3). Buna ek olarak İBTZ güneyinde yapılan çalışmalarda kullanılan noktalar ile birlikte İBTZ içi ve yakın çevresinde 111 noktalık bir ağ oluşturulmuştur.

Çizelge 4.1 Bölgede mevcutta yer alan ve ölçüsü olan noktalar.

Sıra	Nokta	İlk	Mevcut	Sıra	Nokta	İlk	Mevcut
		ölçü tarihi	ölçü sayısı			ölçü tarihi	ölçü sayısı
1	AKTS	2006	2	11	KCOB	2006	1
2	AYDL	2006	2	12	KERT	2006	2
3	BOYA	2009	1	13	KOYU	2006	3
4	BUKR	2006	2	14	KZGL	2006	2
5	BYNC	2006	2	15	MNMN	2009	2
6	CALT	2007	1	16	SCIM	2008	1
7	HMDY	2008	1	17	SVTP	2008	1
8	ILPN	2009	1	18	TRGT	2009	1
9	IVRD	2006	1	19	TTNL	2008	1
10	KBKM	2010	2	20	YSKN	2008	3

Yeni belirlenen noktaların tesis maliyetini düşünerek öncelikle bölgede yer alan kurum ve kuruluşlardan bölgede yer alan GNSS noktalarının konumları ve verileri temin edilmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde yeni belirlenen 20 noktanın yakınlarında mevcutta noktalar olduğu ve bunların bazılarına ait uzun süreli ölçü olduğu görülmüştür (Çizelge 4.1). Bölgede yapılan istikşafta yeni belirlenen 20 noktanın tamamının tesis türünün pilye olduğu ancak bunlardan 3'ünün tahrip olduğu belirlenmiştir. Bu noktalara alternatif olabilecek ve geçmiş zaman ölçüsü olan noktalar araştırılmış ve seçilmiştir. Yeni nokta tesis ve ölçü maliyetinden tasarruf amacıyla ve ölçüler arasında geçen sürenin hız doğruluklarına olan olumlu etkisi değerlendirilerek bölgede mevcutta var olan noktaların kullanılmasına karar verilmiştir (Şafak vd. 2020).

4.3 GNSS Ölçüleri

GNSS ağında yer alan ve yeni nokta olarak belirlenen 20 noktanın 3'ünde hız elde etmek için gereken minimum kampanya sayısı olan 3 kampanya veri mevcutta bulunmaktadır. Ancak hızları güncellemek ve güvenilirliğini arttırmak amacıyla bu

noktalar da dâhil olmak üzere 20 noktada 2018 ve 2019 yılları Eylül aylarında ölçü yapılmıştır (Çizelge 4.3) (Şekil 4.4). 2018 yılı ölçüleri herhangi bir kurum/kuruluş desteği olmaksızın yapılırken 2019 yılı ölçüleri AKÜ BAP tarafından desteklenen **19.FEN.BİL.02** numaralı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. GNSS ölçüleri için kullanılan ekipmanlar ve ölçü stratejisi sırasıyla Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Arazide istasyon kurulumu sırasında yapılan çalışmaların görüntüleri.

Çizelge 4.2 GNSS ölçüleri için kullanılan ekipmanlar.

Yıl	Alıcı-Anten Bilgisi	Kurum
2018	THAZMX- THA_ZMAX+RCVR ATGD4A - ASH701975.01	AKÜ-İTÜ
2019	THAZMX- THA_ZMAX+RCVR ATGD4A - ASH701975.01	AKÜ

Çizelge 4.3 2018 ve 2019 kampanyaları ve toplam kampanya sayısı.

Sıra	Nokta	2018	2019	Toplam Kampanya Sayısı
1	AKTS	x		3
2	AYDL	x		3
3	BOYA	x	x	3
4	BUKR	x	x	4
5	BYNC	x	x	4
6	HMDY	x	x	3
7	ILPN	x	x	3
8	IVRD	x	x	3
9	KBKM	x		3
10	KERT	x		3
11	KOYU	x		4
12	KZGL	x	x	4
13	MNMN	x		4
14	SCIM	x	x	3
15	SVTP	x	x	3
16	TRGT	x	x	3
17	TTNL	x	x	3
18	YSKN	x		4

Çizelge 4.4 GNSS ölçü stratejisi.

Parametre	Değer
Ölçü Türü	Statik
Oturum sayısı	2 gün tekrarlı
Veri toplama aralığı	15 sn
Ölçü Süresi	Min. 8 saat
Uydu yükseklik açısı	10°

Tez kapsamında gerçekleştirilen 2 kampanya ölçü ile elde edilen veriler sonucunda 20 noktanın 18'inde hız üretebilmek için gereken veri sayısına ulaşıldığı ancak 2 noktada (KCOB-CALT) alıcıların kayıt yapmadığı tespit edilmiştir. Bundan dolayı bu 2 noktada

mevcut veri sayısı 1 kampanyada kalmış, buna bağlı olarak bu noktalara ait hız üretilmeyeceği için ağdan çıkarılmıştır. Ayrıca çalışma bölgesinde yer alan TUTGA, Tusaga-Aktif (CORS-TR) ve sabit istasyonların verileri de temin edilerek RINEX verisi olan 60 noktalık ağ oluşturulmuştur (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5 Ölçü yapılan/verisi temin edilen noktalar ve toplam kampanya sayıları.

Ağ	Sıra	Nokta	İlk ölçü tarihi	Toplam Kampanya Sayısı
ÖLÇÜ	1	AKTS	2006	3
	2	AYDL	2006	3
	3	BOYA	2009	3
	4	BUKR	2006	4
	5	BYNC	2006	4
	6	CALT	2006	1
	7	HMDY	2008	3
	8	ILPN	2009	3
	9	IVRD	2006	3
	10	KBKM	2010	3
	11	KCOB	2006	1
	12	KERT	2006	3
	13	KOYU	2006	4
	14	KZGL	2006	4
	15	MNMN	2009	4
	16	SCIM	2008	3
	17	SVTP	2008	3
	18	TRGT	2009	3
	19	TTNL	2008	3
	20	YSKN	2008	4
TUTGA	21	AKGA	2013	3
	22	BALI	2013	3
	23	BAYO	2011	3
	24	BGDC	2013	3

Çizelge 4.5 (Devam) Ölçü yapılan/verisi temin edilen noktalar ve toplam kampanya sayıları.

TUTGA	25	CKOY	2014	3
	26	CMLK	2011	3
	27	EGM2	2013	4
	28	GOM2	2016	3
	29	KABU	2014	3
	30	KINI	2014	3
	31	KOBE	2013	4
	32	KROG	2013	4
	33	KUSO	2013	3
	34	TRTL	2011	3
	35	UCTP	2014	3
	36	URIS	2011	3
	37	YAM2	2014	3
	38	YENF	2014	3
	39	YUNT	2014	3
	40	ZEYT	2014	3
CORS-TR	41	BALK	2009	10
	42	CESM	2009	10
	43	IZMI	2009	10
	44	SALH	2009	10
	45	AYVL	2009	10
	46	KIKA	2009	10
	47	DEIR	2009	10
SABİT	48	GOLM	2016	4
	49	DEMR	2016	4
	50	MANS	2016	4
	51	KIRK	2016	4
DİĞ. PROJ.	52	KBR1	2006	3
	53	KBR2	2006	3
	54	KBR4	2012	3

Çizelge 4.2 (Devam) Ölçü yapılan/verisi temin edilen noktalar ve toplam kampanya sayıları.

DİĞ. PROJ.	55	KBR5	2012	3
	56	KADI	2009	3
	57	GBHC	2009	3
	58	BRBR	2009	3
	59	DMRC	2009	3
	60	UZUN	2009	3
	61	TURG	2009	3
	62	ICME	2006	3

4.4 Hız Alanının Belirlenmesi

4.4.1 GNSS Verilerinin Değerlendirilmesi

Elde edilen GNSS verilerinin değerlendirilmesi işlemi için MIT tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılmıştır. Değerlendirme işlemi Bölüm 3.2.1.1’de anlatıldığı şekilde; hassas uydu yörünge bilgileri ve tüm kampanyalar için aynı IGS istasyonları kullanılarak yapılmıştır. Değerlendirmede dünya geneline yayılmış toplam 29 IGS istasyonu kullanılmış olup IGS istasyonları ve değerlendirme stratejisi sırasıyla Çizelge 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.3 Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları.

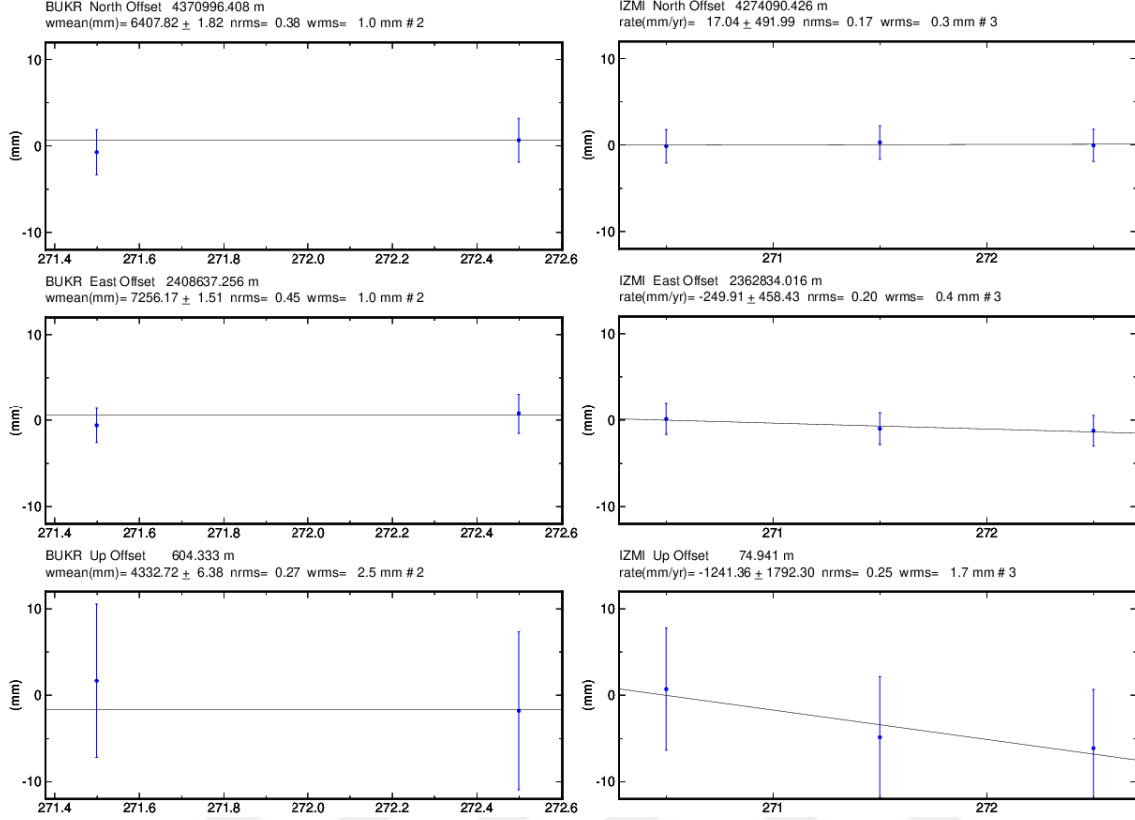
İstasyon	Boylam	Enlem	İstasyon	Boylam	Enlem
ADIS	38.77	9.04	MATE	16.70	40.65
ANKR	32.76	39.89	NICO	33.40	35.14
BAHR	50.61	26.21	NOT1	14.99	36.88
BAKU	49.81	40.37	NSSP	44.50	40.23
BOR1	17.07	52.28	ONSA	11.93	57.40
BUCU	26.13	44.46	POLV	34.54	49.60
CRAO	33.99	44.41	POTS	13.07	52.38
DRAG	35.39	31.59	RAMO	34.76	30.60

Çizelge 4.6 (Devam) Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları.

GLSV	30.50	50.36	SOFI	23.39	42.56
GRAS	6.92	43.75	TEHN	51.33	35.70
GRAZ	15.49	47.07	TELA	34.78	32.07
ISTA	29.02	41.10	TUBI	29.45	40.79
KOSG	5.81	52.18	VILL	356.05	40.44
KUWT	47.97	29.33	ZECK	41.57	43.79
LAUG	35.67	34.12			

Çizelge 4.7 GAMIT değerlendirme stratejisi.

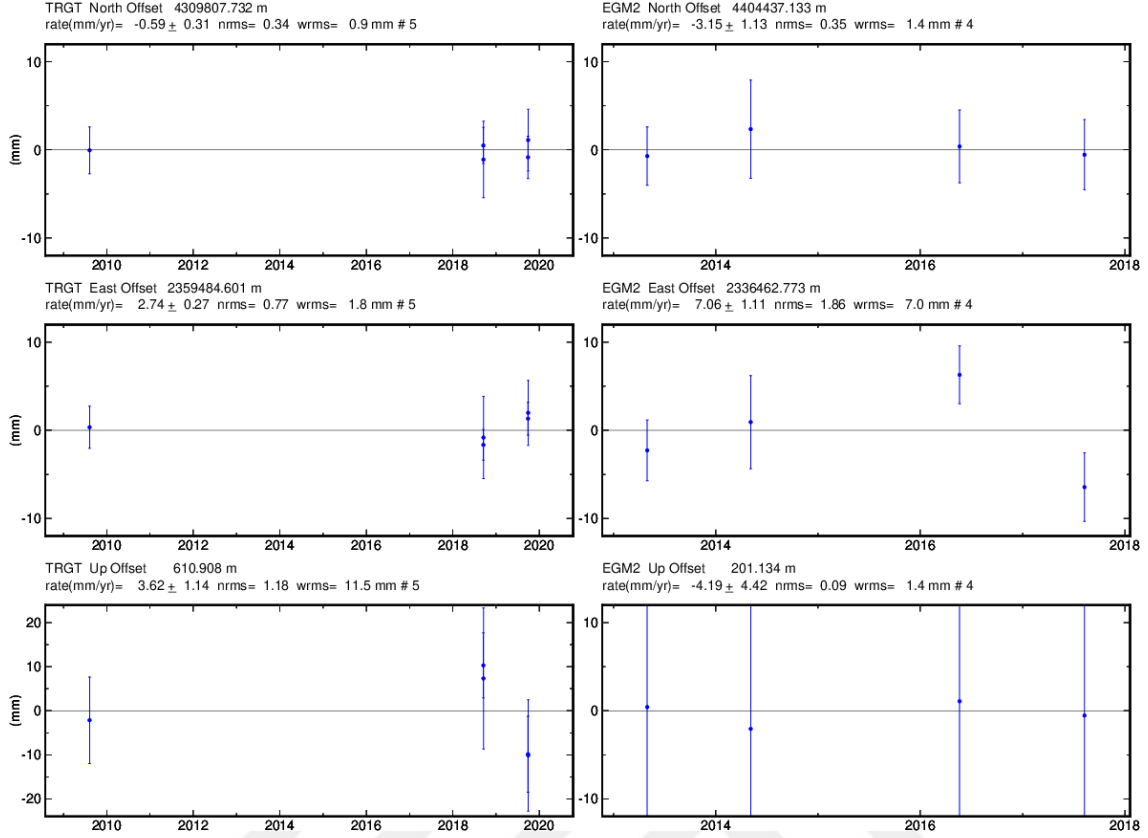
Parametre	Açıklama
Veri Toplama Aralığı	15 saniye
Uydu Yükseklik Açısı	10°
Yörünge Bilgisi	IGSF
Anten Faz Merkezi Bilgisi	Yüksekliğe Bağlı Model (igs08_1958_plus.atx)
Yer Dönme Parametre Bilgisi	USNO_bull_b
Çözüm için İterasyon Sayısı	4
Kullanılan Troposfer Modeli	Sastamoinen
Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği	İyonosferden Bağımsız (Iosphere-free)
Çözümü	



Şekil 4.5 BUKR ve IZMI noktalarının günlük tekrarlılık grafikleri.

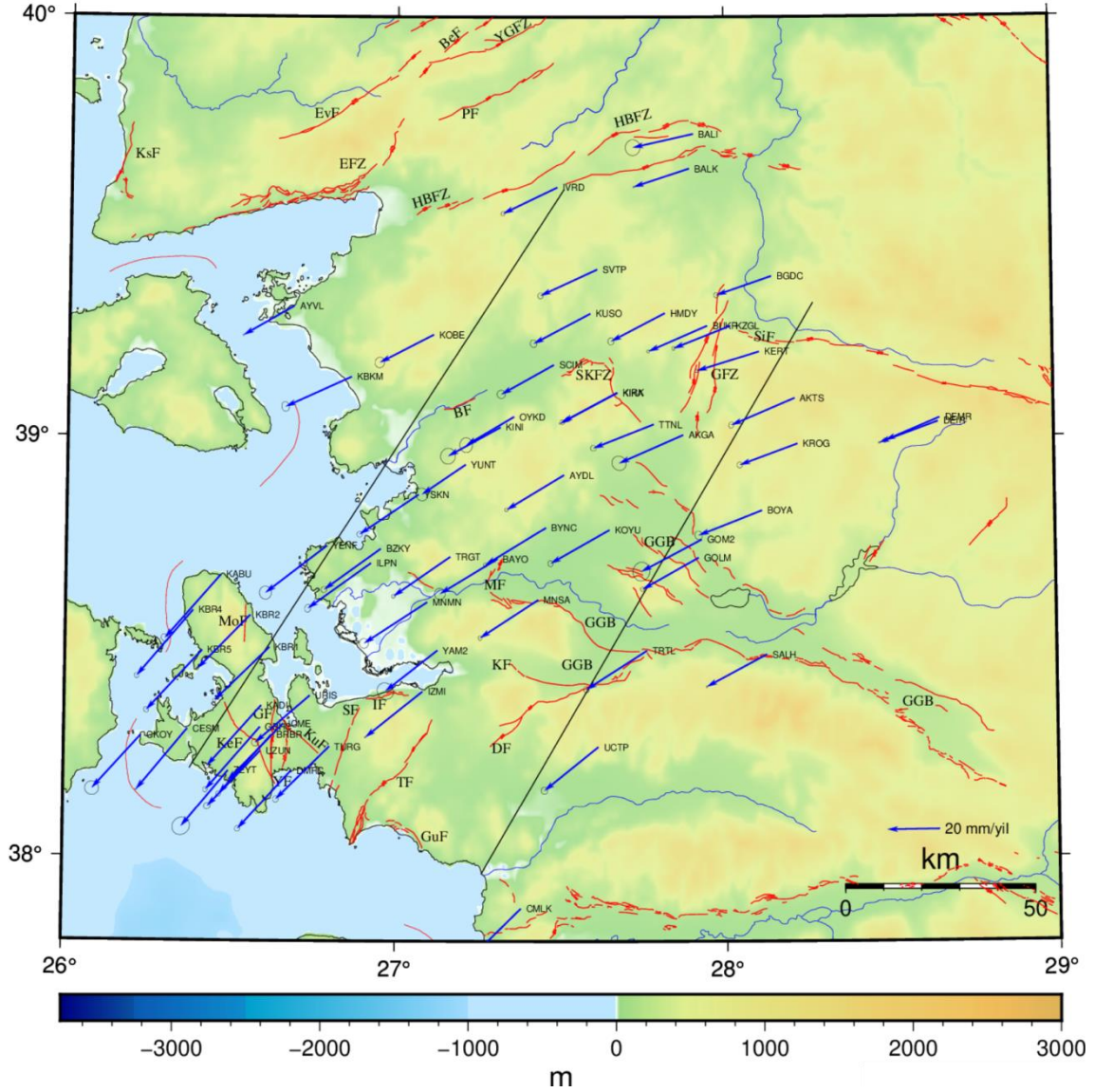
Tüm veriler değerlendirildikten sonra **sh_gfred** ile noktalara ait günlük tekrarlılık grafikleri üretilmiştir. Günlük tekrarlılık grafikleri incelendiğinde bazı noktalarda anten tipi ve anten yükseklik değerlerinin yanlış girildiği görülmüş olup bu bilgiler düzeltildikten sonra ilgili günler yeniden değerlendirilmiştir. BUKR (kampanya) ve IZMI (CORS-TR) noktalarına ait günlük tekrarlılıklar Şekil 4.5'te verilmiştir.

Günlük tekrarlılıklar üretildikten sonra GLOBK ile zaman serisi ve hız üretim aşamasına geçilmiştir. Öncelikle **sh_plotcrd** komutu ile tüm noktalara ait yıllık tekrarlılıklar yani uzun dönem zaman serileri üretilmiştir (Şekil 4.6). Yıllık tekrarlılık grafikleri hız üretme öncesinde bir noktaya ait tüm ölçüler arasındaki tutarsızlığı görmek ve tutarsız olanları gözden geçirmek için önemlidir. Tüm noktalara ait yıllık tekrarlılık grafikleri incelenmiş ve noktalarda bir sorun görülmemiştir.



Şekil 4.6 TRGT ve EGM2 noktalarının yıllık tekrarlılık grafikleri.

Hız üretme aşamasında tüm IGS istasyonları stabilizasyonda kullanılmak üzere **glorg_vel.cmd** dosyasına tanımlanmıştır. Referans olarak Avrasya plakası ve ITRF2008 çatısı tanımlanmıştır. Son olarak Çizelge 4.3'te yer alan 3 numaralı komut (globk) ile tüm noktalara ait hızlar üretilmiş ve GMT yazılımı ile görselleştirilmiştir (Şekil 4.7). Ancak elde edilen hızlar incelendiğinde GLOBK'nin hataları 1 mm'nin üzerinde olan bazı IGS istasyonlarını stabilizasyonda kullanmadığı görülmüştür. Değerlendirmede kullanılan 29 noktadan 24'ü stabilizasyonda kullanılmış, 5'i ise atılmıştır.



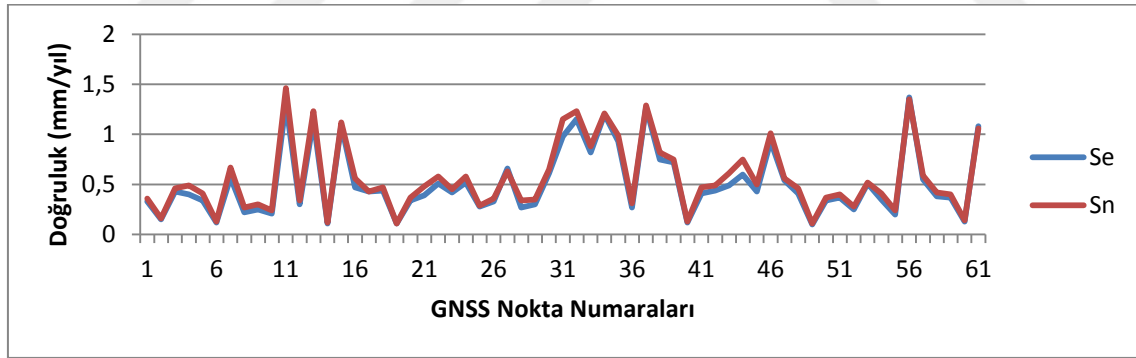
Şekil 4.7 Ham verisi olan 60 noktadan üretilen Avrasya sabit ITRF2008 hızlar (siyah çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı çizgiler: diri faylar, mavi çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları, mavi oklar: hızlar, siyah elipsler: hız doğrulukları).

Yıllık tekrarlılık grafikleri incelendiğinde zaman serilerinde bir sorun görülmemesine rağmen bazı noktaların bölge hız alanı ile uyum sağlamadığı görülmüştür. Bu uyumsuzluğun ilgili noktalarda meydana gelen lokal deformasyonlardan meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle uyumsuz olan noktalar ağdan çıkarılmıştır (EGM2, KBKM).

Elde edilen hız alanı incelendiğinde hız bileşenlerinin negatif değerde olduğu ve bölgenin GB yönlü bir hareket sergilediği görülmüştür. Doğu bileşeni için vektörel

olarak en büyük hız değeri -24 mm/yıl ile OKCU noktasında en küçük hız değeri ise -16.59 mm/yıl ile YUNT noktasındadır. Bu değerler Kuzey bileşeni için -25 mm/yıl ile KBR4 iken -4.96 mm/yıl ile BALI noktasındadır. Bölgenin üst kısmında hızların Doğu bileşenleri vektörel olarak bölgenin alt kısmına göre göreceli olarak daha büyüktür. Bölgenin alt kısmında ise Kuzey bileşenleri üst kısma göre vektörel olarak daha büyüktür. Bu durum bölgenin kuzey ve güneyinde yönleri aynı olsa da büyüklükleri farklı hareketler olduğunu ve bölgenin iki farklı bloktan oluşabileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

Elde edilen hızlar doğruluk değerleri açısından incelendiğinde hız doğruluklarının 1 mm civarında olduğu görülmüştür (Şekil 4.8). En yüksek doğruluk 0.12 mm ile SALH (CORS-TR) noktasında iken en düşük doğruluk 1.46 mm ile GOM2 (TUTGA) noktasındadır. GOM2 noktasının tesis türü kayada bronz olup hata değerinin yüksek çıkmasının merkezleştirme hatasından olabileceği değerlendirilmektedir. Bu durum literatürde de bahsedilen, yüksek doğruluk ve hassasiyet gerektiren çalışmalarda merkezleştirmenin önemini ortaya çıkarmaktadır.



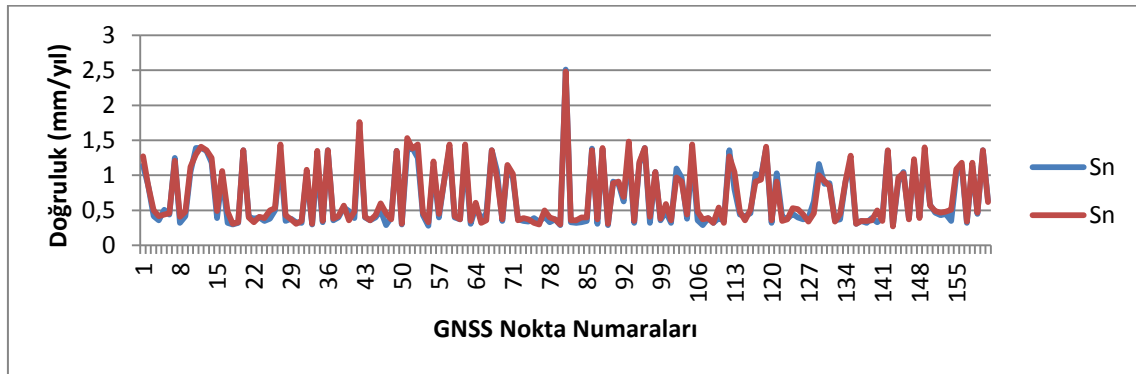
Şekil 4.8 Hız bileşenlerinin doğrulukları.

Kesin olmayan genellemeyle birlikte bir bölgede meydana gelen $M \geq 6$ büyüklüğündeki depremler yüzey kırığı oluşturabilmektedir (Şaroğlu vd. 1987). Çalışma bölgesinde son büyük deprem 1992 yılında Tuzla fayı civarında meydana gelmiş ($M_w:6.2$) olup çalışma kapsamında ölçülen ve temin edilen veri aralığında (2006-2019) $M \geq 6$ deprem meydana gelmemiştir. Ancak 2017 yılında Ayvacık-Çanakkale civarında meydana gelen $M > 5$ depremleri tanımlanarak veriler yeniden değerlendirilmiş ve hızlar yeniden üretilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde bu depremlerin ağda yer alan noktalar üzerinde

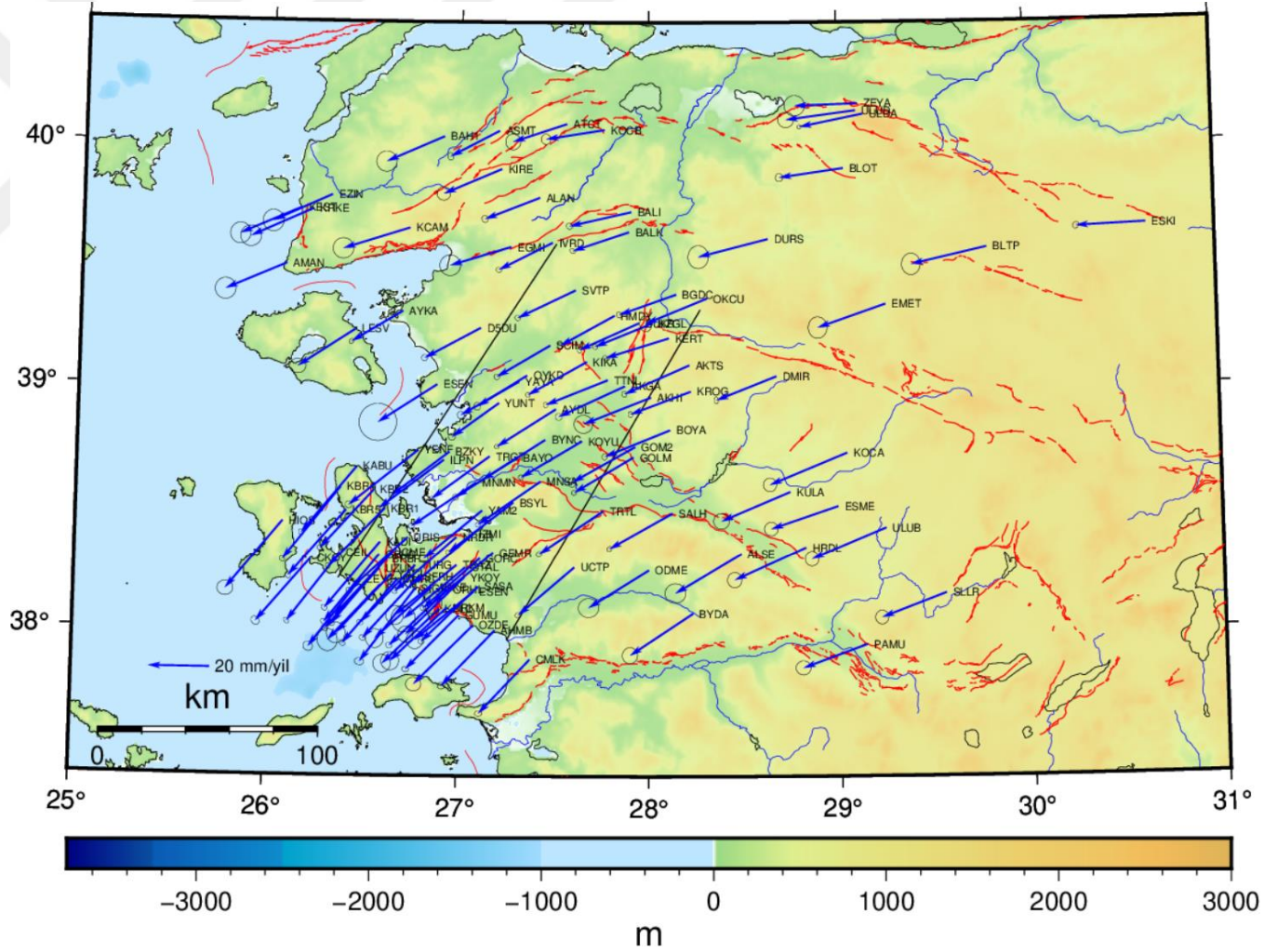
anlamalı bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Yine 2020 yılında Akhisar-Soma-Kırkağaç civarında meydana gelen Mw:5.2 ve Mw:5.4 depremlerinin bölgede yer alan noktalara olan etkisini araştırmak amacıyla deprem episantr noktasına yakın olan sabit noktalara ait veriler değerlendirilmiş ancak bu noktalarda da değişimin anlamalı olmadığı gözlenmiştir.

4.4.2 Hız Alanlarının Birleştirilmesi

Çalışma bölgesi ve çevresinde önceki yıllarda çeşitli araştırmacılar tarafından jeodezik çalışmalar gerçekleştirilmiştir (Aktuğ ve Kılıçoğlu, 2006, Aktuğ vd., 2009, Çırmıkçı vd. 2017, Özener vd. 2013, Kavak 2020). Çalışma bölgesi hız alanını genişletmek ve yapılacak blok modelleme çalışmasını için bu çalışmalarda yayımlanan hızlar dönüştürülerek birleştirilmiştir. Birleştirme için her noktadaki kuzey ve doğu bileşenleri arasındaki kovaryanslar dikkate alınmış, noktalar arası kovaryanslar ihmal edilmiştir (Aktuğ vd. 2009). Yapılan dönüşüm sonucunda elde edilen dönüşüm doğruluğu iki nokta hariç maksimum 1.5 mm olarak gerçekleşmiştir. Birleştirme sonucunda 160 noktalık hız alanına ulaşılmasına karşın çalışma bölgesi için 111 nokta kullanılmıştır. Çırmıkçı vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmada kullanılan noktaların birkaç km yakınında diğer ağlarda kullanılan noktalar yer aldığı için bu çalışmadaki noktalar dönüşüme dahil edilmemiştir. Elde edilen güncel hız alanı ve hızlara ait doğruluklar Şekil 4.9 ve Şekil 4.10’da verilmiştir. Sayısal değerler ise Çizelge 4.8’de sunulmuştur.



Şekil 4.9 Dönüştürmüş hızlara ait doğruluklar.



Şekil 4.10 Birleşmiş hız alanı (siyah düz çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı kıvrımlı çizgiler: diri faylar, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, mavi oklar: hızlar, siyah elipsler: hız doğrulukları).

Çizelge 4. 8 Birleşmiş hızlar ve doğrulukları (mm/yıl).

Nokta	Boylam	Enlem	Ve	Vn	Se	Sn	Nokta	Boylam	Enlem	Ve	Vn	Se	Sn
AHMB	27.20	38.00	-17.34	-18.05	0.51	0.44	BUKR	27.95	39.27	-19.43	-8.63	0.32	0.35
AKGA	27.87	39.01	-21.59	-9.84	0.44	0.46	BYDA	28.23	38.07	-20.68	-13.54	1.02	1.08
AKHI	28.01	38.96	-22.02	-8.56	1.25	1.21	BYNC	27.45	38.79	-20.57	-13.13	0.30	0.31
AKTS	28.21	39.09	-21.24	-9.24	0.32	0.41	BZKY	26.95	38.73	-18.81	-14.34	0.33	0.35
ALAN	27.42	39.78	-17.93	-6.93	0.42	0.48	CEIL	26.39	38.31	-16.98	-22.29	0.36	0.38
ALSE	28.48	38.32	-21.66	-12.69	1.39	1.30	CKOY	26.23	38.29	-17.59	-20.64	0.54	0.57
AMAN	26.08	39.50	-19.92	-8.62	1.39	1.41	CMLK	27.38	37.88	-16.64	-17.59	0.49	0.36
ASKE	26.87	38.17	-18.39	-16.74	1.18	1.25	CTAL	27.04	38.26	-19.98	-16.86	1.61	1.76
ASMT	27.20	40.05	-16.01	-8.37	0.39	0.49	D5DU	27.11	39.24	-18.29	-9.81	0.40	0.41
ATCT	27.56	40.08	-17.58	-5.75	1.00	1.06	DMIR	28.67	39.05	-19.68	-7.60	0.29	0.46
AYDL	27.51	38.91	-19.19	-12.14	0.30	0.31	DMRC	26.69	38.21	-17.65	-20.85	0.40	0.37
AYKA	26.70	39.31	-16.70	-10.06	0.32	0.33	DURS	28.63	39.61	-22.71	-5.61	1.36	1.53
BAH1	26.91	40.03	-18.83	-8.20	1.36	1.36	EGMI	27.27	39.58	-19.86	-6.00	1.39	1.38
BALI	27.91	39.72	-20.19	-4.47	0.41	0.40	EMET	29.25	39.34	-22.19	-7.39	1.25	1.44
BALK	27.89	39.64	-18.34	-6.02	0.38	0.33	ESEN	27.08	38.16	-18.89	-15.63	1.12	1.20
BAYO	27.31	38.71	-19.98	-12.88	0.40	0.41	ESEN	26.88	39.01	-19.24	-12.41	2.51	2.48
BGDC	28.14	39.38	-18.63	-6.48	0.35	0.39	ESKI	30.64	39.66	-22.71	-0.55	0.40	0.45
BLOT	29.03	39.90	-20.84	-2.75	0.50	0.53	ESME	28.99	38.51	-21.94	-7.16	0.91	0.91
BLTP	29.79	39.57	-24.71	-5.22	1.24	1.44	EZIN	26.32	39.79	-19.16	-8.72	1.39	1.44
BOYA	28.11	38.83	-21.37	-8.48	0.35	0.43	GBHC	26.59	38.31	-17.81	-22.22	0.37	0.37
BRBR	26.63	38.29	-17.41	-21.19	0.38	0.37	GEMR	27.19	38.32	-19.73	-16.58	1.29	1.44
BSYL	27.29	38.53	-21.07	-16.33	0.33	0.31	GOLM	27.92	38.71	-19.34	-11.38	0.31	0.35

Çizelge 4.8 (Devam) Birleşmiş hızlar ve doğrulukları (mm/yıl).

GOM2	27.93	38.76	-20.57	-11.44	0.55	0.61	KOKR	26.60	38.18	-16.94	-18.17	1.34	1.48
GORC	27.12	38.30	-18.31	-16.41	0.38	0.32	KOYU	27.65	38.78	-19.90	-11.74	0.32	0.35
GUMU	27.01	38.06	-17.20	-17.63	0.45	0.36	KPLC	26.91	38.09	-18.46	-17.84	1.16	1.19
HIOS	26.09	38.44	-18.35	-22.46	1.07	0.97	KRKE	26.22	39.73	-20.20	-9.14	1.39	1.39
HMDY	27.82	39.30	-17.74	-9.69	0.35	0.37	KROG	28.22	38.98	-19.72	-7.30	0.32	0.41
HRDL	28.82	38.34	-23.39	-10.33	0.96	1.02	KULA	28.74	38.57	-22.54	-9.30	1.05	1.05
ICME	26.66	38.32	-18.54	-20.52	0.37	0.36	KZGL	28.02	39.27	-18.73	-7.50	0.32	0.36
ILPN	26.92	38.70	-21.10	-15.88	0.34	0.37	LESV	26.45	39.23	-18.73	-12.28	1.10	0.97
IVRD	27.49	39.60	-17.58	-8.78	0.39	0.32	MNMN	27.10	38.61	-20.99	-14.25	0.39	0.39
IZMI	27.08	38.39	-19.37	-16.46	0.34	0.30	MNSA	27.43	38.61	-20.35	-14.05	0.32	0.32
KABU	26.47	38.67	-17.94	-21.77	0.33	0.40	NRDR	26.99	38.38	-20.01	-17.84	0.35	0.32
KADI	26.60	38.36	-17.91	-21.71	0.37	0.37	ODME	28.00	38.25	-19.73	-12.15	1.36	1.27
KBR1	26.62	38.50	-18.25	-19.06	0.33	0.36	OKCU	28.31	39.37	-20.10	-8.10	0.80	1.05
KBR2	26.56	38.58	-17.39	-19.29	0.32	0.36	ORHL	26.95	38.16	-18.94	-18.22	0.42	0.36
KBR4	26.39	38.59	-18.73	-23.88	0.33	0.40	OYKD	27.36	39.05	-16.21	-10.08	0.46	0.51
KBR5	26.42	38.49	-18.63	-21.71	0.35	0.40	OZDE	27.09	38.02	-19.29	-19.24	1.02	0.91
KCAM	26.73	39.65	-21.72	-6.85	1.38	1.36	PAMU	29.14	37.94	-21.07	-7.48	0.99	0.94
KERT	28.10	39.20	-20.75	-6.31	0.31	0.37	SALH	28.12	38.48	-20.63	-11.45	0.32	0.36
KEST	26.16	39.73	-19.97	-8.70	1.36	1.39	SASA	27.11	38.18	-18.42	-17.91	0.41	0.35
KIKA	27.67	39.11	-19.21	-10.70	0.29	0.31	SCIM	27.48	39.17	-17.37	-10.17	0.38	0.37
KIRE	27.22	39.90	-18.95	-8.05	0.91	0.89	SFRH	26.80	38.22	-18.01	-19.90	0.39	0.34
KOCA	29.04	38.73	-25.33	-10.14	0.88	0.91	SIGA	26.78	38.17	-18.04	-24.02	0.63	0.46
KOCB	27.76	40.06	-19.08	-2.93	0.63	0.69	SLLR	29.55	38.15	-21.18	-7.73	0.88	0.92

Çizelge 4.8 (Devam) Birleşmiş hızlar ve doğrulukları (mm/yıl).

Nokta	Boylam	Enlem	Vn	Ve	Sn	Se
SVTP	27.61	39.40	-18.86	-8.95	0.36	0.34
TRAZ	27.00	38.27	-19.99	-16.47	1.17	1.28
TRGT	27.16	38.72	-18.83	-13.78	0.31	0.31
TRTL	27.76	38.49	-20.91	-14.01	0.35	0.35
TTNL	27.78	39.03	-20.26	-7.99	0.32	0.35
TURG	26.78	38.27	-17.74	-18.81	0.39	0.36
UCTP	27.61	38.26	-18.25	-15.59	0.39	0.35
ULDA	29.14	40.12	-20.70	-3.96	0.28	0.27
ULUB	29.24	38.42	-24.36	-9.82	0.91	0.97
ULUD	29.10	40.14	-22.66	-2.74	1.05	1.03
URIS	26.74	38.38	-18.96	-17.54	0.38	0.37
URKM	26.95	38.09	-18.47	-17.53	1.19	1.23
UZUN	26.59	38.25	-17.53	-19.79	0.41	0.39
YACI	26.66	38.23	-17.91	-19.46	1.25	1.40
YAM2	27.13	38.49	-18.89	-15.75	0.58	0.57
YAYA	27.32	39.02	-18.96	-10.92	0.47	0.49
YENF	26.79	38.74	-22.58	-18.03	0.43	0.47
YKOY	27.04	38.22	-18.91	-18.65	1.01	1.09
YUNT	27.21	38.94	-15.25	-11.05	0.45	0.47
ZEYA	29.11	40.17	-20.36	-0.47	1.36	1.36
ZEYT	26.50	38.20	-16.82	-22.04	0.64	0.62

4.5 Gerinim Alanlarının Belirlenmesi

4.5.1 İBTZ ve Çevresinin Gerinim Alanı

Bölgede elde edilen kapsamlı hız alanı yardımıyla GeodSuit yazılımı kullanılarak $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ grid aralığında, her grid köşesinde gerinimler hesaplanmıştır. Gerinim analizini değerlendirecek verilerin durumuna göre 2 boyutlu veya 3 boyutlu olarak yapmak mümkündür. Ancak önceki bölümlerde verilen tekrarlılık grafiklerinden de görüldüğü üzere GNSS teknolojisinde Z bileşeninde henüz yüksek doğruluğa ulaşılamamış olmasından dolayı GNSS verileri ile yapılacak 3 boyutlu bir gerinim analizinde Z bileşeninin hatası X ve Y bileşenlerini de etkileyeceği için bu çalışmada

gerinim analizi 2 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen gerinim alanı Şekil 4.11’de verilmiştir.

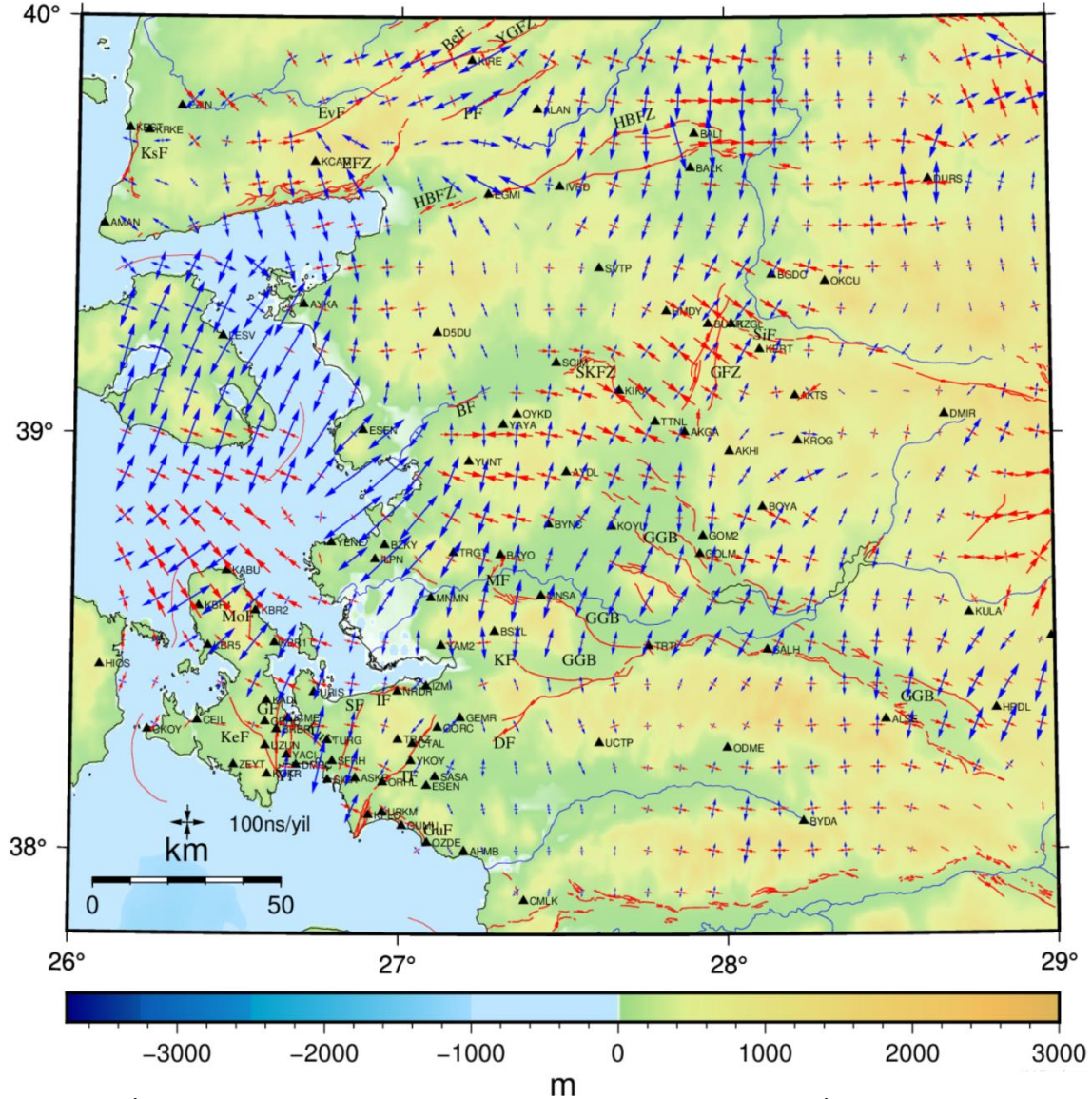
Gerinim değerleri noktaların hızları ve doğrulukları kullanılarak iterasyon sonucu hesaplanmaktadır. Buna bağlı olarak elde edilecek gerinim miktarları nokta dağılımı ve noktalar arası mesafe ile de doğrudan ilgilidir. Bu nedenle nokta yoğun bölgelerle fay üzerinde ve yakın çevresindeki gerinim alanları anlamlı olacaktır. Bu çalışma kapsamında odaklanılan İBTZ ve yakın çevresinde noktaların dağılımı ve doğrulukları, bu bölge için gerinim değerlerini ve buna bağlı olarak yapılacak yorumları anlamlı kılacağı değerlendirilmiştir. Şekil 4.11’de yer alan gerinim alanında kırmızı oklar sıkışmayı, mavi oklar açılmayı temsil etmektedir.

Şekil 4.11’de verilen gerinim alanı genel olarak incelendiğinde gerinimlerin homojen bir dağılım sergilemediği ve bazı bölgelerde açılmaların bazı bölgelerde ise sıkışmaların baskın olduğu görülmektedir. İBTZ içerisindeki açılmalar incelendiğinde bölgede en büyük açılmaların HBFZ’nin doğu kısmında (BALI-BALK) ile GF-SF arasında (YACI-SFRH-SIGA) olduğu görülmektedir. En küçük açılmalar ise KeF’in batısı (CEIL-CKOY-ZEYT) ile TF (TRAZ-ORHL-KPLC) civarındadır. Sıkışma açısından değerlendirildiğinde en büyük sıkışmaların HBFZ’nin doğu kısmı (BALI-BALK) ile Karaburun yarımadasının kuzeyinde (KABU-KBR4-KBR2) olduğu görülmektedir. En küçük sıkışmalar ise KeF’in batısı (CEIL-CKOY-ZEYT) ile GGB’nin batı kısmında (BSYL-TRTL) yer almaktadır.

HBFZ’nin orta kısmında (IVRD) KKD-GGB yönlü açılmalar görülürken doğu kısmında (BALK-BALI) ise KKB-GGD yönlü ve orta kısma göre daha büyük baskın açılma bileşeni göze çarpmaktadır. Sıkışma bileşenleri açısından değerlendirildiğinde zonun doğusundaki yaklaşık D-B yönlü ve yer yer açılma bileşeninden yüksek olan sıkışma bileşenleri dikkat çekmektedir. Zonun orta kısmında ise sıkışma bileşenleri açılma bileşenlerinden daha küçüktür.

GFZ incelendiğinde zon üzerinde ve yakın çevresinde KD-GB yönlü açılma ve KB-GD yönlü sıkışmalar olduğu ve sıkışma bileşeninin daha baskın olduğu görülmektedir.

Zonun kuzeyinde (BUKR-KZGL) gerinimler en yüksek seviyededir. SKFZ üzerinde ve çevresinde (SCIM-KIKA-TTNL) ise baskın sıkışmalar göze çarpmaktadır. Bu bölgede BKB-DGD yönlü sıkışmalar ve sıkışmalara göre oldukça küçük KKD-GGB yönlü açılmalar görülmektedir.



Şekil 4.11 İBTZ ve çevresindeki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).

Çok sayıda fayı içeren Gediz Grabeni incelendiğinde baskın açılmalar göze çarpmaktadır (BSYL-MNSA-GOLM). Bölgede KKD-GGB yönlü açılmalar ve

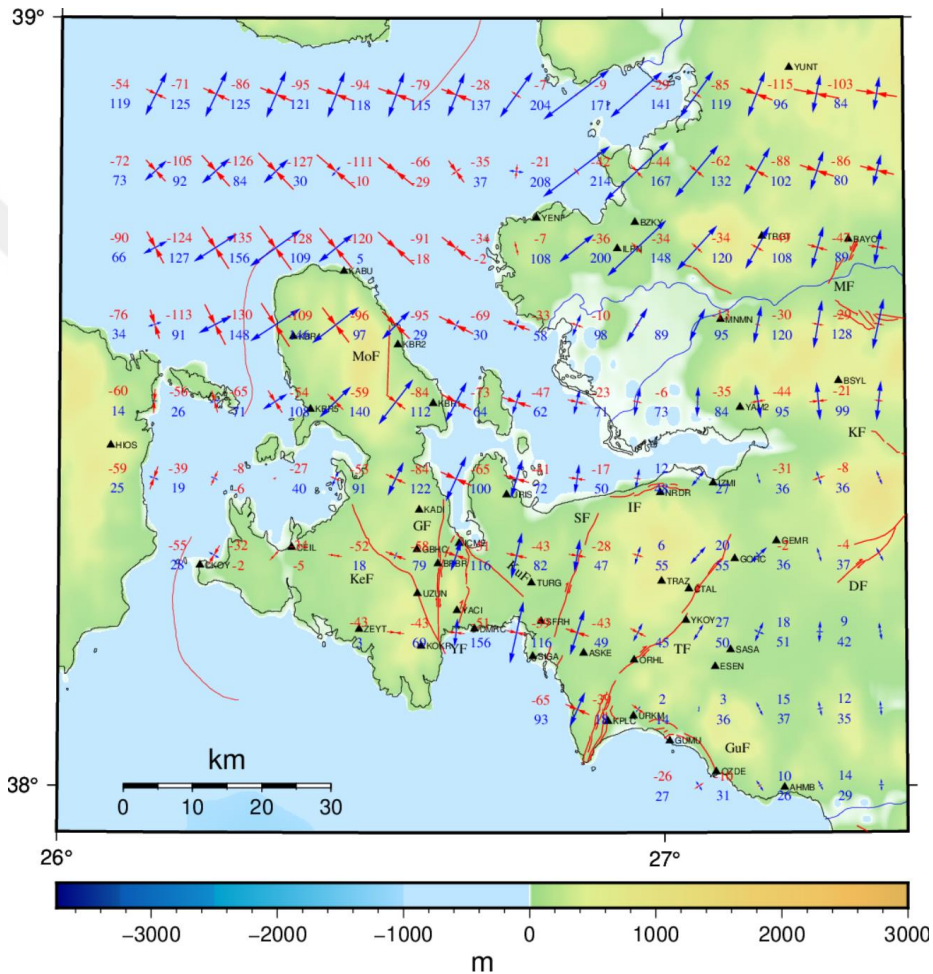
açılımlara göre oldukça küçük BKB-DGD yönlü sıkışmalar görülmektedir. Açılma bileşeni grabenin güneyinde kuzeyine göre daha küçüktür.

Son olarak Karaburun yarımadası ve doğusu incelendiğinde ise bölgede en büyük gerinimlerin, Mordoğan fayının da yer aldığı Karaburun yarımadasının kuzey kısmında (KABU-KBR1-5) olduğu görülmektedir. Bölgede KeF ile TF arasında KKD-GGB yönlü açılma ve BKB-DGD yönlü sıkışma bileşenleri görülmektedir. Bu bölgede en büyük açılımlar SF-GF arasındadır. KeF'in batısında küçük sıkışma bileşenleri yer almaktadır. TF'nin doğusunda ve İF civarında bölge geneline göre oldukça küçük KD-GB yönlü açılma bileşenleri görülmektedir.

Gerinim alanının yaklaşık 60 bin km² büyüklüğünde olması nedeniyle hem harita hem de gerinim oklarının çiziminde küçük ölçek kullanılmıştır. Bu durum bölge ile ilgili detaylı yorum yapmayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle daha büyük ölçek ve gridlerdeki gerinim değerleri ile daha rahat yorum yapabilmek için gerinim alanı bölümlere ayrılmıştır. Parçalı gerinim alanları Şekil 4.12, 4.13, 4.14 ve 4.15'te verilmiştir. Bu şekillerde her gerinim okunun sol tarafında yer alan mavi yazılar açılma, kırmızı yazılar ise sıkışma bileşeninin büyüklüğünü ns (nanostain) / yıl olarak ifade etmektedir. İlerleyen kısımlarda bu şekiller üzerinden bölgenin gerinim alanlarıyla ilgili genel yorumlamalar yapılacak ve sonrasında ise fayların üzerindeki gerinimler ile faylanma yapıları incelenecektir.

Şekil 4.12 incelendiğinde BeF-YGFZ-PF arasında kalan bölgede baskın KD-GB yönlü açılımlar dikkat çekmektedir. Bu bölgede en büyük açılımların 130-180 ns/yıl (KD-GB) ile YGFZ'nin güneyinde (KIRE) yer aldığı görülmektedir. Yine bu bölgede sıkışma bileşeni 60-70 ns/yıl civarındadır (KB-GD). PF çevresinde ise 100-130 ns/yıllık baskın açılma bileşeni görülürken (KD-GB) sıkışma bileşeni ise 10-30 ns/yıl civarındadır (KB-GD). Bölgede yer alan EvF üzerinde ise gerinimlerin çok küçük olduğu görülmektedir (30-80 ns/yıl). Edremit Fay Zonu ve çevresi incelendiğinde orta kısımda KKB-GGD yönlü açılımlar (60-100 ns/yıl) ve BGB-DKD yönlü sıkışmalar (60-120 ns/yıl) görülmektedir.

Bölgenin geri kalanı incelendiğinde D5DU-D7DU-EGMI arasında kalan kısımda bölge geneline oranla gerinimler oldukça küçüktür. Burada açılmalar KKB-GGD yönlü ve 30-40 ns/yıl iken sıkışmalar ise 0-20 ns/yıl olup yaklaşık D-B yönlüdür. AYKA-ESEN-LESV arasında kalan bölgede ise gerinimlerin yüksekliği dikkat çekmektedir. Bu bölgede açılmalar KD-GB yönlü ve 130-190 ns/yıl iken sıkışmalar ise KB-GD yönlü ve 70-150 ns/yıl arasındadır.

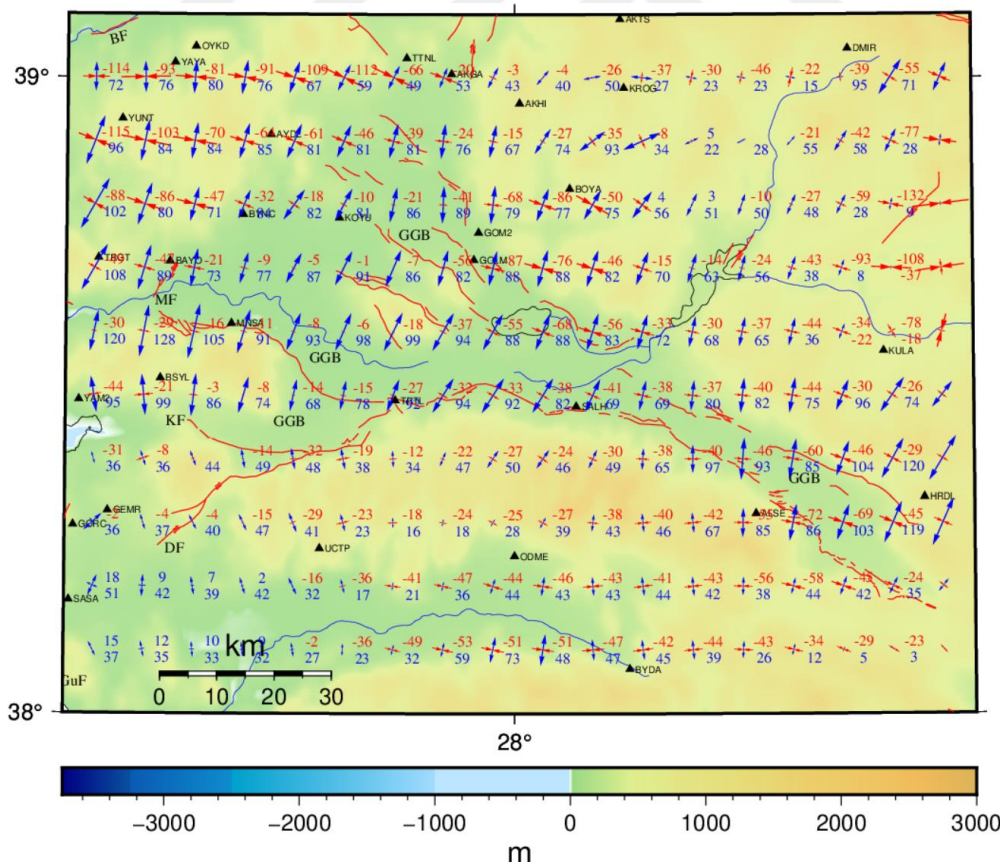


Şekil 4.13 Çalışma bölgesinin sol alt kısmındaki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).

Şekil 4.13'te çok sayıda fay içeren İzmir'in güneybatısı ve Karaburun yarımadası incelendiğinde ise en büyük gerinim alanının MoF civarında (KABU-KBR1,2,3,4,5) olduğu görülmektedir. Elde edilen veriler bölgede KD-GB yönlü açılma (110-150 ns/yıl) ve KB-GD yönlü sıkışmanın (60-130 ns/yıl) varlığına işaret etmektedir. Bölgenin ortasında kalan kısımda (GF-SF arası ve çevresi) açılma bileşeni baskın olmakla birlikte

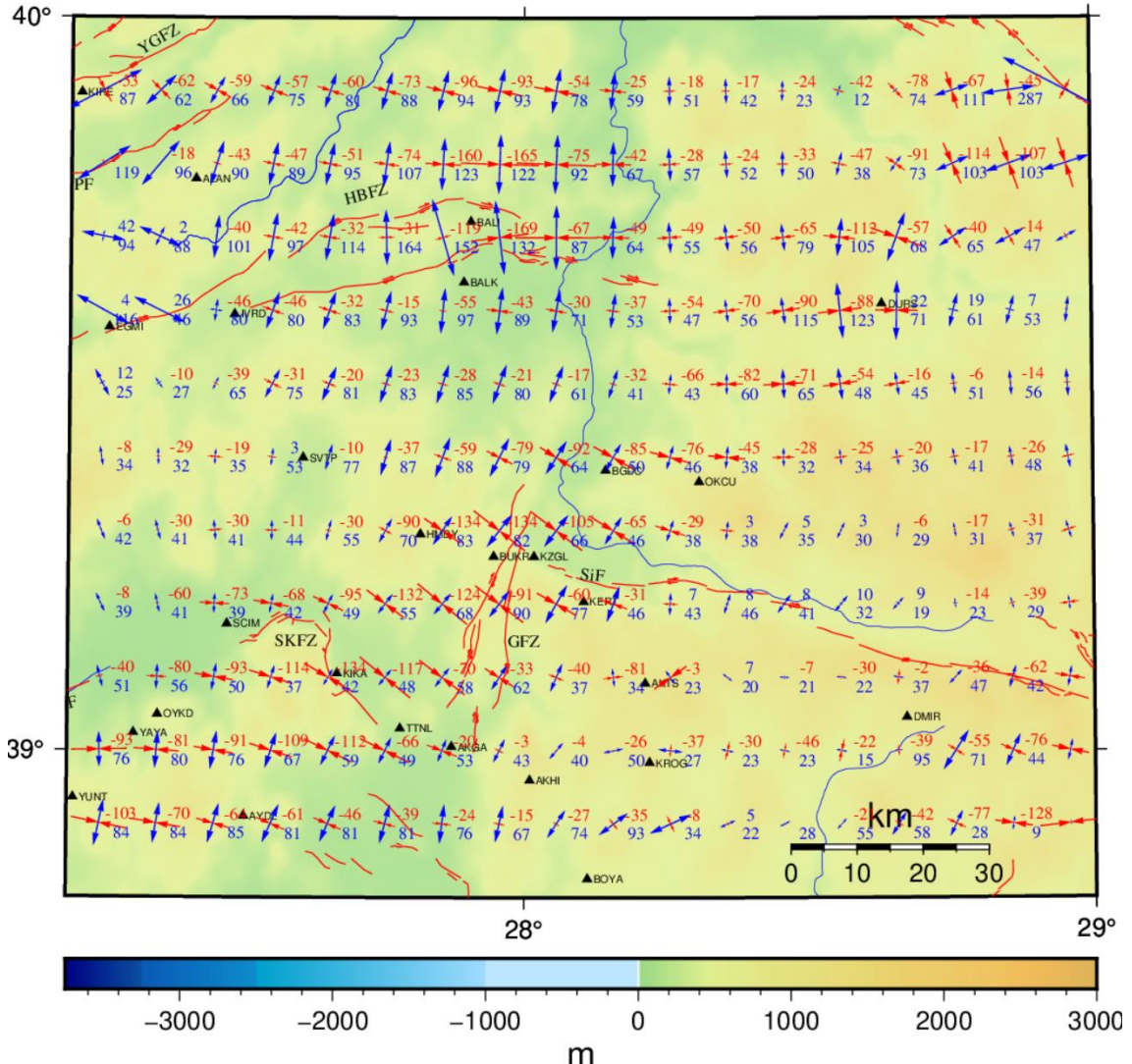
sıkışma bileşeni de görülmektedir. Bu bölgede açılma bileşeni KKD-GGB yönlü ve 80-160 ns/yıl iken sıkışma bileşeni BKB-DGD yönlü ve 50-100 ns/yıl arasındadır. İzmir şehir merkezinden geçen İF civarında ise KKD-GGB yönlü açılma (50-60 ns/yıl) ve BKB-DGD yönlü sıkışma (20-50 ns/yıl) görülmektedir.

Bölgede KeF'in batı kısmında gerinim alanlarının bölge geneline göre oldukça küçük ve açılma bileşeninin maksimum 20 ns/yıl, sıkışma bileşeninin ise 50-60 ns/yıl arasında olduğu görülmektedir. Burada gerinim alanlarının oldukça küçük olmasının sebebi olarak bölgede biriken enerjinin yakın zamanda (2007-2011) meydana gelen depremlerde önemli ölçüde boşalmış olabileceği düşünülmektedir (Tan 2013). Benzer bir durum Tuzla ve Gümüşdür Fayları çevresinde de görülmektedir. Bu bölgelerde KD-GB yönlü açılmalar (10-50 ns/yıl) ve KB-GD yönlü sıkışmalar (20-60 ns/yıl) görülmektedir. Bu durum bölgede biriken enerjinin büyük bir kısmının 1992 yılında meydana gelen Mw:5.5 ve Mw:6 depremlerinde boşalmış olabileceğini göstermektedir.



Şekil 4.14 Çalışma bölgesinin sağ alt kısmındaki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).

Şekil 4.14 incelendiğinde Gediz Grabeni üzerinde KKD-GGB yönlü baskın açılmalar görülmektedir. Ayrıca Graben üzerinde batıdan doğuya gittikçe artan BKB-DGD yönlü sıkışma bileşeni de mevcuttur. Graben genelinde açılma bileşeni 70-130 ns/yıl arasındadır. Sıkışma bileşeni ise batı kısmında (KOYU-MNSA-BSYL) 10-30, orta kısımda (SALH) 40-60 ve doğu kısmında (ALSE) ise 50-90 ns/yıl civarındadır. KF'nin güneyinde ise açılmalar KKB-GGD yönlü ve 40-50 ns/yıl iken sıkışmalar ise 20-40 ns/yıl arasındadır. Graben güneyindeki gerinimler ise ortalama KD-GB yönlü açılmalar ve KB-GD yönlü sıkışmalar olup 40-60 ns/yıldır.



Şekil 4.15 Çalışma bölgesinin sağ üst kısmındaki güncel gerinimler (siyah kalın çizgiler: İBTZ sınırları, kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).

Şekil 4.15 incelendiğinde HBFZ üzerinde baskın açılmalar görülmekle birlikte sıkışma bileşeni de mevcuttur. Zonun güneyine ve kuzeyine göre yüksek olan iç kısmındaki gerinimler dikkat çekmektedir. Zon genelinde açılmalar yaklaşık K-G yönlü sıkışmalar ise yaklaşık D-B yönlüdür. Zonun orta kısmında (IVRD) açılmalar 80-100, sıkışmalar ise 30-60 ns/yıl civarındadır. Zonun doğu kısmında ise (BALI-BALK) açılmalar 120-160 ns/yıl iken sıkışmalar ise 60-170 ns/yıl arasındadır. Zonun Kepsut ile Ovacık Segmentleri arasındaki gerinim bileşenlerini bölgeye göre maksimum seviyelerdedir. Bölgede Sözbilir vd. 2016 tarafından gerçekleştirilen jeolojik çalışmada zonun geç Holosen döneminde 1000 yıllık ortalama yinleme aralığı ile bölgedeki ve tarih öncesi depremlerinden sorumlu olduğu fakat 2000 yıldır yüzey kırığı oluşturmaması nedeniyle Gökçeyazı segmentinde sismik bir boşluk olduğu ifade edilmiştir. Sözbilir vd. (2015)'te ise bu fay zonu boyunca biriken deformasyonun uzun süreden beri depolanmış olabileceği belirtilmektedir. Belirtilen durumlar ve bu çalışmada elde edilen jeodezik sonuçlar bölgede gerinim birikiminin devam ettiğini göstermektedir.

GFZ üzerindeki gerinimler incelendiğinde bölge geneline göre yüksek KD-GB yönlü açılmalar ve KB-GD yönlü sıkışmalar dikkat çekmektedir. Zon üzerinde açılmalar 50-90 ns/yıl iken sıkışmalar ise 50-140 ns/yıl arasındadır. GFZ'nin batı kısmında yer alan SKFZ incelendiğinde ise baskın sıkışmalar göze çarpmaktadır. Zonun güneyinde gerinimler kuzeye göre daha büyüktür. Zon üzerinde sıkışmalar yaklaşık KB-GD yönlü (60-140 ns/yıl) ve açılmalar ise KD-GB yönlüdür (10-40 ns/yıl).

GFZ'ye dik ve BKB-DGD uzanımlı SiF'in batı kısmında KD-GB yönlü açılma (40-90 ns/yıl) ve KB-GD yönlü sıkışma (30-90 ns/yıl) görülmektedir. Fayın doğu kısmında baskın sıkışma görülmektedir. Burada açılmalar 20-50 ns/yıl ve sıkışmalar ise 50-110 ns/yıl civarındadır.

4.5.2 Faylar Üzerindeki Gerinimler

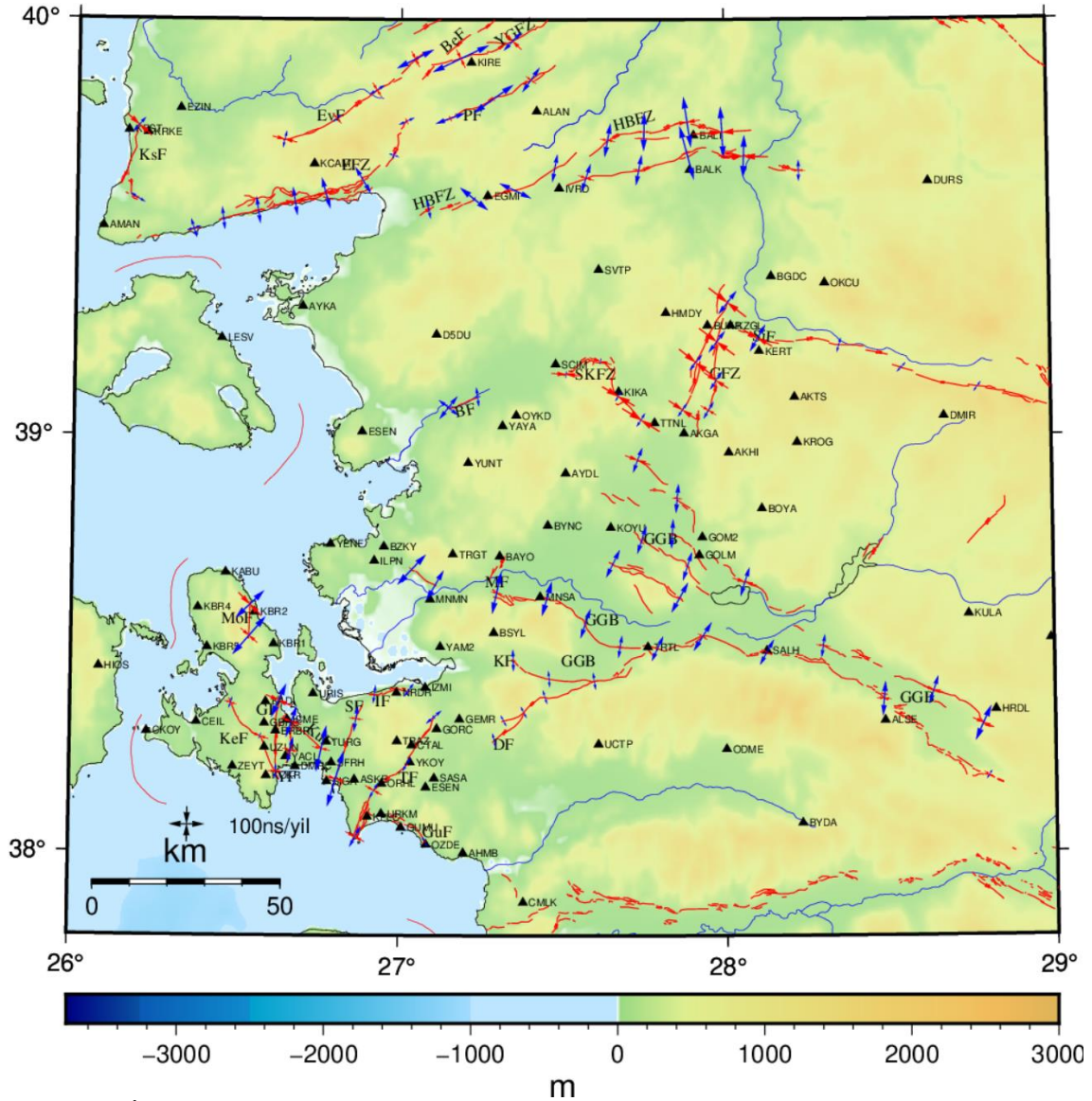
GeodSuit yazılımı ile bir bölgede yapılan gridleme ile grid noktalarındaki gerinim değerlerini hesaplamının yanı sıra belirtilen koordinatlardaki gerinim değerleri de hesaplanabilmektedir. Bu durum gerinim değerlerinin büyük olduğu alanlarda grid

aralığının büyük olması dezavantajını ortadan kaldırmaktadır. Bununla birlikte doğrudan fay çizgisi üzerindeki gerinimlerin hesaplanması faylarla ilgili daha rahat yorum yapmaya yardımcı olmaktadır. Fay çizgisinin gerinim bileşenleriyle yaptığı açılar ve gerinim büyüklükleri ile yönleri kullanılarak faylanma yapısı ile ilgili yorum yapabilmek mümkündür. Bu kapsamda GeodSuit yazılımı ile bölgede yer alan faylar üzerindeki gerinim birikimleri hesaplanmış ve Şekil 4.16'da verilmiştir. Bu gerinimler yardımıyla fayların güncel hareketleri belirlenmeye çalışılmıştır.

Tektonik yapılar üzerinde gerçekleştirilen jeolojik çalışmalar ile yapının geçmişte gerçekleştirmiş olduğu hareket, fay düzlemi üzerinde yer alan çizgilerin yönü ve büyüklüğü yardımıyla tespit edilmektedir. Bazı durumlarda fay düzlemi üzerinde birbirini kesen çizikler görülmektedir. Diğer bir ifadeyle aynı fay farklı zamanlarda farklı yönlerde hareket edebilmektedir. Bu çalışmalar ile geçmiş deformasyonlar belirlenmektedir. Jeodezik çalışmalarda ise GNSS ile elde edilen ve yüksek doğruluğa sahip hızlar kullanılarak belirlenen deformasyonlar güncel deformasyonu ifade etmektedir. Hız alanına ait ilk ölçü ve son ölçü yılları arasında meydana gelen güncel deformasyon tespit edilmektedir. Yukarıda bahsedilen nedenlerle GNSS ile tespit edilen güncel deformasyon bilgileri ile literatür arasında farklılıklar olabilmektedir (Sözbilir vd. 2020b).

Şekil 4.16 kuzeyden güneye incelendiğinde yaklaşık K-G uzanımlı KsF'nin kuzeyindeki gerinim alanı sol doğrultu atım bileşenli eğim atımlı faylanma yapısını işaret etmektedir. Burada gerinim alanındaki sıkışma bileşeninin 110 ns/yıl iken açılma bileşeninin 60 ns/yıl olması eğim atım niteliğinin ters fay bileşen olduğunu göstermektedir. KsF'nin güneyinde ise normal faylanma yapısı görülmektedir. MTA tarafından 2017 yılında Ayvacık depremlerine ilişkin yayınlanan raporda da bu fayın kuzey ve güneyi ile ilgili benzer bulgular ifade edilmiştir (MTA 2017). EFZ üzerindeki gerinimler incelendiğinde ise karmaşık bir faylanma yapısı görülmektedir. Zon üzerinde iterasyon ile elde edilen gerinim alanına göre batı kısmında doğrultu, doğu kısmında ise normal faylanma olmak üzere iki tür hareket gözlenmiştir. Bu hareketler genel olarak literatürle uyumlu olmakla birlikte gerinim analizi ve faylanma yapısı ile ilgili daha

detaylı yorum yapabilmek için zon çevresindeki nokta sayısının artırılması gerekmektedir (Sözbilir vd. 2015).



Şekil 4.16 İBTZ ve çevresindeki diri fayların üzerindeki güncel gerinimler (kırmızı oklar: sıkışma, mavi oklar: açılma, kırmızı çizgiler: diri fay, mavi kıvrımlı çizgiler: ana nehirler, siyah üçgenler: GNSS noktaları).

Çalışma bölgesinin üst kısmında yer alan EvF-BeF-YGFZ-PF bölgesi doğrultu atımlı faylanma yapısındadır (İnt.Kyn.1, Emre vd. 2011). Gerinim analizi sonuçlarına göre bu bölgede sağ doğrultu atımlı faylanma yapısı görülmesine karşın bazı bölgelerde (KIRE civarı) gerinim bileşenleri arasındaki farkın yüksek olduğu, bu nedenle eğim bileşeninin de bulunabileceği düşünülmektedir. Jeodezik veriler kullanarak bölge ile ilgili daha

detaylı yorum yapabilmek için bölgenin daha fazla nokta ile denetlenmesi gerektiği değerlendirilmektedir.

HBFZ genelinde baskın açılma bileşenleri göze çarpmakta olup bu durum zonun normal faylanma yapısına eğilimli olduğunu göstermektedir. Zonun ALAN-IVRD-BALI üçgeni arasında kalan kısmı normal bileşenli sağ doğrultu atımlı faylanma yapısını göstermektedir. Zon üzerinde gerinimlerin en yüksek olduğu Ovacık segmentinde sıkışma bileşenleri açılma bileşenlerine göre daha yüksektir. Bu durum bölgede doğrultu atım bileşenli ters faylanma yapısının olabileceğini göstermektedir. Nitekim Sözbilir vd. (2015) tarafından zon üzerinde yapılan hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarında Ovacık segmentine ait fay parçalarının araziden alınan ölçülere göre kinematik özelliklerinin ters faylanma türüne işaret ettiği belirtilmiştir. Emre vd. (2011)'de ise zonun bu bölümünün sıkışmalı bir büküm geometrisine sahip bir ters faylanma mekanizmasına sahip olduğu belirtilmiştir.

GFZ literatürde sağ doğrultu atımlı olarak tanımlanmaktadır (Emre vd. 2011). Ancak Şekil 4.16'da verilen fay üzerindeki gerinim bileşenleri incelendiğinde sol yönlü bir hareket görülmektedir. GFZ ile SKFZ arasındaki bölgede 2020 yılında meydana gelen Mw:5.2 ve Mw:5.4 büyüklüğündeki depremlerin odak mekanizma çözümleri incelendiğinde bu çalışmadaki gerinim alanıyla uyumlu olarak sol yönlü çıktığı görülmektedir. Bölgede meydana gelen depremlerin odak çözümleri sonraki kısımlarda ele alınacaktır. Ek olarak zon genelinde sıkışma bileşeni açılma bileşeninden ortalama 50 ns/yıl büyüktür. Gerinim bileşenleri arasındaki fark fayın doğrultu atıma ek olarak eğim bileşeninin bulunduğu göstergesidir. Zon üzerindeki ortalama 50 ns/yıllık fark bölgede eğim bileşeninin bulunduğu göstergesi olarak değerlendirilmiştir.

SKFZ literatüre göre normal faylanma yapısındadır (Emre vd. 2011, İnt.Kyn.1). Ancak zon üzerindeki gerinim alanı incelendiğinde baskın sıkışma bileşenleri (80-140 ns/yıl) görülmekle birlikte açılma bileşenleri 50 ns/yıl'ın altındadır. Bu durum zonun saf ters faylanma karakterinde olduğu ancak küçük açılmalardan dolayı doğrultu atım bileşeninin de olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir. Zon üzerindeki bu baskın sıkışmanın sol yönlü GFZ ile KKD-GGB yönlü açılma rejiminin baskın olduğu

GGB'nin etkisinden kaynaklanabileceği değerlendirilmektedir. SiF'in doğu kısmında gerinim oranlarının çok düşük olması nedeniyle faylanma yapısı ile ilgili yorum yapmak mümkün olmamıştır. 2011 yılında bu fayın ürettiği Mw:5.7 büyüklüğündeki depremde fayın enerjisini önemli ölçüde boşaltmış olabileceği değerlendirilmektedir. Ancak gerinimlerin batı ucunda yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumda Gelenbe Fay Zonunun da etkisi olduğu değerlendirilmektedir. Bu gerinim alanına göre Simav fayı literatür ile uyumlu olarak sağ doğrultu atımlıdır (Emre vd. 2005, 2018).

Bölgede yer alan küçük fay yapılarından MeF literatürle uyumlu olarak normal faylanma yapısına sahip olup çok küçük sıkışma bileşeni de içermektedir. Gediz Grabeni genelinde yine çok küçük sıkışma bileşeni görünmesine karşın normal faylanma yapısı görülmektedir. Açılmalar graben genelinde yüksek iken güney kolunda küçülmüştür. Grabenin doğusunda sıkışma bileşeninin arttığı görülmektedir. Bu durum grabenin doğusunda doğrultu atım bileşeninin bulunduğu işaret etmektedir.

GF ve YF MTA diri fay haritalarında sağ doğrultu atımlı olarak tanımlanmaktadır. Ancak fayların üzerindeki gerinim bileşenleri incelendiğinde sol doğrultu atımlı olduğu görülmektedir. Bu durumun sensitive (duyarlı) fay yapısından kaynaklanabileceği ya da bu fayların geçmişte sağ yönlü çalışırken günümüzde sol yönlü çalışıyor olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir. Sensitive faylar yönlerindeki birkaç derecelik sapmalar itibariyle yorumlamada farklılık oluşturabilecek faylardır. Sahada fay doğrultusunu belirlemek için yapılan gözlemin hassasiyeti ile çizim/sayısallaştırma hassasiyetinin fayın yönü üzerinde etkisi bulunmaktadır. Bu durumda 10-20 derecelik doğrultu hataları fayın yönünün farklı çıkmasına neden olabilmektedir (Sözbilir vd. 2020b). SF sensitive özelliğinden dolayı yönü belirsiz olmakla birlikte sağ veya sol çalışma olasılığı bulunmaktadır. Gerinim alanına göre sağ doğrultu atımlı ve oblik atımlı normal faylanma yapısına sahiptir. Sözbilir vd. (2008) tarafından SF üzerinde yapılan hendek tabanlı paleosismoloji çalışmasında da fay üzerinde oblik atımlı normal faylanmaya dair yapısal veriler saptandığı belirtilmektedir.

KeF üzerindeki gerinimler incelendiğinde sol doğrultu atımlı faylanma yapısı görülmektedir. Ulutaş (2019) bu fay üzerinde yaptığı çalışmada ana yer değiştirme

zonuna paralel gelişen sentetik ve antetik reidel kırıklarının bölgenin KB-GD yönlü sıkışıp KD-GB yönünde genişlediğini ifade etmiştir. Bu durum gerinim fay üzerindeki gerinim alanlarıyla uyum içerisinde. MoF üzerinde yüksek gerinimler görülmektedir. Bu gerinimlere göre fay sol yönlü çalışmaktadır. Fayın kuzey kısmı tam doğrultu atım özelliği gösterirken güneyinde ise eğim bileşenli sol doğrultu atımlı faylanma yapısı görülmektedir. KuF'un batı kısmı YF ile iç içe olması nedeniyle karmaşık bir yapıdadır. Gerinimlere göre fay sol yönlü çalışmakta olup doğu kısmı normal bileşenli sol doğrultu atımlı faylanma özelliği göstermektedir.

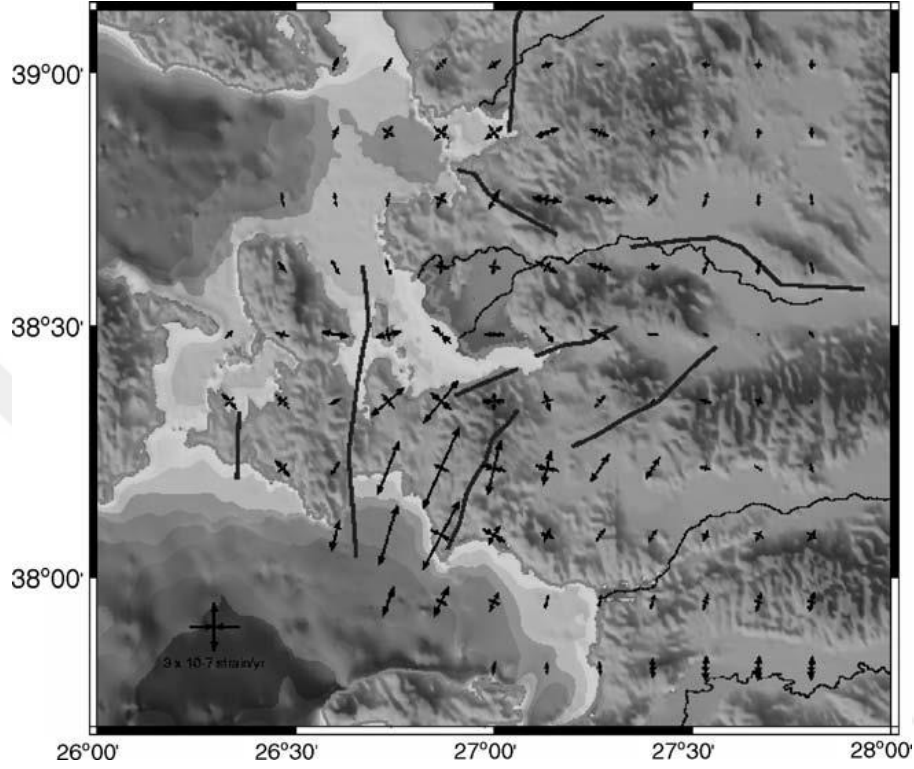
Bölgenin en doğusunda yer alan Tuzla Fayı üzerinde küçük gerinimler yer almaktadır. Fayın doğrultusu (KD-GB) ve gerinim bileşenleri incelendiğinde Tuzla fayı sensitive fay olarak değerlendirilebilir. Buna göre gerinim alanları incelendiğinde sağ doğrultu atımlı faylanma yapısı görülmektedir. Bu bölgede SF ve TF üzerinde güneye doğru inildikçe artan gerinimler dikkat çekmektedir. Bu fayların kuzeyine yer alan İF üzerinde açılma bileşeni baskın olup sıkışma bileşeni de görülmektedir. Bu nedenle fayın sağ doğrultu atım bileşenli normal faylanma yapısında olduğu değerlendirilmektedir. GuF üzerindeki gerinimlerin küçük olması nedeniyle faylanma yapısı ile ilgili değerlendirme yapmak mümkün olmamıştır.

4.5.3 Literatürdeki Gerinim Alanları ile Karşılaştırma

Bölgede daha önce yapılan çalışmalarda elde edilen gerinim alanları ile bu çalışma kapsamında elde edilen gerinim alanları, çalışmalar arasındaki uyumu görmek ve bölgenin geçen süreçteki deformasyonu hakkında bilgi edinebilmek amacıyla karşılaştırılmıştır. Önceki çalışmalarda elde edilen gerinim alanları Şekil 4.17, 4.18, 4.19'da orijinal halleriyle verilmiştir.

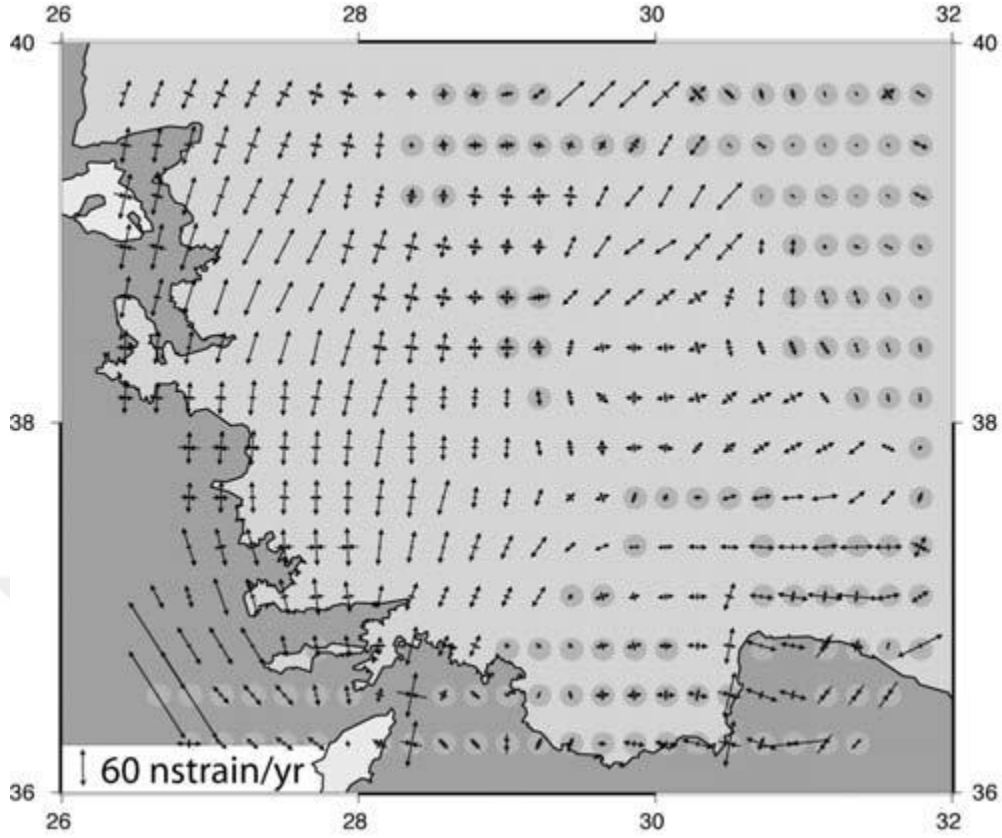
Şekil 4.17 incelendiğinde her iki çalışmada da bölgenin neredeyse tamamında yaklaşık K-G yönlü açılma bileşenlerinin baskın olduğu ve Karaburun yarımadasındaki gerinim oranlarının bu tez çalışmada elde edilen gerinim oranlarına göre daha küçük olduğu görülmektedir. Bu durumun çalışmalardaki nokta yoğunluk farklarından ve/veya 2006'dan günümüze bölgedeki enerji birikiminden kaynaklanabileceği

değerlendirilmektedir. Ayrıca Gülbahçe fayının geçmişte sağ doğrultu atımlı faylanma özelliği gösterirken günümüzde sol doğrultu atımlı faylanma yapısında olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 4.17 Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006) gerinim alanı.

GF ile SF arasında kalan bölgede gerinim alanlarının günümüzde küçüldüğü görülmektedir. Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada son ölçü 2004 yılında yapılmıştır. Ancak 2005 yılı ve sonrasında bölgede 4'ü 5.2 ile 5.8 arasında olmak üzere 50+ adet $M \geq 4$ deprem meydana gelmiştir. Gerinim alanlarının günümüzde küçülmesi yakın zamanda meydana gelen yoğun deprem aktivitesiyle birlikte bölgedeki enerji birikiminin bir kısmının boşalmış olabileceğini göstermektedir. Ancak diğer taraftan günümüzde bu bölgede gerinim oranlarının hala yüksek olması gerinim birikiminin devam ettiğinin göstergesi olarak değerlendirilmektedir.



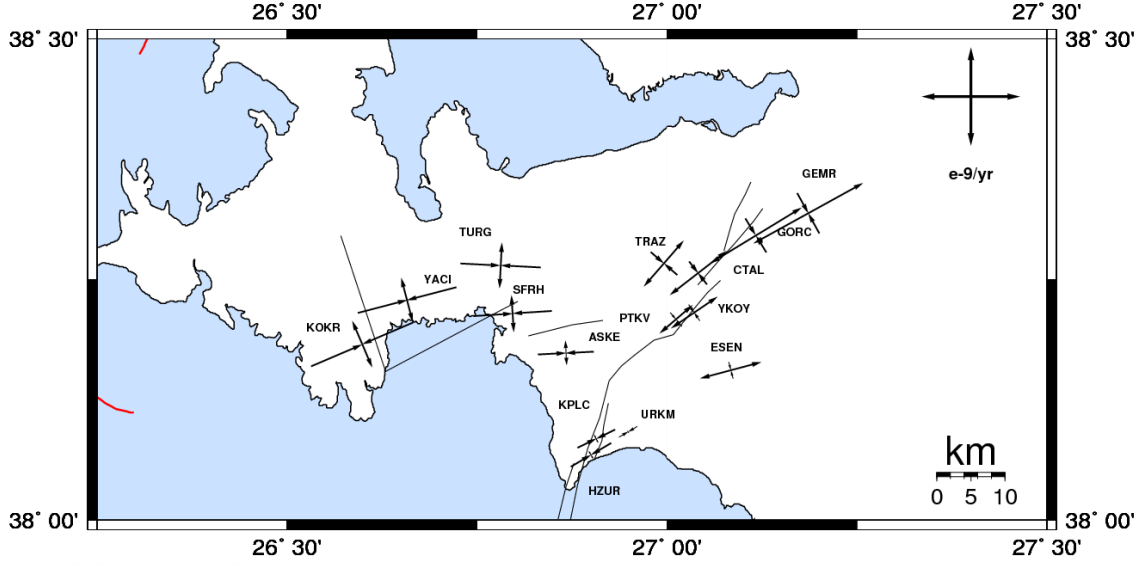
Şekil 4.18 Aktuğ vd. (2009) gerinim alanı.

Bölgede gerçekleştirilen en kapsamlı ve Türkiye'nin batısını kapsayan jeodezik çalışma Aktuğ vd. (2009) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada elde edilen gerinim alanı incelendiğinde (Şekil 4.18) bölgede yaklaşık K-G yönlü baskın açılma rejiminin devam ettiği görülmektedir. Ayrıca her iki çalışmada da gerinim oranları doğudan batıya doğru gittikçe artmaktadır. Karaburun – Seferihisar bölgesinde iki çalışma arasındaki süreçte büyüklükleri 4 ile 4.8 arasında değişen 15 adet deprem meydana gelirken yüzey kırığı oluşturacak ($M \geq 6$) bir deprem olmamıştır. Bununla birlikte bu bölgede sıkışma gerinimlerinin geçmişte 10-20 ns/yıl iken günümüzde 140 ns/yıl'a, açılmaların ise 60 ns/yıl'dan 150 ns/yıl'a ulaşması (Şekil 4.13) bölgede gerinim birikiminin devam ettiğini göstermektedir. Tuzla fayı ve çevresinde ise gerinim alanları her iki çalışmada da yaklaşık eşittir. Daha önce de bahsedildiği gibi bu durum bölgede biriken enerjinin büyük bir kısmının 1992 yılında meydana gelen $M_w:5.5$ ve $M_w:6$ depremlerinde boşalmış olabileceğini göstermektedir.

HBFZ incelendiğinde açılmaların belirgin şekilde KD-GB yönünden KKB-GGD yönünde döndüğü görülmektedir. Zonun doğusunda geçmişte açılmalar 50 ns/yıl, sıkışmalar ise 20 ns/yıl iken günümüzde ise açılmalar 160 ns/yıl'a sıkışmalar ise 190 ns/yıl'a ulaşmış durumdadır. Bu durum literatürde de bahsedilen (Sözbilir vd. 2016c) zon üzerindeki sismik boşlukla uyum içerisinde. Zonun batı kısmında ise sıkışma bileşeni sıfıra yakın ve açılma bileşeninde ortalama 30-40 ns/yıllık bir artış görülmüştür.

GFZ incelendiğinde ise her iki çalışmada da açılma bileşenlerinin KD-GB yönlü olduğu görülmektedir. Geçmişte 40-50 ns/yıl açılma ve 10-20 ns/yıl sıkışma görülürken günümüzde ise açılmalar 50-80 ns/yıla sıkışmalar ise belirgin şekilde artarak 90-140 ns/yıla ulaşmış (Şekil 4.11) ve bölgedeki gerinim oranında önemli ölçüde bir artış gerçekleştirmiştir. Bölgede 2020 yılında meydana gelen yoğun deprem fırtınasının bu gerinim artışına bağlı olarak meydana gelmiş olabileceği değerlendirilmektedir. Bölgede yapılacak yeni ölçülerin değerlendirilmesiyle bu durum ile ilgili daha detaylı sonuçlara ulaşılabilecektir. GGB incelendiğinde ise graben genelinde yaklaşık 30 ns/yıllık artışlar görülmekte olup en yüksek artışlar Manisa havzası çevresindedir. Graben batısında oldukça küçük olan sıkışma bileşenindeki artışın grabenin doğusunda daha yüksek olduğu görülmüştür.

Özener vd. (2012) tarafından gerçekleştirilen ve Tuzla fayına odaklanılan çalışmada (Şekil 4.19) gerinimler gridlerde değil ölçü noktalarında hesaplanmıştır. Bölgenin Seferihisar kısmında geçmişte sıkışmalar, günümüzde ise açılmalar daha baskındır. Açılmalarda ortalama 60-80 ns/yıl bir artış meydana gelmiştir. Sıkışmalar ise ortalama 40-60 ns/yıl oranında küçülmüştür. İki çalışma arasında geçen sürede bölgede büyük deprem meydana gelmediği için bu farkların ölçü yılları arasındaki fark ile ağırlardaki nokta yoğunluğu ve dağılımından kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Tuzla fayının güneyinde ise günümüzde açılma ve sıkışma bileşenlerinde ortalama 50 ns/yıllık bir artış gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 4.19 Özener vd. (2012) gerinim alanı.

4.5.4 Odak Mekanizma Çözümleri ile Uyum

Gerinim bileşenlerinin yönleri ve büyüklüklerinin bölgedeki enerji birikimiyle birlikte meydana gelen ve gelebilecek depremler konusunda bilgi verdiği bilimsel çalışmalarla desteklenen bir gerçektir (Aktuğ vd. 2009, Tiryakioğlu 2012, Solak 2015). Odak çözümleri ise meydana gelen depremlerle ve bölgedeki faylanma yapısı ilgili bilgi verir. Bundan dolayı bir depreme ait odak çözümünün mümkünse depremin meydana geldiği tarihe veya öncesindeki bir zamana ait gerinim alanı ile karşılaştırılması gerekmektedir. GPS/GNSS teknolojisinin gelişmeye başladığı 1980'li yılların öncesindeki depremler için bu durum jeodezik anlamda mümkün olmamaktadır. Bu nedenle bölgede meydana gelen ve odak çözümü olan depremler 2 grup altında incelenmiştir.

Birinci grupta ilk ölçü tarihinden önce (2006), ikinci grupta ise 2006 ve sonrasında meydana gelen depremler yer almaktadır. Birinci grupta yer alan odak çözümleri ile gerinim alanları arasındaki uyum/uyumsuzluk bölgedeki fayların geçmişten günümüze davranışları ve çalışma şekillerindeki değişim ile ilgili bilgi verecektir. İkinci grupta yer alan odak çözümleri ise bu çözümlerle güncel deformasyona ait gerinim alanları arasındaki uyumu gösterecektir. Bu uyum henüz deprem meydana gelmemiş bölgeler ile deprem meydana gelmiş ancak gerininin yüksek olduğu bölgelerdeki enerji birikimi konusunda fikir verecektir.

Çizelge 4.9 Aletsel dönemde bölgede meydana gelen $M \geq 4.5$ depremlerin odak çözümleri.

Enlem	Boylam	h	Strike	Dip	Rake	M	Yıl	Kaynak	Enlem	Boylam	h	Strike	Dip	Rake	M	Yıl	Kaynak
38.98	27.87	9	195	59	21	4.8	2020	AFAD	39.53	26.17	7	107	49	-115	5.3	2017	AFAD
38.98	27.88	7	79	78	170	4.5	2020		39.51	26.12	12	115	49	-93	5.2	2017	
39.10	27.85	15	341	78	-11	5.2	2020		39.53	26.14	10	113	50	-93	5.3	2017	
38.99	27.87	9	259	84	-177	4.8	2020		39.54	26.13	9	142	54	-76	5.3	2017	
39.01	27.87	7	254	85	168	4.6	2020		39.51	26.14	10	104	59	-98	4.5	2017	
39.01	27.87	5	166	82	-5	4.7	2020		39.54	26.15	9	144	43	-84	4.6	2017	
39.10	27.84	7	110	46	-102	4.8	2020		38.90	27.74	17	343	77	4	4.5	2016	
39.05	27.84	10	94	53	-141	5.4	2020		38.91	27.75	18	336	90	-3	4.6	2016	
39.44	27.93	7	138	82	-9	4.6	2019		38.83	26.27	5	47	35	-132	4.8	2015	
37.97	26.95	18	242	88	-175	4.8	2019		38.90	26.26	14	283	55	-95	4.9	2014	
39.60	26.43	6	79	53	-142	5	2019		38.90	26.27	22	254	67	-148	5.1	2014	
38.57	26.72	10	339	81	-8	4.8	2017		38.85	26.31	16	114	43	-78	6.2	2017	
38.91	26.22	12	49	71	-154	4.5	2017		38.84	26.33	34	327	74	-27	5	2011	
38.72	27.79	11	306	63	-89	4.8	2017		38.84	26.44	10	241	74	-152	5.3	2017	
38.74	27.81	10	287	58	-103	4.5	2017		38.82	26.45	14	242	41	-151	5	2017	
38.71	27.80	7	311	61	-86	4.8	2017		38.60	26.09	12	281	70	-161	4.6	2014	
38.72	27.79	4	311	56	-79	4.6	2017		38.72	28.07	23	267	81	-174	4.6	2012	
38.74	27.82	11	298	55	-100	5.1	2017		39.10	28.34	34	154	70	46	4.7	2011	

Çizelge 4.9 (Devam) Aletsel dönemde bölgede meydana gelen $M \geq 4.5$ depremlerin odak çözümleri.

38.63	27.59	13	272	45	-112	4.9	2017		39.69	27.55	7	240	85	177	4.9	2010	
39.49	26.10	11	138	41	-65	4.7	2017		38.15	26.18	24	235	56	179	4.7	2010	
39.52	26.18	8	154	52	-71	5	2017										
39.33	27.98	9	255	60	-156	4.9	1999		38.79	26.57	8	262	41	-108	5.9	1979	
39.12	28.52	9	292	46	-65	5	1969		37.97	28.50	43	65	76	-70	6.1	1959	
39.13	28.65	18	77	50	-96	5.2	1970		38.60	26.30	—	250	56	-149	6.8	1949	
38.69	27.50	8	259	43	-121	5.2	1994		40.00	27.30	—	150	84	14	7.1	1953	
38.41	27.19	34	90	28	-116	5.3	1977		38.60	26.30	10	250	56	-149	5	1905	
38.25	26.89	8	70	85	165	5.3	2003		38.11	26.96	10	54	83	149	6	1992	
39.25	28.44	23	90	40	-104	5.5	1969		38.69	26.53	13	277	47	-117	5.4	1994	
39.25	28.44	8	90	40	-104	5.5	1969		38.69	26.53	13	273	48	-122	5	1994	
38.11	26.95	13	255	85	-158	5.5	1992		38.25	26.89	6	61	71	153	5.7	2003	
39.14	28.48	12	70	46	-117	5.6	1969		38.17	26.64	11	246	82	-172	5.4	2005	
38.47	26.41	14	116	60	-90	5.6	1969		38.17	26.68	11	238	85	177	5.8	2005	
38.55	28.46	9	101	61	-90	5.9	1969		38.19	26.69	10	50	84	-172	5.9	2005	
38.79	26.57	23	266	36	-105	5.9	1979		38.60	26.97	9	75	85	165	4.5	2008	
38.13	26.50	14	234	72	180	5.4	2005		38.20	26.22	6	263	56	-123	4.5	2010	
38.20	26.50	9	233	79	179	5.7	2005		38.66	26.65	6	119	56	-52	4.6	2012	
38.15	26.75	10	224	81	182	5.7	2005										

Tan vd. (2008)

Yolsal vd.
2014

Tan vd. (2008)

MTA

Gerinim alanlarının bölgede meydana gelen depremlerle arasındaki uyumu görmek için odak çözümleri ile gerinim haritası çıkarılmıştır. Çalışma bölgesinin büyüklüğü ve yüksek odak çözümü sayısı nedeniyle daha rahat yorum yapabilmek için haritalar bölgelere ayrılmıştır. 2006 öncesi harita Şekil 4.21, 2006 sonrası haritalar ise Şekil 4.22, 4.23 ve 4.24'te sunulmuştur.

4.5.4.1 2006 öncesi

Şekil 4.21 incelendiğinde YGFZ'nin 1953 yılında ürettiği Mw:7.1 büyüklüğündeki depreme ait odak çözümünün sağ doğrultu atımlı bir faylanma yapısını işaret ettiği görülmektedir. Bu durum gerinim bileşenleri ile uyumlu olup bölgenin faylanma yapısında önemli bir değişim olmadığını göstermektedir. Deprem meydana gelen bölgedeki gerinimler 50 ns/yıl civarındayken YGFZ'nin güney kısmındaki gerinim değerlerinin yüksekliği (160-170 ns/yıl) dikkat çekmektedir.

Bölgenin en önemli yapılarından HBFZ civarında 2006 öncesinde en büyüğü 4.8 (1998) olan $M > 4$ olan 3 adet deprem meydana gelmiş olup bu depremler zonun batı kesiminde yer almaktadır (AFAD Deprem Katalogu 2020). İlgili kataloglarda bu depremlere ait odak çözümleri yer almamaktadır. Literatürde zonun Balıkesir civarındaki segmentlerinin deprem tekrarlama periyotlarının 1000 yıl olduğu ve zon üzerinde 120-2000 yıl arasında yıkıcı bir deprem meydana gelmediği, bu nedenle de zon üzerinde sismik bir boşluk olduğu ifade edilmiştir (Sözbilir vd. 2015, Sözbilir vd 2016a, 2016b, 2016c). Bu durum zon üzerinde gerinimlerin yüksek olması, özellikle doğu kısmında 150-190 ns/yıl'a ulaşmış olmasıyla uyum içerisinde olup bölgede önemli sayılabilecek enerji birikiminin meydana geldiği değerlendirilmektedir. GFZ kuzeyinde 1999 yılında meydana gelen Mw:4.9 depremine ait odak çözümünün sensitive özellikte olması nedeniyle yönü belirsiz olmakla birlikte doğrultu atımlı bir faylanma yapısını göstermektedir. Yine güncel gerinim alanı da eğim bileşenli sol doğrultu atımlı bir faylanma yapısını işaret etmektedir.

önemli ölçüde boşaltmış olabileceği değerlendirilmektedir. Batı ucundaki gerinimlerin büyüklüğü (80-120 ns/yıl) ise fayın GFZ ile etkileşimi sonucu meydana gelmiş olabileceği düşünülmektedir.

Gediz grabeninin doğu kısmında 1969 yılında meydana gelen Mw:5.9 büyüklüğündeki depreme ait odak çözümüne göre bölge normal faylanma yapısındadır. Bu durum gerinim alanı ile uyumludur. Yine son olarak 50 yıl önce deprem meydana gelen bu bölgede güncel gerinim oranlarının küçüklüğü (~50 ns/yıl) ve yönleri (KKD-GGB) bölgenin bu depremde enerjisini önemli ölçüde boşaltmış olabileceğini ve faylanma yapısında bir değişim olmadığını göstermektedir. Bu durum zonun batı kısmı için geçerlidir.

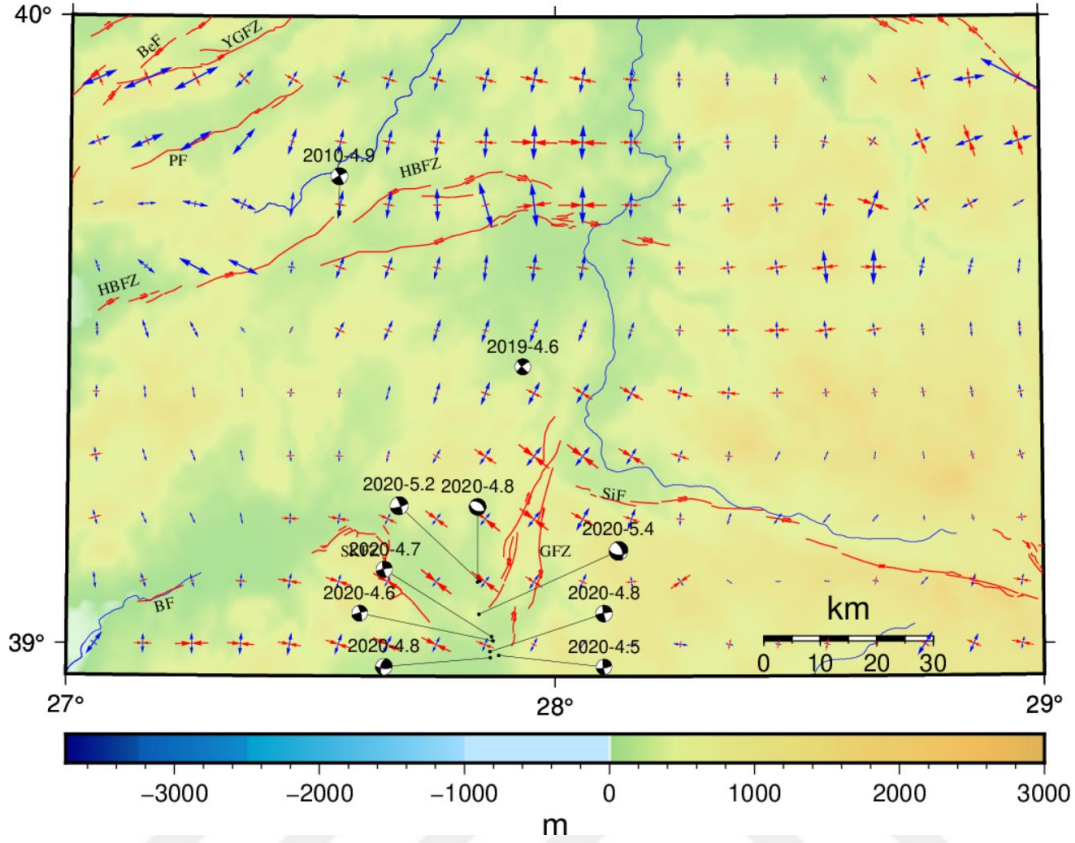
Tuzla fayının güneyinde 1992 yılında meydana gelen ve büyüklükleri Mw:5.5 ve Mw:6 olan depremlere ait çözümler incelendiğinde fayın sağ doğrultu atımlı olduğu görülmektedir. Fay genelinde, özellikle doğu kısmında gerinim alanlarının küçük olması güncel faylanma yapısı ile ilgili yorum yapmayı zorlaştırmakla birlikte sağ doğrultu atımlı bir yapı görülmektedir. Bununla birlikte gerinimlerin küçük olması meydana gelen depremlerde enerjinin büyük oranda boşalmış olabileceğini, batı kısmındaki gerinimlerin büyük olması ise o bölgenin SF'nin etkisinde olabileceği şeklinde değerlendirilmektedir.

GF-SF arası literatürde negatif çiçek yapısı olarak tanımlanmakta ve bu fayların doğrultularının güneyde birleştiği belirtilmektedir. Doğrultu atımlı faylanmanın önemli özelliklerinden biri olan ve ana faya bağlı fay parçacıklarının yüzeye doğru dallanarak, çiçek kesitine benzeyen bir görünüm sunması çiçek yapısı şeklinde açıklanabilir (Sözbilir vd. 2008, 2009). Bu bölgede yer alan odak çözümleri incelendiğinde sol doğrultu atımlı faylanma görülmektedir. Yine Kenelidağ fayı üzerinde ve güneyinde 2005 yılında meydana gelen 5.4-5.7 büyüklüğündeki depremler sol doğrultu atımlı faylanmayı göstermektedir. Bölge gerinim alanı incelendiğinde odak mekanizma çözümleriyle uyumlu olarak sol doğrultu atımın baskın olduğu görülmektedir.

Karaburun yarımadası deniz açıklarında meydana gelen depremlere ait çözümler incelendiğinde normal ve doğrultu atım bileşenli fayların farklı zamanlarda aktif olduğu görülmektedir. Karaburun yarımadasında ve deniz açıklarındaki gerinim alanları ile odak çözümleri arasında uyumsuzluk görülmektedir. Bu durum depremlerin denizde ve MoF'tan uzakta olması ile iterasyon sonucu hesaplanan deniz açıklarındaki gerinim değerlerinden kaynaklanabileceği şeklinde değerlendirilmektedir.

4.5.4.2 2006 ve sonrası

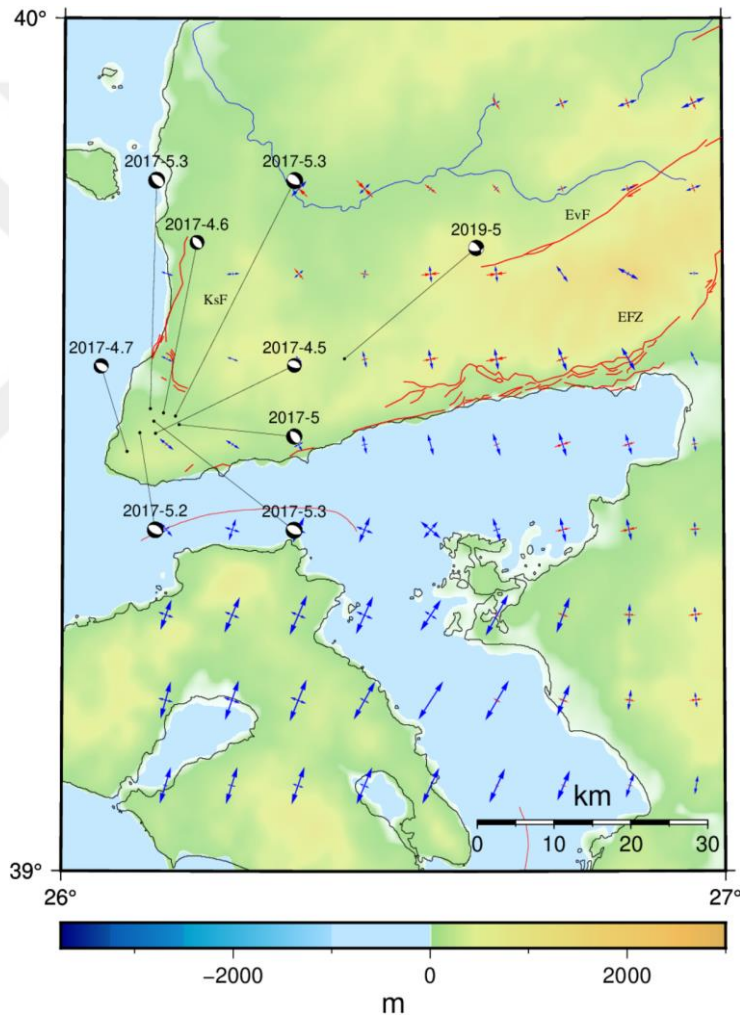
Şekil 4.22 incelendiğinde hem HBFZ üzerinde 2010 yılında meydana gelen M:4.9 büyüklüğündeki depremin hem de gerinim alanının sağ yönlü bir hareketi işaret ettiği görülmektedir. Ancak gerinim alanında açılma bileşeni baskındır. Bu durum bölgede sağ doğrultu atım bileşenli normal faylanma yapısının görülebileceğini ifade etmektedir. Bu durumun sıkışma bileşeninin baskın olduğu Kepsut – Ovacık segmentlerinde sağ doğrultu atımlı ters oblik faylanma yapısı şeklinde görülmesi nedeniyle literatürde de yer alan zonun farklı segmentlerden oluştuğu önerisini desteklediği düşünülmektedir. Zon üzerinde yer alan segmentlerin farklı faylanma yapısında olabileceklerine dair bu verilere dayanarak zonun jeolojik ve nokta yoğun jeodezik çalışmalar ile takip edilmesi gerektiği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.22 2006-2020 yılları arası $M \geq 4.5$ deprem odak çözümleri ve gerinim alanı.

GFZ incelendiğinde bölgede genel olarak gerinim alanlarıyla odak çözümleri uyum içerisinde. Ancak 2020-5.4 ile hemen kuzeyinde yer alan 2020-4.8 depremlerine ait çözümler diğer çözümlere göre farklılık içermektedir. İlgili deprem katalogları incelendiğinde (KOERI, USGS vb.) bu depremlere ait farklı kataloglarda farklı çözümlerin yer aldığı görülmüştür. Diğer çözümlerde bu depremler çoğunlukla baskın doğrultu atımlı faylanma yapısı ifade edilmektedir. Ancak gerinim alanları incelendiğinde sıkışma bileşeninin daha baskın olduğu görülmektedir. Bu durum bölgede 2020 yılında meydana gelen depremlerin GFZ ve SKFZ'nin etkileşimi içerisinde olduğunu düşündürmektedir. Bölgede SKFZ-GFZ-SiF'in bir makaslama zonu formunda olduğu değerlendirilmektedir (Sözbilir vd. 2020b). Bununla birlikte HBFZ ile GFZ arasında 2019 yılında meydana gelen $M:4.6$ büyüklüğündeki deprem sol yönlü bir hareketi göstermektedir. Bu durum depremin kaynağının GFZ olabileceğini ve bu zonun KKD-GGB doğrultusunda kuzeye devam ediyor olabileceğini göstermektedir.

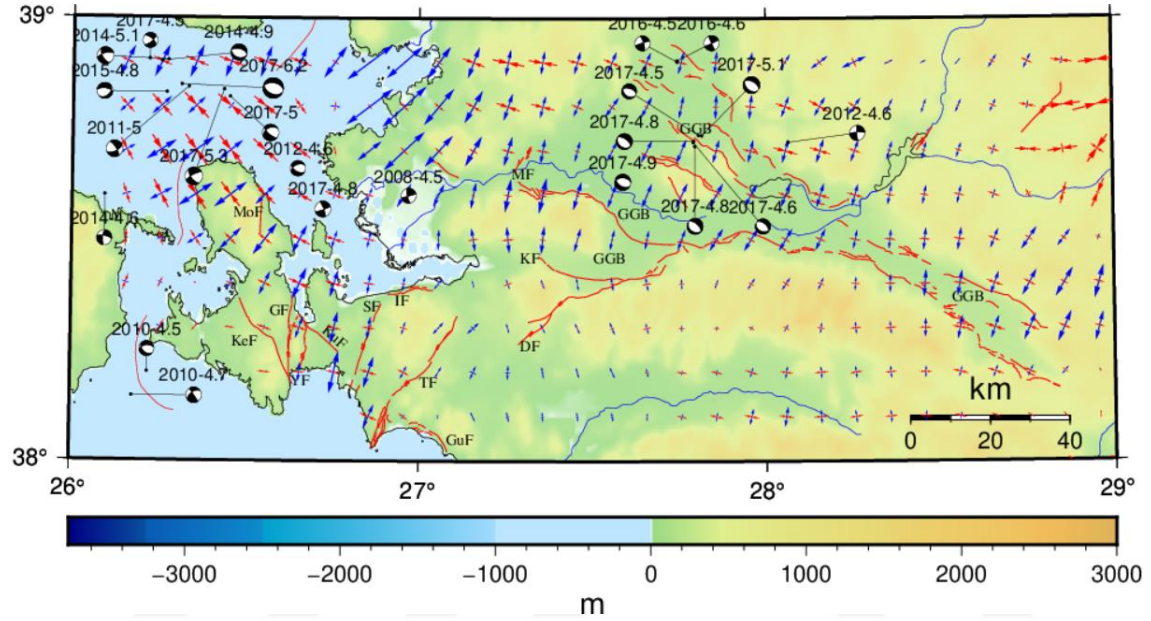
Şekil 4.23 incelendiğinde KsF ve çevresinde yakın dönemde çok sayıda $M \geq 4.5$ deprem meydana geldiği görülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında Kestanbol Fayı ve çevresinde güncel GNSS ölçüsü yapılmamış olup önceki çalışmalardan elde edilen hızlar dönüştürülerek bölgeye ait güncel hızlar elde edilmiştir. Ancak bölgede yakın dönemde meydana gelen bu yoğun deprem aktivitesinin bölgenin güncel hız alanını etkilediği düşünülmektedir. Bu nedenle bölgenin güncel hız alanı ve gerinim alanının yeni GNSS ölçüleri ile belirlenmesi sonrasında bir karşılaştırma yapılabileceği değerlendirilmektedir.



Şekil 4.23 2006-2020 yılları arası $M \geq 4.5$ deprem odak çözümleri ve gerinim alanı.

Şekil 4.24 incelendiğinde GGB üzerinde 2017 yılında meydana gelen depremlerin tamamının odak çözümleri bölgenin faylanma yapısı ile uygun olarak normal faylanma yapısını işaret etmektedir. Bu depremlerin meydana geldiği bölgelerdeki gerinim

alanları incelendiğinde de yine aynı şekilde yaklaşık KD-GB yönlü normal faylanma yapısı görülmektedir. Gerinim alanı ve odak çözümleri uyum içerisinde. 2012 ve 2016 depremlerinin odak çözümleri ise doğrultu atımlı bir yapıyı işaret etmektedir. Yine bu bölgelerdeki gerinim alanlarının (2012 açılma ve sıkışma 90 ns/yıl, 2016 açılma 80 sıkışma 60 ns/yıl) tam doğrultu atımlı bir faylanma yapısını işaret ettiği görülmektedir.



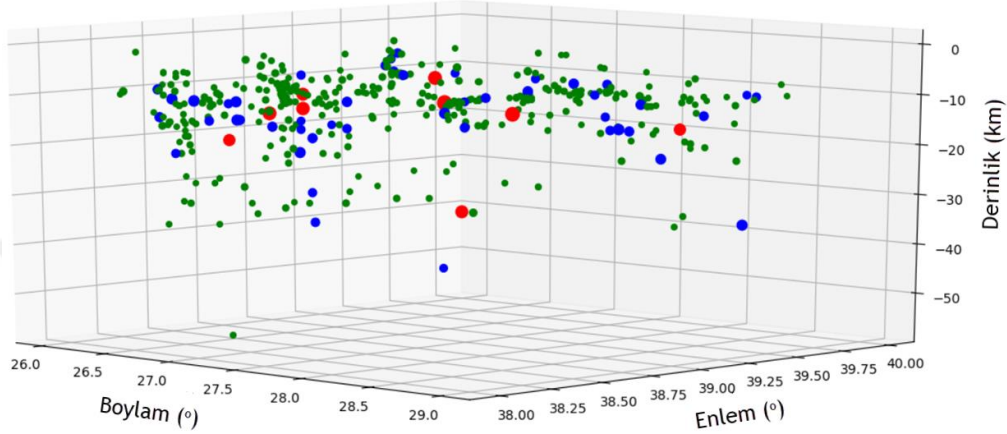
Şekil 4.24 2006-2020 yılları arası $M \geq 4.5$ deprem odak çözümleri ve gerinim alanı.

Karaburun yarımadası civarındaki depremler denizde meydana gelmiş olup MoF'a yaklaşık 40 km uzaklıktadır. Bununla birlikte deniz üzerindeki gerinim alanları iterasyon sonucu belirlenmiş olup iterasyonda kullanılan noktalar arası mesafe 60-90 km arasında değişmektedir. Deniz tabanının tektonik yapısının bilinmemesiyle birlikte bu durum iterasyon ile bu noktalar arasındaki farklı yapıların etkisinin güvenilir olarak belirlenemeyeceğini ifade etmektedir. Bundan dolayı bu bölge için odak çözümleri ile gerinim alanları arasında bir karşılaştırma yapılamayacağı değerlendirilmektedir.

4.6 Blok Modelleme Çalışmaları

İlgili literatür incelendiğinde tez kapsamında odaklanılan bölgeyi içeren ve blok model önerisi sunan 2 adet çalışma olduğu görülmüştür (Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009). Reilinger vd. (2006)'da yer alan blok model makro blok olup neredeyse çalışma

bölgesinin tamamını iki blok olarak göstermekte ve nokta yoğunluğu açısından çalışma bölgesinde toplamda 20 civarında nokta içermektedir. Aktuğ vd. (2009)'da yer alan blok model ise Türkiye'nin batısını kapsamakta olup 7 bloktan oluşmaktadır. Bu bloklardan 4 tanesinin çalışma bölgesini içerdiği ve nokta yoğunluğunun Reilinger vd. (2006)'ya göre fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.25 Aletsel dönemde meydana gelen depremlerin derinlikleri (Yeşil nokta: $M \geq 4$, Mavi nokta: $M \geq 5$, Kırmızı nokta: $M \geq 6$).

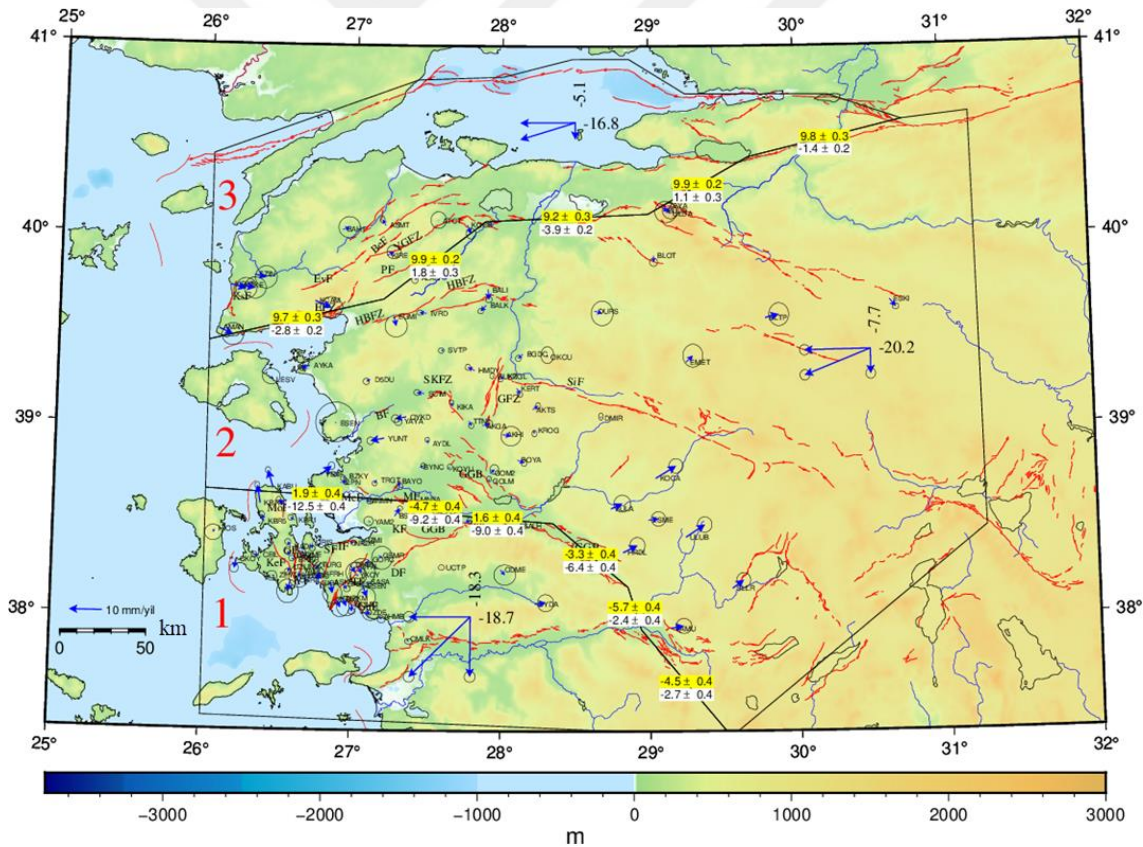
Bu çalışmalarda önerilen blok modellerin güncelliğini ve bölgenin tektonik yapısı ile uyumluluğunu incelemek için bu blok modeller güncel hız alanı ile yeniden çözülmüştür. Çözüm için öncelikle blok içinde kalan noktaların hızları yardımıyla blokların ortalama hızı belirlenmiş sonrasında ise bu hızlar sabit alınarak tüm noktaların göreceli hızları hesaplanmıştır. Son olarak ise blok sınırlarına paralel ve dik hareketler ile noktaların artık hızları hesaplanmıştır. Blok çözümlerinde sismolojik zon kalınlığını (depremlerin meydana geldiği derinlik) belirlemek için aletsel dönemde bölgede meydana gelen depremlerin derinlikleri kullanılmıştır. Şekil 4.25'te $M > 4$ depremlerin meydana geldiği derinlikler 3 boyutlu olarak verilmiştir. Bu verilere göre sismolojik kalınlık 13 km olarak belirlenmiştir. Blok modelleme çalışmaları GeodSuit, görselleştirme çalışmaları ise GMT yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

4.6.1 Mevcut Blok Modellerin Çözümü

Reilinger vd. (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışmada Asya-Avrupa-Afrika kıtalarını kapsayan ve çok sayıda bloktan oluşan bir model önerilmiştir. Bu çalışmada

önerilen bloklardan 3'ü bu tez kapsamında çalışılan bölgeyi içermektedir. Aktuğ vd. 2009 tarafından gerçekleştirilen ve Türkiye'nin batısını kapsayan çalışmada ise 7 bloklu bir model önerilmiştir. Bu bloklardan 4'ü bu tez kapsamında çalışılan bölgeyi içermektedir.

Önceki bölümlerde elde edilen hız alanı kullanılarak bu çalışmada önerilen blok modeller güncel verilerle yeniden çözülmüştür. Çözüm için her bir blok içerisindeki noktalara ait hızlar yardımıyla ortalama blok hızları hesaplanmıştır. Tüm bloklarda bölge tektoniği ile uyumlu olarak güney batı yönlü bir hareket görülmüştür. Daha sonra GeodSuit yazılımı yardımıyla blok çözümü yapılmış ve blok sınırlarındaki hareketler ile artık hızlar hesaplanmıştır. Blok sınırları, artık hızlar ve blok hız bileşenleri Reilinger vd. (2006) için Şekil 4.26, Aktuğ vd. (2009) için Şekil 4.27'de verilmiştir.



Şekil 4.26 Blok çözümü ve ortalama blok hızları (Reilinger vd. (2006)).

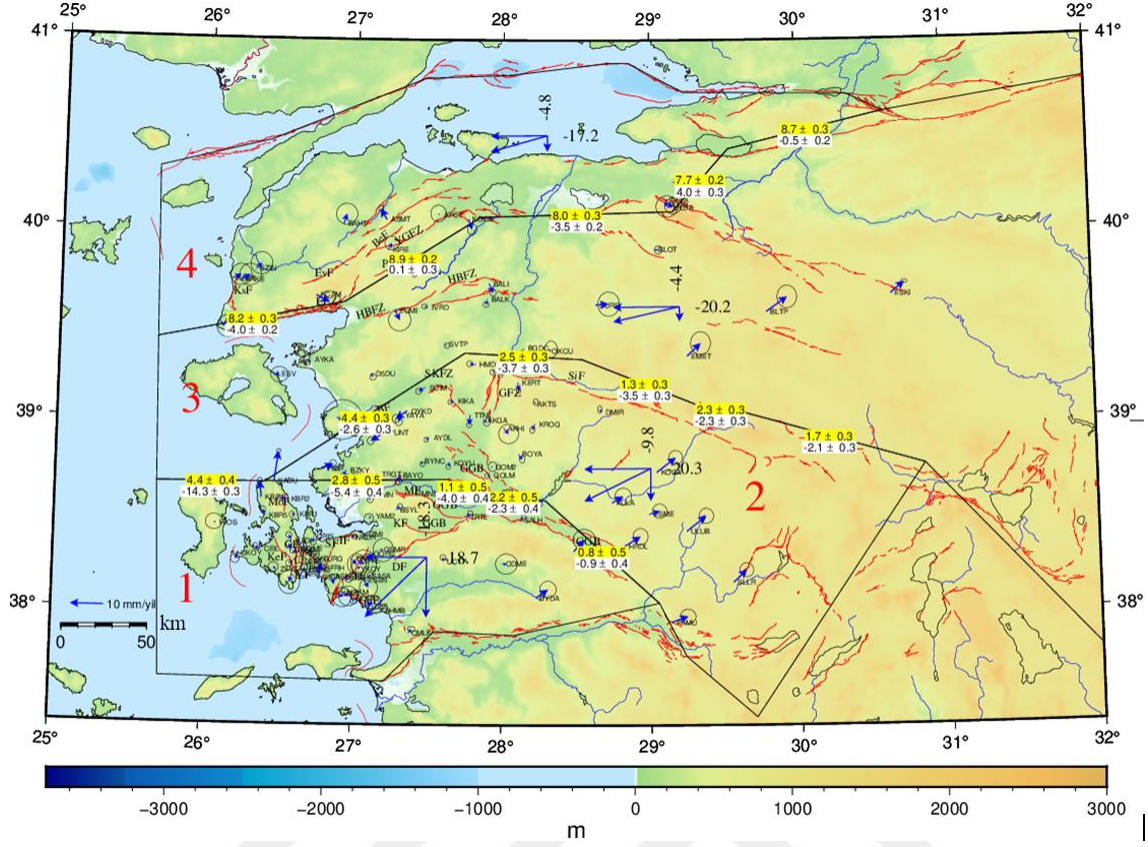
Şekil 4.26 üzerinde yer alan blok hızları incelendiğinde 1 numaralı bloğun ~26 mm/yıl ile en hızlı hareket eden blok olduğu görülmektedir. Kuzey bileşenleri açısından

değerlendirildiğinde 2 ve 3 numaralı bloklar sırasıyla 5.1 ± 0.79 , 7.7 ± 0.65 mm/yıl ile güney yönünde hareket ederken 1 numaralı blok ise bu iki bloğa göre 10-13 mm/yıl daha yüksek hızla (18.3 ± 0.68 mm/yıl) aynı yönde hareket etmektedir. Doğu bileşenleri incelendiğinde ise 2 numaralı bloğun 20.2 ± 0.61 , 1 numaralı bloğun 18.7 ± 0.68 ve 3 numaralı bloğun ise 16.8 ± 0.74 mm/yıl ile batı yönlü hareketi görülmektedir.

Şekil 4.26 incelendiğinde 2 ve 3 numaralı blokların sınırında yanal hareketin tüm segmentlerde sağ yönlü olduğu, blok sınırına dik hızların ise ERCT-DTAS noktalarının bulunduğu segment dışında açılma rejiminin baskın olduğu görülmektedir. 1 ve 2 numaralı blok sınırındaki hareket incelendiğinde ise YENF ve GOLM noktalarının güneyinde kalan segmentlerde sağ yönlü, diğer segmentlerde ise sol yönlü hareket görülmektedir. Yine bu sınırda tüm segmentlerde doğudan batıya doğru artan açılma rejiminin baskın olduğu görülmektedir. Şekil 4.26'da yer alan artık hızlar incelendiğinde ise 10'dan fazla noktada artık hızların 5 mm'nin üzerinde olduğu, bazı noktalarda ise 7 mm'yi aştığı görülmektedir (KOCA-ULUB).

Şekil 4.27 üzerinde blok hızlarının doğu bileşenleri incelendiğinde yıllık hareket miktarı en yüksek 2 ve 3 numaralı bloklarda olup yaklaşık 20 ± 0.62 mm/yıl'dır. 1 ve 4 numaralı bloklarda ise sırasıyla 17.2 ± 0.77 ve 18.7 ± 0.66 mm/yıllık hızlar görülmektedir. Kuzey bileşenleri incelendiğinde ise 3 ve 4 numaralı blokların yaklaşık 4.5 ± 0.75 mm/yıl, 2 numaralı bloğun ise 9.8 ± 0.62 mm/yıl ile hareket ettiği görülmektedir. 1 numaralı blok yıllık ~ 18.3 mm'lik hareketle bölgenin en yüksek hıza sahip olan bloğudur.

Şekil 4.27 incelendiğinde blok sınırlarına paralel hızlarının tamamının sağ yönlü olduğu, blok sınırına dik hızların ise biri hariç tamamının uzaklaşma yapısında olduğu görülmektedir. Bu hızların bölgenin çoğunluğunda uyumlu olmasına rağmen bazı bölgelerde uyumlu olmadığı görülmüştür. Bununla birlikte bazı noktalarda (KABU-ULUB) noktalara ait artık hızların 5 mm'nin üzerinde olduğu görülmektedir.



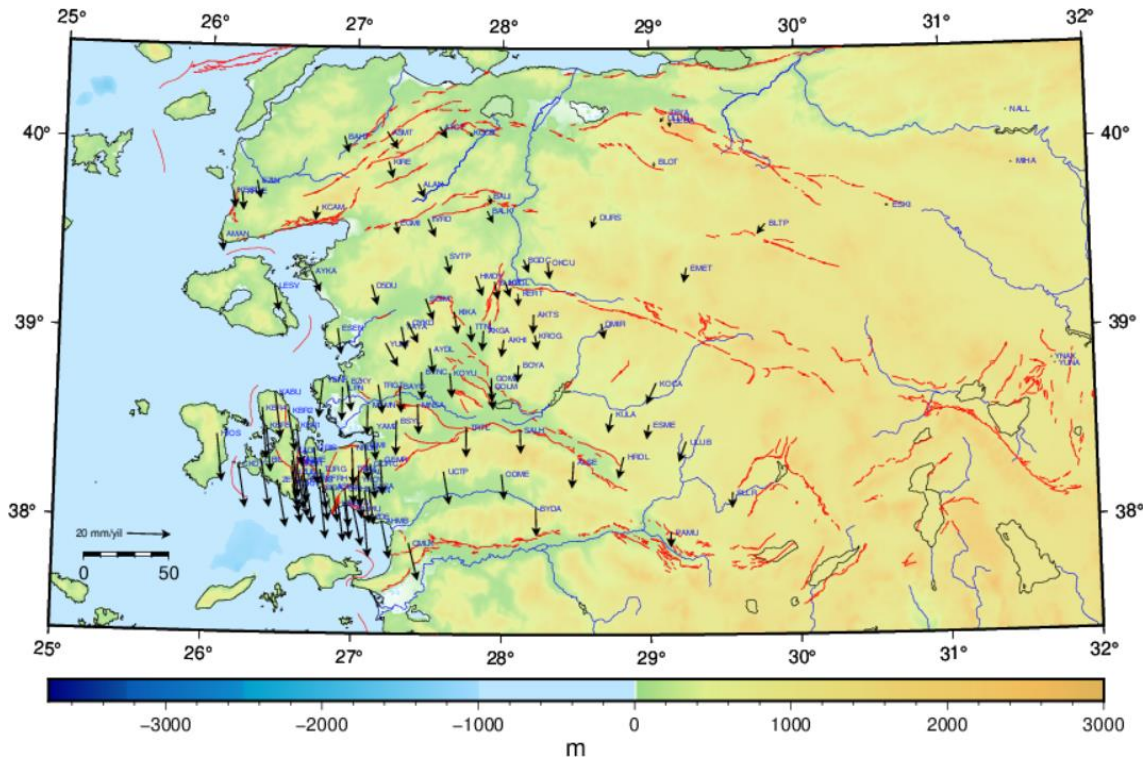
Şekil 4.27 Blok çözümü ve ortalama blok hızları (Aktuğ vd. (2009)).

Şekil 4.26 ve 4.27’de verilen blok çözümleri dikkate alındığında önerilen blok modellerin mevcut verilerle uyum sağladığı ancak güncel verilerle çözüm yapıldığında bazı bölgelerde uyumsuzluk içerdiği görülmüştür. Bu uyumsuzluğun çalışmalarda nokta sayısı ve yoğunluk farkından, önerilen blokların makro blok olmasından ve/veya hız alanındaki zamansal değişimden meydana gelebileceği değerlendirilmiştir. Bu nedenle bölgede yeni bir blok model geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

4.6.2 Önerilen Blok Model ve Çözümü

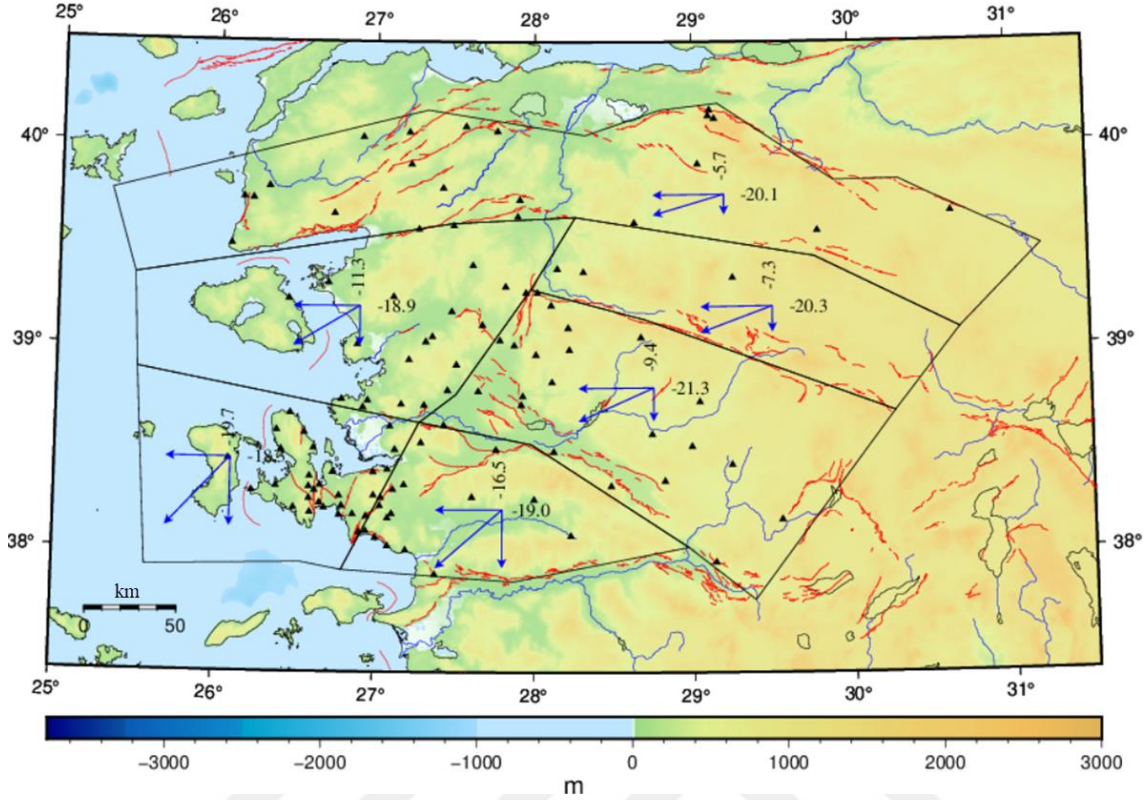
Çalışma bölgesinde blok sınırlarını belirlemek için öncelikle bölge sınırlarına uzak ve hızları birbirine yakın olan 4 nokta (NALL-MIHA-YUNA-YUNK) sabit alınarak tüm noktalara ait göreceli hızlar hesaplanmıştır (Şekil 4.28). Bu hızlara göre bölgenin Anadolu’ya göre yaklaşık güney yöndeki bölgede açılma rejiminin baskın olduğunu ve kuzeyden güneye inildikçe açılmanın arttığını göstermektedir. Daha sonra göreceli hızlar, önceki çalışmalarda önerilen blok modeller ve bölgede yer alan faylar da dikkate

alınarak, çalışma bölgesi jeolojisine ve blok model konusuna hâkim bilim insanları ile bölgeye ait blok model belirleme çalışmaları yapılmıştır. Sonuç olarak blok sınır hareketleri, göreceli hızlar ve artık hızlar göz önünde bulundurularak en uyumlu blok model belirlenmiştir. Seçilen model 6 blok ve 16 segmentten oluşmaktadır. Önerilen blok modelde her bir blok içerisindeki hızların ortalaması alınarak ortalama blok hızları belirlenmiştir (Şekil 4.29).



Şekil 4.28 NALL-MIHA-YUNA-YUNK sabit göreceli hızlar (Anadolu Plakası).

Blok hızları bölge hız alanı ile uyumlu olarak GB yönlüdür. Elde edilen blok hızları incelendiğinde bölgede en hızlı hareketin 2, en yavaş hareketin ise 6 numaralı blokta olduğu görülmektedir. Buna göre doğu bileşenleri incelendiğinde en hızlı blok 4 numaralı blok (21.3 ± 0.62 mm/yıl), en yavaş blok ise 2 numaralı blok (18.3 ± 0.57 mm/yıl) olarak belirlenmiştir. Doğru bileşeni açısından bloklar arasındaki hız farkının maksimum 3 mm/yıl olduğu görülmüştür. Kuzey bileşenleri incelendiğinde ise en hızlı blok olarak 2 numaralı blok (19.7 ± 0.58 mm/yıl), en yavaş blok olarak ise 6 numaralı blok (5.7 ± 0.96 mm/yıl) belirlenmiştir. Doğru bileşeninde maksimum 3 mm olarak görülen hız farkı kuzey bileşeni için 14 mm olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.29 Önerilen blok model ve ortalama blok hızları (mm/yıl).

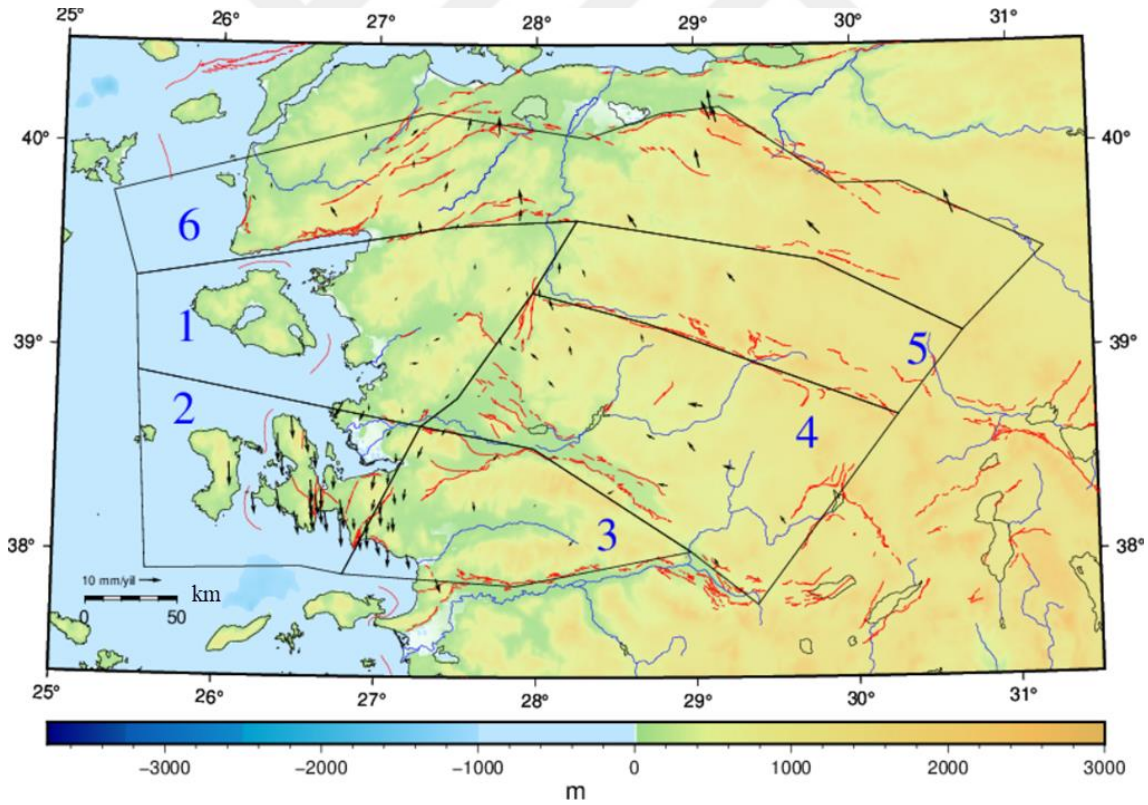
Ağda yer alan noktalara ait hızların ortalama blok hızlarıyla uyumunu görmek için her defasında bir blok sabit alınarak tüm noktalara ait göreceli hızlar hesaplanmıştır. Elde edilen hızlar Şekil 4.30'da verilmiştir. Şekil 4.40'da yer alan hızlar tüm noktaların içinde bulundukları blok hızına göre göreceli hızlarını ifade etmektedir (Şekil 4.30). Göreceli hızlar incelendiğinde bölgede bir dönüklük görülmektedir. Bu durum Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006) ve Uzel vd. (2015)'te belirtilen bölgenin saat yönünün tersine döndüğü tezini desteklemektedir.

Şekil 4.30 incelendiğinde Blok 1 sabit göreceli hızların blok ortalama hızına yakın olduğu ve bu nedenle bu blok içerisindeki göreceli hızların sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Buna göre blok içerisindeki noktaların (21 nokta) göreceli hızları (YENF noktası hariç) 5 mm'nin altındadır. YENF noktasındaki göreceli hız (~8 mm/yıl) incelendiğinde bu noktanın büyüklük olarak 1 numaralı bloktaki noktaların göreceli hızlarına yakın olduğu ancak aralarında belirgin yön farkı olduğu görülmektedir. YENF noktasının lokal deformasyon olup olmadığını kontrol etmek için hız doğruluğu incelendiğinde

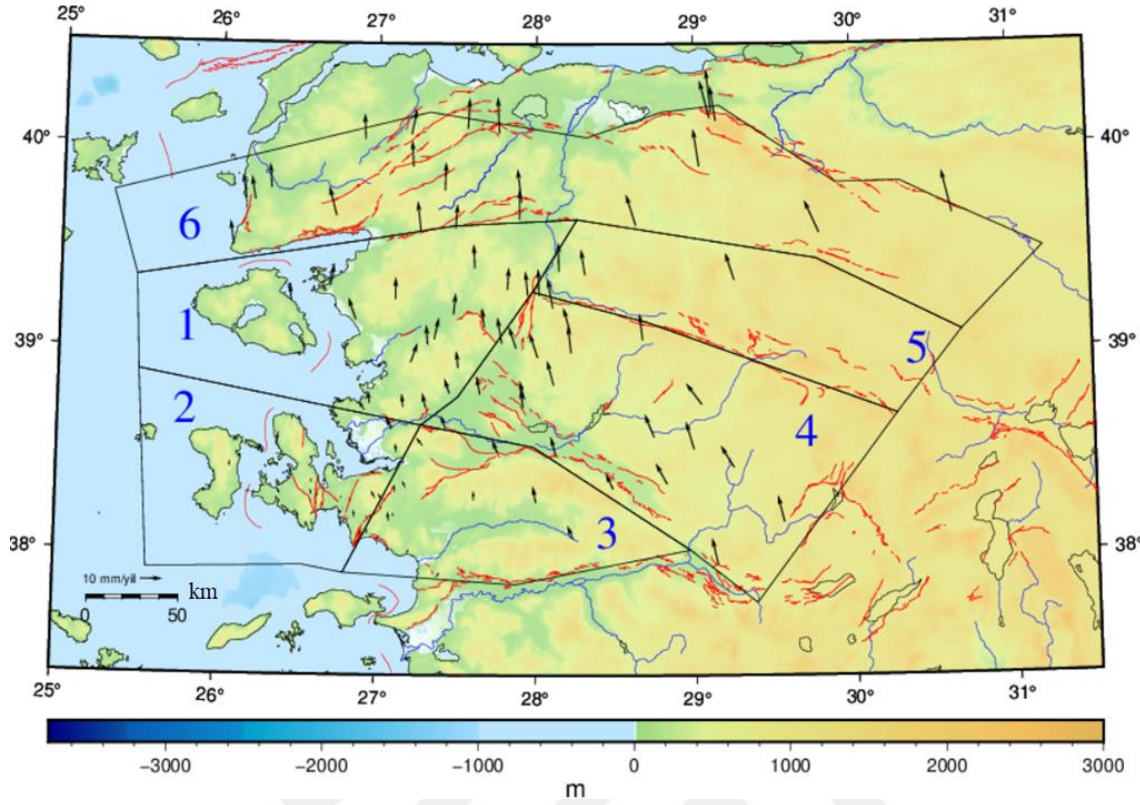
doğruluğun 0.5 mm'nin altında olduğu görülmüştür. YENF noktasındaki görelî hızın yüksek olmasının sebebi olarak noktanın blok sınırında olması değerlendirilmiştir.

Şekil 4.31 incelendiğinde tüm bloklar içerisinde en fazla nokta sayısına sahip olan 2 numaralı blok içerisinde kalan noktaların (29 nokta) görelî hızlarının blok hızına yakın değerde olduğu ve bundan dolayı sifıra yaklaştığı görülmektedir. Blok içerisindeki en büyük görelî hız 6 mm/yıl ile MNMN noktasında iken diğer noktalarda hızlar 5 mm/yılın altında olup birçok noktada ise 1 mm'den küçüktür.

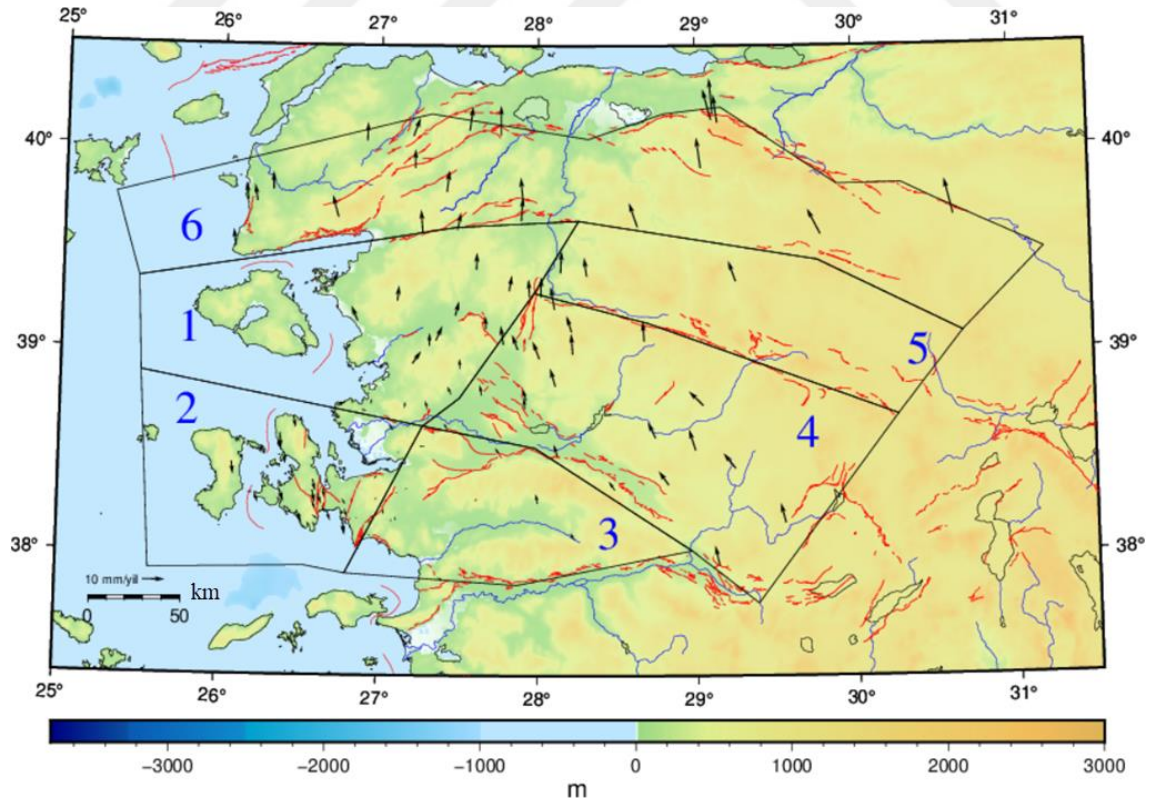
Şekil 4.32 incelendiğinde Blok 3 içerisinde yer alan noktaların (16 nokta) tamamının görelî hızlarının 5 mm/yılın altında olduğu görülmüştür. Buna göre blok içerisindeki en yüksek hız 4.5 mm/yıl ile ODME noktasında olup yine birçok noktada 1 mm'den düşüktür.



Şekil 4.30 Blok 1 sabit görelî hızlar (mm/yıl).



Şekil 4.31 Blok 2 sabit görelî hızlar (mm/yıl).

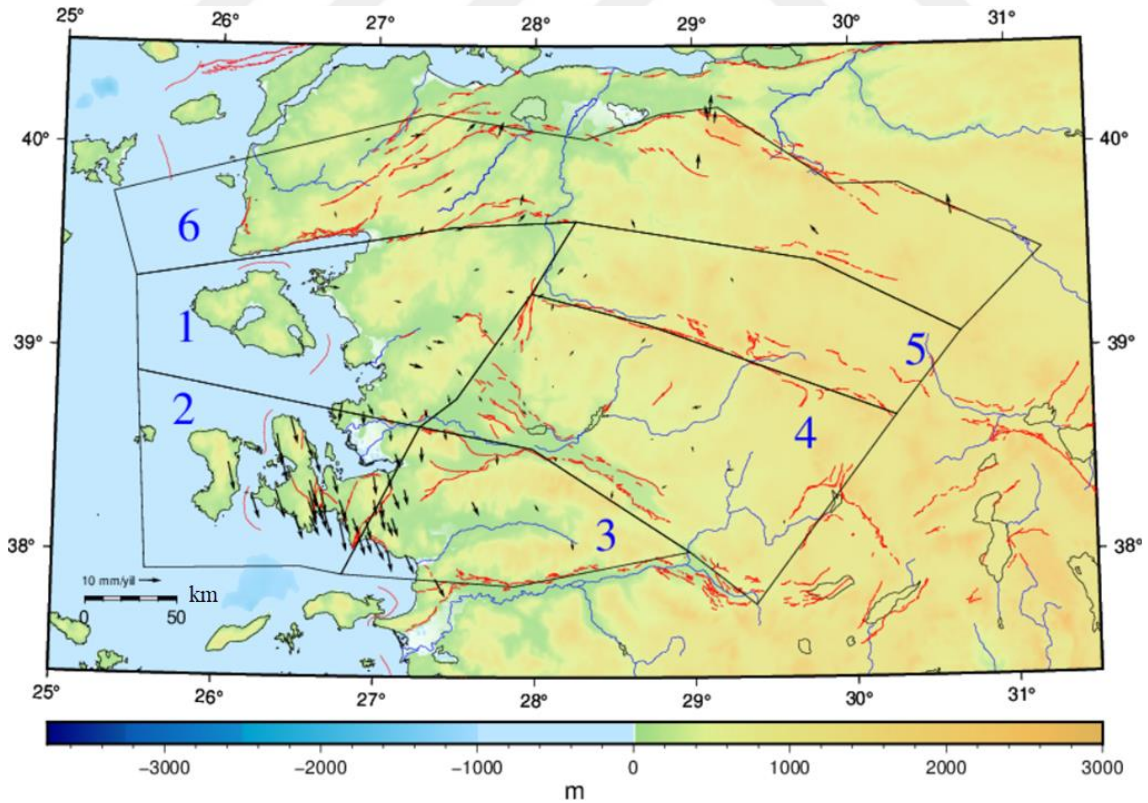


Şekil 4.32 Blok 3 sabit görelî hızlar (mm/yıl).

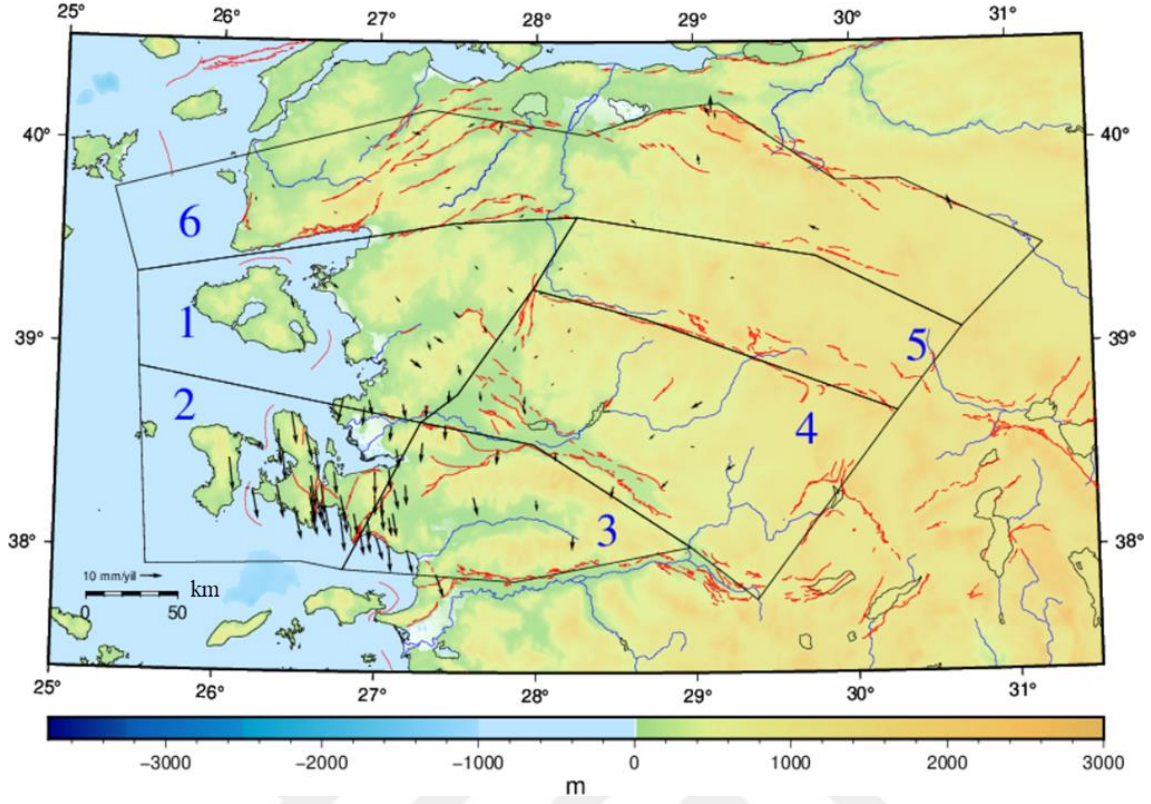
Şekil 4.33 incelendiğinde Blok 4 içerisinde kalan tüm noktaların (22 nokta) hızlarının ise blok hızına yakın olduğu ve bundan dolayı sıfıra yakın olduğu görülmüştür. Blok içerisindeki tüm noktaların göreceli hızları 5 mm/yıl'ın altında olup en yüksek göreceli hız 4 mm/yıl ile KOCA noktasındadır.

Şekil 4.34 incelendiğinde tüm bloklar içerisinde en az sayıda nokta (3 nokta) ile temsil edilen 5 numaralı blok görülmektedir. Bu blok içerisindeki tüm noktaların göreceli hızları 2 mm/yıl'ın altındadır.

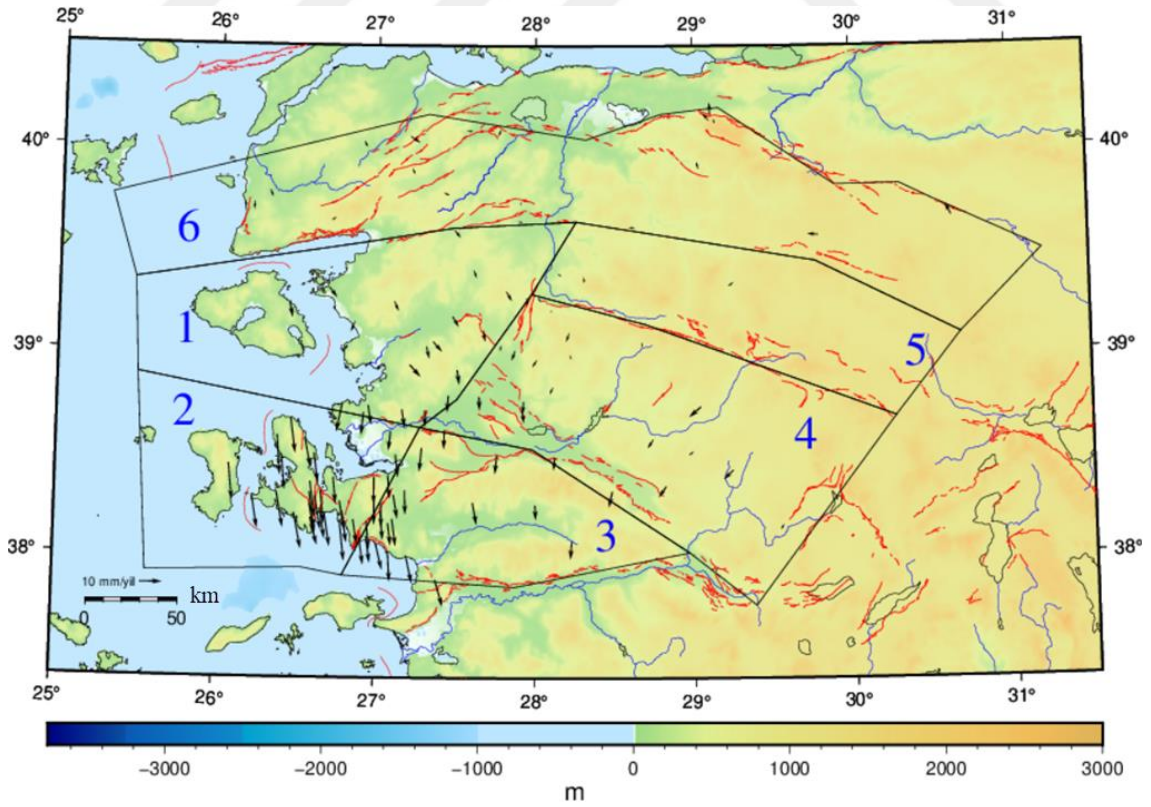
Şekil 4.35 incelendiğinde tüm bloklar içerisinde alansal olarak en büyük olan ve KAFZ'nin güney kolunu da içeren 6 numaralı blok sabit alınarak hesaplanan göreceli hızlar yer almaktadır. Bu blok 20 noktadan oluşmakta olup blok içerisindeki göreceli hızlar ESKI ve ZEYA noktalarında ~5.5 mm/yıl iken blok içerisindeki diğer noktalarda 5 mm/yıl'dan küçüktür.



Şekil 4.33 Blok 4 sabit göreceli hızlar (mm/yıl).



Şekil 4.34 Blok 5 sabit görelî hızlar (mm/yıl).



Şekil 4.35 Blok 6 sabit görelî hızlar (mm/yıl).

Elde edilen görelî hızlar incelendiğinde bu tez çalışması kapsamında önerilen blok modelin blok sabit görelî hızlara göre uyumlu olduğu değerlendirilmektedir. Ancak görelî hızlara ek olarak blokların birbirlerine komşu sınırları boyunca gerçekleştirdikleri hareket ve tüm noktalara ait artık hızların da belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla GeodSuit yazılımı kullanılarak önerilen blok model çözülmüştür.

Çözüm için sismojenik kalınlık olarak bölgede meydana gelen depremlerin derinlik ortalaması olan 13 km uygulanmıştır. Blok çözümü GMT yazılımı ile görselleştirilmiş ve Şekil 4.36’da sunulmuştur. Şekil 4.36 üzerinde mavi oklar artık hızları ve okların uç kısmında yer alan elipsler hızların doğruluklarını göstermektedir. Kolay yorumlanabilir olması açısından blok sınırları segmentler olarak (harflerle) ifade edilmiştir. Blok çözümü incelendiğinde önerilen blok model içerisinde 16 segment tanımlandığı görülmektedir. Ayrıca artık hızlar ve bunlara ait hatalar Çizelge 4.10’da sunulmuştur.

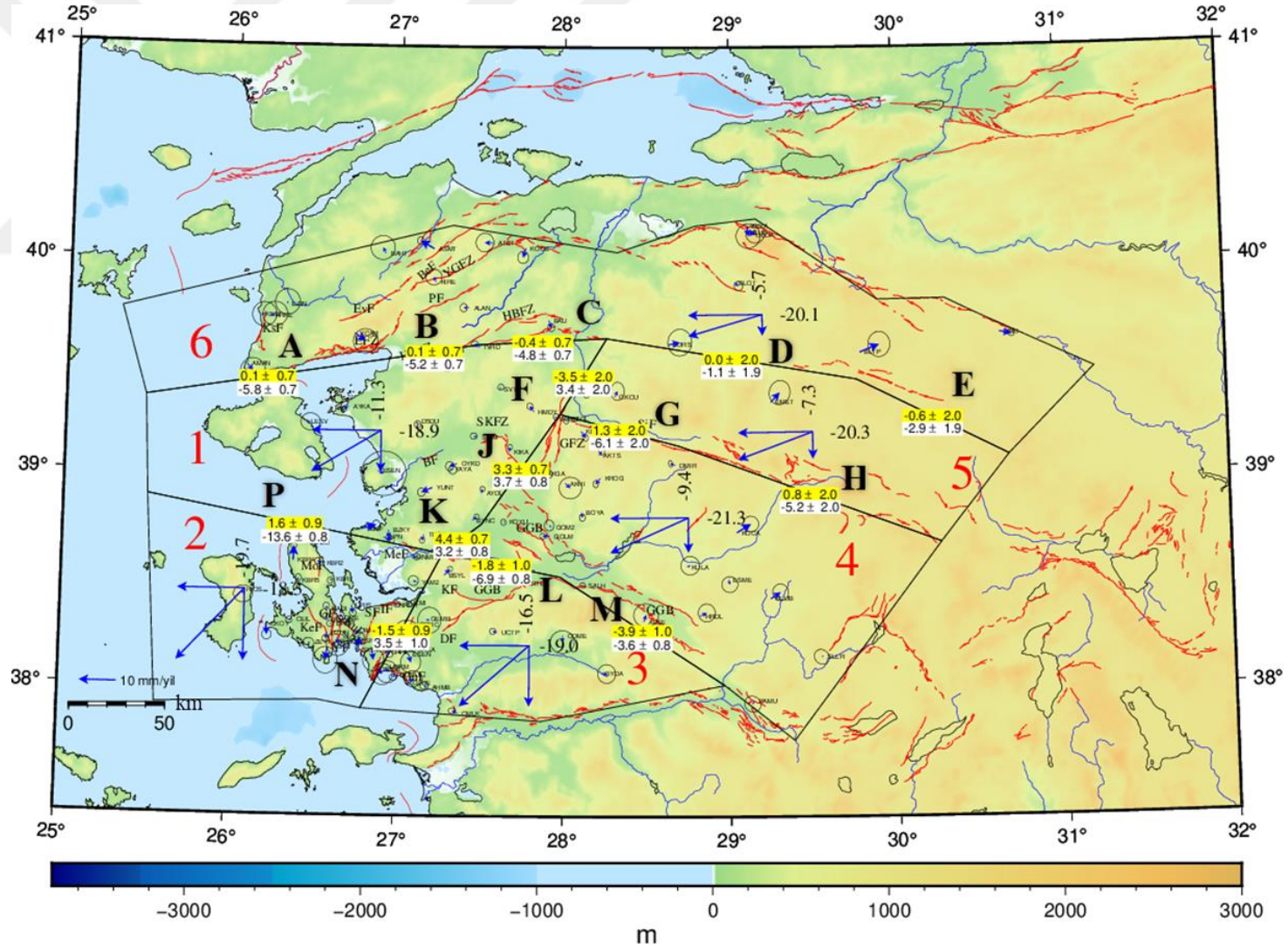
6 numaralı blok ile 1 numaralı blok arasındaki sınırda A-B arası Edremit, B-C arası HBFZ ile temsil edilmektedir. Bu sınırlardaki yanal hareketler incelendiğinde her 3 segmentte de yıllık yanal hareket miktarının hata değerlerinden küçük olduğu görülmektedir. Bundan dolayı bu segmentlerde iki blok arasındaki yanal hareket anlamsızdır. Yine bu segmentlerde sınıra dik hareketler incelendiğinde blokların 4.8-5.8 mm/yıllık hızlarla birbirinden uzaklaştığı ve bölgede genişleme rejiminin baskın olduğu görülmektedir. Bu durum ortalama blok hızları ile uyumludur.

6 numaralı blok ile 5 numaralı blok arasında kalan D ve E segmentlerindeki (Kütahya Fayı) hızlar incelendiğinde tüm hız bileşenlerinde hataların $\pm 1.9-2$ mm/yıl olduğu görülmüştür. Bu hata miktarı D segmentindeki hareketleri anlamsız kılmaktadır. E segmentinde ise yanal hareket anlamsızken iki blok arasında bu segmentte yıllık 2.9 mm’lik bir açılma görülmektedir. Bu durum ortalama blok hızları ile uyumludur.

İBTZ’nin kuzeydoğu sınırı incelendiğinde 1 numaralı blok ile 5 numaralı blok arasında kalan F segmentinin olduğu Bigadiç ile Balıkesir arasında bugüne kadar tanımlanmış bir diri fay yer almamaktadır. Bu segmentteki yanal hareketin 3.5 mm/yıllık sol yönlü bir

hareket olduğu gör÷lmektedir. Yine bu segmentte sıkışma rejimi gör÷lmekte olup bloklar yıllık 3.4 mm ile birbirine yaklaşmaktadır. Her iki bileşen için de hata ± 2 mm'dir.





Şekil 4.36 Önerilen blok model çözümü.

İBTZ'nin orta kısmında yer alan 1 ve 4 numaralı bloklar arasındaki iki segment incelendiğinde ise her iki blokta da sağ yönlü bir hareket görülmektedir. Bu hareket J segmentinde yıllık 3.3 mm iken K segmentinde ise 4.4 mm'dir. Hız alanıyla uyumlu olarak J segmentinde (GFZ) 3.7 mm/yıl, K segmentinde ise 3.2 mm/yıllık bit sıkışma hareketi görülmektedir.

İBTZ'nin güneyini kapsayan 2 numaralı blok ile 3 numaralı blok arasındaki N segmentinde (TF) yine hız alanıyla uyumlu olarak sol yönlü bir hareket (1.5 mm/yıl) ve sıkışma rejimi (3.5 mm/yıl) görülmektedir. Bölgenin en büyük genişleme rejiminin görüldüğü İBTZ'nin kuzeyi ve güneyi arasındaki sınırdaki ise 1.6 mm/yıl sağ yönlü yanal hareket ve 13.6 mm/yıllık açılma rejimi görülmektedir.

Son olarak Büyük Menderes Grabeni ile SiF arasında kalan ve GGB'yi de kapsayan 3 ve 4 numaralı blok sınırlarındaki hareket incelendiğinde sol yönlü hareket ve açılma rejimi görülmektedir. Buna göre GGB'nin güney kenar faylarını temsil eden segmentlerden L segmentinde yanal hareket 1.8 mm/yıl iken M segmentinde 3.9 mm/yıldır. Açılma rejimi ise sırasıyla 6.9 mm/yıl ve 3.6 mm/yıl olarak belirlenmiştir. 4 ve 5 numaralı blokların sınırında yer alan G ve H segmentlerinde ise (SiF) sağ yönlü yanal hareket ve açılma rejimi görülmektedir. G segmentinde 1.3 mm/yıl sağ yönlü hareket ve 6.1 mm/yıllık açılma rejimi görülürken H segmentinde ise yanal hareket anlamsız olum 5.2 mm/yıllık açılma rejimi görülmektedir. Bu hareketler bölgenin hız alanıyla uyumludur.

Blok çözümünde hesaplanan artık hızlar blok model önerisinin uyumunu göstermektedir. Buna göre Şekil 4.36 ve Çizelge 4.10 incelendiğinde önerilen blok modelde artık hızların kuzeyde yer alan 6 numaralı blok içerisindeki BLTP noktası dışında tüm noktalarda 5 mm/yıl'dan düşük olduğu görülmektedir. Bu noktada artık hız ~5.5 mm/yıl civarındadır. Bununla birlikte birçok noktada artık hızların hata miktarından küçük olması nedeniyle anlamsız olduğu görülmektedir. Bu durum blok model önerisinin uyumunu göstermektedir.

Çizelge 4.10 Artık hızlar ve hataları (mm/yıl).

Nokta	Ve	Vn	Se	Sn	Nokta	Ve	Vn	Se	Sn	Nokta	Ve	Vn	Se	Sn
AHMB	-0.86	0.55	0.48	0.41	BLTP	5.25	2.08	1.23	1.4	ESEN	1.54	-0.67	2.51	2.48
AKGA	1.7	-0.17	0.43	0.45	BOYA	0.14	-1.44	0.33	0.41	ESEN	0.64	-2.28	1.12	1.19
AKHI	1.42	-1.2	1.25	1.2	BRBR	-0.53	0.13	0.37	0.36	ESKI	3.26	-0.68	0.37	0.32
AKTS	0.78	1.04	0.3	0.38	BSYL	1.57	1.6	0.3	0.3	ESME	0.26	-1.33	0.89	0.88
ALAN	-1.45	-0.06	0.4	0.46	BUKR	0.27	0.46	0.29	0.33	EZIN	0.08	0.51	1.38	1.41
ALSE	0.58	1.69	1.38	1.28	BYDA	1.48	-0.04	1	1.04	GBHC	-0.15	1.02	0.36	0.36
AMAN	1.56	-1.91	1.38	1.39	BYNC	1.12	0.95	0.28	0.3	GEMR	0.9	-0.28	1.29	1.44
ASKE	0.37	-2.81	1.18	1.25	BZKY	0.12	-2	0.31	0.34	GOLM	-1.88	-0.02	0.29	0.33
ASMT	-3.71	2.15	0.36	0.43	CEIL	-0.69	-0.28	0.34	0.36	GOM2	-0.56	0.39	0.54	0.6
ATCT	-2.24	0.11	0.99	1.04	CKOY	0.2	-3.02	0.53	0.55	GORC	-0.39	-0.93	0.37	0.31
AYDL	0.17	1.17	0.28	0.3	CMLK	-1.55	0.69	0.43	0.32	GUMU	-0.66	-0.82	0.43	0.33
AYKA	-1.33	-0.9	0.28	0.3	CTAL	1.41	-1.05	1.61	1.76	HIOS	0.31	-1.19	1.06	0.95
BAH1	-0.8	1.52	1.35	1.33	D5DU	0.28	-0.81	0.38	0.39	HMDY	-1.09	1.48	0.33	0.35
BALI	0.69	-1.97	0.39	0.39	DMIR	-1.28	0.47	0.2	0.37	HRDL	1.73	0.86	0.94	1
BALK	-1.02	-0.68	0.36	0.31	DMRC	-0.05	-0.16	0.39	0.36	ICME	0.41	-0.14	0.36	0.35
BAYO	0.24	-1.01	0.39	0.4	DURS	3.17	0.58	1.34	1.49	ILPN	2.24	-0.65	0.33	0.36
BGDC	-0.4	-0.6	0.29	0.3	EGMI	0.97	-2.23	1.38	1.38	IVRD	-1.43	0.93	0.37	0.3
BLOT	1.12	-0.86	0.48	0.51	EMET	2.39	2.58	1.17	1.34	IZMI	0.01	-0.36	0.33	0.28

Çizelge 4.10 (Devam) Artık hızlar ve hataları (mm/yıl).

KABU	-0.68	3.81	0.31	0.38	KZGL	-0.16	-0.64	0.29	0.34	TRGT	-0.42	-1.66	0.3	0.28
KADI	-0.27	0.86	0.36	0.36	LESV	0.98	0.05	1.09	0.95	TRTL	0.55	1.05	0.32	0.33
KBR1	-0.4	-0.32	0.32	0.35	MNMN	1.34	0.2	0.38	0.35	TTNL	0.78	-1.89	0.31	0.34
KBR2	-1.3	0.54	0.3	0.35	MNSA	0.5	0.32	0.3	0.3	TURG	-0.46	-1.2	0.38	0.35
KBR4	0.11	3.97	0.31	0.38	NRDR	0.81	0.23	0.34	0.3	UCTP	-1.23	0.36	0.35	0.32
KBR5	0.19	0.76	0.33	0.39	ODME	-0.08	-1.75	1.35	1.26	ULDA	0.76	0.76	0.24	0.21
KCAM	2.86	-2.12	1.37	1.35	OKCU	0.68	1.48	0.75	1.01	ULUB	2.69	1.72	0.89	0.92
KERT	1.27	-1.74	0.29	0.34	ORHL	0.95	-0.64	0.41	0.35	ULUD	2.7	-0.51	1.04	1.02
KEST	1.03	0.12	1.35	1.36	OYKD	-1.99	-0.74	0.45	0.5	URIS	0.43	-2.11	0.37	0.36
KIKA	0.19	1.32	0.28	0.29	OZDE	1.33	1.2	1.01	0.9	URKM	0.51	-1.27	1.18	1.22
KIRE	-0.56	1.37	0.9	0.87	PAMU	-0.37	-0.8	0.91	0.88	UZUN	-0.17	-1.71	0.4	0.38
KOCA	3.81	2.33	0.87	0.87	SALH	-0.29	0.05	0.3	0.3	YACI	0.18	-1.67	1.25	1.4
KOCB	-0.75	-2.45	0.61	0.67	SASA	0.07	0.18	0.4	0.33	YAM2	-0.95	0.31	0.57	0.56
KOKR	-0.42	-3.59	1.34	1.48	SCIM	-0.95	0.36	0.37	0.35	YAYA	0.8	-0.22	0.46	0.48
KOYU	-0.3	-0.18	0.31	0.33	SFRH	-0.03	-0.16	0.38	0.33	YENF	4.06	1.1	0.42	0.46
KPLC	0.99	-1.48	1.15	1.19	SIGA	0.24	3.7	0.62	0.45	YKOY	0.49	0.58	1.01	1.08
KROG	-1.21	-1.53	0.3	0.39	SVTP	0.32	0.5	0.34	0.33	ZEYA	0.37	-2.75	1.35	1.35
KULA	0.9	0.35	1.04	1.03	TRAZ	1.36	-1.74	1.17	1.28	ZEYT	-0.45	-0.34	0.63	0.61
KABU	-0.68	3.81	0.31	0.38	KZGL	-0.16	-0.64	0.29	0.34	TRGT	-0.42	-1.66	0.3	0.28

4.7 Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi

Deprem tekrarlama periyodu kavramı bir fay üzerinde meydana gelen iki deprem arasında geçen ortalama zaman aralığı anlamına gelmektedir. Eğer bir fay üzerinde meydana gelen depremler arasında geçen zaman doğrudan veya dolaylı olarak (kayma hızı, kayma miktarı vb. kullanılarak) belirlenebiliyorsa bu o fayın deprem tekrarlama periyodunun belirlenebileceği anlamına gelir. Bu periyot, fay üzerinde beklenen kayma miktarını gerçekleştirecek bir depremin meydana gelmesi için geçen zaman olarak kabul edilir. Deprem tekrarlama periyodu biriken deformasyon miktarı, yer kabuğunun katılığı gibi farklı parametrelere bağlı olarak farklı aralıklarda tanımlanabilir ve bir fay üzerindeki sismik tehlike ile ilgili bilgi verir (Özel ve Solmaz 2012, Sözbilir vd. 2015, Aktuğ 2017).

Periyodunu dolduran fakat geçen süreçte bir deprem üretmemiş olan faylarda deprem tehlikesi beklenilebilir. Ancak bu durum tekrarlama periyodunu dolduran fayın hemen deprem üreteceğini veya her büyüklükteki depremi mutlaka üreteceğini ifade etmemektedir. Depremler farklı zamanlarda farklı büyüklüklerde meydana gelebilir ve depremlerde açığa çıkan enerji miktarı logaritmik olarak belirlenir. Yani 7 büyüklüğündeki bir depremde açığa çıkan enerjinin 5 büyüklüğündeki depremlerle açığa çıkması için 1000 adet, 6 büyüklüğündeki depremlerle açığa çıkması için ise 30 adet depremin meydana gelmesi gerekmektedir. Bu nedenle tekrarlama periyodunu dolduran aktif bir fayda henüz deprem meydana gelmemiş ise bu durum biriken gerinim miktarına bağlı olarak oluşacak depremin büyüklüğünün artması şeklinde değerlendirilebilir (İnt.Kyn.12).

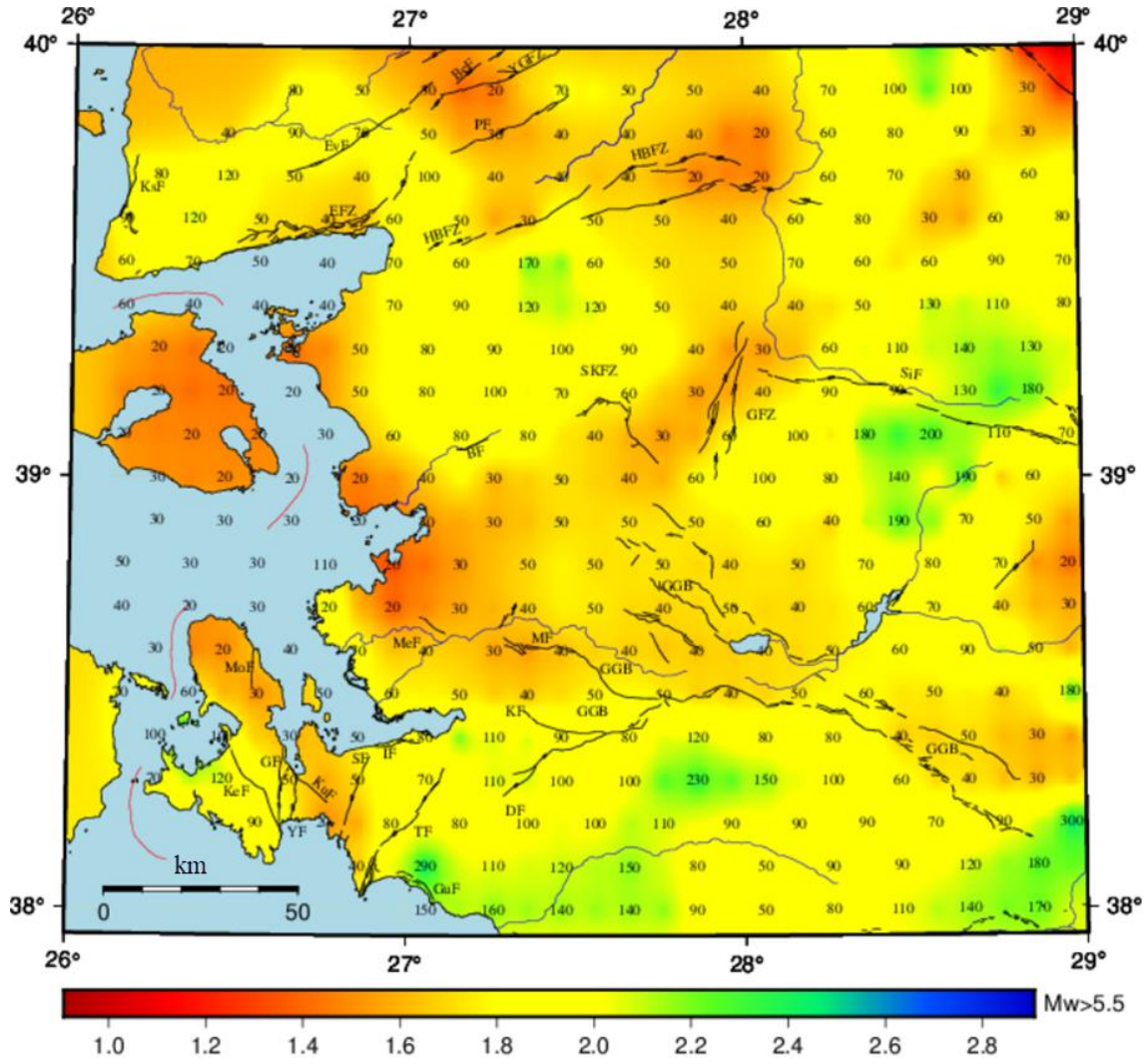
Mevcut haliyle deprem katalogları ve sismik tehlike analize dayalı olarak yapılan söz konusu analizler, gerek katalogların eksiklikleri gerek depremlerin çok uzun tekrarlanma aralıklarına bağlı olarak birçok bölgede yetersiz kalmaktadır. Özellikle, aletsel dönemde az sayıda veya hiç deprem üretmemiş ancak tarihsel süreç için büyük depremler üretmiş olduğu bilinen bölgelerde güvenilir deprem tehlike analizi yapılması ve deprem bölgelerinin sınıflandırılması oldukça güçtür. Buna karşın, jeodezik çalışmalar ile elde edilen gerinim hızları tarihsel dönemdeki deprem kayıtlarından

bağımsız olarak deformasyon rejimini ortaya koyarak, kataloglarda yukarıda bahsedilen eksikleri önemli ölçüde giderebilme potansiyeline sahiptir (Aktuğ 2017).

Bu çalışma kapsamında önceki bölümlerde elde edilen gerinim alanları yardımıyla Bölüm 4.4'teki yöntem kullanılarak $M \geq 5.5$, $M \geq 6$, $M \geq 6.5$ ve $M \geq 7$ büyüklüğündeki depremlerin tekrarlama periyotları belirlenmiştir. Jeodezik deprem tekrarlama periyotların belirlenmesi için bölgenin sismojenik kalınlık ve rijidite (katılık) modülü verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yer kabuğu için rijidite modülü 30 Gpa olarak ifade edilmektedir (Fowler 1990). Sismojenik kalınlık ise çalışma bölgesi içerisinde karada meydana gelen $M > 4$ depremlerin derinlik ortalamalarına göre 13 km olarak belirlenmiştir. (Fowler 1990, Aktuğ 2017). Elde edilen sonuçlar GMT yazılımı ile görselleştirilmiş ve Şekil 4.37, 4.38, 4.39 ve 4.40'ta sunulmuştur. Bu şekiller üzerinde kırmızı bölgeler düşük periyodu (yüksek tehlike), mavi bölgeler ise yüksek periyodu (düşük tehlike) ifade etmektedir. Ayrıca gerinim değeri olan her grid üzerinde bu periyotlar 10 ve katlarına yuvarlanarak yıl cinsinden verilmiştir. Elde edilen haritalar değerlendirildiğinde tüm senaryolar için en düşük periyoda sahip, dolayısıyla en riskli bölgelerin Balıkesir şehir merkezinden geçen HBFZ ve Karaburun yarımadasının kuzeyinde yer alan MoF ve çevresi olduğu görülmüştür. Yine tüm haritalarda Ayvalık ve güneyindeki periyotların düşüklüğü dikkat çekmektedir.

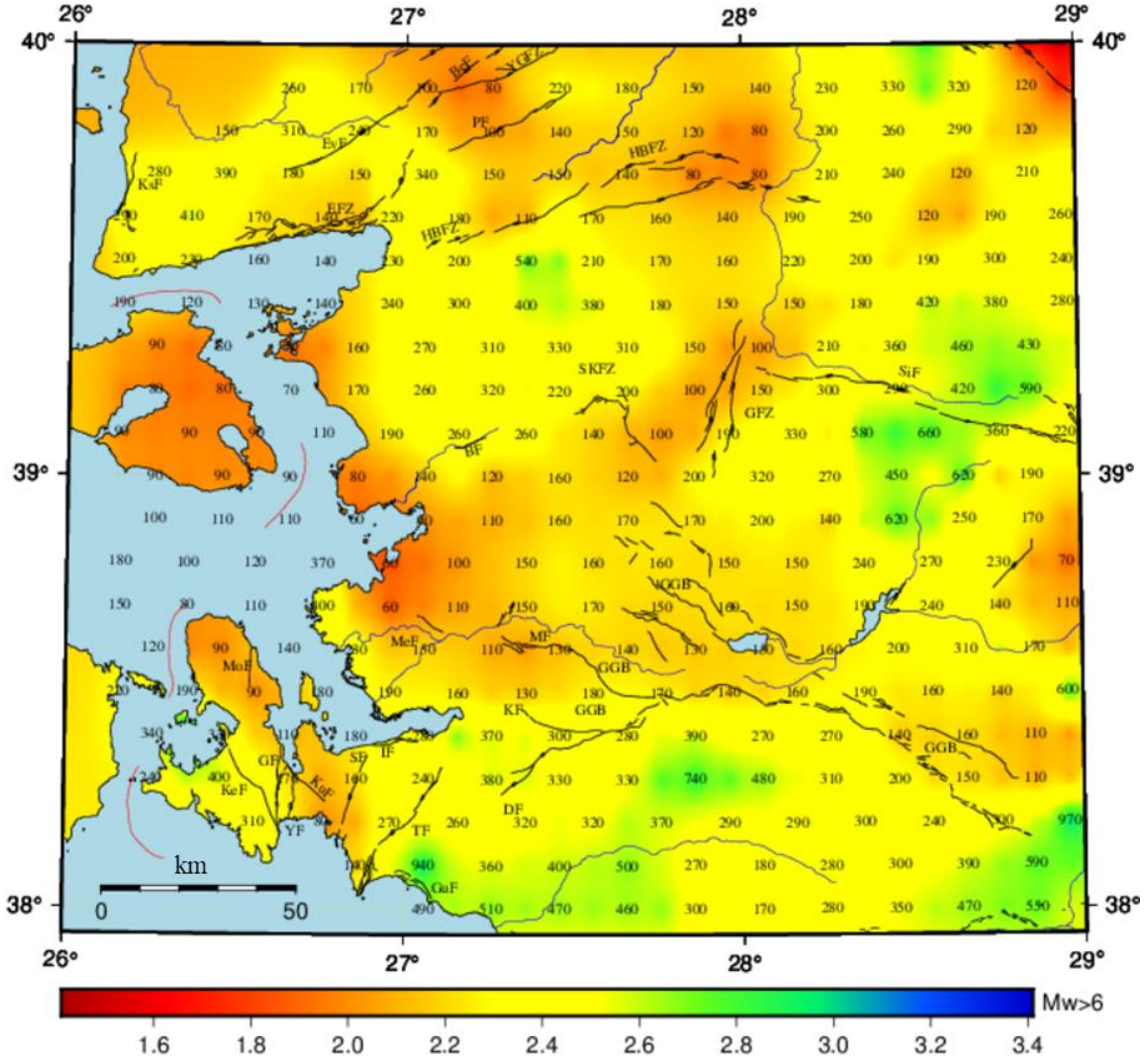
4.7.1 $M \geq 5.5$ ve $M \geq 6$ Deprem Tekrarlama Periyotları

Şekil 4.37 incelendiğinde kırmızı yoğun bölgelerde $M \geq 5.5$ deprem tekrarlama periyotlarının düşük olduğu görülmektedir. Buna göre BeF-YGFZ-PF bölgesinde 20-30 yıl, HBFZ üzerinde ve yakın çevresinde 20-50 yıl, GFZ-SKFZ bölgesinde ise 30-40 yıl civarındadır. GGB genelinde ise 30-50 yıl arasında değişmektedir. Bölgenin en karmaşık tektonik yapısına sahip olan Gülbahçe-Karaburun civarında ise en düşük periyotlar Karaburun yarımadasının kuzeyinde yer alan MoF çevresinde olup 20-30 yıl, GF-SF arasında ise 50 yıl civarındadır. Çalışma bölgesinde en yüksek periyotlar ise yeşil ve mavi ile gösterilen bölgelerdedir. Buna göre SiF-GuF ve GGB güneyinde periyotlar 100 yılın üzerindedir.



Şekil 4.37 $M \geq 5.5$ deprem tekrarlama periyodu ($\log_{10}$).

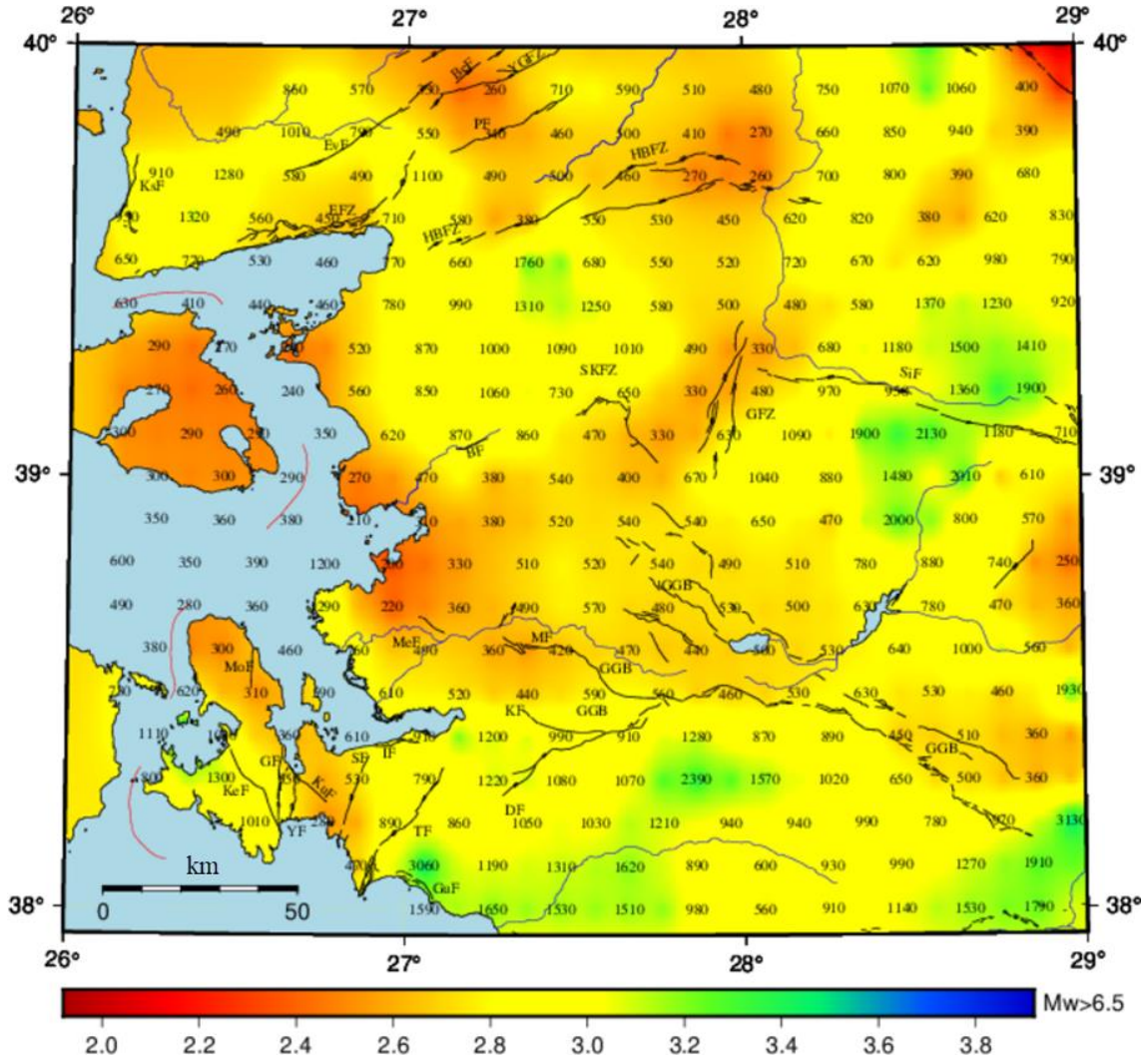
Şekil 4.38 incelendiğinde ise $M \geq 6$ deprem tekrarlama periyotlarının BeF-YGFZ-PF bölgesinde 80-100 yıl, HBFZ üzerinde ve yakın çevresinde 80-140 yıl, GFZ-SKFZ bölgesinde ise 100-150 yıl olduğu görülmektedir. Bu periyotlar GGB genelinde 130-170 yıl arasında değişirken MoF-SF civarında 90-160 yıl aralığındadır. Bölgede en yüksek periyotlar ise yine SiF-GuF ve GGB güneyinde olup 400-940 yıl arasında değişmektedir.



Şekil 4.38 $M \geq 6$ deprem tekrarlama periyodu ($\log_{10}$).

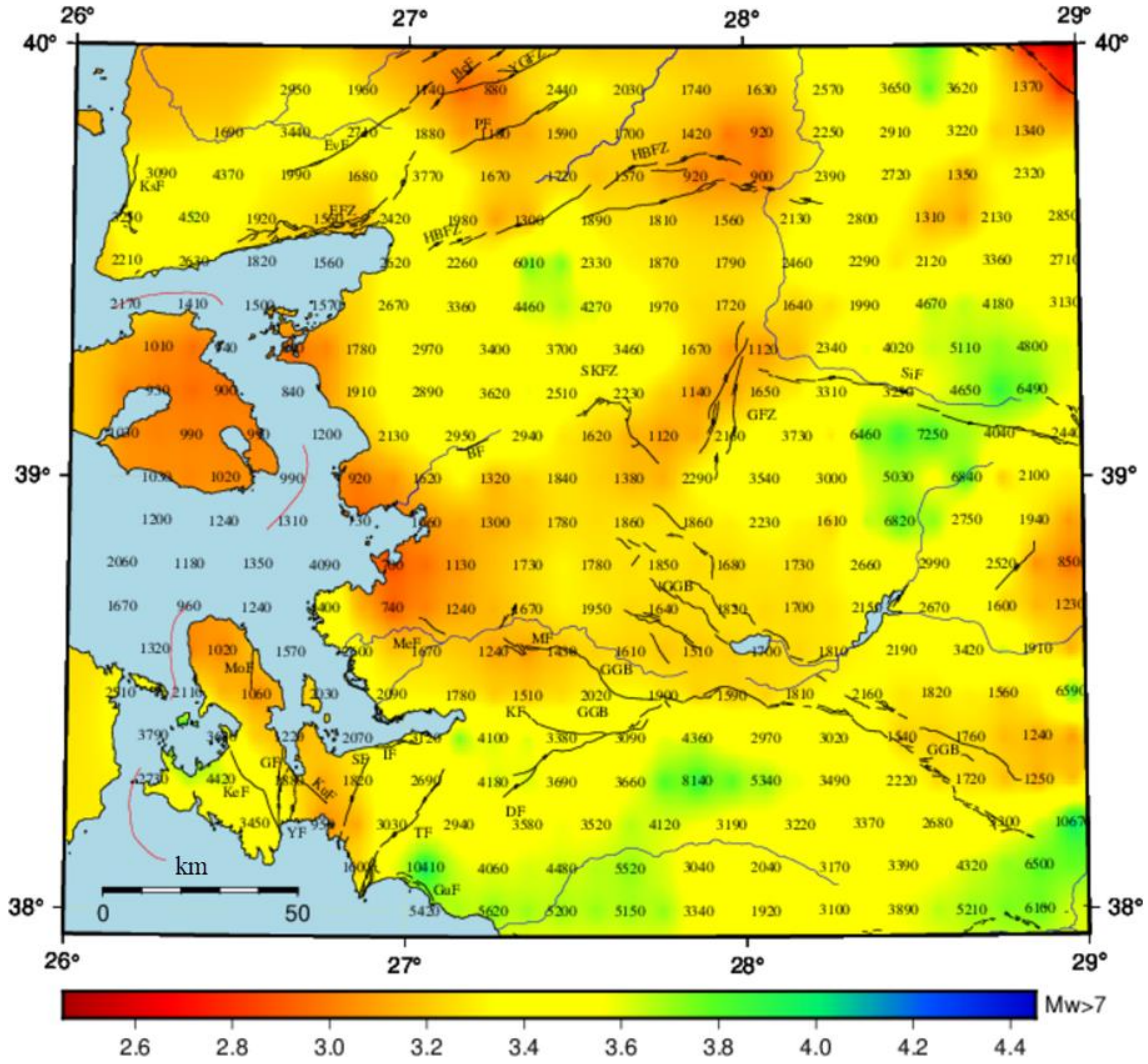
4.7.2 $M \geq 6.5$ ve $M \geq 7$ Deprem Tekrarlama Periyotları

Şekil 4.39 incelendiğinde periyotların en düşük olduğu bölgenin HBZ'nin doğu kısmı olduğu görülmektedir. Bu bölgede $M \geq 6.5$ deprem tekrarlama periyodu 260-500 yıl arasında değişmektedir. MoF ve çevresinde ise periyot 300 yıl civarındadır. GF-SF bölgesinde ortalama 500 yıl olan periyot GFZ-SKFZ bölgesinde 300-480, GGB genelinde ise 450-550 yıl arasında değişmektedir. Sözbilir vd. (2015)'de MF için 460 yıl olarak belirtilen deprem tekrarlama periyodu $M \geq 6.5$ Jeodezik Deprem Tekrarlama Haritasına göre 360-420 yıl arasındadır. Bölgede en yüksek tekrarlama periyotları mavi-yeşil bölgelerde olup bölgeye göre 1700 ile 3000 yıl arasında değişmektedir.



Şekil 4.39 $M \geq 6.5$ deprem tekrarlama periyodu ($\log_{10}$).

Şekil 4.40 incelendiğinde bölge genelinde 1000 yılın üzerinde olan deprem tekrarlama periyotlarının HBFZ civarında 1000 yılın altına düştüğü görülmektedir. Buna göre HBFZ üzerinde $M \geq 7$ deprem tekrarlama periyodu 900-1570 olarak belirlenmiştir. Bu periyot Sözbilir vd. (2015)'de belirtilen ortalama deprem tekrarlama periyodunun 1000 yıl olması ile uyum içerisindedir. MoF çevresinde ise 1000-1100 yıl olarak belirlenen periyot KuF çevresinde 1000, GFZ çevresinde 1100-1200, YGFZ bölgesinde ortalama 1000 ve GGB genelinde ise 1500-2000 yıl olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.40 $M \geq 7$ deprem tekrarlama periyodu ($\log_{10}$).

4.8 Potansiyel Deprem Büyüklüklerinin Belirlenmesi

Fayların deprem tekrarlama periyotlarıyla birlikte üretebilecekleri maksimum deprem büyüklüklerinin hesaplanması da meydana gelebilecek sağlık, sosyal, ekonomik vb. Olumsuz durumlara karşı alınacak tedbirlerin belirlenmesi için büyük önem arz etmektedir. Bir fayın üretebileceği depremin maksimum büyüklüğünün hesaplanması için çeşitli modeller bulunmakla birlikte en çok kabul göreni Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen modeldir. Bu modele göre bir faya ait uzunluk (km) ve faylanma yapısı bilgisine göre belirlenen katsayılar kullanılarak o fayın meydana getirebileceği depremin maksimum büyüklüğü (M_w) kuramsal olarak belirlenebilmektedir. Ek olarak Hanks ve Kanamori (1979) tarafından tanımlanan

bağıntı yardımıyla fay kayma hızlarını kullanarak maksimum deprem büyüklüğü hesaplanabilmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında bölgede yer alan fayların üretebilecekleri maksimum deprem büyüklüklerini belirlemek amacıyla Aktuğ (2017) tarafından geliştirilen ve Bölüm 4.4'te anlatılan modele ters çözüm yaklaşımı getirilmiştir. Diğer bir ifadeyle aktif bir fayın ürettiği son büyük depremden bugüne kaç yıl geçtiği (depremsizlik süresi) belirlenebilirse o fayın geçen süreçte biriken enerjisinin tamamını açığa çıkarabilecek bir depremin moment büyüklüğü hesaplanabilmektedir. Bir fayın depremsizlik süresinin yüksek doğrulukla belirlenebilmesi için paleosismik verilerden yararlanılabileceği değerlendirilmektedir.

Çalışma bölgesinde yer alan ve düşük deprem tekrarlama periyotlarına sahip olan HBFZ üzerinde Sözbilir vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen hendek tabanlı paleosismoloji çalışmasında zonun Gökçeyazı ve Kepsut segmentlerinin ortalama deprem tekrarlama periyotlarının 1000 yıl, Ovacık segmenti için ise 1043-1136 yıl olduğu belirtilmiş ve Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen kuramsal formüle göre bu segmentlerin üretebilecekleri en büyük depremin moment büyüklükleri olarak sırasıyla $M_w:6.9$, $M_w:6.7$ ve $M_w:6.6$ hesaplanmıştır. Araştırmacılar bu segmentlerden kaynaklı meydana gelen son depremden bugüne geçen sürenin Kepsut segmenti için 120 yıl, Ovacık segmenti için ise 725 yıl olarak belirlemiş ve Gökçeyazı segmentinin son ürettiği depremin M.Ö. olduğu, M.S. ise herhangi bir depreme kaynaklık etmediği ve son depremden günümüze 2000 yıl geçtiğini ifade etmiştir. Ek olarak MF için deprem tekrarlama periyodunun 460 yıl ve son büyük depremden bugüne geçen sürenin ise 175 yıl olduğunu belirtmişlerdir.

Bu verilerden yola çıkarak bu fayların üretebilecekleri maksimum deprem büyüklükleri Wells ve Coppersmith (1994) kuramsal formülüne göre hesaplanmıştır. Sonrasında fayların üretebileceği maksimum deprem büyüklükleri için jeodezik deprem tekrarlama periyotları belirlenmiştir. Son olarak ise bu faylarda depremsizlik süresinde biriken enerjinin ortaya çıkabileceği deprem büyüklükleri Aktuğ (2017) tarafından geliştirilen

modelin ters çözümü ve Hanks ve Kanamori (1979) tarafından tanımlanan bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 4.11’de sunulmuştur.

Çizelge 4.11 Jeolojik-Jeodezik deprem tekrarlaması periyotları ve potansiyel deprem büyüklükleri.

Fay	Segment	TEKRARLAMA PERİYODU (yıl)			Depremsizlik Süresi (yıl)	Potansiyel Deprem Büyüklüğü	Hanks ve Kanamori (1979)	
		Jeolojik	Jeodezik					
			Mw _≥ 6.6	Mw _≥ 6.7				Mw _≥ 6.9
HBFZ	G	1000			740-1400	2000	7.1-7.3	7.3
	K	1000		510-1180		120	5.7-6.1	6.3
	O	1043-1136	340-380			725	6.8-6.9	6.9
MF		460		570-1090	930-1780	175	6.3-6.5	6.3

G: Gökçeyazı, K: Kepsut, O: Ovacık

Çizelge 4.11 incelendiğinde paleosismik verilere göre jeolojik deprem tekrarlaması periyodu 1000 yıl olan HBFZ’nin Gökçeyazı segmenti için jeodezik periyot bu fayın üretebileceği maksimum büyüklük olan Mw:6.9 için 740-1400 yıl olarak belirlenmiş olup iki periyodun uyumlu olduğu değerlendirilmektedir. Ancak bu segment her iki periyodu da aşarak 2000 yıldır deprem üretmemiştir. Bu durum segment üzerinde biriken enerjinin kuramsal maksimum büyüklüğü aşan bir depreme neden olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir. Gerinim alanından elde edilen olası deprem büyüklüğü bunu doğrular niteliktedir. Buna göre fay üzerinde biriken enerjinin 7.1 ile 7.3 arasında büyüklükte deprem üretme potansiyeli bulunmaktadır. Kepsut segmenti için yine iki periyot uyum içerisinde olup segment henüz tekrarlaması periyodunu doldurmamıştır. Bu durum son depremden bugüne kadarki süreçte biriken enerjinin maksimum kuramsal deprem büyüklüğünün (Mw:6.7) altında bir büyüklüğe karşılık geldiği şeklinde değerlendirilmiştir. Bu fayın güncel gerinim alanından elde edilen deprem üretme potansiyeli bu durumla uyumlu olarak 5.7-6.1 arasında belirlenmiştir.

HBFZ’nin doğusunda yer alan Ovacık segmentinde ise jeolojik periyot ile maksimum kuramsal büyüklüğe göre (Mw:6.6) belirlenen jeodezik periyot arasında uyumsuzluk

görülmektedir. Buna göre jeolojik periyot 1043-1136 yıl arasında iken jeodezik periyot 340-380 yıl arasındadır. Jeolojik deprem tekrarlama periyotları bir fay üzerinde meydana gelen iki deprem arasında geçen ortalama zaman aralığı anlamına gelmekte olup belirli bir büyüklüğe göre belirlenmemektedir. İki periyot arasındaki uyumsuzluğun bu durumdan kaynaklandığı değerlendirilmektedir. Jeolojik periyot 1043-1136 yıl arasında olup gerinim alanına göre bunun magnitüd karşılığı $M_w:7$ olarak hesaplanmıştır. Diğer bir ifadeyle paleosismik verilerle belirlenen jeolojik periyot $M_w:7$ büyüklüğündeki bir deprem için tekrarlama periyoduna karşılık gelmektedir. Segment üzerindeki son depremde bugüne 725 yıl geçmiş olup bu süreçte biriken enerjinin üretebileceği olası deprem büyüklüğü $M_w:6.8-6.9$ olarak hesaplanmıştır.

Sözbilir vd. (2015) MF için jeolojik deprem tekrarlama periyodunu 460 yıl olarak belirlemiştir. Fay üzerinde yer alan 2 segmentin üretebilecekleri depremlerin maksimum kuramsal büyüklükleri $M_w:6.7$ ve $M_w:6.9$ olarak hesaplanmıştır (Wells ve Coppersmith 1994). Bu büyüklükler için jeodezik periyotlar ise sırasıyla 570-1090 ve 930-1780 yıl olarak belirlenmiştir. Son depremde bugüne geçen 175 yılda biriken enerjinin üretebileceği deprem potansiyeli ise $M_w:6.3-6.5$ olarak hesaplanmıştır. Ancak önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi bu zon çevresinde zon denetleyen GNSS noktası sayısı diğer bölgelere göre oldukça düşüktür. Bu nedenle zonun daha yoğun bir ağ ile denetlenmesi ile elde edilecek sonuçların daha güvenilir olacağı değerlendirilmektedir.

Çizelge 4.11 üzerinde en dikkat çeken detay Wells ve Coppersmith (1994)'te belirtilen kuramsal formüle göre hesaplanan maksimum büyüklük ile Aktuğ (2017)'de belirtilen modelin ters çözümünden elde edilen olası deprem büyüklüğü arasındaki farklılıktır. Gökçeyazı ve Ovacık segmentlerinde görülen bu durumun segmentlerin maksimum kuramsal büyüklüğe karşılık gelen periyotlarını aşmasından kaynaklandığı değerlendirilmektedir.

Sözbilir vd. (2015, 2016) Gökçeyazı segmenti üzerinde yakın gelecekte yıkıcı bir deprem beklenildiğini ifade etmiştir. Gerinim alanından elde edilen sonuçlar bunu doğrular niteliktedir. Buna göre tekrarlama periyodunu dolduran Gökçeyazı

segmentinde biriken enerjinin yakın gelecekte maksimum Mw:7.1 ile 7.3 arasında bir depreme neden olabileceği değerlendirilmektedir. Ovacık segmenti, maksimum kuramsal büyüklüğe göre meydana gelebilecek deprem (Mw:6.6) için belirlenen jeodezik periyodu (340-380) doldurmuş olmasına karşın jeolojik periyodu (1043-1136) henüz doldurmamıştır. Ancak jeodezik verilere göre bu jeolojik periyodun karşılığı Mw:7 olarak hesaplanmıştır. Bu fayın son depremden bugüne geçen süreçte biriken enerjisinin maksimum büyüklüğü 6.8 ile 6.9 arasında olan bir depreme kaynaklık edebileceği değerlendirilmektedir.

Elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Balıkesir şehir merkezinin kuzeyin yer alan ve merkeze 5-15 km yakınlıktaki Gökçeyazı ve Ovacık segmentlerinin bölgede yıkıcı bir deprem üretmeye en yakın segmentler olduğu düşünülmektedir. Gerinimler zon genelinde yüksek olmakla birlikte özellikle Gökçeyazı-Ovacık-Kepsut segmentlerinin birbirine en yakın olduğu kısımda (BALI noktasının sağ tarafı) maksimum seviyelerdedir (Şekil 4.11). Bu nedenle segmentlerin buraya yakın kısımlarındaki magnitüd hesaplamaları diğer ucundakilerden daha büyüktür.

Çizelge 4.12 Gökçeyazı ve Ovacık segmentlerinde açığa çıkan enerji ve deprem büyüklüğü ilişkisi.

AÇIĞA ÇIKACAK ENERJİ (%)						
Fay	Segment	20	40	50	60	80
HBFZ	Gökçeyazı	6.4-6.6	6.7-6.9	6.8-7.0	6.9-7.1	7.1-7.2
	Ovacık	6.0-6.2	6.4-6.5	6.5-6.6	6.5-6.7	6.7-6.8

M_w

Bir fayın üzerinde biriken tüm enerjinin tek bir depremde açığa çıkmayabileceği bilinen bir gerçektir. Başka bir ifadeyle faylar presismik dönemde biriken enerjinin kosismik dönemde bir kısmını açığa çıkaracak bir deprem üretip postsismik dönemde yeniden enerji birikimine devam edebilirler (Aktuğ 2006, Dönmez ve Tiryakioğlu 2018). Bir fayın üreteceği ilk depremin büyüklüğünü veya açığa çıkacak enerjiyi net olarak belirlemek günümüz teknolojisi ile mümkün değildir. Bu nedenle bu iki segment için ilk depremde biriken enerjilerinin %20, %40, %50, %60 ve %80'inin açığa çıkması durumunda meydana gelebilecek depremlerin büyüklükleri hesaplanarak Çizelge 4.12'de verilmiştir. Çizelge 4.12 incelendiğinde her iki segment için de biriken

enerjilerinin yalnızca %20'sinin açığa çıkacağı bir depremin en az Mw:6 büyüklüğünde olacağı değerlendirilmektedir.



5. SONUÇLAR

İBTZ'nin güncel deformasyon durumunu belirlemek amacıyla bölgede 62 noktalık bir GNSS ağı oluşturulmuş, çalışma öncesi toplanan ham veriler temin edilmiş ve ihtiyaç duyulan noktalarda 2018-2019 yıllarında GNSS kampanyaları yapılmıştır. Tüm ölçüler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiş ve Avrasya sabit ITRF2008 hız alanı belirlenmiştir. Elde edilen hız alanı ile İBTZ ve yakın çevresinde geçmiş yıllarda gerçekleştirilen jeodezik çalışmalarda yayımlanan hız alanları ile birleştirilmiş ve İBTZ'yi çevreleyen 111 noktadan oluşan kapsamlı bir hız alanı elde edilmiştir (Şekil 4.10).

Elde edilen hız alanı incelendiğinde bölgenin Avrasya referans sistemine göre yıllık ortalama 18-28 mm/yıllık hızlarla güneybatı yönlü bir hareket sergilediği görülmüştür. Bölgenin kuzeyinde hızlar BGB yönlü iken güneye doğru inildikçe kuzey bileşeni vektörel olarak artmakta ve GB yönüne dönmektedir. Elde edilen hız alanı ile önceki çalışmalarda yayımlanan hız alanların genel olarak uyum içerisinde olduğu görülmüştür.

Elde edilen hız alanı kullanılarak bölgeye ait güncel gerinim alanı hesaplanmıştır (Şekil 4.11). Gerinim alanı incelendiğinde en büyük gerinimlerin Havran-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ) üzerinde, Ovacık-Gökçeyazı-Kepsut segmentlerinin orta kısmında (BALI-BALK) olduğu görülmüştür (açılma 120-160 ns/yıl, sıkışma 60-170 ns/yıl). Yine yüksek gerinimlerin görüldüğü Karaburun Yarımadasının kuzeyinde yer alan Mordoğan Fayı (MoF) civarında gerinimler 110-150 ns/yıl açılma ve 60-130 ns/yıl civarındadır. Yakın zamanda (2020) 2 adet $M_w > 5$ depremin meydana geldiği Gelenbe Fay Zonu (GFZ) civarında ise gerinimlerin 50-90 ns/yıl (açılma) ve 50-140 ns/yıl (sıkışma) arasında olduğu görülmüştür.

Bölgede yer alan fayların yönleri ve türleri ile ilgili yorum yapabilmek amacıyla fayların üzerindeki gerinimler hesaplanmıştır (Şekil 4.16). Buna göre genel olarak literatür ile uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Ancak Gülbahçe Fayı (GF), Soma-Kırkağaç Fay Zonu (SKFZ) ve GFZ üzerinde literatürle çelişen faylanma yapıları

belirlenmiştir. Buna göre MTA diri fay haritalarında sağ yönlü olarak tanımlanan GF ve GFZ, jeodezik gerinim alanına göre günümüzde sol yönlü davranış gösterdiği belirlenmiştir. SKFZ ise literatürde normal fay olarak tanımlanmaktadır (Emre vd. 2011, MTA 2020). Ancak güncel gerinim alanında sıkışma bileşenlerinin baskın (80-140 ns/yıl) ve açılma bileşenlerinin 50 ns/yılın altında olması nedeniyle bu durumun zon üzerinde saf ters faylanma karakterine işaret eden gerinimlerin olduğu fakat küçük açılmalardan dolayı doğrultu atım bileşeninin de olabileceği şeklinde değerlendirilmiştir. Zon üzerindeki bu baskın sıkışmanın sol yönlü GFZ ile KKD-GGB yönlü açılma rejiminin baskın olduğu GGB'nin etkisinden kaynaklanabileceği şeklinde yorumlanmıştır.

Gerinim alanı ile meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümlerinin uyumunu incelemek amacıyla odak çözümleri gerinim haritalarına bindirilmiştir. Bu uyum ilk ölçü tarihi olan 2006 öncesi odak çözümleri ile 2006 ve sonrası çözümleri için ayrı ayrı incelenmiştir (Şekil 4.21, 4.22, 4.23 ve 4.24). Elde edilen sonuçlar incelendiğinde gerinim alanıyla odak çözümleri arasında genel bir uyum olduğu görülmüştür. GFZ üzerinde meydana gelen depremlerin odak çözümlerinin ve güncel gerinim alanının sol yönlü bir faylanma yapısını işaret ettiği görülmüştür. GF-SF arasında meydana gelen depremlerin odak çözümleri de yine gerinim alanıyla uyumlu olarak sol yönlü bir harekete işaret etmektedir.

Çalışma bölgesinde Reilinger vd. (2006) ve Aktuğ vd. (2009) tarafından önerilen ve İBTZ'yi de kapsayan blok modeller elde edilen güncel hız alanı yardımıyla yeniden çözülmüş ve bu modellerin mevcut verilerle uyum sağladığı ancak güncel verilerle uyumsuzluk içerdiği görülmüştür. Bu nedenle bölgede yeni bir blok model geliştirilmesine ihtiyaç duyulmuştur.

Blok model çalışması için bölge sınırlarına uzak ve hızları birbirine yakın olan 4 nokta (NALL-MIHA-YUNA-YUNK) sabit alınarak tüm noktalara ait göreceli hızlar hesaplanmıştır (Şekil 4.28). Sonrasında ise göreceli hızlar, önceki çalışmalarda önerilen blok modeller ve bölgede yer alan faylar da dikkate alınarak, çalışma bölgesi jeolojisine ve blok model konusuna hâkim bilim insanları ile bölgeye ait blok model belirleme

alışmaları yapılmıştır. Bu amaçla 5 model çalışması yapılmıştır. Blok model çözümü için gereken sismojenik kalınlık bölgede meydana gelen depremlerin derinlik ortalaması alınarak 13 km olarak belirlenmiştir. Sonrasında ise tüm bloklar ayrı ayrı çözülerek en uyumlu blok model seçilmiştir (Şekil 4.36).

Şekil 4.36 incelendiğinde blok sınırlarındaki hareketlerin genel olarak blok ortalama hızları ile uyumlu oldukları görülmüştür. En büyük yanal hareket 1 numaralı blok ile 4-5 numaralı bloklar arasında olup sağ yönlü 3-4 mm/yıldır. Blok sınırına dik en büyük hareket ise 1 ve 2 numaralı bloklar arasında ve 13.6 mm/yıldır (uzaklaşma). 6 numaralı blok ile 1-5 numaralı bloklar arasında yanal hareketler en düşük seviyelerde olup hatalarından dolayı anlamsız olarak belirlenmiştir. Ancak yine bu sınırda doğudan batıya doğru artan, güney yönlü bir açılma hareketinin baskın olduğu görülmüştür (1.1-5.8 mm/yıl). Tüm noktalardaki artık hızlar (residual) incelendiğinde ise artık hızların genel olarak 5 mm/yıldan küçük olduğu görülmüştür.

Gerinim alanı kullanılarak çalışma bölgesi için $M \geq 5.5$, $M \geq 6$, $M \geq 6.5$ ve $M \geq 7$ büyüklüğündeki depremlerin tekrarlama periyotları belirlenmiştir (Şekil 4.37, 4.38, 4.39 4.40). Elde edilen jeodezik deprem tekrarlama haritaları incelendiğinde tüm senaryolar için en düşük periyoda sahip, dolayısıyla en riskli bölgelerin Balıkesir şehir merkezinden geçen HBFZ ve Karaburun yarımadasının kuzeyinde yer alan MoF ve çevresi olduğu görülmüştür. Bu bölgelerde yüzey kırığı oluşturabilecek bir deprem meydana gelme periyodu $M \geq 6$ için ortalama 100, $M \geq 7$ için ise ortalama 1000 yıl civarındadır. Bu durum Sözbilir vd. (2015, 2018) tarafından ifade edilen HBFZ civarındaki fayların ortalama deprem tekrarlama periyotlarının 1000 yıl olması ile uyum içerisindedir. GF ve GFZ için sırasıyla $M \geq 6$ periyodu 120 ve $M \geq 7$ periyodu ise 1400 yıl olarak hesaplanmıştır. Çalışma bölgesi genelinde en yüksek periyotlar ise yakın dönemde büyük deprem üretmiş olan Simav Fayı (SiF), Kenelidağ Fayı (KeF) ve Tuzla Fayı (TF) civarındadır.

Bölgede yer alan fayların üretebilecekleri potansiyel deprem büyüklüklerini belirlemek amacıyla Aktuğ (2017) tarafından geliştirilen ve Bölüm 5.4'te anlatılan modele ters çözüm yaklaşımı getirilmiştir. Sözbilir vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen

paleosismolojik çalışmalarda HBFZ üzerinde yer alan Gökçeyazı, Ovacık ve Kepsut segmentleri ile Manisa Fayı'nın (MF) ürettikleri son büyük depremden bugüne geçen süreler belirlenmiştir. Bu veriler kullanılarak bu fayların üretebilecekleri maksimum deprem büyüklükleri (M_w) Gökçeyazı için 7.1-7.3, Ovacık için 6.8-6.9, Kepsut için 5.7-6.1 ve MF için 6.3-6.5 olarak hesaplanmıştır (Çizelge 4.11). Elde edilen potansiyel deprem büyüklükleri bu faylar üzerindeki kayma hızları kullanılarak Hanks ve Kanamori (1979) tarafından verilen bağıntıdan hesaplanan büyüklüklerle karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür (Çizelge 4.11).

Gerinimlerin yüksek olduğu Gökçeyazı ve Ovacık segmentleri için biriken enerjinin %20'sinin açığa çıkacağı bir depremin potansiyel büyüklüğü Gökçeyazı için 6.4-6.6, Ovacık için ise 6.0-6.2 olarak hesaplanmıştır. Bu durum Sözbilir vd. (2015, 2018) tarafından da ifade edildiği gibi bölgede yakın zamanda yıkıcı bir deprem meydana gelebileceği şeklinde değerlendirilmiştir.

Tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde tektonik çalışmalarda GNSS teknolojisinin kullanımı ve bölge tektoniği ile ilgili aşağıdaki öneri ve değerlendirmeler yapılabilir.

1. GNSS ölçüleri yardımıyla hesaplanan hız ve gerinim alanları ile jeodezik deprem tekrarlama periyotları farklı disiplinlerden elde edilen sonuçlarla uyumludur. Dolayısıyla bu durum henüz farklı disiplinler tarafından çalışılmamış bölgelerde GNSS teknolojisi ile elde edilen ve güncel deformasyonu ifade eden sonuçların güvenilirliğini ortaya çıkarmaktadır.
2. Tektonik çalışmalarda beklenen ve gerçekleşen deformasyon miktarı çok küçüktür. Bu nedenle GNSS ölçülerinin yüksek doğrulukta ve hassasiyette yapılması gerekmektedir. GNSS tabanlı tektonik çalışmalarda yüksek doğruluk için pilye tipi (zorunlu merkezleştirmeli) tesis kullanılması ölçülerin ve buna bağlı olarak sonuçların kalitesini arttıracaktır.
3. Yüksek risk içeren HBFZ çevresinde, özellikle Gökçeyazı-Ovacık-Kepsut segmentlerinin birbirine yaklaştığı kısımda (BALI) yüksek gerinimler görülmektedir. Bu segmentlerin M_w :7.3 büyüklüğünde deprem üretme

potansiyeli bulunmaktadır. Bu nedenle HBFZ çevresinde jeodezik nokta yoğunluğu arttırılmalı ve bu zon periyodik olarak izlenip modellenmelidir. Ayrıca ilgili kurum ve kuruluşlar tarafından zonun çevresinde tehlikeli bölge sınırları belirlenmeli ve bölge için afet öncesi ve sonrasına dair planlama ve çalışmalar yapılmalıdır. Bu sınırların içinde kalan yapılarda güçlendirme çalışmaları yapılmalıdır.

4. SKFZ'nin faylanma yapısı ile ilgili net sonuçlara ulaşmak ve SKFZ-GFZ-SiF bölgesindeki etkileşimi görmek için bu fayların çevresinde yeni noktalar tesis edilmeli ve periyodik olarak izlenmelidir.
5. Karaburun yarımadasının kuzeyinde yer alan MoF çevresindeki yüksek gerinimler ve yarımada'nın İzmir ve çevresine göre baskın güney yönlü hareketinin denizde yapılacak sismik çalışmalar ile anlaşılabilceğı değerlendirilmektedir.
6. GNSS tabanlı deformasyon izleme çalışmalarının daha hızlı ve hassas yapılabilmesi için
 - a. Tektonik olarak hareketli bölgelerde aktif sabit istasyon sayısı arttırılmalı
 - b. GNSS verilerinin farklı yöntemlerle anlık değerlendirilebilmesi için online sistemler kodlanmalıdır.
7. Sabit istasyonlardan elde edilen veriler kampanya tipi istasyonlara göre daha yüksek doğruluktadır. Ancak aktif sabit istasyon kurulum maliyetleri çok yüksektir. Bu nedenle düşük maliyetli aktif sabit istasyon kurulumu araştırılmalıdır.

6. KAYNAKLAR

- Acocella V, Morvillo P, Funicello R, 2005, What controls relay ramps and transfer faults within rift zones? Insights from analogue models, *Journal of Structural Geology*, 27, 397-408.
- Aktuğ B, Kılıçoğlu A, 2006, Recent crustal deformation of Izmir, western Anatolia and surrounding regions as deduced from repeated GPS measurements and strain field, *Journal of Geodesy*, 41, 471-484.
- Aktuğ B, 2006, Jeodezik Ölçüler ile Deprem Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 93s, İstanbul.
- Aktuğ B, Nocquet J M, Cingoz A, Parsons B, Erkan Y, England P C, Lenk O, Gurdal M A, Kılıçoğlu A, Akdeniz H, Tekgul A, 2009, Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behavior, *Journal of Geophysical Research*, 114, B10404.
- Aktuğ B, 2017, Jeodezik Deprem Tehlike Haritası, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 16, Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara
- Akyol N, Zhu L, Mitchell B J, Sözbilir H, Kekovalı K, 2006, Crustal structure ve local seismicity in western Anatolia, *Geophysical Journal International*, 166, 1259-1269.
- Barka A A, 1999, The 17 August 1999 İzmit earthquake, *Science*, 285, 1858-1859.
- Blumenthal M M, 1963, Le systeme structural du Taurus sud Anatolien, *Paul Fellot*, 2, Société géologique de France, 611-662.
- Bozkurt E, 2001, Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, 14, 3–30.
- Bozkurt E, Sözbilir H, 2006, Evolution of largescale Normal faults: Insights from the Active Manisa fault, Southwest Turkey, *Geodinamica Acta*, 19 (6), 427-453.
- Brunn J H, Dumont J F, De Graciansky P C, Gutnic M, Juteau T, Marcoux J, Poisson A, 1971, Outline of the geology of the Western Taurides. In *Geology and History of Turkey* (ed A.S. Campwell), Petroleum Exploration Society of Libya, Tripoli, 225-257.
- Brunner F K, 1979, On the Analysis of Geodetic Networks for the Determination of the Incremental Strain Tensor, *Survey Review*, XXV(192), 56-67.

- Burov E B, Diament M, 1995, The effective elastic thickness of continental lithosphere: What does it really mean?, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B3), 3905-3927.
- Chui C K, Chen G, 1991, *Kalman Filtering: With Real- Time Applications*, Springer, Berlin.
- Çırmık A, Pamukçu O, Gönenç T, Kahveci M, Şalk M, Herring T, 2017, Examination of the kinematic structures in İzmir (Western Anatolia) with repeated GPS observations (2009, 2010 and 2011), *Journal of African Earth Sciences*, 126, 1-12.
- Dasgupta S, 2019, Implication of Transfer Zones in Rift Fault Propagation: Example from Cauvery Basin, Indian East Coast. In: Mukherjee S. (eds) *Tectonics and Structural Geology: Indian Context*, Springer Geology.
- Deniz R, 1990, Jeodezik Ölçmelerden Yerkabuğundaki Lokal Gerilimlerin Belirlenmesi, *İTÜ Dergisi*, 48(4).
- Dewey J F, Şengör A M C, 1979, Aegean and surrounding regions complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone: *Bulletin of the Geological Society of America* 90, 84-92.
- Dewey J F, 1988, Extensional Collapse of Orogens, *Tectonics*, 7, 1123-1139.
- Doğan U, 2002, 17 Ağustos 1999 İZMİT Depreminden Kaynaklanan Deformasyonların Kinematik Modellerle Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136s, İstanbul.
- Dönmez E, Tiryakioğlu İ, 2018, Gediz Fayı Yerkabuğu Hareketlerinin GNSS Gözlemleri ile İzlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18, 1110-1117.
- Duman T Y, Emre Ö, Özalp S, S, Çan, T, Olgun, Ş, Elmacı, H, Şaroğlu, F, 2017, *Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı* (Ed, T,Y, Duman), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, 12 s, Ankara-Türkiye.
- Emre Ö, Barka A, 2000, Gediz grabeni-Ege Denizi arasının (İzmir yöresi) aktif fayları, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu, (BADSEM2000)*, Bildiriler Kitabı, İzmir, 131-132.

- Emre Ö, Özalp S, Doğan A, Özaksoy V, Yıldırım C, Göktaş F, 2005, İzmir çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. MTA Rapor No:107, 80s.
- Emre Ö, Doğan A, Duman T Y, Özalp S, 2011, 1:250,000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Bursa (NK 35-12) Paftası, Seri No: 9, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Elmacı H, Olgun Ş, Şaroğlu F, 2013, Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası Ölçek 1: 1,250, 000, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel yayın serisi 30, 89 sayfa, 1 pafta harita.
- Emre Ö, Duman, T Y, Özalp S, Şaroğlu F, Olgun Ş, Elmacı H, Çan T, 2016, Active fault database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, DOI: 10.1007/s10518-016-0041-2.
- Emre Ö, Duman, T Y, Özalp S, Şaroğlu F, Olgun Ş, Elmacı H, Çan T, 2018, Active fault database of Turkey. Bulletin of Earthquake Engineering, 16(8), 3229-3275.
- Erdoğan S, 2005, Burdur Fethiye Fay Zonunun GPS ile İzlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 115s, İstanbul.
- Eski S, 2014, Gölarmara Havzasının (Gediz Grabeni Kuzey Kolu) Aktif Tektoniği, Manisa, , Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi 158s, İzmir.
- Eyidoğan H, 1983, Bitlis-Zağros bindirme ve kıvrımlı kuşağının sismotektonik özellikleri, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 111s, İstanbul.
- Eyidoğan H, Jackson J, 1985, A seismological study of normal faulting in the Demirci, Alaşehir and Gediz earthquakes of 1967-70 in western Turkey: implications for the nature and geometry of deformation in the continental crust, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society London, 81, 569-607.
- Falvey D A, 1974, The Development Of Continental Margins In Plate Tectonic Theory, Apea J, 14(1), 95-106,
- Fowler C M R, 1990, The solid earth-An introduction to Global Geophysics, Cambridge University press, Cambridge.
- Frizon de Lamotte D, Poisson A, Aubourg C, and Temiz H, 1995, Post-Tortonian westward and southward thrusting in the core of the Isparta re-entrant (Taurus,

- Turkey), Geodynamic implications, Bulletin de la Société Géologique de France, 166, 59-67.
- Genç S C, Altunkaynak Ş, Karacık Z, Yılmaz Y, 2001, The Çubukludağ Graben, Karaburun peninsula: its tectonic significance in the Neogene geological evolution of the western Anatolia, Geodinamica Acta, 14, 45-55.
- GeodSuit, 2017, GeodSuit Kullanım kılavuzu, Ankara
- Hanks T C, Kanamori H, 1979, A moment magnitude scale, Journal of Geophysical Research, 84(5), 2348-235.
- Herring T A, King R W, Floyd M A, McClusky S C, 2018, Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.7, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Mass. Inst. of Technol.
- İnci U, Sözbilir H, Erkül F, Sümer Ö, 2003, Urla-Balıkesir arası depremlerin nedeni fosil bir fay, Cumhuriyet Gazetesi Bilim Teknik Dergisi, 848, 6-7.
- Jackson, J A. McKenzie D, 1984, Active tectonics of the Alpine-Himalayan belt between western Turkey and Pakistan, Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 77, 185-264.
- Jackson J A, McKenzie D, 1988, The Relationship Between Plate Motions and Seismic Moment Tensors and Rates of Active Deformation in the Mediterranean and Middle East, Geophysical Journal, 93, 45-73.
- Kaimal J C, Finnigan J J, 1994, Atmospheric Boundary Layer Flows: Their Structure And Measurement. Oxford University Press.
- Kakkuri J, Chen R, 1992, On Horizontal Crustal Strain in Finland, Bull Geod, 66, 12-20.
- Kara İ, 2018, Orta Marmara Fayının Kinematığının GPS Ölçmeleriyle İzlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 120s, İstanbul.
- Karaman E, 2006, Yapısal Jeoloji ve Uygulamaları, Gelişim Yayınevi.
- Kaya O, 1979, Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tektoniği, Türkiye Jeoloji Kurultayı Bülteni, 22, 35-58.
- Kaya O, 1981, Miocene reference section for the coastal parts of West Anatolia, Newsletters on Stratigraphy, 10, 164-191.

- Kaya O, Ünay G, Eichhorn S, Hassenrück S, Knappe A, Pekdeğer A, 2004, Halitpaşa Transpressive Zone: Implications for an Early Pliocene compressional phase in central Western Anatolia, Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 13, 1-13.
- Kavak U S, 2020, GNSS Ölçüleriyle Fayların İzlenmesi: Karaburun Fayı Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 58s, Afyon.
- Ketin İ, 1968, Türkiye'nin tektonik durumu ile başlıca deprem bölgeleri arasındaki ilişkiler, *MTA Dergisi*, 71, 129-134.
- Kibici Y, 2005, Deprem, A.K.Ü. Yayınları, 59.
- Kissel C, Averbuch O, Frizon de Lamotte D, Monod O, Allerton S, 1993, First Paleomagnetic evidence for a post-Eocene clockwise rotation of western Taurides thrust belt east of the Isparta re-entrant (southwestern Turkey), *Earth and Planetary Science Letters*, 117, 1-14.
- Lambeck K, 1988, *Geophysical Geodesy the Slow Deformation of the Earth*, Oxford University Press, Oxford.
- Le Pichon X, Angelier J, 1979, The Hellenic Arc and Trench Systems: A Key to the Neotectonic Evolution of the Eastern Mediterranean Area, *Tectonophysics*, 60, 1-42.
- Marcoux J, 1987, *Histoire et topologie de la Neo-Tethys*, These de Doctorat Detat. L'Universite Pierre et Marie Curie, Paris, 569s.
- Mark V, James H, 2004, *Foundations of Biogeography: Classic Papers with Commentaries*, University of Chicago Press, Chicago.
- Malaliçi B C, 2019, Gülbahçe fayı ve çevresinin jeodinamik yapısının irdelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans, 68s, İzmir.
- Meulenkamp J E, Wortel M J R, van Wamel W A, Spakman W, Hoogerduyn Strating E, 1988, On The Hellenic Subduction Zone and the Geodynamic Evolution of Crete Since the Late Middle Miocene, *Tectonophysics*, 146, 203-215.
- McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Georgiev I, Hamburger M, Hurst K, Kahle H, Kastens K, Kekelidze G, King R, Kotzev V, Lenk O, Mahmoud S, Mishin A, Nadariya M, Ouzounis A, Paradisis D, Peter Y, Prilepi M, Reilinger R, Sanli I, Seeger H, Tealeb A, Toksoz M N, Veis G, 2000, GPS Constraints

- on Crustal Movements and Deformations in the Eastern Mediterranean (1988-1997): Implications for Plate Dynamics, *JGR*, 105(B3), 5695-5719.
- McKenzie D P, 1978, Active Tectonics of the Alpine-Himalayan belt the Aegean sea and surrounding regions (tectonics of Aegean region), *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 55, 217-254.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2017, 06-07 Şubat 2017 Ayvacık (Çanakkale) Depremleri Bilgi Notu, Aktif Tektonik Araştırmaları Birimi, Jeoloji Etüt Dairesi, Ankara.
- Ocakoğlu N, Demirbağ E, Kuşcu İ, 2004, Neotectonic structures in the area off shore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province, *Tectonophysics*, 391, 67-83.
- Ocakoğlu N, Demirbağ E, Kuşcu İ, 2005, Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime, *Marine Geology*, 219, 155-171.
- Oral M B, Reilinger R E, Toksöz M N, King R W, Barka A, Kınık İ, Lenk O, 1995, Global Positioning System Offers Evidence of Plate Motions in Eastern Mediterranean, *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 76(2), 9-11.
- Özel G, Solmaz A, 2012, Türkiye'de Deprem Tekrarlama Zamanının Tahmini ve Neotektonik Bölgelere Göre Depremselliğin Markov Zinciri ile İncelenmesi, *Çanakaya University Journal of Science and Engineering*, 9(2), 125-138.
- Özener H, Doğru A, Acar M, Arpat E, Ünlütepe A, Turgut B, Yılmaz O, Halıcıoğlu K, Sabuncu A, Havazlı A, 2012, Tuzla Fayı ve Yakın Çevresinin Kinematığının Jeodezik Yöntemlerle Araştırılması, TÜBİTAK-ÇAYDAG tarafından desteklenen 108Y295 numaralı Proje Sonuç Raporu.
- Özener H, Doğru A, Acar M, 2013, Determination of the displacements along the Tuzla fault (Aegean region-Turkey): Preliminary results from GPS and precise leveling techniques, *Journal of Geodynamics*, 67, 13-20.
- Özbey V, 2017, Orta Marmara Fayının Kinematığının GPS Ölçmeleriyle Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 169s, İstanbul.

- Özkaymak Ç, Sözbilir H, 2008, Stratigraphic and structural evidence for fault reactivation: The Active Manisa Fault Zone, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17(3), 615-635.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, Uzel B, Akyüz H S, 2011, Geological and palaeoseismological evidence for late Pleistocene– Holocene activity on the Manisa Fault Zone, western Anatolia, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 20(4), 449-474.
- Özkaymak Ç, 2012, Manisa Havzası'nın Aktif Tektoniği ve Depremselliği, Batı Anadolu, Türkiye (Active Tectonics and Seismicity of the Manisa Basin, western Anatolia, Turkey), Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 251s, İzmir.
- Özkaymak Ç, Sözbilir H, Uzel B, 2013, Neogene-Quaternary evolution of the Manisa Basin: Evidence for variation in the stress pattern of the İzmir-Balıkesir Transfer Zone, western Anatolia. *Journal of Geodynamics Special issue: Tethyan Evolution, Anatolia*, 65, 117-135.
- Pamukçu O, Şalk M, Sındırgı P, Akdemir Ö, Gönenç T, Kaftan İ, Uyanık O, Sözbilir H, Kahveci M, 2012, İzmir Güneyindeki Aktif Fayların Mikrogravite ve GPS Yöntemleriyle Araştırılması, Proje No: TÜBİTAK - 108Y285.
- Philippson A, 1915, Ergänzungshefte zu Petermanns Mitteilungen, (Nr. 167, 1910; 172, 1911; 177, 1913; 180, 1914; 183, 1915), Berlin.
- Poisson A, 1984, The Extension of the Ionian Trough Into SW Turkey, In: J. F. Dixon & A. H. Robertson Eds, *The Geologic Evolution of the Eastern Mediterranean*. Geological Society London Special Publications, 17, 241-249.
- Poyraz F, 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkabuğu Hareketleri Ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 140s, İstanbul.
- Prescott W H, 1976, An Extension of Frank's Method for Obtaining Crustal Shear Strains from Survey Data, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 66(6), 1847-1853.
- Reilinger R, McClusky S, Vernant P, Lawrance S, Ergintav S, Cakmak R, Ozener H, Kadirov F, Guliev I, Stepanyan R, Nadariya M, Hahubia G, Mahmoud S, Sakr K, ArRajehi A, Par adissis D, AlAydrus A, Prilepin M, Guseva T, Evr en E, Dmitrova A, Filikov S, V, Gomez F, AlGhazzi R, Karam G, 2006, GPS

- Constraints on Continental Deformation in the AfricaArabiaEurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions, *J Geophys. Res.*, 111, B05411.
- Ring U, Laws S, Bernet M. 1999, Structural analysis of a complex nappe sequence and late-orogenic basins from the Aegean Island of Samos, Greece: *J. Structural Geology*, 1575-1601.
- Savage J C, 1983, A Dislocation Model of Strain Accumulation and Release at a Subduction Zone, *Journal of Geophysical Research*, 88, 4984-4996.
- Seyitoğlu G, Scott B C, 1991, Late Cenozoic Crustal Extension and Basin Formation in West Turkey, *Geological Magazine*, 128, 155-166.
- Seyitoğlu G, Scott B C, 1992, The age of the Büyük Menderes graben (west Turkey) and its tectonic implications, *Geological Magazine*, 129, 239-242.
- Shen Z-K, Jackson D D, Ge X B, 1996, Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements, *Journal of Geophysical Research*, 101(B12), 27957-27980.
- Solak H İ, 2015, GNSS Hızları ile Güneybatı Anadolu'daki Gerinim Alanlarının Zamansal Değişimi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 95s, Afyon.
- Sözbilir H, Erkül F, Sümer Ö, 2003a, Gümlüdur (İzmir) Ve Bigadiç (Balıkesir) Arasında Uzanan Miyosen Sonrası Yaşlı KD-Doğrultulu Accommodation Zonuna Ait Saha Verileri, *Batı Anadolu*. 56, Türkiye Jeoloji Kurultayı, Ankara, 85-86.
- Sözbilir H, İnci U, Erkul F, Sümer Ö, 2003b. An Active Intermitten transform zone accommodating N-S Extension in Western Anatolia and its relation to the North Anatolian Fault System, *International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology, and Field Training Course in Paleoseismology*, 31 Augst to 12 September 2003, Ankara.
- Sözbilir H, Sümer Ö, Uzel B, Saygılı A, Ramazanoğlu İ, E Uysal, 2004, İzmir Fayı'nın jeolojik ve jeomorfolojik parametreleri, *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 8, Toplantısı, Bildiri Özetleri Kitabı*.

- Sözbilir H, Sümer Ö, Uzel B, Ersoy Y, Erkül F, İnci U, Helvacı C, 2005, İzmir'deki deprem dizilerinin nedeni, faylardaki çiçek yapısı, Cumhuriyet, Bilim Teknik, Deprem Araştırmaları, 976, 18-19.
- Sözbilir H, Uzel B, Sümer Ö, İnci U, Ersoy E Y, Koçer T, Demirtaş R, Özkaymak Ç, 2008, D-B Uzanımlı İzmir Fayı ile KD-Uzanımlı Seferihisar Fayı'nın birlikte çalıştığına dair veriler: izmir körfezi'ni oluşturan aktif faylarda kinematik ve paleosismolojik çalışmalar, Batı Anadolu. Türkiye Jeoloji Bülteni, Cilt 51, Sayı 2, 91-114.
- Sözbilir H, Sümer, Ö, Uzel B, Ersoy Y, Erkül F, İnci U, Helvacı C, Özkaymak Ç, 2009, 17-20 Ekim 2005-Sığacık Körfezi (İzmir) depremlerinin sismik jeomorfolojisi ve bölgedeki gerilme alanları ile ilişkisi, Batı Anadolu, Türkiye Jeoloji Bülteni, 52(2).
- Sözbilir H, Sarı B, Uzel B, Sümer Ö, Akkiraz S, 2011, Tectonic implications of transtensional supradetachment basin development in an extension-parallel transfer zone: the Kocaçay Basin, western Anatolia, Turkey, Basin Research 23, 423-448.
- Sözbilir H, Kaymakçı N, Langereis C G, Uzel B, Özkaymak Ç, Özkaptan M, Gülyüz E, 2012, Transfer Zonlarının Jeolojik Evrimi Ve Bu Zonların Batı Anadoludaki K-G Genişleme Tektoniğine Katkısı, Proje No: TÜBİTAK - 109Y044.
- Sözbilir H, Sümer, Ö, Uzel B, Tepe Ç, Softa M, Eski S, Babayigit G, Turan R, Karaş M, Koşum Ş, 2015, İzmir Kenti İçinden Geçen Diri Faylarda Fay Sakınım Bandı/Yüzey Faylanması Tehlikesi Kuşağı Oluşturma Kriterleri, 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, 1-14.
- Sözbilir H, Sümer Ö, Özkaymak Ç, Uzel B, Güler T, Eski S, 2016a, Kinematic analysis and palaeoseismology of the Edremit Fault Zone: evidence for past earthquakes in the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Biga Peninsula, NW Turkey, Geodinamica Acta, 28, 273-294.
- Sözbilir H, Özkaymak Ç, Uzel B, Sümer Ö, Eski S, Güler T, Yarahı G, 2016b, Edremit Körfezi ile Balıkesir ili Arasında kalan Diri Fayların Tektonik Jeomorfolojisi ve Paleosismolojisi, No: UDAP-G-13-18, Kalkınma Bakanlığı Projesi.
- Sözbilir H, Özkaymak Ç, Uzel B, Sümer Ö, Eski S, Tepe Ç, 2016c, Paleoseismology of the Havran Balıkesir Fault Zone: evidence for past earthquakes in the strike-

- slip dominated contractional deformation along the southern branches of the North Anatolian Fault in northwest Turkey, *Geodinamica Acta*, 28(4), 254-272.
- Sözbilir H, Çakır R, Eski S, Duran İ, Utku M, Akgün M, 2020a, 22 Ocak 2020 Akhisar Depremleri ve Bölgenin Sismotektoniği Ön Raporu, 9 Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi, İzmir.
- Sözbilir H, Aktuğ B, Özkaymak Ç, Tiryakioğlu İ, Solak, H,İ, (2020b), Bilgi alışverişi amaçlı toplantı, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi.
- Şaroğlu F, Emre Ö, Boray A, 1987, Türkiye' nin Diri Fayları ve Depremsellikleri, (Rapor No: 8174), Ankara: Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü.
- Şaroğlu F, Emre Ö, Kuşcu İ, 1992, Türkiye Diri Faylar Haritası, MTA Dergisi, 99-125.
- Şafak Ş, Tiryakioğlu İ, Erdoğan H, Solak Hİ, Aktuğ B, 2020, Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities, *Measurement*, 164(108003).
- Şengör A M C, 1979, Mid-Mesozoic closure of Permo - Triassic: Tethys and its implications: *Nature*, 279, 590-593.
- Şengör A M C, Yılmaz Y, 1981, Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach: *Tectonophysics*, 75,181 - 241.
- Şengör A M C, Görür N, Şaroğlu F, 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication*, 37, 227-264.
- Tan O, Taymaz T, 2003, Seismotectonics of Karaburun Peninsula and Kuşadası Gulf: source parameters of April 2, 1996 Kuşadası Gulf and April 10, 2003 Seferihisar (İzmir) earthquakes, *International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology and Field Training Course in Paleoseismology*, Middle East Technical University (METU) - Ankara, Abstracts, p, 147.
- Tan O, Tapırdamaz, M C, Yörük A, 2008, The Earthquakes Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, 17, 405-418.
- Tan O, 2013, The dense micro-earthquake activity at the boundary between the Anatolian and South Aegean microplates, *Journal of Geodynamics*, 65, 199-217.

- Tiryakioğlu İ 2012, GNSS Ölçüleri İle Güneybatı Anadolu'daki Blok Hareketleri Ve Gerilim Alanlarının Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 155s, İstanbul.
- Tiryakioğlu İ, Aktuğ B, Yiğit C Ö, Yavaşoğlu H H, Sözbilir H, Özkaymak Ç, Poyraz F, Taneli E, Bulut F, Doğru A, Özener H, 2018, Slip distribution and source parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos earthquake (Mw6.6) from GPS observations, *Geodinamica Acta*, 30:1, 1-14.
- Ulutaş M, 2019, Karaburun yarımadasının kuvaterner - holosen faylarının deprem üretme potansiyelinin jeolojik jeomorfolojik ve uzaktan algılama yöntemleriyle incelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 281s, İzmir.
- Uzel B, Sözbilir H, 2008, A First record of strikeslip basin in western Anatolia and its tectonic implication: The Cumaovası basin as an example, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 559-591.
- Uzel B, Sözbilir H, Özkaymak Ç, 2012, Neotectonic Evolution of an Actively Growing Superimposed Basin in Western Anatolia: The Inner Bay of İzmir, Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 21, 439-471.
- Uzel B, Sözbilir H, Özkaymak Ç, Kaymakçı N, Langereis C G, 2013, Structural evidence for strike-slip deformation in the İzmir-Balıkesir Transfer Zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey), *Journal Geodynamics*, 65, 94-116.
- Uzelli İ, 2013, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kampüsü (Gülbahçe-İzmir) Ve Civarının Neotektonik Özellikleri-Batı Anadolu-Türkiye, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 131s, Ankara.
- Ward S N, 1994, A Multidisciplinary Approach to Seismic Hazard in Southern California, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 1293-1309.
- Ward S N, 2007, Methods for evaluating earthquake potential and likelihood in and around California, *Seism, Res, Letters*, 78, 121-133.
- Wells D L, Coppersmith K J, 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84(4), 974-1002.

- Yavaşoğlu H, 2009, Kuzey Anadolu Fayının Orta Anadolu Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler ve Elastik Yarı Uzay Modelleme İle Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 205s, İstanbul.
- Yavaşoğlu H, Tarı E, Tüysüz O, Çakır Z, Ergintav, 2011, Determining and modelling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements, Journal of Geophysical Research, 51(5): 339–343.
- Yolsal-Çevikbilen S, Taymaz T, Helvacı C, 2014, Earthquakes mechanisms in the Gulf of Gökova, Sığacık, Kuşadası, and the Simav Region (western Turkey): Neotectonics, seismotectonics and geodynamic implications, Tectonophysics, 635, 100-124.
- Zhu L, Akyol N, Mitchell B J, Sözbilir H, 2006, Seismotectonics of western Turkey from high resolutions ve moment tensor determinations, Geophysical Research Letters, 33(7), L07316.

İnternet Kaynakları

- 1- İnt.Kyn.1:<https://www.mta.gov.tr/v3.0/hizmetler/yenilenmis-diri-fay-haritalari>, 01.04.2020
- 2- İnt.Kyn.2:<https://depem.afad.gov.tr/tarihseldepremler>, 01.04.2020
- 3- İnt.Kyn.3:http://yunus.hacettepe.edu.tr/~kdirik/YJ_faylar_5.pdf, 23.06.2020
- 4- İnt.Kyn.4:<http://www.files.ethz.ch/structuralgeology/JPB/files/English/3faults.pdf>, 23.06.2020
- 5- İnt.Kyn.5:https://en.wikipedia.org/wiki/Transfer_zone, 23.06.2020
- 6- İnt.Kyn.6:<https://depem.afad.gov.tr/depem-tehlike-haritasi>, 01.04.2020
- 7- İnt.Kyn.7:<https://www.tim.org.tr/tr/ihracat-rakamlari>, 01.04.2020
- 8- İnt.Kyn.8:<https://www.gps.gov>, 01.04.2020
- 9- İnt.Kyn.9:<https://www.glonass-iac.ru/en>, 01.04.2020
- 10- İnt.Kyn.10:<https://www.gsc-europa.eu>, 01.04.2020
- 11- İnt.Kyn.11:http://www.mdsoft.com.tr/Pages/Product_Geodsuit, 01.04.2020
- 12- İnt.Kyn.12:<http://www.bgs.ac.uk/discoveringGeology/hazards/earthquakes/mag>



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Halil İbrahim SOLAK
Doğum Yeri ve Tarihi : Denizli/Çivril 03.11.1990
Yabancı Dili : İngilizce
İletişim (Telefon / e-posta) : 0532 328 19 13 / hisolak@aku.edu.tr

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Buca Gürçeşme Lisesi (2004 – 2007)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri
Mühendisliği Böl., (2008 – 2012)
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Harita
Mühendisliği ABD, (2012 – 2015)
Doktora : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Ens., Harita
Mühendisliği ABD, (2016 – 2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

: Atatürk Üniversitesi (2013 – 2015)
: Gebze Teknik Üniversitesi (2015 – 2015)
: Verim Harita Ltd. Şti. (2016 – 2017)
: Afyon Kocatepe Üniversitesi (2017 – Devam Ediyor)

Yayınları (SCI ve diğer) :

Şafak Ş, Tiryakioğlu İ, Erdoğan H, Solak H. İ, Aktuğ B, 2020, Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities, Measurement.

Baybura T, Tiryakioğlu İ, Uğur M A, Solak H. İ, Şafak Ş, 2019, Examining the Accuracy of Network RTK and Long Base RTK Methods with Repetitive Measurements, Journal of Sensors.

Solak H İ, Ütebay G, Yalçın B, 2020, Uzaktan eğitim öğrencilerinin basılı ve dijital ortamdaki sınav başarılarının karşılaştırılması, Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi, 6(1), 41-52.

Solak H İ, Alaybeyoğlu A, 2017, Kentsel Dönüşümde Riskli Alan Önceliklerinin Belirlenmesi İçin Bulanık Mantık Tabanlı Sistem Tasarımı, Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 5(4), 402-413.

Sonugür G, Solak H İ, Gökçe B, 2017, İnsansız Hava Araçlarından Çerçeve Hizalama Yöntemi İle Hareketli Nesne Tespiti. International Academic Research Congress 2017, Antalya.

Sonugür G, Solak H İ, Gökçe B, 2017, İnsansız Hava Araçlarından Hareketli Nesne Tespiti Amacıyla GPS Destekli Bilgisayar Görme Sistemi Geliştirilmesi. International Academic Research Congress 2017, Antalya.

Tiryakioğlu I, Gülal E, Solak H İ, Özkaymak Ç, 2017, Crustal Deformation Modelling by GNSS Measurements: Southwestern Anatolia, Turkey, 1st Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI), 22-25 Nov. 2017 Sousse/Tunusia.

Tiryakioğlu I, Solak H İ, Gulal E, Erdogan S, Uysal M, Yılmaz M., Dindar A A, Determination of contemporary velocity field of southwest Anatolia and change of strain area, 1st International Geomatics Applications “GEOMAPPLICA” Conference, Skiathos island, Greece, 08-10 September, 2014.

Solak H İ, Tiryakioğlu İ, Gülal E, Erdoğan S, Özkaymak Ç, Akpınar B, Yılmaz M, Uysal M, Aykut N O, Baybura T, Yılmaz İ, Dindar A A, Acar M, Dereli M A, Yalçın M, Polat N, Toprak A S, Çapadış A, 2014, Güneybatı Anadolu’nun Güncel Yamulma Alanlarının Belirlenmesi “7. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu 14-16 Ekim 2014, Hitit Üniversitesi, Çorum.

Tiryakioğlu İ, Güral E, Solak H İ, Özkaymak Ç, Crustal Deformation Modelling by GNSS Measurements: Southwestern Anatolia, Turkey, 1st Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI), 22-25 Nov. 2017, Sousse/Tunusia.

