

**GNSS ÖLÇÜLERİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN MODELLENMESİ:  
GÜLBAHÇE FAYI ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

EDA ESMA EYÜBAGİL

Danışman

Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Haziran 2020

Bu tez çalışması 19.FEN.BIL.11 numaralı proje ile BAPK tarafından desteklenmiştir.

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

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GNSS ÖLÇÜLERİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN**  
**MODELLENMESİ: GÜLBAHÇE FAYI ÖRNEĞİ**

**EDA ESMA EYÜBAGİL**

**Danışman**  
**Doç. Dr. İbrahim TİRYAKIOĞLU**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**Haziran 2020**

## TEZ ONAY SAYFASI

Eda Esmâ EYÜBAGİL tarafından hazırlanan “GNSS ÖLÇÜLERİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN MODELLENMESİ: GÜLBAHÇE FAYI ÖRNEĞİ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 15/06/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği **Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU

**Başkan** : Prof. Dr. Tamer BAYBURA  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi .....

**Üye** : Doç. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU  
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi .....

**Üye** : Doç. Dr. İbrahim TIRYAKIOĞLU  
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi .....

İmza

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 çalışmasında;**

- 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.**

**Gün/Ay/Yıl**

  
Eda Esmâ EYÜBAGİL

**ÖZET**  
Yüksek Lisans Tezi

**GNSS ÖLÇÜLERİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN MODELLENMESİ:  
GÜLBAHÇE FAYI ÖRNEĞİ**

Eda Esmâ EYÜBAGİL  
Afyon Kocatepe Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı  
**Danışman:** Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Bu çalışmada, İzmir kenti ve çevresi için deprem üretme potansiyeli olan diri faylardan Gülbahçe fayının kinematik yapısı incelenmektedir. İzmir'in Urla, Çeşme ve Karaburun ilçelerinin bir kısmını içeren çalışma bölgesinde, 17 noktalı bir GNSS ağı kurularak, ağa ait noktaların geçmiş yıllardaki GNSS ölçüleri çeşitli kurum ve kuruluşlardan temin edilmiştir. Kurulan ağda 2019 yılında 1 kampanya ölçü gerçekleştirilmiştir. Ağa ait elde edilen toplam 3 kampanya GNSS ölçüleri ile çalışma bölgesinin güncel hız ve gerinim alanları hesaplanmıştır. Gerinim alanları incelendiğinde, Gülbahçe fayının üzerinde ve kuzey ucunun yer aldığı Gülbahçe Körfezi içerisinde KKD-GGB açılma ve KKB-GGD sıkışma bileşenlerinin baskın olduğu görülmektedir. Gerinim alanları fay düzlemi ile birlikte incelendiğinde, fayın mekanizması sol doğrultu atımlı olarak düşünülmektedir. Literatürde sağ doğrultu atımlı olarak tanımlanan fayın mekanizması hakkında daha iyi yorum yapabilmek için rölatif hız kombinasyonları elde edilmiştir. Bu kombinasyonlarda da fay mekanizmasının sol doğrultu atımı işaret ettiği görülmektedir. Gerinim parametreleri yardımıyla, çalışma bölgesinin  $M_w \geq 6$  ve  $M_w \geq 7$  için jeodezik deprem tekrarlama haritaları üretilmiştir. Bu haritalar incelendiğinde, çalışma bölgesinin  $M_w \geq 6$  için 65-120 yıl  $M_w \geq 7$  için 790-4330 yıl tekrarlama periyotlarına sahip olduğu görülmektedir.

**2020, ix + 86 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** GNSS, Tektonik, Gerinim, Gülbahçe Fayı.

**ABSTRACT**  
M.Sc. Thesis

**MODELING OF TECTONIC MOVEMENTS WITH GNSS MEASUREMENTS:  
GULBAHCE FAULT CASE**

Eda Esmâ EYÜBAGİL

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering.

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

In this study, the kinematic structure of the Gülbahçe fault is examined, which is one of the most active faults and have the potential to generate earthquakes in Izmir and its surroundings. A GNSS network with 17-site was established in the region, which includes some parts of Urla, Çeşme and Karaburun districts of Izmir. GNSS measurements on the sites of the network were carried out from various institutions and organizations in the past years. One campaign measurement was carried out on 6 sites in 2019. Velocities of the sites and strain fields of the region were calculated. When the strain fields are examined, it is seen that the NNE-SSW extension and NNW-SSE compression are dominant on the fault and in the Gulf of Gülbahçe. Strain fields show that the fault type of Gülbahçe fault is left strike-slip. The same situation could be seen in the relative velocities. Using strain parameters, geodetic earthquake recurrence periods for  $M_w \geq 6$  and  $M_w \geq 7$  were calculated. According to these periods, the region has recurrence periods of 65-120 years for  $M_w \geq 6$  and 790-4330 years for  $M_w \geq 7$ .

**2020, ix + 86 pages**

**Keywords:** GNSS, Tectonic, Strain, Gülbahçe Fault.

## TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasına başladığım ilk günden itibaren beni teşvik eden, sabrıyla tüm sorularımı yanıtlayan, fikirleriyle yoluma ışık tutan, öğrencisi olmakla her daim gurur duyduğum ve duyacağım danışmanım Sayın Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na sonsuz teşekkür ederim. Çalışma boyunca sağladığı büyük katkılarından dolayı Sayın Prof. Dr. Bahadır AKTUĞ'a, bilgi ve önerileriyle desteklerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Hasan SÖZBİLİR ve Sayın Doç. Dr. Çağlar ÖZKAYMAK'a, çalışma boyunca tecrübe ve yardımlarından dolayı Sayın Öğr. Grv. Halil İbrahim SOLAK'a teşekkür ederim. Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi'ne 19.FENBİL.11 numaralı proje desteğinden dolayı teşekkür ederim.

Bu yaşıma kadar her daim yanımda olduklarını hissettiren, başarılı olacağıma inanan ve güvenen, her koşulda olduğu gibi bu çalışma boyunca da sağladıkları tüm maddi ve manevi desteklerden dolayı sevgili anneme ve sevgili babama sonsuz teşekkür ederim. Ayrıca lisans eğitimine başlarken yol göstericilerim olan, beni mesleğimle tanıştıran, manevi annelerim sevgili Beyhan YAKIN'a ve sevgili Serpil ÇOĞLU'ya en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmaya İzmir bölgesinde destek veren tüm kamu kurumları ve harita özel bürolarına teşekkür ederim. Son olarak, arazi çalışmalarının yürütülmesi sırasında destek veren meslektaşlarıma ve bu çalışma boyunca beni sürekli motive eden, desteklerini esirgemeyen ailemden saydığım tüm değerli dostlarıma çok teşekkür ederim.

Eda Esmâ EYÜBAGİL

Afyonkarahisar 2020

## İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET .....	i
ABSTRACT .....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
RESİMLER DİZİNİ .....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. BATI ANADOLU’NUN TEKTONİK VE JEOLJİK YAPISI.....	6
2.1 Batı Anadolu Tektonik Yapısı .....	6
2.2 İzmir ve Çevresinin Tektonik ve Jeolojik Yapısı .....	8
2.2.1 İzmir Fayı .....	13
2.2.2 Tuzla Fayı .....	14
2.2.3 Seferihisar Fayı.....	15
2.2.4 Kuşçular Fayı.....	16
2.2.5 Yağcılar Fayı .....	17
2.2.6 Gülbahçe Fayı.....	18
2.2.7 Kenelidağ Fayı.....	21
2.2.8 Mordoğan Fayı .....	22
2.3 İzmir-Karaburun Civarının Depremselliği.....	24
2.3.1 Tarihsel Dönem Depremleri .....	24
2.3.2 Aletsel Dönem Depremleri .....	26
3. GNSS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE JEODEZİK DEPREM TEKRARLAMA HARİTALARI .....	31
3.1 Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS –Global Navigation Satellite Systems).....	31
3.2 Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS -Global Positioning System).....	31
3.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi .....	34
3.3.1 GAMIT/GLOBK .....	35
3.4 Gerilim-Gerinim ve Deformasyon İlişkisi .....	39
3.5 Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi.....	42
4. UYGULAMA.....	46



4.1 Çalışma Bölgesinde ve Kurulan GNSS Ağı .....	46
4.2 GNSS Ölçüleri .....	48
4.2 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi .....	50
4.2.1 GAMIT ile Verilerin Değerlendirilmesi .....	51
4.2.2 GLOBK ile Verileri Değerlendirme .....	57
4.2.3 Çalışma Bölgesinin Hız Alanının Belirlenmesi .....	59
4.3 Gerinim Analizi .....	61
4.3.1 Bölgenin Güncel Gerinim Alanı .....	61
4.4 Gerinim Analizi Yardımıyla Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi .....	70
5. TARTIŞMA ve SONUÇ .....	74
6. KAYNAKLAR .....	76
ÖZGEÇMİŞ .....	86

## KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar

---

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
CFA	Chartered Financial Analyst Institute
GNSS	Global Navigation Satellite Systems
GPS	Global Positioning Systems
GAMIT	GPS Analysis MIT
GLOBK	Global Kalman Filter
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
IGS	International GNSS Service
IRNSS/GAGAN	Indian Regional Navigation Satellite System / GPS Aided GEO Augmented Navigation
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
KOERI	Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
PRN	Pose Random Noise
PSInSAR	Permanent/Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
MIT	Massachusetts Institute of Technology
QZSS	Quasi-Zenith Satellite System
RINEX	Receiver Independent Exchange
SLR	Satellite Long Range
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
VLBI	Very Long Baseline Interferometry

---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Türkiye ve çevresi tarihsel dönem deprem aktivitesi (M.Ö 2000- M.S 1900) ..	7
Şekil 2.2 Türkiye ve çevresinin aletsel dönem (1900-2020) içerisindeki deprem aktivitesi. ....	8
Şekil 2.3 Ekim-2005 ve Nisan-2003 depremlerinin ana şoklarını ve bu depremlere neden olan diri fayları gösteren jeoloji haritası. ....	11
Şekil 2.4 İzmir ve yakın çevresi diri fay haritası.....	12
Şekil 2.5 Çalışma bölgesinde yer alan faylar. ....	13
Şekil 2.6 Balıklıova aktarım rampası google earth görüntüsü . ....	21
Şekil 2.7 Çalışma bölgesinde meydana gelen tarihsel dönem depremleri . ....	26
Şekil 2.8 İzmir ve çevresinde aletsel dönemde 5 ve üzeri meydana gelen depremler ve odak mekanizma çözümleri.....	28
Şekil 3.1 Küresel konum belirleme sisteminin (GPS) ana bölümleri.....	32
Şekil 3.2 Küresel konum belirleme sistemi (GPS) kontrol bölümü.....	33
Şekil 4.1 Çalışma bölgesinde kurulan jeodezik ağ.....	47
Şekil 4.2 GAMIT ana klasör yapısı örneği. ....	52
Şekil 4.3 Değerlendirme sonrası oluşan ana klasör yapısı örneği.....	56
Şekil 4.4 GBHC ve KADI noktalarının uzun dönem zaman serileri. ....	58
Şekil 4.5 Çalışma bölgesinin güncel hız alanı.....	60
Şekil 4.6 Bölgenin güncel gerinim alanı. ....	62
Şekil 4.7 Çalışma bölgesinde meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri ve elde edilen gerinim alanı.....	63
Şekil 4.8 17-20 Ekim 2005 Sığacık depremlerinin ana sarsıntı (M-1,2,3) ve artçı sarsıntılarının (A- 1,2,3) dış merkez dağılımlarını gösteren sismotektonik harita. ....	64
Şekil 4.9 Karaburun sismik zonu olarak tanımlanan bölgenin 2007-2011 yılları arası deprem aktivitesi. ....	65
Şekil 4.10 KABU-GBHC rölatif hız kombinasyonu.....	67
Şekil 4.11 YACI-ICME rölatif hız kombinasyonu. ....	68
Şekil 4.12 Jeodezik deprem tekrarlama haritası ( $M_w \geq 6$ ).....	71
Şekil 4.13 Jeodezik deprem tekrarlama haritası ( $M_w \geq 7$ ).....	72

## ÇİZELGELER DİZİNİ

### Sayfa

<b>Çizelge 2.1</b> Urla, Karaburun ve Çeşme civarında tarihsel döneme ait büyük şiddetli depremler. ....	25
<b>Çizelge 2.2</b> İzmir ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen magnitüdü 5 ve üzeri depremler ve parametreleri. ....	29
<b>Çizelge 2.3</b> İzmir ve civarındaki aktif fay ve fay segmentlerine ilişkin parametreler ve üretebilecekleri deprem büyüklükleri. ....	30
<b>Çizelge 4.1</b> Kurulan GNSS ağına ait nokta bilgileri. ....	48
<b>Çizelge 4.2</b> GNSS ölçü zaman çizelgesi. ....	49
<b>Çizelge 4.3</b> 2019 yılında yapılan kampanyaya ait ölçü stratejisi. ....	50
<b>Çizelge 4.4</b> Değerlendirmede kullanılan IGS (International GNSS Service) istasyonları. ....	54
<b>Çizelge 4.5</b> Verilerin değerlendirilmesinde kullanılan çözüm stratejisi. ....	55

## RESİMLER DİZİNİ

Sayfa

<b>Resim 4.1</b> 2019 kampanyasında ölçü yapılan KADI (a) ve ICME (b) noktaları .....	49
--	----

## 1. GİRİŞ

Günümüzde tektonik hareketlerin belirlenmesi ve modellenmesi, farklı disiplinler tarafından ele alınarak, çeşitli araştırmalara konu olmaktadır. Tektonik hareketler kısaca, yer kabuğunun farklı hareketleri sonucunda yer kabuğunda meydana gelen kırılma, kıvrılma, yükselme veya çökme olaylarının tamamı olarak tanımlanabilir. Günümüzde bu hareketlerin modellenmesi sayesinde, yeryüzündeki oluşumların ve bunlara bağlı gelişen doğal afetlerin sebepleri açıklanabilmektedir.

Yeryüzü olaylarını ve oluşumlarını inceleyen yerbilimciler, geçmişten günümüze bunların oluşum nedenleri ve sistemleri ile ilgili pek çok hipotez ve kuram ortaya koymuşlardır. 19'uncu yüzyılın başlangıcında Alman bilim adamı Alfred Lothar Wegener tarafından ortaya atılan "Kıtaların Kayma" kuramı zamanla geliştirilerek, yerbilimciler tarafından günümüzde kabul gören ve benimsenen "Levha Tektoniği" kuramı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kurama göre, üzerinde yaşadığımız yer kürenin çekirdeğinde meydana gelen ısı değişimleri Astenosfer tabakasında konveksiyon akımı benzeri hareketlerin oluşmasına neden olmaktadır. Bu konveksiyon akımı hareketlerine bağlı olarak Litosfer tabakası birbirine göre hareket eden çeşitli boyutlarda parçalara ayrılmaktadır. Bağlı olarak hareket eden bu parçalar; "Levha", levha sınırlarını meydana getiren kırıklar ise "Fay" olarak tanımlanmaktadır (Wegener 1912, McKenzie 1966, Sykes 1967, McKenzie ve Parker 1967, McKenzie ve Morgan 1969).

Levhalar birbirlerine göre sürekli olarak hareket halindedirler. Levhaların sürekli ve bağlı bir biçimde hareket etmesi ise fayların deprem üretmesine neden olmaktadır. Deprem ise kısaca, litosfer üzerinde fay olarak tanımlanan kırıklı yapıda biriken enerjinin aniden ortaya çıkması sonucu yeryüzünün sarsılması olayıdır. Günümüzde Litosfer tabakasında, hareket hızları 1-15 cm/yıl arasında değişen 7 ana ve birçok küçük levha bulunmaktadır. Yer bilimciler tarafından dünya üzerinde meydana gelen büyük ve yıkıcı sonuçlar doğuran depremlerin konumları incelendiğinde, genellikle levha sınırlarında ve sınırların kesiştikleri alanlarda depremlerin ve faylanmaların daha fazla olduğu belirlenmiştir. Levha hareketlerinin incelenmesi sayesinde, günümüzde depremlerin birçoğunun meydana geleceği yerler tahmin edilebilmektedir ancak

tahmine yönelik bu çalışmalarda, faylar üzerinde meydana gelen yer değiştirme miktarlarını ortaya koymak ve fay zonunu oluşturan her bir fay segmenti üzerinde meydana gelen büyük depremlerin tekrarlanma aralıklarının belirlenmesi önemlidir.

Türkiye, Anadolu levhası üzerinde yer almaktadır. Aynı zamanda bulunduğu konum nedeniyle; Avrasya, Arap ve Afrika levhalarının hareketlerinin etkisi altında kalmaktadır. Ülkemiz, pek çok farklı tektonik yapının varlığı ve sismik aktivitelerin yoğunluğu nedeniyle geçmişten günümüze yer bilimcilerin popüler çalışma alanlarından biri olmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı tektonik yapılar ve yoğun sismik aktivite farklı levhaların etkileşimiyle açıklanmaktadır. Bu etkileşimlerin; incelenmesi, modellenmesi ve depremlerin tahminine yönelik, farklı disiplinlerde farklı yöntemler kullanılarak çalışmalar yapılmaktadır ancak bu yöntemlerin uygulanabilirlikleri, zamansal çözüm ve hassasiyet bakımından jeodezide kullanılan tekniklere göre yetersiz kalmaktadır. Jeodezide ise yer kabuğunun yatay ve düşey yöndeki hareketleri, yersel ve uzaysal ölçme teknikleri ile belirlenebilmekte ve modellenmektedir. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte 20'nci yüzyılın sonlarında gelişen uzaysal yöntemler, levha hareketlerinin incelenmesinde önemli bir rol üstlenmektedir. Bu yöntemler ise; VLBI, SLR, InSAR/PSInSAR ve GNSS vb. olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son yıllarda, Global Positioning System / Global Navigation Satellite System (GPS/GNSS) ölçülerinden elde edilen verilerin tektonik hareketlerin modellenmesindeki kullanımı zaman, maliyet, yüksek doğruluk vb. nedenlerden dolayı popüler bir hal almıştır. Fayın geometrik yapısına uygun olarak kurulan bir jeodezik ağda farklı periyotlarda yapılacak olan GNSS ölçüleri kullanılarak faya dair (kayma parametreleri, hız vb.) en güncel bilgiler, yüksek doğruluklarla elde edilebilmektedir.

Batı Anadolu Türkiye'nin batı kesiminin bu isimle adlandırıldığı, Kuzey Anadolu fay zonu ve Helen-Kıbrıs Yayını'nın arasında kalan bir bölgede yer almakta ve bulunduğu konum nedeniyle farklı levhaların etkisinde kalarak deformasyona uğraması sonucu karmaşık bir tektonizma sunmaktadır. Bölgeye ait tarihsel ve aletsel deprem kayıtları incelendiğinde, Türkiye'nin aktif deprem bölgelerinden biri olduğu görülmektedir. Batı Anadolu'da yer alan İzmir ve çevresinde sismik aktivitenin yoğunluğu göze

çarpmaktadır. Sismik bakımdan oldukça aktif olan bu bölge Batı Anadolu tektoniğinin kontrolü için önem taşımaktadır. Batı Anadolu ölçeğinde ilk GPS çalışmaları McClusky vd. (2000) tarafından yapılmıştır ve çalışmada GPS ölçülerinden elde edilen veriler kullanılarak bu fayların hareketleri modellenmiştir. Yine Reilinger vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, McClusky vd. (2000)'nin hesapladıkları fay kayma parametreleri güncellenmiştir. Aktuğ vd. (2009)'nde Batı Anadolu içinde bulunan TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) noktaları ve Reilinger vd. (2006)'nde kullanılan noktalar birleştirilerek güncel blok hareketleri ve Batı Anadolu gerinim alanları hesaplanmıştır. Tiryakioğlu (2012)'nde ise Güneybatı Anadolu'da bulunan faylara göre blok tanımlamaları yapılarak bu blokların bağıl hareketleri belirlenmiştir.

İzmir ve çevresinde birçok jeoloji, jeodezi ve jeofizik bilim dallarına ait çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapılan jeodezik çalışmalar incelendiğinde, genel olarak GNSS gözlemleri üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, Aktuğ vd. 2009, Özener vd. 2013, Pamukçu vd. 2013, 2015, Çırmık vd. 2017a, Malaliçi 2019).

Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006) İzmir civarında yapmış oldukları çalışmada 36 noktada GNSS gözlemleri yapmış ve elde ettikleri hızlarla İzmir ve çevresinin hız alanını ortaya çıkarmışlardır. Bu çalışmadan çıkan sonuçlar incelendiğinde, bölgenin tektonik olarak aktif olduğu, İzmir Körfezi'nin genişleme rejimi etkisi ile açıldığı, Karaburun Yarımadası'nın saat yönünde rotasyon hareketi gösterdiği ancak bu çıkarımların bölgedeki fayların niteliğini tanımlamakta yetersiz kaldığı yorumu yapılmıştır.

Aktuğ vd. (2009)'nde İzmir ve çevresinin de yer aldığı Batı Anadolu içinde bulunan TUTGA noktaları ve Reilinger vd. (2006)'nde kullanılan noktalar birleştirilerek güncel blok hareketleri ve Batı Anadolu gerinim alanları hesaplanmıştır.

Pamukçu vd. (2013) Karaburun Yarımadası'nın tektonik yapısı, kinematik hareketleri ve sisteminin incelenmesi amacıyla 2009-2011 yılları arasında 108Y285 no'lu TÜBİTAK Projesi kapsamında yapılan GPS ölçülerinden elde edilen verileri ve Bouguer gravite verilerini kullanarak bölgenin kinematiği hakkında genel sonuçlar elde etmişlerdir. Pamukçu vd. (2015) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise Batı Anadolu



açılma rejimi içinde yer alan Güney İzmir'in düşey yer değiştirme vektörü ve aktif tektonik yapısı incelenmek için GPS ve mikrogravite ağı sistemi kullanılmıştır.

Özener vd. (2013) İzmir ve civarında yer alan aktif fayların hareketlerinin belirlenmesine yönelik yaptıkları çalışmada, İzmir'in batısı ve Tuzla Fayı civarında 12 noktalı bir GNSS ağı tesis ederek bu bölge ve Tuzla Fayı'nın kinematığına ilişkin bilgileri ortaya koymuşlardır. Çırmık vd. (2017a)'nde İzmir ve çevresine ilişkin yapılan çalışmada GPS hızları kullanılarak bölgenin kinematik yapısı incelenmiştir.

Malaliçi (2019) ise Gülbahçe fayı ve civarına ilişkin yaptığı çalışmada, bölgede gravite ve manyetik ölçüler gerçekleştirmiştir. Çalışmacı aynı zamanda, 2009-2011 yılları arasında 108Y285 no'lu TUBİTAK Projesi kapsamında gerçekleştirilen GPS gözlemleri ve gravite ölçülerini kullanarak, tüm verileri değerlendirerek bölge tektoniği ve fay kinematığı hakkında sonuçlar elde etmiştir.

İzmir ve çevresine ilişkin jeolojik çalışmalar incelendiğinde, İzmir ile Balıkesir arasında doğrultu atımlı fayların baskın olduğu aktif bir zonun (İzmir-Balıkesir Transfer Zonu - İBTZ) varlığına dikkat çekilmektedir (İnci vd. 2003, Uzel ve Sözbilir, 2008, Özkaymak ve Sözbilir 2008). Aynı zamanda bölgede yapılan çeşitli çalışmalarda İBTZ adı verilen bu zonun değişik zamanlarda aktif olduğuna dair veriler bulunmaktadır (Kaya 1979, 1981, Genç vd. 2001, Kaya vd. 2004, Bozkurt ve Sözbilir 2006, Uzel ve Sözbilir 2008, Özkaymak ve Sözbilir 2008, Sözbilir vd. 2008, 2009).

İzmir ve çevresinin denizde yer alan kısmının yapısal öğelerinin tespitine yönelik çalışmalar yapılarak deniz içerisindeki faylar tespit edilerek, karadaki devamlılıkları ilişkilendirilmeye çalışılmıştır (Mascle ve Martin 1990, Aksu vd. 1990, Ocakoğlu vd. 2004, 2005, Altan ve Ocakoğlu 2019).

Emre vd. (2005), Emre ve Özalp (2011) ve Emre vd. (2017)'nin yaptıkları çalışmalarda İzmir ve yakın çevresinde 13 adet diri fay belirlenmiştir. Bu faylar; Güzelhisar Fayı, Menemen Fay Zonu, Yenifoça Fayı, İzmir Fayı, Bornova Fayı, Tuzla Fayı, Seferihisar Fayı, Gülbahçe Fay Zonu, Gümüldür Fayı, Gediz Graben Sistemi Faylarıdır (Gediz

Grabeni Ana Sıyrılma Fayı, Dağkızılca Fayı, Kemalpaşa Fayı, Manisa Fayı). İzmir ve çevresinde son yüzyıl içerisinde oluşan aletsel depremler, bu civardaki birçok fayın aktif bir şekilde çalıştığını göstermektedir. Yapılan sismik çalışmalarda, bölgede meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri incelenmiştir. Bölgedeki fayların hareketleri ve bu çözümler karşılaştırılarak bölgenin kinematiği hakkında daha detaylı bilgilere ulaşılmaktadır (Tan ve Taymaz 2002, 2003, Aktar vd. 2007, Tan 2013, Yolsal-Çevikbilen vd. 2014).

Çalışma kapsamında İzmir'in Urla, Çeşme ve Karaburun ilçelerinin bir bölümünü kapsayan çalışma bölgesinde 17 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Noktaların geçmiş yıllara ait ölçüleri çeşitli kurum ve kuruluşlardan temin edilerek, 2019 ve 2020 yıllarında 2 kampanya ölçü gerçekleştirilmiş ve ağdaki tüm noktalara ilişkin toplamda 3 kampanya GNSS ölçüsü elde edilmiştir. Hızlar yardımıyla bölgenin 2 boyutlu gerinim analizi yapılarak, bölgenin güncel gerinim alanları belirlenmiştir. Elde edilen gerinim parametreleri kullanılarak, çalışma bölgesinin jeodezik deprem tekrarlama haritaları üretilmiştir. Yapılan çalışmalar doğrultusunda; jeodezik verilerden Gülbahçe fayının sol doğrultu atım bileşene sahip bir fay olduğu çıkarımları yapılmıştır.

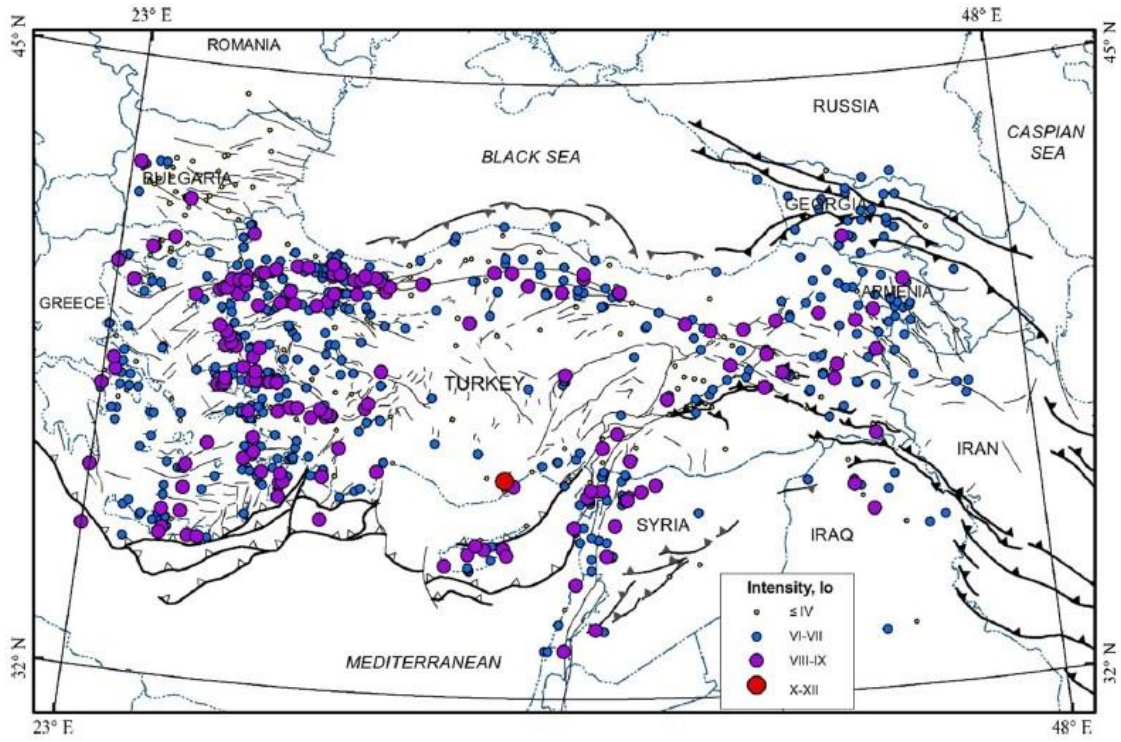
## 2. BATI ANADOLU'NUN TEKTONİK VE JEOLJİK YAPISI

### 2.1 Batı Anadolu Tektonik Yapısı

Türkiye, Anadolu levhası üzerinde yer almaktadır. Aynı zamanda bulunduğu konum nedeniyle; Avrasya, Asya ve Afrika levhalarının hareketlerinin etkisi altında kalmaktadır. Ülkemiz, pek çok farklı tektonik yapının varlığı ve sismik aktivitelerin yoğunluğu nedeniyle geçmişten günümüze yer bilimcilerin popüler çalışma alanlarından biri olmuştur. Yapılan çalışmalar sonucunda, farklı tektonik yapılar ve yoğun sismik aktivite farklı levhaların etkileşimiyle açıklanmaktadır. Levha etkileşimlerine göre, Avrasya levhası sabit alınarak Anadolu levhasının hareketi incelendiğinde, batıya doğru hareket söz konusudur. Bu hareketle birlikte ülkemizin batısında yer alan ve Ege levhası olarak adlandırılan levha, güneybatıya doğru yönelerek, Helen-Kıbrıs Yayı boyunca Afrika levhası üzerine binmekte, Afrika levhasının Avrasya levhası altına dalmasına neden olduğu ve bu dalma sonucunda Batı Anadolu'nun saatin tersi yönünde bir rotasyona uğramasına neden olduğu düşünülmektedir. Yapılan GPS çalışmalarında Batı Anadolu'nun yaklaşık 20 mm/yıllık bir hız alanına sahip olduğunu ve bu bölgeye hakim olan horst-graben sisteminin dünyadaki en hızlı açılma rejimi gösteren tektonik alanlardan biri olduğunu açıklamaktadırlar (McKenzie 1972, 1978, Alptekin 1973, Bingöl 1976, Dewey ve Şengör 1979, McClusky vd. 2000, Lenk vd. 2003, Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Tiryakioğlu 2012).

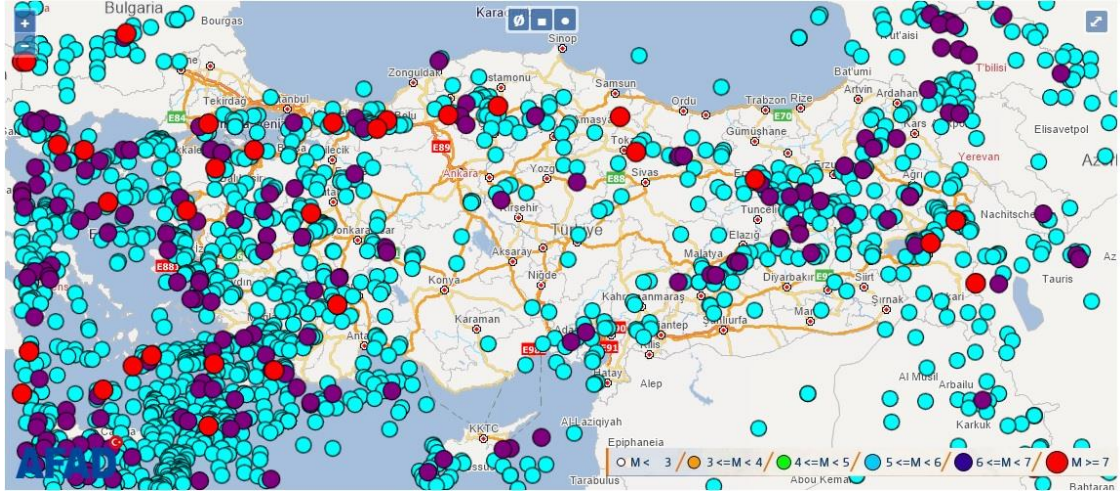
Batı Anadolu'da K-G yönlü açılma tektoniğine bağlı olarak gelişen D-B ve BKB-DGD doğrultulu birçok graben sistemi yer almaktadır. Gökova, Büyük Menderes, Küçük Menderes, Gediz, Bakırçay ve Simav grabenleri, Kütahya ve Eskişehir fayları ve bunların yanında KD-GB uzanımlı normal bileşene sahip doğrultu atımlı faylara karşılık gelen Fethiye-Burdur fay zonu, Tuzla fayı, Bergama-Foça fay zonları Batı Anadolu içerisinde yer alan ve bölge tektoniğinde önemli rol oynayan faylar olarak değerlendirilmektedir. KB-GD normal bileşene sahip faylar genellikle Güney Batı Anadolu'da yer almaktadır. Pamukkale, Dinar ve Yatağan-Muğla fayları bunlara örnek verilebilir (Ketin 1968, McKenzie, 1978, Dewey ve Şengör 1979, Jackson ve McKenzie 1984, Şengör 1982, 1987, Şengör vd. 1984).

Batı Anadolu'nun tarihte pek çok medeniyete ev sahipliği yaptığı bilinmektedir. Bu medeniyetlerden kalan tarihsel kaynaklar ve bölgeye dair deprem katalogları incelendiğinde, bu bölgenin tarihsel dönemde (1900 yılı ve öncesi) yıkıcı depremler etkisi altında kaldığı bilgilerine ulaşılmaktadır. Tarihsel dönem içerisinde Türkiye ve yakın çevresine ait sismik aktivite incelendiğinde, Batı Anadolu'nun sismik aktivesi diğer bölgelere oranla göze çarpmaktadır (Şekil 2.1) (Altunel ve Hancock 1993, Altunel ve Barka 1997, Ambraseys ve Jackson 1998, Tan vd. 2008, Ambraseys 2009, Duman vd. 2016).



Şekil 2.1 Türkiye ve çevresi tarihsel dönem deprem aktivitesi (M.Ö 2000- M.S 1900) (Duman vd. 2016).

Aletsel dönem (1900-günümüz) içerisinde de bu bölgede yıkıcı sonuçlar oluşturan depremler söz konusudur. Özellikle 1899 Büyük Menderes, 1928 Torbalı, 1955 Balat, 1969 Alaşehir, 1969 Simav, 1970 Gediz ve 1995 Dinar depremleri bunlardan bazılarıdır (Ambraseys 1988, Eyidoğan vd. 1991, Kalafat vd. 2011, Duman vd. 2016). Türkiye ve çevresine ait aletsel dönem sismik aktivesi aşağıda görülmektedir (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2** Türkiye ve çevresinin aletsel dönem (1900-2020) içerisindeki deprem aktivitesi (İnt. Kyn. 1).

Türkiye ve çevresine ait tarihsel ve aletsel dönem sismik aktiviteleri birlikte incelendiğinde, sismik aktivitenin daha çok Batı Anadolu bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu özellikler göz önüne alındığında, Batı Anadolu’da yer alan horst-graben sistemleri içerisinde yoğun sismik aktiviteye ve farklı faylanma türlerine sahip olmaktadır (Tiryakioğlu 2012).

## 2.2 İzmir ve Çevresinin Tektonik ve Jeolojik Yapısı

İzmir kenti ve çevresi İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) içerisinde konumlanmaktadır. Gümüldür (İzmir) ve Bigadiç (Balıkesir) arasında KD-GB doğrultusu boyunca uzanım gösteren İBTZ yaklaşık olarak 150 km uzunluğunda ve 60 km genişliğindedir. Bu uzanımın doğu sınırını Kuşadası Körfezi-Torbalı-Kemalpaşa-Akhisar-Bigadiç hattı oluşturmaktadır ve D-B uzanımlı graben sistemlerinin KD-GB uzanımlı doğrultu atım havzalarına değişim gösterdiği çizgiselliğe karşılık gelmektedir (Sözbilir vd. 2009).

İBTZ’yi sınırlayan ve zonun içerisinde kalan faylar, ilk olarak Kaya (1979, 1981) tarafından tanımlanmıştır. Araştırmacı, bu çalışmada Paleojen devrindeki zayıflık zonlarının tekrar aktif duruma gelmesiyle bölgedeki K-G ve KD-GB doğrultulu fayların oluştuğunu, bu fayların Miyosen devrinden bugüne dek farklı dönemlerde yeniden aktif olarak çalıştıklarını belirtmektedir ve bu faylardan bazılarının da değişik zamanlarda

ters yönde aktif olmasıyla doğrultu atımlı fay özelliği gösterdiğini gözlemlemiştir. Okay vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada bölgesel olarak İzmir-Balıkesir transfer zonunun, Bornova fliş zonuna karşılık geldiği ve Bornova fliş zonuna ait kayaların Kretase döneminin sonunda KD yönelimli bir transform fayı boyunca oluşmuş olabileceği belirtilmiştir. Sözbilir vd. (2003a, 2003b) yaptıkları çalışmalarda bu zonun Miyosen devrinden bugüne kadar aktif olduğunu arazi çalışmaları ile sunmuşlardır. Uzel ve Sözbilir (2008), Özkaymak ve Sözbilir (2008)'de ise yaptıkları çalışmalarda, İBTZ'nin, İzmir körfezi ile Gediz grabeninin batısında gelişen D-B uzanımlı faylarla Pliyosen dönemi sonunda parçalanmaya başladığı, ancak Pliyo-Kuvarterner dönemi sonunda tekrar aktif olarak Kuvarterner havzalarını kestiği ve bölgede günümüzde KD-GB ve KB-GD uzanımlı doğrultu atımlı faylar ve D-B uzanımlı normal faylarca baskın bir tektonizmanın gelişmesine sebep olduğu belirtilmişlerdir (Sözbilir vd. 2009).

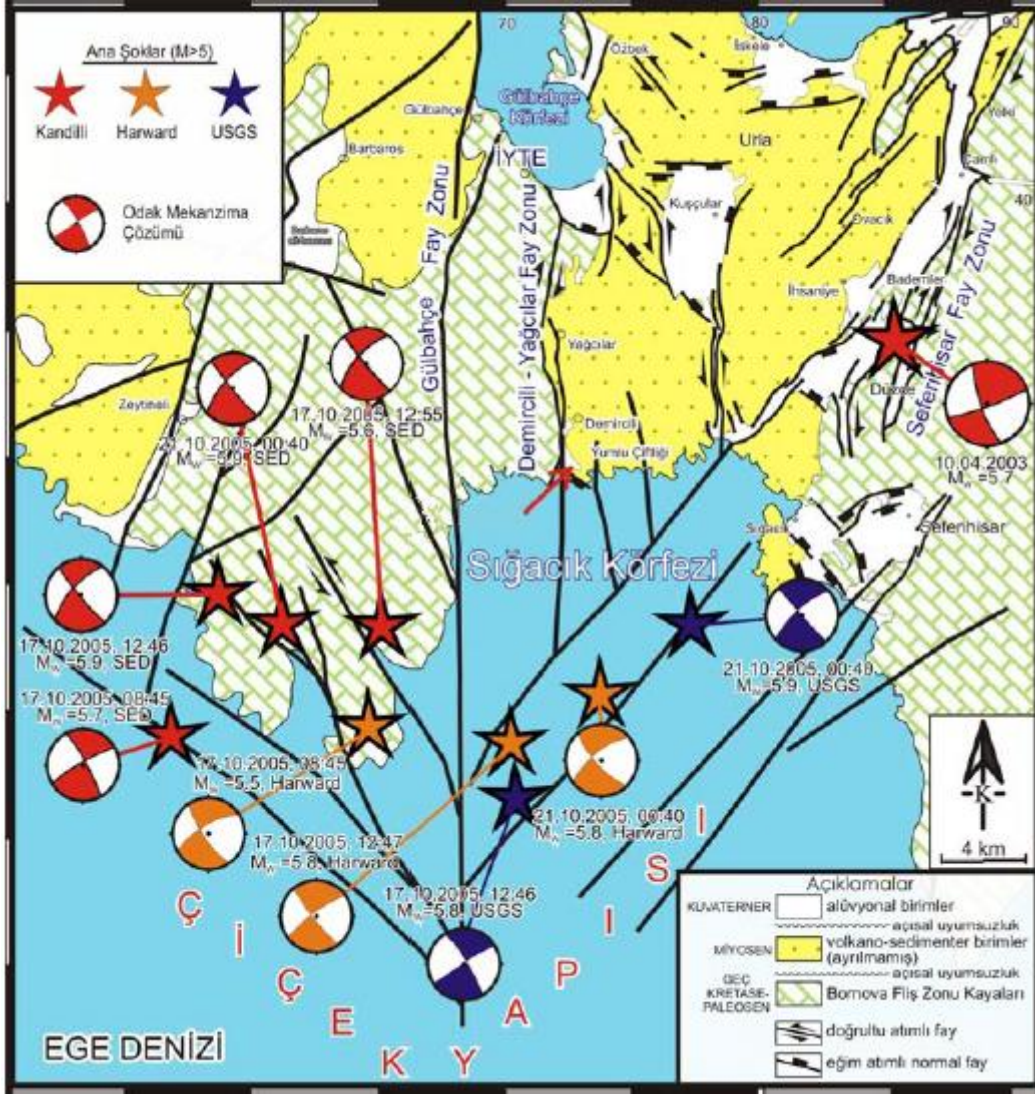
İzmir ve çevresinin denizde yer alan kısmının yapısal öğelerinin tespitine yönelik çok sayıda çalışma yapılmıştır. Mascle ve Martin (1990) yaptıkları çalışmada Midilli, Sakız, Sisam ve Nikarya adalarının açıklarında yer alan sismik kesitlerden faydalanarak, bölgede bulunan D-B yönelimli havzaları çevreleyen normal faylar haritalamışlardır. Aksu vd. (1990) ise yaptıkları çalışmada, sığ sismik kesitlerden İzmir Körfezi'ni KB-GD yönelimli bir havza olarak tanımlamışlardır.

Menemen civarındaki Dumanlıdağ fay zonu, Gediz grabeni batısında yer alan bazı faylar ve ilk kez Cumaovası çizgiselliği, Türkiye Diri Fay Haritası'nda belirtilmiştir ve bölgesel olarak yapılan çalışmalarda da bazı faylar, nitelikleri belirtilmeksizin haritalanmıştır (Şaroğlu vd. 1992).

2003 yılında Urla'da ve 17-20 Ekim 2005 tarihleri arasında Sığacık'ta meydana gelen depremlerden önce, Urla ve çevresinde haritalama çalışmaları gerçekleştirilmiştir ve bölgede pek çok KD-GB, KB-GD ve K-G uzanımlı doğrultu atım bileşenli fay haritalanmıştır. Bölgedeki KB-GD doğrultulu faylar sol yönlü, KD-GB doğrultulu faylar sağ doğrultu atım mekanizmasını göstermektedir (İnci vd. 2003, Sözbilir vd. 2009).

İzmir, Kuşadası ve Sığacık Körfezi açıklarında deniz altı sismik kesit çalışmaları yapılmıştır ve çalışmalara göre Ege Denizi içerisinde yer alan çok sayıda doğrultu atımlı fay haritalanmıştır ve karadaki devamlılıkları ile birleştirilerek, bu faylardan K-G, KD-GB doğrultulu fayların D-B yönlü sıkışma ve K-G yönlü açılma etkisi altında geliştiği düşünülmektedir (Ocakoğlu vd. 2004,2005).

2005 yılında Sığacık Körfezi açıklarında meydana gelen deprem dizileri sonrasında yüzey deformasyonları gözlemlenerek ve Ocakoğlu vd. (2005) tarafından sismik çalışmalarla Ege Denizi içerisinde haritalanan faylardan yararlanılarak, bu bölgede yeniden haritalama çalışmaları yapılmıştır. Çalışmalara göre, bu deprem dizilerine bölgedeki faylarda gelişmiş olan negatif çiçek yapısının neden olduğu belirtilmektedir. Çiçek yapısı olarak adlandırılan yapı; doğrultu atımlı fay oluşumunun büyük özelliklerinden biri olarak ve ana faya asılı fay parçalarının yüzeye yaklaştıkça dallanma göstererek, çiçek kesitini andıran bir görüntü sunması olarak açıklanmaktadır. Araştırmacılar, Urla havzasının bu çiçek yapısı üzerinde geliştiğini ve arazi verilerinin depremler esnasındaki kırılmaların, birbirleriyle ilişkili olarak ve değişik doğrultulardaki diri fay segmentleri üzerinde geliştiğini belirtmektedirler (Sözbilir vd. 2005, 2008, 2009). (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Ekim-2005 ve Nisan-2003 depremlerinin ana şoklarını ve bu depremlere neden olan diri fayları gösteren jeoloji haritası (Sözbilir vd. 2009).

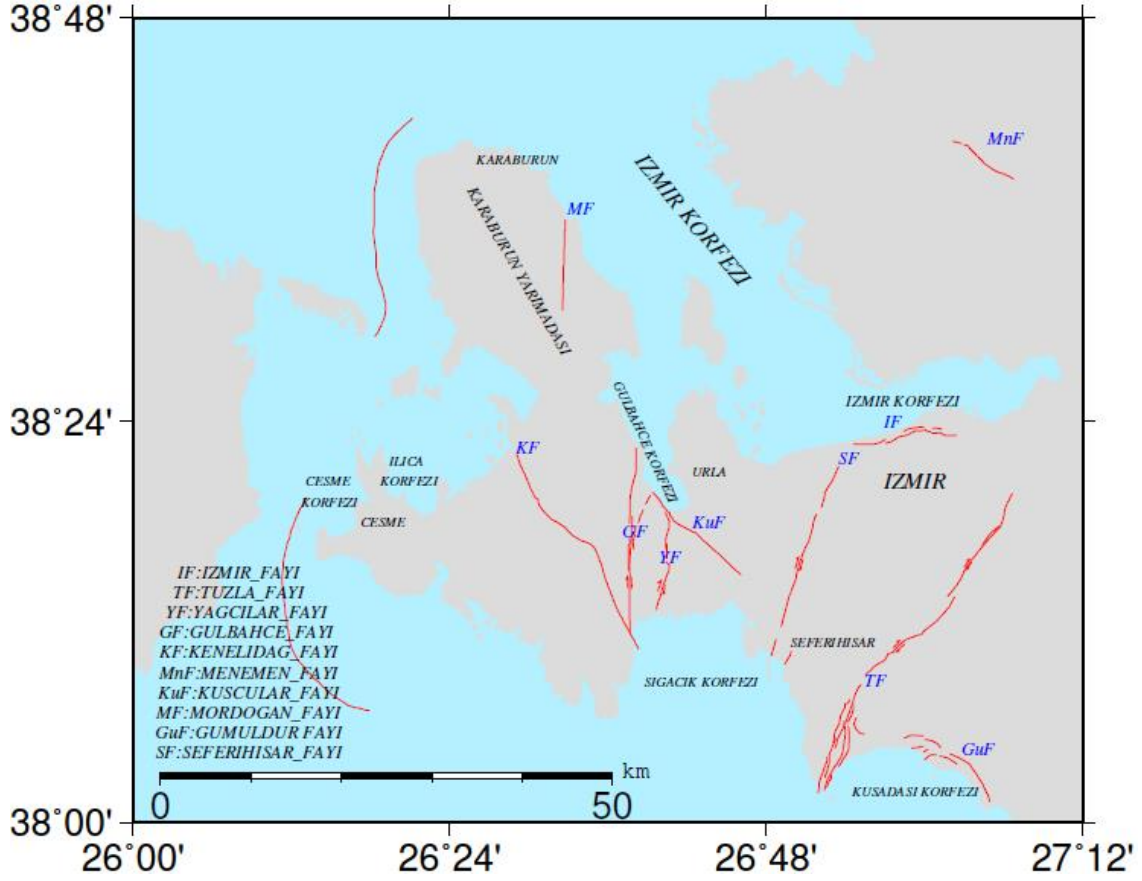
İzmir ve çevresine ait diri fay haritası incelendiğinde, on üç adet diri fayın yer aldığı görülmektedir (Emre vd. 2005, Emre ve Özalp 2011, Emre vd. 2011). Aynı zamanda tarihsel ve aletsel dönemlerde kaydedilen depremler incelendiğinde, bu fayların pek çok depreme kaynaklık ettiği de bilinmektedir (Şekil 2.4).





**Şekil 2.4** İzmir ve yakın çevresi diri fay haritası (Emre ve Özalp 2011, Emre vd. 2011'den birleştirilmiştir).

Bu çalışmada ele alınan Gülbağçe fayı, İzmir'in batısında yer almaktadır. Bu nedenle, çalışma bölgesi ve civarında yer alan fayların literatürden bahsedilmektedir. Gülbağçe fayı ve çalışma bölgesi içerisinde yer alan diğer faylar şekil 2.5'de görülmektedir.



Şekil 2.5 Çalışma bölgesinde yer alan faylar.

### 2.2.1 İzmir Fayı

İzmir Körfezi'nin doğusunda yer alan ve körfezi güneyden morfolojik olarak sınırlandıran D-B doğrultulu İzmir fayı, Emre ve Barka (2000) tarafından yapısal bir süreksizlik olarak tanımlanmaktadır. Güzelbahçe ve Pınarbaşı arasında uzanım gösteren İzmir fayının karadaki uzunluğu 35 km'dir. İzmir fayının batı bölümünde ve Balçova civarında fay boyunca gözlemlenen jeomorfolojik yapılar bu fayın normal fay olarak Holosen 'de aktif olduğunu göstermektedir (Sözbilir vd. 2004, Emre vd. 2005).

Emre vd. (2005) yaptıkları çalışmada İzmir fayının batı ucunda fayın güney ve kuzey yönlerinde iki ayrı kola ayrıldığı belirtilmektedir. Güneyde yer alan kolun, KD-GB doğrultulu ve Seferihisar fayının uzanımında sonlandığı aynı zamanda sağ doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip olduğu belirtilirken, kuzeyde yer alan kolun ise kuzeybatıya doğru yönlendiği ve Çiçekadaları ile Uzunada doğusunda konumlanan

KKB-GGD doğrultulu bir fay zonuyla bağlantılı olduğu düşünülmektedir. İzmir Körfezi'nin batısında yapılan önceki çalışmalarda, Uzunada'nın doğusunda KKB-GGD doğrultulu bir tektonik oluk veya çöküntünün varlığı ve bu yapıyı kontrol altında tutan fayların Kuvaterner'e ait sedimanları körfez tabanında kestiği belirtilmektedir (Aksu vd. 1987, Ocakoğlu vd. 2004, 2005).

Emre vd. (2005), fay içerisinde bulunan doğrultu değişimi ve sıçrama geometrisini dikkate alarak fayın batı kısmını Balçova ve Narlıdere olarak iki geometrik segmente ayırarak incelemiştir. Balçova segmenti, birbirine paralel faylardan oluşan zonal bir yapı sunmaktadır ve segmentin doğrultusu  $K82^{\circ}D$  uzunluğu ise 15 km'dir. Halkapınar ve Belkahve arasında uzanım gösteren, fayın doğu bölümünü meydana getiren Pınarbaşı segmenti ise iki alt bölümden oluşmakta ve yaklaşık 15 km uzunluğundadır. Batıda yer alan alt bölümün genel uzanımı D-B yönlüdür. Aynı segmentin doğu alt bölümü ise D-B doğrultusundan  $K65^{\circ}D$  yönündeki fay parçalarına doğru değişmektedir. Çalışmacılar, bu fay parçalarının, çizgiselliğe dönüşerek Belkahve civarında sonlandığını belirtmektedir.

Sümer (2007) normal fayların oluşum mekanizmaları ile faya ilişkin yaptığı kinematik analizleri karşılaştırarak, İzmir fayının normal faylanmayı destekler sonuçlar verdiğini belirtmektedir. İzmir fayı, Emre vd (2011) tarafından güncellenerek haritalanmıştır. Güncellenen diri fay haritasında, fayın doğu bölümü 3 kola ayrılarak gösterilmektedir. En güneyde yer alan kol Kuvaterner, diğer kollar ise Holosen fayı olarak tanımlanmaktadır. Denizde tabanında devam eden kısmıyla birlikte yaklaşık 40 km'yi bulan İzmir fayının Uzel vd. (2012)'de İzmir Körfezi ile Seferihisar yükseltisi arasında yapısal bir sınır oluşturduğu belirtilmektedir.

## **2.2.2 Tuzla Fayı**

İzmir kentinin güneybatısında, Gaziemir ve Doğanbey arasında yer alan Tuzla Fayı, KD-GB uzanım gösteren yapısal bir hattır. Bu yapısal hat, Türkiye Diri Fay Haritası'nda Cumaovası çizgiselliği (Şaroğlu vd. 1987, 1992) şeklinde adlandırılırken, Eşder (1988)'de Cumalı Ters Fayı olarak, Emre ve Barka (2000)' da Tuzla fayı, Genç

vd. (2001) ile Uzel ve Sözbilir (2008)'de Orhanlı Fay Zonu olarak, Güncellenmiş Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Emre vd. 2011) ise Tuzla Fayı olarak farklı adlandırmalarla karşımıza çıkmaktadır. Bu fayın karada izlenen uzunluğu 42 km'dir

Bölgedeki jeolojik verilere göre Genç vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, Miyosen döneminde Tuzla fayının Çubukludağ havzasını batıdan çevrelediği ve fayın sol doğrultu atım mekanizmasını gösterdiği belirtilmektedir. Ocakoğlu vd. (2004, 2005) tarafından yapılan çalışmalarda, Tuzla Fayı'nın güneybatı doğrultusunda Ege Denizi içinde devam ettiğini ve denizaltında kalan kısmıyla birlikte fayın uzunluğunun 50 km'yi aştığı düşünülmektedir. Emre vd. (2005) tarafından yapılan çalışmaya göre ise Tuzla fayı, Doğanbey Burnu ile Gaziemir arasında KD-GB yönelim ile uzanan üç ana fay segmentini kapsamaktadır. Bu üç ana fay segmenti, kuzeyden güneye doğru sıralı şekilde Çatalca, Orhanlı ve Cumalı segmentleri olarak adlandırılmıştır. Araştırmacılar, aynı zamanda fayın bölgesel güncel kinematik içerisinde, bölgede Barka vd. (2000) ve McClusky vd. (2000)'nin yaptığı GPS çalışmalarının sonuçlarına dayandırarak Gediz ve Büyükenderes grabenlerinin batısında doğrultu atımlı transfer fayların varlığına dikkat çekmektedirler. Tuzla fayının Gediz grabeninin batı ucunda yer alması nedeniyle, sağ doğrultu atım fay mekanizmasıyla bu transfer faylardan biri şeklinde çalıştığı düşünülmektedir.

Uzel (2007)'de Orhanlı fay zonu olarak adlandırılan Tuzla fayı, yaklaşık 40-45 km uzunlukta ve 1-3 km genişlikte K-KD doğrultuda karada uzanım göstermektedir. Fayın mekanizması, sağ doğrultu atım olarak tanımlanmaktadır. Çalışmacı fayın birbirine paralel ve yarı-paralel 6 segmentten oluştuğunu belirtmektedir.

### **2.2.3 Seferihisar Fayı**

Konum olarak İzmir'in güneybatısında ve Seferihisar civarında bulunan Seferihisar fayının, karada yer alan kısmı kuzeyde Güzelbahçe ve güneyde Sığacık körfezi arasında uzanım göstermektedir ve uzunluğu 23 km'dir. İzmir ve Sığacık körfezleri arasında geçmişte yapılan çalışmalarda fay batısında Seferihisar fayının dışında da bazı faylar haritalanmıştır.

Seferihisar fayı, İnci vd. (2003)'deki Seferihisar-Yelki fay zonuna karşılık gelmektedir. Ocakoğlu vd. (2004,2005) tarafından yapılan çalışmalarda Seferihisar fayının Ege Denizi tabanında devamlılık gösterdiği sonucuna varılmıştır ve çalışmalar aynı zamanda fayın deniz tabanında en genç çökelleri etkilediğini göstermektedir. Bu jeomorfolojik veriler, Seferihisar fayının Holosen'de aktif olduğuna dair yorumlanmaktadır. Fayın, denizin altında kalan kısmıyla birlikte toplamda yaklaşık 30 km uzunluğunda olduğu düşünülmektedir. Fayın kuzey bölümü, ana doğrultusundan sapma göstererek, İzmir fayından ayrılan bir kolla uyum göstermektedir. Güzelbahçe civarında faya paralel olarak gelişen küçük fayların bir kısmının normal fay olarak geliştiği gözlenmiştir. Seferihisar fayına ilişkin yapılan çalışmalarda, yüksek açılı fay düzlemleri boyunca doğrultu atım mekanizmasına sahip faylara has makaslama yapıları geliştiği belirlenmiştir. İnci vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada fay düzlemlerinde sağ doğrultu atım mekanizmasına özgü yapılar belirlenmiştir. Aynı zamanda fay çizgisi boyunca bulunan üç dere yatağının ötelenme değerleri ölçülerek, yönlerinin sistematik olarak sağ yönlü olduğu belirlenmiştir.

Sözbilir vd. (2003) bu fayın, İzmir-Balıkesir Transfer Zonu (İBTZ) içindeki ana tektonik yapılardan biri olduğunu belirtmişlerdir ve yaptıkları çalışmaya göre bölgesel kinematik içerisinde Seferihisar fayının, İzmir fayıyla bağlantılı bir yapı olduğunu belirtmektedirler. Bu nedenle Seferihisar fayı da Tuzla fayı gibi Gediz Grabeni batısındaki transfer faylardan biri olarak değerlendirilmektedir (Emre vd. 2005, Emre ve Özalp 2011).

#### **2.2.4 Kuşçular Fayı**

Kuşçular fayı olarak adlandırılan yaklaşık K-G doğrultulu fay, Sığacık Körfezi'nin güneyinde dar bir koridor halinde başlayarak Gülbahçe Körfezi'ne kadar uzanım göstermekte ve 14 km uzunluğundadır (Sümer 2007, Uzelli 2013).

Sümer (2007) yaptığı arazi gözlemleri ve kinematik analizler sonucunda, zona ait K-G doğrultulu ana fayların doğrultu atımlı fay mekanizmasına sahip olduğunu ancak bu fayların kuzey segmentlerinden alınan ölçülere göre ve sıçrama hareketi yaptıkları yerlerde normal faylanmaya yakın sonuçlar elde ettiğini belirtmektedir. Aynı zamanda

bu kuvvetler etkisinde kalan alanların transtansiyonel alanlar olarak tanımlandıklarını ve bu fay zonunu oluşturan kuvvetlerin KD-GB genişleme yönleriyle temsil edildiklerini belirtmektedir.

Bu fay, Göktaş (2011)'da birbirini kesen iki farklı segmentten oluşan Malkaça fayı olarak isimlenmektedir. Yağcılar fayını kuzeyden sınırlayan fayın bu çalışmada niteliği ise normal fay olarak belirtilmektedir.

Uzelli (2013)'de K-G doğrultulu Kuşçular-Urla fay zonunun, güneyde gözlemlenen paralel iki fay seti ile başladığı ve bu fay setlerinin de doğu ve batı olarak iki ayrı kola ayrıldığı belirtilmektedir. Doğuda yer alan fay setinde normal faylanma gözlemlenirken, batıda yer alan fay setinde sol doğrultu atımlı fay mekanizması gözlemlenmektedir. Çalışmacı tarafından Gülbahçe ile Kuşçular arasında yer alan faylar "Batı Kuşçular Segmenti" adı verilerek hava fotoğrafları ve arazi çalışmaları ile detaylı olarak incelenmiştir. Segment içerisinde uzanımı K-G olarak belirlenen Gülbahçe alt havzasının doğusundaki sınırı oluşturan, sağ yanal doğrultu atım mekanizmasına sahip bir fay haritalanmıştır. Çalışmacı yaptığı kinematik analizler sonucunda Kuşçular-Urla fay zonuna ait genel faylanmanın, doğrultu atım fay mekanizmasını destekler nitelikte olduğunu belirtmektedir.

### **2.2.5 Yağcılar Fayı**

Yağcılar fayı, literatürde İnci vd. (2003) tarafından ilk defa Demirci-Yağcılar fay zonu olarak tanımlanmaktadır, aynı fay Sümer (2007)'de ise Demircili-Yağcılar fay zonu adıyla tanımlanmaktadır. Sümer (2007) yaptığı çalışmada zonun, Demircili köyünün güneyinden başlayarak kuzeye doğru Yağcılar köyünden geçerek Gülbahçe Körfezi'ne kadar uzandığını ve 11 km uzunluğunda, bazı yerlerde 2 km genişliğe ulaşan K-G doğrultulu bir zon olduğunu ifade etmektedir. Aynı zamanda araştırmacı, ana fayın sağ doğrultu atım fay mekanizmasına sahip bir fay olduğunu belirtmektedir. Sözbilir vd. (2005) 17 Ekim 2005 tarihinde meydana gelen depremlerden sonra arazi gözlemlerinde, Demircili Koyu'ndan başlayarak Yağcılar köyüne kadar ulaşan bir alan boyunca yüzey deformasyonları tespit etmişlerdir. İncelemeler sonucunda meydana gelen çatlakların

sağ doğrultu atımlı fay mekanizmasıyla oluştuğunu göstermektedir.

Bu fayın tanımlanmış olduğu diğer çalışmalar Emre vd. (2005,2011) tarafından yapılan çalışmalardır. 17-25 Ekim 2005 tarihlerinde Sığacık'ta meydana gelen depremlerin, bu zon içerisinde sağ yanal doğrultu atım hareketime bağlı yüzey kırığına neden olduğunu belirtmişlerdir (Emre vd. 2005). Çalışmacılar, aynı zamanda tanımlamış oldukları bu fayı, Türkiye Diri Fay Haritasında aktif bir fay niteliğinde göstererek, haritalamışlardır. Sözbilir vd. (2009) yaptıkları çalışmada bu aktif fay zonuna değinerek, fayın Yağcılar'ın kuzeyinde yer alan bölümünde 2 km'lik bir alan boyunca güneye doğru açılma gösterdiği ve bu açılma alanının içerisinde pek çok oblik atımlı normal faya ayrıldığı ileri sürülmüştür.

Faya ilişkin yapılan en güncel jeolojik çalışma ise Ulutaş (2019) tarafından yapılan çalışmadır. Çalışmacı, diri fay haritasında Yağcılar fayının, sağ doğrultu atım mekanizmasını gösteren bir fay olarak değerlendirilse de sol yönlü hareketine karşılık gelen KKB-GGD doğrultulu segmentiyle, güncel olarak sağ yönlü hareketine karşılık gelen KKD-GGB doğrultulu segmentinin Yağcılar köyünün batısında bir makaslama zonu oluşturduğunu ve Yağcılar fayının Gülbahçe fay zonunun KD doğrultulu ve sağ yönlü sentetik bir kolu olarak çalıştığını belirtmektedir.

### **2.2.6 Gülbahçe Fayı**

Literatürde Karaburun Yarımadası ile İzmir Körfezi arasında yapısal ve morfolojik önemli bir çizgi olarak tanımlanan Gülbahçe fayı, daha önce yapılan çalışmalarda Karaburun fayı olarak da adlandırılmıştır (Erdoğan 1990, MTA 2002). Ocakoğlu vd. (2004,2005) tarafından yapılan çalışmalarda, Karaburun civarında bu faya paralel olarak deniz tabanında pek çok fay haritalanmıştır. Emre vd. (2005) tarafından bu çalışma doğrultusunda Gülbahçe fayı olarak yeniden adlandırılmıştır. Fayın karada yer alan kısmı kuzeyde Gülbahçe Körfezi, güneyde ise Sığacık körfezi arasında uzanım göstermektedir ve 15 km uzunluğundadır. K-G doğrultulu fayın her iki ucu da su altındadır ve deniz tabanında devam eden kısımlarıyla birlikte fayın toplam uzunluğunun 70 km'ye ulaştığı düşünülmektedir.

Emre vd. (2005) 'nin yaptıkları çalışmada fayın çok yüksek eğimli olduğu ve Kuvaterner morfolojisini denetlediğini belirtilmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada, İzmir kenti için önemli deprem kaynağı olarak değerlendirilen Gülbahçe fayının, büyük kısmının su altında kalması nedeniyle fayın geometrik segmentleri ile ilgili detaylı yorumlar yapılamamaktadır. Ancak fayın, Gülbahçe Körfezi güneyindeki batıya doğru sıçrama hareketi sonucu fayın doğrultusunda oluşan değişimin buradaki gevşeyen bir büklüm veya sıçrama geometrisinin varlığına işaret ettiği belirtilmektedir. Faydaki bu geometri nedeniyle de bu çalışmada fay kuzey ve güney olmak üzere iki farklı geometrik segment olarak ele alınmaktadır. Güney segment, Sığacık ve Gülbahçe arasında yer almakta ve 30 km uzunluğundadır. Kuzey segment ise Karaburun segmenti olup yaklaşık 40 km uzunluğundadır. Çalışmacılar, Ocakoğlu vd. (2004,2005) tarafından yapılan çalışmada belirlenen genel fay geometrisi içinde kuzey segment doğrultusundaki sıkışma bileşenini ve bölgesel morfotektonik yapıyı birlikte değerlendirerek, Gülbahçe fayının mekanizmasını sağ doğrultu atımlı bir fay olabileceğini düşünmektedirler.

Sözbilir vd. (2009), K-G doğrultulu Gülbahçe fay zonu olarak tanımladıkları yapısal süreksizliğin, Sığacık Körfezi içerisinde KB-GD doğrultulu sol yönlü doğrultu atımlı faylarla çiçek yapısı meydana getirecek şekilde birleştiklerini belirtmektedirler (Şekil 2.1). Yapılan arazi çalışmalarında, 17-21 Ekim 2005 tarihlerinde meydana gelen depremlerle bağlantılı gelişen deformasyonlar gözlemlenerek, Gülbahçe fayının bu depremlerle ilişkili olduğu ve bu çiçek yapısı içinde yer alan bir kol olduğu belirtilmektedir.

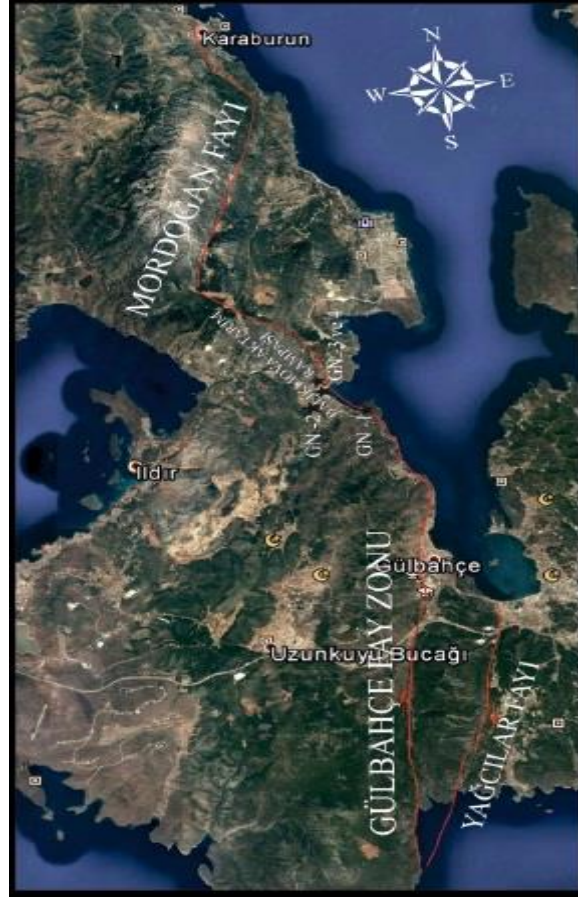
Emre ve Özalp (2011) bu yapısal çizgiyi “Gülbahçe Fay Zonu” olarak tanımlamışlardır ve Türkiye Diri Fay Haritasında güncelleyerek zonun kuzeyinde dallanan bir yapıda üç ayrı kola ayırarak, güneyde ise tek kol şeklinde göstererek haritalamışlardır (Şekil 2.2).

Uzelli vd. (2017) yaptıkları çalışmada fay zonları ve segmentler şeklinde çalışma bölgesindeki uzanımlarına göre fayları eşleştirerek, K-G, KD-GB ve KB-GD uzanımlı faylar olarak üç başlık altında incelemişlerdir. Gülbahçe fay zonu ve segmentlerinin güneyde doğrultu atım niteliği göstermesine rağmen kuzeyde normal fay niteliğinde



verev özellik gösterdiğini, KD-GB yönelimli fayların genel olarak doğrultu atımlı faylar olduğunu, Gülbahçe fayı ve Yağcılar fayının kuzeyinde yer alan bölümlerin, bu fay gruplandırmasının bir parçası olarak düşünülebileceğini belirtmektedirler. Gruplandırılan, KB-GD uzanımlı fay parçalarının ise, Turasan ve İçmeler alt-havzalarının ana havzaya sınır yapıları olduklarını belirtmektedirler.

Ulutaş (2019)'da Karaburun Yarımadası'ndaki aktif faylarla ilişkili jeomorfometrik belirteçler ortaya koyulmuş ve ilgili indisler hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalara göre; Gülbahçe Havzası'nda tektonik aktivite sınıfının çok yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmacı elde ettiği arazi verileri doğrultusunda, Karaburun Yarımadası'nı doğudan çevrelemekte olan Gülbahçe fayının Yağcılar fayı ve Kenelidağ fayı ile ilişkili olduğunu ve birlikte çalıştıklarını belirtmektedir. Yağcılar fayının Gülbahçe fayının sintetik kolu, Kenelidağ fayının ise antitetik kolu şeklinde geliştiğini belirtmektedir. Aynı zamanda bu çalışmada ilk defa Mordoğan fayının sağa doğru sıçramasına karşılık gelen Gülbahçe fayı ve karadaki uzunluğu 10 km olan zon boyunca, jeomorfolojik özelliklerin yorumlanmasıyla Gülbahçe Fayı ile Mordoğan fayı arasında saptanan yaklaşık 10 km uzunluğunda bir aktarım rampası olan "Balıklıova Aktarım Rampası"ndan söz edilmektedir. Mordoğan ve Gülbahçe faylarının sol yönlü doğrultu atımlı faylarla sınırlandırılmış bu aktarım rampasıyla birbirine bağlandığı savunulmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Balıklıova aktarım rampası google earth görüntüsü (Ulutaş 2019).

Literatürde Gülbağçe fayının, bölgenin tektonik rejimini morfolojiye yansıttığı gözlemlenmektedir. Ancak fayın her iki ucunun da su altında kalması sebebiyle bu fayın segmentleri ve diğer faylarla geometrik ilişkisine ait kesin bilgiler bulunmamaktadır.

### 2.2.7 Kenelidağ Fayı

Sığacık ve Ildır körfezleri arasında uzanım gösteren Kenelidağ fayı, literatürde ilk kez Çakmaköğlü ve Bilgin (2006) tarafından yapılan çalışmada haritalanan bir faydır. Çalışmacılar, fayı tek parça halinde ve niteliğini belirtmeden göstermektedirler. Karaburun Yarımadasını iki mikro plakacığa ayıran KB-GD doğrultulu Sığacık ve Ildır körfezleri arasında uzanım gösteren fay yaklaşık 22 km uzunluğundadır.

17-20 Ekim 2005 tarihlerinde Sığacık'ta meydana gelen depremlerin incelendiği Aktar vd. (2007) 'ne göre bu depremlerdeki artçı şokların KB-GD doğrultulu dış merkez

dağılımı, Kenelidağ fayının güneydoğu kısmındaki yaklaşık olarak 10 km'lik bir alan içerisinde yoğunlaşmaktadır ve fayın kırılan bölümündeki uzanım boyunca sıralanan ana ve artçı depremlerin odak mekanizma çözümlerinin K25°B doğrultulu ve sol doğrultu atım mekanizmasını göstermektedir.

Tan (2013)'da bu fay, "Karaburun Sismik Zonu" olarak tanımlanmaktadır. Mikrosismisite gözlemleri sonucunda KB-GD doğrultulu sol yanal atımlı bir fayın varlığını ortaya çıkarmaktadır. Araştırmacı, bu bölgedeki yüksek mikro deprem aktivitesini Sığacık ve Gerence körfezleri arasında yer alan yaklaşık 40 km uzunluğundaki Uzunkaya sokulumu ile bağlantılı olduğunu savunmaktadır.

Kenelidağ fayı, Göktaş (2011 ve 2014)'da KB-GD doğrultulu ana fayın KB kısmı geçici olarak "Zeytincik fayı" ve GD kısmı "Kenelidağ fayı" olarak ayrılarak adlandırılmış ve bu fayların morfolojik verileri değerlendirilerek haritalanmıştır. Göktaş (2019)'da Kenelidağ fayı, diri fay haritasına eklenerek Holosen fayı olarak belirtilmektedir.

Ulutaş (2019) yaptığı çalışmada arazide gözlemleri sonucu Gerence (Ildır) ve Sığacık Körfezleri arasındaki jeomorfolojik belirteçlerin sol yanal bir hareketi gösterdiğini belirtmektedir. Çalışmadan elde edilen kinematik verilerin sonucunda ise, sağ yönlü doğrultu atımlı hareketin, sol yanal verev atımlı bir hareketle üzerlenen Kenelidağ fayının iki ayrı hareket mekanizmasını taşıdığını belirtmektedir. Bunlara ilave olarak, fayın Gülbahçe fay zonunun antitetik kolu olarak yeniden reaktive olduğunu ve bu bölgedeki sismik aktiviteyi kontrol altında tutan çiçek yapısının batıdaki kolu olarak çalıştığını savunmaktadır.

### **2.2.8 Mordoğan Fayı**

Mordoğan fayı, literatürde farklı adlandırmalarla karşımıza çıkmaktadır. Kaya (1979)'da Karaburun Yükseltisi, Ocağolu vd. (2004,2005) tarafından yapılan çalışmalarda Karaburun Fayı, Emre vd. (2011)'de Mordoğan fayı, Uzel vd. (2013)'de ise Karaburun fay zonu olarak ele alınmaktadır. İzmir Körfezi'nin batı sınırını meydana getiren Mordoğan fayı, Karaburun ile Gülbahçe Körfezi arasında morfolojik belirginler

sunmaktadır. Yay şekilli bir geometri göstererek, yaklaşık 12 km uzunluğundadır.

Kaya (1979)'da Ortadoğu Ege Çukurluğu içerisinde bulunan Karaburun Yükseltisi, Miyosende büyüme fayları olarak çalışan KD ve K doğrultulu fayların buradaki yapısal değişime neden olduğu ve bu fayların Miyosenden bugüne kadar farklı zamanlarda yeniden aktif hale geldikleri belirtilmektedir. Karaburun Yarımadası ve çevresinin güncel tektoniğine ilişkin; Ocakoğlu vd. (2004,2005) tarafından yapılan sismik çalışmalarda su altı verileri doğrultusunda, K-G doğrultusunda açılma, D-B doğrultusunda ise sıkışma kuvvetlerinin etkisi altında olan bölgede, K-G doğrultusundan KB-GD doğrultusuna değişim gösteren doğrultu atım fay mekanizmasının baskın olduğu gözlemlenmektedir. Çalışmacılar, bu fayların sıkışma yönlü pozitif çiçek yapısı oluşturduğunu belirtmektedirler.

Sözbilir vd. (2005, 2008, 2009) 'de Karaburun Yarımadası ile Seferihisar Horstu arasında kalan bölgedeki fayların, doğrultu atım fay mekanizmasına özgü "negatif çiçek yapısı" meydana getirerek bir araya geldikleri bir model öne sürülmektedir. Bu modele göre, KD ve KB doğrultulu faylar, ana fay olarak belirlenen K-G doğrultulu Gülbahçe fay zonunun güneyindeki Sığacık Körfezi içerisinde birleşerek kuzey doğrultusunda dallanan bir yapı meydana getirirler. Mordoğan fayının da içerisinde yer aldığı Uzel vd. (2013)'de Karaburun Fay Zonu, 25 km uzunluğunda 2-4 km genişliğinde N-E eğim açılı bir fay zonu olarak tanımlanmaktadır. Güneyde K-G doğrultuya sahip olan fay, kuzeyde KD-GB doğrultusunda uzanım gösteren fay, yay şekilli bir geometri sunmaktadır. Çalışmacılar tarafından, Karaburun ve çevresinde K-KD doğrultulu eşlenik faylar ve pek çok kıvrım haritalanmıştır. Aynı zamanda çalışmada, yarımadanın kuzeyinde zona dair yaptıkları kinematik analizlerde, fay yüzeylerinde sol doğrultu atım fay mekanizmasına ait veriler ortaya konmaktadır. Çalışmacılar, zonun sol doğrultu atım hareketini gözlemlediklerini ancak sonradan bu fayın eğim atımlı normal fay mekanizmasıyla yeniden hale geldiğini savunmaktadırlar.

Emre vd. (2017) Türkiye Sismotektonik Haritası'nda Mordoğan fayını 12 km uzunluğunda ve normal fay olarak haritalamışlardır. Ulutaş (2019) 'da ise Karaburun ve Gülbahçe fayı arasındaki jeomorfolojik yapılar yorumlanarak, yaklaşık 10 km

uzunluğunda “Balıklıova Aktarım Rampası” varlığı öne sürülmektedir. Çalışmacı yaptığı kinematik analizlerle, Mordoğan fayı ve Gülbahçe fay zonunun sol doğrultu atımlı faylarla sınırlandırılan bu aktarım rampasıyla birbirine bağlı olduğunu desteklemektedir.

### **2.3 İzmir-Karaburun Civarının Depremselliği**

Günümüzde deprem tehlike analizleri, geçmişte meydana gelen depremlerin değerlendirilmesiyle yapılmaktadır. Bu tehlike analizlerinde, depreme kaynak olan fayların, iki ana veri sınıfını oluşturan yapısal özellikleri ve nitelikleri, depremlerin sismolojik bakımdan özelliklerini yansıtmaktadır. Bir önceki başlık altında İzmir kenti ve çevresine ilişkin fayların, bu iki veri sınıfına dair nitelikleri verilmiştir. Yer bilimciler tarafından, deprem aktivitelerinin incelenmesinde, deprem ölçerlerin dünyada yaygın olarak kullanımına geçildiği 1900 yılı sınır kabul edilmektedir. 1900 yılı öncesinde meydana gelen depremler tarihsel dönem, 1900 yılı sonrasında meydana gelen depremler ise aletsel dönem olmak üzere iki ayrı dönem şeklinde incelenmektedir. Çalışma bölgesinde, tarihsel ve aletsel dönemde pek çok deprem meydana gelmiştir. Bölgenin sismik olarak aktifliği, Batı Anadolu tektoniğinin kontrolü açısından önem taşımaktadır. Bu nedenle, bu başlık altında, çalışma bölgesinin tarihsel ve aletsel dönemdeki depremlerden bahsedilecektir.

#### **2.3.1 Tarihsel Dönem Depremleri**

Çalışma bölgesinin içerisinde yer aldığı İzmir kenti ve çevresinin, tarih boyunca pek çok medeniyete ev sahipliği yaptığı tarihsel kayıtlarda yer almaktadır. Bu nedenle de tarihsel döneme ait deprem kayıtlarının oldukça fazla olduğu bir bölgedir. Bu kayıtlarda, İzmir ve çevresinin büyük hasarlara uğradığı ve can kayıplarının yaşandığı bilgilerine ulaşılmaktadır (Ergin vd. 1969, Ambraseys ve Jackson 1998, Papazachos vd. 2000, Sezer 2005, Kalafat vd. 2011).

Sezer (2005) İzmir ve civarına ait tarihsel döneme ilişkin 151 deprem kaydına ulaşarak, depremlerin büyük çoğunluğunun İzmir Körfezi ve Büyük Menderes Grabeni

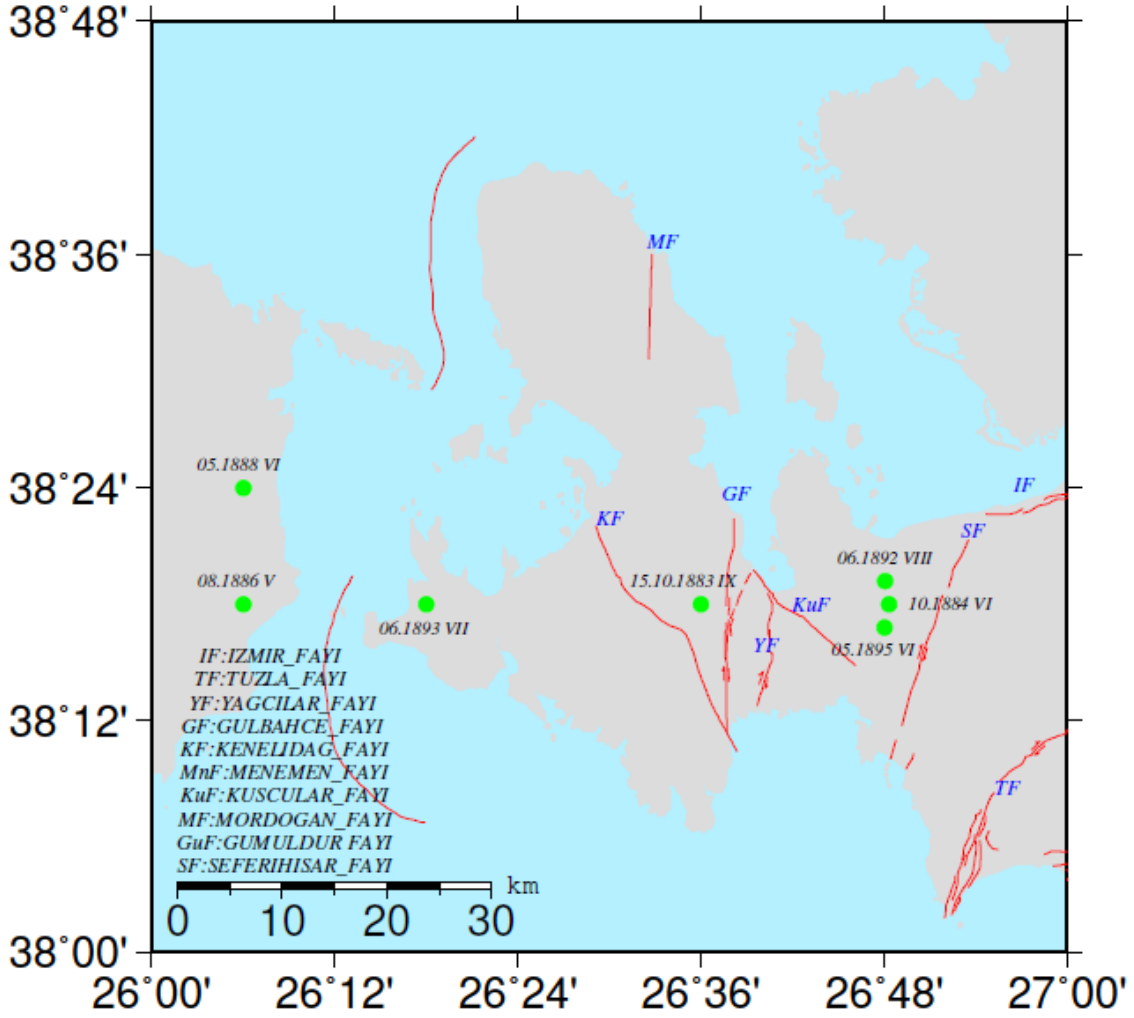
çevresinde olduğunu belirtmektedir. Bu çalışmada elde edilen deprem kayıtlarından birkaçına örnek verilirse; 688 İzmir, 23 Şubat 1653 Batı Anadolu, 10 Temmuz 1688 İzmir, 15 Ekim 1883 Çeşme’de meydana gelen depremlerde 10,000’den fazla can kaybı yaşandığı belirtilmektedir. Urla, Karaburun ve Çeşme civarındaki tarihsel deprem kayıtları incelendiğinde, 1884-1895 yılları arasında büyük şiddetlerde meydana gelen 8 adet depremin bilgilerine ulaşılabilmektedir. Bu sekiz depremden en çok 15.10.1883 tarihinde meydana gelen deprem hakkında bilgi edinilebilmektedir. Urla ve Çeşme civarında deprem esnasında, pek çok yerleşim yerinin yerle bir olduğu; Santorini, Atina, Çanakkale ve Ege adalarında depremin hissedildiği tarihsel kayıtlarda belirtilmektedir. Aynı zamanda 2000’den fazla can kaybı yaşandığı ve artçı depremlerin 60 günden daha fazla süre devam ettiği aynı kayıtlarda yer almaktadır (Ergin vd. 1969, Ambraseys ve Jackson 1998, Papazachos vd. 2000, Sümer 2007).

**Çizelge 2.1** Urla, Karaburun ve Çeşme civarında tarihsel döneme ait büyük şiddetli depremler.

<b>Deprem No</b>	<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Tarih</b>	<b>Şiddet</b>	<b>Bölge</b>
1	38.30 K	26.60 D	15.10.1883	IX	Çeşme, Urla
2	38.31 K	26.80 D	10.1884	VI	İzmir, Çeşme
3	38.30 K	26.10 D	08.1886	V	Çeşme, Urla
4	37.74 K	27.60 D	11.1887	VI	Çeşme ve Muğla
5	38.40 K	26.10 D	05.1888	VI	Urla, Karaburun
6	38.31 K	26.80 D	06.1892	VIII	İzmir, Urla
7	38.30 K	26.30 D	06.1893	VII	İzmir, Urla
8	38.30 K	26.80 D	05.1895	VI	Urla ve Çeşme

(Ergin vd. 1969, Ambraseys ve Jackson 1998, Papazachos vd. 2000, Tan ve Taymaz 2003, KOERI, Sümer 2007).

Çizelge 2.1’de belirtilen büyük şiddetli depremlerden yedi tanesi tez çalışma bölgesi içerisinde yer almaktadır. Bu depremler ve konumları ise aşağıda verilen şekilde yer almaktadır (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Çalışma bölgesinde meydana gelen tarihsel dönem depremleri (Ergin vd. 1969, Ambraseys ve Jackson 1998, Papazachos vd. 2000, Tan ve Taymaz 2003'a kataloglarına göre elde edilmiştir.).

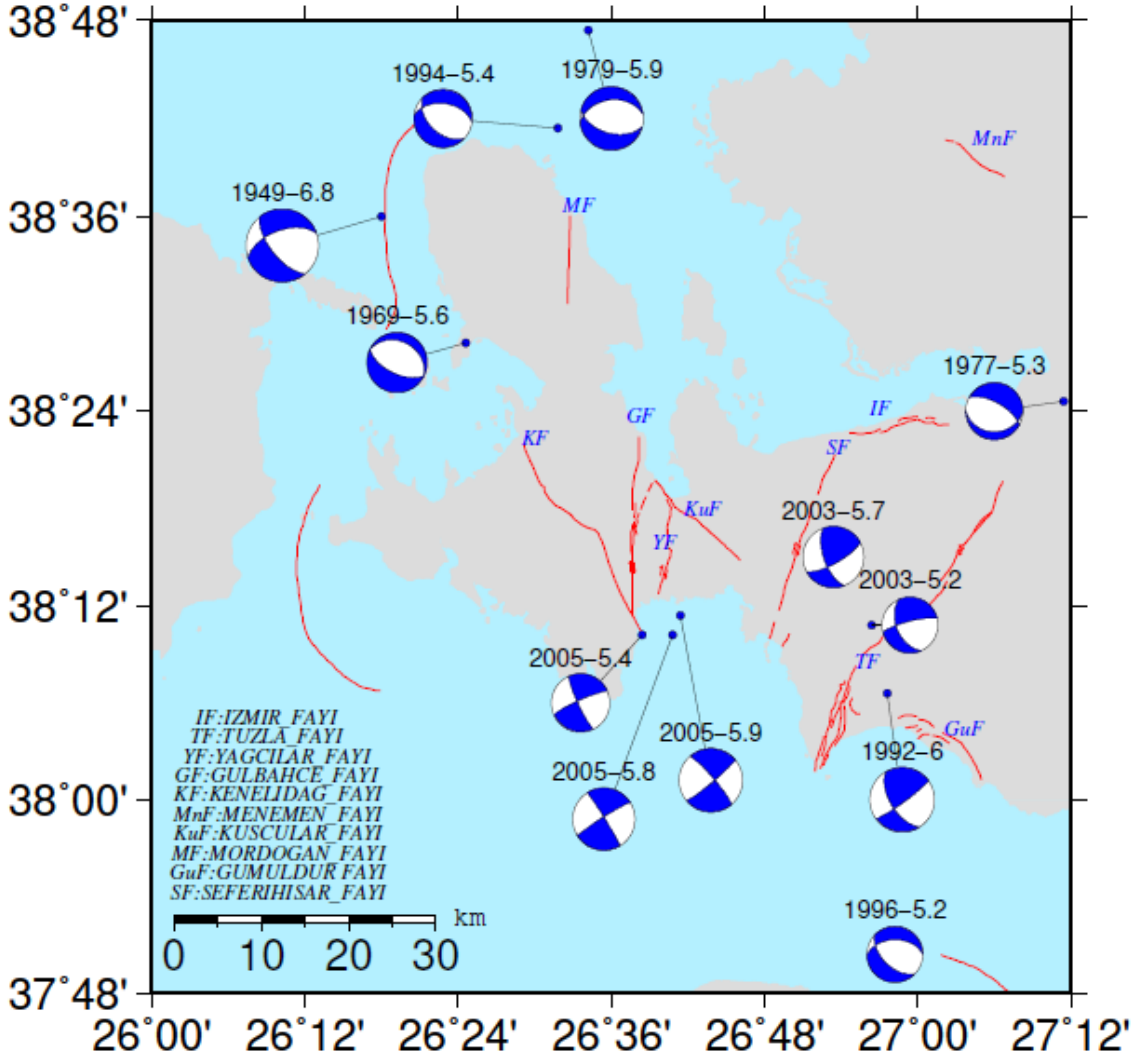
### 2.3.2 Aletsel Dönem Depremleri

Aletsel dönem içerisinde de İzmir ve çevresini etkileyen pek çok deprem meydana gelmiştir. 31 Mart 1928 Torbalı, 22 Eylül 1939 Dikili, 25 Haziran 1944 Uşak, 6 Ekim 1944 Ayvalık ve 23 Temmuz 1949 Karaburun depremleri bölgede büyük hasar ve can kaybına neden olan depremlerdendir. İzmir ve çevresine ilişkin yapılan çalışmalarda, aletsel döneme ait bölgede meydana gelen depremlerin, daha derin odaklı olanların, genellikle İzmir ve Sığacık Körfezleri ile Karaburun yarımadası, Menemen, Kuşadası-Selçuk civarında ve Sakız Adası etrafında olduğu görülmektedir (Tabban ve Gençoğlu 1975, Tezcan vd. 1979, Sezer 2005, Ulutaş 2019). Sezer (2005) yaptığı çalışmada İzmir ve çevresinde, aletsel döneme ait büyüklüğü 4 ve üzerinde 736 depremin kayıt

bilgilerine ulaşarak, bu kayıtlara göre, depremlerin büyük çoğunluğunun İzmir ve Kuşadası Körfezleri ile Aydın, Denizli ve Gediz çevresinde meydana geldiğini belirtmektedir. Elde edilen kayıtlara göre, bu depremler içerisinde 1086 can kaybıyla en fazla can kaybının yaşandığı deprem olarak, 28 Mart 1970 tarihinde meydana gelen Gediz depremi olduğu görülmektedir. Çalışma bölgesi içerisinde Tan (2013) tarafından yapılan sismik çalışmada ise Karaburun Sismik zonu olarak tanımladığı bölgenin yüksek mikro deprem aktivitesine sahip olduğu belirtilmektedir. Bölgenin fay tektoniğini analiz etmek için double-fark algoritma yöntemiyle 5000'den fazla depremi tekrar yerleştirerek fay düzlemlerini ve fay çözümlerini elde etmiştir. Bu zonun 40 km uzunluğunda olduğu KB-GD uzanımlı sol yanal doğrultu atımlı bir fay olduğu belirtilmektedir.

İzmir ve çevresinde aletsel içerisinde magnitüdü 5 ve üzeri meydana gelen depremler ve odak mekanizma çözümleri aşağıda verilmiştir (şekil 2.8) (izelge 2.2).





Şekil 2.8 İzmir ve çevresinde aletsel dönemde 5 ve üzeri meydana gelen depremler ve odak mekanizma çözümleri (Odak mekanizma çözümleri Tan (2013), Çevikbilen vd. (2014) ve KOERI (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute)'den alınan verilere göre elde edilmiştir.).

**Çizelge 2.2** İzmir ve çevresinde aletsel dönemde meydana gelen magnitüdü 5 ve üzeri depremler ve parametreleri.

<b>Enlem</b>	<b>Boylam</b>	<b>Tarih</b>	<b>Büyüklik (Mw)</b>	<b>Derinlik (km)</b>	<b>Strike</b>	<b>Dip</b>	<b>Rake</b>
38.60K	26.30D	1949	6.8		- 250	56	-149
38.47K	26.41D	1969	5.6		16 116	60	-90
38.41K	27.19D	1977	5.3		34 90	28	-116
38.79K	26.57D	1979	5.9		15 262	41	-108
38.11K	26.96D	1992	6		10 54	83	149
38.69K	26.53D	1994	5.4		13 277	47	-117
37.84K	26.97D	1996	5.2		9 269	46	-125
38.25K	26.89D	2003	5.7		6 61	73	153
38.18K	26.94D	2003	5.2		15 156	50	-15
38.17K	26.64D	2005	5.4		11 246	82	-172
38.17K	26.68D	2005	5.8		11 238	85	177
38.19K	26.69D	2005	5.9		10 50	84	-172

Çizelgeye ait veriler Tan (2013), Çevikbilen vd. (2014) ve KOERI (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute)'den düzenlenmiştir.

Son yüzyıl içerisinde doğrultu atımlı faylarda yüzey faylanması göstererek sonuçlanan depremlerin yüzey kırığı yaratması büyüklük sınırı Mw:6,8 olarak kabul görmektedir ve sınır değere en yakın magnitüdle meydana gelen depremlerde oluşan yüzey kırıklarının uzunlukları 35 km'nin üzerine ulaşmaktadır (Ambraseys 1988, Ambraseys ve Finkel 1995, Ambraseys ve Jackson 1988, Barka 1996, Barka ve Kadinsky-Cade 1988, Emre vd. 2005). Emre vd. (2005) bu bilgiler doğrultusunda, İzmir kenti ve çevresindeki doğrultu atımlı faylara benzer bir yöntem uygulayarak, Tuzla fayı ve Gülbahçe fay zonunu büyüklüğü 6,8'den daha büyük depremler meydana getirebilecek, deprem kaynak fayları olarak tanımlamaktadırlar.

Duman vd. (2017) tarafından İzmir ve civarındaki aktif fay ve fay segmentlerine ilişkin fay parametreleri ve üretebilecekleri deprem büyüklükleri belirlenmiştir. (Çizelge 2.3).

**Çizelge 2.3** İzmir ve civarındaki aktif fay ve fay segmentlerine ilişkin parametreler ve üretebilecekleri deprem büyüklükleri.

Segment	Fay		Uzunluk(km)	Doğrultu (RHR)	Eğim (mm/yıl)		Büyüklik (Mw)								
	Tip	No			Min	Max.	Gözlünen	Tahmini							
İzmir Fayı	Normal	38-1	Holosen	19	250	281	65	70	6,55						
		38-2								19	245	283	65	70	6,59
Tuzla Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	39-1	Holosen	24	11	54	87	90	6,51						
		39-2								16	34	59	87	90	6,68
Seferihisar Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	35	Holosen	25	203	225	87	90	6,73						
Yağcılar Fayı	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	34	Deprem Yüzey Kıırığı	12	3	359	87	90	2005/Mw:5.9 6,37						
Gülbahçe Fay Zonu	Sağ Yanal Doğrultu Atımlı	33-1	Holosen	21	4	14	87	90	6,64						
		33-2								24	3	12	87	90	6,71
		33-3								24	338	351	87	90	6,71
Mordoğan Fayı	Normal Sol Yanal Doğrultu Atımlı	32	Kuvaterner	12	11	11	65	70	6,28						
Kenelidağ Fayı	Doğrultu Atımlı	-	Holosen	23	5	41			6,68						

Çizelgeye ait veriler (Duman, T.Y., Emre, Ö., Selim Özalp, S., Çan, T., Olgun, Ş., Elmacı, H., Şaroğlu, F. 2017, Türkiye ve yakın çevresindeki diri faylar ve özellikleri. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı (Ed. T.Y.Duman). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, 12 s. Ankara-Türkiye.) ve Ulutaş (2019)'dan düzenlenmiştir.

Bölgenin günümüze kadar sismik aktivitesi incelendiğinde, İzmir ve çevresinin yoğun sismik aktiviteye sahip olduğu görülmektedir. Çizelge 2.3 incelediğinde ise, tez çalışma kapsamında ele alınan Gülbahçe fayı ve faya ait segmentlerin, İzmir ve çevresi için en büyük depremi üretebilecek fay kaynağı olduğu görülmektedir.

### **3. GNSS ÖLÇÜLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE JEODEZİK DEPREM TEKRARLAMA HARİTALARI**

#### **3.1 Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS –Global Navigation Satellite Systems)**

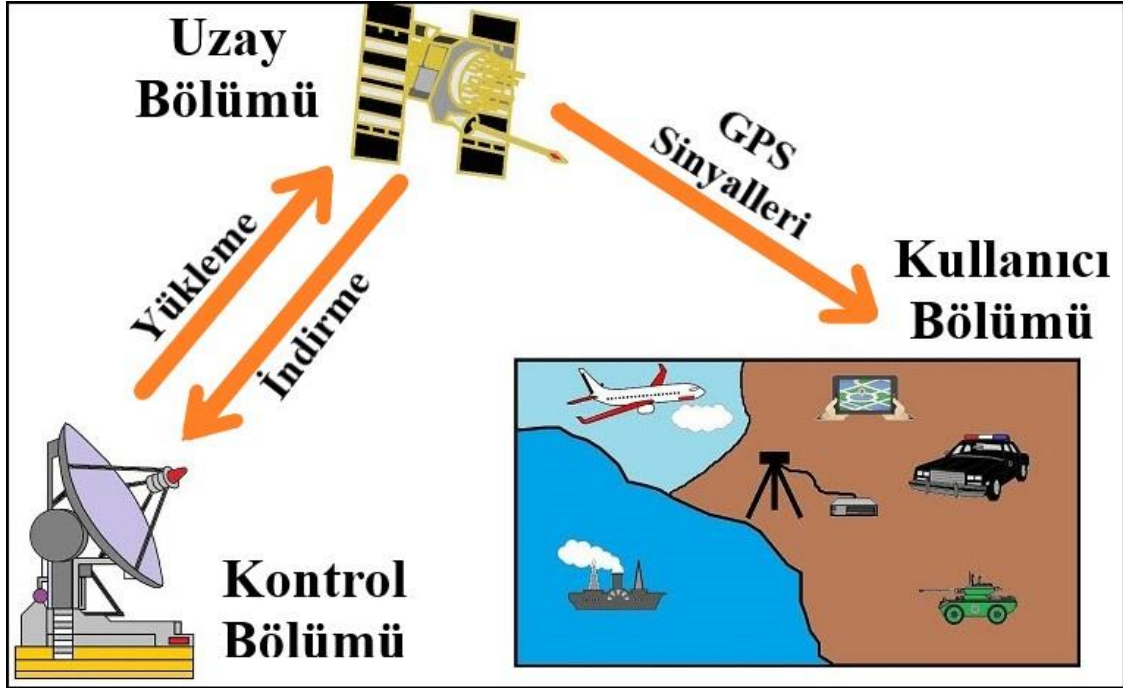
Küresel konum belirleme sistemleri; uydular ve uydu sinyalleri aracılığıyla, herhangi bir yer ve zaman içerisinde anlık bir biçimde kesintisiz olarak, değişik hava şartlarına bağlı kalmadan, küresel bir koordinat sisteminde, yüksek doğrulukla konum, hız ve zaman bilgilerine erişmemizi sağlayan navigasyon sistemi olarak tanımlanmaktadır (Yıldız ve Kahveci 2009). Jeodezide, uzaysal ölçme tekniklerinden biri olan küresel konum belirleme sistemleri, içerisinde birden çok navigasyon sistemini barındırmakta ve sistemlerin tümüne bu ad verilmektedir. Bu navigasyon sistemleri; Amerika Birleşik Devletleri'ne ait olan GPS, Çin'e ait BEIDOU/COMPASS, Japonya'ya ait QZSS, Hindistan'a ait IRNSS/GAGAN, Rusya'ya ait GLONASS, Avrupa Birliği 'ne ait ise GALLILEO'dur (Alkan vd. 2017, Şafak 2019).

Küresel konum belirleme sistemlerinin temel çalışma prensibi ise şu şekildedir; yeryüzünde bulunan alıcılar, dünyaya ve birbirlerine göre konumları çok iyi bilinen yapay uyduları referans noktası olarak kullanmakta, bu uydulara kod ve taşıyıcı dalga faz ölçüleri yapmakta, geriden kestirme yöntemiyle bulunulan konumun koordinatlarını hesaplamaktadırlar (Yıldız ve Kahveci 2009).

#### **3.2 Küresel Konum Belirleme Sistemi (GPS -Global Positioning System)**

Amerika Birleşik Devletleri (ABD) Savunma Dairesi tarafından 1973 yılında askeri amaçlı olarak başlatılan ve daha sonra sivil kullanıma açılan bu sistem ile, dünya üzerinde herhangi bir yerde, gözlem yapılacak noktalar arasında görüş zorunluluğu olmadan, hava şartlarından bağımsız, 24 saat kesintisiz olarak gözlem yapılabilmektedir. Gözlem yapılan alıcı ile uzaydan geriden kestirme yöntemiyle bulunulan yere ilişkin, ekonomik olarak, yüksek konum doğruluğu ve ortak bir referans sisteminde koordinat, hız ve zaman bilgileri elde edilebilmektedir. Yersel ölçüm tekniklerine göre pek çok avantajı bulunan sistem, günümüzde askeri, bilimsel ve sivil amaçlı kullanımlara hizmet sunmakta ve oldukça yaygın kullanım alanlarına sahiptir.

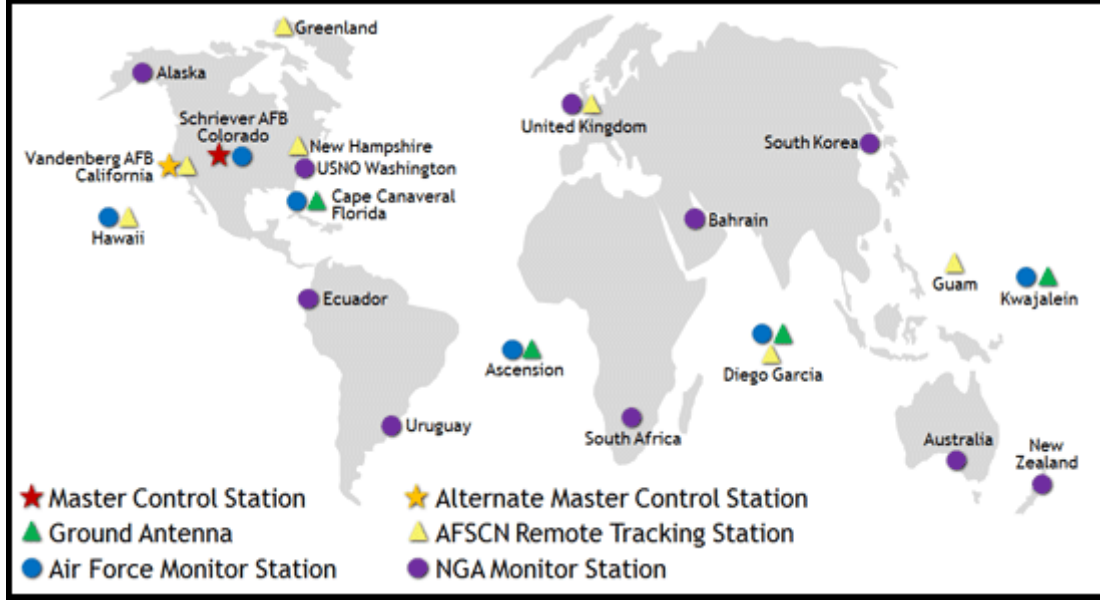
GPS; uzay, kontrol ve alıcı olmak üzere üç ana bölümden meydana gelmektedir.



Şekil 3.1 Küresel konum belirleme sisteminin (GPS) ana bölümleri (İnt. Kyn.3'den değiştirilmiştir).

Uzay bölümünü, dünyayı eşit mesafelerle çevreleyen bir yörünge düzleminde ve dünyadan yaklaşık 20,200 km yükseklikte yer alan GPS uyduları oluşturmaktadır. Yeryüzündeki alıcıların her konumda en az 4 uydu görüntüleyebilmeleri amacıyla her bir yörüngede 4 uydu yer alacak biçimde tasarlanan bu sistem, 1994 yılında 24 uydu ile başlamıştır. Daha sonra 27 uydu ile çalışmasını sürdüren sistem, günümüzde ise toplam 31 adet uydu ile çalışmaya devam etmektedir. GPS sisteminde, görevini bitiren uydular, yeni uydularla değiştirilerek sistem iyileştirilme ve geliştirme çalışmaları sürmektedir (İnt.Kyn.2).

GPS kontrol bölümü, dünya üzerinde konumları çok iyi bilinen ve uygun bir dağılım gösteren aynı zamanda hassas saat alıcıları bulunan; ana kontrol istasyonları, yer antenleri ve sabit izleme istasyonlarından meydana gelmektedir. Bu bölümde, uzay bölümünü oluşturan uyduların yörünge ve saat bilgileri takip edilerek, çalışmaları kontrol edilmekte ve bu uydulardan gelen bilgiler analiz edilerek, düzeltme bilgileri uydulara iletilmektedir (İnt.Kyn.3).



Şekil 3.2 Küresel konum belirleme sistemi (GPS) kontrol bölümü (İnt.Kyn.4).

Küresel konum belirleme sisteminin (GPS) kullanıcı bölümünü ise, GPS uydularından gelen sinyalleri alan alıcı donanımları oluşturmaktadır. Alıcı donanımları genel olarak; sinyalleri alan alıcı anteni, bir alıcı saati, uydulardan gelen verilerin işleme tabi tutulduğu bir mikroişlemci ve güç kaynağından oluşmaktadır. GPS alıcı donanımları, günümüzde gelişen teknoloji ile birlikte farklı disiplinlerdeki kullanımları doğrultusunda değişim göstermektedir. Kullanım amacına bağlı olarak alıcının, donanım özellikleri ve kapasiteleri tüm ölçü aşamalarını ve ölçü hassasiyetini doğrudan etkilemektedir.

GPS alıcıları temel olarak, konumu belirlemek için iki ölçü yapmaktadır. Bunlar; kod ve taşıyıcı dalga faz ölçüleridir. Kod (pseudo uzaklık) ölçüsü, uydu ve alıcının zaman sinyallerinin karşılaştırılması esasına dayanmaktadır. Bu zaman sinyaline PRN (Pseudo Random Noise) adı verilmektedir. Karşılaştırılan zaman sinyalleri ışık hızıyla çarpılarak, uydu ve alıcı antenleri arasındaki uzaklık belirlenmektedir ancak uydu ve alıcı saat hataları, sinyal gecikmelerinden kaynaklanan uzaklığın yanlış belirlenmesi gibi nedenler konum doğruluğunu azaltmaktadır. Bu yüzden, genellikle navigasyon amaçlı kullanılmaktadırlar (Tiryakioğlu 2012).

Taşıyıcı dalga faz ölçüleri ise, kod ölçüsüne benzer niteliktedir. Uydulardan gelen

sinyallerdeki L1 ve L2 fazları, açıldığı andan itibaren alıcıda üretilen benzer sinyal fazları ile aralarında uyum yakalanıncaya kadar karşılaştırılmaktadır. Bu geçen süredeki belirsizlik ise; tam sayı belirsizliği veya faz başlangıç belirsizliği olarak adlandırılmaktadır. Belirsizliğin ortadan kalkması için, GPS alıcısı ile fazlar arasında uyum yakalanıncaya dek aynı uydulara gözlem yapılması gerekmektedir. Faz ölçülerinde de kod ölçülerinde olduğu gibi uydu ve alıcı saat hataları gibi düzenli ve düzensiz hata kaynakları mevcuttur ancak alıcılar, uydular ve L1- L2 fazları arasında gözlem fark kombinasyonları oluşturularak, bu hatalar giderilebilmektedir. Uydu alıcılarında taşıyıcı dalga faz ölçümleri, konum doğruluğu bakımından daha iyi sonuçlar vermektedir. Bu sebeple, hassasiyet gerektiren haritalama çalışmaları, deformasyonların izlenmesi ve bilimsel amaçlı olarak tektonik hareketlerin modellenmesi gibi çalışmalarda kullanılmaktadır (Tiryakioğlu 2012).

### **3.3 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi**

GNSS ölçülerinin değerlendirilmeye başlanmasından önce, alıcı donanımları ile elde edilen ham dataların, alıcıdan özerk bir formata dönüşümünün (RINEX: The Receiver Independent Exchange Format) sağlanması gerekmektedir. Farklı alıcı donanımları ile yapılan gözlemlerin dönüşüm işlemi için mevcutta pek çok program bulunmakta ve bu programlar aracılığı ile bu işlem zahmetsiz şekilde gerçekleştirilebilmektedir. Dönüştürülen rinex formatının, üç ayrı ASCII (American Standard Code for Information Interchange) dosya türü bulunmaktadır. Bunlar; gözlem veri dosyası, navigasyon mesaj dosyası ve meteorolojik veri dosyalarıdır. Bu dönüşüm işlemi sonrasında veriler değerlendirilmeye hazır hale gelmektedir. Rinex veri formatının dosya adlanma yapısı ise o ve d uzantılarıyla bitmektedir, o gözlem dosya türünü d ise hatanaka dosya türünü göstermektedir. Veri formatları bakımından iki dosya türü arasında herhangi bir farklılık bulunmamaktadır. Bu dosya türlerinin içerisinde yapılan gözleme ilişkin; gözlem aralığı ve alıcı donanımına ait bilgiler yer almaktadır. Dosya boyutları bakımından hatanaka dosya türü gözlem dosya türüne göre daha küçük boyuttadır, daha hızlı veri akışı sağlanması adına hatanaka dosya türü gözlem dosyasına göre avantaj sağlamaktadır (Şafak 2019).

Günümüzde GNSS ölçüleri ile elde edilen verilerin değerlendirilebilmesi için, farklı kullanım amaçları doğrultusunda birçok yazılım bulunmaktadır. GNSS alıcı donanımları üreten ve pazarlayan ticari firmalar tarafından alıcı donanımları ile birlikte piyasaya sunulan yazılımlar, ticari amaçlarla kolay bir biçimde kullanılabilen ancak bu yazılımların çalışma prensibinin tam olarak belirlenememesi, kullanıcı tarafından denetlenebilir olmaması gibi nedenlerle yüksek duyarlılık gerektiren çalışmalarda kullanılamamaktadır. ASHTECH OFFICE SUITE, LEICA GEO OFFICE, THALES GNSS yazılımları, ticari amaçlı olarak kullanılan yazılımlardandır (Solak 2015). Deformasyonların izlenmesi, referans yüzeyi (datum) parametrelerinin belirlenmesi, tektonik hareketlerin modellenmesi gibi yüksek duyarlılık gerektiren çalışmalar için ise üniversiteler ve teknoloji enstitüleri tarafından bilimsel amaçlı üretilen ve geliştirilen yazılımlar kullanılmaktadır. BERNESE, GAMIT/GLOBK ve GIPSY/OASIS bilimsel amaçlı üretilen ve günümüzde kullanılan yazılımlardandır. Bilimsel amaçlı kullanılan yazılımlar, ticari amaçlı yazılımlara göre daha kompleks yazılımlardır. Bu nedenle bu yazılımları kullanabilmek için eğitime ve yazılımlarda karşılaşılabilecek sorunları çözmek için bilgi birikimine ihtiyaç vardır (Solak 2015). Bu tez çalışmasında, GPS verilerinin değerlendirilmesi için, Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından günümüzde geliştirilmeye devam eden GAMIT/GLOBK yazılım takımı kullanılmıştır.

### **3.3.1 GAMIT/GLOBK**

Günümüzde MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirme çalışmaları devam eden GAMIT/GLOBK; bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılan, açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Sadece UNIX işletim sistemlerinde komutlarla çalışabilecek şekilde tasarlanan yazılım takımı iki ana modülden oluşmaktadır.

Yazılım takımının, GAMIT modülü ile farklı GNSS alıcı donanımlarından elde edilen ve alıcıdan özerk bir veri (rinex) formatına dönüşen verilerin değerlendirilmesi gerçekleştirilmektedir. Verilerin değerlendirilmesine ilişkin içerisinde pek çok işlem adımı bulunan GAMIT modülü, aynı zamanda bu işlem adımlarını otomatik olarak gerçekleştirme imkanı sunmaktadır.



Modülün asıl işlevi, gözlemlenen kod ve taşıyıcı dalga faz ölçümleri ile faz başlangıç belirsizliğini, atmosferden kaynaklanan etkileri ve saat hatalarını göz önünde bulundurarak, uydu yörüngelerine ilişkin parametrelerin ve üç boyutlu nokta koordinatlarını doğrusal kestirim yöntemiyle dengeleme işlemlerini gerçekleştirmektir. Modülde faz başlangıç belirsizliklerini çözmek için, taşıyıcı dalga faz ölçülerinin birbirinden bağımsız çiftli fark yöntemi kullanılmakta ve birden çok dengeleme işlemi uygulanmaktadır (Erdoğan 2005).

Değerlendirmeye ilişkin ilk işlem adımında, navigasyon mesajı içerisinde yayınlanan uydu ön yörünge bilgileri (broadcast ephemeris) ve uydu saat bilgileri elde edilerek, bu bilgiler doğrultusunda, öncül nokta koordinatlarına dayalı biçimde ilişkili istasyon saat düzeltmeleri hesaplanmaktadır. İkinci işlem adımında ise uydulardan gelen sinyallerin devir kesiklikleri (cycle slips) belirlenerek, bunlar ortadan kaldırılmaktadır. Takip eden diğer işlem adımları ise birbirinden bağımsız olarak çiftli farklardan meydana gelen bir algoritma aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Bu ilk dengeleme işlemi sonucunda King ve Bock (2002)'da belirtilen üç boyutlu koordinatlar, her uyduya ait altı başlangıç şartı, atmosferik zenit gecikme parametreleri ve birbirinden bağımsız çift fark faz başlangıç belirsizliği parametreleri kestirilmektedir (Poyraz 2009).

Birbirinden bağımsız çift-fark faz başlangıç belirsizlik parametreleri, taşıyıcı dalga faz ölçülerinden, faz verilerinin dağılımlarına ve baz uzunluklarına bağlı bir eşleme yöntemi ile ilk dengelemede kestirilmektedir. Bu eşleme yöntemiyle, kısa baz uzunluklarından elde edilen belirsizlik çözümlerinin daha güvenilir olması nedeniyle, GAMIT tüm ağda aynı eşleme ile en kısa baza göre birbirinden bağımsız çift-fark kümesini meydana getirmektedir. Diğer işlem adımında ise; çift-fark uzun dalga boylu belirsizlik parametreleri ilk dengelemeden elde edilen birbirinden bağımsız faz başlangıç belirsizlik parametlerine sabitlenerek, iterasyon uygulanmakta ve güvenilir biçimde çözümlenerek, en uygun tamsayıya yuvarlanmaktadır. Tüm parametreleri belirlemek ve ardışık biçimdeki kısa dalga boylu belirsizlikleri çözmek için ise birbirinden bağımsız çift-farklı gözlemler üzerinde ayrı bir dengeleme işlemi yapılmaktadır (Yavaşoğlu 2003, Erdoğan 2005, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012).

Verilerin değerlendirme işlem adımlarından yukarıda bahsedilmektedir bu işlem adımlarını GAMIT üzerinde gerçekleştirebilmek için, modülün içerisinde yer alan çok sayıda programcıklar kullanılmakta ve sırası ile çalıştırılmaktadır. Bu programların, veri işleme esnasında doğru çalışabilmesi için, girdi dosyalarının doğru hazırlanması önemlidir. Veri işleme esnasında ihtiyaç duyulan fiziksel modeller GAMIT kütüphanesinde yer almaktadır. Bu fiziksel modeller; (troposferik, iyonosferik, rölativistik, solar radyasyon, atmosferik sürüklenme, yeryüzü gelgit) ve alıcı donanımlarına ilişkin bilgiler (alıcı ve anten modeli, anten yüksekliği vb.) alışılan dosya içerisinde açılan komut penceresinde sh\_setup – yr komutunun çalıştırılmasıyla tables klasörü içerisine kütüphaneden otomatik olarak linklenmekte veri işleme esnasında buradan kullanılmaktadır (ztrk 2019).

MAKEXP ve MAKEX programlarında GAMIT formatına uygun gözlem dosyaları üretilmektedir. MAKEXP programında; alıcıdan özerk bir veri formatına dönüşen veriler (RINEX), alıcı donanım bilgileri ve gözlem zamanını içeren Station.info dosyası, oturum bilgilerinin ve uydulara ait PRN numaralarının bulunduğu Sessions.info dosyası kullanılmaktadır. Bu dosyalar aynı zamanda MAKEX’ de girdi verisi olarak kullanılmaktadır. MAKEX programında ise, noktaların koordinat bilgilerinin yer aldığı (L.file) dosya, gözlem anına ilişkin bütün bilgilerin yer aldığı (X-files) dosya ve alıcı saat bilgilerinin bulunduğu (K-files) dosyası kullanılmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken husus; gözlem yapılan noktalara ilişkin yüksek doğrulukta koordinat elde edebilmek için, verilerin değerlendirilmeye başlanmasından önce, sabit kabul edilen noktaların IGS istasyonları (International GNSS Service) olması ve bu istasyonların IERS (International Earth Rotation Service) tarafından koordinatlarının hassas olarak belirlenmiş olmasıdır (Poyraz 2009, Aladoğan 2017, ztrk 2019).

MAKEXP ve MAKEX programları çalıştırılarak elde edilen dosyalar FIXDRV’ da kullanılmaktadır. FIXDRV’ da düzenlenen girdi verileri ile I dosyası (her istasyon ve oturum için saat farklarının ve oranlarının yer aldığı dosya) ve B dosyası (değerlendirme esnasında kontrolü sağlayan bilgileri bulunduğu dosya) oluşmaktadır. Bir sonraki adımda ise MODEL ve ARC programları alıştırılmakta, bu programlar ile uydu yörünge efemerisleri ve türevlerine ilişkin dosyalar oluşturulmaktadır.

Gözlemlenen ve kuramsal ölçme değerleri farkları ile her ölçmenin kısmi türevleri hesaplanmaktadır ve AUTCLN programında kullanılacak olan C-dosyaları oluşturulmaktadır. AUTCLN programında C-dosyaları aracılığıyla uydu sinyallerinden gelen devir kesiklikleri (cycle-slips) ve kaba hatalar saptanmaktadır. C dosyalarının otomatik düzenleme işlemleri gerçekleştirilerek, SOLVE programında girdi verisi olarak kullanılmaktadır. Bu programda bütün parametreler istasyon konum ve uydu yörüngelerine göre (en küçük kareler yöntemi) dengelenmekte ve prefit (öncül) çözümler elde edilmektedir. Öncül çözümler MODEL, AUTCLN ve SOLVE programlarında tekrar kullanılarak ise postfit (soncul) çözümler elde edilmektedir. GAMIT modülü kullanımının sonuç verileri olan Q ve H dosyaları oluşmaktadır. Q dosyaları içerisinde faz başlangıç belirsizliklerinin çözümleri ve sonuçlara ait hatalar bulunmaktadır ve bu dosya ile veri işlemeye ait adımlar izlenebilmektedir. H dosyaları içerisinde ise dengeleme sonrası türetilen ölçüler ve kovaryans matrisleri yer almaktadır. Oluşan H dosyaları, diğer bir ifadeyle dengelenen değerler, daha sonra GLOBK modülünde girdi verisi olarak ağırlıklı ortalama nokta koordinatları, noktalara ait hızlar, uydulara ait parametreler ve farklı GNSS alıcı donanımlarıyla yapılan gözlemlerin kısa ve uzun zaman aralıkları içerisindeki hassasiyetlerini belirlemek için kullanılmaktadır (Erdoğan 2005, Herring vd. 2009, Tiryakioğlu 2012).

CFA (Chartered Financial Analyst Institute) tarafından geliştirilen GLOBK modülü ise, daha sonra MIT tarafından bu yazılım takımına eklenmiştir. GLOBK modülü ile, GAMIT modülünde değerlendirilen verilerin çıktıları (nokta konumları, yörünge parametreleri, yer dönme parametreleri ile ilgili kovaryans matrisleri) birleştirilerek kalman filtreleme işlemi gerçekleştirilmektedir (Herring vd. 2006b).

GLOBK modülünde veri işleme aşamalarında kullanılan programlar; HTOGLB, GLRED, GLOBK ve GLORG' dur. GLOBK formatına uyarlanan H dosyaları, HTOGLB programı ile her oturum için ayrı ayrı H dosyaları olarak üretilmektedir. Tüm kampanya dosyalarının tek bir H dosyasına toplanması için, küresel çapta değerlendirilen ve internet yoluyla kullanıcıya sunulan H dosyaları kullanılmaktadır bu sayede küresel ve bölgesel çaptaki çözümler bir arada toplanmaktadır. Verilerin birleştirilme işlemi, GLRED programı ile gerçekleştirilebilmekte ve böylece her nokta

için ayrı ayrı uzun veya kısa dönem zaman serisi elde edilebilmektedir. Aynı zamanda veriler içerisindeki uyumsuzluklar tespit edilerek, düzeltilebilmektedir. GLRED programıyla H dosyaları günlük olarak birleştirilmektedir çalışma amacı doğrultusunda GLOBK programı ile haftalık, aylık ve yıllık olarak farklı biçimlerde tek bir H dosyası elde edilebilmektedir. GLORG programı ise referans sistemini tanımlamakta ve noktalara ait hız bilgilerinin üretilmesinde kullanılmaktadır (Poyraz 2009).

GAMIT ile elde edilen nokta ve uydu vektörlerinin sonuçları, büyük varyans ve korelasyona sahip bir kovaryans matrisi meydana getirmektedirler. Fakat yüksek miktarlarda sınırlanan çözümlerin uygun geometrik bağlantılarının devam etmesine olanak sağlanmaktadır. Bu yöntem, koordinatların eş zamanlı olarak belirlenmesi için, birden çok oturumda hesaplanan dengelemeleri birleştirme imkanını sunmaktadır. Aynı zamanda bu yöntemle hem nokta hem de uydu parametrelerindeki değişik öncül değerlerin kullanımlarının ortaya çıkardığı etki sınırlanabilmektedir. Özellikle birbirinden farklı güvenilir ağlar ile hesaplanan dengelemelerin standart bir biçimde (uniform) birleştirilmesine olanak sağlar (Yavaşoğlu 2003, Erdoğan 2005, Poyraz 2009, Tiryakioğlu 2012, Aladoğan 2017, Öztürk 2019).

### **3.4 Gerilim-Gerinim ve Deformasyon İlişkisi**

Jeodezinin temel konularından biri olan deformasyon analizi; baraj, köprü bina gibi mühendislik yapılarının ve yer kabuğunun yatay ve düşey yöndeki hareketlerinin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. Günümüzde ilerleyen teknoloji ile birlikte GNSS gözlemlerinden elde edilen yüksek doğrulukta koordinatlarla deformasyona uğrayan objelere ve yer kabuğuna ait şekil, konum ve yer değiştirmeler güvenilir şekilde belirlenebilmekte ve yorumlanabilmektedir. Özellikle tektonik hareketlerin modellenmesinde kullanımı son yıllarda popüler bir hale gelen GNSS gözlemleri ile gözlem yapılan noktaların zaman içindeki koordinat değişimleri ve bu değişime neden olan kuvvetler de incelenebilmektedir. Gerilme ve gerinim kavramları deformasyonla iç içe kavramlardır.

Gerilme (stres), birim yüzeye etki eden kuvvetin miktarı olarak tanımlanabilir. Bu

kavram, katı cisimlerin mukavemet ve dayanıklılıklarının belirlenmesine dair çalışmalar ile ortaya çıkmıştır. Gerilmenin birimi Strain (s)'dir. Bir cisme uygulanan dış kuvvetlerin sonucunda oluşan iç kuvvetler yani gerilmeler; çekme, sıkıştırma ve makaslama olmak üzere üçe ayrılmaktadır. Bir yüzey üzerinde oluşan gerilme vektörü yüzeye dik ise normal gerilme, gerilme vektörü yüzey üzerinde ise kayma gerilmesi olarak adlandırılmaktadır. Doğrudan ölçülemeyen gerilmeler, bu gerilme vektörlerinin türlerine bağlı olarak cisimlerde deformasyonlar meydana getirirler (Poyraz 2009).

Gerinim (strain) ise gerilmelerin etkisiyle birim yüzeyde meydana gelen yer değiştirme olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle, cismin birim yüzeyinde gerilime karşı oluşan şekil ve hacim değişmesi, birim deformasyondur (Poyraz ve Aydın 2009). Gerinimler, birim boyutlarda meydana gelen değişimin, gerçek boyutlara bölünmesi ile elde edilmektedirler. Gerilme ve gerinim birbirleriyle ilişki kavramlar olup, birbirlerinden farklıdır. Gerilmeler, büyüklük ve yöne sahip kuvvetlerdir. Gerinimler ise bu kuvvetler doğrultusunda oluşan vektörel büyüklüklerdir (Poyraz 2009).

Gerinimler, literatürde, yamulma adıyla da karşımıza çıkmaktadır (Solak vd. 2015, Dönmez 2018). Yamulma kavramı ise, yer değiştirme (displacement) ile iç içe olan bir kavramdır. Burada karşımıza çıkan yer değiştirme kavramı ise; yamulma, birim deformasyon, öteleme, dönme ve biçim değişikliğine verilen genel adlandırmadır. Birim deformasyonun birimsiz olması ve temelde bir miktarla ifade edilememesi nedeniyle bu isim verilmektedir (Dönmez 2018).

Yerkabuğunda meydana gelen deformasyonların incelenmesinde, gerinim analizi önem taşımaktadır. Jeodezide; noktaların zamana bağlı yer değiştirmeleri gözlemlenerek, deformasyona uğrayan bir obje, kabuk vb. ile orijinali arasındaki ilişki (gerinim alanı) temelde afin dönüşümü ile sağlanmaktadır. (Welsch 1981). Uygulama bölgesinin homojen veya heterojen kabul edilmesine göre, değişik matematiksel modeller bulunmaktadır. Homojen deformasyon, deformasyon miktarının kütle her tarafında eşit kabul edilmesidir. Homojen olmayan deformasyonlar ise kütle içerisindeki düşünsel paralelliklerin bozulduğu kabul edilmektedir (Poyraz 2009). Yer değiştirme, iki farklı zamanda aynı noktaya ait hesaplanan kartezyen koordinatları arasındaki fark şeklinde

düşünülebilmektedir. Bir noktanın zamanındaki koordinatının homojen deformasyona uğraması sonucu zamanındaki koordinatına gelmesi arasındaki ilişki basit bir afin dönüşüm eşitliği ile açıklanabilmektedir. Yer değiştirmeler ile hesaplanacak gerinim elemanları için gerinim alanının homojen olduğu kabul edilmelidir ve gözlem yapılacak noktalar deformasyon alanını en uygun temsil edecek biçimde seçilmelidir (Doğan 2002, Solak 2015, Dönmez 2018).

GNSS ölçülerinin değerlendirilmesiyle elde edilen hızlar ile gerinim parametreleri arasındaki ilişki (3.1) formülünde açıklanmaktadır (Turcotte ve Schubert 1982, Aktuğ 2017, Dönmez 2018).

$$u = Lx + \dot{t} \quad (3.1)$$

(3.1) formülünde  $u$  = noktalara ait hızları,  $\dot{t}$  = öteleme hızlarını,  $x$  = konum vektörünü ve  $L$  = katı blok dönme hareketlerini (dönüklüklerini) ifade etmektedir. Katı blok dönüklükleri, ( $\dot{\omega}$ ) gerinim parametrelerinin yıllık değişiminden ( $\dot{e}$ ) meydana gelen hız gradyent (deformasyon) tensörüdür. Bu açıklamalara göre  $L$  deformasyon tensörü (3.2) formülü ile

$$L = \dot{e} + \dot{\omega} \quad (3.2)$$

ifade edilebilmektedir (Feigl 1990, Baysal vd. 2010, Aktuğ 2017, Dönmez 2018). Gerinim parametreleri (tensörü) =  $\dot{e}$  ile dönme tensörü =  $\dot{\omega}$  arasındaki ilişki ise (3.3) ve (3.4) formülleri ile

$$\dot{\omega}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), i \neq j, \dot{\omega}_{ii} = 0, i = j \quad (3.3)$$

$$\dot{e}_{ij} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.4)$$

ifade edilebilmektedir (Turcotte ve Schubert 1982, Aktuğ 2017, Dönmez 2018).

Buradaki kısmi türevler kuzey ve doğu yönlerindeki yer değiştirme miktarlarına karşılık gelmektedir. Kovaryans ağırlıklandırılmalı bir yöntem uygulanarak, GNSS hızlarından gerinim hızları elde edilebilmektedir (Shen vd. 1996).

### **3.5 Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi**

Tektonikle doğrudan ilişkili olan deprem kavramı, pek çok farklı disiplin tarafından ele alınmakta ve incelenmektedir. Depremsellik kavramı ise, Purcaru (1975) tarafından uzay ve zaman içerisindeki bütün depremlerin oluşumları ve bunların etkilerini açıklayan olayların tümü olarak tanımlanmaktadır (Gökce 2007). Bir bölgeye ait depremsellik incelenirken, o bölgenin zamana bağlı olarak deprem tekrarlama periyodunun da incelenmesi gerekir. Deprem tekrarlama periyotlarının belirlenmesi; deprem tehlike ve risk analizlerinin doğru bir biçimde yapılabilmesi bakımından önem taşımaktadır.

Depremsellik çalışmaları genel olarak, bölgede geçmişte meydana gelen deprem verilerinin istatistiksel yöntemlerle hesaplanmasına dayanmaktadır. Deprem büyüklüklerinin (magnitüd) sismograflar aracılığıyla belirlenebilmesi sebebiyle hesaplamalarda sismograf kayıtlarından elde edilen veriler kullanılmaktadır. Sismografların kullanımı ise 1900'lü yıllardan bu yana (aletsel dönem) yaygınlaşmıştır. Bu sebeple bu çalışmalarda deprem aktivitelerinin başlangıcı genellikle aletsel dönem kabul edilmekte, tarihsel dönemde meydana gelen deprem aktiviteleri için kataloglardan yararlanılmaktadır. (Umutlu 2019).

Deprem tekrarlama periyotları genel olarak, sismolojik verilerden yararlanılarak belirlenmektedir. Bu verilerin büyük çoğunluğu, mevcuttaki deprem kataloglarıyla ilişkilidir. Birçok bölgeye ilişkin katalogların eksikliği ve yetersizliği deprem tekrarlanma periyotlarının belirlenmesini ve deprem tehlike analizlerinin güvenilir biçimde yapılmasını doğrudan etkilemektedir (Aktuğ 2017, Umutlu 2019). Günümüzde deprem tekrarlama periyotları, jeolojik bakımdan fay bazlı olarak da belirlenebilmektedir ancak bir jeolojik yaşın milyonlarca yıl ile ifade edilmesi, periyodu belirlenecek faya ilişkin kataloglarda veri bulunmaması gibi sebeplerle her zaman

güvenilir sonuçlar elde etmek güçtür.

Son yıllarda ise GNSS teknolojisinin gelişmesiyle birlikte, yüksek doğrulukta koordinat hız ve zaman bilgileri elde edilebilmektedir. GNSS hızlarından yararlanılarak gerinim hızları elde edilebilmekte ve bunlar ile jeodezik deprem tekrarlama haritaları üretilebilmektedir (Aktuğ 2017).

Belirli bir magnitüde sahip ( $M$ ,  $M < M_{max}$ ) yıllık deprem sayısı ( $N$ ) Kesikli Gutenberg-Richter modeli (3.5) formülündeki gibi ifade edilebilir.

$$N(M) = 10^{a+bM} (M < M_{max}) \quad (3.5)$$

Bu formüle göre (3.5) magnitüdü  $M$ 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığının hesaplanmasına ilişkin eşitlik (3.6) aşağıda verilmiştir.

$$T(\geq M) = \frac{1}{10^a \int_M^{M_{max}} 10^{bM} \partial M} \quad (3.6)$$

Hanks ve Kanomari (1979) tarafından verilen sismik moment ( $M_0$ ) ile moment büyüklüğü ( $M_w$ ) arasındaki bağıntı (3.7) ise aşağıdaki şekildedir.

$$M_0 = 10^{\frac{3}{2}(M_w+6.07)} \quad (3.7)$$

Bu bağıntıda (3.5) eşitliği kullanılarak bütün depremler için toplam yıllık moment hızı ( $\dot{M}_0$ ),

$$\dot{M}_0 = 10^a \int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.105} \partial M \quad (3.8)$$

şeklinde hesaplanabilir (Ward 1994). Verilen formülde (3.8)  $10^a$  terimi, eşitliğin sol tarafına kalacak şekilde (3.8) eşitliği yeniden düzenlenirse ve integrali alınırsa,



$$10^a = \frac{(1.5 + b)\dot{M}_0 \cdot \log 10}{10^{(1.5+b)M_{max}+9.105}} \quad (3.9)$$

bulunabilir (Ward 1994). Elde edilen  $10^a$  eşitliği, bağıntı (3.6)'da yerine konulursa, büyüklüğü  $M$ 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığı,

$$T(\geq M) = \frac{\int_{-\infty}^{M_{max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.105} \partial M}{\dot{M}_0 \int_M^{M_{max}} 10^{bM} \partial M} \quad (3.10)$$

şeklinde ifade edilebilir (Ward 2007). Bu eşitlikte (3.10); paydadaki integral hesaplanarak paydaki integral yerine (3.9) eşitliği kullanılırsa, (3.11) eşitliği

$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5 + b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w+9.105}}{\dot{M}_0 (10^{bM_{max}} - 10^{bM_w})} \quad (3.11)$$

elde edilir. Jeodezik moment hızlarının belirlenmesinde, GNSS verilerinin değerlendirmelerinden elde edilen hız alanı kullanılmaktadır. Bu hızlara kovaryans ağırlıklandırma uygulanarak gerinim hızları belirlenmektedir. Gerinim tensöründen maksimum gerinim hızının belirlenmesine dair farklı yöntemler vardır (Aktuğ 2017). Bu yöntemlerden en çok kabul gören eşitlik (3.12),

$$\dot{\epsilon}_{max} = \max(\lambda_1, \lambda_2) \quad (3.12)$$

kullanılmaktadır. Maksimum gerinim hızı kullanılarak, birim alandaki yıllık moment hızı ise (3.13) eşitliği

$$\dot{M}_0^{geodetic} = 2\mu H_{sismojenik} \dot{\epsilon}_{max} \quad (3.13)$$

kullanılarak hesaplanabilir. Jeodezik verilerden hesaplanan moment hızı, (3.11) eşitliğinde sismik moment hızı kullanıldığında (3.12) eşitliği,

$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5 + b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w + 9.105}}{2\mu H_{sismojenik} \dot{\epsilon}_{max} (10^{bM_{max}} - 10^{bM_w})} \quad (3.12)$$

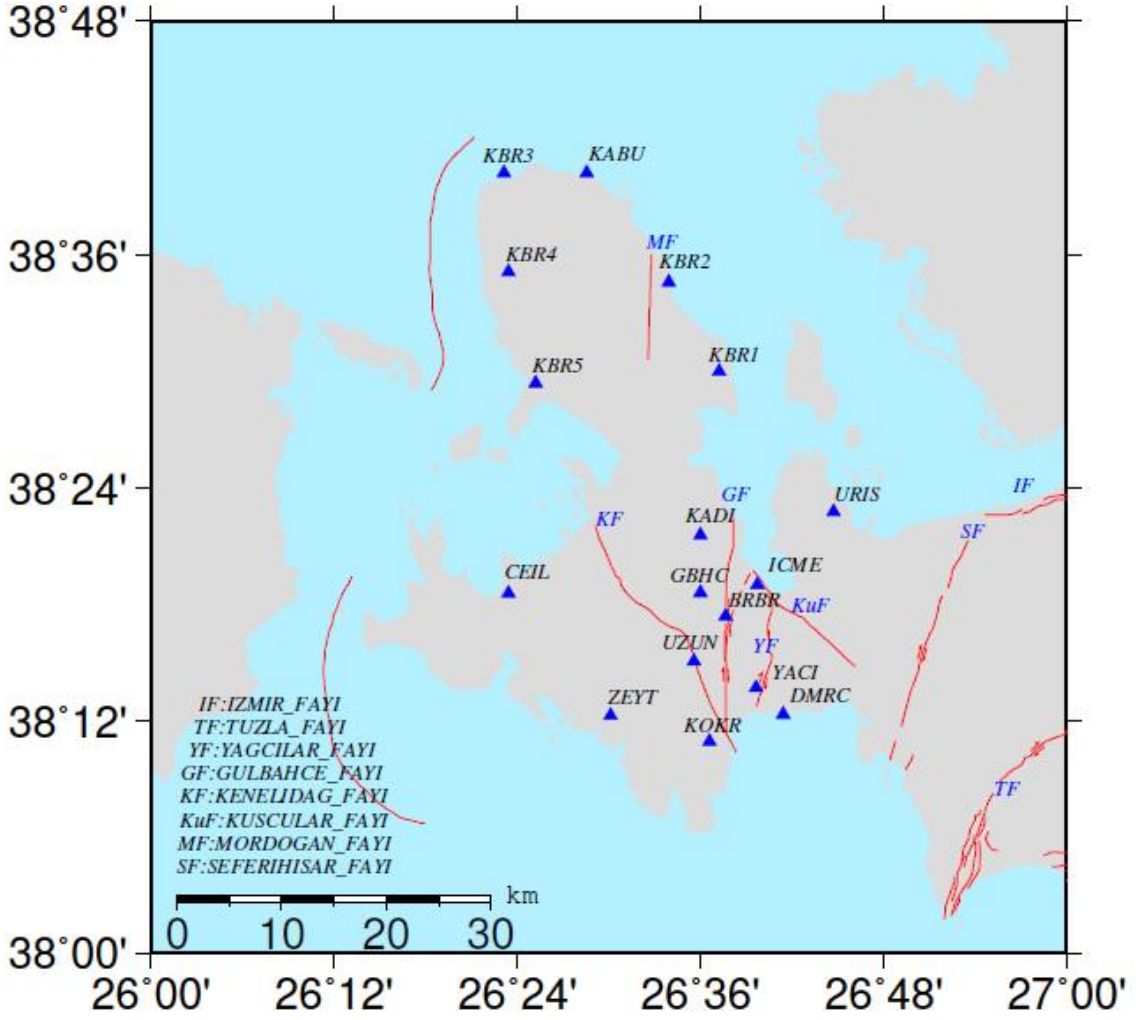
elde edilmektedir.

## 4. UYGULAMA

### 4.1 Çalışma Bölgesinde ve Kurulan GNSS Ağı

Çalışma bölgesi; Batı Anadolu ve İzmir kent merkezinin batısında, aynı zamanda literatürde İBTZ (İzmir-Balıkesir Transfer Zonu) olarak tanımlanan zonun içerisinde yer almaktadır. Tez çalışması kapsamında incelenen Gülbahçe Fayı, İzmir Körfezi ile Karaburun Yarımadası arasında kalan alan içerisinde güneyde; Demircili köyünün güneybatısından Sığacık Körfezi içerisinde başlayarak, K-G doğrultuda uzanımına İncirli ve Tatar dağları civarında üç ayrı kola ayrılmakta ve bu kolları kuzeyde Urla ilçesinin Karapınar ve Gülbahçe mahallelerinden Gülbahçe körfezi içerisine kadar devam etmekte fayın kuzey ve güney ucu Ege Denizi altındadır (Şekil 4.1). Merkezi Urla ilçesi olmak üzere yaklaşık olarak 28 km yarıçaplı bir daire içerisinde yer alan çalışma bölgesi, aynı zamanda Karaburun ilçesi ve Çeşme ilçesinin bir kısmını kapsamaktadır.

Çalışma bölgesinde K-G doğrultulu Gülbahçe fayının hareketinin belirlenmesine yönelik, fayın sağ ve solunda konumlanan, toplam 17 noktadan oluşan bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu 17 nokta, bölge tektoniği ve fay kinematiği hakkında daha sağlıklı ve homojen sonuçlar elde edebilmek için ağ planlaması esnasında, bölgenin jeolojik yapısı, fay geometrileri ve çalışmada kullanılan ölçme tekniği dikkate alınarak belirlenmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Çalışma bölgesinde kurulan jeodezik ağ.

Çalışmada ağ planlaması esnasında, zaman ve maliyet bakımından tasarruf etmek adına nokta tesis edilmesi yerine çalışma bölgesinde haritacılık faaliyetleri ve jeodezik çalışmalar için tesis edilen noktalar kullanılmıştır. Bu noktaların 2019 yılında istikşafı gerçekleştirilmiş ve tahribat bulunmayan, aynı zamanda ulaşım sağlanabilen, sağlam zemin üzerinde ve pilye olarak tesis edilen noktalar belirlenmiştir. Çalışmada pilye tesisleri seçilerek, merkezleştirme ve anten yükseklik hatalarını minimum seviyeye indirmek amaçlanmıştır. Bölgedeki fayların geometrilerine uygun olarak Gülbahçe fayının kapsayacak şekilde 6 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu noktalar daha önce sadece haritacılık faaliyetlerinde kullanılan C1-C2 türü noktalar olup, bölgede GNSS ölçüsü yapan kurum ve özel sektör temsilcilerinden temin edilmiştir. Bununla birlikte Kavak (2020)'de kurulan Karaburun Yarımadası'ndaki 5 GNSS noktası ağa dahil edilmiştir. Çalışma bölgesi içerisinde yer alan aynı zamanda faya

yakın konumlanan 4 TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) noktasının 3 kampanya verisi Harita Genel Müdürlüğü'nden satın alınmıştır. Bölgede yapılan jeodezik çalışmalardan hız verisi yayınlanan (Özener vd. 2013) 2 nokta da ağa eklenerek toplam 17 noktalı GNSS ağı oluşturulmuştur. Noktalara ait bilgiler aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.1).

**Çizelge 4.1** Kurulan GNSS ağına ait nokta bilgileri.

Nokta No	GPS Nokta		Boylam	İl	İlçe	Zemin Tesis
	Adı	Enlem				Çeşidi
1	BRBR	38.29	26.62	İzmir	Urla	Pilye
2	CEIL	38.31	26.38	İzmir	Çeşme	Pilye
3	DMRC	38.20	26.68	İzmir	Urla	Pilye
4	GBHC	38.30	26.59	İzmir	Urla	Pilye
5	ICME	38.31	26.66	İzmir	Urla	Pilye
6	KABU	38.67	26.47	İzmir	Karaburun	Pilye
7	KADI	38.36	26.59	İzmir	Urla	Pilye
8	KBR1	38.49	26.61	İzmir	Karaburun	Pilye
9	KBR2	38.57	26.55	İzmir	Karaburun	Pilye
10	KBR3	38.67	26.38	İzmir	Karaburun	Pilye
11	KBR4	38.58	26.38	İzmir	Karaburun	Pilye
12	KBR5	38.49	26.41	İzmir	Karaburun	Pilye
13	KOKR	38.18	26.59	İzmir	Urla	Pilye
14	URIS	38.38	26.74	İzmir	Urla	Pilye
15	UZUN	38.25	26.59	İzmir	Urla	Pilye
16	YACI	38.22	26.65	İzmir	Urla	Pilye
17	ZEYT	26.49	38.20	İzmir	Urla	Pilye

## 4.2 GNSS Ölçüleri

Kurulan ağın 17 noktasında geçmiş tarihli en az 1-3 kampanya GNSS ölçüsü bulunmaktadır. Şafak (2019) GNSS hız doğruluklarına etki eden parametrelerin belirlenmesine yönelik yaptığı çalışmada; noktaya ait geçmiş yıllarda uzun periyotlu GNSS ölçüleri bulunuyorsa, günümüzde yapılacak tek bir yeni ölçü ile yüksek doğrulukta nokta hızı elde edebilmek için yeterli olduğunu savunmaktadır. Çalışmacının aynı saat aralığına sahip 3 kampanya ölçüden farklı yıl aralıkları için ürettiği

kombinasyonlarda, yıl aralığı arttıkça hız standart sapma değerlerinde iyileşmeler tespit edilmiştir. Yukarıda da belirtildiği gibi kurulan ağıın 2008-2017 yılları arasına ait geçmiş tarihli en az 1 kampanya ölçüler çeşitli kurum, proje ve çalışmalardan temin edilmiştir. Bu çalışmada Şafak (2019)'da tespit edilen bu durum göz önüne alınarak, geçmiş tarihli en az 1 kampanya ölçüsü temin edilen noktaların 2019 ve 2020 yıllarında 2 kampanya ölçüleri gerçekleştirilmiştir. GNSS ağına ait ölçü zaman çizelgesi aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.2).

**Çizelge 4.2** GNSS ölçü zaman çizelgesi.

Nokta No	GPS		Enlem	Boylam	İl	İlçe	Eski Ölçü	2019	2020
	Nokta Adı								
1	BRBR		38.29	26.62	İzmir	Urla	X	X	-
2	CEIL		38.31	26.38	İzmir	Çeşme	X	-	-
3	DMRC		38.20	26.68	İzmir	Urla	X	X	X
4	GBHC		38.30	26.59	İzmir	Urla	X	X	X
5	ICME		38.31	26.66	İzmir	Urla	X	X	X
6	KABU		38.67	26.47	İzmir	Karaburun	X	-	-
7	KADI		38.36	26.59	İzmir	Urla	X	X	X
8	KBR1		38.49	26.61	İzmir	Karaburun	X	-	-
9	KBR2		38.57	26.55	İzmir	Karaburun	X	-	-
10	KBR3		38.67	26.38	İzmir	Karaburun	X	-	-
11	KBR4		38.58	26.38	İzmir	Karaburun	X	-	-
12	KBR5		38.49	26.41	İzmir	Karaburun	X	-	-
13	KOKR		38.18	26.59	İzmir	Urla	X	-	-
14	URIS		38.38	26.74	İzmir	Urla	X	-	-
15	UZUN		38.25	26.59	İzmir	Urla	X	X	-
16	YACI		38.22	26.65	İzmir	Urla	X	-	-
17	ZEYT		26.49	38.20	İzmir	Urla	X	X	-

2019 ve 2020 yılında yapılan kampanyalara dahil edilmeyen noktalar, hız verisi yayınlanan çalışmada kullanılan (Özener vd.2013) ve geçmiş yıllara ait en az 3 kampanya ölçüsü bulunan noktalardır.

2019 ve 2020 yıllarında yapılan kampanyalar ile birlikte ağıdaki tüm noktalara ait toplamda en az 3 kampanya ölçü elde edilmiştir (Resim 4.1).



**Resim 4.1** 2019 ve 2020 kampanyalarında ölçü yapılan KADI (a) ve ICME (b) noktaları.

2019 ve 2020 yıllarında ölçü yapılan noktalara ait ölçü stratejisi Çizelge (4.3)'de verilmiştir.

**Çizelge 4.3** 2019 ve 2020 yıllarında yapılan kampanyalara ait ölçü stratejisi.

<b>Parametre</b>	<b>Değer</b>
Ölçü Tarihi	21-22 Temmuz 2019
Ölçü Türü	Statik
Ölçü Süresi	2 gün tekrarlı
Veri Kayıt Aralığı	15 sn.
Oturum Süresi	Min. 8 saat
Uydu Yükseklik Açısı	10°
Alıcı ve Anten Tipi	Thales Z-Max/Ashtec Z-Xtreme

#### 4.2 GNSS Ölçülerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada GNSS alıcı donanımları ile elde edilen ölçülerin değerlendirilmesinde; sadece UNIX işletim sistemlerinde kullanılabilen, MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilen, açık kaynak kodlu GAMIT/GLOBK yazılım takımı

kullanılmıştır. Yazılım takımının GAMIT modülünü; gözlem yapılan noktalara ilişkin üç boyutlu koordinatlarının, uydu yörüngelerine ilişkin parametrelerin, atmosferden kaynaklanan etkilerin ve saat hatalarının çözümlenmesi için kod ve faz gözlemlerinin verilerini işleyen programlar kümesi oluşturmaktadır. GLOBK modülü ise, GAMIT modülünde işlenen veri çıktılarının (nokta konumları, yörünge parametreleri vb.) bir araya getirilmesini sağlayan bir Kalman Filtresidir.

Bilimsel amaçlarla kullanılan GAMIT/GLOBK yazılım takımı, GNSS alıcı donanımlarından elde edilen ham verilerin işlenmesi esnasında, alıcıdan bağımsız bir veri formatı olan RINEX (The Receiver Independent Exchange Format) formatını kullanmaktadır. Bu format sayesinde, farklı marka ve modeldeki alıcı donanımları ile yapılan gözlemler sonucunda, değerlendirme aşamasında ortaya çıkabilecek farklılıklar ortadan kalkmaktadır. Ham verileri bu formata dönüştürmek için mevcutta pek çok program bulunmaktadır.

Bu çalışmada, GNSS alıcılarından elde edilemeyen ham veriler değerlendirme öncesi RINEX CONVERTER programı kullanılarak rinex formatına dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada kullanılan tekrarlı 2 gün ve minimum 8 saat ölçü stratejisi gereği dönüşümü yapılan rinex verileri TEQC programı kullanılarak farklı günlere ait veriler birbirinden ayrılmıştır. Değerlendirmede kullanılacak tüm verilerin rinex format isim yapıları, kampanya yıllarına ve GNSS nokta isimlerine göre yeniden düzenlenmiştir.

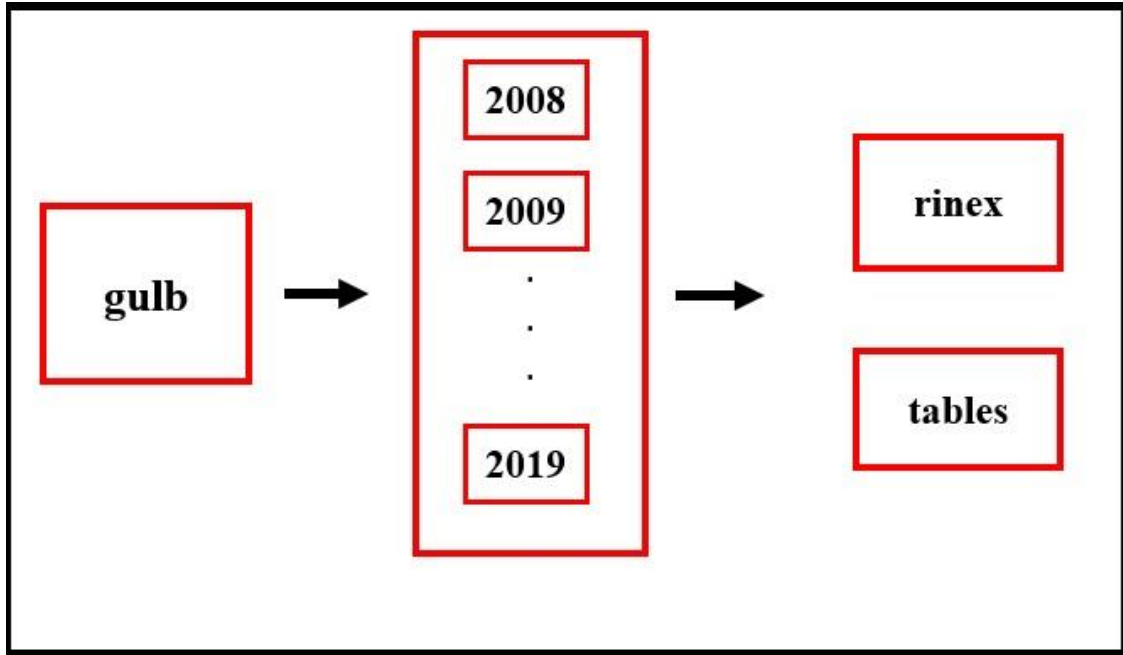
#### **4.2.1 GAMIT ile Verilerin Değerlendirilmesi**

Rinex formatına dönüşümü sağlanan verilerin, GAMIT modülü ile değerlendirilmesi genel olarak üç aşamadan meydana gelmektedir. Bu aşamalar; hazırlık, değerlendirme, kontrol ve sonuç aşamalarıdır. Hazırlık aşamasında ilk olarak; GAMIT modülünün çalışma prensibine göre bir klasör ağ oluşturulmakta ve klasör ağını oluşturan en dış klasöre dört karakterden oluşan ve Türkçe karakter bulundurmayan bir proje adı verilmektedir (Solak 2015).



Bu çalışmada Gülbahçe fayı incelenmesi sebebiyle bu en dış klasöre “gulb” adı verilmiştir. Çalışmanın adı verilen bu klasör, değerlendirme esnasında tüm işlemlerin yapıldığı ana klasördür.

Ana klasör içerisinde GNSS alıcılarının yaptığı gözlem yıllarına göre her yıl için birer klasör oluşturulması ve her yıl için ayrı olarak oluşturulan klasörler içerisinde de birer tane “rinex” klasörü oluşturulması gerekmektedir. Değerlendirmede kullanılacak olan verilerin rinex formatları, ölçü yıllarına göre oluşturulan bu rinex klasörleri içerisine yerleştirilmelidir. GAMIT modülünde GNSS alıcılarından elde edilen verilerin işlenebilmesi için (standart girdi dosyalarının) “tables” klasörünün yıl klasörleri içerisinde yer alması gerekmektedir. Bu standart girdi dosyaları GAMIT kütüphanesinde yer almaktadır. Ana klasörde oluşturmak için ise, yıl klasörleri içerisinde açılan terminal satırına sh\_setup – yr komutunu çalıştırmak yeterlidir. Bu komutun çalıştırılmasıyla her “tables” klasörü yıl klasörleri içerisinde otomatik olarak oluşmaktadır. GAMIT ana klasör yapısı örneği aşağıda verilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 GAMIT ana klasör yapısı örneği.

Oluşan “tables” klasörü içerisinde verilerin işlenmesi için gerekli olan; uydu yörünge bilgileri, jeodezik datum parametreleri, koordinat dönüşüm parametreleri, kutupsal

hareket değerleri, ay, güneş, yer ve nutasyon efemeris tabloları, anten faz merkez ofsetleri tablosu, alıcı ve anten özellikleri, IGS (International GNSS Service) noktalarına ait alıcı, anten ve ölçü süre bilgileri gibi pek çok standart girdi dosyası yer almaktadır.

Hazırlık aşamasının bir diğer adımı, tables klasörü içerisindeki bazı standart dosya bilgilerinin düzenlenmesidir. Bu dosyalar ise station.info, sites.defaults , lfile., process defaults ve sestbl. dosyalarıdır.

IGS (International GNSS Service) istasyonlarına ilişkin isim, alıcı ve anten bilgilerinin yer aldığı “station.info” dosyası içerisinde ölçü yapılan noktaların isim, tarih, saat, alıcı ve anten bilgilerinin girilip düzenlenmesi gerekmektedir. Kurulan GNSS ağını, global bir ağla ilişkilendirmek ve mm hassasiyetindeki IGS istasyonları koordinatlarından faydalanarak, daha hassas sonuçlar elde edebilmek için stabilizasyon (IGS) noktalarının yer aldığı “sites.defaults” dosyasında değerlendirme esnasında kullanılacak IGS istasyonlarının belirlenerek düzenlenmesi gerekmektedir. Verilerin işlenmesi esnasında GAMIT, bu istasyonların bilgilerini internet üzerinden temin ederek, rinex klasörleri içerisine otomatik olarak kaydetmektedir. Bu çalışmada “sites.defaults” dosyası düzenlenerek, değerlendirmede kullanılan IGS (International GNSS Service) istasyonları aşağıda verilmiştir (izelge 4.4).

**Çizelge 4.4** Değerlendirmede kullanılan IGS (International GNSS Service) istasyonları.

<b>Nokta Adı</b>	<b>Ülke</b>	<b>Şehir</b>	<b>Nokta Adı</b>	<b>Ülke</b>	<b>Şehir</b>
ADIS	Ethiopia	Adis Ababa	LAUG	Lübnan	Lebanese
ANKR	Türkiye	Ankara	MATE	İtalya	Basılıcata
BAHR	Bahreyn	Manama	NICO	Kıbrıs	Lefkoşe
BAKU	Azerbaycan	Bakü	NOT1	İtalya	Sicilya
BOR1	Polonya	Wielkopolska	NSSP	Ermenistan	Yerevera
BUCU	Romanya	Bükreş	ONSA	İsveç	Onsala
CRAO	Ukrayna	Simeiz	POLV	Ukrayna	Poltava
DRAG	İsrail	Metzoki	POTS	Almanaya	Brandenburg
GLSV	Ukrayna	Kiev	RAMO	İsrail	Ramon
GRAS	Fransa	Maritimes	SOFI	Bulgaristan	Sofya
GRAZ	Avusturya	Graz	TELA	İsrail	Telaviv
ISTA	Türkiye	İstanbul	TUBI	Türkiye	Gebze
KOSG	Hollanda	Kootwijk	VILL	İspanya	Madrid
KUWT	Kuveyt	Kuveyt	ZECK	Rusya	Zelenchukskaya

Başlangıç koordinat bilgilerinin yer aldığı “lfile.” dosyasının kontrol edilmesi ve ölçü yapılan noktaların başlangıç koordinat bilgilerinin dosya içerisinde yer alması gerekmektedir. Bu dosya kontrol edilerek, ölçü noktalarına ait başlangıç koordinatları dosya içerisinde tek tek düzenlenmiştir.

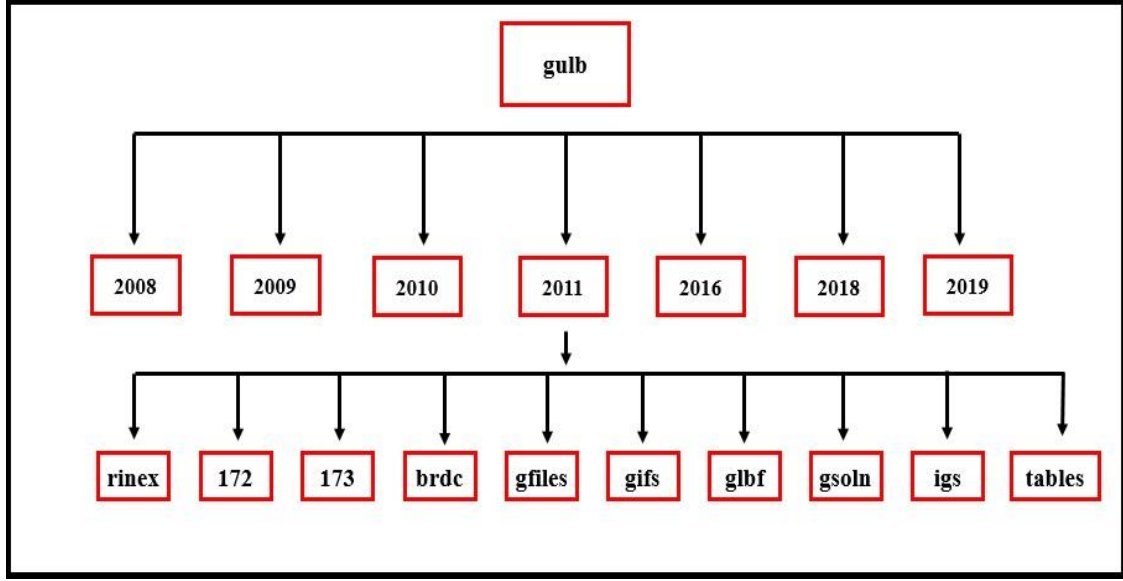
Verilerin işlenmesi esnasında hesaplanacak girdi ve çıktı veri dosyaları için kaynak klasörleri belirlemek, veri örnekleme aralığını belirlemek ve process sonuç dosyalarının istenilen mail adresine gönderimini sağlamak için “process.defaults” dosyasının düzenlenmesi gerekmektedir. Bu dosyada gerekli düzenlemeler yapılarak, kontrol aşamasına ilişkin tüm komutların yer aldığı “sestbl.” dosyası hazırlanmıştır ve böylece hazırlık aşamasının tüm adımları tamamlanmıştır. Sestbl. dosyası, değerlendirme esnasında kullanılacak verilerin çözüm stratejilerinin düzenlendiği dosyadır. Bu çalışma için belirlenen ve sestbl. dosyası içerisinde düzenlenen çözüm stratejisi ise aşağıdaki çizelgede verilmiştir. (Çizelge 4.5).

**Çizelge 4.5** Verilerin değerlendirilmesinde kullanılan çözüm stratejisi.

<b>Veri Değerlendirme Stratejisi</b>	
Veri Kayıt Aralığı	15 sn.
Uydu Yükseklik Açısı	10°
Yörünge Bilgisi	IGS-Final
Yer Dönme Parametre Bilgisi	USNO_bull_b
Çözüm İçin İterasyon Sayısı	4
Kullanılan Troposfer Model	Sastamoinen öncül standart modele dayalı olarak
Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği	2 saat
Çözümü	İyonosferden Bağımsız (Ionosphere-free)

Hazırlık aşamasının tamamlanmasından sonra, değerlendirme aşamasına geçilmektedir. GAMIT ile verilerin değerlendirilmesi, işlem adımları takip edilerek elle yapılabileceği gibi otomatik olarak da yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında değerlendirme otomatik olarak yapılmıştır. Ana klasör olan “gulf” klasörü içerisindeki yıl klasörlerinin her birinde terminal açılarak ve komut satırında “sh\_gamit” komutu çalıştırılarak, değerlendirme başlatılmıştır.

Verilerin değerlendirilmesi esnasında; herhangi bir hata mesajı ile karşılaşırsa, alınan hata mesajının ilgili hata dosyasından tespit edilerek düzeltilmesi ve bu doğrultuda değerlendirmenin yeniden başlatılması gerekmektedir. Değerlendirmenin tamamlanmasından sonra ise klasör ağındaki yıl klasörleri içerisinde; brdc, gfiles, gifs, glbf, gsoln, igs ve GNSS ölçülerine ait gün klasörleri oluşmaktadır. Değerlendirme sonrası oluşan yeni klasör yapısı örneği aşağıda verilmiştir (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Değerlendirme sonrası oluşan ana klasör yapısı örneği.

GAMIT ile verilerin değerlendirilmesindeki son aşama, kontrol ve sonuç aşamasıdır. Oluşan yeni klasör yapısında gün klasörleri (172-173) (Şekil 4.4) içerisinde, değerlendirme sonrası sonuç dosyaları oluşmaktadır. Bu sonuç dosyalarında herhangi bir hatanın bulunmaması için kontrollerinin yapılması gerekir.

Kontrol işlemi için; gün klasörü içerisindeki GAMIT genel isim oluşturma yapısı ile oluşan “qxxxxa.ddd” sonuç dosyası incelenmektedir. Bu isim yapısında “xxxx” ana klasör adı, “ddd” ise GNSS ölçü yılının hangi güne ait olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmadan örnek verilecek olursa, “qgulba.172” dosyasında, ana klasör adı “gulb” GNSS ölçü yılına ait gün ise “172” olmaktadır. Bu dosyanın en son satırında bulunan, postfit.nrms değeri ve tüm GNSS ölçü noktalarının değerlendirmeye alınıp alınmadığı incelenmiştir. Postfit.nrms değeri, diğer bir ifadeyle normlandırılmış karesel ortalama hata (nrms – Normalized Root Mean Square) değeri 0.15 – 0.25 arasında bir değer olması gerekmektedir. Değerlendirme sonrası elde edilen bu değer, belirtilen aralıkta ise kurulan model doğru ve ölçü noise seviyeleri kabul edilebilirdir (Dönmez 2018). Bu çalışmanın değerlendirme sonrasında oluşan “qxxxxa.ddd” dosyalarının tümünde postfit.nrms değeri, belirtilen aralıklardadır.

Kontrol için incelenen bir diğer sonuç dosyası ise “autcln.post.sum.xxxx” dosyasıdır. Bu dosya isim yapısı da q dosya isim yapısıyla aynı şekilde oluşmaktadır. Bu dosyada

yapılacak kontroller, yapılan kod ve faz ölçülerinin sinyallerine ilişkin değerlerin kontrolleridir. Bu dosya da incelenerek kontrol işlemi tamamlanmıştır ve sonuç işlemine geçilmiştir. GNSS ölçüsü yapılan noktaların, aynı yıla ait farklı günlerin zaman serilerinin (günlük ve yıllık tekrarlılık) oluşturulması gerekmektedir. Zaman serilerinin oluşturulması için, yıl klasörleri içerisinde terminal açılarak “sh\_glred” komutu çalıştırılır. Komutun çalıştırılmasıyla, “gsoln” klasörleri içerisinde ölçü yapılan gün sayısı kadar glr, org, ve prt uzantılı dosyalar ve GLOBK modülünde kullanılacak olan “h” dosyaları (çözüm dosyaları) oluşmaktadır. Komut çalıştırılarak, Gülbahçe GNSS ağına ait noktaların günlük tekrarlılık grafikleri (zaman serileri) elde edilmiş ve tek tek incelenmiş, herhangi bir kaba hataya rastlanmamıştır. Tekrarlılıklarda görülen bir kaba hata olursa, o güne veya o noktaya ilişkin çözümler tekrarlanabilir ya da güvenilir olmayan çözüm değerlendirmeden çıkartılabilir (Tiryakioğlu 2012).

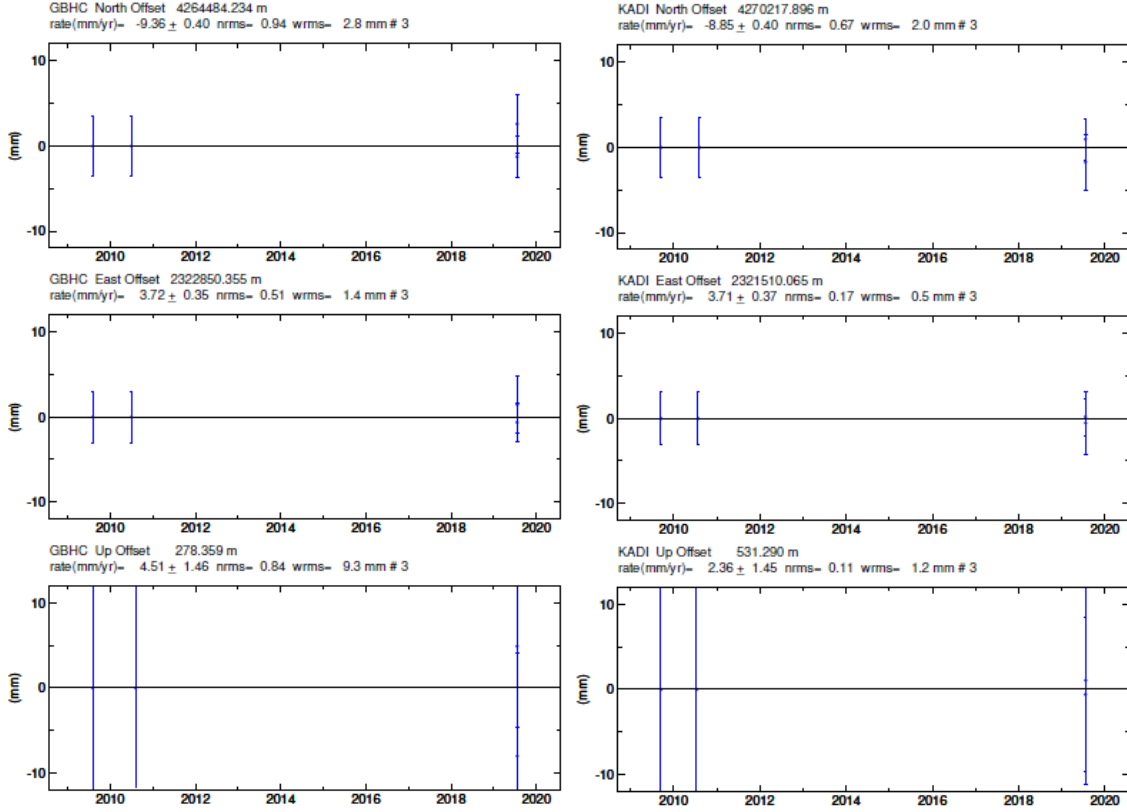
#### **4.2.2 GLOBK ile Verileri Değerlendirme**

GLOBK modülünde, farklı zamanlarda uzaysal ölçme yöntemleriyle yapılan ölçülerin Kalman Filtrelemesi kullanarak birleştirilmesini sağlar. Kalman Filtresi genel olarak verileri değerlendirerek, bir model kurmakta ve bu model doğrultusunda gelecekteki verileri tahmin etmektedir. Elde edilen veri ne kadar fazla ise, tahmindeki kesinlik de o oranda artmaktadır (Dong vd. 1998).

Tektonik hareketlerin modellenmesi için, GLOBK modülünde uzun dönem zaman serilerinin üretilmesi gerekmektedir. Bu uzun dönem zaman serileri üretilerek, ölçü yapılan noktalar tektonik anlamda değerlendirilmektedir. Özellikle sürekli gözlem yapan GNSS istasyonlarının zaman serileri incelenerek bu istasyonların uzun dönemdeki hareketleri hakkında bilgiler elde edilebilmektedir.

Uzun dönem zaman serilerinin elde edilmesi için, ana klasör “gulb” içerisinde çözümlerin yer alacağı “vsoln” klasörü oluşturulmuştur. Bu klasör içerisinde terminal penceresi açılarak, “sh\_plotcrd” komutu çalıştırılmış ve değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları ve ölçü yapılan noktalara ilişkin uzun dönem zaman serileri elde edilmiş ve bu yıllık tekrarlılık grafikleri tek tek incelenerek, herhangi bir kaba hataya

rastlanmamıştır. Bu çalışmada ölçü yapılan xx noktasına ait uzun dönem zaman serisi aşağıda verilmiştir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 GBHC ve KADI noktalarının uzun dönem zaman serileri.

“sh\_gfred” komutunun çalıştırılmasıyla yıl klasörleri içerisindeki glbf klasörlerinin içerisinde ölçü günlerine ait “h” dosyaları (çözüm dosyaları) oluşmaktadır. GLOBK ile birleştirme işlemi sırasında her bir h dosyası (h-file) bağımsız olarak değerlendirmeye katılmaktadır (Herring vd. 2009). Bu oluşan hyymmdd1200\_XXXX.glx dosyaları (yy:yıl, mm:ay, dd:gün, XXXX:proje adı) birleştirilerek, yıllık h dosyaları oluşturulmaktadır. Hızların elde edilmesinde kullanılacak bu dosyalar oluşturularak, vsoln klasörü içerisine taşınmıştır.

GAMIT klasörü içerisinde yer alan tables klasöründen GLOBK modülünü yönetecek, hızların elde edilmesinde kullanılacak olan “globk\_vel.cmd”, “glorg\_vel.cmd” dosyaları ve çözüm yapılacak referans sistemine ait parametre dosyası vsoln klasörüne taşınmıştır. “globk\_vel.cmd” ve “glorg\_vel.cmd” komut dosyaları ile IGS (International GNSS Service) tarafından belirlenen genel referans sistemine dönüşüm için kullanılan

istasyon noktalarına, uydu yörünge parametrelerine ve yer dönme parametrelerine kısıtlamalar getirilmektedir. GLOBK modülü, referans sistemini tanımlamadan birleştirme işlemini gerçekleştirmektedir. Bu nedenle globk\_vel.cmd dosyası içerisinde hızları elde etmek istediğimiz referans sistemi düzenlenmiştir.

#### **4.2.3 Çalışma Bölgesinin Hız Alanının Belirlenmesi**

GAMIT ile çözümlenen verilerden hız verisi elde edebilmek için, GLOBK çözümleri gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Stabilizasyon çalışmaları GLOBK çözümü için önem taşımaktadır. Kurulan GNSS ağını global ağla ilişkilendirebilmek için, değerlendirmeye alınan IGS istasyonlarından uygun olanları stabilizasyon için seçilmelidir.

Bu tez çalışmasında, GNSS ölçüleri ile elde edilen tüm veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile uygun IGS istasyonlarıyla birlikte değerlendirilmiştir (Çizelge 4.4). Yapılan GNSS ölçüleri doğrultusunda iteratif çözümlerle hız değerleri, Avrasya sabit ve ITRF 2008 epoğunda elde edilmiştir.

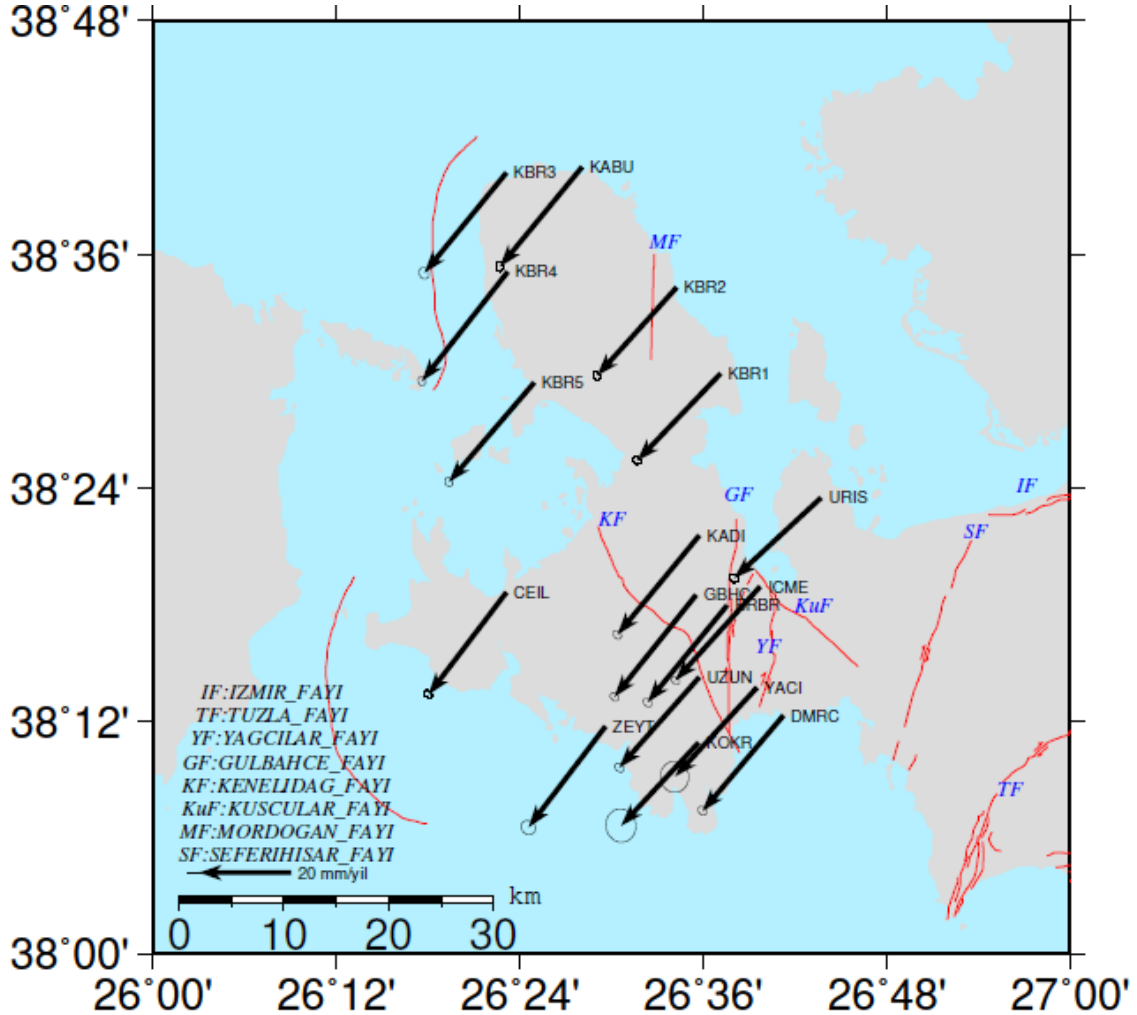
Çalışma bölgesi ve çevresinde geçmiş yıllara ait çeşitli araştırmacılar tarafından GNSS ölçüleri gerçekleştirilmiştir (Özener vd. 2013). Çalışma bölgesi hız alanını genişletmek için bu çalışmalarda yayınlanan hızlar, Aktuğ vd. (2009) tarafından belirtilen yöntem kullanılarak, sadece hız seviyesinde basit bir kombinasyon ile birleştirilmiştir.

Aktuğ vd. (2009)'ne göre çeşitli jeodezik verilerin titiz bir kombinasyonun oluşturulabilmesi için, tam varyans-kovaryans matrislerinin ve ayrı ayrı çözümlere uygulanan kısıtlamaların tam tanımının mevcut olması ve kaldırılabilmesi şartıyla, orijinal gözlemlerin aynı anda değerlendirilmesi gerekmemektedir (Brockmann 1996, Dong vd. 1998, Altamimi vd. 2002).

Hızların birleştirilmesi için her noktadaki kuzey ve doğu bileşenleri arasındaki kovaryanslar dikkate alınmıştır ancak noktalar arasındaki kovaryanslar ihmal edilmiştir (Aktuğ vd. 2009). Özener vd. 2013'de yayınlanan hızlarla, değerlendirmeden elde edilen hızların birleştirilmesinde ortak kullanılan 7 IGS istasyonu (BOR1, GRAS,



GRAZ, KOSG, ONSA, VILL, ZECK) kullanılmıştır. Birleştirme ile elde edilen tüm hızların dönüşüm doğrulukları yaklaşık 1 mm/yr dir. Çalışma bölgesine ait güncel hız alanı, Avrasya plakası sabit alınarak elde edilmiştir (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 Çalışma bölgesinin güncel hız alanı.

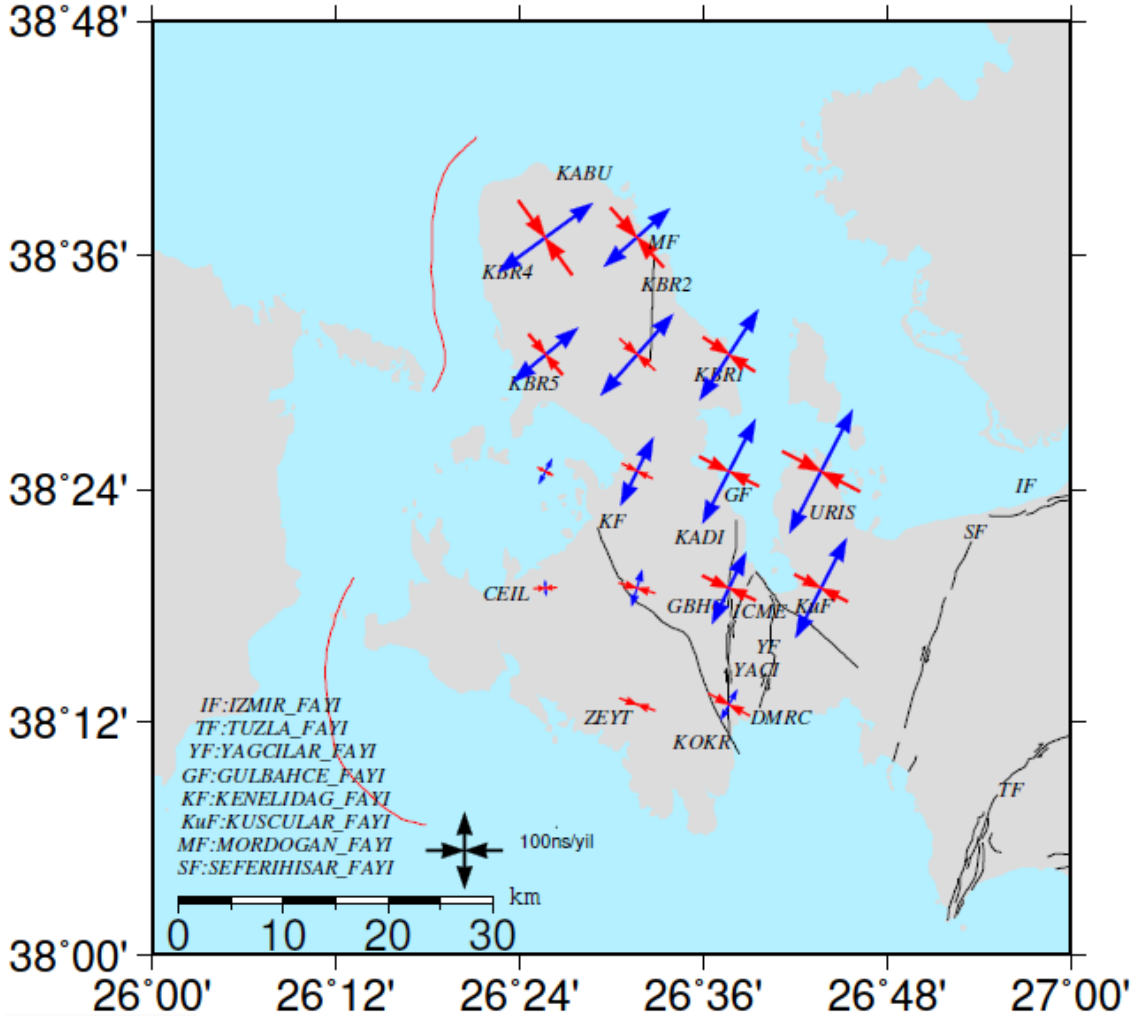
Elde edilen güncel hız alanının, bölgede önceki yıllarda yapılan jeodezik çalışmalarla elde edilen hız alanlarıyla uyum içerisinde olduğu görülmektedir (Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, Aktuğ vd. 2009, Özener vd. 2013, Pamukçu vd. 2013,2015, Çırmık vd. 2017a, Malaliçi 2019).

### **4.3 Gerinim Analizi**

Tez çalışması kapsamında, çalışma bölgesindeki gerinimleri hesaplamak ve bu gerinim hesaplamaları doğrultusunda bölgedeki jeodezik deprem tekrarlama periyotlarını belirlemek amacıyla gerinim analizi yapılmıştır. Gerinim analizi için Geodsuit yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda girdi verisi olarak GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinden elde edilen hızlar ve bu hızların karesel ortalama hataları kullanılmaktadır. Yazılıma ait matematiksel algoritma Shen vd. (1996) ve Aktuğ vd. (2009) tarafından yapılan çalışmalarda açıklanmaktadır. Bu çalışmada gerinim analizi 2 boyutlu olarak gerçekleştirilmiştir. Gerinim analizinin 2 boyutlu gerçekleştirilmesinin sebebi, GNSS ölçüleri ile koordinatların belirlenmesinde yükseklik bileşeninin henüz istenilen hassasiyetle belirlenememesidir.

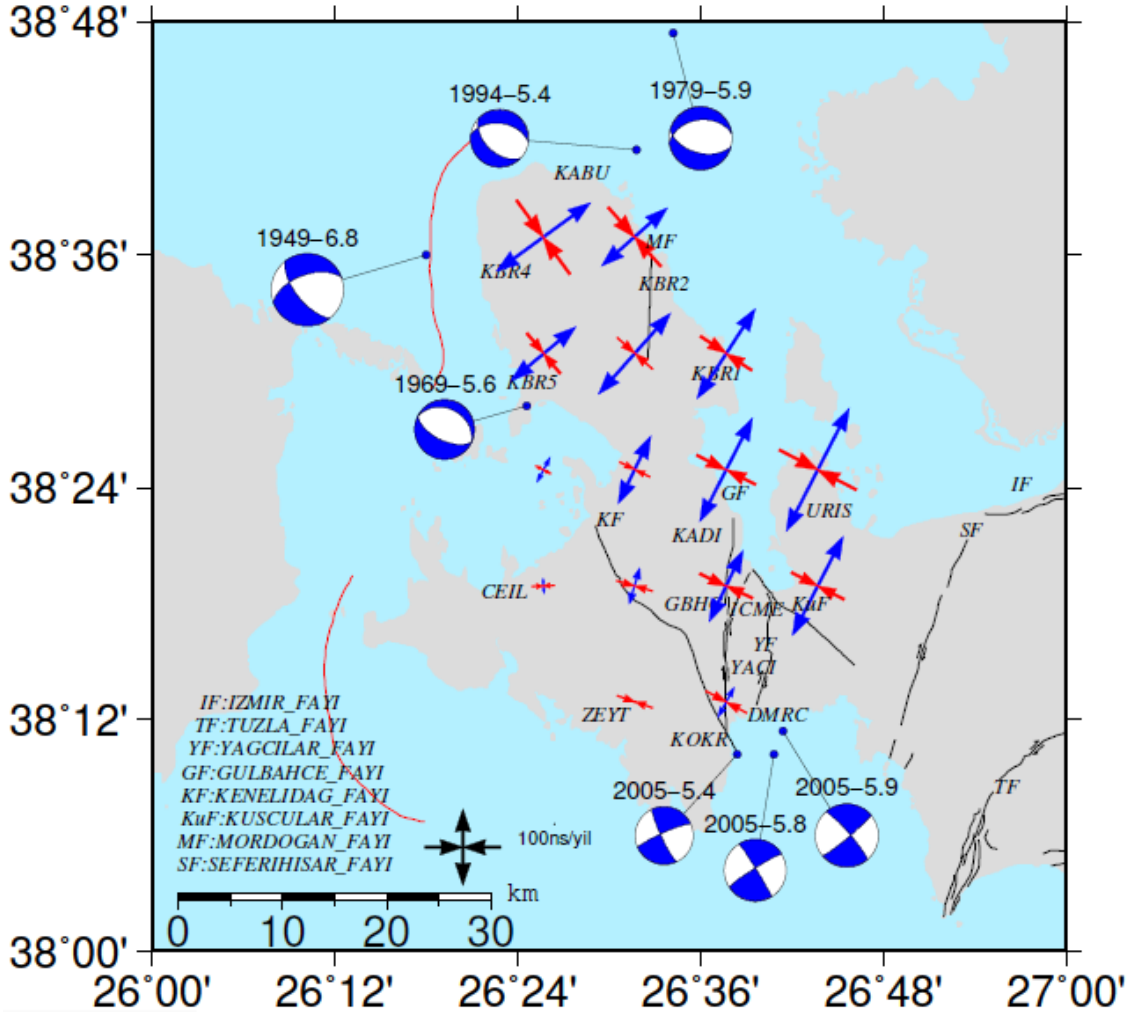
#### **4.3.1 Bölgenin Güncel Gerinim Alanı**

Çalışma bölgesi 0.1 x 0.1 derecelik gridlere ayrılarak, bölgeye ait elde edilen güncel hız bilgileri girdi olarak kullanılarak, Geodsuit yazılımı ile her grid köşesine ilişkin gerinim alanı hesaplanmıştır. Gerinim analizi esnasında, kurulan GNSS ağına fay üzerinde bulunan, faydan etkilenebileceği düşünülen ölçü noktaları analize dahil edilmemiştir. Bu noktalar BRBR ve UZUN noktalarıdır. KBR3 noktası, KABU noktasıyla aynı hıza sahip olduğu için tek nokta kabul edilerek analize dahil edilmiştir. Yapılan hesaplamalar doğrultusunda bölgeye ait elde edilen güncel gerinim alanı aşağıda verilmiştir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Bölgenin güncel gerinim alanı.

Bölgenin gerinim alanı kuzeyden güneye doğru incelendiğinde, en büyük gerinim alanlarının Karaburun Yarımadası ve Gülbahçe Körfezi civarında olduğu görülmektedir (Şekil 4.6). Karaburun Yarımadası üzerinde KD-GB doğrultulu açılma ve KB-GD doğrultulu sıkışma rejimi hakim durumdadır. Bölgede meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri elde edilen gerinim alanı ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.7).

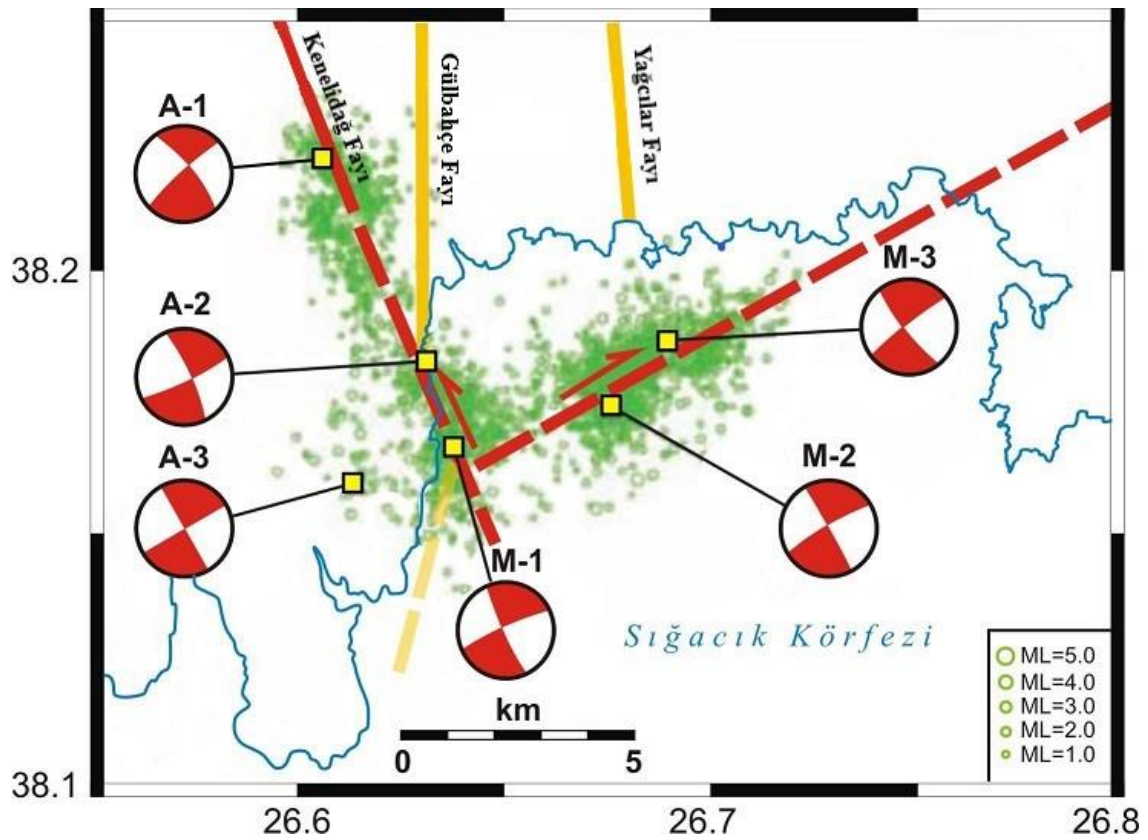


Şekil 4.7 Çalışma bölgesinde meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri ve elde edilen gerinim alanı (Odak mekanizma çözümleri Tan (2013), Çevikbilen vd. (2014) ve KOERI'den elde edilen verilere göre elde edilmiştir).

Şekil 4.7 incelendiğinde, meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri KD-GB doğrultulu açılmayı göstermektedir. Odak mekanizma çözümleri ile gerinimler arasında genel olarak uyum içindedir. Ancak deniz içinde meydana gelen depremlerin hangi faylarla etkileşim içinde olduğu bilinmemektedir. Bu nedenle deprem çözümlerinin gerinim alanı ile birebir uyum beklenmemesi gerekmektedir.

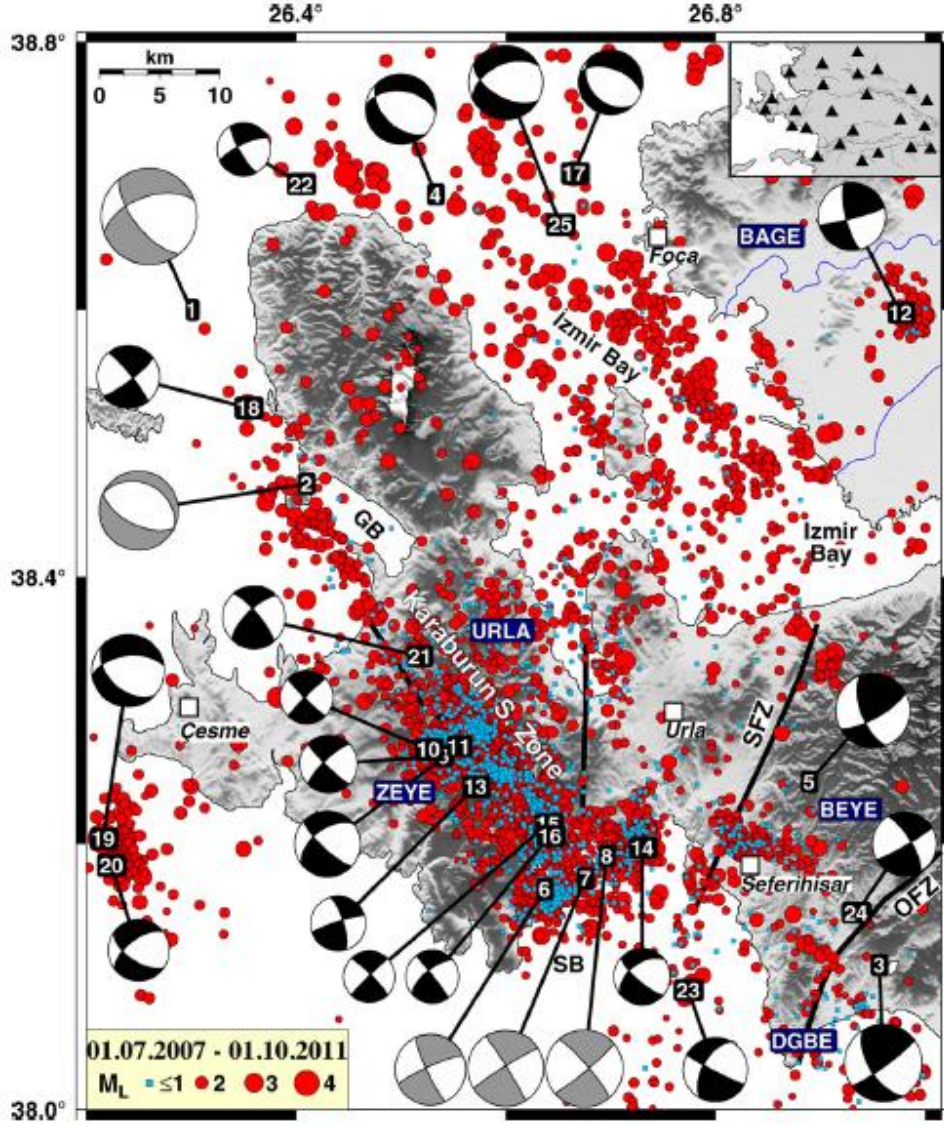
Yarımada'nın güneyinde Çeşme ve Urla ilçeleri arasında kalan alan incelendiğinde, gerinim alanlarının küçüldüğü ve KD-GB yönlü sıkışmanın varlığı görülmektedir. Aynı zamanda bu alanda küçük miktarda da olsa açılma bileşeni de bulunmaktadır. Bu alan içerisinde yer alan Kenelidağ fayı, elde edilen gerinimlere göre sol doğrultu atım fay mekanizmasını işaret etmektedir. Aktar vd. (2007)'nde 2005 yılında Sığacık Körfezi

içerisinde meydana gelen depremlerin ana ve artçı sarsıntıları değerlendirilmiştir. Bu çalışmada meydana gelen ( $M_w=5.4$ ,  $M_w=5.8$ ,  $M_w=5.9$ ) depremlerin artçı sarsıntılarının KB-GD doğrultulu dış merkez dağılımı, Kenelidağ fayının güneydoğu kısmında ve yaklaşık olarak 10 km bir zon içerisinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Aynı zamanda, çalışmacılar tarafından fayın kırılan kısmı boyunca sıralanan M1 ana sarsıntı ile A1 ve A2 artçı sarsıntılarının odak mekanizma çözümlerinin doğrultuları incelendiğinde,  $K25^\circ B$  ve sol yönlü doğrultu atım mekanizmasını yansıttığı belirtilmektedir (Ulutaş 2019) (Şekil 4.8).



**Şekil 4.8** 17-20 Ekim 2005 Sığacık depremlerinin ana sarsıntı (M-1,2,3) ve artçı sarsıntılarının (A- 1,2,3) dış merkez dağılımlarını gösteren sismotektonik harita (Aktar vd. 2007, Ulutaş 2019).

Çalışma bölgesinin Çeşme ve Urla ilçeleri arasında kalan alan Tan (2013)'da Karaburun Sismik Zonu olarak tanımlanmakta ve 2007-2011 yılları arasında bölgede yoğun mikrosismik aktivite olduğu belirtilmektedir (Şekil 4.9). Kenelidağ fayı, bu tanımlanan zonun ortasında yer almaktadır.



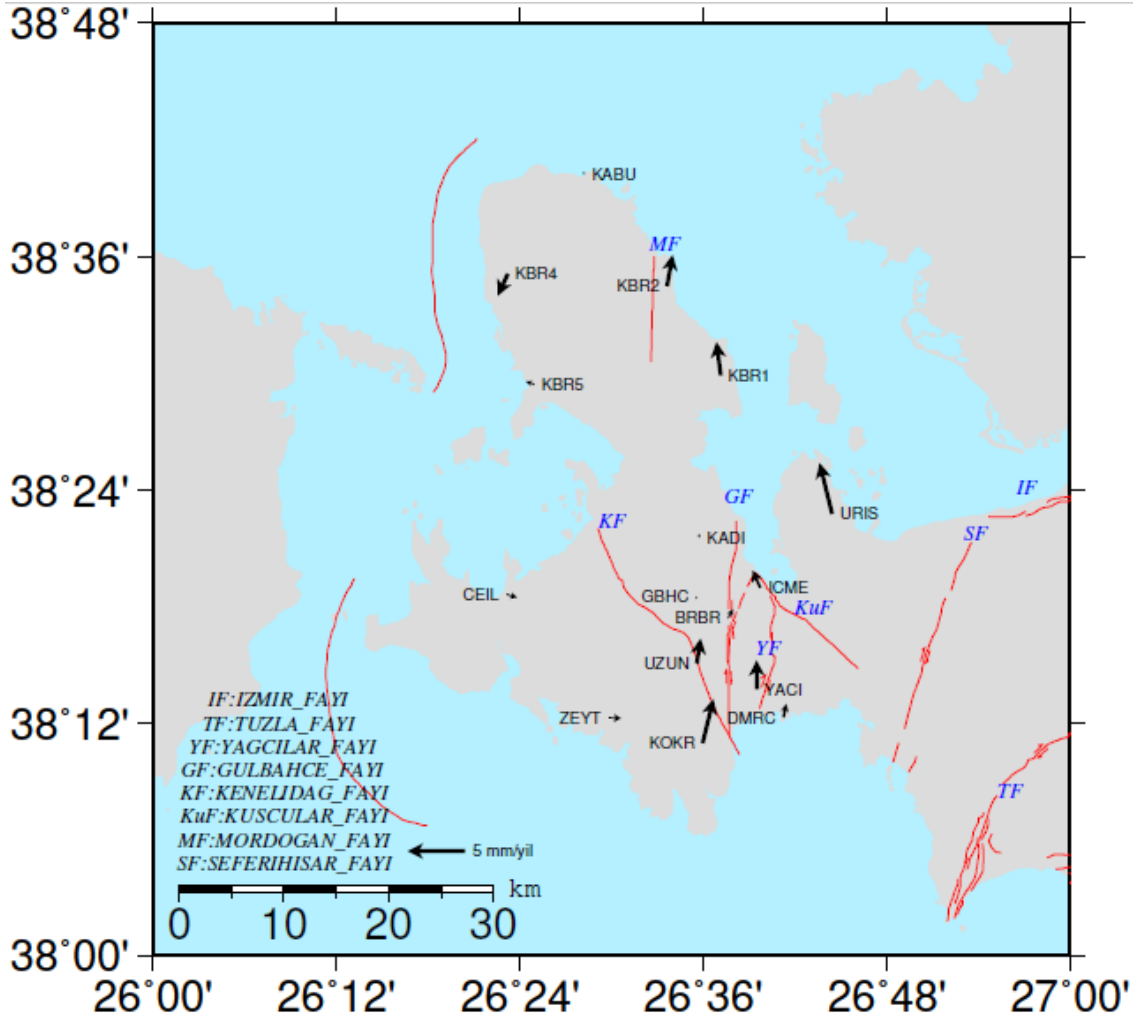
Şekil 4.9 Karaburun sismik zonu olarak tanımlanan bölgenin 2007-2011 yılları arası deprem aktivitesi (Tan 2013).

Şekil 4.9 incelendiğinde, CEIL noktasına yakın konumda meydana gelen sırasıyla 21,10,9 ve 11 numaralı depremlerin odak mekanizmaları K-G doğrultulu açılma ve D-B doğrultulu sıkışmayı işaret etmektedir. Elde edilen gerinim alanları incelendiğinde en küçük gerinimler bu bölgedir. bölgedeki gerinim küçük gerinim alanlarının sebebi, 2007-2011 yılları arasındaki buradaki yoğun sismik aktivite olarak değerlendirilmektedir.

Yine gerinim haritası incelendiğinde Gülbahçe Fayı'nın güneydoğu ve güneybatısında yer alan DMRC-YACI-KOKR-ZEYT noktaları ve çevresinde benzer bir durum görülmektedir. KKD-GGB doğrultulu açılma ve KKB-GGD doğrultulu sıkışma rejimi

fayın güneybatısına doğru KD-GB doğrultulu sıkışmaya değişim göstermektedir. Aktar vd. (2007)'nde meydana gelen bu depremlerden M1 ana sarsıntısının ( $M_w=5.4$ ) KB doğrultulu, M2 ( $M_w= 5.8$ ) ve M3 ( $M_w= 5.9$ ) ana sarsıntılarının ise KD doğrultulu eşlenik faylardan kaynaklandığını tespit etmişlerdir (Şekil 4.9). Odak mekanizma çözümlerinde de KKD-GGB doğrultulu açılma ve KKB-GGD doğrultulu sıkışma bileşenleri görülmektedir. Odak mekanizma çözümleriyle uyum gösteren gerinim bileşenlerinin küçülmesinin sebebi, bu depremler olarak değerlendirilmektedir (Şekil 4.7).

Gülbahçe fayı ve civarında ise KKD-GGB doğrultulu açılma ve KKB-GGD doğrultulu sıkışma bileşeninin baskın olduğu görülmektedir. Elde edilen gerinimler doğrultusunda Gülbahçe fayının mekanizması sol doğrultu atımlı olarak düşünülmektedir. Literatürde fayın mekanizması sağ doğrultu atımlı olarak tanımlanmaktadır (Emre vd. 2005, Pamukçu vd. 2013,2015 Çırmık vd. 2017a, Malaliçi 2019). Bu nedenle, Gülbahçe fayı ve bölgede yer alan diğer fayların hareketleri hakkında daha iyi yorum yapılabilmesi için görelî hız kombinasyon denemeleri yapılmıştır (Şekil 4.10, Şekil 4.11). İlk kombinasyon olarak, Mordoğan ve Gülbahçe faylarının batısında konumlanan KABU ve GBHC noktaları sabit kabul edilmiştir ve ağda yer alan diğer noktaların bu noktalara göre olan hızları belirlenmiştir (Şekil 4.10).



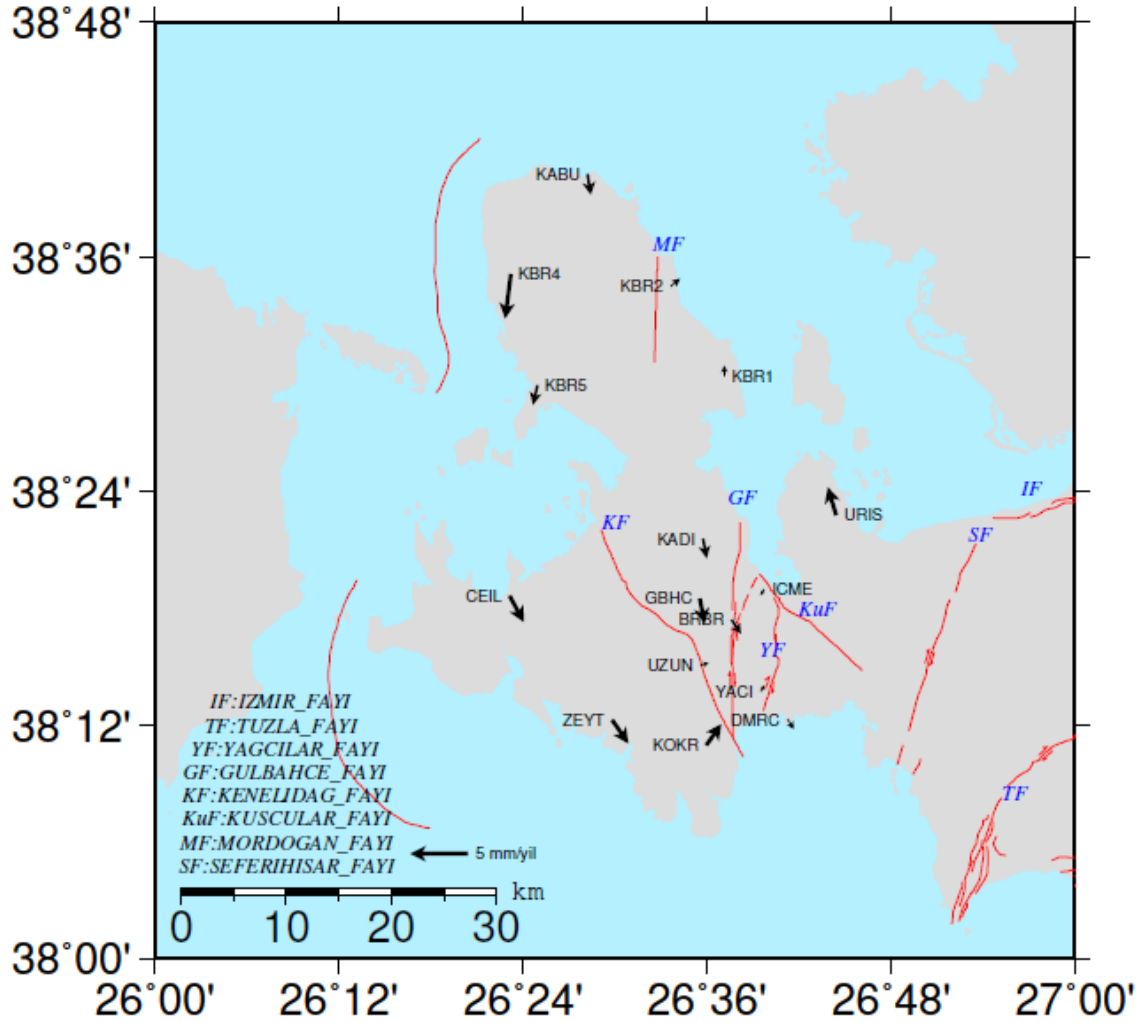
Şekil 4.10 KABU-GBHC rölatif hız kombinasyonu.

Şekil 4.10 incelendiğinde, Mordoğan ve Gülbahçe faylarının doğusunda konumlanan noktalarının (KBR2-KBR1-ICME-YACI-URIS) kuzeye doğru yaklaşık 2.5-4.5 mm/yıl rölatif hızlarla hareket ettiği görülmektedir. Bu fayların batısında konumlanan KADI ve KBR5 noktalarının rölatif hızlarının 0.5 mm/yıl altına düştüğü görülmektedir. BRBR noktasındaki rölatif hızın ise KD yönünde yaklaşık 1 mm/yıl olduğu görülmektedir. Bu nokta Gülbahçe fayının yakınında konumlandığı için hız farkının ortaya çıktığı düşünülmektedir. Benzer şekilde DMRC noktası yaklaşık 1.5 mm/yıl rölatif hızla KD yönünde hareket etmektedir. Bu noktanın Yağcılar fayının etkisi altında olduğu düşünülmektedir. UZUN-KOKR noktaları yaklaşık 2.5 ve 4 mm/yıl rölatif hızlarla KD yönünde hareket etmektedir. Bu noktaların da Kenelidağ fayının etkisi altında olduğu düşünülmektedir. KABU-GBHC kombinasyonuna genel olarak bakıldığında, Mordoğan ve Gülbahçe faylarının batısında konumlanan noktaların rölatif hızlarının çok küçük



olması nedeniyle bu fayların aynı yönlü harekete sahip olduğu düşünülmektedir.

Bir diğer kombinasyon ise Gülbahçe fayının doğusunda konumlanan YACI ve ICME noktaları sabit alınarak, diğer noktaların rölatif hızları belirlenmiştir (Şekil 4.11).



Şekil 4.11 YACI-ICME rölatif hız kombinasyonu.

Şekil 4.11 incelendiğinde, Mordoğan ve Gülbahçe faylarının batısında konumlanan noktaların genel olarak güneye doğru yaklaşık 2-3 mm/yıl rölatif hızlarla hareket ettiği görülmektedir. Bu fayların doğusunda konumlanan ancak yaklaşık 1-2 mm/yıl rölatif hızlarla KD yönünde hareket eden UZUN ve KOKR noktaları Kenelidağ fayının etkisi altında olduğu düşünülmektedir. Fayların batısında konumlanan noktaların (KBR1-KBR2-URIS) kuzeye doğru yaklaşık 1-2.5 mm/yıl rölatif hızlarla hareket etmektedir.

Mordoğan ve Gülbahçe faylarının batısında konumlanmasına karşı GD yönünde yaklaşık 1 mm/yıl hızla hareket eden DMRC noktasının bu kombinasyonda da Yağcılar fayının etkisi altında olduğu görülmektedir. Aynı zamanda bu kombinasyonda İzmir Körfezi etrafında saat yönünün tersi yönünde bir rotasyon hareketi görülmektedir.

Elde edilen gerinim alanı, bölgede daha önce yapılan jeodezik çalışmalardan elde edilen gerinim alanları ile karşılaştırılmıştır (Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, Aktuğ vd. 2009, zener vd. 2013, Malaliçi 2019).

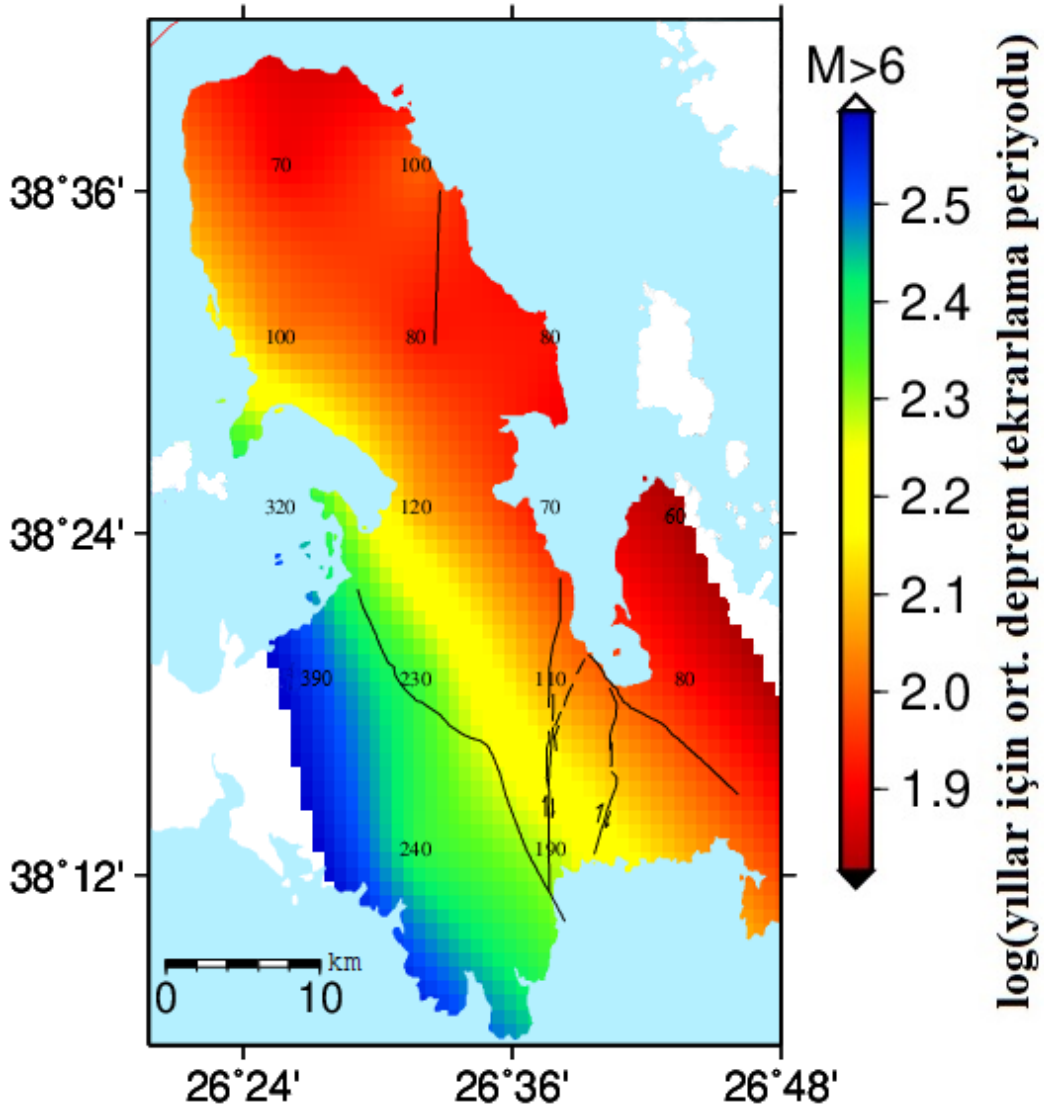
Bu çalışmada elde edilen gerinim alanı, bölgede yapılan diğer çalışmalardan elde edilen gerinim alanlarından farklı olduğu görülmektedir. Aktuğ ve Kılıçoğlu (2006)'nun elde ettikleri gerinim alanında Karaburun Yarımadası zerinde D-B doğrultulu açılma, kuzey ucunda ise KD-GB doğrultulu açılmanın varlığı görülmektedir. Aktuğ vd. (2009)'nde Karaburun Yarımadası'nın kuzeyi ve İzmir Körfezi içerisinde görülen KD-GB açılma ve sıkışma rejimi ise güneye doğru inildikçe KKD doğrultulu açılma ve D-B doğrultulu sıkışma rejimine değişim göstermektedir zener vd. (2013)'nde Gülbahçe fayı ve civarında ise doğrultu atım bileşeni gösteren KD-GB yönlü sıkışmanın varlığı göze çarpmaktadır. Malaliçi (2019) ise Gülbahçe fayı ve civarına yönelik yaptđđı çalışmada bölgeye dair elde ettiđđi hız vektörlerinden gerinim analizi gerçekleştirmiştir. Gerinim alanı incelendiğinde, Gülbahçe Körfezi kuzeyinde K-G yönlü açılma bileşenleri, İzmir Körfezi'ne kadar devam etmektedir. Gülbahçe fayı üzerinde KKB-GGD açılmalar, BGB-DKD sıkışmalar ve Gülbahçe Körfezi güneyinde ise KD-GB yönlü sıkışmaların varlığı görülmektedir. Bu farklılıkların temel sebebinin ise yapılan diğer çalışmalar için kurulan jeodezik ağlarda, bu çalışma için seçilen bölgede yer alan istasyon sayılarının bu çalışmaya oranla daha az sayıda olması olarak değerlendirilmektedir.

#### **4.4 Gerinim Analizi Yardımıyla Jeodezik Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi**

Tez çalışması kapsamında, gerinim analizi ile elde edilen gerinimler kullanılarak çalışma bölgesi ve civarına ilişkin jeodezik deprem tekrarlama periyotları belirlenmiştir.

Jeodezik deprem periyotlarının belirlenmesine yönelik bilgiler ve formüllerden üçüncü bölümde ilgili başlık altında bahsedilmiştir. Bu bilgiler doğrultusunda jeodezik moment hızlarının hesaplanmasında, bölgenin güncel hız alanı kullanılmıştır (Şekil 4.5). Bölgeye ait güncel gerinimler ise kurulan ağa ait noktaların dağılımları dikkate alınarak Geodsuit yazılımı ile hesaplanmıştır (Şekil 4.6). Hesaplamalar için sismojenik zon derinliği 15 km olarak alınmış ve birim alandaki jeodezik moment hızlarının moment hızlarına dönüşümü için sonlu elemanlar tekniği kullanılarak jeodezik deprem tekrarlama periyotları belirlenmiştir.

GNSS hızları kullanılarak elde edilen gerinim değerlerinden jeodezik deprem tekrarlama haritaları üretilmektedir. (Aktuğ 2017). Çalışma bölgesinin  $M_w \geq 6$  ve  $M_w \geq 7$  için iki jeodezik deprem tekrarlama haritası üretilmiştir (Şekil 4.12, Şekil 4.13).

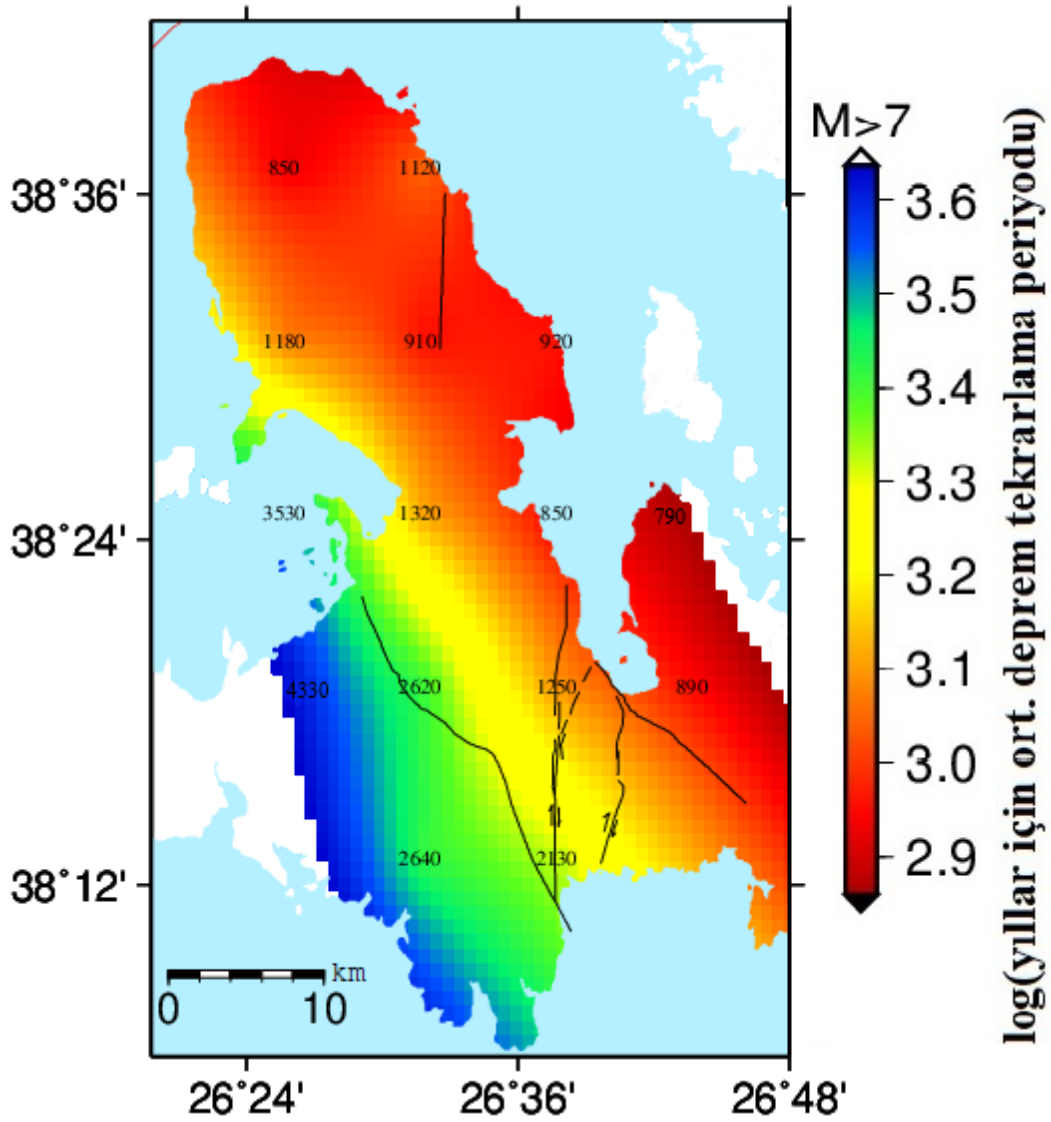


Şekil 4.12 Jeodezik deprem tekrarlaması haritası ( $M_w \geq 6$ ).

Şekil 4.12 incelendiğinde  $M_w \geq 6$  deprem tekrarlaması periyodu ortalama 70-110 yıl olarak hesaplanan Karaburun Yarımadası'nın açıklarında 1949 yılında  $M_w=6.8$  büyüklüğünde bir deprem meydana geldiği görülmüştür (Şekil 4.8). Yarımada üzerinde yer alan Mordoğan fayı ve çevresinde 70-100 yıl arasında değişim gösteren tekrarlaması periyoduna rağmen bu fay üzerinde meydana gelen bir deprem bulunmamaktadır.

Yarımadanın güneyi incelendiğinde,  $M_w \geq 6$  tekrarlaması periyodunun 100 yıla kadar arttığı görülmektedir. Urla ile Çeşme Yarımadası arasında kalan ve Tan (2013)'de Karaburun Sismik Zonu olarak tanımlanan bölgede ise tekrarlaması periyodu ortalama 120-390 yıl arasında değişim göstermektedir. Tan (2013)'da bu bölgede meydana gelen

depremlerin magnitüd değerleri  $M_w \geq 1-4$  arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.9). Tez çalışmasında incelenen Gülbahçe fayının kuzeyde Gülbahçe Körfezi içerisinde  $M_w \geq 6$  tekrarlama periyodu 70 yıl olarak belirlenmiştir. Fayın karada yer alan kısmında periyot 100-170 yıl arasında değişim gösterirken güneyde ise Sığacık Körfezi civarında 190 yıla kadar arttığı görülmektedir. Ekim 2005 tarihinde Sığacık Körfezi içerisinde seçilen  $M_w \geq 6$  eşik değerine yakın  $M_w=5.4$ ,  $M_w=5.8$  ve  $M_w=5.9$  olarak belirlenen üç deprem meydana gelmiştir (Şekil 4.8). Fayın kuzeyinde ve karada yer alan kısmında belirlenen eşik değerde veya eşik değere yakın değerlerde meydana gelen bir deprem bulunmamaktadır.



Şekil 4.13 Jeodezik deprem tekrarlama haritası ( $M_w \geq 7$ ).

Çalışma bölgesinin eşik değeri  $M_w \geq 7$  olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama haritası incelendiğinde, tekrarlama periyodu 850-4330 yıl arasında değişim göstermektedir (Şekil 4.13). Bölgenin en düşük tekrarlama periyodunun, Urla ilçesinin kuzey açıkları, Kuşçular fayı ve Karaburun Yarımadası civarında olduğu görülmektedir.  $M_w \geq 7$  değeri için çalışma bölgesinin en yüksek tekrarlama periyodu ise Çeşme Yarımadası ile Urla arasında kalan kısımdır. Gülbahçe Körfezi içerisinde periyot 850 yıl iken, Gülbahçe ve Sığacık Körfezleri arasında karada uzanan kısmında yaklaşık 1000-2200 yıl arasında değişim göstermektedir. Çalışma bölgesi içerisinde  $M_w \geq 7$  meydana gelen bir deprem bulunmamaktadır.

## 5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Tez çalışması kapsamında; Gülbahçe fayının kinematığı hakkında bilgilere ulaşabilmek ve çevresinde yer alan diğer faylarla ilişkilerinin incelenmesine yönelik olarak, merkezi Urla ilçesi olmak üzere Karaburun ilçesi ve Çeşme ilçesinin bir kısmını kapsayan bir çalışma bölgesinde toplam 17 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur.

Kurulan ağa ait 6 nokta Gülbahçe fayını kapsayacak şekilde konumlanmakta ve ilk defa bu çalışmada kullanılmaktadır. Elde edilen GNSS ölçüleri, uygun IGS istasyonları (Çizelge 4.4) ile GAMIT/GLOBK bilimsel yazılım takımında değerlendirilmiştir. İteratif çözümlerle elde edilen hız değerleri, Avrasya sabit ve ITRF 2008 epoğunda üretilmiştir. Çalışma bölgesine ait elde edilen hız alanını genişletmek amacıyla çalışma bölgesi ve çevresinde geçmiş yıllara ait yayınlanan çalışmaların (Özener vd. 2013) hızları Aktuğ vd. (2009) tarafından belirtilen yöntem kullanılarak, sadece hız seviyesinde basit bir kombinasyon ile birleştirilmiştir. Çalışma bölgesinin güncel hız alanı, hızların birleştirilmesiyle Avrasya plakası sabit alınarak elde edilmiştir ve doğrulukları yaklaşık 1 mm civarındadır.

Çalışma bölgesinin elde edilen güncel hız alanı (Şekil 4.5) incelendiğinde, noktaların Avrasya sabit yaklaşık 20-25 mm/yıl hızlarla batı ve güney-batı yönlerine doğru hareket ettiği görülmektedir. Bu sonuçların, bölgede yapılan diğer GNSS ölçüleri ile elde edilen hız alanları ile uyum içinde olduğu görülmektedir (Aktuğ ve Kılıçoğlu 2006, Aktuğ vd. 2009, Özener vd. 2013, Pamukçu vd. 2013,2015, Çırmık 2017a, Malaliçi 2019).

Çalışma bölgesinde, gerinimleri hesaplamak ve bu gerinim hesaplamaları doğrultusunda bölgedeki jeodezik deprem tekrarlaması periyotlarını belirlemek amacıyla 2 boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Çalışma bölgesinin güncel gerinim alanı (Şekil 4.6) incelendiğinde, Karaburun Yarımadası'nda KD-GB doğrultulu açılma ve KB-GD doğrultulu sıkışma rejiminin hakim olduğu görülmektedir. Karaburun Yarımadası civarında meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri gerinim alanı ile karşılaştırıldığında birbirleriyle genel olarak uyumlu oldukları görülmüştür.

Karaburun Yarımadası'nın güneyine doğru ilerledikçe gerinimlerin giderek küçüldüğü görülmektedir (Şekil 4.6). Bölgedeki gerinimlerin kuzeye oranla küçülmesinin sebebi 2005 yılında Sığacık Körfezi içerisinde meydana gelen bu depremler olarak düşünülmektedir. Yine gerinim analizleri incelendiğinde Gülbahçe fayı üzerinde görülen KKD-GGB doğrultulu açılma ve sıkışma bileşenleri Çeşme Yarımadası'na doğru D-B sıkışma bileşenine değişim göstermektedir. Bu bölgede küçük miktarda da olsa açılma bileşeni bulunmaktadır ve Kenelidağ fayı civarındaki gerinimler sol doğrultu atım fay mekanizmasını işaret etmektedir. 2005 yılında Sığacık Körfezi içerisinde meydana gelen artçı depremlerin çözümleri bu sonucu desteklemektedir.

Gülbahçe fayının kuzey ucunun deniz altına girdiği Gülbahçe Körfezi içerisinde ve fay üzerinde KKD-GGB doğrultulu açılma ve KKB-GGD doğrultulu sıkışma bileşeninin baskın olduğu görülmektedir. Bölgede yapılan çalışmalarda Gülbahçe fayının mekanizması sağ doğrultu atımlı olarak belirlenmiştir (Emre vd. 2005, Pamukçu vd. 2013,2015 Çırmık vd. 2017a, Malaliçi 2019, Ulutaş 2019). Ancak bu çalışmada elde edilen gerinimler fay düzlemi ile birlikte incelendiğinde, sol doğrultu atım mekanizmasını işaret etmektedir. Bu sonuçlar GNSS hızlarının rölatif kombinasyon denemelerinde net olarak görülmektedir (Şekil 4.10, Şekil 4.11). Rölatif hareketlere göre Gülbahçe fayı civarında yaklaşık sol yönlü yaklaşık 2.5-3 mm/yıl rölatif hızı hesaplanmıştır. Yine bu rölatif hızlara göre Mordoğan fayında sol yönlü 2.5-3 mm/yıl rölatif hızlar hesaplanmıştır (Şekil 4.10). Yine rölatif hız sonuçlarına göre İzmir Körfezi etrafında saat yönünün tersi yönünde bir rotasyon hareketi görülmektedir (Şekil 4.11). GNSS hızları kullanılarak elde edilen gerinim değerlerinden jeodezik deprem tekrarlamaları haritaları üretilmiştir. Bölgenin kuzeyinin güneyine doğru daha kısa sürede orta büyüklükte deprem üretme potansiyeline sahip olduğu görülmüştür.  $M_w \geq 6$  için üretilen harita incelendiğinde, çalışma bölgesinin Mordoğan fayı civarında periyodun 70-100 yıl olduğu görülmektedir (Şekil 4.12). Bölgenin güneyinde ise Gülbahçe fayı civarında 100-110 yıl civarında olduğu görülmüştür.  $M_w \geq 7$  için ise, bu periyodun Mordoğan ve Gülbahçe fayları için yaklaşık 1000-1250 yıl arasında değişim gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.13).



## 6. KAYNAKLAR

- Aktar M, Karabulut H, Özalaybey S, Childs D, 2007, A Conjugate Strike-Slip Fault System Within the Extensional Tectonic of Western Turkey, *Geophysical Journal International* 171, 1363-1375.
- Aladoğan K 2017, Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Yer Kabuğu Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle İzlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Afyonkarahisar.
- Alkan R M, Ozulu İ M, İLÇİ V, 2017, Klasik GNSS Veri Değerlendirme Yazılımlarına Alternatif Olarak Webtabanlı Online Değerlendirme Servisleri, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi 17, 603-619.
- Alptekin Ö, 1973, Fochal Mechanisms of Earthquakes in Western Turkey and Their Implications, New Mexico Institute of Mining and Technology Socorro, Ph. D. Thesis, 95p, New Mexico.
- Altunel E, Hancock P I, 1993, Morphology and Structural Setting of Quaternary travertines at Pamukkale, Turkey, *Geological Journal* 28, 335-346.
- Ambraseys N N, 1988, Engineering Seismology. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 17, 1-105.
- Ambraseys N N, Finkel C, 1995, The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas, A Historical Review, 1500-1800. Eren, Istanbul, 240 pp.
- Ambraseys N N, Jackson J A, 1998, Faulting Associated with Historical and Recent Earthquakes in the Eastern Mediterranean Region, *Geophysical Journal International* 133, 390-406.
- Aktuğ B, Kılıçoğlu A, 2006, Recent Crustal Deformation of İzmir, Western Anatolia and Surrounding Regions as Decoded From Repeated GPS Measurements and Strain Field, *Journal of Geodynamics*, 41, 471-484.
- Aktuğ B, Nocquet J M, Cingöz A, Parsons B, Erkan Y, England P C, vd., 2009, Deformation of Western Turkey from a Combination of Permanent and Campaign GPS Data: Limits to Block-like Behavior, *Journal of Geophysical*

- Research, 114, 1978-2012.
- Aktuğ B, Jeodezik Deprem Tehlike Haritası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 2017, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 3-6 Mayıs 2017, Ankara.
- Aksu A E, Konuk T, Ulug A, Duman M, Piper DJ W, 1990, Quaternary Tectonic and Sedimentary History of Eastern Aegean Sea Shelf Area, Jeofizik 4, 3-35.
- Barka A A, Kadinsky-Cade K, 1988, Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, Tectonics 7, 663-684.
- Baysal D, Aktuğ B, Koçyiğit A 2010, GPS Nokta Koordinatlarındaki Zamana Bağlı Değişimlerin Analizi ve Yorumu: İzmir Bölgesinde Uygulama, Harita Dergisi, 144, 29-39.
- Bingöl E, 1976, Batı Anadolu'nun Jeotektonik Evrimi. Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi 86,14-34.
- Bozkurt H, Sözbilir H 2004, Tectonic Evolution of the Gediz Graben: field evidence for an episodic, two stage extension in Western Turkey, Geological Magazine, 141(1), 63-79.
- Çırmık A, Pamukçu O, Gönenç T, Kahveci M, Şalk M, Herring T, 2017a, Examination of the Kinematic Structures In İzmir (Western Anatolia) with Repeated GPS Observations (2009,2010,2011), Journal of African Earth Sciences, 126, 1-12.
- Çırmık A, Pamukçu O, and Gönenç T, 2017b, The Stress/Strain Analysis of Kinematic Structure at Gülbahçe Fault and Uzunkuyu Intrusive (İzmir, Turkey), Pure and Applied Geophysics, 174, 1425-1440.
- Dewey J F, Şengör A M C, 1979, Aegean and Surrounding Regions: Complex Multiple and Continuum Tectonics In a Convergent Zone, Geological Society of America Bulletin, 90, 84-92.
- Dong D, Herring T A, King R W 1998, Estimating Regional Deformation From a Combination of Space and Terrestrial Geodetic Data Journal of Geodesy, 72, 200-214.
- Dönmez E, 2018, Gediz Fayı Yerkaşuğu Hareketlerinin Gns Gözlemleri ile İzlenmesi,

- Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s, Afyonkarahisar.
- Duman T Y, Çan T, Emre Ö, Kadirioglu T F, Baştürk N B, Kılıç T, vd., 2016, Seismotectonic Database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 3277-3316.
- Duman T Y, 2017, Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, 12 s, Ankara-Türkiye.
- Emre Ö, Özalp S, Doğan A, Özaksoy V, Yıldırım C, Göktaş F, 2005, İzmir ve Yakın Çevresinin Diri Fayları ve Deprem Potansiyelleri, Jeoloji Etütleri Dairesi Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No:10754
- Emre Ö, Özalp S, Duman T Y, 2011, 1: 250,000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, İzmir (NJ 35-7) Paftası, Seri No: 6, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Emre Ö, Özalp S, 2011, 1: 250,000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası, Urla (NJ 35-7) Paftası, Seri No: 5, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, Türkiye.
- Erdoğan S, 2005, Burdur Fethiye Fay Zonunun GPS ile İzlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 115s, İstanbul.
- Ergin K, Güçlü U, Uz Z, 1967, A Catalogue of Earthquakes For Turkey And Surrounding Area, Istanbul Technical University Press, 24 -189, Istanbul.
- Feigl K L, King R W, Jordan T H, 1990, Geodetic measurements of Tectonic Deformation In the Santa Maria Fold and Thrust Belt, California. Journal of Geophysical Research 9, 2679–2699.
- Gökce V, 2007, Güneybatı Türkiye’de Depremsellik ve Deprem Tehlike Analizi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 96s, Isparta.
- Göktaş F, 2011, Urla (İzmir) çöküntüsündeki Neojen Tortullaşması ve Volkanizmasının Jeolojik Etüdü, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 11568, 112.
- Göktaş F, 2014, Karaburun Yarımadası Kuzey Kıyı Kesiminin Neojen stratigrafisi.

- Maden Tetkik ve Arama Dergisi 148, 43-61.
- Hanks T C, Kanamori H 1979, A Moment Magnitude Scale, Journal of Geophysical Research 84, 2348 – 235.
- Hernandez S, 2006, GPS data processing via GAMIT/GLOBK: applications to the East Africa Rift, Academic Affiliation Senior, The University of Texas at El Paso USA.
- Herring T A, King R W, McClusky S C, 2009, GAMIT reference manual, Release 10.4. Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- İnci U, Sözbilir H, Erkül F, Sümer Ö, 2003, Urla-Balıkesir Arası Depremlerin Nedeni Fossil Bir Fay, Cumhuriyet ve Bilim Teknik Dergisi, 21 Haziran, 7-8.
- Kalafat D, Güneş Y, Kekovalı K, Kara M, Deniz P, Yılmaz M, 2011, Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2010  $M \geq 4.0$ ), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.
- Kavak S, 2020, GNSS Ölçüleriyle Fayların İzlenmesi: Karaburun Fayı Örneği, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 54s, Afyonkarahisar.
- Kaya O, 1979 Ortadoğu Ege Çöküntüsünün (Neojen) Stratigrafisi ve Tektoniği, Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 35-58.
- Kaya O, 1981, Miocene Reference Section for the Coastal Parts of West Anatolia, Newsletters on Stratigraphy, 10, 164-191.
- Lenk O, Türkezer A, Ergintav S, Kurt A İ, Belgen A, 2003, Monitoring the Kinematics of Anatolia Using Permanent GPS Network Stations. Turkish Journal Of Earth Sciences 12,55-65.
- Malaliçi B, 2019, Gülbahçe fayı ve Çevresinin Jeodinamik Yapısının İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 88s, İzmir.
- Masce J, Martin L, 1990, Shallow Structure And Recent Evolution of the Aegean Sea: Asynthesis Based on Continuous Reflection Profiles, Marine Geology 94, 271–

299.

- McClusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Ergintav S, Georgiev I, vd., 2000, Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics And Dynamics İn the Eastern Mediterranean and Caucaus, *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5719.
- Mc Kenzie D P, 1972, Active Tectonics of the Mediterranean Region., *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 30, 109-185.
- Mc Kenzie D P, 1978, Active Tectonics of the Alpin-Himalayan Belt: The Aegean sea and Surrounding Regions. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society* 55, 217- 254.
- Ocakoğlu N, Demirağ E, Kuşcu I, 2004, Neotectonic Structures İn the area offshore of Alaçatı, Doğanbey, and Kuşadası, Western Turkey: Evidence of Strike-Slip Faulting in the Aegean Extensional Province, *Tectonophysics*, 391, 67-83.
- Ocakoğlu N, Demirağ E, Kuşcu I, 2005, İzmir Kırfezi ve Çevresinin Sualtı Aktif Fayları ve Depremelliği, *Yerbilimleri*, 27, 23-40.
- 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
- 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, 615-635.
- Öztürk M 2019, Banaz Fayının Tektonik Hareketlerinin GNSS Yöntemiyle Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, Afyonkarahisar.
- Papazachos B C, Comninakis P E, Karakaisis G F, Karakostas B G, Papaioannou C A, Papazachos C B, et al. 2000, A catalogue of earthquakes in Greece and surrounding area for the period 550BC– 1999, Publication of the Geophysical Laboratory, University of Thessaloniki.
- Pamukçu O, Gönenç T, Çırmık A, Kahveci M, 2013, Sismik Riski Yüksek Olan İzmir-

Karaburun'un Güneyinde Yapılmış Mikrogravite ve GPS Çalışmaları, TMMOB Jeofizik Dergisi, 18, 59-66.

Pamukçu O, Gönenç T, Çırmık A, Sındırgı P, Kaftan İ, Akdemir Ö 2015, Investigation of vertical mass changes in the south of Izmir (Turkey) by monitoring microgravity and GPS/GNSS methods. Journal of Earth System Science, 124, 137–148.

Poyraz F, 2009, Kuzey Anadolu Fay Zonu Doğu Kesiminde Yatay Yerkağu Hareketleri ve Gerilme Birikiminin Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 140s, İstanbul.

Poyraz F, Aydın Ö, 2009 Jeodezik Verilerden Strain (Gerinim) Elemanlarının Belirlenmesi Üzerine Bir İnceleme, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 11-15 Mayıs, Ankara.

Reilinger R, McClusky S, Vernant P, Lawrence S, Ergintav S, Cakmak R, vd., 2006, GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia- Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, Tectonics, 111, 1-26.

Sezer L İ 2005, Karaburun (İzmir) Yöresinde Deprem Aktivitesi ve Riski, Türkiye Kuvaterner Sempozyumu (TURQUA-V), 2-5 Haziran, İstanbul, 14.

Shen Z-K, Jackson D D, Bob X G, 1996, Crustal Deformation Across and Beyond the Los Angeles Basin From Geodetic Measurements, Journal of Geophysical Research Atmospheres, 101, 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, Afyonkarahisar.

Sözbilir H, İnci U, Erkül F, Sümer Ö, 2003, An Active İntermittent Transfer 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. In: Recent Progress in Tectonics and Palaeo-seismology and Field Training Course in Palaeoseismology, Ankara, Turkey. Abstracts, 87.

- Sözbilir H, Uzel B, Sümer Ö, İnci U, Yalçın Ersoy E, Koçer T vd., 2008, Evidence for a kinematically linked E-W trending Izmir Fault and NE-trending Seferihisar Fault: kinematic and paleoseismological studies carried out on active faults forming the Izmir Bay, Western Anatolia, Geological Bulletin of Turkey, 51, 91-114.
- Sözbilir H, Sümer Ö, Uzel B, Ersoy Y, Erkül F, İnci U, vd., 2009, 17-25 Ekim 2005 Sığacık Körfezi (İzmir) Depremlerinin Sismik Jeomorfolojisi ve Bölgedeki Gerilme Alanları ile İlişkisi, Batı Anadolu, Türkiye Jeoloji Bülteni 52, 2.
- Sümer Ö, 2007, Güzelbahçe (İzmir) Çevresinin Alüvyonal Sedimentolojisi ve Aktif Tektoniği, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 114s, İzmir.
- Sykes L R, 1967, Mechanism of Earthquakes and Nature of Faulting on the Mid-Oceanic Ridges, Journal of Geophysical Research, 72, 2131-2153.
- Şafak Ş, 2019, GNSS Hız Doğruluklarına Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92s, Afyonkarahisar.
- 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, 31 August—12 September 2003, Ankara, Turkey. Middle East Technical University (METU) Press, Ankara, pp. 147.
- Tan O, Tapırdamaz M C, Yörük A, 2008, The Earthquake Catalogues for Turkey, Turkish Journal of Earth Sciences 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 ile Güneybatı Anadolu'daki blok hareketleri ve gerilim alanlarının belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri

- Enstitüsü, Doktora Tezi, 173s, İstanbul
- Turcotte D L, Schubert G, 1982, Geodynamics: Applications of Continuum Physics to Geological Problems, John Wiley&Sons, New York.
- Ulutaş M O, 2019, Karaburun Yarımadası'nın Kuvaterner – Holosen Faylarının Deprem Üretme Potansiyelinin Jeolojik, Jeomorfolojik ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle İncelenmesi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 335s, İzmir.
- Umutlu A İ, 2019, Alaşehir (Manisa) Bölgesindeki Gerinim Alanların Jeodezik Verilerden Belirlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 57s, Afyonkarahisar.
- Uzel B, Sözbilir H, 2008, A first record of strike-slip basin in western Anatolia and its tectonic implication: the Cumaovası basin as an example. Turkish Journal of Earth Sciences, 17, 559–591.
- Uzel, B. (2013). Geologic evolution of İzmir Balıkesir Transfer Zone: A Crustal Scale, Structure Reorganizing Extensional Tectonics In Western Anatolia, Türkiye, M.Sc. Thesis, Dokuz Eylül University, Graduate School Of Natural and Applied Sciences, İzmir.
- 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 of Geodynamics, 65, 94–116.
- Uzelli T, 2013, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Kampüsü (Gülbağçe-İzmir) ve civarının neotektonik özellikleri, Batı Anadolu, Türkiye, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 151s, Ankara.
- Ward S N, 1994, A Multidisciplinary Approach to Seismic Hazard in Southern California, Bulletin of the Seismological Society of America, 84, 1293-1309.
- Ward S N, 2007, On the Consistency of Earthquake Rates, Geological Fault Data, and Space Geodetic Strain: The United States, Geophysical Journal International, 134, 172-186.



- Wegener A, 1966 The Origin of Continents and Oceans, Dover Publications, 246p, Newyork
- Welsch W 1981, Description of Homogeneous Horizontal Strains and Some Remarks to Their Analysis, IAG Symposium On Geodetic Networks and Computation, German Geodetic Commision 188205.
- Yavaşoğlu H 2003, Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 64s, İstanbul.
- Yıldız F, Kahveci M, 2009, GPS/GNSS uydularla konum belirleme sistemleri, Nobel Yayınları, Ankara.
- Yolsal Cevikbilen S, Taymaz T, Helvacı C 2014, Earthquake mechanisms in the Gulfs of Gökova, Sığacık, Kuşadası, and the Simav Region (Western Turkey): Neotectonics, seismotectonics and geodynamic implications. Tectonophysics 635, 100-124

## **İnternet Kaynakları**

- 1) <http://depem.afad.gov.tr/depemkatalogu/>, 01.08.2019
- 2) <http://gps.gov/systems/gps/space/>, 10.03.2020
- 3) <http://electronicshub.org/global-positioning-system-gps/>, 10.03.2020
- 4) <http://gps.gov/systems/gps/control/>, 12.03.2020

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Eda Esmâ Eyübagil  
Doğum Yeri ve Tarihi : Afyonkarahisar 10.09.1996  
Yabancı Dili/ (varsa puan) : İngilizce  
İletişim (Telefon/e-posta) : 5423015668/ edaeyubagil@gmail.com

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Afyon Lisesi, (2010-2014)  
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği  
Bölümü, (2014-2018)  
Yüksek Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri  
Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı,  
(2018-2020)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl : Yusuf Özer Mesleki ve Teknik Anadolu Lisesi  
(2019- 2020)

