



**20 TEMMUZ 2017 (Mw:6.6) BODRUM-KOS DEPREMİ
SONRASI GÖKOVA KÖRFEZİ'NDEKİ GERİNİM
ALANLARININ BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

Bu tez çalışması 22.FEN.BİL.19 numaralı proje ile AKÜ BAPK tarafından desteklenmiştir.

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

20 TEMMUZ 2017 (M_w:6.6) BODRUM-KOS DEPREMİ SONRASI
GÖKOVA KÖRFEZİ'NDEKİ GERİNİM ALANLARININ
BELİRLENMESİ

Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK

Danışman

Prof. Dr. İbrahim TİRYAKIOĞLU

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Temmuz 2023

TEZ ONAY SAYFASI

Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK tarafından hazırlanan “20 Temmuz 2017 (Mw:6.6) Bodrum-Kos Depremi Sonrası Gökova Körfezi’ndeki Gerinim Alanlarının Belirlenmesi” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 13 / 07 / 2023 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 : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Başkan : Doç. Dr. Hasan Hakan YAVAŞOĞLU
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fak.

Üye : Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fak.

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Halil İbrahim SOLAK
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek
Yüksekokulu

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

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

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

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

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

beyan ederim.

13 / 07 / 2023

Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

20 TEMMUZ 2017 (Mw:6.6) BODRUM-KOS DEPREMİ SONRASI GÖKOVA KÖRFEZİ'NDEKİ GERİNİM ALANLARININ BELİRLENMESİ

Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU

Bodrum yarımadası açıklarında 20 Temmuz 2017 tarihinde Mw: 6.6 büyüklüğünde yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Bu çalışma kapsamında bölgede postsismik dönemin sonrasındaki güncel gerinimlerin hesaplanması ve buna bağlı olarak jeodezik deprem tekrarlama periyotlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bunun için 28 noktadan oluşan bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Bu ağda 2022 yılı Şubat ve Aralık aylarında birer kampanya GNSS ölçümü gerçekleştirilmiştir. Ayrıca ağda yer alan noktalarda geçmiş çalışmalarda elde edilen GNSS verileri temin edilmiştir. Temin edilen ve gerçekleştirilen 2 kampanya sonucunda elde edilen GNSS verilerinin değerlendirilmesiyle çalışma bölgesinin deprem öncesi ve deprem sonrası hız alanı hesaplanmıştır. Deprem sonrası hız alanı kullanılarak yapılan gerinim analizinden elde edilen sonuçlara göre maksimum gerinimler 230 ns/yıl ile Gökova Körfezi'nde hesaplanmıştır. Bununla birlikte Gökova körfezi içinde Mw:6 ve üzeri depremlerin 50-70 yıl, Mw:7 ve üzeri depremlerin ise 550-750 yıl arasında jeodezik tekrarlanma periyotlarına sahip oldukları belirlenmiştir. Bu çalışma kapsamında Gökova Fay Zonu'nun üzerinde Ören segmenti ve çevresinde Mw:6.3-6.9 büyüklüğünde deprem üretebilecek enerjinin biriktiği belirlenmiştir.

2023, ix + 78 sayfa

Anahtar Kelimeler: Gökova Körfezi, Bodrum-Kos Depremi, Postsismik Deformasyon, Deprem Tekrarlama Periyodu, GNSS.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF STRAIN AREAS AFTER THE 20 JULY 2017 BODRUM-KOS EARTHQUAKE (M_w :6.6) IN THE GÖKOVA GULF

Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Geomatics Engineering

Supervisor: Prof. İbrahim TİRYAKİOĞLU

On July 20, 2017, a devastating earthquake with a magnitude of M_w :6.6 occurred off the Bodrum peninsula. The scope of this study, aimed to determine the geodetic earthquake recurrence periods by calculating the current strain fields of the Gulf of Gökova after the Bodrum-Kos earthquake. For this purpose, a GNSS network consisting of 28 sites was established. In this network, the first campaign of GNSS observations was carried out in February 2022, followed by the second campaign in December 2022. In addition, GNSS data obtained in previous studies were obtained at the sites in the network. The pre-earthquake and post-earthquake velocity field of the study area was calculated by evaluating the data obtained and the GNSS data obtained as a result of the 2 campaigns. According to the strain analysis results calculated by post earthquake velocity field, the maximum strains in Gökova Gulf were calculated to be 230 ns/year. In addition, it has been calculated that earthquakes with a magnitude of 6 and above occur approximately every 50-70 years, while earthquakes with a magnitude of 7 and above occur approximately every 550-750 years in the Gulf of Gökova. Within the scope of this study, energy accumulation between magnitude (M_w) 6.3-6.9 was calculated for the Ören segment and its vicinity on the Gökova Fault Zone.

2023, ix + 78 pages

Keywords: Gökova Gulf, Bodrum-Kos Earthquake, Postseismic Deformation, Earthquake Recurrence, GNSS.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasına araştırmamın konusu, arazi çalışmalarının planlanması, sonuçların değerlendirilmesi, yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı ve tüm kalbiyle babacan bir tavırla sahiplenerek önderlik etmiş olduğu öğrencileri arasında olmaktan gurur duyduğum tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'na sevgi, saygı ve şükranlarımı sunarım. Araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr. Öğretim Üyesi Halil İbrahim SOLAK 'a teşekkür ederim. Her konuda öneri ve desteği ile yardımını esirgemeyen birlikte çalışmaktan keyif aldığım Harita Yüksek Mühendisi Eda Esmâ EYÜBAGİL ve Arş. Gör. Eren Can SEYREK'e teşekkür ederim. Arazi çalışmaları kapsamında destek veren Harita Mühendisi Burak GÖĞERCİN ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Varlığını kalbimdeki sevgisiyle daima hissedeceğim babam Osman ÇAKANŞİMŞEK'e, beni her türlü konuda cesaretlendiren en büyük desteğim annem Demet Gül NALÇACI ve tüm kaygılarımı neşesiyle dağıtan canım kız kardeşim Almila Elifnur ÇAKANŞİMŞEK'e teşekkür ederim.

Danışmanım Sayın Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU'nun yürütücülüğünde gerçekleştirilmekte olan 121Y295 numaralı "Havran Balıkesir Fay Zonunda Güncel Deformasyonların ve Potansiyel Deprem Büyüklüklerinin Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesi" isimli TÜBİTAK projesinde yüksek lisans bursiyeri olarak görev aldığım süre içerisinde gerçekleştirdiğim tez çalışmasına ve bana akademik/motivasyonel katkıları için TÜBİTAK'a teşekkür ederim. Bu tez çalışması 22.FEN.BİL.19 numaralı proje kapsamında Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK
Afyonkarahisar 2023

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ	5
3. GÖKOVA KÖRFEZİNİN TEKTONİK VE JEOLJİK YAPISI	15
3.1 Gökova Körfezinin Tektonik Jeomorfolojisi/Gelişimi ve Sismik Kaynakları	15
3.1.1 Datça Fayı	17
3.1.2 Knidos Fayı	18
3.1.3 Muğla – Yatağan Fay Zonu.....	18
3.1.4 Milas Fayı	19
3.1.5 Gökova Fay Zonu.....	20
3.2 Gökova Körfezinin Depremselliği	21
4. GNSS ÖLÇÜLERİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN MODELLENMESİ.....	31
4.1 Gerinim ve Gerilim.....	33
4.2 Jeodezik Yöntemlerle Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi.....	35
5. UYGULAMA.....	37
5.1 Çalışma Alanı	37
5.2 Çalışma Kapsamında GNSS Ağının Kurulması ve GNSS Gözlem Stratejisi	37
5.3 GNSS Gözlemlerinin Gerçekleştirilmesi ve Noktalara Ait Geçmiş GNSS Verilerinin Temin Edilmesi	40
5.4 GNSS Verilerinin GAMIT/GLOBK Yazılım Takımı ile Değerlendirilmesi	41
5.5 Çalışma Bölgesinin Hız Alanının Oluşturulması.....	55
5.6 Çalışma Bölgesinin Gerinim Analizi	56
5.7 Çalışma Bölgesinin Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi	58
6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	65

7. KAYNAKLAR.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	77



KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltmalar

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
ITRF	International Terrestrial Reference Frame
KOERI	Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute
PSInSAR	Permanent/Persistent Scatterer Interferometric Synthetic Aperture Radar
MIT	Massachusetts Institute of Technology
NRMS	Normalized Root mean Square
RINEX	Receiver Independent Exchange
SLR	Satellite Long Range
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TUTGA	Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı
VLBI	Very Long Baseline Interferometry
WGS	World Geodetic System
WRMS	Weighted Root Mean Square

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1 Levha hareketlerinin dinamik yapısı (İnt. Kyn. 1).....	2
Şekil 2.1 Anadolu Levhasının; Afrika, Arap ve Avrasya levhalarının etkisi altında rotasyonel hareketi (Gezgin 2020).	6
Şekil 2.2 Anadolu levhasının Avrasya'ya göre GPS hareket hızlarını gösterir harita (Reilinger, 2006).	7
Şekil 3.1 Gökova körfezi ve çevresindeki diri fayları gösterir harita.	16
Şekil 3.2 Tarihsel dönem depremleri ve yaklaşık konumlarını gösterir harita (Kartal vd. 2014).....	22
Şekil 3.3 Gökova Körfezi ve çevresinde 1900-2017 yılları arasında meydana gelen $4 < M_w < 5.3$ büyüklüğündeki depremlerin konumu ile 1900-2016 yılları arasında meydana gelen deprem fırtınası olarak tanımlanan depremlerin ve Bodrum Kos depreminin artçıları ve ana şokun konum/odak mekanizma çözümleri... 24	
Şekil 3.4 Standart yerçekimi değerleri cinsinden 50 yıl içinde %10 aşılma olasılığı için öngörülen yer ivmesini gösteren Ege Sismik Tehlike Haritası, (Mason vd. 2017).....	29
Şekil 5.1 Çalışma kapsamında oluşturulan GNSS ağı	38
Şekil 5.2 Çalışmada kullanılan GNSS Alıcıları	40
Şekil 5.3 Arazi çalışmalarına ait görseller.....	41
Şekil 5.4 GAMIT/GLOBK dosya yapısı.....	44
Şekil 5.5 Station Info dosya içeriği	45
Şekil 5.6 "sites.defaults" dosya içeriği	46
Şekil 5.7 Çalışma kapsamında oluşturulan GAMIT/GLOBK dosya yapısı.....	47
Şekil 5.8 MUMC noktasının 2016 yılı kısa dönem zaman serisi.....	49
Şekil 5.9 MUMC noktasına ait uzun dönem zaman serisi (Düşey yöndeki kırmızı çizgi 20.07.2017 Bodrum Kos depreminin meydana geldiği günü belirtmektedir.) 51	
Şekil 5.10 BHVL noktasına ait uzun dönem zaman serisi	52
Şekil 5.11 MUMC noktasına ait deprem sonrası uzun dönem zaman serisi	53
Şekil 5.12 MUMC noktasına ait deprem öncesi dönem zaman serisi.....	54
Şekil 5.13 Çalışma bölgesinin güncel hız alanı kırmızı renkli oklar deprem sonrası mavi renkli oklar ise deprem öncesi hızları göstermektedir.....	56
Şekil 5.14 Çalışma Bölgesi için elde edilen gerinim haritası.....	57
Şekil 5.15 Gökova fay zonu boyunca elde edilen gerinim haritası	58
Şekil 5.16 Çalışma alanında için eşik değeri $M_w \geq 6$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama haritası	59

Şekil 5.17 Çalışma alanında için eşik değeri $M_w \geq 6.5$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama haritası	60
Şekil 5.18 Çalışma alanında için eşik değeri $M_w \geq 7$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama haritası	61
Şekil 5.19 Gereme hendeğinde gerçekleştirilen radyokarbon analizine göre MS 880 ± 112 tarihinde meydana geldiği kabul edilen faylanma olayına göre hesaplanan potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren harita	62
Şekil 5.20 Gereme hendeğinde gerçekleştirilen radyokarbon analizine göre MS 1638 ± 60 tarihinde meydana geldiği kabul edilen faylanma olayına göre hesaplanan potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren harita	63
Şekil 5.21 Keremos hendeğinde gerçekleştirilen radyokarbon analizine göre MS 489 ± 70 tarihinde meydana geldiği kabul edilen faylanma olayına göre hesaplanan potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren harita	63
Şekil 5.22 Keremos hendeğinde gerçekleştirilen radyokarbon analizine göre MS 1587 ± 48 tarihinde meydana geldiği kabul edilen faylanma olayına göre hesaplanan potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren harita	64

ÇİZELGELER DİZİNİ

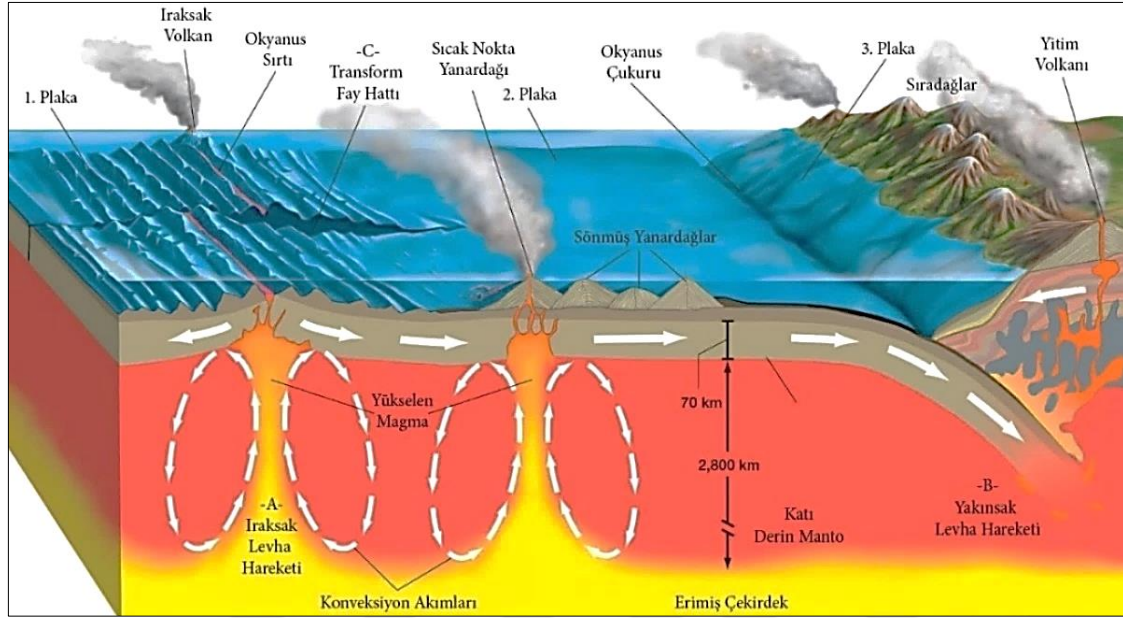
	Sayfa
Çizelge 3.1 Günümüzden geçmişe Gökova Körfezi ve çevresinde meydana gelen 5 < Mw-MD büyüklükte aletsel dönem depremleri gösterir çizelge.....	25
Çizelge 3.2 Gökova Körfezi ve çevresindeki fay segmentlerine dair parametreler ve fay segmentleri bazında hesaplanan potansiyel deprem büyüklükleri (Emre vd. 2018).....	28
Çizelge 5.1 Çalışma kapsamında kurula GNSS ağındaki noktaların yaklaşık konumları	39
Çizelge 5.2 Çalışma kapsamında geliştirilen ölçü stratejisi.	40
Çizelge 5.3 Ölçü yapılan/verisi temin edilen noktalar	42



1. GİRİŞ

Modern bilimin gelişmesiyle birlikte yapılan multidisipliner çalışmalar aracılığıyla depremin oluşum süreci, yerin iç mekanizmasına yönelik bilimsel bulgular ışığında hipotezler ve teorilerle açıklanmaya çalışılmıştır. 16'ncı yüzyıl itibariyle yerkürenin haritalanmaya başlamasıyla birlikte Dünya üzerindeki kara kütlelerinin şekli itibariyle yapboz parçaları gibi birbirine uyumlu olduğuna ilişkin spekülasyonlar gelişmiştir. 1912 yılında, astronom ve meteorolog Alfred Wegener tarafından Pangea teorisi öne sürülmüştür (Meinhold ve Şengör 2019). Wegener fosillerin dağılımı, sıra dağların uzanımları, kayaç türlerinin konumları vb. diğer kanıtlar ile desteklediği teorisinde 250-300 milyon yıl öncesinde Dünya topraklarının Pangea adı verilen süper kıta olduğunu; teorisinin bir uzantısı olan kıtasal kayma adı verilen süreçle kara parçalarının birbirinden uzaklaşarak mevcut kara kütlesi dağılımının meydana geldiğini savunmaktadır. Wegener'in Pangea teorisi kıta parçalarının hareket etmesi için gereken enerji ve sürüklenme varsayımına ilişkin bir kuram içermediğinden bilim dünyasında başta kabul görmemiştir. Yerbilimlerinde dünyanın oluşum sürecinin anlaşılmasına yönelik çalışmalar açısından bir dönüm noktası olan Levha tektoniği teorisi ile kıtasal kayma teorisindeki boşluk giderilerek yer kabuğu dinamiğine ilişkin açıklık sağlanmıştır. Levha tektoniği teorisi Dünya'daki başlıca jeolojik süreçlerin neredeyse tamamını açıklayan birleştirici bir teoridir. Dünyanın en dış katmanını oluşturan taşküre okyanusal ve kıtasal olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Taşkürenin levha adı verilen nispeten kırılğan parçaları birbirine sınırlar ile bağlıdır. Levha hareketleri eriyik halde bulunan magmanın konveksiyonel akımı ile açıklanmaktadır (Wegener 1912, McKenzie ve Parker 1967, Morgan 1968, Meinhold ve Şengör 2019). Konveksiyonel akım ile birbirlerinden uzaklaşan, yaklaşan, üst üste binen levhaların rölatif hareketleri sonucunda biriken enerji, levhalar arasındaki sürtünme kuvvetini aştığında yeryüzünde meydana gelen ani şok deprem olarak tanımlanmaktadır. Deprem meydana geldiği esnada yeryüzünde gözlemlenen sarsıntıya etkisine ek, düşey/yatay yönlü kabuk deformasyonuna sebep olarak faylanmayı tetiklediği bilinmektedir. Faylanma esnasında kaymanın görüldüğü süreksizlik yüzeyi fay düzlemi olarak tanımlanmaktadır. Farklı şekillerde deformasyona uğrayan ve fay adı verilen kırıklı yapılardan meydana gelen bu düzlem fay zonlarını oluşturmaktadır. Dünya üzerinde aletsel ve tarihsel dönemde

meydana gelen depremlerin konumları incelendiğinde büyük çoğunluğunun levha sınırları ve çevresinde yer alan fay zonlarında olduğu bilinmektedir (Tiryakioğlu 2012, Solak 2015, Dönmez ve Tiryakioğlu 2018, Eyübagil 2020).



Şekil 1.1 Levha hareketlerinin dinamik yapısı (İnt. Kyn. 1).

Türkiye, dünyanın sismik açıdan en aktif bölgelerinden biridir (McKenzie 1972). Türkiye ve komşu bölgelerinin neotektonik gelişimi, Avrasya ve Arap levhaları arasındaki kıtasal yakınlaşmaya bağlı olarak kıtasal çarpışma ve bunu izleyen jeolojik süreçlerle yakından ilişkilidir (Şengör vd. 1985). Tektonik olarak aktif bir kuşakta yer alan Türkiye'nin Batı Anadolu Bölgesi, ülkemizde sismik aktivitenin en yoğun şekilde gözlemlendiği bölgelerinden biridir. Batı Anadolu bölgesindeki aktif açılma rejimine bağlı olarak sığ derinliklerde yoğun sismik faaliyetler gözlemlenmektedir. Kuzey-Güney doğrultulu gerilmeler sonucunda Ege bölgesinin güney kesiminde Doğu-Batı yönelimli oluşan grabenler başlıca; Gediz Küçük Menderes grabenleri, Edremit Körfezi, Bakırçay Simav Grabeni, Büyük Menderes ve Gökova Körfez grabenleridir. Çalışma bölgesi olarak belirlenen Gökova Körfezi ve çevresinde gözlemlenen aktif tektonik rejim, Gökova körfezinde bulunan deniz fayları ve körfezi çevreleyen fay segmentleri tarafından denetlenmektedir. Tarihsel ve aletsel dönemde meydana gelen deprem kayıtları incelendiğinde çalışma alanını sınırlayan bölgede yıkıcı birçok deprem meydana geldiği tespit edilmiştir. Literatür incelendiğinde meydana gelen depremlerin

ardından körfezde gelişen tsunami sebebiyle yerleşim yerlerinin tahrip olduğu, körfezi çevreleyen segmentlerin Mw:7 ve üzeri deprem üretme potansiyelinin bulunduğu bilinmektedir (Sözbilir vd. 2017). Son olarak 20 Temmuz 2017’de meydana gelen Mw:6.6 büyüklüğündeki yıkıcı bir deprem ile sarsılan körfez ve çevresinde insan hayatını tehdit ederek can ve mal kaybına sebebiyet vermiştir.

Depremlerin oluş mekanizmaları ve kabuk deformasyonlarının izlenmesine yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda fay hareketlerinin takibi, fayın kinematik parametrelerinin belirlenmesi ve depremlerin tekrarlama periyotlarının tespiti küresel anlamda deprem afetine ilişkin alınacak önlemler açısından hayati önem taşımaktadır. Tektonik levha hareketleri sonucunda meydana gelen kabuk deformasyonları üzerinde gerçekleştirilen multidisipliner çalışmalar içerisinde jeodezik ölçme yöntemleri ile gerçekleştirilen çalışmalar zamansal çözüm ve hassasiyet yönünden çok daha üstündür. Jeodezik ölçme yöntemleri yardımıyla tektonik levhaların hareketlerinin neden olduğu kabuk deformasyonlarının uzaysal/yersel ölçme teknikleri ile yatay ve düşey doğrultuda yüksek doğrulukla tespit edilip modellenebilmektedir. Modern jeodezi alanındaki hızlı gelişmeler ve gelişmiş teknikler kullanılarak yapılan jeodezik çalışmalar ile kabuk dinamikleri GNSS (Global Navigation Satellite System), VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar) gibi yöntemler aracılığı ile izlenmektedir. GNSS yöntemi, jeodezik olarak tektonik hareketlerin modellenmesinde yüksek doğruluk, zaman, maliyet vb. yönlerden sağladığı avantajlar ile diğer yöntemler içerisinde ön plana çıkmaktadır (Poyraz 2009, Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012, Aladoğan 2017, Eyübagil 2020).

Fay zonlarını tektonik anlamda temsil edebilecek konfigürasyonda kurulan GNSS ağlarında gerçekleştirilen tekrarlı GNSS ölçülerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesi ile deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası dönemdeki fay zonuna ait en güncel bilgileri elde etmek mümkün hale gelmiştir. Bu gözlemler, fay zonunun geometrik yapısı dikkate alınarak kurulan jeodezik izleme ağları kullanılarak belirli periyotlarda tekrarlanmaktadır. Gözlemler, sismik tehlikelerin tahmini için güçlü parametreler olan yerdeki gerinimlerin analizinde kullanılır. Gerinim analizinin diğer jeofiziksel parametrelerle birlikte kullanılması, tahmin yöntemlerinin kapasitesini

artırmaktadır. Noktasal hızların doğruluğu, gerinim analizinin doğruluğu üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, gerinim analizinin güvenilirliğini sağlamak için mümkün olan en doğru hız sonuçlarını elde etmek son derece önemlidir (Gezgin vd. 2022).

20 Temmuz 2017 tarihinde meydana gelen Bodrum-Kos depremi sonrası Tiryakioğlu vd. (2018) tarafından kapsamlı GNSS gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında bölgenin aktif tektonik yapısını temsil edecek şekilde güncel bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan güncel GNSS ağına Tiryakioğlu vd. (2018) ilgili çalışmasına ait GNSS ağının 12 noktası dahil edilmiştir ve ağ toplamda 28 noktaya ulaşmıştır. Çalışma kapsamında bölgede en son Tiryakioğlu vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı GNSS gözlemlerine ek olarak 28 noktada 2022 yılında 2 kampanya daha GNSS gözlemi gerçekleştirilmiştir. GNSS verileri GAMIT/GLOBK yazılımında değerlendirilerek elde edilen hızlar ile güncel gerinim alanı hesaplanmıştır. Aktuğ vd. (2017) belirtilen bağıntılar yardımı ile jeodezik deprem tekrarlama periyotları üretilerek sonuçlar literatürde yer alan veriler ile kıyaslanmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

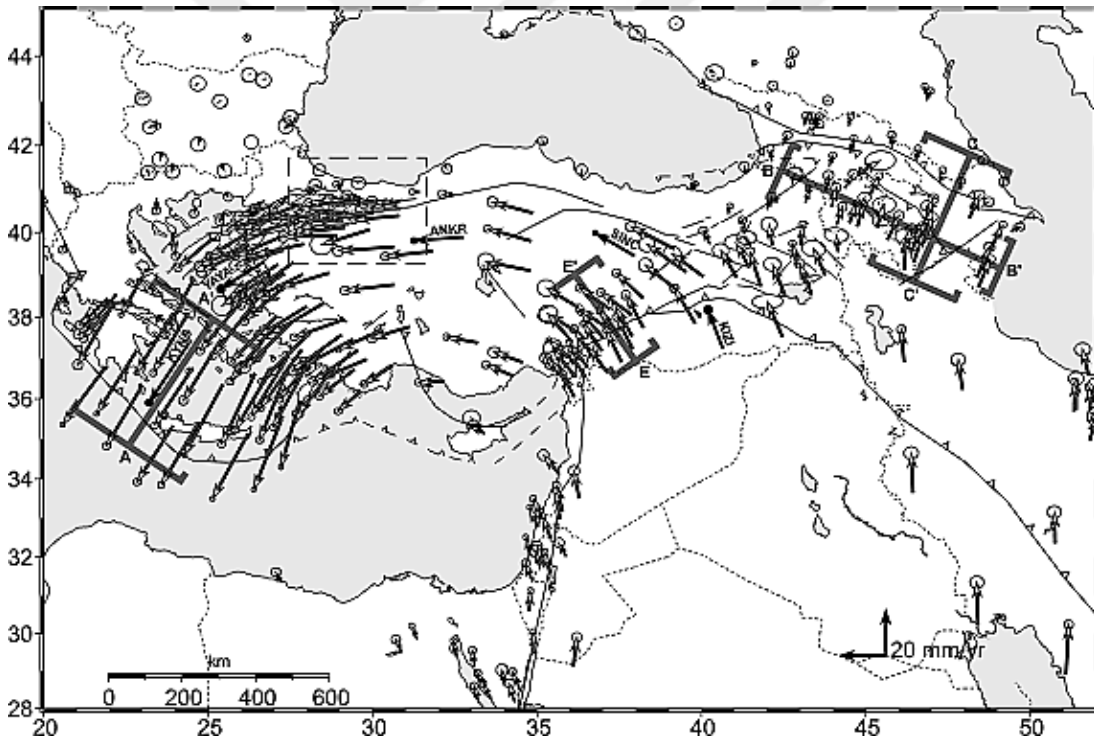
Zaman içerisinde gelişen teknolojiye paralel olarak gerçekleştirilen multidisipliner çalışmalar aracılığı ile yer kabuğu hareketleri incelenerek yerin iç mekanizmasının anlaşılmasına yönelik bulgular ortaya konmuştur. Dünyanın en dış kısmında bulunan taşküre, birbirine sınırlarla bağlanan, hareketleri birbirini etkileyen levha parçalarından oluşmaktadır. Dünyanın oluşumundan bu yana geçen zaman içerisinde levhaların rölatif hareketleri ile yeryüzü bugünkü şeklini almıştır. Levha sınırlarında bu rölatif harekete bağlı olarak gelişen kırıklı yapılar fay olarak adlandırılmaktadır. Faylar üzerinde biriken enerjinin ani bir şekilde boşalması sonucunda yeryüzünün sarsılması ile açığa çıkan sismik enerji deprem olarak tanımlanmaktadır (Tiryakioğlu 2012, Aladoğan 2017, Dönmez 2018).

Taş küre birbirine sınırlarla bağlı görece büyük levhalar ve küçük levhaların bir araya gelmesiyle oluşan dinamik bir sisteme sahiptir. Büyük levha sınırları arasında sıkışan küçük levhalarda, komşu levhaların etkisiyle yaklaşık olarak bağımsız bir şekilde rotasyonel hareket gözlemlenmektedir. Bu dinamizme sahip büyük levhaların yakınsak bölgelerinde bulunan küçük levha parçaları tektonik mikro-plaka olarak adlandırılmaktadır (Mammerickx ve Klitgord 1982).

Ülkemiz; kuzeyinde literatürde rijit olarak kabul edilen Avrasya plakası, güneyinde yer alan Afrika levhasının kuzey yönünde Anadolu levhasının altına dalmasıyla sıkışmaya maruz kalan Anadolu mikro-plakası üzerinde yer almaktadır. Anadolu mikro-plakasının güneybatısında mevcut Helenik yay boyunca gelişmiş olan dalma batma zonu etkisi ile Batı Anadolu'da hâkim Kuzey- Güney doğrultulu olan açılma rejimi, Türkiye'nin batı-güneybatı yönüne doğru rotasyonel olarak saat yönünün tersine dönüşü tektonik kaçış modeli olarak adlandırılmaktadır (Dewey ve Şengör, 1979).

Çalışmalar incelendiğinde karmaşık yapıları tektonik oluşumlar gözlemlenen Batı Anadolu bölgesinin, yerbilimciler tarafından gerçekleştirilen multidisipliner araştırmalar için odak noktası haline gelmiştir. Bu çalışmalar içerisinde bölgenin aktif tektonik yapısını irdelleyen jeodezik çalışmalar içerisinde GNSS yöntemi ile gerçekleştirilen ilk

doğru rotasyonel hareketi başka bir deyişle tektonik kaçış modeli vurgulanarak Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nın devamı niteliğinde kabul gören bir makaslama zonunun varlığı ifade edilmektedir. Anadolu levhasının batıya doğru kaçışı bu makaslama zonu tarafından baskılanmakta ve sıkışarak doğu-batı uzanımlı açılma rejiminin kontrolünde graben sistemlerinin geliştiği ifade edilmektedir. Batı Anadolu bölgesinde Ege Denizi ve Doğu Akdeniz'i kapsayan bölgede hâkim olan tektonik açılma rejiminin levha etkileşimlerinin ve kabuk deformasyonlarının karmaşıklığı bölgede yoğun bir şekilde incelenmiştir. Bu rotasyonel hareket Anadolu mikro-plakasının orta kısımlarında ortalama 20 mm/yıl hız olarak hesaplanırken batıya doğru gidildikçe saat yönünün tersinde rotasyonel bir şekilde (Şekil 2.2) Helen-Kıbrıs yay uzanımında daha da hız kazanmaktadır. (Barka ve Reilinger 1997, McClusky vd. 2000, Reilinger vd. 2006, Tiryakioglu vd. 2017).



Şekil 2.2 Anadolu levhasının Avrasya'ya göre GPS hareket hızlarını gösterir harita (Reilinger vd. 2006).

Alp-Himalaya Deprem Kuşağının uzanımında yer alan Anadolu mikro-plakasında KAFZ ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) iki ana neotektonik yapıyı oluşturmaktadır. Aletsel ve tarihsel deprem kayıtları incelendiğinde Anadolu levhasında yer alan bu iki

ana fay zone ve segmentlerine ek olarak Batı Anadolu’da gözlemlenmekte olan açılma rejimi ile oluşan Ege Graben sistemi üzerinde 7 ve üzeri büyüklükte deprem üretme potansiyeli bulunan birçok aktif tektonik bölge bulunmaktadır. Tektonik aktivitelerin yoğun bir şekilde gözlemlendiği ülkemizde, GNSS çalışmaları aracılığıyla fay mekanizmaları ve tektonik aktivitelerin izlenmesine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Erdoğan ve Şahin 2006, Aktug vd. 2009, Floyd vd. 2013, Özkaymak vd. 2015, Poyraz vd. 2015, Tiryakioğlu vd. 2015, Tiryakioğlu vd. 2017, Dönmez ve Tiryakioğlu 2018, Gezgin 2020, Gezgin vd. 2020, Aktuğ vd. 2021, Çınar 2021, Doğan vd. 2021, Eyübagil vd. 2021, Toydemir vd. 2021, Çınar ve Tiryakioğlu 2022, Eyübagil vd. 2023).

Erdoğan vd. (2006) çalışması Türkiye’nin güneybatısındaki Burdur Fethiye Fay Zonu’na odaklanmaktadır. Bölgenin tektonik hareketlerini belirlenmesi için tesis edilen 16 noktada 4 kampanya GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. GAMIT/GLOBK yazılım takımında değerlendirmeye alınan gözlem verilerinin global ağ ile ilişkisi değerlendirmeye dahil edilen 5-6 IGS istasyonu ile sağlanmıştır. Avrasya sabit ve ITRF00 referans sisteminde elde edilen hızlar değerlendirildiğinde bölgenin tektonik yapısının, daha geniş bir ağda gerçekleştirilecek tekrarlı GNSS ölçüleriyle daha iyi bir şekilde temsil edilebileceği ifade edilmiştir.

Aktuğ vd. (2009) çalışması ile Türkiye’nin batısındaki deformasyonun belirlenmesi ve blok modellerinin oluşturulmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirmiştir. Çalışma kapsamında 69 noktada kampanya tipi GNSS gözlemleri gerçekleştirilmiş ve 12 sabit istasyon verisi değerlendirmeye alınmıştır. BERNESE v5.0 yazılımıyla kampanya tipi veriler ve GAMIT yazılımı ile sabit istasyon verileri değerlendirilmesi sonucu Avrasya sabit hız alanı hesaplanmıştır. Hesaplanan hız alanı ile 24km × 24km grid aralığında ürettikleri gerinim alanları ile kinematik elastik blok model geliştirmişlerdir. Türkiye’nin kuzeybatısındaki KKD-GGB uzanımlı genişlemenin güneybatıda yerini GD-KB uzanımlı genişlemeli rejime bıraktığı ifade edilmiştir.

Floyd vd. (2013) doğuda Akşehir Simav Fay Zonu (AKFSZ) ile batıda Fethiye Burdur Fay Zonu (FBFZ) sınırlanan Isparta ve yakın çevresinin güneybatı Anadolu’nun aktif

deformasyon alanlarından biri olduğu vurgulanmıştır. Çalışmada Reillinger vd. (2006) ve Aktuğ vd. (2009) tarafından yayınlanan 1997-2010 yılları arasında gerçekleştirilmiş GNSS gözlemlerine dayalı hesaplanan hızlar birleştirilmiştir. Isparta'nın Anadolu'nun rotasyonel hareketine benzer şekilde saat yönünün tersine döndüğünü göstermektedir.

Poyraz vd. (2015) çalışmasında iki farklı uzaysal jeodezik yöntem birlikte kullanılarak Gediz Grabeninin doğu kısmındaki tektonik hareketler belirlenmesi amaçlanmıştır. Alaşehir-Sarıgöl çevresindeki deformasyonların tespitinde Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS) ile Radar interferometresi (SAR) bir arada kullanılarak yatay ve düşey yönde daha duyarlı ve doğru şekilde gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir. 2013-2014 yılları içerisinde gerçekleştirilen GPS gözlemlerinin değerlendirilmesiyle öncül bilgi sağlayan hız alanı elde edilmiştir. TerraSAR-X uydusunun radar görüntüleri değerlendirilerek bölgenin düşey yönlü deformasyon değerleri hesaplanmıştır. Her iki yöntem aracılığı ile elde edilen veriler yardımı ile bölgenin 3 boyutlu (3B) deformasyonuna ilişkin öncül bilgiler elde edilmiştir.

Tiryakioğlu vd. (2015) Sultandağı fayının depremselliği jeodezik yöntemlerin yanı sıra jeolojik ve jeofiziksel yardımı ile irdelenen multidisipliner bir çalışmadır. Çalışmanın jeodezik kolu fayın batısında oluşturulan 18 noktalı GNSS ağında gerçekleştirilen kampanya tipi tekrarlı ölçülere dayanmaktadır. Jeolojik kolunda ise paleostres analizlerinin gerçekleştirilmesi için arazi planlamaları hazırlanmıştır. Bu çalışmaların yanı sıra yer altı sularındaki radon seviyesinin jeolojik ve jeodezik çalışmalara paralel bir şekilde inceleneceği belirtilmiştir.

Dönmez ve Tiryakioğlu (2018) çalışmasında en son 1970 tarihinde yıkıcı bir deprem üreten Gediz Fayı'nın depremsizlik süresinin uzunluğuna dikkat çekmiştir. Tarihsel deprem kayıtlarına göre fayın maksimum 48 yıllık bir deprem tekrarlama periyodu olduğunu ifade edilmiştir. Fayın tektonik anlamda yorumlanabilmesi için uygun standartlarda oluşturulmuş 21 noktalı GNSS ağında 2017-2018 yılları arasında tekrarlı ölçüler gerçekleştirilmiştir. Gözlem verileri GAMIT/GLOBK yazılım takımında değerlendirilerek hız alanı hesaplanmıştır. Hız alanı ve hız alanından türetilen gerinim incelendiğinde bölgede enerji birikiminin oldukça yüksek olduğu ifade edilmiştir. Wells

and Coppersmith (1994)'te yer alan bağıntı ile gerçekleştirilen hesaplamalar sonucu fayın 6.0-6.5 büyüklüğünde bir deprem üretme potansiyeli olduğu belirtilmiştir.

Aktuğ vd. (2021) 2020 Sisam depremi 62 noktada gerçekleştirilen GNSS gözlemlerine dayanarak hesaplanan kosismik (deprem anı) yer değiştirmelerinde ters dönüşüm yaklaşımı ile fay geometrisi ve atımlar belirlenmiştir. Çalışmada sonlu kaynak mekanizması jeodezik yöntemler kullanılarak araştırılmıştır.

Eyübagil vd. (2021) Batı Anadolu'nun önem arz eden sismik kaynaklarından biri olan İzmir Balıkesir Transfer Zonunun potansiyel sismisitesi ve güncel deformasyonu jeodezik veriler aracılığıyla irdelenmiştir. Zon genelinde jeodezik deprem tekrarlama periyotları literatür ile kıyaslanarak öngörülen deprem potansiyeli hakkında bilgiler verilmiştir.

Doğan vd. (2021) çalışması kapsamında 12 noktalı GNSS ağının ilk kampanya ölçüleri gerçekleştikten sonra 2019 Bozkurt (Denizli) depremi meydana gelmiştir. Deprem sonrası kosismik yüzey yer değiştirmelerinin elde edilebilmesi amacıyla ağ genişletilerek depremin hemen ardından 2. Kampanya ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Kampanya tipi noktaların geçmiş ölçülerine ait veriler ve sabit istasyon verileri GAMIT/GLOBK yazılım takımında değerlendirilerek deprem önce ve deprem sonrası Avrasya sabit hız alanları hesaplanmıştır. Hesaplanan hız değerleri girdi verisi olarak kullanılarak Geodsoft ile 2 boyutlu gerinim analizi yapılmıştır.

Toydemir vd. (2021) çalışmasında Akşehir-Simav Fay Sistemi'nin Afyon Akşehir Grabeni kesiminde yer alan fay segmentlerini temsil eden 27 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. 2012-2018 yılları içerisinde gerçekleştirilen 5 kampanya GNSS ölçüsü GAMIT/GLOBK yazılım takımında değerlendirilmiştir. Avrasya sabit güncel hız alanının belirlenmesiyle Geodsoft yazılımı aracılığıyla güncel gerinim alanları hesaplanmıştır. Hesaplanan gerinim değerleri literatürdeki paleostres verileri ile karşılaştırıldığında gerinim yönlerinin oldukça benzer olduğu tespit edilmiştir.

Çınar vd. (2022) meydana gelen Bodrum-Kos depremi sonrası bölge çevresinde

bulunan toplamda 44 nirengi ve poligon noktalarına ait koordinatlarındaki değişimi hesaplamıştır. Deprem sonrası 8 nirengi noktası ve 5 sabit istasyonunda gerçekleştirilen GNSS ölçülerinin GAMIT programında değerlendirilmesiyle elde edilen dengelenmiş koordinatları deprem öncesi ile kıyaslanarak deformasyon haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen deformasyon haritalarının kontrolü için daha önce bahsedilen 44 noktada CORS TR ağına bağlı 300 epok ölçü gerçekleştirilmiştir. Bu ölçüler kullanılarak hesaplanan deformasyonun Bodrum Yarımadasının batı kesimi ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir. Yarımada'nın doğu kesiminde deformasyon haritalarının uyumsuz olduğu tespit edilerek jeodezik altyapı yenileme çalışmalarının yapılması gerektiği önerilmiştir.

Eyübagil vd. (2023) tarafından gerçekleştirilen çalışmada 121Y295 numaralı Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projesi tarafından desteklenen çalışma kapsamında Havran Balıkesir Faz Zonu'nun (HBFZ) aktif tektonik yapısı incelenmiştir. Proje çerçevesinde gerçekleştirilen GNSS gözlemlerine dayalı olarak HBFZ'deki deformasyonlara ilişkin öncül bulgulara yer vermiştir. 55 noktanın GNSS gözlem verileri GAMIT/GLOBK yazılımında değerlendirilmiş. Avrasya sabit hız alanı elde edilerek jeodezik gerinim alanı hesaplanmıştır.

Gezegelimizdeki sismik açıdan en aktif ve en hızlı genişleyen kıta bölgelerinden birini Batı Anadolu bölgesinde bulunan Gökova Körfezi temsil etmektedir. Çalışma bölgesi olarak belirlenen Gökova Körfezi ve çevresi, Doğu Akdeniz ve Güney-Batı Ege'nin kesişim noktasında yer almaktadır. Tektonik aktivitelerin yoğun bir şekilde gözlemlendiği Gökova Körfezi'nde jeolojik, jeofizik ve jeodezik temelli araştırmalar ile fay mekanizmaları ve tektonik aktivitelerin izlenmesine yönelik birçok çalışma gerçekleştirilmiştir (Rontogianni vd. 2011, Yolsal-Çevikbilen vd. 2014, Mozafari Amiri vd. 2015, Çırmık ve Pamukçu 2017, Saltogianni vd. 2017, Sözbilir vd. 2017, Ocakoğlu vd. 2018, Tiryakioğlu vd. 2018, Ganas vd. 2019, Kahveci vd. 2019, Konca vd. 2019, Basmenji vd. 2021, Dikbaş vd. 2022, Kırcan vd. 2022).

Rontogianni vd. (2011)'de Kandilli Rasathanesi Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI) ve National Observatory of Athens (NOA-IG) iki sismoloji merkezinden alınan 2002-2011 tarihleri arasında Gökova Körfezinde gerçekleşen sığ derinlikli deprem verileri

analiz edilmiştir. Sismik aktivitelerin körfezin batı kesiminden iç kısımlarına doğru yaklaşık 5 km'den 15 km'ye kadar derinleştiği belirlenmiştir. Deprem lokasyonlarının Kos adası Gökova Körfezinin merkezine uzandığı ve güneyde yoğunlaştığı ifade edilmiştir. Uluğ vd. (2005)'de öne sürüldüğü gibi Datça fayının aktivitesinin yavaşlamadığı Gökova Transfer Zonu (GTZ) ile Kos adası arasında muhtemel bir faylanma olabileceği ifade edilmiştir.

Yolsal-Çevikbilen vd. (2014) çalışmasında Gökova körfezi ve çevresinde meydana gelen aletsel ve tarihsel deprem kayıtları incelenmiş bölgenin neotektonik gelişimine ilişkin bilgiler literatürden doğrultusunda verilmiştir. Çalışma sonucunda orta büyüklükteki ($M_w \geq 5.0$) depremlerin odak mekanizma çözümleri analiz edildiği ancak Gökova Körfezi'nde sıkışmalı deformasyona sahip önemli doğrultu atımlı faylanma mekanizmaları belirleyemediklerini vurgulanmıştır.

Mozafari vd. (2014) çalışmasında Bern Üniversitesi ve Dokuz Eylül Üniversitesi ortaklığında 2008 yılında gerçekleştirilen projenin sonuçları yayımlanmıştır. Proje kapsamında Ören segmentinde kozmojenik yaşlandırma yöntemi esaslı paleosismoloji çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesiyle GFZ'nin Ören segmentinde holosen dönemde meydana gelen 5 deprem tespit edilmiştir.

Tiryakioğlu vd. (2018) çalışması kapsamında 2017 Bodrum Kos depremindeki atımları belirlemek için kampanya tipi ve sabit istasyon noktalarından oluşan toplamda 20 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Yazarlar deprem öncesi ve sonrası GNSS verisi elde edilen 20 noktanın kosismik yer değiştirmelerinin belirlenmesi için verileri GAMIT/GLOBK yazılımında analiz etmiştir. Bu verilerin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen çıktılar ile ana şokun kaynak parametreleri ve fayın kayma dağılımını incelenmiştir. Fay düzlemine parametrelerinin yanı sıra, GNSS gözlemlerinin değerlendirilmesi ile hesaplanan kosismik yer değiştirmelerin ters dönüşümü ile kosismik kayma dağılımı elde edilmiştir. 2017 Bodrum depremi, fay düzlemi çözümlerine göre yaklaşık 12 km derinliğe uzanan güneye eğimli normal bir faylanmanın sonucunda meydana geldiği öne sürülmüştür. Yazarlar kayma dağılımının ters dönüşümü hesaplayarak ana şokun yaklaşık 65 km uzunluğunda fay parçasının

hareket ettirdiğini ifade etmiştir. Belirlenen fay parçasında batı, orta ve doğu bölümlerinde sırayla 13,26 ve 5 cm'ye varan yüksek atımlar hesaplanmıştır. Deprem öncesi faydaki kenetlenmenin bu üç segmentte yoğunlaşarak depolandığı belirtilmiştir. Ana şokun muhtemelen orta segmentte meydana geldiği belirtilmiştir.

Sözbilir vd. (2017) Bodrum Kos depremi sonrası bölgenin depremselliği üzerine yazdıkları raporda Ören Segmenti'nde yapmış oldukları paleosismolojik çalışmalara değinmiştir. Segmentin K70-75°D/70°GD konumunda olduğu ve eğim atımlı normal fay karakteri olduğu tespit edilmiştir. Daha önce meydana gelen depremlerle kırılan fay kolları arasında kalan Ören Segmenti'nin sismik boşluk özelliği taşıdığı belirtilmiştir.

Ocakoğlu vd. (2018)'de 2017 Bodrum-Kos depremi sonrası gerçekleştirilen jeodezik ve jeolojik çalışmalar ile depremden sorumlu sismojenik segmentin tam olarak belirlenememiş olmasına dikkat çekmektedir. Çalışmanın motivasyonu Kos Adası ile Bodrum Yarımadası arasındaki denizel kısımda morfotektonik değerlendirmeler gerçekleştirmektir. Morfotektonik değerlendirmede daha önce körfez içerisinde gerçekleştirilmiş batimetrik ve sismik veriler birleştirilerek yeniden yorumlanmıştır. Tiryakioğlu vd. (2018) çalışmasına benzer şekilde Bodrum-Kos depreminin güneye eğimli bir fayda meydana geldiğini belirtmiştir.

Konca vd. (2019) 2017 Bodrum-Kos depremi esnasında kırılan fay segmentinin konumu ve eğim yönünü tespit etmek için daha önceki çalışmalarda mevcut jeodezik GNSS ve InSAR gözlemlerine ek ana şokun odak mekanizma çözümleri, artçı şokların konumları ve hesaplanan yer değiştirmeleri sismik model parametreleri ile analiz edilmiştir. Yazarlar daha önceki çalışmalarda fayın kırılan segmentinin güney ve kuzeye eğimli olduğuna ilişkin farklı bulgular elde edildiğini belirtmiştir. Her iki eğim yönü için en uygun düzlemler belirlenerek, jeodezik veri uyumsuzlukları, ana şokun konumuna yakınlıkları ve artçı şok konumlarındaki Coulomb stres değişiklikleri açısından karşılaştırarak, 2017 depreminin kuzeye eğimli bir fayı kırdığı belirtilmiştir. Depremin 20-25 km uzunluğunda, ~E-W doğrultulu, 40° kuzeye eğimli, saf normal bir fay üzerinde meydana geldiğini, kaymanın esas olarak 3 ila 15 km derinlik arasında sınırlı olduğunu ve en büyük kaymanın 4 ila 10 km derinlikler arasında 2 m'yi aştığını

tespit edilmiştir.

Kahveci vd. (2019) Batı Anadolu bölgesinin WGM2012 Dünya gravite modelini kullanarak Küresel Bouguer anomalisini (CSB) hesaplamıştır. Çalışma alanı olarak seçilen bölgenin aktif tektonik yapısına dikkat çeken yazarlar GPS hız vektörleri ve hesapladıkları CSB gravite anomalisini birleştirerek bölgeye hâkim olan tektonizmanın kinematik yapısını araştırmıştır. Depremlerin odak derinlik dağılımları Bouger gravite verileri ile birlikte yorumlanmıştır. Çalışmada, Çırmık vd. (2017)'de gerçekleştirdikleri İzmir ve çevresindeki GNSS değerlendirmelerinin çıktıları kullanılarak Batı Anadolu'yu temsil eden mikropalakalar incelenmiştir.

Basmenji vd. (2021) tarafından Yatağan Fayında gerçekleştirdikleri paleosismolojik hendek çalışmaları sonucunda fay üzerinde en az bir yüzey kırığı oluşturan MÖ 265 ± 95 ve MS 342 ± 131 yılları arasında holosen dönemde meydana gelen bir deprem izi bulmuştur. Yazarlar Yatağan Fayı için hesaplanan maksimum deprem büyüklüğünün Mw:6.6 olduğunu belirtmiştir. Fayın kuzeydoğusunda yer alan (KD) FS-1 segmentinden fayın orta kesiminde bulunan FS-2 segmentine doğru kademeli olarak tektonik aktivitenin yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Her iki segmentin eşlenik zamanda kırılması durumunda nispeten daha güçlü ve yüzey kırılması oluşturabilecek depremler meydana getirebileceğini ifade etmişlerdir.

Dikbaş (2022) daha önceki çalışmalarda Gökova Fay Zonu'nun karadan denize uzanım gösterdiği düşünülen Ören Segmentinde paleosismolojik hendek çalışmalarının sonuçlarına değinilmiştir. Keremos ve Gereme bölgelerinde gerçekleştirilen hendek çalışmalarında paleodeprem izleri tespit edilmiştir. Radyokarbon analizlerine göre en paleodepremlerin meydana geldiği zaman aralığı iki sigmada hesaplanmıştır. Gereme hendeğinde gerçekleştirilmiş çalışmalarda MS 961-1574 yılında meydana gelen bir paleodeprem izine daha rastlanmıştır. Bu deprem ise Ambraseys (2009) kayıtlarında bölgede meydana gelen en yıkıcı deprem olarak tanımlanan 1493 depremi ile ilişkilendirilmiştir. Yazarlar 1493'te meydana gelen faylanmanın Kos adasından Ören köyüne kadar Kos adasından Ören köyüne kadar devam ettiğini ~60 km uzunluğunda bir parçanın kırıldığını öne sürmüştür.

3. GÖKOVA KÖRFEZİNİN TEKTONİK VE JEOLJİK YAPISI

3.1 Gökova Körfezinin Tektonik Jeomorfolojisi/Gelişimi ve Sismik Kaynakları

Batı Anadolu'nun morfolojisi incelendiğinde bölgeye hâkim olan açılmalı tektonik rejim altında gelişen D-B uzanımına sahip birçok Graben ve Horst sistemi göze çarpmaktadır. Batı Anadolu' da bulunan Küçük Menderes, Büyük Menderes, Gediz grabenleri gibi D-B uzanımlı Gökova Grabeni, Doğu Akdeniz ile Güney Ege'nin kesişim noktasıdır. Gökova Grabeni'nin büyük bir kısmını Gökova Körfezi'ni oluşturan açık deniz oluşturmaktadır. Sieberg (1932) Gökova Körfezi'nin kuzey ve güneyini sınırlayan iki normal fay önererek bölgeye "Kos Grabeni" ismini vermiştir. Körfez literatürde Ege bölgesinde hâkim olan K-G uzanımı ile ilişkilendirmiş bir rift veya graben sistemi olarak tanımlanmaktadır (Görür vd. 1995, Yılmaz vd. 2000).

Körfezin kuzeyi Bodrum yarımadası, güneyi Datça yarımadası ve batısı Kos adası ile çevrilmiştir. Gökova Körfezi K-G yönünde 25 km genişliğine, D-B uzanımı 90 km uzanımına sahiptir (Yolsal Çevikbilen vd. 2014). Körfezin kuzey kenarı 900'ye kadar dik bir şekilde yükselen doğrusal dağ cephesiyle sınırlanırken güney kenarı topografik olarak daha az dik olup, birçok koy ve küçük deniz adaları barındırmaktadır (Yılmaz vd. 2000).

Gökova Körfezi, literatürde Helen Yayı olarak adlandırılan dalma-batma zonunun kuzeyinde yer almaktadır. Açılmalı tektonik rejimin hâkim olduğu, K-G yönlü gerilmeler etkisindeki körfez saat yönünün tersine rotasyonel bir harekete sahiptir. (Burc-Oral vd. 1995, Le Pichon vd. 1995, Barka ve Reilinger, 1997). K-G yönlü gerilmelere sebep olan tektonik dinamiğin başlangıcı ve nedenlerine ilişkin literatürde farklı görüşler bulunmaktadır. McKenzie (1970), bu dinamiği levha tektoniği kuramı ile bağdaştırarak tektonik kaçış modelini önermiştir. Şengör (1987), erken Miyosen döneminde oluşum gösteren havzaların konumları göz önünde bulundurulduğunda aynı dönem itibariyle genişlemeli tektonik rejimin başladığı görüşünü tektonik kaçış modeline dayandırarak çapraz graben modelini önermiştir. Gürer vd. (2009), KD-GB yönlü sıkışmayı ve D-B yönlü genişlemeyi Erken-Orta Miyosen döneminde geliştiğini

(2005), İşcan (2010), Nomikou ve Papanikolaou (2011), İşcan vd. (2013), Tur vd. (2015) ve Neslihan vd. (2018) Gökova Körfezi'nin morfotektonik yapılarını değerlendirdiği çalışmalarında, körfezin Kuzey ve Güney kenarlarının morfolojik özellikleri farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Kuzey kenarında yer alan fay geometrisi Doğu-Batı uzanımlı doğrusal bir parça ile karakterize edilirken, Güney kenarının ise D-B uzanımlı süreksizlik gösteren birkaç kısa fay segmenti ile güneye doğru basamaklı bir fay geometrisi olduğu vurgulanmaktadır. Gökova Körfezi ve çevresinde gerçekleştirilen multidisipliner çalışmalar, körfezin içinde ve körfezi çevreleyen karasal kısımda kuzey ve güney kenarlarının tektonik mekanizması çözümlenmesi gereken önemli faylar ile çevrelendiğini açığa çıkarmıştır. Çalışma bölgesinde gözlemlenen aktif tektonik rejim, Gökova körfezinde bulunan deniz fayları ve körfezi çevreleyen fay zonları tarafından denetlenmektedir. Şekil 3.1'de çalışma bölgesi ve çevresinde yer alan diri faylar gösterilmektedir.

3.1.1 Datça Fayı

Gökova ve Hisarönü grabenleri arasında bulunan Reşadiye Yarımadası literatürde önerilen neotektonik modele göre D-B uzanımlı bir horst şeklindedir (Ersoy 1991). Reşadiye yarımadasının önemli bir yapısal unsuru olan KB uzanımlı Datça Grabeninin tektonik yapısı karada güneyinde yer alan KB gidişli Karaköy Fayı ile kuzeyinde ise D-B uzanımlı Kızılan Fayı tarafından denetlenmektedir. Datça Grabeninin tektonik oluşumunu açığa kavuşturmak için gerçekleştirilen paleostres analizleri sonucu Kızılan Fayı, K-G yönlü gerilme rejimini temsil eden normal fay özellikleri göstermektedir (Kahraman vd. 2013).

Kurt vd. (1999)'da, Gökova Körfezi içerisinde gerçekleştirdikleri çok kanallı sismik yansıma çalışmasına dayanarak körfezin güneyinde yer alan Datça Yarımadası'nı kuzey kenarından sınırlayan ve kuzey eğilim gösteren listrik Datça Fayı'nı haritalandırmıştır. Çalışmalarında Gökova Körfezi'ndeki açılmalı rejimde, körfezin güneyinde yer alan D-B doğrultulu Datça Fayı ile kuzeyinde yer alan antitetik fayların önemli bir rol oynadığı belirtilmektedir. Uluğ vd. (2005) tarafından gerçekleştirilen çalışmada körfezin deniz tabanı morfolojisi incelenmiş, körfezde gerçekleştirdikleri sismik kanallı yansıma profil çalışması neticesinde Datça fayının aktivitesinin yavaşladığını öne sürmüştür.

Çalışmada körfezdeki aktif tektonik yapının, KD-GB uzanımlı sol yanal doğrultu atımlı Gökova Transfer Zonun (GTZ) kontrolünde geliştiğini vurgulanmıştır. Literatürde ilk kez önerilen GTZ'nin, körfezin orta kesiminden kuzey doğuya yönelerek Ege-Anadolu ve Afrika plakalarının yakınsama yönüne oldukça benzer şekilde sol yanal doğrultu atımlı hareket sergilediği belirtilmiştir.

3.1.2 Knidos Fayı

Reşadiye yarımadasının batı kesiminde morfolojik oluşumlar ve neotektonik süreç yaklaşık olarak KD-KB ve D-B uzanımlı normal fayların kontrolü altındadır. Knidos yakınlarından başlayarak Datça mevkiine doğru KD-KB uzanımlı faylar Damlaca ve Mesudiye, D-B uzanımlı faylar ise Cumalı, Yakaköy ve Knidos fayları olarak adlandırılmıştır (Emre vd. 2018). Knidos fayı normal fay karakterinde uzunluğu 200 m ile 2 km arasında değişen birkaç segment barındırmaktadır (Özsayın vd. 2021). Bu segmentler K105° eğilimine sahiptirler. Segmentlerdeki çizgisellik topografik yamaç kırıklıklarından belirlenmiştir. Fayın Knidos antik kenti üzerinden geçen segmenti, antik şehrin çevrelendiği surların inşa edildiği doğal bir set alanı oluşturan 6-10 m yüksekliğinde kireçtaşı skarpında keskin bir çizgisellik göstermektedir. Bölgede gerçekleştirilen arkeolojik ve jeolojik çalışmalar, tarihsel dönemde meydana gelen en az iki yıkıcı depremin varlığını ortaya koymaktadır (Altunel vd. 2003). Antik şehirde bulunan kalıntılarda oluşmuş deformasyonlar incelenmesi sonucunda KKD-GGB yönelimli en yüksek düzeyde yatay uzanıma sahip bir gerilme rejiminin varlığına ilişkin bulgular ortaya konmuştur. Bölgede gerçekleştirilen jeolojik ve arkeolojik çalışmalar ile Knidos Fayı'nın holosen aktivitesine ilişkin önemli kanıtlar elde edilmiştir (Altunel vd. 2003, Dirik 2007, Özsayın vd. 2021).

3.1.3 Muğla – Yatağan Fay Zonu

Muğla Fayı (MF), Muğla il merkezi ile il merkezinin güneydoğusunda yer alan Gölcük köyü arasında yer almakta karada görülen fay izi yaklaşık 25-30 km uzunluğundadır. Muğla il merkezinin batısında bulunan Akçaova köyü mevkiinin güney kesimi itibari ile iki kola ayrılan MF, KD eğilimli ve KB-GD uzanımlı Yatağan Fayı (YF) ile birleşmektedir. Muğla il merkezi ile Düğerek mevki arasında basamaklı bir fay

geometrisi gözlemlenen MF, Gölcük mevkiine kadar yaklaşık olarak doğrusal bir geometri oluştururken sonrasında karadaki uzanımı takip edilememiştir (Emre vd. 2018). Akyüz vd. (2021)'de Gökova Fay Zonu'nun (GKFZ) Ula üzerinden geçerek Muğla Fayı'nı kesebileceğine dair bir yaklaşım geliştirilmiştir. Eskiköy vd. (2019) çalışmasında 13.04.2017 tarihli merkez üssü Ula-Kavakçalı (Mw: 5.0) depremi ve 24.11.2017 tarihli merkez üssü Ula-Arıcalar (Mw: 5.1) olan depreminin konumu itibari ile D-B uzanımlı GKFZ'nin doğuya doğru devam edebileceğinin göstergesi olarak kabulü, bu yaklaşımı destekler niteliktedir. YF'nin çizgiselliği incelendiğinde, Muğla il sınırları içerisinde yer alan Yeniköy'ün KB kesiminden başlar, Kapubağ-Bozüyük köyleri arasında hafif kıvrımlı bir yapı gösterir ve Bahçeyaka köyü mevkinde oldukça kendini gösteren çizgisellik Salihpaşalar köyünün güney kısımlarına dek ulaşan koluyla yaklaşık 17-25 km uzunluğundadır. Yatağan Fayı 85° ile KD'ya, Muğla Fayı ise $55-80^{\circ}$ ile GB'ya eğimlidir (Türe vd. 2021). Her iki fay geometrisinin özellikleri incelendiğinde literatürde fayların birkaç alt segment ve koldan oluştuğu belirlenmiştir (Akyüz vd. 2021, Basmenji vd. 2021).

Atalay (1980), çalışması ile YF ilk kez MF'den bağımsız bir şekilde haritalandırılarak KD eğimli normal fay olarak karakterize edilmiştir. Muğla-Yatağan Fay Zonu (MYFZ) ilk olarak Şaroğlu vd. (1987) tarafından tanımlanmıştır. Çalışmada Yatağan ile Muğla'nın güneydoğusu arasında birbirini takip eden fay geometrisine sahip KB-GD doğrultulu Yatağan ve Muğla fayları bir zon içerisine alınarak MYFZ olarak isimlendirilmiştir. Barka (1996) gerçekleştirdiği çalışmada MF'nin, normal fay karakterinde olduğunu tanımlanmıştır. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından yayınlanmış çeşitli ölçeklere sahip olan diri fay haritalarında, YF ve MF birbirinden bağımsız şekilde Holosen aktif fay niteliğinde normal fay olarak gösterilmiştir (Duman vd. 2011, Emre vd. 2013).

3.1.4 Milas Fayı

Milas-Karakuyu havzası boyunca uzanım gösteren Milas Fayı, Güneybatı Anadolu bölgesinde yer alan GKFZ ile Menderes Grabeni arasında bulunan aktif tektonik yapılar arasındadır. Şaroğlu vd. (1987) tarafından muhtemel bir aktif fay olarak tanımlanan

Milas Fayı literatürde ilk olarak bu çalışmada “Karaova-Milas Fay Zonu” olarak isimlendirilmiştir. Emre vd. (2013) tarafından ise sağ yanal doğrultu atıma sahip iki segmente ayrılarak güneydoğusu Beçin, kuzeydoğusu ise Karakuyu olarak isimlendirilmiştir. Milas şehir merkezinin güneydoğusunda yer alan Beçin Köyü ile Çamlıca Köyü arasında yaklaşık 25 km uzunluğundaki Beçin Segmenti ve şehir merkezi ile Bafa Gölü arasında yaklaşık 30 km uzunluğundaki Karakuyu Segmenti birbirine K-G uzanımlı normal bir fay ile bağlanmaktadır. Milas Fayı, K60°B gidişli hafif düşey bileşenli ve sağ yanal doğrultu atımlı olarak karakterize edilmektedir (Kırkan vd. 2023).

3.1.5 Gökova Fay Zonu

Gökova körfezinin morfolojisi incelendiğinde simetrik olmayan bir yapıda olduğu , doğusundan batısına 5 km ile 30 km arasında genişleyen, 120 km uzunluğunda bir çöküntü alanı olarak tanımlanmaktadır (Bozkurt 2001). Gökova Körfezinin kuzey kenarını sınırlayan grabenin karasal bölümünde D-B gidişli normal fay segmentlerinin bir araya gelerek oluşturduğu aktif fay zonu, Şaroğlu vd. (1987) ilgili çalışmasında Ula-Ören Fay Zonu, Duman vd. (2011) tarafından güncelleştirilmiş olan MTA kurumunun Türkiye Diri Fay haritasındaysa Gökova Fay Zonu olarak isimlendirilmiştir. Yaklaşık olarak D-B doğrultulu uzanıma sahip olan Bodrum-Gökova arasında tanımlanan Gökova Fay Zonu, körfezi kuzeyden sınırlamakta ve güneye (70°-85°) eğilimli normal fay segmentlerinden oluşmaktadır (Gürer vd. 2013). Zaman içerisinde gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda elde edilen jeolojik ve sismik veriler yardımı ile GKFZ’nin uzunluğu karadaki çizgiselliğinin yaklaşık 60 km ve denizdeki çizgiselliği ile toplamda yaklaşık 120 km olduğu belirlenmiştir.

Bu bölümde GKFZ’nin çizgiselliği Sözbilir vd. (2017) çalışması özetlenerek anlatılmıştır. Karadaki çizgiselliği doğuda Akyaka civarından batıya doğru net bir şekilde gözlemlenmektedir. GKFZ’nin doğu kesimi Yeşilova-Gökova-Akyaka-Ören mevkiileri üzerinden devam etmektedir. Türkevleri mevkinden itibaren batıya doğu yönelim gösterir ve ardından güneybatıya dönüş yapar ve Gökova Körfezi içerisinde 4 kola ayrılmaktadır (Sözbilir vd. 2017). Kollardan ikisi Kos Adası’nın kuzeyi ile Bodrum Yarımadası’nın güneyi üzerinden geçerek uzanmaktadır. Diğer kol Kos Adası güney sahili uzanımında devam etmektedir (Sözbilir vd. 2017). En güneyde yer alan kol, Datça

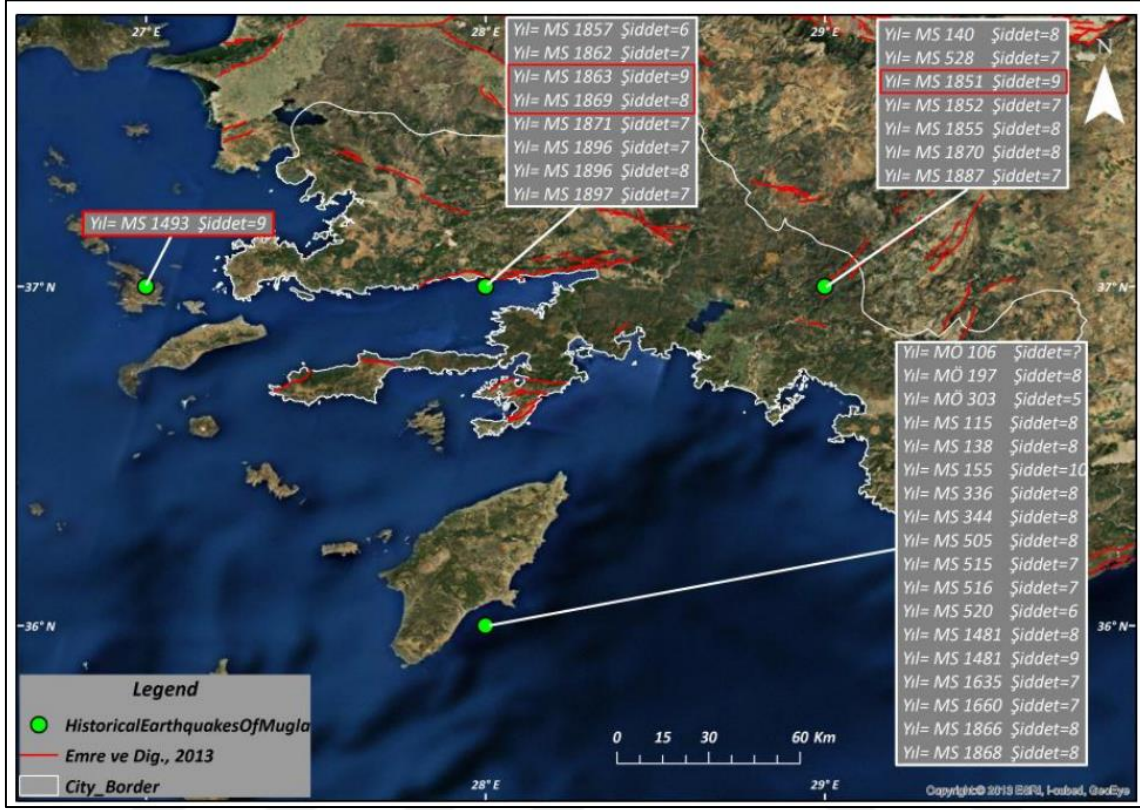
Yarımadası'nın batı ucuna değin takip edilebilmektedir. Bu kollar arasında körfez içerisinde D-B uzanımlı normal faylar gözlemlenirken kara içlerine doğru devam eden doğrultu atım bileşeni barındıran KB-GD ve KD-GB gidişli ikincil fay parçaları mevcuttur (Nomikou ve Papanikolaou 2010, İşcan vd. 2013, Özdemirli-Esat 2020). Körfezde deniz tabanı morfolojisi üzerine gerçekleştirilen çalışmalar ile, Kos Adası'na doğru DKD-BGB doğrultulu eğilim gösteren, körfezin kuzeyinde bulunan güneye eğilimli D-B uzanımlı listrik normal fayların körfezin güney kıyısına paralel uzandığı belirlenerek karmaşık bir oluşum gösterdiği belirlenmiştir. Gökova Körfezi – Kos Adası arasında uzanıma sahip GB-KD uzanımlı gösteren sol yanal doğrultu atımlı faylar ile körfez içerisinde D-B uzanımda havza segmentleri aralarında sırtlar ve bu oluşumlar neticesinde ters faylar oluşmuştur. GKFZ üzerinde doğrultu atımlı fayların denetiminde genel olarak genişlemeli bir deformasyon meydana gelmektedir (Ocakoglu vd. 2018).

3.2 Gökova Körfezinin Depremselliği

Dünya üzerinde bulunan tektonik anlamda aktif bölgeler içerisinde ilk sıralarda yerini alan Batı Anadolu bölgesinde meydana gelen aletsel ve tarihsel depremler incelendiğinde Gökova Körfezi ve çevresinde yoğunlaşan sismisite dikkat çekmektedir. Helenik yay boyunca uzanan dalma batma zonuna bağlı magmatizma ve yay arkası genişlemeli rejimin etkisi altında, geçmişten günümüze çalışma alanı olarak belirlenen Gökova Körfezi ve çevresinde yıkıcı etkisi büyük depremlerin yanı sıra buna bağlı olarak gelişen tsunamilerde meydana gelmiştir.

Tarihsel dönem deprem kayıtlarını içeren kataloglarda, mevcut yazılı kaynaklar doğrultusunda depremin meydana geldiği bölgedeki hasarın boyutu ön görülerek depremin şiddeti ile ilgili bilgiler verilmektedir. Depremin yıkıcı etkisinin görüldüğü bölge odaklı konum bilgisi deprem merkez üssünü belirlemeye yetecek seviyede yüksek hassasiyete sahip değildir. Bu sebeple fayın tektonik gelişiminin anlaşılabilmesi için gerçekleştirilen jeomorfolojik çalışmaların paleosismolojik çalışmalar ile desteklenmesi söz konusu fay üzerinde meydana gelen tarihsel depremlerin kinematik karakterinin belirlenmesinde önem taşımaktadır. Tarihsel deprem kayıtları incelendiğinde körfezi çevreleyen karasal bölgeler ve körfez açıklarında 9 şiddetine varan yıkıcı depremlerin

meydana geldiği bilinmektedir.



Şekil 3.2 Tarihsel dönem depremleri ve yaklaşık konumlarını gösterir harita (Kartal vd. 2014)

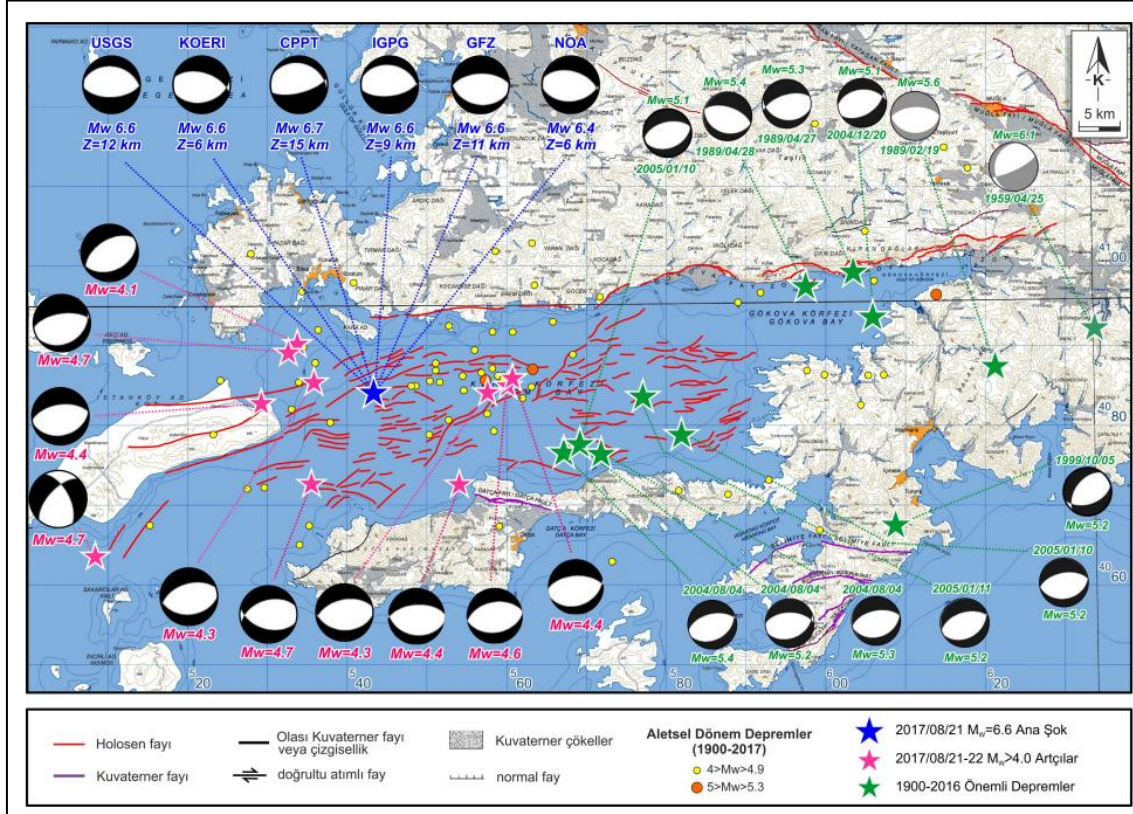
Tarihsel dönem depremler incelendiğinde Gökova Körfezi ve çevresi Milattan Önce (MÖ) 303 ile Milattan Sonra (MS) 1897 yılları arasında meydana gelen 30’u aşkın hasar verici deprem ile sarsılmıştır (Ambraseys ve White 1997, Yolsal vd. 2007). Gökova Körfezi ve çevresinde deprem 1493 yılında meydana gelen 9 şiddetine varan deprem ile Bodrum Kasabası’nı yerle bir olmuştur. MS 365-1882 yılları arasında gerçekleşen 6 deprem sebebi ile körfez çevresindeki kıyı kesimlerde tsunami meydana gelmiştir. MS 1422, 1873 ve 1887 yıllarındaki yoğun sismisite Stiros vd. (2000)’de volkanik kökenli olarak tanımlanmıştır. Yolsal vd. (2007), ilgili çalışmasında Doğu Akdeniz kıyılarında dalga boyu 3 metreye ulaşan tsunamilerin tekrarlama periyotlarının 150 ile 250 yıl arasında olduğunu hesaplanmıştır.

Aletsel dönem deprem kayıtlarına KOERI (Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute) AFAD (T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi

Başkanlığı) internet sitelerinin deprem kataloglarından erişim sağlanmıştır. Kayıtlara göre 2023–1920 yılları arasında Gökova Körfezi ve çevresinde $5 < M$ büyüklükte 50 deprem tespit edilmiştir. GKFZ üzerinde meydana gelen depremler incelendiğinde literatürde deprem göçü olarak tanımlanan, kırılan fay segmentinin enerjisini komşu segmente aktardığı dinamik tektonik bir yapı gözlenmektedir (Sözbilir vd. 2017). Doğudan başlayarak batıya doğru uzanım gösteren enerji transferine bu döngü körfezi çevreleyen fay zonunun en doğu ucunda meydana gelen 25.04.1959 tarihli Mw:6.1 büyüklüğündeki deprem ile tetiklenmiştir. 19.02.1989 tarihli Mw:5.6 büyüklüğündeki deprem ile kırılan fay segmenti ise 1959'da kırılan fay segmentinin batısındaki komşu segmenttir. B-GB doğrultulu deprem göçü 04.08.2004 ve 11.01.2005 yıllarında meydana gelen iki deprem ile devam etmiştir. Büyüklükleri sırayla Mw:5.4 ve Mw:5.2 olarak hesaplanan depremlerin oluşumu deprem fırtınası şeklinde yorumlanmıştır. (Kalafat & Horasan 2012). Kırılan fayda 12 yıllık bir periyot ile enerji birikimi tamamlanarak batı yönünde körfez içerisindeki bir diğer komşu fay tetiklenmiştir. 20.07.2017 tarihli Bodrum - Kos depremi bölgede son 30 yıl içerisinde görülen en yıkıcı depremdir. Bodrum Kos depremi 6-10 km sığ derinliğe sahiptir. Ana şokun devamında büyüklüğü Mw:5'e ulaşan 500 ve üzeri artçı deprem ile körfezde yoğun sismisite devam etmiştir. KOERİ ve AFAD çözümlerine göre Mw:6.6 büyüklüğünde bir depremdir. Bodrum-Kos depremi Marmaris, Datça, Bodrum gibi Muğla iline bağlı yerleşim yerleri ile Kos Adasında oldukça şiddetli bir şekilde hissedilmiştir. Körfez ve çevresinde meydana gelen yıkıcı deprem sonrasında, körfezin tektonik yapısı jeolojik, jeofiziksel ve jeodezik yöntemlerle birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir.

Ganas vd. (2017), ilgili çalışmada ana şokun değerlendirildiği Coulomb gerilme modellemesine dayanarak yırtılma uzunluğunun 16 km ve 11 km genişliğinde olduğunu belirtmiştir. Çalışmada kırılan fay segmentinin Karaada Adacığı'nı geçerek kuzeye doğru bir dalma ile BKB-DGD yönünde uzandığı ifade edilmiştir. Saltogianni vd. (2017) ve Tiryakioğlu vd. (2017) Karaada Adacığı açıklarında meydana gelen ana şok ile sırasıyla 25 km uzunluğunda ve 65 km uzunluğunda bir fay kırığı modeli karakterize etmiş, fayı üç ana segmente ayırarak, güneye eğimli bir normal fay düzlemi önermişlerdir. Ayrıca, Tiryakioğlu vd. (2017) fayın batı, orta ve doğu kesimlerinde olmak üzere üç yüksek atıma sahip olduğunu ve atımların sırasıyla 13, 26 ve 5 cm'ye

ulaştığını; ana şokun muhtemelen Kos Adası ile Bodrum Yarımadası arasındaki en güçlü yer sarsıntısına sahip orta segmentte meydana geldiğini belirtmiştir.



Şekil 3.3 Gökova Körfezi ve çevresinde 1900-2017 yılları arasında meydana gelen $4 < M_w < 5.3$ büyüklüğündeki depremlerin konumu ile 1900-2016 yılları arasında meydana gelen deprem fırtınası olarak tanımlanan depremlerin ve Bodrum Kos depreminin artçıları ve ana şokun konum/odak mekanizma çözümleri (Sözbilir vd. 2017).

Ana şokun odak mekanizması çözümleri depremin Gökova Körfezi'ndeki D-B gidişli Normal bir fay üzerinde meydana geldiği belirtilmiştir ki bu durum Batı Anadolu'da devam eden K-G uzanımlı genişlemeli tektonik yapı ile uyum içerisindedir. Fakat depremin kuzeye eğilimli bir düzlemde mi yoksa güneye eğilimli bir düzlemde mi meydana geldiği farklı araştırmacıların farklı çalışmaları sonucu elde ettiği bulgular sonucunda geliştirdiği farklı öneriler nedeniyle belirsizdir. Ana şoktan sonraki ilk sonlu fay modeli, sismik GPS verilerinden türetilen güneye eğimli bir fay düzlemi kullanmıştır (Saltogian vd. 2017, Tiryakioğlu vd. 2018). Ocakoğlu vd. (2018), körfezin kuzeyindeki yüzey şekillerinin güneye eğimli faylara, körfezin güney kenarındakilerin ise oblik sol-yanal faylara ait olduğunu ileri sürmüştür. Yazarlar, bulgularına dayanarak, 2017 Bodrum-Kos depreminin güneye eğimli bir fay üzerinde

meydana geldiğini öne sürmektedir (Tiryakioğlu vd. 2018, Ocakoğlu vd. 2018).

Öte yandan, GPS ve InSAR'dan elde edilen ortak verilerle, Bodrum kıyı şeridinin güneyindeki Karaada adlı küçük bir adada InSAR verilerinden görüş hattı (LOS) yönünde önemli miktarda negatif yer değiştirme olduğu ve bunun ancak kuzeye eğimli bir fay ile açıklanabileceği gösterilmiştir (Ganas vd. 2017). Karasözen vd (2018) ve Ganas vd. (2017) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda artçı şok aktivitesini değerlendirerek depremin kuzeye eğimli bir fayı kırdığı öne sürülmüştür.

Uluğ vd. (2005) tarafından Gökova Transfer Fayı üzerinde meydana geldiği öne sürülen ve daha sonra İşcan vd. (2013) tarafından Gökova Fay Zonu (GFZ) olarak adlandırılan bir doğrultu atımlı fay zone ile ilişkilendirilen körfezde KB eğilimi boyunca aktif bir sismisite bulunmaktadır. Ocakoğlu vd. (2018)'de bölgedeki 20 Temmuz 2017 tarihli ana şoktan önce 1973-2017 dönemi için depremlerin episantral dağılımı Uluslararası Sismoloji Merkezi (ISC)'den incelemiş Gökova Körfezi'nin kuzey ve kuzeydoğu kesiminde kuzeybatı ve güney kesimine kıyasla nispeten yüksek bir aktivite gösterdiği belirtilmiştir. Yazar ana şoktan sonra sismisitenin Gökova Körfezi'nin kuzeybatı kesiminde yoğunlaştığını belirterek daha önce asismik olan bu bölgenin artık aktif hale geldiğini gösterdiğini ifade etmektedir. Sözbilir vd. (2017) ile Tiryakioğlu vd. (2017) çalışmalarında yazarlar Gökova Körfezi'nin kuzey kesimi boyunca meydana gelen depremlerin muhtemelen körfezin ötesine batıya doğru göç ettiğinin altını çizmiştir. Çizelge 3.1'de Günümüzden geçmişe Gökova Körfezi ve çevresinde meydana gelen $5 < M_w$ -MD büyüklükte aletsel dönem depremleri göstermektedir.

Çizelge 3.1 Günümüzden geçmişe Gökova Körfezi ve çevresinde meydana gelen $5 < M_w$ -MD büyüklükte aletsel dönem depremleri gösterir çizelge

SIRA	TARİH	SAAT	ENLEM (°)	BOYLAM (°)	DER. (km)	MD	M_w	YER
1	13.04.2021	20:28:06	36.5425	27.2331	2.51	-	5.1	Ege Denizi - Datça
2	28.06.2020	17:43:27	36.7083	28.2475	78.2	-	5.2	Osmaniye-Marmaris
3	8.08.2017	07:42:21	36.9576	27.6236	11.03	-	5.1	Ege Denizi-Gökova Körfezi Bodrum (Muğla)
4	21.07.2017	17:09:48	36.941	27.332	37.5	-	5	Ege Denizi -Bodrum (Muğla)
5	20.07.2017	22:31:09	36.9693	27.4057	7.1	-	6.6	Gökova Körfezi (Akdeniz)
6	20.12.2016	06:03:43	36.5677	26.9252	121.5	-	5.3	On iki Adalar (Akdeniz)

Çizelge 3.1 (Devamı) Günümüzden geçmişe Gökova Körfezi ve çevresinde meydana gelen 5 < Mw-MD büyüklükte aletsel dönem depremleri gösterir çizelge

7	8.05.2011	06:50:22	36.696	27.8002	6.2	-	5.1	Çökertme-Milas (Muğla)
8	10.01.2005	23:48:49	37.0072	27.1145	16.5	-	5.4	Çökertme-Milas (Muğla)
9	20.12.2004	23:02:15	37.006	28.2771	12.5	5.1	-	Marmaris (Muğla)
10	7.10.2004	01:05:14	36.51	26.85	107	0	-	Akdeniz
11	4.08.2004	03:01:07	36.9149	27.6445	18.75	5.1	-	Ege Denizi- Gökova Körfezi Bodrum (Muğla)
12	4.08.2004	14:18:50	36.9269	27.7107	15	5.3	-	Ege Denizi – Gökova Körfezi- Bodrum (Muğla)
13	5.10.1999	00:53:26	36.8	28.14	23	5.2	-	Hisarönü- Marmaris (Muğla)
14	7.03.1995	03:58:16	37	28	11	5	-	Ege Denizi- Gökova Körfezi - Milas (Muğla)
15	26.08.1993	10:03:57	36.73	28.05	33	4.6	-	Selimye- Marmaris (Muğla)
16	19.06.1987	18:45:42	36.8	28.18	85	-	-	Hisarönü- Marmaris (Muğla)
17	27.09.1983	23:59:42	36.99	26.9	192	-	-	Oniki Adalar (Akdeniz)
18	18.04.1982	23:18:00	36.65	27.11	155	-	-	Oniki Adalar (Akdeniz)
19	17.08.1976	17:37:55	36.74	27.07	160	-	-	Kos Adası (Akdeniz)
20	9.07.1974	02:32:15	36.57	28.48	49	4.9	5.3	Akdeniz
21	5.02.1974	15:05:25	36.74	26.86	156	4.7	5	Kos Adası (Akdeniz)
22	20.01.1972	02:15:06	36.64	27.23	34	4.8	5.1	Oniki Adalar (Akdeniz)
23	12.11.1971	12:30:50	36.61	27.09	23	5.1	5	Oniki Adalar (Akdeniz)
24	16.10.1971	09:45:35	36.63	28.54	61	4.8	5.1	Dalyan Açıkları- Muğla Akdeniz
25	6.09.1969	20:30:40	36.73	28.35	72	5	5.3	Günlüce Açıkları- Muğla Akdeniz
26	27.04.1969	10:58:26	36.54	28.21	33	4.7	5	Akdeniz
27	21.12.1968	00:36:40	36.6	27.07	30	4.9	4.8	Oniki Adalar (Akdeniz)
28	5.12.1968	07:52:11	36.6	26.92	31		5.7	Oniki Adalar (Akdeniz)
29	12.11.1968	06:08:55	36.64	27.16	24	5	4.9	Oniki Adalar (Akdeniz)
30	12.11.1968	03:37:39	36.74	27.11	26	5	5	Kos Adası
31	11.11.1968	23:34:21	36.61	27.15	23	4.8	5.1	Oniki Adalar (Akdeniz)
32	31.10.1968	03:22:14	36.62	27.01	2	5.3	5.4	Oniki Adalar (Akdeniz)

Çizelge 3.1 (Devamı) Günümüzden geçmişe Gökova Körfezi ve çevresinde meydana gelen 5 < Mw-MD büyüklükte aletsel dönem depremleri gösterir çizelge

33	23.05.1961	02:45:22	36.7	28.49	70	6	6.2	Dalyan -Muğla
34	27.02.1961	21:54:38	36.59	27.02	60	5	5.3	Oniki Adalar (Akdeniz)
35	27.02.1961	21:40:07	36.56	27	70	5	5.3	Oniki Adalar (Akdeniz)
36	23.02.1961	21:56:51	36.73	27.22	40	4.9	5.2	Oniki Adalar (Akdeniz)
37	23.02.1961	21:45:57	36.75	27.07	80	5	5.3	Kos Adası (Akdeniz)
38	25.04.1959	01:05:46	36.92	28.6	40	5.2	5.5	Hamitköy-Köyceğiz (Muğla)
39	25.04.1959	00:26:44	36.94	28.58	30	5.7	5.9	Zaferler-Köyceğiz (Muğla)
40	9.05.1958	02:40:56	36.61	27.6	67	5.1	5.4	Mesudiye-Datça (Muğla)
41	2.01.1954	01:13:41	36.98	27.12	140	5.3	5.5	Oniki Adalar (Akdeniz)
42	22.10.1952	04:15:03	36.83	27.6	40	5.1	5.4	Gökova Körfezi (Akdeniz)
43	9.06.1952	14:48:39	36.83	27.64	20	4.9	5.2	Gökova Körfezi (Akdeniz)
44	20.11.1943	10:01:59	36.55	28.36	35	5.4	5.6	Akdeniz
45	11.01.1943	11:56:20	36.55	27.26	26	5.2	5.5	Oniki Adalar(Akdeniz)
46	23.04.1933	05:57:37	36.77	27.29	30	6.1	6.2	Oniki Adalar (Akdeniz)
47	7.12.1932	07:55:45	36.71	27.33	60	5	5.3	Datça Açıkları-Muğla Akdeniz
48	26.06.1926	19:46:38	36.54	27.33	100	7.1	7.2	Oniki Adalar(Akdeniz)
49	8.02.1926	19:48:32	36.8	27.1	30	5.3	5.5	Kos Adası(Akdeniz)
50	2.04.1920	15:37:25	36.75	26.64	10	5.6		Akdeniz

Çizelgeye ait veriler KOERI AFAD ve Çınar (2021)'den düzenlenmiştir.

Gökova körfezi ve çevresinin depremselliği incelenen çalışma bölgesin çok sayıda aktif fay barındırmaktadır (Emre vd. 2018). Bir bölgenin depremselliğine ilişkin bilgiler doğrultusunda sismik tehlike analizi gerçekleştirilirken bölgede belirlenen her bir fay segmentinin üretebileceği maksimum deprem büyüklüğünün hesaplanması büyük önem arz etmektedir (Solak 2015). Maksimum deprem büyüklüğü belirlenmesi için geliştirilen ampirik ilişkiler, büyüklük ile kırılma alanı, kırılma genişliği, yüzey yer değiştirme ve yüzey kırığı uzunluğu ve arasında kurulan bağıntılara dayanmaktadır (Wells ve Coppersmith 1994). Emre vd. (2018)'de, Wells and Coppersmith (1994)'ün yüzey kırığı uzunluğu ve büyüklük arasında geliştirdiği ampirik bağıntısı ile Gökova

Körfezi ve çevresindeki fay segmentlerinin üretebileceği maksimum deprem büyüklüğü hesaplanmıştır.

Çizelge 3.2 Gökova Körfezi ve çevresindeki fay segmentlerine dair parametreler ve fay segmentleri bazında hesaplanan potansiyel deprem büyüklükleri (Emre vd. 2018).

FAY		Uzunluk		Eğim (°)		Büyüklik
Segment	Tür	Yaş	(km)	Min.	Maks.	(Mw)
Milas Fayı	Karakuyu Segmenti	RL	H	25	87 90	6.73
	Beçin Segmenti	RL	H	14	87 90	6.50
	Yatağan Segmenti	NN	H	17	60 65	6.48
Muğla Fayı		NN	H	25	60 65	6.71
Adlanmamış Fay		NN	Q	16	55 60	6.45
Adlanmamış Fay		NN	Q	10	55 60	6.18
Gökova Fay Zonu		NN	H	9	55 65	6.12
		NN	H	21	55 65	6.61
		NN	H	9	55 65	6.12
		NN	H	22	55 65	6.20
Datça Fayı		NN	Q	10	50 65	6.18
Selimiye Fayı		NN	Q	21	60 65	6.61
Bozburun Fayı		NN	Q	11	60 65	6.23
Taşlıca Fayı		NN	Q	11	60 65	6.23
Kekova Fayı		NN	H	18	65 70	6.52
Kale Fayı		NN	H	32	55 65	6.50

Emre vd. (2018) düzenlenerek hazırlanmıştır. (Çizelgede kullanılan kısaltmalar sırayla verilmiştir. NN; Normal Fay, RL; Sağ yanal doğrultu atım, H; Holosen fay, Q; Kuvaterner Fay)

Holosen özellik gösteren faylar son 10.000 yıl içerisinde deprem kaynaklı sismik aktivitelerin gözlemlendiği aktif faylardır. Kuvaterner faylar ise son 2.588.000 yıl içerisinde yüzey yırtılmasıyla sonuçlanan büyüklükte deprem üretmiş ancak, Holosen’de yüzey yırtılmasıyla sonuçlanan deprem üretip üretmedikleri hakkında yeterli jeolojik ve jeomorfolojik veri toplanamayan faylar olarak tanımlanmaktadır (İnt. Kyn.2). Çizelge 3.4’te yer alan bilgiler doğrultusunda körfez ve çevresinin ağırlıklı

Korint Körfezi ve Türkiye'nin güneybatısı Girit'in doğusu ile KAF çevresidir. Bununla birlikte, bu alanların dışında bile, tüm Ege bölgesi çok az istisna dışında yüksek sismik tehlikeye sahip olarak sınıflandırılabilir. Çalışma bölgesi olarak belirlenen Gökova Körfezi ve çevresinin güneybatı Anadolu bölgesinde yer ivmelerinin en yüksek olduğu bölge olarak görülmektedir (Mason vd. 2017).



4. GNSS ÖLÇÜLERİ İLE TEKTONİK HAREKETLERİN MODELLENMESİ

Bir fay sistemi üzerinde biriken deformasyon enerjisi öncü şok, ana şok, artçı şok ve/veya ana şoku izleyen bağımsız bir deprem şeklinde açığa çıkabilir. Eğer fay üzerinde biriken deformasyon enerjisinin önemli bir kısmı ilk yırtılma ile açığa çıkamaz ise kalan enerjinin birbirini izleyen artçı şoklar ile ya da ilk yırtılmanın olduğu fay sisteminden uzakta bağımsız bir deprem olarak açığa çıkma olasılığı artmaktadır (Hough ve Jones 1997). Jeodezi yaygın olarak deprem arası, deprem anı, deprem öncesi sonrası gelişen deformasyonların belirlenerek kayma hızının hesaplanmasıyla faylanma süreçlerinin anlaşılmasında diğer yöntemler içerisinde ön plana çıkmaktadır (Bürgmann vd. 1997, Reilinger vd. 2006, Reilinger vd. 2010, Tiryakioğlu vd. 2018).

Yer kabuğunda deprem kaynaklı meydana gelen yer kabuğu deformasyonlarının belirlenmesini amaçlayan ilk Jeodezik çalışmada 19 Mayıs 1892 tarihli Tapanali Sumatra depremi ele alınmıştır (Muller 1895). Muller çalışmasında ölçü merkezlerinde gerçekleştirilen deprem öncesi ve sonrası açı farklılığını belirleyerek minimum 2 m yatay hareket tespit etmiştir. Oldham vd. (1899) Himalayalar'da gerçekleştirdiği çalışmada sırasıyla 1897 ile 1905 tarihinde meydana gelen depremlerden sonra ve ek olarak 1899 yılında benzer şekilde açı ve seviye ölçmeleri gerçekleştirmiştir. Meydana gelen yer değiştirmenin 1897 yılında meydana gelen depremden kaynaklandığını belirtmiş ardından bu görüş Middlemiss vd. (1910) çalışması ile desteklenmiştir (Yeats vd. 1997).

1906 yılında meydana gelen San Francisco depremi (M:7.7) ardından gerçekleştirilen gözlemler sonucunda deprem döngüsü hipotezi ile deprem anı elastik birim deformasyon boşalımının deprem meydana gelmeden önce birikim gösteren deformasyon ile ilişkisi ortaya konmuştur (Reid 1910). Yazar çalışmasında depremin “İnter-Sismik Dönem, Pre-Sismik Dönem, Ko-Sismik Dönem, Post-Sismik Dönem” 4 aşamada oluştuğunu belirtmiştir.

Deprem döngüsüne bağlı olarak gelişen kabuk deformasyonunun belirlenmesi amacıyla fay hatları boyunca, fayın geometrik özelliklerine ve tektonik anlamda temsiline uygun

şekilde oluşturulan ağlarda periyodik ölçmeler gerçekleştirilmektedir (Reid 1910, Reilinger vd. 2006, Reilinger vd. 2010). Aktif fayların yakınındaki kabuk deformasyonun belirlenmesi ile elde edilen veriler, hem uzun vadeli fay kayma hızını hem de kısa vadeli intersismik gerilme birikimini ve postsismik etkileri yansıtır (Dixon vd. 2003). Deprem meydana gelmeden önce deprem döngüsünün temel yapı taşı oluşturulan gerilim transferinin ve/veya enerji birikiminin sayısal olarak belirlenebilmesi yalnızca yüksek hassasiyetli ölçme sistemleri ve yöntemleriyle mümkündür (Aktuğ ve Çelik 2011). Bu bağlamda jeodezik yersel ölçme yöntemlerinin yanı sıra 20. Yüzyılın son çeyreği itibarıyla uzay jeodezisinin gelişmesiyle birlikte fay hareketlerinin belirlenmesinde Jeodezi bilimi ön plana çıkmıştır. InSAR, SLR, VLBI ve GNSS teknikleri ile deprem kaynaklı oluşan deformasyonların belirlenmesine yönelik birçok alt metot ve yazılım geliştirilmiştir (Poyraz 2009, Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012).

Tekrarlı GNSS gözlemlerinin yıllar içerisinde kabuk deformasyonlarını belirlemeye yönelik çalışmalarda oldukça popüler olarak kullanılan bir yöntem olduğu görülmüştür. Bu çalışmalarda GNSS ağı planlaması yapılırken nokta seçiminde temel prensip uygulama alanı olarak seçilen bölgenin tektonik yapısını en iyi şekilde temsil edecek konfigürasyonda mümkün olduğunca homojen dağılımlı olmasına dikkat edilmektedir. Oluşturulan bu jeodezik kontrol ağlarında gerçekleştirilen tekrarlı ölçüler ile lokal yer değiştirmelerin tespiti gerçekleştirilmektedir. GNSS ağlarına sürekli gözlem yapan sabit istasyonların dahil edilmesi ile istenilen epok aralığında veri değerlendirmeye alınabilmektedir. Genel olarak sürekli gözlem yapan sabit istasyonlar konumları uzun ve tekrarlı gözlemlerle yüksek hassasiyetle kestirildiğinden GNSS ağlarına dahil edilmektedir. Lokal araştırmalarda gerekli durumlarda, fayı karşılıklı denetleyecek, göreceli hareketin tespit edilebileceği, fayın konumuna yeterli uzaklıkta ve yakınlıkta noktalarda tesis edilebilmektedir. Belirli aralıklarla tekrarlanan GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinde çoğu alıcı firmasının mühendislik çalışmaları için geliştirdiği ticari yazılımların dışında, jeodezik ağlarının kurulması, yüksek doğruluk gerektiren deformasyon ölçüleri, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi ve datum parametrelerinin belirlenmesi vb. bilimsel çalışmaların ihtiyacı doğrultusunda veri analizlerinde AR-GE kuruluşlarının ve üniversitelerin destekleriyle devamlı geliştirilen yazılımlar ve internet servisleri kullanılmaktadır. Belirli aralıklarla tekrarlanan GNSS ölçülerine ait veriler

GAMIT/GLOBK, BERNESE, GIPSY/OASISS, CSRS-PPP, PRIDE-PPPAr vb. yazılımlarla tercihe göre statik ya da kinematik olarak gerçekleştirilen çözümleri gerçekleştirilmektedir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda ilk ölçü ile son ölçü arasındaki statik ve/veya dinamik yer değiştirme hesaplanabilmektedir. Hesaplanan yer değiştirme ve hız vektörleri yardımıyla bölgede oluşan gerilim ve gerinim parametrelerinin elde edilmesiyle bölgede gerçekleşebilecek depremin potansiyeline ilişkin bilgi edinimi mümkün olmaktadır (Yavaşoğlu 2003).

4.1 Gerinim ve Gerilim

Gerinim, bir noktanın komşu noktalarına kıyasla yer değiştirme miktarının noktanın başlangıçtaki konumu ile referans noktası arası uzaklığına bölünmesi ile hesaplanan geometrik bir büyüklük olarak tanımlanmaktadır (Kıranlıoğlu 2006). Yer değiştirme ve gerinim olguları birbirleriyle yakın ilişki içerisindedir. Matematiksel bir yaklaşımla düşünülecek olursa uzunluktaki değişimin farkının bir başka deyişle yer değiştirmenin gerçek uzunluğa bölünmesiyle ortalama gerinim hesaplanabilmektedir (Poyraz 2009). Bu yaklaşımla hesaplanan gerinim elemanları için gerinim hesaplaması gerçekleştirilen maddenin homojen olduğu varsayılmaktadır. Belirli bağıntılar yardımıyla hesaplanan jeodezik gerinim ise jeodezik olarak bir dönüşüm problemi barındırmaktadır. Farklı zamanlarda gerçekleştirilen gözlemlerin değerlendirilmesiyle elde edilen nokta kartezyen koordinatları arası farklar yardımıyla jeodezik olarak yer değiştirmeler belirlenmektedir. GNSS gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucunda elde edilen hız vektör parametreleri yardımıyla gerinim analizi gerçekleştirilebilmektedir (Tiryakioğlu vd. 2019).

Tektonik hareketlerin yorumlanmasında GNSS gözlemleri sonucunda elde edilen baz ve koordinat değişimlerinden gerinim analizi yapılmaktadır. Gerinim tensörü elemanlarının hesabı için uzunluk değişimleri ve koordinat farkları ölçü olarak kullanılabilir. Genel olarak uzunluk değişimleri ile gerilim hesabında, datumun gerinime etkisi yoktur. Koordinat değişiminde ise datum parametrelerindeki değişimlerden sonuçlar etkilenebilir. Bu nedenle koordinat farklarına göre yapılacak gerinim hesaplarında aynı datuma bağlı koordinatlar hesaplanmalıdır. Her periyot ölçüde datumlar çok iyi belirlenebilirse

iki yöntemde de gerinim hesabında güvenilir olarak kullanılabilir (Poyraz 2009).

Gerinim parametreleri ve GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi aracılığı ile hesaplanan hızlar arasındaki bağıntı Aktuğ (2017) tarafından açıklanmıştır.

$$u = Lx + \dot{t} \quad (4.1)$$

(4.1) formülü ile denklemin sağ tarafındaki u = noktalara ait hızları eşitliğin sol tarafındaki L = katı blok dönme hareketlerini (dönüklüklerini) $\dot{t}$ = öteleme hızlarını ve x = konum vektörünü ifade etmektedir. Katı blok dönüklükleri, $(\hat{\omega})$ gerinim parametrelerinin yıllık değişiminden $(\dot{e})$ meydana gelen hız gradyent (deformasyon) tensörüdür (Turcotte ve Schubert, 1982). Bu açıklamalara göre L deformasyon tensörü (4.2) formülü ile

$$L = \hat{e} + \hat{\omega} \quad (4.2)$$

ifade edilebilmektedir (Feigl 1990, Baysal vd. 2010, Aktuğ 2017). Gerinim parametreleri (tensörü) $= \hat{e}$ ile dönme tensörü $= \hat{\omega}$ arasındaki ilişki ise (4.3) ve (4.4) formülleri ile

$$\hat{\omega}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right), i \neq j, \hat{\omega}_{ii} = 0, i = j \quad (4.3)$$

$$e_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4.4)$$

ifade edilebilmektedir (Turcotte ve Schubert 1982, Aktuğ 2017)

Birim yüzeye etki eden kuvvetin miktarı gerilme (stres) olarak tanımlanmaktadır. Katı cisimlerin uygulanan kuvvete gösterdiği direnç ve kuvvete karşı dayanımlarının

belirlenmesine dair çalışmalar ile ortaya çıkmıştır. Cisme uygulanan dış kuvvete karşı cisimde oluşan iç kuvvetler başka deyişle gerilmeler sıkıştırma, makaslama ve çekme olmak üzere e ayrılmaktadır. Normal gerilim yüzey üzerinde meydana gelen gerilme vektörü dik ise; kesme gerilimi yzeeye etki eden kuvvetler paralel bir şekilde teğetsel vektörel kuvvetleri ise olarak adlandırılmaktadır. Cisimler üzerinde gerilme vektörlerinin türüne bağlı olarak deformasyona sebep olan gerilme doğrudan llememektedir (Poyraz 2009).

4.2 Jeodezik Yöntemlerle Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi

Sismik tehlike değerlendirmesi ağırlıklı olarak tarihsel ve aletsel depremselliğe dayanmaktadır. Ancak, Ege'deki normal faylar düşük kayma hızlarına ve uzun yinelenme aralıklarına sahiptir. Bu faylar üzerindeki deprem yinelenme aralıkları genellikle birkaç yüz ila birkaç bin yıl arasındadır ve bu nedenle tarihsel kayıtların kapsadığı zaman dilimi çoğu durumda deprem yinelenme aralığından daha kısadır. Bu nedenle, bu verilerin sismik tehlike değerlendirmelerinin doğruluğunu artırmak için kullanılabilmesi amacıyla, bu faylar için kayma hızı ve deprem tarihinin belirlenmesi gerekmektedir (Aktuğ 2017).

GNSS teknolojisinin gelişimine bağlı olarak günümüzde yüksek doğrulukta koordinat, zaman ve hız bilgileri elde edilebilmektedir. Bölgeye ait GNSS hızları kullanılarak hesaplanan gerinim alanı deprem tekrarlama haritalarının üretilmesinde temel girdi verisini oluşurmaktadır (Aktuğ 2017).

Belirli bir magnitüde sahip ($M, M < M_{\max}$) yıllık deprem sayısı (N) Kesikli GutenbergRichter modeli (4.5) formülündeki gibi ifade edilebilir.

$$N(M) = 10^{a+bM} (M < M_{\max}) \quad (4.5)$$

Bu formüle göre (4.5) magnitüdü M 'ye eşit veya daha büyük depremlerin ortalama tekrarlama aralığının hesaplanmasına ilişkin eşitlik (4.6) aşağıda verilmiştir.

$$T(\geq M) = \frac{1}{10^a \int_M^{M_{\max}} 10^{bM} \partial M} \quad (4.6)$$

Hanks ve Kanomari (1979) tarafından verilen sismik moment (M_0) ile moment büyüklüğü (M_w) arasındaki bağıntı (4.7) ise aşağıdaki şekildedir.

$$M_0 = 10^{\frac{3}{2}}(M_w + 6.07) \quad (4.7)$$

Toplam yıllık moment hızı ($\dot{M}_0$) bağıntı (4.8) eşitliği kullanılarak bütün depremler için hesaplanır ise

$$\dot{M}_0 = 10^a \int_{-\infty}^{M_{\max}} 10^{(1.5+b)M_w+9.105} \partial M \quad (4.8)$$

eşitliği sağlanır (Ward 1994). Verilen formülde 10^a terimi, eşitliğin sol tarafına kalacak şekilde (4.8) eşitliği yeniden düzenlenirse ve integrali alınırsa,

$$T(\geq M) = \frac{b}{(1.5 + b)} \frac{10^{(1.5+b)M_w+9.105}}{2\mu H_{\text{sismojenik}} \dot{\epsilon}_{\max} (10^{bM_{\max}} - 10^{bM_w})} \quad (4.9)$$

(4.9) bağıntısı elde edilmektedir (Aktuğ 2017).

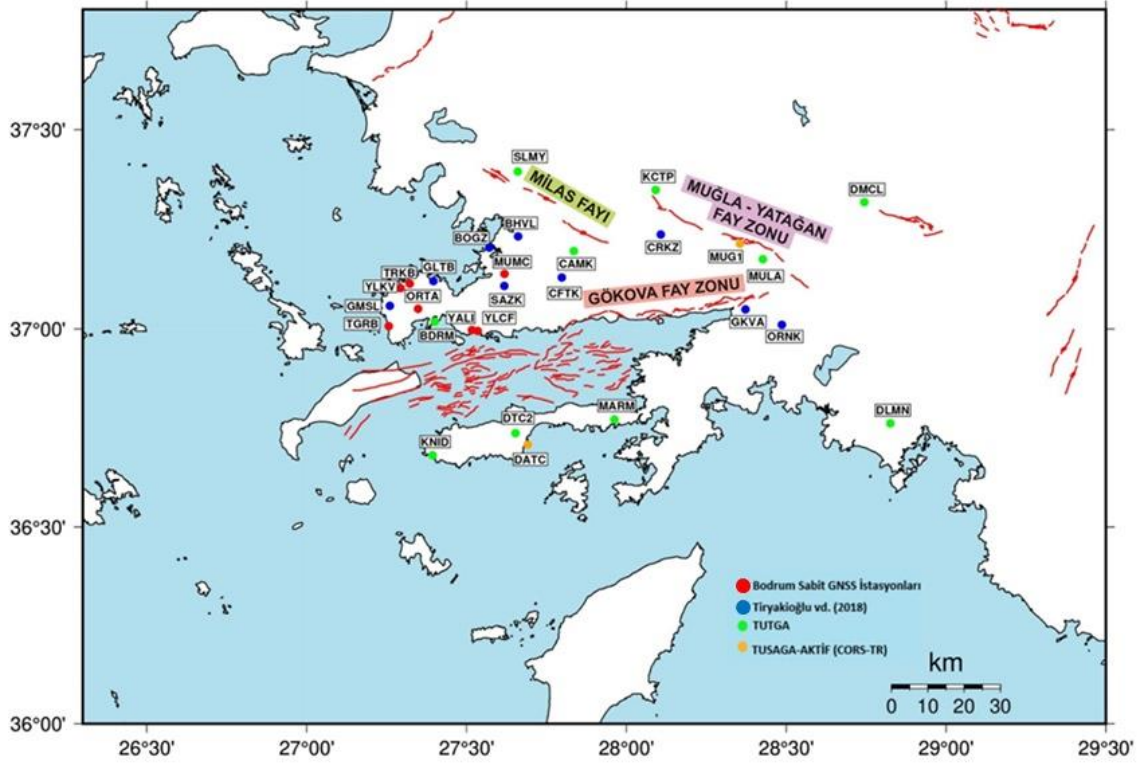
5. UYGULAMA

5.1 Çalışma Alanı

Bu çalışma kapsamında aktif tektonik yapısı incelenen çalışma bölgesi, Türkiye'nin batısındaki en büyük graben sistemlerinden biri olan Gökova Körfezi ve çevresine odaklanmaktadır. Gökova körfezi etrafından bulunan birçok turistik yerleşim alanı bulunmaktadır. Bodrum başta olma üzere Marmaris Datça yerleşim alanlarında nüfus yoğunluğu özellikle yaz aylarında 4-5 milyonu bulabilmektedir. Bölgede irili ufaklı 12 adet aktif fay bulunmaktadır. Bu faylar 6.7 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeline sahiptir.

5.2 Çalışma Kapsamında GNSS Ağı'nın Kurulması ve GNSS Gözlem Stratejisi

Çalışma bölgesinde, 20 Temmuz 2017'de 6.6 (Mw) büyüklüğünde Bodrum-Kos depremi meydana gelmiştir. Tiryakioğlu vd. (2018) tarafından meydana gelen depremin hemen ardından bölgede kosismik hareketin belirlenmesi amacıyla GNSS gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Tiryakioğlu vd. (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışma ile Bodrum-Kos depremleri sonrası atım miktarları ve deprem büyüklüğü hesaplanmıştır. Bu çalışma ile 20 Temmuz 2017 (Mw:6.6) Bodrum-Kos Depremi Sonrası Gökova Körfezi'ndeki güncel gerinim alanlarının GNSS gözlemleri yardımı ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma bölgesinde 22.FENBİL.19 numaralı AKÜBAPK (Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Koordinatörlüğü) tarafından desteklenen proje kapsamında 28 noktalı bir GNSS ağı tasarlanmıştır. Bu amaçla çalışma bölgesinde gerçekleştirilecek GNSS gözlemleri için planlanan ağa Tiryakioğlu vd. (2018)'de bulunan noktalarda dahil edilmiştir. Tasarlanan ağ da 7 sabit GNSS istasyonuna ek (MUMC, ORTA, TGRB, TRKB, YALI, YLCF, YLKV), 2 CORS-TR istasyonu (DATC, MUG1) dahil edilmiştir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Çalışma kapsamında oluşturulan GNSS ağı.

GNSS gözlemi gerçekleştirilmesi planlanan noktaların seçiminde çalışma bölgesinin aktif tektonik yapısını segment bazında temsil edebilecek konfigürasyonda bir GNSS ağı oluşturulması hedeflenmiştir. Çalışmada ağ planlaması esnasında, maliyet ve zaman açısından tasarruf etmek amacıyla nokta tesis edilmesi tercih edilmemiştir. Çalışma bölgesinde gerçekleştirilmekte olan haritacılık faaliyetleri, jeodezik çalışmalar kapsamında tesis edilmiş olan noktalar ağı sıklaştırmak amacıyla belirlenmiştir. Bu noktalara ait hassas konum bilgisi bölgede haritacılık faaliyetleri gerçekleştirmekte olan kamu kurum ve özel sektörde görev yapmakta olan harita mühendisleri aracılığı ile elde edilmiştir. Belirlenen her bir nokta; fay geometrilerinin temsili yönünden nokta konumu, jeolojik yapı, noktaya ulaşılabilirlik, anten yükseklik ve zorunlu merkezleştirme hatalarının önüne geçilebilmesi için tesis türünün pilye ya da kayada bronz tercih edilmesi gibi kriterlerin kontrolü sağlanarak ağı dahil edilmiştir.

Çizelge 5.1 Çalışma kapsamında kurula GNSS ağındaki noktaların yaklaşık konumları

Nokta İsmi	Enlem	Boylam
BDRM	36.925	27.4
BHVL	37.208	27.661
BOGZ	37.171	27.507
CAMK	37.105	27.835
CFTK	37.032	27.798
CRKZ	37.147	28.108
DATC	36.683	27.691
DLMN	36.737	28.825
DMCL	37.293	28.744
DTC2	27.653	36.717
GKVA	36.96	28.372
GLTB	37.098	27.406
GMSL	37	27.17
KCTP	37.325	28.091
KNID	36.657	27.393
MARM	36.748	27.962
MUG1	37.124	28.305
MULA	37.075	28.427
MUMC	37.11	27.635
ORNK	36.923	28.486
ORTA	37.025	27.335
SAZK	37.015	27.618
SLMY	37.375	27.66
TGRB	36.955	27.166
TRKB	27.282	37.083
YALI	27.475	36.97
YLCF	36.97	27.535
YLKV	37.089	27.263

Bölgede kurulan GNSS ağında 2022 yılı içerisinde 2 Kampanya, günlük minimum 8 saatlik oturumlar dahilinde statik GNSS gözlemlerinin gerçekleştirilmesi planlanmıştır. GNSS ağındaki noktaların yaklaşık konumları, GNSS ölçüleri için kullanılan ekipmanlar ve ölçü stratejisi sırasıyla Çizelge 5.1’de Şekil 5.2 ve Çizelge 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Çalışmada kullanılan GNSS alıcıları.

Çizelge 5.2 Çalışma kapsamında uygulanan ölçü stratejisi.

Parametre	Değer
Ölçü Türü	Statik
Oturum Sayısı	Günlük
Veri Toplama Aralığı	15 sn
Ölçü Süresi	Min. 8 saat
Uydu Yükseklik Açısı	10°

5.3 GNSS Gözlemlerinin Gerçekleştirilmesi ve Noktalara Ait Geçmiş GNSS Verilerinin Temin Edilmesi

Çalışma kapsamında planlanan doğrultuda 1. Kampanya GNSS gözlemleri 2022 Şubat, 2. Kampanya GNSS gözlemleri 2022 Aralık ayında gerçekleştirilmiştir. Arazi çalışmaları öncesinde bölgenin topoğrafyası, noktaların ulaşılabilirliği, noktalar arası mesafe vb. kriterler dikkate alınarak ölçü planlaması yapılmış, proje bütçesi dahilinde ulaşım giderleri karşılanmıştır. Gerçekleştirilen 2 kampanya ölçü her biri iki kişiden oluşan 2 ekip tarafından tamamlanmıştır. Ağa bölgede bulunan sabit GNSS istasyonları ve CORS istasyonları dahil edilmiştir. Bu sabit istasyonların geçmiş yıllara ait verileri temin edilerek veri seti genişletilmiştir. Çizelge 5.3'te çalışma kapsamında geçmiş ölçüleri temin edilerek oluşturulmuş GNSS veri setinde hangi noktaların hangi yıllara ait verilerinin temin edildiği yer almaktadır. Arazi çalışmalarına ait görüntüler aşağıda yer almaktadır.



Şekil 5.3 Arazi çalışmalarına ait görseller.

5.4 GNSS Verilerinin GAMIT/GLOBK Yazılım Takımı ile Değerlendirilmesi

Çalışma kapsamında GNSS gözlemlerinden elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılım takımında değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde ilk olarak GAMIT

modülü ile gözlem gerçekleştirilen noktalara ait GNSS verileri; üç boyutlu koordinatları, atmosfer kaynaklı etkileri, uydu yörünge parametreleri ve alıcı-saat hatalarının çözülmesi için faz ve kod gözlemlerine ait veriler modülü oluşturan program kümesi ile işlenmektedir. GAMIT modülü ile işlenen yörünge parametreleri, nokta konumları vb. veri çıktılarının bir Kalman Filtresi ile bir araya getirilmesini sağlayan ikinci aşama GLOBK modülü ile tamamlanmaktadır. Öncelikli olarak çalışma bölgesi kapsamında kurulan GNSS ağında yer alan her noktanın geçmiş yıllara ait GNSS verileri derlenerek bir veri seti oluşturulmuştur (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3 Ölçü yapılan/verisi temin edilen noktalar

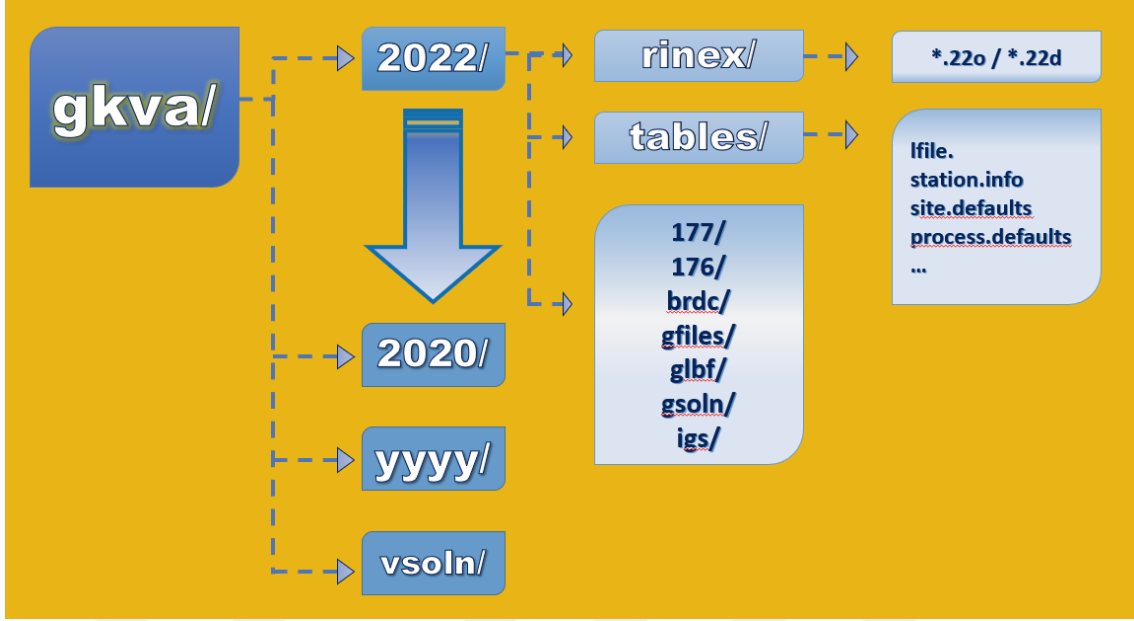
NOKTA	2000	2002	...	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
BDRM	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
CAMK	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x				
DLMN	x	x	x	x	x	x	x							
DMCL	x	x	x	x	x	x	x		x					
KCTP	x	x	x	x	x	x	x						x	
KNID	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
MARM	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
MULA	x	x	x	x	x	x	x		x					
SLMY	x	x	x	x	x	x	x			x	x			
DATC	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
MUG1	x	x	x	x	x	x	x			x	x			
BHVL	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	
BOGZ	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	
CFTK	x	x	x	x	x	x	x	x	x					
CRKZ	x	x	x	x	x	x	x	x					x	
GKVA	x	x	x	x	x	x	x	x						
GMSL	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x	
ORNK	x	x	x	x	x	x	x	x						
SAZK	x	x	x	x	x	x	x	x						
ORTA	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x
MUMC	x	x	x	x	x	x	x	x	x			x	x	x
YLCF												x	x	
TGRB	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x
YLKV												x	x	
YALI	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x		
TRKB	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			

Tez çalışması için gerçekleştirilen arazi çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen 2

kampanya GNSS gözleminin tamamlanması ile birlikte, kampanya ölçüleri GNSS alıcılarından GNSS Solution programı ile bilgisayara aktarılmıştır. Alıcıdan aktarılan her bir gözlem dosyasını oluşturan ham data Receiver Independent Exchange Format (RINEX) Converter programı aracılığı ile alıcıdan bağımsız RINEX 2.11 formatına dönüştürülmüştür. İki gün tekrarlı gerçekleştirilen GNSS gözlemleri “Translation, Editing, Quality Checking” (TEQC) yazılımı kullanılarak değerlendirmeye hazır hale getirilmiştir.

GNSS ağına dahil edilen Bodrum sabit istasyonları içerisinde YALI ve TRKB istasyonları 2017 Bodrum-Kos depremi sonrasında farklı nedenlerden dolayı yerleri ve isimleri değiştirilmiştir. 2019 yılına dek veri sağlayan YALI istasyonu yeni bir konuma taşınarak YLCF ismini almıştır. 2020 yılına dek veri sağlayan TRKB istasyonu yeni bir konuma taşınarak YLKV ismini almıştır.

TGRB, MUMC, YALI, YLKV, TRKB, YLCF noktalarına ait veriler saatlik oturumlar halinde temin edilmiştir. Kampanya tipi gerçekleştirilmiş GNSS gözlemlerinin tarihlerine bağlı kalınarak veri temini sağlanan bu noktalara ait oturumlar birleştirilerek günlük minimum 8-10 saatlik oturumlar haline dönüştürülmüştür. Bu dönüşümde CHC Data programı kullanılmış olması sebebiyle tüm verilerde RINEX formatında uyumsuzluk oluşmuştur. Bu sebeple TGRB, MUMC, YALI, YLKV, TRKB, YLCF noktalarına ait birleştirilmiş oturumlar RINEX Converter programı kullanılarak 2.11 RINEX formatına dönüştürülerek bu uyumsuzluk giderilmiştir. Arazi çalışmalarının veri aktarım-dönüşüm işlemlerinin tamamlanması ve sabit istasyonlara ait verilerin uygun RINEX formatına dönüşümünün sağlanmasıyla birlikte çalışma kapsamında oluşturulan GNSS veri seti eksiksiz bir şekilde tamamlanmıştır.



Şekil 5.4 GAMIT/GLOBK klasör yapısı.

GAMIT/GLOBK yazılım modülünde değerlendirme sürecinin ilk adımı olarak gerekli dosya yapısı oluşturulmuştur. Yazılımda oluşturulan her ana klasörün projeyi özgün şekilde temsil edecek 4 karakter belirlenerek adlandırılması gerekmektedir. Çalışma bölgesi Gökova Körfezi ve çevresi olarak belirlendiğinden klasör “gkva” olarak adlandırılmıştır (Şekil 5.4).

Bu ana klasör içerisine GNSS veri tabanı ile uyumlu olacak şekilde, mevcut gözlem dosyaları hangi yıla ait ise o yıl ismi ile bir alt klasör oluşturulmuştur. Her yıl klasör içerisinde ise “rinex ve tables” klasörü oluşturularak, GNSS veri tabanında bulunan GNSS gözlemleri hangi yıla ait ise ilgili yıl klasörü içerisindeki “rinex” klasörüne taşınmıştır. GAMIT yazılım modülünde her yıl klasöründe açılan terminalde “sh_setup – yr” komutu ile oluşturulan “tables” klasörü, yazılımın değerlendirme sürecinde kullandığı standart girdi dosyalarını barındırmaktadır.

GAMIT yazılım modülünde tables klasöründe bulunan “station.info, site.defaults, lfile., sestbl” isimli dört temel girdi dosyası hazırlanır. Bu dosyaların içeriği değerlendirilecek yıl içerisinde bulunan ‘rinex’ klasöründeki GNSS gözlemleri dikkate alınarak düzenlenmektedir. International GNSS Service (IGS) istasyonlarının isimleri ve bu istasyonların alıcı ve anten bilgilerinin yer aldığı “station.info” girdi dosyasında,

değerlendirilecek edilecek noktaların ismi, gözlem yapılan tarih ve saat aralığı, GNSS gözlemlerinin gerçekleştirildiği alıcı ve anten bilgilerinin düzenlenmesi gerekmektedir (Şekil 5.5).

Open															station.info										Save	
New Station															New Station											
NONE	ZSE1	Seattle WAAS 1	2003	14	0	0	0	2003	109	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	7FC1	NPL_WAAS_2224NM					
NONE	ZSE1	Seattle WAAS 1	2003	109	0	0	0	2007	137	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	7FC1	NOV_WAAS_600					
NONE	ZSE1	Seattle WAAS 1	2007	137	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	7FC1	NPL_WAAS_2225NM					
NONE	ZSUI	San Juan WAAS 1	2003	52	0	0	0	2003	116	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	80C1	NPL_WAAS_2224NM					
NONE	ZSUI	San Juan WAAS 1	2003	116	0	0	0	2006	80	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	80C1	NOV_WAAS_600					
NONE	ZSUI	San Juan WAAS 1	2006	80	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	80C1	NPL_WAAS_2225NM					
NONE	ZTL4	Atlanta WAAS 4	2002	309	0	0	0	2003	122	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	81C1	NPL_WAAS_2224NM					
NONE	ZTL4	Atlanta WAAS 4	2003	122	0	0	0	2006	339	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	81C1	NOV_WAAS_600					
NONE	ZTL4	Atlanta WAAS 4	2006	339	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0000	DHARP	0.0000	0.0000	NOV WAASGII	2.003	2.00	81C1	NPL_WAAS_2225NM					
383	ZHE2	Astronomical Obs	2004	300	0	0	0	2007	164	12	0	0	0.0460	DHARP	0.0000	0.0000	AOA SNR-8000 ACT	3.3.32.3	3.30	276-U	AOAD/M_T	NONE				
217-8348	ZHE2	Astronomical Obs	2007	164	12	0	0	9999	999	0	0	0	0.1300	DHARP	0.0000	0.0000	SEPT POLARX2	2.6.0	2.60	1348	TPSCR3_GGD	NONE				
342	ZHEN	Astronomical Obs	1995	67	0	0	0	1996	32	0	0	0	0.0460	DHARP	0.0000	0.0000	ROGUE SNR-8000	2.8.32.1	0.00	287	AOAD/M_T	NONE				
342	ZHEN	Astronomical Obs	1996	32	0	0	0	1996	64	0	0	0	0.0460	DHARP	0.0000	0.0000	ROGUE SNR-8000	3.2	3.20	270	AOAD/M_T	NONE				
342	ZHEN	Astronomical Obs	1996	64	0	0	0	1999	251	16	0	0	0.0460	DHARP	0.0000	0.0000	ROGUE SNR-8000	3.2	3.20	270	AOAD/M_T	NONE				
342	ZHEN	Astronomical Obs	1999	251	16	0	0	2000	251	0	0	0	0.0460	DHARP	0.0000	0.0000	AOA SNR-8000 ACT	3.3.32.3	0.00	245	AOAD/M_T	NONE				
342	ZHEN	Astronomical Obs	2000	251	0	0	0	2000	265	0	0	0	0.0460	DHARP	0.0000	0.0000	AOA SNR-8000 ACT	3.3.32.3	0.00	279	AOAD/M_T	NONE				
237	ZHEN	Astronomical Obs	2000	265	0	0	0	2004	266	0	0	0	0.0460	DHARP	0.0000	0.0000	AOA SNR-8000 ACT	3.3.32.3	0.00	279	AOAD/M_T	NONE				
333	ZHEN	Astronomical Obs	2004	266	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.0460	DHARP	0.0000	0.0000	AOA SNR-8000 ACT	3.3.32.3	0.00	279	AOAD/M_T	NONE				
	DATC	DATC	2019	103	0	0	0	9999	999	23	59	30	0.0870	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS		0.00		TRH55971.00					
	MDGI	DENI	2019	164	0	0	0	9999	999	23	59	30	0.0870	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS		0.00		TRH55971.00					
	MURC	MURCULAR	2017	001	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1000	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS	TBB141208	-----	548148117124326	STHCR3-G3	STHC	5431C02329			
	ORTA	ORTAKENT	2017	001	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1000	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS	TBB141208	-----	548148117124342	STHCR3-G3	STHC	5430C04292			
	YALL	YALICIFTLIK	2017	001	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1000	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS	TBB141208	-----	548148117125786	STHCR3-G3	STHC	5431C01803			
	TKRK	GOLTURKURU	2017	001	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1000	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS	TBB141208	-----	548148117125896	STHCR3-G3	STHC	5431C01710			
	TGRB	TURGUTREIS	2017	001	0	0	0	2026	365	0	0	0	0.1000	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS	TBB141208	-----	548148117125786	STHCR3-G3	STHC	5431C03273			
	YLCF	YALICIFTLIK	2021	001	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1000	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS	TBB141208	-----	548148117125786	STHCR3-G3	STHC	5431C01803			
	YLSV	YALICIFTLIK	2021	001	0	0	0	9999	999	0	0	0	0.1000	DHARP	0.0000	0.0000	TRIMBLE NETRS	TBB141208	-----	548148117125786	STHCR3-G3	STHC	5431C01803			
	CTIK		2019	231	0	0	0	2019	232	0	0	0	0.0121	DHARP	0.0000	0.0000	LEICA CX1230		459084		LEIAX1202	NONE				

Şekil 5.5 Station.info dosya içeriği.

Kurulan GNSS ağına global bir ağ ile ilişkilendirilmesi için stabilizasyon noktaları mevcut IGS istasyonları içerisinde belirlenmektedir. Bu sayede mm hassasiyetine sahip IGS istasyonlarının koordinatlarından yararlanılarak maksimum hassasiyete sahip sonuçların elde edilebilmektedir. “sites.defaults” girdi dosyası içeriği değerlendirme sürecinde kullanılacak IGS istasyonlarına ek olarak değerlendirilecek yıl dahilinde verisi mevcut olan GNSS noktaları da tanımlanmaktadır. Çalışma kapsamında ağına stabilizasyonu için seçilen IGS istasyonları Şekil 5.6’ da verilmiştir.

```
Open sites.defaults Save
# the second token is the 4-character experiment name, and the remaining
# tokens, read free-format, indicate how the site is to be used in the processing.
# All sites for which there are RINEX files in the local directory will be used
# automatically and do not need to be listed.
#
# ftrpx = sites to ftp from rinex data archives.
# ftrpw = sites to ftp from raw data archives.
# localrx = site names used to search for rinex files on your local system.
#           (required in conjunction with rxnfd path variable set in process.defaults).
# xstinfo = sites to exclude from automatic station.info updating.
# xsite   = sites to exclude from processing, all days or specified days
#
# Replace 'expt' with your experiment name and edit the following to list sites needed from external archive
all sites expt xstinfo
afric_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
aust_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
bahr_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
bela_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
tubl_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
ista_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
crae_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
nssp_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
kuwt_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
baku_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
noti_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
polv_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
pots_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
usop_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
adls_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
gras_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
berl_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
onsa_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
vill_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
drag_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
graz_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
ramo_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
bucu_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
amkr_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
nico_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
reck_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
glsv_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
sofi_gps gkva ftrpx xstinfo girepu gireps glts
DATC_gps gkva localrx xstinfo girepu glts
MUCI_gps gkva localrx xstinfo girepu glts
TGRB_gps gkva localrx xstinfo girepu glts
MUMC_gps gkva localrx xstinfo girepu glts
QRTA_gps gkva localrx xstinfo girepu glts
```

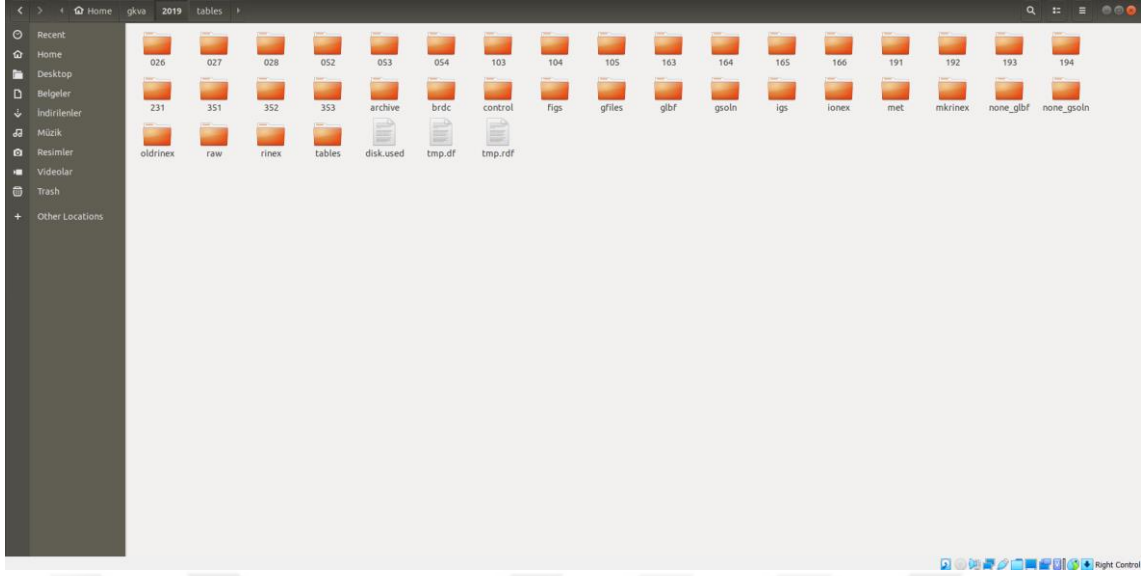
Şekil 5.6 "sites.defaults" dosya içeriği.

Değerlendirmeye alınan tüm noktaların yaklaşık koordinatları “lfile.” girdi dosyası içerisinde verilmektedir. Noktaların daha önce gerçekleştirilmiş çözümlerinden ya da ilgili noktaların RINEX dosyası içerisinde bulunan başlangıç koordinatları yaklaşık koordinat olarak alınabilir. Yaklaşık koordinatların m mertebesinde doğruluğu GAMIT modülünde gerçekleştirilen değerlendirme için yeterlidir.

GAMIT yazılım modülünde kontrol adımlarını barındıran komutların yer aldığı “sestbl.” dosyasında verilerin değerlendirilmesi için;

- Gerekli ölçülerin ağırlıklandırılması,
- Atmosferik yörünge parametrelerinin belirlenmesi,
- Tam sayı belirsizliği çözümü,
- Yeryuvarı gel-git, yer dönüş, anten faz merkezi parametreleri gibi model parametreleri gibi kestirimler hazırlanmaktadır (Yavaşoğlu 2009, Herring vd. 2010, 2018, Tiryakioğlu 2012) .

Tüm girdi dosyaları tamamlandıktan sonra “sh_gamit” komutu ile GAMIT yazılım modülünde otomatik değerlendirme süreci başlatılmıştır. “sh_gamit” komutunun çalıştırılması ile birlikte değerlendirilen yıl klasöründe Şekil 5.7 de gösterilen dosyalar oluşacaktır.



Şekil 5.7 Çalışma kapsamında oluşturulan GAMIT/GLOBK klasör yapısı.

Değerlendirme süreci başladıktan otomatik olarak yıl klasörü içerisinde çözümü gerçekleştirilmekte olan günün, GNSS takvimine göre hangi gün olduğunu belirten bir alt klasör oluşmaktadır. “sh_gamit” komutunun çalıştırıldığı terminalde çözüm gerçekleşirken herhangi bir hata mesajı alınmaması değerlendirmenin başarılı bir şekilde tamamlandığını ifade etmektedir. Ancak çözüm sırasında GAMIT modülü terminalde herhangi bir hata uyarısı vermiş ise otomatik olarak oluşturulan gün dosyasının içerisindeki “GAMIT.fatal” klasörü kontrol edilmelidir. Bu klasörde hata mesajına ilişkin detaylı bilgiler yer almaktadır. Girdi dosyalarındaki tanımlamalar, biçim ya da karakter uyumsuzlukları ile birlikte RINEX dosyalarındaki versiyon uyumsuzlukları, yazılım modüllerindeki güncellemelerden kaynaklı dosya içeriği ve uzantılar vb. birçok etmen değerlendirme sürecinde hata alınmasına sebep olabilmektedir.

Değerlendirme sürecinin kontrol aşamasında çözümü hatasız bir şekilde tamamlanan her yıl klasöründe otomatik olarak oluşan gün klasörlerinin içerisindeki “qXXXXa.bbb” ve “autcln.post.sum.XXXX” (XXXX çalışma klasörünün adını, bbb GNSS yılının gününü tanımlar) dosyaları içeriğindeki belirli parametrelerin literatürde sınırlanan değer aralığı ile uyumu aranmaktadır. Bu kontrol ile çözümü gerçekleştirilmiş gün dahilinde ölçülerin gürültü seviyelerinin kabul edilebilirliği ve modelin doğruluğu

hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir (Dönmez 2018). Öncelikle “qXXXXa.bbb” dosyasındaki Postfit.NRMS değeri kontrol edilmekte ve bu değerin $0.15 < \text{NRMS} < 0.25$ aralığında olması gerekmektedir (Yavaşoğlu 2009, Herring vd. 2010,2018, Tiryakioğlu 2012).

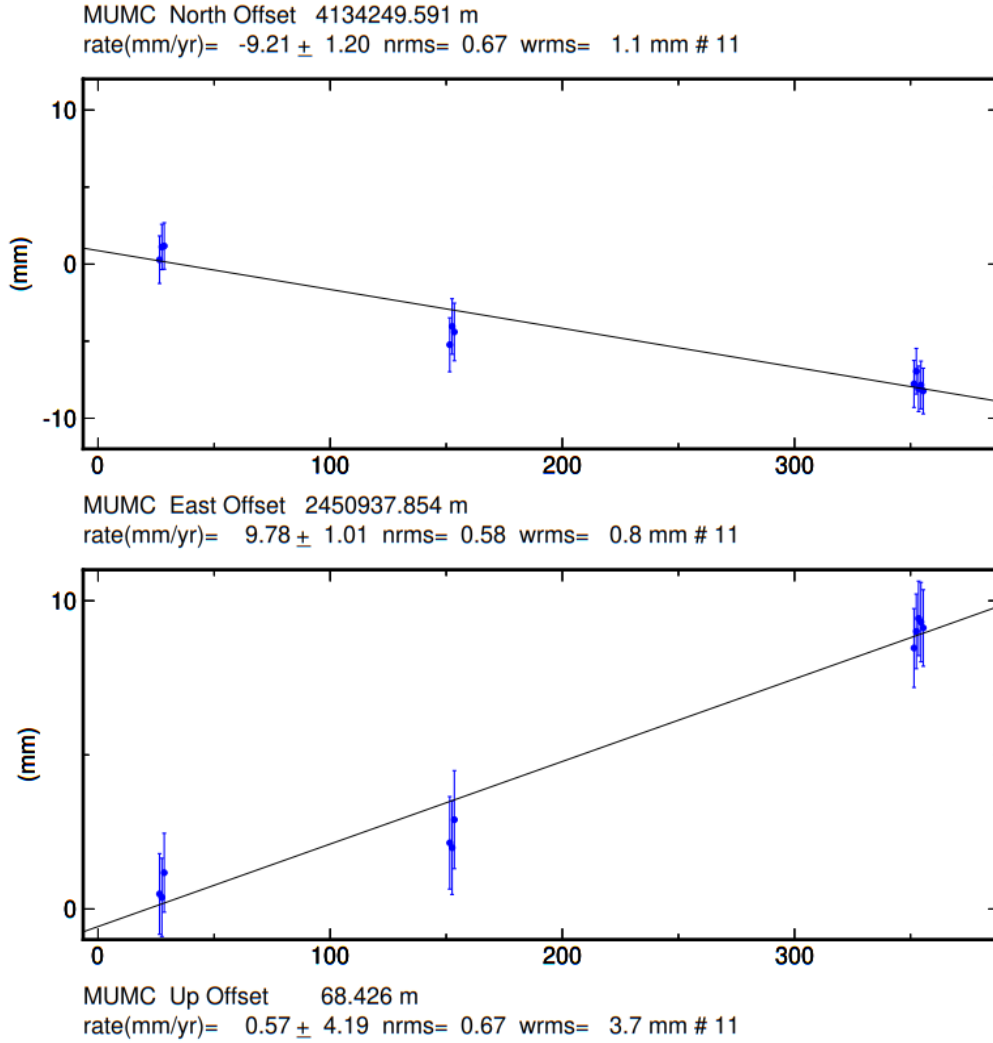
“autcln.post.sum.XXXX” dosyası GAMIT modülündeki tamamlanmış değerlendirmeler için kontrol dosyalarından biridir. GNSS gözlemi gerçekleştirilmiş noktalara ilişkin sonuçlar yer alan dosyada nokta bazında **Allan SD@100** değerinin 50 ppb’den (parts per billion) küçük olması beklenmektedir. Alıcılar atomik oskilatöre sahip ise 1 ppb’den küçük olması beklenmektedir (Herring vd. 2010, Tiryakioğlu 2012).

“autcln.post.sum.XXXX” dosyasında gerçekleştirilecek ikinci kontrol “Range RMS” değeridir. Bu değerin alıcılarda P kod için bozucu etki olmaksızın metre altında olması beklenmektedir. Bozucu etki altında ise 1000-2000 mm arasında bir değer olmalıdır. Bu değer aralığından büyük bir değer tespit edilmiş ise o noktanın; RINEX dosyasında ve ya öncül koordinatlarının gerçek koordinatlarına göre 10 m ve üzerinde hatalı olduğu varsayılabilir (Herring vd. 2010,2018, Tiryakioğlu 2012).

GAMIT modülündeki değerlendirmeler tamamlandıktan sonra belirli çıktı dosyalarındaki değerler kontrol edilmiş ve öngörülen aralıkta olduğu tespit edilmiştir. Değerlendirmenin ikinci adımında GLOBK modülü ile GAMIT modülünde değerlendirilen her güne ait “h” dosya çıktılarından yararlanılarak hız verileri elde edilmektedir. Bu çalışmada GLOBK modülü, nokta konum değişikliklerine bağlı uzun dönemli zaman serilerinin üretilmesinde kullanılmıştır. Zaman serileri günlük ve yıllık tekrarlıklardan oluşmaktadır. GLOBK modülünde üretilen uzun dönem zaman serileri incelenerek tektonik hareketler modellenebilmektedir (Herring vd. 2010,2018, Dönmez ve Tiryakioğlu 2018). Gözlem ağındaki noktalar, uzun dönem zaman serilerine ait grafiklerinde ki N (North), E (East), U (Up) bileşenleri bazında tek tek incelenerek tektonik açıdan değerlendirilmiştir.

Her bir yıl klasörünün bir alt dizininde yer alan “gsoln” klasöründe günlük tekrarlıkların üretilmesi için “sh_glred” komutu çalıştırılır. “gsoln” klasörü içerisinde otomatik olarak

gün sayısı kadar “.prt, .glr, .org,” uzantılı dosyalar oluşmaktadır. Aynı zamanda GLOBK modülünde gerçekleştirilecek değerlendirmede kullanılacak “h” dosyaları ile zaman seri analizlerini incelemek için psbase_AAAA.SITE (AAAA proje adı, SITE nokta adı) dosyaları da otomatik olarak oluşturulmuştur(Tiryakioğlu 2012). Şekil 5.8 de MUMC noktasına ait günlük tekrarlılık grafikleri yer almaktadır.



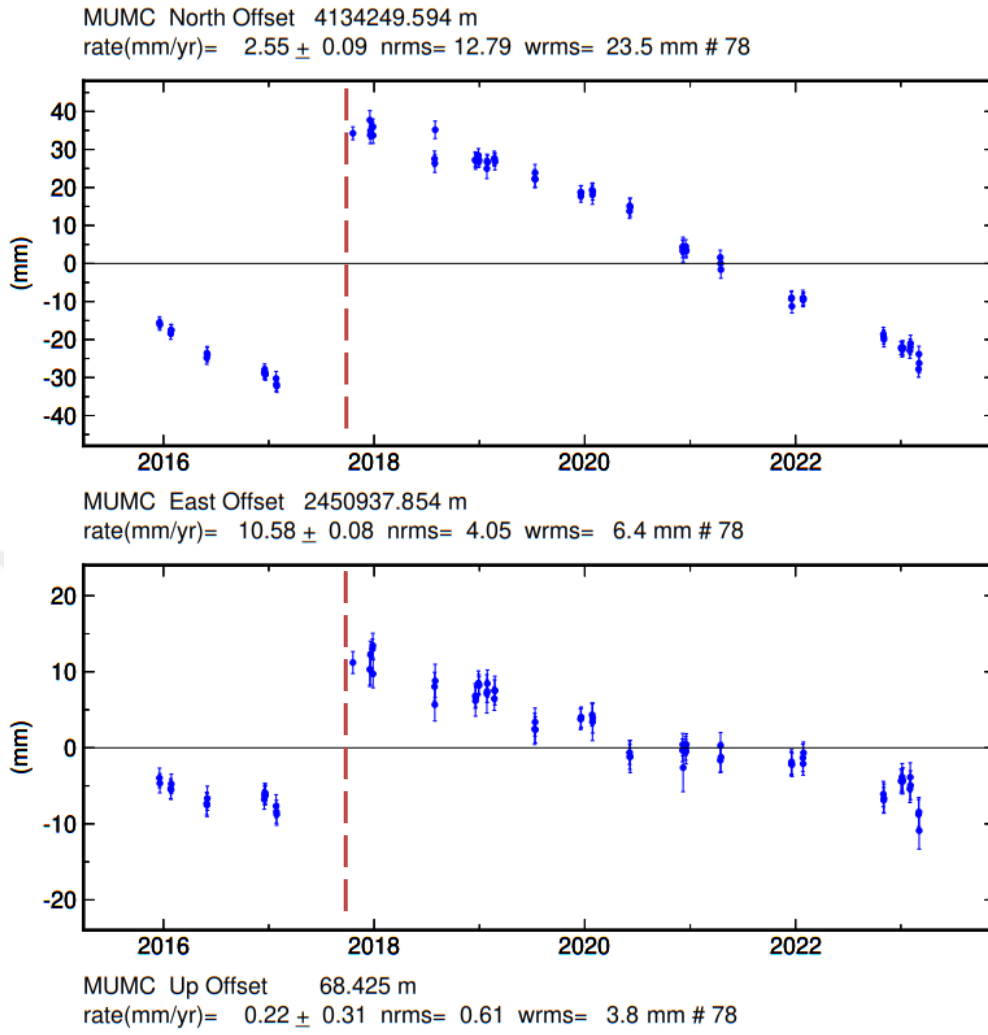
Şekil 5.8 MUMC noktasının 2016 yılı kısa dönem zaman serisi.

Aynı noktada farklı günlere ait gerçekleştirilen gözlemlerin yorumlanmasında günlük tekrarlılık grafikleri büyük önem arz etmektedir. Günlük tekrarlılıklar aracılığıyla elde edilen ağırlıklandırılmış karesel ortalama hata ve karesel ortalama hata sonuçları ile tekrarlı ölçülere ilişkin yorum yapılabilir (Tiryakioğlu 2012). Koordinat belirsizlikleri, 24 saatlik gözlemlerle yatay koordinatlar için WRMS değeri 1-2 mm,

yüksekliklerde ise, WRMS değeri 2-4 mm olarak elde edilirken; 8 saatlik gözlemlerle, yatay koordinatlar için WRMS değeri 2-4 mm, yüksekliklerde ise, WRMS değeri 10-15 mm olması beklenmektedir (Herring vd. 2010,2018)

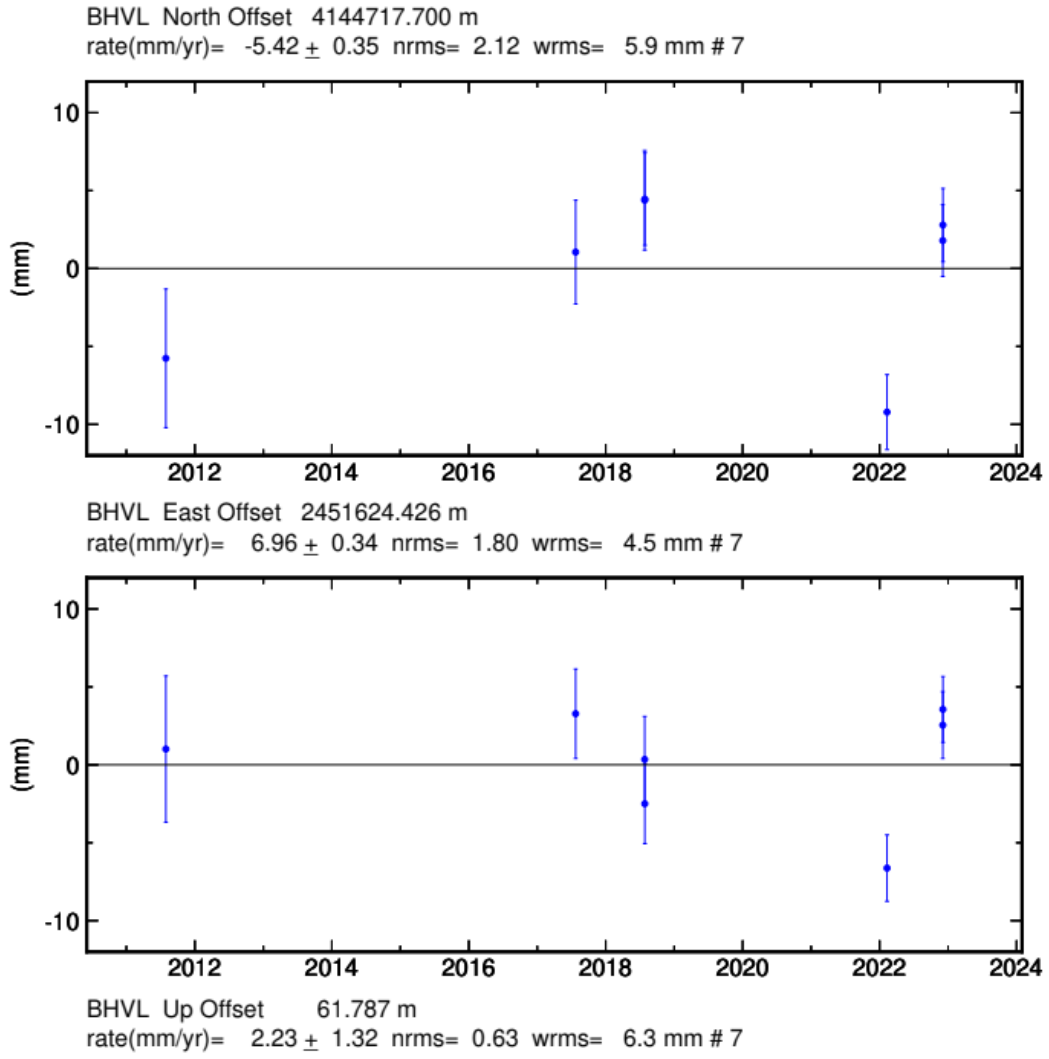
GLOBK modülü Kalman filtreleme tekniği kullanarak, farklı zamanlarda gerçekleştirilen yersel veya uzaysal ölçüleri birleştirme işlemi gerçekleştirmektedir. Yeryüzünün dinamik yapısı düşünülecek olursa bu dinamik yapının hızı ve hareket yönünün bilinmesi ile kurulan modeller, gerçekleştirilen ölçümler ve hesaplamaların rasyonel bir şekilde yorumlanması için büyük rol oynamaktadır. GLOBK modülü ile bu dinamik yapının modellenmesine ek olarak noktaların konum değişikliğini baz alan uzun dönem zaman serileri yani yıllık tekrarlılıkları oluşturan Kalman filtrelemesidir. Bu filtrenin temeli mevcut verileri değerlendirerek kurduğu model aracılığıyla gelecekteki verileri tahmin etmeye dayanmaktadır (Poyraz 2009,Yavaşoğlu 2009, Tiryakioğlu 2012).

Mevcut veri ne kadar fazla ise tahminindeki kesinlik de doğru orantılı olarak artış göstermektedir (Dong vd. 1998). Değerlendirmenin ikinci adımında GLOBK modülünde öncelikle ana klasör “gkva”nın bir alt dizininde, uzun dönem zaman serilerinin üretileceği “vsoln” klasörü oluşturulmuştur. dönemin etkisini birbirinden “vsoln” klasöründe açılan terminalde “sh_plotcrd” komutu çalıştırılarak GNSS gözlemi gerçekleştirilen noktalar ve değerlendirilmede yer alan IGS istasyonlarının uzun dönem zaman serileri (yıllık tekrarlılık) üretilmiştir.



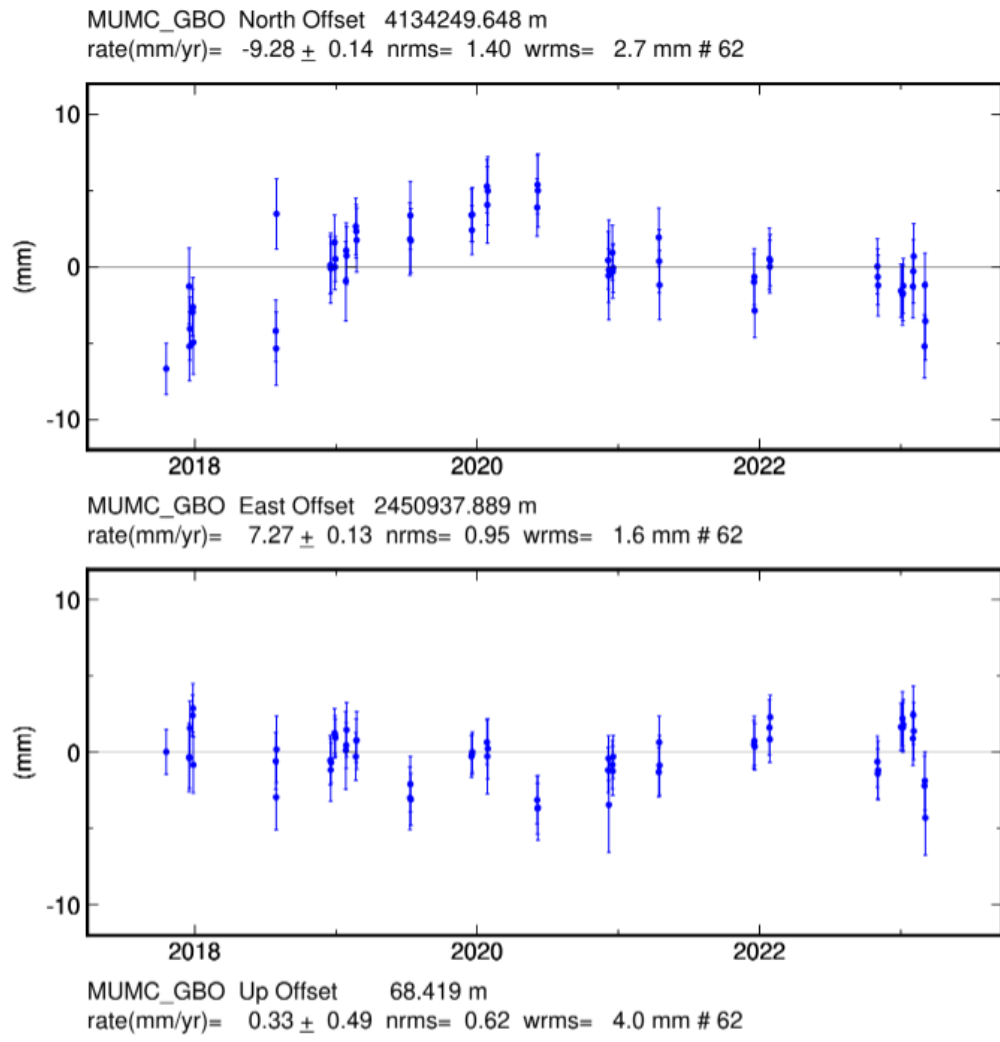
Şekil 5.9 MUMC noktasına ait uzun dönem zaman serisi (Düşey yöndeki kesikli kırmızı çizgi 20.07.2017 Bodrum Kos depreminin meydana geldiği günü belirtmektedir.).

Yıllık bazda üretilen zaman serileri birer birer incelenmiş BHVL, BOGZ ve KCTP noktalarının 2022 yılına ait ilk ölçüleri ve SAZK noktasının 2018 yılına ait ölçüsü trend dışında olduğu belirlendiğinden değerlendirilmeden çıkarılmıştır.

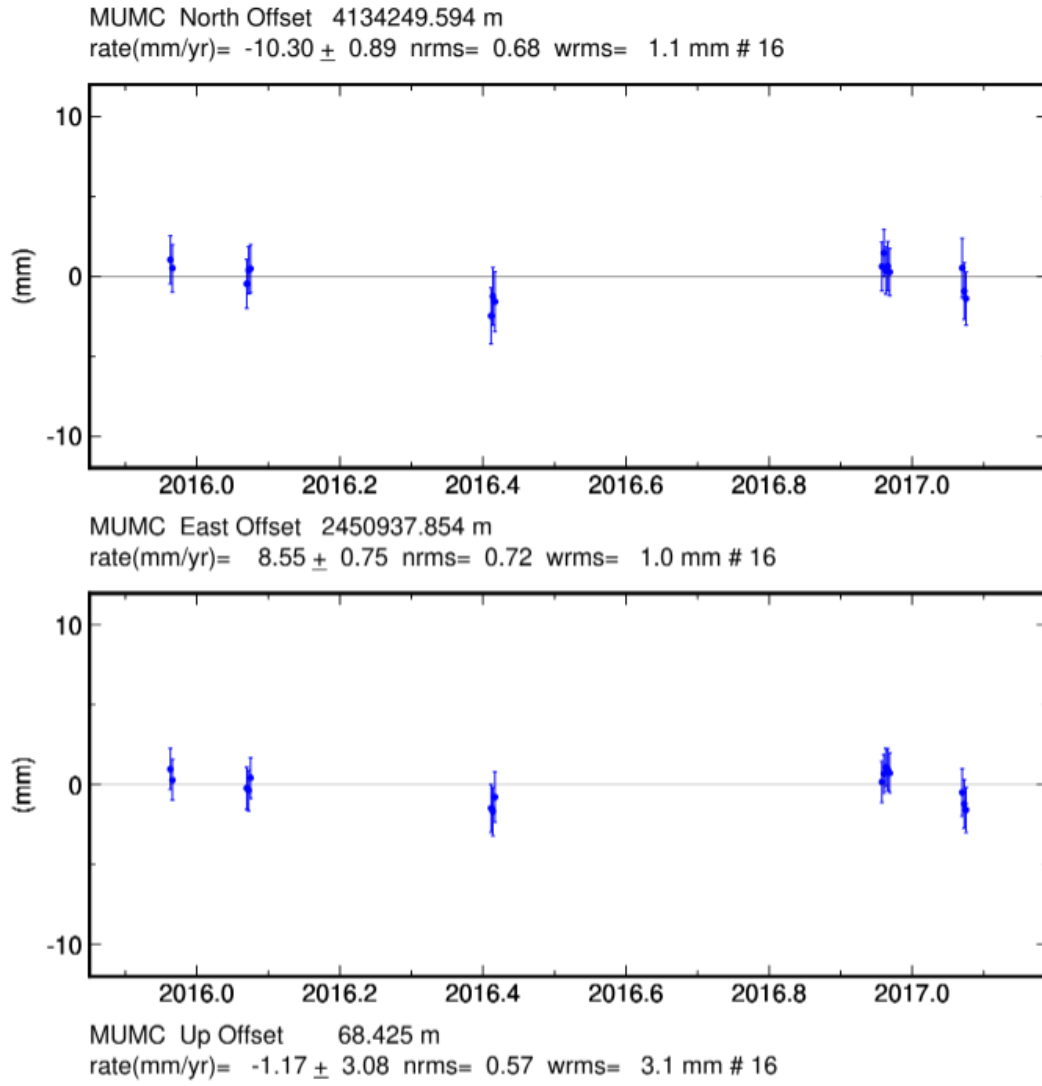


Şekil 5.10 BHVL noktasına ait uzun dönem zaman serisi.

Şekil 5.11’de MUMC noktasının uzun dönem serisi yer almaktadır. Çalışma bölgesinde 2017’de meydana gelen deprem sonrası güncel durumunu incelemek amacıyla depremden etkilenen noktalar tespit edilerek bu noktaların yer aldığı “eq.file” dosyası oluşturulmuştur. Yazılım bu dosya içerisinde yer alan noktalar için depremin meydana geldiği tarih itibarıyla zaman serilerini deprem öncesi ve sonrası olmak üzere iki gruba ayırmaktadır.



Şekil 5.11 MUMC noktasına ait deprem sonrası uzun dönem zaman serisi.



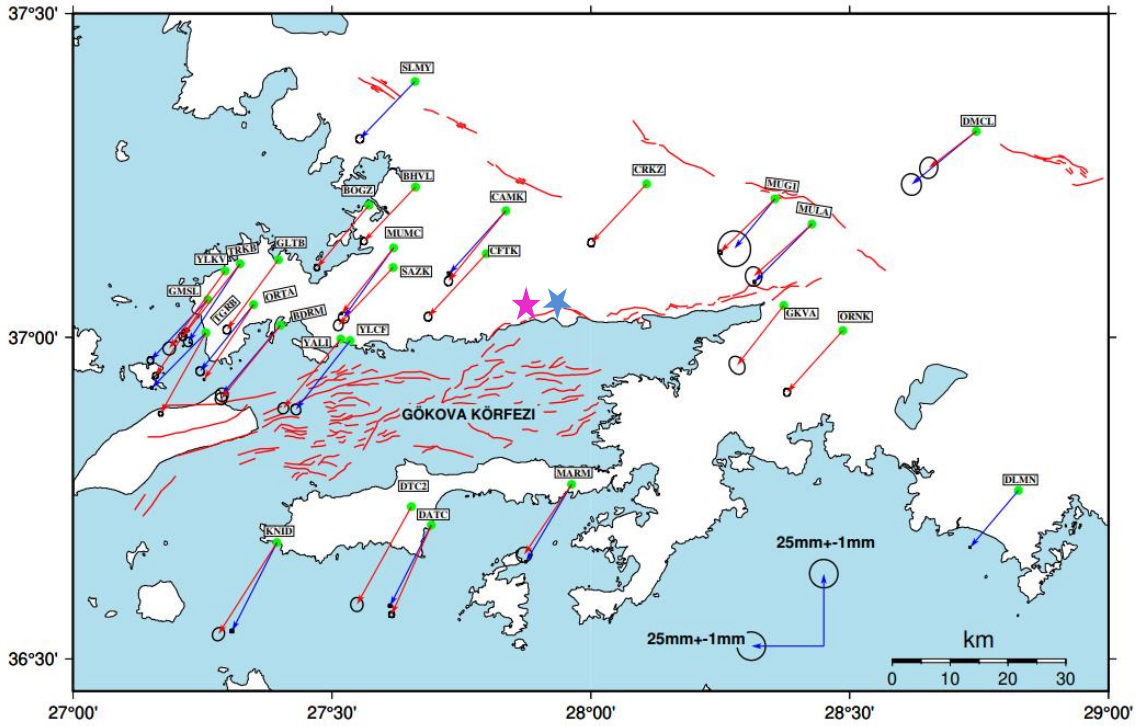
Şekil 5.12 MUMC noktasına ait deprem öncesi dönem zaman serisi.

Bu işlemten sonra her bir yıl klasörü içerisinde günlük tekrarlıkların üretilmesi için çalıştırılan “sh_gfred” komutu ile “glbf” klasörlerinin içerisinde GNSS gözlem günlerine ilişkin çözüm dosyaları “haabbcc1200_DDDD.glx” (aa:yıl, bb:ay, cc:gün, dddd:proje adı) başka bir deyişle “h” dosyaları oluşmaktadır. H dosyaları (h- file) GLOBK modülünde birleştirilirken bağımsız olarak değerlendirilmektedir (Herring vd. 2010, Tiryakioğlu 2012b, Dönmez 2018, Eyübagil 2020). Her bir gün için farklılık gösteren h dosyalarında bölgesel ve global yörünge modüllerine ek olarak değerlendirme sonuçları doğrultusunda elde edilen varyans-kovaryans matrisleri yer almaktadır (Poyraz 2009, Aladoğan 2017).

Çalışma kapsamına özgün bir şekilde isimlendirilen boş bir metin dosyasına “.glx” uzantılı “h” çıktılarının dosya yolu tanımlanarak “gdl” dosyası oluşturulur. GAMIT modülü kurulum klasörünün alt dizininde yer alan tables klasöründen “glorg_vel.cmd, globk_vel.cmd” komut dosyaları, çözüm gerçekleştirilecek referans sistemine ait parametrelerin yer aldığı dosya ile birlikte oluşturulan “gdl” dosyası “vsoln” klasörüne taşınmıştır. Yer dönme parametrelerine, uydu yörünge parametrelerine ve IGS’in belirlediği genel referans sistemi dönüşümünde kullanılan istasyon noktalarına “glorg_vel.cmd, globk_vel.cmd” komut dosyaları ile kısıtlamalar getirilmektedir. Hızları elde etmek istediğimiz referans sistemi tanımlanmadan GLOBK modülü birleştirme işlemi gerçekleştirememektedir. Bu sebeple globk_vel.cmd dosyasında ITRF 2014 referans sistemi tanımlanmıştır.

5.5 Çalışma Bölgesinin Hız Alanının Oluşturulması

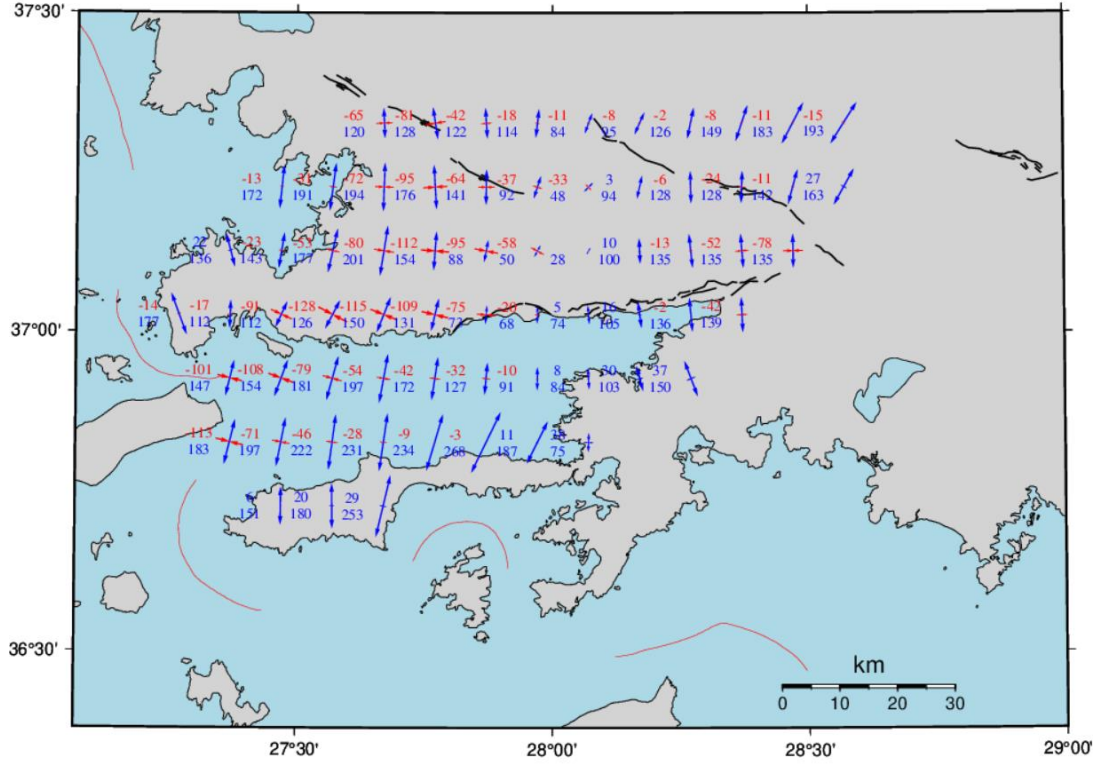
GAMIT ile çözümü gerçekleştirilen GNSS noktalarına ait verilerden bölgenin hız alanının oluşturulması için GLOBK çözümleri gerçekleştirilmiştir. Bölüm 5.4’de verilen Tiryakioğlu vd. (2018) çalışmasında kullanılan istasyonlarının çözümlere dahil edilmesiyle proje kapsamında oluşturulan GNSS ağının global ağ ile ilişkisi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen GNSS ölçüleri yardımıyla iteratif çözümler sonucunda elde edilen hız değerleri Avrasya sabit ve ITRF 2014 referans sisteminde elde edilmiştir. Şekil 5.9’da kırmızı renkli oklar deprem sonrası mavi renkli oklar ise deprem öncesi hızları göstermektedir. Deprem öncesi hızlar 25-30 mm/yıl arasında değişirken deprem sonrası hızlar ise 25-35 mm/yıl arasında değişmektedir. Avrasya plakası sabit alınarak elde edilen hız doğrulukları 1 mm altındadır. Deprem öncesi ve deprem sonrası hızlar incelendiğinde deprem öncesi hızlar ile deprem sonrası hızların deprem odak merkezinden uzak noktalarda nerdeyse aynı olduğu görülmektedir. Bununla birlikte deprem odak merkezine yakın noktalarda küçük farklılıklar devam etmektedir.



Şekil 5.13 Çalışma bölgesinin güncel hız alanı (Kırmızı renkli oklar deprem sonrası mavi renkli oklar ise deprem öncesi hızları göstermektedir. GKFZ üzerinde Dikbaş vd. (2022) tarafından gerçekleştirilen paleosismolojik hendek çalışmalarında Keremos hendeğinin yaklaşık konumu mavi yıldız, Gereme hendeğinin yaklaşık konumu pembe yıldız ile gösterilmiştir.)

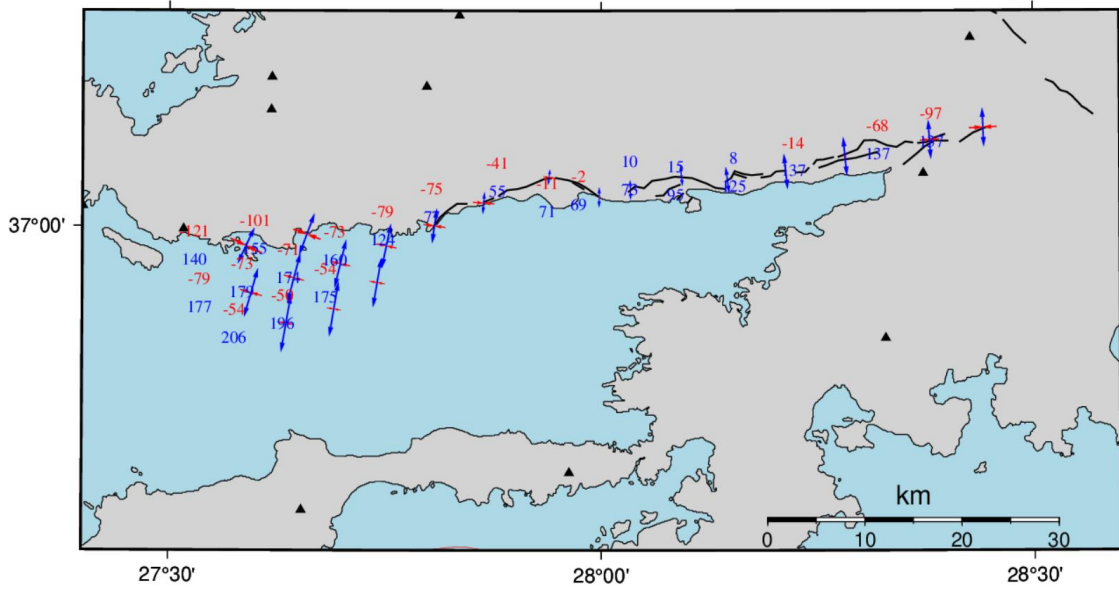
5.6 Çalışma Bölgesinin Gerinim Analizi

Tez çalışmasında ele alınan çalışma bölgesindeki güncel gerinimin hesaplanması ve bu gerinim hesaplamaları yardımıyla jeodezik deprem tekrarlaması periyodunun belirlenmesi için Geodsuit yazılımında gerinim analizi gerçekleştirilmiştir. Geodsuit yazılımında gerinim analizi için temel girdi verisi olarak GNSS gözlemlerinden elde edilen hızlar ve hızlara ait karesel ortalama hata değerleri kullanılır. Geodsuit yazılımının matematiksel tabanlı yazılım algoritması Shen vd. (1996) ve Aktuğ vd. (2009) tarafından yapılan çalışmalarda açıklanmaktadır. Tez çalışması kapsamında 2 boyutlu gerinim analizi gerçekleştirilmiştir. GNSS gözlemleri ile belirlenen koordinatlarda up (yükseklik) bileşeni istenilen doğruluk düzeyinde elde edilemediğinden analiz 2 boyutlu gerçekleştirilmiştir. “0.1x0.1” derecelik gridlere ayrılan çalışma bölgesinde güncel hız ve hız bilgileri girdi olarak kullanılmıştır. Gerçekleştirilen gerinim hesaplamaları sonucunda Gökova körfezini kuzeyden sınırlayan Gökova Fay Zonu ve çalışma bölgesinin güncel gerinim alanları hesaplanmıştır (Şekil 5.14, Şekil 5.15) .



Şekil 5.14 Çalışma Bölgesi için elde edilen gerinim haritası (Harita üzerindeki mavi oklar açılmayı, kırmızı oklar sıkışmayı, okların sol taraflarında yer alan değerler ise ns/yıl biriminde gerinim değerlerini göstermektedir.).

Çalışma bölgesinde elde edilen gerinim haritası incelendiğinde bölgede hâkim olan K-G uzanımlı genişlemeli rejimin etkisi ile yaklaşık olarak paralel bir şekilde genişlemeli rejimin hâkim olduğu belirlenmiştir. Hesaplanan gerinim değerleri incelendiğinde doğu kesimden batı kesimine doğru gerinim değerlerinin arttığı tespit edilmiştir. Özellikle Datça Yarımadası'nın kuzey kesimi ile Bodrum açıklarında yer alan Karaada açıkları arasında, körfezin batı kısmında değerlerin büyük olduğu belirlenmiştir.

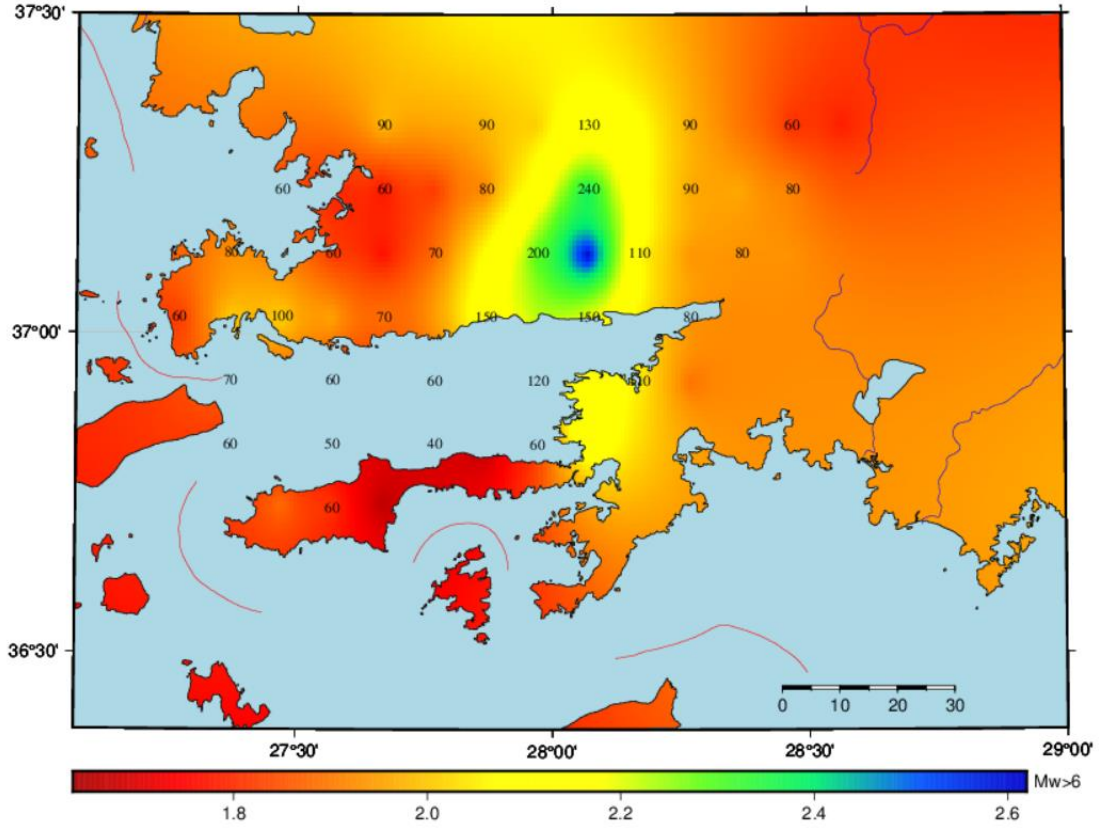


Şekil 5.15 Gökova fay zonu boyunca elde edilen gerinim haritası (Harita üzerindeki mavi oklar açılmayı, kırmızı oklar sıkışmayı, okların kenarlarında yer alan değerler ise ns/yıl biriminde gerinim değerlerini göstermektedir.).

GKFZ'yi kuzeyde karadan sınırlayan Gökova fay zonu boyunca elde edilen gerinim haritası incelendiğinde bölgede hâkim olan K-G uzanımlı genişlemeli rejimin etkisi ile yaklaşık olarak paralel bir şekilde genişlemeli rejimin hâkim olduğu belirlenmiştir. Fay zonu üzerinde hesaplanan gerinim değerleri literatür ile uyum içerisinde doğudan batıya doğru büyümektedir. Hesaplanan en yüksek gerinim değeri fay zonunun en doğusunda bulunan Karaada Adası mevki açıklarında hesaplanmıştır.

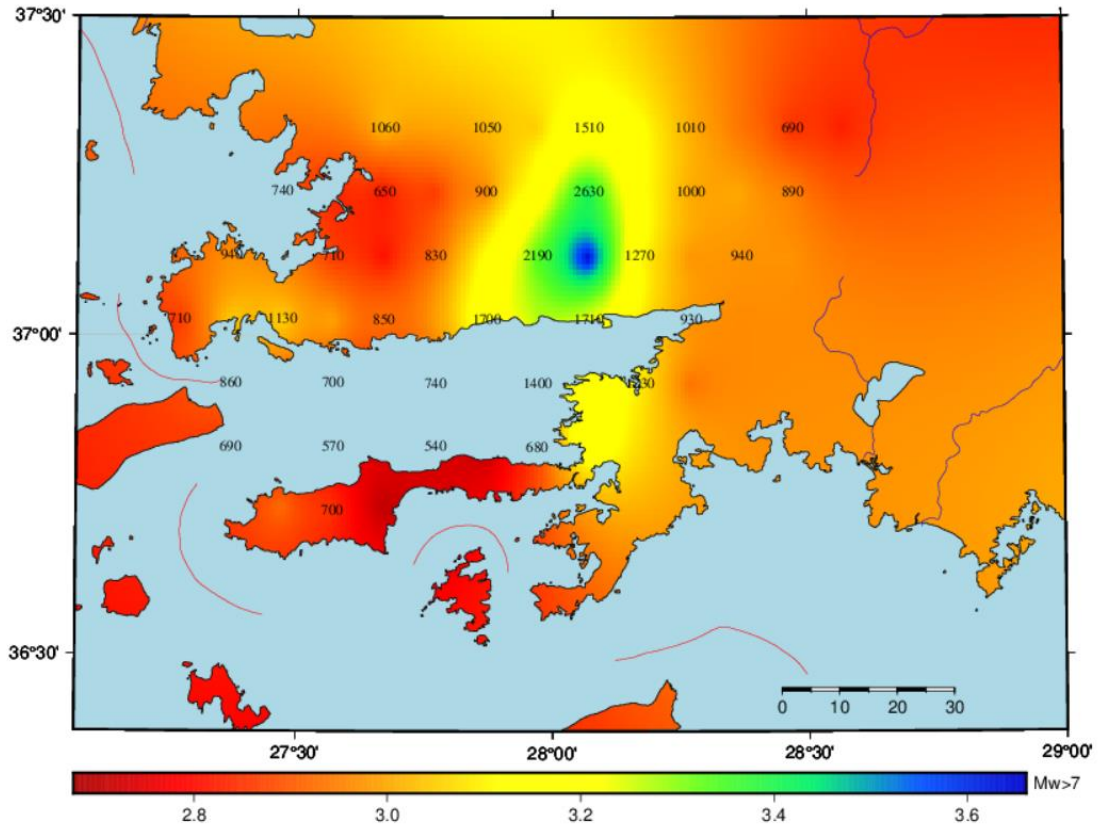
5.7 Çalışma Bölgesinin Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi

Tez kapsamında, gerinim analizinden elde edilen gerinimler, çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelen depremlerin tekrarlanma periyodunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Jeodezik deprem tekrarlanma periyotlarına ilişkin bağıntı bölüm 4.2 de değinilmiştir. Bu bilgiler aracılığı ile bölgenin güncel hız alanı jeodezik moment hızının hesaplanmasında kullanılmıştır. Hesaplamalarda sismojenik zon derinliği 15 km olarak alınmıştır. Çalışma bölgesinin $M_w \geq 6$, $M_w \geq 6.5$ ve $M_w \geq 7$ için 3 jeodezik deprem tekrarlanma haritası üretilmiştir.



Şekil 5.16 Çalışma alanında için eşik değeri $M_w \geq 6$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama haritası.

Çalışma bölgesi için eşik değeri $M_w \geq 6$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama haritası incelendiğinde, tekrarlama periyodu 40-150 yıl arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 5.16). Bölgenin en düşük tekrarlama periyodunun, Datça yarımadasında bulunan Kızılan mevki açıklarında, Datça Fayı civarında olduğu görülmektedir. $M_w \geq 6$ değeri için çalışma bölgesinin en yüksek tekrarlama periyodu ise Bodrum yarımadası Ören mevki ile Muğla ilinin Yatağan ilçe merkezi arasında kalan kısımdır. Gökova Körfezinin orta kesimlerinde içerisinde periyot 40-60 yıl arasında değişim göstermektedir.

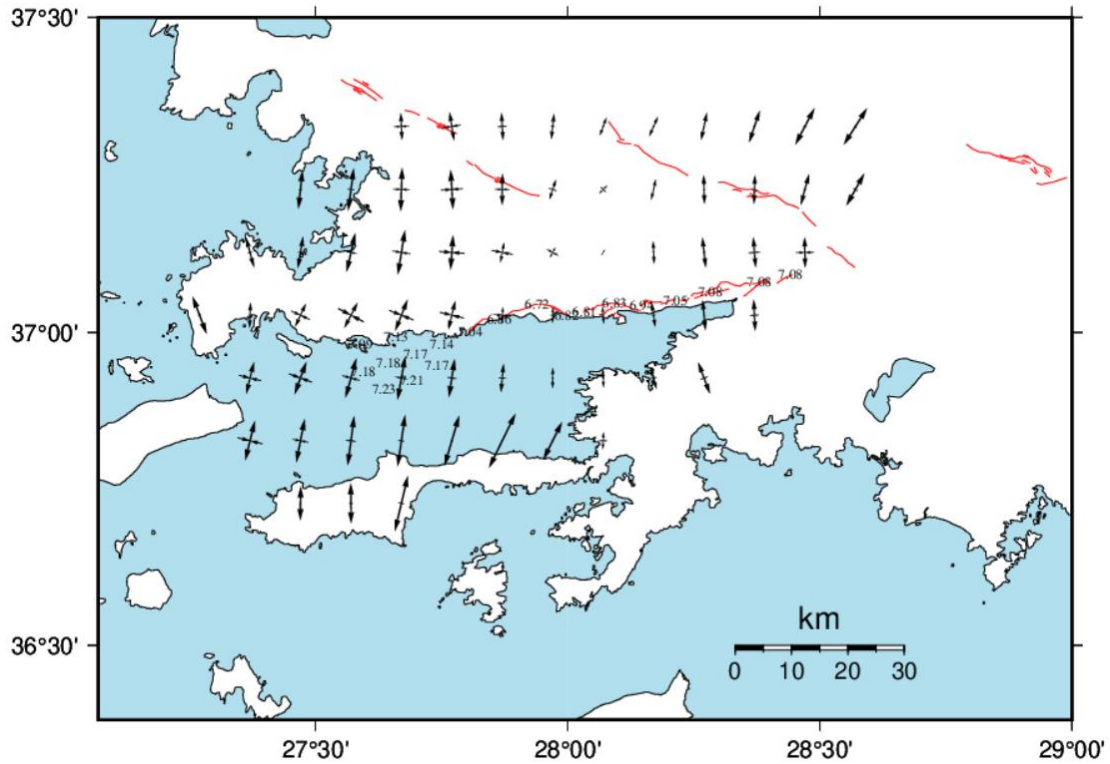


Şekil 5.18 Çalışma alanında için eşik değeri $M_w \geq 7$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama haritası.

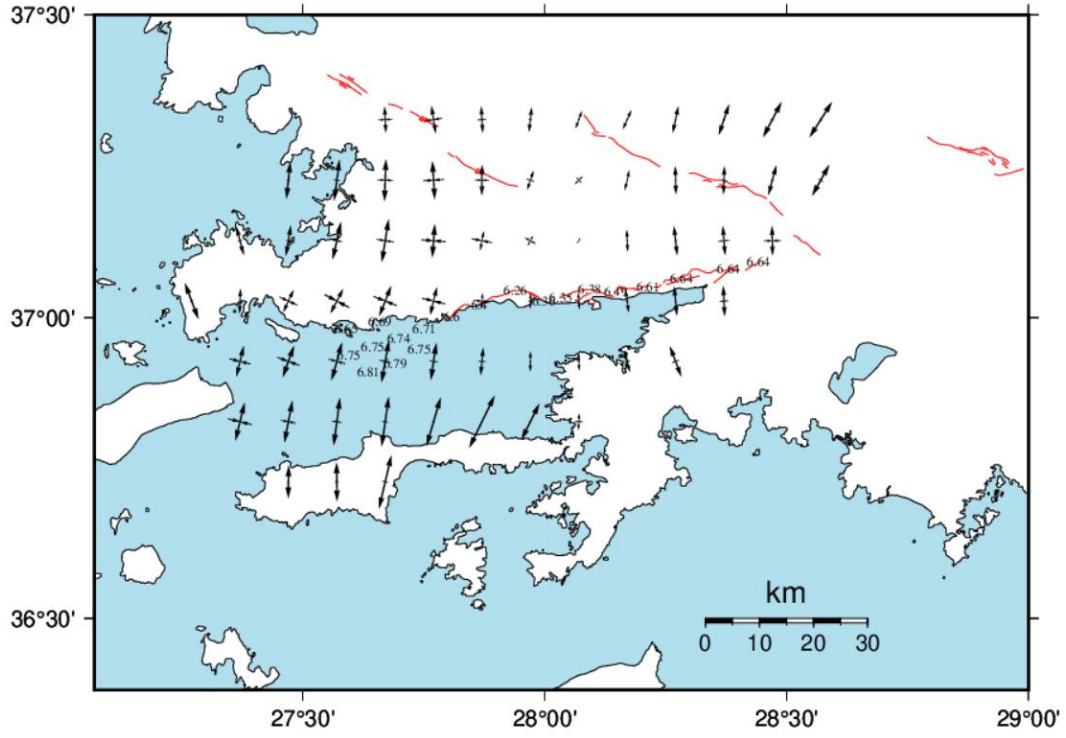
Çalışma bölgesi için eşik değeri $M_w \geq 7$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama haritası incelendiğinde, tekrarlama periyodu 540-2630 yıl arasında değişim gösterdiği tespit edilmiştir (Şekil 5.18). Bölgenin en düşük tekrarlama periyodunun, Datça yarımadasının orta kesiminden batı kesimine doğru yer alan Kızılan-Reşadiye- Karaköy-Mesudiye mevkinde olduğu görülmektedir. $M_w \geq 6.5$ değeri için çalışma bölgesinin en yüksek tekrarlama periyodu ise $M_w \geq 6$ eşik değeri için haritalanan tekrarlama periyoduna benzer şekilde Bodrum yarımadası Ören mevki ile Muğla ilinin Yatağan ilçe merkezi arasında kalan kısımdır. Gökova Körfezinin orta kesimlerinde içerisinde periyot 540-700 yıl arasında değişim göstermektedir.

Dikbaş vd. (2022) çalışmasında Gökova Fay Zonu Ören segmentinde Keremos ve Gereme bölgesinde gerçekleştirilen paleosismolojik çalışmalarda paleodeprem izleri görülmüştür. Gerçekleştirilen paleosismolojik hendek çalışmasında alınan örneklerin radyokarbon tarihlendirmesi ile en genç faylanma olayları Keremos hendeğinde (37.042143° , 27.959566°) MS 489 ± 70 ve 1587 ± 48 tarihleri arasında Gereme

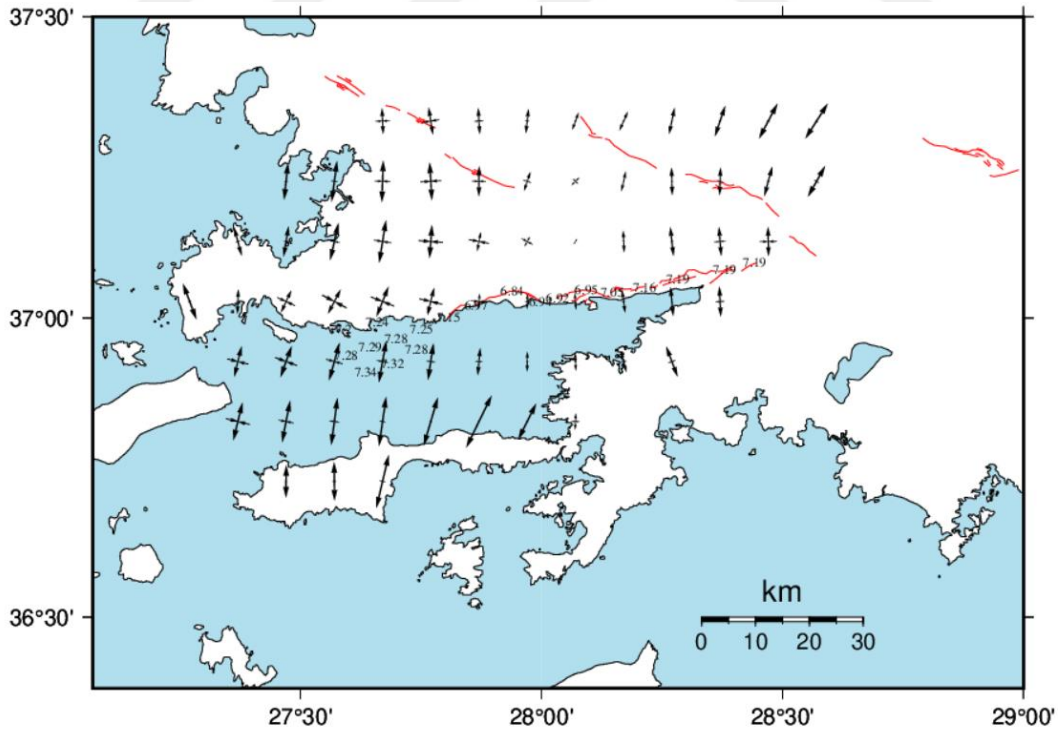
hedeğinde (37.040872°, 27.930012°) ise MS 880±112 ve MS 1638±60 arasında oluşum gösterdiği tespit edilmiştir. Aktuğ (2017) jeodezik deprem tekrarlaması periyotlarının hesaplanmasına ilişkin bağıntısına Solak (2020) tarafından gerçekleştirilen model ile ters çözüm yaklaşımı geliştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında modelde depremsizlik süresi en genç faylanma olaylarının tarihine göre ayrı ayrı göz önünde bulundurularak Keremos hedeğinde (37.042143°, 27.959566°) MS 489±70 ve 1587±48 tarihleri ile Gereme hedeğinde (37.040872°, 27.930012°) ise MS 880±112 ve MS 1638±60 tarihleri için bölgede meydana gelebilecek maksimum deprem büyüklüğü hesaplanmıştır.



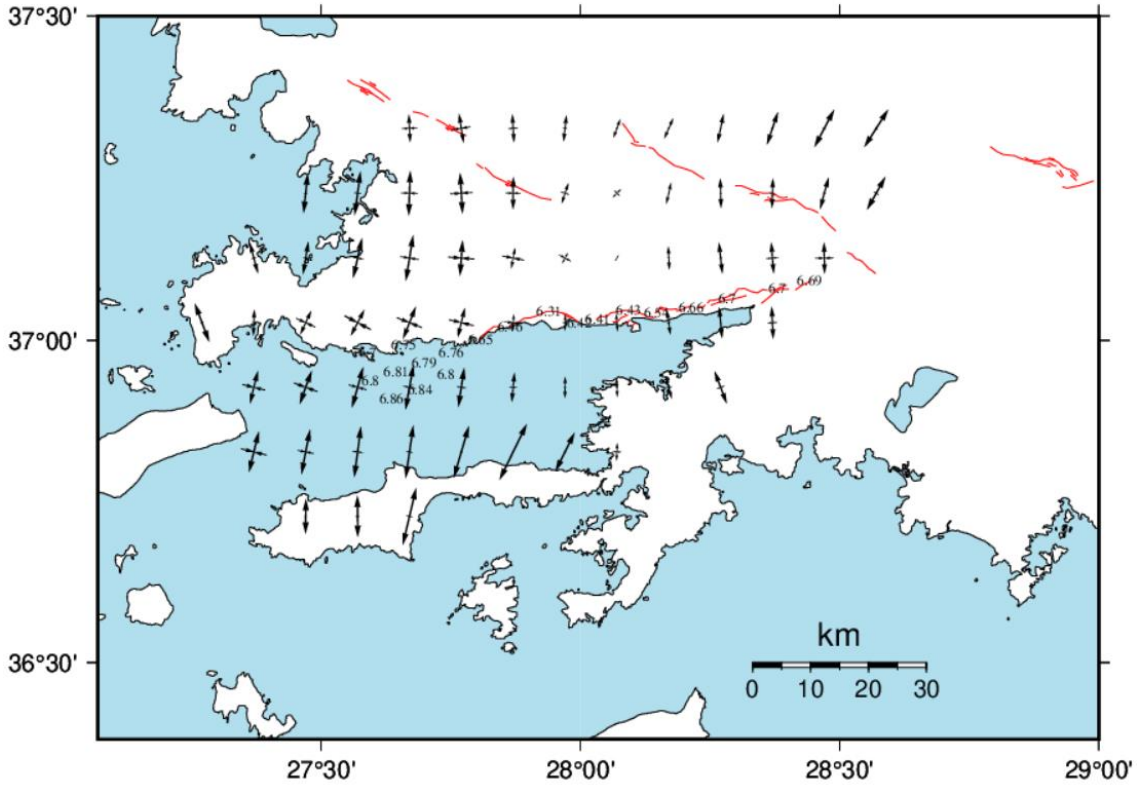
Şekil 5.19 Gereme hedeğinde gerçekleştirilen radyokarbon analizine göre MS 880±112 tarihinde meydana geldiği kabul edilen faylanma olayına göre hesaplanan potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren harita.



Şekil 5.20 Gereme hendeğinde gerçekleştirilen radyokarbon analizine göre MS 1638±60 tarihinde meydana geldiği kabul edilen faylanma olayına göre hesaplanan potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren harita.



Şekil 5.21 Keremos hendeğinde gerçekleştirilen radyokarbon analizine göre MS 489±70 tarihinde meydana geldiği kabul edilen faylanma olayına göre hesaplanan potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren harita.



Şekil 5.22 Keremos hendeğinde gerçekleştirilen radyokarbon analizine göre MS 1587±48 tarihinde meydana geldiği kabul edilen faylanma olayına göre hesaplanan potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren harita.

Potansiyel deprem büyüklüğünü gösteren Şekil 5.19, Şekil 5.20, Şekil 5.21, Şekil 5.22 incelendiğinde Gökova Fay Zonu Ören Segmenti ve çevresinde 6.3-6.9 arasında, körfezin orta kesiminde ise 6.8-7.3 arasında değişen büyüklüklerde enerji birikimi hesaplanmıştır.

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışması kapsamında 20.02.2017 Bodrum-Kos depremi sonrası bölgedeki gerinim alanlarının belirlenmiş ve jeodezik ölçülerden deprem tekrarlama periyotları hesaplanmıştır. Bu kapsamda bölgede 2017 yılında Tiryakioğlu vd. (2018) tarafından kurulan 28 noktalı GNSS ağına 2022 yılında 2 kampanya GNSS ölçümü yapılmıştır. Bununla beraber Harita Genel Müdürlüğü tarafında bölgede ölçülen TUTGA noktaları, Bodrum'da bulunan sabit GNSS istasyonları ile TUSAGA-Aktif istasyonlarının verileri temin edilmiştir. Elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Bölgede bulunan sabit GNSS istasyonlarının 2017 yılında meydana gelen deprem öncesi ve deprem sonrası zaman dilimleri için ayrı ayrı Avrasya sabit (ITRF2014 çerçevesinde) hızları hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktaların ise deprem öncesi verisi olmayanların sadece deprem sonrası hızları hesaplanmıştır. Şekil 5.13'de kırmızı renkli oklar deprem sonrası mavi renkli oklar ise deprem öncesi hızları göstermektedir. Deprem öncesi hızlar 25-30 mm/yıl arasında değişirken deprem sonrası hızlar ise 25-35 mm/yıl arasında değişmektedir. Tiryakioğlu vd. (2018) Bodrum-Kos depremi sonrası hemen ölçülen Bodrum merkezde bulunan kampanya tipi noktaların ölçüleri postsismik dönem etkisinde olduğu için deprem sonrası hızlar için kullanılmamıştır. Sabit GNSS istasyonlarında ise postsismik dönem zaman serileri incelenerek belirlenmiştir. Postsismik dönem hızları için bölgede bulunan sabit GNSS istasyonlarının zaman serileri yıllara göre ayrılarak 2023 yılına kadar ayrı ayrı postsismik hızlar elde edilmiştir. Bu hızlar incelendiğinde yarımada'nın doğusunda bulunan Sabit GNSS istasyonlarının 2020 yılından sonra hesaplanan hızlarının deprem öncesi ile aynı değerlere sahip olduğu, batısında bulunan sabit GNSS istasyonlarının ise deprem öncesi hızlardan 1-2 mm farklı olduğu hesaplanmıştır. Bu da depremin postsismik etkisinin yarımada'nın doğusuna doğru tamamlanıp, bölgenin tekrar intersismik döneme geçiş yaptığı şeklinde değerlendirilmiştir. Deprem sonrası elde edilen Avrasya sabit hızlardan bölgenin 2 boyutlu gerinim alanı elde edilmiştir. Elde edilen gerinim alanı incelendiğin bölgede K-G yönlü açılmalar görülmüştür. Bu açılmalar bölgenin genişlemeli tektonik rejimi ile uyumludur. Bölgede maksimum gerinimler Gökova Körfezi içinde ve 230 ns/yıl olarak hesaplanmıştır. Bodrum yarımadasında ise 150 ns/yıl açılma ve 120 ns/yıl sıkışmalar dikkat çekmektedir. Gerinim analizinden elde

edilen sonuçlar, çalışma alanı ve yakın çevresinde meydana gelebilecek depremlerin tekrarlama periyodunun belirlenmesinde kullanılmıştır. Jeodezik deprem tekrarlama periyotlarına ilişkin Aktuğ (2017)'de değinilen bağıntı ile hesaplanmıştır. Haritalar incelendiğinde Gökova körfezi içinde 6 ve üzeri depremleri 50-70 yıl 6.5 ve üzeri 160-210 yıl 7 ve üzeri depremlerin ise 550-750 yıl arasında tekrarlanma periyotlarına sahip oldukları hesaplanmıştır. Bununla beraber Gökova Körfezini kuzeyden sınırlayan Gökova Fay Zonu ve zonun batı kesimine doğru; eşik değeri $M_w \geq 6$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama periyodu 70-150 yıl arasında, eşik değeri $M_w \geq 6.5$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama periyodu 210-500 yıl arasında, eşik değeri $M_w \geq 7$ olarak belirlenen jeodezik deprem tekrarlama periyodu 710-1714 yıl arasında hesaplanmıştır.

Bölgede günümüze kadar biriken gerinim miktarının hesaplanması için son depremde geçen depremsizlik sürelerinin bilinmesi gerekmektedir. Deniz içi faylarda günümüzde bilinmemektedir. Ancak kara faylarında hendek tabanlı paleosismolojik çalışmaları ile son deprem günümüze geçen süreler elde edilmektedir. Dikbaş vd. (2022) tarafından yayımlanan makalede hendek tabanlı paleosismoloji çalışmaları sonucu Gökova fay zonunun ören segmentinin depremsizlik süreleri bilinmektedir. Gereme ve Keremos hendeğinde gerçekleştirilen çalışmalarda paleodeprem izleri saptanmıştır. Tarihsel deprem kataloglarında ise bu depremlerden sadece gereme segmenti için eşleştirme yapabilmışlardır. Bu çalışma kapsamında Gökova Fay Zonu'nun Ören segmentinde Gereme ve Keremos bölgesinde meydana gelen son faylanma olayından günümüze sırasıyla yaklaşık olarak 385 ve 1143 yıl / 436 ve 1534 yıl geçmiştir. Depremsizlik süreleri için potansiyel deprem büyüklükleri hesaplanmıştır. Ören segmenti yarımadanın doğusunda yer alması nedeniyle bölgede postsismik dönemin bittiği ve presismik döneme ait hızların kullanıldığı düşünülmektedir. Bu bilgiler ışığında elde edilen potansiyel deprem büyüklükleri haritaları incelendiğinde Ören segmenti ve çevresi için büyüklüğü (M_w) 6.3-6.9 arasında enerji birikimi hesaplanmıştır.

7. KAYNAKLAR

- Aktug B, Nocquet J, Cingöz A, Parsons B, Erkan Y, England P, vd., 2009, Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: Limits to block-like behavior, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 114, B10.
- Aktuğ B, Çelik R N, 2011, Jeodezik ölçüler ile deprem kaynak parametrelerinin belirlenmesi, *İTÜDERGİSİ/d*, 7, 1.
- Aktuğ B.,2017, Jeodezik Deprem Tehlike Haritası, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası,16.
- Aktuğ B, Tiryakioğlu İ, Sözbilir H, Özener H, Özkaymak Ç, Yiğit C Ö, vd., 2021, GPS derived finite source mechanism of the 30 October 2020 Samos earthquake, Mw= 6.9, in the Aegean extensional region, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 8, 718-737.
- Akyüz H S, Basmenji M, Kırkan E, Aksoy M E, Dikbaş A, Erturaç M K, 2021, Muğla Fayı, GB Türkiye: Morfometrik, Jeomorfolojik ve Paleosismolojik Yeni Bulgular, *Yerbilimleri*, 42, 2, 232-260.
- 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.
- Altunel E, Stenwart I S, Piccardi L, Barka A A, 2003, Earthquake faulting at ancient Cnidus, SW Turkey, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12, 1, 137-151.
- Ambraseys N N, White D, 1997, The seismicity of the eastern Mediterranean region 550–1 BC: A re-appraisal, *Journal of Earthquake Engineering*, 1(04), 603-632.
- Barka A, Reilinger R, 1997, Active tectonics of the Eastern Mediterranean region: deduced from GPS, neotectonic and seismicity data. Basmenji M, Sancar T, Dikbaş A, Boulton S J, Akyüz H S, 2021, Tectonic geomorphology of the Yatağan Fault (Muğla, SW Turkey): implications for quantifying vertical slip rates along active normal faults, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 4, 460-

- Bozkurt E, 2001, Neotectonics of Turkey—a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14, 1-3, 3-30.
- Burc Oral M, Reilinger R E, Toksöz M N, King R W, Barka A A, Kinik I, vd., 1995,. Global positioning system offers evidence of plate motions in eastern Mediterranean. *EOS, Transactions American Geophysical Union*, 76(2), 9-11.
- Bürgmann R, Segall P, Lisowski M, Svarc J, 1997, Postseismic strain following the 1989 Loma Prieta earthquake from GPS and leveling measurements, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 102, B3, 4933-4955.
- Çınar F, 2021, 21.07.2017 Bodrum-Kos Depremi Sonrası Bölgedeki GNSS Nokta Koordinatlarının Güncellenmesi Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 50s, Afyonkarahisar.
- Çınar F, Tiryakioğlu İ, 2022, Deprem Sonrası Kadastral Noktaların Koordinatlarının Güncellenmesi: 20.07. 2017 Bodrum Kos Depremi Örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 22, 3, 637-644.
- Çırmık A, Pamukçu O, 2017, Clarifying the interplate main tectonic elements of Western Anatolia, Turkey by using GNSS velocities and Bouguer gravity anomalies, *Journal of Asian Earth Sciences*, 148, 294-304.
- Dewey J. F., Şengör, A. C., 1979, Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone, *Geological Society of America Bulletin*, 90(1), 84-92.
- Dikbaş A, Akyüz H S, Basmenji M, Kırcan E, 2022, Earthquake history of the Gökova fault zone by paleoseismologic trenching, SW Turkey, *Natural Hazards*, 112, 3, 2695-2716.
- Dirik K, 2007, Neotectonic characteristics and seismicity of the Reşadiye Peninsula and surrounding area, Southwest Anatolia/Reşadiye Yarımadası ile çevresinin neotektonik özellikleri ve depremselliği, *Güneybatı Anadolu, Türkiye Jeoloji Bülteni*, 50, 3, 130-149.
- Dixon T H, Norabuena E, Hotaling L, 2003, Paleoseismology and Global Positioning System: Earthquake-cycle effects and geodetic versus geologic fault slip rates in

the Eastern California shear zone, *Geology*, 31, 1, 55-58.

Doğan O, Solak H İ, EYÜBAĞIL E, Özkaymak Ç, Tiryakioğlu İ, 2021, Bozkurt (Denizli) depremi sonrası (Mw= 6.0, 08.08. 2019) GNSS ölçüleri ile kosismik deformasyonların belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 2, 362-373.

Dong D, Herring T, 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 Yerkabuğu Hareketlerinin GNSS Gözlemleri İle İzlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 52, Afyonkarahisar.

Dönmez E, Tiryakioğlu İ, 2018, Gediz Fayı Yerkabuğu Hareketlerinin GNSS Gözlemleri ile İzlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 18, 3, 1110-1117.

Emre Ö, Duman T Y, Özalp S, Şaroğlu F, Olgun Ş, Elmacı H vd., 2018, Active fault database of Turkey, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16, 8, 3229-3275.

Erdoğan S, Şahin M, 2006, Burdur Fethiye fay zonu tektonik hareketlerinin GPS ile belirlenmesi, *İTÜDERGİSİ*, 5, 3,

Ersoy Ş, 1991, Datça (Muğla) yarımadasının stratigrafisi ve tektoniği, *Türkiye Jeoloji Bülteni C*, 34, 1-14.

Eyübagil E E, 2020, GNSS Ölçüleri İle Tektonik Hareketlerin Modellenmesi: Gülbahçe Fayı Örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi*, 87s, Afyonkarahisar.

Eyübagil E E, Solak H İ, Kavak U S, Tiryakioğlu İ, Sözbilir H, Aktuğ B vd., 2021, Present day strike-slip deformation within the southern part of the İzmir-Balıkesir Transfer Zone based on GNSS data and implications for seismic hazard assessment in western Anatolia, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 2, 143-160.

Eyübagil E E, Tiryakioğlu İ, Solak H İ, Yavaşoğlu H H, Yiğit C Ö, Aktuğ B vd., 2023,

- Havran-Balıkesir Fay Zonu Üzerinde Jeodezik Çalışmalar: İlk Sonuçlar, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 2, 402-416.
- Floyd M, Tiryakioğlu I, Erdogan S, Gulal E, Ergintav S, McClusky S vd., 2013, Crustal Extension and Rotation in the Isparta Angle Region of South-West Anatolia from a new GPS Velocity Solution, AGU Fall Meeting Abstracts, T24B-08.
- Ganas A, Elias P, Kapetanidis V, Valkaniotis S, Briole P, Kassaras I vd., 2019, The July 20, 2017 M6. 6 Kos earthquake: seismic and geodetic evidence for an active north-dipping normal fault at the western end of the Gulf of Gökova (SE Aegean Sea), Pure and Applied Geophysics, 176, 4177-4211.
- Gezgin C, 2020, Gnss ve insar teknikleri ile Tuz Gölü fay zonu'nun (Tgfb) kinematik analizi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 171s, Aksaray.
- Gezgin C, Ekercin S, Tiryakioğlu İ, Aktuğ B, Erdoğan H, Gürbüz E, vd., 2022, Determination of recent tectonic deformations along the Tuz Gölü Fault Zone in Central Anatolia (Turkey) with GNSS observations, Turkish Journal of Earth Sciences, 31, 1, 20-33.
- Gezgin C, Tiryakioğlu İ, Ekercin S, Gürbüz E, 2020, Tuz Gölü fay zonu (TGFB) güney kesimine ait tektonik hareketlerin GNSS gözlemleri ile izlenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 20, 3, 456-464.
- Görür N, Sengör A, Sakinü M, Akkök R, Yiğitbaş E, Oktay F, vd., 1995, Rift formation in the Gökova region, southwest Anatolia: implications for the opening of the Aegean Sea, Geological Magazine, 132, 6, 637-650.
- Gürer Ö F, Sanğu E, Özburan M, Gürbüz A, Sarica-Filoreau N, 2013, Complex basin evolution in the Gökova Gulf region: implications on the Late Cenozoic tectonics of southwest Turkey, International Journal of Earth Sciences, 102, 2199-2221.
- Herring T, King R, McClusky S, 2010, Introduction to gamit/globk, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- Herring T A, King R W, Floyd M A, McClusky S C, 2018, GAMIT (GPS at MIT) Reference Manual Version 10.7., Department of Earth, Atmospheric, and

Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, USA, 1-168.

İşcan Y, Tur H, Gökaşan E, 2013, Morphologic and seismic features of the Gulf of Gökova, SW Anatolia: evidence of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime, *Geo-Marine Letters*, 33, 31-48.

Kahle H G, Straub C, Reilinger R, McClusky S, King R, Hurst K, . vd.,1998, The strain rate field in the eastern Mediterranean region, estimated by repeated GPS measurements, *Tectonophysics*, 294(3-4), 237-252.

Kahraman B, Özsayın E, Üner S, Dirik K, 2013, Pliocene to Recent Tectonic Activity of the Reşadiye Peninsula and the Relationship Between the Recent Earthquakes Occurred in the Gulf of Gökova: Preliminary Results, *EGU General Assembly Conference Abstracts*, EGU2013-8639.

Kahveci M, Çırmık A, Doğru F, Pamukçu O, Gönenç T, 2019, Subdividing the tectonic elements of Aegean and Eastern Mediterranean with gravity and GPS data, *Acta Geophysica*, 67, 491-500.

Kartal R, Kadirioğlu F, Kılıç T, 2014, Muğla Bölgesinin Sismik Aktivitesi ve Yapay Sarsıntılar,

Kırkan E, Akyüz H S, Basmenji M, Dikbaş A, Zabcı C, Erturaç M K, 2022, Earthquake history of the Milas Fault: An active dextral fault in an extensional province (SW Anatolia, Turkey),

Kırkan E, Akyüz H S, Basmenji M, Dikbaş A, Zabcı C, Yazıcı M, vd., 2023, Earthquake history of the Milas Fault: an active dextral fault in an extensional province (SW Anatolia, Türkiye), *Natural Hazards*,

Konca A O, Guvercin S E, Ozarpaci S, Ozdemir A, Funning G J, Dogan U, vd., 2019, Slip distribution of the 2017 M(w)6.6 Bodrum-Kos earthquake: resolving the ambiguity of fault geometry, *Geophysical Journal International*, 219, 2, 911-923.

Kürçer A, Gürsoy H, 2022, Yatağan Fayının Aktif Tektonik Özellikleri ve Holosen Paleosismolojik Tarihçesi, *Güneybatı Anadolu Türkiye, MTA Yerbilimleri ve Madencilik Dergisi*, 2, 87-112.

- Le Pichon X, Chamot-Rooke N, Lallemand S, Noomen R, Veis G, 1995, Geodetic determination of the kinematics of central Greece with respect to Europe: Implications for eastern Mediterranean tectonics, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 100(B7), 12675-12690.
- Mammerickx J, Klitgord K D, 1982, Northern East Pacific Rise: Evolution from 25 m.y. B.P. to the present, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 87, B8, 6751-6759.
- Mason J, Reicherter K, Papanikolaou I. (2017). Active Fault Investigations in the Western Peloponnese and Eastern Crete, Greece.
- Mcclusky S, Balassanian S, Barka A, Demir C, Ergintav S, Georgiev I, vd., 2000, Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719.
- Meinhold G, Şengör C A, 2019, A historical account of how continental drift and plate tectonics provided the framework for our current understanding of palaeogeography. *Geological Magazine*, 156(2), 182-207.
- McKenzie D P., Parker R L, 1967, The North Pacific: an example of tectonics on a sphere, *Nature*, 216(5122), 1276-1280.
- McKenzie D. 1972, Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185.
- Morgan W. J., 1968, Rises, trenches, great faults, and crustal blocks. *Journal of Geophysical Research*, 73(6), 1959-1982.
- Mozafari Amiri N, Dmitry T, Özkaymak Ç, Sümr Ö, Uzel B, Ivy Ochs S vd., 2015, Revealing the seismically active periods beyond the historical archives: Fault scarp dating with ³⁶Cl, *The International Union for Quaternary Research*, 19,
- Muller J J A, 1895, De Verplaatsing van eenige triangulatic-pilaren in de residentie Tapanoeli (Samatra) tengevolge van de aardbeving van 17 mei 1892, door JJA Muller, J. Müller,
- Nomikou P, Papanikolaou D, 2010, The morpho-tectonic structure of Kos-Nisyros-

Tilos volcanic area based on onshore and offshore data, Proceedings of the XIX BGA Congress, 99, 557-564.

Ocakoğlu N, Nomikou P, İşcan Y, Loreto M F, Lampridou D, 2018, Evidence of extensional and strike-slip deformation in the offshore Gökova-Kos area affected by the July 2017 Mw6.6 Bodrum-Kos earthquake, eastern Aegean Sea, *Geo-Marine Letters*, 38, 211-225. Özdemirli Esat T, 2020, Gökova körfezi ve çevresinin sismolojisi ve sismotektoniği: Üç boyutlu kabuk modeli, odak mekanizması çözümü ve gerilme analizi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 121s, Ankara.

Özkaymak Ç, Sözbilir H, Tiryakioğlu İ, Baybura T, 2015, Sarıgöl (Gediz Grabeni, Manisa) ile Bolvadin'de (Afyon-Akşehir Grabeni, Afyon) Gözlenen Yüzey Deformasyonlarının Oluşum ve Kökensel Açından Karşılaştırılması, *Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı*, 464-465.

Özsayın E, Üner S, Kahraman B, 2021, Late Quaternary subsidence records from the Datça graben and Cnidus ancient city (SW Turkey): sea-level changes versus tectonics, *Geologica Acta*, 19, 1-14.

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

Poyraz F, Özgür Hastaoğlu K, Tiryakioğlu İ, Tatar O, Gürsoy Ö, Koçbulut F vd., 2015, The Eastern Part Of Gediz Graben Determination Methods Of Tectonic Movements Gps And Ps-Insar; The First Results, EGU General Assembly Conference Abstracts, 13312.

Reid H F, 1910, The mechanism of the earthquake, in the California earthquake of April 18, 1906, Report of the state earthquake investigation commission, 2, 16-28.

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, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 111, B5,

Reilinger R, McClusky S, Paradissis D, Ergintav S, Vernant P, 2010, Geodetic

constraints on the tectonic evolution of the Aegean region and strain accumulation along the Hellenic subduction zone, *Tectonophysics*, 488, 1-4, 22-30.

Rontogianni S, Konstantinou K, Evangelidis C, Melis N, 2011, Investigating potential Seismic Hazard in the Gulf of Gökova (South Eastern Aegean Sea) deduced from recent shallow earthquake activity, AGU Fall Meeting Abstracts, T43E-2427.

Saltogianni V, Taymaz T, Yolsal-Çevikbilen S, Eken T, Gianniou M, Öcalan T vd., 2017, Fault-model of the 2017 Kos-Bodrum (east Aegean Sea) Mw 6.6 earthquake from inversion of seismological and GPS data—preliminary report, Report published online on www.emsc-csem.org,

Solak H İ, 2020, İzmir-balıkesir transfer zonu ve çevresindeki güncel deformasyonların gnss yöntemi ile incelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 163s, Afyonkarahisar.

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, Uzel B, Sümer Ö, Eski S, Softa M, Tepe Ç. (2017). 21 Temmuz 2017 Gökova Körfezi Depremleri Ve Bölgenin Depremselliği Raporu. Retrieved from İzmir - Buca.

Şengör A M C, Görür N, Şaroğlu F, 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation*, 37.

Stucchi M, Rovida A, Gomez Capera A, Alexandre P, Camelbeeck T, Demircioglu M, vd., 2013, The SHARE European earthquake catalogue (SHEEC) 1000–1899, *Journal of Seismology*, 17, 523-544.

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.

Tiryakioğlu İ, Baybura T, Özkaymak Ç, Sözbilir H, Sandıkçıoğlu A, Erdoğan S, vd.,

- 2015, Sultandağı fayı batı kısmı fay aktivitelerinin multidisipliner çalışmalarla belirlenmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 7, 1, 7-16.
- Tiryakioğlu I, Yavasoglu H, Ugur M, Özkaymak Ç, Yilmaz M, Kocaoglu H, vd., 2017, Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van earthquakes using long-term GNSS time series, *Earth Sciences Research Journal*, 21, 3, 147-156.
- Tiryakioğlu İ, Aktuğ B, Yiğit C Ö, Yavaşoğlu H H, Sözbilir H, Özkaymak Ç, vd., 2018, Slip distribution and source parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos earthquake (Mw6.6) from GPS observations, *Geodinamica Acta*, 30, 1, 1-14.
- Tiryakioğlu İ, Umutlu A İ, Poyraz F, 2019, Jeodezik Yöntemlerle Deprem Tekrarlama Periyotlarının Belirlenmesi: Alaşehir Bölgesi Örneği, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19, 3, 762-768.
- Toydemir T, Tiryakioğlu İ, Baybura T, Uğur M A, Solak H İ, 2021, Afyon Akşehir Grabeninde Jeodezik Yamulma Alanları ile b Parametresi Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21, 6, 1366-1376.
- Turcotte D L, Schubert G, 1982, *Geodynamics: Applications of Continuum Physics to Geological Problems*, John Wiley&Sons, New York.
- Türe O, Çobanoğlu İ, Gül M, Karacan E, 2021, Seismic record approach for the evaluation of natural hazards: a key study from SW Anatolia/Turkey, *Environmental Earth Sciences*, 80, 15, 500.
- Wegener, A. 1912, Die entstehung der kontinente. *Geologische Rundschau*, 3(4), 276-292.1
- Wells D L, Coppersmith K J, 1994, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bulletin of the seismological Society of America*, 84, 4, 974-1002.
- Yavaşoğlu H, 2009, Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümündeki Güncel Tektonik Aktivitenin Jeodezik Yöntemler ve Elastik Yarı Uzay Modelleme İle Belirlenmesi, *İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, 183s, İstanbul.

- Yeats R S, Sieh K E, Allen C R, 1997, The Geology of Earthquakes, Oxford University Press,
- Yilmaz Y, Genç Ş C, Gürer F, Bozcu M, Yilmaz K, Karacik Z vd. (2000). When did the western Anatolian grabens begin to develop? In *Tectonics and Magmatism in Turkey and the Surrounding Area* (Vol. 173, pp. 0): Geological Society of London.
- Yolsal S, Taymaz T, Yalçiner A C, 2007, Understanding tsunamis, potential source regions and tsunami-prone mechanisms in the Eastern Mediterranean, Geological Society, London, Special Publications, 291(1), 201-230.
- Yolsal-Çevikbilen 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- <https://evrimagaci.org/ayaklarimiz-altindaki-levhaların-plakaların-hareketinin-sonuclari-nelerdir-568> [http://fenbildergi.aku.edu.tr/1602/021201\(212-221\).pdf](http://fenbildergi.aku.edu.tr/1602/021201(212-221).pdf), 11.04.2023
- 2- https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/deprem/pdf/2023_02-Bilgi%20Notu_Ankara%20Cizgisellik.pdf, 26.05.2023

Sonuçlar. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(2), 402-416.

Şafak-Yaşar Ş., Eyübagil E E., Çakanşimşek E B., 2023, 23.11. 2022 (Mw: 5.9) Gölyaka-Düzce depreminde TUSAGA-Aktif İstasyonlarının davranışlarının incelenmesi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23(3), 712-721.

