

AKÜ FEMÜBİD 23 (2023) 025502 (402-416)

AKU J. Sci. Eng. 23 (2023) 025502 (402-416)

DOI: 10.35414/akufemubid.1203930

Araştırma Makalesi / Research Article

Havran-Balıkesir Fay Zonu Üzerinde Jeodezik Çalışmalar: İlk Sonuçlar

Eda Esmâ EYÜBAGİL¹, İbrahim TİRYAKIOĞLU^{1,2*}, Halil İbrahim SOLAK^{2,3}, Hasan Hakan YAVAŞOĞLU⁴, Cemal Özer YİĞİT⁵, Bahadır AKTUĞ⁶, Çağlar ÖZKAYMAK^{2,7}, Mehmet Ali UĞUR¹, Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK¹, Ertuğrul DEMİRELLİ¹

¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

²Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar

³Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Mimarlık ve Şehir Planlama Bölümü, Afyonkarahisar.

⁴İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

⁵Gebze Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gebze/Kocaeli.

⁶Ankara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Ankara.

⁷Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar e-posta*: edaeyubagil@gmail.com.

itiryakioglu@aku.edu.tr

hisolak@aku.edu.tr

yavasoglu@itu.edu.tr

cyigit@gtu.edu.tr

aktug@ankara.edu.tr

caglarozkaymak@aku.edu.tr

maliugur@aku.edu.tr

ece-bengunaz.cakansimsek@usr.aku.edu.tr

ertugruldemirelli@gmail.com.

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-4790-0543>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4954-7109>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5286-0369>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-3139-4327>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-1942-7667>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-7995-4477>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-0377-1324>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2741-900X>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-9926-0264>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6882-9446>

Geliş Tarihi: 14.11. 2022

Kabul Tarihi: 22.03.2023

Öz

Havran-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ), Batı Anadolu'daki önemli fay zonlarından birisidir. Edremit'in doğusundan, Balıkesir'e kadar KKD-GGB yönünde uzanan HBFZ iki ana fay ve altı segmentten oluşmaktadır. Fay zonu üzerinde kapsamlı paleosismolojik çalışmalar gerçekleştirilmiş ve zonun segmentlerindeki depresizlik süreleri sismik bir boşluk (asismik hareket, krip) olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle, HBFZ'nin depresizlik sürelerinin detaylı olarak araştırılması amacıyla, çalışma bölgesinde 55 noktadan oluşan bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Ağdaki 21 noktada 2022 yılında bir kampanya GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Ağda yer alan diğer sürekli ve kampanya tipi 34 noktanın ise geçmiş yıllara ait GNSS verileri çeşitli kurumlardan temin edilmiştir. Elde edilen tüm veriler GAMIT/GLOBK yazılımıyla değerlendirilmiştir. Çalışma bölgesinin Avrasya plakası sabit hız alanı 4-25 mm/yıl aralığında ve 0.18 mm/yıl doğruluğunda elde edilmiştir. Hız alanı kullanılarak, bölgenin iki boyutlu güncel jeodezik gerinim alanı hesaplanmıştır. Gerinim alanı incelendiğinde, çalışma bölgesinde KD-GB yönlü sıkışma bileşeninin baskın olduğu görülmüştür. Ek olarak, tarihsel ve aletsel dönem deprem kataloglarından yararlanılarak çalışma bölgesinin sismotektonik haritaları oluşturulmuştur. Bu sonuçlar, ilk sonuçlar olarak sunulmaktadır. HBFZ'nin güncel deformasyonlarının ve deprem potansiyelinin belirlenmesi için jeodezik çalışmalar devam etmektedir.

Anahtar kelimeler

Havran Balıkesir Fay Zonu; GNSS; Gerinim; Sismik boşluk

Geodetic Measurements on Havran-Balıkesir Fault Zone: First Results

Abstract

The Havran-Balıkesir Fault Zone (HBFZ) is one of the important fault zones in Western Anatolia. The HBFZ extending from the east of Edremit to Balıkesir in the NNE-SSW direction consists of two main faults and six segments. In the paleoseismological studies carried out on the fault zone and the earthquake -free times in the segments of the zone have been evaluated as a seismic gap (seismic movement, crip). When the geodetic studies of the region are examined, there is no geodetic study focused on HBFZ. For this reason, a GNSS network consisting of 55 points was created in the study area in order to investigate the earthquake-free times of HBFZ in detail. In 2022, a campaign-style GNSS measurement was carried out at 21 points in the network. The GNSS data of the other 34 continuous and campaign-type points in the network for the previous years were obtained from various institutions. All obtained data were evaluated with GAMIT/GLOBK software. The Eurasian plate fixed velocity field of the study area was obtained in the range of 4-25 mm/year and with an accuracy of 0.18 mm/year. By using the velocity field, the two-dimensional current geodetic strain area of the region was calculated. When the strain area is examined, it is observed that the NE-SW direction compression component is dominant in the study region. In addition, seismotectonic maps of the study area were generated by using earthquake catalogs of historical and instrumental periods. These results are presented as first results. Geodetic studies are continuing to determine the current deformations and earthquake potential of HBFZ.

Keywords

Havran-Balıkesir Fault Zone; GNSS; Seismic gap

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Yer kabuğunda meydana gelen deformasyonların belirlenmesiyle, deformasyona neden olan aktif yapıların sismik tehlike analizleri gerçekleştirilebilmektedir. Günümüzde mm hassasiyetini yakalayan Küresel konum belirleme sistemleri (Global Navigation Satellite Systems- GNSS), bu alanda yapılan çalışmalar için hızlı ve güvenilir sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. GNSS ölçülerinden elde edilen hızlar ile deformasyona maruz kalan aktif bir yapının güncel kayma hızı, jeodezik gerinimleri ve jeodezik deprem tekrarlama periyotları hesaplanabilmektedir (Aktuğ 2017, Poyraz vd. 2018, Tiryakioğlu vd. 2019, Akyar 2020, Solak 2020, Eyübagil vd. 2021, Gezgin vd. 2022).

Son yıllarda deprem aktivitesiyle adından sıkça söz edilen Batı Anadolu'nun özellikle Kuzeybatı kesimindeki deprem yoğunluğu ön plana çıkmaktadır. Havran-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ), Güney Marmara Bölgesi' nin (GMB) sismik kaynaklarından birisidir. Balıkesir il merkezi ile Edremit arasındaki alanda K70°D uzanımına sahip zon, yaklaşık 150 km uzunlukta ve 10-12 km genişliktedir. Havran-Balya ve Balıkesir isimlendirmelerine sahip 2 ana fay ve bu ana faylara bağlı gelişmiş birçok

segmentten oluşmaktadır (Emre vd. 2011, Duru vd. 2012, Sözbilir vd. 2015, Sözbilir vd. 2016a, Sözbilir vd. 2016b, Sözbilir vd. 2016c, Sümer vd. 2018, Solak 2020). Bölgede HBFZ için Sözbilir vd. (2016a, 2016b, 2016c) tarafından yapılan kapsamlı paleosismolojik çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalarla, segment bazlı jeolojik deprem tekrarlama periyotları elde edilmiştir. HBFZ' nin bazı segmentlerinin elde edilen süreleri aştığı vurgulanarak, üzerinde sismik bir boşluk (asismik hareket – krip, yüksek enerji birikimi) olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca HBFZ' nin aktif fay segmentlerinden oluşmasına rağmen Güney Marmara'daki diğer sismik kaynaklara oranla aktivitesinin azlığına dikkat çekilmiştir. Bölgeye ait jeodezik çalışmalar incelendiğinde; Batı Anadolu ölçeğinde yapılan çalışmalarla karşılaşılmakta, HBFZ ölçeğinde ise jeodezik kapsamlı bir çalışma yer almamaktadır (Reilenger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Solak 2020). Solak (2020) tarafından gerçekleştirilen GNSS çalışmasında, GNSS hızları aracılığıyla HBFZ civarında yüksek değerlere sahip gerinimler elde edilmiştir.

Havran-Balıkesir Fay Zonu için jeolojik çalışmalar sonucunda ulaşılan depremsizlik sürelerinin nedenlerinin detaylı olarak GNSS yöntemleri ile

araştırılması amacıyla; başlangıçta 21 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Kurulan bu ağda 2022 yılında bir kampanya GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Fay zonunun tüm segmentlerinin hareketlerini izlemek ve veri setini genişletmek amacıyla; bölgede toplam 55 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. HBFZ için oluşturulan tüm ağa ait ölçülerin değerlendirilmesinde bilimsel değerlendirme yazılımlarından GAMIT/GLOBK yazılım takımı kullanılmıştır. 55 noktalı ağda yer alan ve geçmiş yıllara ait ölçüsü bulunan 36 GNSS noktasının güncel hızları, Avrasya plakası sabit alınarak 4-25 mm/yıl aralığında ve 0.18 mm/yıl doğruluğunda elde edilmiştir. Elde edilen GNSS hızları ile çalışma bölgesinin iki boyutlu gerinim analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma bölgesinde KD-GB yönlü sıkışma bileşeninin baskın olduğu görülmüştür. HBFZ özelinde en büyük sıkışma bileşenlerinin ise Gökçeyazı ve Havran segmentleri civarında olduğu görülmüştür. HBFZ'nin kapsamlı jeodezik çalışmaları devam etmekte olup bu çalışmada elde edilen öncül sonuçlar irdelenerek incelenmiştir.

2. Çalışma Bölgesinin Tektonik Özellikleri ve Sismotektoniği

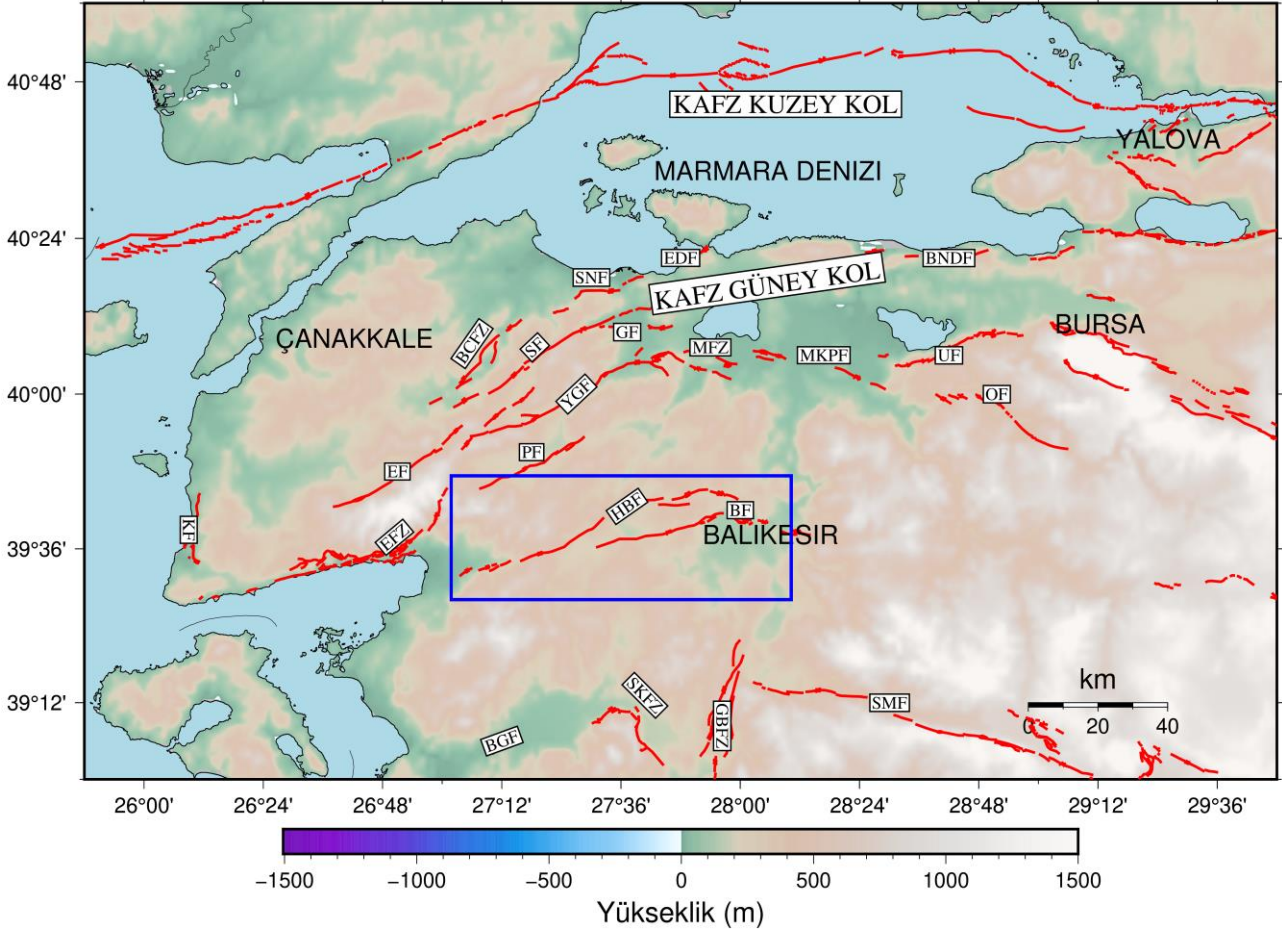
Ülkemizin en önemli sismik kaynakları olarak bilinen Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) Pliyosen' den bu yana meydana getirdikleri hareketler, Batı Anadolu'nun deformasyonunun anlaşılmasını sağlamaktadır. Batı Anadolu'da yapılan GNSS çalışmaları bölgenin güncel deformasyon modelini ortaya koymakta ve K-G genişlemeli rejimi desteklemektedir (McKenzie 1972; Dewey and Şengör 1979, McClusky vd. 2000, Bozkurt 2001, Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Tiryakioğlu vd. 2013, Tiryakioğlu vd. 2017, Tiryakioğlu vd. 2018, Solak 2020, Eyübagil vd. 2021). D-B uzanımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu, Düzce civarında iki farklı kola ayrılarak, kuzey kol ve güney kol olarak isimlendirilmektedir Kuzey kol, 1999 yılında meydana gelen İzmit (Mw: 7.4) ve Düzce (Mw: 7.2) depremlerini oluşturan koldur ve Kocaeli üzerinden Marmara Denizi'nin içerisine girmektedir. Güney olarak ifade edilen kol ise Güney Marmara Bölgesi (GMB) boyunca İznik ile Ege Denizi arasında uzanan pek çok paralel/alt paralel sağ doğrultu

atımlı faylarla karakterize olmuştur (Şengör and Barka 1992, Özalp vd. 2013, Sözbilir vd. 2016c). Batı Anadolu'nun batı sınırını oluşturan İBTZ GMB' nin güneyinde konumlanmakta ve son yıllarda yapılan çalışmalarla bölge tektoniğinde etkin rol oynadığı ifade edilmektedir (Ring vd. 1999, Sözbilir vd. 2011, Özkaymak vd. 2013, Uzel vd. 2013, Sümer vd. 2018, Solak 2020). GMB ve İBTZ içerisindeki ana tektonik yapılar kuzeyden güneye doğru; Biga- Çan Fay Zonu (BÇFZ), Manyas Fay Zonu (MFZ), Yenice-Gönen Fayı (YGF), Evciler Fayı (EF), Pazarköy Fayı (PF), Edremit Fay Zonu (EFZ) ve Havran-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ) Gelenbe Fay Zonu (GFZ), Soma-Kırkağaç Fay Zonu (SKFZ), Bergama Fayı (BF), Menemen Fayı (MF) ve Gediz Grabeni (GGB)'dir (Şekil 1) (Emre vd. 2011, Sözbilir vd. 2016c Solak 2020).

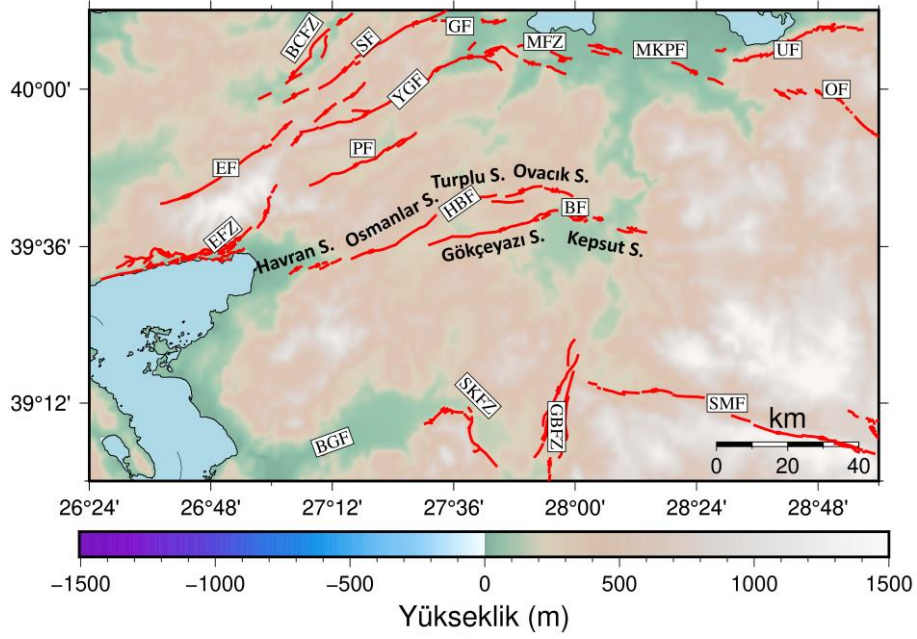
Havran Balıkesir Fay Zonu (HBFZ), KAFZ 'ın güney kolu üzerinde yer almaktadır. Zonun içerisindeki ana faylardan Havran-Balya Fayı batıdan doğuya; Havran (HS)(1), Osmanlar (OS)(2), Turplu (TS)(3), Ovacık (OvS)(4) olmak üzere 4 farklı fay segmenti bulunmaktadır. Yaklaşık 70 km uzunluğa sahip Balıkesir Fayı ise batıdan doğuya; Gökçeyazı (GS) (1) ve Kepsut (KS) (2) olmak üzere 2 farklı fay segmentine ayrılmaktadır. Havran, Osmanlar, Turplu, Ovacık ve Gökçeyazı segmentleri, ters bileşen içeren doğrultu atımlı fay mekanizmasına; en doğudaki Kepsut segmenti oblik atımlı normal fay mekanizmasına sahiptir (Şekil 2) (Sözbilir vd. 2016c, Sümer vd. 2018, Solak 2020). Havran Balıkesir Fay Zonu (HBFZ), KAFZ 'ın güney kolu üzerinde yer almaktadır. Zonun içerisindeki ana faylardan Havran-Balya Fayı batıdan doğuya; Havran (HS)(1), Osmanlar (OS)(2), Turplu (TS)(3), Ovacık (OvS)(4) olmak üzere 4 farklı fay segmenti bulunmaktadır. Yaklaşık 70 km uzunluğa sahip Balıkesir Fayı ise batıdan doğuya; Gökçeyazı (GS) (1) ve Kepsut (KS) (2) olmak üzere 2 farklı fay segmentine ayrılmaktadır. Havran, Osmanlar, Turplu, Ovacık ve Gökçeyazı segmentleri, ters bileşen içeren doğrultu atımlı fay mekanizmasına; en doğudaki Kepsut segmenti oblik atımlı normal fay mekanizmasına sahiptir (Şekil 2) (Sözbilir vd. 2016c, Sümer vd. 2018, Solak 2020).

Literatürde HBFZ ve çevresi için gerçekleştirilmiş pek çok jeolojik çalışma bulunmaktadır (Emre vd. 2011, Duru vd. 2012, Özkaymak vd. 2013, Uzel vd. 2013, Sözbilir vd. 2016a, Sözbilir vd. 2016b, Sözbilir vd. 2016c, Sümer vd. 2018). Bu çalışmalardan Sözbilir vd. (2016a, 2016b, 2016c) tarafından gerçekleştirilen hendek tabanlı paleosismolojik çalışmalar HBFZ' nin sismotektoniğinin anlaşılması bakımından önem taşımaktadır. Bu çalışmalarda zonun segment bazlı ortalama deprem tekrarlama periyotları belirlenerek, sistematik dere ötelenmeleri baz alınmış ve Havran-Balıkesir Fay Zonu boyunca uzun dönem jeolojik kayma hızı 3.59-3.78 mm/yıl aralığında hesaplanmıştır. Ayrıca bu çalışmalarda segmentler için son ürettikleri depremlerden günümüze kadar geçen süreler hesaplanmıştır. Özellikle Gökçeyazı segmentinde

2000 yıla ulaşan depremsizlik süresi nedeniyle bölgede yıkıcı bir deprem beklendiği vurgulanmıştır. Bölgede yoğun jeolojik çalışmalar yapılmasına rağmen kısıtlı jeodezik çalışmalar bulunmaktadır (Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd. 2009, Solak 2020). Solak (2020) tarafından bölgede gerçekleştirilen GNSS ölçüleriyle elde edilen sonuçlarda HBFZ için yüzeysel olabilecek sonuçlara yer verilmiştir. Bu öncül nitelikteki sonuçlara göre; HBFZ üzerinde jeodezik olarak hesaplanan kayma hızı her segmentte farklı olmakla beraber yaklaşık 5 mm/yıl civarındadır. Bu bilgiler HBFZ genelinde baskın açılma bileşenleri ile birlikte Balıkesir civarında sağ doğrultu atımlı fay mekanizmasını işaret etmektedir. Zon üzerindeki en yüksek gerinimlerin ise Ovacık segmentinde olduğu görülmüştür.



Şekil 1. Güney Marmara ve çevresindeki ana tektonik yapılar (Faylar (Emre vd. 2011) batıdan doğuya; KF: Kestaneli Fayı, EF: Evciler Fayı EFZ:Edremit Fay Zonu, BGF: Bergama Fayı, BCFZ: Biga-Çan Fay Zonu, SF: Sarıköy Fayı,YGF: Yenice-Gönen Fayı, HBF: Havran-Balya Fayı, SNF: Sinekci Fayı, GF: Gündoğan Fayı, EDF: Edincik Fayı, MFZ: Manyas Fay Zonu, BF: Balıkesir Fayı, SKFZ: Soma-Kırkağaç Fay Zonu, GBFZ: Gelenbe Fay Zonu, MKPF: Mustafa Kemalpaşa Fayı, BDNF: Bandırma Fayı, UF: Ulubat Fayı, OF: Orhaneli Fayı, SMF: Simav Fay Zonu. (Çalışma bölgesi HBFZ mavi çerçeve ile gösterilmiştir.)).

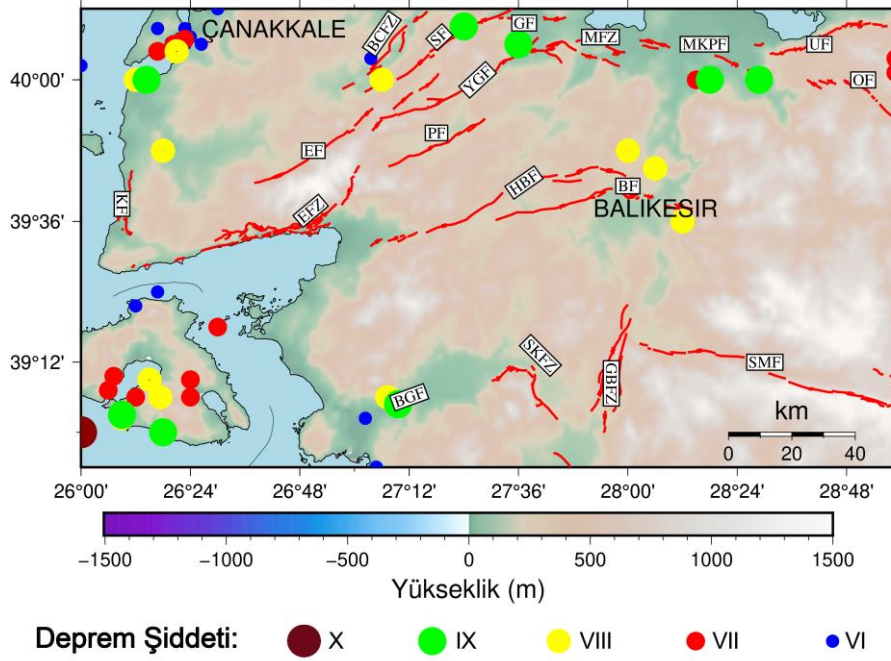


Şekil 2. Havran-Balıkesir Fay Zonu (HBFZ) ve segmentleri

2.1 Çalışma Bölgesi Sismotektoniği

Balıkesir ili ve çevresi Türkiye'nin en aktif sismik kaynaklarından Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun güney kolunda yer alması sebebiyle de deprem üretme potansiyeli yüksek olan bir bölgedir. Bu nedenle çalışma bölgesinin sismotektonik özelliklerinin incelenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışma kapsamında, Balıkesir ve civarındaki alanda kayıt altına alınan aletsel ve tarihsel döneme ait deprem kayıtları taranmıştır. Havran-Balıkesir fay zonu civarının tarihsel dönem depremleri için Türkiye ve Yakın Çevresi İçin Geliştirilmiş Tarihsel Dönem (MÖ 2000-MS 1900) Deprem Kataloğu'ndan yararlanılmıştır (Başarı Baştürk vd. 2017). Tarihsel dönemde şiddeti VI ve VI' dan büyük depremler Şekil 3'de verilmiştir. Bölgenin tarihsel dönem sismotektonik haritası incelendiğinde; şiddeti VI ve VI' dan büyük depremlerin Midilli Adası, Ege Denizi civarında ve Çanakkale, Bursa yörelerinde meydana

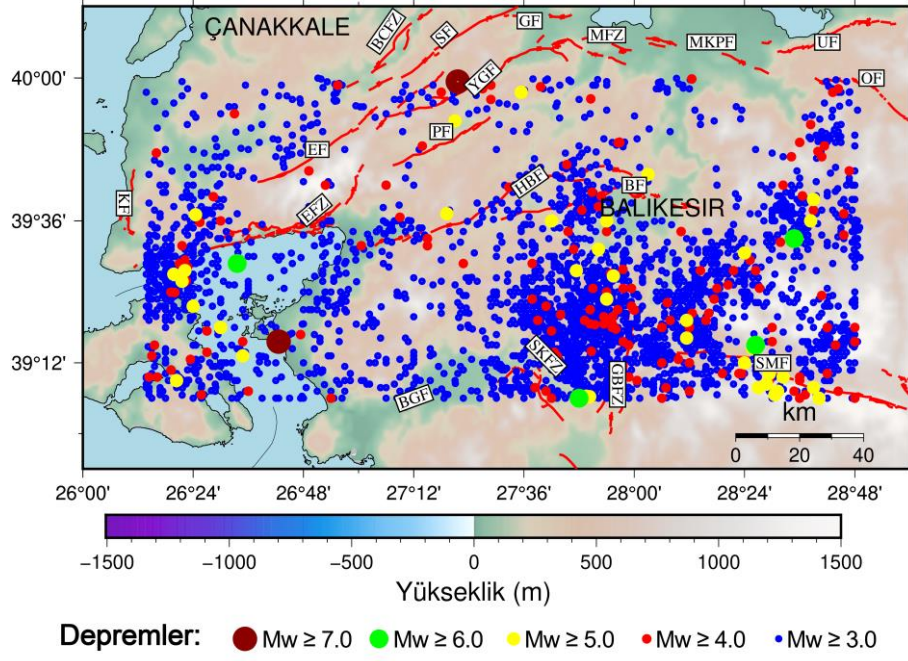
geldiği görülmektedir. Balıkesir civarında ise şiddeti VIII olan 3 farklı deprem görülmektedir (Şekil 3). Aletsel dönem için ise Tan vd. (2008), Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KOERI) ve T.C. İç İşleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından hazırlanan aletsel dönem deprem katalogları taranmıştır. Çalışma bölgesi içerisinde aletsel dönemde meydana gelen tüm depremlerin, konumları ve büyüklük, derinlik gibi bilgilerin karşılaştırılması yapılmış ve ulaşılabilen tüm depremlerin verilerine ulaşılmıştır. Ulaşılan tüm $M_w \geq 3.0$ deprem verileri doğrultusunda çalışma bölgesinin sismotektonik haritası elde edilmiş ve Şekil 4'de verilmiştir. HBFZ'nin aktif yapıları Emre vd. (2011) tarafından hazırlanan Türkiye Diri Fay Haritası'nda diri fay statüsünde gösterilmiş ve Sözbilir vd. (2016c) tarafından detaylı olarak haritalanmıştır. Çalışma kapsamında sismotektonik haritaların oluşturulmasında bu çalışmalarda haritalanan faylar altlık olarak kullanılmıştır (Şekil 4).



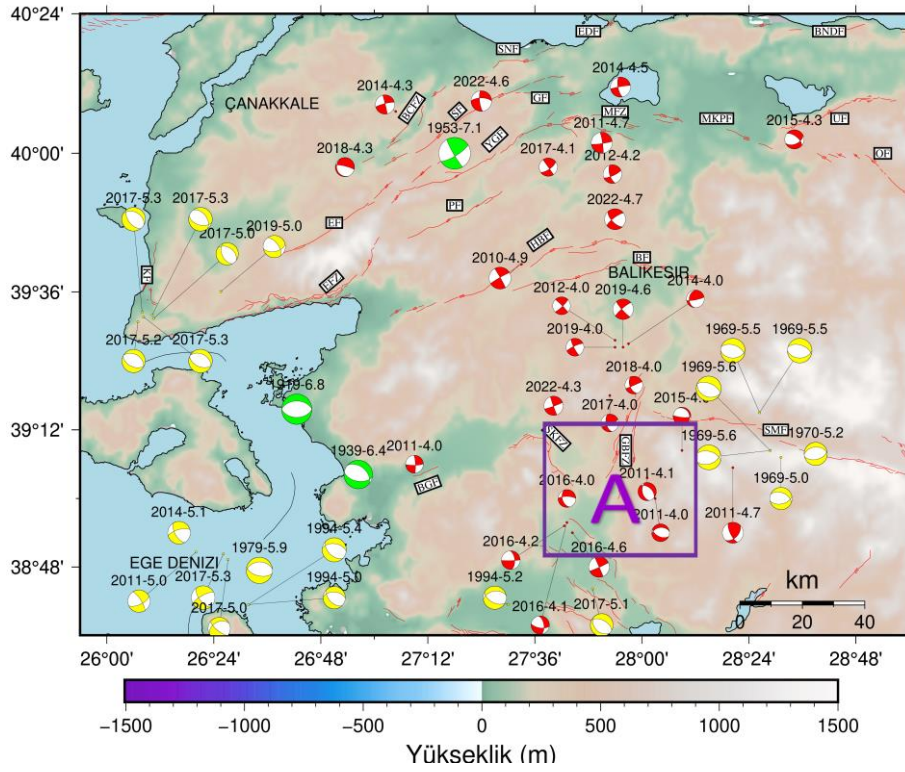
Şekil 3. Tarihsel dönemde çalışma bölgesinde şiddeti VI ve VI'dan büyük meydana gelen depremler.

Ülkemizde aletsel dönem deprem katalogları her ne kadar 1900'lü yıllardan kayıtları içerse de 1960'lı yıllardan sonra sismometre ağlarının genişlemesiyle daha fazla sayıda deprem kayıtları elde edilmeye başlanmıştır. Deprem odak mekanizma çözümleri ise sadece hasar yaratan depremlerden sonra yapılmıştır. 2010 yılından sonra AFAD $M_w \geq 4.0$ depremler için otomatik odak mekanizma çözümlerini web sayfasında yayınlamaya başlamıştır (İnt.Kyn.1). Çalışma kapsamında, bölge sismotektoniğinin daha iyi anlaşılması için $M_w \geq 4.0$ depremlerin odak mekanizma çözümleri elde edilmiş ve Şekil 5 ve Şekil 6'da verilmiştir. 2010 yılı öncesi yıllarda meydana gelen $M_w \geq 4.0$ depremlerin odak mekanizma çözümleri çeşitli yayınlardan alınmıştır (Tan vd. 2008, Yolsal Çevikbilen vd. 2014). 2010 yılı sonrası $M_w \geq 4.0$ depremlerin odak mekanizma çözümleri ise AFAD web sitesinden alınmıştır (Şekil 5, Şekil 6) (İnt. Kyn.1).

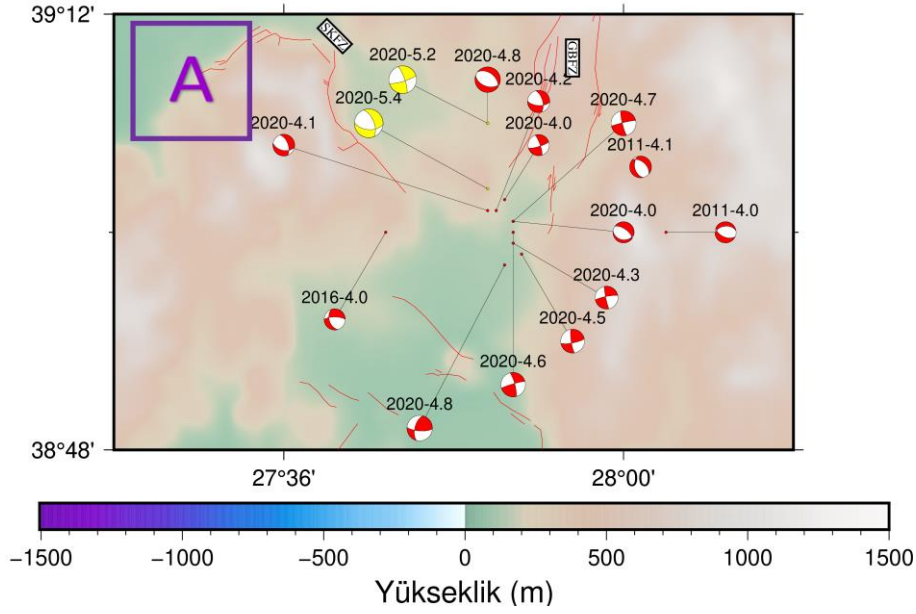
Aletsel dönem $M_w \geq 3.0$ sismotektonik haritası ve $M_w \geq 4.0$ depremlerin odak mekanizma çözümleri incelendiğinde; HBFZ ve çevresinde sıklıkla ve $M_w \geq 4.0$ depremlerin meydana geldiği görülmektedir. Bölgede orta büyüklük olarak ifade edilebilecek $M_w = 5.0-6.0$ depremlerin daha çok Ege Denizi içerisinde, Gelenbe Fay Zonu ve Simav Fay Zonu civarında olduğu görülmektedir. $M_w \geq 6.0$ ve $M_w \geq 7.0$ depremler ise çalışma bölgesinde en az sıklıkta meydana gelen depremler olduğu anlaşılmaktadır. HBFZ incelendiğinde; özellikle Havran, Osmanlar, Turplu ve Ovacık segmentlerinde aletsel dönemde $M_w = 5.0$ 'den büyük bir depremin meydana gelmediği ve $M_w = 3.0$, $M_w = 4.0$ depremlerin Gökçeyazı segmentinde sıklıkla meydana geldiği görülmektedir. Kepsut segmenti ise HBFZ üzerinde deprem aktivite yoğunluğu en az olan segmenttir.



Şekil 4. Aletsel dönemde çalışma bölgesinde $M_w \geq 3.0$ meydana gelen depremler.



Şekil 5. Aletsel dönemde çalışma bölgesinde $M_w \geq 4.0$ meydana gelen depremler ve odak mekanizma çözümleri (A: GBFZ' de 2020 yılında meydana gelen deprem fırtınası).



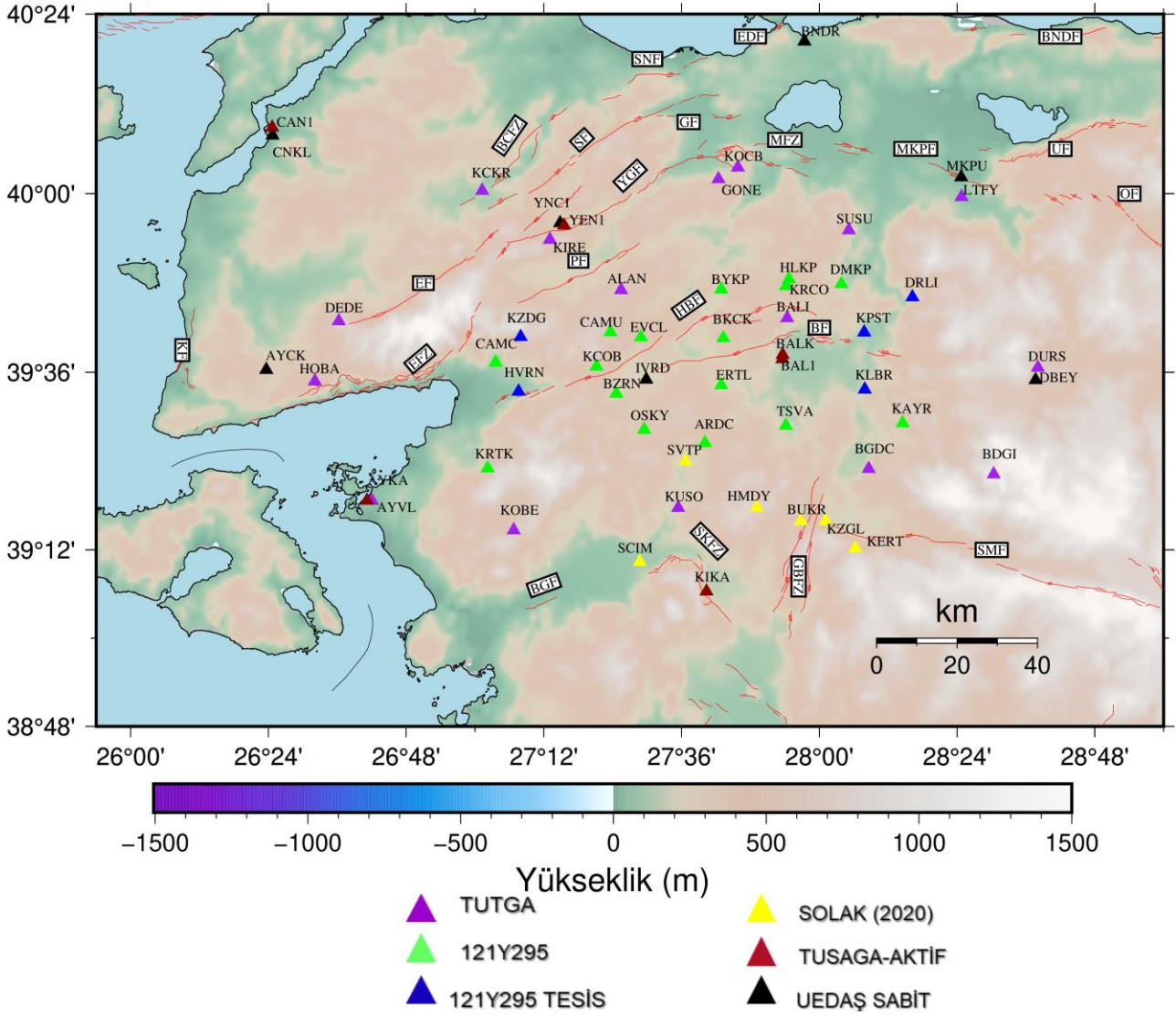
Şekil 6. GBFZ' de 2020 yılında meydana gelen depremler ve odak mekanizma çözümleri.

3. Çalışma Bölgesinde Oluşturulan GNSS Ağı ve GNSS Ölçüleri

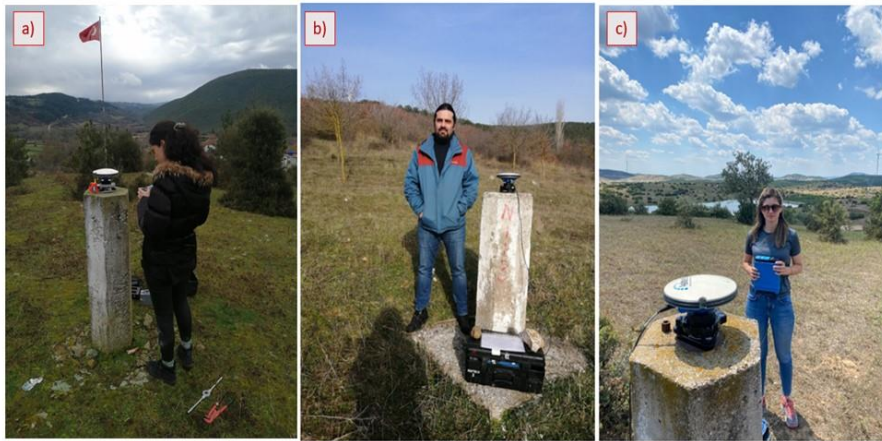
Havran-Balıkesir Fay Zonu' nun (HBFZ) güncel hareketlerini GNSS yöntemi ile belirlemek amacıyla; tüm segmentleri içine alan 21 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Ağın kurulması esnasında nokta dağılımlarının fay zonuna uygun ve homojen bir geometri sağlaması göz önünde bulundurulmuştur. Bu noktalar; sağlam zeminlerde, mümkün olduğunca insan aktivitesinden uzakta konumlanan, haritacılık çalışmaları amacıyla önceden tesis edilmiş ve fay HBFZ' ye dik profiller oluşturmak amacı ile yeni tesisi gerçekleştirilmiş noktalardır. HBFZ için kapsamlı bir jeodezik çalışma gerçekleştirebilmek ve segment bazlı daha detaylı yorumlar yapabilmek amacıyla bu noktalara ilave olarak; Afyon Kocatepe Üniversitesi (AKÜ) Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü (BAPK) tarafından desteklenen 19.FENBIL.02 numaralı proje kapsamında, Solak'a (2020) ait çalışmadaki GNSS ağında yer alan noktalardan uygun 6 nokta ve bölgede mevcut olan 6 Türkiye Ulusal Sabit Aktif GNSS Ağı (TUSAGA-Aktif CORS-TR) istasyonu ağa dahil edilmiştir. Ayrıca bölgede yer alan Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından tesis edilmiş 15 Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı (TUTGA) noktası ve Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş' ne (UEDAŞ) ait sabit GNSS Ağına ait 7 istasyon ağa dahil edilmişlerdir. Dahil edilen

noktalarla birlikte toplam 55 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Oluşturulan GNSS ağı Şekil 7'de verilmiştir.

HBFZ' nin 21 noktalı olarak başlangıçta kurulan ağın tamamında 2022 yılının Şubat-Ağustos ayları arasında 1. Kampanya GNSS ölçüleri gerçekleştirilmiştir. Bu noktalar Şekil 7'de proje no ile belirtilmiştir. Ölçüler esnasında tüm noktalarda hem faz başlangıç belirsizliklerinin çözümü hem de maksimum konum-hız doğruluğu elde edebilmek amacıyla ikişer kişiden oluşan ekipler ile eş zamanlı, en az sekiz saatlik ve iki gün tekrarlı şekilde veriler toplanmıştır. Ölçülerde beş adet ASHTECH-ZXtreme ve beş adet THALES alıcı donanımları kullanılmıştır. Her bir noktada 15 sn. örnekleme aralıklı veri kaydı esas alınmıştır. Bunun yanı sıra ilgili GNSS alıcıları içerisinde veri karmaşıklığını önlemek ve değerlendirme için ön bir hazırlık olarak; her bir noktadaki gözlem için en yakın yerleşim yerinin ismi dört karakterli olacak şekilde alıcılara kaydedilmiştir. GNSS antenini etkileyebilecek verileri kaybetmemek ve atmosferik gecikmeleri-anten faz merkezi değişimlerini modellemede verilerin yetersiz kalmasını önleyebilmek amacıyla, kayıt esnasında minimum yükseklik açısı ise 5° olarak belirlenmiştir. 1. Kampanya GNSS ölçüleri gerçekleştirilen bazı noktalara ait görseller Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 7. HBZ için oluşturulan GNSS ağı.



Şekil 8. 1. Kampanya GNSS ölçüsü gerçekleştirilen bazı noktalar (a) CLVA b) DMKP c) OSKY).

1. Kampanya ölçüleri gerçekleştirilen noktaların geçmiş yıllardaki ölçülerine ait verilerini araştırma-temin çalışmaları devam etmektedir. Çalışma bölgesinde yer alan ve kurulan GNSS ağına dahil edilen, TUTGA noktalarının verilerinin temini

“Kurumlar arası iş birliği ve veri dağıtım protokolü” kapsamında Harita Genel Müdürlüğü’nden elde edilmiştir. Ek olarak, ağına dahil edilen Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.’na (UEDAŞ) ait bölgedeki 7 sabit GNSS istasyonunun iki yıllık geçmiş dönem verileri temin

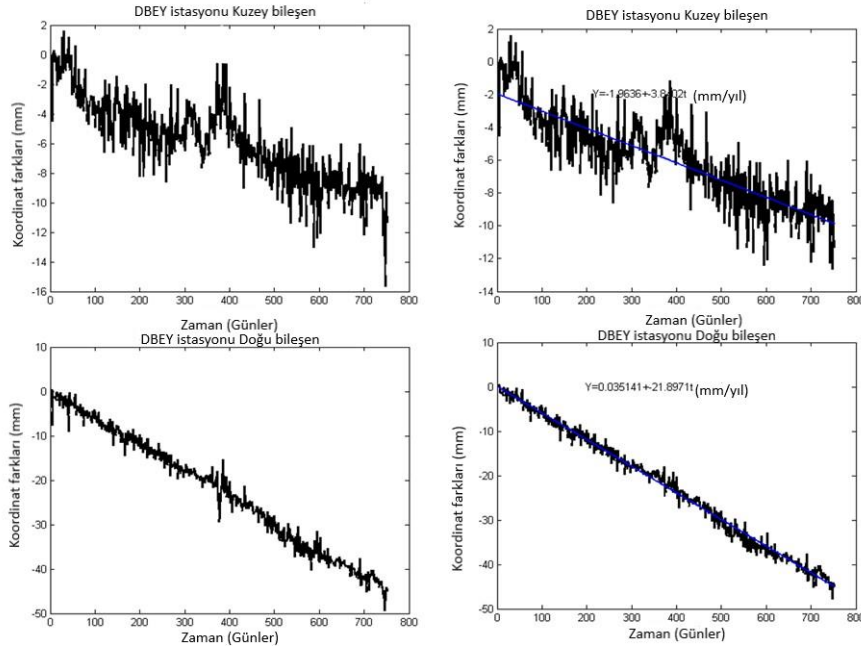
edilmiştir. Ayrıca Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) sitesinde yayınlanan bölge TUSAGA AKTİF istasyonlarının 30 sn alıcıdan özerk bir format olan RINEX verileri de temin edilmiştir.

HBFZ için oluşturulan GNSS ağına ait elde edilen tüm ölçülerin değerlendirilmesi ve analiz edilmesinde GAMIT/GLOBK yazılım takımının 10.71 sürümü (Mart 2020) kullanılmıştır (Herring vd. 2018). Massachusetts Institute of Technology (MIT) tarafından geliştirilen bu yazılım takımının GAMIT modülü kısaca noktaların öncül koordinatlarını kullanmakta ve uydu yörünge bilgileri, atmosferik etkiler, saat hataları gibi parametrelerin doğrusal kestirimini yapmaktadır. Ölçülerdeki faz kesikliklerini ortadan kaldırarak çeşitli iterasyonlarla GNSS noktalarına ait üç boyutlu koordinatların dengelenmesini sağlamaktadır. GLOBK modülü, uydu-jeodezi teknikleriyle elde edilen ölçmelerin değerlendirilmesinin sonucunda ulaşılan tüm çözümleri Kalman Filtresiyle birleştirmektedir. Kalman Filtresi ise veri parametrelerinin kestirimini ardışık olarak sağlayan bir yöntem uygulamaktadır (Herring vd. 2018).

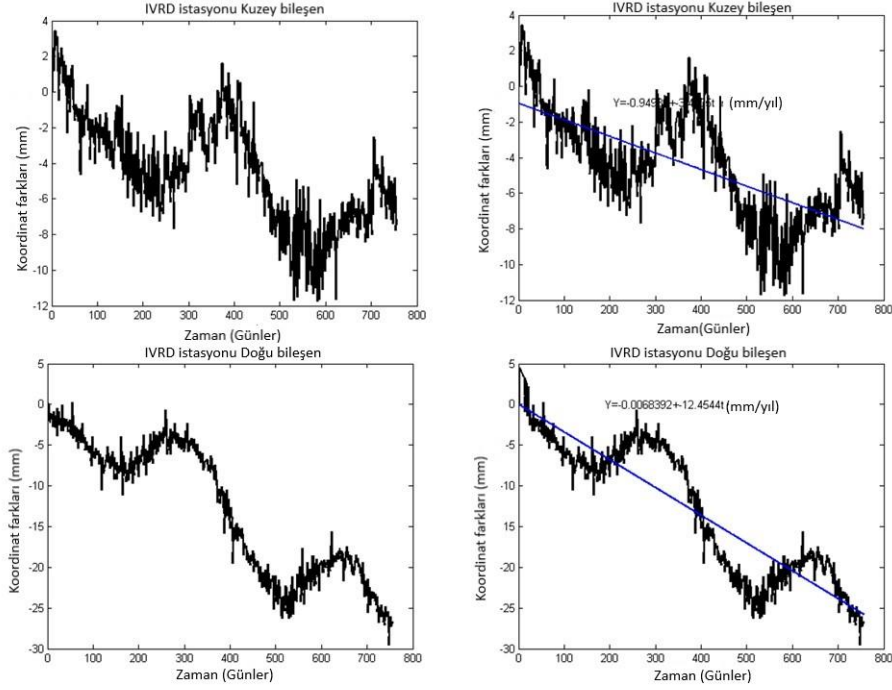
GNSS ölçülerinden elde edilen verilerin işlenmesi GAMIT modülünde gerçekleştirilmiştir. Bu adımda elde edilen değerler incelenerek kontrol aşamaları

sağlanmış ve GLOBK adımına geçilmiştir GAMIT yazılımı ile elde edilen koordinatlar kullanılarak, noktalara ait yıllık zaman serileri üretilmiştir. Sabit istasyonların lineer, mevsimsel ve düzensiz hareketleri zaman serileri analizi ile belirlenebilmektedir (Gülal vd. 2013, Gülal vd. 2015, Tiryakioğlu vd. 2017b). Çalışma bölgesinde bulunan sabit GNSS istasyonlara ait serilerinin analizi gerçekleştirilmiştir. Serilerdeki uyuşumsuz ölçüler tespit edilerek atılmıştır. Matlab ile geliştirilen yazılım aracılığıyla sabit GNSS istasyonlarının zamansal hareketini belirlemek için seriye uyan doğrusal fonksiyonun katsayıları kestirilmiştir, Şekil 9 ve Şekil 10'da verilmiştir. Kestirilen katsayılar yardımı ile sabit noktaların (ITRF14_era) hızları elde edilmiştir (Şekil 9, Şekil 10).

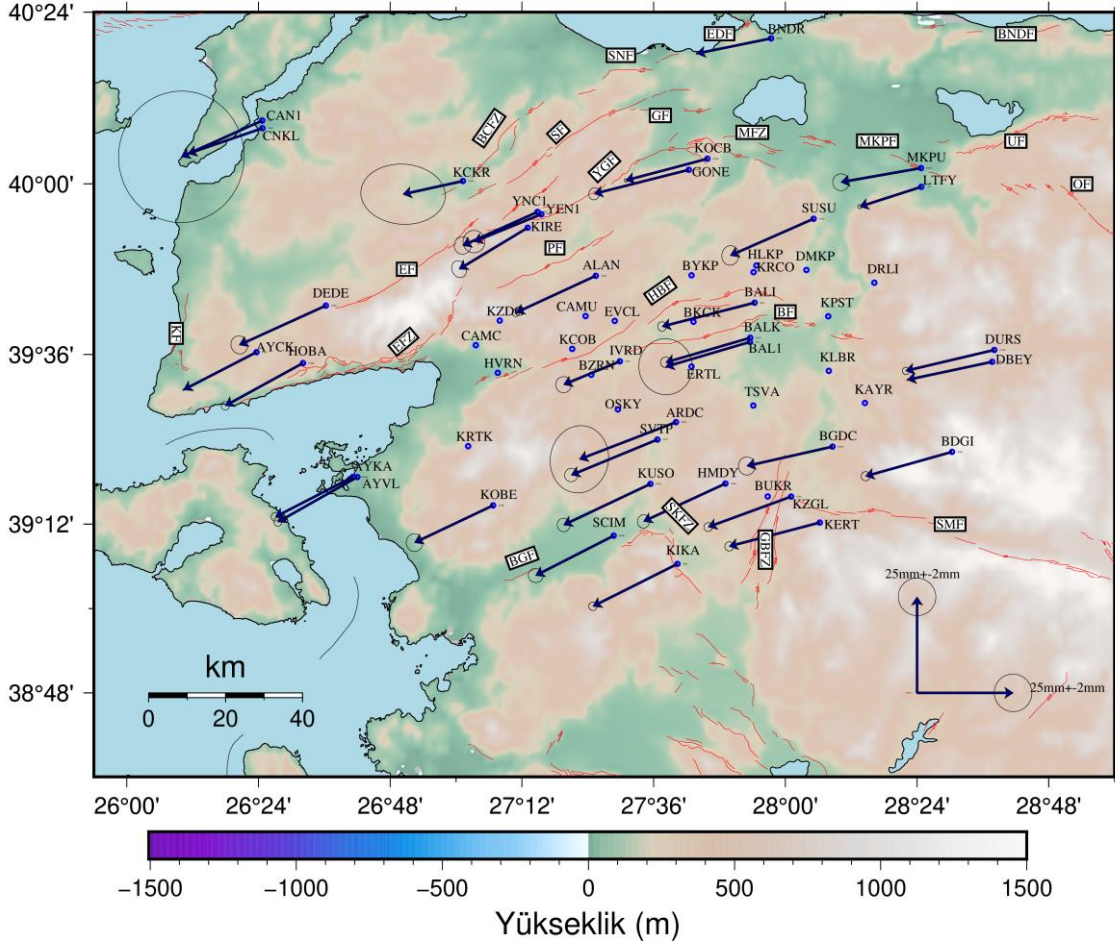
Yıllık zaman serilerinin üretilmesinin ardından stabilizasyon ve hız belirleme aşamalarına geçilmiştir. Bu çalışmada stabilizasyon için Uluslararası Küresel Uydu Konumlama Sistemi Servisi (International GNSS Service IGS) istasyonlarından Solak (2020) tarafından yapılan çalışmada kullanılan 25 tane IGS istasyonu seçilerek, Avrasya plakası referans alınmıştır. Çalışma bölgesinin stabilizasyon çalışması sonucunda 0.18 mm/yıl olarak elde edilen Avrasya plakası sabit ilk hızları Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 9. DBEY istasyonunun kuzey ve doğu bileşenine ait zaman serisi ve lineer fonksiyonu (ITRF14_EURA).



Şekil 10. IVRD istasyonunun kuzey ve doğu bileşenine ait zaman serisi ve lineer fonksiyonu (ITRF14_EURA).



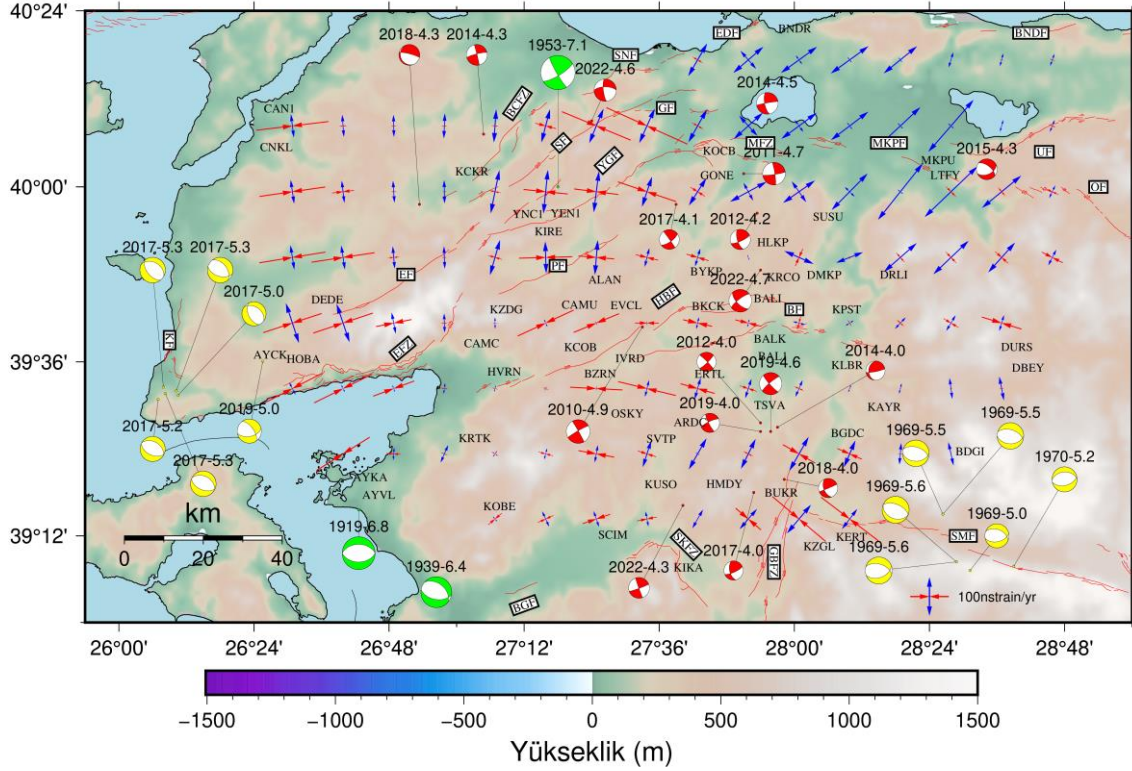
Şekil 11. Çalışma bölgesi Avrasya plakası sabit hız alanı.

Bir fay zonunda meydana gelen stres birikimi o fay zonunun güncel deformasyonu ile ilgili bilgi vermektedir. HBFZ' nin güncel deformasyonu hakkında yorumlar yapabilmek amacıyla; çalışma bölgesinin iki boyutlu gerinim analizi, GeodSuit

yazılımı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir (GeodSuit, 2017). Gerinim analizi için bölge 0.15° x 0.15°'lik gridlere ayrılarak ve GLOBK ile elde edilen hızlar girdi verisi olarak kullanılmıştır. HBFZ için elde edilen gerinim alanı Şekil 12'de verilmiştir. Ayrıca çalışma

bölgesinin sismotektonik haritaları için elde edilen deprem odak mekanizma çözümleri, GNSS hız

verileri doğrultusunda hesaplanan gerinim alanı üzerinde belirtilmiş ve Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12. Aletsel dönemde çalışma bölgesinde $M_w \geq 4.0$ meydana gelen depremlerin odak mekanizma çözümleri ve gerinim alanı.

4. Tartışma ve Sonuç

Ağda yer alan sabit GNSS istasyonlarının zaman serilerinin analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 9, Şekil 10). Şekil 10 incelendiğinde, IVRD istasyonunun periyodik hareketleri dikkat çekmektedir. İvrindi bölgesi bu fay zonunun Gökçeyazı segmentinde bulunup, Sözbilir vd. (2016c) tarafından yapılan çalışmada asismik hareketin olabileceği ifade edilmektedir. IVRD istasyonundaki hareketin anlamlandırılması için IVRD istasyonuna çok yakın konumda bulunan ve Solak 2020’de IVRD olarak isimlendirilen kampanya tipi nokta IVR2 noktası olarak yeniden isimlendirilerek kampanya tipi ölçülerle takip edilecektir. Şekil 11’de yer alan Avrasya sabit hız alanı incelendiğinde, K-G bileşenlerinin -4 ile -12 mm/yıl, D-B bileşenlerinin -15 ile -25 mm/yıl arasında olduğu görülmektedir. Hızların standart sapmaları ise 0.3-6.0 mm arasında değişmektedir. Bu hız alanı, ağda yer alan GNSS noktalarından geçmiş yıllarda 2 ve 3 kampanya ölçüsü bulunan noktalardan elde edilmiştir. Bölgede daha önce gerçekleştirilen jeodezik çalışmalarda hız alanlarıyla genel anlamda uyum içerisinde olduğu görülmüştür (Reilinger vd. 2006, Aktuğ vd.

2009, Solak 2020). Hız alanı kullanılarak gerçekleştirilen gerinim analizi esnasında hata elipsleri büyük olan noktalara ait hız bileşenleri, analize dahil edilmemiştir. Şekil 12’de gerinim analizi sonuçları incelendiğinde, HBFZ’ nin doğu kesiminde KD-GB yönlü sıkışmalar göze çarpmaktadır. Batı kısmında ise sıkışmalarla birlikte açılma bileşenleri de görülmektedir. Çalışma bölgesindeki diğer aktif fay zonları üzerindeki gerinim bileşenleri incelendiğinde, GBFZ üzerinde KD-GB doğrultulu sıkışma ve KB-GD doğrultulu açılma bileşenlerinin varlığı söz konusudur. HBFZ’ nin kuzeyindeki YGF üzerinde K-G doğrultulu açılma ve D-B doğrultulu sıkışma bileşenleri dikkat çekmektedir. Çalışma bölgesinin batısında konumlanan EFZ üzerinde ise KD-GB yönlü sıkışma bileşenleri görülmektedir. Solak (2020) tarafından yapılan çalışmada gerinim analizi sonuçları HBFZ üzerinde baskın açılma bileşenlerini göstermektedir. Aynı çalışmada zon üzerindeki en büyük gerinim bileşenleri Ovacık segmentinde ve sıkışma bileşeni baskın olarak görülmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlarla uyum göstermemesinin temel sebebinin; söz konusu çalışmada HBFZ civarında

yapılan gerinim hesaplarının beş jeodezik noktaya ait hız verilerinden elde edilmesi olarak düşünülmektedir. Bu çalışmadaki gerinim analizi sonuçları, ilk sonuçlar olarak sunulmakla birlikte jeodezik gerinim hesapları üzerinde çalışılmaktadır. Şekil 14'te gerinim bileşenleri ile meydana gelen deprem odak mekanizma çözümleri arasındaki uyum incelendiğinde ise elde edilen güncel veriler doğrultusunda literatür ile uyumlu olduğu görüşüne varılmıştır. HBFZ' nin güncel deformasyonlarının ve deprem potansiyelinin belirlenmesine yönelik jeodezik çalışmalar devam etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma 121Y295 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmiştir. Çalışmada kullanılan TUSAGA-AKTİF verileri için Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'ne (TKGM) Harita Genel Müdürlüğü'ne (HGM) ve Uludağ Elektrik Dağıtım A.Ş.'ne teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Aktuğ, B., 2017. Jeodezik Deprem Tehlike Haritası, 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 03.05.2017 - 06.05.2017, Beytepe Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara

Aktuğ B., Nocquet J. M., Cingoz A., Parsons B., Erkan Y., England P. C., Lenk O., Gurdal, M. A., Kılıçoğlu, A., Akdeniz, H., Tekgul, A., 2009. Deformation of western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behavior, *Journal of Geophysical Research*, **114**, B10404.

Akyar, B. E., 2020. Deprem tekrarlama periyotlarının jeodezik verilerle belirlenmesi: Banaz ve Elvanpaşa segmenti, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 86.

Başarır Baştürk, N., Özel, N. M., Altınok, Y., Duman, T.Y., 2017. Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş tarihsel dönem (MÖ 2000 - MS 1900-) deprem katalogu. Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı (Ed. T.Y. Duman), Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayınlar Serisi, 4, 239 s. Ankara-Türkiye.

Dewey, J. F., and Şengör, A. M. C., 1979. Aegean and surrounding regions: complex multiple and

continuum tectonics in a convergent zone, *Geological Society of America Bulletin*, **90**, 84–92

Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis. *Geodinamica Acta*, **14**, 3–30.

Duru, M., Pehlivan, Ş., Okay, A. İ., Şentürk, Y., Kar, H., 2012. Biga Yarımadası'nın genel ve ekonomik jeolojisi. 28. Yüzer, E, ve Tunay, G, (editörler), Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara, 7–74.

Emre, Ö., Doğan, A., Duman, T. Y., Özalp, S., 2011. 1:250,000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Balıkesir (NJ 35-3) Paftası, Seri No:4, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.

Eyübagil, E. E., Solak, H. İ. Kavak, U. S., Tiryakioğlu, İ., Sözbilir, H., Aktuğ, B., Özkaymak, Ç., 2021. Present-Day Strike-Slip Deformation Within The Southern Part Of İzmir Balıkesir Transfer Zone Based On GNSS Data And Implications For Seismic Hazard Assessment. Western Anatolia, *Turkish Journal of Earth Sciences*, **30**, 143-160.

Gezgin, C., Ekercin, S., Tiryakioğlu, I., Aktuğ, B., Erdoğan, H., Gürbüz, E., Osman, O., Bilgilioglu, S. S., Torun, A. T., Gündüz, H. İ., Oktar, O., Türkmen, C., Kaya, E., 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.

Gülal, E., Erdoğan, H., Tiryakioğlu, I., 2013. Research on the stability analysis of GNSS reference stations network by time series analysis. *Digital Signal Processing*, **23**, 1945–1957.

Gülal, E., Dindar, A.A., Akpınar, B., Tiryakioğlu, I., Aykut, N.O., Erdoğan, H., 2015. Analysis and management of GNSS reference station data, *Technical Gazette* **22(2)**, 407-414.

Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A., McClusky, S. C., 2018. Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.7, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Mass. Inst. of Technol.

McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gürkan, M., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, L., Kastens, G., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradisis, D., Peter, Y.,

- Prilepin, M., Reilinger, R., Sanlı, I., Seeger, H., Tealab, A., Toksöz, M. N., Veis, G., 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, **105**,5695-5719.
- McKenzie, D. P., 1972. Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, **30**, 109-185.
- Özalp, S., Emre, Ö., Doğan, A., 2013. The segment structure of southern branch of the North Anatolian fault and paleoseismological behaviour of the Gemlik Fault, NW Anatolia. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **147**, 1–17.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Uzel, B., 2013. Neogene-Quaternary evolution of the Manisa Basin: evidence for variation in the stress pattern of the Izmir-Balıkesir Transfer Zone, western Anatolia. *Journal of Geodynamics*, Special issue: Tethyan Evolution, Anatolia, **65**, 117-135.
- Poyraz, F., Hastaoglu, K. O., Kocbulut, F., Tiryakioğlu, I., Tatar, O., Demirel, M., Duman, H., Aydın, C., Ciger, A. F., Gürsoy, Ö., Türk, T., Sığırcı, R., 2018. Determination of the block movements in the eastern section of the Gediz Graben (Turkey) from GNSS measurements. *Journal of Geodynamics*, Special issue: Tethyan Evolution, Anatolia, **123(2)**, 117-135.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrance, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., AlAydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S. V., Gomez, F., AlGhazzi, R., Karam, G., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa Arabia Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Journal of Geophysical Research Atmospheres*. **111(B5)**: B05411.
- Solak, H. İ., 2020. İzmir-Balıkesir Transfer Zonu ve çevresindeki güncel deformasyonların GNSS Yöntemi ile incelenmesi, Doktora Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar,147.
- Sözbilir, H., Özkaymak Ç., Sümer, Ö., Uzel, B., Eski, S., Tepe, Ç., Softa, M., Güler, T., Yaralı, G., 2015. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, İzmir, Türkiye, 14 - 16 Ekim 2015. DEÜ, İzmir.
- Sözbilir, H., Sümer, Ö., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Güler, T., Eski, S., 2016a. Kinematic analysis and palaeoseismology of the Edremit Fault Zone: evidence for past earthquakes in the southern branch of the North Anatolian Fault Zone, Biga Peninsula, NW Turkey, *Geodinamica Acta*, **28**, 273-294.
- Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Güler, T., Yaralı G., 2016b. Edremit Körfezi ile Balıkesir ili arasında kalan diri fayların tektonik jeomorfolojisi ve paleosismolojisi. No: UDAP-G-13-18, Kalkınma Bakanlığı Projesi.
- Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Uzel, B., Sümer, Ö., Eski, S., Tepe, Ç., 2016c. Paleoseismology of the Havran Balıkesir Fault Zone: evidence for past earthquakes in the strike-slip dominated contractional deformation along the southern branches of the North Anatolian Fault in northwest Turkey, *Geodinamica Acta*, **28(4)**, 254-272.
- Sümer, Ö., Uzel, B., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., 2018. Kinematics of the Havran-Balıkesir Fault Zone and its implication on geodynamic evolution of the Southern Marmara Region, NW Anatolia, *Geodinamica Acta*, **30:1**, 306-323.
- Şengör, A. M. C., and Barka, A. 1992. Evolution of escape related strike-slip systems: Implications for distribution of collision orogens. Abstracts, 29th IGC, Japan.
- Tan, O., Tapırdamaz, M. C., Yörük, A., 2008, The Earthquakes Catalogues for Turkey, *Turkish Journal of Earth Science*, **17**, 405-418.
- Tiryakioğlu, I., Floyd, M., Erdogan, S., Gulal, E., Ergintav, S., McClusky, S., Reilinger, R., 2013. GPS constraints on active deformation in the Isparta Angle region of SW Turkey, *Geophysical Journal International*, **195**, 1455-1463.
- Tiryakioğlu, I., Yiğit, C.O., Yavaşoğlu, H. 2017a. The Determination of interseismic, coseismic and postseismic deformations caused by the Gökçeada-Samothraki earthquake (2014, Mw: 6.9) Based On GNSS Data.. *Journal of African Earth Sciences* **133**, 86-94.
- Tiryakioğlu, I., Yavaşoğlu, H., Uğur, M.A., Özkaymak, Ç., Yılmaz, M., Kocaoğlu, H., Turgut, B., 2017b. Analysis

of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van earthquakes using long-term GNSS time series, *Earth Science Research Journal*, **21(3)**, 147-156.

Tiryakioğlu, İ., Gulal, E., Solak, H.I., Ozkaymak, C., 2018. Crustal Deformation Modelling by GNSS Measurements: Southwestern Anatolia, Turkey. In: Kallel, A., Ksibi, M., Ben Dhia, H., Khélifi, N. (eds) Recent Advances in Environmental Science from the Euro-Mediterranean and Surrounding Regions. EMCEI 2017. Advances in Science, Technology & Innovation. Springer, Cham.

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*, **3**, 762-768.

Uzel, B., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Kaymakçı, N., Langereis, C. G., 2013. Structural evidence for strike-slip deformation in the Izmir-Balıkesir Transfer Zone and consequences for late Cenozoic evolution of western Anatolia (Turkey), *Journal Geodynamics*, **65**, 94-116

Yolsal Cevikbilen, S., Taymaz, T., Helvacı, C., 2014. Earthquake mechanisms in the Gulfs of Gökova, Sığacık, Kuşadası, and the Simav region (Western Turkey): Neotectonics, seismotectonics and geodynamic implications, *Tectonophysics*, **635**, 100-124.

İnternet kaynakları

1 1-<https://www.afad.gov.tr/>, (07.09.2022)