Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **21** (2021) 025502 (362-373) AKU J. Sci. Eng. **21** (2021) 025502 (362-373)

DOI: 10.35414/akufemubid.864937

Araştırma Makalesi / Research Article

Bozkurt (Denizli) Depremi Sonrası (Mw=6.0, 08.08.2019) GNSS Ölçüleri ile Kosismik Deformasyonların Belirlenmesi

Orhan DOĞAN [1], Halil İbrahim SOLAK [2], Eda Esma EYÜBAGİL [1], Çağlar ÖZKAYMAK [3,4], İbrahim TİRYAKİOĞLU [1, 4*]

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

[2] *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu.*

[3] *Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü.*

[4] *Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi.*

Sorumlu yazar e-posta: itiryakioglu@aku.edu.tr *ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-4954-7109*

orhandogan91@gmail.com *ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-0772-5517*

hibsolak@aku.edu.tr *ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-5286-0369*

edaeyubagil@gmail.com *ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-4790-0543*

caglarozkaymak@aku.edu.tr *ORCID ID: http://orcid.org/0000-0002-0377-1324*

Geliş Tarihi: 20.01.2021 Kabul Tarihi: 12.04.2021

Anahtar kelimeler
Bozkurt (Denizli) Depremi; GNSS; Ko-sismik Deformasyon; GAMIT/GLOBK

Öz

08.08.2019 tarihinde, Denizli iline bağlı Bozkurt ilçesinde Mw:6.0 (AFAD) büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. 8 km derinde meydana gelen depremin dış merkezi, yaklaşık 50 km uzunluğundaki KD-GB uzanımlı Acıgöl Grabeni üzerinde yer almaktadır. Depreme ait ana şok ve artçı sarsıntıların dağılımları, derinlik ve odak mekanizma çözümleri gibi sismolojik veriler ile bölgenin aktif tektonik yapısı ve diri fay karakteristikleri beraber değerlendirildiğinde, depreme kaynaklık eden fayın, grabenin güneydoğu kenarını sınırlayan DKD-BGB uzanımlı ve kuzeybatıya eğimli Gemiş Fayı olduğu gözlenmektedir. Bu çalışmada, bölgede yer alan sürekli ve kampanya tipi noktalardan oluşan 21 noktalı GNSS ağında gerçekleştirilen geçmiş yıllardaki ölçülerle (deprem öncesi) bölgenin hız alanı belirlenmiş ve elde edilen hız alanı yardımıyla iki boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Gerinim analizinde en büyük gerinimin deprem merkez üssüne en yakın noktada olduğu ve gerinim ile deprem çözümlerinin uyum içinde olduğu görülmüştür. Geçmiş yıllardaki ölçüler (deprem öncesi) ve 2019 yılı (deprem sonrası) ölçüleri kullanılarak, ko-sismik deformasyonlar (yüzey yer değiştirmeleri) belirlenmiştir. Deprem sonrası bölgede meydana gelen deformasyonların kuzey bileşenleri için -7.3 ile 7.5 mm arasında değişim gösterirken, doğu bileşenleri için -4.6 ile 11.6 mm arasında değişim göstermektedir.

Determination of Co-Seismic Deformation with GNSS Measurements After (Mw=6.0, 08.08.2019) Bozkurt (Denizli) Earthquake

Keywords
Bozkurt (Denizli) Earthquake; GNSS; Co-seismic Deformation; GAMIT/GLOBK

Abstract

An earthquake of Mw: 6.0 (AFAD) occurred on 08.08.2019 in Bozkurt district of Denizli province. The hypocenter of the which has depth of 8 km earthquake is located on the NE-SW trending and approximately 50 km long Acıgöl Graben. When the seismological data are evaluated, such as the distribution of the main shock and aftershocks belonging to the earthquake, depth and focal mechanism solutions and the region of active tectonic structure and faults, it is observed was caused of the earthquake by Gemiş fault which is ENE-WSW trending and northwest dipping is bounded southeast edge of Acıgöl graben. In this study, the velocity field of the region was determined by a GNSS network which is consisting of 21 sites and was performed GNSS measurements in the previous years (before the earthquake). With the help of the obtained velocities, it was performed two-dimensional strain analysis. When the strain analysis is examined, it was seen that the largest strain accumulation was at the closest sites to the earthquake epicenter and the strain field and earthquake solutions were in harmony. Using the GNSS measurements performed in the previous years (before the earthquake) and measurements in 2019, the coseismic deformations (surface displacements) were calculated. When the displacements occurred after the earthquake were examined, it was seen that vary between -7.3 and 7.5 mm for the north, it varies between -4.6 and 11.6 mm for the east.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

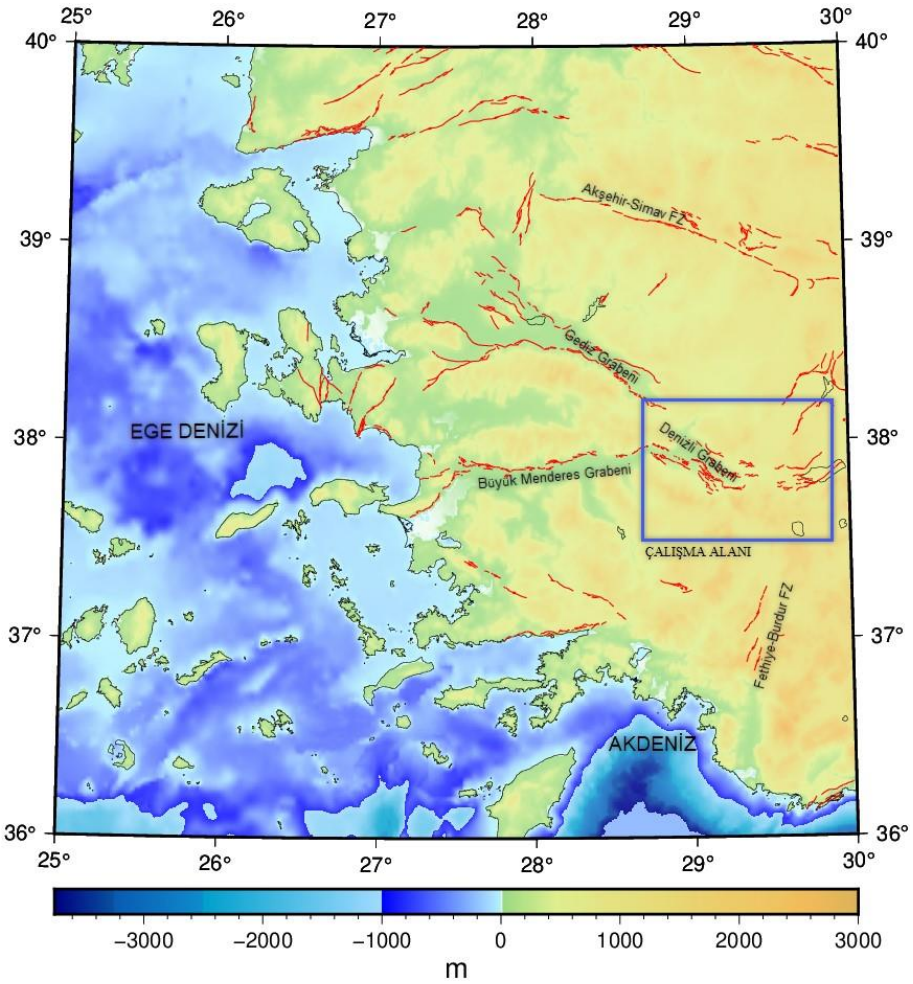
Yıllık GPS hızları ortalama 20 mm/yıl olarak verilen Batı Anadolu Graben Sistemi Sismik açıdan Dünya'nın en aktif alanlarından birisidir (Aktuğ *et al.* 2009, Özalp *et al*.2018). Bu bölge, yaklaşık D-B uzanımlı Gediz ve B. Menderes, KD-GB uzanımlı Acıgöl, Baklan, Burdur ve KB-GD uzanımlı Denizli, Dinar ve Afyon-Akşehir Grabenleri ile belirgindir (Şengör 1987, Seyitoğlu and Scott 1992, Yılmaz *et al.* 2000, Koçyiğit 2005, Özkaymak 2015; Özalp *et al*. 2018, Özkaymak *et al*. 2019). 08 Ağustos 2019 Denizli Bozkurt depreminin (Mw:6.0- 11.25 UTC) meydana geldiği Acıgöl Grabeni, yaklaşık 50 km uzunluğunda ve 10 km genişliğinde aktif bir çöküntü alanıdır (Özdemir vd. 2017, Özalp vd. 2018). Ulusal ve uluslararası sismoloji kurumları tarafından 2019 Bozkurt (Denizli) depreminin büyüklüğü, 6.0 (AFAD), 5.7 (KOERI), 5.9 (GFZ), 5.8 (IPGP) olarak verilmiştir. Deprem derinliği ise yaklaşık 7 km (AFAD) ve 8 km (KOERI) olarak açıklanmıştır. Bu çalışmada, 08.08.2019 tarihinde meydana gelen Denizli Bozkurt depremi (Mw:6.0) öncesi gerinim alanları deprem sonrası bölgedeki ko-sismik yer değiştirmeler jeodezinin uzaysal ölçme tekniklerinden biri olan GNSS (Global Navigation Satellite Systems) tekniği kullanılarak belirlenmiştir. GNSS ölçüleriyle, deprem periyotlarındaki (intersismik ko-sismik, post-sismik, dönemleri) deformasyonların belirlenmesi sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Fay düzlemi ile ilgili geometri ve kayma parametreleri bilindiğinde, bir veya daha fazla depremin yüzey nokta koordinatlarındaki deprem anı etkileri belirlenebilmektedir (Aktuğ 2003, Dönmez 2018).

Denizli ili ve çevresindeki güncel tektonik hareketleri incelemek amacıyla 2018 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK (18.FEN.BIL.19) tarafından desteklenen araştırma projesi kapsamında bölgede kampanya tipi 12 noktalı bir GNSS ağı kurulmuş ve aynı yıl kurulan ağda ölçüler gerçekleştirilmiştir. 08.08.2019 tarihinde meydana gelen Denizli Bozkurt depremi sonrası bölgedeki sürekli ve kampanya tipi noktalardan oluşan 15 noktalı GNSS ağı oluşturularak, deprem dış merkezi civarında bulunan 5 noktanın ko-sismik yüzey yer değiştirmelerinin elde edilmesi amacıyla 09.08.2019 tarihinde yeni GNSS ölçüleri yapılmıştır. Oluşturulan GNSS ağının deprem öncesi ve sonrası tüm ölçülerinin değerlendirilmesinde GAMIT/GLOBK yazılım takımı kullanılmıştır. Geçmiş ölçüleri olan GNSS noktalarında bölgenin deprem öncesi döneme ait Avrasya plakasına göre güncel hızları belirlenmiştir. Elde edilen GNSS hızları ile Geodsuit yazılımı kullanılarak bölgenin 2 boyutlu gerinim analizi yapılarak, bölgenin gerinimleri belirlenmiştir. Değerlendirilen GNSS ölçülerinden elde edilen deprem öncesi ve sonrası koordinat farkları alınarak ko-sismik yer değiştirmeler elde edilmiş ve incelenmiştir.

2.Çalışma Bölgesinin Tektonik Yapısı ve Depremselliği

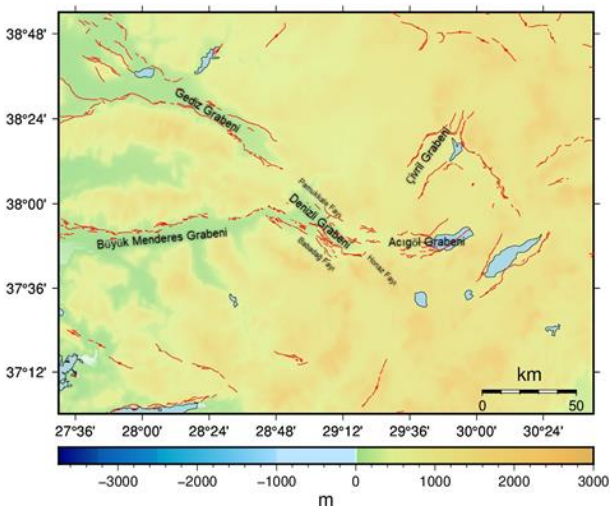
Güneybatı Anadolu'da yer alan Ege bölgesi, D-B, KB-GD ve KD-GB uzanımlı birçok horst-graben sistemlerine sahiptir (Ketin 1968, McKenzie 1978, Dewey and Şengör 1979, Şengör 1982, Jackson and McKenzie 1984, Şengör *et al.* 1984, Şengör 1987). Pliyosen'den günümüze değin bölgedeki genişleme rejiminin neden olduğu deformasyon son olarak 2019 Bozkurt (Denizli) depremi ile bir kez daha kanıtlanmıştır. Yapılan GPS çalışmalarının sonuçları, bölgenin yaklaşık 20 mm/yıl bir hız alanına sahip olduğunu ortaya koymakta ve hakim olan aktif genişleme rejiminin K-G yönlü olduğunu doğrulamaktadır. (McClusky *et al.* 2000, Lenk *et al.* 2003, Reilinger *et al.* 2006, Aktuğ *et al.* 2009, Tiryakioğlu *et al.* 2013, Doğru *et al*. 2014).

Ege graben sistemi, bölgenin genel deformasyon sisteminin anlaşılmasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle Büyük Menderes, Küçük Menderes ve Gediz grabenleri bunların yanı sıra, grabenleri sınırlayan normal bileşene sahip faylar ile ana faylara ait fay parçaları, bölge güncel tektoniğini kontrol altında tutmakta ve sismik aktivitesi ile doğrudan ilişkilidir (Le Pichon and Angelier 1979, Bozkurt 2001, Tiryakioğlu 2012, Kartal *et al.* 2019) (Şekil 1).



Şekil 1. Batı Anadolu'nun ana neotektonik yapıları.

08 Ağustos 2019 Denizli Bozkurt depreminin (Mw:6.0- 11.25 UTC) meydana geldiği Acıgöl Grabeni, yaklaşık 50 km uzunluğunda ve 10 km genişliğinde aktif bir çöküntü alanıdır (Özdemir vd. 2017, Özalp *et al.* 2018). Grabenin Kuzeybatı kenarı, yaklaşık 30 km uzunluğunda KD-GB genel uzanımlı güneydoğuya eğimli normal fay karakterindeki Maymundağı Fayı ile kontrol edilirken, güneydoğu kenarı, yaklaşık 42 km uzunluğunda KD-GB uzanımlı kuzeybatıya eğimli normal fay karakterinde çalışan Gemiş Fayı ile kontrol edilmektedir (Özdemir vd. 2017, Emre *et al.* 2018, Duman *et al.* 2018). Maymundağı Fayı, Dazkırı ve Bozkurt olmak üzere iki geometrik fay segmentinden oluşmaktadır. Gemiş Fayı, Başmakçı (Afyonkarahisar) ile İnceler (Denizli) kuzeyi arasında uzanan, Özdemir vd. (2017) tarafından Akpınar ve Çaltı olarak isimlendirilen iki geometrik fay segmentinden oluşur. Araştırmacılara göre, Başmakcı ve Gemiş arasında KD-GB doğrultusunda uzanan Akpınar segmenti yaklaşık 20 km uzunluğunda iken, Gemiş güneyinden itibaren D-B uzanımına dönen Çaltı segmenti yaklaşık 22 km uzunluğundadır. Maymundağı ve Gemiş Fayları üzerinde yapılan fay düzlemi analizleri KKB-GGD yönlü bir genişlemeye işaret etmektedir (Özdemir vd. 2017). Derinlikleri 13-14 km olan bu faylara ait diri fay segmentleri, 6.23 ile 6.63 arasında değişen maksimum deprem üretme büyüklüklerine sahiptirler (Duman *et al.* 2018).



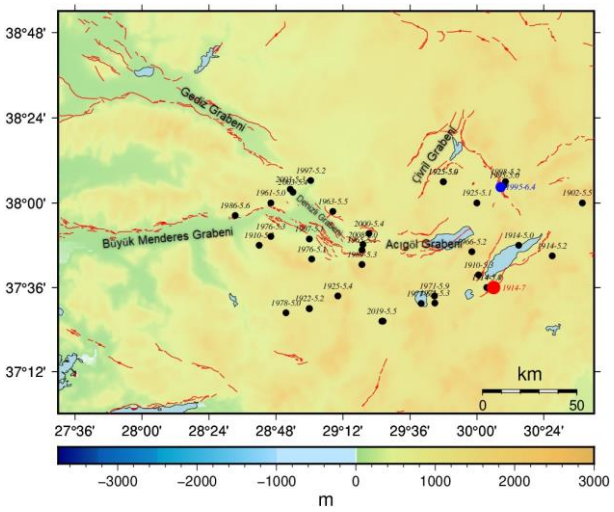
Şekil 2. Denizli ve çevresinde yer alan grabenleri ve graben kenar faylarını gösteren harita (Emre vd. 2011'den düzenlenmiştir).

Ege Bölgesi, sahip olduğu güncel karmaşık tektonik yapı nedeniyle gelecekte deprem üretme potansiyeli yüksek bir bölgedir. Bu nedenle, geçmişte meydana gelen depremlerin incelenmesi yapılacak çalışmalar bakımından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 08.08.2019 Bozkurt depreminin meydana geldiği Denizli ili ve yakın çevresinin tarihsel ve aletsel döneme ait depremleri incelenmiştir. Bölgeye ait tarihsel (M.Ö. 2000-M.S. 1900) dönemde şiddeti VII ve daha büyük depremlerin incelenmesi için Türkiye ve Yakın Çevresi İçin Geliştirilmiş Tarihsel Dönem Deprem Kataloglarından yararlanılmıştır (Ambraseys 2009, Baştürk vd. 2017) (Çizelge 1).

Çizelge 1. Tarihsel dönemde meydana gelen depremler (Kadirlioğlu vd. 2017)

Enlem	Boylam	Yer	Zaman	Şiddet
37.75	29.25	Honaz, Denizli	MÖ 65-00-00	VII
38.00	30.12	Dinar (Apamea)	MÖ 88-00-00	IX
38.10	30.15	Dinar ve Yöresi	MS 53-00-00	VIII
37.90	29.20	Pamukkale, Honaz, Denizli	MS 60-00-00	IX
38.01	29.03	Denizli (Laodikya)	MS 138-00-00	VII
37.93	28.93	Pamukkale, Denizli	MS 200-00-00	IX
37.84	29.09	Denizli (Hierapolis, Laodicea, Tripolis)	MS 494-00-00	IX
37.77	29.08	Denizli	MS 1366-00-00	VII
37.80	29.30	Honaz-Denizli	MS 1651-06-09	VIII
37.80	29.10	Denizli, Sarayköy, Pamukkale	MS 1703-00-00	VIII
37.77	29.08	Denizli	MS 1717-11-19	IX
38.10	30.10	Dinar-Afyonkarahisar, Çivril-Denizli, Uşak	MS 1875-05-03	IX
38.70	29.40	Uşak	MS 1875-05-11	VII
37.80	29.10	Denizli ve Geniş Yöresi	MS 1887-01-00	VII
37.77	29.08	Denizli	MS 1897-11-27	VII
37.90	28.10	Nazilli, Aydın, Denizli, Uşak	MS 1899-09-20	IX

Tarihsel döneme ait depremler incelendiğinde; büyük çoğunluğunun Honaz, Pamukkale ve Sarayköy civarında meydana gelen depremler olduğu görülmektedir (Tablo 1). 08.08.2019 Denizli-Bozkurt depreminin batı ucunda meydana geldiği Acıgöl grabeninde ise tarihsel döneme ait bir deprem kaydına rastlanmamaktadır. Grabenin kuzeydoğusundaki Dinar ve çevresinde meydana gelen M.Ö. 88 ve M.S. 53 depremleri VIII ve IX şiddetindedir. Uşak merkezli; Dinar, Çivril, Denizli ve civarında yıkıcı etkiye sahip olduğu M.S. 1875 depreminin ise IX şiddetinde olduğu bilgisine ulaşılmaktadır (Ambraseys 2009, Baştürk vd. 2017). Denizli ili ve yakın çevresinin aletsel dönemdeki (MS 1900-Günümüz) M≥5.0 depremlerini incelemek için ise Kadirioğlu vd. 2017 tarafından yayınlanan "Türkiye ve Yakın Çevresi İçin Geliştirilmiş Aletsel Dönem (1900-2012) Deprem Kataloğu"ndan yararlanılmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Denizli ili ve yakın çevresinin aletsel dönemdeki M≥5.0 depremleri ve konumları (Kadirlioğlu vd. 2017, Siyah: M≥5.0, Mavi: M≥6.0, Yeşil: M≥7.0).

Denizli ili ve yakın çevresinin aletsel döneme ilişkin 5 ve üzeri büyüklükte toplamda 38 adet deprem kaydına ulaşılmıştır. Bu depremler incelendiğinde, sık aralıklarla Mw=5-5.9 arasında değişen depremlerin meydana geldiği ve bu depremlerin Denizli Grabeni ve çevresinde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 3). Denizli-Bozkurt depreminden (08.08.2019, Mw=6.0) önce bölgeye ait Mw≥6 iki depremin kaydına ulaşılmıştır. Bölgede ağır hasara yol açtığı bilgilerine ulaşılan bu depremler; Acıgöl grabeninin güneydoğusunda meydana gelen ve dışmerkezi Burdur Grabeni'nin güneybatısında yer alan 03.10.1914 tarihindeki Mw= 7.0 Burdur depremi ile Acıgöl grabeninin kuzeydoğusunda meydana gelen 01.10.1995 tarihindeki Mw=6.4 Dinar depremidir. Bunların yanı sıra bölgedeki aktif fayların çok büyük depremler (M>7.0) üretmedikleri görülmektedir (Şekil 3). Denizli-Bozkurt depreminin (08.08.2019, Mw:6) batısında meydana geldiği Acıgöl Grabeni çevresinde ise Mw=5-5.4 arasında değişen depremlerin kayıtlarına ulaşılırken, graben içerisinde 19.12.1958 (Mw:4.7), 25.04.1964 (Mw: 4.7), 24.11.1989 (Mw: 5.2); 25.02.1998 (Mw: 4.6) tarihlerinde orta şiddetli depremler meydana gelmiştir (Duman *et al.* 2018).

2.1 08.08.2019 Denizli-Bozkurt Depremi ve Meydana Gelen Deformasyonlar

8 Ağustos 2019 tarihinde Çivril ve Acıgöl Grabenleri arasında, Denizli'nin Bozkurt ilçesi yakınlarında Mw:6.0 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Depremin 6 dakika öncesi, 4.2 büyüklüğünde öncü bir deprem meydana gelmiştir. Deprem Denizli, Afyon, Kütahya, Aydın, Burdur, İzmir ve Muğla çevre illerden hissedilmiştir. Deprem sonrası ilk 36 saatte, 65 artçı deprem meydana gelmiştir. İlgili kurumlar tarafından depremde can ve mal kaybının olmadığı ve hasarın en çok Denizli Bozkurt ilçesine bağlı Dutluca Mahallesi olduğu açıklanmıştır (Sözbilir vd. 2019).

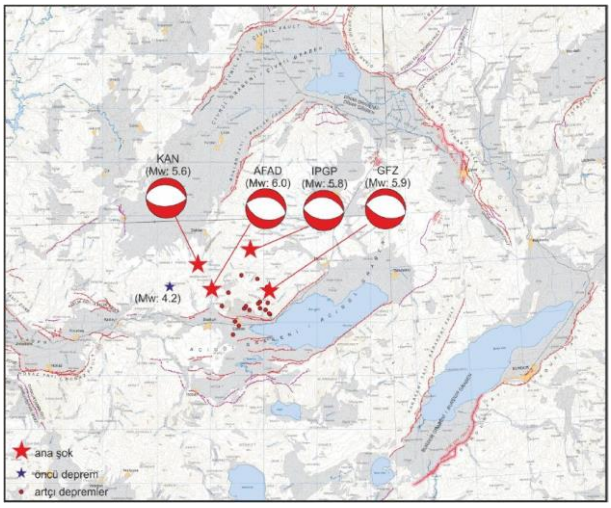
Depremin büyüklüğü (Mw), farklı kuruluşlar tarafından 5.7-6.0 olarak açıklanmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2. Denizli Bozkurt'ta 8 Ağustos 2019 tarihinde meydana gelen depremin verileri. Kısaltmalar; KAN: B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü; AFAD: T.C. Başbakanlık Afet ve Acil Durun Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Başkanlığı; GFZ: Almanya Yerbilimleri Araştırma Merkezi; IPGP: Paris Yer Fiziği Enstitüsü. (Odak mekanizma çözümleri için Şekil 4'e bakınız).

No	Tarih	Boylam	Enlem	Büyüklük (Mw)	Derinlik	Odak Mekanizma Çözümü	Fayın Doğrultusu	Kaynak
1	08.08.2019	29.612	37.910	5.6	8	Eğim atımlı normal fay	D-B	KAN
2	08.08.2019	29.616	37.8500	6.0	7	Eğim atımlı normal fay	BKB-DGD	ERD
3	08.08.2019	29.75	37.91	5.9	10	Eğim atımlı normal fay	BKB-DGD	GFZ
4	08.08.2019	29.697	37.948	5.8	13	Eğim atımlı normal fay	BKB-DGD	IPGP

Ulusal ve uluslararası sismoloji kurumları tarafından yapılan odak mekanizma çözümleri incelendiğinde; Bozkurt (Denizli) depreminin sismik kaynağı, yaklaşık D-B uzanımlı ve eğim atımlı normal fay niteliği taşımakta ve fayın ürettiği depremin dış

merkezi Çivril grabeni ile Acıgöl grabeni arasında kalan yükseltide belirlenmiştir (Şekil 4).



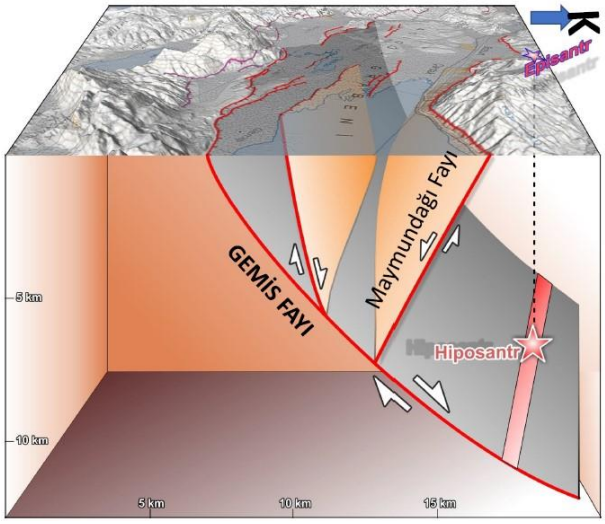
Şekil 4. Denizli Bozkurt depreminin çözümleri (1/250.000 diri fay haritası, Emre ve Doğan 2010'dan alınmıştır).

Dokuz Eylül Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezi (DAUM) ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi (DUAM) tarafından deprem sonrasında ortak arazi/ofis çalışmaları gerçekleştirilerek deprem sonrası meydana gelen hasarlar tespit edilerek, raporlanmıştır. Bölgede yapılan arazi çalışmalarında, Maymundağı Fayı (Emre *et al.* 2018, 85-1 numaralı segment) boyunca gözlenmiştir. Özellikle kerpiç malzeme ile yapılmış olan binalarda çatlak ve yarıklar şeklinde meydana gelmiştir. Araştırmacılar arazide yapılan ölçümlere göre, Bozkurt (Denizli) depreminin şiddetini VII olarak değerlendirmişlerdir (Sözbilir vd. 2019) (Şekil 5).



Şekil 5. Deprem nedeniyle binalarda oluşan hasarlar.

Çalışmadan elde edilen tüm veriler; 3 boyutlu blok diyagram üzerinde değerlendirildiğinde depremin sismik kaynağının Acıgöl graben sistemine ait Gemiş fayı (Emre *et al.* 2018, 85-2 numaralı segment) olduğu düşünülmektedir. Odak mekanizma çözümleri incelendiğinde, 45° eğime sahip faylanma yüzeye taşındığında yaklaşık 10 km uzaklıkta bulunan Acıgöl graben sistemine ait Gemiş Fayı ile çakışmaktadır (Şekil 6).

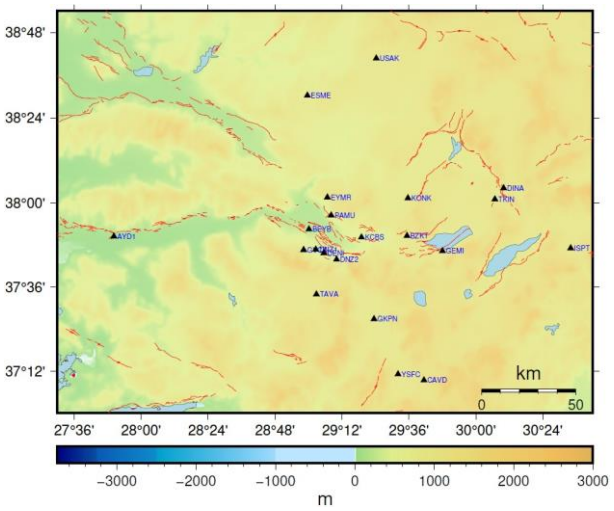


Şekil 6. Bozkurt (Denizli) Depreminin sismik kaynağını gösteren 3 boyutlu blok diyagram (Sözbilir vd. 2019).

Geçmiş yıllarda yapılan jeolojik çalışmalarda ise Maymundağı Fayı'nın Bozkurt segmenti üzerinde 3, Gemiş Fayı'nın Çaltı segmenti üzerinde ise 5 adet paleosismolojik hendek çalışması gerçekleştirilmiştir (Özdemir vd. 2017). Bozkurt segmenti üzerinde yapılan çalışmalarda, güneye eğimli bir dizi normal fay ile karakteristik yaklaşık 10 metrelik bir zon içerisinde, Kuvaterner'de yüzey yırtılması ile sonuçlanmış en az 3 deprem meydana geldiği ve bu depremlerde ortalama 30-50 cm düşey yer değiştirmeler geliştiği gözlenmiştir. Çaltı segmenti üzerinde yapılan çalışmalarda ise kuzeye eğimli tekil bir normal fay üzerinde, Kuvaterner'de yüzey yırtılması ile sonuçlanmış ve fay kolüvyal kamaları ile tanımlanabilen en az 3 deprem meydana geldiği gözlenmiştir (Özdemir vd. 2017).

3. Çalışma Bölgesinde Kurulan GNSS Ağı ve GNSS Ölçüleri

Denizli ili ve çevresindeki tektonik hareketleri GNSS yöntemiyle incelemek amacıyla Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırmalar Proje Koordinatörlüğü tarafından (18.FEN.BIL.19) desteklenen araştırma projesi kapsamında bölge içerisinde yer alan fayların geometrilerine uygun olarak ve çalışma bölgesini kapsayacak şekilde bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu ağda yer alan noktalar, daha önceden tesis edilmiş olan ve yalnızca haritacılık faaliyetleri için kullanılan pilye tesislerdir. Bu noktaların önceki yıllara ait ölçüleri bölgede daha önce yapılan tektonik çalışmalar olan 104Y035, 108Y298 TUBITAK projeleri kapsamında tesis edilmiş olan ve hız verisi yayınlanan noktalar kurulan ağa dahil edilmiştir (Erdoğan *et al.* 2008, Tiryakioğlu 2012, Gülal *et al.* 2013). Ayrıca çalışma bölgesinde bulunan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) GNSS ağına ait 6 adet sürekli gözlem yapan referans istasyonu da kurulan ağa dahil edilerek toplam 21 noktalı bir GNSS ağı tasarlanmıştır. Çalışma bölgesi için tasarlanan GNSS ağında yer alan tüm noktalara ait bilgiler ve nokta konumları aşağıda verilmiştir (Şekil 7) (Çizelge 5.1).



Şekil 7. Çalışma bölgesi ve GNSS ağındaki noktaların coğrafi dağılımı.

Tasarlanan toplam 21 noktalı ağın geçmiş yıllara ait en az 1 en çok 3 kampanya olarak ölçüleri (30 sn veri kayıt aralığı) temin edilmiştir. Bölgenin hız alanını ve gerinim alanlarını belirlemek için 2018 yılının Ağustos ayında ağa ait ilk GNSS ölçüleri gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3. Oluşturulan GNSS ağı ve gerçekleştirilen kampanya ölçü yılları

Nokta No	GNSS Nokta Adı	Enlem	Boylam	İl	İlçe	Tesis Türü/Kurum
1	AYD1	27.838	37.841	Aydın	Merkez	Pilye/CORS TR
2	BEYB	29.003	37.874	Denizli	Sarayköy	Pilye/Bu çalışma
3	BZKT	29.589	37.844	Denizli	Bozkurt	Pilye/108Y298
4	CAV1	29.689	37.159	Burdur	Çavdır	Pilye/CORS TR
5	CAVD	29.690	37.156	Burdur	Çavdır	Pilye/CORS TR
6	DENI	29.092	37.762	Denizli	Merkez	Pilye/CORS TR
7	DINA	30.166	38.069	Afyon	Dinar	Pilye/CORS TR
8	DNZ1	29.044	37.779	Denizli	Merkez	Pilye/Bu Çalış.
9	DNZ2	29.168	37.731	Denizli	Merkez	Pilye/Bu Çalış.
10	ESME	28.994	38.505	Uşak	Eşme	Pilye/HGM
11	EYMR	29.113	38.025	Denizli	Eymir	Pilye/Bu Çalış.
12	GEMI	29.801	37.771	Denizli	Çardak	Pilye/Bu Çalış.
13	GKPN	29.392	37.448	Denizli	Merkez	Pilye/108Y298
14	GVCK	28.972	37.777	Denizli	Merkez	Pilye/Bu Çalış.
15	ISPT	30.567	37.785	Isparta	Merkez	Pilye/CORS TR
16	KCBS	29.317	37.836	Denizli	Honaz	Pilye/Bu Çalış.
17	KONK	29.595	38.022	Denizli	Konak	Pilye/Bu Çalış.
18	MUG1	28.356	37.214	Muğla	Merkez	Pilye/CORS TR
19	MUGL	28.364	37.216	Muğla	Merkez	Pilye/108Y298
20	TAVA	29.048	37.566	Denizli	Tavas	Pilye/105Y035
21	TKIN	30.114	38.016	Afyon	Dinar	Pilye/105Y035
22	USAK	29.405	38.679	Uşak	Merkez	Pilye/CORS TR
23	YSFC	29.535	37.185	Burdur	Yusufça	Pilye/108Y298

Ağda yer alan ve bu çalışma kapsamında oluşturulan noktalar eş zamanlı, minimum 8 saat ve 2 gün tekrarlı olarak ölçülmüştür.

Ölçü kampanyaları sırasında, tüm GNSS alıcılarının veri kayıt aralıkları 15 sn. olarak alınarak, faz başlangıç belirsizliğinin daha hassas bir biçimde modellenmesi amaçlanmıştır. Meydana gelen

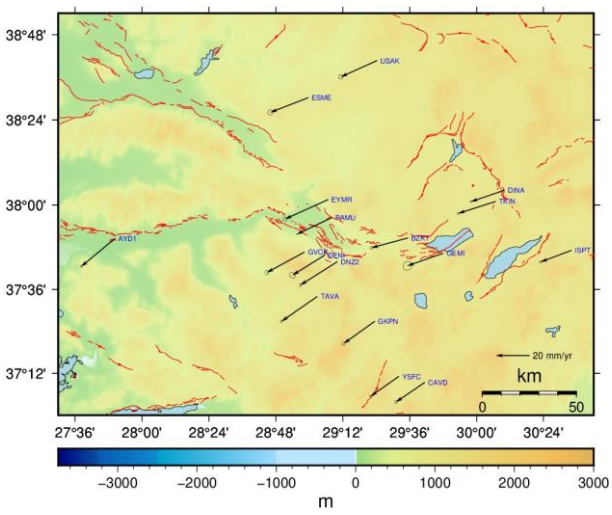
deprem sonrası oluşturulan 21 noktalı GNSS ağında yer alan ve depremin dış merkezine yakın konumda bulunan 4 GNSS noktasının 09.08.2019 tarihinde yeni GNSS ölçüleri 15 sn veri kayıt aralığı ile gerçekleştirilmiş ve ağda yer alan TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonlarının 08.08.2019 ve 09.08.2019 tarihlerine ait 30 sn.'lik RINEX verileri temin edilmiştir. 2018 ve 2019 yıllarında kampanya tipi tüm noktaların ölçülerinde THALES Z-MAX ve ASHTECH Z-EXTREME antenleri kullanılmış ve 30 saniye aralıklı veri kaydı esas alınmıştır. GNSS ağının ölçü kampanyalarına ait bilgiler Çizelge 4'de verilmiştir.

Çizelge 4. GNSS Ağının Ölçü Kampanya Bilgileri

Kampanya No	Tarih	Ölçülen Nok. Sayısı	Ölçü süresi
1. Kampanya	Önceki Çalışmalar	15	2 gün 8 sa.
2. Kampanya	Temmuz 2018	8	2 gün 12 sa.
3. Kampanya	Ağustos 2019	8	2 gün 12 sa.

GNSS ağından elde edilen tüm ölçülerin değerlendirilmesi ve analizinde Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılım takımı kullanılmıştır (Herring *et al.* 2018). GAMIT modülü, GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinin ilk aşamasında kullanılmıştır. GAMIT yazılımı RINEX dosyalarının 30 sn epoğa karşılık gelen verilerini değerlendirmektedir. GAMIT ile noktaların; yaklaşık üç boyutlu koordinatları, uydu yörünge bilgileri, atmosferik zenit gecikmeleri ve yer yönelim parametreleri girdi verisi olarak kullanılan verilere ağırlık verilmeden elde edilmektedir. Bu aşamada, gözlem yapılan GNSS ağını global bir ağ ile ilişkilendirmek, hem de mm duyarlıktaki koordinatlardan yararlanarak, yörünge ve dünya dönme parametrelerinin daha hassas hesaplanmasını sağlamak amacıyla 21 adet IGS istasyonunun koordinatlarından yararlanılmıştır. IGS istasyonlarının seçiminde çalışma bölgesine yakınlık ve homojen dağılım gözetilmiştir.

Değerlendirmenin ikinci aşamasında GLOBK modülü kullanılmıştır. GLOBK, farklı zamanlarda yapılan yersel ya da uzaysal ölçüleri Kalman Filtreleme Tekniği kullanarak birleştirme işlemini yapmaktadır. GLOBK modülü ilk olarak, nokta konum değişikliklerine bağlı zaman serilerinin üretilmesinde kullanılmıştır. GNSS ağına ait noktaların zaman serileri üretilerek, noktaların yatay ve düşey yöndeki deprem etkileri incelenmiştir. GLOBK modülünün son aşamasında ise; GAMIT modülü ile elde edilen günlük çözümler birleştirilerek, değerlendirme esnasında kullanılan IGS istasyonlarından uygun olanları seçilerek, bu istasyonların hassas koordinatlarından yararlanılmış ve Avrasya plakası referans seçilerek, noktalara ait hız bilgileri elde edilmiştir. Denizli ili ve yakın çevresinde yer alan noktaların hareketlerini değerlendirmek amacıyla oluşturulan 23 noktalı GNSS ağının 08.08.2019 tarihinde meydana gelen depremin etkisi dikkate alınmadan oluşturulan hız alanı Avrasya plakası için 1.2 mm/yıl, olarak elde edilmiştir (Doğan, 2021). Yapılan değerlendirmeler sonucu Avrasya sabit olarak elde edilen hızlar Şekil 8'de verilmiştir.



Şekil 8. Deprem öncesi bölge hız alanı (Avrasya sabit).

3.1 Gerinim Alanı ve Ko-sismik Deformasyonların Belirlenmesi

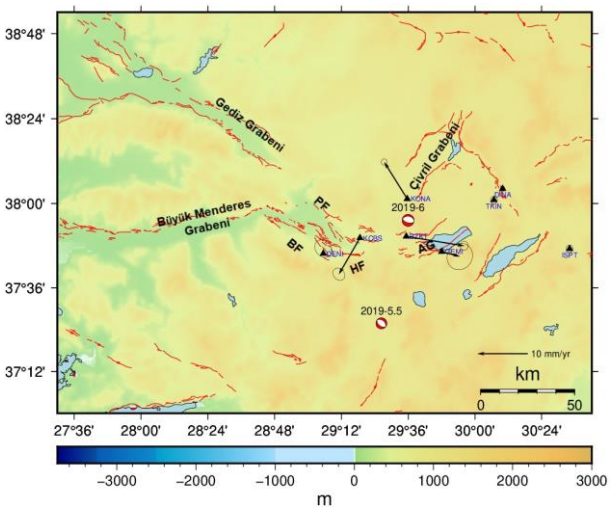
Günümüzde depremlerin meydana gelmesini açıklamada kabul gören "Elastik Atım Teorisi" ile ortaya çıkan sismik döngü kavramının evrelerinden biri olan ko-sismik dönem depremin meydana geldiği kısa zaman dilimini ifade etmektedir (Reid 1910, Lambeck 1988, Aktuğ 2003, Dönmez 2018). Sismik Moment Büyüklüğü (Mw), 6.0'dan büyük

olan depremlerin, etki alanına giren bölgedeki nokta koordinatları üzerinde önemli değişiklikler yaptığı bilinmektedir (Aktuğ 2003).

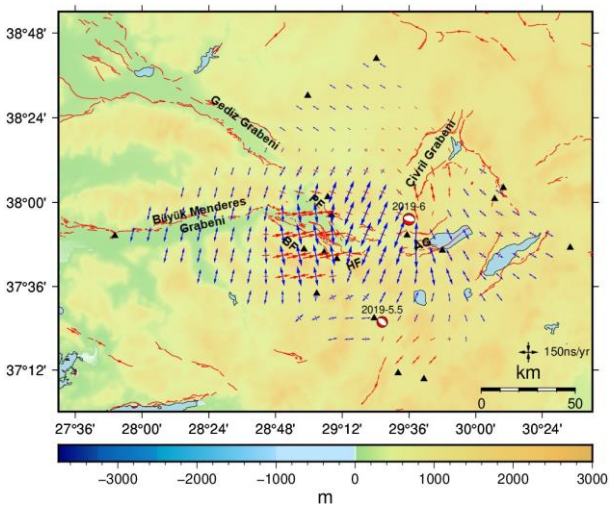
08 Ağustos 2019 günü saat 11:25 (UTC)'de Mw:6.0 Denizli-Bozkurt depreminin ana şok sonrası bölgede oluşturulan GNSS ağında nokta koordinatlarındaki deprem anı etkilerinin belirlenmesi için, temel girdiler olarak koordinat değişimleri kullanılmıştır. İlk olarak, oluşturulan 21 noktalı GNSS ağına ait TUSAGA-Aktif (CORS-TR) istasyonunun (AYD1, CAV1, DINA, DNZ1, ISPT, USK1) 08.08.2019 tarihine ait koordinatları analiz edilerek, deprem saati olan 11:25 (UTC) öncesi ve sonrası koordinatlarının ortalamaları alınmıştır. Daha sonra deprem öncesi ve sonrasına ait koordinat ortalamalarının farkları alınarak, bu istasyonlardaki ko-sismik yer değiştirmeler belirlenmiştir. Depremin dış merkezine yakın konumda bulunan ve 2018 yılında ölçüleri gerçekleştirilen kampanya tipi 2 GNSS noktasının (BZKT, GEMI) GAMIT/GLOBK iteratif çözümleri ile elde edilen deprem öncesi koordinatları elde edilen hızlardan yararlanılarak ötelenmiş, daha sonra ise koordinat farkları alınarak ko-sismik yer değiştirmeleri belirlenmiştir (Doğan 2021).

Yerkabuğunda meydana gelen deformasyonların incelenmesinde, gerinim analizi önem taşımaktadır. Çalışma bölgesinde 08.08.2019 tarihinde Mw:6.0 büyüklüğünde meydana gelen Denizli-Bozkurt depremi sonrası, depremin bölgede oluşturduğu deformasyon hakkında yorum yapabilmek için iki boyutlu gerinim analizi yapılmıştır. Gerinim analizi için Geodsuit yazılımı kullanılmıştır (http://www.mdsoft.com.tr/Pages/Product_Geodsuit). Bu yazılımda girdi verisi olarak GNSS ölçülerinin değerlendirilmesinden elde edilen hızlar ve bu hızların karesel ortalama hataları kullanılmaktadır. Çalışma bölgesi 0.1° x 0.1° derecelik gridlere ayrılarak, bölgeye ait elde edilen güncel hız bilgileri girdi olarak kullanılmış ve her grid köşesine ilişkin gerinim alanı hesaplanmıştır.

Çalışma bölgesinin elde edilen ko-sismik yer değiştirmeleri Şekil 9'da, bölgenin gerinim alanı ve deprem odak mekanizma çözümü Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 9. 2019 Bozkurt depremi sonrası noktalarda meydana gelen ko-sismik yer değiştirmeler.



Şekil 10. Bölge gerinim alanı, Bozkurt (Mw:6.0) ve Acıpayam (Mw:5.5) deprem çözümleri.

4. Tartışma ve Sonuç

Depreme ait odak mekanizma çözümleri, depremin yaklaşık D-B uzanımlı ve eğim atımlı normal fay niteliği taşıyan bir faydan kaynaklandığına işaret etmektedir. Deprem Sismolojik veriler ile bölgenin aktif tektonik yapısı beraber değerlendirildiğinde 2019 Bozkurt (Denizli) depreminin (Mw:6.0) yaklaşık D-B uzanımlı ve kuzeye doğru eğimli olan Gemiş Fayı'na ait Çaltı Segmenti üzerinde meydana geldiği anlaşılmaktadır.

Şekil 8 incelendiğinde, GNSS ağında yer alan noktaların 20-25 mm/yıl arasında değişen hızlarla B-GB yönünde hareket ettiği görülmektedir. Deprem öncesi GNSS verilerinden elde edilen hız alanının daha önce yapılmış olan ve bölgeyi kapsayan çalışmalarda yer alan hız alanları ile genel olarak

uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir (Tiryakioğlu 2012).

Şekil 9'da yer alan gerinim alanı incelendiğinde bölge genelinde açılma bileşenlerinin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle Acıgöl-Denizli Grabeni arasında kalan bölgede (BZKT-GVCK) açılmalar maksimum seviyelerdedir. Bu bölgede BZKT çevresinde 200 ns/yıl'a ulaşan ve açılma bileşeni baskın (KD-GB) gerinimler görülmektedir. Yine bu bölgede 50 ns/yıl civarında KB-GD yönlü sıkışma bileşeni de görülmektedir. Bu durumun episantr noktası BZKT'ye 5 km uzaklıkta olan ve 2019 yılında meydana gelen Mw:6 Bozkurt depremi ile uyum içerisinde olduğu değerlendirilmektedir. Yine bölge güneyinde 2019 yılında meydana gelen Mw:5.5 büyüklüğündeki depreme ait odak çözümü incelendiğinde bölgede nokta yoğunluğunun az olmasına karşın elde edilen gerinim alanı ile arasında uyum gözlenmektedir (Doğan 2021).

Gerinim alanında dikkat çeken bir diğer bölge ise nokta yoğunluğunun en fazla olduğu Denizli Grabeni'dir. Bu bölgede sıkışma bileşenleri daha baskındır. Grabenin güneyinde maksimum olmak üzere BF-PF-HF üçgeninde yaklaşık K-G açılmalar (150-170 ns/yıl) ve D-B sıkışmalar (120-250 ns/yıl) görülmektedir. Bölgedeki yüksek gerinimlerin sebebi olarak aletsel dönemde yıkıcı bir deprem (M>6) meydana gelmemiş olması değerlendirilmektedir. Bu nedenle bölgenin jeodezik yöntemlerle periyodik olarak izlenip modellenmesi önem arz etmektedir (Şekil 9).

2019 Bozkurt depreminin (Mw:6) ko-sismik etkilerini görmek amacıyla bölgede yer alan noktaların koordinatları deprem epoğuna ötelenmiştir. Deprem öncesi ve sonrasındaki koordinat farklarından elde edilen ko-sismik deformasyonlar Şekil 10'da verilmiştir. Şekil 10 incelediğinde, deprem dış merkez konumuna yakın bulunan BZKT, GEMI, KCBS ve KONA noktaları için önemli yer değiştirmeler görülmektedir. Bu noktaların kuzey bileşenleri, -7.3 ile 7.4 mm arasında iken doğu bileşenleri -4.6 ile 11.6 mm arasındadır. Şekil 10 incelendiğinde, doğu bileşenleri arasında maksimum ko-sismik yer değiştirme deprem üssüne en yakın konumda bulunan BZKT noktasında meydana gelmiştir. 15 noktalı GNSS ağının diğer noktalarında (CAV1, DNZ2, EYMR, USK1) önemli yer değiştirmeler gözlenmemiştir.

Teşekkür

Bu çalışma AKU BAPK (Proje No: 18.FEN.BİL.19), tarafından desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

Aktuğ, B., 2003. Elastik yarı-uzay modelleri ve depremsel koordinat değişimlerine dinamik bir yaklaşım. *Harita Dergisi*, **70(129)**, 1-16.

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

Ambraseys, N., 2009. Earthquakes in the mediterranean and middle east: A multidisciplinary study of seismicity up to 1900. Cambridge University Press.

Başarır Baştürk, N., Özel, N.M., Altınok, Y. ve 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 34, 239. Ankara-Türkiye.

Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey – a synthesis, *Geodinamica Acta*, **14(1-3)**, 3-30.

Dewey, J.F. and Şengör A.M.C., 1979. Aegean and surrounding regions: Complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America*, **90 (1)**, 84–92.

Doğan, O., 2021. Denizli Bölgesinin Gerinim Alanlarının Jeodezik Yöntemlerle Belirlenmesİ, Yüksek Lisans Tezi, A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 45.

Doğru, A., Görgün, E., Özener, H. and Aktuğ, B., 2014. Geodetic and seismological investigation of crustal deformation near Izmir (Western Anatolia). *Journal of Asian Earth Sciences,* **82**, 21-31.

Dönmez, E., 2018. Gediz Fayı Yerkabuğu Hareketlerinin GNSS Gözlemleri ile İzlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, A.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyonkarahisar, 67.

Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioğlu, F.T., Başarır, Baştürk, N., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R.F., Kalafat, D., Karakaya, F., Eroğlu, Azak, T., Özel, N.M., Ergintav, S., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A. and Kurt, A.İ., 2018. Seismotectonics database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16(8)**, 3277-3316.

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

Erdoğan, S., Şahin, M., Yavaşoğlu, H., Tiryakioğlu, İ., Erden, T., Karaman, H., Tarı, E., Bilgi, S., Tüysüz, O., Baybura, T., Taktak, F., Telli, A.K., Güllü, M., Yılmaz, İ., Gökalp, E., and Boz Y., 2008. Monitoring of Deformations Along Burdur Fethiye Fault Zone with GPS, *Journal of Earthquake Engineering*, **12**, 109-118

Gülal, E., Tiryakioğlu, İ., Erdoğan, S. Aykut, N. O., Baybura, T., Akpınar, B., Telli, A. K., Ata, E., Gümüş, K., Taktak, F., Yılmaz, İ., Öcalan, T., Kalyoncuoğlu, Ü. Y., Dolmaz, M. N., Elitok, Ö., Erdoğan, H., and Soycan, M., 2013 Tectonic activity inferred from velocity field of GNSS measurements in Southwest of Turkey. *Acta Geodaetica et* Geophysica, **48**, 109–121.

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

Jackson, J. and McKenzie, D., 1984. Active tectonics of the Alpine–Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, **77(1)**, 185-264.

Kadirioğlu, F.T., Kartal, R.F., Kılıç, T., Kalafat, D., Duman, T.Y., Eroğlu Azak, T., Özalp, S. ve Emre, Ö., 2017. Türkiye ve yakın çevresi için geliştirilmiş aletsel dönem (1900-2012) deprem kataloğu (M ≥ 4,0). Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı (Ed. T.Y. Duman). Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi-34, 1246. Ankara-Türkiye.

Kartal, R. F., Demirtaş, R and Kadirioğlu, F. T., 2019. Seismotectonic evaluation of August 08, 2019 Bozkurt (Denizli) earthquake (Mw 6.0): western Anatolia. 20th Anniversary of the 1999 Marmara Earthquakes, 23th Active Tectonics Research Group Meeting. In: İTÜ Süleyman Demirel Kültür Merkezi.

Ketin, İ., 1968. Relations between general tectonic features and the main earthquake regions of Turkey. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, **71(71)**.

Koçyiğit, A., 2005. The Denizli graben–horst system and the eastern limit of the western Anatolian continental extension: basin fill, structure, deformational mode, throw amount and episodic evolutionary history, SW Turkey. *Geodinamica Acta*, **18**, 167–208.

Lambeck, K., 1988. Geophysical Geodesy: The slow deformations of the Earth. Oxford: Clarendon press.

Le Pichon X. and Angelier, J., 1979. The Hellenic arc and Trench system: a key to the neotectonic evolution of the eastern Mediterranean area. *Tectonophysics*, **60**, 1-42.

Lenk, O., Türkezer, A., Ergintav, S., Kurt, A.İ. and Belgen, A., 2003. Monitoring the kinematics of Anatolia using permanent GPS network stations. *Turkish Journal of Earth Sciences,* **12**, 55-65.

McClusky, S., Balassania, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kalhe, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz M.N. and 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.

Mc Kenzie, D. P., 1978. Active tectonics of the AlpinHimalayan Belt: The Aegean sea and surrounding regions. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*., **55**, 217-254.

Özalp, S., Emre, Ö., Şaroğlu, F., Özaksoy, V., Elmacı, H. and Duman, T. Y., 2018. Active fault segmentation of the Çivril Graben System and surface rupture of the 1 October 1995 Dinar earthquake (Mw 6.2), southwestern Anatolia. *Turkey. Journal of Asian Earth Sciences,* **166**,136–151.

Özdemir, E., Olgun, Ş., Çan, T., Tekin, S., Kürçer, A. ve Elmacı, H., 2017. Acıgöl Grabeni'nde İlk Paleosismolojik Çalışmalar, Güneybatı Türkiye. ATAG 21 Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı, 9. Afyonkarahisar.

Özkaymak, Ç., 2015. Tectonic analysis of the Honaz Fault (western Anatolia) using geomorphic indices and the regional implications. *Geodinamica Acta*, **27**, 109–128.

Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Geçievi, M.O. and Tiryakioğlu, İ., 2019. Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences* **28**, 787-804.

Reid, H. F., 1910. The mechanism of the earthquake: The California earthquake of April 8. 1906. Report of the State Investigation Commision, 2, Washington.

Reilinger, R., Mcclusky, S., Vernant, P., Lawrence, 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., Al-Ghazzi, R. and Karam, G., (2006). GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia- Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *Tectonics*, **111**,1-26.

Seyitoğlu, G., Scott, B., 1992. The age of the Büyük Menderes Graben (western Turkey) and its tectonic implications. *Geological Magazine*, **129**, 239–242.

Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Tiryakioğlu, İ., Eski, S., Duran, İ., Tepe, Ç., Doğan, O. ve Akyar, B., 2019. 08 Ağustos 2019 İzmir-Denizli deprem raporu. 10.08.2019.

Şengör, A.M.C., 1982. Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 59-71.

Şengör, A. M. C., Yılmaz, Y. and Sungurlu, O., 1984. Tectonics of the Mediterranean Cimmerides: Nature and evolution of the western termination of Palaeo-Tethys. *Geological Society London*, **17(1)**,77-112.

Şengör, A.M.C., 1987. Cross-faults and differential stretching of hanging walls in regions of low-angle normal faulting: examples from western Turkey. In: Coward, M.P., Dewey, J.F., Hancock, P.L. (Eds.), Continental Extensional Tectonics. Geological Society Special Publication No. 28, Geological Society, London, 575–589.

Tiryakioğlu, İ., 2012. GNSS ölçüleri ile Güneybatı Anadolu'daki blok hareketleri ve gerilim alanlarının belirlenmesi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Fen Bilimleri Enstitüsü, 173.

Tiryakioğlu, İ., Floyd, M., Erdoğan, S., Gülal, E., Ergintav, S., McClusky, S. and Reilinger, R., 2013. GPS constraints on active deformation in the Isparta Angle region of SW Turkey. *Geophysical Journal International,* **195(3)**, 1455–1463.

Yılmaz, Y., Genç, Ş.C., Gürer, F., Bozcu, M., Yılmaz, K., Karacık, Z., Altunkaynak, S., Elmas, A., 2000. When did the western Anatolian grabens begin to develop. *Journal of the Geological Society London*, **173**, 353–384.

İnternet kaynakları

1-http://www.mdsoft.com.tr/Pages/Product_Geodsuit, (07.01.2021)