Dokuz Eylül Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi
Fen ve Mühendislik Dergisi
Cilt 20, Sayı 58, Ocak, 2018

Dokuz Eylul University-Faculty of Engineering
Journal of Science and Engineering
Volume 20, Issue 58, January, 2018

DOI: 10.21205/deufmd. 2018205819

24 Mayıs 2014 Gökçeada Açıkları – Ege Denizi Depreminin (M_l=6,5) Deprem Anı ve Sonrası Meydana Getirdiği Yer değiştirmeler ve Deformasyonların İrdelenmesi

Ayça ÇIRMIK*[1]

[1]Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 35160, İzmir (ORCID: 0000-0001-9500-671X)

(Alınış / Received: 09.08.2017, Kabul / Accepted: 13.09.2017,
Online Yayınlanma / Published Online: 20.01.2018)

Anahtar Kelimeler
Gökçeada,
Ege Denizi Depremi,
GNSS,
zaman serisi,
deformasyon

Özet: Bir depremin etki alanının ve meydana getirdiği deformasyonların incelenmesi yerbilimleri açısından önemli bir bulgudur. Büyük depremler deprem anı ve deprem sonrasında büyük alanlarda yer değiştirme ve deformasyonlar meydana getirmektedir. Bu çalışmada, 24 Mayıs 2014 tarihinde Gökçeada açıkları Ege Denizi'nde M_l=6,5 büyüklüğünde meydana gelen deprem ele alınmış, Marmara ve Ege Bölgeleri'nde hissedilen bu depremin yer değiştirme etkileri irdelenmiştir. Çalışma alanı olan Marmara ve Ege Bölgeleri'nde kurulu 14 adet TUSAGA-Aktif sistemine ait sürekli GNSS istasyonlarının deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrasını içeren 13 günlük GPS verisi çözümlenerek, bu istasyonların bu depreme bağlı olarak nasıl hareket ettiği, bu istasyonların zaman serilerinin incelenmesiyle ortaya konmuştur. Sonuç olarak, bu depremin 14 adet istasyonunun tümünü etkilediği ve deformasyonlara neden olduğu görülmüştür.

Examination of the displacement and deformation due to 24th May 2014 (M_l=6.5) Offshore of Gökçeada (Imbros) Aegean Sea Earthquake

Keywords
Gökçeada (Imbros),
Aegean Sea earthquake,
GNSS,
time-series,
deformation

Abstract: Investigation of the effect areas and occurred deformation due to major earthquakes is a significant finding for geosciences. Major earthquakes create displacement and deformation in great areas with the effect of co-seismic and post-seismic movements. In this study, the earthquake, which was occurred at 24th May 2014 with M_l=6.5 offshore of Gökçeada (Imbros) in Aegean Sea and was felt in Marmara and Aegean regions, was handled and the effects of the earthquakes were examined. Marmara and Aegean regions were selected as the study area and 13 days GPS data, which included pre-seismic, co-seismic and post-seismic effects, were processed of 14 continuous GNSS stations of CORS-TR (TUSAGA-Aktif) and the movements of these stations were figured out by examining the time-series. Consequently, it has been determined that this earthquake has

affected all of the 14 stations and caused the deformation.

*Sorumlu yazar: ayca.yurdakul@deu.edu.tr

1. Giriş

Büyük depremlerin meydana gelmesinin ardından oluşan deprem sonrası yer değiştirmeler uzun süre boyunca geniş bir alanda devam etmektedir [1]. Bu yer değiştirmeler, artçı sarsıntılara neden olan alt kabuk veya üst mantodaki viskoelastik dengelemelerden (viscoleastic relaxion) kaynaklı hareketlerin, asismik kaymanın (afterslip) ve gözenek sıvısı hareketlerinin sonucunda meydana gelebilirler [2]. Çeşitli araştırmacılar [3-5] tarafından uzun zaman periyodunda en baskın sürecin litosferin sünek (ductile) katmanlarında görülen viskoelastik akmalar olduğu ileri sürülmüştür. Büyük depremler sonrasında meydana gelen yer değiştirmeler, komşu faylar üzerindeki stres alanında deprem sırasında meydana gelen eş-sismik yer değiştirmelere kıyasla daha fazla stres değişimine neden olmaktadırlar [6-9]. Ayrıca deprem sonrası meydana gelen yer değiştirmeler, deprem anında açığa çıkan streslerin ihmal edildiği uzak mesafelerde bulunan faylar üzerinde daha etkili olabilirler [10, 6, 11].

Uydu sinyalleri yardımıyla anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlenmesine olanak sağlayan bir radyo navigasyon sistemi olan Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS) gerçek zamanda ve yüksek doğrulukta üç boyutlu koordinat bilgilerini sağlaması gibi üstünlüklerinden dolayı, gemi, uçak vb. araçların navigasyonunda kullanılmasından [12] tektonik hareketlerin zamana bağlı olarak davranışlarının ve önemli yapıların deformasyonun tespiti, deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrasına meydana gelen değişimlerin irdelenmesine ve dolayısıyla kabuk yapısı hakkında bilgi edinilmesine kadar yerbilimleri (jeoloji, jeofizik ve jeodezi) için önemli bir yöntemdir. Sürekli GPS verisi deprem sonrası deformasyonların meydana getirdiği etkileri gözlemleyebilmek için önemli bilgiler sağlamaktadır [13]. Bu bağlamda, GPS verisi kıtasal deformasyonun kinematiğinde önemli kıstasları içinde barındırmaktadır. GNSS gözlemleri bir alanın kinematiği, fay kayma oranları (slip-rate), sismik potansiyelleri ve jeodinamiği hakkında daha fazla detaylı bilgi içermektedir [14]. Böylece GNSS gözlemleri ile elde edilen kinematik bilgiler ışığında kabuksal litosferin reolojisi ve dinamiği hakkında oldukça önemli bilgiler elde edilmektedir [15-22].

Doğu Akdeniz'de ve Ege Bölgesi'nde yapılan çok sayıdaki GNSS tabanlı çalışmalar (örn.[23-39]) ile plakalar arası, plaka içi hareketler ve deformasyonlar bölgesel ve lokal olarak irdelenmiştir.

Bu çalışmada, 24 Mayıs 2014 tarihinde Gökçeada açıklarında Ege Denizi'nde meydana gelen büyüklüğü M_l=6,5 [40, 41] olan depremin yarattığı deprem anı etkisi ve deprem sonrası deformasyonları irdelemek amacıyla Marmara ve Ege Bölgesi'nde kurulmuş (Şekil1a) ve TUSAGA-Aktif sistemine ait olan sürekli GNSS istasyonlarından; AYD1 (Aydın-Merkez), AYVL (Ayvalık-Balıkesir), BALK (Balıkesir-Merkez), BAN1 (Bandırma-Balıkesir), CESM (Çeşme-İzmir), EDIR (Edirne-Merkez), IPSA (İpsala-Edirne), IZMI (İzmir-Merkez), KIKA (Kırkağaç-Manisa), KIRL (Kırklareli-Merkez), MUGL (Muğla-Merkez), SARY (Saray-Tekirdağ), TEKR (Tekirdağ-Merkez) ve YENC (Yenice-Çanakkale) istasyonları kullanılmıştır (Şekil 1b). Bu kapsamda, bu istasyonların

deprem anını içeren gün dahil olmak üzere 13 günlük GPS verileri GAMIT/GLOBK [42] yazılımı yardımıyla çözümlenmiş ve elde edilen zaman serilerinden Gökçeada depreminin deprem anının Marmara ve Ege Bölgesi'nde bulunan bu istasyonların hepsinde kaydedilmiş olmasıyla depremin bölgesel etki alnı görülmüş, ayrıca istasyonlardaki deprem sonrası hareketlerin incelenmesiyle istasyonların kurulduğu bölgelerde meydana gelen deformasyonlar irdelenmiştir.

2. 24 Mayıs 2014 Gökçeada Açıkları Ege Denizi Depremi

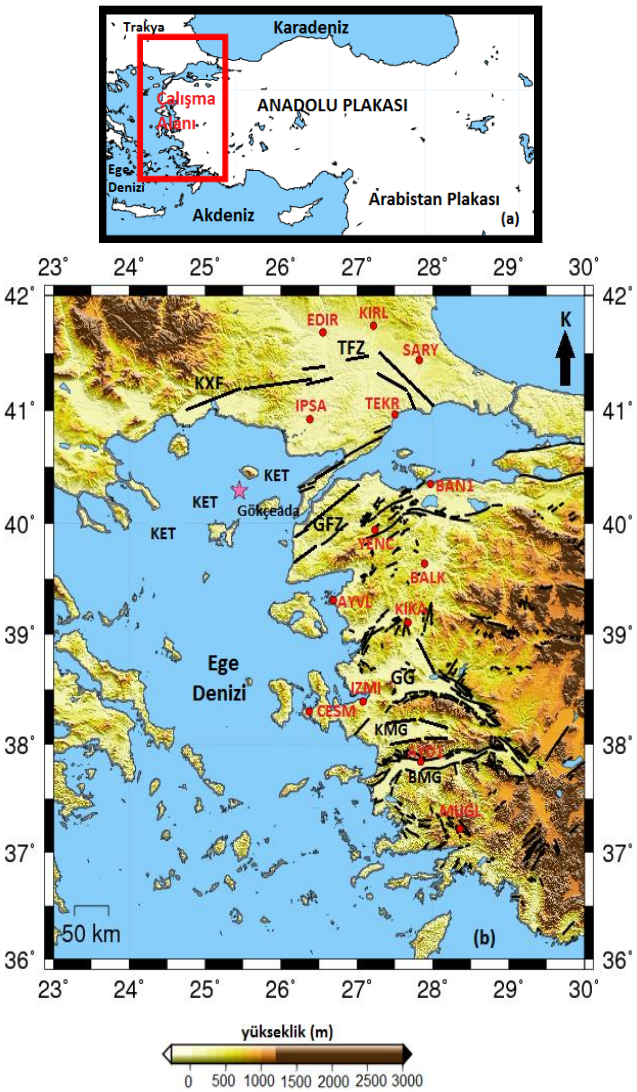
24 Mayıs 2014 tarihinde yerel saat ile 12.25'de 40.30°K enlemi ile 25.45°D boylamında (ITRF96 datumu) Gökçeada'nın 30 km kuzeybatısında (Şekil 1b) Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ve Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) tarafından büyüklüğü M_l=6,5 ve odak derinliği 23 km [40, 41] Amerikan Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) tarafından büyüklüğü M_w=6.9 ve odak derinliği 10 km [43] olarak tanımlanan bu sığ deprem yaklaşık 40 s sürmüş ve Marmara ve Ege Bölgeleri'nde, özellikle Çanakkale, Balıkesir, Edirne ve İstanbul şehirlerinde şiddetli olarak hissedilmiştir. Depremin meydana geldiği kırığın KD-GB doğrultulu olduğu ve doğrultu atımlı bir fay sisteminin nedeniyle meydana geldiği belirtilmiştir [40]. Bu deprem sonrasında ilk 48 saat içinde büyüklükleri 1.1 ile 5.3 arasında değişen 450 adet artçı sarsıntı meydana gelmiştir [41].

Gökçeada ve çevresi Kuzey Anadolu Fayı'nın batı kolu olarak ve Ege Denizi'ndeki uzantısı olan doğrultu atıma sahip Kuzey Ege Trenci'nin (Northern Aegean Trough) etkisi altındadır [44]. Kuzey Ege Denizi'nde 20. Yüzyılın başından 24 Mayıs 2014 tarihine kadar M≥ 6 olan 21 adet deprem gözlenmiştir ve bunların büyük bir kısmı Kuzey Ege Trenci boyunca meydana gelmiştir [43]. Geçmişte Gökçeada ve çevresinde meydana gelmiş önemli depremler ise 1912 M=7.2, M=6.3, M=6.8 Şarköy (Çanakkale), 1953 M=7.2 Yenice-Gönen (Çanakkale), 1972 M=5.0 Ezine (Çanakkale), 1975 M=5.5 Gelibolu (Çanakkale), 1983 M=5.5 Biga (Çanakkale) depremlerin ile 29 Aralık 2008 tarihinde Gökçeada'nın kuzeydoğusunda meydana gelen M=5.1 büyüklüğündeki deprem, 8 Ocak 2013 tarihinde Bozcaada açıklarında Kuzey Ege Denizi'nde meydana gelen M_l=6.2 büyüklüğündeki deprem ve 30 Temmuz 2013 tarihinde Kaleköy-Gökçeada açıkları Ege Denizi'nde M_l= 5.3 büyüklüğündeki depremlerdir [40, 41].

3. GPS Verilerinin Değerlendirilmesi

Deformasyon alanları ve oluşan deformasyonun çeşidi GNSS gözlemlerinin zaman serilerinin irdelenmesi ile izlenebilmektedir. Bu çalışmada tüm Marmara ve Ege Bölgeleri'ni etkileyen 24 Mayıs 2014 tarihinde Gökçeada açıklarında Ege Denizi'nde meydana gelen M_l= 6,5 büyüklüğündeki depremin etki alanı ve etki alanlarında meydana gelmiş deformasyonlar bölgede TUSAGA-Aktif sistemine ait 14 adet sürekli GNSS istasyonlarının zaman serilerinin irdelenmesi ile ortaya konmuştur.

Söz konusu GNSS istasyonlarının zaman serilerini elde edebilmek için öncelikle Uluslararası GNSS Servisi (IGS) istasyonlarından ISTA, TUBI (Türkiye), ZECK (Rusya), NICO (Güney Kıbrıs), MIKL, GLSV (Ukrayna), BUCU (Romanya), PENC (Macaristan), WTZR (Almanya) ve MATE (İtalya) olmak üzere 9 adet IGS istasyonu Avrasya sabit çözümü için seçilmiştir. Marmara ve Ege Bölgeleri'nde bulunan AYD1, AYVL, BALK, BAN1, CESM, EDIR, IPSA, IZMI, KIKA, KIRL, MUGL, SARY, TEKR ve YENC (Şekil 1b)



Şekil 1a. Marmara ve Ege Bölgeleri'ni içine alan çalışma alanının gösterimi (Kırmızı dikdörtgen çalışma alanını göstermektedir) **b.** Çalışma alanının genel tektonik elamanlarının [45, 46], GNSS istasyonlarının ve 24 Mayıs 2014 Gökçeada depreminin merkez üssünün gösterimi. Kırmızı noktalar; bu çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarının yerini, pembe yıldız; 24 Mayıs 2014 Gökçeada depreminin merkez üssü göstermektedir (KET=Kuzey Ege Trenci, KXF=Kavala-Xanti fayı, TFZ= Trakya fay zonu, GFZ= Garos fay zonu, GG= Gediz grabeni, KMG=Küçük Menderes grabeni, BMG= Büyük Menderes grabeni).

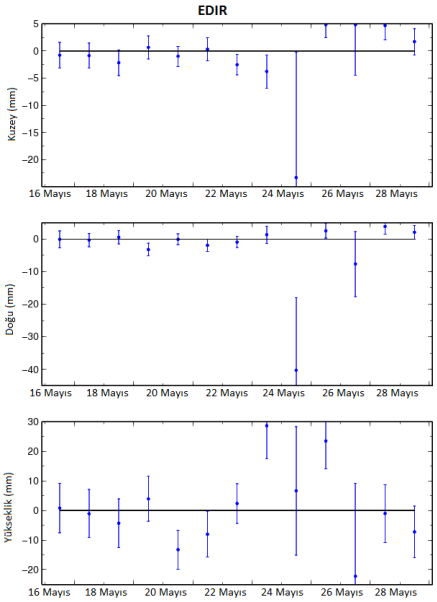
istasyonlarının sözü geçen depremin, deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası günlerini içeren 13 günlük örnekleme aralığı 30 s GPS verileri GAMIT/GLOBK yazılımı yardımıyla Uluslararası Yer Referans Sistemi (ITRF) olarak ITRF 2008 seçilerek Avrasya'ya göre göreceli çözümler yapılmıştır. Çözümler sonucunda yatay (Kuzey ve Doğu) ve düşey (Yükseklik)

bileşenlerinin irdelenmesi sonucunda depremin etki alanı ve yatay ve düşey yönlerdeki deformasyonları içeren zaman serileri elde edilmiştir (Şekil 2a-l).

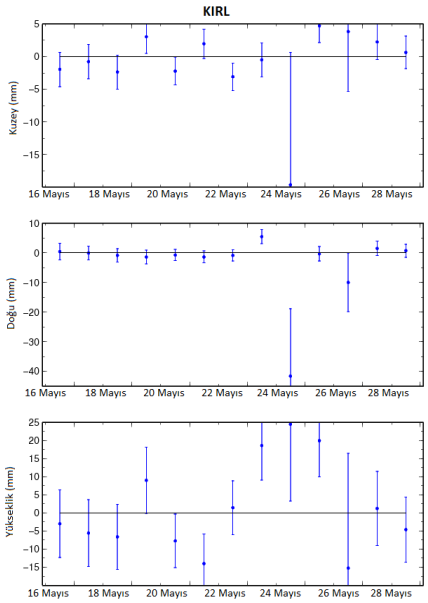
4. Bulgular

Bu çalışmada TUSAGA-Aktif sisteminin sürekli GNSS istasyonlarının GAMIT/GLOBK yazılımı yardımıyla yapılan çözümleme sonucunda elde edilen zaman serileri Şekil 2'de görülmektedir. Böylelikle, çözümleme sonucunda tüm istasyonlara ait yatay (Kuzey ve Doğu) bileşenler yaklaşık 4 mm göreli doğrulukla, düşey (Yükseklik) bileşenleri ise yaklaşık 10 mm göreli doğrulukla elde edilmiştir. Elde edilmiş olan bu doğrulukların bu çalışmanın gerektirdiği doğrulukları sağladığı söylenebilir. Bu zaman serilerinde Marmara Bölgesi'nde yer alan EDIR, KIRL, SARY, IPSA, TEKR, BAN1, YENC, BALK istasyonları ve Ege Bölgesi'nde yer alan AYVL, KIKA, IZMI, CESM, AYD1, MUGL istasyonlarının tümünde depremin meydana geldiği 24 Mayıs 2014 tarihinde depremden kaynaklı yatay (Kuzey, Doğu) ve düşey (Yükseklik) yönlerde yer değiştirmeler saptanmıştır (Şekil 2a-l). Zaman serilerinin dikkate alınmasıyla bu depremin her iki bölgeyi de etkilediği görülmektedir. Ancak 24 Mayıs 2014'den sonraki günlerdeki yatay ve düşey yönlerdeki yer değiştirmeleri göz önüne alındığında genel olarak KIRL, SARY, TEKR, BAN1, YENC, BALK, AYVL, KIKA, IZMI, CESM, AYD1 ve MUGL istasyonlarında elastik deformasyon, EDIR, IPSA istasyonlarında ise meydana gelen deformasyonun plastik olduğu görülmektedir. Her istasyon ayrıntılı irdelenecek olursa, 24 Mayıs gününde EDIR istasyonunda (Şekil 2a) kuzey ve doğu bileşenlerinin depremden etkilendiği, yükseklik bileşenin ise çok fazla etkilenmediği, belirli bir salınım hareketiyle düşey yönde yer değiştirdiği görülmektedir. Deprem etkisiyle kuzey bileşeninde yaklaşık 24 mm, doğu bileşeninde ise yaklaşık 40 mm yer değiştirme görülmektedir. Bu istasyonun deprem anında yer değiştirme gösteren bu iki bileşene dikkat edilecek olunursa, yatay bileşenin, deprem sonrası yer değiştirmelerinin, deprem öncesinde görülen salınıma geri dönmediği, başka bir salınım göstererek ertesi günlerde de bu salınımı takip ettiği görülmektedir, böylece kuzey bileşeninde plastik deformasyonun oluştuğu akla gelmektedir. Doğu bileşeninde ise deprem sonrası meydana gelen yer değiştirmeler, deprem öncesindeki salınıma geri dönmüştür yani doğu bileşeninde görülen deformasyon tipi elastiktir. KIRL istasyonunun (Şekil 2b) kuzey ve doğu bileşenlerinin depremden etkilendiği, yükseklik bileşenin ise çok fazla etkilenmediği görülmektedir. Kuzey bileşeni yaklaşık 25 mm, doğu bileşeni yaklaşık 40 mm yer değiştirme göstermiştir. KIRL istasyonunun kuzey ve doğu bileşenlerindeki yer değiştirme depremden sonra, yine deprem öncesindeki salınım karakterine geri döndüğü için, bu noktada yaşanan deformasyonun elastik olduğu söylenebilir. SARY istasyonunun (Şekil 2c) kuzey bileşeninde yaklaşık 17 mm, doğu bileşeninde ise yaklaşık 45 mm yer değiştirme gözlenirken, yükseklik bileşeninde belirli bir yer değiştirme gözlenmemiştir. SARY istasyonun yatay bileşenlerinin her ikisinde de görülen yer değiştirme sonrasında deprem sonrası yer değiştirme sanılımı, deprem öncesi karaktere geri döndüğü için, bu istasyonda gözlenen deformasyon elastiktir. IPSA istasyonu (Şekil 2ç) deprem anında her üç bileşeni de depremden etkilenirken, kuzey bileşeninde yaklaşık 30 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 35 mm, yükseklik

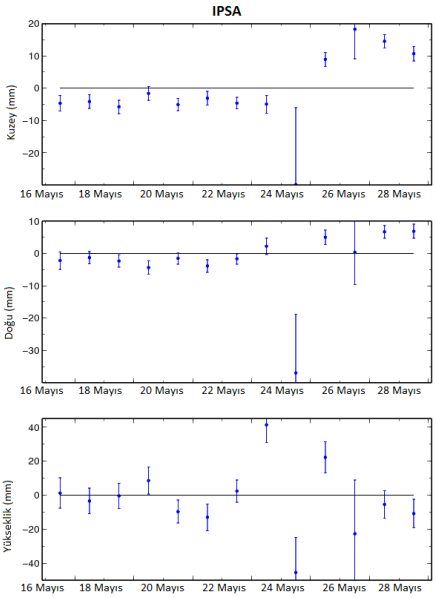
bileşeninde yaklaşık 45 mm yer değiştirme gözlenmiştir. IPSA istasyonun kuzey bileşeninde deprem sonrası görülen yer değiştirmelere dikkat edilecek olunursa, bu hareketlerin deprem öncesinde görülen hareketten farklı bir salınımla devam ettiği görülmektedir, böylelikle bu bileşende görülen deformasyonun plastik olduğu söylenebilir. Doğu ve yükseklik bileşenlerindeki deformasyon ise elastik karakter göstermiştir. TEKR istasyonunda (Şekil 2d) kuzey bileşeninde yaklaşık 22 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 35 mm yer değiştirme gözlenirken, yükseklik bileşeni depremden çok fazla etkilenmemiştir. Bu istasyonda yatay bileşenlerinin her ikisinde görülen elastik deformasyondur. BAN1 istasyonunun (Şekil 2e) her üç bileşeni de depremden etkilense de yatay yönde gözlenen yer değiştirmeler düşey yönüne göre daha net ve fazladır. Kuzey bileşeninde yaklaşık 22 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 33 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 30 mm yer değiştirme gözlenmiştir ve bu istasyonun her üç bileşeninde gözlenen deformasyon elastiktir. YENC (Şekil 2f), BALK (Şekil 2g) AYVL (Şekil 2h), KIKA (Şekil 2ı), IZMI (Şekil 2i), CESM (Şekil 2j), AYD1 (Şekil 2k) ve MUGL (Şekil 2l) istasyonlarının hepsinde yatay ve düşey yönlerde yer değiştirmeler meydana gelmiştir. YENC istasyonunun kuzey bileşeninde yaklaşık 27 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 25 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 75 mm (Şekil 2f) yer değiştirme gözlenirken, BALK istasyonun (Şekil 2g) kuzey bileşeninde yaklaşık 24 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 27 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 80 mm yer değiştirme gözlenmiştir. AYVL istasyonunun kuzey bileşeninde yaklaşık 32 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 22 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 130 mm (Şekil 2h) yer değiştirme gözlenirken, KIKA istasyonun (Şekil 2ı) kuzey bileşeninde yaklaşık 28 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 21 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 120 mm yer değiştirme gözlenmiştir. IZMI istasyonunun kuzey bileşeninde yaklaşık 34 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 15 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 175 mm (Şekil 2i) yer değiştirme gözlenirken, CESM istasyonun (Şekil 2j) kuzey bileşeninde yaklaşık 40 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 15 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 200 mm yer değiştirme gözlenmiştir. AYD1 istasyonunun kuzey bileşeninde yaklaşık 35 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 12 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 200 mm (Şekil 2k) yer değiştirme gözlenirken, KIKA istasyonun (Şekil 2l) kuzey bileşeninde yaklaşık 35 mm, doğu bileşeninde yaklaşık 8 mm, yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 200 mm yer değiştirme gözlenmiştir. Şekiller (Şekil 2f-l) incelendiğinde ise tüm bu istasyonlarda gözlenen deformasyonların elastik olduğu görülmektedir.



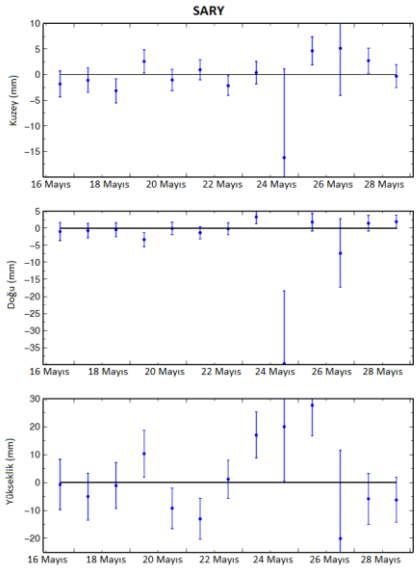
Şekil 2a. EDIR istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



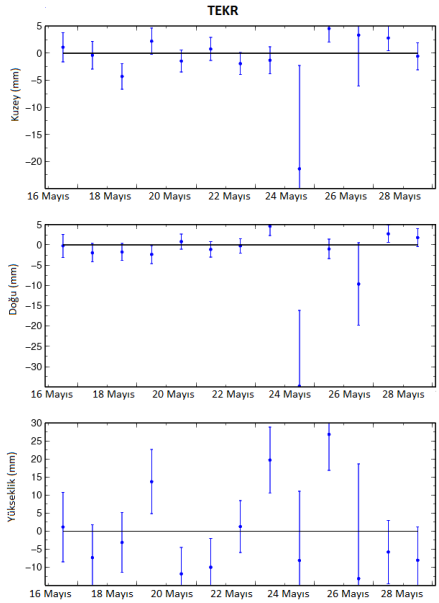
Şekil 2b. KIRL istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



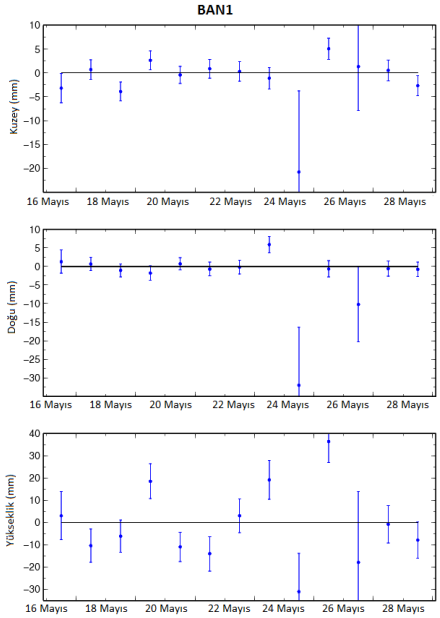
Şekil 2ç. IPSA istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



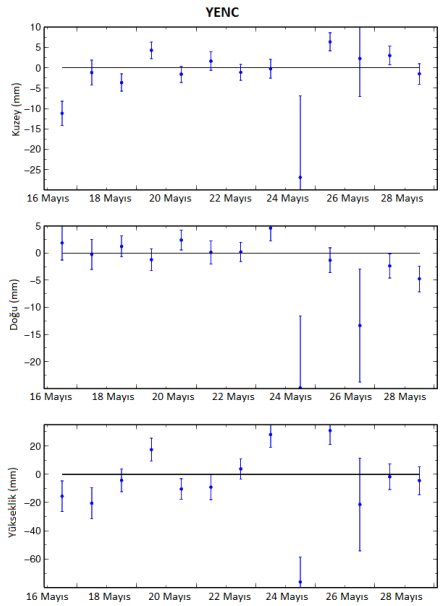
Şekil 2c. SARY istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



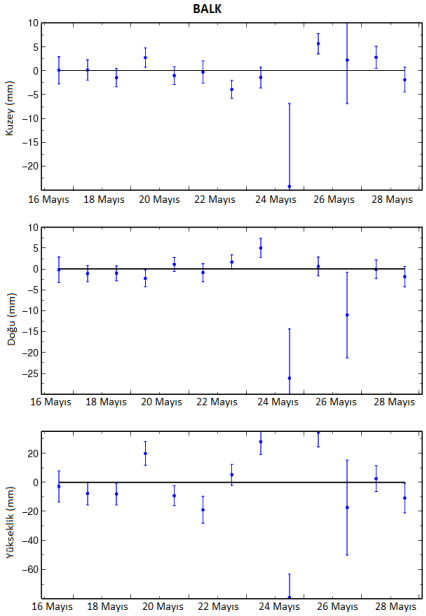
Şekil 2d. TEKR istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



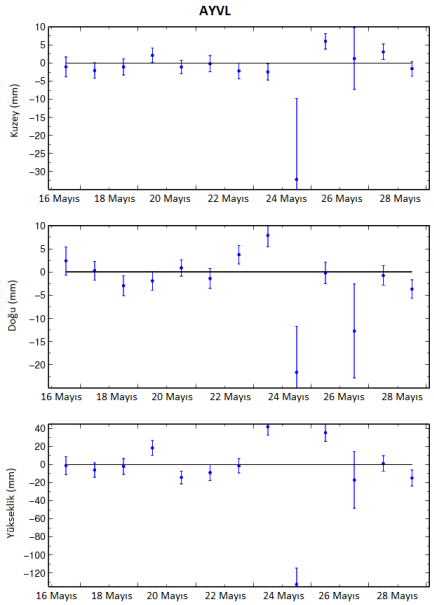
Şekil 2e. BAN1 istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



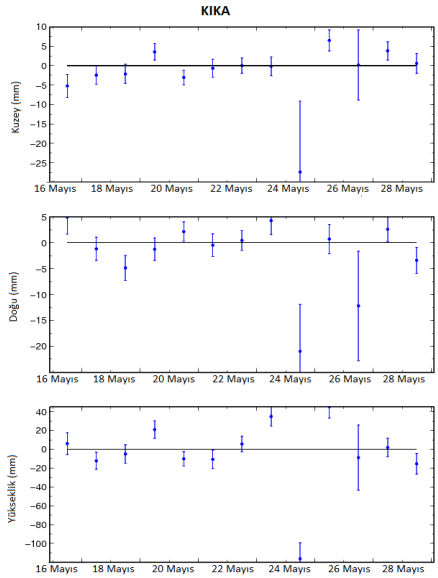
Şekil 2f. YENC istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



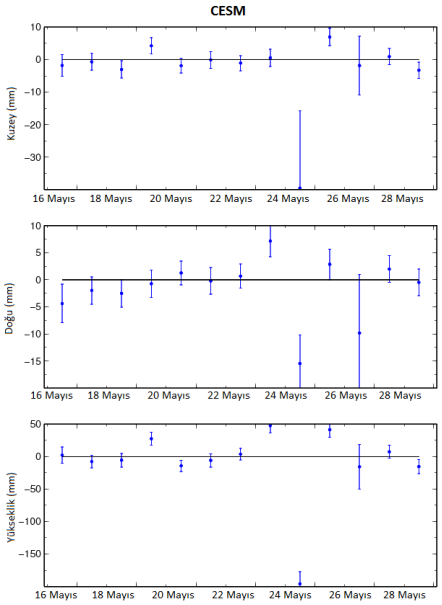
Şekil 2g. BALK istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



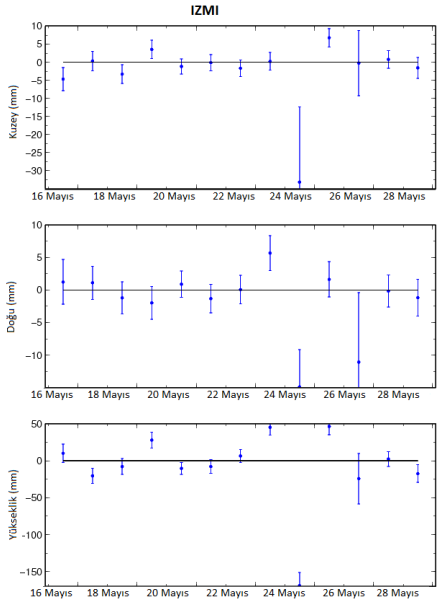
Şekil 2h. AYVL istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



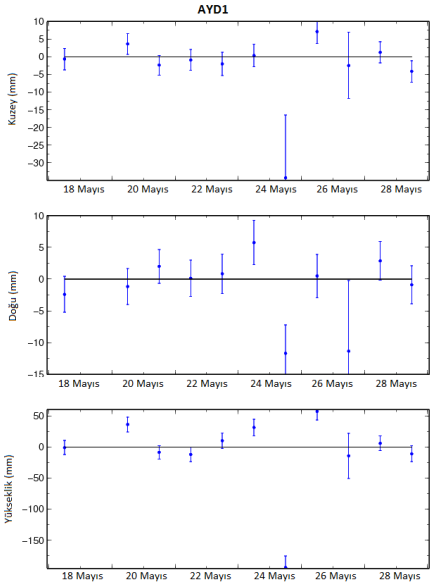
Şekil 2ı. KIKA istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



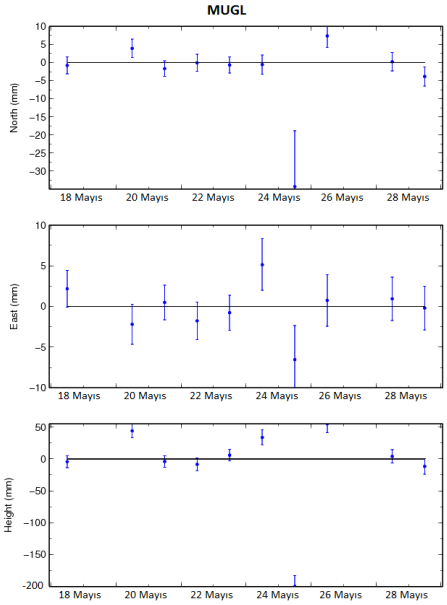
Şekil 2j. CESM istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



Şekil 2i. IZMI istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



Şekil 2k. AYD1 istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri



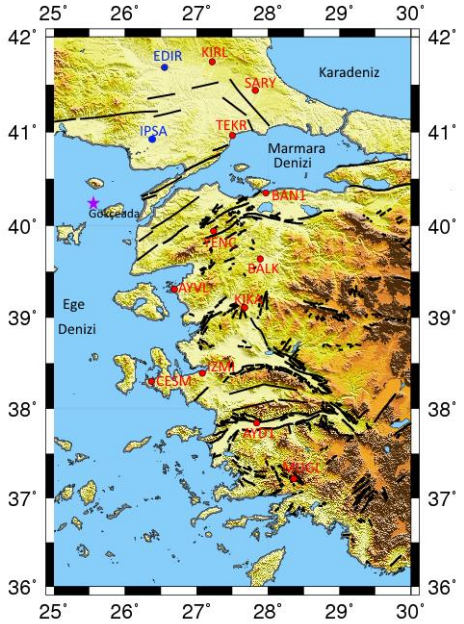
Şekil 2l. MUGL istasyonunun kuzey, doğu ve yükseklik bileşenlerine ait zaman serileri

5. Tartışma ve Sonuç

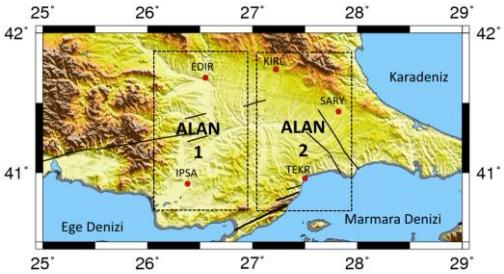
Bu çalışma kapsamında, 24 Mayıs 2014 tarihinde Gökçeada açıkları Ege Denizi'nde M_l=6,5 meydana gelen depremin Marmara ve Ege Bölgeleri'ni içine alan geniş bir bölgede etkili olduğu bu çalışmada kullanılan ve TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait sürekli ölçüm alan 14 adet GNSS istasyonunun zaman serilerinin irdelenmesiyle görülmüştür.

Zaman serilerinin dikkatli irdelenmesi sonucunda birbirine yakın noktalarda yani bir başka deyişle aynı formasyonda bulunan istasyonlarda görülen yer değiştirme karakterlerinin ve miktarlarının birbirlerine yakın olduğu dikkat çekmiştir. Örneğin birbirine yakın mesafede bulunan Marmara Bölgesi'nin güneyinde yer alan YENC ve BALK (Şekil 2f ve 2g) istasyonlarının yer değiştirme karakterleri ve miktarları birbirlerine çok yakındır. Bu durum yine birbirlerine yakın mesafede bulunan Ege Bölgesi'nin kuzeyinde yer alan AYVL-KIKA (Şekil 2h ve 2ı), Ege Bölgesi'nin batısında yer alan IZMI-CESM (Şekil 2i ve 2j) ve Ege Bölgesi'nin güneyinde yer alan AYD1 ve MUGL (Şekil 2k ve 2l) istasyonları için de söylenebilir.

Ayrıca bu çalışmada ortaya çıkan en dikkat çekici sonuç, Marmara Bölgesi'nin güneyinde ve Ege Bölgesi'nde bulunan tüm istasyonlarda görülen deprem sonrası deformasyonların elastik deformasyon olmasıdır (Şekil 3). Gözlenen deformasyonlar, Trakya Bölgesi'nin doğusunda yer alan KIRL, SARY ve TEKR istasyonları için yine elastik iken, Trakya Bölgesi'nin batısında yer alan EDIR ve IPSA istasyonlarında plastiktir (Şekil 3). Bir başka deyişle; Gökçeada açıklarında meydana gelen bu deprem, meydana geldiği noktanın kuzey doğusunda plastik deformasyona neden olmuştur. Sonuç olarak Trakya'nın batısındaki EDIR ile IPSA istasyonlarının bulunduğu bölge ile Trakya'nın doğusundaki KIRL, SARY ve TEKR istasyonlarının bulunduğu bölge deprem sonrasında farklı davranış göstermiştir. Bu etkinin nedeni; Kuzey Ege Denizi'nin tektoniğinde hakim durumda bulunan ve Kuzey Anadolu Fayı'nın denizdeki uzantısı olarak nitelendirilen Kuzey Ege Trenci'nin, Trakya'da bulunan bir fayı tetiklemesi sonucunda olabilir. Bir başka deyişle Trakya Bölgesi'nin batı kısmını doğu kısmından ayıran bir tektonik farklılık bulunmaktadır ve bu farklılık ALAN 1 (EDIR ve IPSA istasyonlarının bulunduğu alan) ve ALAN 2 (KIRL, SARY, TEKR istasyonlarının bulunduğu alan) olarak tanımlanan iki farklı alan ile temsil edilebilir (Şekil 4). Bu farklılıkları ayrıntılı irdelemek ve Trakya Bölgesi'nde bulunan fayların ve bu fayların denizdeki uzantılarının tektonik olarak oldukça aktif olan bu bölgede yaşanacak deformasyonların önceden kestirilebilmesi açısından bu bölgenin detaylı olarak çalışılması gerekmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanında GNSS istasyonlarının gösterimi [45, 46]. Mavi ile yazılan istasyonlar; plastik deformasyon, kırmızı ile yazılan istasyonlar; elastik deformasyonun gözlendiği istasyonlardır.



Şekil 4. Çalışma sonucunda Trakya Bölgesi'nde bulunan GNSS istasyonlarının zaman serilerinde gözlenen deformasyon farklılıklarına göre bölgenin iki ayrı alan ile gösterimi (ALAN 1; plastik deformasyon gözlenen EDIR ve IPSA istasyonlarını, ALAN 2; elastik deformasyon gözlenen KIRL, SARY ve TEKR istasyonlarını içine alan bölgeleri temsil etmektedir.)[45, 46].

Teşekkür

Bu çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif sistemine ait sürekli GNSS istasyonlarının, 30 saniyelik Rinex verilerine erişim sağlanabildiği için Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü'ne ve ayrıca değerli görüş ve katkılarından dolayı DEÜ Fen ve Mühendislik dergisi editörlüğüne ve hakemlerine teşekkür ederim. Bu çalışmadaki tüm şekiller GMT (Generic Mapping Tools) çizim programı [47] ile oluşturulmuştur.

Kaynakça

[1] Sunbul, F., Nalbant, S.S., Simão N.M., Steacy, S. 2016. Investigating viscoelastic postseismic deformation due to large earthquakes in East Anatolia, Turkey, Journal of Geodynamics, Cilt. 94–95, s. 25-33.

[2] Thatcher, W., Pollitz, F.F. 2008. Temporal evolution of continental lithospheric strength in actively deforming regions, GSA Today, Cilt. 18, s. 4–11.

[3] Pollitz, F. F., Wicks, C., Thatcher, W. 2001. Mantle flow beneath a continental strike-slip fault: Postseismic deformation after the 1999 Hector Mine earthquake, Science, Cilt. 293(5536), s. 1814-1818.

[4] Kenner, S. J., Segall, P., 2003. Lower crustal structure in northern California: Implications from strain rate variations following the 1906 San Francisco earthquake, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 108(B1).

[5] Freed, A. M., Burgmann, R., 2004. Evidence of power-law flow in the Mojave desert mantle, Nature, Cilt. 430(6999), s. 548.

[6] Freed, A. M., Lin, J. 2001. Delayed triggering of the 1999 Hector Mine earthquake by viscoelastic stress transfer, Nature, Cilt. 411(6834), s. 180.

[7] Rydelek, P. A., Sacks, I. S., 2001. Migration of large earthquakes along the San Jacinto fault; stress diffusion from the 1857 Fort Tejon earthquake, Geophysical research letters, Cilt. 28(16), s. 3079-3082.

[8] Chery, J., Carretier, S., Ritz, J.F., 2001. Postseismic stress transfer explains time clustering of large earthquakes in Mongolia, Earth and Planetary Sciences Letters, Cilt. 194, s. 277–286.

[9] Casarotti, E., Piersanti, A., Lucente, F.P., Boschi, E. 2001. Global postseismic stress diffusion and fault interaction at long distances, Earth and Planetary Sciences Letters, Cilt. 191, s. 75–84.

[10] Pollitz, F., Bürgmann, R., Romanowicz, B. 1998. Viscosity of oceanic asthenosphere inferred from remote triggering earthquakes, Science, Cilt. 280, s.. 1245–1249.

[11] Nalbant, S.S., McCloskey, J. 2011. Stress evolution before and after the 2008 Wenchuan, China earthquake, Earth and Planetary Sciences Letters, Cilt. 307, s. 222–232.

[12] Kahveci, M., Yıldız, F. 2009. GPS/GNSS uydularla konum belirleme sistemleri, uygulama-teori, 4. baskı. Ankara, Nobel, 220s.

[13] Yu, S.B., Hsu, Y.J., Kuo, L.C., Chen, H.,Y., Liu, C. C. 2003. GPS measurement of postseismic deformation following the 1999 Chi-Chi, Taiwan, earthquake, Journal of Geophysical Research, Cilt. 108, s. 2520.

[14] Serpelloni, E., Vannucci, G., Anderlini, L., Bennett, R. A. 2016. Kinematics, seismotectonics and seismic potential of the Eastern sector of the European Alps from GPS and seismic deformation data, Tectonophysics, Cilt. 688, s. 157-181.

[15] Meijer, P.T., Wortel, M.J.R 1997. Present-day dynamics of the Aegean region: A model analysis of the horizontal pattern of stress and deformation, Tectonics, Cilt. 16, s. 879– 895.

[16] Lundgren, P., Giardini, D., Russo, R. 1998. A geodynamic framework for eastern Mediterranean kinematics, Geophysical Research Letters, Cilt. 25, s. 4007– 4010.

[17] Wortel, M.J.R., Spakman, W. 2000. Subduction and slab detachment in the Mediterranean-Carpathian region, Science, Cilt. 290, s. 1910–1917.

[18] Mantovani, E., Viti, M., Cenni, N., Babbucci, D. 2001. Short and long term deformation patterns in the Aegean-Anatolian system: Insights from space-geodetic data (GPS), Geophysical Research Letters, Cilt. 28, s. 2325– 2328.

[19] Jimenez-Munt, I., Sabadini, R. 2002. The block-like behavior of Anatolia envisaged in the modeled and geodetic strain rates, Geophysical Research Letters, Cilt. 29(20), s. 1978. doi:10.1029/2002GL015995

[20] Hearn, E.H., Hager, B.H., Reilinger, R.E. 2002. Viscoelastic deformation from North Anatolian Fault Zone earthquakes and the eastern Mediterranean GPS velocity field, Geophysical Research Letters, Cilt.

29(11), s. 1549. doi:10.1029/2002GL014889

[21] Provost, A.S., Chery, J., Hassani, R. 2003. 3D mechanical modeling of the GPS velocity field along the North Anatolian fault, Earth and Planetary Science Letters, Cilt. 209, s. 361– 377.

[22] Flerit, F., Armijo, R., King, G., Meyer, B., Barka, A. 2003. Slip-partitioning in the Sea of Marmara pull-apart determined from GPS velocity vectors, Geophysical Journal International, Cit. 154, s. 1–7.

[23] 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, Cilt. 488, s. 22–30.

[24] Kahle, H.G., Cocard, M., Peter, Y., Geiger, A., Reilinger, R., Barka, A., Veis, G. 2000. GPS-derived strain field within the boundary zone of the Eurasian, African, and Arabian plates, Journal of Geophysical Research, Cilt. 105 (B10), s. 23.353–23.370.

[25] McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, 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., Veis, G. 2000. Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research, Cilt. 105(B3), s. 5695–5719.

[26] Nyst, M., Thatcher, W. 2004. New constraints on the active tectonic deformation of the Aegean, Journal of Geophysical Research, Cilt. 109, B11406. doi:10.1029/ 2003JB002830

[27] Vernant, P., Reilinger, R., McClusky, S. 2014. Geodetic evidence for low coupling on the Hellenic subduction plate interface, Earth and Planetary Science Letters, Cilt. 385, s. 122–129.

[28] Hollenstein, C., Müller, M.D., Geiger, A., Kahle, H.G. 2008. Crustal motion and deformation in Greece from a decade of GPS measurements, 1993–2003, Tectonophysics, Cilt. 449 (1–4), s. 17–40.

[29] Aktug, B., Nocquet, J.M., Cingoz, A., Parsons, B., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gurda, M.A., Kilicoglu, 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, Cilt. 114, s. 1–22.

[30] Floyd, M.A., Billiris, H., Paradissis, D., Veis, G., Avallone, A., Briole, P., McClusky, S., Nocquet, J.M., Palamartchouk, K., Parsons, B., England, P.C. 2010. A new velocity field for Greece: Implications for the kinematics and dynamics of the Aegean, Journal of Geophysical Research, Cilt. 115, B10403.

[31] Pamukçu, O., Kahveci, M., Ersay, E.Y., Yurdakul, A., Şalk, M., Sözbilir, H. 2010a. Determination of the kinematic structure of Izmir and surrounding using repeated GPS/GNSS observations: Preliminary Results. 15th General Assembly of Wegener, 14-17 Eylül, İstanbul, 7.

[32] Pamukçu, O., Yurdakul, A., Kahveci, M., Şalk, M., Gönenç, T., Ersay, E., Ergintav, S., Belgen, A. 2010b. Evaluation of microgravity and GPS/GNSS data together by the network system and a case study in İzmir (Western Turkey). 10th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM 2010, 20-16 Haziran, Albena, Bulgaristan, 777-782.

[33] Pamukçu, O., Gönenç, T., Çırmık, A., Sındırgı, P., Kaftan, I., Akdemir, Ö. 2015a. Investigation of vertical mass changes in the south of Izmir (Turkey) by monitoring microgravity and GPS/GNSS methods, Journal of Earth System Science, Cilt. 124, No. 1, s. 137–148.

[34] Pamukçu, O., Gönenç, T., Çırmık, Y.A., Kahveci, M. 2015b. Investigation of the Sıgacık Bay's displacement characteristic by using GPS and gravity data in Western Anatolia, Journal of Asian Earth Scince, Cilt. 99, s. 72–84.

[35] Çırmık, A. 2014. Determining the deformations in Western Anatolia with GPS and gravity measurements. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilmleri Enstitüsü, İzmir.

[36] Çırmık, A., Pamukçu, O., Akçığ, Z. 2016a. Mass and stress changes in the Menderes Massif (Western Anatolia, Turkey), Journal of Asian Earth Science, Cilt. 131, s. 109-122.

[37] Çırmık, A., Özdag, O.C., Doğru, F., Pamuk, E., Gönenç, T., Pamukçu, O., Akgün, M., Arslan, A.T. 2016b. The Soil Behaviours of the GNSS Station, Earth Science, Cilt. 5(5), s. 70-81.

[38] Çırmık, A., Pamukçu, O., Gönenç, T., Kahveci, M., Şalk, M., Herring, T. 2017a. Examination of the kinematic structures in İzmir (Western Anatolia) with repeated GPS observations (2009, 2010 and 2011), Journal of African Earth Science, Cilt. 126, s. 1-12.

[39] Çırmık, A., Doğru, F., Gönenç, T., Pamukçu, O. 2017b. The stress/Strain analysis of kinematic structure at Gülbahçe Fault and Uzunkuyu Intrusive (İzmir, Turkey), Pure and Applied Geophysics, Cilt. 1-16. DOI 10.1007/s00024-017-1474-5

[40] Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Ulusal Deprem İzleme Merkezi, 2014. 24 Mayıs 2014 Gökçeada Açıkları Ege Denizi Depremi Basın Bülteni. http://udim.koeri.boun.edu.tr/Depremler/onemliler/24052014_1225TSIKuzeyEgeDeniziDepremi_.pdf (Erişim Tarihi : 05.08.2017)

[41] Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD), 2014. 24/05/2014 Gökçeada Açıkları Ege Denizi Depremi (Mw= 6.5) Ön raporu. https://www.afad.gov.tr/upload/Node/3929/xfiles/ege-denizi-depremi-on-raporu-r.pdf (Erişim Tarihi : 05.08.2017)

[42] Herring, T.A., King, R.W., Floyd, M.A., McClusky, S.C. 2015. Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.6. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge.

[43] Amerikan Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) USGS, 2014. M6.9 Aegean Sea Earthquake of 24 May 2014. https://earthquake.usgs.gov/archive/product/poster/20140524/us/1480722169905/poster.pdf (Erişim Tarihi : 05.08.2017)

[44] Kiratzi, A., Tsakiroudi, E., Benetatos, C., Karakaisis, G. 2016. The 24 May 2014 (Mw6. 8) earthquake (North Aegean Trough): Spatiotemporal evolution, source and slip model from teleseismic data, Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, Cilt. 95, s. 85-100.

[45] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Türkiye Diri Fay haritası, 2005.

[46] Yaltırak, C., Alpar, B., Sakınç, M., Yüce, H., 2000. Origin of the Strait of Çanakkale (Dardanelles): regional tectonics and the Mediterranean–Marmara incursion, Marine Geology, Cilt. 164(3), s. 139-156.

[47] Wessel, P., Smith, W.H.F. 1998. New, improved version of the generic mapping tools released, American Geoscience Union, Cilt. 79, s. 579.