

1<sup>st</sup> International Symposium on Innovative Approaches in Scientific Studies

**Marmara Bölgesi'nde Fayların Sismogenik Özelliklerinin Belirlenmesi**

**Şakir ŞAHİN<sup>1\*</sup>, Guoyan JIANG<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Suleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

<sup>2</sup>Actif Tectonik ve Volkanoloji Laboratuvarı, Jeoloji Enstitüsü, Çin Deprem Yönetimi Başkanlığı, Pekin, Çin

(Alınış / Received: 17.05.2018, Kabul / Accepted: 22.11.2018)

**Anahtar Kelimeler**

3-B deformasyon modeli,  
GPS veri, KAFZ, kayma  
miktarı.

**Özet:** Marmara Bölgesinin tektonik yapısını Kuzey Anadolu Fayı Zonu'nun (KAFZ) batı kısmı oluşturmaktadır. KAFZ'un bu kısmında çok sayıda hasar yapıcı deprem meydana gelmiştir. Marmara Denizi içinde tarihsel dönemde çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiş olması ve 1900 yılından itibaren 1935 Marmara Adası (Ms=6.4) ve 1963 Çınarcık (Ms=6.3) depremleri [1-3] KAFZ'un Marmara Denizi içindeki segmentinde hasar yapıcı bir depremin olabileceğini göstermektedir. Özellikle 17.08.1999 (Mw; 7.4) Gölcük Depremi, 24.05.2014 (Mw: 6.4) Saros Körfezi ve 06.02.2017 (Mw:5.3) Ayvacık Depremleri'nin [4] ardından gerilmenin Marmara segmentinde birikebileceği tahmin edilmektedir.

Bu çalışmada, depremlerin tahmin edilmesinde yeni bir yaklaşım modeli olarak, 3-B visko-elastik deformasyon metodu irdelenmiştir. Bu metot ile faylar üzerinde oluşan gerilme birikiminin Jeofizik ve Jeodezik parametreler ile görüntülemesi ve yöntemin Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) Batı kısmında (Marmara Bölgesi) uygulaması ele alınmıştır. Fay düzleminin her iki tarafındaki blokların dönme ve yamulma miktarı, post-sismik viskoelastik gevşeme ve inter-sismik kayma miktarının tespiti ve KAFZ'ın Marmara Bölgesi'ndeki bölümleri üzerine uygulama örneği anlatılmaktadır. KAFZ'ın farklı fay segmentlerinde oluşan depremlerin odak mekanizması çözüm verileri ile Harita Genel Komutanlığı'nca yürütülen Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA) Projesi ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (ISKI) GPS ağından toplanan verileri kullanılarak, KAFZ'ın batı kesiminde kayma miktarları zamansal olarak belirlenmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Avrasya Plakasının sabit olarak alındığında, KAFZ'ın güneyinde Anadolu bloğunun batıya yaklaşık 22 mm / yıl hızla hareket ettiği tespit edilmiştir. Aynı zamanda her segmentte sismik moment birikiminin hesaplanması ve gerçek zamanlı olarak takip edilmesi suretiyle depremlerin önceden tahmin edilmesine ilişkin bir sonuç çıkarması beklenmektedir.

**The Determination of Seismogenic Features of Faults in Marmara Region**

**Keywords**

3-D deformation model, GPS  
data, NAFZ, slip rate.

**Abstract:** The western part of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ) consists of the tectonic structure of the Marmara Region. A large number of damaging earthquakes occurred in this part of the NAFZ. In the Marmara Sea, many destructive earthquakes occurred in the historical period and the 1935 Marmara Island (Ms = 6.4) and 1963 Çınarcık (Ms = 6.3) earthquakes since 1900 indicate that there may be a damaging earthquake in the Marmara Sea [1-3]. In particular, after the 17.08.1999 (Mw; 7.4) Gölcük Earthquake, 24.05.2014 (Mw: 6.4) Saros Gulf and 06.02.2017 (Mw: 5.3) Ayvacık Earthquakes [4], it is estimated that the tension will accumulate in the Marmara segment.

In this study, as a new approach model forecast earthquakes, 3-D viscoelastic deformation model is discussed. The strain accumulation on the faults by using this method with geophysical and geodetic parameters and the application of the method in the western part of the North Anatolian Fault Zone (Marmara Region) is examined. The determination of the amount of rotation and deformation of the blocks on both sides of the fault plane, the amount of post-seismic viscoelastic relaxation and interseismic slip, and an application example on the sections of the NAFZ in the Marmara Region is described. On the NAFZ different fault segments, in the western part of time dependent slip rates are determined by using the data from Turkey's National Permanent GPS Stations Network (TUSAGA) Project and the GPS network of Istanbul Water and Sewerage Administration (ISKI). According to the obtained results, as accepted the Eurasian Plate is stable, it was determined that the Anatolian block moved to the westward in the south of the NAFZ as approximately 22 mm / year with a speed. At the same time, it is expected that the estimation of the earthquakes will forecast by estimating the seismic moment accumulation in each segment and monitoring it in real time.

## 1. Giriş

Zamana bağlı sismik tehlike, aktif fayların güncel gerilme durumu ve bunun zaman içindeki değişimi ile ilişkilidir. Bir fay üzerindeki gerilme birikimi iki şekilde meydana gelir. Bunlar: 1) plakaların uzun süreli tektonik hareketleri ve 2) deprem odağından itibaren düzensiz kosismik ve postsismik gerilim dağılımlarıdır. Tektonik gerilme birikimi, fay üzerinde bulunan intersismik kayma miktarı ile doğrudan bağlantılıdır. Buna geri sekme adı verilir. Son on yıldır, jeodetik gözlemler kullanılmak suretiyle fay düzlemi üzerinde iki ve üç boyutlu (2-B ve 3-B) kayma miktarlarının belirlendiği elastik/viskoelastik deformasyon modelleri geliştirilmiştir. 3-B viskoelastik deformasyon modelleri hem sayısal hem de analitik özelliğe sahiptir. Sayısal modeller genellikle yitim kuşaklarındaki sismogenik bölgeler için sonlu elemanlar metodu ile oluşturulur [5,6].

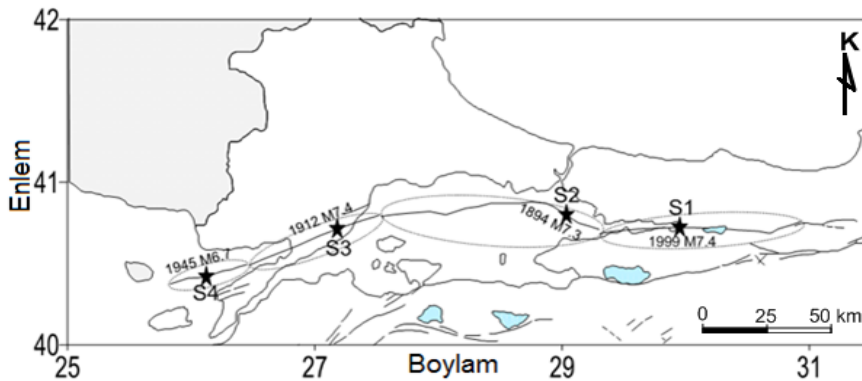
Bu çalışmada ele alınan ve dünyanın en önemli doğrultu atımlı kuşaklarından biri olan Kuzey Anadolu Fay Zonu Marmara segmenti, Bölgenin en aktif sismogenik kuşağını oluşturmaktadır. ([7], Şekil 1-2). Bölgede en büyük depremler, 1894 İstanbul (Mw=7.3), 1912 Şarköy-Mürefte (Mw=7.4), 1945

Kuzey Ege (Mw=6.7) ve 1999 Gölcük (Mw=7.4) depremleridir. Batı Marmara'da Mürefte-Şarköy-Güzelköy-Tekirdağ Açıklarından itibaren doğuya doğru KAFZ'nun kuzey ana kolu üzerinde, hakim doğrultusu D-B uzanımlı olan yaklaşık 70±10 km'lik fay parçasının üreteceği depremin büyüklüğü ortalama Mw=7.0±0.1 olarak tahmin edilmektedir. Sismolojik veriler Marmara'da sismik boşluk olarak tanımlanan alanın varlığını ortaya koymaktadır [2].

Bu veriler ışığında ve bölgenin tektoniği dikkate alındığında bundan sonraki depremin S2 (Segment 2) olarak gösterilen Marmara Denizi'ni boydan boya kat eden fay segmentinde beklenmelidir. Bu çalışmada, Kuzey Anadolu Fay Zonunun Sismogenik Özelliklerinin Jeofizik ve Jeodezik Görüntüleme Yöntemi ile Belirlenmesi amaçlanmıştır.

## 2. Veri ve Yöntem

Bu çalışmada Jiang vd. 2015 [5] tarafından geliştirilen "New 3-D Viscoelastic Interseismic Coupling Model" yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde karmaşık fay geometrisinden hareketle, homojen blok içi gerilmeyi dikkate alarak kapsamlı bir analitik 2 boyutlu viskoelastik model ortaya konulmuştur [9].



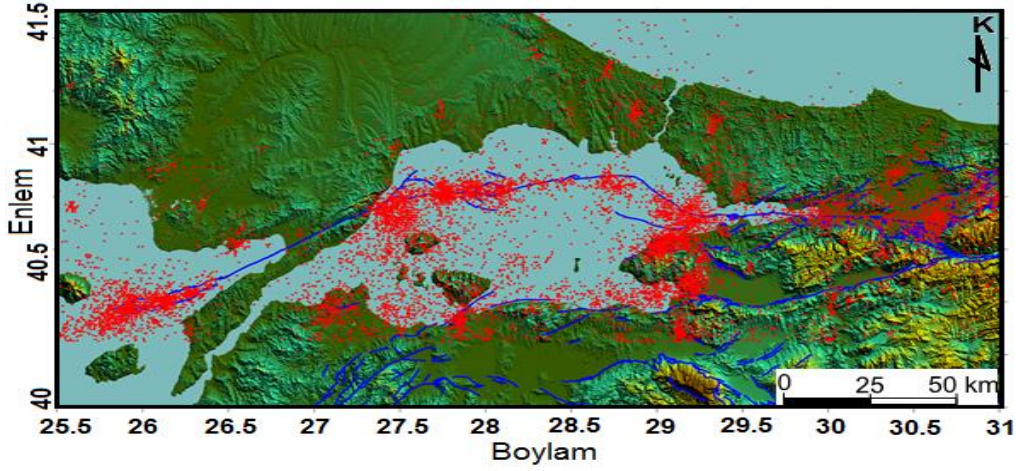
**Şekil 1.** Çalışma alanı ve incelenen fay segmentleri. Yıldızlar ile o fay segmenti üzerinde en son meydana gelen en büyük depremi göstermektedir [8].

Bu çalışmada, kabuktaki homojen blok içi gerilme dikkate alınmakta ve kapsamlı bir analitik 3-boyutlu viskoelastik modeli ortaya konulmaktadır. Kabuktaki intersismik hızlar dört tektonik faktöre göre şekillenir. Bunlar: 1) durağan ana tektonik bloğun hareketi, 2) blok içi gerilme, 3) fay yüzeyi boyunca kayma hareketi ve 4) son depremlerin viskoelastik oluşum etkisidir. Bu dört faktör sonucu oluşan hız bağıntısı olarak;

$$V_I = V_B + V_E + V_C + V_L + V_P \quad (1)$$

Burada  $V_B$ ,  $V_E$ ,  $V_C$ ,  $V_L$  ve  $V_P$  sırasıyla yatay (D-B ve K-G) hızlar, ilave çekme gerilmesi, kayma ve depremin neden olduğu yüzey hızlarını göstermektedir.

3-B viskoelastik intersismik deformasyon modeli kullanılarak fayların Sismogenik Özelliklerinin Jeofizik ve Jeodezik Görüntüleme Yöntemi ve yöntemin Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) Batı kısmında (Marmara Bölgesi) uygulanmıştır. KAFZ'nun her iki tarafındaki blokların dönme ve yamulma miktarı, deprem öncesi viskoelastik gevşeme, ve intersismik kayma miktarı belirlenmiştir. KAFZ'nın farklı fay segmentlerinde oluşan depremlerin verileri (Şekil 2) ve Harita Genel Komutanlığınca yürütülen Türkiye Ulusal Sabit GPS (Global Position System) İstasyonları Ağı [10] Projesi ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi [11] GPS ağından (Şekil 3) toplanan verileri kullanılarak KAFZ batı kesiminde fay bölümleri üzerindeki kayma miktarları zamansal olarak belirlenmiştir (Şekil 4).



**Şekil 2.** Marmara Bölgesinde 1973-2017 yılları arasında büyüklüğü 2 ve üzeri meydana gelen depremlerin dağılımı. Kırmızı noktalar deprem merkez üssünü ifade etmektedir [4].

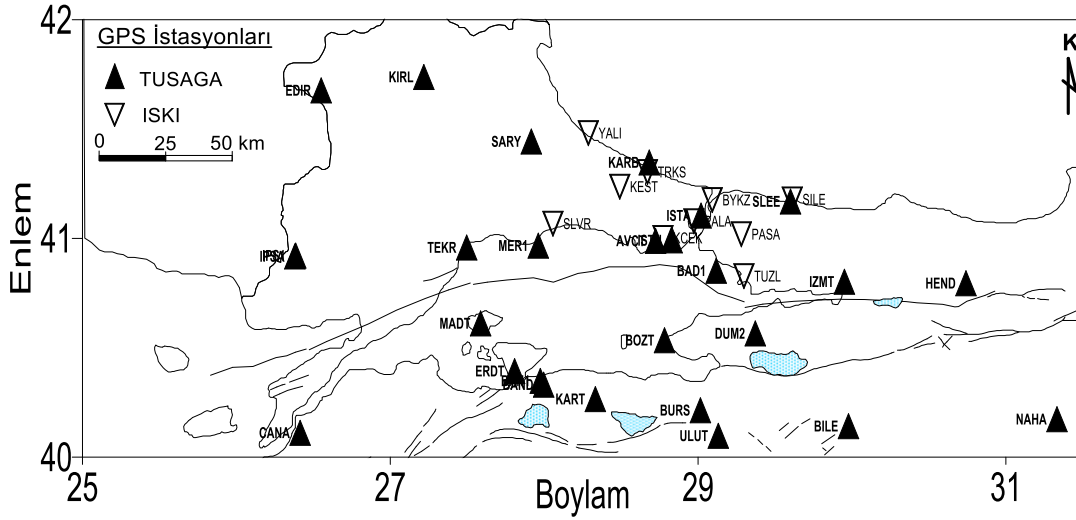
### 3. Bulgular

Bu çalışma ile bölgesel hareketin İzmit ve Yalova'dan itibaren Marmara Denizi'ne doğru, oradan da Çanakkale'ye doğru devam ettiği gözlemlenmiştir. İzmit ve Yalova-Gölcük kesimlerinde açılma hareketi baskın iken, Çanakkale doğu kesimlerinde sıkışma baskındır. Marmara Denizi'ndeki sıkışma ve açılma değerleri bu iki bölgedeki değerlere eşit veya daha düşüktür. Marmara Denizi'nin güneyinde yer alan bölge genişlemekte ve bu durum Bursa'ya doğru uzanmaktadır. Bu uzantı Bursa'nın batısındaki ve kuzeybatı yönündeki yüksek değerleri ile Bursa'ya doğru yaklaşırken, bu genişleme kuzey-güney doğrultusunda olur ve değer sıfırlanır [6].

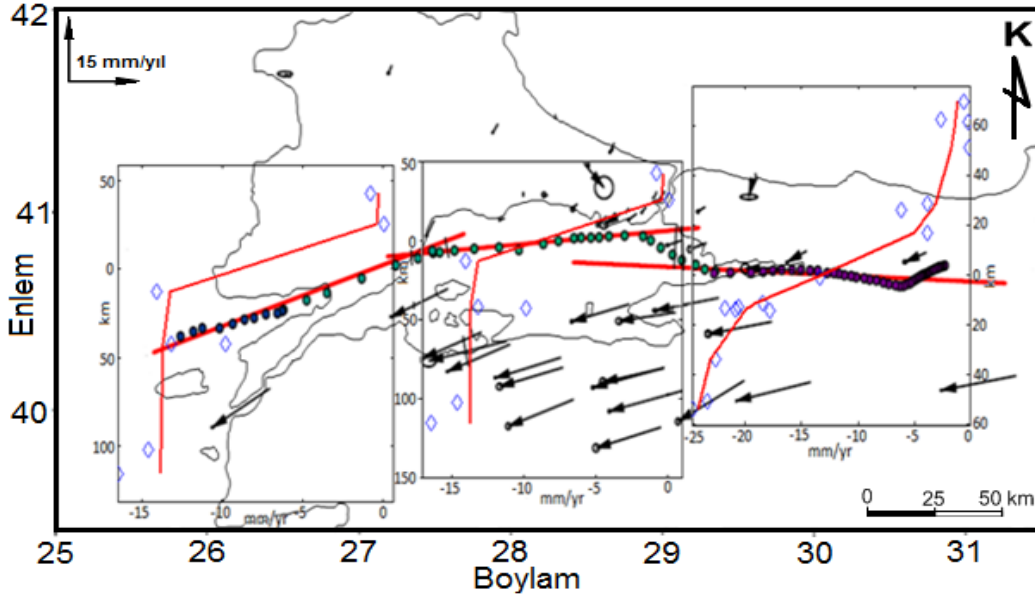
Marmara Denizi'nin güneyin hareket yönü B-GB yönündeki açılma hakim iken, kuzey kısımlarındaki değerlerin çok küçük olduğu görülmektedir. Bölgede sıkışma Kuzeybatı-güneydoğu yönünde olurken, gevşeme kuzeydoğu-güneybatı yönündedir. İstanbul Paşaköy civarında hareket GD yönünde olmakla

birlikte hata oranının oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Şile civarında hareket yönü G-GB'dir ve hata oranı bu bölgede de yüksektir. En fazla açılma İzmit, Yalova ve İznik bölgesinde oluşmakta, bu hareket Çanakkale'nin batısında gerilmeye neden olmaktadır (Şekil 4). Bölgedeki genişleme hareketi saat yönünün tersine kuzeyden güneye doğru değişirken, sıkışma hareketi ise genellikle kuzeybatı-güneydoğu yönündedir. Elde edilen sonuçlar diğer çalışmalarla da uyumlu olduğu ve hata oranlarının da çok düşük olduğu görülmektedir [6, 12].

Elde edilen sonuçlara göre Avrasya Plakasının sabit olarak alındığında KAFZ'un güneyinde Anadolu bloğunun batıya yaklaşık 25 mm / yıl hızla hareket ettiği tespit edilmiştir. Bu değer daha çok S1 (Gölcük-Kocaeli) civarında gözlenmiştir. S2 (Marmara Denizi) ve S3 (Tekirdağ-Şarköy-Mürefte) civarında bu değer 17 mm/ yıl seviyesine kadar düzmektedir (Şekil 4). Buradan Orta ve Batı Marmara'da gerilme birikimin yüksek olduğu söylenebilir. Diğer taraftan İznik civarında hareketlilik devam etmektedir.



Şekil 3. Çalışma alanındaki GPS istasyonlarının dağılımı [10, 11].



Şekil 4. Fay segmentlerinin her iki yanında bu çalışmada belirlenen deformasyon hızları ve doğrultu bileşenleri ve değişim (hata) aralığı (daire ile gösterilmiştir).

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Avrasya levhası sabit kabul edilmek suretiyle, elde edilen hızlara göre Marmara Bölgesinin KAFZ'nun güneyin kalan Güney Marmara batıya doğru yılda yaklaşık 25 mm hızla hareket etmektedir. Bu hız değeri İzmit, Gölçük ve İznik civarında görülmektedir. Bursa ve Çanakkale civarında bu değer sırasıyla 17 ve 16 mm seviyesinde düşmektedir. Benzer sonuçların Karabulut vd. 2017 [6] ve Ergintav vd. 2014 [12] tarafından tespit edildiği görülmektedir. Bu da göstermektedir ki, Gölçük depreminden sonra Doğu Marmara'da hareket devam etmekte, gerilimi öncelikte orta Marmara, özellikle Marmara Denizine ve Çanakkale civarına yığılmaktadır. Bundan sonraki süreçte fayların sismogenik özelliklerinin belirlenmesine yönelik yapılan bu çalışmalar için bölgedeki GPS istasyon sayılarının artırılması ve bunları sismik ağlarla koordineli bir biçimde işletilmesinde fayda vardır. Ayrıca bu çalışmalara

InSAR verilerinin de eklenmesi ile daha sağlıklı sonuçlar elde edilecektir.

#### Teşekkür

Bu çalışmada kurumsal desteklerini gördüğümüz ve verilerini kullandığımız İSKİ, BUSKİ, DOHAD, YTÜ, Harita Genel Komutanlığı ve Harita ve Kadastro Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

#### Kaynakça

- [1] Kalafat, D., A. Pınar (1997). Some Features of Seismicity and Seismotectonics of Marmara Sea Region, NW Turkey, EUG 9, Strasbourg, Fransa.
- [2] Kalafat, D., 2011. Marmara Bölgesi'nin Depremselliği ve Deprem Ağının Önemi, 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 11-14 Ekim 2011, Ankara.

- [3] Kalafat, D (2007). Doğa Marmara'yı depremlerle sınyacak mı?, Tekirdağ ve Çevresinin depremlerine toplu bir bakış, Namik Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi TYSB ve TMMOB Jeofizik Müh. Odası Panel Kitapçığı s. 58-68, 17 Mayıs 2007, Tekirdağ
- [4] KRDAE, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Çengelköy, İstanbul.
- [5] Jiang, G., X. Xu, G. Chen, Y. Liu, Y. Fukahata, H. Wang, G. Yu, X. Tan, and C. Xu (2015), Geodetic imaging of potential seismogenic asperities on the Xianshuihe-Anninghe- Zemuhe fault system, southwest China, with a new 3-D viscoelastic interseismic coupling model, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, 120, 1855–1873, doi:10.1002/2014JB011492.
- [6] Karabulut, M. F., Gülal, V. E., Tiryakioğlu, İ., 2017. Estimation of Crustal Deformation in Marmara Region Using Continuous GNSS Stations' Observations, *International Symposium on GIS Applications in Geography and Geosciences (ISGGG) 2017*, 18-21 Ekim 2017, Çanakkale.
- [7] Barka, A. A., 1992. The North Anatolian Fault Zone, *Annales Tectonicae*, 4: 164-195.
- [8] MTA, 2016. Türkiye Diri Fay haritası, Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [9] Johnson, K. M., and J. Fukuda (2010), New methods for estimating the spatial distribution of locked asperities and stress-driven interseismic creep on faults with application to the San Francisco Bay Area, California, *J. Geophys. Res.*, 115, B12408, doi:10.1029/2010JB007703.
- [10] TUSAGA, Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [11] ISKI, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi Başkanlığı, İBB, İstanbul.
- [12] Ergintav, S., Reilinger, R. E., Çakmak, R., Floyd, M., Çakır, Z., Doğan, U., King, R. W., McClusky, S. Özener, H., 2014. İstanbul's Earthquake Hot Spots: Geotetic Constraints on Strain Accumulation Along Faults in The Marmara Seismic Gap., *Geophysical Research Letters*, 41 (16); 5783-5788.