Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi

Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering

AKÜ FEMÜBİD **17** (2017) 015803 (257-263) AKU J. Sci. Eng. **17** (2017) 015803 (257-263)
DOI: 10.5578/fmbd.53986

Araştırma Makalesi / Research Article

Doğu Anadolu Fayı boyunca Sismik ve A-sismik Tektonik Hareketler: Hazar Gölü Doğu'sunda Sismik Boşluk mu yoksa Krip mi?

Fatih Bulut[1]

[1] *Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, 34684 Çengelköy İstanbul.*
e-posta: bulutf@boun.edu.tr

Geliş Tarihi: 06.12.2016 ; Kabul Tarihi:31.03.2017

Özet

Anadolu ve Afrika plakaları arasında depremsellik açısından aktif bir rol oynayan Doğu Anadolu Fayı (DAF) üzerinde ve çevresinde meydana gelen tektonik hareketler hesaplanarak fayın sismolojik ve jeodezik davranışı irdelenmiştir. Bu çalışmada, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü tarafından işletilen deprem ağı, günümüzde DAF üzerinde M 3.0 ve üzeri büyüklüklerde oldukça yüksek bir depremselliğe işaret etmektedir. Bu depremselliğin ürettiği fay üzeri kayma hızları hesaplanmıştır. Diğer taraftan, bölgede daha önce derlenmiş olan GNSS kaynaklı hız alanları göreceli yöntemle hesaplanarak, depremsellik verisiyle üretilen kayma hızlarıyla karşılaştırılmıştır. Fay bağımsız ve sadece karelaj yöntemiyle yapılan bu hesaplamalar DAF'ın bölgede en belirgin blok sınırı olduğunu göstermektedir. Fay boyunca GNSS kaynaklı hızların, kuzeydoğu en yüksek, güneybatı ise en düşük seviyelerde olduğu gözlemlenmiştir. Bu hızlar kuzeydoğuda 12.4 mm/yıl değerine ulaşırken, güneybatıda 4.3 mm/yıla kadar düşmektedir. Bu hız değerlerinin DAF boyunca örüntüsü, depremsellikle elde edilen fay üzeri hareket hızlarının fay boyu örüntüsüyle örtüşmektedir. Ancak, en yüksek değerlerin gözlendiği kuzeydoğuda, 39.5°D boylamı civarı, GNSS verileri fay boyunca 10.1 mm/yıl civarlarında kayma değerleri verirken, fay üzerindeki depremsel hareket değerleri, komşu kısımların aksine çok düşük bir değer olan 1.7 mm/yıl civarında kalmıştır. Bu gözlem, 39.5°D boylamı civarı Hazar Gölü'nün doğusunda DAF üzerinde "A-sismik krip" karakterinde bir tektonik harekete işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler
Doğu Anadolu Fayı; GNSS kayma değerleri; Seismicity; A-sismik krip, Sismik Boşluk

Seismic and a-seismic tectonic motions along the East Anatolian Fault: Seismic Gap or Creep in the east of Hazar Lake?

Abstract

Seismic and geodetic behavior of the East Anatolian Fault (EAF), which plays a major role regarding earthquake activity between Anatolian and African plates, has been investigated analyzing surrounding tectonic motions. Nation-wide seismic network, operated by Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI), indicates relatively a high earthquake activity along the EAF above M>3.0. In this study, on-fault slip rates that are generated by earthquakes have been estimated. On the other hand, those slip are compared with GNSS-derived relative slip rates that have been obtained from previously compiled GNSS velocity fields. Those fault-independent calculations, which have been made by mesh-grid approach, verifies that the EAF is the most prominent block boundary in the target area. GNSS-derived velocity measurements are the highest in the northeast and the lowest in the southwest along the fault zone. Those velocities go up to 12.4 mm/yr in the northwest and goes down to 4.3 mm/yr in the southwest. Overall pattern of the GNSS-derived slip rates are in correlation with the seismicity-derived on-fault slip rates. However, around 39.5°E, where the GNSS-derived slip rates are around 10.1 mm/yr, seismicity derived slip rates remains at 1.7 mm/yr in contast to relatively active adjacent fault sections. This observation suggests an "a-seismic creep" in the east of Hazar Lake, around the latitude 39.5°E.

Keywords
East Anatolian Fault; Seismicity; GNSS slip rates, A-seismic creep, Seismic Gap

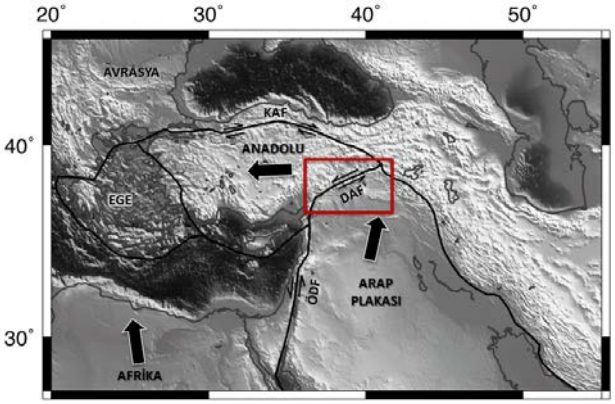
© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Anadolu Platosu, kuzeyde geçtiğimiz yüzyılda hemen hemen tamamı kırılan Kuzey Anadolu Fayı (KAF), güneydoğuda büyük ölçüde sessizliğini koruyan Doğu Anadolu Fayı (DAF) ve batıda ise geniş bir açılma bölgesiyle çevrilmiştir (Barka and Kadinsky-Cade, 1988; Sengör et al., 1985) (Şekil 1). Bölge, tektonik süreçlerin değişik evrelerindeki fay parçalarına ev sahipliği etmekle birlikte, yeryüzünde deprem ve fay fiziğini anlamaya müsait en aktif bölgelerden birini temsil etmektedir.

Bölgedeki temel tektonik elementlerden birisi olan DAF, Anadolu Plakasının batıya hareketi nedeniyle üzerinde 4-13 mm/yıl civarı sol-yanal karakterde bir deformasyona yada varsa sürtünmenin düşük olduğu yerlerde durağan kaymaya ev sahipliği etmektedir (Hempton, 1985; Arpat ve Saroglu, 1972; Dewey ve ark. ,1986; Allen ve ark., 2004; Westaway, 1994; Aksoy ve ark., 2007). Aktug ve arkadaşları (2016) bütün gözlemleri derledikleri ve önemli miktarda yeni gözlemler kattıkları çalışmada, bu hareketin, güneybatıdaki 4.5 mm/yıl hızındaki karakterin dışında DAF boyunca genel olarak 10.5 mm/yıl olduğu sonucuna vardılar. Fay boyunca yapılan yapısal ve jeolojik çalışmalar 9-40 km civarındaki atım dağılımıyla fayın son 3-5 milyon yıldır arasında aktif olarak sol yanal karakterde hareket ettiğini göstermektedir (Hempton, 1985; Arpat ve Saraglu, 1972; Dewey ve ark., 1986; Allen ve ark., 2004; Westaway ve Arger, 1996; Westaway 1994; Herece ve Akay, 1992; Aksoy ve ark., 2007). KAF' a nazaran daha derin bir sismojenik zona sahip olan DAF ~20 km derinliklere kadar uzanan depremler üretmektedir (Bulut vd., 2012).

Bu çalışmada, DAF'ın üzerinde meydana gelen ani depremsel hareketler ve DAF'ın yakın çevresinde süregelen durağan tektonik hareketlerle bir arada değerlendirilmiştir. Çalışmanın ana girdisini, DAF ve çevresindeki depremsellik ve Avrasya sabit kabul edilerek elde edilen GNSS hız alanı ölçümleri oluşturmaktadır. Bu veriler, harita düzleminde karelaj yöntemiyle denk bir dağılımda yıllık hızlarına dönüştürülmüştür. Sonuçlar üzerine yapılan tektonik değerlendirmeler, fay boyunca yüksek sürtünme nedeniyle kilitlenip yamulan ve de düşük sürtünme nedeniyle durağan bir şekilde kaymaya devam eden bölgelerin tespitine ve doğrulanmasına olanak sağlamıştır.



Şekil 1. Anadolu ve çevresindeki temel tektonik bileşenler: Doğuda Arap Plakası'nın kuzeye hareketi ve de batıda Ege Bölgesi'ndeki açılma rejiminin etkisiyle batıya hareket eden Anadolu Plakası kuzeyde Kuzey Anadolu Fayı'nı (KAF), güney doğuda ise Doğu Anadolu Fayı'nı (DAF) depremsellik olarak sürekli aktif kılmaktadır. Kırmızı çerçeve çalışma bölgesini göstermektedir.

2. Veri değerlendirme

2.1. Depremsellik ve sismik kayma değerleri

Depremsellik verileri, Doğu Anadolu Bölgesi'nde, özellikle DAF ve diğer aktif fayların üzerinde meydana gelen yıllık ortalama kayma hızını kestirmek için kullanılmıştır. Bu veriler Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'nün yayınladığı deprem kataloğundan elde edilmiştir (http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqdb/). Kullanılan depremsellik verisi Şekil 2a'da, bölgenin GNSS hız alanı ise Şekil 2b'de harita üzerinde gösterilmiştir.

Harita düzleminde tüm çalışma bölgesi merkezleri arasında yatayda ve dikeyde 10 km bulunan 20 x 20 km boyutlarında birim karelere bölünmüştür. Her kareye karşılık gelen depremlerin sismik momentleri toplanarak, elde edilen toplam sismik momentlerin o alandaki fay yüzeyinde oluşturacağı kayma miktarı hesaplanmıştır. Sismik momentlerin hesaplandığı formül Hanks ve Kanamori (1979) da şı şekilde belirtilmiştir:

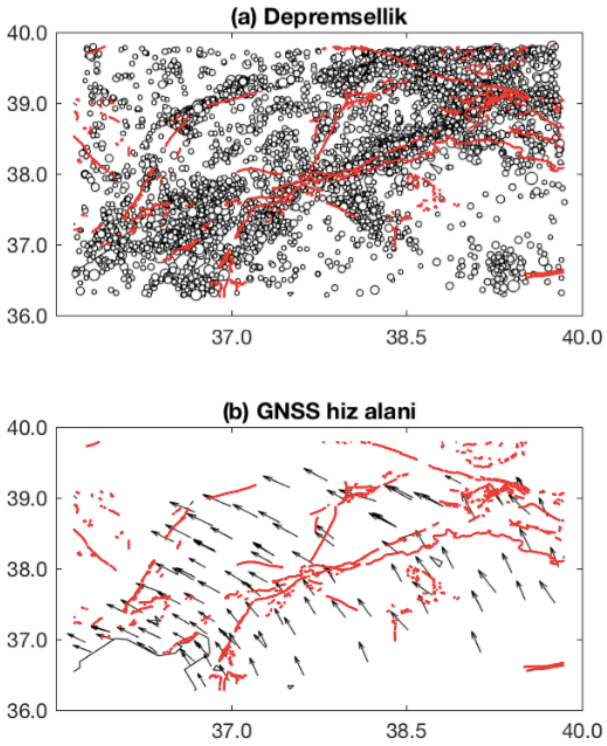
$log(M_0) = 1.5M+10.6$ (1)

Burada M katalogda varolan deprem büyüklüklerini (manyitüd), M_0 ise sismik momenti temsil etmektedir. Formul (1) ile elde edilen sismik momentlerin, her bir birim kareye karşılık gelen toplamları, aşağıdaki formül kullanılarak kayma miktarlarına dönüştürülmüştür (Aki ve Richards, 2002):

$d = M/\mu A$ (2)

burada d kayma miktarı (yer değiştirme), μ üzerinden kayma meydana gelen kayacın katılık katsayısı, A ise birim karenin alanını temsil etmektedir.

Kayma miktarları kataloğun toplam süresine oranlanıp yıllık kayma hızları kestirilmiştir. Elde edilen yıllık kayma hızları Şekil 3a de harita üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 2. Bu çalışmadaki hesaplamaların girdisini oluşturan (a) depremsellik ve (b) hız alanı verisini özetleyen haritalar görülmektedir. Kırmızı çizgiler günümüzdeki aktif fayları, siyah çizgiler ise kıyı çizgilerini göstermektedir. Küçük daireler değerlendirilen depremlerin konumlarını, oklar ise kıtasal tektonik hızları göstermektedir (Aktuğ ve ark, 2016).

2.2. GNSS hız alanı ve a-sismik hareket değerleri

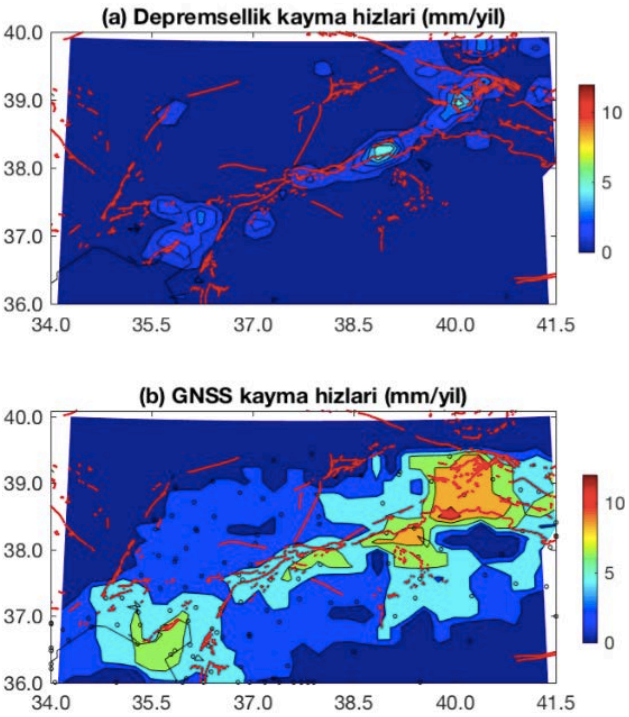
Hız alanı verileri, Aktuğ ve ark. (2016) tarafından derlenen ve değerlendirilen GNSS ağlarından elde edilmiştir. Bu veri, bölgede şimdiye dek yayınlanmış en detaylı ve en güncel GNSS tabanlı hız alanı bilgisini temsil etmektedir. Aktuğ ve ark. (2016) tarafından değerlendirilmiş 21 yeni noktanın yanı sıra, Aktuğ ve ark., (2013), Alchalbi ve ark., (2009), ve Reilinger ve ark., (2006), tarafından değerlendirilmiş tüm verilerle birlikte toplam 144 noktanın hız ölçümleri homojen bir düzlemde derlenmiştir (Aktuğ ve ark., 2016). Birleştirme sırasında, farklı referans sistemlerine gore hesaplanmış olan hız alanlarının referans sistemi etkilerinin giderilmesi gerekmektedir (Aktug ve ark., 2009). Aktug ve ark. (2016) tarafından birleştirilen tüm hız alanları, Reilinger ve ark., (2006)'nın referans sistemine dönüştürülmüştür. Referans sistemi dönüşüm işlemi, varolan ortak noktalar arasındaki vektorel farkı temsil eden Euler rotasyon matrisleri kullanılarak yapılmıştır.

Bahsedilen veri, bu çalışmada yapılan artık hız alanı (euler hız alanı) hesaplamasına girdi olarak kullanılmıştır. Tıpkı depremsellik verisinin değerlendirilmesinde olduğu gibi, hız alanı verisi harita düzleminde karelaj yöntemiyle, veri yoğunluğundaki fark nedeniyle bu sefer daha büyük olan 20 x 20 km aralıklarında konum değiştiren 40 X 40 km boyutlarında birim karelere bölünmüştür. Bu hesaplamada, tanımlanan her bir birim alanın içerisine düşen hız alan vektörlerinin ortalama değeri kendilerinden çıkartılmış ve geriye kalan artık hareket miktarı birim alandaki a-sismik hareket miktarı olarak tanımlanmıştır. Hız alanı yıllık değerler olarak alındığı için bu değerlendirmenin çıktısı da haritaya yıllık a-sismik kayma hızı (mm/yıl) olarak yansımaktdır (Şekil 3b).

3. Bulgular

Doğu Anadolu Bölgesi'nde depremsellik kullanılarak hesaplanan yıllık sismik kayma değerleri 0.7-5.6 mm/yıl arasında değişmektedir (Şekil 3a). Bu değerler, diğer yörelere nazaran DAF

boyunca en yüksek oranlarda ulaşmakta ve dolayısıyla günümüzde Doğu Anadolu Bölgesi'nde depremsellik açısından KAF'tan sonra en aktif fayın DAF olduğunu doğrulamaktadır (Reilinger ve ark. 2006, Bulut ve ark. 2012, Aktuğ ve ark. 2016).



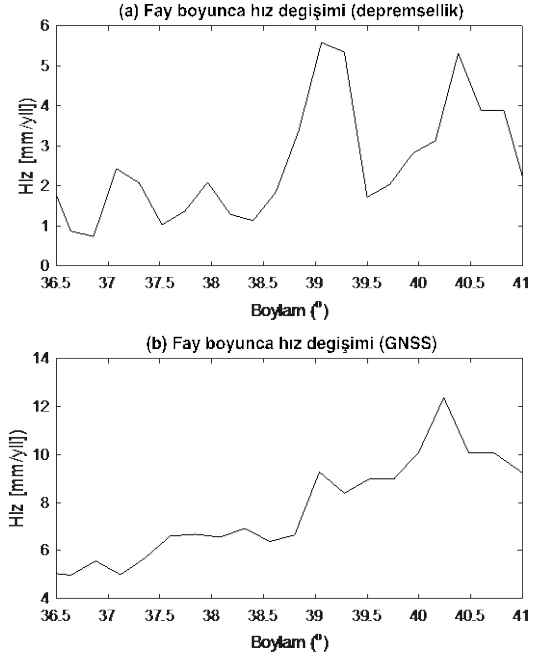
Şekil 3. (a) Depremsellik kullanılarak hesaplanan faylar üzerinden meydana gelen kayma hızları. (b) GNSS hız alanları kullanılarak hesaplanan fayların çevresinde meydana gelen yıllık kayma hızları. Siyah noktalar GNSS ölçüm konumlarını göstermektedir. Kırmızı çizgiler günümüzdeki aktif fayları, siyah çizgiler ise kıyı çizgilerini göstermektedir.

Sismik kayma hızları DAF boyunca yer yer 5.6 mm/yıl seviyelerine kadar çıkmaktadır. Bu değerler, yakın zamanda meydana gelen M>5 tipinde depremlerin ürettiği yoğun depremsellikle, sismik açıdan DAF'ın diğer parçalarına ve arka plan hareketliliğe nazaran daha aktif bir dönemden geçmiş DAF parçalarını işaret etmektedir. Bir başka değişle bu değerler ana deprem-artçı ilişkisinin gözlemlendiği yörelere işaret etmektedir.

Benzer şekilde, GNSS gözlemleriyle elde eden yüzeydeki tektonik hareketler DAF'ın bölgedeki en aktif fay olduğuna işaret etmektedir. Bunlar, Doğu Anadolu bölgesinde ortalama 4.4 mm/yıl civarında değişse de DAF boyunca bu değerler 4.3-12.4 mm/yıl aralığında seyretmektedir. Özellikle DAF'ın en kuzey-batısında bulunan Karlıova bölgesinde bu değerler en yüksek değer olan 12.4 mm/yıl'a çıkmaktadır.

Hem sismik, hem de jeodezik açıdan bakıldığında, DAF'ın aralarında sınır teşkil ettiği Anadolu ve Afrika Plakaları, plaka içleri olarak durağan bir karakter sergilemektedir. Bu iki plaka da tektonik olarak çok aktif rol oynamakta, ancak plaka içlerinde birkaç istisna dışında DAF'a göre çok daha küçük fay üstü ve çevresi hareketlere ev sahipliği etmektedir.

DAF boyunca meydana gelen sismik ve a-sismik hareketliliği karşılaştırdığımızda genel bir uyum gözlemlemekteyiz. Kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı bu fay sisteminde, kuzeydoğuda hem sismik hem de jeodezik anlamda yüksek hareket değerleri gözlemlenirken, güneybatıda bu değerler nispeten düşük seviyelerde seyretmektedir (Sekil 4).



Şekil 4. Fay boyunca depremsellik ve GNSS bazlı kayma değerlerinin karşılaştırılması

Kuzeydoğuda, DAF üzerindeki sismik kaymalar 5.6 mm/yıl, a-sismik hareketler ise 12.4 mm/yıl civarına kadar yükselmektedir. Güneybatıda bu değerler

sismik açıdan 0.7-2.4 mm/yıl, jeodezik açıdan ise 4.3-7.5 mm/yıl aralığında seyretmektedir. Bu değerler DAF üzerinde KAF'a göre daha yavaş bir jeodezik hareketin olduğunu doğrulamaktadır.

Ancak 39.5^{o}D boylamı civarında, Hazar Gölü'nün doğusunda, DAF'ta gözlemlenen bu uyumla ilgili önemli bir istisna gözlemlenmektedir. Burada, fay çevresinde gözlemlenen yüksek a-sismik kayma hızları fay üzerinde çok düşük bir miktarda sismik kayma üretebilmektedir (Şekil 4). Fay çevresinde meydana gelen 10.1 mm/yıl civarındaki a-sismik hareket fay üzerinde sadece 1.7 mm/yıl civarında bir sismik kayma üretebilmektedir.

4. Tartışma

Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer kabuğunun kalınlığı genel olarak 40 km ile 55 km arasında değişmektedir (Vanacore ve ark., 2013). Ancak kuzeybatıdan güneydoğuya inildikçe DAF boyunca kabuk kalınlığı 30 km'lere kadar incelmektedir. Deprem derinliklerine baktığımızda, DAF boyunca ise kabuğun kırılgan derinliklerinin yüzeyden 20 km'lere kadar ulaştığını görmekteyiz (Bulut ve ark., 2012). Oysa ki bölgenin günümüzde en aktif fay sistemi olan KAF'a bakıldığında depremlerin 15 km'den daha sığ derinliklerde meydana geldiğini bilmekteyiz. (Aktar ve ark., 2004; Bulut ve ark. 2007, Çevikbilen ve ark., 2012).

Bu gözlemler doğrultusunda DAF boyunca mümkün olan en derin kitlenme derinliğinin KAF'a nazaran 5 km daha derinde olduğunu görmekteyiz. Bilindiği gibi, kitlenme derinlikleri arttıkça fayın yakın çevresindeki hareket yamulmaya dönüşeceği tektonik hareket yüklemesi aynı kalsa bile fayın yakınlarındaki hız değerleri düşmeye başlar. Her iki fay sisteminde de tektonik etkenin temelde batıya hareket eden Anadolu Plakası olduğu bilgisinden hareketle, nispeten derin olan kitlenme derinliklerinin olası olduğu DAF boyunca fayın yakın çevresindeki GNSS kayma hızları KAF'a nazaran daha düşük olmasıyla uygunluk göstermektedir.

DAF'ın KAF ile bir araya geldiği Karlıova bölgesinde göreceli GNSS kayma hızları en yüksek mertebelere erişmektedir. Benzer şekilde İskenderun Körfezi'nde de DAF boyunca gözlemlenen hızların üzerinde bir eğilim görülmektedir. İskenderun'da, dolayısıyla DAF'ın Ölü Deniz Fayı'yla (Şekil 1'de ÖDF) birleşmesi beklenen bölgenin daha da güney batısındaki bu gözlem DAF'ın güneybatıdaki devamı ile ilgili yeni bir değerlendirme gerektirmektedir.

Daha önce de belirtildiği gibi, 39.5^{o}E boylamı civarında, Hazar Gölü'nün doğusunda, fay çevresinde gözlemlenen yüksek a-sismik kayma hızları fay üzerinde çok düşük bir sismik kayma üretebilmektedir (Şekil 4). Daha önce Bulut ve ark. (2012) tarafından da bu yörede depremselliğin DAF'ın komşu parçalarına nazaran çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. Yakın çevrede en son meydana gelen 1874 Ms 7.1 ve 1875 Ms 6.7 depremlerinin konumları kesin olarak bilinmemekle birlikte, bu iki depremin kırık zonu Hazar Gölü'nun doğusundaki bu bölgede birbirine katışmaktadır (Ambraseys, 1988). Bölgede gözlemlenen bu düşük depremsellik, yamulmadan ziyade, fay yüzeyinde a-sismik bir kaymanın meydana geldiğine işaret etmektedir. "Krip" olarak ta adlandırılan bu olay, daha önce bölgede Cavalié, O., and S. Jónsson (2014) tarafından oluşturulan DAF'a dik hız profillerindeki ani teknonik hız değişimleriyle de gözlemlenmiştir. Bu yörede yoğunca rastlanan "ofiolit" birimleri de (Bingol 1989; Dilek ve Sandvol, 2009) "krip" olayının doğrulayıcısı olarak öne sürülebilir (örneğin Reinen 2000).

5. Sonuçlar

Göreceli GNSS hızları Doğu Anadolu Fayı'nın Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki en aktif fay sistemi olduğunu doğrulamaktadır. DAF boyunca GNSS hızlarının, kuzeydoğu en yüksek, güneybatı ise en düşük seviyelerde seyretmektedir. Bu hızlar kuzeydoğuda 12.4 mm/yıl değerine ulaşırken, güneybatıda 4.3 mm/yıl'a kadar gerilemektedir.

Hız değerlerinin DAF boyunca örüntüsü, depremsellikle elde edilen fay üzeri hareket hızlarının fay boyu örüntüsüyle örtüşmektedir.

İstisnai olarak, en yüksek değerlerin gözlendiği kuzeydoğuda, 39.5°D boylamı civarı, GNSS verileri fay çevresinde 10.1 mm/yıl civarında bir hız alanı verirken, fay üzerindeki depremsel hareket değerleri, komşu kısımların aksine çok düşük bir değer olan 1.7 mm/yıl civarında kalmıştır. Bu gözlem, DAF üzerinde 39.5°D boylamı civarı Hazar gölünün Doğusu'nda "A-sismik kripe" işaret etmektedir.

Teşekkür

Görüş ve önerilerinden dolayı Haluk Özener, Aslı Doğru, Bahadır Aktuğ, Cenk Yaltırak ve Aslı Sabuncu'ya teşekkür ederim.

Kaynaklar

Aktar, M., Dorbath, C., Arpat, E., 2004. The seismic velocity and fault structure of the Erzincan basin, Turkey, using local earthquake tomography. Geophys. J. Int. 156, 497–505.

Aki, Keiiti; Richards, Paul G. (2002). Quantitative seismology (2 ed.). University Science Books. ISBN 0-935702-96-2.

Aksoy, E., Incegöz, M. ,Kocyigit, A., 2007. Lake Hazar Basin: a negative flower structure on the East Anatolian Fault System (EAFS), SE Turkey. Turk. J. Earth Sci. 16, 319–338.

Aktug, B., Lenk, O., Gürdal, M.A., Kilicoglu, A., 2009. Establishment of regional reference frames for detecting active deformation areas in Anatolia. Stud. Geophys. Geod. 2 (53), 169–183.

Aktug, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıcoglu,A., Gürdal, M. A., Özdemir, S., 2013. Deformation of Central Anatolia: GPS implications. J. Geodyn. 67, 78–96.

Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, Yılmaz, O., Havazli, E. (2016). Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field, Journal of Geodynamics, 94-95, 1-12.

Alchalbi, A., Daoud, M., Gomez, F., et al., 2009. Crustal deformation in northwestern Arabia from GPS measurements in Syria: slow slip rate along the northern Dead Sea Fault. Geophys. J. Int. 180, 125–135.

Allen, M., Jackson, J., Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia–Eurasia collision and the comparison of short-term and long-term deformation rates. Tectonics 23 (1), TC2008.

Arpat, E., Saraglu, F., 1972. The East Anatolian Fault System: thoughts on its development. Min. Res. Explor. Inst. Turkey Bull. 78, 33–39.

Barka, A. A., Kadinsky-Cade, K., 1988. Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity. Tectonophysics 7, 663–684

Bingol, E. (1989), Geological map of Turkey (Scale: 1/2.000.000), General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara, Turkey

Bulut, F., Bohnhoff, M., Aktar, M., Dresen, G. Characterization of aftershock-fault plane orientations of the 1999 İzmit (Turkey) earthquake using high-resolution aftershock locations (2007) Geophysical Research Letters, 34 (20), art. no. L20306.

Bulut, F., Bohnhoff, M., Eken, T., Janssen, C., Kl, T., Dresen, G. The East Anatolian Fault Zone: Seismotectonic setting and spatiotemporal characteristics of seismicity based on precise earthquake locations (2012) Journal of Geophysical Research B: Solid Earth, 117 (7), art. no. B07304.

Cavalié, O., and S. Jónsson (2014), Block-like plate movements in eastern Anatolia observed by InSAR, Geophys. Res. Lett., 41, 26–31, doi:10.1002/2013GL058170.

Dilek, Y., and Sandvol, E., 2009, Seismic structure, crustal architecture and tectonic evolution of the Anatolian-African Plate Boundary and the Cenozoic Orogenic Belts in the Eastern Mediterranean Region: Geological Society, London, Special Publications, v. 327, p. 127-160.

Dewey, J.F. ,Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Saroglu,F., Sengör, A. M. C., 1986. Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of eastern Anatolia: a young collision zone. In: Coward, M.P., Ries, A.C. (Eds.), Collision Tectonics. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 19, 3–36.

Hanks, T. C., and H. Kanamori (1979), A moment magnitude scale, J. Geophys. Res., 84(B5), 2348–2350, doi:10.1029/JB084iB05p02348.

Hempton, M.R., 1985. Structure and deformation history of the Bitlis sture near Lake Hazar, south easternTurkey. Geol.Soc.Am.Bull. 96, 233–243.

Herece, E., Akay, E., 1992. Karlıova-Ç¸elikhan arasında Dogu Anadolu Fayı. In: Proceeding of the 9th Petroleum Congress of Turkey, Ankara, Turkey, 17–21, February 1992, pp. 361–372.

Reilinger, R., et al., 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. J. Geophys. Res. 111, B05411.

Reinen, L.A., 2000. Seismic and aseismic slip indicators in serpentinite gouge. Geology 28, 135–138.

Sengör, A.,Görür, N.,Saroglu,F.,1985.Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. In: Biddle, K., Christie-Blick, N. (Eds.), Strike-Slip Deformation, Basin Formation and Sedimentation, Vol. 37. Spec. Publ. SEPM Soc. Sediment. Geol., SEPM, pp. 227–264.

Westaway, R., 1994. Present-day kinematics of the Middle East and Eastern Mediterranean. J. Geophys. Res. 99, 12071–12090.

Vanacore, E. A., Taymaz, T., and Saygin, E.: Moho structure of the Anatolian Plate from receiver function analysis, Geophys. J. Int., 193, 329–337, 2013.

Yolsal-Cevikbilen, S., Biryol, C.B., Beck, S., Zandt, G., Taymaz, T., Adıyaman, H.E. and Ozacar, A.A. (2012). 3-D crustal structure along the North Anatolian Fault Zone in north-central Anatolia revealed by local earthquake tomography. Geophysical Journal International, 188 (3), 819-849.

İnternet kaynakları

1-http://udim.koeri.boun.edu.tr/zeqdb, (01.02.2017)