

İZNİK-MEKECE FAYINDA 1981-2007 YILLARI ARASINDAKİ YER DEĞİŞTİRMENİN BELİRLENMESİ

G. Akay¹, H. Özener^{2,1}

¹Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı Çengelköy İstanbul, gozde.akay@boun.edu.tr

²İTÜ, İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh.Bölümü, Ölçme Tekniği Anabilim Dalı Maslak İstanbul, ozener@boun.edu.tr

ÖZET

Kuzey Anadolu Fayı batıda, Mudurnu dolaylarında kuzey ve güney olmak üzere iki kola ayrılır. Güney kolu Pamukova'nın batısında tekrar ikiye bölünür. İznik Gölü yakınlarında olan kolların ilki İznik-Mekece Fayı olarak adlandırılır. Fay sağ yanal atımlı olup, fayda son 200 yıldır büyük bir deprem ($M > 6$) gözlenmemiştir. Yaptığımız çalışmada kullanılan jeodezik ağ, bu fay çevresinde kurulmuş olan Harita Genel Komutanlığı (HGK) - İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ağıdır. Ağ, 1981 yılından 2007 yılına dek hem geleneksel metotlar, hem de GPS yardımıyla üç kez ölçülmüştür. Bu çalışma, İznik-Mekece Fayı üzerindeki tektonik hareketi gözlemek amacıyla HGK-İTÜ ağındaki yer değiştirmelerin elde edilmesini amaçlamaktadır.

Anahtar Sözcükler: GPS, Marmara Bölgesi, yer değiştirme, KAF

ABSTRACT

DETERMINATION OF DISPLACEMENTS ALONG THE İZNIK-MEKECE FAULT BETWEEN 1981-2007 YEARS

North Anatolian Fault (NAF) bifurcates in the west around Mudurnu into two fault segments: northern and southern branches. The southern part bifurcates again at west of Pamukova. The first branch in the vicinity of İznik Lake is called İznik-Mekece Fault. It is a right lateral fault and strong seismic events ($M > 6$) have not occurred on it nearly for 200 years. The network used in this study, located around the İznik-Mekece Fault, is called General Command of Mapping (GCM) - İstanbul Technical University (ITU) network. The network observed three times using both traditional and GPS methods from 1981 to 2007 years. This study aims to determine displacements of GCM-ITU network in order to monitor tectonic movement along the İznik-Mekece Fault.

Keywords: GPS, Marmara Region, displacement, NAF

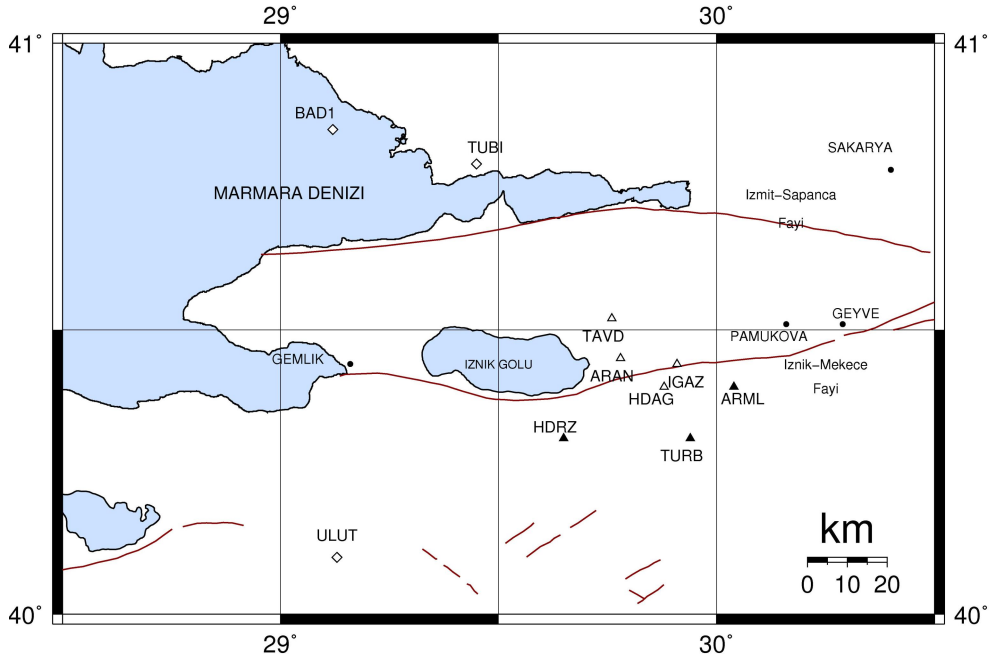
1. GİRİŞ

Kuzey Anadolu Fayı (KAF) Anadolu'daki en büyük fay sistemi olup, Karlıova'dan başlar, batıya doğru uzanarak Marmara'nın doğusunda İzmit-Sapanca ve İznik-Mekece Faylarını oluşturur (Şekil 1). HGK-İTÜ ağına çevresinde kurulduğu İznik-Mekece Fayı sağ yanal atımlı bir faydır. Fay, sismik potansiyelinin belirlenmesi amacıyla pek çok çalışmaya konu olmuştur (Ambraseys ve Finkel, 1991; Stein vd., 1997; Barka ve Reilinger, 1997; Reilinger vd., 2000; Ayhan vd., 2002; Ergintav vd., 2002; Meade vd., 2002; Reilinger vd., 2006; Ergintav vd., 2007).

Bu çalışmalarda fayda 200 yıldan beri büyük bir sismik ($M > 6$) aktiviteye rastlanmamıştır (Straub, 1996). Bununla birlikte M.S. 29 ve M.S. 128 yıllarında bölgede büyük depremlerin oluştuğuna dair kanıtlar bulunmuştur (Ambraseys ve Finkel, 1991). Stein vd. (1997) 1939-1995 arasındaki gerilim birikimini hesaplayarak, bölgede 1996-2026 arasında $M=6,7$ 'den büyük bir depremin gerçekleşme olasılığını %12 olarak belirlemiştir. Barka (1997) ise büyük depremlerin İznik çevresinde 2000 yılda bir gerçekleştiğini ileri sürmüştür. Bu çalışmalar dikkate alındığında İznik-Mekece Fayının genelde durağan bir fay olduğu düşünülmektedir.

Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) Jeodezi Anabilim Dalı bölgede, yer kabuğu hareketlerini belirlemek amacıyla 1990 yılından bu yana çalışmalar yapmaktadır (Gürkan vd., 1999, Özener, 2000). 1994-1998 yılları için bölgedeki yıllık hız 18 mm olarak belirlenmiştir (Özener, 2000). Bölgede, İzmit Depremini (17 Ağustos 1999, Mw 7.4) takip eden 298 gün için GPS ölçmeleri ile bulunan yer değiştirmeler güney-batı yönünde 85 mm'dir.

Çalışmada kullanılan HGK-İTÜ ağı HGK tarafından inşa edilmiş olup, 1981 yılında yersel yöntemlerle, hem doğrultu hem de kenar ölçmeleri yapılarak ölçülmüştür. 2004 ve 2007 yıllarında ise ağda iki GPS kampanyası düzenlenmiştir (Akay, 2007, Akay ve Özener 2009).



şekil 1: Çalışma alanı ve ağa ait istasyonlar. Ügenle gösterilen istasyonlar HGK-İTÜ ağına aittir. Dolu üçgenler analiz sırasında sabit alınanlar olup, boş üçgenler yer değiştirmeleri belirlenen istasyonlardır. Dörtgen sembolü ile gösterilen istasyonlar MAGNET ağına aittir

2. 1981- 2007 ARASINDAKİ YER DEğİşTİRMENİN BELİRLENMESİ

1981 yılında yapılan yersel gözlem ağın güneyindeki üç istasyon (HDRZ, ARML ve TURB) sabit alınarak dengelenmiştir. Kaba hatalı ölçülerin ayıklanması için Pope testi uygulanmıştır. Baz ölçümlerinde tellürometre kullanılmıştır. Ölçülen bazlar eğik uzunluk olduğundan aşağıdaki formülle yataya indirgenmiştir.

$$S_0 = \left[\frac{S_a - (H_2^2 - H_1^2)}{\left(1 + \frac{H_1}{R_a}\right) \left(1 + \frac{H_2}{R_a}\right)} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{S_E^3}{24R_a^2} \quad (1)$$

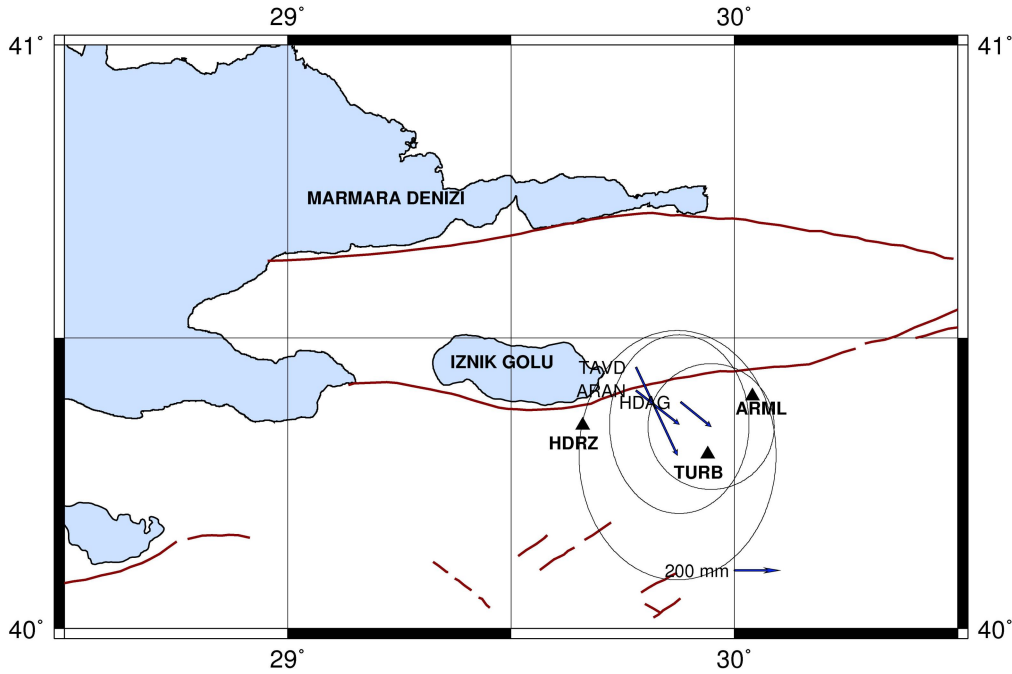
Burada, S_a eğik uzunluk, H_1 ve H_2 elipsoit yükseklikleri, R_a yeryüzü eğriliği yarıçapı, S_E elipsoitten olan mesafe, S_0 ise yatay uzunluktur.

Ağda 2004 ve 2007 yıllarında yapılan GPS ölçmelerinden elde edilen baz uzunluklarına yersel ölçme verileri gibi davranılmış, bu ölçüler kenar ağı dengelemesine sokulmuştur. Dengelenmiş koordinatlar her iki GPS kampanyası için elde edilmiştir. Dengeleme sırasında yine HDRZ, ARML ve TURB istasyonları sabit alınmıştır.

Yapılan ilk analizde GPS ölçmelerinin yersel ölçmelerle olan datum farklılığından kaynaklanan hatalar nedeniyle istenilen sonuçlar elde edilememiş; fayın güneyindeki kontrol noktaları ortak alınarak Helmert Benzerlik Dönüşümü uygulanmıştır. Helmert Dönüşümünde, GPS verilerine ait serbest dengeleme sonuçları kullanılmıştır. Sabit noktalara bağlı olarak ortaya çıkan yer değiştirmeler Tablo 1’de ve şekil 2’de gösterilmektedir.

Tablo 1: İstasyon listesi ve 1981 ile 2004-2007 yılları arasındaki yer değiştirme miktarları

İstasyon Adı	İstasyon Koordinatları		Gözlem Periyodu		Yer Değişimleri		Hatalar	
	Enlem	Boylam	Başlangıç	Bitiş	Yukarı (mm)	Sağa (mm)	D _y (mm)	D _s (mm)
TAVD	40.522	29.7574	1981	2004-2007	-391	183	89	113.8
ARAN	40.4472	29.7782	1981	2004-2007	-150	191	63	81
HDAG	40.3992	29.8826	1981	2004-2007	-109	134	57	62
TURB	40.2988	29.9421	1981	2004-2007	-	-	-	-
HDRZ	40.3512	29.6638	1981	2004-2007	-	-	-	-
ARML	40.3969	30.0394	1981	2004-2007	-	-	-	-



Şekil 2: 1981 ve 2004-2007 arasındaki yer değiştirme miktarları ve hata elipsleri. TAVD, ARAN ve HDAG istasyonlarına ait yer değiştirmeler TURB, HDRZ ve ARML sabit istasyonlarına göre belirlenmiştir

3. 2004 VE 2007 ARASINDAKİ YER DEĞİŞTİRMENİN BELİRLENMESİ

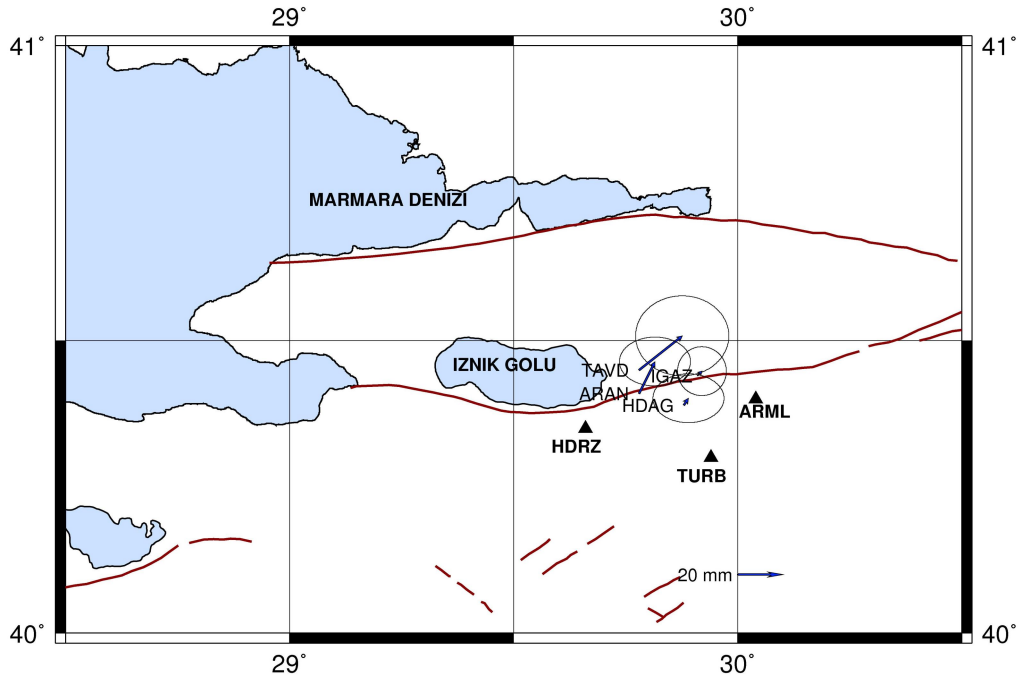
2004 ve 2007 yıllarında yapılan GPS ölçmelerine ait verilerin değerlendirilmesi için Trimble Geomatics Office (TGO) (URL 1) ve Jet Propulsion Laboratory'ye (JPL) ait GPS Inferred Positioning System / Orbit Analysis and Simulation (GPSY/OASIS II) (Webb ve Zumberge, 1993; Gregorius, 1996) programları kullanılmıştır. Sabit istasyonların (HDRZ, ARML ve TURB) 2004.32 epöğündeki koordinatları GPSY programında PPP (Precise Point Positioning) yöntemi ile belirlenmiştir. Ağ dengelemeleri için ise TGO programı kullanılmış ve ITRF 2000 sisteminde dengeli koordinatlar belirlenmiştir.

İzmit-Mekece Fayında 1981-2007 Yılları Arasındaki Yer Değiştirmenin Belirlenmesi

Buna bağlı olarak elde edilen yer değiştirmeler kuzey doğu yönünde olup (şekil 3), en büyük yer değiştirme miktarı Tablo 2'den de görülebileceği gibi TAVD istasyonundadır.

Tablo 2: İstasyon listesi ve 2004 ile 2007 yılları arasındaki yer değiştirme miktarları.

İstasyon Adı	İstasyon Koordinatları		Gözlem Periyodu		Yer Değiştirmeler		Hatalar	
	Enlem	Boylam	Başlangıç	Bitiş	Yukarı (mm)	Sağa (mm)	D _y (mm)	D _s (mm)
TAVD	40.521	29.7569	2004.32	2007.122	15	19	4.2	3.6
ARAN	40.4462	29.7778	2004.32	2007.122	14	7	3.2	2.2
HDAG	40.3982	29.8822	2004.32	2007.122	3	1	3.2	2.2
IGAZ	40.438	29.908	2004.32	2007.122	2	2	2.2	2.2
TURB	40.2978	29.9417	2004.32	2007.122	-	-	-	-
HDRZ	40.3511	29.6634	2004.32	2007.122	-	-	-	-
ARML	40.3959	30.039	2004.32	2007.122	-	-	-	-



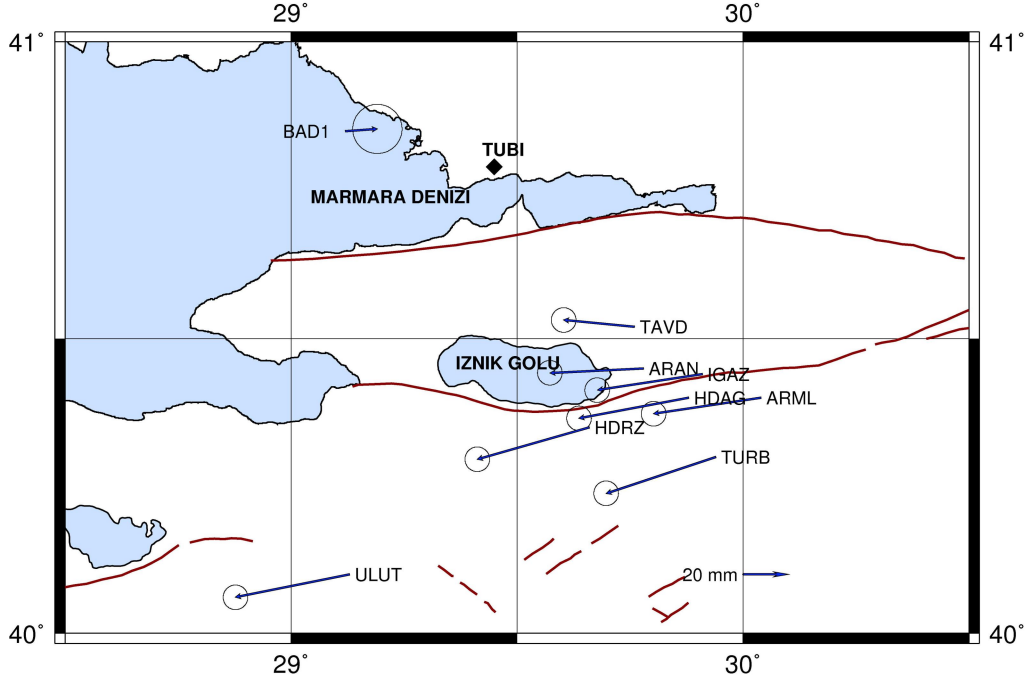
şekil 3: 2004 ve 2007 arasındaki yer değiştirme miktarları ve hata elipsleri. TAVD, ARAN, HDAG ve IGAZ istasyonlarına ait yer değiştirmeler TURB, HDRZ ve ARML sabit istasyonlarına göre belirlenmiştir

3.1 2004 ve 2007 Arasındaki Yer Değiştirmenin Genişletilmiş Ağda Belirlenmesi

Marmara Bölgesi Sürekli GPS Ağı (MAGNET) (Ergintav vd., 2002), Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) - Marmara Araştırma Merkezi (MAM) Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü tarafından işletilen, Marmara bölgesine dağılmış sürekli GPS istasyonlarından oluşan bir ağdır.

Ağın bütün olarak incelemek amacıyla HGK-İT ağı, MAGNET'ten eklenen istasyonlarla (TUBI, BAD1 ve ULUT) genişletilmiştir. Değerlendirme için TGO programı kullanılmış, TUBI istasyonu sabit alınmıştır. TUBI'ye ait hassas

koordinatlar Scripps Orbit and Permanent Array Center'ın (SOPAC) internet sitesinden (URL 2) elde edilmiştir. Bu değerlendirme sonucu elde edilen yer değiştirmeler Tablo 3 ve Şekil 4'ten incelenebilir.



Şekil 4: Genişletilmiş ağda 1981 ile 2004-2007 yılları arasındaki yer değiştirme miktarları ve hata elipsleri. Yer değiştirmeler TUBI istasyonu sabit alınarak belirlenmiştir.

Tablo 3: İstasyon listesi ve genişletilmiş ağda 1981 ile 2004-2007 yılları arasındaki yer değiştirme miktarları.

İstasyon Adı	İstasyon Koordinatları		Gözlem Periyodu		Yer Değiştirmeler		Hatalar	
	Enlem	Boylam	Başlangıç	Bitiş	Yukarı (mm)	Sağa (mm)	D _y (mm)	D _s (mm)
TAVD	40.521	29.7569	2004.32	2007.122	3	-31	1	1
ARAN	40.4462	29.7778	2004.32	2007.122	-2	-41	1	1
HDAG	40.3982	29.8822	2004.32	2007.122	-9	-48	1	1
IGAZ	40.438	29.908	2004.32	2007.122	-7	-46	1	1
TURB	40.2978	29.9417	2004.32	2007.122	-16	-48	1	1
HDRZ	40.3511	29.6634	2004.32	2007.122	-14	-49	1	1
ARML	40.3959	30.039	2004.32	2007.122	-7	-47	1	1
ULUT	40.0975	29.1314	2004.32	2007.122	-10	-50	1	1
BAD1	40.8512	29.1179	2004.32	2007.122	1	14	2	2
TUBI	40.7867	29.4507	2004.32	2007.122	-	-	-	-

4. SONUÇ

Çalışmada, HGK-İTÜ ağı üç ayrı başlık altında incelenmiştir. İlk bölümde yersel ölçüler ve GPS bazlarından elde edilen dengelenmiş koordinatlar yardımıyla yer değiştirmeler elde edilmiştir. Yer değiştirme değerleri, 1981 ile 2004-2007 (2005.5 olarak kabul edilmiştir) yılları arasında TAVD istasyonu için 431 mm, ARAN istasyonu için 243 mm ve HDAG için 173 mm'dir. Yıllık ortalama yer değiştirme miktarları 1981-2005.5 için 7 mm ile 18 mm arasında değişmektedir. Bölgede İzmit Depremi öncesinde yapılan başka bir çalışmada yatay hız 18mm/yıl olarak bulunmuştur (Özener, 2000). Buna ek olarak İGAZ istasyonunun 1994.7 ve 1996.8 epokları arasındaki hızı 18.09 mm/yıl olarak belirlenmiştir (McClusky vd., 2000). Görüldüğü gibi, elde edilen değerler uyum göstermektedir.

İkinci bölümde GPS gözlemleri kendi içlerinde değerlendirilmiş, 2004 ile 2007 yılları arasındaki yer değiştirme miktarları sabit istasyonlara (HDRZ, ARML ve TURB) göre bulunmuştur. Elde edilen değerler, TAVD için 24.2 mm, ARAN için 15.7 mm, HDAG için 3.16 mm ve İGAZ için 2 mm'dir. Ağ, MAGNET istasyonları ile genişletildikten sonra TUBI istasyonu sabit alınarak tekrar değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, yine aynı bölgede MAGNET üzerinde yapılan çalışma (Ergintav vd., 2007) ile karşılaştırılmıştır. HGK-İTÜ ağının analizinden elde edilen değerler (Tablo 3) ile bu çalışmada (Ergintav vd., 2007), İGAZ ve ULUT istasyonlarına ait bulunan 23.50 mm/yıl ve 23.17 mm/yıllık hızlar uyum göstermektedir.

İzmit-Mekece Fayının kuzeyindeki ve güneyindeki istasyonlarda, Şekil 4'te gösterilen yer değiştirmeler göz önüne alındığında, bölgede düşük bir sismik aktivite olduğu görülmektedir. Bu nedenle, Barka'nın daha önceki çalışmalarında öne sürdüğu gibi fayın aktif olmadığından söz edilebilir.

TEŐEKKÜR

Prof. Dr. Rasim Deniz'e yersel ölçme verisini sağladığı ve desteği için, Yrd. Doç. Dr. D. Uğur Őanlı ve Yrd. Doç. Dr. Cihangir Özşamlı'ya veri analizindeki yardımları için; TÜBİTAK-MAM Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsüne, özellikle Doç. Dr. Semih Ergintav'a GPS verilerini sağladığı için teőkür ederiz. Ayrıca çalışmada kullanılan programları sağlayan kuruluşlara (JPL-California Institute of Technology, Trimble Navigation Limited) teőkürlerimizi sunarız. Bildirideki haritalar GMT yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır (Wessel ve Smith, 2006).

KAYNAKLAR

Akay G., 2007. *Analysis of Total Crustal Deformation by the Comparison of Terrestrial and GPS Measurements in the Marmara Region*, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi KRDAE, İstanbul.

Akay G., Ozener H., 2009. *Investigation of long period crustal deformation on the silent branch of the North Anatolian Fault*, Nat. Hazard. Earth Sys., (kabul edildi)

Ambraseys N. N., Finkel C. F., 1991. *Long-term Seismicity of Istanbul and of the Marmara Sea Region*, Terra Nova, sayı: 3, sayfa: 527.

Ayhan M. E., Demir C., Lenk O., Kilicoglu A., Altiner Y., Barka A. A., Ergintav S., Ozener H., 2002. *Interseismic Strain Accumulation in the Marmara Sea Region*, B. Seismol. Soc. Am., sayı: 92, sayfa: 216.

Barka A., 1997. *Neotectonics of the Marmara Region*, Active Tectonics of Northwestern Anatolia-the Marmara Poly-Project, A Multidisciplinary Approach by Space-Geodesy, Geology, Hydrogeology, Geothermics and Seismology, vdf Hochschulverlag AG an der ETH, Zurich, sayfa: 55.

Barka A., Reilinger R., 1997. *Active Tectonics of the Eastern Mediterranean Region: Deduced from GPS, Neotectonic and Seismicity Data*, Ann. Geofis., sayı: XL, sayfa: 587.

Ergintav S., Burgmann R., McClusky S., Cakmak R., Reilinger R. E., Lenk O., Barka A., Ozener H., 2002. *Postseismic Deformation near the Izmit Earthquake (17 August 1999, M 7.5) Rupture Zone*, B. Seismol. Soc. Am., sayı: 92, sayfa: 194.

Ergintav S., Dogan U., Gerstenecker C., Cakmak R., Belgen A., Demirel H., Aydın C., Reilinger R., 2007. *A Snapshot (2003–2005) of the 3D Postseismic Deformation for the 1999, Mw = 7.4 Izmit Earthquake in the Marmara Region, Turkey, by First Results of Joint Gravity and GPS Monitoring*, J. Geodyn., sayı: 44, sayfa: 1.

Gregorius T., 1996. *GIPSY-OASIS II: How It Works*, Department of Geomatics, University of Newcastle upon Tyne, University of Newcastle, U. K., 149 p.

Gurkan O., Iğdir I., Ozener H., Sakalli Y., Turgut B., Yılmaz O., 1999. *Results of GPS measurements for networks designed for terrestrial observations, in the Western part of NAFZ*, in: Proceedings of the Third Turkish-German Joint Geodetic Days, 1-4 June 1999, Istanbul, Turkey.

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., Toksoz M. N., Veis G., 2000. *Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus*, J. Geophys. Res., sayı: 105, sayfa: 5695.

Meade B. J., Hager B. H., McClusky S. C., Reilinger R. E., Ergintav S., Lenk O., Barka A., Ozener H., 2002. *Estimates of Seismic Potential in the Marmara Sea Region from Block Models of Secular Deformation Constrained by Global Positioning System Measurements*, B. Seismol. Soc. Am., sayı: 92, sayfa: 208.

Ozener H., 2000. *Monitoring Regional Horizontal Crustal Movements by Individual Microgeodetic Networks Established Along Boundaries*, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi KRDAE, İstanbul.

Reilinger R. E., Ergintav S., Burgmann R., McClusky S., Lenk O., Barka A., Gurkan O., Hearn L., Feigl K. L., Cakmak R., Aktug B., Ozener H., Toksoz M. N., 2000. *Coseismic and Postseismic Fault Slip for the 17 August 1999, $M=7.5$, Izmit, Turkey Earthquake*, Science, sayı: 289, sayfa: 1519.

Reilinger R., McClusky S., Vernant P., Lawrance S., Ergintav S., Cakmak R., Ozener H., Kadirov F., Guliev I., Stepanyan R., Nadariya M., Hahubia G., Mahmoud S., Sakr K., ArRajehi A., Paradissis D., Al-Aydrus A., Prilepin M., Guseva T., Evren E., Dmitrotsa A., Filikov S. V., Gomez F., Al-Ghazzi R., Karam G., 2006. *GPS Constraints on Continental Deformation in the Africa-Arabia-Eurasia Continental Collision Zone and Implications for the Dynamics of Plate Interactions*, J. Geophys. Res., sayı: 111, sayfa: B05411.

Straub C., 1996. *Recent Crustal Deformation and Strain Accumulation in the Marmara Sea Region, N. W. Anatolia, Inferred from GPS Measurements*, Doktora Tezi, ETH, Zurich Switzerland.

Stein R. S., Barka A. A., Dieterich J. H., 1997. *Progressive Failure on the North Anatolian Fault since 1939 by Earthquake Stress Triggering*, Geophys. J. Int, sayı: 128, sayfa: 594.

URL 1, Trimble Geomatics Office İnternet sitesi, <http://www.trimble.com/geomaticsoffice.shtml>, 15 Nisan 2007.

URL 2, SOPAC İnternet sitesi, <http://sopac.ucsd.edu/processing/coordinates>, 20 Mayıs 2007.

Webb F.H. and Zumberge J. F., 1993. *An Introduction to GIPSY/OASIS II*, JPL Publ., D-11088, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California.

Wessel P., and Smith W. H. F., 2006. *The Generic Mapping Tools (GMT) Version 3.4 Technical Reference & Cookbook*, SOEST/NOAA, 112 p.