

TUZLA FAYI VE CİVARINDA YERKABUĞU HAREKETLERİNİN JEODEZİK YÖNTEMLER İLE İNCELENMESİ

Haluk Özener¹, Aslı Doğru¹, Esen Arpat¹, Mustafa Acar², Bülent Turgut¹, Onur Yılmaz¹, Ahmet Ünlütepe¹, Kerem Halıcıoğlu¹, Aslı Sabuncu¹, Emre Havazlı¹, Ahmet Altın¹, Tayfun Kaynarca¹, Ömer Farisoğulları¹, Arif Sabuncu¹, Haydar Akçay¹

¹ Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, Üsküdar, İstanbul, ozener@boun.edu.tr
² Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

ÖZET

Türkiye'nin batısı, Yunanistan ve Helenik Yayı içine alan Ege Bölgesi, Alp Himalaya deprem kuşağının sismolojik ve jeodinamik bakımdan en aktif bölümüdür. Bu çalışmanın amacı, Tuzla Fayı ve yakın çevresinde meydana gelen kabuk deformasyonlarının jeodezik yöntemlerle belirlenmesidir. Çalışma bölgesinde, 16 yeni nokta tesis edilmiştir. 2009 ve 2010 yıllarında GPS gözlemleri ve hassas nivelman ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. 2011 yılı başında 3. hassas nivelman kampanyası gerçekleştirilmiş olup 3. GPS kampanyası bahar ayları içinde gerçekleştirilecektir. GPS gözlemlerinden elde edilen veriler ışığında yerdeğiştirme vektörleri elde edilmiştir. Hassas nivelman ölçmelerinden elde edilen sonuçlarda bölgede düşey yerdeğiştirmeler olduğu gözlemlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Jeodezik ağlar, Deformasyon Analizi, GPS/GNSS, Prezisyonlu Nivelman, Tuzla fayı-İzmir

ABSTRACT

INVESTIGATION OF CRUSTAL MOVEMENTS ALONG TUZLA FAULT AND ITS VICINITY BY GEODETIC TECHNIQUES

The Aegean Region including Western part of Turkey, mainland of Greece, the Hellenic Arc is the most active domain and deforming part in terms of seismological and geodynamical which is placed in the Alpine Himalayan Belt. The objective of this study is to monitor crustal deformation along Tuzla fault and its vicinity by geodetic techniques. 16 new points were established in the study area. GPS campaigns and precise leveling measurements were performed in 2009 and 2010. Third precise leveling measurement was performed in the beginning of 2011 and 3rd GPS campaign will be held in the following spring season. Displacement vectors were obtained. Precise leveling measurement results indicate that there is a vertical displacement in the study area.

Keywords: Geodetic networks, Deformation analysis, GPS/GNSS, Precise leveling, Tuzla Fault-Izmir

1. GİRİŞ

Tektonik levha hareketleri sonucu oluşan depremler nedeniyle yer kabuğu sürekli deformasyona uğramaktadır. Uzay jeodezisi teknikleri ile (Çok Uzun Bazlı İnterferometre/VLBI, Uydu Lazer Uzunluk Ölçmeleri/ SLR) ve (Küresel Konum Belirleme Sistemi/GPS) ulaşılan yüksek konum doğruluğu, levha hareketlerinin izlenmesi ve klasik levha hareket modellerinin geliştirilmesine olanak sağlamaktadır. Ülkemizde istatistiki verilere göre her 14 ayda, aletsel büyüklüğü 6 ve üzerinde bir deprem meydana gelmektedir. Türkiye'nin batısı, Yunanistan ve Helenik Yayı içine alan Ege Bölgesi, Alp-Himalaya deprem kuşağının sismolojik ve jeodinamik bakımdan en aktif ve en fazla deformasyona uğrayan bölümüdür (Mc Kenzie 1972, 1978, Jackson et al., 1982, Armijo et al., 1996). Bu bölge, temel olarak, Anadolu levhasının Avrasya levhasına göre saat yönünün tersine olan bağıl hareketi nedeniyle deformasyona uğramaktadır. Ege Bölgesi gerek bu karmaşık hareketliliği ile gerekse bölgede bulunan gelişmiş normal ve yanal atımlı faylar nedeniyle tüm dünyadaki yer bilimciler için ilgi çekici bir çalışma alanı olarak öne çıkmıştır.

Çalışmanın amacı, Tuzla Fayı ve yakın çevresinin farklı jeodezik yöntemlerle kabuk deformasyonlarını belirlemektir. Tuzla Fayının önemi, bulunduğu konum ve depremselliği açısından değerlendirildiğinde Türkiye'nin 3. büyük şehri olan İzmir'e yakınlığıdır. Tuzla Fayı, İzmir'in güneybatısında Doğanbey burnu ve Gaziemir arasında yer alan KD-GB doğrultulu bir faydır (Emre ve Barka 2000). Aynı fay farklı bilimsel çalışmalarda farklı isimlerle anılmaktadır. Örneğin Türkiye Diri Fay Haritası'nda Cumaovası çizgiselliği olarak yer almaktadır (Şaroğlu ve diğerleri, 1987, 1992). Diğer bilimsel çalışmalarda Cumalı ters fayı (Eşder, 1988) ve Orhanlı fayı (Genç ve diğerleri, 2001) olarak da adlandırılmıştır. Tuzla Fayının karadaki uzunluğu 42 km'dir. Ayrıca Doğanbey körfezinde MTA Sismik-1 araştırma gemisiyle yapılan sismik çalışmalar, Tuzla fayının GB doğrultusunda, Ege Denizi tabanında devam ettiğini göstermiştir. Deniz altında devam eden kısmıyla birlikte değerlendirildiğinde fayın uzunluğu 50 km'yi geçmektedir. (Ocakoğlu ve diğerleri 2004, 2005).

Çalışma bölgesinde ilk olarak istikşaf çalışması yapılmış olup, 16 noktalı bir mikrojeodezik ağ 2009 yılında tesis edilmiştir. Bu noktalardan 15 tanesi GPS ölçmelerinde kullanılmış, kalan 1 nokta ise sadece hassas nivelman

ölçmelerinde kullanılmıştır. 2009 ve 2010 yıllarında yaklaşık 1 yıl aralıkla GPS gözlemleri ve hassas nivelman ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. 2011 yılı başında 3. hassas nivelman kampanyası gerçekleştirilmiş olup 3. GPS kampanyası bahar ayları içinde gerçekleştirilecektir.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

Çalışma alanı olarak seçilen bölge, 26° 15' – 28° 20' doğu boylamları ile 37° 45' -39° 15' kuzey enlemlerini kapsamaktadır. Çalışma bölgesinde kurulmuş olan mikrojeodezik ağda bölgedeki yerkaşu hareketlerini belirlemek amacıyla iki farklı jeodezik ölçme metodu ile gözlemler yapılmıştır. Bu yöntemler, hassas nivelman tekniğı ve GPS'tir.

2.1 Hassas Nivelman Tekniğı

Kurulmuş olan mikrojeodezik ağdaki faya paralel ve fayı dik kesen 3 ana noktada hassas nivelman tekniğı ile ölçmeler yapılmıştır. Bu noktalar Kaplıca, Huzur sitesi ve Doğanbey'dir. Belirlenmiş olan hassas nivelman noktalarının isimleri, 4 karakterli kısaltmaları ve koordinatları Tablo 1'de yer almaktadır. Kaplıca ve Huzur Sitesi noktaları aynı zamanda GPS gözlemlerinde de kullanılmıştır ancak Doğanbey noktası konumu yüzünden GPS gözlemlerinde kullanılmamaktadır. Hassas nivelman ölçmeleri gidiş-dönüş şeklinde gerçekleştirilmiş olup kullanılan güzergâh yaklaşık 15 km'dir. Hassas nivelman ölçmeleri, istikşaf çalışmasından sonra 2009 ve 2010 yıllarında yaklaşık 1 yıl aralıkla gerçekleştirilmiştir. 2011 yılı başında 3. kampanya ölçmeleri ile gözlemlere devam edilmiştir.

Tablo 1: Hassas nivelman noktaları ve koordinatları

İstasyon	İstasyon ID	Enlem (°)	Boylam (°)
Kaplıca	KPLC	38,085	26,907
Huzur Sitesi	HZUR	38,068	26,900
Doğanbey	DBEY	38,077	26,872

2009 ve 2010 yıllarında gerçekleştirilen hassas nivelman ölçmelerinde Topcon DL-101C nivo ile 3 metrelik invar mira kullanılmıştır. 2011 yılında gerçekleşen hassas nivelman ölçmelerinde ek olarak Trimble DiNi sayısal nivosu ile de ölçmeler yapılmıştır. Bu nivoların hassasiyetleri sırasıyla 0,4mm/km ve 0,3mm/km dir.

2.2 GPS Gözlemleri

Çalışma bölgesinde istikşaf çalışması sonucu, bir mikrojeodezik ağ kurulmuştur. Ağda yer alan GPS noktalarının isimleri, 4 karakterli kısaltmaları ve koordinatları Tablo 2'de görülmektedir. İlk GPS kampanyası 2009 yılında gerçekleşmiş olup Trimble 4000 SSI, Trimble 4000 SSE ve Trimble 5700 alıcıları kullanılmıştır. 2010 yılında gerçekleşen 2. GPS kampanyası ise Trimble 4000 SSI ve Trimble 4000 SSE alıcıları ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 1'de 2010 yılına ait 2. GPS kampanya ölçmelerinde PTKV noktasının görüntüsü yer almaktadır. Her bir noktada 15 saniyede bir kayıt almak koşulu ile tekrarlı ve en az 10 saatlik gözlemler yapılmıştır. Gözlemler eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 2: GPS noktalarının kısaltmaları ve koordinatları

İstasyon	İstasyon ID	Enlem (°)	Boylam (°)
Askeriye	ASKE	38,174	26,867
Çatalca	CTAL	38,257	27,041
Esenli	ESEN	38,156	27,084
Gaziemir	GEMR	38,319	27,186
Görece	GORC	38,296	27,117
Huzur Sitesi	HZUR	38,068	26,900
Kokar	KOKR	38,183	26,599
Kaplıca	KPLC	38,085	26,907
Petek Vadisi	PTKV	38,209	27,012

Seferihisar	SFRH	38,215	26,797
Tırazlı	TRAZ	38,267	26,996
Turgutlu	TURĖ	38,265	26,781
Ürkmez	URKM	38,092	26,949
Yağcılar	YACI	38,229	26,658
Yeniköy	YKOY	38,216	27,036



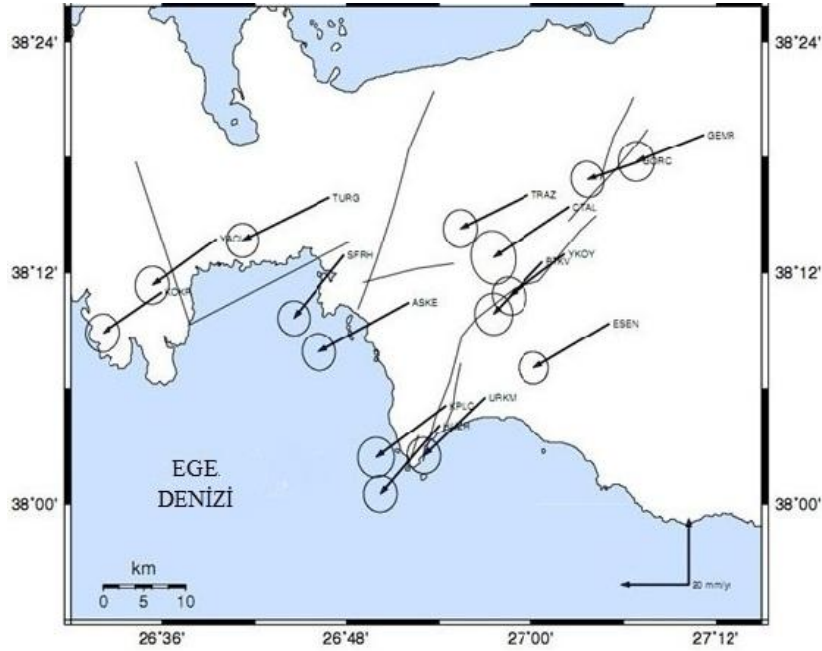
Şekil 1: PTKV noktasından bir görüntü

Jeodezik veri, 2009 ve 2010 yıllarında gerçekleştirilen GPS kampanyalarından elde edilmiştir ve GAMIT (King and Bock, 2004) / GLOBK (Herring, 2004) bilimsel yazılımı kullanılarak 15 adet istasyona ait hızlar elde edilmiştir (Şekil 2).

Bu işlem yapılırken aşağıdaki sıra izlenmiştir:

- Hassas yörünge bilgisi, Uluslararası GPS Servisi (IGS) tarafından SP3 formatında, SOPAC adresinden alınmıştır.
- Yer dönme parametreleri, USNO_bull_b değerlerinden alınarak kullanılmıştır.
- Değerlendirmeye IGS global izleme ağından 16 istasyon dahil edilmiştir.
- Referans sistemi tanımlamada ITRF2005 koordinat çözümü kullanılmıştır.
- Radyasyon- basınç etkileri için SOPAC tarafından da standart olarak kullanılan 9 parametrelili Berne modeli kullanılmıştır.
- Okyanus yüklemesi etkisi için Scherneck modeli ile çalışılmıştır.
- Zenith gecikme bilinmeyenleri, Saastamoinen öncül standart troposfer modeline dayalı olarak 2 saatlik aralıklarla hesaplanmıştır.
- Değerlendirmede, L1 ve L2 taşıyıcı dalga fazlarının iyonosferden bağımsız LC (L3) doğrusal kombinasyonu kullanılmıştır.
- Anten faz merkezleri için yüksekliğe bağılı model tercih edilmiştir.
- GAMIT çözümleri sonrasında elde edilen gevşek ve zorlamalı günlük çözümler ITRF_2005 referans sisteminde, 16 global IGS noktasından yararlanarak 7 parametrelili (3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçek) dönüşüm ile tanımlanmıştır.
- Günlük hassas koordinatlar Kalman analizi ile birleştirilerek, oluşturulan zaman serilerinden yapılan trend analizi ile istasyonların hızları elde edilmiştir.

GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak ve yukarıdaki işlem sırası izlenerek yapılan hesaplama sonuçları ile istasyonlara ait elde edilen hız vektörleri ve hata elipsleri Şekil 2'de görülmektedir. Çalışma bölgesinin GPS hız bileşenleri Tablo 3'de yer almaktadır.



Şekil 2: Çalışma bölgesi Avrasya sabit hız alanı (2009-2010)

Tablo 3: Çalışma Bölgesi GPS hız bileşenleri

İstasyon	Boylam (°)	Enlem(°)	E_{vel} (mm/yıl)	N_{vel} (mm/yıl)	E_{sig} (mm/yıl)	N_{sig} (mm/yıl)	RHO
GEMR	27.186	38.319	-19.79	-7.90	2.08	2.34	0.013
GORC	27.117	38.296	-15.31	-5.33	1.90	2.11	-0.064
ESEN	27.084	38.156	-22.36	-13.28	1.76	1.88	-0.015
CTAL	27.041	38.257	-22.65	-15.19	2.60	3.16	-0.076
YKOY	27.036	38.216	-16.47	-12.50	2.02	2.22	-0.093
PTKV	27.012	38.209	-14.66	-15.50	2.20	2.45	-0.012
TRAZ	26.996	38.267	-20.09	-10.00	1.96	2.24	0.008
URKM	26.949	38.092	-18.00	-17.38	1.94	2.14	-0.032
KPLC	26.907	38.085	-20.61	-15.51	2.11	2.35	0.009
HUZR	26.900	38.068	-17.41	-20.49	1.94	2.13	0.016
ASKE	26.867	38.174	-26.72	-14.73	1.99	2.20	-0.044
SFRH	26.797	38.215	-15.09	-18.81	1.87	2.04	-0.016
TURG	26.781	38.265	-25.88	-12.84	1.85	2.01	0.006
YACI	26.658	38.229	-18.87	-13.79	1.96	2.22	0.029
KOKR	26.599	38.183	-17.56	-12.15	2.03	2.25	0.010

3. BULGULAR VE SONUÇLAR

Ülkemizin bir deprem ülkesi olduğu gerçeği göz önüne alınırsa, bölgede uzun süreli verilerin elde edilmesi ve işlenmesi önemlidir. Bölgede jeodezik, jeofizik ve jeolojik olarak birçok çalışmalar yapılmış, ancak çalışmalar küçük ölçekli kalmıştır. Tuzla Fayı ve yakın çevresinin jeodezik yöntemlerle kabuk deformasyonlarının belirlenmesi çalışması yüksek hassasiyeti, büyük ölçekli olması ve yoğun nokta sıklığı olan bir jeodezik ağa sahip olması ile önceki çalışmalardan farklıdır (Ozener, 2010). Bu amaç doğrultusunda çalışma bölgesinde 2009, 2010 ve 2011 yıllarında hassas nivelman tekniği ile ölçmeler yapılmıştır. KPLC noktasının yüksekliği 100.0000 m ve sabit alınarak diğer noktaların yükseklikleri hesaplanmıştır. Tablo 4’de nivelman noktalarının 2009, 2010 ve 2011 yıllarına ait yükseklikleri ve yükseklik farkları verilmiştir. 2009 ve 2010 yılları arasında incelendiğinde KPLC ve HZUR noktaları arasında 6,6 mm’lik düşey

yerdeğiştirme gözlemlenmiştir. Bununla birlikte HZUR ve DBEY arasında da 0,8 mm'lik düşey yönde bir yerdeğiştirme gözlemlenmiştir. Bölgede, 2011 yılının başında 3. hassas nivelman kampanyası gerçekleştirilmiştir. 2010 ve 2011 yıllarına ait veriler incelendiğinde KPLC ve HZUR istasyonları arasında 3,2 mm'lik bir düşey yerdeğiştirme olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca HZUR ve DBEY istasyonlarının 2010 ve 2011 yılları arasında 4,1 mm'lik düşey yönde bir yerdeğiştirme gözlemlenmiştir. Bu değerler bölge için önemli olup, çalışma bölgesinde hassas nivelman tekniği ile gözlemlere devam edilecektir. GPS ölçmeleri ise, 2009 ve 2010 yıllarında gerçekleştirilmiştir. İki GPS kampanyasından elde ettiğimiz veriler, bölge ile ilgili ilk sonuçlar olup yerdeğiştirme vektörleri 21mm/yıl ile 25mm/yıl arasında değişmektedir. Sonuçların bölge tektoniği ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 4: 2009, 2010 ve 2011 yıllarının yükseklikleri ve yükseklik farkları

İstasyonlar	Yükseklikler (m)			Yükseklik Farkları (m)		
	2009	2010	2011	2009-2010	2010-2011	2009-2011
KPLC	100,00000	100,00000	100.00000	0,00000	0,00000	0,00000
HZUR	108,26038	108,25375	108.25051	-0,00663	-0,00324	-0,00987
DBEY	198,79536	198,78789	198.78375	-0,00747	-0,00414	-0,01161

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK-ÇAYDAG 108Y295 kodlu ve Boğaziçi Üniversitesi BAP 5056 kodlu projeleri ile desteklenmiştir. GPS verilerinin işlenmesinde, MIT, SIO ve Harvard Üniversitesi tarafından geliştirilen GAMIT/GLOBK yazılımları kullanılmıştır. Yazı içerisindeki harita ve şekiller GMT yazılımı kullanılarak oluşturulmuştur. İstanbul Teknik Üniversitesi Geomatik Mühendisliği bölümüne, Topcon DL-101 C sayısal nivo ile invar miraları bizlere çalışmamızda kullanımını sağladıkları için teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Armijo, R., Meyer, B., King, G.C.P., Rigo, A., and Papanastassiou, D., 1996. *Quaternary Evolution of the Corinth Rift and its Implications for the Later Cenozoic Evolution of the Aegean*. Geophys. J. Int., 126, 11-53.
- Emre, O., Barka, A., 2000. *Active Faults between Gediz Graben and Aegean Sea (Izmir Region)*, Proceedings of International Symposia on Seismicity of Western Anatolia, 24-27 May.
- Eşder, T., 1988, *Gümüldür-Cumaovası (İzmir) alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklarının araştırılması*. Doktora Tezi, İstanbul Üniv. Fen Bil. Enst. Jeoloji Müh. Böl. Anabilim Dalı, 401 s. (Yayımlanmamış).
- Genç,Ş.C., Altunkaynak, Ş., Karacık, Z., Yazman, M., Yılmaz, Y., 2001, *The Çubukludağ graben, south of İzmir: tectonic significance in the Neogene geological evolution of the Western Anatolia*. Geodinamica Acta, 14, 1-12.
- Herring, T.A., 2004. *GLOBK: Global Kalman Filter VLBI and GPS Analysis Program*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, ABD.
- Jackson et al., 1982. *Seismicity, Normal Faulting and the Geomorphological Development of the Gulf of Corinth (Greece): the Corinth Earthquakes of February and March 1981*, Earth and Planetary Science Letters, 57, 377-397.
- King, R. W. and Bock, Y., 2004. *Documentation of the MIT GPS Analysis Software: GAMIT*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, ABD.
- Mc Kenzie, D. P., 1972. *Active Tectonics of the Mediterranean Region*, Geophysical Journal of Research", Vol. 30, pp.109-185.
- Mc Kenzie, D., 1978. *Active Tectonics of Alpine-Himalayan Belt: The Aegean Region and Surrounding Regions*, Geophysical J. R. Ast. Soc., Vol. 55, pp. 217-254.
- Ocakoglu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., 2004, *Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province*. Tectonophysics, 391, 67-83.

Tuzla Fayı ve Civarında Yerkađu Hareketlerinin Jeodezik Yöntemler ile İncelenmesi

Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşçu, İ., 2005, *Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime*. Marine Geology, 219, 155–171.

Ozener H., 2010. *The Importance of Tuzla Fault and a Study on Deformation Monitoring in the Aegean Region, Turkey*, FIG Congress.

Haluk Ozener, Asli Dogru, Bulent Turgut, and Asli Turgutalp, *GPS Observations of Contemporary Deformation and Kinematics of İzmir, Western Anatolia*, EGU General Assembly 2010, 02 – 07 May 2010, Vienna, Austria

Sabuncu A., Ozener H., 2010. *Determination of the Displacements along the Tuzla Fault (İzmir) and Surroundings by GPS and Precise Leveling Techniques*, WEGENER 2010-15th General Assembly of WEGENER, 14-17 Eylül 2010, İstanbul-Turkey

Sabuncu A., 2010. *Investigation of Crustal Movement Along Tuzla Fault-İzmir*, Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Boray, A., 1987, *Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 394 s.11

Şaroğlu, F., Emre, Ö., ve Kuşçu, İ., 1992, *Türkiye Diri Fay Haritası, 1:2,000,000 ölçekli*, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara.