

## Tuzla Fayı ve Civarında Yerkabuğu Hareketlerinin Jeodezik Yöntemler ile İncelenmesi

Haluk ÖZENER<sup>1</sup>, Ashı DOĞRU<sup>1</sup>, Esen ARPAT<sup>1</sup>, Mustafa ACAR<sup>2</sup>, Bülent TURGUT<sup>1</sup>, Onur YILMAZ<sup>1</sup>, Kerem HALICIOĞLU<sup>1</sup>, Ashı SABUNCU<sup>1</sup>, Emre HAVAZLI<sup>1</sup>

### Özet

Türkiye'nin batısı, Yunanistan ve Helenik Yayı içine alan Ege Bölgesi, Alp Himalaya deprem kuşağının sismolojik ve jeodinamik bakımından en aktif bölümüdür. Bu çalışmanın amacı, Ege Bölgesi içinde yer alan 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 in Aegean region 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. Giriş

Tektonik levha hareketleri sonucu oluşan depremler nedeniyle yerkabuğu 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, aleysel 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 bakımından en aktif ve en fazla deformasyona uğrayan bölümüdür (MC KENZIE 1972, 1978, JACKSON vd. 1982, ARMIJO vd. 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 yanallı 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 vd. 1987, 1992). Diğer bilimsel çalışmalarda, Cumalı ters fayı (EŞDER 1988) ve Orhanlı fayı (GENÇ vd. 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 vd. 2004, 2005).

Çalışma bölgesinde, 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

<sup>1</sup> Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Çengelköy, 34680 İstanbul

<sup>2</sup> Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

ölçmeleri gerçekleştirilmiştir. 2011 yılı başında 3. hassas nivelman kampanyası gerçekleştirilmiş olup, 3. GPS kampanyası bahar ayları içinde gerçekleştirilecektir.

## 2. Çalışma Bölgesinde Kullanılan 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 yer kabuğu hareketlerini belirlemek amacıyla iki farklı jeodezik ölçme metodu ile gözlemler yapılmıştır. Bu yöntemler, hassas nivelman tekniği ve GPS tekniğidir.

### 2.1. Hassas Nivelman Tekniği

Kurulmuş olan mikrojeodezik ağdaki faya paralel ve fayı dik kesen 3 ana noktada hassas nivelman tekniği 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

Mikrojeodezik ağda yer alan GPS noktalarının isimleri, 4 karakterli kısaltmaları ve koordinatları Tablo 2'de görülmektedir. İlk GPS kampanyası 2009 yılında gerçekleştirilmiş olup, Trimble 4000 SSI, Trimble 4000 SSE ve Trimble 5700 alıcıları kullanılmıştır (ÖZENER vd. 2010). 2010 yılında gerçekleştirilen 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.

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	TURG	38,265	26,781
Ürkmez	URKM	38,092	26,949
Yağcılar	YACI	38,229	26,658
Yeniköy	YKOY	38,216	27,036

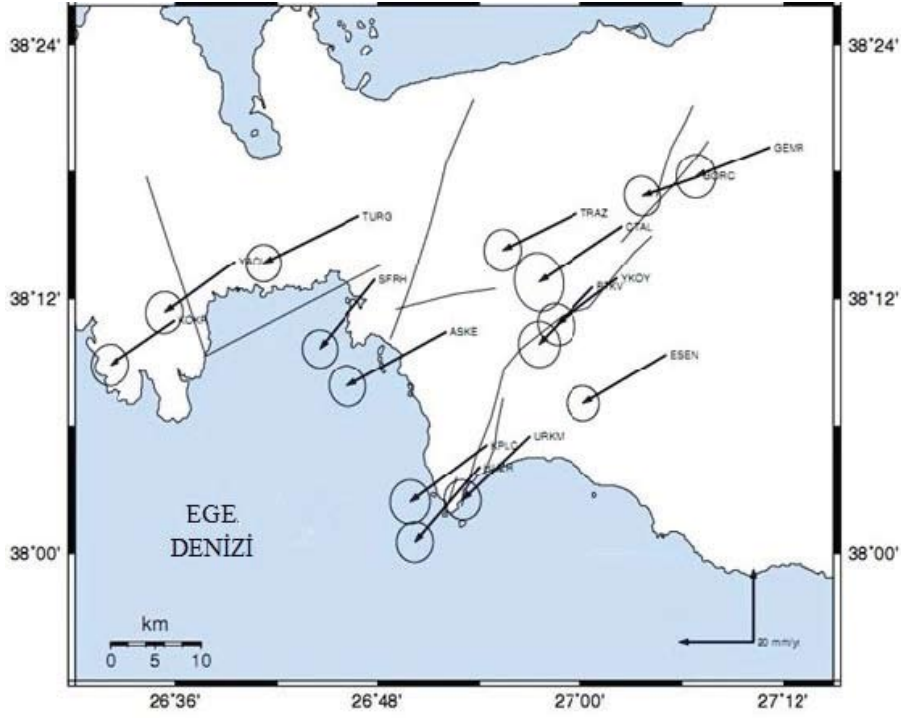


Şekil 1. PTKV noktasından bir görüntü

Jeodezik veri, 2009 ve 2010 yıllarında gerçekleştirilen GPS kampanyalarından elde edilmiştir ve GAMIT/GLOBK (HERRING vd. 2010) bilimsel yazılımı kullanılarak 15 adet istasyona ait yerdeğiştirme vektörleri elde edilmiştir (Şekil 2). Değerlendirme işleminde 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.
- Zenit 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 bağlı 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 yerdeğiştirme değerleri elde edilmiştir.

GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak ve yukarıdaki işlem sırası izlenerek yapılan hesaplama sonuçları ile istasyonlara ait elde edilen yerdeğiştirme vektörleri ve hata elipsleri Şekil 2’de görülmektedir. (SABUNCU 2010, SABUNCU ve OZENER 2010).



Şekil 2. Çalışma bölgesi yerdeğiştirme vektörleri (2009-2010, Avrasya sabit)

### 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 (ÖZENER 2010). Bu amaç doğrultusunda çalışma bölgesinde 2009, 2010 ve 2011 yıllarında hassas nivelman tekniği ile ölçmeler yapılmıştır. KPLC noktasının yüksekliği 100 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 (SABUNCU 2010, SABUNCU ve ÖZENER 2010). Sonuçların bölgede daha önceden AKTUG ve KILICOĞLU (2006) tarafından gerçekleştirilen çalışma ve 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 Bölümü'ne, Topcon DL-101 C sayısal nivosu ile invar miraları projemize tahsis ettikleri için teşekkür ederiz

## Kaynaklar

- AKTUG, B. ve KILICOGLU, A.: **Recent crustal deformation of Izmir, western Anatolia and surrounding regions as deduced from repeated GPS measurements and strain field.** J. of Geody., 41 (2006), 471-484.
- ARMIJO, R., MEYER, B., KING, G.C.P., RIGO, A., PAPANASTASSIOU, D.: **Quaternary Evolution of the Corinth Rift and its Implications for the Later Cenozoic Evolution of the Aegean.** Geophys. J. Int., 126 (1996), 11-53.
- EMRE, O. ve BARKA, A.: **Active Faults between Gediz Graben and Aegean Sea (Izmir Region),** Proceedings of International Symposia on Seismicity of Western Anatolia, (2000), 24-27 May.
- EŞDER, T.: **Gümüldür-Cumaovası (İzmir) alanının jeolojisi ve jeotermal enerji olanaklarının araştırılması.** Doktora Tezi, İstanbul Üniv. Fen Bil. Enst. Jeoloji Müh. Böl. Anabilim Dalı, (1988), 401 s. (Yayımlanmamış).
- GENÇ,Ş.C., ALTUNKAYNAK, Ş., KARACIK, Z., YAZMAN, M., YILMAZ, Y.: **The Çubukludağ graben, south of İzmir: tectonic significance in the Neogene geological evolution of the Western Anatolia.** Geodinamica Acta, 14 (2001) 1-12.
- HERRING, T.A., KING, R.W., MCCLUSKY, S.C.: **Introduction To GAMIT/GLOBK, Release 10.4.** Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, ABD (2010).
- JACKSON J.A., GAGNEPAIN J., HOUSEMAN G., KING G.C.P., PAPANASTASSIOU P., SOUFLERIS C., VIRIEUX J.: **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 (1982), 377-397.
- MC KENZIE, D. P.: **Active Tectonics of the Mediterranean Region,** Geophysical Journal of Research", Vol. 30 (1972), pp.109-185.
- MC KENZIE, D.: **Active Tectonics of Alpine-Himalayan Belt: The Aegean Region and Surrounding Regions,** Geophysical J. R. Ast. Soc., Vol. 55 (1978), 217-254.
- OCAKOĞLU, N., DEMİRBAĞ, E., KUŞÇU, İ.: **Neotectonic structures in the area offshore of Alaçati, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province.** Tectonophysics, 391 (2004), 67-83.
- OCAKOĞLU, N., DEMİRBAĞ, E., KUŞÇU, İ.: **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 (2005), 155-171.
- OZENER H.: **The Importance of Tuzla Fault and a Study on Deformation Monitoring in the Aegean Region, Turkey,** FIG Congress, 2010.
- OZENER H., DOGRU A., TURGUT B., TURGUTALPA.: **GPS Observations of Contemporary Deformation and Kinematics of Izmir, Western Anatolia,** EGU General Assembly 2010, 02 – 07 May (2010), Vienna, Austria.
- SABUNCU A. ve OZENER H.: **Determination of the Displacements along the Tuzla Fault (Izmir) and Surroundings by GPS and Precise Leveling Techniques,** WEGENER 2010-15th General Assembly of WEGENER, 14-17 Eylül (2010), İstanbul-Turkey.
- SABUNCU A.: **Investigation of Crustal Movement Along Tuzla Fault-İzmir,** Yüksek Lisans Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, (2010), İstanbul.
- ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö., BORAY, A.: **Türkiye'nin Diri Fayları ve Depremsellikleri.** Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Jeoloji Etüdleri Dairesi Başkanlığı, Ankara, 394 (1987), s.11.
- ŞAROĞLU, F., EMRE, Ö., KUŞÇU, İ.: **Türkiye Diri Fay Haritası, 1:2,000,000 ölçekli,** Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, (1992), Ankara.