

---

**Deprem Deformasyon Döngüsünün Jeodetik ve Jeolojik  
Gözlemleri: Fay Mekanizması ve Kabuk/Manto Reolojisi  
Üzerine Etkileri**

***Geodetic and Geologic Observations of the Earthquake  
Deformation Cycle: Implications for Fault Mechanics,  
Crust/Mantle Rheology, and Earthquake Hazards***

Oturum Yürütücüsü / Convener: Robert Reilinger

---

## GNSS Ölçüleri İle Güneybatı Anadolu'nun Hız ve Gerilim Alanlarının Tespiti

Engin Güral<sup>1</sup>, Saffet Erdoğan<sup>2</sup>, İbrahim Tiryakioglu<sup>2</sup>, Ü. Yalçın Kalyoncuoglu<sup>3</sup>,  
M. Nuri Dolmaz<sup>3</sup>, Ömer Elitok<sup>3</sup>, Tamer Baybura<sup>2</sup>, Hediye Erdoğan<sup>4</sup>, Metin Soycan<sup>1</sup>,  
İbrahim Yılmaz<sup>2</sup>, A. Kazım Telli<sup>2</sup>, Fatih Taktak<sup>2</sup>, Taylan Öcalan<sup>1</sup> ve Kutalmış Gümüş<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Barbaros Bulvarı, 34349 İstanbul

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü  
Gazligöl Yolu, 03200 Afyonkarahisar (E-posta: itiryakioglu@aku.edu.tr)

<sup>3</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi, 32260 Çünür, Isparta

<sup>4</sup> Aksaray Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, 68100 Aksaray

Bu makale Güneybatı Anadolu bölgesinde bulunan faylar çevresindeki yer kabuğu hareketleri ile deformasyon anomalilerinin belirlenmesi için toplanan GNSS verisinin değerlendirilmesi ve bölgedeki deprem riskinin tanımlanması ilişkin elde edilen verilerin ilk sonuçlarını vermektedir. Güneybatı Anadolu tektonik açıdan önemli bir bölgede yer almaktadır. Bölge, iki farklı tektonik rejimi birbirinden ayıran transform özellikli Fethiye-Burdur fay zonunu ve birçok çöküntü-açılma havzalarını içermektedir. Bölgedeki Kuzey-Güney doğrultulu açılma tektoniği kuramı birçok yer bilimci tarafından kabul edilmekle birlikte, bu açılmanın mekanizmasının değişik yapısal modelleri üzerinde tartışılmaktadır. Türkiye'nin çoğu kesimi gibi Güneybatı Anadolu bölgesi de tektonik açıdan aktif bir bölgede yer almaktadır. Bölge, son yüzyılda  $M > 5.5$  olmak üzere, Ege graben sisteminde 33, Kıbrıs-Ege yayında 13 deprem olmak üzere, ülkemizin en çok deprem oluşturan bölgelerinden biridir. Bu çalışmanın amacı, Güneybatı Anadolu'da tesis edilmiş ve edilecek olan GNSS ölçü noktaları aracılığıyla bu bölgedeki hareket miktarını ve gerilme alanlarını belirlemektir. Bölgenin tektonik karakteristiğini ve gerilim dağılımını belirlemek amacıyla 16 noktalı bir ağ kuruldu ve 2003–2006 yılları arasında GNSS ölçüleri yapıldı. GNSS kampanyaları GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirildi. Bu çalışmada gerilim oranları GNSS ölçülerden hesaplanan hız vektörleri yardımıyla  $g_{rdi\_strain}$  yazılımı ile hesaplandı. Yapılması planlanan ölçme kampanyalarıyla bölgenin blok modelini detaylı bir biçimde belirlemeye olanak verecek şekilde nokta sayısının 7–11 adet artırılması düşünülmüştür. Bununla beraber GNSS ölçmeleriyle birlikte bölgede daha önce yapılmış olan jeolojik araştırmalar yardımıyla bölgenin güncel tektonik özelliklerinin de belirlenerek bölgenin depremselliği hakkında ayrıntılı bilgilerin elde edilmesi amaçlanmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Güneybatı Anadolu, GNSS, gerilim alanı, Burdur Fethiye fay zonu, deprem, tektonik

## Identification of the Velocity and Strain Fields in Southwestern Anatolia Through GNSS Measurements

Engin Güral<sup>1</sup>, Saffet Erdoğan<sup>2</sup>, İbrahim Tiryakioğlu<sup>2</sup>, Ü. Yalçın Kalyoncuoğlu<sup>3</sup>, M. Nuri Dolmaz<sup>3</sup>, Ömer Elitok<sup>3</sup>, Tamer Baybura<sup>2</sup>, Hediye Erdoğan<sup>4</sup>, Metin Soycan<sup>1</sup>, İbrahim Yılmaz<sup>2</sup>, A. Kazım Telli<sup>2</sup>, Fatih Taktak<sup>2</sup>, Taylan Öcalan<sup>1</sup> & Kutalmış Gümüş<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Barbaros Bulvarı, TR–34349 İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup> Afyon Kocatepe Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Ahmet Necdet Sezer Kampüsü Gazligöl Yolu, TR–03200 Afyonkarahisar, Türkiye (E-mail: itiryakioglu@aku.edu.tr)

<sup>3</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi, Çünür, TR–32260 Isparta, Türkiye

<sup>4</sup> Aksaray Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, TR–68100 Aksaray, Türkiye

---

This paper gives the early results of the evaluation of the GNSS data collected to identify the crustal movements and deformation anomalies around the faults in Southwestern Anatolia, and a definition of the seismic risk in the region. Southwestern Anatolia is located in a tectonically critical region. It incorporates Fethiye-Burdur fault zone, which is of transform nature, and divides two different tectonic regimes and various graben extension zones. Although several geologists acknowledge the extensional tectonism in the N–S direction, different models formulated for the mechanisms of extension in question are still controversial. Like many other parts of Turkey, the region of Southwestern Anatolia is located in a tectonically active region. With 33 earthquakes in the Aegean graben system and 13 earthquakes in the Hellenic-Cyprus trench during the last century, all of which were of  $M > 5.5$ , the region constitutes one of the most seismic zones of Turkey. This study aims to clearly demonstrate and delineate the block model in Southwestern Anatolia through the GNSS points already located and to be located in the region. To determine the tectonic characteristics of the region and distribution of the strain, a network of sixteen sites was established and GNSS measurements were performed in 2003 and 2006 years. GNSS campaigns were processed using GAMIT/GLOBK software. In this study, strain rates were calculated from the GNSS velocity field by grid\_strain software. To this end, through the measurement efforts, it designs an increase in the number of measurement points by 7–11, which would allow a detailed identification of the region's block model. This paper aims to give the preliminary results of the seismicity of the region by identifying its actual tectonic characteristics through first GNSS campaign measurements

**Key Words:** Southwestern Anatolia, GNSS, strain field, Burdur Fethiye fault zone, tectonic, earthquake

## Batı Anadolu'nun Deformasyonu Üzerine GPS Kısıtları

Bahadır Aktuğ<sup>1</sup>, Jean-Mathieu Nocquet<sup>2</sup>, Ayhan Cingöz<sup>1</sup>, Barry E. Parsons<sup>1</sup>,  
Yasin Erkan<sup>1</sup>, Philipp C. England<sup>3</sup>, Onur Lenk<sup>1</sup>, Mehmet Ali Gürdal<sup>1</sup> ve Ali Kılıçoğlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Harita Genel Komutanlığı, Tıp Fakültesi Caddesi,  
06100 Dikimevi, Ankara (E-posta: bahadir.aktug@hgk.mil.tr)

<sup>2</sup> Géosciences Azur, Nice Sophia-Antipolis University, CNRS, Paris 6 University, IRD,  
250 av Einstein, 06560 Valbonne, France

<sup>3</sup> Department of Earth Sciences, University of Oxford, Parks Road, Oxford, OX1 3PR UK

---

Orta Anadolu platosundan Ege kıyılarına ve Kuzey Anadolu Fayının güneyine kadar uzanan batı Türkiye'yi kapsayan yeni bir yoğun jeodezik hız alanı sunuyoruz. Hız alanımız 2003'ten bu yana sürekli gözlem yapan GPS istasyonları, 1997–2005 yılları arasında gerçekleştirilen kampanya tipi GPS gözlemleri ile hız alanının bileşiminden türetilmiştir. Mm/yıl hassasiyetinde batı Türkiye'nin güncel kabuk hareketini izleyen 120'den fazla nokta içermektedir. Bu hız alanının analizi, batı Türkiye'nin Anadolu platosundan Ege kıyılarına doğru gittikçe artan büyüklükte genişleme hareketine maruz kaldığını göstermiştir. Bu genişlemenin yönü, etki alanının kuzey bölümünde KKD–GGB, güney bölümünde KKB–GGD şeklinde değişmektedir. En batı Türkiye'deki yaklaşık 20 mm/yıl'lık toplam genişleme ortalama 50 nstrain/yıl'lık gerinim oranıyla bu bölgeyi dünyanın en hızlı kıtasal genişleme bölgelerinden biri yapmaktadır. Gözlenen deformasyonun, blokların dönüklüğü ya da daha çok yayılmış deformasyonla tekrar elde edilip edilemeyeceğini test etmek için farklı yaklaşımlar uygulanmıştır. Orta platoda herhangi bir deformasyon tespit edilmezken, blok genişlikleri 80 km.den küçük olmadığı sürece blok modellerinin Anadolu platosunun batısındaki gözlenen deformasyon alanını açıklayamadığını gördük. Batı Türkiye'deki ana grabenler boyunca büyük gerinim oranları (150 nstrain/yıl) tespit edilmesine karşın genişlemenin sadece bu bölgeyi değil tüm etki alanını etkilediği görülmüştür. Bu nedenle elde ettiğimiz sonuçlar, batı Türkiye'nin tüm kıtasal litosferinin genişleme etkisi altında olduğu ve fayların bu genişlemede yalnızca en üst kabukta yer aldığını göz önünde bulunduran modelleri desteklemektedir.

**Anahtar Sözcükler:** GPS, Batı Anadolu, deformasyon, Euler kutup parametreleri, katı blok dönmesi, öteleme

## Constraints on the Deformation of Western Anatolia

Bahadır Aktuğ<sup>1</sup>, Jean-Mathieu Nocquet<sup>2</sup>, Ayhan Cingöz<sup>1</sup>, Barry E. Parsons<sup>1</sup>, Yasin Erkan<sup>1</sup>,  
Philipp C. England<sup>3</sup>, Onur Lenk<sup>1</sup>, Mehmet Ali Gürdal<sup>1</sup> & Ali Kılıçoğlu<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Geodesy Department, General Command of Mapping, Tıp Fakültesi Caddesi, Dikimevi,  
TR-06100, Ankara, Turkey (E-mail: bahadir.aktug@hgk.mil.tr)*

<sup>2</sup> *Géosciences Azur, Nice Sophia-Antipolis University, CNRS, Paris 6 University, IRD,  
250 av Einstein, 06560 Valbonne, France*

<sup>3</sup> *Department of Earth Sciences, University of Oxford, Parks Road, Oxford, OX1 3PR UK*

---

Combining continuously recording GPS stations operating since 2003, survey-type GPS measurements carried out in the period 1997–2005, and velocity field vectors from collaborated projects of General Command of Mapping. A new and dense geodetic velocity field is presented which covers western Turkey from the central Anatolian plateau to the Aegean coast and south of the North Anatolian Fault. Our velocity field is derived from a combination of it includes more than 120 sites at which the present-day crustal motion of western Turkey is known with a millimetre-per-year accuracy. An analysis of this velocity field indicates that western Anatolia currently undergoes extension with increasing magnitude from the Anatolia plateau to the Aegean coast through south western part of Turkey-Anatolia. The direction of extension rotates from a principal direction striking NNE–SSW in the northern part of the domain to NNW–SSE in southwestern Turkey. The overall extension in westernmost Turkey is about 20 mm/yr, with an average strain rate of 50 nstrain/yr, making it one of the fastest areas of continental extension in the world. Various approaches were used to test whether the observed deformation can be best reproduced by the rotation of crustal blocks or by more distributed deformation. While no deformation is detected in the central Anatolian plateau, we find that block models fail to explain the observed deformation field west of the plateau, unless the blocks have widths smaller than 80 km. Although large strain rates (up to 150 nstrain/yr) are found across the major grabens in western Turkey, extension is not limited to them and affects the whole domain. Our results therefore favour models where the whole continental lithosphere of western Turkey is under extension, and where faults accommodate this extension in the seismogenic upper crust only.

**Key Words:** GPS, Western Anatolia, deformation, euler pole parameters, rigid block rotation, translation

## Orta Anadolu Ne Kadar Rijit: GPS Sonuçları

Bahadır Aktuğ, Onur Lenk, Ali Kılıçoğlu, Dursun Er Ilgın,  
Ayhan Cingöz ve Soner Özdemir

*Jeodezi Dairesi Başkanlığı, Harita Genel Komutanlığı, Tıp Fakültesi Caddesi,  
06100 Dikimevi, Ankara (E-posta: bahadir.aktug@hgk.mil.tr)*

Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Sistemleri arasında yer alan sismik olarak nispeten daha az aktif Orta Anadolu'nun neotektonik rejimi genel olarak tektonik kaçış olarak değerlendirilmektedir. Her ne kadar, 1990'lara dayanan önceki GPS çalışmaları katı blok dönüklüğünü doğrulasa da, söz konusu çalışmalar daha çok nüfusu fazla olan Batı Anadolu odaklı olup, Orta Anadolu'daki Tuz Gölü Fay Zonu ve Ecemiş, Erciyes ve Ezinepazarı fayları gibi ikinci derece tektonik sistemleri ifade etmeye yetecek mekansal çözünürlüğe sahip değildir. Bununla beraber, yeni ve sık GPS verileri, ne katı blok ötelemesi ne de katı blok dönmesi ise uyumlu olmayan yerel sistematik değerler vermektedir. Orta Anadolu'nun dönüş yönünde hesaplanan hız gradyentleri, blok dönüklük ve ötelemeleriyle açıklanması zor bir şekilde batıya doğru düzenli olarak artmaktadır. Ayrıca, Euler kutup parametreleri ile Orta Anadolu'nun dönüklüğünü hesaplamak, Orta Anadolu'nun doğu ve batı bölümleri arasındaki hız farklılıklarını absorbe etmekte ve geriye sistematik artık değerler kalmaktadır. Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA)'nın 2002 yılında tamamlanmasından sonra, Orta Anadolu'da ayrıca GPS ölçüleri yapılmış olup, sonucunda istasyonlar arası 30–50 km aralıklı daha önce elde edilememiş bir hız alanı oluşturulmuştur. Aynı zamanda Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı (TUSAGA)'na ait belirli istasyonlar da katkı sağlamıştır. Hız alanı ITRF2000 ve Avrasya'ya göre hesaplanmış olup, Anadolu'nun Avrasya'ya göre hareketini temsil eden Euler Kutup Parametreleri de elde edilmiştir. Anadolu'nun tektoniği için iki ayrı model mikro-levha ve sürekli deformasyon modelleri katı-blok Euler dönüklükleri ve gerinim analizleri ile test edilmiştir. Sonuçlar, Avrasya-sabit sistemdeki hızların;  $31.682^\circ\text{K}\pm 0.05^\circ$ ,  $31.613^\circ\text{D}\pm 0.02$  with  $1.380^\circ/\text{Myr}\pm 0.01$  rate katı blok dönmesi ve 5 mm/yr'a ulaşan sistematik artık değerlerle ayrıştırılabildiğini göstermektedir. Dönme yönlerinde hesaplanan göreceli hızlar batıya doğru artan 0.7 ile 1.3 mm/yr arasında değişen doğrusal gradyentler göstermektedir. Bu durum, katı blok dönmesi ile ve de batıya doğru kaçış ile çelişmektedir. Ayrıca, gerinim analizleri, Karlıova'dan Isparta'ya kadar olan bölgede Doğu–Batı yönünde 100 nanostrain/yıl'a kadar açılma değerleri vermekte olup, bu da Orta Anadolu içinde gerinimin parçalı halde olduğunu diğer bir göstergesidir. Diğer bir yandan Isparta Açısının doğusunda, Tuz Gölü'nde ve Orta Anadolu'nun güneyinde sıkışma bileşenleri saptanmıştır. Bu çalışmada, Orta Anadolu'daki deformasyonun uniform olmadığı, doğudaki itme kuvveti yerine ve olası olarak batıdaki açılma rejiminin kontrolü altında kaldığı ile ilgili olarak yeni sayısal sonuçlar sunulmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** GPS, Orta Anadolu, deformasyon, euler kutup parametreleri, katı blok dönmesi, öteleme

## How Rigid is Central Anatolia: GPS Implications

Bahadır Aktuğ, Onur Lenk, Ali Kılıçoğlu, Dursun Er Ilgın,  
Ayhan Cingöz & Soner Özdemir

*Geodesy Department, General Command of Mapping, Tıp Fakültesi Caddesi, Dikimevi,  
TR-06100, Ankara, Turkey (E-mail: bahadir.aktug@hgk.mil.tr)*

Taking place between North Anatolian and East Anatolian mega shear zones, neotectonics of seismically less active Central Anatolia is often regarded as tectonic escape or extrusion tectonics. Although previous published GPS studies dating back to early 1990's report coherent rotation, they were mostly focused on seismically more active and more populated Western Anatolia and lack spatial resolution in quantifying second-order tectonic structures within the central area, such as Tuz Gölü Fault Zone, Central Anatolia Fault Zone comprising Ecemiş Fault and Erciyes Fault, Ezinepazarı Fault, related basins and associated processes. However, new dense GPS velocity field of Central Anatolia exhibits systematic local patterns of internal deformation inconsistent with either coherent rotation or translation. Velocity gradients computed along rotation profiles of Central Anatolia show nearly smooth westward increments which can not be explained through a simple rotation/translation of Central Anatolia Basin. Moreover, estimating and removing a rigid-body rotation represented by an Euler Pole computed from sites lying in the middle absorbs the velocity discrepancies between the Eastern and Western part of Central Anatolia down to a few millimetres leaving out systematic residuals. Upon completion of Turkish National Fundamental GPS Network (TNFGN) in 2002, further observations were carried out in Central Anatolia which result in a velocity field of unprecedented spatial density with average inter-station distance of 30-50 km. Also, the data from particular stations of Turkish National Permanent GPS Network (TNPNGN) contributed to the analyses. We computed horizontal velocity field with respect to ITRF2000, to Eurasia, and to a computed Anatolia Euler Pole as well. Two distinct models of Anatolia neotectonics, microplate and continuum deformation were tested through rigid-body Euler rotations and strain analysis, respectively. Results show that decomposition of the Eurasia-fixed velocity field into rigid rotations and residuals reveals systematic residuals up to 5 mm/yr with respect to a computed best-fit Euler Pole located at  $31.682^{\circ}\text{N}\pm 0.05$ ,  $31.613^{\circ}\text{E}\pm 0.02$  with  $1.380^{\circ}/\text{Myr}\pm 0.01$  rate. Relative velocities computed along rotation paths exhibit westward increasing linear gradients of 0.7 mm to 1.3 mm per 100 km depending on the latitude which is mechanically inconsistent with the assumptions of a coherent transport or rotation due to an extrusion in the east. Moreover, strain analysis results show that up to 100 nanostrain/yr E–W extension rates are observed along approximately N–S striking faults within the region from west of Karlıova to Isparta Angle which is another indication of partitioned extensional strain across the Central Anatolia. On the other hand, compressional strains were obtained near eastern branch of Isparta Angle, Tuz Gölü and southern Anatolia. In this study, we provide new quantitative results about the fact that deformation in Central Anatolia is not uniform and possible driven by extension through slab pull and/or suction in west-southwest and compression in the south rather than coherent rotation and/or translation/transport of Anatolia driven by an extrusion process in the east.

**Key Words:** GPS, Central Anatolia, deformation, euler pole parameters, rigid block rotation, translation

## Kuzey Anadolu Fayının Orta Kesiminin Jeodezik Ölçmeler ile Kinematığının Belirlenmesi

Hakan Yavaşoğlu<sup>1</sup>, Ergin Tari<sup>1</sup>, Okan Tüysüz<sup>2</sup>, Ziyadin Çakır<sup>3</sup>,  
Mehmet Uğur Altın<sup>1</sup> ve Ufuk Tari<sup>2</sup>

<sup>1</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, 34469 Maslak, İstanbul  
(E-posta: yavasoglu@itu.edu.tr)

<sup>2</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, 34469 Maslak, İstanbul

<sup>3</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul

---

Dünyanın en aktif yanal atımlı fay sistemlerinden birisi olan Kuzey Anadolu Fayı (KAF), doğuda Karlıova'dan başlar batıda kuzey Ege denizinde Saros Körfezine kadar uzanır. Toplam mesafesi yaklaşık olarak 1500 km'dir. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) içinde ağaç dalları şeklinde birçok yan kolu vardır ve bu yan kollar Anadolu'nun içlerine doğru uzanmaktadır. Tüm fay zonu sismik olarak aktif ise de, fayın aktivitesinin önemli bir bölümü ana kol üzerindedir. Kuzey Anadolu Fayı'nın orta kesiminde yan kolların keserek birbirinden ayırdığı birçok kıtasal blok vardır. Bölgedeki nispeten en büyük yan kollar (Sungurlu ve Laçın Fayları) inceleme için seçilmiş ve aralarındaki hareketler incelenmiştir. Dört yıllık GPS ölçmeleri sonucunda, yan kolların ana kola göre nispeten yavaş olduğu ve yan kolların sınırladığı blokların rotasyonlarının da oldukça yavaş olduğu belirlenmiştir. Bölgenin güncel tektonik özellikleri ve deprem potansiyeli ile bölgede oluşan gerilme birikimleri bu yayında sunulacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** neotektonik, Kuzey Anadolu Fayı, deformasyon, gerilme, GPS, Türkiye



## **Description of Kinematic of the Central Part of North Anatolian Fault with Using Geodetic Measurements**

Hakan Yavaşoğlu<sup>1</sup>, Ergin Tari<sup>1</sup>, Okan Tüysüz<sup>2</sup>, Ziyadin Çakır<sup>3</sup>,  
Mehmet Uğur Altın<sup>1</sup> & Ufuk Tari<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *İstanbul Technical University, Geodesy and Photogrammetry Engineering, Maslak,  
TR–34469 İstanbul, Turkey (E-mail: yavasoglu@itu.edu.tr)*

<sup>2</sup> *İstanbul Technical University, Eurasia Earth Science Institute, Maslak,  
TR–34469 İstanbul, Turkey*

<sup>3</sup> *İstanbul Technical University, Department of Geological Engineering, Maslak,  
TR–34469 İstanbul, Turkey*

---

The North Anatolian Fault (NAF), which extends from Karlıova in Eastern Turkey to the Gulf of Saros in the Northern Aegean Sea, is one of the longest active strike-slip faults in the world with about 1500 km length. Within the North Anatolian Shear Zone (NASZ) there are long splays of the main trunk of the NAF veering towards interior parts of Anatolia. Although the whole shear zone is still seismically active, the main seismicity is concentrated along the NAF. Splays of the NAF dissected the shear zone into different continental blocks. The largest splays of the NAF (Sungurlu and Laçın Faults) were selected to analyze the distribution of movements between the faults delimiting these blocks. Four years of GPS measurements indicate that the movements along the central NAF splays are slower than the main branch and continental blocks delimited by these splays show slow block rotations. In this study, the recent features and strain accumulation of the region, and earthquake potential and will be presented.

**Key Words:** neotectonic, North Anatolian Fault, deformation, strain, GPS, Turkey

## Arap-Afrika-Avrasya Plaka Etkileşim Zonunda GPS ve Jeolojik Verilerden Elde Edilen Deformasyon Hızlarının Karşılaştırılması

Robert Reilinger ve Simon McClusky

*Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139 USA (E-posta: reilinge@erl.mit.edu)*

Arap ve Nubai için Avrasya'ya göre jeodetik olarak elde edilmiş göreceli hareket Nubai için 11 My'lık jeolojik gözlemlerden tahmin edilen plaka hızı ile 1 standart sapma içerisinde uyumludur. Arap plakası içinse 25 My'lık jeolojik gözlemlerden tahmin edilenden fazladır. Ayrıca, GPS verileri ile oluşturulan bir elastik blok modelinden elde edilen fay kayma hızı Jeolojik olarak ortaya konulmuş belirsizliklerle (yaklaşık  $\pm$  %10) ve plakaların etkileşimindeki bu karmaşık alandaki uzun dönem kayma hızı ile uyumludur. Kuzey Anadolu Fayı (KAF) orta kesimlerinde yapılan, kantitatif olarak yaşlandırılmış, detaylı jeomorfolojik çalışmalar belirsizliklerle uyumlu bir kayma hızı göstermektedir, fakat geodetik hızlardan sistematik olarak daha düşüktür. Birkaç mm/yıl'lık gerçek hız değişimleri önlenemezken; KAF ve jeodetik gözlemleri yapılan diğer birçok fay üzerindeki sismik kayma için jeodetik terslenmenin derinlerde yüzeyden daha fazla bir kayma ortaya çıkaracağını işaret ettik. Eğer bu fark deprem deformasyon devri boyunca devam ederse, bu jeodetik ve jeolojik hızlar arasındaki küçük farkı açıklayabilir. Kızıldeniz ve Aden körfezinin açılmaya başlaması ile birlikte Arap plakasının Nubia ve Somali'ye göre tahmin edilen günümüz jeodetik hareketi, Arap plakasının Nubia ve Somali'den eşzamanlı olarak ( $\pm$ 0.5 Myıl), tüm rift genelinde yaklaşık 25 My'da ayrıldığını ortaya koymaktadır ve bu Kızıldeniz için hesaplanan bağımsız jeolojik açılmanın stil ve başlangıç yaşı ile uyumludur. Ayrıca Ege'nin jeodetik defromasyonu (düşük içsel deformasyon ile plaka benzeri hareket) ile jeolojik defromasyonu (Geç Miyosen'deki yaygın kabuksal incelmeye) arasındaki belirgin uyumsuzluğun, KAF'nın Ege'nin kuzeyini kat ederek Pliyosen döneminde Kephelonia fayı ile olan keşimi sırasında değişen tektonik deformasyon ile açıklanabileceği görülmüştür. Bu durum günümüzde gözlemlendiği gibi, güney Ege ve Pelloponessis'de az miktarda içsel deformasyon ile GB yönlü hareketini sağlamaktadır. Aktif deformasyonun jeodetik ve jeolojik belirteçlerin tutarlılığı yüksek hassasiyet anlamına gelmekte, jeodetik olarak belirlenen hareketlerin Arap-Afrika-Avrasya plaka etkileşim zonundaki plaka sınırı yapılarının jeolojik evrimini araştırmada kullanılabileceği anlamına gelmektedir.

**Anahtar Sözcükler:** doğu Akdeniz, plaka hareketleri, fay kayma hızı, jeodezi

## GPS and Geologic Deformation Rates Agree to Within Uncertainties in the Arabia-Africa-Eurasia Zone of Plate Interaction

Robert Reilinger & Simon McClusky

*Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA 02139 USA (E-mail: reilinge@erl.mit.edu)*

---

Geodetically-derived motions for Arabia and Nubia relative to Eurasia agree within 1 standard deviation with plate rates estimated from geologic observations for the past 11 Myr for Nubia and greater than 25 Myr for Arabia. Furthermore, fault slip rates derived from an elastic block model constrained by GPS agree within uncertainties (about  $\pm 10\%$ ) with geologically determined, long-term slip rates in this complex area of plate interaction. Detailed geomorphological studies of the central North Anatolian fault (NAF) constrained by quantitative dating indicate slip rates that agree within uncertainties, but appear to be systematically lower than geodetic rates. While real rate changes of a few mm/yr cannot be ruled out at present, we note that geodetic inversions for coseismic fault slip on the NAF, and most other faults well constrained by geodetic observations, indicate larger slip at depth than at the surface. If this difference persists throughout the earthquake deformation cycle, it would account for the small difference in geodetic and geologic rates. Extrapolating present-day geodetic motions for Arabia relative to Nubia and Somalia to the time of initiation of Red Sea and Gulf of Aden extension indicates that Arabia separated from Nubia and Somalia simultaneously ( $\pm 0.5$  Myr) along the full extent of both rifts at about 25 Ma, consistent with independent geologic estimates for the style, and age of initiation of Red Sea. We further show that the apparent discrepancy between geodetic deformation of the Aegean (plate-like motion with low internal deformation), and geologic deformation (extensive crustal thinning during the Late Miocene), can be accounted for by a change in tectonic deformation due to the NAF cutting across the N Aegean and connecting with the Kephelonia fault during the Pliocene. This allows the S Aegean and Pelloponessis to translate SW with little internal deformation as is observed today. The consistency of geodetic and geologic indicators of active deformation implies that highly precise, geodetically determined motions can be extrapolated to investigate the geologic evolution of plate-boundary structures in the Arabia-Africa-Eurasia zone of plate interaction.

**Key Words:** Eastern Mediterranean, plate motions, fault slip rates, geodesy

## Kuzey Anadolu Fayı'nda Gerilim Boşalma (Kayma) Hızlarının Sabitliği

Özgür Kozacı<sup>1</sup>, James Dolan<sup>2</sup> ve Robert Finkel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *William Lettis & Associates Inc., Walnut Creek, 94596 CA, USA (E-posta: kozaci@lettis.com)*

<sup>2</sup> *University of Southern California, Department of Earth Sciences, Los Angeles, CA 90089, USA*

<sup>3</sup> *University of California, Center for Accelerator Mass Spectrometry, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, Berkeley, California 94551-9900, USA*

Esaslı aktif fayların çeşitli zamansal ve mekansal boyutlardaki davranışları modern tektoniğin henüz çözülememiş en temel sorularından biridir. Faylarda gerilim yükleme ve boşalım hızlarının hangi ölçüde sabit olup olmadığının belirlenmesi ve yüzey kırığı oluşturmuş tarihsel büyük depremlerin yaşlandırılması sözkonusu sorunun çözülmesinde kullanılacak temel yaklaşımlardandır. Kuzey Anadolu fayı'nın çeşitli zamansal ve mekansal boyutlardaki davranış özelliklerini daha iyi tespit edebilmek için yüzey şekillerinin haritalanması, Kuvaterner yaşlandırma teknikleri ve fay kazıları gerçekleştirdik. Özellikle Kuzey Anadolu fayı boyunca ötelenmiş yeryüzü şekillerini haritalayarak bunların yüzeylerini kozmojenik izotop (<sup>10</sup>Be ve <sup>36</sup>Cl) ve radyokarbon (<sup>14</sup>C) yaşlandırma yöntemleri ile yaşlandırdık. Bu çalışmalarımızın sonuçlarını ve diğer diğer çalışmaları değerlendirerek Kuzey Anadolu fayı için yapılan ilk gerilim boşalması derlemelerinden birini oluşturduk. Bu veri derlememiz 10<sup>3</sup> ila 10<sup>5</sup> yıllık zamanlı süreçlerinde yılda ~15–20 milimetrelik bir sabit hızı ortaya koydu. Ancak bu sonuç uzaktan ölçme yöntemiyle elde edilen yıllık 25±2 milimetrelik hızdan yavaş olup muhtemelen geçici bir gerilim etkisini yansıtmaktadır. Bu çalışmalara ek olarak Kuzey Anadolu fayı'nın doğu kesiminde bulunan Yaylabeli (Lorut) Köyü'nde fay kazısı çalışmaları yürüttük. Buradaki çalışmalarımız Kuzey Anadolu fayı'nın bu kesiminde hemen hemen düzenli meydana gelen büyük depremlerin varlığını ortaya koydu. Neredeyse sabit kayma hızlarını ve düzenli deprem tekrarlanma aralıklarını, mekanik olarak görece basit Anadolu-Avrasya levha sınırındaki yerdeğştirmelerin büyük kısmını tek başına gerçekleştiren, yapısal olarak olgun Kuzey Anadolu fayına bağlamaktayız. Uzun dönem ile kısa dönem gerilim boşalma hızlarının arasındaki farkın kullandığımız jeodinamik modellerden yapay olarak mı kaynaklandığının ya da gerçekten de jeodinamik bir mekanizma ürünü mü olduğunu anlamamız büyük önem taşımaktadır. Ölçmeye dayalı uzun dönem jeolojik kayma hızı verilerinin artması, kısa dönem uzaktan ölçme yöntemlerinin daha fazla miktarlarda ve türlü coğrafyalarda uygulanması, ve kullandığımız modellerin yeni veriler ışığında gözden geçirilmesi jeodinamik mekanizmalar hakkındaki bilgimizi arttıracaktır.

**Anahtar Sözcükler:** Kuzey Anadolu Fayı, gerilim boşalma hızları, kozmojenik çekirdek yaşlandırma yöntemi, paleosismoloji

## Constancy of Strain Release Rates along the North Anatolian Fault

Özgür Kozacı<sup>1</sup>, James Dolan<sup>2</sup> & Robert Finkel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *William Lettis & Associates Inc., Walnut Creek, 94596 CA, USA (E-mail: kozaci@lettis.com)*

<sup>2</sup> *University of Southern California, Department of Earth Sciences, Los Angeles, CA 90089, USA*

<sup>3</sup> *University of California, Center for Accelerator Mass Spectrometry, Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, Berkeley, California 94551-9900, USA*

---

The behavior of major active faults at various temporal and spatial scales is one of the most fundamental, unresolved problems in modern tectonics. Determining the degree to which fault loading and strain release rates are constant (or non-constant) and developing chronologies of surface rupturing earthquakes are key approaches for understanding this phenomenon. We have employed geomorphic mapping, Quaternary dating methods, and paleoseismic trenching to generate fault rate and earthquake age data that help provide a better understanding the behavior of the North Anatolian fault in various temporal and spatial scales. Specifically, we mapped offset geomorphic markers along the North Anatolian fault and used cosmogenic nuclide (<sup>10</sup>Be and <sup>36</sup>Cl) and radiocarbon (<sup>14</sup>C) dating methods to constrain the ages of these features. Using these and other published data, we also constructed one of the first compilations of strain-release rates for the North Anatolian fault. This data compilation reveals a constant slip rate of ~15–20 mm yr<sup>-1</sup> over time scales of 10<sup>3</sup>–10<sup>5</sup> years. This result, however, is slower than the geodetically constrained slip rate of 25±2 mm yr<sup>-1</sup>, possibly indicating a strain transient. In addition, we performed paleoseismologic trenching on the eastern part of the North Anatolian fault at the village of Lorut. Our results from this site demonstrate a relatively regular occurrence of large earthquakes along this stretch of the North Anatolian fault. We attribute the relatively constant strain release rates and regular earthquake recurrences to the mechanical simplicity of the Anatolian-Eurasian plate boundary in northern Turkey, which is dominated by the slip on the structurally mature North Anatolian fault. It is essential to understand whether the discrepancy between the long-term and short term strain release rates are a result of geodynamic models we employ or reflect an actual geodynamic consequence. More comparisons between quantitatively determined long-term geologic slip rates and short-term geodetic measurements from various tectonic regimes and a detailed re-evaluation of our models and comparisons should enhance our understanding of geodynamics.

**Key Words:** North Anatolian Fault, strain release rates, cosmogenic nuclide dating, paleoseismology

## 1999 Mw7.1 Düzce Depremi'nin Yüzey Kırığı ve Kırık Kinematığının SPOT, GPS, InSAR, Kuvvetli Yer Hareketi Kayıtlarıyla İncelenmesi

Ali Özgün Konca, Sebastien LePrince, Jean-Philippe Avouac ve Don V. Helmberger

*Tectonic Observatory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125  
(E-posta: ozgun@gps.caltech.edu)*

1999  $M_w$ 7.1 Düzce Depremi'nin kırılma kinematığını jeodezik, uzaktan algılama ve sismik verilerle analiz ettik. Depremden önce ve sonra elde edilen SPOT uydu görüntüleri çapraz korrelasyon yöntemiyle analiz edildiğinde ortaya çıkan yer deformasyonu 55 km uzunluğunda düzgün bir yüzey kırığı göstermektedir. En yüksek kayma 3.5–4 m arasındadır. Düzce kırığının batı ucundaki 10 km'lik bölüm, 3 ay önce kırılan  $M_w$ 7.4 İzmit kırığının doğu ucuyla çakışmaktadır. Doğu uçta, dağlık bir bölgede olduğu gözlenen 15 km'lik kırık segmenti daha önceki arazi gözlemlerinde rapor edilmemiştir. Yüzey kırığı bulgularına dayanarak yapılan 4-parçalı fay geometrisi ve yüzey kayma verileri ile model kısıtlanarak GPS, InSAR ve 4 akselerometre verisi kullanılarak kaynak deprem kaynağı modellenmiştir. Kayma dağılımı jeodezik veriler sayesinde iyi çözünürlükte elde edilmiş, kayma miktarı ile diğer kaynak parametreleri arasındaki çözünürlük sorunu önlenmiştir. Kayma dağılımının pürüzsüzlüğü dikkate alındığında eldeki akselerometrik verileri açıklamak için yırtılma hızında bir miktar varyasyon gerektiği bulunmuştur. Bunun dışında, çalışmamız daha önceki çalışmalarda ortaya konan merkezden doğuya doğru S dalga hızını aşan yırtılma hızı gözlemi doğrulanmaktadır. Kırılma hızı S hızının altında başlayıp, S hızını aşmış, daha sonra tekrar S hızının altına düşmüştür. Göreli olarak uzun noktasal kayma hızları gözlenmiştir, bu da Düzce Depremi'nin kinematığının S hızını geçen çatlak mekaniğine yakın olduğunu göstermektedir. Yakın alan verileri kullanılarak elde edilen kaynak modeli zamanlamadaki 2 saniyelik fark haricinde telesismik dalga verileriyle de uyum içindedir. 2 saniyelik fark, depremin ilk 2 saniyesindeki zayıf başlangıcın telesismik uzaklıklarda gözlenememesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca telesismik veriler ve uydu verilerine dayalı 4-parçalı geometri kullanılarak elde edilen kaynak modeli de yakın alan sismik verileriyle uyum içindedir. Bu çalışma deprem çalışmalarında ayrıntılı fay geometrisi kullanmanın avantajlarını göstermektedir.

**Anahtar Sözcükler:** Düzce depremi, uzaktan algılama, sismoloji, kırık kinematığı

## **Fault Trace and Rupture Process of 1999, Mw7.1 Düzce Earthquake from Analysis of SPOT, GPS, InSAR, Strong-Motion and Teleseismic Data**

Ali Özgün Konca, Sebastien LePrince, Jean-Philippe Avouac & Don V. Helmberger

*Tectonic Observatory, California Institute of Technology, Pasadena, CA 91125  
(E-mail: ozgun@gps.caltech.edu)*

---

We analyze the rupture process of the 1999  $M_w$  7.1 Düzce earthquake using geodetic, remote sensing and seismic data. Ground deformation measured from the sub-pixel cross-correlation of SPOT images acquired before and after the earthquake reveals a 55 km long fault trace and rather smooth surface slip distribution peaking to 3.5–4 m. To the west the rupture overlaps for about 10 km with the  $M_w$  7.4 Izmit rupture which had occurred 3 months earlier. The easternmost 15 km long segment of the rupture, which cuts across some mountainous topography had not been recognized from field investigation. We determine a source model using a four-segment fault geometry with constraints on surface fault slip, and inverting GPS and InSAR data along with near-field accelerometric records at 4 stations. The slip distribution is well constrained from the geodetic data, limiting trade-offs among source model parameters. We find that, given the relatively smooth slip distribution and simple fault trace, some variability of the rupture velocity is required to fit the strong motion data. In addition, our study confirms an eastward supershear velocity, at least locally. The rupture started slow, accelerated to supershear speed toward east and then slowed down. Relatively long rise times are obtained implying that the kinematics is close to a crack with local supershear rupture speed. The source model derived from the near-field data predicts teleseismic waveforms consistent with observations, although early by 2 seconds probably because the weak beginning of the earthquake is not observable at teleseismic distances. We show that near-field records are relatively well predicted from a source model derived from the inversion of the teleseismic records when the four-segment fault geometry derived from the satellite image analysis is used. This shows the benefit of using accurate fault models in the routine determination of finite fault source models.

**Key Words:** Düzce earthquake, remote sensing, seismology, rupture kinematics

### 3 Eylül 2008 Atatürk Barajı Depremi: Tetiklenmiş Depremsellik ve Bozova Fayı

Haluk Eyidođan<sup>1</sup>, Veli Geçgel<sup>1</sup> ve Zümer Pabuçcu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,  
Yer Fiziđi Anabilim Dalı, 34469 Maslak, İstanbul (E-posta: eyidogan@itu.edu.tr)*

<sup>2</sup> *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü,  
Anibal Caddesi, P.K. 21, 41470 Gebze, Kocaeli*

---

3 Eylül 2008 (02:22 UTC; ML= 5.2) depremi, Atatürk Barajı ve HES'nın göllenme havzası içerisinde olmuştur. Oluşan art sarsıntı dizisi içerisinde büyüklükleri ML= 4.6 ve ML= 4.0 olan iki adet büyük art sarsıntı gözlenmiştir. Barajın büyüklüğü, Bozova fayının baraja yakınlığı, depremlerin tetiklenmiş deprem olma olasılığı 3 Eylül 2008 depreminin ve art sarsıntılarının incelenmesinin önemini ortaya koymaktadır. Bu nedenle baraj bölgesinin önceki depremselliği, 3 Eylül 2008 depremi ve art sarsıntılarının mekanizma özellikleri ve Bozova Fayı'nın bu depremsellikle ilişkileri incelenmiştir. Sonuçlar Atatürk Barajı'nın tetiklenmiş depremsellik karakterini uzun süredir sürdürdüğünü, 3 Eylül 2008 depreminin barajın su yükündeki değişimler tarafından tetiklendiğini, Bozova Fayı ile ilişkili olmadığını göstermiştir. Baraj su seviyesinin radikal değişimlerinin süremesi durumunda orta büyüklükteki depremler de dahil olmak üzere depremsellik faaliyetini sürdüreceğini ortaya koymaktadır. Tetiklenmiş mikro-deprem etkinliğinin izlenmesi için baraj sahasına sismik istasyonlar kurulması önerilir.

**Anahtar Sözcükler:** tetiklenmiş depremsellik, baraj ve deprem, mikrodepremsellik, fay düzlemi çözümleri



### **3 September 2008 Atatürk Dam Earthquake: Triggered Seismicity and Bozova Fault**

Haluk Eyidođan<sup>1</sup>, Veli Geçgel<sup>1</sup> & Zümer Pabuçcu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü,  
Yer Fiziđi Anabilim Dalı, Maslak, TR–34469 İstanbul, Türkiye (E-mail: eyidogan@itu.edu.tr)*

<sup>2</sup> *TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü,  
Anibal Caddesi, P.K. 21, Gebze, TR–41470 Kocaeli, Türkiye*

---

3 September 2008 (02:2 UTC, ML= 5.2) earthquake has occurred in the lake site of Atatürk Dam and Hydroelectric Power Plant. A series of aftershocks has followed the main-shock and two aftershocks with magnitude ML= 4.6 ve ML= 4.0 have occurred. The possibility of the earthquakes to be induced by dam, the size and the importance of Atatürk Dam and the proximity of the rock-fill body of the dam to Bozova Fault has motivated us to investigate the characteristics of 3 September 2008 earthquake and its aftershocks. The recent seismicity of the dam region, the mechanisms of the main-shock and after-shocks and their relations to Bozova Fault have been studied. The results show that the induced seismicity due to dam was active in the past, 3 September 2008 earthquake and its aftershocks are induced by a very big amount of water loss and this recent activity is not related to Bozova Fault. It is suggested that the continuation of radical level changes in water level may cause mid-size induced earthquakes in the future. It is advised that the dam site must be instrumented to monitor the induced micro-seismic activity.

**Key Words:** triggered seismicity, dam and earthquake, microseismicity, fault mechanism

## 1999, M=7.4, ve M=7.1, İzmit/Düzce, Türkiye Deprem Serisine Ait Son 7 Yıl İçinde Gözlenen Deprem Sonrası Deformasyonların Analizi

Semih Ergintav<sup>1</sup>, Simon McClusky<sup>2</sup>, Elizabeth Hearn<sup>3</sup>, Robert Reilinger<sup>2</sup>,  
Rahşan Çakmak<sup>1</sup>, Haluk Ozener<sup>4,5</sup> ve Ergin Tari<sup>5</sup>

<sup>1</sup> TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü,  
Anibal Caddesi, P.K. 21, 41470 Gebze, Kocaeli

<sup>2</sup> Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology,  
Cambridge, MA 02139-4307, USA

<sup>3</sup> Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, 2329 West Mall,  
Vancouver V6T 1Z4, BC Canada

<sup>4</sup> Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bogaziçi Üniversitesi,  
34684 Çengelköy, İstanbul

<sup>5</sup> İstanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469 Maslak, İstanbul  
(E-posta: haluk.ozener@itu.edu.tr)

Marmara Bölgesi'nde GPS ölçümleri, 1999 İzmit ve Düzce depremlerinden (M= 7.4, 17/08/1999, ve M= 7.1, 12/11/1999) 10 yıl öncesine dayanmaktadır. 1988 yıllarında başlayan bu çalışmalar sayesinde, 1999 depremleri öncesi gerilme alanı ve deprem anı yerdeğiştirme alanını çok detaylı elde etmek mümkün olmuştur. Depremleri izleyen günler içinde dinamik bir yapı ile yoğunlaştırılan ve günümüze kadar kesintisiz devam ettirilen GPS ölçümleri (sürekli ve kampanya şeklinde) ile deprem sonrası deformasyonların uzaysal ve zaman özellikleri de tanımlanabilmiştir. Deprem sonrası izleyen 7 yıl içinde oluşan yerdeğiştirmeler, deprem anında meydana gelen yerdeğiştirmelere benzer ve deprem anında kırılan fay zonu civarında simetrik, geniş bir alana yayılmış uzaysal bir dağılıma sahip olup, İzmit'den yaklaşık 200 km uzakta olan Ankara sürekli GPS noktasında bile ölçülebilecek boyuttadır.

Depremleri izleyen 7 yıl içinde, uzun dönem hız alanından (interseismic) sapmalar, en fazla, fay zonuna 40 km'lik bir alan içinde ve uzun dönem hızların yaklaşık %50'si civarında ( $\sim 10 \pm 1$  mm/yr) gözlenmiştir. Bu değer, fay zonundan uzaklaştıkça azalmakta ve Ankara noktasında  $\sim 3$  mm/yr değerine ulaşmaktadır (bu noktaya ait uzun dönem hızın %15'i). Genel olarak, zaman içinde, deprem sonrası değişimler tüm ölçüm noktalarında sistematik olarak azalmaktadır. Bu azalmanın karakteristiğini tanımlamak amacıyla, logaritmik azalım fonksiyonları ile analizler gerçekleştirilmiştir. GPS noktalarına ait hareketlerin zaman değişiminin tanımlanması, zaman sabitleri 1, 150 ve 3500 gün olan üç ayrı fonksiyonun toplamı ile mümkün olmuştur. Yapılan bu analizler sonucu, deprem sonrası gözlenen hızların, deprem öncesi hızlara yakınsaması için gereken süre 250 yıl olarak hesaplanmış ve bu değer, İzmit ve Düzce bölgesindeki deprem döngüsünü karakterize ettiği varsayılmıştır.

Özellikle sürekli GPS gözlemleri yardımı ile hareketlerin kinematik özellikleri analiz edildiğinde, en kısa zaman sabitinin deprem zonuna paralel hareketlere karşılık geldiği ve bunların deprem anında kırılmayan ama üzerlerindeki gerilimin arttığı küçük segmentlerin zaman içinde kırılmasını temsil ettiği sonucuna varılmıştır. Bu deformasyonların derinlik olarak, yüzeye yakın ve kırılan kısmın hemen altında meydana geldiği görülmektedir. İlerleyen zamanlarda, fay zonunun reolojisine de bağlı olarak, kırık zonundaki her bir segmente özel, yüzeyde ve derinde farklı bir deformasyon yayılımı saptanmıştır. Yedi yıl sonucunda gözlenen genel uzaysal karakteristik, derinlere yayılmış ve kaynağı üst manto/alt kabuktaki viskoelastik rahatlama olan 'double couple' uzaysal bir paterni vurgulamaktadır.

Elde edilen sonuçlar, özellikle Marmara bölgesindeki aktif fay kolları üzerindeki yamulma birikimlerini vurgulamak amacıyla sunum sırasında detaylı olarak tartışılacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** KAFZ, post-sismik deformasyon, GPS ölçümleri, deprem serisi, sismik aktivite arası gerilme oranı, jeodetik gözlemler

## Seven Years of Post-Seismic Deformation for the 1999, M=7.4, and M=7.1, İzmit/Düzce, Turkey Earthquake Sequence

Semih Ergintav<sup>1</sup>, Simon McClusky<sup>2</sup>, Elizabeth Hearn<sup>3</sup>, Robert Reilinger<sup>2</sup>,  
Rahşan Çakmak<sup>1</sup>, Haluk Ozener<sup>4,5</sup> & Ergin Tari<sup>5</sup>

<sup>1</sup> TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi, Yer ve Deniz Bilimleri Enstitüsü,  
Anibal Caddesi, P.K. 21, Gebze, TR–41470 Kocaeli, Türkiye

<sup>2</sup> Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology,  
Cambridge, MA 02139-4307, USA

<sup>3</sup> Department of Earth and Ocean Sciences, University of British Columbia, 2329 West Mall,  
Vancouver V6T 1Z4, , BC Canada

<sup>4</sup> Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bogaziçi Üniversitesi, Çengelköy,  
TR–34684 İstanbul, Türkiye

<sup>5</sup> Istanbul Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Maslak,  
TR–34469 İstanbul, Türkiye (E-mail: haluk.ozener@itu.edu.tr)

We report the results of seven years of postseismic deformation measurements using continuously recording and survey mode GPS observation for the 1999 İzmit earthquake sequence (M= 7.4, 17/08/99, and M= 7.1, 12/11/99 earthquakes). Geodetic monitoring in the epicentral region was initiated more than 10 years prior to the sequence providing constraints on the rate and spatial pattern of pre-earthquake strain accumulation and on coseismic motions. Geodetic monitoring was intensified during the days and weeks following the first event and continues to the present time. Postseismic motions show a similar spatial pattern to coseismic motions, being symmetric across, but more broadly distributed around, the coseismic fault. Resolvable postseismic changes to the pre-earthquake interseismic velocity field extend at least as far as the CGPS station in Ankara, ~200 km SE of the İzmit coseismic fault. Seven years after the earthquake sequence, deviations from the interseismic velocity field observed late in the earthquake cycle (i.e. during the 10 year period just prior to the earthquake) are largest within about 40 km of the fault, reaching  $\sim 10 \pm 1$  mm/yr, roughly 50% of the ‘steady state’ interseismic rate. Present-day postseismic motions decrease further from the fault to a value of  $\sim 3$  mm/yr at Ankara ( $\sim 15\%$  of interseismic motion rate). Temporally, postseismic site motions decrease monotonically following the earthquake sequence at all sites. We use a sequence of logarithmic functions to characterize continuous GPS site motions and find a good fit using 3 “characteristic” time behaviors with time constants of 1 day, 150 days, and 3500 days. We constrain the longest-term time behavior by requiring that site velocities decay to their pre-earthquake rates late in the earthquake cycle, estimated at approximately 250 years. Continuously operating GPS sites which were operating at the time of the İzmit earthquake, and which are within about 50 km of the rupture, require the shortest characteristic decay time term. This term is mainly required for the component of site motion parallel to the NAFZ, strongly implicating rapid afterslip on and possibly below the coseismic fault. Most of the continuously operating GPS sites require all three characteristic time terms. However, the Ankara continuous station located 250 km from the epicenter is fit well with only the longest time series term. While the shortest decay time near the fault is most simply associated with afterslip based on the spatial character of deformation, the intermediate and longer-term behavior is broadly distributed, with a ‘double couple’ spatial pattern suggestive of a deeply-seated process, most likely viscoelastic relaxation of the upper mantle and lower crust. In the Marmara region, the later postseismic velocities are more complicated, and may reflect a redistribution of interseismic strain rates among active fault strands in that region.

**Key Words:** NAFZ, post-seismic deformation, GPS observation, earthquake sequence, interseismic strain rates, geodetic monitoring