

# KUZEY ANADOLU FAYI DOĞU KESİMİNİN KABUK DEFORMASYONLARININ VE BLOK KİNEMATİĞİNİN GPS ÖLÇME TEKNIĞİ İLE ARAŞTIRILMASI

H. Özener<sup>1</sup>, A. Garagon Doğru<sup>1</sup>, B. Turgut<sup>1</sup>, O. Yılmaz<sup>1</sup>, S. Ergintav<sup>2</sup>, R. Çakmak<sup>2</sup>, U. Sanlı<sup>3</sup>, E. Arpat<sup>4</sup>,  
L. Gülen<sup>5</sup>, O. Gürkan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeodezi Anabilim Dalı, İstanbul, [ozener@boun.edu.tr](mailto:ozener@boun.edu.tr)

<sup>2</sup>TÜBİTAK MAM, Yer ve Deniz Bilimleri Araştırma Enstitüsü, İstanbul, [semih.ergintav@mam.gov.tr](mailto:semih.ergintav@mam.gov.tr)

<sup>3</sup>Yıldız Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul, [usanli@yildiz.edu.tr](mailto:usanli@yildiz.edu.tr)

<sup>4</sup>Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Jeofizik Anabilim Dalı, İstanbul, [arpate@isbank.net.tr](mailto:arpate@isbank.net.tr)

<sup>5</sup>GEOSCOPE, Framingham, MA, USA, [GEOSCOPE@aol.com](mailto:GEOSCOPE@aol.com)

## ÖZET

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'nin Yedisu segmenti 1784 depreminden beri kırılmamıştır. Bu bölge, Türkiye'de tektonik olarak en aktif ve hakkında en az bilgiye sahip olunan bir bölgedir. 1992 Erzincan ve 2003 Pülümür depremleri, bölgenin daha duyarlı bir şekilde deprem etkinliğinin izlenmesi gerektiğini ortaya koymuştur. TÜBİTAK'ın desteklediği bu proje ile Kuzey Anadolu Fayı'nın Karlıova kesiminden başlanılarak batıya doğru yaklaşık 350x200 km<sup>2</sup>'lik bir bölgede, GPS ölçme tekniği kullanılarak, Kuzey Anadolu Fayı doğu kesimi ve Doğu Anadolu Fayı ile kesiştiği bölgedeki yerkabuğu hareketleri araştırılmaktadır. Bu proje kapsamında, çalışma bölgesine 14 adet GPS noktası tesis edilmiş olup, bölgede daha önceden tesis edilen Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı'na ait 2 adet nokta da kullanılmaktadır. 10 aylık aralıklarla gerçekleştirilecek 3 GPS ölçme kampanyası yardımıyla bölgenin güncel tektonik özelliklerinin belirlenmesi amaçlanan projede, iki periyot GPS ölçme kampanyası gerçekleştirilmiştir. Bu bildiri, gerçekleştirilen GPS ölçme kampanyalarından elde edilen, KAFZ doğu kesimine ait kabuk hareketleri ile ilgili bulgular paylaşılmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** KAFZ, GPS, Kabuk Deformasyonu, Deprem, Blok Kinematığı.

## ABSTRACT

### INVESTIGATION OF CRUSTAL DEFORMATION AND BLOCK KINEMATICS ALONG THE EASTERN SECTOR OF THE NORTH ANATOLIAN FAULT BY GPS TECHNIQUE

Yedisu segment of the North Anatolian Fault (NAF) has not been broken entirely since the 1784 earthquake. This region is the most tectonically active region in Turkey as far as it is not known very well. It is quite obvious that following the 1992 Erzincan and 2003 Pülümür Earthquakes indicate that the region needs to be monitored precisely. In this project, which is supported by Scientific and Technical Research Council of Turkey, crustal deformation of eastern NAF is being researched using GPS measurement technique in a 350x200 km square region from Karlıova to the east. This region is the intersection area of NAF and East Anatolian Fault Zones. 14 new GPS stations were constructed and also 2 existing TUTGA (Turkish National Fundamental GPS Network) GPS station points were used in the study. These points will be measured three times during the project which aims the investigation of current seismicity of the region. First period and also second period of GPS measurements were performed in the area. This paper presents the findings from the GPS campaigns that are related to the crustal movements of the eastern NAF.

**Keywords:** NAF, GPS, Crustal Deformation, Earthquake, Block Kinematics.

## 1. GİRİŞ

Dünyanın en aktif faylarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu, bilim adamları için eşsiz bir laboratuvarıdır. Afrika ve Arap plakalarının kuzey yönünde hareketinden kaynaklanan iteleme, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun batıya doğru ilerlemesine neden olmaktadır. KAFZ ile ilgili yürütülmüş ve yürütülmekte olan deformasyon amaçlı birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak, bu çalışmaların tamamına yakını batıda ve özellikle Marmara bölgesindedir. 17 Ağustos 1999 Kocaeli ve 12 Kasım 1999 Düzce depremlerinden sonra, sürekli gündemde olan ve zamanı, büyüklüğü ile yeri konusunda tartışmalar yaratan, İstanbul'u da büyük ölçüde etkileyecek olan olası deprem beklentisi nedeniyle Marmara Bölgesi'ndeki benzeri çalışmaların sayısı hızla artarak devam etmektedir. Oysa ki, 1500 km. uzunluğundaki KAFZ'in sadece batısı değil doğusu da herhangi bir zaman batıda beklenen deprem büyüklüğünde bir deprem üretebilecek özelliklere sahiptir.

Bu çalışma ile Kuzey Anadolu Fayı'nın doğu kesiminde, özellikle 1784 depreminden beri kırılmayan Yedisu segmenti civarında kurulacak GPS noktalarında yapılacak 3 periyot GPS ölçme kampanyası yardımıyla, bölgenin güncel tektonik özelliklerinin belirlenerek, depremselliği hakkında bilgilerin elde edilmesi amaçlanmaktadır. Bu bölge, tektonik olarak en aktif bölgelerden biri olmakla birlikte, hakkında çok az bilgiye sahip bulunmaktadır. 1992 Erzincan ve 2003 Pülümür depremi, bölgenin daha duyarlı bir şekilde deprem etkinliğinin izlenmesi gerektiğini bir kez daha ortaya koymuştur.

## **2. GERÇEKLEŞTİRİLEN ÇALIŞMALAR**

Yerkabuğu hareketlerinin jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde kullanılan GPS tekniğinde, deformasyon ağlarının ölçme planı ve uygulanacak ölçme yöntemleri, sonucu etkilemesi bakımından hassas olarak planlanmalı ve ölçmelerden elde edilecek veriler yüksek doğruluklu olarak değerlendirilmeli ve analiz edilmelidir. Bu bakımdan her bir aşamanın (istikşaf / ölçme / değerlendirme ve analizler) önemi açıktır.

### **2.1 Planlama Çalışmaları**

GPS istasyonlarının çalışma amacına uygun olarak tesisini sağlamak amacıyla, Harita Genel Komutanlığı'ndan (HGK), 394 adet 1/60.000 ve 28 adet 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları temin edilmiştir. Çalışma bölgesinde mevcut bulunan Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) noktalarından kullanılabilir olanları tesbit edebilmek amacıyla yine Harita Genel Komutanlığı'ndan 40 noktanın konumlarını, tariflerini ve özelliklerini belirten protokollerle, bölgenin 1/100.000 ölçekli topografik haritaları da edinilmiştir.

GPS nokta planlama adımları aşağıdaki şekilde gerçekleşmiştir;

1. Çalışma bölgesinin hava fotoğrafları (1/60.000 ve 1/35.000) incelenerek diri olabilecek faylar belirlenmeye çalışılmıştır. Belirlenen bu faylar 1/500.000 ölçekli harita üzerine çizilmiştir. Ayrıca bu fayların belirgin olarak görüldüğü hava fotoğraflarının numaraları not edilmiştir.
2. Belirlenen diri fayların ayırdığı blokların göreceli hareketlerini ölçebilmek amacıyla kurulması öngörülmesi olan GPS ölçme noktaları için en uygun bölgelerin belirlenmesine, hava fotoğrafları kullanılarak çalışılmıştır. Bu çalışma sırasında aşağıdaki yaklaşım uygulanmıştır:
  - Elde edilmiş olan açıklayıcı protokollerden konumları belirlenen TUTGA GPS noktalarının yer aldığı bölgeler hava fotoğraflarından incelenerek, amaca uygun olanlar ayıklanmıştır.
  - Çalışma kapsamında, üstesinden gelebilmek için, ölçülmesi planlanan GPS noktası sayısının optimum olmasına çalışılmıştır.
  - Seçilecek veya yeni belirlenecek GPS noktaların fay kuşaklarının elastik ve plastik deformasyon alanlarının dışında olmasına dikkat edilmiştir. Bu çalışma hava fotoğrafları kullanılarak yapılmıştır.
  - Seçilecek veya yeni belirlenecek GPS noktalarının yüzeysel kütle hareketlerinden etkilenmeyecek yerlerde olmalarına çalışılmıştır. Bu çalışma, hava fotoğrafları incelemesi ile gerçekleştirilmiştir.
  - GPS noktalarının olabildiğince, çok zorlanmadan ulaşılabilir yerlerde seçilmelerine gayret edilmiştir. Bu çalışma 1/100.000 ölçekli haritalar ve hava fotoğrafları kullanılarak sonuçlandırılmıştır. Planlanan noktalar çalışma amacına uygun olarak belirlenmiştir.

### **2.2 İstikşaf ve İnşaat Çalışmaları**

Noktaların yerlerinin kesinleştirilmesinde aşağıdaki ölçütler kullanılmıştır:

- Noktaların diri faylara en az 3 kilometre uzaklıkta olmasına çaba harcanmıştır. Bu koşul çoğunlukla sağlanabilmiştir.
- Noktaların, sağlam kaya kütleleri üzerinde olmalarına ancak yamaçlarda olmamalarına özen gösterilmiştir. Bu nedenle noktalar geniş düzlüklerde, çoğunlukla da sırtların üzerinde seçilmiştir.
- Noktaların sağlam kayalar içine yerleştirilmesine çaba sarfedilmiştir.
- HGK'ya ait KMAH ve SOLH GPS noktalarının amacımıza uygun oldukları belirlenmiştir.

GPS noktalarının isimleri, 4 karakterli kısaltmaları ve koordinatları tablo 1' de görülmektedir.

İSTASYON ADI-MEVKİİ	İSTASYON ID	BOYLAM (doğu)	ENLEM (kuzey)
BALBAYAM	BLYM	40° 02' 18"	39° 25' 47"
KALKANKAYA / KARAKOÇAN	KLKY	40° 06' 17"	38° 56' 57"
DİVRİĞİ	DIVR	38° 15' 51"	39° 10' 41"
SOLHAN	SOLH	41° 03' 24"	38° 57' 31"
SARITOSUN / OVACIK	SRTS	39° 15' 30"	39° 20' 58"
KEMALİYE	DBAS	38° 38' 40"	39° 18' 37"
ÇEMİŞGEZEK	CMGK	38° 55' 51"	39° 01' 34"
KIZILTAŞSIRTI / PÜLÜMÜR	KTAS	39° 57' 24"	39° 32' 15"
KIRKPINAR / KALENCİK	KRPR	40° 43' 59"	39° 10' 54"
UZUNSAVAT / SANCAK	USVT	40° 19' 46"	39° 02' 21"
TAP KÖYÜ / ADAKLI	ATAP	40° 30' 53"	39° 12' 54"
KARLIOVA	KARL	40° 59' 55"	39° 18' 13"
KOLÇEKMEZDAĞI / ERZİNCAN	KCMZ	39° 31' 27"	39° 49' 27"
BAYRAMLAR / YEDİSU	BYML	40° 48' 11"	39° 26' 53"
HOZAT	HZAT	39° 13' 01"	39° 04' 27"
KEMAH / ALPKÖY	KMAH	39° 09' 49"	39° 36' 48"

**Tablo 1:** GPS istasyonlarının adı/mevkii, kısaltmaları ve koordinatları (WGS-84)

GPS nokta tesisleri kış mevsimi de dikkate alınarak, krom-nikel 316-paslanmaz malzemedan özel olarak imal ettirilmiştir. Noktaların arazide tesisi hızlı kuruyan, hazır beton karışımı epoksi malzeme ve TUBİTAK-MAM'dan ödünç alınan benzinli jeneratör ve hilti matkap ile yapılmıştır (Şekil 1). İstikşaf ve inşaa çalışmaları Erzincan, Erzurum, Tunceli, Bingöl, Elazığ, Malatya, Sivas il sınırları dahilinde gerçekleştirilmiştir.

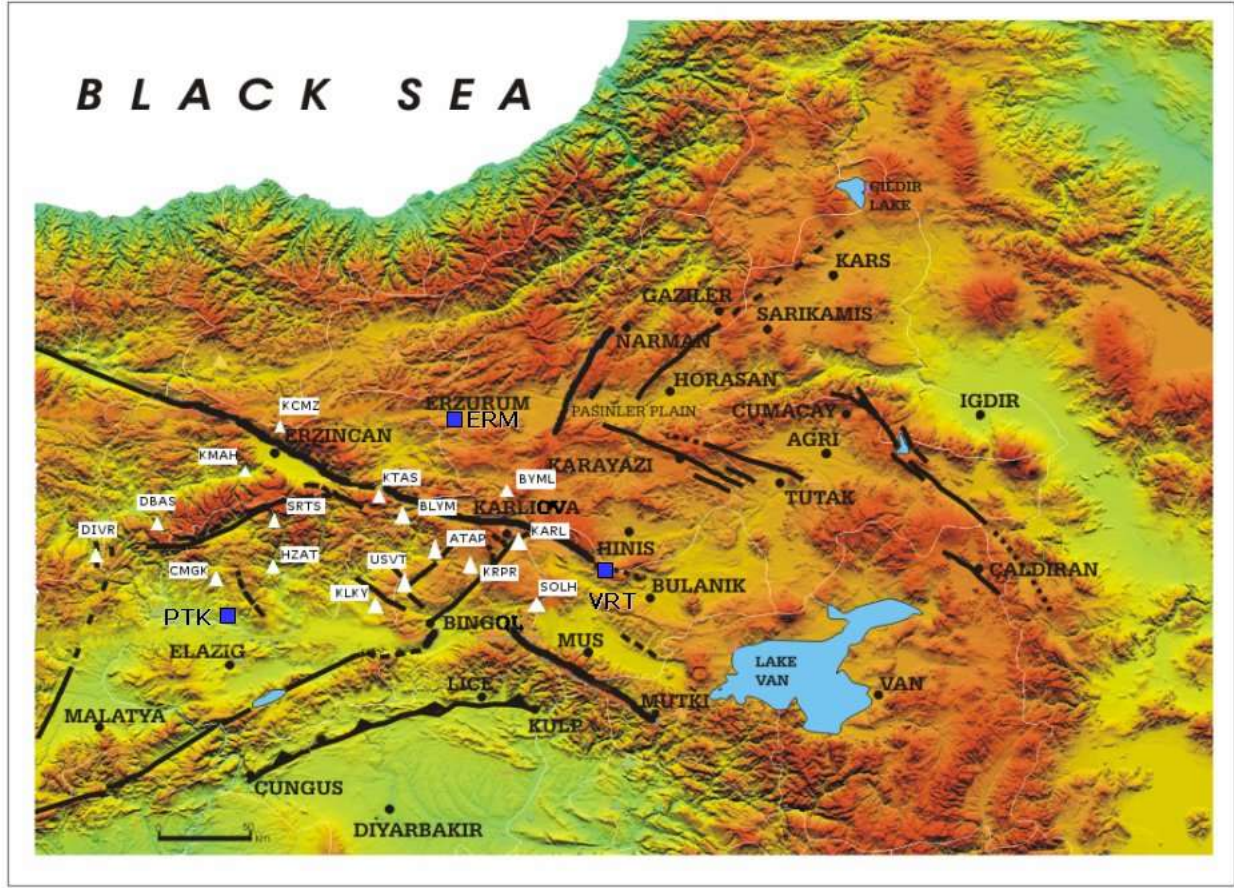


Şekil 1: GPS noktası tesisi

### 2.3 GPS Ölçmeleri

Yapılan ölçme planı neticesinde, toplam 13 kişiden oluşan, 6 arazi ekibinin oluşturulmasına karar verilmiştir. Erzincan ili sahip olduğu imkanlar dolayısıyla merkez olarak seçilmiştir. Her ekibin ortalama 3 noktada gözlem yapması düşünülmüştür (Şekil 2). İlk kampanyada GPS ölçmeleri, BÜ KRDAE Jeodezi Anabilim Dalı bünyesinde bulunan ve TÜBİTAK-MAM'dan bedelsiz olarak ödünç alınan Trimble 4000 SSI ve SSE toplam 6 adet alıcı ile gerçekleştirilmiştir. Her bir noktada 15 saniyede bir kayıt alınmak suretiyle 10'ar saatlik gözlemler yapılmıştır. Gözlemler eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. Kampanya 2003 yılı Ekim ayı içinde 10 günde tamamlanmıştır.

İkinci GPS kampanyası 2004 yılı Eylül ayı içinde, ilk kampanyaya benzer şekilde gerçekleştirilmiştir. GPS ölçmeleri mevcut GPS alıcılarına ilaveten Tokyo Teknoloji Estütüsünden hibe yoluyla Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü'ne kazandırılan 8 adet alıcı ile tamamlanmıştır.



Şekil 2: Çalışma bölgesindeki mevcut faylar ve kurulmuş olan GPS istasyonları

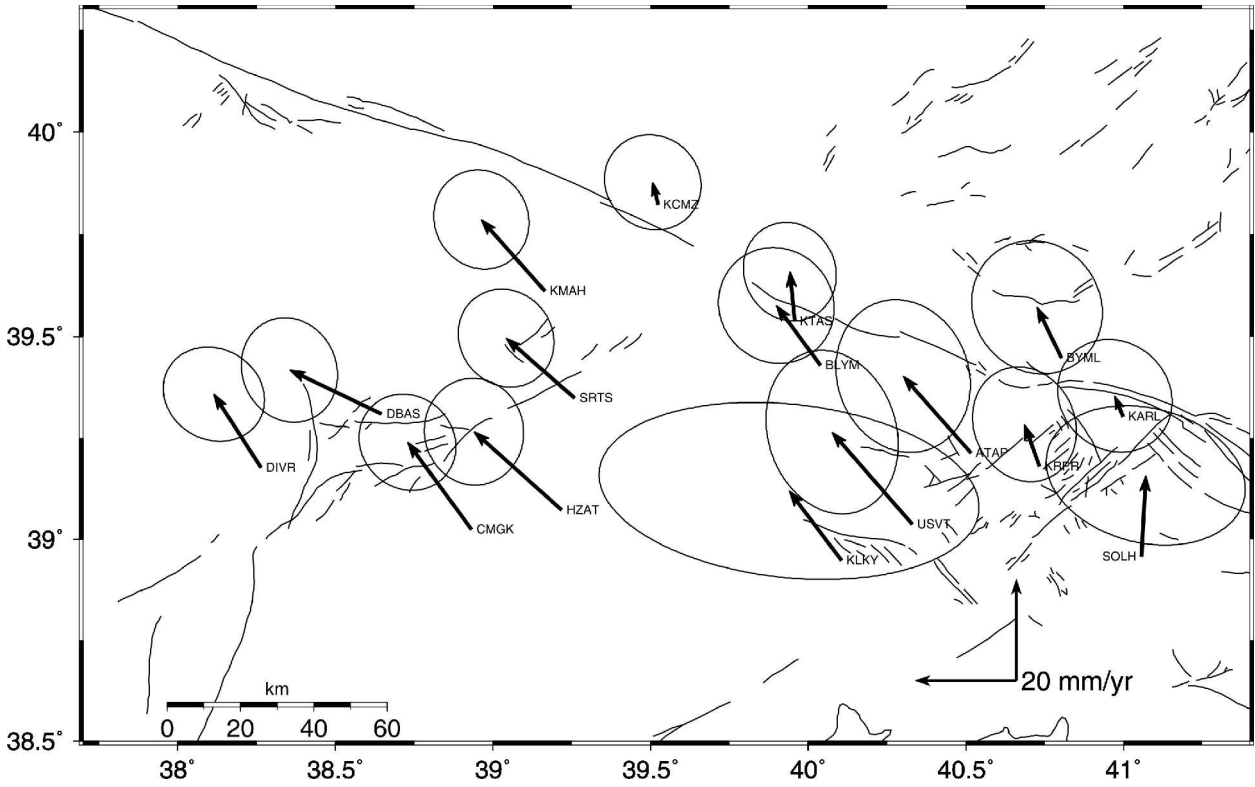
GPS kampanyaları ile ilgili detaylı bilgiler, TÜBİTAK-YDBAG 103Y043 kodlu Araştırma Projesi ara raporlarından temin edilebilir.

#### 4. DEĞERLENDİRME VE SONUÇLAR

2003 ve 2004 yılı içerisinde gerçekleştirilen iki kampanyadan elde edilen GPS ölçülerinden, GAMIT/GLOBK bilimsel değerlendirme yazılımı kullanılarak çalışma bölgesine ait yerdeğiştirme vektörleri (hız alanları) elde edilmiştir (Şekil 3). Bu işlem yapılırken aşağıdaki sıra izlenmiştir:

- Hassas yörünge bilgisi, Uluslararası GPS Servisi (IGS) tarafından SP3 (Standard Product 3) formatında, SOPAC (Scrips Orbit and Permanent Array Center) adresinden alınmıştır.
- Yer dönme parametreleri (ERP; Earth Rotation Parameters), USNO\_bull\_b (United States Naval Observatory\_bulletin\_b) değerlerinden alınarak kullanılmıştır.
- Değerlendirmeye IGS global izleme ağından 10 istasyon dahil edilmiştir.
- Referans Sistemi tanımlamada ITRF2000 koordinat çözümü kullanılmıştır.
- Radyasyon-basınç etkileri için SOPAC tarafından da standart olarak kullanılan 9 parametrelili Berne modeli kullanılmıştır.
- Okyanus yüklemesi etkisi (Ocean tide loading effect) için Scherneck modeli (IERS standarts, 1992) 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 bağlı model tercih edilmiştir.
- GAMIT çözümleri sonrasında elde edilen gevşek ve zorlamalı günlük çözümler; ITRF2000 referans sisteminde, 10 global IGS noktasından yararlanarak 7 parametrelili (3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçek) dönüşüm ile tanımlanmıştır.
- GPS ölçmelerinden elde edilen düşey koordinatlar, yatay koordinatlara göre çok düşük duyarlılıkta olduğundan, dönüşümde ağırlıklar 1/100 oranında düşürülerek kullanılmıştır.

- Günlük hassas koordinatlar Kalman analizi ile birleştirilerek, oluşturulan zaman serilerinden yapılan trend analizi ile istasyonların hızları elde edilmiştir.



Şekil 3: Yerdeğiştirme vektörleri

Gamit/Globk yazılımı kullanılarak ve yukarıdaki işlem sırası izlenerek yapılan hesaplama sonuçları ile istasyonlara ait elde edilen hız vektörleri ve hata elipsleri şekil 3' de görülmektedir. Yüze deformasyonları veya gerinim birikimlerinin hesaplanması için yapılan jeodezik ölçülerin kullanıldığı jeofiziksel çalışmalar, sadece ilgili parametrelerin doğru tahminini değil aynı zamanda bu parametrelerin hatalarının da doğru tahmin edilmesini gerektirmektedir (Mao vd., 1999). Bu bağlamda, elde edilen hız vektörleri incelendiğinde genel olarak beklenen yön ve büyüklüğe uygun olmakla birlikte, bazı noktalarda elde edilen hızlara ait hata elipslerinin beklenenden daha büyük olduğu görülmektedir.

Jeodezik yöntemler izlenerek yapılan deformasyon analizi araştırmaları uzun soluklu çalışmalardan ibaret olmaktadır. 2005 yılı içinde yapılması planlanan 3. GPS kampanyasının sonucunda elde edilecek olan hız vektörlerinin güvenilirliği artacak ve önceki kampanyalardaki olası uyumsuz ölçme değerleri ortaya çıkarılabilecek, gerekiyorsa bu ölçmeler hesaplamalara dahil edilmeyeceklerdir. Ayrıca yapılan 2 kampanyada tespit edilmesi mümkün olmayan ve sonuçlara doğrudan hız vektörü olarak yansımış olabilecek kaba hataların da tesbiti ve giderilmesi mümkün olacaktır.

Proje kapsamında, gerek proje için arazi öncesi elde edilen hava fotoğrafları ve haritalar, gerekse arazi çalışmalarından elde edilen ve edilecek olan veriler ile, ilgili bölgeye ait bir veri bankası oluşumu gerçekleşmiştir. Bu bakımdan çalışma, kendinden sonra yapılacak olan projelere de kaynak teşkil etmektedir.

Kuzey Anadolu Fayı'nın geometrisi ve üzerindeki yıllık gerilme miktarları, gerçekleştirilen çeşitli çalışmalar sonucunda genel anlamda bilinmekle birlikte, lokal olarak birçok belirsizlikler içermektedir. Bugüne kadar gerçekleştirilen çalışmalar batıda ve bölge dışında sonuçlandırılmıştır. Bu anlamda bu çalışma bölgede gerçekleştirilen disiplinlerarası ilk çalışma olma özelliğini de taşımaktadır. Bu çalışma ile hakkında çok az bilgiye sahip olunan ve son 37 yılda 11 büyük deprem üreten bölgede deprem etkinliğinin kontrolüne yönelik katkıda bulunmak hedeflenmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışma yürütücülüğünü Doç.Dr. Haluk Özener'in üstlendiği ve TÜBİTAK-YDBAG tarafından desteklenen 103Y043 kodlu ve "Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının GPS Ölçümleri ile Araştırılması, Depremselliği ve Deprem Potansiyelinin Değerlendirilmesi" adlı proje kapsamında

gerçekleştirilmiştir. Çalışma ekibinde jeodezi, jeofizik ve jeoloji bilim dallarından Dr. Doğan Kalafat, Doç.Dr. Levent Gülen, Öğr.Gör. Esen Arpat, Öğr.Gör.Dr. H.Onur Yılmaz, Arş.Gör. Aslı Garagon Doğru, Jeof.Müh. Zafer Öğütçü, Jeof.Müh. Mehmet Yılmaz, Jeof.Müh. Yavuz Güneş, Y.Doç.Dr. D.Uğur Şanlı, Y.Müh. Raşan Çakmak, Har.Müh. Bülent Turgut araştırmacı olarak görev almaktadırlar. Ayrıca Y.Müh. Mahmut O. Korkmaz, Har.Müh. Kerem Halıoğlu, Har.Müh. Özgür Avcı, Har.Müh. Mahir Doğan, Har.Müh. Onur Süslü ile Ahmet Altın yardımcı personel olarak görev yapmaktadırlar. Yazarlar, tüm proje ekibine göstermiş oldukları özveriden dolayı teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

**Mao, A., C. G. A. Harrison, and T. Dixon,** 1999. *Noise in GPS Cordinate Time Series*, Jour. Geophys. Res.,104, 2797-2816.

**Özener, H.,** 2003. *Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının GPS Ölçümleri ile Araştırılması, Depremselliği ve Deprem Potansiyelinin Değerlendirilmesi*, Araştırma Projesi Teklifi, TÜBİTAK-YDBAG, Ankara.

**Özener, H.,** 2004. *Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının GPS Ölçümleri ile Araştırılması, Depremselliği ve Deprem Potansiyelinin Değerlendirilmesi*, Araştırma Projesi 1.Gelişme Raporu (30 Ocak 2004), TÜBİTAK-YDBAG, Ankara.

**Özener, H.,** 2004. *Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının GPS Ölçümleri ile Araştırılması, Depremselliği ve Deprem Potansiyelinin Değerlendirilmesi*, Araştırma Projesi 2.Gelişme Raporu (30 Temmuz 2004), TÜBİTAK-YDBAG, Ankara.

**Özener, H.,** 2005. *Kuzey Anadolu Fayı'nın Doğu Kesiminin Kabuk Deformasyonlarının ve Blok Kinematığının GPS Ölçümleri ile Araştırılması, Depremselliği ve Deprem Potansiyelinin Değerlendirilmesi*, Araştırma Projesi 3.Gelişme Raporu (01 Şubat 2005), TÜBİTAK-YDBAG, Ankara.

**Özener, H., Yılmaz, O., Garagon Doğru, A., Turgut, B., Ergintav, S., Çakmak, R., Şanlı, U., Gülen, L., Arpat, E.,** 2004. *Primary Results Related To Crustal Deformation Study Of The Eastern Part Of NAFZ (by GPS Measurements)*, Proceedings of the AGU Fall Meeting, 13-17 December, San Francisco, California, USA.

**Özener, H., Kalafat, D., Gülen, L., Arpat, E., Yılmaz, O., Doğru, A. G., Öğütçü, Z., Yılmaz, M., Güneş, Y., Şanlı, U., Çakmak, R., Turgut, B.,** 2003. *A Study on Investigation of Crustal Deformation and Block Kinematics Along the Eastern Sector of the NAF by GPS Measurements*, Proceedings of the AGU Fall Meeting, 8-12 December, San Francisco, California, USA.