

# KUZEY ANADOLU FAYI BOLU-ÇORUM SEGMENTİ BOYUNCA OLUŞAN YERKABUĞU HAREKETLERİNİN GPS YÖNTEMİYLE İZLENMESİ

H. YAVASOĞLU<sup>1</sup>, M. N. ALKAN<sup>2</sup>, İ.M. OZULU<sup>3</sup>,  
V. İLÇİ<sup>4</sup>, F.E. TOMBUŞ<sup>5</sup>, K.ALADOĞAN<sup>6</sup>, M.ŞAHİN<sup>7</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü,  
İstanbul, yavasoglu@itu.edu.tr

<sup>2</sup>Hitit Üniversitesi, Osmancık Ömer Derindere MYO, Harita ve Kadastro Bölümü,  
Çorum, nurullahalkan@hitit.edu.tr

<sup>3</sup>Hitit Üniversitesi, Çorum MYO, Harita ve Kadastro Bölümü,  
Çorum, imuratozulu@hitit.edu.tr

<sup>4</sup>Hitit Üniversitesi, Çorum MYO, Harita ve Kadastro Bölümü,  
Çorum, veliilci@hitit.edu.tr

<sup>5</sup>Hitit Üniversitesi, Çorum MYO, Harita ve Kadastro Bölümü,  
Çorum, fengintombus@hitit.edu.tr

<sup>6</sup>Hitit Üniversitesi, Osmancık Ömer Derindere MYO, Harita ve Kadastro Bölümü,  
Çorum, kayhanaladogan@hitit.edu.tr

<sup>7</sup>Hitit Üniversitesi, Çorum MYO, Harita ve Kadastro Bölümü,  
Çorum, muratsahin@hitit.edu.tr

## Özet

Dünya üzerindeki tektonik plakalar milyonlarca yıldır sürekli olarak hareket halindedirler. Bu yavaş hareketlerin izlenmesi ancak aletsel ölçümler sayesinde gerçekleştirilebilmekte ve 1980'li yılların sonundan beri de GPS ile başarıyla yapılabilmektedir. Yapılan GPS çalışmalarıyla Anadolu levhasının Kuzey Anadolu Fay'ı (KAF) boyunca saatin tersine olan dönme hızı ve kutbu yüksek doğrulukta tespit edilebilmiştir. GPS sonuçları Vezirköprü ile Bolu arasında kalan kesiminin sıkışmalı bir yapıya sahip olduğunu ortaya çıkarmıştır. Faya paralel hızın miktarı bölgede çok az sayıda mevcut GPS noktalarından tespit edilebilirken faya dik yönde sıkışma bileşeninin miktarı ve batıya doğru olan değişimi konusunda günümüze değin herhangi bir detaylı veya kantitatif bir bilgi mevcut değildir. Bu çalışmada KAF'ın Bolu – Çorum arasında kalan kesimi üzerinde faya paralel ve dik yönde biriken deformasyonların miktarı ve fay boyunca meydana gelen değişimi yeni kurulacak bir GPS ağı yardımıyla ortaya çıkartılması planlanmıştır. Bu şekilde KAF üzerindeki GPS ağına mevcut olan tek boşluk da bu çalışma ile doldurularak doğuda Karlıova'dan (Bingöl) batıda Saros (Tekirdağ) körfezine kadar uzanan fay boyunca deformasyon birikimi kesintisiz olarak ortaya konulabilecek ve bu da bizim KAF'ı çok daha iyi ve eksiksiz bir şekilde anlamamızı kolaylaştıracaktır.

Bu çalışma kapsamında KAF'ın Bolu-Çorum arasındaki bölgesel hız alanı ve İsmetpaşa segmentinde meydana gelen asismik kayma GPS verileri kullanılarak detaylı olarak araştırılmaktadır/araştırılacaktır. GPS ölçmeleri ile asismik kayma takip edilecektir. Elde edilen hız alanı elastik yer değiştirme yöntemi ile modellenerek yıllık bölgesel gerilme birikimi, kayma hızı ve dağılımının fay boyunca ve derine doğru değişimi hesap edilecektir.

Anahtar kelimeler: Kuzey Anadolu Fayı, GPS, Kayma Hızı, Kabuk Deformasyonu, Hız Alanı

## MONITORING CRUSTAL DEFORMATION ALONG THE BOLU-ÇORUM SECTION OF THE NORTH ANATOLIAN FAULT USING GPS TECHNIQUE

### Abstract

*Tectonic plates have been on constant motion for hundreds of millions of years. Monitoring such motions can only be achieved by instrumental measurements since they are rather slow. Plate motions have been successfully measured since late 1980's with Global Positioning System (GPS). The rate and pole of the anticlockwise rotation of the Anatolian plate along the North Anatolian Fault (NAF) relative to Eurasia were accurately determined using GPS measurements. The GPS observations also showed that while the NE-SW trending section of the NAF between Vezirköprü and Bolu has transpressive character. While the fault-parallel velocity have been estimated from just a few GPS vectors available in the region, little is known about the fault-perpendicular component of the regional velocity. The rate of convergence and how it varies along strike are not known due to the sparsely distributed GPS benchmarks in the region. One of the aims of this study is to determine quantitatively the rate of convergence and its variation along the NE-SW trending section of the NAF between Bolu and Kargı (Çorum) by employing a new GPS network. This will fill the largest gap in the GPS network along the NAF, which will allow us to better understand the behavior and characteristics of the NAF all the way from Karlıova in the east to Saros bay in the west. The new GPS network will reveal the velocity field and interseismic strain accumulation in fine resolution.*

*Therefore, there are still open questions concerning the rupture parameters of the creeping section of the fault. Some characteristics of the surface creep can also be estimated by recording precisely the micro earthquake activity. Unfortunately, a local seismic network is also absent in the region. In this project, the İsmetpaşa creeping section will be studied using GPS data.*

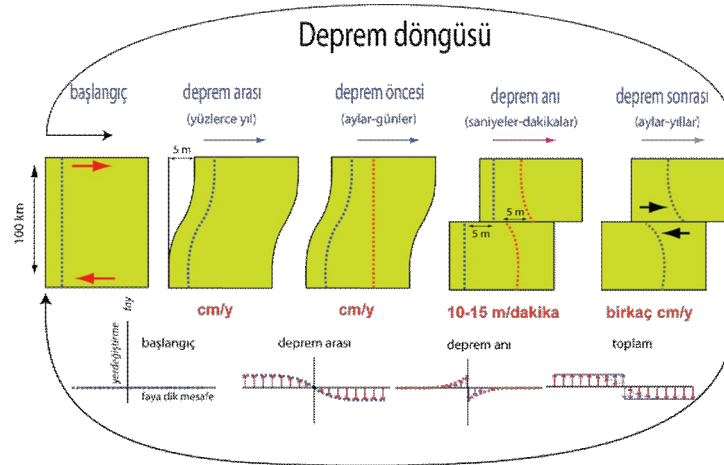
*Keywords: North Anatolian Fault, GPS, Slip Rate, Crustal Deformation, Velocity Field*

### 1. Giriş

Kuzey Anadolu Fay'ı (KAF) son yüzyılda yıkıcı depremler üretmiş ve üretme potansiyeli yüksek bir fay sistemidir. KAF gibi tektonik plaka sınırlarını oluşturan aktif doğrultu atımlı faylar genel olarak yüzeyden sismojenik kabuğun tabanına kadar kilitli olup üzerinde zamanla elastik deformasyon enerjisi biriktirir. Fay yüzeyindeki sürtünme ve normal gerilme miktarı aşıldığı zaman kayma gerçekleşerek deprem olur ve biriken bu enerji açığa çıkar. Bazı faylar ise kilitli olmayıp sürekli olarak asismik bir şekilde kaydığı için üzerinde deformasyon kısmen veya hiç birikmemekte, dolayısıyla nadiren deprem üretmekte veya hiç deprem meydana getirmemektedir (Burford ve Harsh, 1980; Steinbrugge ve diğ., 1960). Bu nedenle, aktif faylar boyunca nadiren rastlanan ve asismik yüzey kayması veya kripi olarak adlandırılan bu hareketin varlığı ve özelliklerinin belirlenmesi bir bölgenin deprem tehlikesinin belirlenmesinde önem arz etmektedir (Burgman ve diğ., 2000b). Üzerinde bu nadir hareketin gözlemlendiği faylardan bir tanesi de Kuzey Anadolu Fayıdır. Çalışma alanımızdaki deprem tehlikesinin, tam tanımlanabilmesi için 1969

yılında Ambraseys (1970) tarafından keşfinden itibaren sadece küçük bir alanda kurulan 6 noktalık bir yersel jeodezik ağ ile günümüze değin yapılan ölçmelerle (Aytun, 1982; Deniz ve diğ., 1993; Kutoğlu ve diğ., 2008) izlenen İsmetpaşa (Karabük) segmentinde incelenmesi gereklidir. Bu segmentin, sürekli ve asismik olarak kaydığı (creep) 40 yıldan daha fazla bir süre öncesinde tespit edilmiş olmasına rağmen günümüze değin bu hareketinin 3 boyutlu doğası hakkında detay ve güvenilir bilgiler mevcut değildir. Ancak asismik kaymanın yanal devamı ve hızının fay boyunca değişimini ortaya çıkarmaya yönelik tek çalışma ise Çakır ve diğ. (2005) tarafından InSAR (Synthetic Aperture Radar Interferometry) yöntemi kullanılarak yapılmıştır. Ancak klasik uzun dönem InSAR yönteminin kullanıldığı çalışmada 1992-2000 yılları arasında çekilen ERS SAR görüntülerinin az olması, C bandından kaynaklanan koherans düşüklüğü ve yoğun atmosferik etkiler ölçümlerin hassas ve güvenilir bir şekilde yapılmasını büyük oranda engellemiştir. Bu nedenle kaymanın fayın doğrultusu boyunca ve derine doğru ne kadar ve ne hızda devam ettiği konusunda soru işaretleri bulunmaktadır. Fayın mikro sismik aktivitesini ortaya çıkartacak sıklıkta bir sismik ağın olmayışı da kayma derinliğinin belirlenmesine izin vermemektedir.

Bu çalışmanın konusu Kuzey Anadolu Fayı'nın Bolu-Çorum kesiminde meydana gelen yer kabuğu hareketlerinin ve buna bağlı olarak gelişen deformasyonların jeodezik yöntemle ölçülmesi ve çeşitli yöntemlerle modellenmesidir. Bu deformasyonun bir kısmı deprem döngüsünün deprem arası dönemini yansıtmaktadır (Şekil 1). Deprem döngüsü 1906 San Francisco depremi yüzey deformasyonunu inceleyen Reid tarafından 1910 yılında elastik serbestlenme (rebound) teorisiyle açıklanmıştır. Günümüzde de geçerli olan bu teoriye göre kayaç kütlelerini birbirine paralel ancak zıt yönde gerilmesiyle (yani makaslama uğramasıyla) yıllar boyunca kayaç dayanımı aşılıncaya kadar deforme olmaktadır. Dayanım sınırına gelindiğinde ise yerkabuğu kırılarak deprem oluşturmakta ve makaslama zonunda oluşan bükülme ortadan kalkarak yerine geri gelmektedir, bir başka deyişle geri sıçramaktadır (rebound). Yerkabuğunda gerilmeler sürekli olduğu için kırılmadan sonra oluşan fay üzerinde de tekrardan gerilme birikmeye başlamakta ve gerilme miktarı fay yüzeyindeki sürtünmeyi aşana dek artmakta, sonunda da yeniden kırılma olmaktadır. Bu gerilme birikimi ve bunun depremler tarafından boşaltılması döngüsüne literatürde deprem döngüsü ismi verilmektedir. Bu döngü deformasyonun karakterine göre dört ayrı dönem altında ele alınmaktadır: (1) deprem arası dönem (yüz yıllar), (2) deprem-öncesi dönem (depremden kısa bir zaman öncesi [aylar, haftalar, günler]), (3) deprem-anı (saniyeler-bir kaç dakika) ve (4) deprem-sonrası dönem (onlarca yıl).



Şekil 1. Elastik serbestlenme teorisine göre deprem döngüsü. Kabuk makaslama gerilmesine tabii olmadan önce gerilme yönüne dik yönde bir duvar inşa edilmiş olsun (mavi kesikli çizgi). Zaman geçtikçe duvar bükülmeye başlıyor. Bükülme hızını 2,5 cm/yıl kabul edersek 200 sene sonra duvarda bir uçtan diğerine 5 m'lik bir bükülme meydana geliyor. Depremden hemen önce yine aynı yönde bir başka duvar inşa ediliyor (kırmızı kesikli çizgi). Bir kaç on saniye veya dakikaya varan bir zaman içinde kabuk kırılıyor ve ilk duvar üzerinde meydana gelen yamulma ortadan kalkarak 5 m öteleniyor. İkinci duvarda yine 5 m'lik bir ötelenme meydana geliyor ancak fayın uzağında bu ötelenme giderek sıfırlanıyor. Depremden sonra fay üzerinde ötelenme çok yavaş da olsa bir süreliğine devam ediyor.

## 2. Yöntem

Bu çalışmada, KAF Bolu-Çorum arasındaki fay segmentinin özelliklerini belirlemek için uydu bazlı jeodezik (GPS) yöntemden faydalanılmıştır/faydalanacaktır.

GPS çalışmaları için çok düşük bir maliyet ile kaya zemine yeni nokta tesis edilmiştir. Asismik yüzey kaymasını optimum şekilde gözlemleyebilmek için jeodezik ağ fayın periyodik değişimini örnekleyecek şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla, fayın yakın alanında (1-10 km) fazla, faydan uzaklaştıkça daha az ölçme noktası tesis edilmiş ve çalışma sahasında var olan noktalardan uygun olanlar ölçmeye dahil edilmiştir.

GPS ölçmeleri çalışmaya destek veren kurumlarda mevcut çift frekanslı alıcılar ile jeodezik veya Choke-Ring antene sahip olan GPS antenleri ile günlük 11-13 saat üzerinden yapılmıştır. Arazide, hızlı bir ön veri işlem ile veriler değerlendirilmiş, sorunlu olduğu düşünülen noktalarda yeni ölçmeler planlanmış ve bölgedeki sürekli istasyonların katkısı ile yeniden değerlendirme yapılmıştır. Ölçmelerde, anten yüksekliği ölçme hatasını en aza indirmek için sabit yüksekliğe sahip yüksek duyarlıklı jeodezik

tripodlar kullanılmıştır. GPS verilerinin analizi GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Her dönem elde edilen GPS ölçü kümeleri ayrı ayrı en küçük kareler (EKK) yöntemine göre dengelenerek, güvenilirlik analizleri, uyumsuz ölçü araştırmaları yapılmıştır.

### 3. Sonuç

Bu çalışma ile genel anlamda KAF üzerinde bulunan GPS hız alanı boşluğu doldurulacaktır. Yapılan ilk kampanya ölçülerine ilişkin ön sonuçlar sunulacak ve tartışmaya açılacaktır. Projenin kapsadığı alanın jeolojik ve sismik yapısı hakkında bilgi verilecek ve yapılan önceki çalışmalar kısaca özetlenerek bu çalışmanın özgünlüğü ve katma değeri hakkında bilgi sunulacaktır.

Üniversitelerin, hem bilimsel hem de sosyal ilişkilerinin artması ile bilimsel toplumun birlikte çalışması, farklı disiplinlerin ve farklı uygulamaların birlikte değerlendirilmesi ile ülke bilimine ve ortak çalışma kültürüne büyük katkılar sağlanmış olacaktır.

Bu çalışma Hitit ve İstanbul Teknik Üniversitesi BAP birimleri tarafından desteklenen “Kuzey Anadolu Fayı Bolu-Çorum Segmenti Boyunca Oluşan Yerkabuğu Hareketlerinin GPS Yöntemiyle İzlenmesi” projesi kapsamında yapılmaktadır.

### Kaynaklar

Burford, R.O. and P.W. Harsh, (1980), Slip on the San Andreas fault in central California from alignment array surveys, Bull. Seis. Soc. Am., 70 1223-1261.

Steinbrugge, K.V., E.G. Zacher, D. Tocher, C.A. Whitten, C.N. Clair, (1960), Creep on the San Andreas Fault, Bull. Seis. Soc. Am. 50 396-404.

Bürgmann, R., D. Schmidt, R. M. Nadeau, M. d'Alessio, E. Fielding, D. Manaker, T. V. McEvilly, and M. H. Murray, (2000b) Earthquake Potential Along the Northern Hayward Fault, California, Science, August 18,; 289 (5482): 1178 - 1182.

Ambraseys, N.N., (1970), Some characteristic features of the Anatolian fault zone, Tectonophysics 9, 143–165.

Aytun, A., (1982), Creep measurements in the Ismetpasa region of the North Anatolian Fault zone. In: Proceedings, Multidisciplinary Approach to Earthquake prediction, in: A.M. Isikara and A. Vogel, (Ed.), Friedr. Vieweg and Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 279-292.

Deniz, R., A. Aksoy, D. Yalin, H. Seeger, P. Franke, O. Hirsch, P. Bartsch, (1993), Determination of crustal movements in Turkey by terrestrial geodetic methods, J. Geodynamics, 18 13-22.

Kutoglu, H.S., Akcin, H., Kemaldere, H., Gormus, K.H., (2008), Triggered creep rate on the Ismetpasa segment of the North Anatolian Fault, Natural Hazards and Earth System Sciences, 8, 1369-1373.

Çakır, Z., A. M. Akoglu, S. Belabbes, S. Ergintav, M. Meghraoui, (2005) "Creeping along the Ismetpasa section of the North Anatolian Fault (Western Turkey): Rate and extent from InSAR", Earth and Plan. Sci. Lett. 238, 225-234.