

Burdur Fethiye fay zonu tektonik hareketlerinin GPS ile belirlenmesi

Saffet ERDOĞAN, Muhammed ŞAHİN

İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Burdur Fethiye fay zonu Türkiye'nin güneybatısında tektonik olarak oldukça aktif bir bölgede yer almaktadır. Tarihi kayıtlara göre bölge birçok defa depremlerle yıkıma uğramıştır. Bölgedeki tektonik hareketleri belirlemek amacıyla bölgenin karakteristiğini yansıtan 10 nokta tesis edilerek GPS ölçümleri yapılmıştır. İlk periyot ölçümler Ağustos 2003 de ikinci periyot ölçümler de Mart 2004'de gerçekleştirilmiştir. 3. periyot ölçümlerde ağı 6 yeni nokta daha eklenmiştir. 4. periyot ölçümler ise Ağustos 2005'te gerçekleştirilmiştir. GPS ölçümleri GAMIT GLOBK yazılım takımı ile değerlendirilmiştir. Bu makalede GPS ölçülerinden elde edilen sonuçlar irdelenecektir.

Anahtar Kelimeler: *Burdur Fethiye Fay Zonu, GPS, GAMIT GLOBK.*

Monitoring of deformations along Burdur Fethiye fault zone with GPS

Abstract

Afyon, Burdur and Fethiye region, southwest of Turkey is located on a tectonically active area. According to historical recordings, the region was destructed by earthquakes many times. In Afyon region more than 35 earthquakes occurred, whose magnitudes are more than 4, from the beginning of the 20th century. Seven earthquakes recorded which magnitudes are between 5.0 and 7.5 over the last 90 years in the region between Burdur and Fethiye (October 3, 1914 Burdur: M 7.0, August 7, 1925 Dinar: M 6.0, May 12, 1971 Burdur: M 6.2, April 25, 1957 Fethiye: M 7.1, October 1, 1995 Dinar: M 6.1, December 15, 2000 Akşehir: M 5.9, February 3, 2002 Çay: M 6.0 earthquakes. To determine tectonic characteristics of the region, a network having ten sites is established. First and second campaigns were carried out with in August 2003 and March 2004. The duration of measurement in each day was about 12 hours. After first two periods, our network is extended with six new points. Then the third campaign was performed with 16 sites at two stages in 6 days. Fourth campaign is carried out in August 2005. The duration of measurement in each day was about 8 hours. The GPS measurements for four campaigns are processed by using GAMIT/GLOBK software package. This paper examines the results from the four GPS campaigns.

Keywords: *Burdur Fethiye fault zone, GPS, GAMIT GLOBK.*

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Saffet ERDOĞAN. serdogan@aku.edu.tr; Tel: (272) 228 14 22.

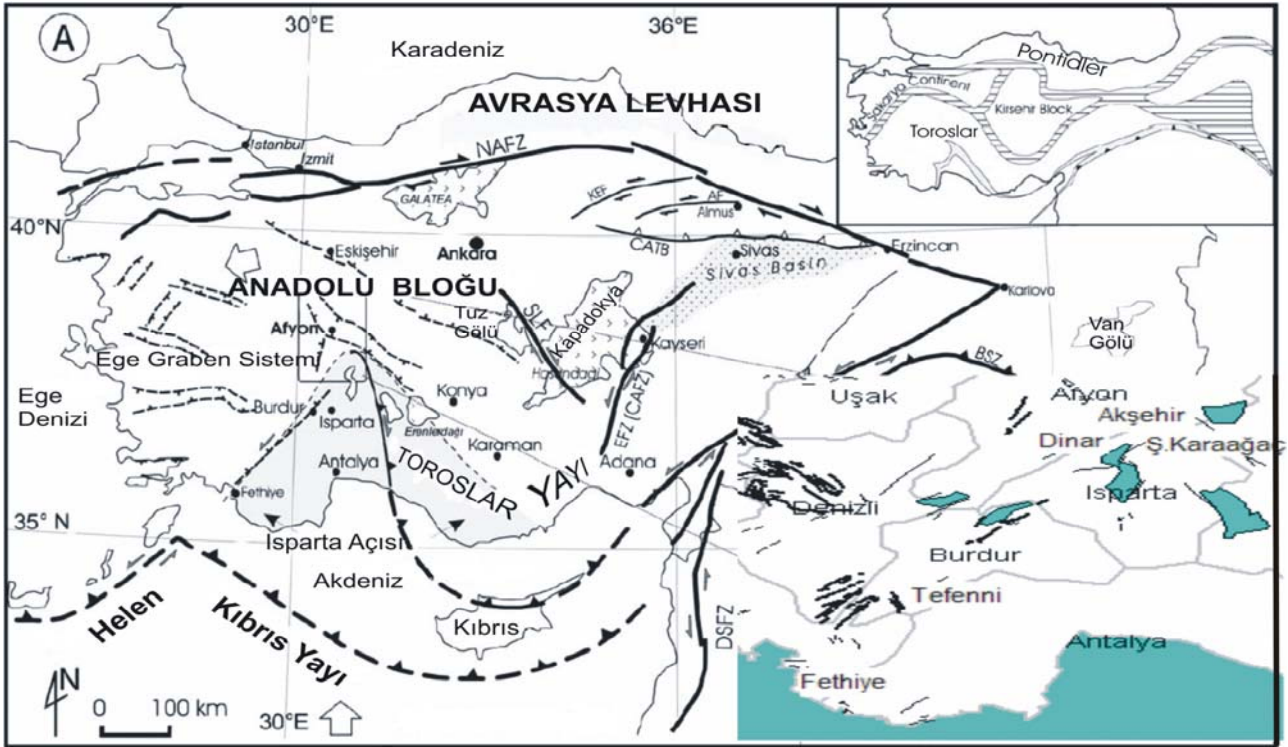
Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "Burdur Fethiye fay zonu tektonik hareketlerinin GPS ile belirlenmesi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 26.09.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 24.11.2005 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Giriş

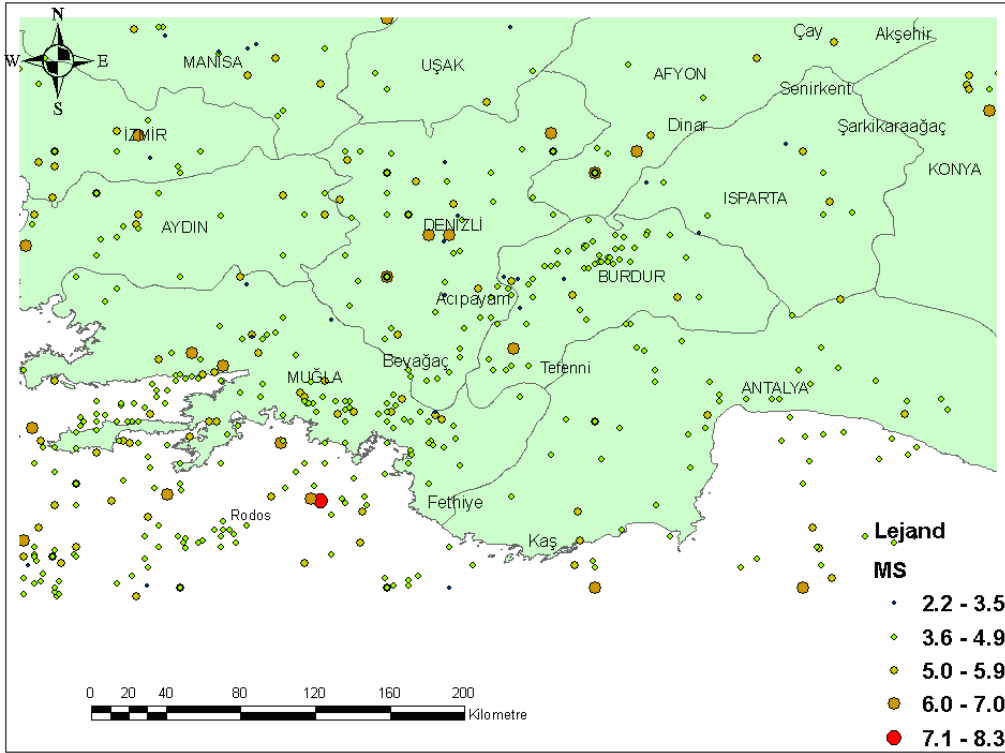
Burdur Fethiye fay zonu Türkiye'nin güney batısında güneyde Fethiye'den, kuzeyde Çay-Şarkıkaraağaç'a kadar olan bölgede yaklaşık 300 km'lik bir hat boyunca uzanım gösteren sol oblik atımlı normal bir faydır. Bu fay tek yapısal bir çizgi halinde olmayıp birbirine paralel gelişmiş kesikli segmentlerden oluşmaktadır (Yağmurlu, 2000). Burdur Fethiye fay zonu, kuzeyde Çay bölgesinde, Akşehir, Sultandağı ve Simav fayları ile kesişir. Güneyde ise Rodos açıklarında Kıbrıs ve Helenik yitim zonları ile bir dirsek oluşturur. Bölge, yine kuzeydoğuda Akşehir ve Simav fayları ile, Isparta büklümü olarak bilinen jeolojik yapıyı sınırlayan kırık hatlarını oluşturur. Güney batıda ise Helenik ve Kıbrıs yitim bölgelerini oluşturan fay zonu aynı zamanda Ege levhasının güney sınırını oluşturmaktadır (Şekil 1).

Burdur Fethiye fay zonunda son yüzyılda meydana gelen depremlerin konumları ve büyüklükleri Şekil 2'de gösterilmiştir. Buna göre Rodos ve Afyon arasında kalan bölgede son yüzyılda magnitüdü 5.0 den büyük 90 civarında deprem

kaydedilmiştir. Bunlardan Burdur'u etkileyen 3 Ekim 1914 (M. 7.0), 12 Mayıs 1971 (M. 6.2), Dinar ve çevresini etkileyen 7 Ağustos 1925 (M. 6.0), 1 Ekim 1995 (M. 6.1) depremleri ile 15 Aralık 2000 Akşehir (M. 5.9), 3 Şubat 2002 Çay (M. 6.0) ve Fethiye'yi etkileyen 25 Nisan 1957 (M. 7.1) depremleri bu bölgedeki sismik aktivitenin son yüzyıldaki önemli belirtilerindendir (Şekil 2). Bölgede 1914 yılında Burdur'un kuzeyinde meydana gelen depremden sonra 1922-1963 yılları arasında meydana gelen depremler daha çok Burdur'un güneyinde etkili olmuştur. Bu dönemde olan depremler 1922'de Karpathas'ta (M. 6.7) başlamış zaman içinde KB yönünde ilerleyerek 1926'da Rodos, 1957 Fethiye, 1963 Tefenni ve 1971'de tekrar Burdur Yöresini etkilemiştir (Taymaz ve Price, 1992). 1957-1992 yılları arasındaki 40 yıllık sürede oluşan Karpathas, Rodos, Fethiye, Tefenni ve Burdur depremleri güneyden kuzeye doğru bir kırık ilerlemesini göstermesi bakımından önemlidir. Bu ilerleme Burdur Fethiye fay zonundaki fay segmentlerinin birbirini tetiklediğini ve gerilim aktardığını göstermektedir (Yağmurlu, 2000).



Şekil 1. Burdur Fethiye fay zonunun konumu (Reilinger vd., 2003)



Şekil 2. Bölgede son yüzyılda meydana gelen depremler(Reilinger vd., 2003)

Burdur Fethiye fay zonu ülkemizdeki 2 ana aktif fay sistemi olan Kuzey ve Doğu Anadolu fayları ile Batı Anadolu Graben sistemi kadar iyi bilinen bir zon değildir. Söz konusu bölge, son 30 yıllık dönemde çalışılmış ve haritalanmış olmasına karşılık bu çalışmaların tamamı bölgenin paleotektonik yapısına yönelik olarak yapılmışlardır (Oral, 1994).

Tektonik hareketler ve GPS ölçmeleri

Yeryüzündeki noktaların konumlarında yerka- buğu hareketlerinden dolayı bir miktar değişim olur. Öyle ki bir bölgedeki bir noktanın hareketleri 100 mm/yıl olabilmektedir (Herring, 1999). Birkaç yıllık süren araştırmalar sonucunda bir nokta üzerinde deformasyon olduğunun belirlenmesi, bu bölgede gerilim olduğunun ve bölgenin tektonik anlamda aktif olduğunun habercisi anlamına gelmektedir. Bu gibi durumlarda meydana gelen deformasyon birikimleri genellikle depremlerle sonuçlanmaktadır. Jeodezik ve jeofizik ölçmeler sonucu bu depremlerin önceden tahmin edilebilmeleri tüm bilimsel çalışmaların genel hedefini oluşturmaktadır. Günü-

müzde küresel bir ölçekte birbirine benzer özellikler gösteren levhalar üzerinde seçilen noktalar üzerinde ölçümler yapılabilmektedir. Bu tür ölçümlerin hedefleri, deformasyon birikmelerinin ortaya çıkarılmasını sağlamak ve bu birikme üzerinde litosferin ve de diğer kuvvetlerin nasıl bir etki yaptıklarının belirlenmesini sağlamaktır (Yavaşoğlu, 2003).

Tektonik hareketlerin jeodezik yöntemlerle belirlenmesinde önceleri klasik yersel ölçme teknikleri ile yürütülen çalışmalar, teknolojinin gelişmesi ile EDM, VLBI, SLR gibi ölçme teknikleri ile gelişme ve genişleme imkânı bulmuştur. Bunlara paralel olarak, kullanım kolaylığı, her türlü hava şartlarında ve gece-gündüz kullanım imkânı ve maliyetlerindeki düşüşler ile beraber GPS, tektonik hareketlerin belirlenmesinde sıkça kullanılmaya başlanmıştır. Belirli aralıklarla tekrarlanan GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi sonucu noktaların ilk ölçme anından son ölçmelerin yapıldığı tarihe kadar olan yer değiştirmeleri belirlenmekte ve hız vektörleri ve yer değiştirmeleri yardımıyla bölgedeki deformasyonlar belirlenebilmektedir. Bu da tektonik ha-

reketlerin zamana bağımlı hareketlerini anlama ve deprem riskini kestirme açısından oldukça önemlidir.

Bölgedeki GPS kampanyaları

Burdur Fethiye fay zonundaki tektonik hareketleri belirlemek üzere bölgenin karakteristiğini temsil eden 10 nokta belirlenmiştir. Belirlenen 10 noktanın 6 tanesi pilye şeklinde, geriye kalan 4 tanesi ise kayada bronz şeklinde tesis edilmiştir. İlk periyot ölçümler, 2003 yılı Ağustos ayında, ikinci periyot ölçümler 2004 yılı Mart ayında, 3. periyot ölçümler 2004 yılı Eylül ayında ve 4. periyot ölçümler ise 2005 yılı Ağustos ayında gerçekleştirilmiştir. Üçüncü periyot ölçümlerde ağı 6 yeni nokta daha ilave edilmiştir. İlk 2 periyotluk ölçümler 12'şer saatlik ölçme süresinde, 3. periyot ölçümler ise 8'er saatlik 3 tekrarlı ölçüm sürelerinde gerçekleştirilmiştir. Ölçümler 15 sn'lik zaman aralığında yapılmış, değerlendirmelerde ise 30 sn'lik zaman aralığı esas alınmıştır. Çalışma bölgesindeki en uzun SIRA-SLVR bazı 240 km, en kısa TKİN-ISRT bazı ise 50 km uzunluğundadır.

Verilerin analizi

Kampanyalara ait GPS verileri GAMIT GLOBK yazılım takımıyla 3 adımda değerlendirilmiştir. İlk adımda GAMIT yazılımında istasyon koordinatları, istasyonlara ait zenit gecikmeleri, atmosfer gradyentleri ve yerküre dönme parametreleri çift farklı GPS faz ölçmelerinden elde edilmiştir. Bu aşamada değerlendirmeye her periyotta 5-6 IGS istasyonu da dahil edilmiştir. Böylece bölgesel ve global ağı ilişkilendirilmiştir. Bu adımda hiçbir parametreye zorlama uygulanmamıştır. İkinci adımda her bir ölçü günü için zorlama yapılmadan elde edilen istasyon koordinatları, uydu koordinatları ve kovaryans matrisleri, kesin hız ve koordinatların elde edilmesi için Kalman filtrelemesinden geçirilir. Bu aşamada stabilizasyonu sağlamak için bölgesel çözümlerle SOPAC tarafından yayımlanan günlük global IGS çözümleri beraber değerlendirilmiştir (McClusky vd., 2000). Üçüncü aşamada hız tahminleri için gerekli referans sistemi (Eurasian frame) tanımlanmıştır. Bu aşamada referans sistemini tanımlamak için farklı nokta kombinasyonları kullanılmıştır. Bunlardan en uygunu olduğu düşünülen noktaların ITRF00

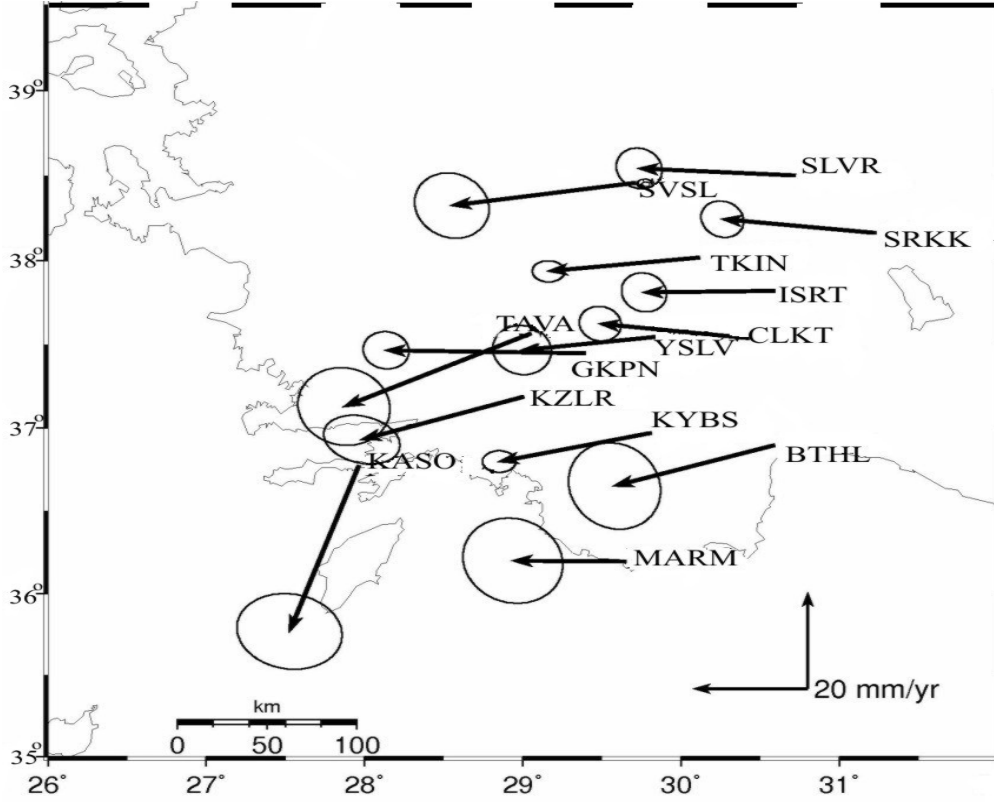
tarafından verilen a priori koordinatlarınca elde edilen yatay hızları minimize edilerek Avrasya referans sistemi tanımlanmıştır (McClusky vd., 2000). Avrasya sistemine göre istasyonların hızları Şekil 3'te görülmektedir.

Jeolojik yorumlar ve sonuçlar

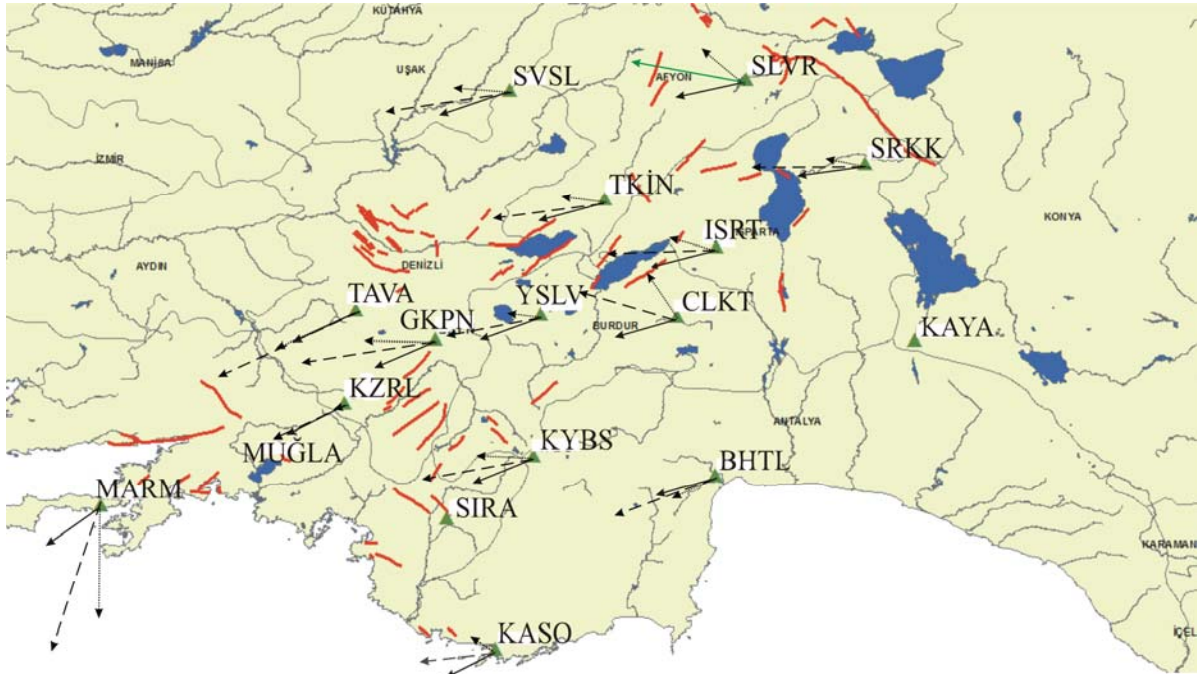
Şekil 3'te görüldüğü gibi Anadolu levhasının Avrasya referans sistemine göre yıllık 30-35 mm'lik hızla güney batı yönünde bir hareket sergilediği görülmüştür. Bununla beraber bölgenin karmaşık tektonik yapısı ve blok sınırlarındaki belirsizlikler mikro ölçekte hız vektörlerinin yorumlanmasını güçleştirmektedir. Bölgedeki deformasyonlar belirlenirken, bölgede yer alan hız vektörlerinin yorumlanmasında bölgedeki farklı blokların hareketleri mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır. Bunun için McClusky ve diğerlerinin (2000) Anadolu'nun kinematiğini modellendirmek için hesapladıkları Euler pole değerleri ile ölçüm noktaları için elde edilen hız değerleri hesaplanmış ve bu çalışmada elde edilen değerlerden çıkarılmıştır. Bu sayede Anadolu plakasının dönüş hareketinin noktalar üzerindeki bağıl etkisi ortadan kaldırılmıştır. Böylece noktaların yerel deformasyon değerleri elde edilmiş olmaktadır (Şekil 4). Şekilde düz çizgi ile gösterilen vektörler McClusky ve diğerleri (2000) değerlerinden elde edilen değerleri, kesik çizgili vektörler bu çalışmadan elde edilen hız vektörlerini, nokta çizgili vektörler de hız farklarını göstermektedir. Bu etkinin ortadan kaldırılması ile beraber, McClusky ve diğerlerinin (2000) belirttiği, kuzey güney yönlü, yıllık 10 mm büyüklüğündeki açılma hareketi ve Reilinger ve diğerlerinin (2003) belirttiği güney batı Ege bloğunun hareketi de (Şekil 5) göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu bağlamda GPS noktaları incelendiğinde SRKK ve SLVR noktaları arasında bir açılma hareketi olduğu gözlemlenmektedir. Bu hareket SLVR noktasının Ege bloğunun kuzeyinde kalan kuzey yönlü açılma bölgesinde kaldığına işaret etmektedir. TKİN ve ISRT noktaları incelendiğinde noktaların yatay hızlarının da bölgesel hızlarının da aynı yönlü olduğu gözlemlenmektedir. Buna bağlı olarak bu bölgede aktif bir hareketin olduğu düşünülmemektedir. YSLV ve CLTK noktaları incelendiğinde noktaların yerel hızlarında sol yönlü bir burulma hareketi gözlemlenmekte ve

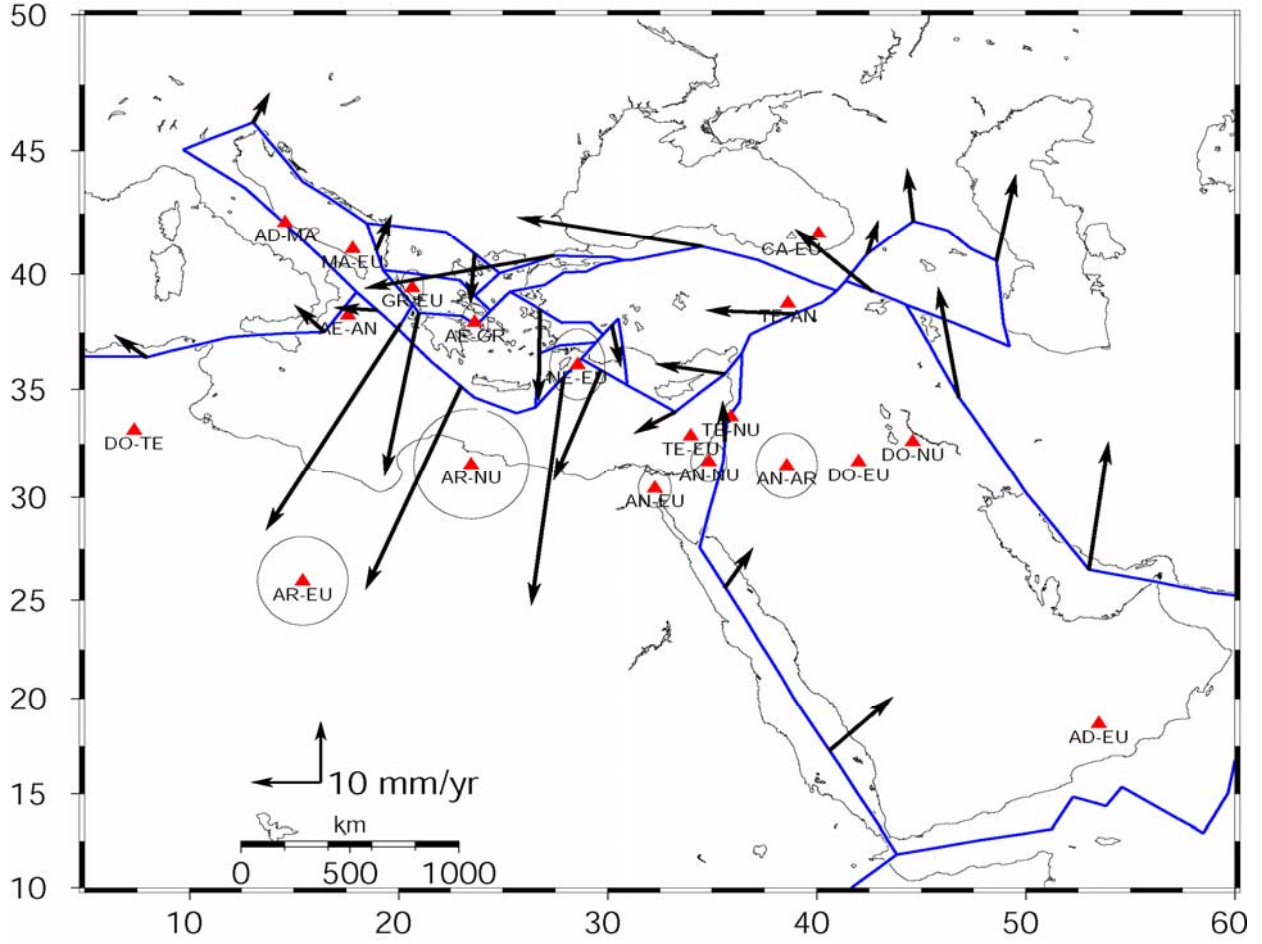
Burdur Fethiye fay zonu tektonik hareketlerinin GPS ile belirlenmesi



Şekil 3. Burdur Fethiye fay zonunda yer alan GPS noktalarında ITRF00 sisteminde Avrasya Levhasına göre hız vektörleri



Şekil 4. Burdur Fethiye GPS ağına ait noktaların Avrasya Levhasına göre hızları, Mc Clusky ve diğerlerinin (2000) Anadolu'nun kinematığı için hesapladıkları Euler Pole ile hız değerleri ve bu hız değerlerinin farkları



Şekil 5. Anadolu Levhası etrafındaki bağıl blok hareketleri (Reilinger vd., 2003)

bölgede doğrultu atımlı fayların çalıştığı düşünülmektedir. Yine KYBS ve GKPN noktaları incelendiğinde bölgede yoğun bir şekilde sıkışmanın hâkim olduğu gözlemlenmektedir. Yine KZLR noktasının Anadolu'nun kinematığı ile uyumlu hareket ettiği bölgesel deformasyonunun düşük olduğu gözlemlenmektedir. Bununla beraber bölgedeki gerilim birikiminin daha iyi belirlenebilmesi için fay sınırlarının gerisinde Ege bloğunda 3 (TAVA, MARM, SVSL), Anadolu levhasında 3 (KAYA, BHTL, KASO) olmak üzere belirlenen ve 3.ve 4. periyotta da ölçümleri gerçekleştirilen ölçü noktalarında tekrarlı ölçülerin yapılması gerekmektedir. Yine fay zonunda elde edilen hız vektörlerinin ve sonuçların doğruluğunu ve güvenilirliğini arttırmak ve elde edilen sonuçlara göre aktif olduğu belirlenen bölgenin takip edilmesi amacıyla; bölgenin karmaşık yapısı da göz önünde bulundurularak, uzun dönem tekrarlı ölçülerin yapılması gerektiği sonucuna varılmıştır. Bununla beraber, bölgedeki blokların kinematiklerinden ba-

ğımsız hız değerleri elde edebilmek için, bölgede kesitler oluşturacak biçimde nokta sayısının artırılması gerekmektedir. Böylece bölgeye ilişkin jeolojik yorumlar ve tespitler daha anlamlı olacaktır.

Kaynaklar

- Herring, T. A., January (1999). Geodetic Applications of GPS, *IEEE*, **87**, 1.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., Gurkan, O., Hamburger, M., Hurst, K., Kahle, H., Kastens, K., Kekelidze, G., King, R., Kotzev, V., Lenk, O., Mahmoud, S., Mishin, A., Nadriya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksoz, M. N. And Veis, G., (2000). Global positioning system constraints on plate kinematics and dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus, *Journal of Geophysical Research*, **105**, 5695-5719.
- Oral, B. C., (1994). GPS Measurement in Turkey (1988-1992) Kinematics of the Africa-Arabia

Burdur Fethiye fay zonu tektonik hareketlerinin GPS ile belirlenmesi

- Eurasia Plata Collision Zone, Massachusetts Institute of Technology, ABD.
- Reilinger, R., Mc Clusky, S., E. Mediterranean GPS Consortium, (2003). GPS constraints on continental deformation in the eastern Mediterranean and Caucasus region, *Geophysical Research Abstracts*, **5**.
- Taymaz, T., Price, S., (1992). The 1971, Burdur earthquake sequence, SW Turkey: a synthesis of seismological and geological observations, *Geophysical Journal of International*, **108**, 589–603.
- Yağmurlu, F., (2000). Burdur fayının sismotektonik özellikleri, *Batı Anadolu'nun Depremselliği Sempozyumu*, İzmir, 143-151.
- Yavaşoğlu, H., (2003). Kuzey Anadolu Fayının Orta Bölümünün Kinematığının 2001 ve 2002 GPS Ölçmeleri ile Belirlenmesi , *Yüksek Lisans Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.