

TUSAGA-AKTİF (CORS-TR) AĞ NOKTALARININ TEKTONİK ARAŞTIRMALARDA KULLANILMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA: ORTA VE DOĞU KARADENİZ BÖLGESİ ÖRNEĞİ

Mustafa Ulukavak^{1,2}, Mualla Yalçınkaya¹, Emine Tanır¹

¹KTÜ, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Harita Müh.Bölümü, Merkez, Trabzon, mualla@ktu.edu.tr, etanir@ktu.edu.tr
²HRÜ, Harran Üniversitesi, Harita Müh.Bölümü, Merkez, Şanlıurfa, mulukavak@harran.edu.tr

ÖZET

Ülkemizde Sürekli Gözlem Yapan GPS İstasyonları Ağı ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (TUSAGA-Aktif/CORS-TR) kapsamında 147 sabit GPS istasyonlarından bir ağ oluşturulmuştur. CORS-TR ağı ile çeşitli mühendislik işlemlerinin daha hızlı ve duyarlı yapılmasının yanı sıra tektonik hareketlerin duyarlı ve sürekli olarak izlenmesi de amaçlanmıştır. Çalışmada, CORS-TR noktalarının tektonik hareketliliğin belirlenmesine katkısını araştırmak amacıyla, Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesinde bulunan 9 adet nokta ile bir kontrol ağı oluşturulmuştur. Ağda 2010 yılında elde edilmiş veriler kullanılarak kinematik modelle kontrol ağ noktalarının hız bileşenleri belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: CORS, GPS/GNSS, Jeodezik ağlar, Tektonik.

ABSTRACT

A STUDY ON USING TUSAGA-AKTİF (CORS-TR) NETWORK STATIONS FOR THE PURPOSE OF TECTONIC INVESTIGATIONS: CASE STUDY IN MIDDLE AND EAST BLACKSEA REGION

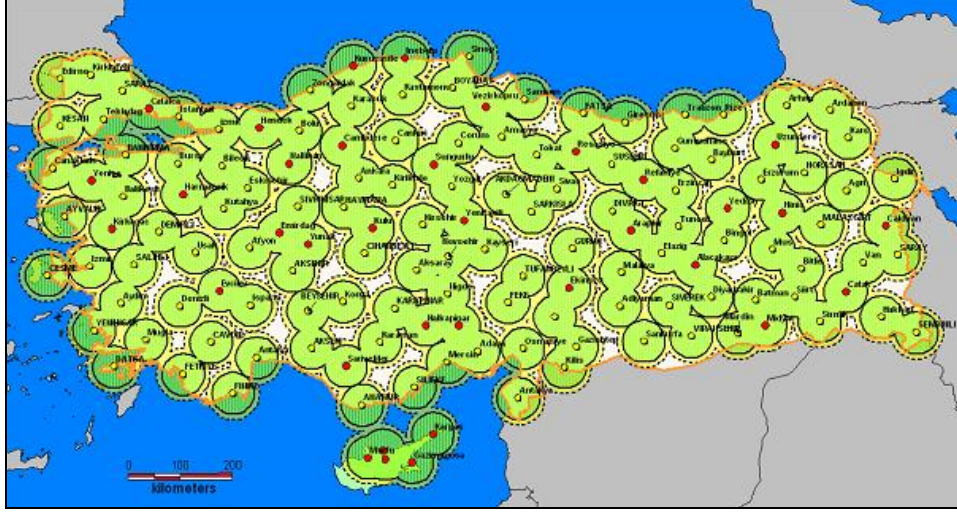
As part of the Project of “The Establishment of National Continuously Operating Reference Stations (CORS-TR) System and Determination of Datum Conversion Parameters (TUSAGA-Aktif / CORS-TR in Turkish), 147 GNSS CORS-TR stations were established in the entire Turkey. it is aimed to monitor tectonic motions precisely and continuously as well as conducting engineering activities more precise and rapid with CORS-TR network. In this study, in order to investigate the contributions of CORS-TR stations to the studies in determination tectonic movements, a control network with 9 points on Middle and North Anatolian Region is constructed. Three dimensional velocity components of control points are calculated by time dependent time kinematic model by using data from 2010.

Keywords: CORS, GPS/GNSS, Geodetic Networks, Tectonics.

1. GİRİŞ

GNSS ölçülerinin ve ölçme yöntemlerinin ilerlemesine paralel olarak yerküre üzerindeki çalışma alanlarının genişlemesiyle bölgesel olarak yapılan deformasyon ölçüleri plakalar arası tektonik hareketliliğin belirlenmesine kadar yükselmiştir. IERS (International Earth Rotation Service), IGS (The International GNSS Service), EUREF (European Reference Organisation for Quality Assured Breast Screening and Diagnostic Services) vb. kuruluşlar GPS/GLONASS uydularından yapılan gözlem verilerinin değerlendirilmesini, arşivlenmesini ve dağıtımını yaparak akademik ve sivil kullanıcıya birçok bilimsel ve ticari uygulama için yeterli doğrulukta kullanabilecekleri GNSS ölçülerinin elde edilmesini sağlamıştır. Bunun için dünyanın bir çok yerine sabit ve sürekli çalışan istasyonlar tesis edilmiştir (Ferland vd., 2000; Altamimi and Collilieux, 2009; URL 6; URL 7).

İstanbul Kültür Üniversitesi yürütücülüğünde ve Harita Genel Komutanlığı (HGK) ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) müşterek müşterisi olmak üzere 2006 yılında başlatılan ve Mayıs 2009 itibarıyla tamamlanarak faaliyete geçirilen Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları (TUSAGA-Aktif / CORS-TR) projesi kapsamında 147 noktalı ağ kurulmuştur (Şekil 1). Bu ağı oluşturan istasyon verileriyle, anlık olarak noktasal konum bilgilerini elde etmek mümkün olmaktadır.

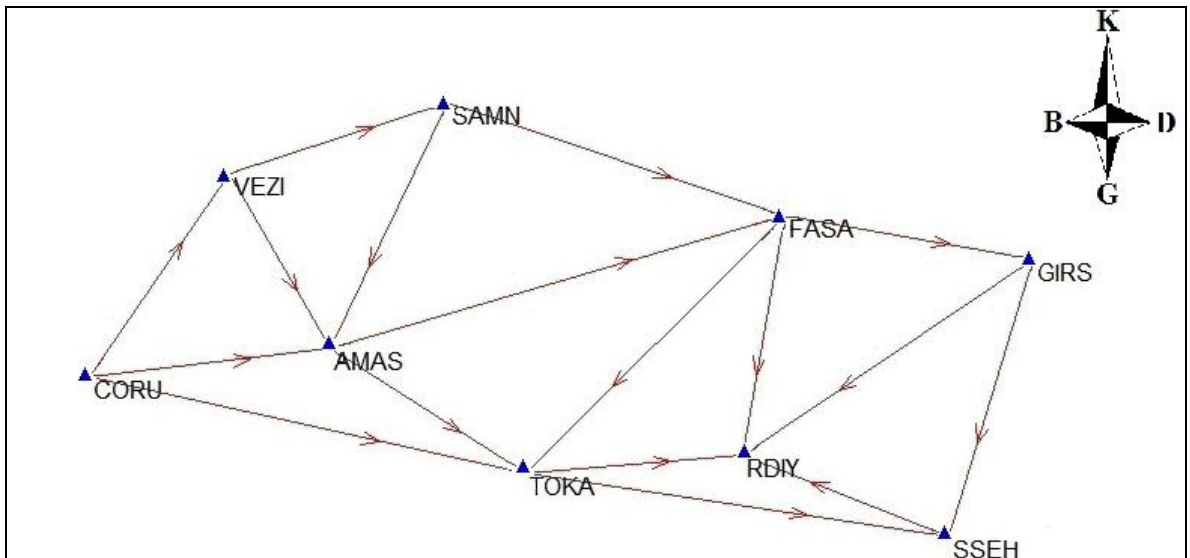


Şekil 1: Türkiye’de tesisi yapılmış CORS-TR istasyonları (Yıldırım vd., 2007).

TUSAGA-Aktif/CORS-TR Projenin temel hedefleri arasında, elde edilecek verilerle mühendislik uygulamaları için gerçek zamanlı ve santimetre mertebesinde hassas konum bilgisi sağlayabilmek ve kadastra ve halihazır haritalarını uluslararası koordinat sistemine dayalı elde edebilmek için ED50 (European Datum 1950) ve ITRFxx (International Terrestrial Reference Frame) arasındaki dönüşüm parametrelerini hassas olarak belirleyebilmek ve bilimsel jeodezik çalışmalar için veri sunmaktır (Aktuğ 2003, Uzel vd., 2010; URL 1; URL2).

Deprem araştırma çalışmalarının oldukça önemli olduğu ülkemizde, TUSAGA-Aktif/CORS-TR istasyonlarının, tektonik (plaka) hareketlerinin duyarlı ve sürekli olarak izlenmesi ve deformasyon miktarlarının belirlenmesi için kullanımı önemlidir. Bilimsel amaçlı araştırmalar kapsamında, TUSAGA-Aktif/CORS-TR Projesi kapsamında kurulan ağda GAMIT/GLOBK V10.35 yazılımı ile günlük olarak değerlendirilen sabit istasyon verilerinden elde edilen koordinat zaman serileri her bir istasyon için incelenmekte istasyon noktalarında oluşan konum değişiklikleri günlük olarak izlenebilmektedir. Tektonik plaka hareketlerinin izlenmesine olanak sağlayacak konumlarda tesis edilen bu istasyonlardaki verilerin farklı deformasyon analiz modelleri içinde ele alınmasıyla da çeşitli çalışmalar yapılabilmektedir. Örneğin, kinematik modelleme ile Türkiye ve çevresinde mevcut yer kabuğu hareketlerinin sürekli izlenmesi sağlanabilmektedir (Yıldırım vd., 2007, URL 3).

Bu çalışmada, CORS-TR ağının Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesinde ve Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattının çevresinde bulunan istasyon verilerinin irdelenmesiyle bölgedeki tektonik hareketliliğin araştırılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda, CORS-TR ağının bölgede seçilen 9 adet sabit istasyonunun Giresun (GIRS), Suşehri (SSEH), Reşadiye (RDIY), Fatsa (FASA), Tokat (TOKA), Amasya (AMAS), Samsun (SAMN), Vezirköprü (VEZI) ve Çorum (CORU) istasyonlardan oluşan bir kontrol ağı oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil 2: Uygulama Ağı

Bu istasyonların 2010 yılı içinde 4 periyotta (Ocak, Mart, Haziran, Eylül) elde edilmiş bazıları ve bazların varyans-kovaryans matrisleri <http://212.156.70.42/> ağ adresinden indirilip veri olarak kullanılmıştır. Bu istasyonların üç boyutlu hız bileşenleri zamana bağlı kinematik modelle elde edilmiştir.

2. KONTROL AĞININ KİNEMATİK MODEL İLE ANALİZİ

Kinematik deformasyon analizinde, jeodezik ağda zamanla hareket eden noktalar, hareketin büyüklüğü, hareket hızları ve ivmeleri zamana bağlı bir fonksiyonla saptanır. Deformasyon alanında düzgün bir hareket olduğu varsayımı altında yer değiştirme vektörü hız ve ivmenin bir fonksiyonudur. Hareket parametrelerinden oluşan durum vektörü, konum ve konumun zamana göre birinci türevi hız, ikinci türevi ivmeden oluşan değişkenlerdir.

Bu çalışmada kinematik modelle ağ noktalarında hareket eden noktalar, hareket büyüklükleri ve hareketin hızları belirlenmiştir. Öncelikle her periyotun ölçüleri ayrı ayrı serbest ağ yöntemi ile dengelenerek ağ noktalarının dengeli koordinatları (X, Y, Z) ve ters ağırlık matrisli (Q_{xx}) hesaplanmıştır (Kersting and Welsch, 1986; Öztürk ve Ünver, 1986; Öztürk ve Şerbetçi, 1991). Bu değerler veri olarak kullanılarak kinematik modelin fonksiyonel modelini oluşturan düzeltme denklemleri,

$$\begin{aligned} v_{xj}^{(k)} &= dx_j^{(0)} + a_{xj}^{(0)} \Delta t_k - (X_j^{(k)} - X_j^{(0)}) \\ v_{yj}^{(k)} &= dy_j^{(0)} + a_{yj}^{(0)} \Delta t_k - (Y_j^{(k)} - Y_j^{(0)}) \\ v_{zj}^{(k)} &= dz_j^{(0)} + a_{zj}^{(0)} \Delta t_k - (Z_j^{(k)} - Z_j^{(0)}) \end{aligned} \quad (1)$$

biçiminde olur. Burada, $dx_j^{(0)}$, $dy_j^{(0)}$, $dz_j^{(0)}$, t_0 zamanındaki x, y ve z konum değişimleri; $a_{xj}^{(0)}$, $a_{yj}^{(0)}$, $a_{zj}^{(0)}$ hızları; $j=1,2,...,n$ (n, nokta sayısı) göstermektedir. Düzeltme denklemleri düzenlenirse, fonksiyonel model,

$$\begin{aligned} v_{xj}^{(k)} &= dx_j^{(0)} + a_{xj}^{(0)} \Delta t_k - I_{xj}^{(k)} \\ v_{yj}^{(k)} &= dy_j^{(0)} + a_{yj}^{(0)} \Delta t_k - I_{yj}^{(k)} \\ v_{zj}^{(k)} &= dz_j^{(0)} + a_{zj}^{(0)} \Delta t_k - I_{zj}^{(k)} \end{aligned} \quad (2)$$

olur. Burada, I , ötelenmiş ölçüler vektörünü; göstermektedir. (2) eşitliğindeki bilinmeyenler olan konum değişimleri ve hızlar dengeli olarak hesaplayabilmek için en az 4 periyot ölçüye gereksinim vardır (Pelzer 1987). Her periyot ölçüsünün ayrı ayrı serbest dengeleme sonucunda k ölçü periyodu için hesaplanan ters ağırlık matrisleri ile kinematik modelin ağırlık matrisi (P),

$$P = Q_{xx}^+ = \begin{bmatrix} (Q_{xx})_1^+ & 0 & . & . & 0 \\ 0 & (Q_{xx})_2^+ & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & . & . & (Q_{xx})_k^+ \end{bmatrix} \quad (3)$$

olarak oluşturulur. Burada $(Q_{xx})_i$ i periyodundaki ters ağırlık matrisini; $i=1, 2, ..., k$ (k ölçü periyodu sayısı); Q_{xx}^+ , psodyo tersini göstermektedir. Fonksiyonel model (2) ve stokastik model (3) kurularak oluşturulan matematik modelin en küçük kareler yöntemine göre çözümü sonucunda her noktanın hareket parametreleri ve birim ölçünün ortalama hatası (m_0) elde edilir. Model oluşturulmasında farklı zamanlardaki verilerin datum uyumunun sağlanması gereklidir. Oluşturulan modelin geçerli olup olmadığını global testle irdelenir. Modeli geçerli ise hesaplanan hareket parametrelerinin anlamlı olup olmadıkları test edilerek anlamlı hareket parametreleri hesaplanır (Leonhard and Niemeier, 1986; Bayrak ve Yalçınkaya, 2002; Pelzer, 1986; Yalçınkaya 2003).

Çalışmada kontrol ağ istasyonlarının 7 Ocak 2010, 21 Mart 2010, 21 Haziran 2010 ve 21 Eylül 2010 tarihlerinde yapılmış 24 saatlik gözlemlerin <http://212.156.70.42/> ağ adresinden veri yayını yapan CORS-TR sunucusundan bu istasyonlara ait gözlem ve navigasyon verilerinin indirilmesi yapılmıştır. Bu değerlendirme sonucu her periyotta bazlar ve bazların varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Her periyottaki ölçüler serbest ağ yöntemine göre dengelenmiş ve uyumsuz ölçüler belirlenmiştir. Uyumsuz ölçüler ağdan çıkartılmış ve her periyotta uyumlu bulunan ölçülere

göre Şekil 2'deki gibi oluşturulan ağ her periyot için tekrar sebest ağ yöntemine göre dengelenmiştir. Dengeleme sonunda, Ocak, Mart, Haziran, Eylül periyotlarının dengeli koordinatları ve varyans-kovaryans matrisleri elde edilmiştir. Bu verilerle (2 ve 3) eşitliklerinden kinematik model oluşturulmuştur. Kinematik model en küçük kareler yöntemine göre çözülerek hareket parametreleri olan koordinat değişimi ve hızlar hesaplanmıştır. Kinematik modelin geçerli olup olmadığı test edildikten sonra, hareket parametrelerinin anlamlı olup olmadıkları irdelenmiştir. Anlamlı bulunan hareket parametreleri (Tablo 1)'de verilmiştir.

Tablo 1: Uygulama ağında kinematik modelle anlamlı bulunan hareket parametreleri

Periyot 2010 (Ocak-Mart-Haziran-Eylül)	Hız (cm/yıl) V_x, V_y, V_z	Karar Anlamlı: 1 Anlamsız: 0
AMAS	0.58 0.24 0.47	0 0 0
CORU	0.81 0.43 0.77	0 0 0
FASA	-1.19 -0.96 -1.21	1 1 1
GIRS	-1.48 -1.10 -1.65	0 0 1
RDIY	0.28 0.15 0.25	0 0 0
SAMN	-0.44 -0.60 -0.24	0 0 0
SSEH	0.54 1.37 0.93	0 0 0
TOKA	0.57 0.51 0.49	0 0 0
VEZI	0.32 -0.02 0.20	0 0 0

Tablo 1'de görüldüğü gibi anlamlı nokta hız bileşenleri FASA ve GIRS noktalarında elde edilmiştir. Buna göre en büyük hız bileşenleri GIRS noktasında yaklaşık -1.50 cm/yıl büyüklüğünde belirlenmiştir.

Yapılan araştırmalar, Arap plakasının kuzeybatıya doğru ilerlemesi sonucu Anadolu plakasının Kuzey Anadolu Fayı boyunca 20-25mm/yıl hızla batıya, Avrasya plakası Kuzey Anadolu Fayı boyunca 20-25mm/yıl hızla kuzeydoğuya, Afrika plakasının Avrasya plakasının altına dalması sonucunda da Ege blokunda güneybatı yönünde 30-35 mm/yıl hızla hareket ettiği belirlenmiştir. TUTGA ağında periyodik ölçülerle belirlenen yatay ve düşey hız alanları da yukarıdaki bilgilere benzer şekilde belirlenmiştir (McClusky vd., 2000, McKenzie, 1972; Jackson ve McKenzie, 1988; URL 3). TUTGA ağının araştırma bölgesi içinde bulunan noktaların belirlenmiş hız alanlarına uygunluğunu test etmek amacıyla daha fazla veriye ihtiyaç vardır. Buna dayanarak bölgedeki bilimsel çalışmaların devam etmesi ve araştırmaların artırılması gerekmektedir.

3. SONUÇLAR

Bir çok alanda verilerinden yararlanan CORS-TR istasyon noktalarının deformasyon analizlerinin yapılması gerekmektedir. Çalışmada, CORS-TR ağının Karadeniz Bölgesinde bulunan bazı noktalardan oluşturulan bir kontrol ağında 2010 yılı içinde yapılmış baz ölçülerinin kinematik modelle analizi sonucu hareket hızları zamana bağlı olarak belirlenmiştir.

Öncelikle tüm periyotlar için ağ serbest dengelenerek, uyuşumsuz ölçüler belirlenmiş ve ölçü kümesinden çıkarılmıştır. Her periyotta uyumlu olduğuna karar verilen ölçülerle oluşturulan ağ yeniden dengelenmiş ve her periyot için dengeli koordinatlar ve koordinatların ters ağırlık matrisleri hesaplanmıştır. Bu verilerle oluşturulan kinematik modelle bulunan anlamlı nokta hız bileşenleri FASA ve GIRS noktalarında elde edilmiştir. En büyük hız bileşenleri GIRS noktasında yaklaşık -1.50 cm/yıl büyüklüğünde belirlenmiştir.

CORS-TR noktalarının tektonik hareketliliği araştırma çalışmalarına katkısını belirlemek için daha uzun zaman aralığında yapılmış verilere ihtiyaç olduğu açık bir gerçektir. Ayrıca, noktalara ait deformasyon büyüklüklerinin yorumlanmasında noktaların zemin yapısı ve tesislerinin de dikkate alınması gerekir. Noktalara ait zaman serileriyle, nokta hızlarının kestirimi için daha geniş zaman aralığında ölçülere gereksinim vardır, bu konudaki çalışmalar ileriki zamanlarda yapılması planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Aktuğ, B., 2003. *ITRF Hız Alanı ve Görelî Hız Referans Sistemlerine Bakış*, Harita Dergisi, 134, Ankara.
- Altamimi Z. and Collilieux X., 2009. *IGS contribution to the ITRF*, Journal of Geodesy, 83, 375-383.
- Bayrak T. ve Yalçinkaya M., 2003. *A Kinematic Analysis Program for Deformation Monitoring*, 11th International Symposium on Deformation Measurements, Proceedings, May 25-28, 2003, Greece, pp. 439-444.
- Ferland R., Kouba J. and Hutchison D., 2000. *Analysis methodology and recent results of the IGS network combination*, Earth Planets Space, 52, 953-957.
- Jackson J. and McKenzie D.P., 1988. *The Relationship Between Plate Motions and Seismic Moment Tensors, and the Rates of Active Deformation in the Mediterranean and Middle East*, Geophys. J. R. Astr. Soc., 93:45-73, 1988.
- Kersting N. and Welsch W., 1986. *Kinematik Models for Analysing Recent Vertical Crustal Movements and their Comparison in application to the Network Pfungstadt*, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe, Hannover, Determination of Height Changes, 619-631.
- Koçak M.G. ve Ayan T., 2006. *GPS Sabit İstasyonlarında Zaman Serileri Analizi*, İTÜ Dergisi, Cilt:5, Sayı:3, Kısım:1, 126-134.
- Leonhard Th. and Niemeier W., 1986. *A Kinematic Model to Determine Vertical Movements and its Application to the Testnet Pfungstadt*, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe, Hannover, Determination of Height Changes, 587-598.
- 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., Nadariya M., Ouzounis A., Paradissis D., Peter Y., Prilepin M., Reilinger R., Sanli I., Seeger H., Tealeb A., Toksoz M.N., Veis G., 2000. *Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus*, Journal of Geophysical Research 105, B3, 5695-5719.
- McKenzie D.P., 1972. *Active Tectonics of the Mediterranean Region*, Geophys. J. R. Astr. Soc., 30, 109-185, 1972.
- Öztürk E. ve Ünver M., 1992. *Düşey Yöndeki Yerkabuğu Hareketlerinin Kinematik Yöntem ile Belirlenmesi*, Harita Dergisi, 109, 1-21, (1992).
- Öztürk E., Şerbetçi M., 1992. *Dengeleme Hesabı*, Cilt III, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon.
- Pelzer H., 1987. *Deformationsuntersuchungen auf der Basis Kinematischer Bewegungsmodelle*, AVN, 94 2, 49-62.
- Pelzer, H., 1986. *Application of Kalman and Wiener Filtering on the Determination of Vertical Movements*, The Symposium on Height Determination on Recent Vertical Crustal Movements in Western Europe, Hannover, Determination of Height Changes, 529-555.
- Uzel T., Eren K. and Dindar A.A., 2010. *Turkey Monitoring Plate Tectonics and Subsidence in Turkey by CORS-TR and InSAR*, FIG Congress 2010 Facing the Challenges – Building the Capacity Sydney, Australia, 11-16 April 2010.
- Yalçinkaya M., 2003. *Monitoring Crustal Movements in West Anatolia by Precision Leveling*, Journal of Surveying Engineering, 129, (1), 44-49.

TUSAGA-Aktif (CORS-Tr) Ağ Noktalarının Tektonik Araştırmalarda Kullanılması Üzerine Bir Çalışma: Orta Ve Doğu Karadeniz Bölgesi Örneği

Yıldırım Ö., Bakıcı S., Cingöz A., Erkan Y., Güllal E. Dindar A.A., 2007. *TUSAGA-AKTİF (CORS TR) PROJESİ ve Ülkemize Katkıları*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi 30 Ekim –02 Kasım 2007, KTÜ, Trabzon.

URL 1, IGS İnternet sitesi, 2000 IGS Annual Reports, <http://igs.bjpl.nasa.gov/>, 1 Mart 2011.

URL 2, HGK İnternet sitesi, Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları Kurulması ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (Tusaga-Aktif), http://www.hgk.msb.gov.tr/haritalar_projeler/jeodezi/TUSAGAAKTIF.htm, 10 Mart 2011.

URL 3, HGK İnternet sitesi, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA), http://www.hgk.msb.gov.tr/haritalar_projeler/jeodezi/ozet_tutga.htm, 10 Mart 2011.

URL 4, <http://vldb.gsi.go.jp/pub/trns96/params/xyz2xyz.par>, 10 Mart 2011.

URL 5, ITRF İnternet sitesi, Transformasyon Parameters, <http://itrf.ensg.ign.fr/>, 5 Mart 2011.

URL-6 IGS'in tanımı ve uygulamalar, http://www.geo.itu.edu.tr/labo_up.html, 27 Şubat 2011.

URL-7 IERS technical note No: 31, 2004, http://www.iers.org/nn_11216/IERSEN/Publications/TechnicalNotes/tn31.html 25 Şubat 2011.