

ITRF2000'İN TANITIMI ve ITRF2000 ile DİĞER REFERANS AĞLARI ARASINDAKİ DÖNÜŞÜME ALTERNATİF BİR YAKLAŞIM

İsmail ŞANLOĞLU¹, Cevat İNAL¹
sanlioglu@selcuk.edu.tr, cevat@selcuk.edu.tr

Öz: Jeodezik açıdan ele alındığında, ITRF'in sıklaştırılması; yerel veya bölgesel ağdaki istasyonların konumlarının ve hızlarının ITRF'de ifade edilmesi olarak açıklanır. Sıklaştırma programının amacı IGS standartlarını karşılayan yeni istasyonların referans ağının gelecekte güncellemelerine sürekli dahil olabilmelerini sağlamaktır. Günümüzde ITRF'in son güncellemesi ITRF2000 kullanılmaktadır. Bu nedenle ITRF2000'in özellikleri ve diğer referans ağları arasında dönüşüm parametreleri bilinmelidir. Pratik uygulamalarda dönüşüm parametreleri hesaplandığı an için kullanılır. Hassas jeodezik çalışmalarda dönüşüm parametreleri yıllık değişim oranları yardımıyla ölçü epogu veya datum epogunda kullanılabilir. Bu çalışmada ülkemiz Avrasya plakasında olduğundan, Avrupa bölgesi için dönüşüm parametrelerinin hesaplanmasına çalışılmıştır. Parametre hesabında Avrupa'daki GPS, SLR, VLBI istasyonlarının ITRF96, ITRF97 ve ITRF2000 koordinat ve hızlarından yararlanılmıştır. Dönüşüm parametreleri kullanılarak Türkiye'de ve Avrupa'da seçilen istasyonların ITRF2000'de koordinatları hesaplanmıştır. Dönüşüm parametrelerinin testi için hesaplanan koordinatlar ile gerçek koordinatlar karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Dönüşüm, GPS, ITRF2000

Giriş

Uluslararası Yersel Referans Ağı (International Terrestrial Reference Frame; ITRF) küresel ve yersel referans sistemlerinin (istasyonların konum ve hızları) bir kombinasyonunun sonucudur. Beş adet uzay tekniği kullanılmıştır; Çok Uzun Bazlı İnterferometre (VLBI), Ay ve Uydu Lazer Ölçmeleri (Lunar Laser Ranging; LLR ve SLR) GPS ve DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite). Yersel referans sistemleri bu tekniklerin ayrı ayrı veya veri setlerinin (istasyon koordinatları, dünya dönme parametreleri gibi) birleşik çözümlerinin analizi ile belirlenmiştir. Jeodezik açıdan ele alındığında, ITRF'in sıklaştırılması; yerel veya bölgesel ağdaki istasyonların konumlarının ve hızlarının ITRF'de ifade edilmesi olarak açıklanır (Altamimi ve diğ., 2002).

Sıklaştırma programının amacı IGS standartlarını karşılayan bölgesel ağlardaki yeni sabit istasyonların referans ağının gelecekte güncellemelerine sürekli dahil olabilmelerini sağlamaktır (Blewitt, 1998) Bu bölgesel ağlardaki istasyonların konumları en uygun nasıl ifade edilecektir? Yapılan araştırmalar bu soruya iki türlü cevap verildiğini göstermiştir. Birincisi belirlenen bölge için yüksek kalitede ITRF istasyonlarının koordinatlarını sabit alarak dengelemek, diğeri ise dönüşüm formülü kullanarak bölgesel çözümü ITRF'e dönüştürmektir. (Altamimi, 2002).

Günümüzde datum dönüşümleri plaka tektoniği ve diğer jeofiziksel bilinmeyen sebepler gibi zaman bağımlı doğal değişikliklerin yerini doldurmak için artarak karmaşık hale gelmektedir. Aslında, modern ağ dönüşümlerinde klasik 7 parametrelili Helmert dönüşümünün yerine karmaşık 14 parametrelili dönüşüm modeli almaya başlamıştır. 14 parametrelili dönüşümler, orijinal yedi parametreyi zaman sapmaları (yıllık hız ve artış oranları) ile birlikte artırmaktadır. Uygulamada, bu zaman sapmalı dönüşümler GPS sıklaştırma sonuçlarını bir epoktan diğeri bir epoga dönüştürmede kullanılır. Jeosentrik yersel referans ağları arasında 14 parametrelili dönüşümlerin işleyişi jeodezi literatüründe yayınlanmıştır (Soler 1998; Sillard ve diğ., 1998; Boucher ve diğ., 1999; Altamimi ve diğ., 2002; Soler ve Marshall 2002) .

ITRF koordinat sistemleri, WGS-84'ten farklı olmasına karşılık global anlamda birkaç santimetre içinde uyumlu oldukları NIMA (1997)'de belirtilmektedir. Bu nedenle haritacılık amaçlı jeodezik uygulamalarda TUTGA-99A (doğal olarak ITRF koordinatları) WGS-84 koordinatları olarak alınabilmektedir (Ayhan ve diğ., 2002).

¹ Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Böl. Konya

Bölgesel veya yerel ağlar gibi küçük ağlarda kullanıcılara global bir ağ olarak ITRF'nin tanımlanması önemli kolaylıklar sağlar. Örneğin ticari GPS yazılımlarında veri işlerken (*post-processing*) koordinatları bilinen ve ITRF'de tanımlı referans istasyonları çok daha iyi bir şekilde hesaplayıcının sonuçlarını iyileştirmektedir (Şanlıoğlu, 2004).

Bilindiği gibi Uluslararası GPS Servisi (**I**nternational **G**PS **S**ervice for **G**eodynamics; IGS) ürünleri (hassas efemeris ve saat düzeltmeleri vb.) gerçekte öyle olmamakla birlikte ITRF'de tanımlanır. Hassas efemerisin kullanılması, baz çözümünün karesel ortalama hatasını yarı yarıya düşürmekte ve böylece daha hassas konum belirlenebilmektedir (Şanlıoğlu, 2004).

Gerek ticari GPS yazılımları ile baz çözümünde, gerekse bölgesel ağların istasyon konumlarının en uygun şekilde ITRF'de tanımlanması için, en son tanımlanmış ITRF2000'nin özelliklerinin ve diğer referans ağları ile dönüşüm parametrelerinin bilinmesi gerekir. Türkiye Avrasya plakasında olduğu için bu çalışmada sadece Avrupa bölgesi için dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Bu çalışmada Avrupa'daki GPS, SLR, VLBI istasyonlarının ITRF96 ve ITRF97 koordinatlarından yararlanarak Avrupa bölgesi için bu iki sistemin ITRF2000'e dönüşüm parametreleri ve bu parametrelerin testi için Türkiye'de ve Avrupa'da seçilen istasyonların ITRF2000'de koordinatları hesaplanmıştır. Hesaplanan koordinatlar ile gerçek koordinatlar karşılaştırılmıştır. Dönüşümlerde 14 parametrelilik dönüşüm modeli yerine 7 parametrelilik Helmert dönüşüm modeli kullanılmıştır.

Datum Kavramı

Klasik açıdan, jeodezik datum, jeosentrik yersel ağ ile tanımlanmış ölçeği, yöneltmesi, orijini, şekli ve boyutu uyarlanmış elipsoidin gelişmiş hali olan referans yüzeyidir. Elipsoit seçildiğinde, uzaydaki bir noktanın koordinatları kartezyen veya jeodezik (eğrisel) koordinatlarda (jeodezik boylam, enlem ve elipsoit yüksekliği) verilebilir. Jeodezik koordinatlar kartoğrafik ve harita amaçlı uygulamalarda tercih edilmektedir.

Jeodezik datumun klasik anlamı; datum koordinatlarının yerel tektonik hareketler (deprem hareketleri, zemin çökmesi "*land subsidence*", volkanik hareketlenme "*volcanic uplift*", vs) hariç, sabit ve zamanla değişmez olduğudur. Böylece, jeodezik datumun koordinat ağı plaka dönmesinden dolayı noktaların koordinatları değişmeyecek şekilde plaka ile birlikte dönmeli ve plakaya birşekilde yapışmış olmalıdır. Bununla birlikte, gerçekte, tersine bir işlemle ifade edilir, öyleki, t_D epogunda (datum epogu) plakalar orijinal konumunda dönerken, koordinat ağı Dünya'nın mantosuna sabitlenir. Bu işleme her noktada aynı tip düzeltme uygulanarak ulaşılır. Bu düzeltmenin büyüklüğü noktaların bulunduğu kıtasal plakalara bağlı (plakaların sebep olduğu) açısız hız matrisi yardımıyla belirlenir. Aslında, tüm noktalar datum ağı olarak kabul edilen ve tanımla sabit kaldığı varsayılan *ITRF*yy ağı üzerinde t_D epogunda kendi konumlarına geri taşınır. Diğer bir deyişle plakalar ve üzerlerindeki noktalar datum ağı tanımlandığı epokta uzayda donmuş varsayılır. Sonuç olarak t epogunda belirlenen tüm koordinatlar t_D epoguna (datum epoguna) geri alınmalıdır (Soler ve Marshall, 2003).

Uluslararası Yersel Referans Ağı

Uluslararası Yersel Referans Sistemi (**I**nternational **T**errestrial **R**eference **S**ystem; ITRS), Uluslararası Jeodezi ve Jeofizik Birliği'nin (**I**nternational **U**ion of **G**eodesy and **G**eophysics; IUGG) 1991 yılında Viyana'da kabul ettiği (20. IUGG Genel Toplantısı, Resolution no.2) ilkeler doğrultusunda gerçekleştirilmektedir. ITRS'in tanımında Boucher (1990) da bulunan öneriler ile yukarıda söz edilen toplantıda alınan ilkeler dikkate alınmıştır. Bu ilkeler şunlardır (Geodesist's Handbook, 1992);

- ITRS, dönmeyen jeosentrik sistemden özel dönmelerle bir kartezyen sisteme geçişe yol gösterecek, sistemin dönmesindeki zaman değişimi yer kabuğuna göre küresel bir dönme hatası ortaya çıkarmayacak.
- Dönmeyen jeosentrik sistem, Uluslararası Astronomi Birliği'nin (**I**nternational **A**stronomical **U**ion; IAU) önerileri doğrultusunda bir Jeosentrik Referans Sistemi olacak (**G**eocentric **R**eference **S**ystem, GRS),
- ITRS'nin koordinat-zamanı hem GRS ve hem de Jeosentrik Koordinat Zamanı (TCG) olacak,
- Sistemin orijini okyanus ve atmosferi de içeren yerin kütle merkezi olacak,
- Sistem, yer yüzeyindeki yatay hareketlere göre global artık dönmelere sahip olmayacak
- Sistemin ölçeği yerel dünya sistemi olup görelilik çekim yasasına uygun olacak

Bu ilkeler ışığında tercihen ekvatorial X, Y, ve Z koordinatlarla belirli yersel referans sistemi, istasyonlardan oluşan ağ aracılığıyla gerçekleştirilebilir. Eğer coğrafi koordinatlara gereksinim var ise elipsoit olarak GRS-80 elipsoidi önerilmektedir (McCarthy, 1996).

ITRS'nin ideal gerçekleştirmesi, IERS (International Earth Rotation Service) noktalarının üç boyutlu kartezyen koordinatlarından ve hızlarından oluşan ITRF'dir. ITRF'in içeriği;

- İstasyonların kartezyen koordinatları ve hızları
- İstasyonların kataloğu
- DOMES istasyon kimlik numaraları
- Lokal bağlantılar
- Güncelleştirmeler: ITRF89, ITRF90, ITRF91, ITRF92, ITRF93, ITRF94, ITRF95, ITRF96, ITRF97, ITRF2000 dir.

Uluslararası Yersel Referans Ağı-2000 (ITRF2000)

ITRF'in tarihinde ilk kez, ITRF2000; herhangi bir plaka hareket modelinden bağımsız serbest uzay tekniklerine ait çözümlerinin birleşimidir. Sadece yersel referans ağının (TRF) altında yatan sebepleri tanımlamak için bu çözümlerde minimum zorlamalı dengeleme yapılmıştır. ITRF2000'in orijini SLR ile belirlenen dünyanın kütle merkeziyle tanımlanmıştır. SLR ve VLBI teknikleriyle ölçeklendirilmiştir. ITRF2000 datumu aşağıdaki esaslar çerçevesinde tanımlanmıştır (Altamimi ve diğ. 2002):

- **Ölçek ve oranı:** GUIB, GSFC, SHA isimli VLBI istasyonları ve CGS, CRL, CSR, DGFI, JCET isimli SLR istasyonlarına ait çözümlerin ağırlıklı ortalamasıyla tanımlanmıştır. Genel relativitenin kullanılması sonucu, Yersel Zaman TT ölçeğindeki değişim, $0.7 \cdot 10^{-9}$ büyüklüğünde fark oluşturmuştur. Bu ölçek değişimi, ITRF 94 ve dolayısıyla ITRF 96, ITRF 97 nin yeniden ölçeklendirilmesini gerektirmektedir (Deniz ve diğ. 2003).
- **Orijin (dönüşümleri ve oranları):** CGS, CRL, CSR, DGFI, JCET isimli SLR istasyonlarına ait çözümlerin ağırlıklı ortalamasıyla tanımlanmıştır.
- **Yönelme,** ITRF 97'nin referans epoku 1997'deki yönelme (1997.0 epogu) olarak alınmıştır.

Yerin katı kabuğuna göre ITRF2000'in dönmesizliğini sağlamak için, NNR-NUVEL-1A jeolojik plaka modeline göre farkları minimum yapan bir koşul kullanılmıştır. Ancak, bu modelin yetersizlikleri görülmüştür ve deneysel jeodezik gözlemler üzerine kurulacak gelişmiş jeolojik modeller konusundaki çalışmalar devam etmektedir (Deniz ve diğ. 2003). Son zamanlarda plaka hızları için REVEL olarak adlandırılan GPS gözlemlerine dayalı yeni bir model geliştirilmiştir (Sella ve diğ. 2002).

Datum tanımlanmasında mm seviyesinde doğruluğa ulaşmak için yüksek jeodezik kalitede istasyonlar seçildi. Bu amaçla seçilen istasyonlar;

- En az 3 yıl sürekli gözleme sahip,
- Deformasyon bölgelerinden uzakta ve rijit plaka üzerinde bulunan,
- Hız biçimsel hatası (ITRF kombinasyonunun sonucu olarak) 3mm/yıl'dan daha iyi olan,
- En az üç farklı çözümden bulunan hız hataları 3mm/yıl'dan daha iyi olan, sınırlamalarını sağlayan istasyonlardır.

Her ne kadar istasyonların büyük bir kısmı Batı Avrupa ve Kuzey Amerika'da olsa da bu yeni ağ önceki ağlardan daha kapsamlı ve daha doğrudur (Altamimi ve diğ. 2002).

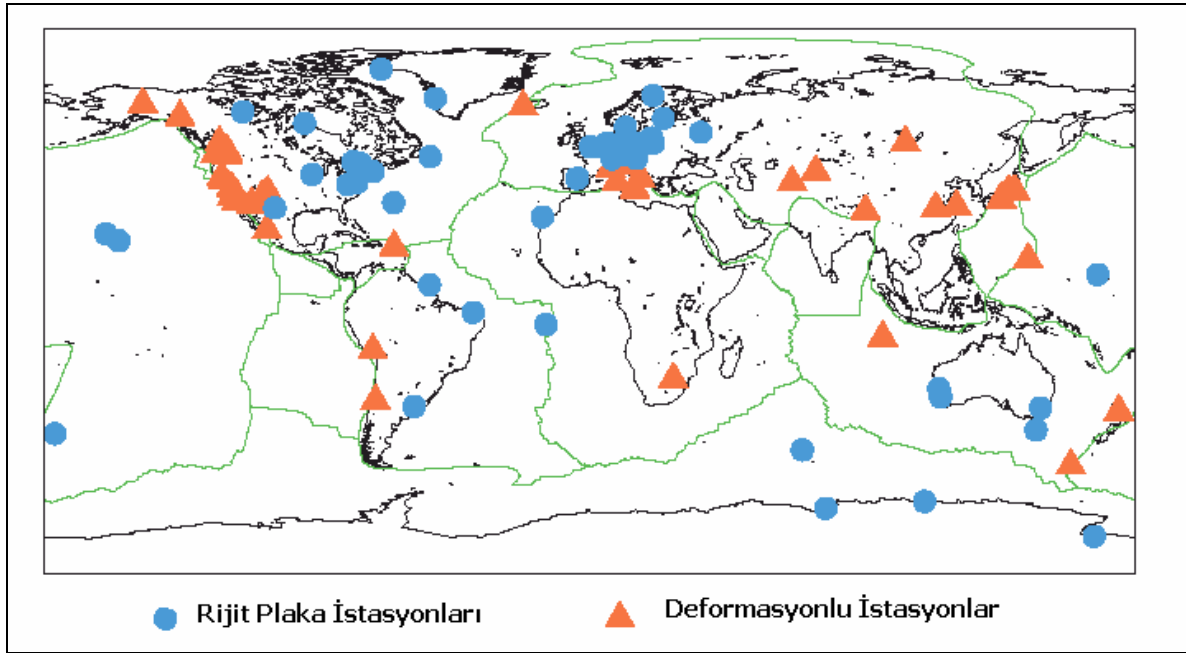
ITRF2000'in birinci derece yönlendirilmesinde, yukarıdaki dört kriteri sağlayan 54 istasyon (mavi noktalı) Şekil 1'de görülmektedir. Bununla birlikte Bahreyn noktası (Arab plakasında) ve Easter Adası'nın (Nazca plakasında) ITRF2000 hızları (sırasıyla 6 ve 10 mm/yıl) NNR-NUVEL -1A ile uyumsuz olduğu ve ayrıca Tromsø (Avrasya plakasında) ve Flin-Flon (Kuzey Amerika Plakasında) istasyonlarının hızları mutlak kutup dönme hesabından sonra yaklaşık 2 mm/yıl olduğu için bu dört istasyon çıkarılmıştır. Sonuç olarak rijit plakalarda bulunan 50 istasyon ITRF2000'in birinci derece yönlendirilmesinde kullanılmıştır. Şekil 1'de, yukarıdaki 1., 3., 4. kriterleri sağlayan 41 istasyon da (kırmızı üçgenli) gösterilmiştir. Şekil 2'deki haritada ITRF2000 tanımlama istasyonları ve bu istasyonlarda kullanılan ölçü teknikleri gösterilmiştir.

ITRF'de ifade edilen yeryüzündeki bir noktanın anlık konum vektörü

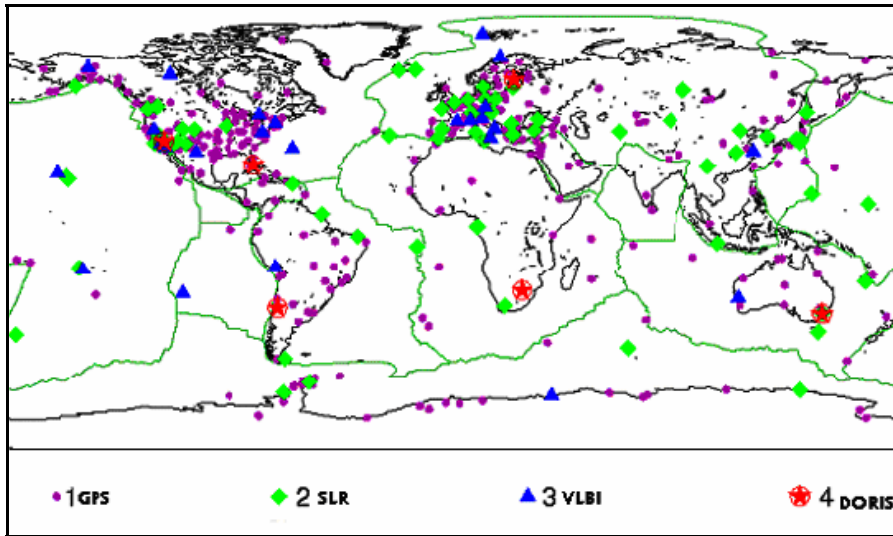
$$X(t) = X_0 + V_0(t - t_0) + \sum \Delta X_i(t) \quad (1)$$

olur (McCarthy, 1996). Bu eşitliği ITRF2000 için uygularsak;

- $X(t)$ zamanın fonksiyonu olarak ITRF2000 orijinine göre noktanın konum vektörü,
- X_0, V_0 ITRF 2000'i güncelleştirme referans epoğunda (t_0 datum epoğunda) noktanın konum ve hız vektörü,
- $\Delta X_i(t)$ zamana bağlı etkiler. Bu etki ve düzeltmeler; yerin gelgit yer değiştirmeleri (sabit gelgit etkisini içeren tüm gelgit düzeltmesi), okyanus gelgit yüklemesi, buzul sonrası geri sekme, atmosfer yüklemesi gibi zamanla değişen etkileri içeren konuma bağlı düzeltmelerdir



Şekil 1. ITRF2000 tanımlanmasında istenilen kriterlere uyan istasyonlar (Lareg, 2003)



Şekil 2. Esas ITRF 2000 istasyonları ve kullanılan teknikler (Lareg, 2003)

Uluslararası Yersel Referans Sistemleri Arasında Dönüşüm

Farklı koordinat sistemleri arasındaki ilişkiyi tanımlamak için koordinat dönüşümü yapılır. Ağın dönüşümden önceki şekli ile dönüşümden sonraki şeklinin aynı kalması, yani açı deformasyonunun olmaması isteniyorsa üç boyutlu benzerlik dönüşümü uygulanır. Bu yöntemde eksen doğrultularındaki ölçek miktarları eşit olmaktadır. Dönüşümün yapılabilmesi için iki koordinat sistemi arasında 3 öteleme, 3 dönüklük ve 1 ölçek parametresinde oluşan 7 parametrenin bilinmesi gerekir.

Yatay konum ve düşey bileşenlerinin ayrı ele alındığı durumlar olabilmektedir. Bu durumlarda eksen doğrultularındaki ölçekler farklı olmaktadır (yatay ve düşey ölçeğin farklı olması). Bu farklılığın dönüşümden sonra korunması isteniyorsa eksen doğrultularındaki ölçekler bilinmeyen olarak alınır. Bu dönüşüm tipine affin dönüşümü denir ve dönüşümün yapılabilmesi için iki koordinat sistemi arasında 3 öteleme, 3 dönüklük ve 3 ölçek parametresinden oluşan 9 parametrenin bilinmesi gerekir.

Jeodezik uygulamalarda en çok üç boyutlu benzerlik dönüşümü kullanılır (Üstün 1996). Benzerlik dönüşümünde Bursa-Wolf, Molodensky-Badekas, Veis, Krawisky-Thompson v.b. pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bursa-Wolf modelinin dönme orijini birinci sistemin orijini ile aynı olduğu için üç boyutlu resmi dönüşüm parametrelerinin yayınlanmasında en sık kullanılan modeldir (Leica, 1997).

İki sistem arasında benzerlik dönüşümünün fonksiyonel modeli şu şekilde yazılır.

$$\underline{X}_2 = \underline{T}_X + (1 + S) \cdot \underline{R} \cdot \underline{X}_1 \quad (2)$$

Burada

\underline{X}_2 : İkinci sistemin koordinatları

\underline{T}_X : Öteleme matrisi (Tx, Ty, Tz, sırasıyla X, Y ve Z eksenine öteleme bileşenleri)

\underline{R} : Dönüklük matrisi (Rx, Ry, Rz sırasıyla X, Y ve Z eksenine etrafındaki dönükler)

\underline{X}_1 : Birinci sistemin (dönüşümü yapılacak sistem) koordinatları

S : Ölçek farkıdır.

(2) eşitliğinin matris gösterimi;

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Tx \\ Ty \\ Tz \end{bmatrix} + (1 + S) \begin{bmatrix} 1 & R_Z & -R_Y \\ -R_Z & 1 & R_X \\ R_Y & -R_X & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

yazılabilir.

Sayısal Uygulama

ITRF'ler arasında dönüşüm için, başlangıçta ITRF2000'nin tanımlanmasında kullanılan 50 istasyon arasında Avrasya plakasında bulunan 20 istasyon seçildi (Çizelge. 1). Ancak Madrid'te bulunan 1565 nolu VLBI istasyonunun 1997 yılında 304.gün koordinatları yeniden hesaplandığından (Europe.SSC, 2002) bu istasyona ait koordinatlar dönüşüme dahil edilmedi.

DEPREM SEMPOZYUMU KOCAELI 2005

13-15 MART 2005

Çizelge 1. ITRF2000 tanımlanmasında kullanılan ve Avrasya Plakasında bulunan istasyonlar (Altamimi ve diğ. 2002)

| DOMES NO | KODU* | ADI | ÖLÇÜ TEKNİĞİ** | YAKLAŞIK BOYLAMI | YAKLAŞIK ENLEMİ |
|-----------|-------|--------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| 13212S001 | 7840 | Herstmonceux | L | 0.336 | 50.867 |
| 13101M004 | BRUS | Brussels | P | 4.359 | 50.798 |
| 13504M003 | KOSG | Kootwijk | P | 5.810 | 52.178 |
| 14209S001 | 7203 | Effelsberg | R | 6.884 | 50.525 |
| 14001S001 | 7810 | Zimmerwald | L | 7.465 | 46.877 |
| 14208M001 | OBER | Oberpfaffen. | P | 11.280 | 48.086 |
| 10402S002 | 7213 | Onsala | R | 11.926 | 57.396 |
| 14201S004 | 7224 | Wetzell | R | 12.877 | 49.145 |
| 14106M003 | POTS | Potsdam | P | 13.066 | 52.379 |
| 11502M002 | GOPE | Pecny | P | 14.786 | 49.914 |
| 11001S002 | 7839 | Graz | L | 15.493 | 47.067 |
| 12205S001 | 7811 | Borowiec | L | 17.075 | 52.277 |
| 10302M003 | TROM | Tromso | P | 18.938 | 69.663 |
| 12209M001 | LAMA | Lamkowko | P | 20.670 | 53.892 |
| 10403M002 | KIRU | Kiruna | P | 20.968 | 67.857 |
| 12204M001 | JOZE | Jozefoslaw | P | 21.032 | 52.097 |
| 10503S011 | METS | Metsahovi | P | 24.395 | 60.217 |
| 12330M001 | ZWEN | Zwenigorod | P | 36.759 | 55.699 |
| 13407S010 | 1565 | Madrid | R | 355.749 | 40.427 |
| 13406M001 | VILL | Villafranca | P | 356.048 | 40.444 |

* CDP (Crustal Dynamic Project) projesinde veya IGS/GPS' te tanımlı dört karakterli kod

** IERS uzay teknikleri kısaltması: R, VLBI; L, SLR ve P, GPS'i gösterir.

Seçilen istasyonların 1997.0 epogunda ITRF96, ITRF97 ve ITRF2000 koordinatları ve hızları <http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/> internet adresinden elde edildi. Daha sonra bu koordinatlar 1998.0, 1999.0, 2000.0, 2001.0, 2002.0, 2003.0 ve 2004.0 epoklarında yeniden, ayrı olarak hesaplandı. Dönüşüm için SKI 2.3 (Static Kinematic Software 2.3) yazılımında bulunan Bursa-Wolf modeli kullanıldı (Leica, 1997). Üstün (1996)'ta belirtilen üç boyutlu dönüşümde izlenecek yola uygun olarak, yazılımda üç boyutlu dönüşümleri yapabilmek için çalışma bölgesinde kullanılan projeksiyon tipi seçilmelidir. Avrupa'da 1/500.000 ve daha küçük ölçekli haritaların yapılmasında iki standart paralelli Lambert Açık Koruyan Konik (Lambert Conic Conformal; LCC) projeksiyon önerilmektedir (Annoni, 2003). Bu öneriye uygun olarak çalışma bölgesini kapladığı için iki standart paralelli LCC projeksiyonu kullanıldı. Çizelge 2'de SKI 2.3 yazılımına girilen şekline göre LCC projeksiyonunun parametreleri verilmiştir.

Çizelge 2. Avrupa için iki standart paralelli Lambert açı koruyan konik projeksiyonunun parametreleri (Annoni, 2003)

| | |
|----------------------------------|----------------------------|
| Name of projection set: | LCC_FOR_EUROPE |
| False east: | 2800000.0000 m |
| False north: | 4000000.0000 m |
| Latitude of origin: | 52 ⁰ 0 0.0000 N |
| Central meridian: | 10 ⁰ 0 0.0000 E |
| Latitude first parallel: | 35 ⁰ 0 0.0000 N |
| Latitude second parallel: | 65 ⁰ 0 0.0000 N |

Her iki sistemde ortak 19 istasyonun koordinatları ile dengeleme sonrasında hesaplanan üç boyutlu dönüşüm parametreleri ve oranları Çizelge 3'te ve Çizelge 4'te verilmiştir. Her iki çizelgede parametrelere ait yıllık oran değişimleri; 7 yıl için "0" epoklarda ayrı ayrı hesaplanan her dönüşüm parametresinin farkları alınmak suretiyle bu

Çizelge 5: Gerçek ITRF2000 koordinatları ile dönüşümle hesaplanan koordinatlar arasındaki farklar

| DOMES NO | ADI | ÖLÇ ÜTE K. | KOD U | Gerçek ITRF2000 Koordinatları | | | Koordinat Farkları (ITRF96'dan dönüşümle) | | | Koordinat Farkları (ITRF97'den dönüşümle) | | | | |
|----------|-----------|------------|-------|-------------------------------|-------------|-----------|---|---------|---------|---|---------|---------|--|--|
| | | | | X (m) | Y (m) | Z (m) | Vx (mm) | Vy (mm) | Vz (mm) | Vx (mm) | Vy (mm) | Vz (mm) | | |
| 20801M0 | DİYARBAKI | | | 3848635.6 | 3251760.97 | 3898909.3 | | | | | | | | |
| 01 | R | SLR | 7575 | 86 | 7 | 91 | -8.8 | -11.6 | -5.7 | 27.9 | -74.8 | 38.0 | | |
| 20802M0 | | | | 4029730.5 | 2802093.40 | 4062067.9 | | | 236. | | | | | |
| 01 | YOZGAT | SLR | 7585 | 00 | 7 | 45 | -32.2 | -159.4 | 3 | 32.6 | -212.5 | 213.9 | | |
| 20803M0 | MELENGİÇL | | | 4247620.3 | 2778638.96 | 3851607.6 | | | | | | | | |
| 01 | IK | SLR | 7580 | 51 | 7 | 28 | -44.4 | 20.8 | 11.3 | 2.6 | -5.4 | -8.6 | | |
| 20804M0 | | | | 4117361.8 | 2517076.92 | 4157679.1 | | | | | | | | |
| 01 | YIGILCA | SLR | 7587 | 22 | 5 | 79 | -7.5 | 39.2 | 59.7 | 17.9 | 0.7 | 22.2 | | |
| 20805M0 | | | | 4121934.3 | 2652189.98 | 4069035.1 | | | | | | | | |
| 01 | ANKARA | SLR | 7589 | 39 | 0 | 35 | -11.4 | 18.4 | 3.0 | -13.8 | -15.3 | -10.3 | | |
| 20805M0 | | | ANK | 4121948.5 | 2652187.94 | 4069023.6 | | | | | | | | |
| 02 | ANKARA | GPS | R | 91 | 9 | 81 | -2.4 | 1.4 | 1.0 | -6.8 | -5.3 | -5.3 | | |
| 10402M0 | | | | 3370658.6 | | 5349786.8 | | | | | | | | |
| 04 | ONSALA | GPS | ONSA | 63 | 711877.023 | 77 | 6.0 | -1.0 | 6.0 | 1.0 | -29.1 | 2.0 | | |
| 12711M0 | | | | 4461400.8 | | 4449504.6 | | | | | | | | |
| 03 | MEDICINA | GPS | MEDI | 95 | 919593.423 | 82 | 0.2 | -1.1 | -1.2 | 1.7 | -1.1 | 1.4 | | |
| 12734M0 | | | MAT | 4641949.7 | 1393045.27 | 4133287.3 | | | | | | | | |
| 08 | MATERA | GPS | E | 07 | 1 | 43 | -3.3 | -50.8 | -1.5 | 0.7 | 1.2 | 1.2 | | |
| 10503M0 | METSAHOV | | | 2890652.7 | 1310295.33 | 5513958.7 | | | | | | | | |
| 02 | I | VLBI | 7601 | 40 | 4 | 20 | 3.0 | -2.0 | -1.0 | 3.0 | 0.0 | -3.0 | | |
| 10003M0 | | | | 4228877.0 | | 4747181.0 | | | | | | | | |
| 03 | TOULOUSE | VLBI | 7604 | 78 | -333104.179 | 00 | -16.8 | -10.1 | -1.9 | 44.8 | 10.5 | 9.0 | | |
| 12711S00 | | | | 4461369.9 | | 4449559.1 | | | | | | | | |
| 1 | BOLOGNA | VLBI | 7230 | 79 | 919596.826 | 99 | 3.2 | 5.9 | 1.8 | 2.7 | 1.9 | 0.4 | | |
| 13420S00 | | | | 4848780.2 | | 4123035.7 | | | | | | | | |
| 1 | YEBES | VLBI | 7333 | 98 | -261702.078 | 52 | 21.5 | 1.1 | 15.4 | 1.7 | 3.0 | -0.3 | | |

Sonuçlar

GPS gözlemleri kullanarak jeodezik datumun gerçekleşmesi iki temel problem içermektedir. Bunlar;

- GPS yöntemi kullanarak ITRF koordinatlarının doğru bir şekilde belirlenmesi,
- Belirli özel bir t_D epogunda istenilen (kullanılan) datum ağına bu koordinatların doğru bir şekilde dönüşümü.

Bununla birlikte, genel tartışma açısından tamamıyla ihmal edilen yerel tektonik hareketlerin (depremler, volkanik kaldırma “*volcanic uplift*”, zeminin çökmesi “*land subsidence*” vs.) koordinatlar üzerine olası etkisinden dolayı problem az da olsa zorlaşmaktadır. Eğer birikiş ITRF’de doğru konumları elde etmek isterse, deprem hareketlerini (*episodic*) ve diğer tip jeofiziksel karışıklıkları dikkate almalı ve düzeltilmelidir. Her zaman deprem meydana gelir ve deprem merkezine (*epicenter*) yakın GPS antenleri (sabit GPS istasyonları için) ile yer işaretleri hareket eder. Önemli olan etkilenen bölge çevresindeki koordinatlardaki değişiklik için bu yer değiştirmeleri modellemek ve/veya düzeltmektir.

GPS ile gelen olanaklar sayesinde Türkiye tek başına kendisine ait Sürekli İşleyen Referans İstasyonları ağını, yan ürün olarak ta kendi ulusal jeodezik datumunu tesis edebilecektir. Mevcut hassas IGS efemerisi kullanarak, en sonki *ITRFxx* ağına bağlı doğru jeosentrik koordinatlar kolayca belirlenebilir. Bu makalede gösterildiği gibi dönüşüm değerlerini kullanarak, *ITRFxx*’e bağlı herhangi bir GPS tanımlama ağındaki koordinatlar diğer uluslararası referans ağına dönüştürülebilir

Dönüşüm sonuçları incelendiğinde; çizelge 6'da Yozgat'ta bulunan 7585 kodlu SLR istasyonunun ITRF2000 koordinatlarında önemli bir fark olduğu görülmektedir. Bilindiği gibi ITRF2000 öncekilerden farklı olmak üzere hiçbir noktanın hızında plaka zorlaması yoktur. Yeterli sıklıkta ölçümü olmayan noktaların hızlarının kestirimi tam ifade edilememiş olabilir. Zaten bu noktanın ITRF2000'de belirlenen hızı diğer referans ağlarında belirlenen hızından açık bir şekilde farklıdır. Bu farkın nedeni araştırılmalıdır. Yine bu çizelgeye göre SLR istasyonlarında oluşan farklar diğer VLBI ve GPS istasyonlarına göre fazladır. Bu fazlalığın nedeni şunlar olabilir.

- Bu istasyonların bir kısmı aktif fay hatlarında olduğu veya Türkiye'nin Afrika kıtası ve Arap yarımadası plakalarına yakın olduğu için genel hareketinden
- Türkiye'deki SLR istasyonlarının ölçümlerinin GPS ölçüleri kadar gerekli sıklığı sağlamamasından

7585 kodlu istasyon haricinde ITRF96'dan dönüşümle hesaplanan ITRF2000 koordinatlarıyla gerçek koordinatların arasındaki farkların ortalamaları X, Y ve Z için sırasıyla -5.1 mm, 0.8 mm, 7.2 mm ve koh'ları sırasıyla ± 15.95 mm, ± 20.75 mm, ± 18.30 mm olarak bulunmuştur. Yine aynı şekilde ITRF97'den dönüşümle hesaplanan ITRF2000 koordinatlarıyla gerçek koordinatların arasındaki farkların ortalamaları X, Y ve Z için sırasıyla 6.9 mm, -9.5 mm, 3.9 mm ve koh'ları sırasıyla ± 16.77 mm, ± 23.91 mm, ± 13.67 mm olarak bulunmuştur.

Hesaplanan parametreler (Çizelge 3 ve Çizelge 4) Uluslararası resmi dönüşüm parametrelerinden farklıdır (Lareg, 2003). Türkiye Avrasya plakasında olduğu için bu çalışmada sadece Avrupa bölgesi için dönüşüm parametreleri elde edilmeye çalışılmıştır. Bundan sonraki hassas jeodezik çalışmalarda bu parametreler (ITRF2000'den ITRF97 ve ITRF96'ya dönüşümde ise; hesaplanan dönüşüm parametrelerinin işaretleri ters alınarak) yıllık değişim oranları yardımıyla istenilen ölçü epoğuna getirilerek kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Altamimi, Z., 2002**, Discussion on How to Express a Regional GPS Solution in the ITRF, Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF), Ponta Delgada, Azores, 5 - 8 June
- Altamimi, Z., Sillard P., Boucher C., 2002**, ITRF2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications, Journal of Geophysical Research, Vol. 107, No. B10, 2214
- Annoni, A., Luzet, C., Gubler, E., Ihde, J., 2003**, Map Projections for Europe, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, EUR 20120 EN, Printed in Italy.
- Ayhan, M. E., Demir, C., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Aktuğ, B., Açıkgöz, M., Fırat, O., Şengün, Y. S., Cingöz, A., Gürdal, M. A., Kurt, A. İ., Ocak, M., Türkezer, A., Yıldız, H., Bayazıt, N., Ata, M., Çağlar, Y., Özerkan, A., 2002**, Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), Harita Dergisi, Özel Sayı:16, Mayıs, Ankara.
- Blewitt, G., 1998**, IGS densification program, in IGS Annual Report 1997, p. 24-25, IGS Central Bureau, Pasadena, California.
- Boucher, C., 1990**, Definition and Realization of Terrestrial Reference Systems for Monitoring Earth Rotation," Variations in Earth Rotation, D. D. McCarthy and W. E. Carter (eds), pp. 197-201.
- Boucher, C., Altamimi, Z., Sillard P., 1999**, The 1997 International Terrestrial Reference Frame (ITRF97). IERS Tech Note 27, Central Bureau IERS, Observatoire de Paris, Paris
- Deniz, R., Ayan, T., Gürkan, O., Öztürk, E., Çelik, R.N., 2003**, Uluslararası Jeodezik Referans Sistemleri ve CBS, TUJK 2003 Bilimsel Toplantısı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Çalıştayı, 24-26 Eylül, 115-125, Konya.
- Europe.SSC, 2002**, EUREF istasyonlarının ITRF2000 koordinat ve hızlarını gösteren liste, http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/ITRF2000/results/ITRF2000_EUROPE.SSC, 24 aralık 2002 tarihli web sayfası
- Geodesist's Handbook, 1992**, Bulletin Géodésique, 66, 128 pp.
- Lareg, 2003**; ITRF 'in tanımlayan Merkez, Fransa web adresi: <http://lareg.ensg.ign.fr/ITRF/>, Ocak 2003 tarihli
- Leica, 1997**, SKI-Documentation, G2-545-Oen, Leica AG, Heerbrugg, Switzerland
- McCarthy, D., (Ed.), 1996**, IERS Conventions, IERS Technical Note 21, Observatoire de Paris, Paris
- NIMA, 1997**, World Geodetic System 1984; Its definition and relationships with local geodetic systems, National Imaginary and Mapping Agency (NIMA) TR8350.2,
- Sella, GF., Dixon, TH., Mao, A., 2002**, REVEL: a model for recent plate velocities from space geodesy. Journal of Geophysical Research vol. 107:ETG11 page.1-29
- Sillard, P., Altamimi, Z., Boucher, C., 1998**, The ITRF96 realization and its associated velocity field. Geophysical Research Letters Vol.25, page.3223-3226
- Soler, T., 1998**, A compendium of transformation formulas useful in GPS work. Journal of Geodesy vol.72 p.482-490

DEPREM SEMPOZYUMU KOCAELİ 2005

- Soler, T., ve Marshall, J., 2002**, Rigorous transformation of variance-covariance matrices of GPS-derived coordinates and velocities. GPS Solutions Vol. 6, page. 76–90
- Soler, T., ve Marshall, J., 2003**, A note on frame transformations with applications to geodetic datums. GPS Solutions Vol. 7, page.23-32
- Şanlıoğlu, İ., 2004**, Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) Yazılımlarının Veri İşleme Modüllerinin Uluslararası GPS Servisi (IGS) Ürünleri Kullanarak Test Edilmesi, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, 249 sayfa.
- Üstün, A., 1996**, Datum Dönüşümleri, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 96 sayfa