

ED-50 (EUROPEAN DATUM-1950) ile TUREF (TÜRKİYE ULUSAL REFERANS ÇERÇEVESİ) ARASINDA DATUM DÖNÜŞÜM ÇALIŞMALARI

Bahadır Aktuğ, Salih Seymen, Mustafa Kurt, Erdem Parmaksız, Onur Lenk,
Serdar Sezer, Soner Özdemir

Harita Genel Komutanlığı, Ankara, bahadır.aktug@hgk.msb.gov.tr

ÖZET

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) Uluslar arası Yersel Referans Sistemi (ITRS)'e dayalı olarak tanımlanmış ve 2002 yılında kullanıma girmiştir. 2005 yılında güncellenen Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) ile nokta sıklaştırma çalışmalarının TUTGA'ya dayalı olarak gerçekleştirilmesi öngörülmüş, bu kapsamda tüm sıklaştırma noktaları TUTGA ile aynı datumda üretilmiştir. TUTGA çalışmaları kapsamında Avrupa Datumu-1950 (ED-50) ile TUTGA arasındaki dönüşüm parametrelerinin hesaplanmakla birlikte, yüksek duyarlıklılı datum dönüşümünün sağlanması için gerekli nokta sayısına ancak Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları- Aktif (TUSAGA-Aktif) projesinin hayata geçmesiyle kavuşulmuştur.

Bu çalışmada, TUTGA ve TUSAGA-Aktif'in de de tanımlı olduğu Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) ile ED-50 arasında iki (hüresel) ve üç boyutlu datum dönüşümü yapılmış, dönüşüm duyarlıklılı araştırılmış, önceki sonuçlar önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, nokta sayısının artması ile hüresel dönüşümde sağ ve yukarı bileşenlerde için sırasıyla ± 0.26 ve ± 0.27 m duyarlılık sağlandığını, üç boyutlu dönüşüm duyarlılığının ise ± 1.1 m civarında olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: TUD-54, ED-50, TUSAGA-AKTİF, TUREF, hüresel dönüşüm parametreleri.

ABSTRACT

DATUM TRANSFORMATION STUDIES BETWEEN ED-50 AND TNRF (TURKISH NATIONAL REFERENCE FRAME)

Turkish National Fundamental GPS Network (TNFGN) was defined based on International Terrestrial Reference System (ITRF) and was put into practice in 2002. The Bylaw of Production of Large-Scale Mapping and Mapping Information (BPLSMMI) required that the densification work should be based on TNFGN and all the densification points were produced within the same datum of TNFGN. While datum transformation parameters were computed between the European Datum (ED-50) and TNFGN during the establishment of TNFGN, the required number of common points for the high-precision transformation has become available only after the establishment of Turkish National Permanent GPS Network-Active (TNPGN-Active).

In this study, two and three dimensional transformation was implemented between ED-50 and Turkish National Reference Frame (TUREF) on which TNFGN and TNPGN-Active are based, the precision of the transformation was investigated and the results were compared with the earlier studies. The results show that a precision of ± 0.26 and ± 0.27 m was obtained for the east and north components, respectively, and the precision of three dimensional transformation is about ± 1.1 m.

Keywords: TUD-54, ED-50, TUSAGA-AKTİF, TUREF, grid transformation parameters

1. GİRİŞ

Harita Genel Komutanlığı ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünün ortak müşteri olduğu "TUSAGA-AKTİF (CORSTR): Ağ prensibinde çalışan gerçek zamanlı kinematik (RTK) prensipli sabit GPS istasyonlarının kurulması ve hüresel dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi" adlı TÜBİTAK Kamu-ARGE Projesi İstanbul Kültür Üniversitesi tarafından yürütülmüştür. Söz konusu proje ülkemizdeki Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS)'ne ile Avrupa Datumu - 1950'ye arasındaki yüksek duyarlıklılı hüresel dönüşüm parametrelerinin belirlenmesini öngörmektedir. Bu kapsamda müşteri kurumlar tarafından kamu kurum ve kuruluşları tarafından farklı projeler kapsamında ölçülen ve her iki datumda koordinatları bilinen noktalar derlenmiş, TUSAGA-Aktif sisteminin faal hale gelmesini müteakip, ihtiyaç duyulan bölgelerde yatay kontrol ağı noktaları Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) yöntemi ile ölçülmüştür.

Yürütücü kuruluş tarafından gerçekleştirilen datum dönüşüm çalışmaları rapor olarak müşteri kurumlara sunulmuş olup, söz konusu raporda kullanılan yöntemler açıklanmakta ve sonuçlara ait istatistiksel bilgiler sunulmaktadır (İKÜ, 2010). Bu çalışma ile;

- Harita Genel Komutanlığı tarafından ihtiyaç duyulan pafta bazlı hüresel dönüşüm parametreleri hesaplanmış,
- Yeni hesaplanan dönüşüm parametrelerinin geçmiş yıllarda ülkemiz için kullanılan dönüşüm parametrelerine göre sağlayacağı iyileşme oranları elde edilmiş,
- Dönüşüm parametreleri ile elde edilebilecek duyarlıkların coğrafi dağılımı analiz edilmiş,

- İKÜ (2010) tarafından hesaplanan dönüşüm parametrelerinin kontrolü ve iyileştirilmesi yapılmış,
- Yüksekliklerden bağımsız üç boyutlu dönüşüm parametrelerinin hesaplanması gerçekleştirilmiştir.

Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı, 27 poligon zinciri halinde 904 adet I inci Derece ve hiyerarşik olarak üretilmiş 3311 adet II nci Derece, 95000 3 üncü Derece ve 350000 4 üncü Derece noktadan oluşmaktadır. Yatay Kontrol Ağı I. derece poligon zincirleri Şekil 1’de gösterilmektedir. Uzay tabanlı konumlama sistemleri ve bunlara bağlı referans çerçevelerinin gelişmesinden önce, jeodezik noktalar ve kadastral paftaların önemli bir bölümü ED-50 datumunda tanımlanmıştır.

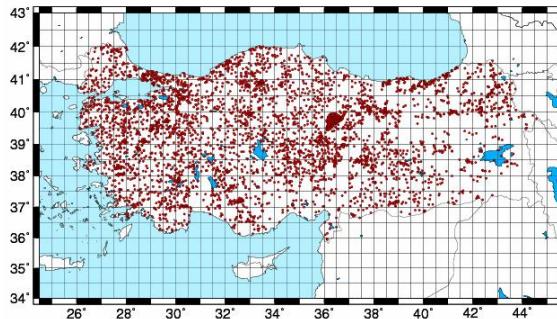
Bu anlamda, ülkemizin ITRF tabanlı modern jeodezik datumu TUREF ile ED-50 datumu arasındaki dönüşüm ilişkilerinin yüksek duyarlıklılı belirlenmesi, geçmiş yıllarda yapılan jeodezik noktalar ve haritaların tekrar kullanılabilirliği, yeni yapılan çalışmalar ile uyumlu hale getirilmesi anlamında büyük önem taşımaktadır.

Makale, yalnızca yazarların bireysel görüşlerini ifade etmekte olup, Türk Silahlı Kuvvetlerinin görüş, konum, strateji ya da fikirlerini yansıtmamaktadır.

Şekil 1: Yatay Kontrol Ağı poligon zincirleri

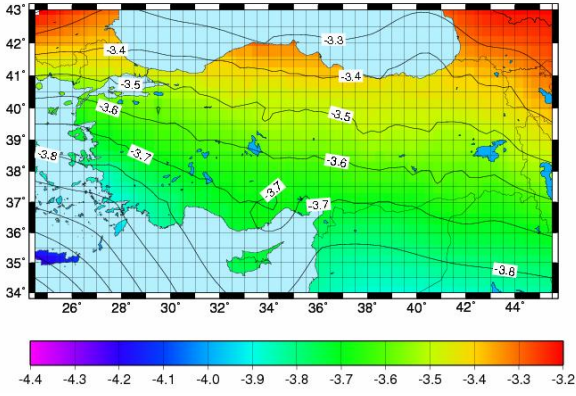
2. ORTAK NOKTA KÜMESİ

Hüresel dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi amacıyla öncelikle Harita Genel Komutanlığı, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, İller Bankası, Devlet Su İşleri, Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından ölçülen ve her iki sistemde koordinatları bilinen ortak noktalar derlenmiştir. Daha sonra Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) sisteminin faal hale gelmesiyle birlikte yürütücü kuruluş tarafından mevcut noktaların coğrafi dağılımları göz önünde bulundurularak ihtiyaç duyulan diğer yerlerdeki yatay kontrol ağı noktaları ayrıca Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) yöntem ile ölçülmüştür. Yürütücü kuruluş tarafından kamu kuruluşlarından temin edilen ve yeni ölçülen noktalar incelenmiş ve kaba hataların ayıklanarak toplam 4024 adet ortak nokta dönüşüm için hazırlanmıştır. Söz konusu noktaların coğrafi dağılımları Şekil 2’de gösterilmektedir.

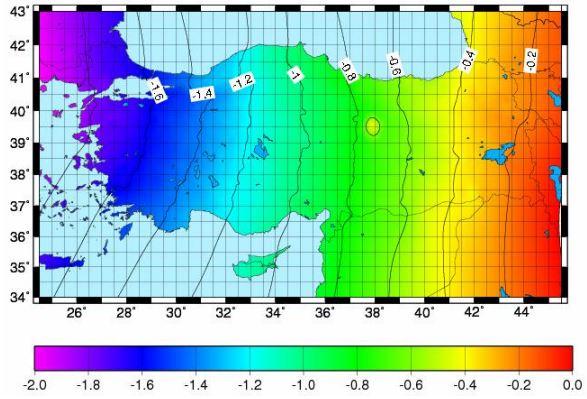


Şekil 2: GPS Ölçüsü bulunan yatay kontrol ağı noktaları (Grid çizgileri 1/100.000 ölçekli pafta bölümlenmesini göstermektedir)

Oluşturulan ortak nokta kümesinde, özellikle Harita Genel Komutanlığı dışındaki kamu kuruluşlarından temin edilen noktaların yükseklikleri bulunmamaktadır. Klasik jeodezik kontrol ağlarının yapısal olarak iki boyutlu olması nedeniyle hüresel dönüşüm eşitlikleri de iki boyutlu olarak hesaplanmaktadır. Her iki datumdaki coğrafi koordinatlar arasındaki farklar enlem ve boylam için sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3’de gösterilmektedir.



Şekil 2: Enlem farkları (")



Şekil 3: Boylam farkları (")

3. ÜÇ BOYUTLU DÖNÜŞÜM

Dönüşüm için her iki sistemde koordinatları belirli noktalar farklı kamu kurumlarından derlenmiştir. Söz konusu noktaların çok büyük bölümünün sadece yatay koordinatları bulunmaktadır. Diğer yandan Yatay Kontrol Ağının üst dereceli noktalarının önemli bölümünün yükseklikleri trigonometrik yöntemle belirlenmiştir. Geometrik nivelman ile yüksekliği belirlenmiş olanlar için ise, elipsoid yüksekliğine dönüşüm dönüşüm için gerekli ED-50 datumundaki jeoid için yatay koordinat bileşenlerine göre çok daha az duyarlıdır. Bu anlamda, söz konusu Yatay Kontrol Ağı noktalarının yükseklikleri belirlenmiş olsa dahi, bunların 3B geometrik dönüşüm içinde kullanılabilmesi için ayrıca jeoide bağlı olarak indirgenmesi gerekmekte, iki datum arasındaki üç boyutlu dönüşüm doğrudan ölçüler ile yapılamamaktadır.

Üç boyutlu datum dönüşümünde yükseklik bileşeninde yukarıda açıklanan nedenlerden kaynaklanan hataları en aza indirmek ve yatay dönüşüm duyarlılığını artırmak amacıyla standart Helmert modeli yerine bu model değiştirilerek uygulanmıştır. Yatay Kontrol Ağı ile ITRF arasındaki üç boyutlu dönüşüm parametreleri de bu değiştirilmiş Helmert modeli ile hesaplanmıştır.

Üç boyutlu iki farklı datum arasındaki ilişki genel olarak, Helmert Dönüşümü olarak bilinen üç ortogonal dönüklük, üç öteleme ve bir ölçek faktöründen oluşan yedi-parametrelili dönüşüm ile sağlanır. i ve c datumları arasındaki Helmert Dönüşümü aşağıdaki şekilde yazılabilir (Bursa, 1966; Soler, 1976; Aktuğ, 2008; Aktuğ, 2009):

$$X_c = T_{i,c} + (1 + s_{i,c}) R_{i,c} X_i \quad (1)$$

Burada; alt indisler " i,c " dönüşüm parametrelerinin yönünü i 'den c 'ye şeklinde ifade etmekte olup, X konum vektörü, s ölçek faktörü, T öteleme vektörü ve R de üç ortogonal dönüklükten oluşan birleştirilmiş dönüklük matrisidir. Genel olarak birleştirilmiş dönüklük matrisi, küçük açılara bağlı olarak trigonometrik fonksiyonlar yardımıyla sadeleştirilir. Ancak, yeni dönüklük matrisi ortogonal olmadığı gibi antisimetrik de değildir (Aktuğ, 2009). Bu model genel olarak yersel datumlar için kullanılan modeldir. (1) numaralı eşitlik genel bir form oluştursa da, isimlendirme ve formülasyonda bazı farklılıklar olabilmektedir: örn. ölçek faktörü (mutlak veya diferansiyel, s yerine $(1+s)$ kullanımı) ve dönüklüklerin temsili (konum vektörü veya koordinat sistemi dönüklüğü). Formülasyon ile ilgili çok yararlı bir açıklama (Soler, 1998)' de bulunabilir (Aktuğ, 2009). Konum vektörü dönüklükleri yerine neden koordinat sistemi dönüklüklerinin kullanılması gerektiği ile ilgili diğer bir açıklama ise (Soler ve Marshall, 2002)'de verilmektedir. Üç boyutlu bir uzayda saatin tersi yöndeki dönüklüklerin pozitif olması tanımıyla uyumlu olarak, buradan itibaren sağ el kuralına bağlı kalmaktadır (Kaula, 1966; Mueller, 1969; Vaníček ve Krakiwsky, 1982; Soler, 1998). Yerel datumlardan global bir datuma olan dönüşüm parametreleri, ölçek ve dönüklük parametrelerinin çarpımlarının ihmal edilemeyeceği kadar büyük olabilir (Aktuğ, 2009). Örneğin, ötelemeleri kilometreyi, dönüklükleri ise 50 milisaniyeyi aşan yersel bulunmaktadır. Bununla beraber, uzay-tabanlı jeodezik teknikler (1) eşitliğinin daha da sadeleştirilmesine olanak tanıyacak şekilde birbirine çok yakın koordinat sistemleri sağlamaktadır. Ölçek ve dönüklüğün çarpımındaki ikinci derece terimler ihmal edilerek (1) eşitliğinin doğrusallaştırılmış hali aşağıdaki şekilde elde edilebilir:

$$X_c = X_i + T_{i,c} + R_{i,c} X_{i,c} + D_{i,c} X_i \quad (2)$$

Burada D ölçek faktörü, T öteleme vektörü ve R de (1) eşitliğinden farklı olan birleştirilmiş dönüklük matrisidir (Altamimi ve Boucher, 1996; Soler, 1998). (2) eşitliğindeki dönüklük matrisi ortogonal olmamakla beraber antisimetriktir. Referans koordinat sistemi dönüşümündeki bu form hemen hemen tüm ITRS ve ETRS gerçekleştirmeleri için

kullanılan temel matematik modeli oluşturmaktadır (Altamimi ve Boucher, 1996; Altamimi et al., 2002; Altamimi et al., 2007). (2) eşitliğindeki öteleme ve dönüklük matrisleri açık olarak;

$$T = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \text{ ve } R = \begin{bmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir. Açıklandığı üzere, gerek yatay kontrol ağı noktalarının gerekse ITRF koordinatlarının yükseklik bileşenlerinden bağımsız bir 3 boyutlu model oluşturmak için (1) eşitliği doğrusallaştırılarak;

$$\Xi = \Xi_0 + \delta \quad (4)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada; Ξ_0 dönüşüm parametrelerinin yaklaşık değerlerini, Ξ dönüşüm parametrelerini, δ dengeleme ile dönüşüm parametrelerinin yaklaşık değerlerine gelecek düzeltmeyi ifade etmektedir. (4) eşitliğine göre herhangi bir i noktasının Kartezyen koordinatlarının datum dönüşüm parametrelerine göre kısmi türevleri;

$$J_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_i & 0 & -z_i & y_i \\ 0 & 1 & 0 & y_i & z_i & 0 & -x_i \\ 0 & 0 & 1 & z_i & -y_i & x_i & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

şeklinde dir. Aynı i noktası için Kartezyen koordinat farklarından yerel koordinatlara dönüşüm ise

$$R^i = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_i & \cos \lambda_i & 0 \\ -\sin \phi_i \cos \lambda_i & -\sin \phi_i \sin \lambda_i & \cos \phi_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

şeklinde dir (Aktuğ, 2005; Aktuğ, 2007). Buna göre En Küçük Kareler (EKK) yöntemiyle yapılacak bir dolaylı (parametrik model) uygulamasında, matematiksel model;

$$r = RJ\delta + R(J\Xi_0 + x_1 - x_0) \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. Burada $x_1 - x_0$ vektörü her iki sistemdeki arasındaki koordinat bileşenleri farkları ifade etmektedir. (7) eşitliğinin EKK prensibine göre çözümüyle Helmert Dönüşüm parametreleri;

$$\hat{\Xi} = (J^T R^T R J)^{-1} J^T R^T R (J\Xi_0 + x_1 - x_0) \quad (8)$$

şeklinde, elde edilen dönüşüm parametrelerinin kofaktör matrisi ise

$$C_{\hat{\Xi}} = (J^T R^T R J)^{-1} \quad (9)$$

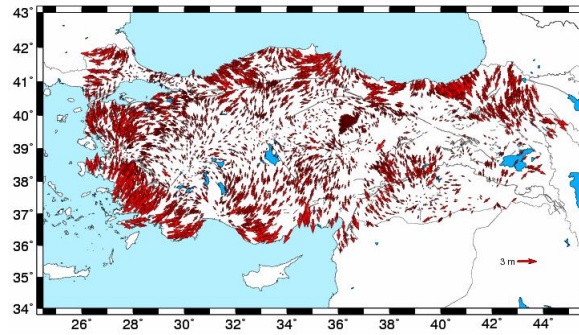
biçiminde elde edilir. Benzer şekilde (86) eşitliğinin ilk terimi dönüşüm parametrelerinin kovaryansını vermektedir. Bu şekilde EKK ile yapılan çözümde karelerin minimizasyonu, standart Helmert Dönüşümündeki gibi Kartezyen koordinat sisteminde değil, iki boyutlu toposentric bir sistemde yapılmış olmaktadır. Elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve önceki sonuçlarla karşılaştırılması amacıyla, Ayhan ve Kılıçoğlu (1995), Fırat ve Lenk (2002), Ayhan ve diğ. (2002) ve İKÜ (2010) tarafından hesaplanan parametreler ile 4024 adet noktanın koordinatları hesaplanmış ve mevcut koordinatlarıyla karşılaştırılarak Karesel Ortalama Hata (KOH) bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1: Farklı dönüşüm parametreleri ve karesel ortalama hataları

Model		1	2	3	4
T_x	(m)	-83.849	-84.831	-159.223	-158.785
T_y	(m)	-101.656	-101.656	-101.656	-101.656
T_z	(m)	129.463	-129.463	-129.463	-129.463
S	(ppm)	0.9498	0.9498	0.9498	0.9498
R_x	(")	-0.0183	-0.0183	-0.0183	-0.0183
R_y	(")	0.0003	0.0003	0.0003	0.0003
R_z	(")	-0.4528	-0.4528	-0.4528	-0.4528
KOH	(m)	33.69	33.69	33.69	33.69

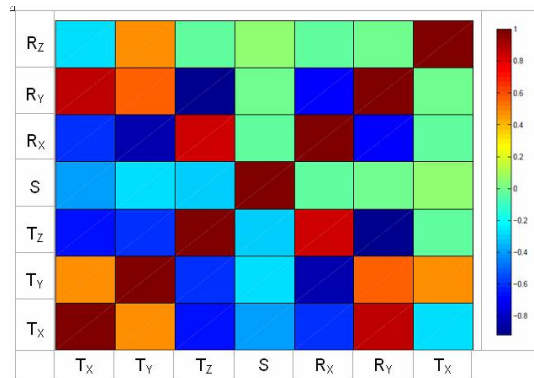
- 1 Ayhan ve Kılıçoğlu (1995)
2 Fırat ve Lenk (2002), Ayhan ve diğ. (2002)
3 İKÜ (2010)
4 Bu çalışma

(8) ve (9) eşitlikleri kullanılarak yapılan dengeleme ile elde edilen parametrelerin Üç boyutlu dönüşüm parametreleri ancak dönüşümün kendisinin aslında iki boyutlu olduğuna dikkat edilmelidir. Dengeleme sonucu elde edilen düzeltmelerin dağılımı Şekil 4'de verilmektedir.



Şekil 4: Üç boyutlu Helmert Dönüşümü ile elde edilen artık değerler

Üç boyutlu dönüşümde noktaların dağılımı ve parametrelerin güven sınırlarının sağlıklı irdelenebilmesi için parametreler arasındaki korelasyonların da incelenmesi büyük önem arz etmektedir. (9) eşitliği ile bulunan kofaktör matrisinden elde edilen korelasyonlar Şekil 5'de verilmiştir. Görüleceği üzere T_x , T_y ve R_z arasındaki korelasyon oldukça yüksektir. Benzer şekilde T_z ile R_y arasındaki korelasyon da 1 yakın değerlere sahiptir. Bu durum, görece olarak küçük bir alanın (Türkiye), global bir koordinat sistemindeki eksenlerine göre öteleme ve dönüklüklerinin belirlenmesi nedeniyle oluşmaktadır. Matematiksel olarak ifadesi ağ geometrisine bağlı olarak, kofaktör matrisinin kondisyonu ile ilgilidir.



Şekil 5: Datum dönüşüm parametrelerinin korelasyon matrisi

4. ÜÇ BOYUTLU DÖNÜŞÜM

İki boyutlu hüresel dönüşüm parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemlerin etkinlerinin belirlenmesi ve söz konusu yöntemlerle belirlenecek dönüşüm duyarlılığının tespit edilebilmesi maksadıyla çapraz-doğrulama yöntemi kullanılmıştır. Çapraz doğrulama, bir gridleme yönteminin kalitesinin objektif olarak değerlendirilmesi için en önemli

yöntemlerden biri olarak kabul edilmekte olup, gridleme yöntemi seçiminde yoğun olarak kullanılmaktadır (Kitanidis, 1997). Hüresel datum dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi amacıyla kullanılacak yöntemin seçimi dışında elde edilecek parametreler kullanıldığında dönüşümün hassasiyeti de benzer şekilde çapraz doğrulama yöntemi ile değerlendirilebilir.

Bu yöntemle göre, girdi olarak kullanılacak her bir nokta girdi kümesinde çıkarılmakta ve diğer noktadaki değerler kullanılarak bu noktadaki değer aradeğerleme yardımıyla kestirilmektedir. Bu şekilde her bir nokta ayrı ayrı girdi kümesinden çıkarılarak kestirildiğinde, her bir nokta için hata değeri;

Kestirim Hatası = Kestirilmiş Değer – Gerçek Değer (1)

eşitliği ile bulunur. Bu yöntem aynı zamanda aradeğerlemesi (interpolation) yapılan verilerin mekânsal dağılımı hakkında da bilgi sağlamaktadır. Bu anlamda, noktaların belirli bölgelerdeki yoğunluğuna bağlı olarak oluşacak hatalar da çapraz-doğrulama sonuçları içinde yer alacaktır. Bu anlamda, elde edilen sonuçlar, verilerin yetersiz kaldığı bölgelerin tespiti için kullanılabilir.

Her bir nokta için hesaplanan kestirim hataları kullanılarak hesaplanacak Karesel Ortalama Hata (KOH) ise, aradeğerleme ile dönüştürülecek koordinatların doğruluğu için ölçüt teşkil etmektedir.

Hüresel datum dönüşüm parametrelerinin belirlenmesinde literatürde farklı yöntemler mevcut olmakla birlikte en yoğun olarak En Küçük Eğrilik ve Kriging kullanılmaktadır. Bu amaçla, her iki yöntemle enlem ve boylam yönündeki çapraz-doğrulama yöntemiyle kestirim hataları elde edilmiş olup, sonuçlar Tablo 2’de verilmiştir.

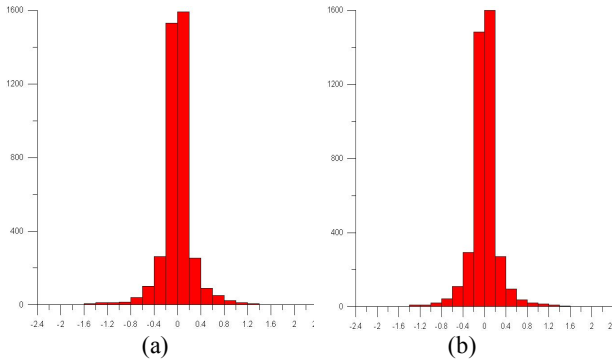
Tablo 2: Çapraz Doğrulama İstatistikleri

	Minimum Eğrilik		Kriging	
	Boylam Yönünde (m)	Enlem Yönünde (m)	Boylam Yönünde (m)	Enlem Yönünde (m)
En küçük	-13.78	-5.55	-2.14	-1.67
En büyük	2.65	1.72	1.96	1.60
Aralık	16.43	7.27	4.10	3.27
Ortalama	-0.00418	-0.00201	-0.00013	-0.00074
Ortanca	0.00461	0.00500	0.00167	0.00176
Varyans	0.13	0.08	0.07	0.07
Ortalama Sapma	0.17	0.16	0.15	0.15
Standart Sapma	0.36	0.28	0.27	0.26

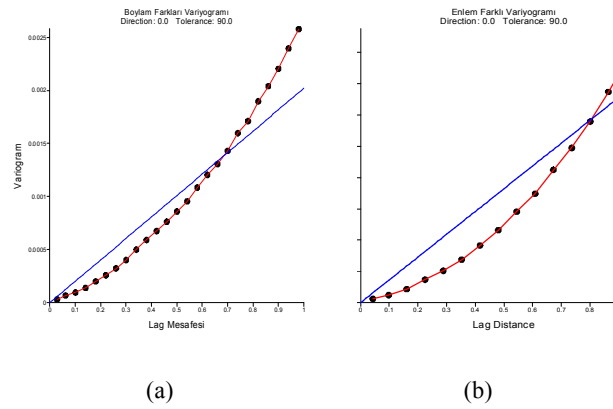
Enlem ve boylam yönündeki hesaplamalar, Kriging yönteminin En Küçük Eğrilik yöntemine göre daha iyi sonuç verdiğini, kestirim hatasının daha küçük olduğunu göstermektedir. Kriging yöntemiyle elde edilen kestirim hatalarına ait histogram ise Şekil 6’da verilmektedir. Kriging yöntemi yönlü (anisotropic) verilerle aradeğerleme yapılmasına olanak vermektedir. Bu amaçla farklı varyogram modelleri ile testler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, doğrusal varyogram modelinin en iyi sonuçları verdiğini göstermiştir. Enlem ve boylam değerleri için doğrusal varyogram modelleri Şekil 7’de gösterilmiştir.

En Küçük Eğrilik Yöntemi (EKEY/Minimum Eğrilik Yöntemi), tam (exact) bir aradeğerleme yöntemi değildir. Bu anlamda, her bir girdi noktasındaki düzeltmeler hesaplanabilir. İKÜ (2010) tarafından verilen istatistikler, söz konusu düzeltmeler yardımıyla hesaplanmıştır. Bunun yanında, bu düzeltmeler ölçü değerlerinden bağımsız olmadığından, dönüşümün doğruluğu hakkında yeterli bilgi sağlamamaktadır. Kestirim duyarlılığının ölçü değerlerinden bağımsız olarak belirlenebilmesi için en yaygın yöntem çapraz-doğrulama yöntemidir (Kitanidis, 1997).

Bu yöntemde, her bir noktadaki kestirim değeri, bu noktadaki ölçü değeri hesaba katılmadan hesaplanır. Ölçü değerinden bağımsız olarak hesaplanan kestirim değeri, kestirim yöntemi kadar, verilerin dağılımı, sıklığı ile de yakından ilgilidir. Ancak, genel olarak çapraz-doğrulama ile elde edilen artık değerlerin (residuals) daha gerçeğe yakın olduğundan bahsedilebilir.

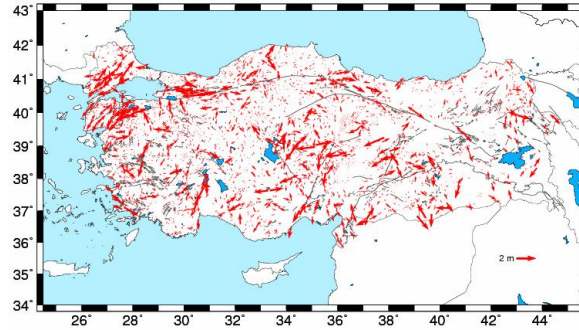


Şekil 6: Kriging yöntemi ile Çapraz-doğrulama sonucu elde edilen metre biriminde farklar (a) boylam yönünde (b) enlem yönünde



Şekil 7: Enlem ve boylam farkları için doğrusal varyiyogram modelleri

İKÜ (2010) tarafından EKEY ile hesaplanan düzeltme değerlerinde karesel ortalama hata enlem ve boylam için sırasıyla 0.15 m ve 0.27 m olarak bulunmuştur. Bu çalışmada, çapraz-doğrulama yöntemi ile elde edilen karesel ortalama hatalar ise enlem ve boylam için sırasıyla 0.28 m ve 0.36 m dir. Çapraz-doğrulama ile elde edilen karesel ortalama değerleri daha büyük olmakla birlikte daha temsil edici niteliktedir. Zira, EKEY yönteminin tam aradeğerleme yöntemi olmamasıyla doğrudan ilişkili diğer bir sorun ise, bölge kenarlarında çok yüksek çapraz-doğrulama değerlerinin meydana gelmesidir. Tablo 2’de EKEY ile elde edilen boylamda 13 m, enlemden ise 5 m’yi aşan değerler, ortak nokta bulunmayan Güneydoğu Anadolu Bölgesinin doğu kısımlarında meydana gelmiştir. Kriging yönteminde elde edilen çapraz-doğrulama sonuçları hem enlem hem de boylam yönünde < 2 m’den daha küçük bir dağılım sergilemektedir. Çapraz doğrulama sonuçları ile elde edilen farklar Diri Fay Haritası üzerinde Şekil 8’de gösterilmektedir.



Şekil 8: Doğrusal varyiyogram modeli ile Kriging çapraz-doğrulama sonuçları

Kriging çapraz-doğrulama sonuçları diri fay haritası ile birlikte değerlendirildiğinde, farkların büyüklüğü ile tektonik arasındaki ilişkinin beklenenden daha az olduğu gözlenmektedir. Tektonik etkilerin sınırlı olduğu İç Anadolu bölgesindeki yüksek farkları aktif fay sistemleri ile açıklanamamaktadır.

Kriging yöntemine karar verilmesinin ve çapraz doğrulama ile hataların analizinin ardından hücresel dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Ortak noktaların ortalama aralıkları ile uyumlu olarak sırasıyla boylam ve enlem yönünde $0.13^\circ \times 0.10^\circ$ aralıklarla gridleme yapılmış olup, bu gridleme aralığı arazide 11x11 km ye karşılık gelmektedir. Gridleme için 25° - 45° boylamları ile 34° - 43° enlemleri kullanılmıştır. 1/25.000, 1/50.000, 1/100.000, 1/250.000 ölçekli pafta orta noktalarında hücresel dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Hücresel dönüşüm parametrelerinin hesaplandığı 1/25.000 ölçekli paftalar Şekil 9’da gösterilmektedir. Pafta orta noktaları için hesaplanan dönüşüm parametreleri ise EK(A:Ç)’de verilmiştir.

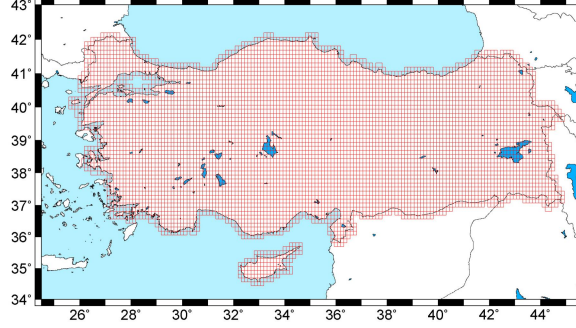
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Datum dönüşümü temel olarak iki ve üç boyutlu olmak üzere iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Ülke boyutunda iki boyutlu dönüşüm ancak hücresel dönüşüm yapılmak suretiyle uygulanabilmektedir. Ülkemizde ED-50 örneğinde olduğu gibi dönüşüm yapılacak datumlardan biri yersel ve klasik bir datum olduğu takdirde, geometrik anlamda üç boyutlu bir dönüşüm yapabilmek ancak, yersel datumda yüksek duyarlılığa sahip bir jeoidin bilinmesiyle mümkündür. Diğer bir deyimle, Avrupa Datumu-1950’deki yüksekliklerin elipsoit yüksekliğine dönüşümü için bu datumda tanımlı jeoide ihtiyaç vardır. Jeoid, elipsoide göre tanımlanan büyüklük olup, halihazırda ED-50 için ülkemizde mevcut tek jeoid astrojeodezik jeoid’dir. Söz konusu jeoidin duyarlılığı ise yüksek duyarlıklılı üç boyutlu dönüşüm için yoğunluk ve duyarlılık açısından yeterli değildir. Bu nedenle, standart Helmert Dönüşümü değiştirilerek yükseklik bileşeninin

etkisinin giderildiği bir yöntem ile üç boyutlu dönüşüm parametreleri elde edilmiştir. Sonuç olarak elde edilen üç boyutlu dönüşüm parametrelerinde metre altı karesel ortalama hata bulunmuştur.

Önceki çalışmalarda elde edilen dönüşüm parametreleri ile bu çalışmada elde edilenler karşılaştırıldığında, özellikle x ve z eksenlerindeki ötelemelerde farklılıklar bulunmaktadır. Bunun nedeni ise Şekil 5’de de açık olduğu üzere Tx, Ty ve Rz arasındaki oldukça yüksek geometrik korelasyondur. Ülkemizin bulunduğu enlem ve boylamlar için söz konusu parametrelerin yüksek korelasyonlu olması beklenen bir durumdur.

Bu çalışmada yapılan Kriging uygulamasında, doğrusal bir variogram modeli benimsenmiştir. Buna karşın oluşturulan deneysel variogram modeli, enlem yönündeki farkların Gaussian, boylam yönündeki farkların ise uzun mesafelerde üstel bir variogram modeli sergilediği gözlenmektedir. Ancak noktaların birbirine göre mesafeleri dikkate alındığında, yakın mesafelerde doğrusal model daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.



Şekil 9: Datum dönüşümü ötelemeleri hesaplanan 1/25.000 ölçekli paftalar

Hüresel dönüşüm parametreleri için çapraz-doğrulama yöntemi ile elde edilen karesel ortama hatalar enlem ve boylam için sırasıyla 0.28m ve 0.36m dir. Çapraz-doğrulama ile elde edilen karesel ortalama değerleri daha büyük olmakla birlikte daha temsil edici niteliktedir. Zira, çapraz-doğrulama tekniğinde, her bir noktadaki hata değerleri her defasında ölçü kümesinden çıkarılarak (out-of-context) hesaplandığından gerçek durumu daha iyi temsil etmektedir.

KAYNAKLAR

- Aktuğ, B., 2005. *Referans Sistemlerinin Zamansal Evrimi ve Türkiye İçin Ulusal Bir Model: TURES-96*, Harita Dergisi, 133.
- Aktuğ, B., 2008. *ITRF-2005 ve önceki referans koordinat sistemleri ile olan ilişkisi*, Harita Dergisi, 140.
- Aktuğ, B., 2009. *Inverse and Compound Datum/Frame Transformations*, Journal of Surveying Engineering, 135 (2), 46-55 (2009).
- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C., 2002. *ITRF2000: A New Release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science Applications* J. Geophys. Res., 107(B10), ETG-2:1-19.
- Altamimi, Z., X. Collilieux, J. Legrand, B. Garayt, ve C. Boucher, 2007, *ITRF2005: A new release of the International Terrestrial Reference Frame based on time series of station positions and Earth Orientation Parameters*, J. Geophys. Res., 112, B09401.
- Ayhan, M.E., C. Demir ,O. Lenk, A. Kılıçoğlu, B.Aktuğ , M.Açıköz, O.Fırat, Y.S.Şengün, A.Cingöz, M.A. Gürdal, A.İ.Kurt, M.Ocak, A.Türkezer, H. Yıldız, N. Bayazıt, M. Ata, Y. Çağlar, A.Özerkan (2002). Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A), Harita Dergisi Özel Sayı, No.16, Ankara, http://www.hgk.mil.tr/dergi/makaleler/OZEL_SAYI_16.pdf
- Ayhan, M.E., Kılıçoğlu, A., 1995. *Global Konumlama Sistemi (GPS) Baz vektörlerinin Benzerlik ve Afin Dönüşümü ile Üç Boyutta Nokta Sıklaştırması*, Türk Haritacılığının 100. yılı TUJJB ve TUFUAB Kongreleri bildiri Kitabı, 1-5 Mayıs, 307-320.
- Boucher, C., ve Altamimi, Z., 1996. *International Terrestrial Reference Frame*, GPS World, 7(9), 71-74.
- Fırat, O., Lenk, O., 2002. *Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA99A) ile Avrupa Datumu 1950-(ED-50) Arasındaki Dönüşüm*, TUJK 2002 Yılı Çalıştayı: Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 10 – 12 Ekim 2002, İznik.

İKÜ, 2010. *Ulusal CORS Sisteminin Kurulması ve Datum Dönüşümü Projesi, CORS-TR Datum Dönüşüm Raporu*, İstanbul.

Kaula, W.M., 1966). *Theory of satellite geodesy*, Blaisdell Publishing Co, Waltham, MA.

Kitanidis, P. K., 1997. *Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology*, Cambridge University Press, Cambridge, 249 pp.

Mueller, I.I., 1969. *Spherical ve practical astronomy as applied to geodesy*, Ungar, New York.

Soler, T.,1976. *On differential transformations between Cartesian and curvilinear (geodetic) coordinates*, Report No. 236, Dept. of Geodetic Science, Ohio State Univ., Columbus, Ohio.

Soler, T., 1998. *A compendium of transformation formulas useful in GPS work*, J. Geod., 72(7-8), 482-490.

Soler, T., Marshall, J., 2002. *Rigorous transformation of variance-covariance matrices of GPS-derived coordinates and velocities*, GPS Solutions, 6(1-2), 76-90.

Vaniček, P., ve Krakiwsky, E.J. (1982). *Geodesy: The Concepts*, North Holland Publishing Company, Amsterdam.