

## ED-50 (European Datum-1950) ile TUREF (Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi) Arasında Datum Dönüşümü

### (Datum Transformation between ED-50 (European Datum-1950) and TUREF (Turkish National Reference Frame))

Bahadır AKTUĞ, Salih SEYMEN, Mustafa KURT, Erdem PARMAKSIZ,  
Onur LENK, Serdar SEZER, Soner ÖZDEMİR

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

#### ÖZET

Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS)'ne dayalı olarak tanımlanmış ve 2002 yılında kullanıma girmiştir. 2005 yılında yayınlanan Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) ile nokta sıklaştırma çalışmalarının TUTGA'ya dayalı olarak gerçekleştirilmesi öngörüldüğünden, yönetmelik kapsamında oluşturulan tüm sıklaştırma noktaları TUTGA ile aynı datumda üretilmektedir. TUTGA çalışmaları kapsamında Avrupa Datumu-1950 (ED-50) ile TUTGA arasındaki dönüşüm parametreleri hesaplanmış olmakla birlikte, yüksek duyarlıklı datum dönüşümünün sağlanması için gerekli nokta sayısına ve dağılımına ancak Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) projesinin hayata geçmesiyle ulaşılabilmektedir.

Bu çalışmada, TUTGA ve TUSAGA-Aktif'in de tanımlı olduğu Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) ile ED-50 arasında iki (hücrese) ve üç boyutlu datum dönüşümü yapılmış, dönüşüm duyarlıkları araştırılmış, önceki sonuçlar ve önceki çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, nokta sayısının artması ile hücrese dönüşümde projeksiyon koordinatlarının sağ ve yukarı bileşenlerinde sırasıyla  $\pm 0.26$  ve  $\pm 0.27$  m duyarlık sağlandığını, üç boyutlu dönüşüm duyarlığının ise  $\pm 1.1$  m civarında olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** TUD-54, ED-50, TUSAGA-Aktif, TUREF, hücrese dönüşüm parametreleri.

#### ABSTRACT

Turkish National Fundamental GPS Network (TNFGN) based on International Terrestrial Reference System (ITRF) was defined and put into practice in 2002. The Bylaw of Production of Large-Scale Maps 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 were implemented between ED-50 and Turkish National Reference Frame (TUREF) on which TGFGN 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  $\pm 0.26$  and  $\pm 0.27$  m was obtained for the east and north components, respectively. The precision of three dimensional transformation was found to be  $\pm 1.1$  m.*

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

#### 1. GİRİŞ

Harita Genel Komutanlığı ile Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'nün ortak müşteri olduğu "TUSAGA-AKTİF (CORS-TR): Ağ prensibinde çalışan gerçek zamanlı kinematik (RTK) prensipli sabit GPS istasyonlarının kurulması ve hücrese dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi" adlı TÜBİTAK Kamu-ARGE Projesi İstanbul Kültür Üniversitesi tarafından yürütülmüştür. Söz konusu proje ülkemizdeki Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS) ile Avrupa Datumu - 1950 arasındaki yüksek duyarlıklı hücrese dönüşüm parametrelerinin belirlenmesini öngörmektedir (İKÜ, 2010).

Proje 2006 yılında başlamış, proje kapsamında Türkiye, Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti ve Türk Karasularını kapsayacak şekilde istasyonlar arası mesafeler 80-100 km olan 146 adet sabit GPS referans istasyonu kurulmuştur. Proje ile ED-50 ile TUREF arasındaki hücrese dönüşüm parametrelerinin belirlenmesi de hedeflenmiştir. Bu kapsamda öncelikle kamu kurum ve kuruluşları tarafından farklı projeler kapsamında ölçülen ve her iki datumda koordinatları bilinen noktalar projenin müşteri kurumları tarafından temin edilmiş, TUSAGA-Aktif sisteminin faal hale gelmesini müteakip, ihtiyaç duyulan bölgelerde yatay kontrol ağı noktaları yürütücü kuruluş tarafından Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) yöntem ile ölçülmüştür.

Proje kapsamında yürütücü kuruluş tarafından datum dönüşümü hesap çalışmaları rapor olarak müşteri kurumlara sunulmuş olup, söz konusu raporda kullanılan yöntemler açıklanmakta ve sonuçlara ait istatistiksel bilgiler sunulmaktadır (İKÜ, 2010).

Bu çalışmada ise;

- Harita Genel Komutanlığı tarafından ihtiyaç duyulan pafta tabanlı hücresel dönüşüm parametreleri hesaplanmış,
- Yeni hesaplanan dönüşüm parametreleri, ülkemiz için geçmiş yıllarda hesaplanmış ve kullanılmakta olan dönüşüm parametreleriyle karşılaştırılmış,
- Dönüşüm parametreleri ile elde edilebilecek duyarlıkların coğrafi dağılımı analiz edilmiş,
- Yüksekliklerden bağımsız üç boyutlu dönüşüm parametrelerinin hesaplanması işlemi gerçekleştirilmiştir.

## 2. TÜRKİYE'DE KULLANILAN DATUMLAR

Ülkemizdeki ulusal kontrol ağı kurma çalışmaları 1942 yılında başlamıştır. 1953 yılına kadar süren bu faaliyetle ülke 1'inci derece nirengi ağı ve zincirleri oluşturulmuştur. Bu nirengi ağı kapsamında 3538 adet doğrultu ölçüsü, 98 adet Laplace noktasında astronomi ölçüsü ve 40 adet baz ölçüsü yapılmıştır. Ağın dengelemesi ise 1954 yılında A.B.D. Ordu Harita Servisinde (günümüzde NGA, National Geospatial Agency) gerçekleştirilmiştir. Dengeleme işlemi Lambert Konformal Konik projeksiyonunda düzlem koordinatları ile yapılmış, o günün koşullarında oldukça yüksek performanslı kabul edilen ve dünyanın ilk ticari amaçlı üretilen bilgisayarı olan UNIVAC I ile gerçekleştirilmiştir (AMS,1954). Ülkemizin enlem ve boylam sınırları dikkate alınarak Lambert Konformal Konik projeksiyonunun parametreleri 39'uncu standart paralel ve 35'inci merkez meridyeni olarak seçilmiştir. Meşedağ noktası başlangıç alınarak oluşturulan ağda, Meşedağ noktasının astronomik koordinatları, Laplace noktalarındaki astronomik ölçüler ve baz ölçüleri için koşul uygulanmıştır. Baz ölçüleri astronomik ölçülere göre daha yüksek duyarlılıkta olduğundan, bunlar sabit alınırken, astronomik ölçüler mutlak sabit olarak alınmamıştır. Baz ölçülerinin duyarlılığı 0.5 ppm'den daha iyi bulunmuştur. Baz genişletme

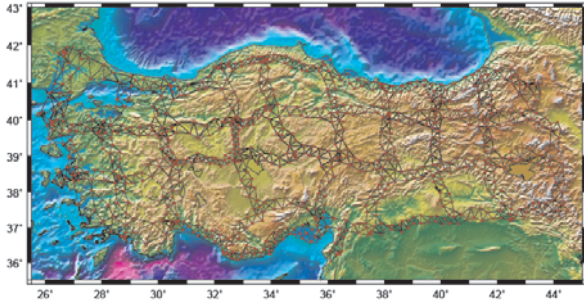
ağlarında dahi baz hatası 5 ppm'in altındadır. Dengeleme sonucunda birim ağırlıklı ölçünün ortalama hatası ise 0.681" olarak bulunmuştur (AMS,1954). Kullanılan ölçüler doğrultu ölçüsü olduğundan, doğrultudaki bu hata açıklık açıları ~1"ye, uzunlukların hatasız kabul edilmesi halinde ise 30 km'lik bir kenar ile yapılacak ileriden kestirmede ~0.15 m'ye karşılık gelmektedir. Erokan (1966) da nirengi ağının duyarlılığı için 1:200.000 oransal duyarlılığını vermiştir. 1'inci derece nirengi noktalarının ortalama kenar uzunluklarının 30 km olduğu dikkate alındığında bu değer 1"lik açıklık açısı hatası ile uyumludur. Diğer yandan dünyadaki 1'inci derece ağlar için öngörülen ortalama oransal duyarlık ( $10^{-5}$ ) da 1'inci derece nirengi ağı için elde edilen değerle uyumludur. Ülkemizdeki ilk datum Meşedağ Datumu olarak bu şekilde oluşturulmuştur.

Dengeleme çalışmaları Meşedağ datumunda yapılmakla birlikte Avrupa Datumu-1950 (ED-1950)'ye dönüşüm için gerekli ölçüler de 1'inci derece ağ ölçüleri ile birlikte yapılmıştır. Güneydoğu Avrupa Ağı'nın Yunanistan ve Bulgaristan'da bulunan altı noktası ile Sakız adasındaki iki noktaya doğrultu gözlemleri yapılmış, ve Meşedağ Datumunda koordinatları hesaplanmıştır. Bu noktaların Meşedağ datumundaki koordinatları ile ED-50 datumundaki koordinatları arasındaki farkların ortalaması enlem ve boylam yönünde sırasıyla 46.269 m ve 20.594 m'dir (AMS,1954). Dengelenmiş koordinatlar Meşedağ Datumunda ve Lambert projeksiyonunda olduğundan bu ortalama farkları tüm koordinatlara düzeltme olarak getirmek yerine projeksiyon merkezi bu farkları asgari indirecek şekilde iteratif olarak kaydırılmıştır. Sonuç olarak, izdüşüm merkezinin enlemi 1.6", boylamı ise 0.85" kaydırılarak iki koordinat kümesi arasındaki fark en aza indirilmiştir. Lambert projeksiyonunda izdüşüm merkezinin boylamının değişmesi rotasyonel simetri nedeniyle ağ koordinatlarında distorsiyon yaratmazken, izdüşüm merkezinin enleminin değişmesi nokta koordinatlarında teorik olarak distorsiyon yaratmaktadır. Bununla birlikte, enlem yönündeki kaydırma miktarı anlamlı distorsiyon yaratamayacak kadar oldukça düşüktür. Buna karşın dengelenmiş projeksiyon koordinatlarının azimutları değişmektedir. Bu nedenle Meşedağ Datumu ED-50 datumuna dönüştürüldüğünde kullanılan projeksiyon Oblik Lambert conformal Konik projeksiyonu haline gelmiştir. Ancak oblik

projeksiyonun dönüklüğü yine de 0.5" dolayındadır (AMS,1954).

1954 yılındaki dengelemede 786 nokta bulunmaktadır. İlk dengelemeden sonra daha alt dereceli noktaların sıklaştırılması çalışması başlamıştır. Günümüzde Türkiye Ulusal Yatay Kontrol Ağı, 27 poligon zinciri halinde dengelendikten sonra 904 adet 1'inci Derece ve hiyerarşik olarak üretilmiş 3311 adet 2'nci Derece, 95000 adet 3'üncü Derece ve 350000 adet 4'üncü Derece noktadan oluşmaktadır. Yatay Kontrol Ağı 1'inci derece poligon zincirleri Şekil 1'de gösterilmektedir.

Uzay tabanlı konum belirleme sistemleri ve bunlara bağlı referans çerçevelerinin gelişmesinden önce, jeodezik noktalar ve kadastral paftalar için ED-50 datumunda tanımlanmıştır.



Şekil 1. Yatay Kontrol Ağı poligon zincirleri

Türkiye'deki yoğun tektonik aktiviteler sonucu oluşan deformasyon ve ağın günümüz modern ağlarına göre düşük duyarlılığı ve yersel ağlardaki kaçınılmaz geometrik distorsiyonların sonucu olarak ED-50 yersel datumu geçen zaman zaman içerisinde pratik ihtiyaçları karşılayamaz duruma gelmiştir. Yeni bir jeodezik ağa gereksinim duyulmuş ve bu ağın GPS teknolojisine dayalı olması öngörülmüştür. 1997-1999 yılları arasındaki yoğun GPS ölçüleri ile oluşturulan ve takip eden yıllardaki revizyon ölçüleri ile güncellenen TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı), modern ve yüksek doğruluklu ulusal ağ ihtiyacını karşılamak üzere oluşturulmuştur (Ayhan ve diğ., 2002).

1990'ların başından itibaren Global Konum Belirleme Sistemi (GPS)'ndeki hızlı gelişmelere paralel olarak GPS ile ED-50 datumunda sıklaştırma ve aplikasyon çalışmaları başlamakla birlikte, ITRS tabanlı bir datuma 2005 yılında yürürlüğe giren BÖHHBÜY ile geçilmiştir. Buna karşın kısa zamanda BÖHHBÜY'de özellikle referans epoğu

kavramının bulunmaması, açık şekilde ulusal bir datum tanımı olmaması nedeniyle uygulamada bir takım sorunlarla karşılaşmıştır. Özellikle 1999 yılında meydana gelen Marmara depremleri nedeniyle koordinatların farklı epoklarda yayınlanması nedeniyle kullanıcıların hangi epokta koordinat ve haritaları üreteceği ve idareye teslim edeceği konusunda da kurumlar arasında da farklı uygulamalara yol açmıştır.

Yeni bir Ulusal Datum ihtiyacına yönelik çalışma ilk defa (Aktuğ, 2005) tarafından dile getirilmiş ve bu realizasyona TUREF (Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi) adı verilmiştir. ITRF tabanlı datum tanımlamalarında genel olarak ülkelerin İngilizce adlarının ilk birkaç harfi ile referans çerçevesi kelimesinin "ref" şeklinde kısaltması kullanılmaktadır. Örneğin Avrupa için EUREF, İsveç için SWEREF, Africa için AFREF. Türkiye kelimesi ile Turkey sözcüklerinin ilk iki harfinin aynı olması ve "reference" sözcüğünün Türkçe'de referans olarak kullanılması nedeniyle TUREF hem Türkçe hem de İngilizce olarak kullanılabilir. TUREF ile;

- Referans epoğu kavramı tek anlamlı tanımlanmakta
- Farklı ITRS sürümlerinden (ITRF-97, ITRF-2000, ITRF-2005, ITRF-2008) elde edilmiş sonuçların ulusal boyutta aynı sistemde ifade edilmekte
- Önceki yıllarda üretilmiş harita ve harita bilgileri ile geçmişe dönük uyumluluk sağlanmaktadır.

Ülkemizde haritacılık ölçü ve faaliyetlerine yönelik ilk önemli düzenleme 1974 yılında yürürlüğe konulan 1/2500 ve daha Büyük Ölçekli Harita ve Planların Yapımına Ait Yönetmelik olmakla birlikte bu yönetmelik ile oluşturulan nirengi ağları birbirinden ülke nirengi ağına bağlı değildir. 1988 yürürlüğe giren Büyük Ölçekli Haritaların Yapım Yönetmeliği ile Yer kontrol noktalarının ülke jeodezik ağına bağlanması zorunlu hale getirilmiştir. Bu kapsamda, müteakip üretilen sıklaştırma ağları ve haritalar ED-50 datumunda tanımlanmıştır.

Bu anlamda, ülkemizin ITRF (International Terrestrial Reference Frame) tabanlı modern jeodezik datumu TUREF ile ED-50 datumu arasındaki dönüşüm ilişkilerinin yüksek duyarlılığı belirlenmesi, geçmiş yıllarda ED-50

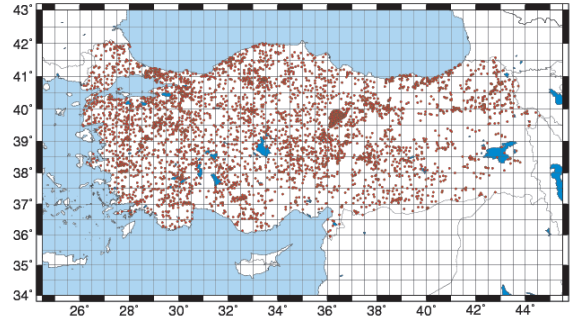


datumunda üretilen jeodezik noktaların ve haritaların kullanılabilirliği, yeni yapılan çalışmalar ile uyumlu hale getirilmesi anlamında büyük önem taşımaktadır. TUTGA ve TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GPS İstasyonları Ağı-Aktif) ile sağlanan yüksek duyarlığın eski kadastral verilere aktarılması ancak yüksek duyarlıklı dönüşüm parametreleri ile olanaklıdır.

Bununla beraber, kadastral çalışmaların datum konusundaki sorununun dönüşümlerle sınırlı olmadığını belirtmekte yarar bulunmaktadır (Aktuğ vd., 2009). Günümüzdeki kadastral paftaların sadece %5'i ITRF tabanlı datumdur. Bunun yanında kadastral paftaların %20'ye yakını için hiçbir datum bulunmamakta (koordinatsız), %20'den fazlası ise ülke datumundan bağımsız olarak yerel olarak tanımlanmış bir datumda yer almaktadır. Bu kapsamda ED-50 datumundaki paftalar tüm kadastral paftaların sadece %55'ini oluşturmaktadır. Diğer yandan bu paftaların sadece %30'u sayısal formattadır (Şahin, 2009). Yarısından fazlası ise kutupsal, grafik ve prizmatik yöntemle üretilmişlerdir (Şahin, 2009). Sonuç olarak kadastral paftaların datum ve duyarlık sorunu ED-50 datumundan TUREF'e dönüşümden çok daha farklı sorunlar içermektedir.

### 3. 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 yerlerde ED-50 datumunda koordinatları bilinen yatay kontrol ağı noktaları ayrıca Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) yöntem ile ölçülmüş ve TUREF koordinatları belirlenmiştir. 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.

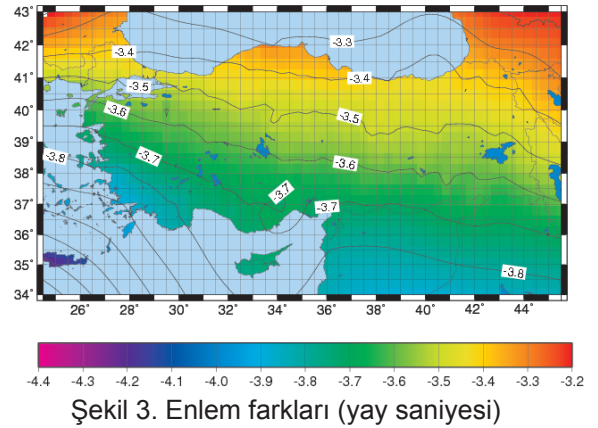


Şekil 2. GPS Ölçüsü bulunan yatay kontrol ağı noktaları (Grid çizgileri 1/100.000 ölçekli pafta bölümlenmesini göstermektedir)

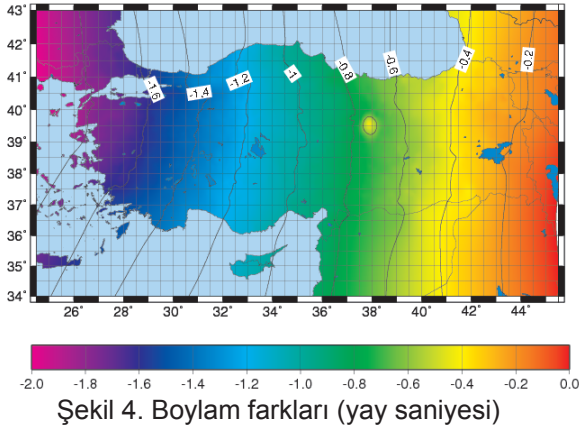
Oluşturulan ortak nokta kümesinde, özellikle Harita Genel Komutanlığı dışındaki kamu kuruluşlarından temin edilen noktaların çoğunun ED-50 ve ITRF-96 datumlarında yükseklikleri bulunmamaktadır. Klasik jeodezik kontrol ağlarının yapısal olarak iki boyutlu olması nedeniyle hüresel dönüşüm eşitlikleri de iki boyutlu olarak hesaplanmaktadır. Her iki datumdaki coğrafi koordinatlar arasındaki farklar enlem ve boylam için sırasıyla Şekil 3 ve Şekil 4'de gösterilmektedir.

### 4. ÜÇ BOYUTLU DÖNÜŞÜM

Dönüşüm için her iki sistemde koordinatları belirli noktalar farklı kamu kurum ve kuruluşlarından derlenerek oluşturulmuştur.



Şekil 3. Enlem farkları (yay saniyesi)



Şekil 4. Boylam farkları (yay saniyesi)

Söz konusu noktaların çok büyük bölümünün sadece yatay koordinatları bulunmaktadır. Diğer yandan Yatay Kontrol Ağı'nın üst dereceli noktalarının önemli bölümünün yükseklikleri trigonometrik yöntemle belirlenmiştir. Yüksekliği geometrik nivelman ile belirlenmiş noktalar için ise elipsoid yüksekliğine dönüşüm için gerekli ED-50 datumundaki jeoidin duyarlılığı yeterli olmamaktadır (Ayhan ve Alp, 1994). 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 tanımlı koordinatlar ile yapılamamaktadır. Diğer bir ifade ile ED-50 datumundaki noktaların ortometrik yükseklikleri yüksek hassasiyetle bilirse dahi bu ortometrik yükseklikler elipsoid yüksekliğine dönüştürüldüklerinde yatay koordinat bileşenlerine göre çok daha az duyarlı olmaktadır.

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 (Aktuğ, 2008) ve (Aktuğ, 2009)'da aşağıdaki şekilde ayrıntılı olarak açıklanmış olup 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 (Soler, 1976; Aktuğ, 2008; Aktuğ, 2009):

$$\mathbf{X}_c = \mathbf{T}_{i,c} + (1 + s_{i,c}) \mathbf{R}_{i,c} \mathbf{X}_i \quad (1)$$

Burada; alt indisler " $i,c$ " dönüşüm parametrelerinin yönünü  $i$ 'den  $c$ 'ye şeklinde ifade etmekte olup,  $\mathbf{X}$  konum vektörü,  $s$  ölçek faktörü,  $\mathbf{T}$  öteleme vektörü ve  $\mathbf{R}$  de üç ortogonal dönüklükten oluşan birleştirilmiş dönüklük matrisidir. Genel olarak birleştirilmiş dönüklük matrisi, küçük açılara bağlı olarak trigonometrik fonksiyonlar yardımıyla sadeleştirilir (Aktuğ, 2009). Bu model genel olarak yersel datumlar için kullanılan modeldir. (1) eşitliğindeki öteleme vektörü ve dönüklük matrisi açık olarak;

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} \text{ ve } \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 0 & -R_3 & R_2 \\ R_3 & 0 & -R_1 \\ -R_2 & R_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

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

$$\Xi = \Xi_0 + \delta \quad (3)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada;  $\Xi_0$  dönüşüm parametrelerinin yaklaşık değerlerini,  $\Xi$  dönüşüm parametrelerini,  $\delta$  dengeleme ile dönüşüm parametrelerinin yaklaşık değerlerine gelecek düzeltmeyi ifade etmektedir. (1) eşitliğine göre herhangi bir  $i$  noktasının kartezyen koordinatlarının datum dönüşüm parametrelerine göre kısmi türevleri;

$$J_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_i & 0 & -z_i & y_i \\ 0 & 1 & 0 & y_i & z_i & 0 & -x_i \\ 0 & 0 & 1 & z_i & -y_i & x_i & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

şeklinde yazılabilir. Yerel koordinat sistemi ile Kartezyen koordinat sistemi arasındaki dönüşüm için noktaların yerel koordinat sisteminin sistemin merkez noktasına Kartezyen koordinat farkları kullanılmaktadır. Bu şekilde her bir nokta için yerel bir koordinat sistemi oluşur. Kartezyen koordinat farkları Aynı  $i$  noktası için Kartezyen koordinat farklarından yerel koordinatlara dönüşüm;

$$E^i = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_i & \cos \lambda_i & 0 \\ -\sin \phi_i \cos \lambda_i & -\sin \phi_i \sin \lambda_i & \cos \phi_i \end{bmatrix} \quad (5)$$

şeklinde (Aktuğ, 2005; Aktuğ, 2007). (5) eşitliği global jeodezik sistemden yerel koordinat sistemine dönüşümü sağlamaktadır. Ayrıca, (5) eşitliğinin kullanılması yükseklik değerlerinden bağımsız bir üç boyutlu model elde edilmesini de sağlamaktadır. Ancak, bu dönüşüm doğrudan koordinatlar yerine koordinat farklarını yerel sisteme (yatay koordinatlara) dönüştürdüğünden, kullanılacak matematiksel modelin de uygun şekilde yeniden düzenlenmesi gerekmektedir. Buna göre En Küçük Kareler (EKK) yöntemiyle yapılacak bir dolaylı (parametrik model) uygulamasında, matematiksel model;

$$r = RJ\delta + R(J\Xi_0 + x_1 - x_0) \quad (6)$$

biçiminde ifade edilebilir. Burada  $x_1 - x_0$  vektörü her iki sistemdeki arasındaki koordinat bileşenleri arasındaki farkları ifade etmektedir. (Aktuğ, 2006) tarafından gösterildiği üzere (5) dönüşü ile elde edilen yerel koordinatlar yerel koordinat sisteminin merkezine çok duyarlı değildir. Bu nedenle her bir nokta için düzenlenen (5) eşitliği kullanılan elipsoide bağlı değildir. (6) eşitliğinin ikinci terimi kapanma (misclosure) vektörü iken, ilk terim katsayılar matrisi ve bilinmeyen vektörünü içermektedir. (6) eşitliğinin EKK prensibine göre çözümüyle Helmert Dönüşüm parametreleri;

$$\hat{\Xi} = (J^T E^T E J)^{-1} J^T E^T E (J\Xi_0 + x_1 - x_0) \quad (7)$$

şeklinde. Elde edilen dönüşüm parametrelerinin kofaktör matrisi ise;

$$C_{\hat{\Xi}} = (J^T E^T E J)^{-1} \quad (8)$$

biçiminde elde edilir. Bu şekilde EKK ile yapılan çözümde karelerin minimizasyonu, standart Helmert Dönüşümündeki gibi Kartezyen koordinat sisteminde değil, iki boyutlu toposentrik bir sistemde yapılmıştır. Yüksekliklerin mevcut olmadığı veya mevcut olsa dahi güvenilir veya duyarlılığı olmadığı durumlarda izlenilebilecek diğer bir yaklaşım ise yükseklikler için öncül (a priori) bir yaklaşım değer vererek ağırlıklarını yataya göre fazlaca düşürmektir. Bu yaklaşım ile burada izlenen yöntem teorik olarak yüksekliklerin

hataları sonsuz alındığında aynı sonucu verecektir. Ancak pratikte çok daha küçük öncül hatalar verilerek buradaki ile aynı sonucu elde etmek olanaklıdır. Elde edilen sonuçların kontrolü ve önceki sonuçlarla karşılaştırılması amacıyla, Ayhan ve Kılıçoğlu (1995), Fırat ve Lenk (2002), Ayhan vd. (2002) ve İKÜ (2010) tarafından hesaplanan parametreler ile 4024 adet noktanın koordinatları hesaplanmış ve mevcut koordinatlarıyla karşılaştırılarak Karesel Ortalama Hataları (KOH) bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo 1. Farklı dönüşüm parametreleri ve karesel ortalama hataları

Model	Birim	1	2	3	4
T <sub>x</sub>	(m)	-83.849	-84.831	-159.223	-158.785
T <sub>y</sub>	(m)	-101.656	-103.972	-108.989	-109.965
T <sub>z</sub>	(m)	-129.463	-127.449	-49.411	-50.768
S	(ppm)	0.9498	1.0454	-5.2999	-5.1814
R <sub>x</sub>	(")	-0.0183	0.1715	1.4320	1.4275
R <sub>y</sub>	(")	0.0003	0.0000	-3.1180	-3.0873
R <sub>z</sub>	(")	-0.4528	-0.3995	0.5820	0.5505
KOH	(m)	1.4	1.1	1.1	1.1

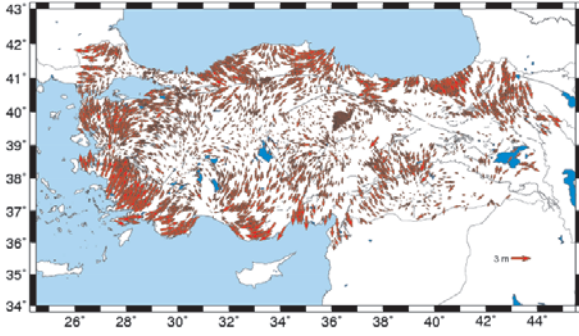
1. Sütun: Ayhan ve Kılıçoğlu (1995)  
2. Sütun: Fırat ve Lenk (2002), Ayhan ve diğ. (2002)  
3. Sütun: İKÜ (2010)  
4. Sütun: Bu çalışma

(6) ve (7) eşitlikleri kullanılarak yapılan dengeleme ile elde edilen parametrelerin üç boyutlu dönüşüm parametreleri olmakla birlikte dönüşümün kendisinin aslında iki boyutlu olduğuna dikkat edilmelidir. Datum dönüşüm parametreleri ve hata sınırları ise Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Dönüşüm parametreleri ve hataları

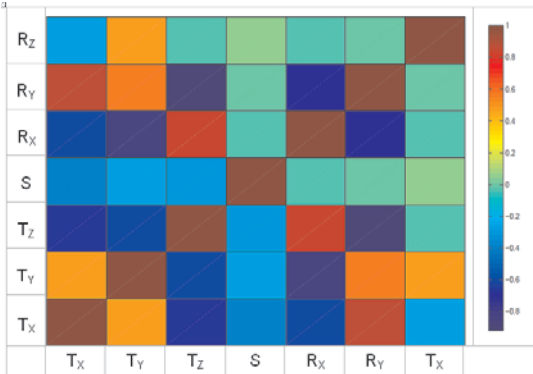
Model	Birim	Parametre.	$\sigma$
T <sub>x</sub>	(m)	-158.785	$\pm 0.334$
T <sub>y</sub>	(m)	-109.965	$\pm 0.281$
T <sub>z</sub>	(m)	-50.768	$\pm 0.444$
S	(ppm)	-5.1814	$\pm 0.0323$
R <sub>x</sub>	(")	1.4275	$\pm 0.0119$
R <sub>y</sub>	(")	-3.0873	$\pm 0.0150$
R <sub>z</sub>	(")	0.5505	$\pm 0.0065$

Dengeleme sonucu ölçülere gelen düzeltmelerin sistematik bir karaktere sahip olduğu gözlenmiştir. Düzeltmelerin dağılımı Şekil 5'de verilmektedir. Üç boyutlu dönüşümde noktaların dağılımı ve parametrelerin güven sınırlarının sağlıklı irdelenebilmesi için parametreler arasındaki korelasyonların da incelenmesi büyük önem taşımaktadır.



Şekil 5. Üç boyutlu Helmert Dönüşümü ile elde edilen artık değerler

(9) eşitliği ile bulunan kofaktör matrisinden elde edilen korelasyonlar Şekil 6'da 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, görel olarak küçük bir alanın (Türkiye), global bir koordinat sistemindeki eksenlerine göre öteleme ve dönüklüklerinin belirlenmesi nedeniyle oluşmaktadır. Doğrusal cebir olarak ifadesi ise ağ geometrisine bağlı olarak, kofaktör matrisinin kondüsyonu ile ilgilidir.



Şekil 6. Datum dönüşüm parametrelerinin korelasyon matrisi

## 5. İKİ BOYUTLU HÜCRESEL DÖNÜŞÜM

İki boyutlu hücresel dönüşüm parametrelerinin belirlenmesinde kullanılacak yöntemlerin etkinliklerinin 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).

Hücresel 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 noktalardaki değerler kullanılarak bu noktadaki değer ara değerlendirme (interpolation) yardımıyla kestirilmektedir. Bu şekilde her bir nokta ayrı ayrı girdi kümesinden çıkarılarak kestirildiğinde, her bir nokta için hata değeri;

$$\text{Kestirim Hatası} = \text{Kestirilmiş Değer} - \text{Gerçek Değer} \quad (9)$$

eşitliği ile bulunur. Bu yöntem, aynı zamanda ara değerlendirme yapılan verilerin mekansal 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 Kare Ortalama Hata (KOH) ise, ara değerlendirme ile dönüştürülecek koordinatların doğruluğu için bir ölçüt teşkil etmektedir.

Hücresel 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 kestirim hataları çapraz-doğrulama yöntemiyle elde edilmiş olup, sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. Çapraz Doğrulama istatistikleri

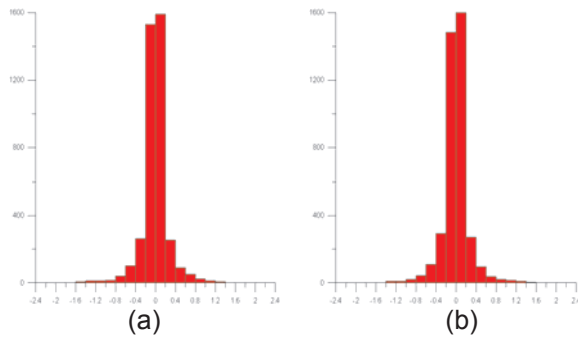
	Minimum Eğrilik		Kriging	
	Boylam Yönünde (m)	Enlem Yönünde (m)	Boylam Yönünde (m)	Enlem Yönünde (m)
En küçük	-13.78	-5.55	-2.14	-1.67
En büyük	2.65	1.72	1.96	1.60
Aralık	16.43	7.27	4.10	3.27
Ortalama	-0.004	-0.002	-0.0001	-0.0007
Ortanca	0.004	0.005	0.0017	0.0018
Varyans	0.13	0.08	0.07	0.07
Ortalama Sapma	0.17	0.16	0.15	0.15
Standart Sapma	0.36	0.28	0.27	0.26



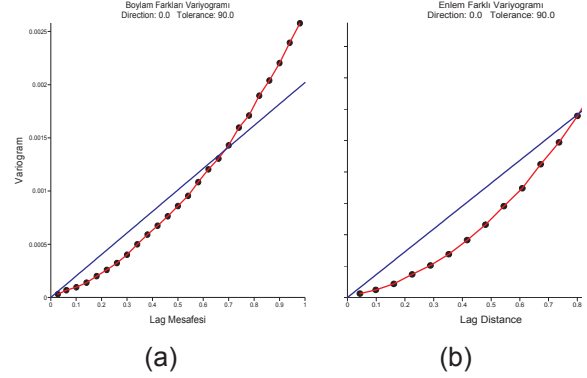
Enlem ve boylam yönündeki hesaplamalar, Kriging yönteminin En Küçük Eğrilik yöntemine göre daha iyi sonuç verdiğini, kestirim hatasının daha küçük olduğunu göstermektedir. Kriging yöntemiyle elde edilen kestirim hatalarına ait histogram ise Şekil 7'de verilmektedir. Kriging yöntemi yönlü (anisotropic) verilerle ara değerlendirme 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 8'de gösterilmiştir.

En Küçük Eğrilik Yöntemi (EKEY/Minimum Eğrilik Yöntemi), tam (exact) bir ara değerlendirme 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) gerçeğe daha yakın olduğundan bahsedilebilir.

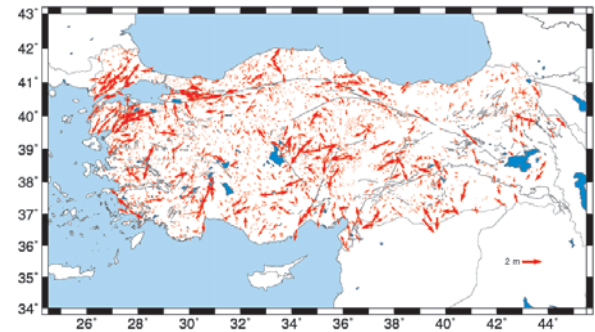


Şekil 7. Kriging yöntemi ile Çapraz-doğrulama sonucu elde edilen metre biriminde farklar (a) boylam yönünde (b) enlem yönünde



Şekil 8. Enlem ve boylam farkları için doğrusal varyogram 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 ortama 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 ara değerlendirme 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 9'da gösterilmektedir.



Şekil 9. Doğrusal varyogram 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.

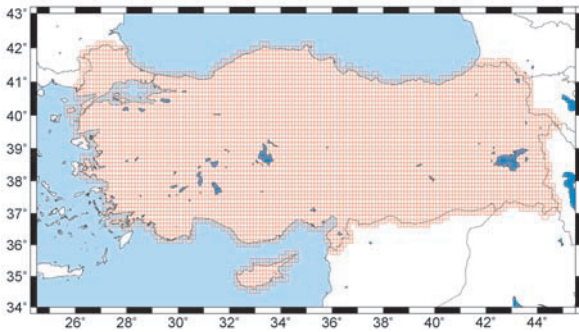


Tektonik etkilerin sınırlı olduğu İç Anadolu bölgesindeki yüksek farkları aktif fay sistemleri ile açıklanamamaktadır.

Kriging yöntemine karar verilmesinin ve çapraz doğrulama ile hataların analizinin ardından hücresel dönüşüm parametreleri hesaplanmıştır. Ortak noktalar arasındaki ortalama mesafeler ile uyumlu olarak sırasıyla boylam ve enlem yönünde  $0.13^\circ \times 0.10^\circ$  aralıklarla gridleme yapılmış olup, bu gridleme aralığı arazide yaklaşık 11 km x 11 km'lik hücrelere karşılık gelmektedir. Gridleme için  $25^\circ-45^\circ$  boylamları ile  $34^\circ-43^\circ$  enlemleri kullanılmıştır. 1/25.000, 1/50.000, 1/100.000, 1/250.000 ölçekli pafta orta noktalarında hücresel dönüşüm parametreleri enlem ve boylam için ayrı ayrı oluşturulan gridler ile hesaplanmıştır. Her bir pafta için hücresel dönüşüm parametrelerinin hesaplandığı 1/25.000 ölçekli paftalar Şekil 9'da gösterilmektedir.

## 6. 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 duyarlığa sahip bir jeoidin bilinmesiyle mümkündür. Diğer bir deyimle, Avrupa Datumu-1950'deki yüksekliklerin elipsoit yüksekliğine dönüşümü için bu datumda tanımlı jeoid ihtiyacı vardır.



Şekil 10. Datum dönüşümü ötelemeleri hesaplanan 1/25.000 ölçekli paftalar

Jeoid, elipsoide göre tanımlanan büyüklük olup, halihazırda ED-50 için ülkemizde mevcut tek jeoid astrojeodezik jeoid'dir (Ayhan ve Alp,

1994). 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.

Önceki çalışmalarda elde edilen dönüşüm parametreleri ile bu çalışmada elde edilenler karşılaştırıldığında, özellikle X ve Z eksenleri yönündeki ötelemelerde önemli farklılıklar bulunmaktadır. Bunun nedeni ise Şekil 5'de de açık olduğu üzere  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $R_x$  ve  $R_z$  parametreleri arasında mevcut olan 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 modelin daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

Hücresel 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. 2006, Global Jeodezik Referans Koordinat Sistemindeki Kovaryansların Kestirimi Üzerine Bir Yaklaşım, Harita Dergisi, Temmuz, 136.
- Aktuğ, B. 2007, Semianalytical Equations for transforming errors into a local geodetic frame, Journal of Surveying Engineering, 133, 98-105.

- 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).
- Aktuğ, B., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Cingöz, A., Özdemir, S. 2009, **Yersel Referans Çerçevesi ve Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF)**, Bakanlıklararası harita işlerini koordinasyon ve planlama kurulu (bhikpk) 1. Sempozyumu, 23-25 Şubat 2009, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara.
- AMS 1954, **The Adjustment of the first-order triangulation of Turkey**, Army Map Service, Vol. 1, AMS TS No. 6576.
- Ayhan, M.E., Alp, O. 1994, **Türkiye Astrojeodezik Jeoidi-1994 (TAG-94). Türk Haritacılığının 100. yılı TUJJB ve TUFUAB Kongreleri bildiri Kitabı**, 1-5 Mayıs, 307-320.
- Ayhan, M.E., C. Demir, O. Lenk, A. Kılıçoğlu, B. Aktuğ, M. Açıkgöz, 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](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.
- Erokan, M. 1966, **Türkiye Ana Nirengi Şebekesi**, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 4, Mayıs, 1966.
- Fırat, O., Lenk, O. 2002, **Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA99A) ile Avrupa Datumu 1950-(ED-50) Arasındaki Dönüşüm**, TUJK 2002 Yılı Çalıştay: Tektonik ve Jeodezik Ağlar Çalıştay, 10 – 12 Ekim 2002, İznik.
- İKÜ 2010, **Ulusal CORS Sisteminin Kurulması ve Datum Dönüşümü Projesi**, CORS-TR Datum Dönüşüm Raporu, İstanbul.
- Kitanidis, P.K. 1997, **Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology**. Cambridge University Press, Cambridge, 249 pp.
- Soler, T.1976, **On differential transformations between Cartesian and curvilinear (geodetic) coordinates.** Report No. 236, Dept. of Geodetic Science, Ohio State Univ., Columbus, Ohio.
- Şahin, N. 2009, **Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünün faaliyetleri**, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Eğitim Seminerleri, 3-7 Mart 2009, Afyon.