

## INSPIRE Direktifi Kapsamında Avrupa Yersel Referans Sistemi-1989 ve Türkiye Ulusal Referans Çerçevesinin İncelenmesi

(Investigation of European Terrestrial Reference System-1989 and Turkish National Reference Frame within INSPIRE Directive)

**Bahadır AKTUĞ, Ali KILIÇOĞLU, Onur LENK**

Harita Genel Komutanlığı, Jeodezi Dairesi Başkanlığı 06100 Dikimevi, Ankara  
bahadir.aktug@hgk.mil.tr

### ÖZET

Avrupa Yersel Referans Sistemi-89 (ETRS-89) levha tabanlı bir referans sistemi olup, ITRF-89'a dayalı olarak tanımlanmıştır. Avrupa kıtasının çok büyük bir bölümü Avrasya levhasında yer aldığından, genel Avrupa coğrafyasına göre uygun sayılabilecek söz konusu referans sisteminin, ülkemizde uygulanmasında tektonik özelliklerden kaynaklanan bazı sınırlamalar mevcuttur. Avrupa Coğrafi Bilgi Altyapısı (INSPIRE) direktifi referans çerçeveleri konusunda çeşitli standartlar getirmekle birlikte söz konusu standartların ülkemizde zaman zaman yanlış veya eksik yorumlandığı gözlenmektedir. Bunun yanında, ülkemiz ulusal referans çerçevesi TUREF (Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi) ise ITRF-96'ya dayalı olup, ETRS-89 ile olan dönüşüm ilişkilerinin ele alınmasında yarar görülmektedir. Zira, ETRS-89 ile TUREF arasındaki farklar ITRF-96 ile ITRF-89 arasındaki dönüşüm parametrelerine ve bunların yıllık değişimlerine, Avrasya levhasının SND (Sıfır-Net-Dönüklük) koşulunu sağlayan bir çerçevedeki dönüklüklerine ve referans epoğuna bağlı olarak değişmektedir.

Bu çalışmada INSPIRE direktifi referans çerçeve tanımlaması ve Türkiye açısından incelenmiş, ETRS-89 ile ITRF-96 ilişkisi açıklanmış ve son olarak da TUREF ve ETRS-89 arasındaki farklara değinilmiştir. Elde edilen sonuçlar ITRF-96 ile ITRF-89 arasındaki farkların Türkiye ve çevresinde yukarı, sağa ve yükseklik bileşeni için sırasıyla 8, 2 ve 1.5 cm dolayında olduğunu buna karşın Avrasya levha hız modelinin koordinatlar üzerindeki yıllık etkisinin ise yukarı bileşeninde 24-26 mm/yıl iken sağa bileşeninde 10-15 mm/yıl arasında değiştiğini ortaya koymaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** ETRS, ITRF, datum dönüşümü, referans koordinat sistemleri, datum dönüşüm parametreleri.

### ABSTRACT

European Terrestrial Reference System-89 is plate-fixed reference system which is based on ITRF-89. While this reference system could be considered appropriate due to the fact that most of the European continent takes place in Eurasia plate, it has certain limitations in Turkey in terms of applicability arising from the geographic location. Although INSPIRE directive put standards on reference frame, sometimes it is observed that these directives are misinterpreted.

On the other hand, our national reference frame TUREF is based on ITRF-96 and it is considered useful to investigate the transformation equations to ETRS-89 since the differences between two systems depend on the transformation parameters between ITRF-96 and ITRF-89 and their annual rates, the rotation of Eurasia with respect to a No-Net-Rotation frame and the reference epoch.

In this study, INSPIRE directive was investigated in terms of reference frames and applicability in Turkey, the functional relation between ETRS-89 and ITRF-96 is examined and the differences between ETRS-89 and TUREF were explored. The results show that while the differences between ITRF-96 and ITRF-89 is at the order of 8 cm, 2 cm and 1.5 cm for the north, east and up components, respectively, the effect of Eurasia plate model on Turkey is about 24-26 mm/yr and 10-15 mm/yr for the North and east components.

**Key Words:** ETRS, ITRF, datum transformation, reference frames, datum transformation parameters.

### 1. GİRİŞ

Avrupa Birliği (AB) tam adayı ülkemizde farklı fasıllarda devam eden uyum çalışmalarıyla ülkemiz jeodezik altyapısının mevcut AB standartlarıyla uyumlu olup olmadığı konusunda çeşitli soruları beraberinde getirmektedir. Özellikle, tam üyelik müzakerelerinin 2005 yılında başlaması ile birlikte mevcut altyapı ve uyum ile ilgili konular daha popüler hale gelmiş, farklı alanlarda olduğu gibi jeodezi ve coğrafi bilgi teknolojileri alanında da uyum ile ilgili farklı yorumlar oluşmuştur. Söz konusu müzakere sürecinin Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı (TUTGA) koordinat ve hızlarının yayınlanmasından (Ayhan vd., 2002) daha sonra başlaması ise kullanılan referans çerçevesinin Avrupa Birliği standartlarıyla uyumu konusundaki yorumları daha da artırmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin gelişmesiyle birlikte gerekli jeodezik altyapı da zaman zaman sorgulanmaktadır (Aydinoğlu ve Yomralıoğlu, 2005).

Yersel ağılardan uzay tekniklerine dayalı ağlara geçiş sürecinde uzay teknikleriyle elde edilen koordinatların daha önce yersel ağılarda

kullanıldığı şekilde kullanılmasına çalışılmıştır. Bu kapsamda litosfere yapışık ve yerin ağırlık merkezine duyarlı modern referans çerçevelerine ait hız alanlarının bulunulan bölgedeki litosfere göre sıfır olacak şekilde seçilmesi düşünülmüştür. Bu şekilde koordinatlar yatayda herhangi bir epok düzeltmesi gerektirmeden kullanılabilir, düşey kontrol ağları ise nivelman ağları ile geliştirilecektir. Avrupa için böyle bir referans sisteminin tasarlanması, Avrupa'nın yarısından fazlasının bulunduğu Avrasya tektonik levhası ile olmuştur. Buna göre Avrupa Yersel Referans Sistemi-1989.0, Uluslararası Yersel Referans Çerçevesi-1989 ile 1989.0 epogunda çakışık ve Avrasya'nın deformasyondan uzak kısmının hareketi ile özdeş hız alanı olan bir referans sistemidir. Buna göre tanımı gereği Avrasya'nın deformasyon sınırları dışında kalan bölgelerinde yer alan noktalara ait koordinatların zamanla değişmediği bir referans sistemi tanımlanmıştır. Ancak, uzay teknikleriyle beraber daha önce büyüklüğü sayısal olarak tahmin edilemeyen fiziksel deformasyonlar yüksek duyarlılıkla belirlenmiş, uzay tekniklerine dayalı düşey kontrol ağı geliştirme çabaları artmıştır. Günümüzde, İskandinavya bölgesindeki buzul sonrası yükselme (GIA-Glacial Isostatic Adjustment-Post-Glacial Rebound), Alpler çevresindeki sıkışmaya bağlı deformasyonlar uzay tekniklerine yüksek duyarlılıkla belirlenebilmektedir. Benzer şekilde, ITRS'in yer dönme parametreleri ve zaman serilerini de içerecek şekilde gelişmesi ETRS-89'un gerçekleştirilmesi ile ilgili sorunları da beraberinde getirmiştir. Ölçüler birleştirilebilir. Jeodezik koordinat sistemi bunun için uygun bir koordinat sistemidir.

Söz konusu sorunların parametrelerin zamana bağlı değişimlerinden meydana geldiği değerlendirildiğinde, gelecekte sorunların artacağı beklenmektedir.

Avrupa Coğrafi Veri Altyapısını düzenleyen INSPIRE direktifi yatay bileşen için; ETRS-89'un coğrafi kapsama sınırları içinde ETRS-89'un kullanılmasını, dışında ise ITRS veya bununla uyumlu koordinat sistemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Burada "uyumlu" sözcüğü; kullanılan koordinat sisteminin ITRS'ye dayalı olarak tanımlanması anlamındadır. Coğrafi kapsama ile kastedilen ise Avrasya'nın kabuk deformasyonu etkisinden uzak (stabil) bölümleridir. Dolayısıyla, ETRS-89'un tüm AB ülkeleri için zorunlu bir yersel referans sistemi olarak kullanılması gerektiği şeklindeki düşünce söz konusu direktifin yanlış yorumlanmasından kaynaklanmaktadır. Diğer bir bakış açısı ise

zorunlu olmasa bile Türkiye'de ETRS-89'un ulusal referans sistemi seçilmesinin getireceği avantaj ve dezavantajlardır. Türkiye'de ETRS-89 kullanımının teknik avantaj ve dezavantajları yanında Avrupa Birliği tam üyelik adayı ülkemiz açısından idari ve hukuksal boyutları da bulunmaktadır.

Bu çalışma, benzer sorulara yanıtlar aramak ve yanlış bilinen bazı şüpheli noktaları ayrıntılı açıklamak amacıyla hazırlanmıştır.

## 2. AVRUPA COĞRAFİ VERİ ALTYAPISI

Avrupa Komisyonu tarafından, tüm Avrupa coğrafi veri altyapısını oluşturmak maksadıyla 2004 yılı Temmuz ayında INSPIRE (Infrastructure for spatial information in Europe) projesi önerilmiştir. Söz konusu proje, Avrupa Birliğinin çevre, ulaşım, enerji, tarım gibi politikasının planlanması ve icrasının iyileştirilmesi amacıyla birçok Avrupa Birliği üye ülkeleri tarafından elde edilen uydu görüntülerinden, sıcaklık ve yağmur ölçümlerine kadar birçok alandaki coğrafi veriyi bir havuzda toplamayı ve iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bu proje ile hava kirliliği, sel gibi siyasi sınırları olmayan sorunların çözümünde önemli yarar sağlanması düşünülmüştür (Çelik vd., 2003).

Proje, Avrupa Parlamentosu ve Avrupa Konseyi tarafından ayrı ayrı incelenmiş, teknik konular dışında, veri paylaşımının fikri haklar ve kamu kurum bütçelerindeki etkileri dışında mutabık kalınmıştır. Söz konusu noktalar, 21 Kasım 2006 tarihindeki toplantı ile çözümlenmiştir. Bu şekilde, INSPIRE projesi Avrupa Parlamentosunun ve Avrupa Konseyinin 2007/2/EC sayılı direktifi olarak, 25 Nisan 2007 tarihinde Avrupa Birliğinin resmi gazetesinde yayınlanmasını müteakip 15 Mayıs 2007 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Direktifin resmi gazetede yayınlanan orijinal AB (2009) adresinden ulaşılabilir. INSPIRE Referans Sistemleri Tematik çalışma Grubu tarafından uygulama kuralları (implementing rules) gereksinimlerinin açıklanması maksadıyla Temmuz 2004 tarihinde hazırlanan ve 19.12.2008 tarihinde yayınlanan Koordinat Referans Sistemlerinin Özellikleri Taslak Yönergesi ise yine aynı adresten temin edilebilir (INSPIRE\_Specification\_CRS\_v2.0.pdf). Bu yönerge Avrupa Parlamentosunun 2007/2/EC kararı ve Avrupa Konseyinin 14 Mart 2007 tarihli INSPIRE direktifine dayanarak hazırlanmıştır. Avrupa Parlamentosunun resmi görüşlerini yansıtmamaktadır ve herhangi bir hukuksal

sonuç doğuracak şekilde kullanılamaz. INSPIRE direktifi üye ülkelerden veri toplanmasını zorlamamakla birlikte üye ülkelerin kullanacakları verileri Uygulama Kuralları çerçevesinde hazırlamalarını öngörmektedir.

Söz konusu dokümana göre bir koordinat referans sistemi; INSPIRE direktifinde sayılan özel tematik konulara ait diğer bilgilere bağlantıyı sağlayan uzaysal çerçeveyi (frame) oluşturan referans veri (data) olarak açıklanmaktadır. Daha açık bir tanım ise “coğrafi bilginin uzayda jeodezik bir yatay ve düşey kontrol ağına bağlı olarak bir koordinat seti ile (enlem, boylam ve yükseklik veya X,Y,Z) tek anlamlı tanımlanması için kullanılan sistem” olarak verilebilir. INSPIRE yatay bileşen için; ETRS-89’un coğrafi kapsama sınırları içinde ETRS-89’un kullanıldığını, dışında ise ITRS veya bununla uyumlu koordinat sistemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Burada “uyumlu” sözcüğü; kullanılan koordinat sisteminin ITRS’ye dayalı tanımlanmış olmasını ve her iki sistem arasındaki ilişkilerin ISO 1911:2007 doğrultusunda açıklanmış ve belirlenmiş olmasını ifade etmektedir. Yükseklik bileşeni için de benzer şekilde ETRS-89’un kapsadığı coğrafi bölgede EVRS (European Vertical Reference System)’nin kullanılmasını diğer bölgelerde ise seçilecek bir düşey kontrol sisteminin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Düşey bileşen konusunda herhangi bir uyumluluk şartı bulunmamaktadır. Düşey datumlarda geometrik yerine fiziksel anlam daha önemli olduğundan ülkelerde kullanılan yükseklik sistemleri genellikle deniz seviyesine bağlıdır. Bunların arasındaki farkların 1 m’den daha düşük olması nedeniyle farklılıkların az olacağı veya kabul edilebilir olacağı öngörüldüğünde bir uyumluluk şartı aranmadığı değerlendirilmektedir.

### 3. AVRUPA YERSEL REFERANS SİSTEMİ

Koordinat referans sistemleri genel olarak aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır (Soler, 1976; Mueller, 1985):

- Jeodezik datumların tanımı için gerekli sabit katsayılar ve parametreleri tanımlar,
- Coğrafi bilginin uzayda bir koordinat seti ile (enlem, boylam ve yükseklik veya X,Y,Z) tek anlamlı tanımlanması için gereklidir.

Bu tanım doğrudan ISO 19111 standartları ile uyumludur:

- Bir koordinat sistemi nokta koordinatlarının matematik kurallara bağlı olarak nasıl atanacağını gösterir.

- Bir koordinat referans sistemi bir nesneye bir jeodezik datum ile bağlantılı bir koordinat sistemidir.

- Bir jeodezik datum; koordinat sisteminin başlangıç noktasının konumunu, ölçeğini ve yöneltmesini tanımlayan parametre veya parametre setidir.

İstenen koordinat referans sistemi yatay koordinatları (enlem ve boylam) açıklayan bir yatay jeodezik datum ve yükseklikleri açıklayan bir düşey datum tanımlanarak gerçekleştirilmektedir (Soler, 1998).

1990 yılında EUREF kararlarını takip eden Firenze toplantısı sonucunda 1. Karar olarak “IAG (International Association of Geodesy- Uluslararası Jeodezi Birliği) EUREF tarafından uygulanacak olan sistemin 1989.0 epochundaki ITRS ve Avrasya’nın deformasyona maruz olmayan bölümüne çakışık olmasını ve adının Avrupa Yersel Referans Sistemi 89 (ETRS-89) olmasını tavsiye etmiştir. Bunun üzerinde oluşturulan EUREF hem Uluslararası Yersel Referans Sistemi (ITRS) ile sıkı ilişkisini koruyacak hem de zamana bağlı değişimini asgari düzeyde tutacak şekilde tasarlanmıştır. ETRS temel olarak 1989.0 epochunda ITRF89 ile çakışık kabul edilmiş, referans sisteminin zamana bağlı değişimi ise Avrasya’nın stabil bölümüne göre tanımlanmıştır. SND (No-Net-Rotation-Sıfır-Net-Dönüklük) koşulu doğrudan kullanılmamakla birlikte Avrasya’nın stabil hareketini ifade etmek için yine SND’ye ihtiyaç duyulmaktadır (Altamimi vd., 2002; Altamimi vd., 2007). ETRS ile ITRS ilişkisi sıkı sıkıya korunduğundan yapılan çözümlerde her iki sistemdeki koordinat ve hızlar kullanılabilir. Avrupa’nın büyük bölümünün tektonik olarak stabil bir alanda yer aldığı göz önüne alındığında, Avrasya’ya göre tanımlanacak hız alanının, noktaların koordinat değişimini asgari düzeyde tutacağı açıktır. ETRS’nin sağladığı en büyük kolaylık ise, yeni veri gruplarıyla güncellenen ITRS çözümleriyle olan ilişkisi sayesinde farklı referans koordinat sistemlerinde (farklı ITRS sürümleriyle) gerçekleştirilmiş olan sonuçları doğrudan karşılaştırma olanağı sunmasıdır (Duquenne, 2008). Farklı ITRS sürümleri ile elde edilen ETRS-89 gerçekleştirmeleri ETRF-XX olarak adlandırılmaktadır (Boucher ve Altamimi, 2001; Boucher ve Altamimi, 2007). EUREF tarafından

ETRS-89'un Avrupa ve çevre ülkelerinde kullanılması ile ilgili bir anket düzenlenmiştir (Torres vd., 2008). Bu ankette toplam 41 ülke ile temas sağlanmış ve 28 ülkeden cevap alınmıştır. Buna göre 2 ülke benimsememiş, (% 7), 4 ülke yakın zamanda benimseyeceğini bildirmiştir (% 14) ve 22 ülke ise benimsemiştir (% 79). Benimsemeyen ülkeler Lüksemburg ve Türkiye'dir. (Torres vd. 2008) ve EUREF 2008 yılı sempozyumunda sunulan Ulusal Raporlardan derlenen bilgilere göre ETRS-89'un kullanım durumu Tablo 1'de verilmektedir.

Avrupa'nın büyük bir kısmında yatay koordinatlar için kullanılan CRS Avrasya tektonik levhasına bağlı olarak tanımlanmıştır. INSPIRE direktifi Avrasya tektonik levhasının sabit (stable) parçası dışında kalan bölgeleri olumsuz etkilediğinden CRS ile ilgili kuralların Avrasya sabit kısmında kalan bölgeler ile dışında kalan bölgeleri ayırt etmesi gereklidir. Kullanımda olan tüm ulusal düşey datumların Avrupa düşey datumuna bağlanması olanaklı olmadığından yükseklik bileşeni için de benzer bir kural geçerlidir. Burada neden olarak düşey datumların Avrupa düşey datumuna bağlantısının yapılamaması gösterilmektedir, bu nedenle bağlantı yapılması olanaklı ulusal düşey datumların bağlantısının yapılması gereklidir gibi bir anlam çıkarılabilir. Nitekim deniz aşırı ülkeler buna örnek gösterilmektedir. Ancak, burada tüm düşey datumların tek bir datuma bağlantısının sağlanarak kullanılması yerine tüm düşey datumlar arasındaki ilişkinin ortaya konulması daha önemlidir. INSPIRE direktifi CRS için gereksinim aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

- Yatay bileşen için INSPIRE; ETRS-89'un coğrafi kapsama sınırları içinde ETRS-89'un kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.
- ETRS-89'un coğrafi kapsama sınırları dışında ise ITRS veya bununla uyumlu koordinat sistemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.
- GRS80 elipsoid parametreleri enlem ve boylam ile uygun izdüşüm yöntemleri ile düzlem koordinatların hesabında kullanılmalıdır.
- Yükseklik bileşeni için INSPIRE; ETRS-89'un kapsadığı coğrafi bölgede EVRS'nin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır.

Yatay (ETRS-89) ve düşey (EVRS) bileşenler birlikte kullanıldığında ISO19111 standartlarına göre bir bileşik kelime olmakta ve ETRS-89/EVRS şeklinde kullanılmaktadır. Bu ise INSPIRE tarafından belirtildiği şekilde tek anlamlı 3-boyutlu koordinat tanımlaması ve konumlandırma (geo-referencing) olanağı sağlamaktadır. EUREF, yukarıda verilen uygulama kurallarının (IR-Implementation Rules) oluşumunda katkıda bulunmuştur. Ayrıca bu IR henüz yayınlanarak tartışmaya açıldığından ülkeler bu konudaki görüşlerini de bildirecektir. Türkiye olarak ulusal haritacılık kurumu olarak Harita Genel Komutanlığının da IR hakkında bir görüş oluşturarak bildirmesinin ve varsa istediği düzenlemelerin yapılmasını sağlaması gerekmektedir. Bu konuda jeodezi olarak ETRF89, TUREF ilişkisinin ve dönüşümlerinin açıklanması uygun olacaktır.

Tablo 1. ETRS-89 Kullanım durumu.

|                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kabul Eden Ülkeler<br>(28 ülke)                | Almanya, Avusturya, Belçika, Bulgaristan, Çek Cumhuriyeti, Danimarka, Ermenistan, Estonya, Finlandiya, Fransa, Hollanda, İngiltere, İspanya, İsveç, İsviçre, İtalya, İrlanda, Letonya, Litvanya, Macaristan, Moldova, Norveç, Polonya, Portekiz, Romanya, Slovenya, Slovakya, Ukrayna |
| Yakın zamanda kabul edecek ülkeler<br>(3 ülke) | Hırvatistan, Malta, Yunanistan                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Kabul etmeyen ülkeler<br>(2 ülke)              | Lüksemburg, Türkiye                                                                                                                                                                                                                                                                   |



#### 4. ETRS-89 VE TÜRKİYE İÇİN UYGULANABİLİRLİĞİ

Herhangi bir datumun belirli bir bölgede uygulanabilirliğinin araştırılması için datumun özelliklerinin açıklanmasının yararlı olacağı değerlendirilmiştir. Bu kapsamda öncelikle statik datumlar açıklanacaktır. Referans sistemleri kapsamında ETRS-89 statik bir referans çerçevesi olarak tanımlanmaktadır (Aktuğ, 2008). Statik referans çerçeveleri litosfere yapışık klasik ağlarda olduğu gibi tektonik levha hareketlerinden bağımsızdır. Bu tür referans çerçevelerine aynı zamanda yer kabuğu tabanlı (crust-based) datumlar da denilmektedir. Statik bir referans çerçevesi; belirlenen bir epokta tanımlanan ve bu datuma bağlı ağ nokta koordinatlarının zamana bağlı olarak değişmediği datumdur. Tektonik hareketlere duyarlı ölçü sistemleriyle koordinatların değişmediği bir referans çerçevesi ancak tüm noktaların tek bir levha üzerinde olması ve levha hızlarının datum tanımına eklenmesi ile olanaklıdır. Statik referans çerçeveleri aşağıdaki avantajları sağlamaktadır:

- Koordinatların zamanla değişmemesi,
- Hız vb. düzeltmeler içermemesi ve kestirim/enterpolasyon gerektirmemesi
- Pratik kullanım sağlaması,
- Her noktada hız bilgisi gerekmediğinden periyodik gözlem ihtiyacının az olması.

Bunun yanında statik referans çerçevelerinin tanımlanması ve kullanılmasıdaki temel problemler ise:

- Her bölgede uygulama olanağı bulunmaması,
- Tüm noktaların aynı levhada yer almaması,
- Noktaların yersel bir koordinat sistemine göre değişimlerinin sadece levha hareketleriyle açıklanamaması (levha içi deformasyonlar),
- Levha sınırlarının iyi bilinmesini gerektirmesi,
- Düşey hareketleri kapsamaması,
- Zaman içinde koordinatların fiziksel anlamından uzaklaşması,
- Levha hız modelinin güncellemesiyle koordinatların da güncellenmek zorunda kalması,
- Referans çerçevesini tanımlayan noktaların hızlarının levha hızlarını temsil edecek nitelikte olmak zorunda olması (koordinatları levha hareketlerine göre değişmeyen) (Aktuğ, 2008) şeklinde sayılabilir.

Statik referans çerçeveleri tek bir levha üzerinde yer alan ülkelerde koordinatların zamansal değişimi azaltmak için kullanılmaktadır. ETRS-89 dışında Avustralya Jeodezik Datumu-1994 (GDA-94) ya da Kuzey Amerika Datumu -1983 (NAD-83) örnek olarak verilebilir (Feathersone, 1996). Kıta Avrupasının büyük bölümü Avrasya levhası üzerinde olduğu düşünüldüğünde, Avrasya levhasına göre statik bir referans çerçevesi tanımlanmasının uygun bir seçim olduğu değerlendirilebilir. Benzer şekilde, statik datumların tanımlandığı coğrafyalarda olası deformasyon alanlarının sınırlarının iyi bilindiği, iyi bilinmese bile buradaki hızların ana kıtadaki hızlara göre nispeten küçük olduğu görülecektir.

Ülkemizdeki ulusal kontrol ağı üç tektonik levha üzerinde yer almaktadır. Avrasya, Anadolu ve Arap levhaları üç farklı statik referans çerçevesinin tanımlanabileceğini ortaya koymaktadır. Levha seçimine bağlı olarak oluşturulabilecek hız modelleri Şekil 1'de verilmektedir. Görüleceği üzere, bölgesel olarak koordinatların değişmediği hız modelleri oluşturmak olanaklıdır. Örneğin, Anadolu sabit bir hız modeli kullanıldığı takdirde Nevşehir'de, Avrasya sabit bir hız modeli kullanıldığı takdirde Zonguldak'da hız ve epok işlemlerine gerek olmaksızın koordinatlar kullanılabilir. Farklı hız referans çerçevelerine göre hızlar Şekil 1'de verilmektedir. Ancak buradaki en büyük problem hangi noktalarda hız/epok düzeltmesi yapılmasına gerek olup hangi noktalarda bu düzeltmelere ihtiyaç olmadığına tespit edilmesinin güçlüğüdür. Avrasya levhası için farklı verilerle elde edilen levha hız modellerine ilişkin ayrıntılı bir karşılaştırma (Aktuğ, 2003; Aktuğ vd., 2009)'da yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar farklı levha modellerinin hızlar üzerindeki etkisinin Ankara Sabit GPS Noktası (ANKR) için maksimum 5 mm/yıl olduğunu göstermektedir.

ITRF tabanlı herhangi bir referans çerçevesi ile ETRS-89 arasındaki koordinat farkları çeşitli faktörlere bağlıdır. Söz konusu referans çerçevesinin dayalı olduğu ITRS gerçekleştirimi ITRF-XX ve ITRF-XX'e dayalı olduğu epok  $t$  olsun. Buna göre bu referans çerçevesi ile ETRS-89 arasındaki koordinat farkları aşağıdaki faktörlere bağlı olarak açıklanabilir:

- a. ITRF-XX ile ITRF-89 arasındaki dönüşüm parametreleri
- b. ITRF-XX ile ITRF-89 arasındaki dönüşüm parametrelerinin yıllık değişimleri

c. Avrasya levhasının SND (Sıfır-Net-Dönüklük) koşulunu sağlayan bir çerçevedeki dönüklükleri

ç. (b) ve (c) maddeleriyle ilişkili olarak  $t$  epoğu

Herhangi bir ITRF-XX referans çerçevesinden ITRF-89'a olan dönüşüm parametreleri, EUREF tarafından düzenli olarak yayınlanmaktadır (Boucher ve Altamimi, 2001; Boucher ve Altamimi, 2007). ITRF2005'den ITRS-89'a olan dönüşüm parametreleri Tablo 2'de, dönüşüm parametrelerinin değişimi ise Tablo 3'de verilmektedir.

Ülkemizdeki ulusal referans çerçevesi TUREF'in ITRF-96 ile uyumlu olduğu dikkate

alındığında, yukarıda (b) ile ifade edilen değişimlerin Tablo 3'de sıfır olduğu görülmektedir (Aktuğ, 2005). Buna göre ITRF-96 ile ITRF-89 arasındaki dönüşüm eşitlikleri (d) maddesinde verilen referans epoğundan bağımsızdır. Referans çerçeveleri arasındaki fark nokta konumuna bağlı olarak değişmekle birlikte (Aktuğ, 2003; Aktuğ, 2008), ITRF-96 ile ITRF-89 arasındaki farklar Türkiye ve çevresinde yukarı, sağa ve yükseklik bileşeni için sırasıyla 8, 2 ve 1.5 cm dolayındadır. (c) maddesinde belirtilen ve Avrasya levha hızının SND koşulunu sağlayan bir çerçeveye göre dönüklüğü için kullanılan levha hız modeli ya da veriler nedeniyle her yeni çerçeve için farklı olabilmektedir.

Tablo 2. Farklı ITRF lerden ITRF-89'a olan dönüşüm parametreleri.

|           | $t_x$<br>(cm) | $t_y$<br>(cm) | $t_z$<br>(cm) | $s$<br>( $10^{-8}$ ) | $r_x$<br>(0.001") | $r_y$<br>(0.001") | $r_z$<br>(0.001") | Epok   |
|-----------|---------------|---------------|---------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------|
| ITRF-90   | 0.5           | 2.4           | -3.8          | 0.34                 | 0.0               | 0.0               | 0.0               | 1988.0 |
| ITRF-91   | 0.6           | 2.0           | -5.4          | 0.37                 | 0.0               | 0.0               | 0.0               | 1988.0 |
| ITRF-92   | 1.7           | 3.4           | -6.0          | 0.51                 | 0.0               | 0.0               | 0.0               | 1988.0 |
| ITRF-93   | 1.9           | 4.1           | -5.3          | 0.39                 | 0.39              | -0.80             | 0.96              | 1988.0 |
| ITRF-94   | 2.3           | 3.6           | -6.8          | 0.43                 | 0.0               | 0.0               | 0.0               | 1988.0 |
| ITRF-96   | 2.3           | 3.6           | -6.8          | 0.43                 | 0.0               | 0.0               | 0.0               | 1988.0 |
| ITRF-97   | 2.3           | 3.6           | -6.8          | 0.43                 | 0.0               | 0.0               | 0.0               | 1988.0 |
| ITRF-2000 | 3.0           | 4.2           | -8.7          | 0.59                 | 0.0               | 0.0               | 0.0               | 1997.0 |
| ITRF-2005 | 3.0           | 3.9           | -9.7          | 0.63                 | 0.0               | 0.0               | 0.06              | 2000.0 |

Tablo 3. Farklı ITRF lerden ITRF-89'a olan dönüşüm parametrelerinin hızı.

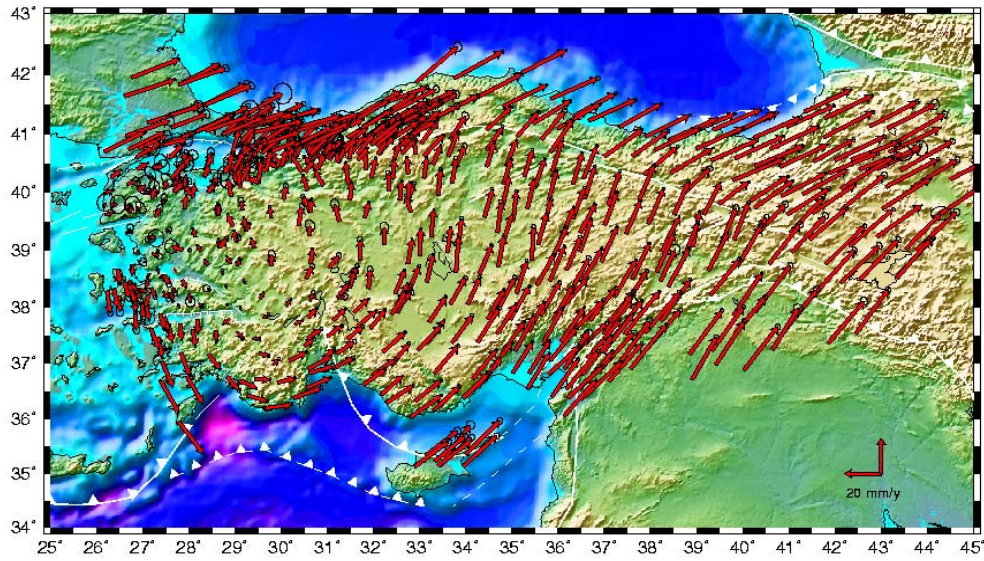
| ITRF      | $\dot{t}_x$<br>(cm/y) | $\dot{t}_y$<br>(cm/y) | $\dot{t}_z$<br>(cm/y) | $\dot{s}$<br>( $10^{-8}$ /y) | $\dot{r}_x$<br>(0.001"/y) | $\dot{r}_y$<br>(0.001"/y) | $\dot{r}_z$<br>(0.001"/y) |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ITRF-90   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                          | 0.0                       | 0.0                       | 0.0                       |
| ITRF-91   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                          | 0.0                       | 0.0                       | 0.0                       |
| ITRF-92   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                          | 0.0                       | 0.0                       | 0.0                       |
| ITRF-93   | 0.29                  | -0.04                 | -0.08                 | 0.0                          | 0.11                      | 0.19                      | -0.05                     |
| ITRF-94   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                          | 0.0                       | 0.0                       | 0.0                       |
| ITRF-96   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                          | 0.0                       | 0.0                       | 0.0                       |
| ITRF-97   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                   | 0.0                          | 0.0                       | 0.0                       | 0.0                       |
| ITRF-2000 | 0.0                   | -0.06                 | -0.14                 | 0.0                          | 0.0                       | 0.0                       | 0.02                      |
| ITRF-2005 | -0.02                 | -0.05                 | -0.32                 | 0.008                        | 0.0                       | 0.0                       | 0.02                      |

Tablo 4. Avrasya Levhasının farklı çerçevelerdeki dönüklükleri.

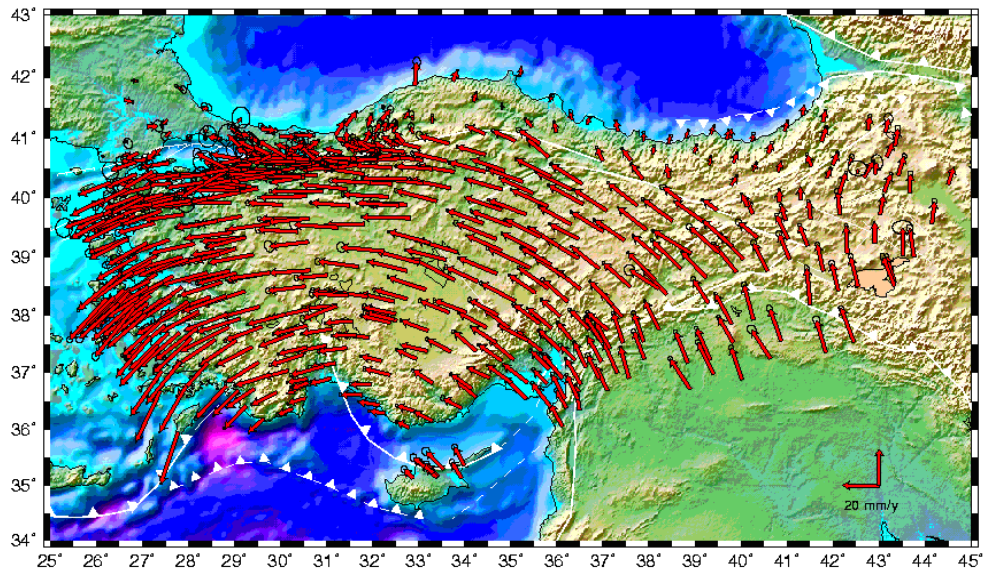
| ITRF      | $\dot{r}_x$<br>(0.001"/y) | $\dot{r}_y$<br>(0.001"/y) | $\dot{r}_z$<br>(0.001"/y) |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| ITRF-89   | 0.11                      | 0.57                      | -0.71                     |
| ITRF-90   | 0.11                      | 0.57                      | -0.71                     |
| ITRF-91   | 0.21                      | 0.52                      | -0.68                     |
| ITRF-92   | 0.21                      | 0.52                      | -0.68                     |
| ITRF-93   | 0.32                      | 0.78                      | -0.67                     |
| ITRF-94   | 0.20                      | 0.50                      | -0.65                     |
| ITRF-96   | 0.20                      | 0.50                      | -0.65                     |
| ITRF-97   | 0.20                      | 0.50                      | -0.65                     |
| ITRF-2000 | 0.081                     | 0.490                     | -0.792                    |
| ITRF2005  | 0.054                     | 0.518                     | -0.781                    |

ITRF-89 ile ITRF-2005 arasındaki tüm çerçevelerde kullanılan Avrasya levhası hız modelleri Tablo 4'de verilmektedir (Boucher ve Altamimi, 1996; Boucher vd., 1997). ITRF-89'a dönüştürülmüş bir çerçeve için kullanılan hız modeli ile Avrasya levhasının Türkiye'de koordinatlara etkisi yıllık olarak Şekil 2'de gösterilmektedir. Levha sınırlarından bağımsız olarak sabit levha modelinin Türkiye'deki uygulanabilme alanını görsel olarak vurgulayabilmek için Şekil 2 ile Şekil 1'de verilen

hız alanları karşılaştırılabilir. Görüleceği üzere Şekil 2'de verilen hız alanı ile Şekil 1(b)'de verilen hız alanı karşılaştırıldığında ülkemizde sadece küçük bir bölümde uyumluluk söz konusudur. Bu bölge Kuzey Anadolu Fay Sistemi (KAFS)'nin kuzeyinde kalan ve Avrasya levhasında olduğu kabul edilen kesimdir. Ancak, yine Şekil 1(ç)'de görüleceği üzere KAFS kuzeyinin tamamının Avrasya levhasında olduğunu kabul etmek gerçekçi bir yaklaşım olmayabilir.

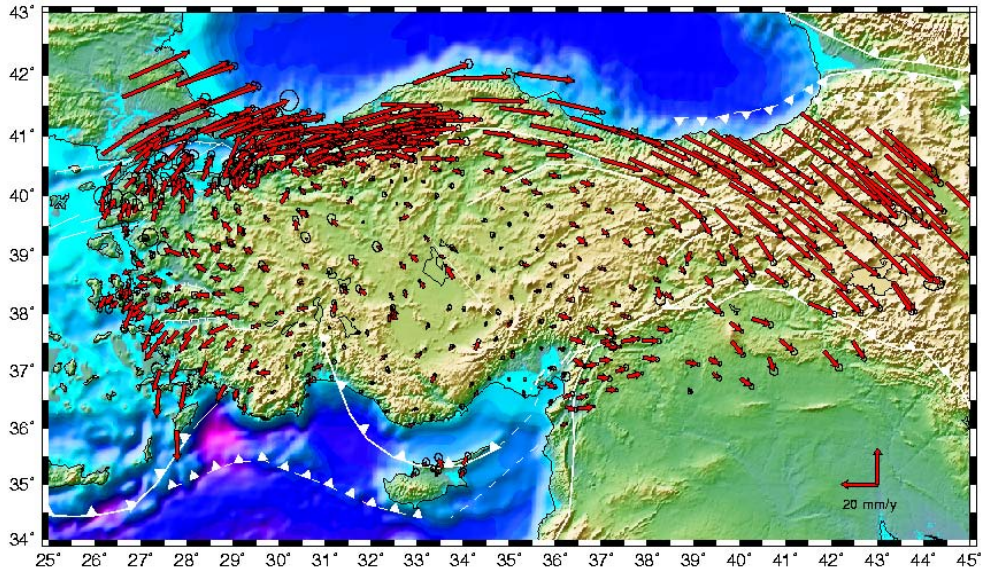


Şekil 1(a). Sıfır-Net-Dönüklüğe göre hız alanları.

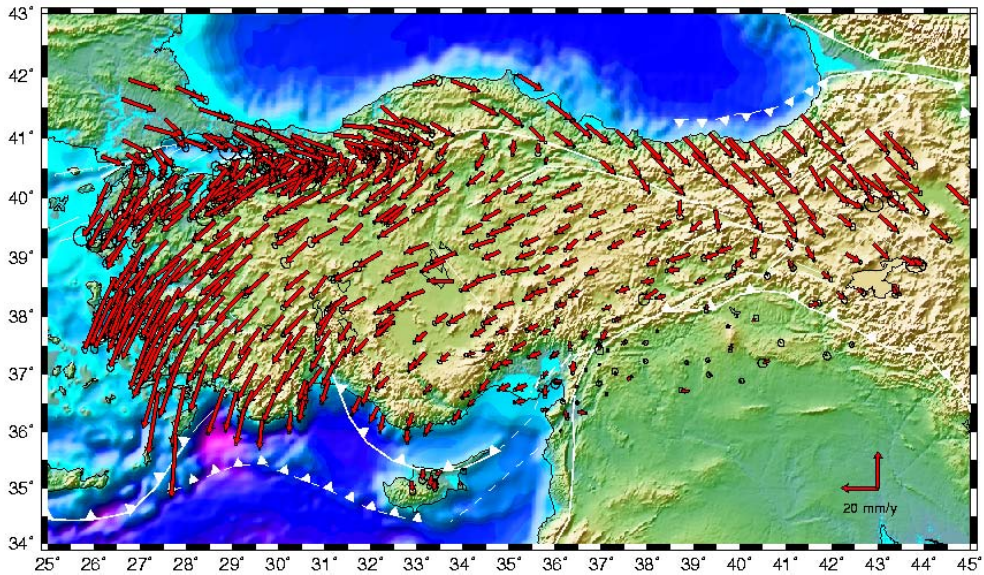


Şekil 1 (b). Avrasya-levhasına göre hız alanları.





Şekil 1 (c). Anadolu levhasına göre hız alanları.



Şekil 1 (ç). Arap levhasına göre hız alanları.

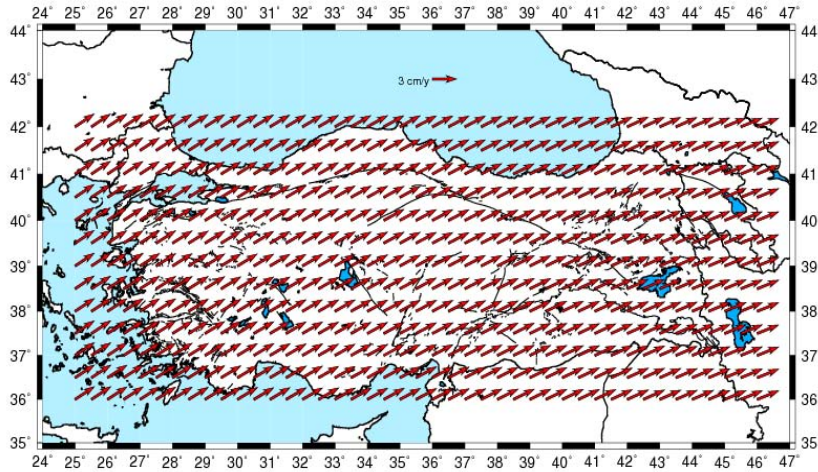
Şekil 1. Farklı hız modellerine göre hız alanları.

Zira Avrasya levhası çok büyük bir levha olup, Avrupa'nın ve Orta Asya'nın büyük kesimini kapsamaktadır. Sıkışma zonu içinde kalan KAFS'in kuzey kesiminin çok daha stabil Batı Avrupa ya da Orta Asya ile aynı hız alanına sahip olduğu kabul etmek ancak belirli duyarlık sınırları içinde olanaklıdır.

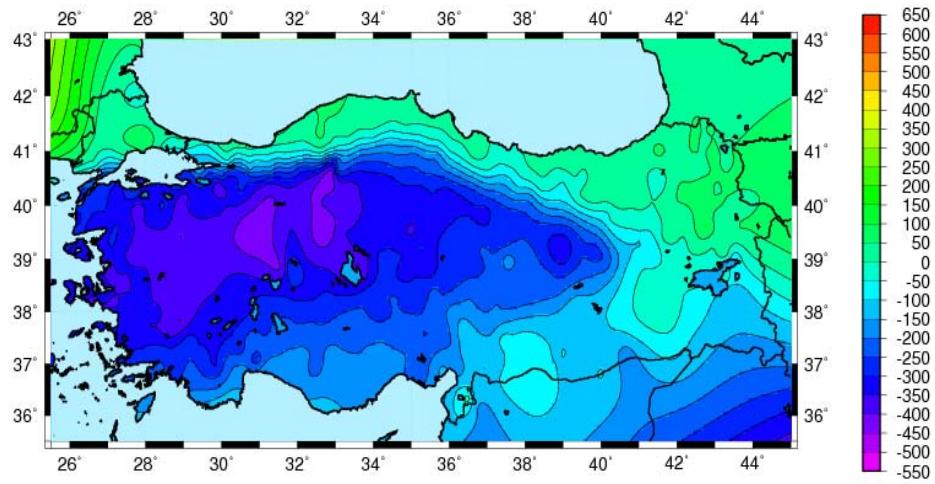
ETRS-89 ile TUREF arasında (c) ve (ç) maddelerine bağlı olarak Avrasya levha hızının koordinatlardaki 16 yıllık (2005.0 – 1989.0)

kümülatif etkisi, noktaların Avrasya levhasına göre hızlarının 16 yıl ile çarpılması sonucu bulunabilir. Şekil 3 ve Şekil 4'de söz konusu toplam etkinin sırasıyla sağa ve yukarı bileşenleri verilmektedir. Görüleceği üzere, Kuzey Anadolu Fay Sisteminin kuzeyinde dahi 10 cm'ye varan farklar söz konusudur. Diğer yandan söz konusu toplam etkinin çoğu zaman rijit olduğu kabul edilen İç Anadolu'da dahi homojen dağılmadığı gözlenmektedir.

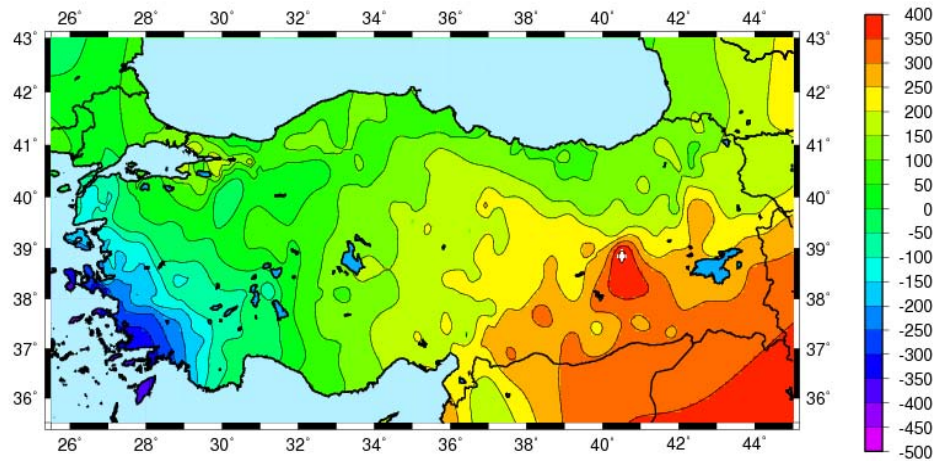




Şekil 2. Avrasya-levhasının hareketinin Türkiye'de koordinatlar üzerindeki yıllık etkisi.



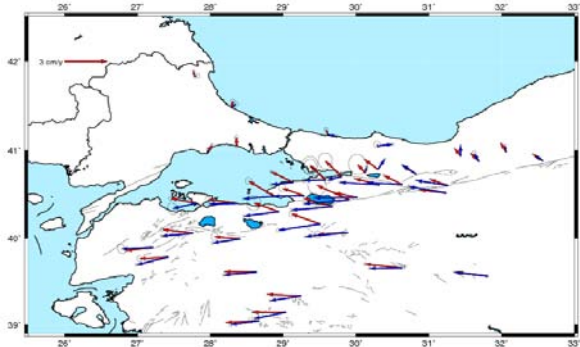
Şekil 3. ETRS-89 ile TUREF arasında Avrasya levhasına göre göreceli hareketten kaynaklanan koordinat farklarının sağa bileşeni (mm, 2005.0).



Şekil 4. ETRS-89 ile TUREF arasında Avrasya levhasına göre göreceli hareketten kaynaklanan koordinat farklarının yukarı bileşeni (mm, 2005.0).

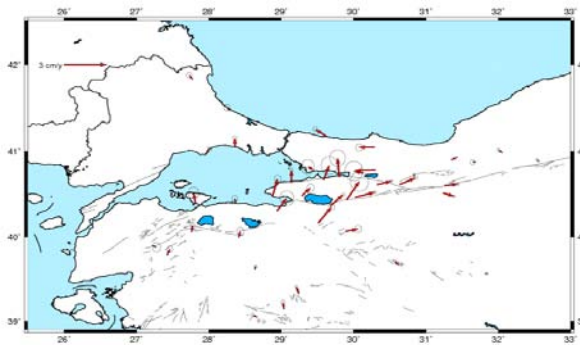
Söz konusu grafiklerden elde edilebilecek diğer önemli bir nokta ise genel olarak İç Anadolu ve yakın çevresinde doğu-batı yönünde değerlendirilen Avrasya-Levhasına göre hızların sağa bileşeninin de 10 cm ye varan etkilerinin olduğudur.

Şekil 2'de gösterildiği üzere, Avrasya levhasına bağlı bir referans çerçevesinde Avrasya levhasının yıllık hareketi oranında ITRF çerçevelerinden uzaklaşmaktadır.



Şekil 5. Marmara bölgesinde deprem öncesi ve sonrası Avrasya-sabit bir çerçevedeki hızlar. Mavi ve kırmızı vektörler sırasıyla deprem öncesi ve deprem sonrası doğrusal koordinat değişimlerini göstermektedir.

ETRS-89'un sabit levha varsayımı dışındaki diğer bir varsayımı ise nokta hızlarının doğrusal olduğu ve bu şekilde levha hızları ile modellenebileceğidir. Ancak, büyük depremlerin Avrasya levhasında yer alan bölgeler de dahil olmak üzere doğrusal olarak modellenmesinde sorunlar yaşanabilecek etkileri mevcuttur. Şekil 5'de Marmara Bölgesinin 1999 depremleri öncesi ve sonrasına ait hız alanları gösterilmektedir. Benzer şekilde iki hız alanı arasındaki farklar Şekil 6'da verilmektedir. Buna göre, özellikle İzmit depreminden sonra bölgedeki noktaların hız alanlarının değiştiği ya da söz konusu hızların doğrusal olmayan davranış içinde olduğu söylenebilir.



Şekil 6. Marmara bölgesinde deprem öncesi ve sonrası doğrusal hız modeli farkları.

## 5. SONUÇLAR

INSPIRE direktifi referans çerçeveleri üzerinde de çeşitli standartlar getirmektedir. Bu standartların iyi anlaşılması, ülkemizdeki ulusal referans çerçevesinin söz konusu standartlar ile olan ilişkisinin iyi belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Özellikle coğrafi bilgi sistemi çalışmalarında, INSPIRE direktifinin zaman zaman farklı yorumlandığı gözlenmektedir. Bu kapsamda ülkemizde oluşturulacak ulusal bir Coğrafi Bilgi Sisteminin jeodezik altyapısını teşkil edecek olan ulusal referans çerçevesi TUREF INSPIRE kapsamında incelenmiştir.

ETRS-89 statik bir datum olarak Avrasya levhasının hareketinin noktaların koordinat değişimlerini temsil ettiği varsayımına dayanmaktadır. Avrasya levhası Atlas Okyanusunun doğusundan Büyük Okyanusa kadar uzanan çok büyük bir levha olup, bu levhanın hareketi tekdüze değildir. Statik datuamlar, koordinatların zamanla değişmemesi, hız vb. düzeltmeler içermemesi, pratik kullanım sağlaması, her noktada hız bilgisi gerekmediğinden periyodik gözlem ihtiyacının az olması, hız kestirim/enterpolasyon gerektirmemesi gibi avantajlar sağlamaktadır. Bunun yanında ise her bölgede uygulama olanağı bulunmaması, tüm noktaların aynı levhada yer almaması, noktaların yersel bir koordinat sistemine göre değişimlerinin sadece levha hareketleriyle açıklanamaması (levha içi deformasyonlar), levha sınırlarının iyi bilinmesini gerektirmesi, düşey hareketleri kapsamaması, zaman içinde koordinatların fiziksel anlamından uzaklaşması, levha hız modelinin güncellemesiyle koordinatların da güncellenmek zorunda kalması, datumu tanımlayan noktaların hızlarının levha hızlarını temsil edecek nitelikte olmak zorunda olması (koordinatları levha hareketlerine göre değişmeyen) gibi çok önemli dezavantajlara da sahiptirler (Aktuğ, 2008).

INSPIRE direktifi ETRS-89'un tüm ülkeler tarafından kabul edilmesini zorunlu hale getirmemektedir. Buradaki koşul coğrafi "scope/kapsam" olarak belirtilen sınıfa giren ülkelerdir. Ancak, diğer ülkeler için de ETRS-89 ile ilişkisi kurulabilecek bir jeodezik referans çerçevesi şartı bulunmaktadır. Farklı referans çerçeveleri arasındaki dönüşümlerin küresel bir koordinat sisteminde elde edilmesi kolaylaşmış ve daha duyarlı hale gelmiştir (Aktuğ, 2009). Bu kapsamda, ITRF ile ilişkisi yüksek duyarlılık olarak belirli ve dolayısıyla ETRS-89 ile dönüşüm ilişkileri yüksek duyarlılık olarak hesaplanmış

Türkiye Ulusal Referans Çerçevesi (TUREF) INSPIRE direktifi ile tamamen uyumludur.

Diğer bir düşünce ise ITRF ve dolaylı olarak ETRS-89'u doğrudan ulusal referans çerçevesi olarak kabul etmektedir. Ancak, bu durum uygulamada çeşitli zorlukları da beraberinde getirmektedir:

- Ülkemizin ETRS-89'un sağlayacağı sabit levha avantajından yararlanacak bölümünün (Avrasya levhası) toplam yüzölçümüne göre çok sınırlı kalması,

- Söz konusu bölgenin sınırları net olarak bilinmemektedir. ETRS-89'un coğrafi kapsamında kalan bölgeler ile kalmayan bölgelerin ayrımı uygulamada problemler yaratacak ve hangi noktada hız düzeltmesi uygulanacağı ve hangi noktada uygulanmayacağı başlı başına bir sorun haline gelecektir.

- Benzer şekilde Avrasya-levhasında bugün stabil olarak tanımlanacak ve hız düzeltmesi yapılmayacak noktalar uzun dönemde distorsiyonlar meydana getirecektir.

- Farklı ITRS gerçekleştirmelerine bağlı olarak elde edilecek farklı Avrasya hız modelleri uzun dönemde uygulamada problemler yaratacaktır.

- Ülkemiz coğrafyasındaki yüksek deformasyonlar beraberinde ihmal edilemeyen düşey hareketleri de beraberinde getirmektedir. Bu anlamda, ETRS-89 koordinatlarının kullanılmasının epok/koordinat düzeltmesi işlemini ortadan kaldırmamaktadır.

- Koordinat ve hızların yer merkezli ve yer-sabit bir sistemde hesaplanması nedeniyle, düşey hızlar Kartezyen koordinat bileşenlerinin içinde yer almaktadır. Ancak Avrasya levha hız modelleri düşey hızlar ile ilgili herhangi bir bilgi içermemektedir. Bu anlamda, ETRS-89 koordinatlarının kullanılması için sadece düşey hızlar içeren ve karmaşık olabilecek epok düzeltmelerine ihtiyaç duyulacaktır.

- ETRS-89'un coğrafi kapsamında kalan bölgelerde de olası post-sismik davranışların yine beraberinde ek düzeltmeler içerecektir.

Bunların yanında, ETRS-89'un ya da başka bir referans çerçevesinin benimsenmesinin uygulamada meydana getireceği zorluk ve maliyetler söz konusudur:

- Ülkemizin ilk tesis kadastrounun yaklaşık %30'luk bölümü TUTGA ve dolayısıyla Türkiye Ulusal Referans Çerçevesine dayalı olarak üretilmiştir.

- Benzer şekilde bu dönemde ülkemiz doğal gaz ile tanışmış ve şehir şebekeleri dahil tüm jeodezik altyapı TUTGA'ya dayalı olarak üretilmiştir.

- Bakü-Tiflis-Ceyhan Boru hattı jeodezik altyapısı BOTAŞ tarafından TUTGA'ya dayalı olarak üretilmiştir.

- Ülkemizde Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgilerini Üretim Yönetmeliğinin 15 Temmuz 2005 tarihi itibarıyla yürürlüğe girmesinden sonra üretilen tüm harita ve harita bilgileri TUTGA'ya dayalı olarak üretilmektedir. Yönetmeliğin yürürlüğe girmesinden önce ulusal düzeyde yapılan birçok çalışma yine şartname öngörüsü çerçevesinde TUTGA'ya dayalı olarak yapılmaktaydı.

Sonuç olarak, ETRS-89'un ülkemizde ulusal bir referans çerçevesi olarak uygulanmasında idari ve mali sorunlar vardır. Sorun, jeodezik altyapının hangi referans çerçevesinde olması değil, küresel referans çerçeveleri (ITRF, ETRS-89) ile dönüşüm ilişkileri yüksek duyarlılık olarak kurulabilen bir referans çerçevesinde olmasıdır. Yaklaşık 17 yıllık kampanya tipi gözlemlere, yüksek duyarlılık IGS ürünlerine ve ITRF'e dayalı olarak oluşturulan TUREF uluslararası ağlar ile ilişkisi yüksek duyarlılık olarak belirlenmiş bir referans çerçevesi olup, TUSAGA ve TUSAGA-Aktif ile birlikte çok daha yüksek duyarlılık bir referans çerçevesi olarak hizmet verecektir.

Son olarak ETRS-89'un ülkemizde kullanılması ve uygulanması ile ilgili olarak teknik anlamda bir sorun bulunmadığının hatırlatılmasında yarar görülmektedir. Diğer yandan INSPIRE direktifinin AB üyesi tüm ülkelerde ETRS-89'e geçilmesini zorunlu kıldığı doğru olmayıp, ülkemizin özellikle Avrasya levhasına göre coğrafi konumu da göz önüne alındığında ülkemizde kullanılan yersel referans çerçevesi INSPIRE direktifi ile tamamen uyumludur.



## KAYNAKLAR

- AB (2009) <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:08:0001:0014:EN:PDF>.
- Aktuğ, B., 2003, **ITRF Hız Alanı ve göreceli hız referans sistemlerine bakış**, Harita Dergisi, 134.
- Aktuğ, B., 2005, **Referans Sistemlerinin Zamansal Evrimi ve Türkiye İçin Ulusal Bir Model: TURES-96**, Harita Dergisi, 133.
- Aktuğ, B., 2008, **Yersel Referans Koordinat Sistemleri**, Türkiye Ulusal Jeodezi Komisyonu 2008 Yılı Bilimsel Toplantısı, 24-28 Kasım 2008, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Aktuğ, B. 2009, **Inverse and Compound Datum Transformations**, Journal of Surveying Engineering, 135, 2.
- Aktuğ, B., Lenk, O., Gürdal, M., Kilicoglu A., 2009, **Establishment Of Regional Reference Frames For Detecting Active Deformation Areas in Anatolia**, Studia Geophysica et Geodaetica, 53, 169-183 (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.
- Aydinoğlu, A.Ç., Yomralıoğlu, T. 2005, **AB Sürecinde Türkiye'de Bölgesel-Yerel Ölçekte Konumsal Veri Kalitesinin İrdelenmesi**.
- 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. Türker A., Yıldız H., Bayazıt N., Ata M., Çağlar Y., Özerkan A. 2002, **Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı-1999A (TUTGA-99A)**, Harita Dergisi Özel Sayı, No.16, Ankara.
- Boucher, C. ve Altamimi, Z., 2001, **"Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign"**, <http://lareg.ensg.ign.fr/EUREF>.
- Boucher, C. ve Altamimi, Z., 2007, **"Memo: Specifications for reference frame fixing in the analysis of a EUREF GPS campaign"**, <http://lareg.ensg.ign.fr/EUREF>.
- Boucher, C., Altamimi, Z., ve Sillard, P. 1999, **"The 1997 International Terrestrial Reference Frame (ITRF97)"**, Int. Earth Rotation Serv. Tech. Note 27, Observatoire de Paris, Paris.
- Boucher, C., ve Altamimi, Z. 1996, **"International Terrestrial Reference Frame"** GPS World, 7(9), 71-74.
- Çelik, R.N., Ayan, T., Deniz, R., Gürkan, O., Öztürk, E., 2003, **Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Jeodezik Altyapısı**, TUJK 2003 Yılı Bilimsel Toplantısı: CBS ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı, 24-25-26 Eylül 2003, 94-103, Konya.
- Duquenne, F. 2008, **Referencing works in ETRS-89, The problem of projection, State of national CRS**. UIC GEORAIL workshop 2008.
- Featherstone, W.E. 1996, **An updated explanation of the Geocentric Datum of Australia (GDA) and its effects upon future mapping**. The Australian Surveyor 41(2): 121-130.
- Mueller, I., 1985, **Reference coordinate systems and frames: concepts and realization**, Bull. Geod. 59, 181-188.
- 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.
- Torres, J.A., Altamimi Z., Hornik H., 2008. **EUREF – Status report for the period 2003 – 2007**. IAG Reference Frame Sub-Commission for Europe (EUREF), <http://www.euref-ag.net/html/Reports.html>.