

## GPS sabit istasyonlarında zaman serileri analizi

Mehmet Güven KOÇAK\*, Tevfik AYAN

İTÜ İnşaat Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, 34469, Ayazağa, İstanbul

### Özet

IGS'e bağlı GPS sabit istasyonlarından Anadolu plakası ve yakın ve uzak çevresindeki noktalar seçilerek tasarlanan ağa ait günlük veriler 3 yıl için değerlendirilmiştir. Ağ çözümleri, daha başka ağ çözümleri ile birleştirilmiş ve seçilen noktalar kullanılarak datum tanımlaması yapılmıştır. Farklı fonksiyonel model ve datum kullanılarak iki ayrı çözüm elde edilmiştir. Bu çözümler sıfır çözümü olarak kabul edilen ve datum noktalarının global olarak dağıldığı çözüm ile karşılaştırılmıştır. Lineer regresyon kullanılmak suretiyle istasyonların Kuzey-Güney (KG) ve Doğu-Batı (DB) hız bileşenleri bulunmuştur. Zaman serilerinin güç spektrumu kullanılmak suretiyle doğrulukları hakkında çıkarımlar yapılmıştır. Serilerin Wavelet transformasyonu kullanılarak seçilen bazı istasyonlarda analizleri de yapılmıştır. Datum seçiminin, serilerden elde edilecek nokta hızlarını etkilediği gösterilmiştir. Ayrıca zaman serilerinden gerçekçi doğruluklar elde edebilmek için alternatif pratik bir yöntem önerilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** GPS, zaman serileri, doğruluk analizi, wavelet analizi.

### Time series analysis at GPS permanent stations

#### Abstract

A network of 24 IGS permanent stations in the near and far neighborhood of the Anatolian Plate has been designed. The stations' daily GPS observations covering three years are analyzed. The solution is then combined with different network solutions and the datum of the combined solution has been fixed via appropriate pre-defined datum points. Two different solutions are obtained using diverse functional models and datum definitions. These solutions are compared to the so-called zero solution in which datum points are globally distributed. Only North-South (NS) and East-West (EW) components of the station coordinate time series are anticipated in the study. The height component is not included in the analysis. NS and EW velocity components are computed applying least squares linear regression to the station time series. Blunders in the time series are removed via robust estimation strategy. Spectral index values are estimated from the spectra of the residuals after least squares regression. Spectral indices are found to be close to  $-1$ . This confirms that the adjacent solutions consist of repeated signals and are also correlated. Time-frequency analysis or multi-resolution analysis at selected locations is attempted. It has been shown that datum definition affects site velocities estimated from the time series. An alternative approach is suggested to deduce realistic uncertainty values from the series.

**Keywords:** GPS, time series, accuracy analysis, multi-resolution analysis.

\*Yazışmaların yapılacağı yazar: Mehmet Güven KOÇAK. mgkxyz@yahoo.de; Tel: (372) 257 40 10 dahili: 1390.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ İnşaat Fakültesi'nde tamamlanmış olan "GPS sabit istasyonlarında zaman serileri analizi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 09.07.2004 tarihinde dergiye ulaşmış, 23.08.2004 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 30.11.2006 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

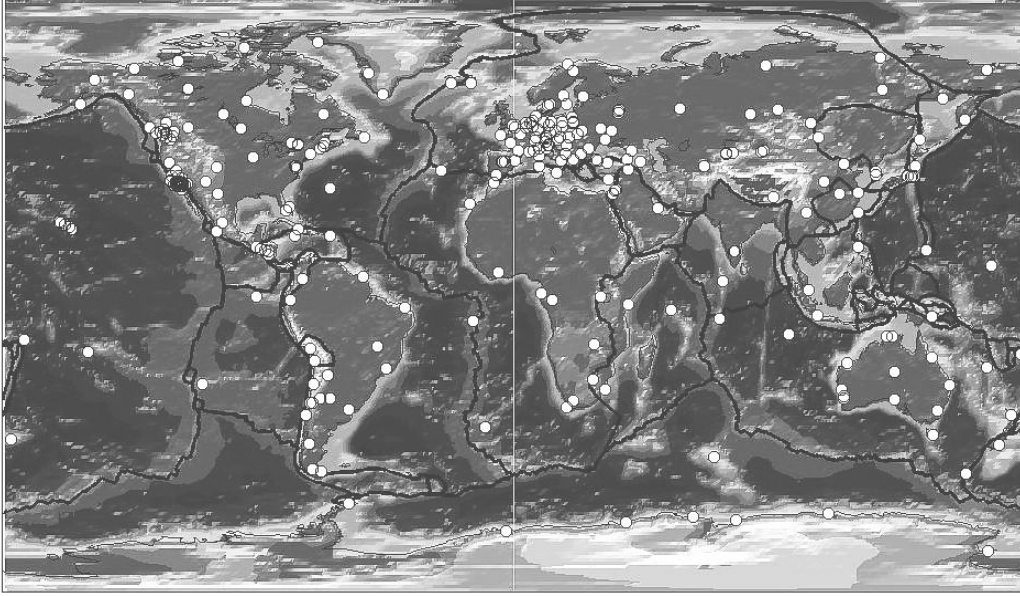
## Giriş

GPS, Amerikan Savunma Bakanlığı tarafından başlangıçta askeri ihtiyaçları karşılamak amacıyla tasarlanmış bir sistemdir. Son 20 yıldır sivil kullanıcıların hizmetinde olan bu sistem geliştirilerek bugünkü operasyonel halini almıştır. Sistemin jeodezik amaçlarla kullanımıyla; ağ ölçmeleri, bir referans noktasına göre anlık konum belirleme, deformasyon ölçmeleri gibi problemlerin çözümü farklı bir faza girmiştir. Yukarıda verilen bütün örneklerde kullanıcılar bir devrimi yaşamış ve jeodezik veri toplama gibi çok önemli bir ödev eski klasik yöntemlere nazaran oldukça kolaylaşmıştır. Deformasyon ölçmelerinde 90'lı yıllardan itibaren özellikle bölgesel deformasyon analizi çalışmalarında o zamana kadar elde edilemeyen, başarılı sonuçlara ulaşılmıştır. Bugün GPS gözlemleriyle bir referans sisteminde global ölçeklerde nokta konumlarında mm, nokta hızlarında ise mm altı doğruluklara ulaşmak mümkündür. Global ölçeklerde bu yüksek doğruluklara ulaşılmasının arkasında yatan ise bir yanda sistemdeki uydu sayısının başlangıçta tasarlanan konfigürasyona getirilmesi ile öte yanda yeryüzüne dağılan sabit istasyonların sayısının artmasıdır. 1994 yılında kurulan ve dünyanın birçok ülkesinden kurum, üniversite ve araştırma merkezlerinin katkılarıyla oluşturulan IGS (International GPS Service) bunu sağlamıştır. Sayıları Mayıs 2004 itibariyle 360'ı aşan istasyonlarda yüksek kaliteli GPS alıcılarıyla 30 s aralıklarla toplanan faz ve kod gözlemleri kaydedilmektedir ve kullanıcıların hizmetine sunulmaktadır. Yerin coğrafi yapısı elvermediği için noktalarının homojen bir dağılıma sahip olmadığı IGS ağı Şekil 1'de görülmektedir. Denizlerin ve karaların bu yapısından başka güney yarımkürede istasyonların azlığı da dikkat çekmektedir. İstasyon sayısının artması ve bu istasyonların 24 saat boyunca ve her gün 30 s aralıklarla veri toplamaları, yeryüzünün tektonik yapısını incelemek için gerekli uzaysal ve zamansal çözünürlüğü de artırmıştır. Değerlendirmeleri yapılan GPS gözlemleri ile daha önce ağırlıklı olarak jeolojik ve jeofizik verilerle üretilmiş levha tektoniği modelleri test edilebilmiştir. Ayrıca verilerin büyük zamansal çözünürlükle değerlendirilmesi istasyonlara ait zaman serisi elde edilerek bu serilerden söz ko-

nusu istasyonun lineer ve periyodik hareketleri gözlenebilmiştir.

Zaman serilerinden lineer hareketlerin çıkarılması için seri lineer regresyon ile modellenir ve serinin eğimi noktanın hızını verir. Lineer regresyon sonrası elde edilen istasyon hızlarına ait doğruluklar ise oldukça optimistik olarak kestirildiklerinden bu doğrulukların gerçekçi değerlerinin elde edilmesi, zaman serilerinden doğruluk analizinde oldukça önemli bir rol oynamıştır. Bu amaçla zaman serisinin lineer trendi elimine edilmiş spektrumu ile elde edilen spektral indeks, gözlem olarak parametre tahminine dahil edilen seri elemanlarının köşegen bir yapıya sahip olmayan varyans-kovaryans matrisinin en büyük olabilirlik kestirimi ile belirlenmesi için kullanılmıştır. Lineer regresyon nokta hızlarının kestiriminde iki bakımdan yetersizdir. Birincisi zaman serilerinde istasyonların yakın çevresindeki su seviyesinin değişimi, atmosferik gel-git gibi lokal etkiler periyodik olarak ortaya çıkmakta ve bu da bulunacak hızı etkilemektedir. Blewitt ve Lavallée (2002) bu etkinin 2.5 yılı kapsayan günlük zaman serilerinde özellikle önemli olduğunu göstermiştir. İkincisi incelenen serinin her zaman kabul edildiği gibi lineer bir değişim göstermemesidir. İstasyona ait koordinat zaman serisinin seküler bir değişim göstermesi, deformasyonun yoğun olduğu tektonik levha sınırlarından uzak noktalarda görülebilen bir durumdur. Sismik olarak aktif bir bölgede zaman serilerinin periyodik değişimleri elimine edilerek seküler hareket lineer regresyon dışında wavelet analizi ile ortaya çıkarılabilir..

Zaman serilerinden anlamlı ve gerçeğe yakın doğrulukları kestirmek üzere şimdiye kadar maksimum olabilirlik kestirimi birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Zhang vd., 1997; Mao vd, 1999). Bu kestirim için her istasyondaki her bir bileşene ait zaman serisi elemanları arasındaki korelasyonu modelleyen bir matris, zaman serisinin spektral indeksi de kullanılarak hesap edilebilir. Zaman serisi elemanları arasındaki zamansal korelasyonu ifade eden bu matrisin, çeşitli kabullerle oluşturulacağı açıktır. Ayrıca maksimum olabilirlik kestiriminin pratik olmaması bir başka dezavantajı



Şekil 1. IGS ağı

oluşturmaktadır. Williams (2003), bileşenlerin doğrulukları için maksimum olabilirlik algoritması kullanmayan pratik bir metod önermektedir. Bu da yine çeşitli varsayımlar sonucu oluşturulmaktadır.

Zaman serilerinin analizi, özet olarak seriden maksimum anlamlı bilginin çıkarılması biçiminde tanımlanabilir. Bu analiz, zaman ve frekans uzaylarında (lineer regresyon ve güç spektrumu) ayrı ayrı olmak üzere tektonik olarak aktif Anadolu ve çevresindeki oldukça az ancak temsili noktaların zaman serileri için uygulanmıştır. Zaman serilerinin bazılarında görülen post-sismik trend, serinin genel gidişine ters bir durum sergilemekte olduğundan bu trendi ortaya koymak için wavelet analizinden yararlanılmıştır.

### Zaman serilerinin analizi

Zaman uzayında ve  $-\infty < t < \infty$  aralığında tanımlı  $x(t)$  parametrik fonksiyonuna zaman serisi denir. Pratik çalışmalarda zaman serileri sürekli değil kesikli bir yapıya sahip olduklarından ayrık zaman serilerinden bahsedilir. Seri elemanları, seçilen bir örnekleme aralığında ardışık noktalarla verilir. Zaman serilerinin analizi 3 değişik şekilde yapılabilir. Bu sınıflandırma serinin ele alındığı uzay ile de ilgilidir. Zaman seri-

leri, verildiği uzay olan zaman uzayında analiz edilebilir. Diğer bir analiz serinin periyodik değişimlerini ortaya koymak maksadıyla frekans uzayında yapılır. Ele alınan serinin hem zaman hem de frekans uzayında incelenmesi ile zaman-frekans uzayında analizden bahsedilir. Bu çalışmada özellikle son iki analiz üzerinde durulacak ancak zaman uzayında uygulanan çapraz korelasyon ya da bunun tek bir seriye uygulaması olan otokorelasyon gibi algoritmalar da yararlanılacaktır.

### Frekans uzayında analiz

Verilen  $x(t)$  zaman serisinin Fourier dönüşümü:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-i2\pi ft} dt \quad (1)$$

ile bulunabilir. (1) eşitliğinde geçen  $X(f)$ ,  $f$  frekansına karşılık gelen kompleks spektrum değerini göstermektedir. Üstel fonksiyonda geçen  $i = \sqrt{-1}$  'i ifade etmektedir. Zaman serilerinin frekans uzayında spektrumlarının oluşturulması, serinin zaman uzayında kolayca ayırt edilemeyen periyodik özelliklerinin ortaya konması bakımından önemlidir. Fourier analizi için zaman serilerinin eşit aralıklı veya ardışık olması gerekmektedir. Böyle serilerin frekans spektrumunun hesabı için FFT denilen ve (1)

eşitliğinde katsayıların hesabı için 2'nin katları uzunluğunda veri yapısına sahip serilerde uygulanabilen oldukça hızlı bir algoritma kullanılmaktadır. Serinin 2'nin katları olmaması durumunda sıfırla genişletme (zero padding) denen bir yöntemle başvurulabilir. Serinin ardışık olmaması durumunda seriye ait eksik veriler ya enterpolasyon yapılarak tamamlanır ya da ardışık olmayan serilerde spektrum hesabını mümkün kılan Lomb-Scargle periyodogramı yöntemi kullanılır. Lomb- Scargle periyodogramı:

$$x(t_j) + v_j = a_k \cos(2\pi f_k t_j) + b_k \sin(2\pi f_k t_j) \quad (2)$$

$$j = 0, 1, \dots, n-1$$

biçiminde yazılabilir (Lomb, 1976; Scargle, 1982). Eşitlikte geçen  $v_j$  düzeltme değerini,  $a_k$  ve  $b_k$ ,  $f_k$  frekansına ait spektrum katsayılarını göstermektedir. (1) eşitliği ile bulunan spektrum ile (2) eşitliği ile bulunan spektrum arasında

$$X(f_k) = a_k + i b_k \quad (3)$$

ilişkisi vardır. (2) eşitliğine En Küçük Kareler (EKK) yöntemi uygulanarak ilgili katsayılar tahmin edilir.

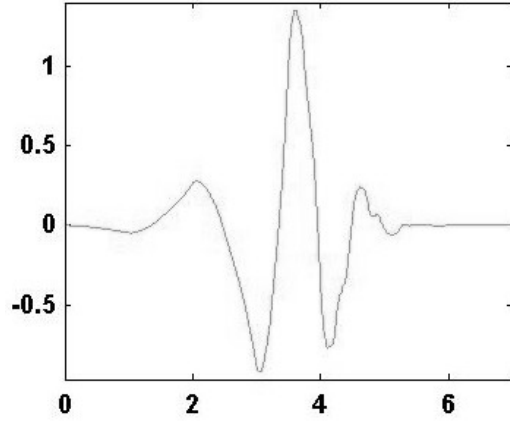
### Zaman-frekans uzayında analiz

Frekans spektrumu, zaman serisinde sıçramalar ve lineer değişimler karşısında lokalizasyona imkan vermemektedir. Bu tür, serinin genel trendine aykırı sıçrama ve yön değiştirmelerin lokalizasyonu için Wavelet transformasyonu kullanılabilir. Bir zaman serisinin Wavelet transformasyonu

$$W_{\psi}x(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{\mathbb{R}} x(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (4)$$

biçiminde verilir. Eşitlikte geçen  $\psi(\cdot)$  tanımlanan Waveleti,  $a$  ve  $b$  sırasıyla frekans ve zaman uzayında analizi mümkün kılan parametreleri göstermektedir. Zaman serisi  $b$  kadar kaydırılarak ve  $a$  kadar ölçeklendirilerek inceleme yapılabilir. Waveletin 3 özelliği sağlaması istenir. Seçilen  $\psi(u)$  wavelet fonksiyonunun,  $u$  parametre eksenini ile sınırladığı alan sıfır olmalıdır.

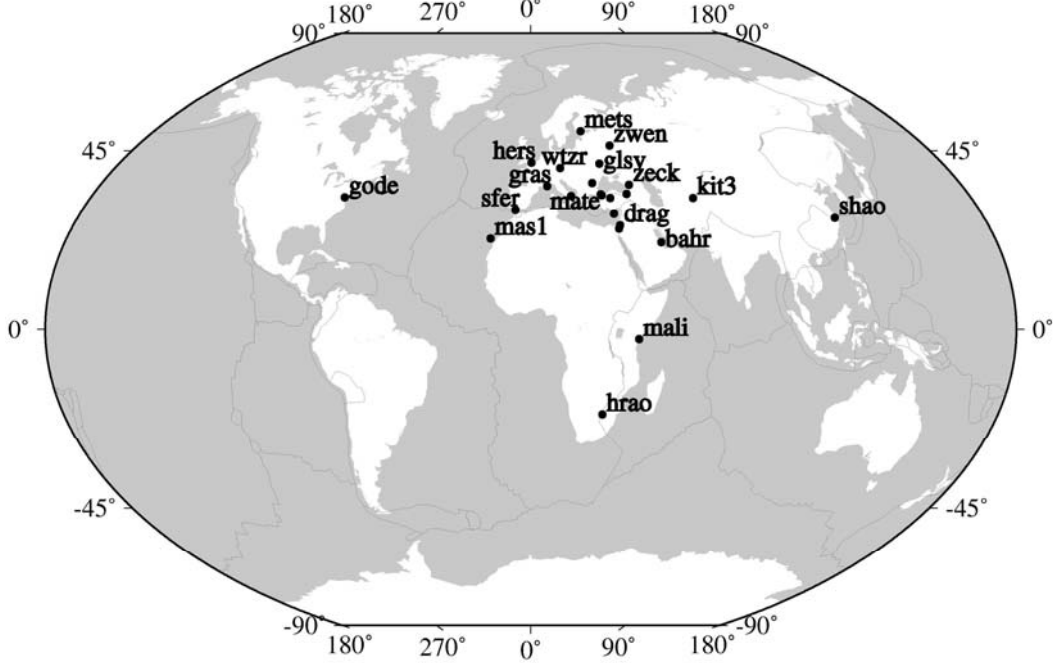
İkinci özellik, seçilen wavelet fonksiyonunun normlanmasıyla ilgilidir. Son özellik ise waveletin sonlu olmasını ifade eder (Percival ve Walden, 2000). Şekil 2, "Daubechies 4" olarak isimlendirilen wavelet fonksiyonunu göstermektedir.



Şekil 2. 'db4' wavelet fonksiyonu

### GPS zaman serilerinin elde edilmesi

Anadolu tektonik bloğu ve çevresinde veri toplayan istasyonlara ait GPS gözlem verileri 2000.0-2003.0 aralığını kapsayan 3 yıl (1096 gün) için değerlendirilmiştir. Bu ağ Şekil 3'de görülmektedir. 24 adet GPS sabit istasyonu gözlem verilerine IGS'in veri merkezlerinden ulaşılmıştır. GPS faz ve kod ölçmelerine ek olarak büyük boyutlu ağlarda değerlendirme doğruluğunu artırmak için ihtiyaç duyulan 15'er dakika aralıklı uydu konum bilgilerine de IGS'in ana merkezi ftp sunucusundan ulaşılmıştır. 24 istasyondan oluşan örnek ağda, gözlem verilerinin 3 yıllık toplam boyutu yaklaşık olarak 24 GB'dır. GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi için MIT (Massachusetts Institute of Technology) tarafından geliştirilen GAMIT programı kullanılmıştır. GAMIT, noktalar arasında oluşturduğu ikili fark gözlemlerini ölçü olarak kullanır (Schaffrin ve Bock, 1986; King ve Bock, 1999). Bilinmeyen olarak ise istasyonların kartezyen dik koordinatları, uyduya ait parametreler ve kutup hareketi parametreleri alınabilir. 24 noktalı ağın, Celeron 1.7 GHz işlemcili ve 256 MB RAM'e bir bilgisayarda değerlendirilmesi yaklaşık 40 dakika sürmektedir. 1096 günlük GPS verilerinin değerlendirilmesi böyle bir platformda, platform



Şekil 3. Uygulama ağı

kapatılmaksızın 30 günde tamamlanabilmektedir. Dolayısıyla nokta sayısının kullanılacak bilgisayar ile de yakından bağlantısı vardır. Nokta sayısının lineer artışı hesaplama zamanını lineer artırmamaktadır.

GAMIT ile bilinmeyenler ve bunların varyans-kovaryans matrisi elde edilmiştir. Bu çözümler, SOPAC (Scripps Orbit and Permanent Array Center) tarafından üretilen her birinde 40'dan fazla noktanın konumlarının verildiği 4 farklı çözüm ile birleştirilmiştir. Çözümler için datum, ITRF97 referans sisteminde ve seçilen 74 adet global dağılımlı nokta yardımıyla yapılmıştır. Datum noktalarının seçilmesinde sismik olarak aktif bölgelerden uzak olma, nokta hızının lineer değişmesi gibi kriterler gözetilmiştir. Böyle özelliklere sahip noktalar JPL (Jet Propulsion Laboratory) tarafından yayınlanan listeden seçilmiştir (IGSMail-4281, 2003). Datum tanımlama için dayanak olarak seçilen 74 noktanın çözüm koordinatları ile ITRF97 koordinat değerleri arasında her günlük çözüm için 3 boyutlu benzerlik dönüşümü yapılmış, uyumsuz noktalar dayanak noktası listesinden çıkarılmıştır. Birleştirme ve datum tanımlama için yine MIT'in ürettiği GLOBK yazılımından yararlanılmıştır. GLOBK, çözümlerin birleştirilmesin-

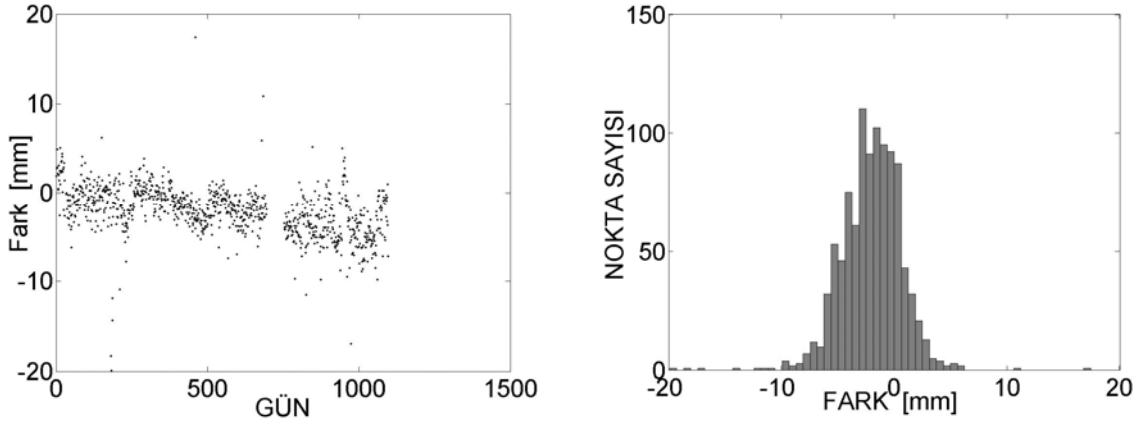
de Kalman Filtrelemesi algoritmasını kullanmaktadır (Dong vd., 1998; Herring, 2000).

### GPS zaman serileri analizi

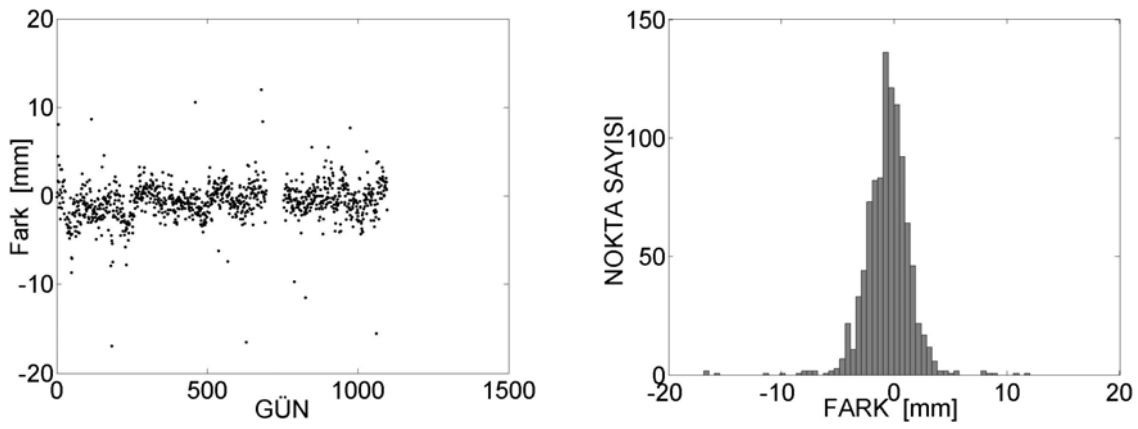
Bu çalışmada birbirleriyle karşılaştırma yapabilmek için 3 ayrı çözüm üretilmiştir. Önceki bölümde açıklanan, 74 nokta ile datum tanımlaması yapılan çözüm sıfır çözümü olarak isimlendirilmiştir. 24 noktalı uygulama ağının, diğer çözümlerle birleştirilmeden, kendi içinde seçilen noktalarla datumunun tanımlandığı iki çözüm daha üretilmiştir. Bu iki çözümün ilkinde JPL tarafından stabil olarak sınıflandırılan 10 nokta, datum noktası olarak seçilmiştir. Diğer çözümde ise JPL listesinde olmayan 4 nokta, bu 10 noktaya ek olarak alınmış ve datum tanımlaması yapılmıştır. Her üç çözüm için elde edilen zaman serileri lineer regresyona tabii tutularak hız bileşenleri kestirilmiştir. Lineer regresyon:

$$l_i + v_i = a + bt_i \quad (5)$$

eşitliği ile verilir. Burada  $a$ , öteleme değerini,  $b$ , ise serinin eğimini ya da hızını ifade etmektedir.  $l_i$  ve  $v_i$  sırasıyla zaman serisinin  $i$ 'nci elemanını ve EKK yöntemiyle bulunacak düzeltmesini ifade etmektedir. ISTA istasyonu DB bileşenine



a) 14 datum noktalı çözüm ve sıfır çözümü farkları



b) 10 datum noktalı çözüm ve sıfır çözümü farklar

Şekil 4. İSTA DB koordinat zaman serilerinin değişik çözümlerinin sıfır çözümü ile karşılaştırılması

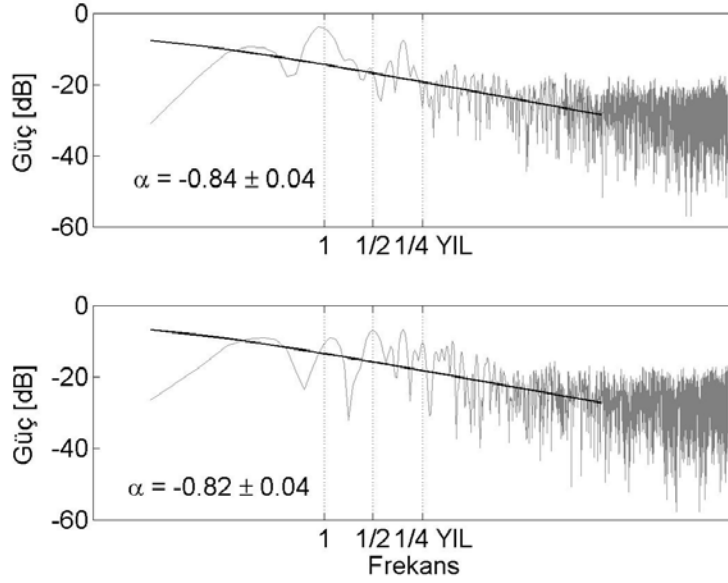
ait 10 ve 14 nokta ile tanımlanan datumlara dayandırılan çözümlerin sıfır çözümünden farkları Şekil 4'de verilmektedir. 10 noktalı datum çözümünün, 14 noktalı datum çözümüne kıyasla daha doğru bir çözüm olduğu her iki şekil karşılaştırılarak görülmektedir. Burada 14 noktalı çözümde dayanak noktası alınamayacak noktaların datuma dahil edilmesinin olumsuz etkisi açık bir şekilde görülebilmektedir.

Anadolu plakası ve çevresinde yer alan noktalara ilişkin hızların farkları karşılaştırılarak Tablo 1'de verilmiştir. Farkların KG için 0.4, DB için ise 0.6 mm/yıl olarak verildiği dikkate alınırsa 10 noktalı datum çözümünde minimum hız farkları gözlenirken diğer çözümde anlamlı farklar ortaya çıkmıştır.

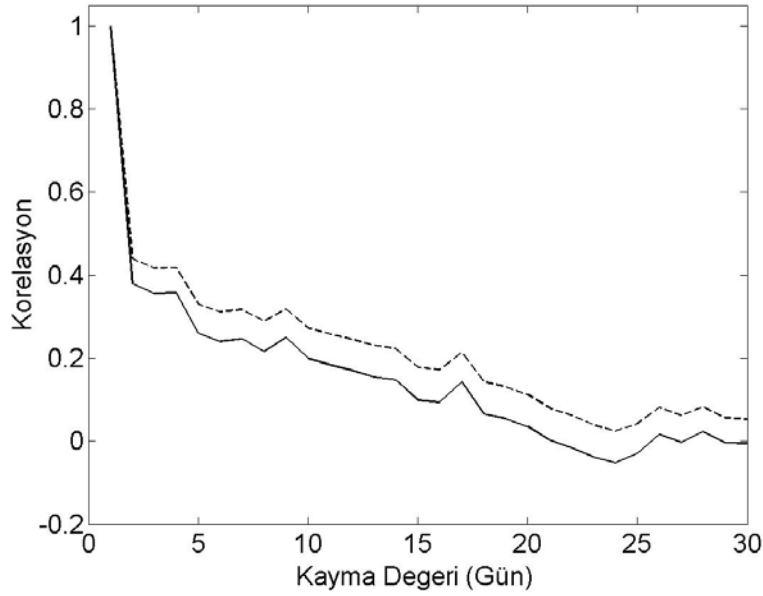
Tablo 1. Farklı datum çözümleri hız bileşenlerinin karşılaştırılması (mm/yıl)

İSTASYON	10 noktalı datum		14 noktalı datum	
	KG	DB	KG	DB
ANKR	-0.3	0.6	1.6	3.9
İSTA	0.5	0.6	1.6	4.0
TRAB	0.0	0.5	1.9	3.4
TUBI	-0.5	0.5	1.5	3.9

Lineer regresyon analizi, seri boyutunun 2.5 yıldan daha az olması durumunda hız bileşenini yanlış olarak ortaya çıkarabilmektedir. Bu yüzden serinin 6 aylık ve yıllık periyodik bileşenlerle genişletilerek hız bileşenleri kestirilmiştir.



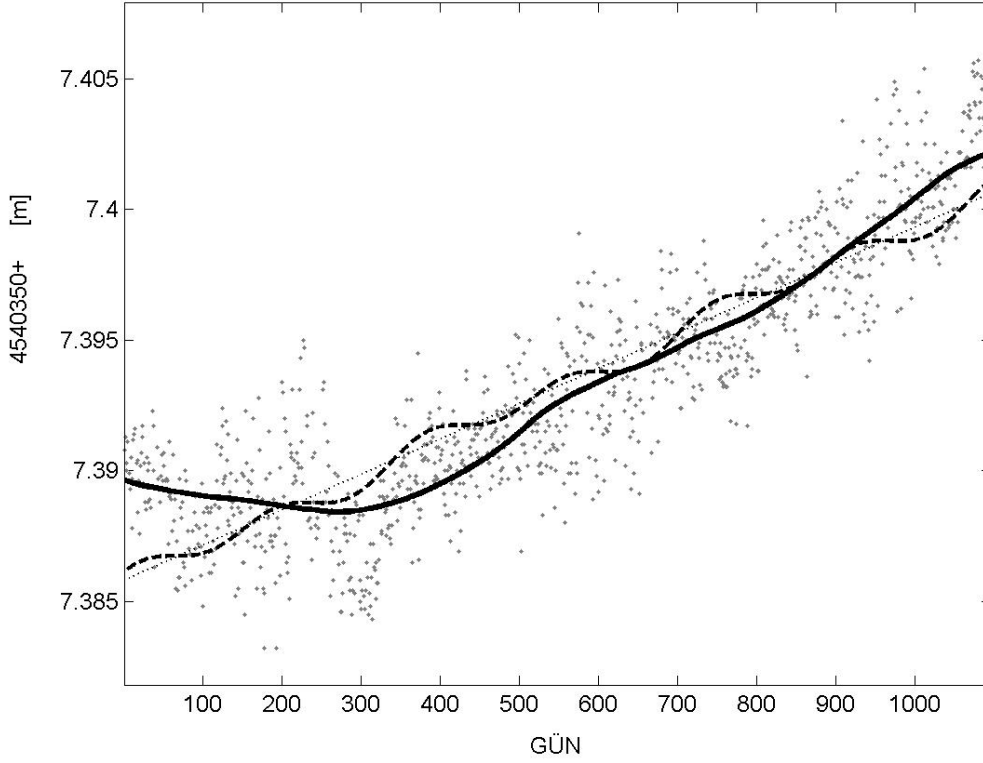
Şekil 5. TRAB zaman serilerinin 1 gün örnekleme aralıklı lineer regresyonu sonrası ölçü düzeltme değerlerinin güç spektrumu



Şekil 6. TRAB DB bileşeni zaman serisinin otokorelasyonun ilk 30 günlük değişimi

Şekil 5, TRAB KG ve DB zaman serilerinin lineer regresyon ertesinde bulunan düzeltmelerle hesaplanan frekans spektrumunu göstermektedir. Spektrum, artan frekans ile güç azalması göstermektedir. Belirli bir noktaya kadar spektrum lineer bir değişim gösterirken bu noktadan sonra değerler bir nokta etrafında kümelenmektedirler. Spektral indeks olarak isimlendirilen eğimler, KG ve DB bileşeni için sırasıyla -0.84 ve -0.82 olarak bulunmuştur. Bu düzeltmelerle

hesaplanan hız doğrulukları ise sırasıyla 0.08 ve 0.11 mm'dir. Aynı istasyona ait zaman serisinin 7 gün örnekleme aralığı ile hesaplanan spektrum eğimleri -0.29 ve -0.35'e inmektedir. 14 gün örnekleme aralığı ile hesaplanan spektrum artık daha düz olarak ortaya çıkmaktadır. Bu değişimin nedeni Şekil 6'dan da görüleceği üzere zaman serisinde ardışık elemanlar arasındaki korelasyondur. Şekilde kesikli çizgi sadece lineer regresyonla bulunan düzeltmelerle hesaplanan



Şekil 7. TUBI KG bileşeni zaman serisinin değişik yöntemlerle filtrelenmiş durumu

Tablo 2. Wavelet transformasyonu ile filtrelenen zaman serilerinden hesaplanan hız bileşenleri (mm/yıl biriminde)

İSTASYON	KG			DB		
	1-300	150-300	301-1096	1-1096	200-1096	1-1096
ANKR	-	-	-	10.3	-	1.2
ISTA	-0.6	-	6.9	5.5	-	28.9
TRAB	-	0.0	11.3	11.4	-	26.0
TUBI	-1.4	-	5.9	4.9	26.4	29.5

Hız bileşenlerinin doğruluğu: KG de 0.3 mm/yıl; DB de 0.4 mm/yıl

korelasyonu düz çizgi ise lineer regresyonun periyodik bileşenlerle genişletilerek bulunan düzeltmelerin otokorelasyonunu göstermektedir. Bu sonuç, istasyonların zaman serilerinin lineer regresyonu ertesinde bulunan hız doğruluklarının oldukça optimistik değerler olduğunu ortaya koymaktadır.

Lineer regresyon ile seriye bir eğilim uydurmak kendi içinde bir ikilemdir. Çünkü seride Şekil 7'de görüldüğü gibi bir yön değiştirme söz konusu olduğunda serinin iki kısma ayrılması gerekecektir. Ancak bu şekilde bir ayırım soldaki seriden elde edilecek hız doğruluğunu düşüre-

cektir. Bunu önlemek için seri wavelet analizine tabi tutulmuş, aynı şekilde koyu çizgilerle gösterilen bir trend elde edilmiştir. Şekilde kesikli çizgilerle gösterilen ise lineer regresyon ile bulunan çözümü göstermektedir. Waveletin Kumar vd. (2002)'de ele alınan örnek bir ağ üzerinde periyodik değişimleri inceleyebilme özelliğinden bu çalışmada yararlanılmamıştır.

17 Ağustos 1999 Gölcük depremi ertesinde oluşan ve 2000 yılının sonlarına kadar görülen post-sismik hareket neticesinde Anadolu ve Avrasya plakasında yer alan 4 IGS istasyonunun çeşitli zaman dilimleri için hızları Tablo 2'de



karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tablo başlığında koyu olarak gösterilen sayılar 2000 yılının başından itibaren gün biriminde zaman dilimlerini göstermektedir. Tablodan post-sismik hareket etkisinin istasyon hızlarına yansımaları açık bir şekilde görülmektedir.

## Sonuçlar

Bu çalışmada elde edilen zaman serilerinin analiziyle aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Noktaların koordinat ve hız değerlerinin ağırlık datumu ile fonksiyonel modele bağlı olduğu gösterilmiştir. datumun farklı seçimleri ile çok farklı hız bileşenlerinin ortaya çıktığı görülmüştür. Tektonik çalışmalarda datumun etkisi büyüktür ve uygun seçilmemesi halinde yanlış tektonik yorumlamalar yapılması tehlikesi ortaya çıkabilmektedir
2. İstasyonların hız bileşenlerinin kestiriminde altı aylık ve yıllık periyodik bileşenlerle genişletilmiş lineer regresyon uygulanmalıdır. Periyodik bileşenlerin gözönüne alınmasının, istasyona ait zaman serisinin otokorelasyonunu da etkilediği görülmüştür.
3. Zaman serisi elemanları arasındaki bağımlılığı ortaya çıkarabilmek için, zaman serilerinin elemanlarının oluşumunda uydu sinyal kayıtlarının örnekleme aralıklarının değiştirilmesi yoluna gidilmiştir. Bir günden 21 güne kadar değişen örnekleme aralıklarıyla hesaplar yinelenmiş ve elde edilen doğruluklar karşılaştırılmıştır. Ölçülerin bağımsızlığını ifade eden geniş örnekleme aralığı kullanılarak bulunan sonuçların doğruluklarının 2 ile 6 kat büyüdükleri görülmüştür.
4. Post-sismik etki altındaki noktalarda hız kestirimi için serinin, post-sismik hareketin olduğu ve olmadığı gibi iki kısma bölünmesi, wavelet transformasyonu kullanılması durumunda gereksiz olmaktadır. Bunun dolaylı sonucu olarak serinin her bölgesindeki doğruluk aynı olarak elde edilebilmektedir.

## Kaynaklar

- Blewitt, G. ve Lavallée, D., (2002). Effect of annual signals on geodetic velocity, *Journal of Geophysical Research*, **107**, ETG9 1-11.
- Dong, D., Herring, T. A. ve King, R. W., (1998). Estimating regional deformation from a combination of space and terrestrial geodetic data, *Journal of Geodesy*, **72**, 200-214.
- Herring, T. A., (2000). GLOBK Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program v. 10.0, 94 sf., Massachusetts Institute of Technology and Scripps Institute of Oceanography.
- IGSMail-4281, (2003). IGS Reference site candidates(<http://igsweb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2003/msg00059.html>).
- King, R. W. ve Bock, Y., (1999). Documentation of the GAMIT GPS Analysis Software v. 10.0, 203 sf., Massachusetts Institute of Technology and Scripps Institute of Oceanography.
- Kumar, K. V., Miyashita, K., Li, J., (2002). Secular crustal deformation in central Japan, based on the wavelet analysis of GPS-time series data, *Earth Planets Space*, **54**, 133-139.
- Lomb, N. R., (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data, *Astrophysics and Space Science*, **39**, 447-462.
- Mao, A., Harrison, C. G. A., ve Dixon, T. H., (1999). Noise in GPS coordinate time series, *Journal of Geophysical Research*, **104**, 2797-2816.
- Percival, D. B. ve Walden, T. G., (2000). *Wavelet methods for time series analysis*, 594 sf., Cambridge University Press, Cambridge.
- Scargle, J. D., (1982). Studies in astronomical time series analysis. II. Statistical aspects of spectral analysis, *The Astrophysical Journal*, **263**, 835-853.
- Schaffrin, B. ve Bock, Y., (1988). A unified scheme for processing GPS dual-band phase observations, *Bulletin Géodésique*, **62**, 142-160.
- Williams, S. D. P., (2003). The effect of coloured noise on the uncertainties of rates estimated from geodetic time series, *Journal of Geodesy*, **76**, 483-494.
- Zhang, J. vd., (1997). Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Error analysis of daily position estimates and site velocities, *Journal of Geophysical Research*, **102**, 18057-18070.