

## Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Verisinin Spektral Analizi (Spectral Analysis of Real Time Kinematik GPS Data)

Hüseyin PEHLİVAN

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, 41400  
Çayırova, Gebze, Kocaeli  
hpehlivan@gyte.edu.tr

### ÖZET

Konum değişimleri, yüksek hassasiyette GPS ölçümleri ile zaman serisi (sinyal) şeklinde elde edilebilmektedir. Zaman serilerinin periyodik bileşenleri zaman ve frekans bölgesinde incelendiğinde, GPS sinyallerinin alçak frekansta uzun periyotlu hareketlerle, yüksek frekansta kısa zaman periyodunda oluşan titreşim hareketlerini içerdiği gözlenir. Bunların dışında, ölçülen sinyalin raslantısal olma özelliği dikkate alındığında, belirli bir gürültüyü de içerdiği açıktır. Baskın frekanslar, sinyal içerisinde tekrarlanan aynı frekanslı sinyallerin toplamını içerir. GPS sinyali bir dizi işlemden sonra Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) ile frekans bölgesine dönüştürülebilir. Böylece, ana sinyal alt sinyallere ayrıştırılır ve hangi frekansta hangi şiddette bir periyodik bileşen olduğu belirlenir. HFD ile tekrarlanmayan sinyaller dikkate alınmazken karmaşık sinyaller içinde periyodik olanları belirleyip harmonik bileşenlerine ayrılır. Bu şekilde veriler, ölçülen yapının fiziksel kuvvetlere karşı davranışlarının yorumlanabileceği şekle dönüştürülmüş olur. Bu çalışmada, yapısal izleme amaçlı 20 Hz kayıt frekansı ile elde edilen örnek bir GZK GPS zaman serisinin spektral analizi HFD yöntemi ile gerçekleştirilmiş ve baskın periyodik bileşenler incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hızlı Fourier dönüşümü, GPS verisi, zaman serileri, spektrum analizi.

### ABSTRACT

Position changes can be obtained in the form of time series by high-precision GPS measurements. When the periodic components of the time series are examined at the dimension of size and frequency, it can be seen that the GPS signals contains the long-period movements at low frequency and the vibration movements at short time period at high-frequency. Moreover, it is well known that the measured signal includes a certain noise since it has the characteristic of being random. The dominant frequencies consist of the sum of the same-frequency signals that are repeated within the signal. After a series of processes, the GPS signal is represented in converted to the dimension of frequency domain by Fast Fourier Transform (FFT). Thus, the main signal is decomposed/separated to sub-signals and the magnitudes of the periodic components are determined for each frequency. The signals which are not repeated by FFT are not taken into account, whereas the periodic ones within complex signals are determined and seperated into their harmonic

components. By such a process, the data will be converted into a form which should be then used for interpretation of the behaviour of the measured structure against physical forces. In this study, the spectral analysis of a sample GZK GPS time serial obtained with a 20 Hz record frequency aimed for structural monitoring is performed by FFT method and the dominant periodic components are examined.

**Keywords:** Fast Fourier transform, GPS data, time series, spectrum analysis.

### 1. GİRİŞ

GPS tekniğinin veri örneklemede ulaştığı yüksek hız ve doğruluk; mühendislik yapılarının, yerkaşığı hareketlerinin, kara deniz ve hava araçlarının gerçek zamanlı izlenmesi gibi bir çok konuda uygulamaların geliştirilmesine imkân sağlamıştır. Veri örnekleme frekansının 100 Hz'e ulaşması ve konum belirleme doğruluğunun 1 cm'ye yaklaşmasıyla (Panson, vd., 2008), yüksek frekanslı (hızlı) yerdeğişimlerinin, gerçek zamanlı ya da ölçüm sonrası belirlenmesi mümkün olmuştur. Özellikle mühendislik yapılarının GPS ile izlenmesi konusunda, 1990'lardan bu yana çok sayıda uygulama geliştirilmiştir (Lovse, 1995). GZK GPS yönteminin gelişmesi ile mühendislik yapılarının gerçek zamanlı izlenmesi mümkün hale gelmiştir (Ogaja, 2001; Li ve diğ., 2004; Qunge ve Chang, 2009). Ölçmeler, izlenmek istenen objenin öngörülen hızı ve yerdeğiştirme genliği esas alınarak, uygun örnekleme aralığı kapasitesine sahip GPS alıcıları ile gerçekleştirilir. Böylece, konum değişimi, ölçme doğruluğunca eşit örnekleme aralığında modellenmiş olur.

GZK GPS ölçümlerinde belirli bir örnekleme aralığında kayıt edilen kesikli zaman serileri, yönseme (trend), periyodik ve stokastik bileşenleri içerir (Erdoğan ve Güllal, 2009). Seride var olan yönseme bileşeni uzun dönemli eğilimleri gösterirken, periyodik bileşen seri içinde var olan ve tekrar eden hareketleri, stokastik bileşen ise düzenli olmayan değişimleri ifade eder.

Zaman serisi şeklinde elde edilen veriler zaman ve frekansın bir fonksiyonu olarak analiz edilir (Li, 2004); (Ogaja ve Satirapod, 2007). Bileşenlerin analizi zaman ve frekans bölgesinde yapılır. Her iki boyutta analizlerden farklı sonuçlar çıkartılır (Pehlivan, 2009). Zaman bölgesindeki analizlerde istatistiksel eşitlikler kullanılırken, frekans bölgesindeki analizlerde bazı kompleks dönüşüm eşitlikleri kullanılır.

Zaman bölgesinde periyodik özellik gösteren sinyalin, zaman bölgesinde yönseme bileşeni araştırılır (Yıldız, vd., 2006), kaba hatalı ölçüleri filtrelendir. Bundan sonra, frekans bölgesine dönüştürerek anlamlı periyodik bileşenlerin belirlenmesi ve parametrelerinin hesaplanması mümkün olur. Frekans bölgesine dönüşüm için Fourier, Laplace, Hankel, Hilbert, Z dönüşümü gibi yöntemler kullanılmaktadır. Yaygın olarak GPS sinyallerinin anlamlı periyodik bileşenleri, Fourier dönüşümü ile zaman-frekans arasında geçiş yapılarak belirlenebilmektedir. Bir sinyal, Fourier dönüşümü kullanılarak frekans alanında örneklendiğinde, serinin uzunluğuna ve örnekleme frekansına bağlı olarak, zaman bölgesinde periyodik olan alt sinyalleri belirlenir. (Ogaja, vd., 2001; Li, 2004; Kayran vd., 2004; Li vd., 2004; Koçak vd., 2006; Ogaja vd., 2007; Qunge vd., 2009; Yiğit vd., 2011).

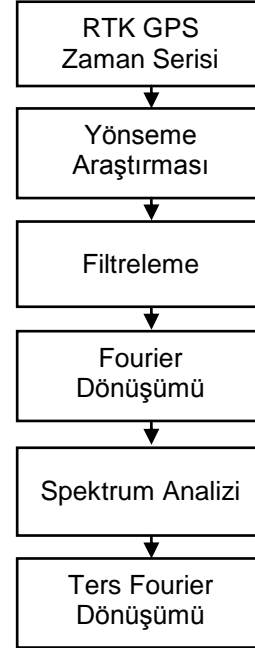
Mühendislik yapılarının GZK GPS ile izlenmesinde, periyodik bileşen değerlerinin belirlenmesi, zaman serilerinin spektrum analizi ile mümkündür. Bu çalışmada, GZK GPS serilerinin frekans bölgesine dönüştürülerek, spektrumlarına ayrılması ve anlamlı periyodik bileşenlerin belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Dinamik hareketleri belirlemek amacıyla yapılan ölçmelerde uzun ve kısa zaman aralıklarında oluşan bağıl hareketler beklenir. Bu çalışmada genel olarak örnek bir GPS zaman serisinin spektral analizinin Fourier Dönüşümü ile incelenmesi konu edilmiştir.

## 2. GPS VERİSİNİN FREKANS BÖLGESİNDE ANALİZİ

GZK GPS ölçme metodundan elde edilen serilerin frekans bölgesinde analizi için uygulanan iş akışı Şekil 1'de sunulmuştur. Örnekleme aralığı (temel periyodu)  $T$ , ana açısal frekansı  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f_0$  olmak üzere  $t$  süresi boyunca ölçülen  $y(t)$  GPS serisi,  $-\pi \leq \omega T \leq \pi$  aralığında aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir;

$$y(t) = a_0/2 + a_n \cos(\omega nt) + b_n \sin(\omega nt) + c_n t + d_n \delta(t_n) + \dots \quad (1)$$

(1) eşitliğinde;  $n=0,1,2,\dots$  harmonik indisi,  $a_0$  sabit terimi;  $a, b$  Fourier katsayıları,  $c$  uzun dönem eğilimi (yönseme),  $d$  serideki olası hata değerlerini ifade eder.



Şekil 1. Spektrum analizi işlem sırası

$y(t)$  serisinin içerdiği periyodik bileşenleri daha belirgin ortaya çıkarmak için yönseme ( $c$ ) ve hata ( $d$ ) değerleri, seriden giderilmelidir. GPS ölçümlerinden üretilen  $y(t)$  (kesikli zaman serisi), sinyal uzunluğunun ana periyota eşit olduğu varsayılırsa, Fourier dizisi aracılığıyla (Byrnes vd., 1989, James, 1995; Walker, 1996);

$$y(t) = a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(\omega nt) + b_n \sin(\omega nt) = a_0/2 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(\omega nt + \phi_n) \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir.  $A_n$  harmonik genliği ve  $\phi_n$  Fourier dizisinin faz açısını gösterir. Fourier Dönüşümü, (2) eşitliğindeki frekans değerlerinin hesaplanmasını içerir.  $y(t)$ ,  $t_k$  ( $k=0,1,2,\dots,N-1$ ) zamanında bir sinyal ve  $L$  pozitif bir tamsayı olduğunda  $N=2^L$  biçiminde ise periyodik bileşen parametreleri  $a_0$ ,  $a_n$  ve  $b_n$  sırası ile gerçel ve sanal bileşenlere ait katsayılardır. (Bracewell 2000);

$$a_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y(t_k)$$

$$a_n = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y(t_k) \cos(2\pi nk/N) \quad (3)$$

$$b_n = \frac{2}{N} \sum_{k=0}^{N-1} y(t_k) \sin(2\pi nk/N)$$

şeklinde hesaplanabilir. (3) eşitliklerinde:  $n=1,2,\dots,M$ 'e kadar olan eleman sayısı,  $N \geq 2M+1$  koşulunu sağlamalıdır.  $n$ . indise ait harmonik genliği ve faz açısı (James, 1995);

$$\begin{aligned} A_n &= \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \\ \phi_n &= \tan^{-1}(-b_n/a_n) \end{aligned} \quad (4)$$

eşitlikleriyle hesaplanır.

#### a. Fourier Dönüşüm Eşitlikleri ile Sinyale Ait Frekans Değerlerinin Belirlenmesi

$y(n)$  serisinin frekans değerlerinin belirlenebilmesi için  $N$  uzunluğunda ayırık bir  $y(n)$  sinyalinin,  $0 \leq n \leq N$  ve  $t = nT$  olmak üzere; Ayırık Fourier Dönüşümü (DFT) (Byrnes v.d., 1989, Bracewell, 2000, Li, 2004);

$$Y(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y(n) e^{-j2\pi kn/N}, \quad k=0,1,\dots,N-1 \quad (5)$$

eşitliği ile hesaplanır. GPS sinyalleri kesikli sinyaller olduğundan Fourier Dönüşüm eşitliklerinde toplam işareti ( $\sum$ ) kullanılır. (5) eşitliği ile  $t$  zamanının bir fonksiyonu olan  $y(n)$  sinyali frekans bölgesine  $Y(k)$  sinyali olarak dönüştürülür.  $Y(k)$  sinyali, genlik ve frekans değerlerini içeren karmaşık sayılar şeklindedir. Sinyalin hangi frekanslarda yoğunlaştığını belirlemek için; Fourier dönüşümü sonucu elde edilen karmaşık sayıların mutlak değerlerinin karesi alınarak, Güç Yoğunluk Spektrumu olarak bilinen, güç spektrumu hesaplanır (James, 1995).

$$G(k) = |Y(k)|^2 \quad (6)$$

Bu aşamada genlik-frekans ve güç-frekans grafikleri oluşturulur ve incelenir. Genliğin alçak ya da yüksek frekansta maksimum değeri göstermesi oluşan periyodik hareketin büyüklüğünü gösterir. Yüksek genlikli frekans değerleri GPS verilerinin analizinde anlamlı harmonik değerler olarak kabul edilir. Ancak anlamlı sinyalleri gürültüden ayırtmak için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanı Monte Carlo simülasyonlarıdır (Heslop v.d., 2002).

Fourier Dönüşüm algoritması  $N$  elemanlı bir serinin dönüşüm işlemini  $N^2$  adet karmaşık çarpma ve  $N(N-1)$  adet toplama işlemi ile yapmaktadır. Bu işlem yoğunluğunu azaltmak ve daha kısa zamanda dönüşümü gerçekleştirmek için Hızlı Fourier Dönüşümü (HFD) algoritması kullanılır (Cooley ve Tukey, 1965). Cooley ve Tukey'in hızlı Fourier dönüşümü algoritması ile seri uzunluğu ikinin bir kuvveti olmasa bile

uygulanabilir ve kısa sürede hesaplanabilir hale gelmiştir. MATLAB ortamında Fourier dönüşümünün kullanımı, işlem yükünü oldukça azaltmış ve sinyal işlemedeki uygulamaları artırmıştır. Böylece oldukça iyi hesaplama algoritmaları geliştirilmiştir.

GPS ölçümlerine HFD uygulandığında, frekans bölgesinde gerçekleşen harmonik hareketler belirlenebilir ancak gerçekleştiği zaman hakkında yorum yapılamaz. Sinyalin her bir  $t$  zamanı için frekansını hesaplamak istenirse, Kısa Zamanlı Fourier Dönüşümü (Short Time Fourier Transformation) uygulanır (Li vd., 2004).

Zaman ve frekans düzlemindeki analizlerde sinyalin örnekleme aralığı önemlidir.  $\Delta t$  örnekleme aralığı ile kayıt edilen bir zaman serisinde, örnekleme frekansı  $f_s = 1/\Delta t$  şeklinde ifade edilir. Buradan, örnekleme teoremine (Nyquist Teoremi) göre, işlenebilecek en yüksek frekans örnekleme frekansının yarısı ( $f_s/2$ ) kadardır. Hesaplanan en yüksek frekans Nyquist frekansı olarak bilinir. Fourier dönüşümü işlemi  $N$  elemanlı bir sinyalde,  $-$  ve  $+$  yönde tekrarlanan  $N/2$  sayıda periyodik belirlenir. Frekans örnekleme aralığı  $\Delta_f = f_s/N$  seçildiğinde, frekans eksenini  $N/2$  kadar anlamlı frekans içerir. Frekans spektrumunda bir çakışmayı engellemek için  $N$ , ikinin katları olmalı ve veri örnekleme oranı Nyquist örnekleme teoremine göre seçilmelidir (Blais, 1988).

Ters Fourier dönüşümü; frekans spektrumu hesaplanan GZK GPS verisinde baskın frekans değerleri ile sinyali yeniden oluşturmak istediğimizde kullanılmaktadır. Ters Fourier dönüşümü işlemi aşağıdaki eşitlikle gerçekleştirilir (Bracewell, 2000).

$$y(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} Y(k) e^{j2\pi kn/N} \quad (7)$$

### 3. FOURIER DÖNÜŞÜMÜ İLE ANALİZ

Örnekleme aralığı ( $\Delta t$ ) 0.05 sn, gözlem süresi  $T=819.2$  sn olan GZK GPS serilerinden  $(x,y)$ ,  $\Delta t$  örnekleme periyoduyla  $N=16384$  ( $2^{14}$ ) adet örnek alınmıştır. Ham GPS serileri standartlaştırılarak anlamlı periyodik bileşenleri incelenmiştir. İncelenen  $x(t)$  ve  $y(t)$  serileri Şekil 2'de sunulmuştur.

Zaman başlangıç, artış ve bitiş değerleri;  $t=0:0.05:819.2$  saniyedir.  $x(t)$ ,  $y(t)$  vektörlerine (5) eşitliği ile Fourier dönüşümü uygulandığında seri eleman sayısının yarısı kadar sayıda

harmonik hakkında bilgi sahibi olunabilir. Buna göre her iki seride de hesaplanabilecek harmonik (mod) sayısı,  $m=k/2=16384/2=8192$  adet olarak bulunur. (5) eşitliği ile zaman bölgesinden frekans bölgesine geçildiğinde frekans artışı;

$$\Delta f = \frac{1}{819.2} = 0.001220703125 \text{ Hz}$$

olacaktır. Fourier dönüşümü ile incelenebilecek en büyük harmonik frekans Nyquist frekansıdır;

$$f_{Nyq} = \frac{1}{2\Delta t} = 10 \text{ Hz}$$

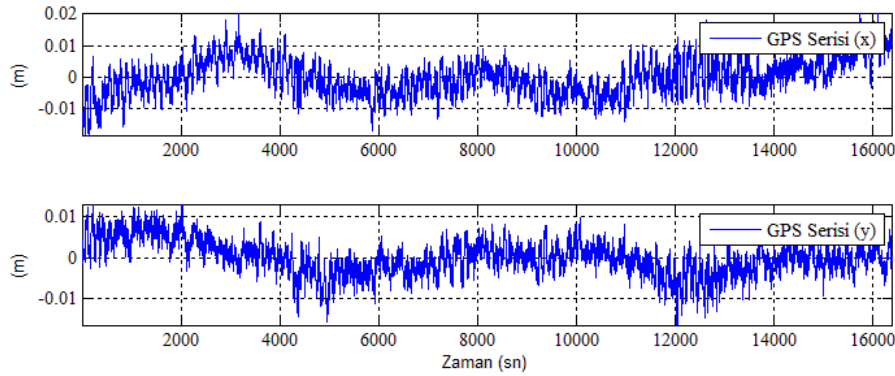
olacaktır. Sinyallerin frekans spektrumları, -10 Hz ile +10 Hz arasında sıralanan 16384 adet periyodik mod değerini içerir. Burada 1.mod ile 16384. mod genlikleri ve 8191. mod genliği ile 8193. mod genliği birbirlerine eşittir. 0 Hz ile 10 Hz arasında 8192 adet anlamlı bileşen değeri vardır. Şekil 3'te yüksek genlikli frekansların yoğunlaştığı, 0 Hz ile 0.25 Hz arası frekans değerleri gösterilmiştir. Şekillerde Nyquist frekanslarının tek katları kendi aralarında ve çift katlarında kendi aralarında eşit genlik değerlerine sahiptir. Burada sunulan genlik değerleri gerçek genliğin yarısı kadardır. 0'a yakın alçak frekans

değerlerinde yüksek genlikli periyodiklerin yoğunlaştığı görülmektedir.

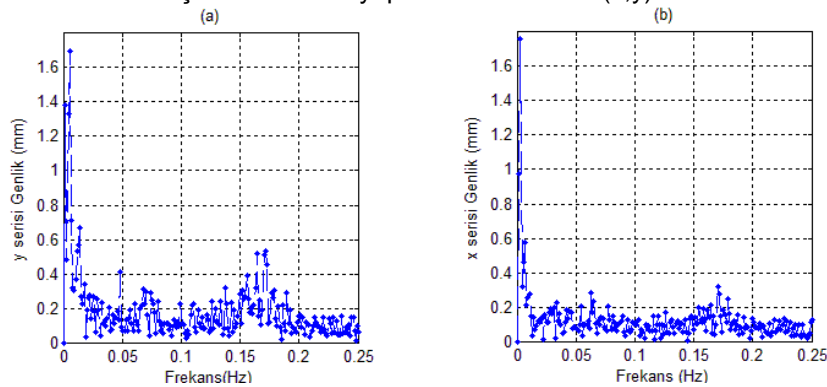
Serilere ait her bir frekans değeri, gerçel ( $a_n$ ) ve sanal ( $b_n$ ) katsayıları (3) eşitlikleri ile hesaplanmıştır. Her bir frekans değerine karşılık gelen genlik ve faz açısı değerleri (4) eşitliklerinden hesaplanır.

Güç ve Genlik spektrumunu karşılaştırmak amacıyla, 0-0.1 Hz frekansları aralığında; (6) eşitliği ile hesaplanan güç spektrumu ve (4) eşitliği ile hesaplanan genlik spektrumu incelenmiştir. Şekil 4'te, sırasıyla x ve y sinyallerine ait; (a) ve (c)'de genlik-frekans grafikleri, (b) ve (d)'de güç-frekans grafikleri verilmiştir. Şekil 4 (a,c)'de sunulan genlik değerleri, x ve y sinyallerinden hesaplanan gerçek genlik değerleridir.

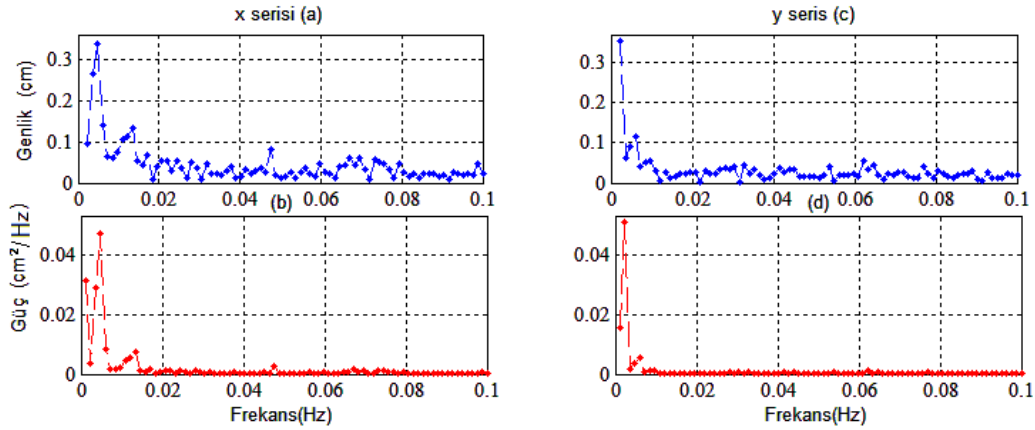
Tablo 1 ve 2'de, hesaplanan en yüksek genlik değerine göre sıralanmış, x ve y serilerine ait ilk 14 mod değeri sunulmuştur. Buradan en yüksek genlikli ilk frekans değerlerinin sinyale katkı veren baskın frekanslar olduğu görülmektedir. Baskın frekanslar, sinyal içerisinde tekrarlanan, aynı frekanslı farklı genlikli sinyallerin toplamını içerir. x ve y orjinal sinyalleri farklı dalga boylarında farklı alt sinyaller içermektedir.



Şekil 2. Analizi yapılan GPS serileri (x,y)



Şekil 3. (a,b) y ve x serileri Frekans-Genlik grafikleri



Şekil 4. x ve y serilerine ait Frekans-Genlik (a,c) ve Frekans-Güç (b,d) grafikleri

Tablo 1. x serisinden hesaplanan frekans değerleri

Mod No	Frekanslar (Hz)	Periyod (sn)	Genlik (mm)	$a_n$ gerçel	$b_n$ sanal	Fazlar ( $^{\circ}$ )	Açısal Frek. ( $f_a = 2\pi f$ )
1	0.00488281	204.80	3.39	0.692324	-9.983911	56.43	0.03067962
2	0.00122070	819.20	2.77	0.438184	-1.460746	-5.72	0.00766990
3	0.00366211	273.07	2.66	-22.370176	0.036101	145.62	0.02300971
4	0.00610352	163.84	1.42	2.083365	-0.418812	88.03	0.03834952
5	0.01342773	74.47	1.33	-2.235778	0.381645	112.92	0.08436894
6	0.01220703	81.92	1.14	1.662221	-0.485631	69.29	0.07669904
7	0.01098633	91.02	1.06	0.098305	-29.557052	116.05	0.06902914
8	0.17089844	5.85	1.06	0.646618	-1.586897	-1.93	1.07378655
9	0.16357422	6.11	1.03	2.396899	-0.367210	148.62	1.02776713
10	0.16967773	5.89	1.02	-0.267291	-1.210537	112.82	1.06611665
11	0.00244141	409.60	0.97	-14.838882	0.119788	140.45	0.01533981
12	0.17211914	5.81	0.90	-0.010705	-39.975348	86.21	1.08145646
13	0.04760742	21.01	0.82	-0.726381	1.301390	178.57	0.29912625
14	0.15502930	6.45	0.78	1.778893	-0.393486	38.55	0.97407780

Tablo 2. y serisinden hesaplanan frekans değerleri

Mod No	Frekanslar (Hz)	Periyod (sn)	Genlik (mm)	$a_n$ gerçel	$b_n$ sanal	Fazlar ( $^{\circ}$ )	Açısal Frek. ( $f_a = 2\pi f$ )
1	0.00244141	409.60	3.53	-0.372239	-1.568975	-46.35	0.01533981
2	0.00122070	819.20	1.96	-5.287094	0.135667	-32.51	0.00766990
3	0.00610352	163.84	1.16	0.288367	5.704572	-97.63	0.03834952
4	0.00488281	204.80	0.92	0.744657	7.418731	-170.06	0.03067962
5	0.00366211	273.07	0.64	3.085416	-0.281634	-172.33	0.02300971
6	0.16967773	5.89	0.63	0.072288	-8.993147	108.57	1.06611665
7	0.06225586	16.06	0.56	0.390583	-2.720276	-6.33	0.39116510
8	0.17089844	5.85	0.56	-0.777207	2.692790	-19.81	1.07378655
9	0.00976563	102.40	0.54	0.522357	-18.311684	20.41	0.06135923
10	0.00854492	117.03	0.51	-9.829414	0.159818	176.88	0.05368933
11	0.17822266	5.61	0.49	0.299784	-4.740672	84.10	1.11980598
12	0.06469727	15.46	0.46	-0.073484	4.428281	168.15	0.40650491
13	0.03295898	30.34	0.44	-0.108709	-1.470328	-167.26	0.20708741
14	0.00732422	136.53	0.42	0.985366	-1.062564	-34.20	0.04601942

x ve y GPS sinyallerinde anlamlı periyodik bileşenler, alçak frekanslarda yoğunlaşmıştır. İncelenen sinyallerin anlamlı ve uzun periyotlu

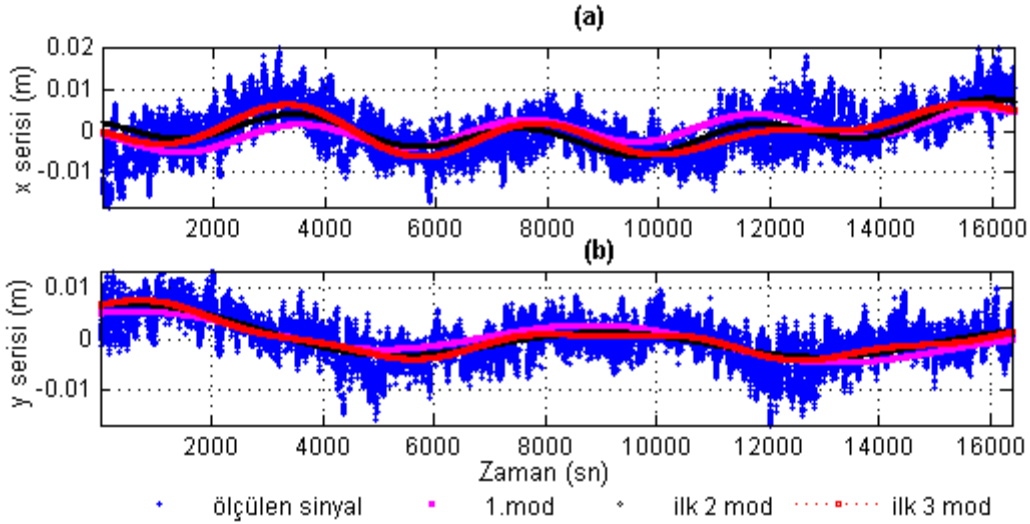
bileşenleri büyük genlikli ilk mod değerleridir. Titreşim ya da gürültü (noise) bileşenleri yüksek frekanslıdır.

#### 4. TERS FOURIER DÖNÜŞÜMÜ

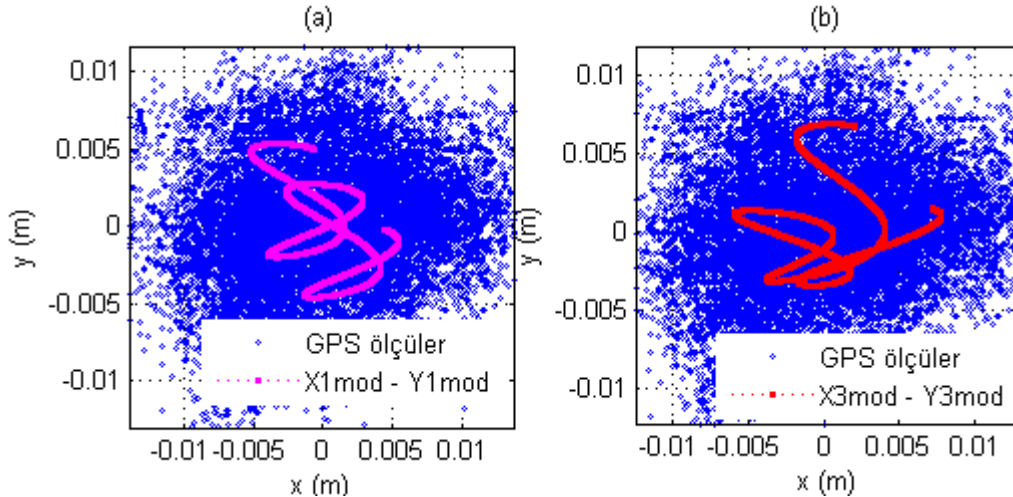
x ve y serilerinin içerdiği anlamlı konum değişimleri t zamanı süresince yeniden hesaplanabilir. Seçilen mod değerlerini kullanarak (2) eşitliği ile t zamanı süresince x ve y sinyalleri yeniden oluşturulabilir. Bu işlem aynı zamanda (7) eşitliği ile tanımlanan ters Fourier işlemidir.

Tablo 1 ve 2'de verilen; 1.mod değeri: 204.8 sn, 2. Mod değeri: 819.2 sn, 3.mod değeri:

163.84 sn periyotla değişen sinyalleri ifade etmektedir. x ve y serileri (2) eşitliğini kullanarak; 1.mod, ilk 2 mod ve ilk 3 mod değerleri ile yeniden oluşturulduğunda ana sinyaldeki dalgalanmalar (periyodikler) üç değişik şekilde modellenmiş olmaktadır. Değişik modları kullanarak istediğimiz sayıda alt sinyal oluşturmak mümkün olmaktadır. Şekil 5 (a) ve (b)'de x-y sinyalleri, üç alt sinyalleri ile birlikte görülmektedir.



Şekil 5. x ve y serileri ve yeniden oluşturulan modlar



Şekil 6. x ve y konum değişimi (a) 1 modlu hareket (b) 3 modlu hareket

Şekil 6'da 1 ve 3 modlu sinyallerin x-y konum değişimleri görülmektedir. Burada karmaşık nokta bulutu şeklinde olan orjinal GPS verisinin, hesaplanan model sinyallerden konum değişimleri görülmektedir.  $X_{1mod}-Y_{1mod}$  serilerinde 1.45 cm,  $X_{3mod}-Y_{3mod}$  serilerinde 1.73 cm genlikleri hesaplanmıştır.

Tablo 3. GPS serileri istatistik bilgileri

Mod	Maks. (cm)	Min. (cm)	Fark (cm)	Std. Sapma
X <sub>1mo</sub>	0.5437	-0.5168	1.0605	0.0028
X <sub>3mo</sub>	0.6699	-0.6167	1.2865	0.0037
Y <sub>1mo</sub>	0.5371	-0.4575	0.9945	0.0029
Y <sub>3mo</sub>	0.7549	-0.4132	1.1681	0.0031

Tablo 3'te yeniden oluşturulan serilere ait istatistik bilgiler sunulmuştur.

## 5. SONUÇ

Yüksek frekansta ölçülen GZK GPS verisi, Fourier Dönüşümü ile alt sinyallerine ayrılmış ve mod değerleri hesaplanmıştır. GPS verisinin frekans bölgesinde analizinde; uzun süreli davranışlar alçak frekanslarda, kısa süreli hareketler (titreşim, gürültü vb.) yüksek frekanslarda temsil edilir. Frekans spektrumunda tekrarlanan aynı frekanslı alt sinyallerin toplamı, baskın frekanslar olarak görülmektedir. Aynı frekansta tekrar eden yüksek genlikli modlar sinyaldeki anlamlı bileşenleri ifade ettiğinden, seçilen mod değerleri ile sinyalin modeli elde edilebilmektedir. İlk ve ilk üç mod değerleri ile ters Fourier dönüşümünü kullanarak sinyal yeniden oluşturulduğunda, zaman bölgesinde konum değişimi elde edilmiştir. GZK GPS tekniği ile konum doğruluğunun yatayda cm ile sınırlı olduğunu düşündüğümüzde, konum değişiminin cm duyarlılıkla modellenebildiği görülmüştür.

Test edilen ve sunulan frekans spektrumundan şu önemli sonuçlar çıkartılabilir: x ve y serilerinde baskın frekans değerlerinin benzer, genliklerin farklı olduğu görülmüştür. İncelenen veri 819.2 sn'lik zaman aralığı kadar bir bölgede frekans spektrumunu görmemize imkân vermektedir. İncelenen hareketler + ve - yönlü olacağından en büyük periyodik hareket, gözlem süresinin yarısı kadarlık bir alanda (409.6 sn) bulunmuştur. Sonuç olarak; kısa zaman aralıklarıyla tekrar eden hareketler için kısa veriler yeterli olurken, uzun periyotları görebilmek için uzun gözlem serilerinin gerektiği açıktır.

## KAYNAKLAR

- Blais, J.A.R., (1988), **Estimation and Spectral Analysis**, The University of Calgary Press, Calgary, Alberta, Canada, ISBN 0-919813-41-0, 132pp.
- Bracewell R. N., (2000), **The Fourier Transform and Its Applications**, Third Edition, McGraw-Hill, Stanford University, ISBN: 0-07-116043-4, 236-260 pp.
- Byrnes J. S. and Byrnes J. L., (1989), **Recent Advances in Fourier Analysis and Its Applications**, Kluwer Academic Publishers with NATO Scientific Affairs Division, , ISBN 0-7923-0875-1, 110,262 pp.
- Cooley J. W. and Tukey J. W., (1965), **An algorithm for machine calculation of complex Fourier series**, Math.Comp., 19 (1965), 297-301.
- Heslop D. and Dekkers M.J. (2002). **Spectral analysis of unevenly spaced climatic time series using CLEAN: signal recovery and derivation of significance levels using a Monte Carlo simulation**, Phys. Earth Planet. Inter., 130, 103-116.
- Erdoğan, H., Güral, E., (2009), **Boğaziçi Köprüsü Hareketlerinin Zaman Dizileri Analizi ile Belirlenmesi**, HKM, Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi, 2009/1, Sayı 100.
- James J.F., (1995), **A Student's Guide to Fourier Transforms with Applications in Physics and Engineering**, Cambridge University Press, ISBN 0-521 46298, 2,12,113. pp.
- Kayran A., Ekşioğlu E., (2004), **Sayısal İşaret İşleme**, 347 s, Birsen yayınevi, İstanbul
- Koçak, M.G., Ayan T., (2006), **GPS sabit istasyonlarında zaman serileri analizi**, itüdergisi/d mühendislik Cilt:5, Sayı:3, Kısım:1, 126-134, Haziran 2006
- Li X., (2004), **The Advantage of an Integrated RTK-GPS System in Monitoring Structural Deformation**, Journal of Global Positioning System, Vol.3, No. 1-2:191-199,
- Li, X., Ge L., Peng G-D, Rizos C., Tamura Y. and Yoshida A., (2004), **Seismic response of a tower as measured by an integrated RTK-GPS system**. 1st FIG International Symposium on Engineering Surveys for Construction Works and Structural Engineering, University of Nottingham, UK, 28 June – 1 July.

- Ogaja, C., Rizos, C., Wang, J., Brownjohn, J. M. W., (2001), **A dynamic GPS system for on-line structural monitoring**, Int. Symp. on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, Banff, Canada, 5-8 June 2001, 290-297
- Ogaja, C., Satirapod, C., (2007), **“Analysis of high-frequency multipath in 1-Hz GPS kinematic solutions,”** GPS Solutions-Springer Verlag, Volume 11, Number 4, 269-280.
- Pehlivan H., (2009), **Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Yöntemiyle Yapıların Dinamik Davranışlarının İncelenmesi**, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, İstanbul, Beşiktaş
- Walker J.S., (1996), **Fast Fourier Transformation**, 2nd ed., CRC Press, ISBN 0-8493-7163-5, 447 pp.
- Yıldız, H., Deniz R., (2006), **Mareograf ve Sabit GPS ile Uzun Dönemli Mutlak Deniz Seviyesi Değişimleri**, itüdergisi/d mühendislik Cilt:5, Sayı:3, Kısım:1, 115-125, Haziran 2006
- Yiğit C.Ö., İnal C., (2011), **Yüksek Bir Binanın Rüzgar Tepkisinin Farklı Sensörler ile Tam Ölçekli İzlenmesi ve Sensör Entegrasyonuna İlişkin Ön Analiz Sonuçları**, HKM Jeodezi, Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi 2011/1 sayı: 104 (30-40).
- Qunge H., Chang X., (2009), **Application of RTK-GPS Technology in Vibration Characteristics Test of High Pylon**. 2009 International Conference on Information Technology and Computer Science, Ukrain, Vol 1, 79-82.