

# YAPAY UYDU BAZLI ALICILARDA ÇOKLU FREKANSIN ÖNEMİ

O. Kurt

Kocaeli Üniversitesi Karamürsel MYO Teknik Programlar Bölümü, [orhnkrt@yahoo.com](mailto:orhnkrt@yahoo.com)

## ÖZET

GPS (Global Positioning System) de anlık duyarlı konum belirleme, milimetre duyarlılık faz ölçülerinin BFB (Başlangıç faz belirsizliği) değerlerinin doğru kestirilmesine bağlıdır. GPS uydularının yerden çok yüksekte olması, BFB kestirimi problemini önemli hale getirmiştir. Gözlem anındaki uydu dağılımının bu yapısı BFB bilinmeyenleri arasında yüksek korelasyona sebep olur ve birbirlerinden ayırıştırmasını zorlaştırır. Tamsayı En Küçük Kareler (TEKK), bu problemi belirli kısıtlamalar altında çözmek için uygun bir yöntemdir. Bu kısıtlamalar; kullanılan alıcının frekans sayısı, ölçme anındaki uydu sayısı ve toplanan ölçülerin normal dağılımlı olup olmamasıdır. Bu çalışmada, eski (iki frekanslı) ve şimdiki (üç frekanslı) GPS ile ulaşılan ya da ulaşılabilecek sonuçlar karşılaştırılarak, BFB çözümü aşamasında frekans sayısının önemi tartışılacaktır.

**Anahtar Sözcükler:** GPS ile bağıl konum belirleme, Tamsayı En Küçük Kareler, çoklu frekans.

## ABSTRACT

### IMPORTANCE OF MULTIPLIE FREQUANCIES FOR ARTICAL SATELİTTE BASED RECEIVERS

Instantaneous precise positioning in GPS is up to correct estimation of integer ambiguity values for the phase observables with millimeter precision. The ambiguity estimation is not trivial problem, due to very high altitude of the GPS satellites. The geometry of the satellite constellation above observer site in observation epoch causes high correlation between integer ambiguity parameters and it is not separated each other easily. Integer least square (ILS) is suitable for this under some restrictions. These restrictions are related with the number of frequencies of used receivers, the number of satellites in the observation epoch and the collected observations being or not in normally distribution. In this study, it's discussed on importance of number of frequencies for ambiguity resolution in the old (two frequencies) and modernized GPS (tree frequencies).

**Keywords:** Relative positioning with GPS, Integer Least Square, multiplie frequencies..

## 1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişmesine paralel olarak hızlı ölçme ve değerlendirmeye duyulan ihtiyaç artmış ve bu amaçla yapay uydulara dayanan ölçme sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan günümüzde Dünyanın her bölgesindeki sivil kullanıcı alıcıları ile ulaşılabilenler GPS (Global Positioning System, ABD) ve GLONASS (GLOBAL NAVIGATION Satellite System, Rusya)'dır. Bazı alıcılar sadece GPS uydularından yayımlanan ölçüleri alabilirken, bazı alıcılar her iki sistemin uydularının ürettiği ölçüleri alabilmekte ve değerlendirebilmektedir. Ölçme prensipleri birbirine benzeyen yapay uydu bazlı bu iki sistemin ölçme ve konum belirleme temelleri aynıdır. Her iki sistem kendi sistemlerindeki uydularında iki çeşit dalga boyu üzerinden faz ölçüsü türetmektedir. İki sistem arasındaki temel fark GPS uyduları aynı dalga boyu üzerinden faz ölçüsü türetirken, GLONASS uyduları her uydu için farklı iki dalga boyunda faz ölçüsü türetir. GLONASS uydularının frekansları uydu numaralarına bağlı olarak değişim gösterir. Her iki sistemde de sivil kullanıcıların erişebileceği kaba kod (C/A-code) ve erişemeyeceği duyarlı kod (P-code) ölçüler vardır (Seeber, 1993; Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997; Dai, 2000; Hein vd. 2002; McDonald, 2002; Odijk, 2003; Vergahen, 2004a; 2004b).

Bütün uydu sistemlerinin birlikte kullanılabilmesini öngören bileşik sisteme GNSS (Global Navigation Satellite System) adı verilir. GNSS'in amacı uydu sayısını, buna bağlı olarak gözlem sayısını artırarak konum belirleme uygulamalarında güvenilirliği artırmaktır. Bir önceki paragrafta bu sistemin içinde olduğu düşünülen GPS ve GLONASS kısaca tanıtılmıştır. Gelecekte (2008 yılında) aktif hale getirilmesi düşünülen Galileo yapay uydu sisteminin, uydusalların (Pseudolite) ve Dünya üzerinde çeşitli amaçlı olarak kurulmuş yer bazlı sistemlerin de GNSS'e eklendiği düşünülürse, çok yakın gelecekte anlık konumlama ile santimetre yada milimetre doğruluğa erişilebilecektir.

Yukarıda kısaca bahsedilen uydu bazlı sistemlerde genel olarak iki farklı ölçü türü vardır. Bunlardan birisi milimetre duyarlılıkla elde edilen faz ölçüsü ve metre duyarlılıkla elde edilen kod ölçüsüdür. Doğal olarak milimetre doğruluğa ulaşabilmek için faz ölçüleri vazgeçilmez ölçü türleridir. Faz ölçülerinin en önemli eksikliği ise ölçme başlangıcındaki tamsayı bilinmeyeninin (Başlangıç Faz Belirsizliklerinin, BFB) doğrudan elde edilememesidir. Bu bilinmeyenler kurulan matematik modele eklenerek EKK (En Küçük Kareler) yöntemine göre kestirilirler. EKK

yöntemine göre BFB bilinmeyenlerinin tamsayı değerlerini bulma işlemine Tamsayı EKK (TEKK) adı verilir. TEKK yönteminin başarı oranını artıran etmenler; alıcının kullandığı frekans sayısı, ölçme anındaki uydu sayısı ve matematik modelin eksiksiz (bağıl konum belirlemede baz uzunluğuna bağlı olarak özellikle iyonosferin etkisinin göz önünde bulundurulması ...vb.) kurulmasıdır. Kinematik uygulamalarda bu koşulların yanı sıra, TEKK yönteminin çok kısa sürelerde gerçekleşmesi gerekir. TEKK çözümünü hızlı uygulayan yöntemlerden birisi de LAMBDA (Least Ambiguity Decorelation Adjustment) yöntemidir. LAMBDA yönteminin en önemli özelliği TEKK yönteminin uygulanma süresini (mili saniye düzeyinde) kısaltmasıdır (Teunissen, 1995; Jonge ve Tiberius, 1996; Jonge P.J. vd., 1996). LAMBDA yöntemi TEKK'e dayalı çözüm ürettiği için, alıcının tek frekanslı olması, uydu sayısı ya da matematik modelin eksik kurulmasından etkilenmektedir (Kurt, 2003a). Yukarıda bahsedilen uydu sistemlerinin birlikte kullanılması, modernize edilmesi veya yeni bir uydu sistemiyle yada yer bazlı sistemlerle desteklenmesi özellikle kinematik uygulamalar ile ulaşılabilecek sonuçların güvenilirliklerini artıracaktır.

## 1. GNSS İLE BAĞIL KONUM BELİRLEME

Yeryüzünde bütün kullanıcıların erişebileceği günümüz ve gelecekteki GNSS Tablo 1'de kısaca özetlenmiştir. Tablo 1 çalışmanın yapısına göre düzenlendiğinden okuyucu ayrıntılı bilgi için (Seeber, 1993; Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997; Dai, 2000; Wang, 2000; Dai vd., 2001a; 2001b; 2001c; 2003; Hein vd. 2002; McDonald, 2002; Odijk, 2003; Verhagen, 2004a; 2004b) kaynaklarına başvurabilir.

Uydu Sistemi	Ölçü Türü	Ölçü Frekansı	Ölçü Frekans Büyüklüğü (MHz)	Dalga Boyu $\lambda \sim c / f$ (m)	$\sigma_i \sim \lambda / 100$ (m)
<b>GPS</b> m+1=24 (+4) (2005) (ABD)	$\Phi_{L1}$ $\Phi_{L2}$ $\Phi_{L5}$	$f_0$	10.23		
		$f_{L1} = 154 f_0$	1575.42	0.190	0.002
		$f_{L2} = 120 f_0$	1227.60	0.244	0.002
		$f_{L5} = 115 f_0$	<b>(2005) 1176.45</b>	<b>0.255</b>	<b>0.003</b>
	C/A(L1)	$f_0/10$	1.023	293.052	3.000
	C/A(L2)	$f_0/10$	<b>(2005) 1.023</b>	<b>293.052</b>	<b>3.000</b>
	I+Q(L5)	$f_0$	<b>10.230</b>	<b>29.305</b>	<b>0.300</b>
	P (L1)*	$f_0$	10.23	29.305	0.300
	P (L2)*	$f_0$	10.23	29.305	0.300
	M (L5)*	---	<b>(2005) ---</b>	---	---
<b>GLONASS</b> m+1=11 (2005) m+1=24 (2007-2022) ) (Rusya)	$\Phi_{L1}$ $\Phi_{L2}$	$f_0$	1602.00		
		$f_{L1} = f_0 + m \ 9/16$	1602.5625-1615.50	0.187-0.186	0.002
		$f_{L2} = f_0 + m \ 7/16$	1246.4375-1256.50	0.241-0.239	0.002
		C/A(L1)	$f_0$	0.5110	586.678
	P (L1)*	$f_0$	5.1130	58.633	0.600
	P (L2)*	$f_0$	5.1130	58.633	0.600
<b>GALİLEO</b> m=27 (+3) (2008) (AET)	$\Phi_{L1}$ $\Phi_{E5a}$ $\Phi_{E5b}$ $\Phi_{E6}$ $\Phi_{E5}$	$f_0$	10.23		
		$f_{E2-L1-E1} = 154 f_0$	<b>1575.42</b>	<b>0.190</b>	<b>0.002</b>
		$f_{E5a} = 115 f_0$	<b>1176.45</b>	<b>0.255</b>	<b>0.003</b>
		$f_{E5b} = 118 f_0$	1207.14	0.248	0.002
		$f_{E6} = 125 f_0$	1278.75	0.234	0.002
	$f_{E5} = 116.5 f_0$	1191.795	0.252	0.003	
		$(f_{E5a} + f_{E5b}) / 2$			
	OS(L1)	$f_0$	2.046	146.526	1.500
	OS(E5a)	$f_0$	10	29.979	0.300
	OS(E5b)	$f_0$	10	29.979	0.300
<b>SOL(3adet)*, CS(2+2 adet)* ve PRS(2 adet)* servislerinde kod ölçüleri tasarlanmıştır (Hein vd. 2002; Verhagen, 2004).</b>					
<b>C/A(Course/Asquation), P(Precise or Protected), M(Military), I(Integrity) Q(Quadrat), OS(Open Service), SOL(Safety-Of-Life Service), CS(Comerical Service), PRS(Public Regulated Service)</b>					
<b>Not : 1. c = 299,792458 m MHz</b>					
<b>2. "*" Sivil kullanıcılar tarafından erişilemez</b>					

**Tablo 1:** Yeryüzündeki bütün kullanıcıların erişebileceği GNSS sistemi bileşenlerinin şu anki ve yakın gelecekteki sinyal yapıları (Seeber, 1993; Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997; Dai, 2000; Hein vd. 2002; McDonald, 2002; Odijk, 2003; Enderle, 2003; Verhagen, 2004a; 2004b).

GNSS ile her tür bağıl konum belirleme yöntemlerinde, DD (Double Differences) matematik modeli yaygın olarak kullanılmaktadır. Böyle bir seçimin nedeni, DD matematik modelin; uydu-alıcı saat hatalarını ve başlangıç faz kayıklıklarını tamamen ortadan kaldırması; uydu yörünge hatalarını, sabit nokta koordinat hatalarının etkilerini, atmosferik etkileri ve yansımaya hatalarının etkilerini baz büyüklüğü küçüldükçe ihmal edilecek kadar azaltmasıdır. Genelde epoklar arası fiziksel korelasyonun göz ardı edildiği DD matematik modelin oluşturulmasına ilişkin çok sayıda kaynağa ulaşılabilir. İsteyen okuyucu daha ayrıntılı bilgi için (Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof ve vd., 1997; Teunissen ve vd., 1998a; Kurt, 2003a; Odijk, D. 2003; Verhagen S., 2004a; 2004b).

## 1.1 GNSS Matematik Modeli

Bu çalışmada kısa bazlara (<20km) göre kurulmuş geometriye dayalı (*Geometry-Base*) DD matematik model kullanılmıştır. Diğer DD matematik modeller için (Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997; Teunissen vd., 1998; Jong vd. 2001; Teunissen vd., 2000; Odijk vd., 2002; Odijk, 2003; Verhagen, 2004a) kaynaklarından yararlanabilir. Gelecekte GNSS uydularından anlık toplanacak olan kod ve faz ölçüleri ile oluşturulacak tek baz (single baseline) Gauss-Markof DD Matematik Modeli,

$$E\left\{\begin{bmatrix} \underline{y}_{GPS} \\ \underline{y}_{GLO} \\ \underline{y}_{GAL} \end{bmatrix}\right\} = \begin{bmatrix} \underline{A}_{GPS} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{A}_{GLO} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{A}_{GAL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{a}_{GPS} \\ \underline{a}_{GLO} \\ \underline{a}_{GPS} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{B}_{GPS} \\ \underline{B}_{GLO} \\ \underline{B}_{GAL} \end{bmatrix} \underline{b} \quad D\{\underline{y}\} = \sigma^2 \begin{bmatrix} \underline{Q}_y^{GPS} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{Q}_y^{GLO} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{Q}_y^{GAL} \end{bmatrix} \quad (1)$$

şeklinde kurulacaktır. Burada,  $\underline{y}_k$ ; ötelenmiş DD kod ve faz ölçülerinin toplandığı vektörü,  $\underline{a}$ ; DD-BFB vektörünü,  $\underline{b}$ ; (kısa bazlarda) koordinat bilinmeyenlerini,  $\underline{A}_k$ ,  $\underline{B}$ ; sırası ile  $\underline{a}_k$  ve  $\underline{b}$  vektörlerinin katsayılar matrislerini,  $\underline{Q}_y^j$ ; DD ölçülerin ters ağırlık matrisini göstermektedir ( $j=GPS, GLO, GAL$ ). Burada dikkat edilmesi gereken, her uydu için uydu numarasına bağımlı ve birbirinden farklı frekans üreten GLONASS uyduları için kurulan matematik modeldir. GLONASS uydularından alınan ölçülerin GPS ve GALILEO uydularına benzer DD matematik modele (sabit frekanslı DD matematik modele) dönüştürülmesi ile ilgili ayrıntılı bilgi (Wang, 2000) de bulunabilir.

## 1.2 GPS Matematik Modeli

Çalışmanın uygulama bölümünde modernize olan GPS kullanılacağından (1) bağıntısındaki GPS matematik modeli genişletilmiştir. Sivil kullanıcıların erişebileceği L5 üzerinden faz ve kod ölçüsü ile modernize edilen GPS için genişletilmiş DD matematik model aşağıdaki gibi kurulur.

$$E\left\{\begin{bmatrix} \underline{y}_{L1} \\ \underline{y}_{L2} \\ \underline{y}_{L3} \end{bmatrix}\right\} = \begin{bmatrix} \underline{A}_{L1} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{A}_{L2} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{A}_{L5} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{a}_{L1} \\ \underline{a}_{L2} \\ \underline{a}_{L5} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{B} \\ \underline{B} \\ \underline{B} \end{bmatrix} \underline{b} \quad D\{\underline{y}\} = \sigma^2 \begin{bmatrix} \underline{Q}_y^{L1} & \underline{0} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{Q}_y^{L2} & \underline{0} \\ \underline{0} & \underline{0} & \underline{Q}_y^{L3} \end{bmatrix} \quad (2)$$

(2) modelindeki L1, L2 ve L5 indisleri; bu dalgalar üzerinden yapılan faz ve kod ölçülerinin gruplamak için seçilmiştir. (2) matematik modeli üç frekanslı bir GPS alıcısı ile elde edilen ölçüler ile oluşturulan DD matematik modeli temsil etmektedir. Sadece L1 indisli alt grup ayrıştırılırsa, tek frekanslı alet için DD matematik model; L1 ve L2 alt indisli grup ayrıştırılırsa çift frekanslı DD matematik model kurulmuş olur.

Tablo 1 göz önünde bulundurularak, (2) bağıntısı ile verilen DD matematik modelin diğer sistemler (GLONASS ve GALILEO) için de kolayca kurulabileceği görülmektedir.

## 2. BİLİNMEYENLERİN ÇÖZÜMÜ

Yukarıda (1) ve (2) iki bağıntıları ile verilen matematik model (3) bağıntısı daha sade bir biçimde aşağıdaki gibi gösterilir.

$$E\{\underline{y}\} = \underline{A} \underline{a} + \underline{B} \underline{b} \quad D\{\underline{y}\} = \sigma^2 \underline{Q}_y \quad (3)$$

(3) bağıntısının çözümü En Küçük Karelere (EKK) göre üç aşamada gerçekleştirilir. Bunlar; gerçel çözüm (real solution), BFB çözümü (ambiguity resolution) ve çözümün sabitlenmesidir (fixed solution).

*Gerçel çözüm (real solution) :*

$$\min_{\underline{a}, \underline{b}} = (\underline{y} - \underline{A} \underline{a} - \underline{B} \underline{b})^T \underline{Q}_y^{-1} (\underline{y} - \underline{A} \underline{a} - \underline{B} \underline{b}) \quad \forall \hat{\underline{b}} \in \mathbb{R} \text{ ve } \forall \hat{\underline{a}} \in \mathbb{R} \quad (4a)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{\underline{a}} \\ \hat{\underline{b}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Q}_{\hat{\underline{a}}} & \underline{Q}_{\hat{\underline{a}} \hat{\underline{b}}} \\ \underline{Q}_{\hat{\underline{b}} \hat{\underline{a}}} & \underline{Q}_{\hat{\underline{b}}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \underline{A}^T \underline{Q}_y^{-1} \underline{y} \\ \underline{B}^T \underline{Q}_y^{-1} \underline{y} \end{bmatrix} \quad \{ \mathbb{R}; \text{gerçel sayılar kümesi} \} \quad (4b)$$

BFB çözümü (Ambiguity resolution):

$$\min_{\mathbf{a}} = (\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a})^T \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{a}}}^{-1} (\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a}) \quad \forall \mathbf{a} \in \mathbb{Z} \quad \{ \mathbb{Z}, \text{Tamsayılar kümesi} \} \quad (5)$$

BFB kestiriminin geçerliliği aşağıdaki testlerle gerçekleştirilir. Bu geçerlik testlerinin en önemli özelliği gerçek ölçülere ihtiyaç duymamasıdır. Öncül varyans, yaklaşık alıcı koordinatları ve uydu almanaklarından yararlanarak hesaplanabilirler.

$$\text{ADOP} = \left( \sqrt{\det(\sigma^2 \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{a}}})} \right)^{\frac{1}{m}} \leq 0.05 \quad (6a)$$

$$P(\mathbf{a} = \hat{\mathbf{a}}) \geq \prod_{i=1}^m \left( \int_{-\infty}^{\frac{2\sigma_{\hat{a}_i}}{\sqrt{2\pi}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\beta^2\right) d\beta - 1 \right) \approx 1.000 \quad \sigma^2 \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{a}}} = \underline{\mathbf{L}} \begin{bmatrix} \cdot & & 0 \\ & \sigma_{\hat{a}_i}^2 & \\ 0 & & \cdot \end{bmatrix} \underline{\mathbf{L}}^T \quad (6b)$$

Bu geçerlik testleri ve diğer geçerlilik testleri ile ilgili ayrıntılı bilgi (Vehagen, 2004a; Kurt, 2005) yayınlarından elde edilebilir.

Çözümün sabitlemesi (Fixed solution):

$$\underline{\mathbf{b}} = \hat{\mathbf{b}} - \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{b}}} \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{a}}}^{-1} (\hat{\mathbf{a}} - \mathbf{a}) \quad (7a)$$

$$\underline{\mathbf{Q}}_{\underline{\mathbf{b}}} = (\underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{b}}} - \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{b}}} \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{a}}}^{-1} \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{a}}} \underline{\mathbf{Q}}_{\hat{\mathbf{b}}}) \quad (7b)$$

Doğru BFB kestirimi gerçekleştiğinde baz koordinatlarının *cm* doğruluklu değerlerine ulaşılır.

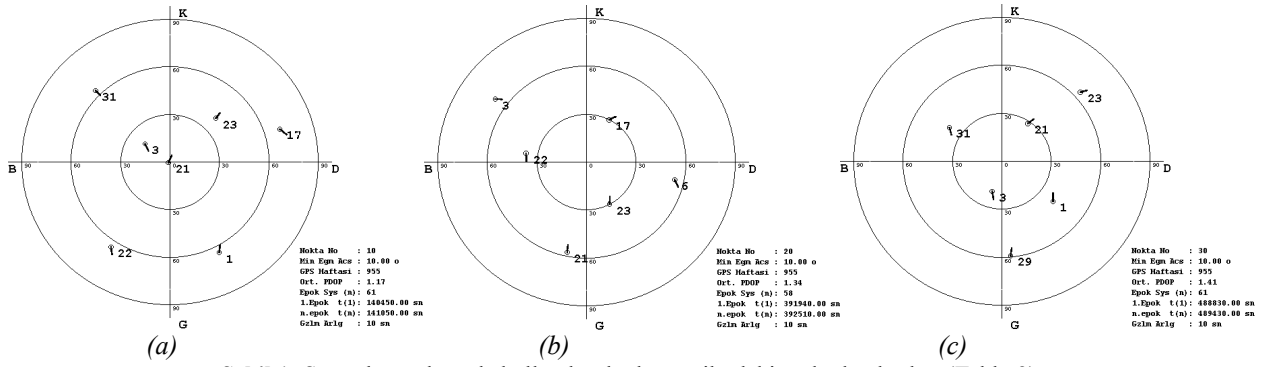
### 3. SAYISAL UYGULAMA

Çalışmada kullanılan gerçek veriler TOPCON/Turbo-SII çift frekanslı alıcılı ile ölçülmüştür. İki (L1 ve L2) dalga boyu üzerinden faz ve kod ölçüleri alabilen bu alıcılar ile elde edilen ölçü dosyalarının; (yayın ve duyarlı) yörünge dosya adları, oturum süreleri ve uydu sayıları Tablo 2’de verilmiştir (Tablo2). Ayrıca bu dosyalara ait uydu dağılımları da Şekil 2’de gösterilmiştir (Şekil 1).

Alıcıların Markası		Çift frekanslı TOPCON-TurboSII				
Kullanılan Yazılım		FrmANA (Kurt, 2003a)				
BFB Kestirim Modülü		LAMBDA (MGP, 2004)				
BAZIN ADI	Bazin Uzunluğu	GPS Gözlem Dosyaları	Yayı Yörünge Dosyaları	Duyarlı Yörünge Dosyaları	Gözlem Süresi	Uydu Sayısı (m+1)
10_11	5.6 km	10__1171.98o 11__1171.98o	10__1171.98n 11__1171.98n	igs09551.SP3	~10 dakika 61 (10sn) epok	7
20_21	11.5 km	20__1201.98o 21__1201.98o	20__1201.98n 21__1201.98n	igs09554.SP3	~10 dakika 58 (10sn) epok	6
30_31	25.9 km	30__1211.98o 31__1211.98o	30__1211.98n 31__1211.98n	igs09555.SP3	~10 dakika 61 (10sn) epok	6

**Tablo 2:** Uygulamada kullanılan ölçü dosyalarının özellikleri (Kurt, 2005).

Değerlendirme aşamasında faz ve kod ölçülerinin ağırlıkları, üretici firma tarafından önerilen öncül değerler kullanılarak belirlenmiştir. Bu değerler; faz ölçülerinde  $\sigma_{\phi_1}=4\text{mm}$ ,  $\sigma_{\phi_2}=6\text{mm}$  ve kod ölçülerinde  $\sigma_{P1}=80\text{cm}$ ,  $\sigma_{P2}=120\text{cm}$ ’dir. Birim ölçünün ağırlığı  $\sigma=\sigma_{\phi_1}$  olarak alınmış, bütün ölçüler arasındaki fiziksel korelasyonlar göz ardı edilmiş ve DD ölçülerinin ters ağırlık matrisi cebrik korelasyonlara göre oluşturulmuştur. Yansıma (*multipath*) hataları giderilmiş gözlem dosyalarında atmosferik etki de modellenmiştir. Atmosferik etkinin modellenmesinde; troposferik etki için *Saastamonien Troposfer Modeli* ve iyonosferik etki için sabit elektron miktarı ( $TVEC=10^{17}$ ) alınarak basit iyonosfer modeli kullanılmıştır (Kurt, 2003a; 2005).



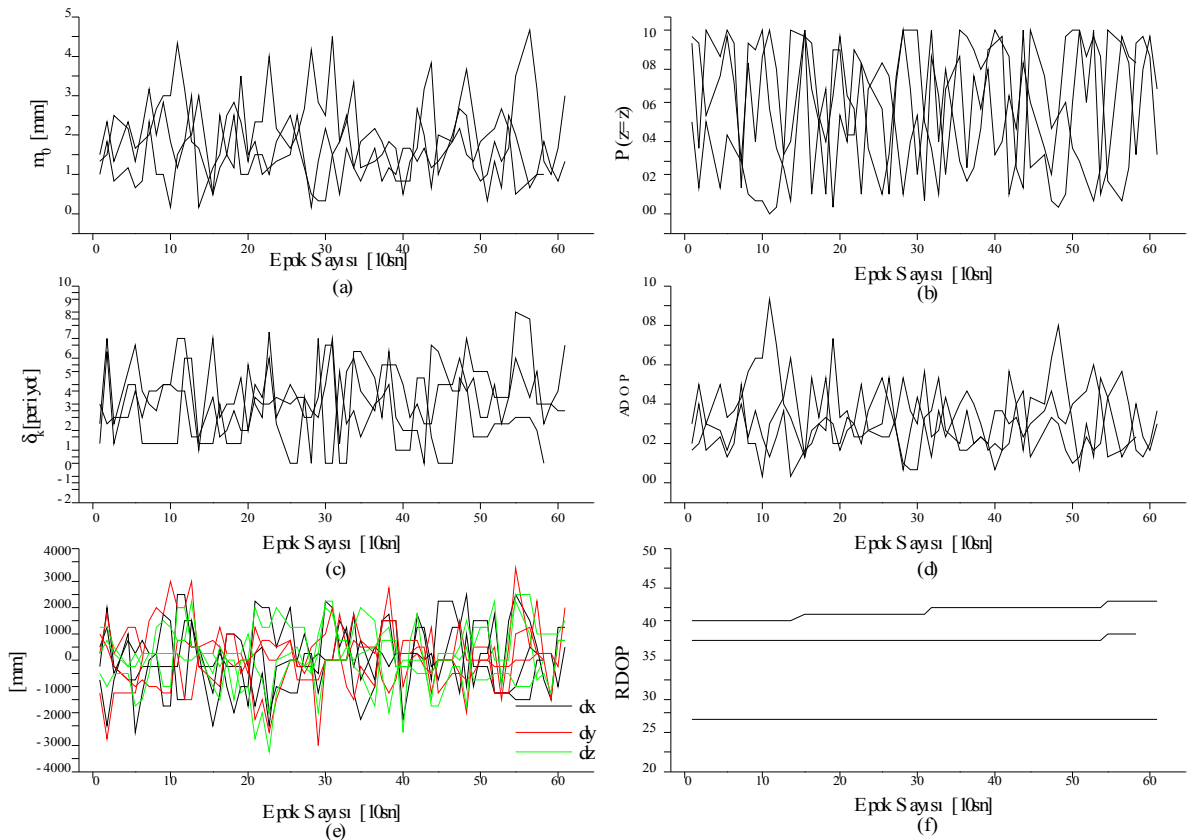
Şekil 1: Sayısal uygulamada kullanılacak olan verilerdeki uydu dağılımları (Tablo 2).

(a) S(10,11)=5.6km, (b) S(20,21)≈11.5km ve (c) S(30,31)≈25,9 km.

Bütün bazlar, duyarlı yörünge bilgileri ile bütün ölçüler kullanılarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonunda DD-BFB değerlerinin ve baz uzunluklarının en olasıkları hesaplanmıştır. Bu değerler doğru değerler olarak kabul edilmiş ve aynı gözlem dosyaları her epokda bağımsız olarak teker teker değerlendirilmiştir. Her epok sonrası elde edilen bağımsız değerlendirme sonuçları, bütün ölçüler kullanılarak elde edilen değerlendirme sonuçları ile her epok sonrası karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma işlemi aşağıdaki bağıntı ile gerçekleştirilmiştir.

$$\delta_k = \sqrt{\frac{(\underline{a} - \underline{a}_k)^T (\underline{a} - \underline{a}_k)}{2m}} \quad (\underline{a} : \text{Olası DD-BFB}, \underline{a}_k : k. \text{ epokta kestirilen DD-BFB } \{k=1,2, \dots, n\}) \quad (8)$$

$\delta_k=0$  olduğunda doğru DD-BFB değerleri kestirilmiş demektir. BFB doğruluk testi olarak adlandırılmıştır.



Şekil 2: Tablo 2’de verilen gözlem dosyalarının tek frekanslı değerlendirilmesi (L1 faz ve kod ölçüleri ile değerlendirme): (a) soncul karesel ortalama, (b) başarı olasılığı, (c) BFB doğruluk testi {(8) bağıntısı}, (d) ADOP ölçütü, (e) baz bileşenlerinin değişimi ve (f) bağıl konum duyarlılık ölçütünü göstermektedir.

*Tek frekanslı değerlendirme:*

Tablo 1’de özellikleri verilen dosyaların sadece L1 üzerinden alınan faz ve kod ölçüleri ile kurulan anlık matematik model değerlendirilmiş, ulaşılan sonuçlar Şekil 2’de grafikler halinde sergilenmiştir (Şekil 2). Şekil 2 incelendiğinde anlık BFB kestiriminin hiçbir ölçme anı için gerçekleşmediği görülmektedir (Şekil 2a). Şekil 2’de, (a) grafiği

matematik modelin geçerli olduğunu, (b) grafiği tek frekanslı alıcı için anlık değerlendirilmenin başarı olasılığının düşük olduğunu, (c) grafiği doğru BFB kestiriminin gerçekleşmediğini (d) grafiği tek frekanslı alıcı ile doğru BFB kestiriminin gerçekleşebilmesi için duyarlılığın yetersiz olduğunu (Kurt, 2005), (e) grafiği doğru BFB kestirimi gerçekleşmediğinde baz çözümlerinin yanlış olduğunu ve (f) grafiği de bağlı konum duyarlılığı RDOP'u temsil etmektedir. RDOP ölçütü baz büyüklüğüne göre büyüyerek gitmektedir (Şekil 2e).

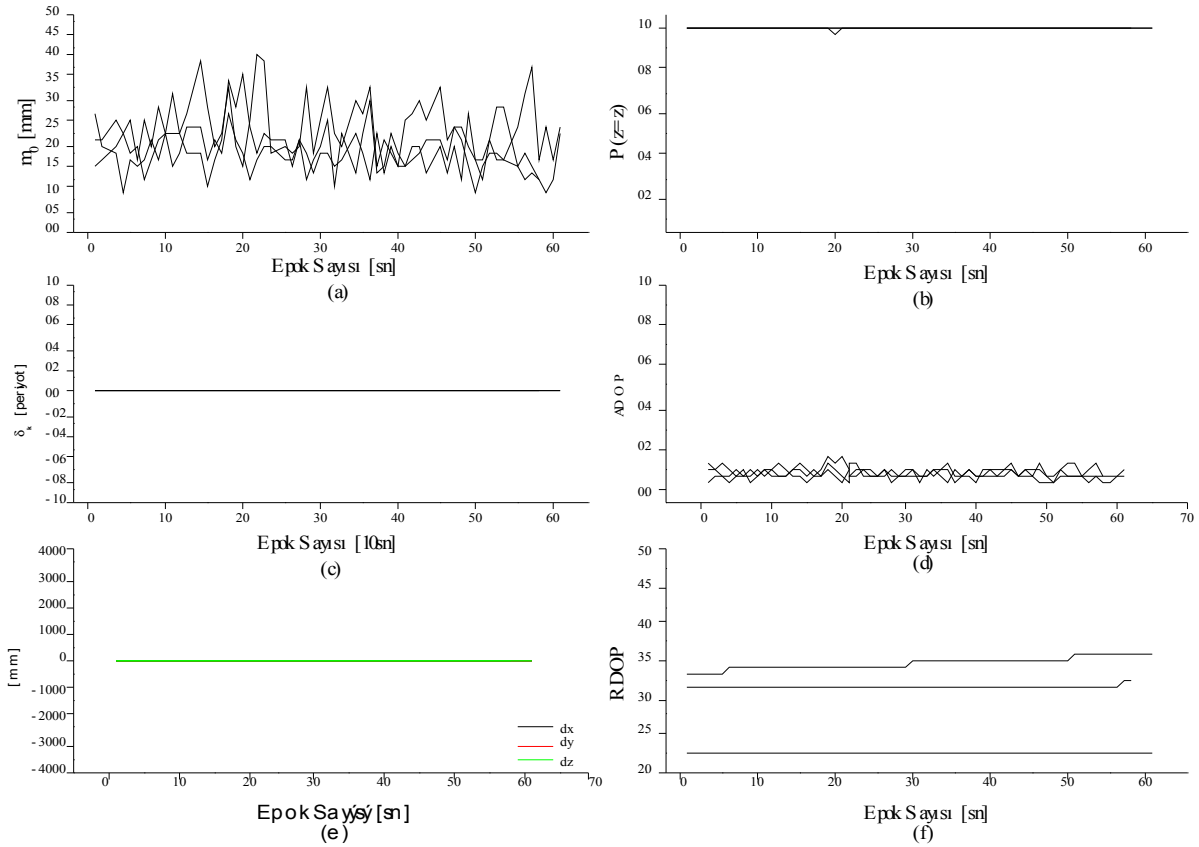
*Çift frekanslı değerlendirme:*

Tablo 1'de özellikleri verilen dosyalar L1/L2 üzerinden alınan faz ve kod ölçüleri ile kurulan anlık matematik model değerlendirilmiş, ulaşılan sonuçlar Şekil 3'de grafikler halinde sergilenmiştir (Şekil 3). Yine Şekil 3a'dan, kurulan matematik modelin geçerli olduğu görülmektedir. Çift frekanslı değerlendirme sonucunda bütün epoklarda doğru BFB değerleri (Şekil 2c) ve bunlara bağlı olarak *cm* doğruluklu baz bileşenleri hesaplanmıştır (Şekil 3e).

Çalışmada kullanılan BFB geçerlilik testlerinin, tasarlanacak üçlü frekans ölçüleri ile gerçekleştirilecek BFB kestirimi hakkında karar vermeyi sağlayacak güvenilirlikte olduğu Şekil 2 ve Şekil 3'den görülmektedir.

*Üç frekanslı değerlendirme:*

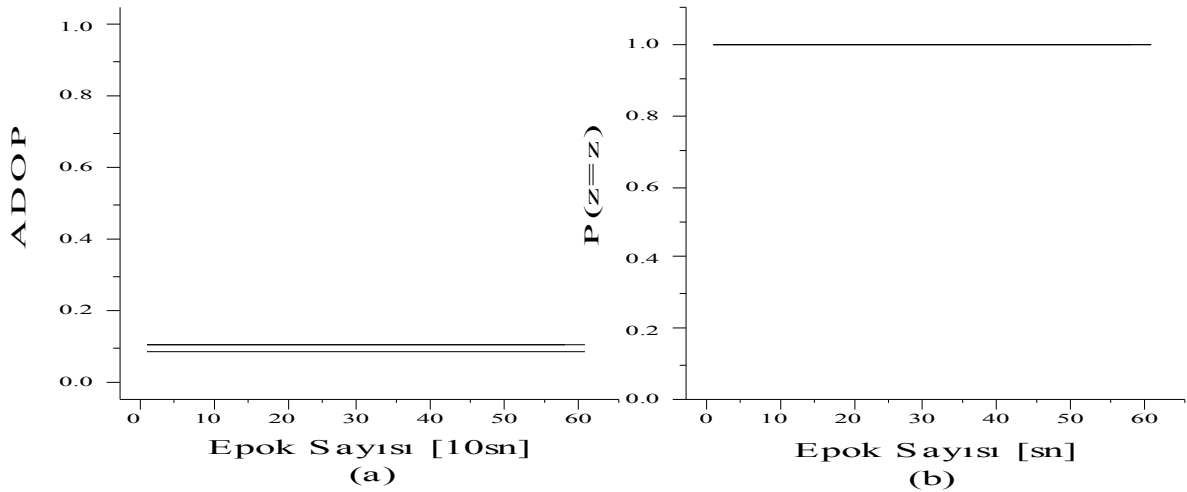
Şekil 1'deki uydu dağılımından, üç frekansta alınacak ölçüler (L1, L2 ve L5) ile kurulacak matematik model de ADOP ve başarı olasılığı testlerinden yararlanılarak değerlendirilebilir. Bu amaçla uydu yayın yörünge bilgileri ve yaklaşık alıcı koordinatları kullanılarak oluşturulan (2) matematik modeli iki geçerlilik testi üzerinden değerlendirilmiştir (Şekil 4).



**Şekil 3:** Tablo 2'de verilen gözlem dosyalarının çift frekanslı değerlendirilmesi (L1/L2 faz ve kod ölçüleri ile değerlendirme): (a) soncul karesel ortalama, (b) başarı olasılığı, (c) BFB doğruluk testi  $\{\delta^8$  bağıntısı}, (d) ADOP ölçütü, (e) baz bileşenlerinin değişimi ve (f) bağlı konum duyarlılık ölçütünü göstermektedir.

Şekil 4 incelendiğinde doğru BFB kestiriminin gerçekleşebilme duyarlılığı ve başarı olasılığını yüksek olduğu görülmektedir.

İki frekanslı bir alıcı ile dahi anlık BFB kestirimi gerçek GPS dosyaları üzerinde gösterilmiştir. Üçüncü frekansın anlık doğru BFB kestiriminin başarı oranını %100'e çıkaracaktır.



**Şekil 4:** Üç frekanslı alıcı ile (L1/L2/L5 üzerinden kod ve faz ölçüleri ile değerlendirme) üç farklı büyüklükteki bazların değerlendirme sonuçları (a) ADOP ölçütü ve (b) BFB kestiriminin başarı olasılığı.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Duyarlı konum belirlemede *mm* duyarlıklı faz ölçüleri önemli yer tutmaktadır. Faz ölçülerinin en zayıf yanı, ölçme başlangıcındaki tamsayı değerlerinin bilinmemesidir. Bu durum, anlık konum belirlemede hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Anlık konum belirlemenin olumsuz sonucu, her epokda BFB bilinmeyenlerinin tekrar hesaplanmasıdır. BFB kestirim yöntemleri gelişmiş olmasına karşın, doğru BFB kestirimi bazı kısıtlamalara bağlıdır. Bunlar; alıcının ölçü toplayabileceği frekans sayısı, ölçme anındaki uydu sayısı ve alınan verilerin normal dağılımlı olması şeklinde sıralanabilir. Bu çalışmada modernize edilmiş GPS üzerinden seçilen uygulamalar ile frekans sayısının BFB kestirimi üzerindeki etkisi gösterilmiştir.

Anlık konum belirlemenin en önemli olumlu sonuçlarından birisi sinyal atlamalarından etkilenmemesidir. Bir diğer olumlu etkisi, matematik model kurma ile ilgilidir. Anlık konum belirleme için matematik model oluşturmak, hızlı statik yöntemlere matematik model oluşturmaktan daha kolaydır.

Bir GNSS alıcısı alırken dikkat edilecek en önemli özellikler; alıcının ölçü toplayabileceği frekans sayısı, kanal sayısı ve ölçü toplayabileceği uydu sistemi sayısıdır. Bu özelliklerin kesişme noktası, konum bilgisi elde edilebilecek ölçü sayılarını artırmalarıdır.

#### KAYNAKLAR

- Dai L.**, 2000. *Dual-frequency GPS/GLONASS real-time ambiguity resolution for medium-range kinematic positioning*. 13th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation, Salt Lake City, Utah, 19-22 September, 1071-1080.
- Dai L., Han S. & Rizos C.**, 2001a. *Performance analysis of integrated GPS/GLONASS carrier phase-based positioning*. Journal of Geospatial Information Science, 4(4), 9-18.
- Dai L., Wang J., Rizos C. & Han S.**, 2001b. *Real-time carrier phase ambiguity resolution for GPS/GLONASS reference station networks*. Int. Symp. on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics & Navigation (KIS2001), Banff, Canada, 5-8 June, 475-481.
- Dai L., Han S., Wang J. & Rizos C.**, 2001c. *A study of GPS/GLONASS multiple reference station techniques for precise real-time carrier phase-based positioning*. 14th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the U.S. Inst. of Navigation, Salt Lake City, Utah, 11-14 September, 392-403.
- Dai L., Rizos C. & Han S.**, 2003. *An adaptive procedure for carrier phase-based GPS/GLONASS positioning*. Geomatics Research Australasia, 78, 19-36.
- Enderle W.**, 2003. *Galileo: Impact on Spacecraft Navigation System*, Journal of Global Positioning Systems, Vol.2, No.2, 135-138.
- Hein G.W., Godet, J., Issler, J.L., Martin, J.C., Erhard, P., Lucass-Rodriguez, R. and Pratt, T.** 2002, *Status of GALILEO Frequency and Signal Design*.  
url: [http://europa.eu.int/comm/dgs/energy\\_transport/galileo/doc/galileo\\_stf\\_ion2002.pdf](http://europa.eu.int/comm/dgs/energy_transport/galileo/doc/galileo_stf_ion2002.pdf)
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H. and Collins J.** (1997), *GPS Theory and Practice*, Fourth Revised Edition, Springer, New York.



- Jonge P.J. and Tiberius C.C.J.M.**, 1996. *The LAMBDA method for integer ambiguity estimation: implementation aspects*, Delft Geodetic Computing Center LGR series, No. 12.
- Jonge P.J., Tiberius C.C.J.M. and Teunissen P.J.G.**, 1996. *Computational aspects of the LAMBDA Method for GPS Ambiguity Resolution*, In: Proc. ION-GPS'96, 17-20 September, Kansas City, pp. 935-944.
- Jong K.D., Joosten P. And Tiberius C.**, 2004. *Integrated GPS/GALILEO Ambiguity Resolution*, In: Proc. Of NavTec 2001, 1st ESA workshop on satellite navigation user equipment Technologies, December 2001, pp.318-325.
- Kurt O.**, 2003a, *GPS ölçülerinin değerlendirilmesinde Başlangıç Faz Belirsizliğinin Araştırılması*, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Kurt O.**, 2003b, *Deformasyon Belirleme Amaçlı Başlangıç Faz Belirsizliği Çözüm Yönteminin Ölçü Süresini Kısıtmadaki Önemi*, Kocaeli 2003 Deprem Sempozyumu, 23-25 mart, Kocaeli.
- Kurt O.**, 2005, *Başlangıç faz belirsizliği çözümünde geçerlilik testleri.*, Kocaeli 2005 Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Jonge, K., Joosten P. and Tiberius C.C.J.M.**, 2001. *Integrated GPS/GALILEO Ambiguity Resolution*, In: Proc. Of NavTec 2001, 1st ESA workshop on satellite navigation user equipment technologies, pp.318-325.
- McDonald K.D.**, 2002. *The Modernization of GPS: Plans, New Capabilities and the Future Relationship to Galileo*, Journal of Global Positioning Systems, Vol.1, No.1, 1-17.
- Odijk D., Teunissen P.J.G. and Tiberius C.C.J.M.**, 2002, *Triple-frequency ionosphere-free phase combinations for ambiguity resolution*, In: Proc. Of the ENC-GNSS 2002 proceedings; The European Navigation Conference, Copenhagen, denmark, 27-30 May.
- Odijk, D.** 2003. *Fast precise GPS positioning in the presence ionospheric delays*, PhD Theses, Mathematical Geodesy and Positioning, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Tehnology, Netherlands.
- Seeber G.**, 1993. *Satellite Geodesy: Foundation, Methods, and Applications*, Walter de Gruyter, Berlin New York.
- Teunissen P. J. G.**, 1995. *The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: a method for fast GPS integer ambiguity estimation*, Journal of Geodesy, vol. 70, pp 65-82.
- Teunissen P. J. G., De Jonge P.J. and Tiberius C.C.J.M.**, 1995. *The LAMDA-method for fast GPS surveying*, In: Proc. Int. Symposium GPS technology Applications, 26-29 September, Bucharest, Romania, pp. 203-210.
- Teunissen P. J. G. and Odijk D.**, 1997. *Ambiguity Dilution of Precision: Definition, Properties and Application*, In:proc.ION-97, 16-19 September, Kansas City, USA, pp.891.
- Teunissen P. J. G., de Jonge P. J. and Tiberius C. C. J. M.** 1997. *The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: its performance on short GPS baselines and short observation span*, Journal of Geodesy, Journal of Geodesy, vol 71, no 10, pp 589-602.
- Teunissen P.J.G. and Kleusberg A. (Eds.)**, 1998. *GPS for Geodesy*, ISBN: 3-540-63661-7, Springer-Verlag.
- Teunissen P.J.G.**, 1998a, Success probability of integer GPS ambiguity rounding and bootstrapping, Journal of Geodesy, vol. 72, no 10, pp 606-612.
- Teunissen P. J. G.**, 1999a, *The probability distribution of the GPS baseline for a class of integer ambiguity estimators*, Journal of Geodesy, vol. 73, no 5, pp 275-284.
- Teunissen P. J. G.**, 1999b, *The success rate and precision of GPS ambiguities*, Journal of Geodesy, vol. 74, no 3/4, pp 321-326.
- Teunissen P.J.G., Joosten P. and Tiberius C.C.J.M.** ,1999a, *Geometry-free ambiguity success rates in case of partial fixing*, In: Proc. of National Technical Meeting & 19th Biennial Guidance Test Symposium ION 1999, pp. 201-207 January 25-27, San Diego, Ca.
- Teunissen, P. J. G., Odijk D. ve De Jong, C.D.**, 1999b, *Ambiguity dilution of precision: an additional tool for GPS quality control*, Proc. Of Hydro'99, Plymouth, UK, 5-7 January 1999, Paper (19)1-(19)10.
- Teunissen P.J.G., Jonkman N.F., Joosten P. and Tiberius C.C.J.M.** 2000, *Long baseline 3 frequency Differential GNSS*, In: Proc. Of the IEEE Position Location and Navigation Symposium, San Diego, Ca, March 13-16, pp.7-14.
- Wang J.**, 2000, *An approach to GLONASS ambiguity resolution*, Journal of Geodesy, vol. 74, no 5, pp 421-430.
- Verhagen S.**, 2004a. *GNSS integer ambiguities. Estimation and validation*, Delft Institute of Earth Observation and Space Systems, Delft University of Technology, Publications on Geodesy, 58, Netherlands Geodetic Commission, Delft, ISSN:90-6132-290-1.
- Verhagen S.**, 2004b, *Visualization of GNSS-related design parameters*, Manual for the MATLAB® user interface VISUAL, Delft University of Technology, Department of Mathematical Geodesy and Positioning, April 6.
- URL 1**, MGP internet sitesi, *Mathematical Geodesy and Positioning*, 2002  
<http://www.geo.tudelft.nl/mgp/>
- URL 2**, IGS internet sitesi, *International GPS Service*, 2005.  
<http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>



