

GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)

Celalettin KARAALİ, Ömer YILDIRIM

Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Trabzon

ÖZET

GPS sisteminin jeodezik çalışmalarda kullanımı, gün geçtikçe yaygınlaşmakta ve bu sistem adım adım haritacılık sektöründe zirveye tırmanmaktadır. Faz ölçüleri kullanmak suretiyle mm mertebesinde duyarlık elde edilmesi, her türlü hava koşullarında gözlem yapılması, noktaların birbirlerini görme şartı olmaması ise tercih unsurunu artırmaktadır. Ayrıca, her geçen gün ölçü tekniklerinin geliştirilmesi, deformasyon ölçmeleri, fay hareketlerinin izlenmesi, duyarlı jeoid haritalarının çıkarılması, halihazır harita yapımı vb. çalışmalarda GPS'in kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Anahtar Kelimeler : Global konum belirleme sistemi, Jeodezi, Haritacılık

GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS)

ABSTRACT

Use of GPS is becoming more widespread on surveying engineering. Especially, preference to GPS is increased by getting accuracy of order of milimeter, making observation on every weather forecast, without requiring intervisibility between station. Besides, developing new observation techniques and technologies in GPS increased its use in deformation measurements, monitoring crustal movements, mapping precise geoid maps, detail surveying, etc.

Key Words : Global positioning system, Geodesy

1.GİRİŞ

Hızla gelişen teknolojiye paralel olarak, jeodezik amaçlı konum belirleme sistemlerinde de büyük bir ilerleme kaydedilmiştir. Bu yüzden GPS (Global Positioning System) ile yeryüzündeki jeodezik noktaların konumlarının belirlenmesi giderek yaygınlaşmaktadır. Çok yakın bir gelecekte jeodezik amaçlı yersel ölçmelerin bu sistem ile yapılacağı kesinlik kazanmıştır. Çünkü bu sistem sayesinde çok hızlı ve duyarlı ölçüler yapılabilmektedir. Bu duyarlıklar GPS alıcısı üreticilerine göre ortalama X ve Y yönünde 5 mm+1 ppm ve Z yönünde ise 10 mm+1ppm olarak verilmektedir. Noktaların konumlarını üç boyutlu (X,Y,Z) veya (ϕ, λ, h) gerçek zaman içerisinde belirleyebilmesi, ayrıca her türlü hava şartlarında kullanılması ve iki nokta arasında yersel yöntemlerdeki gibi görüş

probleminin olmaması, bu sistemin en büyük avantajıdır.

Günümüzde GPS ile çok değişik alanlarda uygulamalar yapılmaya başlanmıştır. Bunlar genelde, deformasyon ölçmeleri, konum belirlemeye yönelik ölçmeler, fotogrametrik çalışmalar vs. olarak sıralanabilir. Yazımızda Türkiye'de de yaygınlaşmakta olan bu sistem hakkında bilgi verilecektir.

2. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ (GPS)

İlk çalışmalarına 1973 yılında ABD Savunma Bakanlığı tarafından askeri amaçlarla başlanan NAVSTAR (NAVigation System Using Time And

Ranging) GPS uydulardan yayınlanan radyo sinyalleri yardımıyla her türlü hava koşullarında, gece ve gündüz, süratli, doğru ve ekonomik olarak , noktalar arası görüş gereği olmaksızın üç boyutta konum belirleme sistemidir. Navigasyon ihtiyacına yönelik olarak tasarlanan sistem, konumlanmanın yanısıra çok duyarlı zaman ve hız belirleme olanağı sunar (Wells et al., 1987). Herhangi bir noktada her an uygun geometride en az dört uydunun görülebileceği şekilde planlanmış 24 uydudur, sistemin uzay bölümünü oluşturur. Bu uydular yerden yaklaşık 20200 km uzaklıkta olup, ekvatorla 55° lik açı yapan 6 ayrı yörünge düzlemine yerleştirilmiştir ve 12 saatlik periyotlara sahiptirler. Her uydudur iki farklı sinyal (1575.42 Mhz frekansında, yaklaşık 19 cm dalga boyunda L1 ve 1227.60 Mhz frekansında, 24 cm dalga boyunda L2) yayınlar (King et al., 1987). Temmuz 1993'te tüm uyduların yörüngelerine oturtulma işlemleri tamamlanmıştır. Bu uydular, dünya üzerine dağılmış, duyarlı saatleri olan, çift frekanslı alıcılarla donatılmış, konumları çok iyi bilinen 5 adet izleme istasyonlarından sürekli olarak izlenmektedir.

2.1. GPS Ana Bölümleri

- . Uzay bölümü
- . Kontrol bölümü
- . Kullanıcı bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

2.1.1. Uzay Bölümü

Bu bölüm modülasyonlu L1 ve L2 frekanslarında sinyal yayınlayan uydulardan oluşmaktadır. Uydular, 10.23 Mhz temel frekansının 154 ve 120 tam katı olan L1 ve L2 taşıyıcı sinyalleri üzerine kodlar yardımıyla uygun yörünge ve saat bilgilerini modüle ederek C/A (Coarse/Acquisition) kodu, P kodu (Precision code) ve navigasyon mesajı olmak üzere üç farklı veri üretilir ve yayınlanır.

Her uydunun özel bir elektronik donanım ile belli bir matematik modele göre ürettiği bu kodlara "pseudorandom noise" (PRN) adı verilir. Uyduların tanımlanmasında PRN no. ları kullanımı tercih edilir (Kahveci, 1993).

C/A kod veya standart kod (S kod) adı verilen, normal olarak yalnızca L1 üzerinden 1.023 Mhz saat hızında yayınlanan 300 m dalga boyuna sahip sinyal, tüm kullanıcıların kullanımına açıktır. Kod denilen L1 ve L2 üzerinden 10.23 Mhz ile yayınlanan yaklaşık 30 m dalga boyuna sahip sinyal ise esas itibarıyla askeri amaçlara yönelik kullanılmaktadır.

Her bir uydudur, senkronize zaman sinyallerini, tüm uydulara ait konum bilgilerini ve yörünge parametrelerine ilişkin bilgileri iki taşıyıcı frekans (L1,L2) üzerinden yayınlamaktadır. Üç tip GPS uydusu mevcut olup bunlar; BlockI, BlockII ve BlockII-R olarak sınıflandırılmışlardır.

2.1.2. Kontrol Bölümü

GPS kontrol bölümü, ana kontrol istasyonu, yer kontrol istasyonları ve izleme istasyonları olmak üzere üç kısma ayrılır.

Kontrol bölümünün görevleri arasında, yörünge ve saat bilgilerinin belirlenmesi için uyduların izlenmesi ve her bir uydudaki mesaj bilgilerinin güncelleştirilmesi sayılabilir. Daha önce de belirtildiği gibi yer yüzünde uygun olarak dağılmış toplam 5 adet istasyon bulunmaktadır. Bunlar; Colorado Springs, ana kontrol istasyonu ve izleme istasyonu, Kwajalein, Diego Garcia ve Ascension Island yer kontrol ve izleme istasyonu, Hawaii Falcon ise yalnızca izleme istasyonu olarak görev yapmaktadır. İzleme istasyonlarından bütün uydular sürekli olarak izlenir ve gönderdiği sinyaller kaydedilir. İstasyonlarda kaydedilen meteorolojik verilerle birlikte Online sistemiyle Colorado Springs ana kontrol istasyonuna aktarılır. Uyduların yeni yörünge bilgileri ve saat bilgileri, bu verilerle ana kontrol istasyonunda hesaplanarak yine Online sistemiyle yer kontrol istasyonlarına gönderilir. Yer kontrol istasyonlarından, yer antenleri yardımıyla, S-Band dalgalarıyla bu bilgiler uydulara her gün düzenli olarak yüklenir. Önceden yüklenen herbir mesaj 14 günlük bir süre için geçerli olmakta, bu da uydunun konum doğruluğunda 10-200 m arasında bir sapmaya neden olmaktadır (Seeber,1993).

2.1.3. Kullanıcı Bölümü

GPS'in kullanıcı bölümünü, yeryüzünde kullanılan alıcı setleri oluşturmaktadır. Bir alıcı setinde, alıcı anteni, alıcı ve güç kaynağı bulunmaktadır.

2.2. GPS Uydu Sinyal Yapısı

GPS sisteminin işleyebilmesi için, uydulardan gönderilen sinyallerin ulaşmaları gerekmektedir. İyonosfer, 100 Mhz'den küçük frekanslarda sinyalin ulaşım sürecinde büyük gecikmelere neden olmaktadır. Bu nedenle uydularda yüksek frekanslar kullanılır. 10 Ghz'den büyük frekanslar ise troposferde sinyal kaybına uğramaktadır (Altiner,1992).

GPS sinyalleri, iki taşıyıcı ve bunlar üzerine modüle edilmiş C/A kod, P kod ve uydudur ile ilgili yayınlanan

mesajlardan oluşur. Konumlama için her bir uydu iki frekansta sinyal yayınlar. L1 taşıyıcısının frekansı 1575.42 Mhz, L2 taşıyıcısının frekansı 1227.60 Mhz'dir. Bu iki frekans temel frekans olan $f_0=10.23$ Mhz'den oluşturulmuştur. Ana frekans, uyduda bulunan osilatör tarafından üretilmekte olup BlockII uyduları için, bir gün müddetinde 10^{-13} de bir kararlılığa sahiptir. Ana frekans f_0 , relativistik etkiyi dengeleyebilmek için yaklaşık 0.005 Hz azaltılmıştır ve 10.229999 Mhz olarak uydu tarafından yayınlanmaktadır. Söz konusu GPS sinyalleri iki adet PRN kodu ile modüle edilmiştir. Bunlardan C/A kod kendisini milisaniyede bir tekrar etmektedir. Diğer PRN kod da P kod olup, bu da kendisini 267 günde bir tekrar eder. L1 taşıyıcısı, C/A kod ve P kod tarafından modüle edilmiştir. L2 taşıyıcısı ise yalnızca P kod tarafından modüle edilmiştir. L1 taşıyıcısı;

$$L1(t)=A_1(t)P(t)D(t)\cos(\xi_1 t+\mathcal{E})+B_1G(t)D(t)\sin(\xi_1 t+\mathcal{E}) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir (Hui,1982). Burada; L1(t); zamana bağlı L1 sinyali, P(t); P kod, G(t); C/A kod, A_1, B_1 ; yayınlanan iki kez kareleri alınmış taşıyıcı sinyalin genlikleri, D(t); uydu ile ilgili veriler, ξ_1 ; L1 sinyalinin açısal frekansı, \mathcal{E} ; parazit ve osilatörde birikerek oluşan hatalar

L2 taşıyıcısı ise;

$$L2(t)=C_1 P(t) D(t) \cos(\xi_2 t+\mathcal{E}) \quad (2)$$

şeklinde elde edilir. Burada da L2(t); zamana bağlı L2 taşıyıcısı, C_1 ; sinyalin genliği, ξ_2 ; L2 sinyalinin açısal frekansdır.

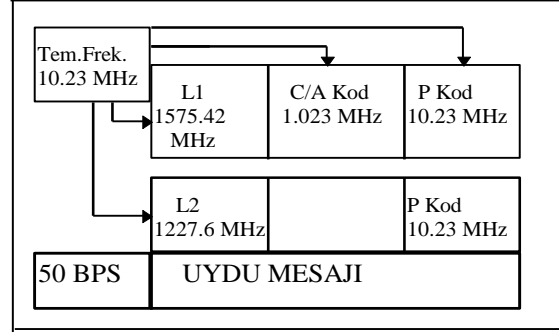
L1 ve L2 taşıyıcıları uydu tarafından yayınlanan, uydu mesajı veya navigasyon mesajını taşımaktadır. Bu navigasyon mesajı; uydu saati, uydu yörüngesi, uydunun performansı ve verilere getirilecek çeşitli düzeltmeleri içerir. Bu mesaj 50 Hz gibi alçak bir frekansla kullanıcıya ulaştırılır. Bu mesajlar alıcı tarafından çözümlenir ve gerçek zaman içerisinde konum belirleme amacıyla kullanılır (Kahveci,1993). Tablo 1'de uydu sinyalleri ve aralarındaki ilişkiler verilmiştir.

2.3. Referans Koordinat Sistemi

WGS-72 referans elipsoidinden sonra GPS World Geodetic System WGS-84 elipsoidi referans sistemi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistem yer merkezlidir. Tablo 2'de verilen parametreler ile belirlidir. Eş potansiyelli elipsoidin teorik ifadelerini

kullanarak, diğer parametrelerini de hesaplamak mümkündür.

Tablo 1. GPS Uydu Sinyallerinin Kombinasyonları



Tablo 2. WGS-84 Elipsoidine İlişkin Parametreler

Parametre ve Değeri	Açıklama
$a=6\ 378\ 137$ m	Elip. büyük yarı eksen
$f=1/298.25722356$	Elipsoidin basıklığı
$J_2=1\ 082\ 630*10^{-9}$	Zonal katsayı
$W_e=72921152\ 10^{-11}$ rad/s	Yerin açısal hızı
$\mu=3986005*10^8$ m ³ /sn ²	Gravite sabiti

Yersel bir sistemi düşünürsek, bu sistemde bir \mathcal{X} vektörü X, Y, Z kartezyen koordinatlarıyla ya da ϕ, λ, h elipsoidal koordinatlarıyla tanımlanır (Şekil 1). Yerin ağırlık merkezi orjin olarak alınır. Burada Z eksen elipsoidin küçük eksen ile çakışmıştır. X eksen Greenwich jeodezik meridyen düzlemi ile ekvator düzleminin ara kesitidir. Artı yönü 0° boylama yönelmiştir. X,Y,Z kartezyen koordinatlarla ϕ, λ, h elipsoidal koordinatlar arasında aşağıdaki ilişki verilir Geometrik ilişki de Şekil 1'de görülmektedir (Heiskanen ve Moritz, 1967).

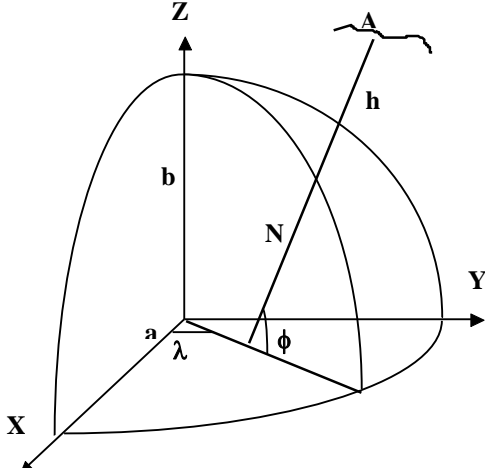
$$X = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h) \cos \phi \cos \lambda \\ (N+h) \cos \phi \sin \lambda \\ \left(\frac{b^2}{a^2}\right)N+h \sin \phi \end{bmatrix} \quad (3)$$

Burada, ϕ, λ, h ; elipsoidal enlem ve boylam, h; elipsoidal yükseklik, N; meridyene dik eğrilik yarıçapıdır.

2.4. GPS Uydularının Konumlarının Belirlenmesi

2.4.1. Kepler Hareket Kanunları

Kepler hareketi; yerin merkezi gravite alanından dolayı, uydunun güneş sistemi içerisindeki yörünge



Şekil 1. Kartezyen ve elipsoidal koordinatlar

hareketi yapması sonucu oluşan harekete denir. Bu hareket kanunları aşağıdaki gibi üç kısımda toplanmıştır.

1. Yörünge bir elipstir ve bu elipsin odak noktalarından biri dünyanın ağırlık merkezidir.

2. Uydunun yer merkezli konum vektörü eşit zamanda yörünge üzerinde eşit alanı taramaktadır. Bu ikinci kanun sonucunda, uydunun hızının sabit olmadığı, yörünge odak noktasında bulunan dünyanın ağırlık merkezinden en uzak noktasında bu nokta apoge olarak tanımlanır-minimum, en yakın noktasında -bu nokta perige olarak tanımlanır- ise maksimum olduğu ortaya çıkmaktadır.

3. Uydunun dünya etrafındaki yörüngesel dönmesini tamamlaması sırasında geçen zaman (T) gözönüne alınarak ortaya atılmıştır. Bu kanun (T) uydu periyodunun karesinin, yörünge elipsinin büyük yarı ekseninin küpüne oranının sabit olduğu ve bütün uydular için aynı olduğu varsayımı olup aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$T^2/a^3 = 4\pi^2/\mu \quad (4)$$

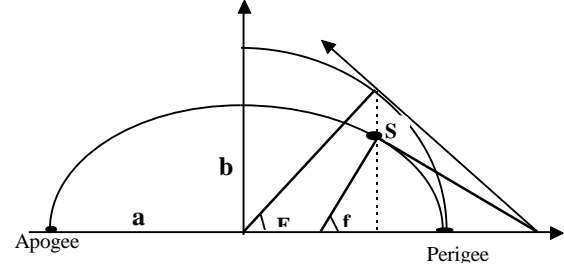
Burada $\mu=GM$ olup, G, uluslararası gravite sabiti, M, dünyanın kütesidir.

2.4.2. Kepler Yörünge Elemanları

Uydu yörüngelerinin belirlenebilmesi için, düğüm noktasının rektasenzasyonu, perige noktasının argümanı, referans konumunun ve uydunun yörüngesindeki konumunun bilinmesi gereklidir. Bir uydunun yörüngesindeki konumu, açısal bir ifade olan anomali ile belirlidir. Genel olarak anomaliler; ortalama anomali $M(t)$, eksentrik anomali $E(t)$ ve

gerçek anomali $f(t)$ 'dir. Bu anomaliler Şekil 2'de verilmiştir.

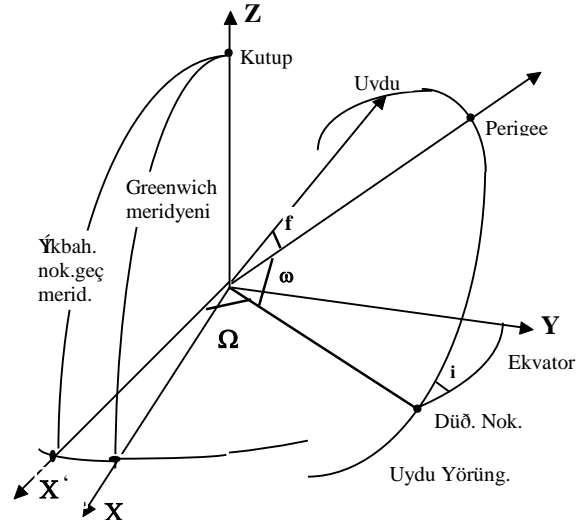
Uydunun Kepler hareketinin veya yörüngesinin bulunması için, uydu yörüngesine ait 6 tane parametreye ihtiyaç vardır. Bunlar da Tablo 3 ve Şekil 3'de verilmiştir (Gökalp,1994).



Şekil 2. Anomalilerin şematik gösterimi

Tablo 3. Kepler Yörünge Parametreleri

Sembol	Açıklama
Ω	Düğüm noktasının ilkbahar noktasından itibaren gök ekvator düzleminde yaptığı açı
i	Yörünge düzleminin eğim açısı
w	Perige noktasının argümanı
a	Yörünge elipsinin büyük yarı eksen
e	Eksantrisite
T_o	Perige'den uydunun geçiş zamanı



Şekil 3. Kepler yörünge elemanları

2.4.3. Uydu Koordinatlarının Hesabı

Uydu konumunun, klasik yersel sistem içerisinde hesaplanması için, öncelikle uydunun inertial sistem içerisinde koordinatları hesaplanır. Daha sonra bir dönüşüm yapılır. Uydunun konumunun belirlenmesi için uydu tarafından aşağıdaki katsayılar yayınlanır.

$a^{1/2}$: Büyük yarı eksenin karekökü

e : Eksentrisite

Δn : Hesaplanmış ortalama hareket n_o 'ın düzeltmesi
 t_{oe} : GPS haftasının başlangıcından itibaren geçen zaman

M_o : t_{oe} de'ki ortalama anomali

i_o : t_{oe} 'deki ekvator düzlemine göre yörünge düzleminin eğim açısı

Ω_o : t_{oe} 'deki çıkış düğümünün rektasenzasyonu

w : Perige argümanı

di/dt : Zaman içerisinde eğim açısının değişme oranı

$d\Omega/dt$: Zaman içerisinde rektasenziyonun değişme oranı

C_{uc}, C_{us} : Enlem argümanı için ($u=w+f$) sin ve cos genliklerinin düzeltme terimleri

C_{rc}, C_{rs} : Yer merkezli yarıçap için cos ve sin genliklerinin düzeltme terimleri

C_{ic}, C_{is} : Yörünge düzleminin eğim açısının cos ve sin genliklerinin düzeltme terimleri.

Yukarıda uydu tarafından yayınlanan parametreler ve aşağıdaki hesap adımları kullanılarak, uydunun klasik yersel sistemdeki koordinatları şöyle bulunur;

1.adım: Gerçek anomali f_k hesaplanır. Bunun için referans zamanı t_{oe} 'den itibaren geçen zaman t_k hesaplanır. Burada öncelikle uydudan sinyalin yayıldığı an (t) belirlenmelidir. Bu ise alıcıya sinyalin ulaştığı an ve ölçülen psodyo uzunluk yardımıyla iteratif bir yöntem kullanmak suretiyle bulunur.

Bulunan sinyalin uydudan yayınlanma zamanı yardımıyla,

$$t_k = t - t_{oe} \quad (5)$$

olur. Ortalama anomali M_k ise,

$$M_k = M_o (\sqrt{\mu} / a^{3/2} + \Delta n) k \quad (6)$$

ile bulunur. Yine t_k zamanındaki eksentrik anomali ile de iterasyon sonucunda,

$$M_k = E_k - e \sin E_k \quad (7)$$

eşitliği ile bulunur. Son adımda f_k , aşağıdaki eşitlik kullanılarak bulunur.

$$f_k = \tan^{-1} \left[\frac{(\sqrt{1-e} \sin E_k)}{(\cos E_k - e)} \right] \quad (8)$$

2.adım: U_k , enlemin argümanı hesaplanır. Bu, hesaplanan gerçek anomali, f_k ve uydu tarafından yayınlanan perigenin argümanı, w , C_{uc}, C_{us} düzeltme terimleri yardımıyla aşağıdaki eşitlikten,

$$U_k = w + f_k + C_{uc} \cos 2(w+f_k) + C_{us} \sin 2(w+f_k) \quad (9)$$

şeklinde bulunur.

3.adım: Yörünge yarıçapı r_k hesaplanır. Elipsoid ile ilgili çapsal uzunluk eşitliği, C_{rc} ve C_{rs} düzeltme terimleri ve diğer bilinen ve hesaplanan parametreler yardımıyla

$$r_k = a(1 - e \cos E_k) + C_{rc} \cos 2(w+f_k) + C_{rs} \sin 2(w+f_k) \quad (10)$$

hesaplanır.

4.adım: Yörünge düzleminin eğim açısı hesaplanır.

$$i_k = i_o + t_k(di/dt) + C_{ic} \cos 2(w+f_k) + C_{is} \sin 2(w+f_k) \quad (11)$$

5.adım: Düğüm noktasının boylamı λ_k hesaplanır. Bu adımda Ω_o , $d\Omega/dt$, t_{oe} , hesaplanan t_k ve bilinen w_e dünyanın ortalama hızı kullanılır.

Buraya kadar bulunan değerler uydunun kendi yörünge sistemindeki konumunu veren parametrelerdir. Bu parametreler yardımıyla yörünge düzlemindeki kartezyen koordinatlara,

$$\begin{aligned} X_1 &= r_k \cos(U_k) \\ Y_1 &= r_k \sin(U_k) \\ Z_1 &= 0 \end{aligned} \quad (12)$$

olarak geçilir. Uydunun kendi yörüngesini bir koordinat sistemi kabul eden yukardaki sistemden, ağırlık merkezi dünyanın kütesinde kabul edilen yersel koordinat sistemine geçmek için uydunun kendi yörünge sisteminde X eksenini, Y eksenini ekvator düzlemi içerisinde bulununcaya kadar döndürülür ve sonra Z eksenini, X eksenini sıfır meridyeninin bulunduğu düzlem oluncaya kadar kendi eksenini etrafında döndürülür. Böylece yersel koordinat sistemi içerisinde bir uydunun koordinatları,

$$\begin{aligned} X_e &= X_1 \cos \lambda_k - Y_1 \sin \lambda_k \\ Y_e &= X_1 \sin \lambda_k + Y_1 \cos \lambda_k \\ Z_e &= Z_1 \end{aligned} \quad (13)$$

şeklinde elde edilir (Wells et al., 1987).

3. SONUÇ

Bir önceki bölümde, GPS'in temel esasları verilmiştir. Bu temel esaslar ışığında, GPS sadece haritacılık sektörüne hitap edecek sınırlı bir sistem olmayıp, sınırsız sayıda isteklere cevap vereceği günümüzde yavaş yavaş görülmeye başlanmıştır. GPS'in kullanıldığı alanları kısaca özetlemek gerekirse;

- Haritacılık sektöründe,
- Askeri amaçlı uygulamalarda,
- Deprem araştırma çalışmalarında,
- Deformasyon belirlemede,
- İnşaat sektöründe,

Uçaklar ile fotoğraf çekimi çalışmalarında ve henüz başlangıç aşamasında olmasına rağmen, transit taşımacılık ve şehir içi taksi şirketlerinin, araçlarının yerlerini tesbit etme vs. çalışmalarda kullanılmaktadır.

Görülüyor ki, GPS sistemi kısa bir gelecekte teknolojiye paralel olarak daha da gelişecek, belkide çeşitli işyerlerinde çalışan insanların, o andaki buldukları konumlarını belirlemek vs. işlemler bu sistem sayesinde gerçekleştirilecektir.

4. KAYNAKLAR

Altınar, Y., 1992. Global Pozisyon Belirleme Sisteminin Ana Hatları, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, 71, 9-34.

Gökalp, E., 1994, GPS Ölçme Süresini Kısaltma

Amaçlı Yöntem Geliştirme, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Heiskanen, W.A., Moritz, H., 1967. Physical Geodesy, Freeman, San Francisco, London.

Hui, P.J., 1982. On Satellite Signal Processing Techniques Applicable to GPS Geodetic Equipment, The Canadian Surveyor. 36, 43-45.

Kahveci, M., 1993.Ortometrik Yüksekliklerin Belirlenmesinde GPS Sistemi,Yüksek Lisans Tezi, İTÜ İstanbul.

King, E.W., Masters, E.G., Rizos, C., Stoltz, A., Collins, C., 1987. Surveying with Global Positioning System, Dümmler, Bonn.

Seeber, G., 1993. Satellite Geodesy,Hannover.

Wells, D.E., Beck, N., Delikaraoğlu, D., Kleusberg, A.,Krakiwsky, E. E., Lachapelle, G., Langey, R.B., Nakiboğlu, M., Schwarz, K.P., Tranquilla, J.M., Vanicek, P., 1987. Guide To GPS Positioning, Second Edition, Canadian GPS Associates, New Brunswick, Canada.