

T.C.

**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UYDU GÖRÜNÜRLÜLÜĞÜNÜN KISITLI
OLDUĞU ORTAMLARDA NAVİGASYON
ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

Dolunay KARACA MEMİŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

**GEBZE
2003**

T.C.

**GEBZE YÜKSEK TEKNOLOJİ ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK VE FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**UYDU GÖRÜNÜRLÜLÜĞÜNÜN KISITLI
OLDUĞU ORTAMLARDA NAVİGASYON
ALGORİTMALARININ GELİŞTİRİLMESİ**

Dolunay KARACA MEMİŞ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ

ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI

Yrd.Doç.Dr. M.Halis SAKA

**GEBZE
2003**

ÖZET

Bu tezin amacı; GPS ölçüleri kullanılarak yapılan navigasyon çözümünün ve şehir içi ortamlarda uydu görünürlüğünün kısıtlı olması durumunda, anlık konum belirlemede kullanılabilecek alternatif çözümlerin irdelenmesidir.

Tezin uygulama aşamasında, 6 uydu seçilmiştir. Bu uydulara yapılan pseudorange ölçümleri değerlendirilmiştir. Uygulamada, bu uyduların, muhtemel 4'lü alt gruplarıyla elde edilen sonuçlara göre konum bilgileri yorumlanmıştır.

Bu tez, 7 bölümden oluşmaktadır. Tezin birinci bölümü giriş kısmını kapsamaktadır. İkinci bölümde, GPS ölçüm tekniklerinden kod ölçüsü yöntemi ele alınarak GPS ile navigasyon çözümü anlatılmıştır. Üçüncü bölümde ise, kısaca şehir içi ortamlarda karşılaşılan ölçme sorunlarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, uydu görünürlüğünün kısıtlı olduğu ortamlarda GPS ile navigasyon çözümü, beşinci bölümde ise Kalman filtresinin prensibi anlatılmıştır. Altıncı bölüm, uygulama aşamasıdır. Yedinci bölüm ise tezin sonuç bölümünü kapsamaktadır.

Anahtar Kelimeler: GPS, Navigasyon, Uydu, Görünürlük, Pseudorange.

SUMMARY

The aim of this thesis is ; to examine the alternative solutions that can be used to determine the instant positions , when satellite visibility at urban environments and navigation solutions, which are constituted by using GPS code measurements , are restricted.

Six satellites are chosen at the phase of thesis practice. The pseudorange measurements that are done to these satellites are evaluated. In the practice , position information is commented according to the results that are obtained by these satellites' probable four inferior groups.

This thesis is consisted of seven parts. First part includes the introduction of the thesis. In the second part ; navigation solution by GPS is explained , dealing with the code measurement method which is one of the GPS measurement technics. When we come to the third part of the thesis , we can experience the measurement problems seen at the urban environment , shortly. In the fourth part ; navigation solution by GPS , at the environments where satellite visibility is restricted , is explained. Kalman Filter principle is explained in the fifth part. Sixth part is the practice phase of the thesis. Seventh part includes the conclusion phase.

Keyword: GPS, Navigation, Satellite, Visibility, Pseudorange.

TEŞEKKÜR

Tez konumun seçilmesinden tamamlanmasına kadar her konuda bana yardımcı olan danışman hocam Yrd. Doç. Dr. M. Halis SAKA'ya, dataların temininde bana yardımcı olan sayın Yrd. Doç. Dr. Reha Metin Alkan'a , maddi, manevi desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen başta annem Gülenzar Karaca olmak üzere tüm aileme ve sevgili eşim Harita Mühendisi Abdullah Memiş'e, başta Yük. Harita Mühendisi Güzin Ertekin Atıl olmak üzere bana destek veren arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
TABLolar DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) İLE NAVİGASYON ÇÖZÜMÜ	3
2.1. Kod Ölçüsü	3
2.2. Uydu Alıcı Uzaklığının Ölçülmesi	4
2.3. Alıcı Konumunun Belirlenmesi	7
3. ŞEHİR İÇİ ORTAMLARDA ÖLÇME SORUNLARI	12
4. KISITLI ORTAMLARDA GPS İLE NAVİGASYON ÇÖZÜMÜ	14
4.1.Pseudorange Eşitliğinin Coğrafi Koordinatlar Cinsinden Çözümlemesi	15

4.2. Lokal Toposentrik Sistemdeki Bir Aracın Azimutunun Diferansiyel Anlamda Belirlenmesi	19
5. KALMAN FİLTRESİ	22
5.1. Kalman Filtresinin Prensibi	22
6. UYGULAMA	26
6.1. Uyduların Yükseklik Açısı / Azimut Değerlerine Göre Dağılımları	26
6.2. Değerlendirme	29
7. SONUÇ	34
KAYNAKLAR	36
ÖZGEÇMİŞ	38

SİMGELER VE KISALTMALAR

x_s, y_s, z_s	: Uydunun ECEF kartezyen koordinat sistemindeki koordinatları
T_s	: Sinyalin uydudan çıkış anı
T_r	: Sinyalin alıcıya ulaşma anı
dt	: Uydu saatinin GPS sistem zamanından farkı
t_r	: Alıcı saatinin GPS sistem zamanından farkı
$T_s + dt$	: Sinyallerin uydudan çıktığı anda uydu saatindeki göstergenin kaydettiği ölçüm
$T_r + t_r$	: Sinyalin kullanıcı-alıcıya ulaştığı zamanda, kullanıcı-alıcı saatindeki göstergenin kaydettiği değer
c	: Işık hızı
r	: Geometrik uzaklık
dt^p	: Uydu saat hatası
d_{atm}	: Atmosfer gecikmeleri
X_r, Y_r, Z_r	: Alıcı koordinat parametreleri
dt	: Zaman bilinmeyişi
$(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ)$	: Alıcının yaklaşık koordinatları
e_{meas}	: pseudorange ölçümündeki hataları içeren vektör
e_x	: yer istasyonunun konumunun ve alıcının GPS zamanına göre sabit saat farkı (offset) hatalarını gösteren vektör
a	: yükseklik açısı
M	: Meridyen yönündeki ana eğrilik yarıçapı
N	: Meridyene dik yöndeki ana eğrilik yarıçapı

j	: Elipsoidal enlem
l	: Elipsoidal boylam
n	: Lokal geodetik koordinat sisteminin kuzey (dik) eksen
e	: Lokal geodetik koordinat sisteminin doğu (yatay) eksen
h	: Elipsoidal normal
dj, dl	: Elipsoidal enlem ve boylamın dönüşüm parametreleri
dn, de	: Lokal geodetik koordinatlarının diferansiyeli
a	: Elipsoidal azimut
$\phi(T)$	: T anlık zaman aralığı için durum dönüşüm matrisi
$w(t)$	: Toplam hata unsuru
$E[\]$	: İstatistik ümit değeri
$y(t)$	: Hedef üzerindeki ölçü vektörü
$x(t)$	: Gerçek durum vektörü
H	: Ölçü matrisi
$v(t)$	: Ölçü hatası
GPS	: Global Positioning System
SA	: Selective Availability
PRN	: Pseudo Random noise
DSSS	: Direct Sequence Spread Spectrum
C / A	: Coarse / Acquisition
P-kod	: Pseudorandom kod
ECEF	: Earth Centered Earth-Fixed
PDOP	: Positional Dilution of Precision
GDOP	: Geometrical-Positional and Time Dilution of Precision

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. PRN Kod Sırası [1]	4
2.2. Alıcı Konum Vektörünün Gösterilmesi [1]	5
3.1. Uydu Görünürlülüğü ve Yükseklik Açısı Arasındaki İlişki	12
4.1. Lokal Geodetik koordinat Sistemi ve Elipsoidal Enlem, Boylam İlişkisi[8].	20
5.1. Kalman Filtresi İşlem Akış Diagramı [13]	25
6.1 Yükseklik Açısı/Azimut Değerlerine Göre Uyduların Genel Dağılımı	26
6.2.Yükseklik Açısı/ Azimut Değerlerine Göre Uydu Dağılımları	28
6.3. Koordinat Farklarından dx – GDOP İlişkisi	32
6.4. Koordinat Farklarından dy – GDOP İlişkisi	32
6.5. Koordinat Farklarından dz – GDOP İlişkisi	33

TABLÖLAR DİZİNİ

<u>Tablo</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Yükseklik Açısı ve Uydu Görülebilirliği Arasındaki İlişki [5]	13
6.1. 6 Uydu ile Yapılan Çözüm Değeri ve Kesin Koordinatlarla Farkı	29
6.2. Hesaplanan Koordinat Değerleri ve Alıcı Saat Hatası ile Karesel Ortalama Hataları ve GDOP Değerleri	30
6.3. Her Bir Kombinasyonda Elde Edilen Kesin Koordinat Farkları ile GDOP İlişkisi.	30

1. GİRİŞ

1984 yılından beri, NAVSTAR GPS uyduları ile, navigasyon ve hassas konum belirleme uygulamaları yapılmaktadır. GPS ile yapılan uygulamalarda, klasik ölçme yöntemlerine nazaran daha hassas, hızlı ve ekonomik sonuçları elde etmek mümkündür.

Navigasyon amaçlı konum belirlemede, en az 4 GPS uydusuna ölçü yapmak gereklidir. Ancak şehir içi ortamlarda, özellikle binaların yüksekliği, multipath etkisi gibi nedenlerden dolayı, uyduların görünürlülüğü kısıtlanır ve 4 uyduya ölçü yapmak her zaman mümkün olmayabilir.

Navigasyon çözümünde, hesaplanan konum bilgileri, alıcının X, Y, Z veya diğer bir gösterimle ϕ, λ, h koordinatlarıdır. Bunların dışında bir bilinmeyen de alıcı saat hatasıdır. Gözlenen uydu sayısının azalması durumunda bazı dış parametrelerin bilinen olarak alınması veya başka bir ölçme düzeneğiyle ölçülmesi halinde alternatif çözüm yollarının araştırılması, bu tez çalışmasının ana düşüncesini oluşturmaktadır. Böylece X, Y, Z kartezyen koordinatlar çerçevesinde kullanılan navigasyon çözüm algoritması, ϕ, λ, h coğrafi koordinatlar cinsinden düzenlenmiş ve lineerleştirilmiştir. Bunun özellikle dış parametre olarak, yükseklik ve kullanıcının azimutunun bilinebileceği durumda kullanılabilir olduğu anlaşılmıştır.

Uygulamada, minimum uydu görünürlülüğü olması durumunda, şehir içi ortamlarda uydu geometrisinin etkileri irdelenmiştir.

Bu tez 7 bölümden oluşmaktadır: Birinci bölüm, giriş bölümüdür. Tezin ikinci bölümünde, GPS ölçüm tekniklerinden kod ölçüsü yöntemi kartezyen koordinatlar cinsinden ele alınarak, GPS ile navigasyon çözümü anlatılmıştır. Üçüncü bölümde, şehir içi ortamlarda karşılaşılan ölçme sorunlarından bahsedilmiştir. Dördüncü bölümde, pseudorange ölçü eşitliğinin coğrafi koordinatlar cinsinden çözümlenmesi

ele alınmıştır. Beşinci bölümde, Kalman filtresinin prensibine değinilmiştir. Altıncı bölüm, uygulama aşamasıdır. Son bölüm ise tezin sonuç bölümünü kapsamaktadır.

2. GLOBAL POSITIONING SYSTEM (GPS) İLE NAVİGASYON ÇÖZÜMÜ

GPS, dünya üzerindeki konumumuzu doğru bir şekilde tespit etmemizi sağlayan uydu konum belirleme sistemidir.

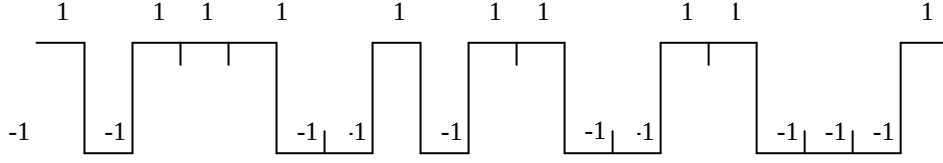
Navigasyonun amacı; hareket halindeki bir aracın veya insanın anlık konum ve hızının yüksek doğrulukla belirlenebilmesidir. Bu çalışmada, navigasyon çözümlerinde göz önünde bulundurulmuş ölçü tiplerinden pseudorandom noise kod (=PRN) ölçüleri anlatılacaktır.

2.1. Kod Ölçüsü

Her GPS uydusundan yayınlanan sinyaller, “Direct Sequence Spread Spectrum DSSS modulation” den yararlanılarak modüle edilirler. DSSS, uydu sağlığı, saat bilgileri ve uydu yörüngesi konum bilgilerini içeren gerekli navigasyon verilerini ve uydu sinyallerinin uzunluk bilgisini ölçebilecek şekilde yapılanmasını sağlar [1].

GPS uydularının önemli bir özelliği, son derece duyarlı zaman ölçmeleri yapacak donanıma sahip olmalarıdır. Bu amaçla uydular, yüksek duyarlılıklı osilatörlerle donatılmıştır. Bu osilatörler 10.23 Mhz lik bir temel frekans üretirler. Her uydu bu temel frekanstaki dalga üzerinde farklı bir matematik modele uygun olarak kodlar üretir ki bu kodlar Pseudo Random Noise olarak adlandırılır [1].

Her GPS uydusu, farklı bilgiler içeren 2 tip PRN kodu yayınlar: Kısa “Coarse / Acquisition (C/ A) kodu “ ve uzun “Precision (P) kodu”. P-kodu , her Cumartesi / Pazar gece yarısı başlayan tekrarlarla ve 7 gün boyunca haftalık olarak yayınlanırken, C / A kodu 1-msec period ve sabit tekrarlarla yayınlanır. P-kodu, gizli, şifreli bir Y-kodu içerir.



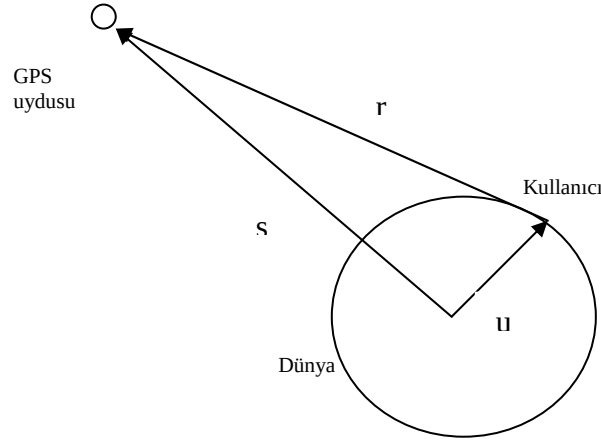
Şekil.2.1.PRN Kodu [1]

Şekil.2.1’de kısa PRN kod sırasının basit bir örneği gösterilmiştir.Bu kodlar, periyodiktir ve alıcının uygun donatılmasıyla kopya edilebilir niteliktedir [1].

2.2.Uydu Alıcı Uzaklığının Ölçülmesi

Uydularla konum belirlemede en yaygın olarak kullanılan yöntemin temel prensibi, uydu sinyallerinin bir alıcı tarafından kaydedilerek, sinyalin uydudan yayınlandığı an ile alıcıda kaydedildiği an arasında geçen sürenin çok hassas olarak ölçülmesi esasına dayanır.

Uydu saati ile kullanıcı-alıcı saatleri eş zamanlı olduğu takdirde, uydudan sinyalin alındığı an ile sinyalin iletildiği zaman arasındaki fark tespit edilerek, uydu ile kullanıcı arasındaki mesafe belirlenebilir. Burada eş zamanlı olmayan saatler ile PRN kod ölçüleri yardımıyla uydu-kullanıcı arasındaki mesafesinin belirlenmesinin temel prensipleri incelenecektir. Ölçümler yapılırken yayılmayı geciktirici etkiler(atmosferik etkiler), gürültü vb. hata kaynakları mevcuttur. Bununla birlikte bu hata kaynaklarını, eşzamanlı olmayan saatler ile mukayese edildiği zaman hesaba katmak önemsizdir [1].



Şekil.2.2. Alıcı Konum Vektörünün Gösterilmesi [1].

Şekil.2.2 de görülen u vektörü ; ECEF Koordinat Sisteminin orjinini başlangıç alıp, kullanıcı-alıcının konumunu belirtir. Alıcının 3 boyutlu koordinatları x_r, y_r, z_r ; bilinmeyenler olarak hesaba katılır. r vektörü; kullanıcıdan alıcıya olan fark vektörüdür.

x_s, y_s, z_s ; uydunun ECEF kartezyen koordinat sistemindeki koordinatlarıdır.

s vektörü; uydunun konumunun, koordinat sisteminin orijiniyle olan ilişkisini gösterir.

$$r \text{ vektörü; } r = s - u \quad (2.1)$$

$$r \text{ vektörünün büyüklüğü; } \|r\| = \|s - u\| \quad (2.2)$$

$$r = \|s - u\| \quad (2.3)$$

şeklinde gösterilir.

PRN kodlarının, uydudan alıcı antenine taşındığı an ölçülebildiğinden, uydu ile alıcı - kullanıcı arasındaki r mesafesi hesaplanabilir. Örneğin; bu özel kodların uydudan çıkış anı t_1 , alıcıya ulaştığı an t_2 olsun. Yayılma anı Dt ile gösterilsin. Eğer, uydu saati ile alıcı saati eş zamanlı yani birbirleriyle uyumlu ise gerçek yayılma anı elde edilebilir. Yayılma anı Dt , ışık hızı c ile çarpıldığı zaman uydu-alıcı arasındaki uzaklık (=pseudorange) hesaplanabilir. Bununla birlikte uydu ve alıcı saatleri genelde eşzamanlı değildir. Alıcı saati genellikle sistem zamanından farklıdır. Uydular, yüksek doğruluklu sezyum yada rubidyum atomik saatlerle donatılmıştır ve bunlarında sistem zamanından farkları modellenenebilir.. Böylece,

alıcıda uydu ve alıcı kodlarının korelasyonundan üretilen uzunluk, uydu ve alıcı saat hatalarını içermektedir. Ölçülen uzunlukla saat hataları arasındaki ilişki aşağıdaki şekliyle özetlenebilir: [1].

Mesafe-zaman ilişkisi ;

T_s = Sinyalin uydudan çıkış anı

T_r = Sinyalin alıcıya ulaşma anı

dt = Uydu saatinin GPS sistem zamanından farkı

t_r = Alıcı saatinin GPS sistem zamanından farkı

$T_s + dt$ = Sinyallerin uydudan çıktığı anda uydu saatindeki göstergenin kaydettiği ölçüm

$T_r + t_r$ = Sinyalin kullanıcı-alıcıya ulaştığı zamanda, kullanıcı-alıcı saatindeki göstergenin kaydettiği değer

c = Işık hızı

Geometrik uzaklık, $r = c(T_r - T_s) = cDt$

Pseudorange, $r = c(T_r + t_r) - (T_s + dt)$

$$= c(T_r - T_s) + c(t_r - dt)$$

$$= r + c(t_r - dt)$$

$r = \|s - u\|$ eşitliği yeniden düzenlenecek olursa;

$$\|s - u\| = r - c(t_r - dt) \quad (2.4)$$

şeklinde yazılabilir.

GPS uyduları, eşzamanlı ve duyarlı atomik saatlerle donatıldığı zaman dt bilinmeyi, uydu saat modeli ile hesaplanabilir. Bu nedenle (2.4) eşitliğini;

$$\|s - u\| = r - ct_r \quad (2.5)$$

şeklinde yazmak mümkündür[1].

2.3. Alıcı Konumunun Belirlenmesi

$$r_j = \|s_j - u\| + ct_r \quad (2.6)$$

denklemini

$$S = \sqrt{(X_j - X_r)^2 + (Y_j - Y_r)^2 + (Z_j - Z_r)^2} + cdt + d_{atm} \quad (2.7)$$

şeklinde açılabilir.

|
atmosfer gecikmeleri

Bu formülde, 3 koordinat bilinmeyi, uydu ve alıcıya ait olmak üzere 2 adet zaman bilinmeyi ve birisi troposfer tabakasına, diğeri iyonosfer tabakasına ait 2 adet atmosfer bilinmeyi olmak üzere toplam 7 bilinmeyen olduğu söylenebilir. Tüm bu 7 parametreyi çözmek istenirse, anında konum belirleme ve navigasyon genellikle mümkün olmaz. Bu nedenle, GPS uyduları çok hassas atom saatleriyle donatılmıştır. Böylece uydu saat hatası dt^p modellenir ve bu parametreler navigasyon dosyasında yayınlanır. Ayrıca analitik modeller kullanılarak atmosferik düzeltmeler d_{atm} hesaplanabilmekte ve ölçülen uzaklık değerine ilave edilebilmektedir [3].

Bu durumda S formülünde bilinmeyenler ;

- Alıcıya ait olan 3 koordinat parametresi (X_r, Y_r, Z_r)
- 1 zaman bilinmeyi (dt)

olmak üzere 4 tanedir ve bu yüzden en az 4 uyduya eşzamanlı pseudorange ölçüleri yaparak anlık konum belirlenebilir. Konum belirleme işleminde uydu sayısı kadar denklem elde edilir ki bu denklemlerin çözümü, alıcı-kullanıcı koordinat değerlerinin hesaplanmasını sağlar.

X_j, Y_j, Z_j ise uydunun kesin koordinatları olup, bilinen olarak denkleme girer.

(2.7) eşitliği 4 uydu için düzenlenirse;

$$S_1 = \sqrt{(X_1 - X_r)^2 + (Y_1 - Y_r)^2 + (Z_1 - Z_r)^2} + cdt \quad (2.8)$$

$$S_2 = \sqrt{(X_2 - X_r)^2 + (Y_2 - Y_r)^2 + (Z_2 - Z_r)^2} + cdt \quad (2.9)$$

$$S_3 = \sqrt{(X_3 - X_r)^2 + (Y_3 - Y_r)^2 + (Z_3 - Z_r)^2} + cdt \quad (2.10)$$

$$S_4 = \sqrt{(X_4 - X_r)^2 + (Y_4 - Y_r)^2 + (Z_4 - Z_r)^2} + cdt \quad (2.11)$$

eşitlikleri elde edilir.

Lineer olmayan denklemlerin bilinmeyenlerini çözmek için; lineer olmayan denklemleri lineer hale getiren iteratif teknikler, kapalı çözüm kullanılabilir.

Alıcının yaklaşık koordinatları $(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ)$ olmak üzere;

$$S_j = f(X_r, Y_r, Z_r, t_r) = \sqrt{(X_j - X_r)^2 + (Y_j - Y_r)^2 + (Z_j - Z_r)^2} + c * dt \quad (2.12)$$

eşitliğinde alıcı koordinatları ve alıcı saat hatasının yerine yaklaşık değerleri kullanılarak uydu ile alıcı arasındaki uzaklığın yaklaşık değeri hesaplanabilir. Bu durumda fonksiyon;

$$S_j^\circ = f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ) = \sqrt{(X_j - X_r^\circ)^2 + (Y_j - Y_r^\circ)^2 + (Z_j - Z_r^\circ)^2} + c * dt^\circ \quad (2.13)$$

şeklinde yazılabilir.

$$\begin{aligned} X_r &= X_r^\circ + DX_r \\ Y_r &= Y_r^\circ + DY_r \\ Z_r &= Z_r^\circ + DZ_r \\ t_r &= t_r^\circ + Dt_r \end{aligned} \quad (2.14)$$

(2.12) fonksiyonunda bilinmeyen alıcı koordinatları ve alıcı saat hatasının yerine, alıcının yaklaşık koordinat değerleriyle yaklaşık saat hatası değerlerine düzeltme miktarlarının eklenmesiyle elde edilen (2.14) eşitlikleri getirilirse fonksiyon;

$f(X_r, Y_r, Z_r, t_r) = f(X_r^\circ + DX_r, Y_r^\circ + DY_r, Z_r^\circ + DZ_r, t_r^\circ + Dt_r)$ şeklinde yeniden düzenlenir..

Bir sonraki aşamada fonksiyon Taylor serisine açılırsa

$$f(X_r^\circ + DX_r, Y_r^\circ + DY_r, Z_r^\circ + DZ_r, t_r^\circ + Dt_r) = f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ) + \quad (2.15)$$

$$\frac{\mathbb{I}f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ)}{\mathbb{I}X_r^\circ} DX_r + \frac{\mathbb{I}f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ)}{\mathbb{I}Y_r^\circ} DY_r + \frac{\mathbb{I}f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ)}{\mathbb{I}Z_r^\circ} DZ_r + \frac{\mathbb{I}f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ)}{\mathbb{I}t_r^\circ} Dt_r + \dots$$

(2.15) eşitliği elde edilir.

1. kısmi türevleri aldıktan sonra lineer olmayan terimler elimine edilerek ifade kısaltılır. Kısmi türevler ;

$$\frac{\mathbb{I}f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ)}{\mathbb{I}X_r^\circ} = - \frac{X_j - X_r^\circ}{S_j^\circ}$$

$$\frac{\mathbb{I}f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ)}{\mathbb{I}Y_r^\circ} = - \frac{Y_j - Y_r^\circ}{S_j^\circ}$$

(2.16)

$$\frac{\mathbb{I}f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ)}{\mathbb{I}Z_r^\circ} = - \frac{Z_j - Z_r^\circ}{S_j^\circ}$$

$$\frac{\mathbb{I}f(X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ, t_r^\circ)}{\mathbb{I}t_r^\circ} = c \text{ dir.}$$

(2.13) ve (2.16) eşitlikleri, (2.15) eşitliğinde yerine koyulursa;

$$S_j = S_j^\circ - \frac{X_j - X_r^\circ}{S_j^\circ} DX_r - \frac{Y_j - Y_r^\circ}{S_j^\circ} DY_r - \frac{Z_j - Z_r^\circ}{S_j^\circ} DZ_r + c Dt_r \quad (2.17)$$

ifadesi elde edilir.

(2.17) ifadesi, (-1) ile çarpılarak yeniden düzenlenirse;

$$S_j^{\circ} - S_j = \frac{X_j - X_r^{\circ}}{S_j^{\circ}} + \frac{Y_j - Y_r^{\circ}}{S_j^{\circ}} DY_r + \frac{Z_j - Z_r^{\circ}}{S_j^{\circ}} DZ_r - cDt_r \quad (2.18)$$

haline dönüşür. Bu şekilde uydu sayısı kadar denklem oluşur. Fonksiyon artık lineer denklem sistemine dönüşmüştür.

$$DS_j = S_j^{\circ} - S_j,$$

$$a_{x_j} = \frac{X_j - X_r^{\circ}}{S_j^{\circ}}, \quad (2.19)$$

$$a_{y_j} = \frac{Y_j - Y_r^{\circ}}{S_j^{\circ}},$$

$$a_{z_j} = \frac{Z_j - Z_r^{\circ}}{S_j^{\circ}}$$

“ $S_j^{\circ} - S_j$ ” eşitliği, (2.19) da ifade edilen birim vektör değişkenleri atanmak suretiyle sadeleştirilebilir.

$$a_j = (a_{x_j}, a_{y_j}, a_{z_j}) \text{ \textcircled{S} Birim vektör}$$

(2.18) nolu eşitlik, sadeleştirilerek yeniden düzenlenirse;

$$DS_j = a_{x_j} * DX_r + a_{y_j} * DY_r + a_{z_j} * DZ_r - c * Dt_r \text{ elde edilir.}$$

Bilinmeyen miktarı kadar elde edilen lineer denklemler yardımıyla, 4 bilinmeyen DX_r, DY_r, DZ_r ve Dt_r , artık çözülebilir. Bu lineer denklemler son şekliyle (2.20) eşitliklerinde görülmektedir.

$$\begin{aligned} DS_1 &= a_{x_1} * DX_r + a_{y_1} * DY_r + a_{z_1} * DZ_r - c * Dt_r \\ DS_2 &= a_{x_2} * DX_r + a_{y_2} * DY_r + a_{z_2} * DZ_r - c * Dt_r \\ DS_3 &= a_{x_3} * DX_r + a_{y_3} * DY_r + a_{z_3} * DZ_r - c * Dt_r \\ DS_4 &= a_{x_4} * DX_r + a_{y_4} * DY_r + a_{z_4} * DZ_r - c * Dt_r \end{aligned} \quad (2.20)$$

(2.20) eşitlikleri matris şeklinde yeniden tanımlanacak olursa;

$$DS = \begin{bmatrix} DS_1 \\ DS_2 \\ DS_3 \\ DS_4 \end{bmatrix}, H = \begin{bmatrix} a_{X_1} & a_{Y_1} & a_{Z_1} & 1 \\ a_{X_2} & a_{Y_2} & a_{Z_2} & 1 \\ a_{X_3} & a_{Y_3} & a_{Z_3} & 1 \\ a_{X_4} & a_{Y_4} & a_{Z_4} & 1 \end{bmatrix}, DX = \begin{bmatrix} DX_r \\ DY_r \\ DZ_r \\ cDt_r \end{bmatrix}$$

Sonuçta;

$$DS = H * DX \quad (2.21)$$

$$DX = H^{-1} * DS \quad (2.22)$$

elde edilir.

GPS konum belirlemesinin duyarlılığı efemeris hatalarıyla doğrudan ilgilidir.

$$DX \text{ vektörünün bileşenlerini bu hatalara çevirirsek, } e_x = H^{-1} * e_{meas} \quad (2.23)$$

elde edilir

e_{meas} ; pseudorange ölçümündeki hataları içeren bir vektördür.

e_x ; yer istasyonunun konumunun ve alıcının GPS zamanına göre sabit saat farkı (offset) hatalarını gösteren vektördür.

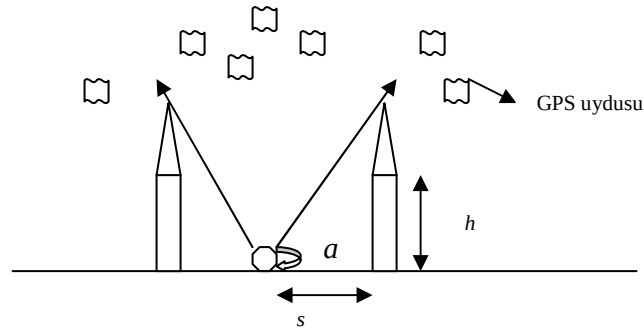
Tesadüfi hataları en alt düzeye indirgemek ve sistematik hataları da tamamen elimine etmek amacıyla genellikle gerekenden fazla ölçü yapılır ve parametreler için istatistiksel olarak en iyi sonucu verecek dengelemeye tabi tutulur. En küçük kareler yöntemi olarak adlandırılan bu teknikte, ölçülerin aldığı düzeltmeler, genellikle normal dağılım gösterdiği ve çok sayıda ölçümlerin sonucunda e_x minimize edilebildiği için bu yöntem jeodezide en yaygın kullanılan yaklaşımdır [1], [2].

3.ŞEHİR İÇİ ORTAMLARDA ÖLÇME SORUNLARI

Büyük şehirler, GPS ölçmeleri için bir çok problem arz etmektedir.

GPS ölçmelerinde karşılaşılan en temel sorun, uydu görünürlülüğünü azaltacak olumsuz faktörlerin mevcut olmasıdır. Dar sokaklar,yüksek binalar, uydu görünürlülüğünü azaltmaktadır. Bu durum, duyarlı navigasyon ölçmeleri için gerekli olan, uygun geometriye sahip en az 4 uydu görme prensibinin uygulanabilirliğini kısıtlamaktadır. Şekil 3.1 bu duruma bir örnektir.

Yolun merkezindeki aracın binanın en üst seviyesi ile yaptığı “ a yükseklik açısı” aracın görebildiği uydu sayısı ile doğrudan ilişkilidir.



Şekil.3.1.Uydu Görünürlülüğü ve Yükseklik Açısı Arasındaki İlişki.

h =bina yüksekliği, s =aracın binaya olan uzaklığı ise; a yükseklik açısı

$$a = \arctan \frac{h}{s} \quad (3.1)$$

ile ifade edilir.

Örneğin; yol orta genişliğinin 5 m., bina yüksekliğinin 20 m. olduğunu düşünelim. Minimum a yükseklik açısı 75° dir.

Tablo 3.1. de de görüldüğü üzere, a yükseklik açısı arttıkça uydu görünürlülüğü azalmaktadır. Bu yüzden kentsel alanlarda uydulardan 3 boyutlu konum hesaplaması yapılması her zaman mümkün değildir.

Tablo3.1. Yükseklik Açısı ve Uydu Görülebilirliği Arasındaki İlişki[5].

Yükseklik Açısı	Görülebilir Uydu Sayısı (min)	Görülebilir Uydu Sayısı (max)
0-10	6	12
10-20	5	9
20-30	3	7
30-40	2	6
40-50	1	4
50-60	0	4
60-70	0	1
70-80	0	1
80-90	0	1

Uydu sinyalleri sık sık yüksek binalar tarafından bloke olur. Sinyallerin uydudan doğrudan değilde alıcı çevresinde bulunan yansıtıcı bir yüzeye çarparak alıcıya ulaşmasıyla yansıma (=multipath) hataları meydana gelir. Bu özellikle şehir içindeki araç takip uygulamalarında, hareket halindeki aracın gerçekte olduğundan farklı yerde gözükmesine neden olur. Dörtten fazla uydu izlenmesi durumunda ise, yansıyan uydu sinyali devre dışı bırakılabilir. Yansıma hatalarının büyüklüğü sinyalin dalga boyuna bağlıdır.

Çoğu zamanda kötü uydu geometrisi ile elde edilen bilgiler yanıltıcı sonuçlar üretmektedir. Bu nedenle, sonuçların doğruluğuyla ilişkili PDOP (Positional 3D Dilution of Precision, =Duyarlılığın Konum Bozukluğu) değerleri göz önüne alınarak sonucun kalitesi yorumlanmalıdır .

Ayrıca tünel, köprü, üst geçit v.b. yapılar Gps uydu sinyallerini kesintiye uğratarak özellikle hareket halindeki araçların konumlarının belirlenmesini güçleştirmektedir.

Yeni analitik çözümler üretmek kaydıyla, büyük kentlerdeki konum belirlemedeki güçlükler yok edilerek GPS' in performansı artmaktadır.

4.KISITLI ORTAMLARDA GPS İLE NAVİGASYON ÇÖZÜMÜ

Bölüm 2’de bahsedildiği gibi alıcı konumunun yüksek duyarlılıkla belirlenebilmesi için, en az 4 uyduya belirli zaman aralıklarında eşzamanlı pseudorange ölçüleri yapmak gereklidir.

Ancak şehir içi ortamlarda bazen, binaların yüksekliği,multipath etkisi v.b. nedenlerden dolayı, uyduların görünürlüğü kısıtlanır. Aynı anda 4 uyduya ölçü yapmak mümkün olmayabilir ve 4 bilinmeyen kullanarak eksiksiz çözüm yapmak söz konusu olmaz. Bu durumda 2 olasılık mevcuttur. Biri, alıcı konumu belirlenemez ve diğer olasılık,önceden elde edilen veriler kullanılabilirse alıcının yaklaşık koordinatları çözülebilir.

Eğer 3 uydu görülebiliyor ise, 4 bilinmeyenden biri biliniyor olmalı ki diğer 3 bilinmeyen çözülebilirsin. Araç hareket halindeyken denizden olan yükseklik bilgisi anlık değişimler gösterir. Bunun anlamı, yalnızca küçük zaman aralıkları için yükseklik belirlenebilir ve 3 bilinmeyenli sistem çözülebilir. Alternatif olarak, alıcılar duyarlı saatlerle donatılabilir. Böylece saat hataları ihmal edilerek ve 3 uydunun farklı geometrileri analiz edilerek yaklaşık çözüm elde edilebilir [7].

Eğer 2 uydu görülebiliyor ise, alıcı saatinin yeterli duyarlılıkta olduğu kabul edilerek, Kalman Filtresi ve bazı extrapolasyon metot gibi statistik teknikleri, küçük zaman aralıkları için kullanarak navigasyon çözümü gerçekleştirilebilir.. Hassas atomik saatler kullanıldığı ve yükseklik bilgisi belirlendiği zaman , 2 bilinmeyeni (enlem ve boylam) çözüme katarak alıcının 2 boyutlu çözümü yapılabilir [7].

4.1 Pseudorange Eşitliğinin Coğrafi Koordinatlar Cinsinden Çözümlemesi

Burada bölüm 2’de ele alınan navigasyon eşitlikleri kartezyen koordinatlar (X,Y,Z) yerine, alıcının coğrafi koordinatları (φ,λ,h) şeklinde ifade edilecektir.

Kartezyen koordinatlar cinsinden ifade edilen

$$S_j^\circ = \sqrt{(X_j - X_r^\circ)^2 + (Y_j - Y_r^\circ)^2 + (Z_j - Z_r^\circ)^2} + c * dt^\circ \quad (4.1)$$

fonksiyonunda X_r, Y_r, Z_r kartezyen koordinatlarını (j, l, h) olarak coğrafi koordinatlar cinsinden ifade etmek gerekirse,

$$X_r = \frac{a * \cos l}{\sqrt{(1 + (1 - e^2) * \tan^2 j)}} + h * \cos l * \cos j \quad (4.2)$$

$$Y_r = \frac{a * \sin l}{\sqrt{(1 + (1 - e^2) * \tan^2 j)}} + h * \sin l * \cos j \quad (4.3)$$

$$Z_r = \frac{a * (1 - e^2) * \sin j}{\sqrt{(1 - e^2 * \sin^2 j)}} + h * \sin j \quad (4.4)$$

(4.2), (4.3) ve (4.4) eşitlikleri (4.1) formülünde yerine konur. S ölçü eşitlikleri (2.15) deki şekilde lineerleştirilir.

Eğer alıcının yaklaşık koordinatları $X_r^\circ, Y_r^\circ, Z_r^\circ$ ve alıcı saat hatasının yaklaşık değeri dt° biliniyorsa, sistemi lineer hale getirerek, 4 bilinmeyenli denklemi çözmek mümkündür.

(4.2), (4.3) ve (4.4) eşitliklerini, S formülünde yerine koyarak, fonksiyonun j, l, h, t e göre 1.dereceden türevlerini almak suretiyle fonksiyon lineer hale getirilir.

Bunun için öncelikle S fonksiyonunun alıcı koordinatlarına göre diferansiyelleri alınacak olursa;

$$\begin{aligned}\frac{\partial S}{\partial X_r} &= \frac{X_r - X}{\sqrt{(X_r - X)^2 + (Y_r - Y)^2 + (Z_r - Z)^2}} \\ \frac{\partial S}{\partial Y_r} &= \frac{Y_r - Y}{\sqrt{(X_r - X)^2 + (Y_r - Y)^2 + (Z_r - Z)^2}} \\ \frac{\partial S}{\partial Z_r} &= \frac{Z_r - Z}{\sqrt{(X_r - X)^2 + (Y_r - Y)^2 + (Z_r - Z)^2}}\end{aligned}\quad (4.5)$$

eşitlikleri elde edilir.

X, Y, Z parametre uzayı yerine j, l, h alındığında lineer düzeltme denklemlerinin elde edilmesi için, S fonksiyonunun j, l, h, t 'ye göre 1.dereceden türevleri söz konusudur.

j ' ye göre 1. dereceden türevlerin alınması;

$$\frac{\partial S}{\partial j} = \frac{\partial S}{\partial X_r} * \frac{\partial X_r}{\partial j} + \frac{\partial S}{\partial Y_r} * \frac{\partial Y_r}{\partial j} + \frac{\partial S}{\partial Z_r} * \frac{\partial Z_r}{\partial j} \text{ ise} \quad (4.6)$$

$\frac{\partial S}{\partial X_r}, \frac{\partial S}{\partial Y_r}, \frac{\partial S}{\partial Z_r}$ (4.5) eşitliklerinde belirtilmiştir.

Alıcı koordinatlarının j 'ye göre sırasıyla türevleri alınsın:

$$\frac{\partial X_r}{\partial j} = \frac{a * \cos l * (1 - e^2) * \tan j * \sec^2 j}{(1 + (1 - e^2) * \tan^2 j)^{\frac{3}{2}}} * \frac{\partial j}{\partial j} h * \cos l * \sin j \quad (4.7)$$

$$\frac{\partial Y_r}{\partial j} = \frac{a * \sin l * (1 - e^2) * \tan j * \sec^2 j}{(1 + (1 - e^2) * \tan^2 j)^{\frac{3}{2}}} * \frac{\partial j}{\partial j} h * \sin l * \sin j \quad (4.8)$$

$$\frac{\partial Z_r}{\partial j} = \frac{a * (1 - e^2) * \cos j * \sqrt{1 - e^2 * \sin^2 j} - \frac{e^2 * \sin j * \cos j}{\sqrt{1 - e^2 * \sin^2 j}} * a * (1 - e^2) * \cos j}{1 - e^2 * \sin^2 j} + h * \cos j \quad (4.9)$$

$\frac{\partial S}{\partial X_r}, \frac{\partial S}{\partial Y_r}, \frac{\partial S}{\partial Z_r}$ ve $\frac{\partial X_r}{\partial j}, \frac{\partial Y_r}{\partial j}, \frac{\partial Z_r}{\partial j}$ eşitlikleri,

$\frac{\partial S}{\partial j} = \frac{\partial S}{\partial X_r} * \frac{\partial X_r}{\partial j} + \frac{\partial S}{\partial Y_r} * \frac{\partial Y_r}{\partial j} + \frac{\partial S}{\partial Z_r} * \frac{\partial Z_r}{\partial j}$ yerine koyulduğu anda S fonksiyonunun j 'ye göre 1.dereceden türevleri elde edilmiş olur.

l 'ya göre 1. dereceden türevlerin alınması;

$$\frac{\partial S}{\partial l} = \frac{\partial S}{\partial X_r} * \frac{\partial X_r}{\partial l} + \frac{\partial S}{\partial Y_r} * \frac{\partial Y_r}{\partial l} + \frac{\partial S}{\partial Z_r} * \frac{\partial Z_r}{\partial l} \text{ ise} \quad (4.10)$$

$\frac{\partial S}{\partial X_r}, \frac{\partial S}{\partial Y_r}, \frac{\partial S}{\partial Z_r}$ aynı şekilde (4.5) no' lu eşitliklerde mevcuttur.

Alıcı koordinatlarının l 'ya göre sırasıyla türevleri alınsın:

$$\frac{\partial X_r}{\partial l} = \frac{-a * \sin l}{\sqrt{1 + (1 - e^2) * \tan^2 j}} - h * \sin l * \cos j \quad (4.11)$$

$$\frac{\partial Y_r}{\partial l} = \frac{a * \cos l}{\sqrt{1 + (1 - e^2) * \tan^2 j}} + h * \cos l * \cos j \quad (4.12)$$

$$\frac{\partial Z_r}{\partial l} = 0 \quad (4.13)$$

$\frac{\partial S}{\partial X_r}, \frac{\partial S}{\partial Y_r}, \frac{\partial S}{\partial Z_r}$ ve $\frac{\partial X_r}{\partial l}, \frac{\partial Y_r}{\partial l}, \frac{\partial Z_r}{\partial l}$ eşitlikleri

$\frac{\partial S}{\partial l} = \frac{\partial S}{\partial X_r} * \frac{\partial X_r}{\partial l} + \frac{\partial S}{\partial Y_r} * \frac{\partial Y_r}{\partial l} + \frac{\partial S}{\partial Z_r} * \frac{\partial Z_r}{\partial l}$ yerine koyulduğu anda S fonksiyonunun

l 'ya göre 1.dereceden türevleri elde edilmiş olur.

h' a göre 1. dereceden türevlerin alınması;

$$\frac{\partial S}{\partial h} = \frac{\partial S}{\partial X_r} * \frac{\partial X_r}{\partial h} + \frac{\partial S}{\partial Y_r} * \frac{\partial Y_r}{\partial h} + \frac{\partial S}{\partial Z_r} * \frac{\partial Z_r}{\partial h} \text{ ise} \quad (4.14)$$

$\frac{\partial S}{\partial X_r}, \frac{\partial S}{\partial Y_r}, \frac{\partial S}{\partial Z_r}$ (4.5) no' lu eşitliklerde gösterilmiştir.

Alıcı koordinatlarının h' ya göre sırasıyla türevleri alınsın:

$$\frac{\partial X_r}{\partial h} = \cos l * \cos j \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial Y_r}{\partial h} = \sin l * \cos j \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial Z_r}{\partial h} = \sin j \quad (4.17)$$

$\frac{\partial S}{\partial X_r}, \frac{\partial S}{\partial Y_r}, \frac{\partial S}{\partial Z_r}$ ve $\frac{\partial X_r}{\partial h}, \frac{\partial Y_r}{\partial h}, \frac{\partial Z_r}{\partial h}$ eşitlikleri,

$$\frac{\partial S}{\partial h} = \frac{\partial S}{\partial X_r} * \frac{\partial X_r}{\partial h} + \frac{\partial S}{\partial Y_r} * \frac{\partial Y_r}{\partial h} + \frac{\partial S}{\partial Z_r} * \frac{\partial Z_r}{\partial h} \text{ yerine koyulduğu anda } S \text{ fonksiyonunun}$$

h' a göre 1.dereceden türevleri elde edilmiş olur.

t' ye göre 1. dereceden türevlerin alınması;

$$\frac{\partial S}{\partial t} = c \quad (4.18)$$

X_r, Y_r, Z_r de adı geçen “r” ; “receiver=alıcı” ‘nın indisidir.

Bu şekilde S pseudorange ölçüleri için φ, λ, h parametre olmak üzere lineerleştirilmiş düzeltme denklemleri elde edilmiş olur. Bu şekilde navigasyon

algoritmasının oluşturulması, yüksekliğin bilinmesi halinde veya başka bir yöntemle ölçülmesi halinde kullanılmasına imkan tanıyacaktır.

4.2 Lokal Toposentrik Sistemdeki Bir Aracın Azimutunun Diferansiyel Anlamda Belirlenmesi

Lokal geodetik koordinat sistemi, 3 boyutlu matematiksel modelin gelişiminde önemli bir rol oynamaktadır. Lokal geodetik koordinat sisteminin bileşenleri; (n, e, h) ' dir.

M = Meridyen yönündeki ana eğrilik yarıçapı

N = Meridyene dik yöndeki ana eğrilik yarıçapı

j = Elipsoidal enlem

l = Elipsoidal boylam

n = Lokal geodetik koordinat sisteminin kuzey (dik) eksen

e = Lokal geodetik koordinat sisteminin doğu (yatay) eksen

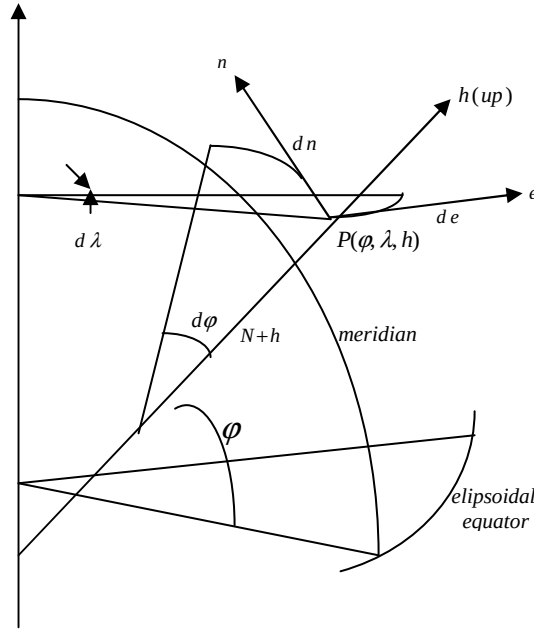
h = Elipsoidal normal

dj, dl = Elipsoidal enlem ve boylamın dönüşüm parametreleri

dn, de = Lokal geodetik koordinatlarının diferansiyeli

a = Elipsoidal azimut ise,

Lokal geodetik koordinat sistemi bileşenleriyle, elipsoidal enlem ve boylamı arasındaki dönüşüm ilişkisi basit olarak Şekil 4.1 de gösterilecek olursa;



Şekil 4.1. Lokal Geodetik Koordinat Sistemi ve Elipsoidal Enlem,Boylam İlişkisi [8].

$$\begin{bmatrix} dn \\ de \\ dh \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M + h & 0 & 0 \\ 0 & (N + h) \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} d\varphi \\ d\lambda \\ dh \end{bmatrix} = H(\varphi, h) \begin{bmatrix} d\varphi \\ d\lambda \\ dh \end{bmatrix} \quad (4.19)$$

eşitliklerinden,

$$Dn = (M + h) * (j_2 - j_1) \quad (4.20)$$

$$De = (N + h) * \cos j_1 * (l_2 - l_1) \quad (4.21)$$

elde edilir ve azimut;

$$a = \frac{Dn}{De} \quad (4.22)$$

formülüyle ifade edilir.

Lokal toposentrik sistemde,bir aracın azimutunu diferansiyel anlamda belirlemek için, azimutun, kartezyen olarak j_2 ve l_2 'ye göre kısmi türevleri alınsın:

Azimutun j_2 'ye göre kısmi türevi;

$$\frac{\partial a}{\partial j_2} = \frac{M + h}{(N + h) * \cos j_1 * (l_2 - l_1)} \quad (4.23)$$

Azimetun l_2 'ya göre kısmi türevi;

$$\frac{\partial a}{\partial l_2} = - \frac{(M + h) * (j_2 - j_1)}{(N + h) * \cos j_1 * (l_2 - l_1)^2} \quad (4.24)$$

$$a = \left(\frac{\partial a}{\partial \varphi} \right)^\circ \Delta \varphi + \left(\frac{\partial a}{\partial \lambda} \right)^\circ \Delta \lambda + a_0 \quad \text{lineer eşitliği, } \Delta \varphi \text{ ve } \Delta \lambda \text{ koordinat}$$

bilinmeyenleri olmak üzere elde edilir. Bu eşitlik, navigasyon çözümünde yeni bir ölçü eşitliği veya bir şart denklemi olarak ele alınabilir. Özellikle, uydu sayısının çözüm için yeterli olmadığı durumlarda, aracın hareket ettiği caddenin azimutu bu şekilde bilinen dış parametre olarak ele alınıp kullanılabilir.

5.KALMAN FİLTRESİ

Konum hatalarını azaltarak daha iyi düzeyde doğruluk elde etmeyi sağlayan metodlardan bir tanesi, Kalman Filtresi' dir. GPS ile bu filtre ile çözümde, gerçek zamanda üç boyutlu konum, hız ve zaman bilgileri güvenilir bir şekilde elde edilir.

Kalman Filtre teorisi, 1958 yılında Rudolph Kalman tarafından geliştirilmiştir ve onun adıyla anılmıştır [9].

5.1 Kalman Filtresinin Prensibi

Kalman filtresi, günümüzde özellikle gerçek zamanda olmak üzere uydu bazlı konumlama sistemlerinin kullanımının gelişmesi ile büyük bir önem kazanmıştır. Bu yöntem, hareketli hedeflerin konumlarının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Eğer ölçüler kartezyen koordinatlarla yapılmış ise ve ölçü hataları bağımsız (unbiased) ve normal dağılımlı kabul edilirse ve hedef davranışı önceden bilinirse; Kalman filtresi, konum ve hızın en küçük kareler hatası kestirimini sağlar [10].

Kalman Filtresi, hareketli bir obje için, hedef obje hareketinin sabit hızlı bir çizgi üzerinde nokta gibi hareket ettiği esasına dayanır. Gerçekte, hedef hızı sabit olmayacaktır. Eğer biz hedef objenin konum ve hızını, durum vektörü $x(t)$ ile t anında gösterirse, sabit hız tahmini $t + T$ anındaki durum $x(t + T) = \phi(T)x(t) + w(t)$ (5.1) ile verilecektir.

$\phi(T)$: T anlık zaman aralığı için durum dönüşüm matrisi,

$w(t)$: Toplam hata unsurunu

gösterir ve normal dağılımlı farz edilir [10], [11], [12].

Hedef model hata kovaryans matrisi; $Q(t) = E[w(t)w(t)^T]$ bilinen varsayılır. Burada,

" T " : Matris transpozisini,

$E[\]$: İstatistik ümit değeri göstermektedir.

$$Q(t) = E[w(t)w(t)^T] \quad (5.2)$$

Hedef üzerindeki ölçü vektörü eğer $y(t)$ ile gösterilirse, gerçek durum vektörü $x(t)$ 'ye bağlı varsayılan ölçü hatası,

$y(t) = Hx(t) + v(t)$ olur. Burada,

H : Ölçü matrisi,

$v(t)$: Ölçü hatasıdır.

$$y(t) = Hx(t) + v(t) \quad (5.3)$$

$w(t)$ durum hatasından bağımsız ve normal dağılımlı olduğu varsayılır (Kalman 1960), [10].

Ölçü hatası $v(t)$ 'nin varyans- kovaryansı; $R(t) = E[v(t)v(t)^T]$ de biliniyor varsayılır. Bütün bu bakış açısında temel olarak Kalman filtresi için matematik model aşağıda iki denklem eşitliği ile gösterilir: [10], [11].

$$\begin{aligned} x(t+T) &= \Phi(T)x(t) + w(t) \quad , \quad Q(t) = E[w(t)w(t)^T] \quad \text{durum,} \\ y(t) &= Hx(t) + v(t) \quad , \quad R(t) = E[v(t)v(t)^T] \quad \text{ölçü eşitliğidir.} \end{aligned} \quad (5.4)$$

Kalman filtre işlemi, $t = t_k$ anındaki $x(t_k)$ durum vektörünün optimum kestirimi; $\hat{x}(t_k)$ 'dir. $n=1,2,3,\dots,k$ için $t = t_n$ anındaki ölçüler esas alınır. Mantıktaki

ardışık işlem, yeni ölçü uyarlamalarıdır. Terminolojik olarak burada ölçüdeki yeni bilgi içerikleri bulunup gösterilmiştir. Temel Kalman filtresi algoritması şu şekilde yazılabilir [13]:

$$z_k = y_k - H_k \hat{x}_k \quad \text{Buluş} \quad (5.5)$$

$$\hat{x}_k = \tilde{x}_k + K_k z_k \quad \text{Kestirim} \quad (5.6)$$

$$\tilde{x}_{k+1} = \Phi_k \hat{x}_k \quad \text{Öncül kestirim} \quad (5.7)$$

$$K_k = \tilde{P}_k H_k^T \left[H_k \tilde{P}_k H_k^T + R_k \right]^{-1} \quad \text{Kalman kazancı} \quad (5.8)$$

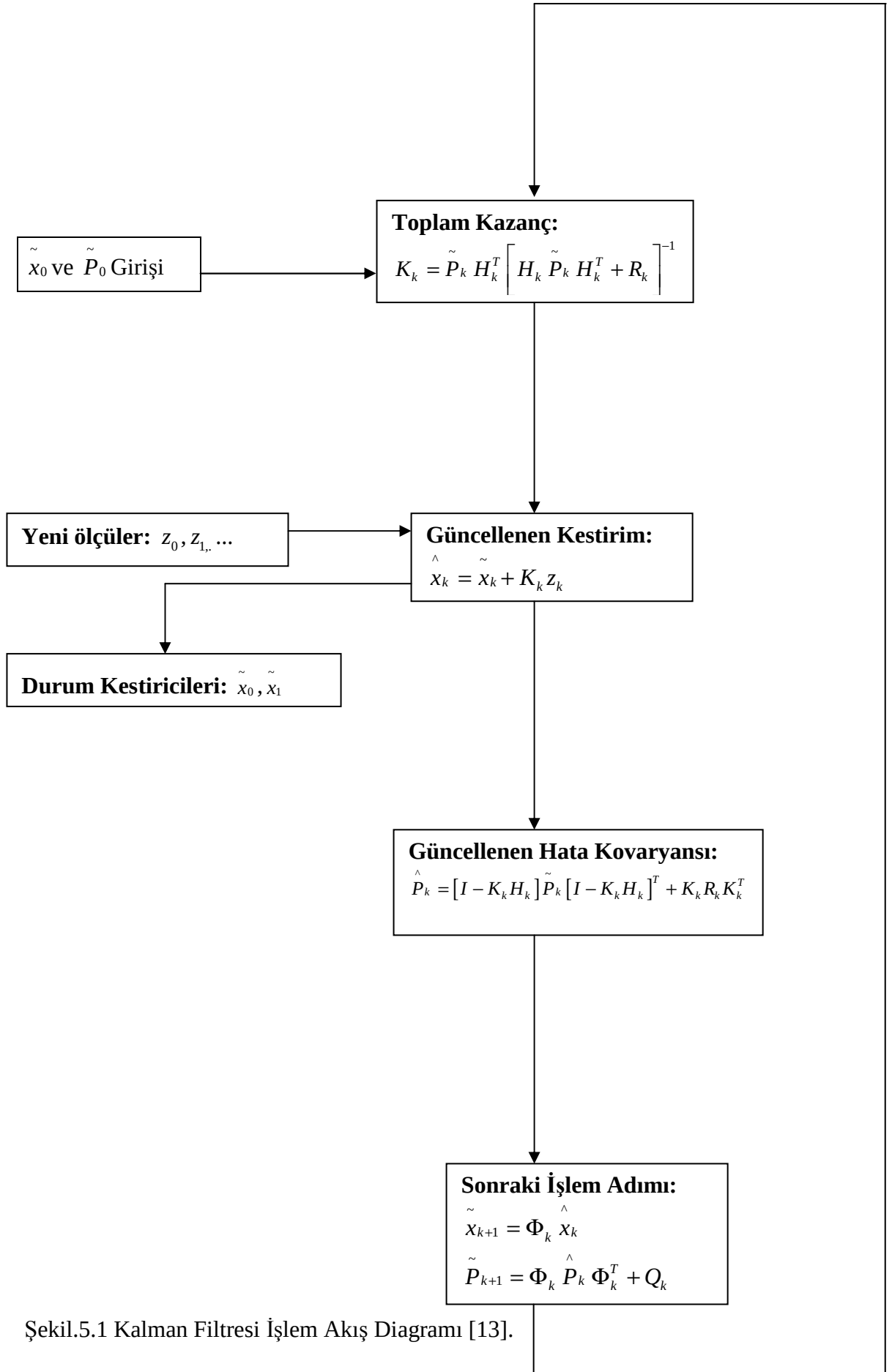
$$\tilde{P}_k = [I - K_k H_k] \hat{P}_k \quad \text{Kestirim kovaryansı} \quad (5.9)$$

$$\tilde{P}_{k+1} = \Phi_k \hat{P}_k \Phi_k^T + Q_k \quad \text{Öncül kestirim kovaryansı} \quad (5.10)$$

Durum dönüşüm matrisi ve ölçü matrisi değişmeyen sabit bir matris değildir. Genelde matrislerin boyutlandırılmasında herhangi bir kısıtlama yoktur ancak modelin başlangıç şartlarına bağlıdır. Yani durum ve ölçü denklemleri lineerdir ve bu ölçü ve durum hataları normal dağılımlı, bağımsızdır [13].

Durum kestirimi $\hat{x}$ 'in kestirilen hata kovaryansı $\hat{P}$, ölçülerin bağımsızlığını gösterir. Gerçekte, eğer istenirse, hata kovaryansı hesaba hazırlanmadan önce hiçbir ölçü yapılmaz. Bu, temeli oluşturan hata kovaryans matrisi Q ve R önceden bilindiğinin varsayımının direk sonucudur [13].

Şekil 5.1 de Kalman Filtresi işlem akış diagramı gösterilmektedir. $\tilde{x}_0$ ve $\tilde{P}_0$ başlangıç değerleri, belli bir yaklaşımla bilinmelidir. Bu değerler, ilk ölçme değerlerine de eşit alınabilir. Böylece, yeni ölçülerle birlikte Kalman Filtresi işlem akış diyagramındaki işlem çevrimi içerisinde devam eder.



Şekil.5.1 Kalman Filtresi İşlem Akış Diagramı [13].

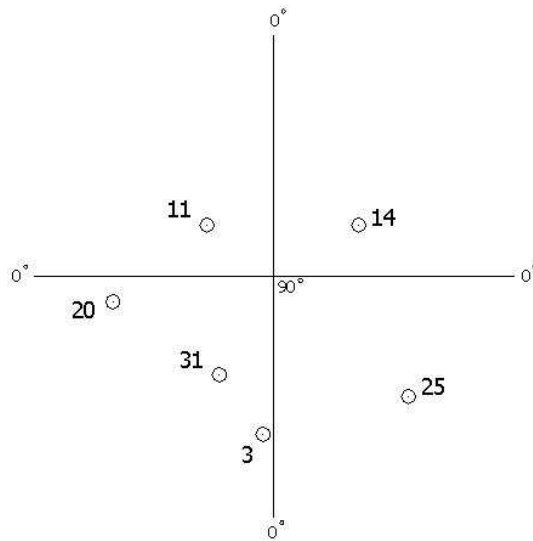
6. UYGULAMA

Şehir içi ortamlarda, GPS ile yapılan navigasyon çözümlerinde karşılaşılan en temel sorun, görünmesi muhtemel uyduların yüksek binalarca perdelenerek uydu görünürlülüğünün azalmasıdır.

Bu uygulamada, şehir içi ortamda max sayıda görülebilecek uyduya yapılan pseudorange ölçüleri MATLAB6 ortamında değerlendirilmiştir. Çalışma için, şehir içi ortamda 6 uydu seçilmiştir ve bu uyduların muhtemel dörtlü alt gruplarıyla elde edilen sonuçların irdelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için; $C(6,4)=6! / [4!(6-4)!] = 15$ muhtemel 4'lü alt grup kombinasyonları elde edilmiş (Tablo 6.2.) ve bu kombinasyonlarla hesaplanan konum bilgileri irdelenmiştir.

6.1.Uyduların Yükseklik Açısı / Azimut Değerlerine Göre Dağılımları

Uygulamada kullanılan 14, 31, 11, 3, 20, 25 no'lu uyduların Yükseklik Açısı/Azimut değerleri sırasıyla, 49 / 59, 43 / 209, 55 / 307, 24 / 184, 22 / 261, 15 / 132' dir. Bunların ufuk üzerindeki dağılımı Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Yükseklik Açısı/Azimut Değerlerine Göre Uyduların Genel Dağılımı

Bu dağılım, muhtemel bir şehir ortamında max izlenebilecek udu sayısı olarak düşünülmüştür.

Bu çalışmada, bu altı uydunun, muhtemel dörtlü kombinasyonlarıyla elde edilen navigasyon çözüm sonuçları irdelenmiştir.

Şekil 6.2.' de ise bu uyduların Yükseklik açısı / Azimut değerleri kullanılarak elde edilen 15 kombinasyondaki dağılımları gösterilmektedir.

6.2. Değerlendirme

Bu uygulamaya ilişkin veriler, İstanbul içinde ITRF sistemine bağlanan bir noktada toplanmıştır. Sonuçların karşılaştırılabilmesi amacıyla noktanın koordinatları IGS'nin İTÜ kampüsündeki İSTA noktasına statik bir ölçme oturumuyla bağlanmıştır. Ayrıca, ölçme anına ilişkin 6 uydu ile navigasyon çözümü sonuçları ve bunların gerçek koordinatlarıyla olan farkları da Tablo 6.1. de verilmiştir.

Tablo 6.1. 6 Uydu ile Yapılan Çözüm Değeri ve Kesin Koordinatlarla Farkı.

Kesin Koordinatlar (ITRF)			Navigasyon Çözümü ile Hesaplanan Koordinatlar (6 uydu)			Fark (m)			GDOP
X	Y	Z	x	y	z	dx	dy	dz	
4219025.6	2317733.9	4170447.1	4219033.7	2317733.4	4170447.1	8	0	15	3.2

Tablo 6.1 de görülen, şehir içinde görülmesi muhtemel 6 uydu ile elde edilen navigasyon çözümü sonuçları, GPS sistemi ile elde edilebilecek nominal doğruluk içerisinde.

$$x_{navigasyon} - x_{kesin} = 8.0 \text{ m},$$

$$y_{navigasyon} - y_{kesin} = 0.0 \text{ m},$$

$$z_{navigasyon} - z_{kesin} = 15.0 \text{ m}$$

Navigasyon çözümünün minimum uydu sayısı (4) ve alternatif uydu dağılımları ile nasıl değiştiği 4'lü kombinasyon sonuçlarıyla Tablo 6.2 de elde edilmiştir.

Tablo 6.2. Hesaplanan Koordinat Değerleri ve Alıcı Saat Hatası ile Karesel Ortalama Hataları ve GDOP Değerleri.

Uydu No				$X_{(m)}$	σ_x	$Y_{(m)}$	σ_y	$Z_{(m)}$	σ_z	dt_r	σdt_r	GDOP
31	14	3	11	4219012.6	6.3	2317722.1	5.4	4170452.5	3.7	-263.7	6.0	10.9
31	14	3	20	4219021.4	3.6	2317734.3	1.6	4170455.7	2.6	-253.5	2.7	5.4
31	14	3	25	4218955.2	12.0	2317643.2	13.1	4170431.6	5.6	-330.0	12.7	22.5
31	14	11	20	4219029.7	3.1	2317735.0	1.5	4170465.1	2.5	-245.9	2.7	5.0
31	14	11	25	4219052.2	6.2	2317751.9	6.0	4170481.7	3.9	-222.5	6.2	11.3
31	14	20	25	4219037.7	2.5	2317735.6	1.6	4170474.2	1.8	-238.6	1.9	4.0
31	3	11	20	4219016.5	5.0	2317737.0	1.7	4170459.7	1.8	-258.2	4.0	6.9
31	3	11	25	4219005.2	6.8	2317694.5	7.3	4170439.1	4.8	-273.9	6.7	12.9
31	3	20	25	4219036.1	2.6	2317726.1	2.1	4170443.7	4.0	-239.3	1.9	5.6
31	11	20	25	4219037.4	2.5	2317733.8	1.6	4170468.2	1.7	-238.7	1.9	3.9
14	3	11	20	4219035.3	4.3	2317739.0	2.1	4170463.8	2.1	-244.3	3.1	6.1
14	3	11	25	4219155.0	17.5	2317827.8	14.1	4170523.6	8.6	-142.2	15.0	28.3
14	3	20	25	4219072.5	5.2	2317751.6	2.6	4170485.6	2.8	-219.8	3.3	7.2
14	11	20	25	4219017.9	6.4	2317726.5	3.2	4170467.7	1.8	-249.3	3.7	8.2
3	11	20	25	4219057.9	3.9	2317741.4	2.0	4170468.8	1.8	-227.6	2.6	5.4

σ : Karesel Ortalama Hata

dt_r : Alıcı Saat Hatası

Bu sonuçlar, noktanın kesin değerlerinden, hesaplanan değerlerinin farkı alınarak incelendiğinde Tablo 6.3 de elde edilen farkların 1.dereceden uydu geometrisi ile ilgili olduğu gözlenmiştir.

Tablo 6.3. Her Bir Kombinasyonda Elde Edilen Kesin Koordinat Farkları ile GDOP İlişkisi.

Uydu No				dx	dy	dz	GDOP
31	14	3	11	13.0	11.7	-5.3	10.9
31	14	3	20	4.2	-0.4	-8.6	5.4
31	14	3	25	70.4	90.7	15.5	22.5
31	14	11	20	-4.1	-1.1	-18.0	5.0
31	14	11	25	-26.6	-18.0	-34.5	11.3
31	14	20	25	-12.1	-1.7	-27.1	4.0
31	3	11	20	9.1	-3.1	-12.5	6.9
31	3	11	25	20.4	39.4	8.0	12.9
31	3	20	25	-10.5	7.8	3.4	5.6
31	11	20	25	-11.7	0.1	-21.1	3.9
14	3	11	20	-9.7	-5.1	-16.7	6.1
14	3	11	25	-129.4	-94.0	-76.5	28.3
14	3	20	25	-46.9	-17.8	-38.5	7.2
14	11	20	25	7.7	7.3	-20.5	8.2
3	11	20	25	-32.3	-7.5	-21.7	5.4

Tablo 6.3. de de görüldüğü gibi, uygulamada kullanılan 6 uydunun, muhtemel 4'lü alt gruplarıyla elde edilen 15 kombinasyon sonucunda;

Max dx : -129.4 m,

Max dy : - 94.0 m,

Max dz : -76.5 m

olarak bulunmuştur.

Max farkların, max GDOP değerinin olduğu kombinasyona ait olduğu anlaşılmaktadır.

Navigasyon çözümlerinde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi, görülebilen uyduların sayısı ve dağılımlarıdır. Bu nedenle daha iyi bir sonuç için en çok kullanılan doğruluk değeri GDOP grafikleri hesaba katılmalıdır. GDOP değeri $1 < \text{GDOP} < 10$ ise normal bir sonuç elde edilecektir.

Tablo 6.2.'den de görüleceği üzere, GDOP değerinin ~ 10 'dan küçük olması, GPS yöntemi ile navigasyondan beklenen nominal konum doğruluğunun sağlandığını göstermektedir. Bu durumun, bazı hallerde sağlanamayacağı gözlenmektedir. 3. ve 12. kombinasyon buna belirgin örneklerdir.

Şekil 6.3., Şekil 6.4. ve Şekil 6.5.' de koordinat farklarının GDOP değerleriyle olan ilişkisi gösterilmektedir. GDOP değerleri büyüdükçe, elde edilen koordinatların hassasiyeti düşmektedir.

7. SONUÇ

Bu çalışmada kod ölçüsü yardımıyla navigasyon çözümü incelenmiş, şehir içi ortamlarda karşılaşılan ölçme sorunlarına değinilmiştir. Buna göre yapılaşmanın ve yüksek binaların yoğun olduğu yerlerde navigasyon çözümü için uygun olan, alıcının en az 4 uyduyu görme gerekliliği her zaman sağlanamamaktadır. Sinyallerin uydudan doğrudan değil de alıcı çevresinde bulunan yansıtıcı bir yüzeye çarparak alıcıya ulaşmasıyla meydana gelen yansıma (=multipath) hataları ve en az 4 uyduyu görme gerekliliğini engelleyen yüksek binalar, navigasyon uygulamaları sonucunda elde edilen konum doğruluklarının hassasiyetini düşürmektedir.

Bu çalışmada, navigasyon çözümlerinde kullanılan pseudorange eşitlikleri, kartezyen ve coğrafi koordinatlar cinsinden ayrı ayrı ele alınmıştır. Ayrıca, kötü konum bilgilerini elemek amacıyla kullanılabilecek istatistik metotlardan Kalman Filtre teorisi anlatılmıştır.

Gerçekleştirilen uygulamada, şehir içi ortamlar için 6 uydu seçilmiştir. Bu 6 uydunun muhtemel 4'lü alt gruplarıyla elde edilen sonuçlar irdelenmiştir. Buna göre; GDOP değerleri incelenerek, uyduların dağılımlarının uygunluğu hakkında karar vermek mümkündür.

Navigasyon uygulamalarında, daha iyi bir sonuç için, görülebilen uyduların sayısı ve birbirlerine göre olan konumları önem taşımaktadır. Bu nedenle, sonuçları yorumlanmasında GDOP bilgileri hesaba katılmalıdır.

Uydu kümeleri geometrisinin bozuk olduğu durumlarda, yani kötü dağılımlı alt gruplara denk gelinmesi durumunda, GPS ölçülerinin değerlendirilmesi aşamasında Kalman Filtresi ve benzer filtre algoritmalarının gerekeceği anlaşılmıştır. Bu şekilde aracın gidişatından faydalanmak mümkün olacaktır.

Bu çalışmanın devamı olarak, bölüm 4'te görülen coğrafi koordinatlara bağımlı navigasyon algoritmasıyla bazı parametreler (yükseklik, aracın azimutu) sabit

alınarak çözüm yapılabilir. Bu şekilde, bilinen dış parametrelerin çözüme katkıları incelenebilir. Ayrıca, ϕ, λ, h cinsinden yazılan navigasyon algoritması, diğer ölçme yöntemleri ile de (otometre, pusula gibi) desteklenerek ele alınabilir.

KAYNAKLAR

- [1] KAPLAN E.D. and LEVA j.l.," Understanding GPS : Principles and Applications", Ashtech House Publishers, Chapter 2, Boston, 1996.
- [2] HOFFMANN B., LICH and COLLINS J., ., Global Position System: Theory and Practice, "Adjusment of Mathematical GPS Models", Chapter 9, p. 209-213, 1992 by Springer & Verlag Wien, New York.
- [3] EREN K. ve UZEL T., GPS Ölçmeleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul ,1995.
- [4] SAKA M.H., ÇENESİZ F. ve CİHANGİR Ö, NAS S., "A method to Guarantee the continuity of GPS in Urban Environments", Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing & Integrated Tech. İst/Turkey, 1999.
- [5] TURETZKY G., CHANSARKAR M. and GEHUE H., "GPS as the Primary Navigation Sensor for ITS", SIRF Technology Inc., 1997.
- [6] PEHLİVAN H., GPS ile Araç Takip Sistemleri, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 2001.
- [7] STURZA M.A., "GPS Navigation Using There Satellites and a Precise Clock", Journalof the Institute of Navigation, vol.30, No.2, 1983.
- [8] LEICK A., GPS Satellite Surveying, Chapter 7, p. 238-240, 2nd Edition, 1994 by John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.
- [9] SIMON D., Embedded Systems Programming, 2001.
- [10] LEVY L. J., "The Kalman Filter: Navigation's Integration Workhorse, The Johns Hopkins Universty, Applied Physics Laboratory, 2001.
www.cs.unc.edu/welch/kalmanLinks.html.

[11] STANSFIELD E., Introduction to Kalman Filters, UK Adaptive Signal Processing Club Discussion Meeting, Kalman_Tutorial_Paper.pdf, Brekshire, UK, 2001. www.aspc.qinetiq.com/Events/Mar01/.

[12] İNCE C.D., “Dinamik Sistemlerin GPS ve Kalman Filtresi ile Anlık Olarak İzlenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi , Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği, Doktora Tezi, İstanbul, 1999.

[13] AXELRAD P. and BROWN R.G., Global Position System: Theory and Applications, GPS Navigation Algorithms, Chapter 9, The American Institute of Aeronautics and Astronautics, USA, 1994.

ÖZGEÇMİŞ

Dolunay KARACA MEMİŞ, 1976 yılında Aydın'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Aydın'da tamamladıktan sonra, 1994 yılında Y.T.Ü. İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 1999 yılında lisans eğitimini tamamladı. 2000 yılında Gebze İleri Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı.

1999-2000 yılları arasında Akropol Bilgisayar Müh. Ltd.Şti.' de,

2001 yılında Esenyurt Belediyesi'nde

2003 yılında Eksen Harita Müh. Ltd.Şti.' de proje mühendisi olarak çalıştı.