

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

JEODEZİ VE FOTOGRAMETRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (GZK) GPS'İN JEODEZİK ÇALIŞMALARDA
KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

96740

Harita Müh. Oğuz GÜNGÖR

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Harita Yüksek Mühendisi”
Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

96740

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 04.08.2000
Tezin Savunma Tarihi : 01.09.2000

Tez Danışmanı : Y. Doç. Dr. Ertan GÖKALP

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Celalettin KARAALİ

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Sadettin KORKMAZ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Asım KADIOĞLU

Trabzon 2000

Ü.Ç. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

ÖNSÖZ

GZK GPS' in Jeodezik çalışmalarda kullanılabilirliğinin incelenmesi konulu yüksek lisans tezimin yürütücülüğünü üstlenen, yaptığım çalışmalar süresince bilgi, görüş ve eleştirilerinden faydalandığım değerli hocam sayın Y. Doç. Dr. Ertan GÖKALP' e teşekkürlerimi sunarım.

Tezimle ilgili arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Arş. Gör. Levent TAŞCI' ya ve Arş. Gör. Kemal YURT' a teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tezi yazma aşamasında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. F. Engin TOMBUŞ' a teşekkür ederim.

Trabzon, Ağustos 2000

Oğuz GÜNGÖR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ	IX
SEMBOLLER DİZİNİ	X
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Problemin Tanımı	2
1.3. Çalışmanın Amacı	3
1.4. Metodoloji	3
1.5. GPS Uydu Sinyal Yapısı	4
1.5.1. Taşıyıcı Dalgalar	4
1.5.2. Kodlar	6
1.5.2.1. C/A Kod	6
1.5.2.2. P-Kod	6
1.5.2.3. Y-Kod	7
1.5.2.4. Kodların Diğer Özellikleri	7
1.5.2.5. Navigasyon Mesajı	8
1.6. GPS Gözlemleri	9
1.6.1. Kod Ölçüsü (Kod Psoydo Uzunluk Ölçüsü)	10
1.6.2. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçüsü (Faz Psoydo Uzunluk Ölçüsü)	12
1.7. GPS Ölçü Yöntemleri ve Alıcı Tipleri	14
1.7.1. GPS ile Konum Belirleme Yöntemleri	14
1.7.1.1. Post-Processed GPS Ölçme Yöntemleri	15
1.7.1.1.1. Statik GPS Ölçme Yöntemi	15
1.7.1.1.2. Hızlı Statik GPS Ölçme Yöntemi	17
1.7.1.1.3. Tekrarlı (Psoydo Kinematik) GPS Ölçü Yöntemi	17
1.7.1.1.4. Dur-Git GPS Ölçü Yöntemi (Stop and Go)	18
1.7.1.1.5. Kinematik GPS Ölçme Yöntemi	19

1.7.1.2. Gerçek Zamanlı GPS Ölçme Yöntemleri	19
1.7.1.2.1. Diferansiyel Konum Belirleme.....	19
1.7.1.2.2. Gerçek Zamanlı Konum Belirleme.....	21
1.7.1.2.2.1. DGPS	22
1.7.1.2.2.2. GZK (Gerçek Zamanlı Kinematik) GPS	22
1.7.1.2.2.2.1. GLONASS Alternatifi	23
1.7.1.2.2.3. RTCM SC-104 Formatı	24
1.7.1.2.2.4. GZK GPS Yazılım ve Donanım Gereksinimleri	29
1.7.1.2.2.4.1. Radyo Modemin Özellikleri ile İlgili Dikkat Edilecek Hususlar.....	31
1.7.1.2.2.5. GZK GPS' in Matematiksel Modeli	34
1.7.1.2.2.5.1. Taşıyıcı Dalga ve Psoydo Uzunluk Düzeltmeleri.....	34
1.7.1.2.2.6. GZK GPS' in Kullanım Alanları	39
1.7.2. GPS Alıcıları.....	40
1.7.2.1. Anten.....	41
1.7.2.2. RF (Radyo Frekansı) Bölümü.....	43
1.7.2.3. Mikro İşlemci.....	43
1.7.2.4. Güç Kaynağı	44
1.7.2.5. Veri Depolama Birimi	44
1.7.2.6. Kontrol ve Ekran Ünitesi	44
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	46
2.1. GZK GPS Metodu ile Nokta Aplikasyonu	50
2.1.1. Arazi Öncesi Hazırlık Aşaması.....	50
2.1.2. Referans ve Gezici Alıcının Başlangıç Ayarlarının Yapılması	53
2.1.3. Aplikasyon.....	55
2.1.3.1. Navigasyon Ekranı (NAVI).....	56
2.1.3.2. Bullseye Ekranı (BULL).....	57
2.1.3.3. Çizgi Ekranı (LINE)	58
2.1.4. Detay Alımı	60
2.1.4.1. Grid Değerleriyle Merkez Dışı Alım	61
2.1.4.2. Semt, Azimut ve Yükseklik Farkıyla Merkez dışı Alım	61
2.2. Yapılan Testler	62

2.2.1. GZK GPS Yönteminin Klasik Yersel Yöntemlerle Test Edilmesi.....	62
2.2.2. GZK GPS Yönteminin Kendi İçerisinde Test Edilmesi	64
2.2.2.1. Farklı Zamanda ve Farklı Uydu Dağılımında Aynı Noktanın Alımının Yapılması	64
2.2.2.2. Farklı Günde ve Aynı Uydu Dağılımında Aynı Noktaların Alımının Yapılması	66
2.2.2.3. Referans Noktası değiştirilerek Aynı Noktaların Alımının Yapılması.....	71
3.2.3. GZK GPS Ölçü Yönteminin Statik GPS ile Test Edilmesi	73
3. BULGULAR VE İRDELEME	76
3.1. GZK GPS' in Statik GPS ile Karşılaştırılması Testi ile İlgili Bulgular.....	76
3.2. GZK GPS'in Kendi İçerisinde Test Edilmesi ile ilgili Bulgular	78
3.2.1. Farklı Zaman ve Farklı Uydu Dağılımı Testi	78
3.2.2. Farklı Gün ve Aynı Uydu Dağılımı Testi	79
3.2.3. Farklı Referans Noktası Testi	79
3.3. GZK GPS'in Statik GPS ile Karşılaştırılması Testi ile İlgili Bulgular.....	80
4. SONUÇ VE ÖNERİLER	82
5. KAYNAKLAR	84
ÖZGEÇMİŞ	87

ÖZET

Günümüzde haritacılık projelerinin hızlı ve doğru bir şekilde bitirilmesi büyük önem kazanmıştır. Bu amaca yönelik son yıllarda geliştirilen ölçme yöntemlerinden birisi de Gerçek Zamanlı Kinematik (GZK) GPS 'tir. GZK GPS metodu ile diğer statik ve kinematik GPS ölçme yöntemleri ile yapılamayan aplikasyon çalışmaları yapılabilmektedir. Ayrıca yine bu yöntemle detay alımı, yersel yöntemlere göre çok daha hızlı bir şekilde yapılabilmektedir.

Bu yüksek lisans çalışmasında GZK GPS yöntemini maliyet, hız ve duyarlık gibi kriterler açısından test edebilmek amacıyla çeşitli testler yapılmıştır. Bu sayede yöntemin kadastro çalışmaları, imar uygulamaları ve halihazır harita yapımı gibi jeodezik çalışmalarda kullanılabilirliği incelenmiştir. Ayrıca Türkiye’ de henüz tam anlamıyla tanınmayan ve bu nedenle çoğu alanda kullanılmayan GZK GPS ölçü yönteminin tanıtılması amaçlanmıştır.

Yapılan bu testler neticesinde GZK GPS ölçme yönteminin jeodezik amaçlı aplikasyon ve detay alımı çalışmalarında rahatlıkla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: GPS, Gerçek Zamanlı Kinematik GPS, Nokta Aplikasyonu, Detay Alımı,

SUMMARY

Examinations the use of Real-Time Kinematic (RTK) GPS in Geodetic Applications

Today, it is very important to implement mapping projects fast and accurately. One of the surveying methods developed to overcome this challenge is Real-Time Kinematic GPS (RTK GPS). Staking out that can not be performed by static and kinematic GPS surveying methods can be done easily with RTK GPS. Besides, point positioning can be fulfilled faster than traditional terrestrial methods.

In this thesis, various tests have been done with RTK GPS to evaluate the method with respect to its speed, cost and accuracy. Thus, its use in cadastral works, land readjustment projects and mapping projects is analyzed. And it's aimed at introducing this method which has not been widely used yet in most of the areas related to mapping applications in Turkey.

In result, it's understood that RTK GPS method can be used at staking out and mapping process in geodetic applications.

Key Words: GPS, Real-Time Kinematic GPS, Stake-out, Mapping Applications.

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Navigasyon mesajının yapısı	8
Şekil 2.	Kodlardan zaman farkı ölçüsü	11
Şekil 3.	Taşıyıcı dalga faz ölçüsü.....	12
Şekil 4.	GPS ile konum belirleme yöntemleri.....	14
Şekil 5.	Statik ölçülen kenarlar için oturum süreleri.....	16
Şekil 6.	RTCM SC-104 format yapısı.....	26
Şekil 7.	GZK GPS donanımı.....	34
Şekil 8.	Kod korelasyon alıcısı.....	42
Şekil 9.	İmar Uygulama Planı	47
Şekil 10.	*.IN dosyası format yapısı.....	51
Şekil11.	DSST ekranı.....	52
Şekil12.	DFST ekranı.....	54
Şekil 13.	NAVI ekranı.....	56
Şekil 14.	BULLSEYE ekranı.....	57
Şekil 15.	LINE ekranı.....	58
Şekil 16.	Koordinat kayıt ekranı.....	60
Şekil 17.	Grid değerleri ile merkez dışı alım.....	61
Şekil 18.	Semt ve azimut değerleri ile merkez dışı alım.....	61

TABLÖLAR DİZİNİ

Sayfa No

Tablo 1. RTCM SC-104 formatı mesaj tipleri ve anlamları	28
Tablo 2. Sayısallaştırma sonucu elde edilen ada köşe koordinatları	48
Tablo 3. Klasik yersel yöntemle belirlenen koordinatlar.....	62
Tablo 4. GZK GPS koordinatları	63
Tablo 5. GPS ile yersel yöntemlerin karşılaştırılması	63
Tablo 6. Farklı zamanda ve farklı uydu dağılımında toplanan ilk periyot ölçüler	64
Tablo 7. Farklı zamanda ve farklı uydu dağılımında toplanan ikinci periyot ölçüler	65
Tablo 8. Farklı zamanda ve farklı uydu dağılımında belirlenen koordinatların farkları ...	65
Tablo 9. DOP sayısı ve kalitesi	67
Tablo 10. Farklı günde ve aynı uydu dağılımında toplanan ilk periyot ölçüler	68
Tablo 11. Farklı günde ve aynı uydu dağılımında toplanan ikinci periyot ölçüler	69
Tablo 12. Farklı günde ve aynı uydu dağılımında belirlenen koordinatların farkları.....	70
Tablo 13. 0N61 noktası referans alınan ölçüler.....	71
Tablo 14. N711 noktası referans alınan ölçüler.....	72
Tablo 15. İki farklı referans noktasına ait ölçülerin karşılaştırılması.....	73
Tablo 16. Statik GPS koordinatları.....	74
Tablo 17. GZK GPS koordinatları.....	74
Tablo 18. Statik GPS ile GZK GPS' in karşılaştırılması.....	75

SEMBOLLER DİZİNİ

AS	Anti Spoofing (P Kodunun alınamaması)
C/A KOD	Course/Acquisition Kod (Kaba Kod)
CMR	Compact Measurement Record
DGPS	Diferansiyel GPS
DOP	Dilution of Precision (Hassasiyet Ölçütü)
EDM	Electronic Distance Meter (Elektronik Uzaklık Ölçer)
GDOP	Geometrik DOP
GIS	Geographical Information Systems (Coğrafi Bilgi Sistemleri)
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System (Global Konum Belirleme)
GZK	Gerçek Zamanlı Kinematik
HDOP	Horizontal DOP (Yatay DOP)
HOW	Hand over Word
IF	Intermediate Frequency
L1	1227.6 Mhz Frekanslı Taşıyıcı Dalga
L2	1575.42 Mhz Frekanslı Taşıyıcı Dalga
LCD	Liquid Crystal Display (Likit Kristal Ekran)
N	Tam Sayı Faz Belirsizliği
OTF	On The Fly
PDOP	Position DOP
P-KOD	Precision KOD (Hassas Kod)
PRN	Pseudo Random Noise
RF	Radyo Frekansı
RTCM SC – 104	Radio Technical Commission for Maritime Services, Special Committee 104 (Denizcilik Hizmetleri Radyo Teknik Komisyonu, Özel Komite 104)
SA	Selective Availability (Seçici Erişebilirlik)
TDOP	Time DOP
VDOP	Vertical DOP (Düşey DOP)

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Jeodezik amaçlı konum belirlemede kullanılan alet ve yöntemler tarih boyunca sürekli gelişim göstermiştir. Gelişim hep bu aletlerin daha rahat kullanılması, daha hızlı ve hassas sonuç vermesi yönünde olmuştur. Bu gelişimin son halkasını GPS (Global Positioning System) oluşturmaktadır. GPS bundan 20 yıl kadar önce Amerikan Savunma Bakanlığı tarafından askeri amaçlar için geliştirilmiş bir sistem olmasına rağmen GPS' in siviller tarafından kullanımı engellenememiştir. Askeri amaçlı geliştirilen ilk GPS alıcıları henüz test aşamasındayken çeşitli kamu, özel ve akademik organizasyonların kendi aralarında oluşturdukları ortak çalışmalar sonucu GPS, siviller tarafından kullanılmaya başlanmıştır. Siviller tarafından ilk defa 1980' li yılların başlarında kullanılan GPS bugün artık tüm dünyada jeodezik amaçlı konum belirleme çalışmalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1].

Jeodezik ölçmelerde GPS' in yersel sistemlere sağladığı avantajlar kısa sürede fark edilmiş ve bunun bir sonucu olarak farklı hassasiyette konum bilgisi sunan bir çok GPS ölçme yöntemi geliştirilmiştir. Fakat ilk kullanılan GPS ölçme yöntemlerinde (statik ve kinematik ölçme yöntemleri) konum bilgisi elde edebilmek için arazide toplanan verilerin çeşitli GPS yazılımları tarafından değerlendirilmesi gerekiyordu. Fakat bazı uygulamalar arazide ölçü anında konum bilgisine ihtiyaç duyar. Bu durum bilim adamlarını arazide veri toplandığı anda, gerçek zamanlı olarak konum bilgisi sunabilen ölçme tekniklerini araştırmaya itmiştir ve bu çalışmaların sonucunda 1980' li yıllarda DGPS (Diferansiyel GPS) adı verilen bir ölçme yöntemi geliştirmişlerdir. DGPS sayesinde GPS ölçülerini etkileyen sistematik hatalardan büyük oranda kurtulunmuştur. Bu sistematik hatalar uydu ve alıcı saat hatası, iyonosferik ve troposferik gecikme hatası ve SA etkisi (A.B.D. Savunma bakanlığı tarafından sivil kullanıcıların hassas konum bilgisi elde edememesi için uydu saat ve almanak bilgilerine bilerek getirilen bozucu etki) dir [2]. SA (Selective Availability) etkisi 1 Mayıs 2000 itibariyle kaldırılmıştır. Bu sayede kod ölçülerinin hassasiyetleri artmış ve buna bağlı olarak ta konum hassasiyetleri tek alıcı ile 12 –15 m. ye kadar düşmüştür [3]. DGPS kullanıldığında ise SA etkisi altında bile 1 m. hassasiyetinde konum bilgisi elde edilebilmektedir [4].

Yapılan araştırmalar taşıyıcı dalgaların da uydu-alıcı arası mesafelerin ölçülmesinde dolayısıyla GPS ile konum belirlemede kullanılabileceğini göstermiştir. Bu sayede kod ölçülerine oranla çok daha hassas konum bilgisine ulaşılmıştır.

DGPS' in konum hassasiyeti jeodezik amaçlı çalışmalar düşünöldüğünde yeterli değildir. Bu nedenle DGPS jeodezi alanında çok fazla ilgi görmemiş daha çok denizcilik ve navigasyon uygulamalarında geniş kullanım alanları bulmuştur. DGPS ile yeterli hassasiyete ulaşamaması bilim adamlarını çok daha hassas sonuç veren faz ölçülerinin diferansiyel teknikle kullanılıp kullanılamayacağını araştırmaya itmiştir. Bunun bir sonucu olarak 1990'lı yılların başlarında araştırmacılar taşıyıcı dalga faz gözlemleri kullanılarak DGPS' ten elde edilebilecek hassasiyetin yaklaşık 100 kat iyileştirilebileceğini göstermişler ve GZK GPS (Gerçek Zamanlı Kinematik GPS) adını verdikleri yeni bir teknik geliştirmişlerdir[4],[5]. Bu metot ile ölçölen noktaların konumları gerçek zamanlı olarak $\pm 2-3$ cm. hassasiyetle belirlenebilmektedir. Yine bu metot kullanılarak koordinatları daha önceden bilinen noktalar arazide $\pm 2-3$ cm. hassasiyetle aplike edilebilmektedir.

Bu yüksek lisans çalışmasında GZK GPS ölçü yönteminin imar uygulamaları, kadaastro ve halihazır harita yapımı gibi jeodezik çalışmalarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Karadeniz Teknik Üniversitesi Kampüsü'ne ait 1/1000 ölçekli bir halihazır harita üzerine bir imar uygulama planı çizilmiş ve oluşturulan imar adalarının köşe koordinatlarının aplikasyonu ve alımı GZK GPS yöntemi ile yapılmıştır. Oluşturulan bu gerçek uygulama bölgesinde yöntem; hassasiyet, tekrarlılık ve güvenilirlik açısından kendi içerisinde çeşitli testlere tabi tutulmuştur. Ayrıca yöntemin statik GPS ve klasik yersel yöntemlerle karşılaştırılması için yine çeşitli testler yapılmıştır. Yapılan tüm bu testler sonucunda GZK GPS ölçü yönteminin en az klasik yersel sistemler kadar hassas sonuç verdiği görölmüş dolayısıyla yöntemin imar uygulamalarında ve kadaastro çalışmalarında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

1.2. Problemin Tanımı

Ölkemizde özellikle konuma dayalı bilgi gerektiren uygulamalarla ilgili yeterli sayıda ve kalitede altlık olmayışı, bu eksikliği gidermek için kullanılan klasik yöntemlerin ise çok uzun zaman ve işgücü gerektirmesi büyük bir problem teşkil etmektedir. Örneğin henüz ölkemizde birinci kadaastro bitirilememiştir. Bu olumsuz durum ölk ekonomisine

belli bir yük getirmekte, ülke topraklarının amacına uygun bir şekilde kullanılamamasına neden olmaktadır. Ayrıca imar planlarının ve çoğu mühendislik projelerinin temel altlığını oluşturan halihazır haritaların kısa sürede ve doğru bir şekilde bitirilebilmesi yapılan yatırımların bir an önce hayata geçebilmesi açısından önemlidir. Tüm bu problemlerin çözümü çok kısa sürede ve doğru bir şekilde harita üretiminde saklıdır. Bu da ancak hızlı ve bir o kadar da kullanışlı bir ölçme yöntemi ile olur.

1.3. Çalışmanın Amacı

Son yıllarda geliştirilen ve tüm dünyada çok geniş kullanım alanı bulan GZK GPS metodu henüz çok yeni olduğu ve gereği gibi tanıtılamadığı için hak ettiği ilgiyi görmemiştir. İşte bu çalışmada GZK GPS yönteminin duyarlık açısından yukarıda bahsedilen jeodezik uygulamalarda kullanılabilirliğinin incelenmesi üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla yöntemin hız, maliyet ve duyarlılığının jeodezik çalışmalar için yeterli olup olmadığını araştırabilmek için çeşitli testler yapılmıştır.

1.4. Metodoloji

GZK GPS ölçü yönteminin maliyet, hız, ve duyarlılığını araştırabilmek için üç ana başlık altında çeşitli testler yapılmıştır. Bu testler KTÜ Kampüsü içerisinde seçilen bir bölgede oluşturulan imar adalarının köşe koordinatları ile yapılmıştır.

Öncelikle GPS klasik yersel sistemlerle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla uygulama bölgesindeki bazı noktalar Total Station kullanılarak aplike edilip röleve ölçüleri alınmıştır. Daha sonra zeminde işaretlenen bu noktaların alımı bir de GZK GPS ile yapılarak elde edilen iki koordinat grubunun karşılaştırılması yapılmıştır.

İkinci grup testlerle GZK GPS yöntemi kendi içerisinde test edilmiştir. Bu amaçla üç farklı test yapılarak elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

- Farklı günde ve günün farklı saatlerinde (dolayısıyla farklı uydu dağılımlarında) aynı noktaların alımları yapılarak koordinatlar arası farklar hesaplanmıştır.
- Farklı günde fakat aynı uydu dağılımında aynı noktaların alımları yapılarak koordinatlar arası farklar hesaplanmıştır.

- Aynı noktaların alımları farklı referans nokta kullanılmak suretiyle yapılmış elde edilen iki farklı grup koordinat birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Son testte ise GZK GPS yöntemi, statik GPS yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla Statik GPS yöntemi ile koordinatları hesaplanan uygulama bölgesi içerisindeki poligon noktalarının GZK GPS ile alımı yapılarak GZK GPS, çok daha hassas sonuç veren statik GPS yöntemi ile test edilmiştir.

1.5. GPS Uydu Sinyal Yapısı

GPS ölçü prensibi olarak trilaterasyona benzetilebilir. Her iki teknik de sabit noktalara olan mesafelerin ölçülmesine dayanır. Aralarındaki en büyük fark ise GPS' de ölçülen mesafelerin yeryüzü üzerindeki sabit noktalardan değil de yerden yaklaşık 20200 km. yükseklikteki uydulardan yapılmasıdır.

GPS' de uydu alıcı arasındaki mesafeler GPS uyduları tarafından yayımlanan ve elektromanyetik spektrumun mikro dalga bölümünde yer alan sinyallerle ölçülür. Bu sinyaller ile birlikte yeryüzü üzerindeki noktaların koordinatlarının bulunabilmesi için gerekli olan bilgiler alıcıya ulaştırılır ve kaydedilir [1].

GPS sinyalleri oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bunun sebebi sinyaller üzerinde çok çeşitli veri tiplerinin bulunmasıdır. GPS milyonlarca sivil ve askeri kullanıcıya hassas ve doğru mesafe ölçümü, hassas Doppler değişimi ölçüsü, hassas taşıyıcı dalga faz ölçüsü, uydudan yayımlanan uydu konum bilgileri ve iyonosferik gecikme düzeltme parametreleri sağlar. Ayrıca GPS alıcıları ile aynı anda birden fazla uydudan sinyal birbirleri ile karıştırılmadan alınabilir. Sinyaller üzerinde sinyali bozucu dış etkilere karşı koruma sistemi ve multipath tolerans payı vardır. İşte tüm bu özellikler GPS sinyallerini karmaşık hale getirmektedir [6].

1.5.1. Taşıyıcı Dalgalar

Her bir GPS uydusu L1 (Link 1) ve L2 (Link 2) olmak üzere iki adet taşıyıcı dalga yayımlar. L1' in frekansı 1575.42 MHz, L2' nin frekansı ise 1227.60 MHz dir. Bu taşıyıcılar L bandı diye adlandırılan aralıkta (1-2 GHz) bulunurlar.

GPS sinyallerinin frekanslarının bu kadar yüksek olmasının türlü sebepleri vardır. Sözü edilen bu sinyaller ile hassas konum bilgisi elde edilebilmesi için sinyalin hızının hassas bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Hız, Doppler etkisi nedeniyle frekansta oluşan küçük değişikliklerin ölçülmesi ile belirlenir. Hızı saniyede 1 cm. hassasiyetinde elde edebilmek için santimetre inceliğinde (20 ~ 30 cm.) dalga boyuna sahip sinyaller gerekir.

Yüksek frekans kullanılmasının bir diğer sebebi iyonosfer tabakasının sebep olduğu etkiyi azaltmaktır. Çünkü iyonosfer tabakası sinyalin atmosferden geçerken hızının değişmesine sebep olmaktadır. Uydu ile alıcı arasındaki mesafe, ölçülen sinyalin seyahat zamanından elde edildiği için ve sinyalin hızı boşluktaki ışık hızı olarak farz edildiği için hızdaki değişim direkt olarak hataya sebep olacaktır. Bu hatanın boyutu yüksek frekans kullanıldığında düşmektedir. Fakat bu etki L1 frekansı için sinyal direkt baş ucu doğrultusundan gelse dahi 30 m.'yi bulmaktadır. Bu boyuttaki bir hata bazı uygulama alanları için kabul edilebilir fakat jeodezik çalışmalar açısından düşünüldüğünde çok daha hassas ölçümler gerekmektedir. Bu nedenledir ki GPS iki farklı frekans kullanmaktadır. Çünkü iki farklı frekansta eş zamanlı ölçü toplandığı vakit iyonosferik etki neredeyse tamamen ortadan kaldırılabilir [6].

GPS sinyalleri diğer çoğu radyo sinyalleri gibi uydudan ilk çıktığı anda tam sinüzoidal dalgalar veya taşıyıcılar şeklindedir. Fakat tam sinüzoidal dalgalarla gerçek zamanlı olarak kolay bir şekilde konum belirlenemez. Tek bir devirin fazı hassas bir şekilde ölçülebildiği halde sinyal içindeki tam devirlerin hepsi bir sonrakine benzeyeceğinden uydu ile alıcı arasında kaç tane tam devir olduğunu belirlemek oldukça zordur.

Kullanıcının konum bilgilerini gerçek zamanlı olmayacak şekilde (post processed) belirleyebilmesi için sinyaller modüle edilmelidir. Yani tam sinüzoidal dalgalar belli bir biçimde değiştirilmek suretiyle gecikme ölçümleri yapılabilir. Bu ise taşıyıcı dalgaların "psodyorandom noise" (PRN) kodlarıyla modüle edilmesi ile sağlanır.

Bu PRN kodları ilk bakışta rasgele oluşan binary (1 ve 0) değerler dizisi gibi algılanır. Fakat eğer bu diziler gerçekten de rasgele olsaydı o zaman kontrol edilemez olurlardı ve istenildiğinde aynı değer elde edilemezdi. Fakat matematiksel algoritmalar veya bu amaç için geliştirilmiş özel donanımlar kullanılarak istenilen bir zaman aralığında istenmediği sürece aynı değeri tekrarlamayan diziler elde edilebilir. Bu şekildeki diziler "psodyorandom" diziler olarak adlandırılmaktadır. Bu dizilerde belli bir matematiksel

algoritmaya göre oluşturulan 1 ve 0 değerleri sanki bir radyo kanalından diğerine geçerken duyulan gürültüye veya tam frekans ayarı yapılmamış bir televizyon kanalında ekranda oluşan karlama gürültüsüne benzer. Bu şekilde oluşan bir gürültü haberleşme araçlarında istenmediği halde GPS' in işleyişinde oldukça faydalıdır.

İşte yukarıda bahsedilen kodun aynısı GPS alıcısı içerisinde de aynen tekrarlanmaktadır. Sinyalin uydudan yayımlanma anı bilinirse alıcıya ulaşan sinyal ile alıcı içerisinde üretilen sinyal korelasyona tabi tutularak sinyalin seyahat zamanı dolayısıyla uydu alıcı arasındaki mesafe belirlenebilir. Her uydu kendisine has kod üretmektedir. Böylece hangi sinyalin hangi uydudan geldiği kolaylıkla ayırt edilebilir[6].

1.5.2. Kodlar

1.5.2.1. C/A Kod

Her bir GPS uydusu tarafından iki farklı PRN kodu yayımlanır. Bunlar C/A (coarse/acquisition) Kod ve P (Precision) Kod'dur. C/A Kod her milisaniyede bir tekrarlanan 1,023 binary (ikilik sayı sisteminde) basamaklık bir sayı dizisi veya çip tir. Bunun anlamı çipler saniyede 1.023 milyon' luk bir sayı dizisi oluşturur ve bir çipin oluşum süresi 1 mikro saniyedir. Her çip taşıyıcı dalgalara yüklenir ve uzayda ışık hızıyla hareket etmeleri sağlanır. Bu yüzden biz belli bir zaman aralığını ışık hızıyla çarpmak suretiyle uzunluk birimine dönüştürebiliriz. Bu nedenle 1 mikro saniye yaklaşık 300 metreyi ifade eder. Bu aynı zamanda C/A Kodun dalga boyudur [6], [7].

C/A Kod her mili saniyede tekrarlandığı için GPS alıcısı sinyale anında kilitlenir ve aldığı kodu kendi ürettiğiyle karşılaştırmaya başlar.

Her uyduya kendisine özgü C/A Kod tahsis edilmiştir. Şu anda değişik uydular için toplam 32 adet C/A Kod mevcuttur.

1.5.2.2. P-Kod

Uzunluk ölçüm hassasiyeti kısmen PRN Kodundaki çipin dalga boyuyla ilgilidir. Yüksek duyarlık daha kısa dalga boyu ile elde edilebilir. C/A Kod'un verdiğinden daha hassas sonuç elde edebilmek için GPS uyduları aynı zamanda P Kod'unu da yayımlar. P

Kod çiplerinin dalga boyu 30 metre uzunluğundadır ve dalga boyu C/A Kodunkinin onda biridir. Çipler saniyede 10.23 milyonluk bir oranla C/A Kod'a göre 10 kat daha hızlı üretilir. P-Kod oldukça uzun bir dizidir. P-kod çipleri 266 gün veya yaklaşık $2.35 \cdot 10^{14}$ çip geçmeden kendisini tekrarlamaz. Her uyduya bu kodun bir haftalık bir bölümü ayrılmıştır ve her hafta cumartesi pazara bağlayan gece yarısı kendini yeniler [6].

1.5.2.3. Y-Kod

A.B.D. Savunma Bakanlığı AS (Anti-spoofing) etkisinin bir parçası olarak P-Kodunu gizli bir kod olan W-Kodu ile birleştirmek suretiyle P-Kodunun siviller tarafından elde edilememesini ve dolayısıyla tek alıcı ile hassas konum belirlenememesini amaçlamıştır. AS etkisi resmi olarak 31 Ocak 1994 saat 00:00 itibariyle aktif hale getirilmiştir. Bu etki Blok II ve daha üst model uydularda vardır. Blok I uydularında bu etki yoktur.

1.5.2.4. Kodların Diğer Özellikleri

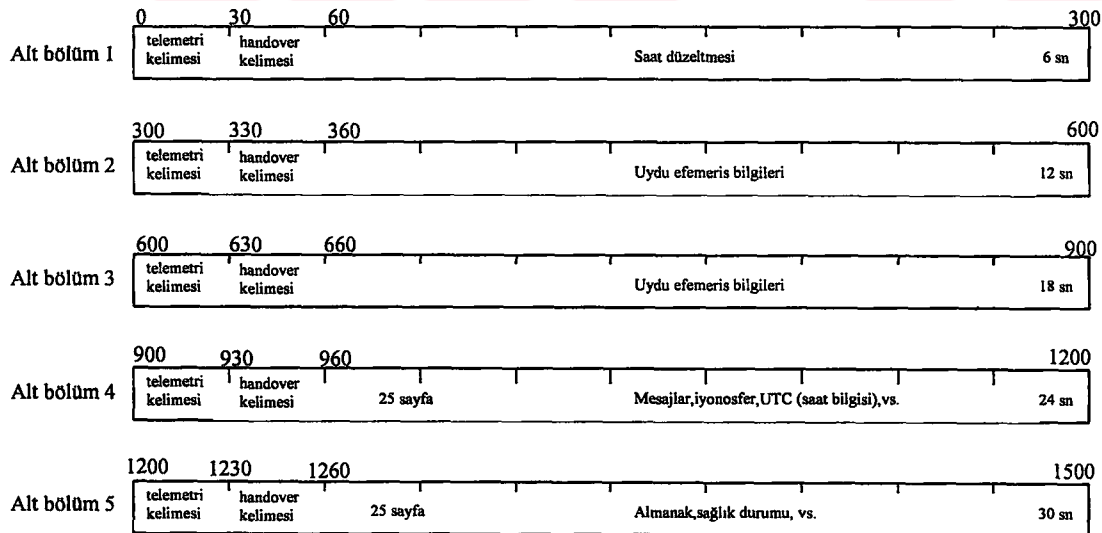
GPS uydularının kullandığı PRN kodlarının ek bazı faydaları daha vardır. GPS alıcısı bir GPS uydusundan gelen sinyali değerlendirirken aynı anda başka bir uydudan gelen sinyal araya girip parazit yapmamalıdır. Bu nedenle GPS PRN kodları bu şekildeki bir karışıklığa karşı dayanıklı olacak şekilde seçilmiştir. Seçilen PRN kodları aynı şekilde diğer radyo sinyallerinden de etkilenmemektedir.

Şu an itibariyle C/A Kod yalnızca L1 taşıyıcısı üzerine yüklenmiştir. P-Kod ise hem L1 hem de L2 taşıyıcısı üzerindedir. Bu nedenle çift frekanslı alıcı kullanan bir kullanıcı iyonosferik etkiden arındırılmış uzunluk elde edebilir. Tek frekanslı alıcı kullananlar iyonosferik etkiyi ancak belli bir oranda belirleyebilen matematiksel modeller kullanmalıdır [6].

1.5.2.5. Navigasyon Mesajı

Ölçülen uydu-alıcı arası mesafelerin koordinat bilgisine dönüştürülebilmesi için uyduların konumlarının bilinmesi gerekir. Ölçü anında uydu konum bilgilerinin elde edilebilmesi için bu bilgiler uydular tarafından alıcılara yayımlanmalıdır. Bu nedenle L1 ve L2 taşıyıcılarının ikisinin birden üzerine PRN kodlarıyla birlikte bir mesaj yüklenir. Bu mesajla birlikte konum hesaplamakta kullanılmak üzere her uydu kendi yörünge bilgilerini (efemeris), kendi saatinin GPS zamanından olan sapma miktarını, ve uydunun sağlığıyla ilgili bilgileri kullanıcılara gönderir. Bu mesaj ayrıca GPS yörünge planındaki diğer uydulara ait almanak bilgisini de içermek suretiyle diğer uyduların sağlık durumuyla ilgili bilgileri ve uydulara ait diğer parametreleri de alıcılara gönderir. Uydunun yörüngesini kabaca belirten almanak bilgisi alıcının, uydunun nerede olduğunu belirlemede kullanılır. Alıcı almanak bilgilerini ufkun üzerinde olup ta henüz izlenmeye başlanmamış uydulara kısa bir süre içerisinde bağlanarak veri toplanmasında kullanır. Çünkü bir uyduya bağlanıp sinyal çözüldüğünde diğer uydulardan sinyal toplanmaya başlanması oldukça kısa bir sürede gerçekleştirilebilir [6].

Navigasyon mesajı (Broadcast Message) alıcıların P-Kodunu izlemede yardımcı olan çok önemli bir bilgi de içerir. Daha önceki bölümde de sözü edildiği üzere her uyduya P-Kod için 7 gün uzunluğunda bir bölüm ayrılır. GPS alıcısı uydudan gelen



Şekil 1. Navigasyon mesajının yapısı

sinyali kendi içerisinde ürettiği sinyalle karşılaştırırken saatler senkronize olmadığı için uzun bir mesaj olan P-Kodun hangi bölümünün yayımlanmakta olduğunu araştırmada zorlanır. Bu yüzden alıcılar bu konuda yardıma ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle mesajın içerisine “handover word” (HOW) adı verilen ve P-Kod araştırmasına nereden başlanacağını söyleyen bir kelime yerleştirilir. Ayrıca her alt bölüm “telemetry” kelimesiyle başlar. Telemetry kelimesi bir önsöz ile başlar. Ya da sadece yetkili kişilerin kullanabileceği bilgileri içerir. GPS navigasyon mesajı saniyede 50 bit lik düşük bir hızla gönderilir. Mesajın tamamı 25 bölümden oluşur. Bu bölümlerin her birinin toplam uzunluğu 1500 bittir ve her biri 30 bitlik 10 kelimeden oluşan 5 alt bölüme ayrılmıştır. Bu alt bölümlerin her birisinin yayımlanması 6 saniye sürer. 5 alt bölüm ise toplam 30 saniyede yayımlanır. GPS alıcısının açıldığı anda konumunu belirleyebilmesini engelleyecek bir gecikmenin minimuma indirilmesi için uydu efemeris bilgileri ve uydu saat bilgileri (alt bölüm 1,2 ve 3) her 30 saniyede bir yenilenir. Alt bölüm 4 ve 5 ise her 30 saniyelik yenilemede tekrarlanır. Bu nedenle tüm mesajın gönderilmesi (25 bölümün tamamı) toplam 12.5 dakika alır [7].

1.6. GPS Gözlemleri

Kavramsal olarak GPS gözlemleri alıcının kendi içerisinde ürettiği sinyal ile uydudan gelen sinyalin karşılaştırılması suretiyle faz veya zaman farkının elde edilmesi prensibine dayanır. Klasik yersel elektronik uzaklık ölçüsünün aksine GPS’ te sinyalin tek yönlü seyahat süresi kullanılır. Bu işlem için uydu ve alıcı saatleri kullanılır. Bu saatler birbirleriyle eş zamanlı çalışmadıkları için uzunluklar gerçek değerlerine göre bir miktar hatalı olur. Bu nedenle GPS ile gerçek uzunluklar yerine psoydo (yalancı) uzunluklar ölçülmüş olur [8]. Psoydo uzunluktan gerçek uzunluğa geçmek için saat hatalarının ve ölçü işlemini etkileyen diğer hataların (iyonosferik ve troposferik gecikme hatası, uydu konum hataları vs.) dikkate alınması gerekir. Temel olarak iki adet GPS gözlem çeşidi vardır. Bunlar Kod Psoydo uzunluk ölçüsü (veya kısaca Kod ölçüsü) ve Taşıyıcı dalga faz ölçüsüdür (veya Faz psoydo uzunluk ölçüsüdür). Taşıyıcı dalga faz gözlemleri kod ölçülerine göre çok daha hassas sonuç verdiği için yüksek duyarlık gerektiren çalışmalarda kullanılır. Kod ölçüleri ise çok büyük hassasiyet gerektirmeyen uygulamalar için uygundur. Bu iki ölçü türü bazı avantajlar elde etmek amacıyla kombine bir şekilde de

kullanılabilir. Kod ölçüleri, çoğu GPS alıcısında kesin konum bilgisi elde edilmeden önce hazırlık mahiyetinde bir ilk konum belirlemede kullanılır [1].

1.6.1. Kod Ölçüsü (Kod Psoydo Uzunluk Ölçüsü)

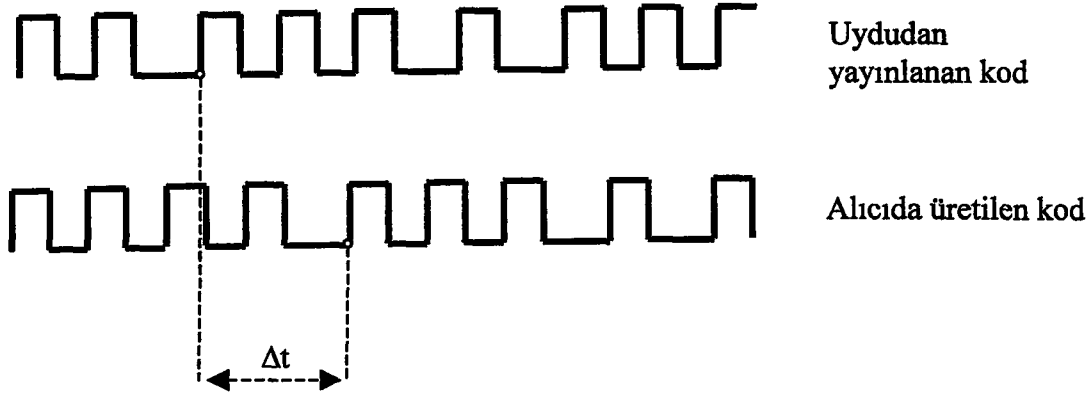
Kod psoydo uzunluk ölçüsü uydudan yayınlanan sinyalin alıcı antenine ulaşınca kadar geçen seyahat süresinin belirlenerek buradan uydu alıcı arasındaki mesafenin belirlenmesi prensibine dayanır [9]. Sinyalin seyahat süresi sinyalin GPS uydusundan çıktığı an ile tam alıcı anteni tarafından alındığı ana kadar geçen süredir ve Δt ile gösterilir. Bunu daha iyi bir şekilde anlayabilmek için bir örnek verelim. Mesela biz yanlış olan saatimizi ayarlamak için bir arkadaşımıza telefon edelim. Arkadaşımız telefonla bize saatin tam 3:59:00 olduğunu söylesin ve biz de saatimizi tam 3:59:00 olarak ayarlayalım. Bu durumda bizim saatimiz arkadaşımızın saatine göre bir parça da olsa geride kalacaktır. Çünkü telefondaki sesin, telefon hattından geçerek bize kadar ulaşabilmesi için de belli bir zamana ihtiyaç vardır. Bu gecikme zamanı, arkadaşımızın elektriğe dönüşen sesinin telefon hatlarında aldığı yolun, elektrik enerjisinin hızına bölünmesine eşittir. Elektriğin hızı da ışık ve radyo sinyallerini de içeren elektromanyetik enerjinin hızına eşittir.

GPS' te, bu ekstra zamana gecikme zamanı (Δt) denir ve zamandaki bu küçük gecikmenin ölçülmesi GPS kodlarının kombinasyonu ile gerçekleştirilir. GPS' te kullanılan bu fikir tıpkı EDM' lerde (Electronic Distance Meter) kullanılan tekniğe benzer. EDM' ler gönderilen sinyalin aynısını kendi içerisinde üretir ve reflektörden yansıyan sinyalle ürettiği bu sinyali korelasyona tabi tutar[1]. GPS alıcıları da uydudan gelen kodun bir kopyasını kendi içerisinde üretir ve böylece bu iki PRN kodlarını korelasyona tabi tutarak Şekil 2' de görülen gecikme zamanı dediğimiz sinyalin seyahat süresini hesaplar [7].

Sinyalin uydudan çıkış anına t^p ve alıcıya ulaşma anına t_k dersek aradaki zaman farkı;

$$\Delta t = t^p - t_k \text{ olur.} \quad (1)$$

Daha önce de belirtildiği gibi uydu ve alıcı saatleri birbirleriyle tam senkronize çalışmazlar. Bu nedenle ölçülen Δt ve buna bağlı olarak ta bulunan uzunluk hatalı olur. Ayrıca uydu ve alıcı saatleri, esas alınan GPS zaman sistemi saatine göre bir zaman offsetine (başlangıç kayıklığına) sahiptirler. Bu nedenle bu faktörler de kod ölçü denkleminde dikkate alınmalıdır [10].



Şekil 2. Kodlardan zaman farkı ölçüsü [10].

Kod ölçülerinde karşılaşılan hatalar yalnız saat hatalarıyla kalmaz. İyonosfer ve troposfer tabakalarında sinyalin hızında meydana gelen değişiklikler, alıcı ve uydu donanımından kaynaklanan hatalar ve multipath etkisi de ölçüyü etkiler [1]. Tüm bu hatalar göz önüne alındığında kod psödo uzunluk ölçüsü denklemini;

$$P_k^p(t) = \rho_k^p(t) - cdt_k + cdt^p + I_{k,p}^p(t) + T_k^p(t) + d_{k,p}(t) + d_{k,p}^p(t) + d_p^p(t) + \varepsilon_p \quad (2)$$

şeklinde yazılır. Burada :

$P_k^p(t)$ = t anında k noktasındaki alıcı ile belirlenen kod ölçüsü

$\rho_k^p(t)$ = t anında alıcı anteni ile uydu arasındaki geometrik uzunluk

c = Işık hızı

dt_k = Alıcı saat hatası

dt^p = Uydu saat hatası

$I_{k,p}^p(t)$ = İyonosferik hata

$T_k^p(t)$ = Troposferik hata

$d_{k,p}(t)$ = Alıcı donanımından kaynaklanan kod gecikmesi

$d_{k,p}^p(t)$ = sinyalin çevreden yansısıyla oluşan multipath etkisi

$d_p^p(t)$ = uydu donanımından kaynaklanan kod gecikmesi

ε_p = rasgele ölçü hatası

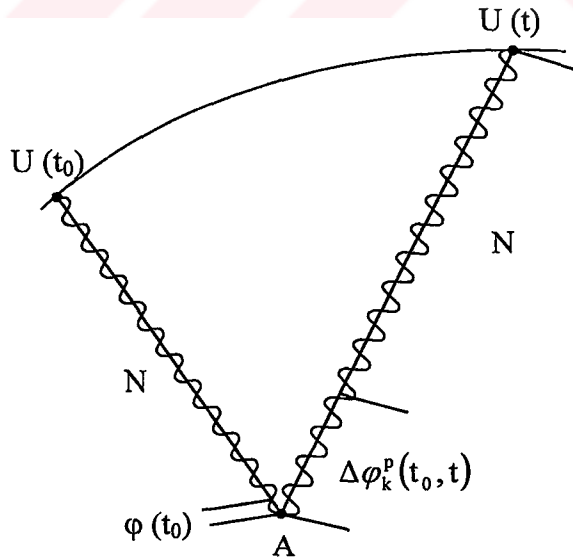
dır.

1.6.2. Taşıyıcı Dalga Faz Ölçüsü (Faz Psoydo Uzunluk Ölçüsü)

Taşıyıcı dalga GPS faz gözlemi, GPS alıcısının içerisinde bir osilatör tarafından üretilen sinyalin herhangi t^p anındaki fazı (φ^p) ile bu sinyalin alıcıya ulaştığı anda, alıcı osilatörü tarafından aynı özellikte üretilen sinyalin fazı (φ_k) arasındaki faz farkı (φ_k^p) nın ölçülmesidir [9],[10],[11].

Alıcı içindeki taşıyıcı (sinyal) sabit frekanslıdır, oysa uydudan gelen taşıyıcının frekansında uydunun ve alıcının rölatif hareketinin neden olduğu Doppler etkisi nedeniyle değişiklik olur. Alıcıya ulaşan taşıyıcının fazı, sinyalin uydudan alıcıya ulaşabilmesi için gerekli olan zamana bağlı olarak, taşıyıcının uydudaki fazıyla ilişkilidir.

Taşıyıcı dalga faz gözlemleri, alıcı alet bir t_0 anında açıldığında uydu ile alıcı arasında uzaklığın karşılığı olan fazın sadece anlık kesirli kısmını ölçebilir, devir tam sayısına karşılık gelen ve tam sayı faz belirsizliği (N) olarak adlandırılan kısım belirlenemez. Ancak, alıcı kapatılmadan t anına kadar gelen sinyal sürekli olarak izlenerek,



Şekil 3. Taşıyıcı dalga faz ölçüsü

t_0 ölçü başlangıç anından itibaren t anına kadar geçen Δt süresince alınan sinyalin fazı (alıcı içerisinde sayılan tam devir faz ve ölçülen kesirli fazın toplamı) ölçülür Şekil 3. Taşıyıcı dalga faz gözlemlerinin konum belirleme işleminde kullanılabilmesi için tam sayı faz belirsizliğinin (N) diğer bilinmeyenler olan alıcı koordinatlarıyla beraber belirlenmesi gerekmektedir [4] [12].

Eğer taşıyıcı dalga faz gözlemlerinde; sinyalin dalga boyunu bir uzunluk birimi cinsinden alır ve tam devir sayısını sinyalin dalga boyuyla çarparak bir denklem oluşturursak psoydo uzunluk denkleminin bir benzerini elde ederiz. Faz ölçüsü φ 'nin bir k referans noktası ve p uydusuna göre denklemi [7]:

$$\begin{aligned} \varphi_k^p(t) = & \rho_k^p(t) - cdt_k + cdt^p - I_{k,p}^p(t) + T_k^p(t) + \frac{c}{f_1} N_k^p(1) \\ & + d_{k,\varphi}(t) + d_{k,\varphi}^p(t) + d_{\varphi}^p(t) + \varepsilon_{\varphi} \end{aligned} \quad (3)$$

şeklinde yazılabilir. Burada :

$\varphi_k(t)$ = alıcıdaki faz

$\varphi^p(t)$ = t anında uydudan alınan sinyalin fazı

$\frac{c}{f_1} N_k^p(1)$ = Tamsayı faz belirsizliği

$I_{k,\varphi}^p(t)$ = İyonosfer hatası

$T_k^p(t)$ = Troposfer hatası

$d_{k,\varphi}(t)$ = Alıcı donanımından kaynaklanan faz gecikmesi

$d_{k,\varphi}^p(t)$ = Uydu donanımından kaynaklanan faz gecikmesi

$d_{\varphi}^p(t)$ = Faz ölçüsüne ait multipath etkisi

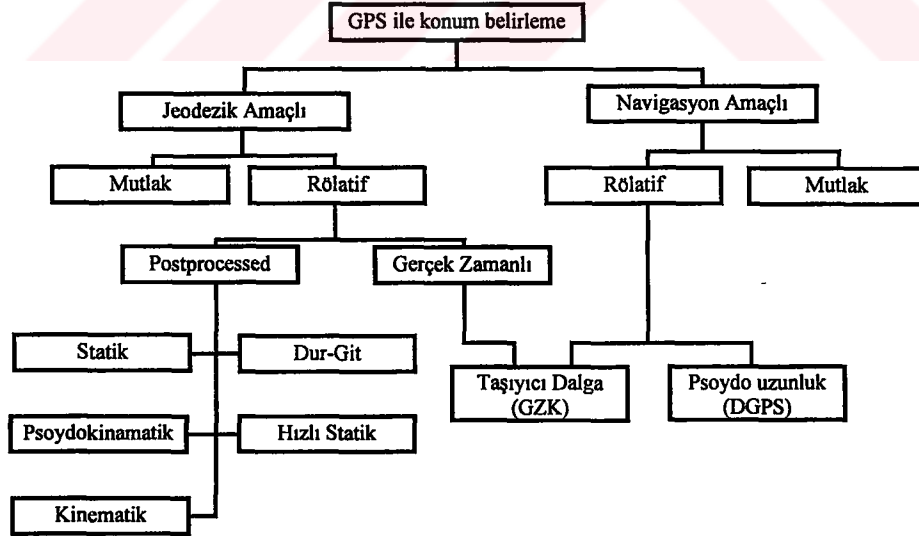
dir. Göörüldüğü gibi faz ölçü denklemi ile kod ölçü denklemi arasındaki temel fark iyonosferik etkinin (-) işaret alması hariç taşıyıcı dalga faz bilinmeyeninin denkleme girmesidir.

1.7. GPS Ölçü Yöntemleri ve Alıcı Tipleri

1.7.1. GPS ile Konum Belirleme Yöntemleri

GPS siviller tarafından kullanılmaya başlandıktan sonra gerek donanım olarak gerekse ölçme yöntemleri olarak sürekli bir gelişim içerisine girmiştir. GPS'in çok değişik meslek gruplarına ve uygulama alanlarına hitap etmesi ve bunların konum bilgisi ihtiyaçlarının farklı hassasiyette olması birçok GPS ölçme yönteminin doğmasına sebep olmuştur.

GPS ölçü yöntemlerini jeodezik amaçlı ve navigasyon amaçlı olmak üzere iki ana başlık altında toplamak mümkündür. Bu sınıflandırmanın sebebi jeodezik çalışmalarda GPS' den beklenen hassasiyetin navigasyon amaçlı toplanan verilere oranla çok daha hassas olmasıdır. Daha sonraki aşamada her iki ana başlığı da mutlak ve rölatif olmak üzere ikiye ayırabiliriz. Mutlak GPS ölçme yönteminde bir tek GPS alıcısı kullanılır ve nokta konumları, merkezi dünyanın ağırlık merkezi olan bir koordinat sisteminde mutlak olarak belirlenir. Rölatif konum belirlemede ise bir noktanın koordinatları başka bir noktanın koordinatları referans alınmak üzere belirlenmektedir.



Şekil 4. GPS ile konum belirleme yöntemleri

Rölatif konum belirleme yöntemleri de; toplanan verilerin daha sonra işlenmesini ve değerlendirilmesini gerektiren “post-processed” ölçme yöntemleri ve arazide veri toplanırken anında konum bilgisi sunan gerçek zamanlı (real-time) ölçme yöntemleri olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir. GPS ile konum belirleme yöntemleri Şekil 4’ te toplu halde verilmiştir.

Burada jeodezik amaçlı “post-processed” GPS ölçme yöntemleri ile bu tezin asıl konusunu oluşturan gerçek zamanlı GPS ölçme yöntemleri üzerinde durulacaktır.

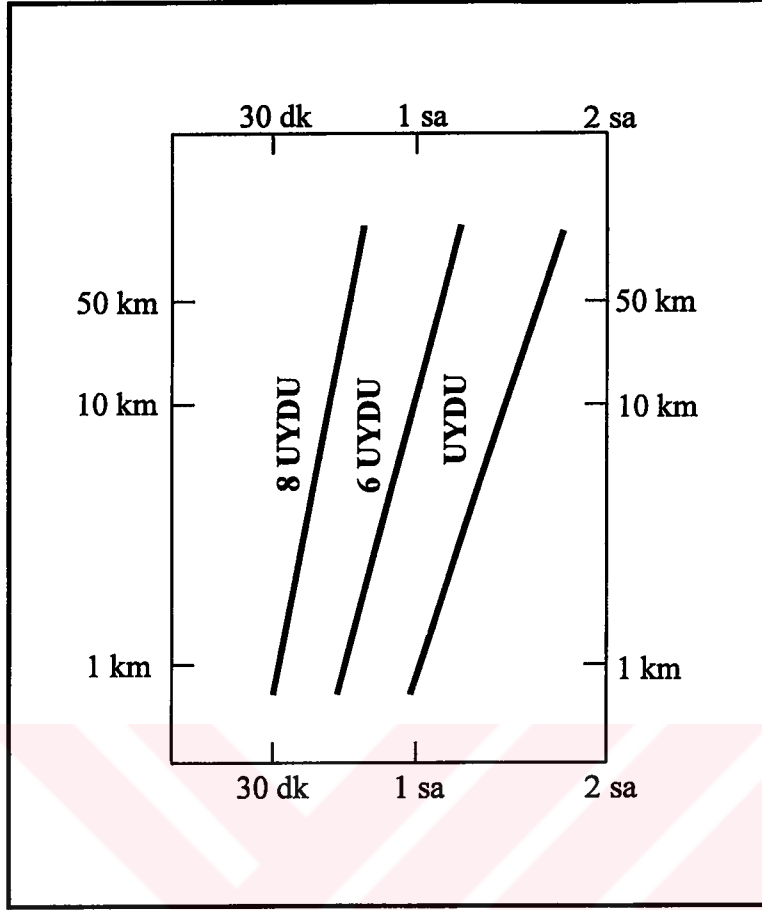
1.7.1.1. Post-Processed GPS Ölçme Yöntemleri

1.7.1.1.1. Statik GPS Ölçme Yöntemi

Bu yöntem arazide kullanılan ilk GPS ölçme yöntemidir ve bugün hala en hassas sonuç veren GPS ölçme yöntemi olma özelliğini korumaktadır. Yüksek duyarlıklı sonuç vermesi nedeniyle özellikle deformasyon ölçmelerinde ve nirengi ölçümlerinde tercih edilir. Rölatif statik GPS ölçme yönteminde iki veya daha fazla GPS alıcısı, eş zamanlı olarak en az 4 uydudan, bazın uzunluğu da dikkate alınmak suretiyle 30 dakika ile 2 saat arasında veri toplar. Bu yöntemde amaç eş zamanlı veri toplayan alıcılar arasındaki vektörlerin (veya kenarların) yüksek duyarlıkla belirlenmesidir. Bugün piyasadaki hemen hemen tüm jeodezik amaçlı GPS alıcılarıyla 0.5 mm. $\pm$ 1 ppm. hassasiyetinde kenar ölçmek mümkündür.

Statik GPS uygulamalarında hangi bazı ölçerken ne kadar ölçü toplamak gerekir? Genel olarak ölçü anındaki uydu sayısının çokluğu ve uyduların uzaydaki dağılımlarının uygunluğu (Bu PDOP değerinin düşük olması yani $< 4\sim5$ olması demektir) ölçü süresini azaltan faktörlerdir. Örneğin 6 uydu ve iyi bir PDOP değeriyle 10 km.’lik bir bazın ölçülmesi için 45 dakika ilâ 1 saat arasında bir ölçü süresi yeterlidir. Aynı şartlar altında 20 km.’lik bir bazın ölçümü ise 2 saatlik ölçü süresi gerektirebilir. Ayrıca 6 uydu varken toplanan 45 dakikalık veri uyduların dağılımlarının iyi ya da kötü olmasına bağlı olarak 4 uyduyla toplanmış 1 saatlik veriye oranla daha güvenilir olabilir [1].

Şekil 5’ de statik yöntemle veri toplanırken oturum süresinin ne kadar tutulması gerektiği, baz uzunluğuna ve uydu sayısına bağlı olarak verilmiştir.



Şekil 5. Statik ölçülen kenarlar için oturum süreleri

Ayrıca veri toplama aralığının da kenar ölçümünde büyük önemi vardır. Piyasadaki alıcılarla 0.1 saniye ile 999 saniye arasında bir değer veri toplama aralığı olarak seçilebilir. Veri toplama aralığının küçük bir değer seçilmesi toplanan verinin hacmini arttıracaktır fakat bu defa da oluşan cycle slip' lerin tamir edilmesi kolaylaşacaktır. Cycle slip' lerin tamirinin çok güç olacağı 50 km.'lik bir baz ölçümünde veri toplama aralığının küçük bir değer seçilmesi alıcının performansını yükseltecektir.

Statik ölçü yaparken bir oturumda ölçülebilecek maksimum kenar miktarı:

$$\text{Maksimum kenar miktarı} = \sum_{i=1}^{n-1} i \quad (4)$$

formülü ile hesaplanabilir [13]. Burada “n” toplam alıcı sayısıdır. Mesela 3 GPS alıcısı ile bir oturumda ölçülebilecek kenar sayısı $1 + 2 = 3$ tür. 4 alıcı ile ölçülebilecek kenar sayısı $1 + 2 + 3 = 6$, 5 alıcı ile ise $1 + 2 + 3 + 4 = 10$ dur.

1.7.1.1.2. Hızlı Statik GPS Ölçme Yöntemi

Bu ölçü yöntemi tıpkı statik ölçü yöntemine benzemektedir. Bu yöntemde hızlı statik denilmesinin nedeni ölçü süresinin statik GPS' e göre çok daha kısa tutulmasıdır. Bu metot ta ölçü süresi kısa olduğu için genellikle kısa uzunluktaki kenarların ölçülmesinde kullanılır. Genel olarak nokta üzerinde alıcılar 10 ~ 15 dakika ölçü toplarlar. Oturum sürelerindeki kısalma tam sayı faz belirsizliğinin kısa sürede çözülmesine imkan veren matematiksel algoritmalar sayesinde olabilmektedir. Maksimum etkinlikte bir GPS ölçümü gerçekleştirebilmek için kod ölçülerini ve faz ölçülerini her iki taşıyıcı dalgayı da kullanarak ölçebilen çift frekanslı alıcılar kullanmak gerekir. Bu sayede tam sayı faz belirsizliği (N)' yi daha kısa sürede çözebilmek için kullanılan wide-lane ve narrow-lane faz kombinasyonları kullanılabilir.

Ayrıca kod ölçülerinin iyileştirildikten sonra kullanılması tam sayı faz belirsizliğinin kısa sürede belirlenmesinde yardımcı olmaktadır. Bu nedenle P Kodunun alınamaması anlamına gelen AS (Anti Spoofing) etkisi altında dahi kod ölçüsü yapabilen alıcılar tercih edilmelidir.

Hızlı statik yöntemi çift frekanslı alıcılar kullanıldığında ve 5 km' den küçük bazlarda en iyi sonucu vermektedir.

1.7.1.1.3. Tekrarlı (Psoydo Kinematik) GPS Ölçü Yöntemi

Bu teknik psodydo statik ölçme yöntemi olarak ta bilinir. Yöntemin hem statik hem de kinematik isim alabilmesi iki yönteme de benzemesindendir. Yöntem kinematik yöntemle göre biraz daha verimsizdir fakat statik yöntemden de daha kullanışlıdır. Ayrıca yöntem statik ve kinematik yöntemlere oranla düşük hassasiyetlidir. Fakat bu yöntemin kullanılmasının avantajı bir noktadan diğerine giderken alıcıların uydularla olan bağlantılarını sürdürme zorunluluğunun olmamasıdır.

Psoydo kinematik ölçme yönteminde koordinatları bilinmeyen noktaların üzerinde iki kez ölçü toplamak gerekir. Koordinatı belirlenecek olan noktalardaki her bir oturum yaklaşık 5 ~ 10 dakika sürer. Fakat aynı nokta üzerinde yapılacak farklı oturumlar en az 1 saat sonra yapılmalı, bu süre 4 saati de geçmemelidir. İki farklı oturum yapılmasının sebebi ikinci oturumda uyduların uzaydaki dağılımlarının değişmesinden faydalanmaktır. Bu sayede aynı noktaya ait tam sayı faz belirsizliği farklı bir uydu konfigürasyonu ile

çözölmüş olur. Bu metot sayesinde statik GPS ile ölçölebilecek noktadan çok daha fazlası kısa bir süre içerisinde ölçölebilir. Ayrıca yine bu yöntemde alıcılar bir noktadan diğetine giderken açık durmak zorunda değildir. Bu yöntemin hassasiyeti yaklaşık yarım santimetre civarındadır. Yöntem genellikle 10 km' den kısa kenarlar için tavsiye edilir.

1.7.1.1.4. Dur-Git GPS Ölçü Yöntemi (Stop and Go)

Kinematik ölçü yöntemi GPS' ten elde edilen etkinliğı arttırmak amacıyla 1980' li yılların ortalarında geliştirilmiştir. Aralarındaki uzaklık 5 km' den daha küçük olan çok sayıdaki noktanın koordinatlarının statik GPS ölçme yöntemleri ile belirlenmesi pratik bir çözüm değildir. Noktaların birbirine yakın olduğı ve noktalara ulaşımın kolay olduğı bu tip uygulamalar için (özellikle poligon işlerinde) Dur-Git GPS ölçü yöntemi çok daha uygundur.

Dur-Git GPS ölçü yöntemi de yine tam sayı faz belirsizliğinin çok kısa bir sürede belirlenmesi prensibine dayanmaktadır. Ölçü anında N sayısı belirlendikten sonra gezici alıcı koordinatları belirlenecek olan noktalarda çok kısa süreli (1-2 dakika) ölçü toplar. Bir noktadan diğetine giderken belirlenen N sayısı aynı kalacağı için gezilen noktaların koordinatları cm. mertebesinde belirlenebilmektedir.

Bu ölçü yönteminde koordinatları belirlenecek noktalar üzerine gidilerek kısa süreli ölçüler toplandığı için ölçü yöntemi Dur-Git GPS ölçü yöntemi olarak adlandırılmıştır. Dur-Git GPS ölçü yönteminde referans noktadaki alıcı ve gezici alıcı ilk önce tam sayı faz belirsizliğini belirleyebilmek için 5 - 10 dakika statik ölçü toplar. Yalnız bu ölçü yönteminde belirlenen N sayısının korunabilmesi için gezici alıcı bir noktadan diğetine hareket ederken uydulardan ölçü toplamaya devam etmelidir. Bu ölçü yönteminde gezici alıcının hareket halindeyken koordinatları belirlenmez. Fakat gezici alıcı hareket halindeyken eğer bazı uydulardan toplanan sinyal herhangi bir sebepten dolayı kesikliğe uğrarsa bu uydulara ait kaybolan N sayıları tekrar hesaplanmalıdır. Eğer bir noktadan diğetine giderken 4 uydunun altına düşölmezse, N sayısı kaybedilen diğey uydulara ait N sayısı, kullanıcının herhangi bir müdahalesi olmaksızın GPS yazılımları tarafından otomatik olarak tekrar belirlenebilir. Bu, alıcının kendi konumunu halen kalan 4 uyduyla hesaplayabildiğı için mümkündür. Eğer noktalar arası hareket edilirken uydu sayısı dördün altına düşerse N sayısının tekrar belirlenebilmesi için ya ilk noktaya yada en son kalan noktadan bir sonraki noktaya giderek 5-10 dakika ölçü toplanması gerekecektir.

Eğer başlangıçtaki iki noktanın koordinatları biliniyorsa ölçü başlangıcında 5-10 dakika ölçü toplanmasına gerek yoktur. Bunun yerine birkaç dakikalık ölçü yeterli olacaktır. N sayısının kısa sürede belirlenebildiği bu yöntemle bilinen kenar yöntemi denilmektedir.

1.7.1.1.5. Kinematik GPS Ölçme Yöntemi

GPS ile kinematik konum belirleme statik yöntemlere oranla çok daha hızlıdır. Kinematik GPS ölçme yönteminde ölçme işlemine başlayabilmek için Dur-Git yönteminde olduğu gibi öncelikle tamsayı faz belirsizliğinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak bundan sonra kinematik ölçme işlemi başlar. Kinematik ölçü yöntemi tıpkı Dur-Git ölçü yöntemine benzemektedir. Aralarındaki tek fark kinematik ölçü yönteminde ölçü başladığı andan itibaren gezici alıcının koordinatları hesaplanır. Bu yöntemde noktadan noktaya hareket edilmez. Amaç gezici alıcının gittiği yolun çıkartılmasıdır. Dur-Git ölçü yönteminde ise amaç sadece arazide belli olan noktaların konumlarının hesaplanmasıdır. Noktalar arası hareket edilirken alıcının koordinatları hesaplanmaz. Kinematik ölçü yönteminde de gezici alıcı hareket halindeyken uydularla olan bağlantı kopartılmamalıdır. 4 uydunun altına düşüldüğünde kaybolan N sayısının belirlenmesi için Dur-Git ölçü yöntemindeki işlemler yapılmalıdır.

1.7.1.2. Gerçek Zamanlı GPS Ölçme Yöntemleri

Gerçek zamanlı GPS ölçme yöntemlerini ve çalışma prensiplerini daha iyi anlayabilmek için bu ölçü yöntemlerinin temelini oluşturan diferansiyel konum belirleme tekniğinin üzerinde biraz durmak gerekir.

1.7.1.2.1. Diferansiyel Konum Belirleme

Bu tezin konusu Gerçek zamanlı kinematik GPS ile ilgili olduğu için ve bu yöntem diferansiyel teknikle konum belirlediği için burada kısaca diferansiyel konum belirlemenin teorisi üzerinde durulacaktır.

GPS ile Diferansiyel konum belirlemede en az iki adet alıcıya ihtiyaç vardır. Bu alıcılardan bir tanesi koordinatları hassas bir şekilde bilinen bir noktaya (referans istasyona) kurulur ve bu alıcıya referans (base) alıcı adı verilir. İkinci alıcı ise gezici (rover) durumundadır. Referans istasyonda ölçü toplayan alıcı kendi ölçtüğü uydu-alıcı arası mesafelerle, bilinen koordinatlardan hesaplanan mesafeleri karşılaştırmak suretiyle topladığı ölçülere getirilmesi gereken düzeltmeleri hesaplar. Bulunan düzeltme değerleri bir radyo vericisi aracılığıyla gezici alıcıya yayımlanır ve gezici alıcı gönderilen bu düzeltmeleri kendi ölçtüğü uzunluklara uygulamak suretiyle düzeltilmiş uydu-alıcı arası mesafeleri, dolayısıyla buradan da hassas nokta koordinatlarını belirler.

Referans istasyondaki alıcının, koordinatları bilinen bir nokta üzerine kurulmasının sebebi ölçü anında uydu alıcı arasındaki mesafenin hesaplanabilmesini sağlamaktır. Uydu konum bilgileri gönderilen GPS sinyalinin içerisinde kodludur. Alıcı bu bilgileri çözümleyerek uydunun, sinyal uydudan ayrıldığı andaki koordinatlarını hesaplar. Alıcının üzerinde kurulu olduğu noktanın koordinatları da bilindiğine göre uydu alıcı arası mesafe hesaplanabilir. Alıcı hesaplanan mesafe ile kendi ölçtüğü psoydo uzunluğu karşılaştırarak uydu-alıcı arasındaki mesafeyi ne kadar hatalı ölçtüğünü bulur. Bu sayede GPS' in doğasında var olan bazı sistematik hatalardan büyük ölçüde kurtulunmuş olur. Diferansiyel teknikle SA (Selective Availability), uydu ve alıcı saat hataları, sinyalin atmosferden geçerken iyonosfer ve troposfer tabakalarında hızlarının değişmesinden kaynaklanan hatalar büyük oranda ortadan kaldırılabilir [14].

GPS ile diferansiyel teknikle konum belirleme denince ilk akla gelen yöntem diferansiyel GPS (DGPS)' tir. Yöntem diferansiyel tekniği ilk kullanan teknik olması nedeniyle "diferansiyel" kelimesi ile birlikte anılmaktadır. Son yıllarda geliştirilen ve diferansiyel konum belirleme tekniğini kullanan bir diğer yöntem de Gerçek zamanlı kinematik (Real-Time Kinematic) GPS' tir. Gerçek zamanlı kinematik GPS (GZK GPS) DGPS' e göre çok daha hassas sonuç verir. Bu iki yöntemi birbirinden ayıran en önemli özellik DGPS' in kod ölçülerini kullanması, GZK GPS' in ise faz ölçülerini kullanmasıdır. Taşıyıcı dalga faz ölçüleri, Kod ölçülerine oranla çok daha hassas ölçülebildiği için GZK GPS ile nokta konumları da çok daha hassas bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu iki tekniğin çalışma prensibi ve konum belirleme duyarlılıkları ileriki bölümlerde geniş bir şekilde açıklanacaktır.

1.7.1.2.2. Gerçek Zamanlı Konum Belirleme

GPS ölçüleri ile hassas konum belirlenmesi L1 ve/veya L2 taşıyıcı dalgalarının kullanımını ve işlenmesini gerektirir. Taşıyıcı dalgaların fazı hemen hemen piyasada bulunan ve faz ölçümü yapabilen tüm GPS alıcılarıyla birkaç mm. inceliğinde ölçülebilmektedir.

Gerçek zamanlı kinematik GPS ölçü yöntemlerinde en büyük problem tam sayı faz belirsizliğinin belirlenmesidir. Eğer tam sayı faz belirsizliği (N) tam olarak belirlendiyse referans alıcı ile gezici alıcı arasındaki kenar veya bu iki nokta arasındaki koordinat farkı birçok haritacılık uygulaması için yeterli sayılabilecek bir hassasiyette belirlenebilir. Araştırmacılar (N) sayısının belirlenebilmesi için bir çok algoritma ve yöntem geliştirmişlerdir [15]. Bilinen kenar yöntemi veya OTF (On The Fly) gibi yöntemlerle (N) sayısı çok kısa bir sürede belirlenebilmektedir. OTF yönteminin avantajı (N) sayısını gezici alıcı hareket halindeyken dahi belirleyebilmesidir [16]. Hatta son yıllarda geliştirilen bazı yöntemler ile (N) sayısı birkaç epokluk ölçü ile dahi belirlenebilmektedir [11].

Gerçek zamanlı GPS ölçme teknikleri dışındaki diğer statik ve kinematik GPS ölçü yöntemlerinde yapılan ölçülerin sonuçları ancak, ölçü toplama işlemi bittikten sonra, toplanan verilerin çeşitli yazılımlar tarafından değerlendirilmesiyle elde edilebilmektedir. Bu ölçme tekniklerinin hepsinde de ya alıcı ya da harici bir alet ölçü sonrası değerlendirme için verileri kaydetmektedir. Gezici alıcı ile üzerine gelinen bir noktanın koordinatları veya oraya gelene kadar alıcının izlediği yol, gezici alıcının topladığı veriler referans alıcının kiler ile birleştirilmeden istenilen hassasiyette belirlenemez. Bu nedenle GPS ile arazideyken nokta konumları belirlenememekte, gerçek zamanlı olarak detay alımı ve aplikasyon gerçekleştirilememektedir. Bununla birlikte birçok haritacılık ve mühendislik uygulamaları nokta koordinatlarının beklemektense anında elde edilmesini ister. Bu da ancak gerçek zamanlı konum belirleme yöntemleri ile mümkündür.

Sistemden en iyi sonucu almak için GPS alıcısının anteni multipath etkisi olmayacak şekilde mümkün olduğu kadar açık bir yere kurulmalıdır ve radyo vericisinin anteni geniş alanları kapsayabilmesi için olabildiğince yüksek bir yerde kurulu olmalıdır.

1.7.1.2.2.1. DGPS

Yukarıda da belirtildiği üzere DGPS kod ölçülerini kullanmaktadır. Referans istasyonda ölçü toplayan alıcı psoydo uzunluklara getirilmesi gereken düzeltmeleri hesaplayarak gezici alıcıya göndermektedir. Gezi alıcı bu düzeltmeleri kendi ölçtüğü kod ölçülerine uygulamak suretiyle düzeltilmiş kod ölçüleri dolayısıyla düzeltilmiş psoydo uzunlukları elde eder. Düzeltilmiş psoydo uzunluklar ile de çok daha hassas konum belirler. DGPS kod ölçülerini kullandığı için nokta konumlarını ancak 1 m. hassasiyete kadar bulabilir [4].

Bilim adamlarını diferansiyel GPS tekniğini geliştirmeye iten en önemli sebep diğer statik ve kinematik GPS ölçme yöntemlerinin arazideyken koordinat verememesidir. Arazide anında koordinat elde edilememesi GPS ile aplikasyon yapılmasını engeller. DGPS ile arazide (ölçü anında) üzerinde durulan noktanın koordinatları üç boyutlu olarak belirlenebilmektedir. Bu da GPS in kullanım alanlarının genişlemesine, birçok meslek grubu tarafından çok çeşitli alanlarda kullanılmasına sebep olmuştur. Fakat DGPS in sunduğu hassasiyet düşünüldüğünde bu yöntem çoğu jeodezik uygulamalar açısından yeterli duyarlılıkta değildir. Bu nedenle bu ölçü yöntemi daha çok denizcilik ve havacılık alanlarında kabul görmüştür.

1.7.1.2.2.2. GZK (Gerçek Zamanlı Kinematik) GPS

GZK GPS metodu ölçüm prensibi olarak tıpkı DGPS' e benzer. Fakat bu metot kod ölçüsünden farklı olarak taşıyıcı dalga faz gözlemlerini kullanır. Taşıyıcı dalga faz ölçülerinin kod ölçülerine göre daha hassas olması sebebiyle GZK metodu DGPS' e nazaran çok daha hassas sonuç verir. GZK GPS ile arazideki bir noktanın koordinatlarını $\pm 2-3$ cm. ile belirlemek mümkündür. Yine GZK GPS metodu ile koordinatları ister lokal bir sistemde isterse ülke sisteminde verilmiş olsun bir noktanın araziye aplikasyonu yine $\pm 2-3$ cm. 'lik bir hassasiyetle yapılabilir [17].

Bu yeni yöntem haritacılık alanında yeni bir dönem olarak kabul edilebilir çünkü çok uzun zaman ve ön çalışma gerektiren aplikasyon işleri ve detay alımı çok kısa bir sürede ve en az yersel sistemlerden elde edilebilecek duyarlılıkla yapılabilmektedir. GZK GPS kullanıcısı jalonu üzerine tuttuğu noktanın düzeltilmiş ve dengelenmiş koordinatlarını ölçüm anında grafik bir ekrandan anlık olarak görebilmektedir. Sistemin tek dezavantajı

hassas sonuç alınabilmesi için en az 5 uydudan ölçü toplanması gereğidir. 4 uyduya bağlanıldığında da yöntem sonuç verir fakat bu durumda tam sayı faz belirsizliğinin (integer ambiguity) belirlenme süresi uzayacaktır [5]. Avustralya RMIT Üniversitesi'nde 10 km'lik bir bazda yapılan bir araştırmaya göre uydu sayısındaki artış tamsayı faz belirsizliğinin belirlenme süresini düşürmekte ancak konum belirleme hassasiyetini çok sınırlı bir seviyede etkilemektedir [18]. Ancak ölçü anındaki DOP (Dilution of Precision) durumları konum hassasiyetini büyük oranda etkileyecektir.

En az 5 uyduya bağlanma şartı ağaçlık alanlarda ve yüksek binaların bulunduğu kent merkezlerinde sağlanmayabilir. Bu durum sistemin buralarda kullanılabilme ihtimalini azaltacaktır. Fakat son yıllarda üretimine başlanan bazı tip alıcıların Rusların GPS 'e alternatif olarak uzaya yerleştirdikleri ve GLONASS (GLObal Navigation Satellite System) adını verdikleri sisteme ait uydulardan da sinyal alabilmesi ve bu ölçüleri GPS ölçüleriyle birlikte kullanabilmesi bu problemin büyük oranda aşılmasına sebep olmuştur. Çünkü bu tip alıcılar sayesinde GPS uydularının yetmediği çoğu kapalı alanlarda bile GLONASS uydularıyla birlikte, minimum 5 uydu şartının çok üzerinde uydudan sinyal alınabilmektedir [19].

Ayrıca GPS 'in veya GPS+GLONASS 'ın devre dışı kaldığı durumlarda ölçülere total stationlarla yersel olarak devam edilip elde edilen veriler GPS yazılımları vasıtasıyla GPS ölçüleriyle birleştirilebilir. Bu sayede GPS 'in kullanılmadığı çok sık ağaçlık bölgelerde veya yüksek binalarla kaplı kent merkezlerinde yine GPS 'ten faydalanmak mümkün olabilmektedir.

1.7.1.2.2.2.1. GLONASS Alternatifi

GLONASS sistemi GPS' e çok benzemektedir. Sistemin uzay bölümü 24 adet uydudan oluşmaktadır. Uydular 120° aralıklarla üç farklı yörünge üzerinde bulunmaktadır. 65° inklinasyon açısına sahip her bir yörüngede 8 uydu bulunur. Uydular yaklaşık olarak dairesel bir yörünge üzerindedirler ve yerden yükseklikleri 25,510 km. dir ve uyduların periyotları 11 saat 15 dakikadır. Her uydu L1 ve L2 bandlarında iki farklı frekansta sinyal yayınlar. Tıpkı GPS' de olduğu gibi her iki taşıyıcı da P-Kod ile modüle edilmiştir ve L1 sinyali C/A Kodunu taşır. GPS' in aksine her bir GLONASS uydusu farklı frekansta sinyal yayımlar. Her uydunun yayımladığı sinyal aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir:

$$f_1^p = (2,848 + p)0.5625MHz \quad (5)$$

$$f_2^p = (2,848 + p)0.4375MHz \quad (6)$$

Burada p harfi frekans kanal numarasını göstermektedir. Bazı uydular aynı frekans numarasını kullanmaktadır fakat bu uydular yörünge düzenleri nedeniyle yeryüzü üzerindeki bir kullanıcıya aynı anda görünmezler. Frekans numarası navigasyon mesajının bir parçasıdır ve p sayısı $0 \leq p \leq 24$ aralığında bir değer almaktadır. Bu şekilde bir yöntem radyo astronomi ve düşük yörüngeli haberleşme uydularının da ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla yapılmıştır [20].

GPS' in aksine GLONASS PZ-90 koordinat sistemini kullanır. Ayrıca GPS UTC (USNO) zaman sistemini takip ederken GLONASS UTC (SU) zaman sistemini kullanır.

Her ne kadar uzaydaki toplam GLONASS uydusu sayısının 24 adet olması planlanmışsa da şu anda toplam 15 adet uydu aktif olarak çalışmaktadır. Bu sayede uzaydaki toplam uydu sayısı; 27'si GPS (24 asıl 3 yedek) ve 15'i GLONASS olmak üzere toplam 42'ye çıkmaktadır [21].

Ayrıca yine son yıllarda Avrupa Birliği ülkeleri GALILEO adında GPS' e alternatif bir sistem oluşturma aşamasındadır. Bu amaçla bugün itibariyle 4 uydu uzaydaki yörüngelerine yerleştirilmiş durumdadır. Sistem ileriki yıllarda kademeli olarak uzaydaki uydu sayısını arttıracaktır. Bazı GPS alıcıları GALILEO uydularından da sinyal alıp konum belirleyebilmektedir [22]. Görüldüğü gibi GPS' e alternatif olarak oluşturulan diğer sistemler, global konum belirleme maksatlı uyduların sayısını arttırarak GPS' in çevre şartları nedeniyle tek başına çalışmadığı alanlarda sistemin çalışır hale gelmesini sağlamaktadır.

1.7.1.2.2.3. RTCM SC-104 Formatı

Gerçek Zamanlı GPS tekniklerinde gezici alıcıya gönderilen düzeltme mesajları belli bir formata uygun olmalıdır. Her alıcı firması gerçek zamanlı uygulamalar için kendi özel formatını üretmiştir. Fakat bu durumda farklı formatlardaki veriler farklı alıcılar tarafından kullanılamaz. Bu problemi önlemek amacıyla Teknik Radyo Komisyonu Denizcilik Servisi, Özel Komitesi (Radio Technical Commision for Maritime Services, Special Committee 104) referans alıcı ile gezici alıcı arasında düzeltme verilerinin

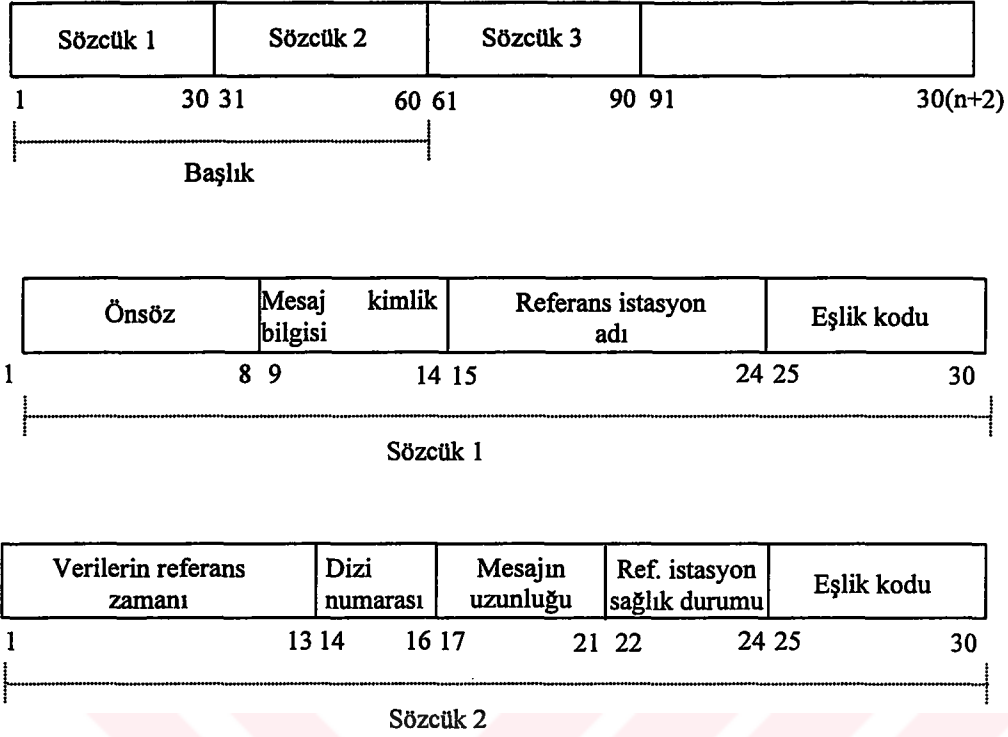
yayınlanması amacıyla standart bir format yayınlamış ve bu format RTCM SC-104 olarak isimlendirilmiştir [8].

1 Ocak 1990 tarihinde yayımlanan 2.0 versiyonu ölçülen kod psodydo uzunluklarda, mesafe ve uzunluktaki değişim oranlarına getirilecek düzeltmeleri içerir. Daha sonra 25 Ocak 1994 tarihinde bir üst sürüm olan 2.1 yayımlanmıştır. Bu sürümde 2.0 sürümünden farklı olarak taşıyıcı dalga faz ölçülerine de düzeltme getiren iki mesaj çiftinin oluşturduğu dört yeni mesaj tipi eklenmiştir. Bunlar 18 ve 19 nolu mesaj tiplerinin oluşturduğu mesaj çifti ile 20 ve 21 nolu mesaj tiplerinin oluşturduğu mesaj çiftidir. 18 nolu mesaj referans istasyonda yapılan ham taşıyıcı dalga faz ölçülerini, 19 nolu mesaj ise psodydo uzunluk ölçülerini içerir. 20 ve 21 nolu mesaj tipleri referans istasyonun bilinen koordinatlarını veren ölçüleri elde etmede kullanılan, yayımlanan navigasyon mesajından elde edilen uydu koordinatlarına ve uydu saat bilgisine getirilmesi gereken düzeltmeleri içerir. Düzeltmelerde referans alıcı saat hatası dikkate alınır fakat troposferik veya iyonosferik gecikme göz ardı edilir. Diğer bir deyişle 21 nolu mesaj tipiyle sağlanan psodydo uzunluk düzeltmeleri, DGPS için kullanılan 1 veya 9 nolu mesaj tipine çok benzemektedir fakat DGPS ten farklı olarak bu mesaj tipi daha hassas ve kaliteli ölçü elde etmeye yarayacak bilgileri içerir ve çift frekanslı alıcıları da destekleyebilir [14].

Son olarak Ocak 1998 yılında RTCM SC-104 Sürüm 2.2 yayımlanmıştır. Bu sürümle birlikte GZK uygulamalarını daha da destekleyen 22 nolu mesaj tipi eklenmiştir. Bu mesaj tipi psodydo uzunluk diferansiyel GPS için kullanılan 3 nolu mesajda ve GLONASS uygulamaları için kullanılan 32 nolu mesajda bulunan referans istasyon anten bilgilerine ek bazı düzeltmeler getirir. Günümüzdeki en son sürüm de budur.

RTCM SC-104 formatı hemen hemen GPS navigasyon mesaj formatının aynısıdır ve 30 bit sözcük uzunlukları korunmuştur. Bununla birlikte GPS navigasyon mesajı sabit uzunluklu bir mesaj iken diferansiyel mesaj uzunlukları değişkendir. Her bir mesaj iki kelimeden oluşan bir başlık ile başlar. İlk kelime önsöz (bütün mesaj tiplerinde aynı), mesaj tipi kimlik bilgisi ve referans istasyonu tanıtan bilgileri içerir. İkinci kelime mesaj içindeki verilere ait referans zamanını, dizi numarasını, mesajın uzunluğunu, ve referans istasyonun sağlık durumunu gösterir [7],[8]. Şekil 6 da RTCM SC-104 format yapısı gösterilmektedir.

RTCM SC-104 formatında toplam 64 mesaj tipi mevcuttur fakat bunların bazılarının içeriği henüz belirlenmemiştir. Boş bırakılan bir sürü yer ise ilerideki ihtiyaçlar düşünülerek ayrılmıştır (Tablo-1).



Şekil 6. RTCM SC-104 format yapısı

Deneyimler RTCM SC-104 veri formatı ve mesaj yapısının genellikle güvenilir olduğunu göstermiştir. Bu güvenlik mesajın sonuna eşlik kodu (parity kod) eklenmesiyle sağlanır. Her bir kelimedeki son 6 bit eşlik kodudur. Fakat bu işlem, mesajın boyutunu %25 oranında arttırmaktadır. Bu eşlik kodu sayesinde Diferansiyel GPS düzeltmelerinin güvenli bir şekilde gezici alıcılara ulaşıp ulaşmadığı kontrol edilebilmektedir [23].

Eş veri : Her mesaj tipi bütün diğer mesajlarla ilgili önsöz, mesaj tipi kimlik bilgisi, referans istasyon ID'si, modife edilmiş Z sayısı, dizi numarası, mesajın uzunluğu, istasyonun sağlık durumu ve eşlik kodu gibi bilgileri içeren iki kelimelik başlık bilgisinden oluşur. İlk 8 bitten oluşan, modife edilmiş Z sayısı ve sıra numarası eşzamanlılık ile ilgili bilgileri (tıpkı navigasyon mesajında olduğu gibi) içerir. Mesaj tipi ID'si 6 bit uzunluğundadır, bu şekilde 64 değişik mesaj tipi etiketlenebilir. Mesajın uzunluğu kelime sayısı + 2 şeklindedir. Modife edilmiş Z sayısı referans zaman t_0 gibi hizmet verir.

Psoydo uzunluk düzeltmeleri: 1,2, ve 9 nolu mesajlar psodydo uzunluk düzeltmelerine aittir. Bu sayede referans istasyon ve kullanıcı, uydu almanak bilgilerinin güncellenmesinden sonra, anlık olarak farklı uydu mesajlarını çözebilir. Aynı efemerisin kullanılmasında tutarlılık sağlamak için 2 nolu mesaj eski ve yeni efemeris bilgilerinden hesaplanan psodydo uzunluk düzeltmeleri ile ilgili özel bir düzeltme içerir. 9 nolu mesaj, referans istasyon çok yüksek duyarlıklı saatle donatıldığı zaman kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Ayrıca 9 nolu mesaj SA (Selective Availability) yüzünden psodydo uzunluk düzeltme oranının çok yüksek olduğu uydular için ek güncelleme bilgileri içerir.

Radiobeacons (Radyo sinyali yayınlayan yer istasyonları): 7 nolu mesaj “radiobeacon” servislerinden diferansiyel düzeltmelerin yayınlanması için kullanılır. “Radiobeaconlar” düşük ve orta dalgada çalışır ve düşük hassasiyetli konum belirleme çalışmaları için radyo sinyalleri yayınlar. “Radiobeaconlar” düşük maliyetli oldukları için tüm dünyada genellikle uçakların ve diğer kara ve deniz araçlarının navigasyonunda kullanılır [24].

Taklit uydular (Pseudolites): Taklit uyduların (psodydo-uydu) diferansiyel düzeltmelerin yayınlanmasındaki uygunluğu ve aynı zamanda uyduların geometrilerinin çözümünde ek uydular olarak kullanılıp kullanılamayacağı uzun yıllar tartışılmıştır. Taklit uydular yeryüzü üzerinde sabit bir noktaya kurulabilir ve GPS uydularının yaptıkları gibi L1 ve L2 frekanslarını yayınlatabilir ve aynı kod modülasyon tekniğini kullanabilir. Taklit uyduların yayınladıkları sinyaller diferansiyel GPS düzeltmelerini içerebilir. Bu yüzden Diferansiyel düzeltmelerin taşınması için ek bir sinyale gerek kalmaz. Fakat sinyal yayını görüş mesafesi ile sınırlı olacaktır. 8 ve 12 nolu mesajlar taklit uydulara aittir.

OTF Düzeltmeleri: RTCM SC - 104 versiyon 2.1’in getirdiği en büyük yenilik 18 ve 21 nolu mesajlardır. Bu mesajlar psodydo uzunluk ve taşıyıcı dalga radyo sinyalleri içindir ve OTF gibi modern konum belirleme tekniklerinin ihtiyaçlarının karşılanması amacıyla konulmuştur. 18 ve 19 nolu mesajlar taşıyıcı dalga ve kod gözlemlerine aittir ve iyonosferik taşıyıcı dalga gözlemlerini ve iyonosferden bağımsız kod ölçülerini içerir. 20 ve 21 nolu mesajlar ise taşıyıcı dalga faz ölçüleri ve kod ölçülerine ait düzeltmeleri içerir. Haritacılık uygulamalarıyla ilgili gözlem verilerini bulunduran 4 nolu mesaj versiyon 2.1’deki 18-21 nolu mesajlarda mevcuttur. 10 ve 11 nolu mesajlar ileride C/A Kod’ un L2

Tablo 1. RTCM SC-104 formatı mesaj tipleri ve anlamları

Mesaj tipi	Mesajın Anlamı
1	Psoydo uzunluk düzeltmeleri
2	Delta psoido uzunluk düzeltmeleri
3	Referans istasyon koordinatları
4	Gözlemler
5	Uyduların sağlık bilgileri
6	Boş
7	Yer istasyonu (Beacon) almanağı
8	Taklit uydu(yer yüzeyinde) almanağı
9	Kısmi uydu seti diferansiyel düzeltmesi
10	P-Kod diferansiyel düzeltmeler(tümü)
11	C/A Kod L1 ve L2 delta düzeltmeleri
12	Taklit uydu istasyon parametreleri
13	Yer sinyal yayınlıyıcı parametreleri
14	Ölçüme yardımcı mesajlar
15	İyonosfer (troposfer) parametreleri
16	Özel mesaj
17	Uydu yörünge almanağı
18	Düzeltilmemiş (ham) taşıyıcı dalga faz ölçüleri
19	Düzeltilmemiş (ham) psoido uzunluklar
20	Taşıyıcı dalga faz ölçü düzeltmeleri
21	Psoydo uzunluk düzeltmeleri
22-58	Belirlenmemiş (tanımsız)
59	Özel mesaj
60-63	Çok amaçlı kullanım için ayrılmış

üzerinde olması ihtimaline karşı L2 C/A Kod düzeltmeleri ve P-Kod diferansiyel düzeltmeleri için ayrılmıştır. 19 ve 21 nolu mesaj da bu amaç için kullanılabilir. Troposferik ve iyonosferik düzeltmeler için ayrılan 15 nolu mesajın içeriği henüz belirlenmemiştir.

Her ne kadar RTCM SC-104 formatı 18 ~ 21 mesaj tipleri GZK GPS uygulamaları için eklenmiş olsa da bu formatın boyutunun büyük olması GZK GPS uygulamalarında etkinliğin düşmesine sebep olmaktadır. Örneğin GZK GPS te, saniyede bir veri iletimi için 4800 – 9600 baud oranı gerekmektedir. Eğer yayımlanan mesaja DGPS verileri de eklenirse bu oran daha da arttırılmalıdır. Eğer radyo sinyali tekrarlayıcıları kullanılıyorsa baud oranı iki kat arttırılmalıdır. Bu, veri aktarım hızını etkileyecek, dolayısıyla verilerde gecikme oluşacak, bunun sonucu olarak ta hassasiyet düşecektir. Bu olumsuz durum nedeniyle GZK GPS üreticileri kendi özel formatlarını geliştirmiştir. Mesela Trimble CMR (Compact Measurement Record) formatını geliştirmiştir. Bu format sayesinde her bir saniyede bir veri aktarımı için 2400 baud oranı yeterli olmaktadır. Aynı şekilde Ashtech firması DBEN adındaki kendi özel formatını kullanmaktadır.

1.7.1.2.2.4. GZK GPS Yazılım ve Donanım Gereksinimleri

GZK GPS metodunda, hem referans ve hem de gezici istasyonda çift frekanslı GPS alıcıları kullanılır. Ayrıca bu metotta, statik ve kinematik GPS ölçü yöntemlerinde kullanılan donanımdan farklı olarak (DGPS 'te olduğu gibi) bazı ek donanımlar gerekir. Sabit istasyonda, hesaplanan taşıyıcı dalga faz ölçü düzeltmelerini yayımlayan bir radyo vericisi ve gezici birimde de gönderilen bu düzeltmeleri alan bir radyo alıcısı kullanılır[4]. Bazı GZK GPS sistemleri, radyo modemi GPS alıcısının içerisine yerleştirmiştir. Bunun yanında harici radyo modem kullanan GZK GPS sistemleri de mevcuttur. Ayrıca bazı GZK GPS sistemleri, GPS uyduları ile birlikte GLONASS uydularından da sinyal alabilen kombine alıcılar kullanabilmektedir. Bu sayede hem daha hızlı (N) sayısı çözümü sağlanabilmekte hem de daha iyi konum hassasiyeti elde edilebilmektedir.

DGPS, GZK GPS kadar hassas olmadığı için GZK GPS' te kullanılan radyo DGPS de kullanılanlardan farklılık gösterir. Eğer referans istasyonda hesaplanan düzeltmeler RTCM SC-104 formatı 18 ve 19 nolu mesajları kullanarak geziciye yayımlanacaksa verilerin her 0.5 ~ 2 saniyede güncellenmesi gerekir. DGPS in hassasiyet derecesi nedeniyle buna gerek yoktur. Bu nedenle bu oran DGPS' de 10 saniye veya daha fazla bir aralıkta olabilir. Bu

yüzden Kod ölçüleri kullanan DGPS için RTCM SC-104 mesajları saniyede 200 bitlik veri olarak yayımlanır. GZK' da ise veri güncelleme oranının sıklığı nedeniyle gönderilen verinin hacmi artar. Bu nedenle GZK GPS veri linki en az 2400 bps (Byte Per Second) ister. Tavsiye edilen veri gönderim oranı ise 9600 hatta 19200 bps dir. Bu oranda bir veriyi destekleyebilecek bant genişliği radyo spektrumunun VHF veya UHF kısmında bulunabilir. Yalnız VHF ve UHF bantları yasalar gereği kullanım lisansı gerektirmektedir. Bu nedenle kısa bant FM ve bazı tür frekans değiştirme anahtarlı sistemler GZK GPS verilerini yayımlamak için kullanılabilir. Bu amaçla 2 watt lık ve 35 watt lık yayımlayıcılar piyasada mevcuttur [4].

Kullanılan radyo vericisinin gücü gönderilen verinin gezici tarafından tam ve eksiksiz bir şekilde alınabilmesi için yeterli olmalıdır. Çünkü belli bir mesafeden sonra gezici alıcı referanstan yayımlanan verileri alamaz [25]. GZK GPS veri aktarım sistemi VHF/UHF frekanslarını veya FM bandını kullandığı için menzilleri sınırlıdır. Referans alıcının gezici alıcıyı direkt görmesi durumunda sinyalin ulaşabileceği maksimum uzaklığı gösteren d , kilometre cinsinden aşağıdaki formülle hesaplanabilir [4]:

$$d = 3.57\sqrt{k}(\sqrt{h_t} + \sqrt{h_r}) \quad (7)$$

Burada h_t ve h_r referans istasyondaki ve gezici alıcıdaki radyo antenlerinin yerden olan yüksekliklerini göstermektedir. k terimi ise refraksiyonla ilgili bir parametredir ve atmosferik şartlara göre 1.2 ~ 1.6 arasında değişir. k' nın en genel değeri ise 1.33 dür.

Referans istasyonda radyo anteninin yerden yaklaşık 30 metre yukarıya kurulması ve gezici alıcıda ise radyo anteninin yerden 2 metre yukarıda olması durumunda sinyalin maksimum yayınlanabilme mesafesi 28 kilometre olmaktadır. Burada k değeri 1.33 alınmıştır. Uygulamada bu mesafeden düzeltme verisi almak mümkün olmamaktadır. Çünkü sinyalin yolu üzerindeki herhangi bir engel yayımlanma mesafesini etkileyecektir. Sinyal, binalar veya diğer bazı yapılar tarafından engellenebilir veya buralardan yansıyabilir, dağlardan veya yapıların kenarlardan kırılmaya uğrayabilir.

Ayrıca hiçbir engel olmaması durumunda dahi sinyal, tabiatı gereği yayımlandığı kaynaktan uzaklaştıkça zayıflamaya başlar. Bunda yerin refraksiyon özelliklerinin, arazi yapısının ve bina ve diğer fiziksel yapıların etkisi vardır. Sinyalin yayımlandığı çevre detaylı bir şekilde tanımlanmadıkça sinyalde meydana gelecek kaybın miktarının tahmin edilmesi çok zordur. Araştırmacılar sinyalde oluşan zayıflama miktarını tahmin edebilmek

için bir çok ampirik modeller geliştirmişlerdir. Bu modellerin en basiti ve en çok kullanılanı A.B.D. ordusunda sinyal mühendisliği laboratuvarında çalışan John Egli tarafından 1957 yılında geliştirilmiştir. Buna göre sinyalde oluşan zayıflamanın dB cinsinden miktarı:

$$L = 88 + 20\log f - 20\log h_t - 20\log h_r + 40\log d \quad (8)$$

Formülü ile belirlenebilmektedir [4]. Burada f , MHz cinsinden frekansı, h_t ve h_r metre cinsinden anten yüksekliklerini ve d kilometre cinsinden mesafeyi belirtmektedir. Bu bağıntıya göre referans istasyonda 30 m. ve gezici alıcıda 2 m. lik anten yükseklikler ile 450 MHz frekanslı bir sinyal 10 km. lik bir mesafede 146 dB lik bir zayıflamaya maruz kalmaktadır. Bunun anlamı yayımlanan sinyal gezici alıcıya ulaştığı anda 146 dB zayıflamıştır. Başka bir deyişle isotropic anten kullanan bir yayımlayıcı eğer 2 watt' lık çıkış gücüne sahipse, 10 kilometre uzaklıkta isotropic anten kullanan bir geziciye sinyal ulaştığında gücü -143 dBW veya $5 * 10^{-15}$ watt olur.

Ayrıca referans istasyondaki ve gezicideki anten kabloları da bir miktar güç kaybına sebep olmaktadır. Sinyallerde meydana gelen bu güç kaybolmaları dijital mesajlarda veri kaybına sebep olur bu nedenle radyoların güçleri, sinyalde meydana gelecek güç kayıpları da dikkate alındıktan sonra hatasız veri iletebilecek güçte olmalıdır. Referans istasyondaki radyo alıcısı geniş alanlara sinyal ulaştırılabilmesi için mümkün olduğu kadar yüksekte kurulmalıdır. Tüm bu sebeplerden dolayı bir GZK GPS veri aktarım sistemi kurulurken aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir.

1.7.1.2.2.4.1.Radyo Modemin Özellikleri ile İlgili Dikkat Edilecek Hususlar

GZK GPS sistemi kurarken uygun bir Radyo modem bağlantısı kurabilmek için aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır [11].

- **Kapsama Alanı:** Bu genellikle kullanılan radyo vericisinin frekansı ile ilgilidir. Radyo vericisi geniş alanlara bilgileri ulaştıracak güçte olmalıdır, diğer radyo sinyallerinin karışmasına ve sinyal zayıflama durumuna karşı dayanıklı olmalıdır.

- **Sunulan hizmet çeşidi:** Radyo modemle sunulan hizmetin cinsi de önemlidir.

Örneğin gerçek zamanlı bir GZK servisi (Bazı referans istasyonlar 24 saat GZK GPS kullanıcılarına taşıyıcı dalga düzeltmelerini yayınlamaktadırlar. Bu sayede iki alıcı yerine sadece tek bir gezici alıcı yeterli olmaktadır.) sadece kendi abonelerine mi , yoksa bazı seçkin kullanıcılara mı, yoksa herkese açık olarak mı hizmet veriyor?

- **Fonksiyonellik:** Bu özellik kurulan radyo modem bağlantısının yalnızca tek yönlü olma özelliğine (one-way) mi, yoksa gidiş-dönüş (two-way) özelliğine mi sahip olduğu, sinyal yayınlatabilme kabiliyetinin sürekli mi olduğu yoksa ara sıra kesiklikler meydana gelebileceği mi, başka verileri de gönderebilme yeteneğine sahip olup olmadığı gibi özellikleri içerir.

- **Güvenirlilik:** Radyo modem bağlantısı yeterli derecede hizmet veriyor mu? Örneğin radyo alıcısının bazen sinyal alıp bazen alamadığı bölgeler için özellikleri nasıl? Radyo modem bağlantısındaki düşüş mesafe arttıkça derece derece mi oluyor? Kısa süreli sinyal kesilmelerinde ne oluyor? Tüm bu hususlar güvenli veri aktarımı için göz önünde bulundurulmalıdır.

- **Doğruluk, sağlamlık:** Bu GZK GPS uygulamaları açısından son derece önemli bir husustur. Bu nedenle yayımlanan mesajdaki herhangi bir hata yüksek bir olasılıkla tespit edilmeli ve kullanıcı bu hususta uyarılmalıdır.

- **Maliyet:** Elbette ki bu şekilde bir sistem kurarken ihtiyaçlar doğrultusunda maliyet analizi de yapılmalıdır.

- **Veri gönderim oranı:** Veri gönderim aralığı (kaç saniyede bir veri gönderileceği) ne kadar küçük olursa buna bağlı olarak ta düzeltme mesajlarının güncellenmesi o kadar yüksek olur. Bu da daha iyi konum hassasiyeti demektir. Genellikle her birkaç saniyede bir veri gönderimi, kabul edilir sınırlar içerisinde.

- **Gecikme:** GZK GPS' de gecikme terimi referans istasyonda hesaplanan düzeltme mesajlarının gezici alıcıya ulaşınca kadar geçen süre için kullanılır. Bu süre elbette ki mümkün olduğu kadar kısa olmalıdır. Genellikle gecikme süresinin 5 saniyeden küçük olması istenir.

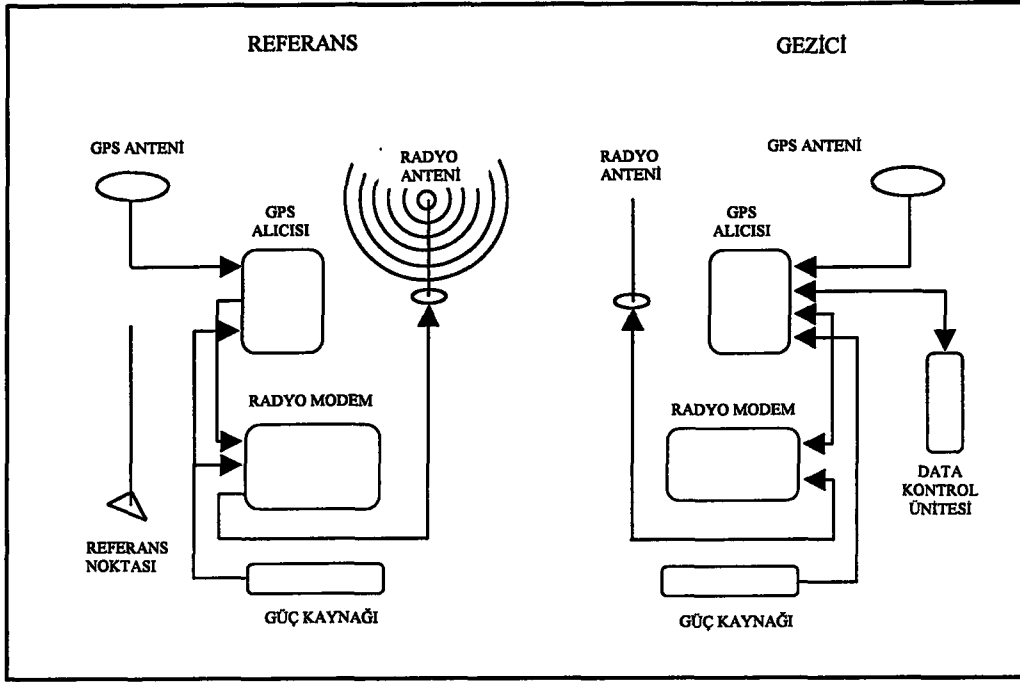
Her ne kadar düzeltme değerleri 1 saniye gibi kısa bir sürede güncellense de yine de veriler referans alıcıdan gezici alıcıya ulaşınca kadar bir miktar gecikme olur. Bu gecikme nedeniyle de gezici alıcının koordinatları, tam ölçü anındaki düzeltme değerlerine göre değil sinyalin referans alıcıdan gezici alıcıya ulaşma süresi kadar eski düzeltmelerle hesaplanır. Bu da GZK GPS' in kullanım menzilini sınırlamaktadır. Bu nedenledir ki kaynaklarda GZK GPS' in 50 km' den kısa mesafelerde (Referans alıcı ile gezici alıcı arası mesafe) anlamlı sonuç vereceği yazılmaktadır.

GKZ GPS' de oluşan bu veri gecikmesi problemi aşağıda açıklanan şu iki yolla çözümlenebilmektedir.

- a) Referans alıcıya ve gezici alıcıya ait verilerin eş zamanlı hale getirilmesi [26].
(Bu yöntem maksimum duyarlık sağlar fakat bir miktar gecikme olur.)
- b) Referans alıcıya ait en son verilerin kullanılması ve bu verilerin gezici alıcı verilerine ait zamana ekstrapole edilmesi. (Bu ek bazı hatalara sebep olacaktır.)

Birinci çözüm bütün hatalar maksimum güvenilirlik ve performans için minimize edildiğinden N sayısının belirlenmesi işleminde çok daha iyidir. Fakat 1-2 saniyelik gecikmeden dolayı kinematik uygulama bir miktar zarar görecektir. Çünkü bu gecikme bazı kinematik uygulamalar için önemli olabilir. İkinci çözümde ise gözlemler ekstrapole edileceği için ek bazı hatalar oluşacaktır. Tecrübeler göstermiştir ki, lineer ekstrapolasyon modeli 1 saniyelik gecikme için yaklaşık 2 cm' lik, 2 saniyelik bir gecikme için ise yaklaşık 8' cm lik ek ikili fark hatası getirmektedir. Kuadratik eksrapolasyon modeli ise 2 saniyelik bir veri gecikmesi için yaklaşık 4 cm' lik ikili fark hatasına sebep olmaktadır. Bu nedenle GZK GPS metodu kullanılırken 1 saniyenin altında veri güncelleyip yayınlatabilen alıcılar kullanılmalıdır [11].

Ayrıca bu metotta referans alıcıdan gelen düzeltme mesajlarını alıp değerlendiren ve istenilen koordinat sisteminde koordinat hesaplanmasına imkan veren bir yazılıma ve bu yazılımların koşturulduğu, sistem ayarlarının yapıldığı bir data kontrol ünitesine (el bilgisayarı) ihtiyaç vardır. Arazide anlık konum bilgilerine bu data kontrol ünitesi vasıtasıyla ulaşılır. GZK Referans ve gezici noktalarda bulunması gereken donanımlar Şekil 7' de gösterilmiştir.



Şekil 7. GZK GPS donanımı

1.7.1.2.2.5. GZK GPS' in Matematiksel Modeli

1.7.1.2.2.5.1. Taşıyıcı Dalga ve Psoydo Uzunluk Düzeltmeleri

Daha önce bahsedildiği üzere GZK GPS'in ölçü prensibi, referans noktadaki alıcının gönderdiği düzeltmelerin hareket halindeki alıcı tarafından bir radyo alıcısı vasıtasıyla alınıp kullanılmasına dayanır. Bu işlem için düzeltme verilerinin referans alıcıda hesaplanması gerekmektedir. Taşıyıcı dalga düzeltme değerinin hesaplanmasındaki ilk adım K_k^P tamsayısının ilk epok gözlemlerinden belirlenmesidir.

$$K_k^P \approx \frac{P_k^P(1) - \phi_k^P(1)}{\lambda} \quad (9)$$

Bu eşitlikte;

P_k^P = İlk epok kod ölçüsü

ϕ_k^p = İlk epok faz ölçüsü

λ = Sinyalin dalga boyudur.

Bu eşitlikte genel semboller kullanılmıştır. Çünkü daha önce de belirtildiği gibi taşıyıcı dalga faz ölçüleri ile tam sayı faz belirsizliği olan N_k^p ilk anda belirlenemez. Bu yüzden N_k^p 'ya bir sayaç tarafından rasgele bir değer atanır. Taşıyıcı dalga ile uydu alıcı arası uzunluk denklemi:

$$\Omega_k^p(1) = \phi_k^p(1) + \lambda K_k^p \quad (10)$$

olarak verilebilir.

Taşıyıcı dalga ile uydu alıcı arası uzunluğun sayısal değeri K_k^p nin belirlenme şekli nedeniyle psoydo uzunluğa çok yakındır.

Burada k sabit istasyonu (referans alıcı), m ise hareket halindeki gezici alıcıyı gösterecektir. Sabit istasyondan gözlemlenen her bir uydu için uydu ile alıcı arası uzunluk olan $\Omega_k^p(1)$ yi ve toposantrik mesafe $\rho_k^p(1)$ yu hesaplayabiliriz. $\rho_k^p(1)$ değeri referans alıcının bilinen koordinatları ile uydunun koordinatlarından (efemeris bilgilerinden elde edilen) türetilebilir. Bu iki değer arasındaki kapanma hatası aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$L_k^p(1) = \rho_k^p(1) - \Omega_k^p(1) \quad (11)$$

$$L_k^p(1) = \Delta N_k^p + cdt_k - cdt^p - I_{k,\Phi}^p - T_k^p - d_{k,\Phi} - d_{k,\Phi}^p - d_{\Phi}^p \quad (12)$$

Burada geçen sembollerin anlamları daha önce faz ölçü denklemi açıklanırken gösterilmişti.

Bu denklemde ΔN_k^p ifadesi görülmektedir çünkü K_k^p değeri yaklaşık bir değerdir. Zaten bu değer tam kesin olarak bilinmesine de gerek yoktur. ΔN_k^p küçük bir değer

olduğu için kapanma hatası $L_k^p(1)$ de küçük olacaktır ve karşı tarafa kolay yayınlanabilmesi için küçük değer elde etme amacı böylece gerçekleştirilmiş olacaktır. İlk epok için referans noktadan gözlemlenen tüm uydulara ait kapanmaların ortalaması:

$$\mu_k(1) = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n L_k^p(1) \quad (13)$$

olmaktadır.

Burada n uydu sayısını göstermektedir. Birinci epoktaki taşıyıcı dalga ölçü düzeltmesi:

$$\Delta\Phi_k^p(1) = \rho_k^p(1) - \Omega_k^p(1) - \mu_k(1) \quad (14)$$

dir.

Bir sonraki epoktaki kapanmalarda oluşacak değişim ise:

$$L_k^p(t, t-1) \equiv L_k^p(t) - L_k^p(t-1) \quad (15)$$

$$L_k^p(t, t-1) = [\rho_k^p(t) - \rho_k^p(t-1)] - [\Omega_k^p(t) - \Omega_k^p(t-1)] \quad (16)$$

olur. (t) epogundaki ortalama da;

$$\mu_k(t) = \mu_k(t-1) + \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n L_k^p(t, t-1) \quad (17)$$

formülü ile hesaplanır.

Burada n harfi t epogunda gözlemlenen uydu sayısını göstermektedir. (t) epogunda p uydusuna ait faz düzeltmesi;

$$\Delta\Phi_k^p(t) = \rho_k^p(t) - \Omega_k^p(t) - \mu_k(t) \quad (18)$$

$$\Delta\Phi_k^p(t) = \rho_k^p(t) - [\Phi_k^p(t) + \lambda K_k^p] - \mu_k(t) \quad (19)$$

olarak yazılabilir. Birinci eşitlikteki $\Omega_k^p(t)$ nin yerine ikinci eşitlikte (10) eşitliği yazılmıştır. Bu denklemlerle bulunan faz düzeltmesi gezici alıcıya bir radyo vericisi yardımıyla yayınlanmaktadır ve gezici alıcı taşıyıcı dalgaları;

$$\overline{\Phi}_m^p(t) = \phi_m^p(t) + \Delta\phi_k^p(t) \quad (20)$$

bağıntısını kullanarak düzeltmektedir.

Gezici alıcı m' nin koordinatlarını veren formülü çıkartmak için öncelikle alıcılar arası tekli farkları oluşturursak;

$$\begin{aligned} \Phi_k^p(t) - \phi_m^p(t) = & [\rho_k^p(t) - \rho_m^p(t)] + \lambda N_{km}^p(1) - c(dt_k - dt_m) \\ & + I_{km,\Phi}^p(t) + T_{km}^p(t) + d_{km,\Phi}(t) + d_{km,\Phi}^p(t) \end{aligned} \quad (21)$$

eşitliğini elde ederiz. (19) eşitliği çözülüp (21) de yerine konur ve yeniden düzenlenirse;

$$\begin{aligned} -\Phi_m^p(t) - \Delta\Phi_k^p(t) = & -\rho_m^p(t) + \lambda[N_{km}^p(1) + K_k^p] - [c(dt_k - dt_m) - \mu_k(t)] \\ & + I_{km,\Phi}^p(t) + T_{km}^p(t) + d_{km,\Phi}(t) + d_{km,\Phi}^p(t) \end{aligned} \quad (22)$$

elde edilir. Bu eşitliğin sol tarafı düzeltilmiş taşıyıcı dalga olan $\overline{\Phi}_m^p(t)$ ye eşittir. İki uyduya ait (22) eşitliğinin farkı ikili fark gözlemine benzeyen bir ifade oluşturur.

$$\overline{\Phi}_m^{qp}(t) \equiv \overline{\Phi}_m^q - \overline{\Phi}_m^p \quad (23)$$

$$\overline{\Phi}_m^{qp}(t) = \rho_m^q(t) - \rho_m^p(t) + \lambda[N_{km}^{pq}(1) + K_k^p - K_k^q] + I_{km,\Phi}^{pq}(t) + T_{km,\Phi}^{pq}(t) \quad (24)$$

Artık m noktasının koordinatları en az dört uydudan hesaplanan $\overline{\Phi}_m^p(t)$ düzeltilmiş gözlemi kullanılarak ve (24) gibi üç eşitlik oluşturularak hesaplanabilir. Bu taşıyıcı dalgalar için DGPS çözümüdür. Bu klasik ikili fark işleminden farklılık gösterir çünkü

$N_{km}^{pq}(1)$ yerine modife edilmiş tam sayı faz belirsizliği belirlenir. Modife edilmiş tam sayı faz belirsizliği:

$$\overline{N}_{km}^{pq}(1) = N_{km}^{pq}(1) + K_k^p - K_k^q \quad (25)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. (24) eşitliğinden hesaplanan m noktasının koordinatları hala referans nokta olan k' nin koordinatlarına bağımlıdır çünkü k' nin koordinatları taşıyıcı dalga düzeltmesi $\Delta\Phi_k^p(t)$ nin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bununla birlikte referans istasyon k nin kesin koordinatları olmadan da gezici alıcı m' nin koordinatları elde edilebilir. Bunun için taşıyıcı dalga düzeltmesinin bilinmesi kafi gelmektedir. Gezici alıcı m, toposantrik uzaklık $\rho_m^p(t)$ ve $\rho_k^p(t)$ nin hesaplanmasında bir tutarlık sağlanması açısından referans istasyon k ile aynı efemeris bilgisini ve hesaplama tekniğini kullanmalıdır.

Bu işlemdeki amaçlardan birisi de kapanma değeri olan $L_k^p(1)$ yı ve bunun bir sonucu olarak da ortalama $\mu_k(t)$ ve taşıyıcı dalga düzeltmeleri $\Delta\Phi_k^p(t)$ yi küçük değerler olarak elde etmektir. Bu da K_k^p değerinin (9) eşitliğinde uygun bir şekilde seçilmesiyle mümkündür. Bu özellik veri transfer yükünün de minimum olmasını sağlayacaktır. Eğer taşıyıcı dalga düzeltmelerinin yayınlanma sıklığı arttırılırsa veri transfer yükü daha da düşürülür. Mesela iki epok arasındaki kapanma değişimi gezici alıcıdaki ölçüm hassasiyetinden daha küçük ise veya kapanmalardaki varyasyonlar gezici alıcıdan beklenen konum duyarlılığını etkilemeyecek kadar küçük ise ölçüm süresince taşıyıcı dalga düzeltmelerinin ortalamasının alınması ve bu değerin geziciye yayımlanması mümkündür. Ayrıca düzeltme oranı $\partial\Delta\Phi/\partial t$ 'nin yayımlanması da istenebilir. Eğer referans epoka t_0 dersek kullanıcı düzeltmeleri ölçüm süresi boyunca zamana bağlı olarak aşağıdaki bağıntıyı kullanarak enterpole edebilir:

$$\Delta\Phi_k^p(t) = \Delta\Phi_k^p(t_0) + \frac{\partial\Delta\Phi_k^p}{\partial t}(t - t_0) \quad (26)$$

Kapanmaların boyutlarını düşürmenin bir yolu da referans alıcı için koordinatları kesin olarak bilinen bir noktanın kullanılması ve en hassas uydu efemeris bilgisinin

kullanılmasıdır. (11) eşitliğinde görüldüğü üzere saat hataları kapanmaları direkt olarak etkilemektedir. Alıcı saat hatası dt_k ’daki sapma ve değişimler referans alıcıya ribidyum saat bağlantısıyla kontrol altına alınabilir. SA’ nın sebep olduğu uydu saat hatası dt^p ’deki değişimler de, ölçüm boyunca ortalama alma prensibini sınırlayan belirleyici bir faktördür. SA’ nın kalkmasıyla bu sınırlayıcı etkide ortadan kalkmıştır.

1.7.1.2.2.6. GZK GPS’ in Kullanım Alanları

Günümüzde GZK GPS tüm dünyada çok geniş kullanım alanları bulmuştur. Sağladığı konum hassasiyeti nedeniyle yine gerçek zamanlı bir sistem olan DGPS’ in kullanıldığı tüm alanlarında rahatlıkla kullanılabileceği gibi, çok daha hassas konum bilgisi gerektiren uygulamalarda da rahatlıkla kullanılabilir. GZK GPS, DGPS’ ten farklı olarak kadastro çalışmaları, imar planı uygulamaları, halihazır harita yapımı, madencilik ölçmeleri, GIS projeleri, büyük inşaat projeleri vb. çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır.

GZK GPS’in klasik yersel sistemlere sağladığı avantajlar nedeniyle tüm dünyada kadastro çalışmalarında yaygın şekilde kullanılmaya başlanmıştır. GZK GPS işçi maliyetini düşürmektedir çünkü bir tek kişi arazi çalışmaları için yeterli olabilmektedir. Ayrıca yöntem, kadastro çalışmalarında çok büyük bir sorun olan yeterli sayıda poligon ve nirengi noktası bulunamaması problemini ortadan kaldırmaktadır. Sistemin 24 saat boyunca ücretsiz olarak çalışması da yersel sistemlere sağladığı üstünlüklerdendir [27].

GZK GPS’ in kullanım alanlarına bir örnek de Yeni Zelanda’dan verilebilir. Yeni Zelanda’da güney yarım kürenin en büyük kulesinin inşaatında GZK GPS çok önemli bir rol üstlenmiştir. Kule çok yüksek ve dar olduğu için kulenin dik bir şekilde inşa edilmesi büyük bir problem oluşturmuş fakat GZK GPS ölçü yöntemi kullanılarak bu sorun aşılmıştır. Ayrıca yine yöntem köprü ayaklarının ve diğer büyük mühendislik yapılarının aplikasyonunda da kullanılmaktadır [28].

Ayrıca GZK GPS sistemleri büyük iş makineleri ile entegre hale getirilerek bu makinelerin uzaktan kumanda ile kullanımına imkan sağlamıştır [29],[30]. Ayrıca A.B.D.’de Miami kentine ait kanalizasyon şebekesinin GIS projesi ile yeniden düzenlenmesi projesinde, kanalizasyon hatlarının gerekli eğimlerde inşa edilebilmesi için gerekli veriler GZK GPS ile toplanmıştır [31].

Görüldüğü üzere bugün artık GZK GPS çok geniş ve değişik uygulamalarda kullanım alanı bulmaktadır. GZK GPS'in kullanım alanlarını maddeler halinde şu şekilde sıralamak mümkündür [32]:

- Hassas tarım işlerinde, ürün haritaları yapımında ve tarım makinelerinin kontrolünde,
- Hava, kara ve denizde navigasyonda ,
- Hidrografik ölçmelerde,
- Açık maden işletmeciliğinde,
- GIS amaçlı veri toplamada,
- Otomatik araç yönetimi ve takibinde,
 - Uçakların iniş kalkışında
 - Polis ve askeri araç takibinde
 - Güvenlik hizmetlerinde
 - Nakliye şirketlerinde
 - Deniz aşırı gemilerde
 - Filo yönetiminde
 - Toplu taşıma araçlarında
 - Madencilik araçlarında
- Jeodezik ölçmelerde
 - Kontrol ölçülerinde
 - Halihazır harita yapımında
 - Kadastro yapımında
 - Deformasyon ölçmelerinde
 - Aplikasyon işlerinde
 - Fotogrametrik çalışmalarda,
- Rekreasyon çalışmalarında

1.7.2. GPS Alıcıları:

GPS ölçmelerinde şüphesiz ki sistemin en önemli donanımı GPS alıcılarıdır. GPS ile konum belirleme yöntemleri uydu ile alıcılar arasındaki mesafelerin ölçülmesine dayanmaktadır ve bu GPS alıcıları ile gerçekleştirilir. GPS alıcıları aslında L1 ve L2

sinyallerini alabilen birer radyodur. Alıcıların özellikleri ve yetenekleri mevcut GPS ölçme tekniklerini etkilemektedir. Bugün piyasada yüzlerce çeşit GPS alıcısı mevcuttur fakat bunlardan çok küçük bir kısmı jeodezik çalışmalar için kullanılabilecek özelliktedir. GPS alıcılarının çoğu aynı temel elemanlardan oluşur. Bunlar:

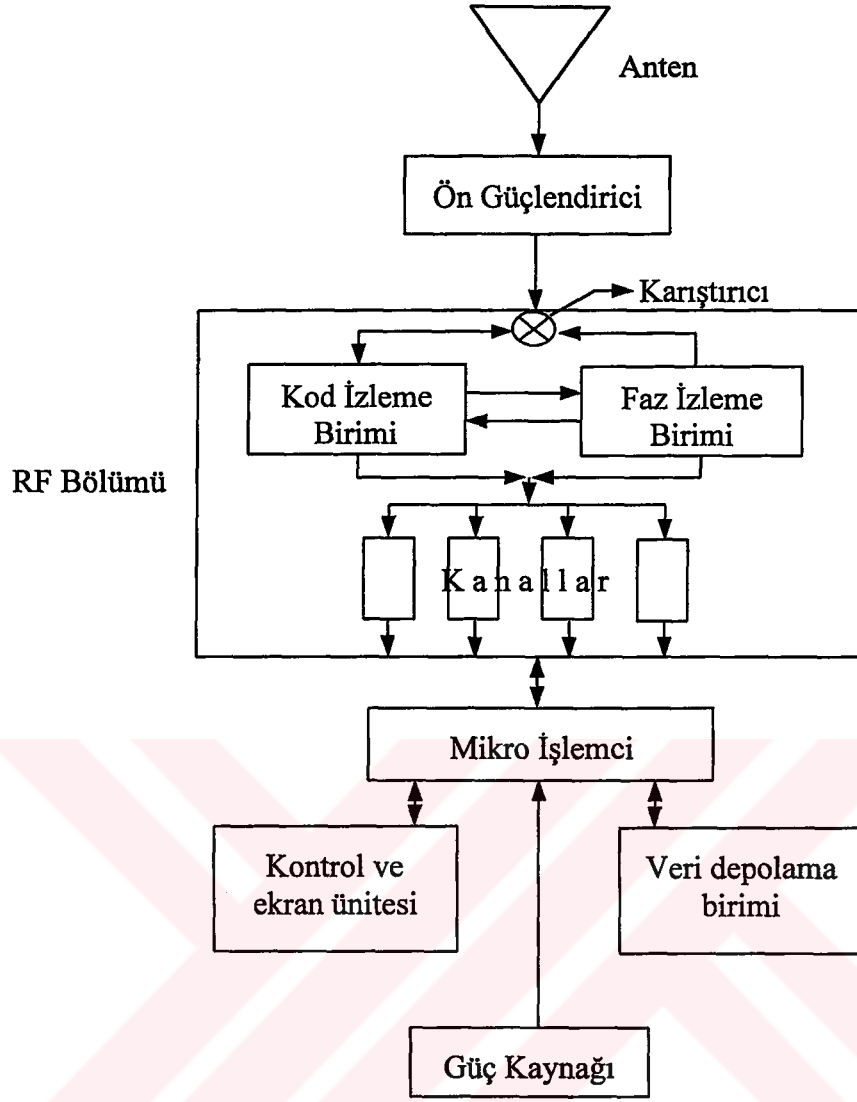
1.7.2.1. Anten

Uyduların yayımladıkları sinyaller antenler tarafından toplanmaktadır. Antenin ana görevi elektromanyetik dalgaları, radyo alıcılarına duyarlı elektrik akımlarına çevirmektir.

Bugün çok farklı GPS antenleri dizayn edilmektedir. Uydudan gelen sinyaller uyduların çok yüksekte olmaları nedeniyle düşük yoğunluktadır. Bu nedenle antenler bu düşük yoğunluklu sinyalleri alabilecek nitelikte dizayn edilmiş olmalıdır. Günümüzde jeodezik çalışmalarda GPS' ten elde edilen performansı arttırmak için iki taşıyıcı dalganın kombinasyonu kullanılmaktadır. Bu GPS antenlerinin hem L1 hem de L2 sinyalini aynı anda alabilmesini gerektirir. Piyasada sadece L1 taşıyıcısını alabilen antenler de vardır. GPS antenlerinin özellikleri, GPS' ten elde edilebilecek konum duyarlılığını direk olarak etkilemektedir. Bu nedenle yapılacak uygulamanın gerektirdiği hassasiyeti verebilecek uygun GPS anteni seçimi çok önemlidir.

GPS ölçmelerinde en önemli problemlerden birisi de “multipath” dir. Multipath uydudan gelen sinyalin GPS antenine birden farklı yoldan ulaşması ile oluşur. Bu sinyalin çeşitli fiziksel yapılardan yansması sonucunda oluşmaktadır. Multipath olması durumunda uydu alıcı arası mesafe hatalı bir şekilde ölçülmektedir. Fakat son yıllarda üretilen antenlerde multipath hatası büyük oranda ortadan kaldırılabilir. Bu hatayı elemine etmenin bir yolu “ground plane” adı verilen özel bir plakanın, antenin alt kısmına monte edilmesidir. Bu sayede yansıyan sinyallerin antene ulaşması engellenmiş olmaktadır. Monte edilen bu plakanın çapı arttıkça multipath hatası daha da küçülmektedir [13].

GPS antenlerinin en önemli bölümlerinden birisi de anten faz merkezidir. Antenin faz merkezi ile geometrik merkezi çakışık olmalıdır. Bu olmadığı takdirde anten düşeyde, konumu ölçülecek noktayı temsil etmediği için ölçülen konum bir miktar hatalı olacaktır. Ayrıca antenin faz merkezi uydunun elevasyon ve azimutuna göre bir miktar değişmektedir. Eğer antenlerin aynı şartlar altında üretildiği farz edilirse, ölçü anında antenlerin hepsinin aynı yöne yönlendirilmesi bu etkiyi büyük oranda azaltacaktır. Fakat



Şekil 8. Kod korelasyon alıcısı

bu durumda aynı ölçme işleminde farklı üreticiler tarafından üretilen antenlerin kullanılması bir miktar hataya sebep olacaktır. Fakat bugün üretilmekte olan antenlerin faz merkezleri geometrik merkezle çok hassas bir şekilde çakıştırılmaktadır ve anten faz merkezi hatası birkaç milimetre ile sınırlı kalmaktadır.

1.7.2.2. RF (Radyo Frekansı) Bölümü

GPS uydu sinyalleri anten tarafından toplandıktan sonra sinyaller ön güçlendirici tarafından güçlendirilir ve alıcının RF bölümüne alınır. RF bölümünün amacı uydudan gelen sinyali alarak frekansını IF (intermediate frequency) denilen daha kullanışlı bir seviyeye düşürmektir. Frekansın düşürülmesi gelen sinyalin sinüzoidal başka bir sinyalle karıştırılması ile birkaç aşamada gerçekleştirilir. Sinüzoidal sinyal alıcının içerisinde lokal osilatör diye adlandırılan alıcı saati tarafından üretilir. Alıcı saatleri atomik uydu saatlerine oranla hassas olmayan quartz saatlerden yapıldığı için oluşan alıcı saat hatasının dikkate alınması gerekir.

GPS antenleri aldıkları bilgileri birbirinden ayırıp sınıflandıramaz. Farklı uydulardan gelen sinyaller aynı anda GPS alıcısına girer. Bu sinyaller RF bölümündeki kanallar sayesinde birbirinden ayrılırlar.

12 kanal konfigürasyonuna sahip bir GPS alıcısı ile kullanıcı ufuk düzleminin üzerindeki bütün uydulardan (aynı anda bir noktadan maksimum 12 uydu görülebilir) sinyal toplayabilir. Fakat bu, eğer alıcı tek frekanslı ise (sadece L1) mümkündür. Fakat çift frekanslı (L1,L2) aletlerle de kullanılan bir teknik sayesinde aynı anda 12 uydudan sinyal alınabilir. “Multiplexing veya sequencing” denilen bu teknik sayesinde alıcıların uydu izleme kapasiteleri arttırılmıştır. Bu teknikte alıcı bir kanaldan izlediği sinyalden diğerine çok çabuk bir şekilde geçiş yapabilir. Bu sayede aynı anda birden fazla sinyal izlenmiş olur. Bu tekniği kullanan alıcılar bir sinyalden diğerine 20 milisaniye içerisinde geçiş yapabilmektedir. Fakat bu tip alıcılar günümüzde artık fazla kullanılmamaktadır. Bunun çeşitli sebepleri vardır. Örneğin bir kanaldan sürekli izleme yapan alıcılar daha hızlıdır daha kesin bir sonuçla faz ölçüsü gerçekleştirir [13].

1.7.2.3. Mikro İşlemci

GPS alıcılarının gerçekleştirdiği fonksiyonların bir çoğu dijital olarak yapılmaktadır. İlk olarak uyduya bağlanma, kod ve taşıyıcıların izlenmesi, yayınlanan navigasyon mesajının ve hesaplanan koordinatların yorumlanması gibi işlemler bir mikro işlemci tarafından gerçekleştirilmektedir. Mikro işlemci alıcının içerisindeki bir hafıza çipine kaydedilmiş bir yazılımı koşturur. Alıcının bir üst sürümüne güncellenmesi bu yazılımının (firmware) güncellenmesi demektir. Bir mikro işlemcinin gücü, hesap yeteneğine, sinyal toplama ve

değerlendirme hızına, alıcının boyutuna ve güç gereksinimine göre belirlenir. Alıcının kullanıcı tarafından kontrol edilebilmesini sağlayan kullanıcı arayüzü ve haberleşme portları da yine mikro işlemci tarafından kontrol edilmektedir. Kısacası mikro işlemci ne kadar güçlü ise alıcının fonksiyonelliği de o kadar iyi olur.

1.7.2.4. Güç Kaynağı

GPS ölçme uygulamalarında, alıcının kolay taşınır olması alıcılar dizayn edilirken göz önünde bulundurulmuş bir ayrıntıdır. Mevcut GPS alıcılarının çoğu genellikle birkaç tane batarya ile desteklenmektedir. Bu bataryaların bir kısmı alıcının direkt içerisine takılan dahili bataryalar olabileceği gibi çok daha uzun ömürlü olan harici bataryalar da olabilir.

1.7.2.5. Veri Depolama Birimi

Özellikle statik ve kinematik GPS ölçme yöntemlerinde arazide toplanan verilerin daha sonra çeşitli GPS yazılımları tarafından değerlendirilebilmesi için bir kayıt ortamında depolanması gerekmektedir. Bu GPS verileri toplanan kod ve faz ölçülerini, nokta numarasını ve anten yüksekliğini, veya alıcının mikro işlemcisi tarafından belirlenen yaklaşık koordinatları içerir. Veri kaydı için genellikle PCMCIA kartlar, dahili olarak rastgele ulaşım hafıza çipleri (random access memory chips), harici olarak alıcıya bağlanan veri toplayıcıları kullanılır. Ayrıca veriler, alıcıya bağlanan bir bilgisayarın hafızasında da depolanabilir.

1.7.2.6. Kontrol ve Ekran Ünitesi

Kullanıcı GPS alıcısını bu mekanizma sayesinde kontrol edebilmektedir. GPS sistemleri çok farklı amaçlar için dizayn edildiği için kontrol ünitesi farklı marka ve modeller için değişiklikler göstermektedir. Bazı alıcılar, alıcı üzerine monte edilmiş klavye ve LCD (liquid crystal display) ekran kullanır. Bu klavye GPS alıcılarının boyutlarının küçük olması nedeniyle sınırlı bir büyüklükte olmalıdır. Bu nedenle alfanumerik karakterlerin hepsi tek başına klavyenin üzerinde bulunamaz. Diğer bazı alıcılar birden

fazla fonksiyonu gerçekleştirebilen tuşlar ile yönetilmektedir. Kullanıcı alıcıyı tam bir klayve tarafından yönetmek isterse alıcıya genellikle bir veri kontrol ünitesi takılır.



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

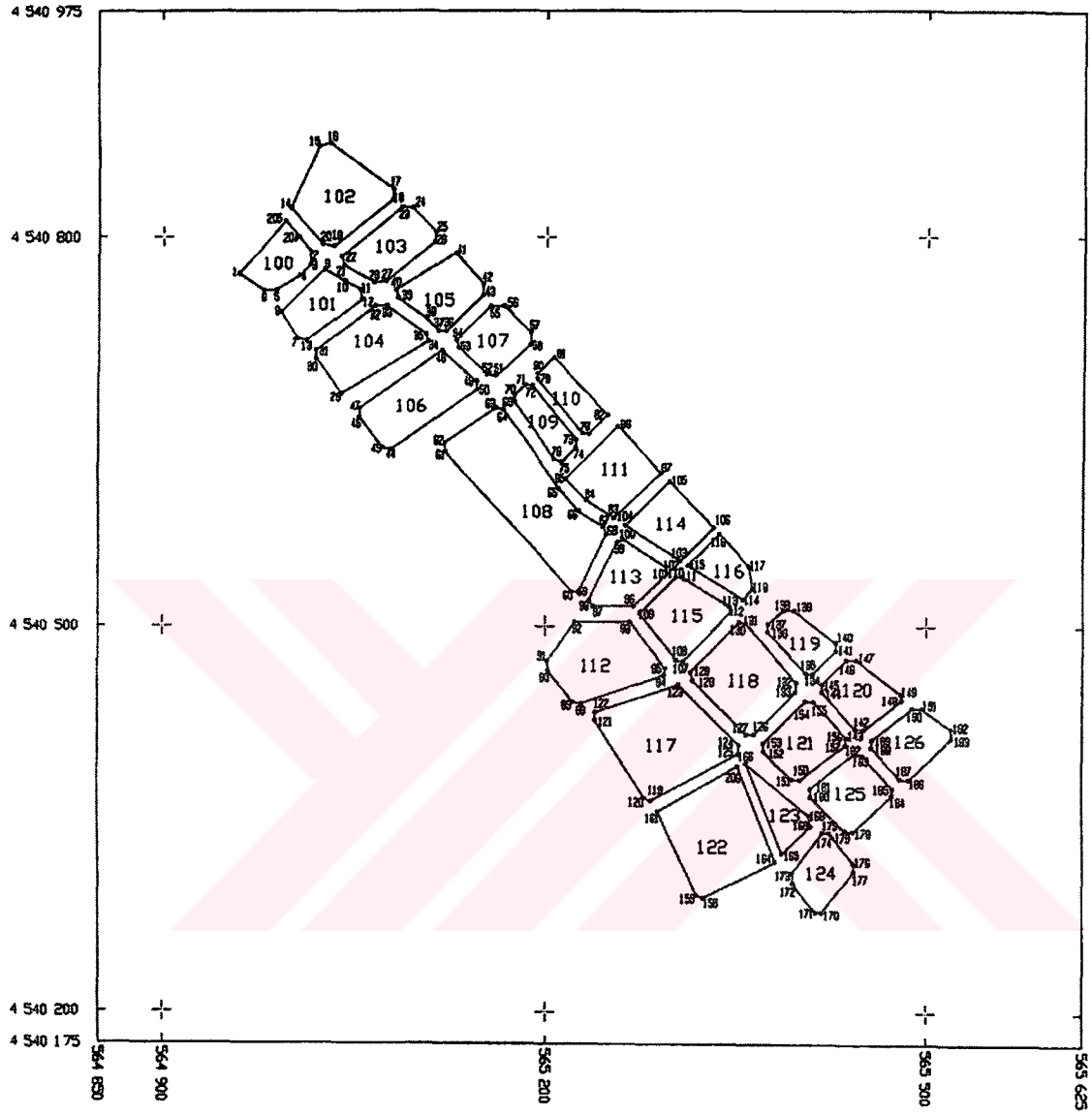
Bu yüksek lisans çalışmasında, GZK GPS metodunun jeodezik açıdan belli bir hassasiyet isteyen aplikasyon ve detay alımı çalışmalarında kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla oluşturulan bir uygulama alanında çeşitli testler yapılmıştır. Uygulama alanı olarak Karadeniz Teknik Üniversitesi Kanuni Kampusu'nda yapılaşmanın az olduğu uygun bir alan seçilmiştir. Uygulama için kampus içerisinde seçilen bölgeye ait 1/1000 ölçekli halihazır harita üzerine imar adaları çizilerek yine 1/1000 ölçekli bir imar uygulama planı oluşturulmuştur. 1/1000 ölçekli imar uygulama planı, boyutları nedeniyle A4 normundaki kağıda sığmadığı için 1/5000 ölçeğinde çizilmiş ve Şekil 9' da rasgele bir ölçekle verilmiştir. İmar uygulama projelerinde aplikasyon ve detay alımı yoğun bir şekilde yapıldığı için GZK GPS ölçü yöntemi ile yapılan aplikasyon ve detay alımlarının, oluşturulan bir imar uygulama alanında yapılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

Oluşturulan uygulama planına ait ada köşe koordinatları AUTOCAD ortamında bir sayısallaştırıcı tarafından sayısallaştırılmıştır. Daha sonra sayısallaştırılan bu köşe koordinatları DXF formatına çevrilerek NETCAD programına aktarılmıştır. NETCAD programında yol genişlikleri ayarlanmış ve kesin ada köşe koordinatları elde edilmiştir (Tablo 2). Bu sayede toplam 27 adet imar adası ve bu adalara ait 202 adet ada köşe noktası oluşturulmuştur.

Amaç bu koordinat değerlerinin GZK GPS metodu ile aplikasyonunun yapılması ve applike edilen noktaların aynı metot kullanılarak arazide tekrar alımının yapılmasıdır. Bu arada aplikasyonun ve detay alımının jeodezik çalışmalar açısından yeterli olup olmadığının çeşitli testler yapmak suretiyle araştırılmasıdır.

Bu amaçla toplam 202 adet noktadan 180 adeti GZK GPS metodu ile araziye applike edilerek bu noktalar arazide işaretlenmiştir. Geri kalan 22 nokta ise çok sık ağaçlık alanlara rastladığı için bu noktaların aplikasyonu GZK GPS metodu ile yapılamamıştır.

Gerek GPS ile gerekse yersel metotlarla yapılan aplikasyon ve detay alımı çalışmaları sırasında referans nokta olarak, daha önceden ölçümleri statik GPS ölçme yöntemi ile yapılan KTÜ GPS test ağına ait 2 adet nirengi ve 9 adet poligon noktası kullanılmıştır. Bu noktalar ve koordinat değerleri Tablo 16' da verilmiştir. Bu noktalar ayrıca hassasiyet araştırmasına yönelik yapılan testlerde de kullanılmıştır.



Şekil 9. İmar uygulama planı

Tablo 2. Sayısalılaştırma sonucu elde edilen ada köşe koordinatları

Nokta No	Y (m)	X (m)	Nokta No	Y (m)	X (m)
1	564959,73	4540771,95	53	565132,07	4540715,24
2	565016,32	4540788,32	54	565130,14	4540721,69
3	565015,53	4540778,35	55	565157,18	4540747,35
4	565007,07	4540770,38	56	565167,51	4540747,33
5	564991,73	4540755,91	57	565187,69	4540727,15
6	564979,03	4540759,06	58	565187,40	4540717,42
7	565005,54	4540722,06	59	565227,61	4540526,19
8	564992,23	4540742,64	60	565221,45	4540526,78
9	565026,44	4540774,90	61	565121,38	4540634,63
10	565041,75	4540766,56	62	565121,03	4540641,35
11	565053,77	4540760,01	63	565161,69	4540668,23
12	565055,36	4540752,19	64	565167,21	4540666,96
13	565012,56	4540720,42	65	565210,24	4540605,44
14	564999,87	4540822,24	66	565226,93	4540588,95
15	565021,99	4540870,47	67	565246,65	4540576,79
16	565030,10	4540872,68	68	565249,31	4540570,41
17	565079,76	4540837,52	69	565175,14	4540673,06
18	565078,95	4540829,56	70	565175,09	4540678,45
19	565032,81	4540792,77	71	565183,41	4540686,25
20	565024,20	4540794,50	72	565188,80	4540685,21
21	565041,03	4540778,34	73	565224,48	4540643,90
22	565039,35	4540785,19	74	565223,76	4540637,48
23	565086,73	4540822,97	75	565212,71	4540626,87
24	565095,11	4540822,51	76	565206,30	4540628,64
25	565113,39	4540804,08	77	565234,59	4540648,31
26	565112,63	4540796,16	78	565229,73	4540648,53
27	565074,24	4540766,15	79	565193,26	4540690,74
28	565064,79	4540765,39	80	565193,10	4540695,34
29	565043,70	4540673,15	81	565206,21	4540707,64
30	565019,42	4540706,29	82	565249,84	4540662,90
31	565019,42	4540713,06	83	565255,49	4540582,94
32	565065,70	4540747,41	84	565233,09	4540596,91
33	565074,81	4540747,38	85	565216,43	4540613,39
34	565106,03	4540725,66	86	565257,80	4540654,18
35	565108,75	4540718,24	87	565291,72	4540618,74
36	565122,37	4540728,10	88	565229,52	4540439,73
37	565115,66	4540728,59	89	565222,90	4540441,18
38	565106,17	4540737,75	90	565202,61	4540465,19
39	565083,60	4540753,45	91	565201,99	4540472,85
40	565082,25	4540759,72	92	565223,93	4540503,28
41	565125,33	4540793,4	93	565267,81	4540503,28
42	565151,49	4540764,25	94	565295,96	4540467,26
43	565151,32	4540755,58	95	565294,93	4540462,09
44	565077,94	4540636,85	96	565270,83	4540513,28
45	565071,10	4540637,83	97	565238,84	4540513,28
46	565053,38	4540661,17	98	565235,73	4540520,04
47	565053,59	4540667,84	99	565257,67	4540564,75
48	565119,36	4540713,43	100	565263,14	4540566,56
49	565145,99	4540688,53	101	565296,63	4540545,99
50	565147,41	4540682,76	102	565297,20	4540540,96
51	565161,70	4540693,31	103	565307,67	4540550,98
52	565154,58	4540694,18	104	565264,30	4540577,58

Tablo 2' nin devamı

Nokta No	Y (m)	X (m)	Nokta No	Y (m)	X (m)
105	565298,86	4540611,74	154	565406,59	4540442,04
106	565333,35	4540576,22	155	565413,04	4540441,52
107	565310,17	4540472,92	156	565438,54	4540413,83
108	565304,03	4540473,18	157	565437,75	4540408,43
109	565275,36	4540509,86	158	565325,54	4540289,88
110	565304,24	4540538,05	159	565320,32	4540292,12
111	565309,29	4540538,18	161	565290,02	4540356,43
112	565345,97	4540516,10	164	565382,62	4540317,93
113	565347,87	4540511,61	165	565387,94	4540324,19
114	565357,44	4540520,87	166	565364,21	4540398,69
115	565313,77	4540547,16	168	565410,26	4540354,52
116	565337,98	4540570,96	169	565410,82	4540345,32
117	565361,78	4540546,54	170	565419,22	4540278,65
118	565364,68	4540529,56	171	565414,38	4540279,01
119	565284,77	4540364,96	172	565396,42	4540301,63
120	565279,79	4540366,95	173	565391,62	4540313,97
121	565240,51	4540426,62	174	565420,17	4540340,34
122	565241,01	4540433,09	175	565424,98	4540340,41
123	565306,25	4540455,39	176	565446,64	4540319,63
124	565353,88	4540408,47	177	565444,18	4540310,60
125	565353,14	4540400,76	178	565444,18	4540341,48
126	565366,08	4540416,41	179	565437,18	4540342,56
127	565359,95	4540416,53	180	565410,79	4540367,88
128	565317,61	4540457,98	181	565410,61	4540374,34
129	565315,84	4540464,41	182	565444,36	4540400,91
130	565353,88	4540503,45	183	565450,83	4540399,70
131	565357,60	4540501,52	184	565474,29	4540374,14
132	565399,89	4540456,46	185	565473,80	4540369,31
133	565399,26	4540448,86	186	565487,45	4540381,70
134	565412,95	4540462,29	187	565480,27	4540382,42
135	565406,84	4540463,67	188	565458,18	4540406,47
136	565376,51	4540495,99	189	565458,54	4540412,22
137	565376,76	4540501,95	190	565489,60	4540436,82
138	565389,44	4540512,40	191	565497,14	4540436,82
139	565397,64	4540512,40	192	565520,66	4540421,20
140	565429,96	4540487,29	193	565520,84	4540413,65
141	565430,73	4540480,31	194	565086,12	4540616,98
142	565452,66	4540420,32	195	565102,36	4540628,23
143	565445,62	4540420,90	196	565106,53	4540627,81
144	565419,52	4540449,25	197	565212,74	4540514,10
145	565419,77	4540454,96	198	565212,74	4540507,02
146	565438,66	4540474,11	199	565191,08	4540478,28
147	565446,62	4540474,36	200	565345,98	4540279,58
148	565480,93	4540448,00	201	565380,77	4540297,31
149	565481,12	4540442,85	202	565386,60	4540296,41
150	565402,94	4540381,03	203	565411,73	4540263,65
151	565396,40	4540381,62	204	565006,04	4540800,03
152	565373,52	4540403,00	205	564995,30	4540812,29
153	565373,27	4540409,47	206	565358,62	4540392,35

Hassasiyet araştırması için üç ana başlık altında çeşitli testler yapılmıştır. Bu testler ile GZK GPS metodu;

- Klasik yersel yöntemlerle ,
- Yöntem kendi içerisinde,
- Statik GPS ile,

karşılaştırılmıştır. Yapılan her bir test için aplikasyonu yapılan 180 adet ada köşe noktasının hepsi kullanılmamış olup, bu noktaların ve GPS test ağına ait yukarıda bahsedilen poligon noktalarının bazıları, rasgele seçilmiştir. Bir testte kullanılan bir nokta diğer bir testte kullanılmamış veya tekrar kullanılmış olabilir. Yapılan testlerin sonuçlarının değerlendirilmesi ve irdelenmesinden önce GZK GPS metodu ile nokta aplikasyonunun ve detay alımının nasıl yapıldığını açıklamak yerinde olacaktır [33].

2.1. GZK GPS Metodu ile Nokta Aplikasyonu

2.1.1. Arazi Öncesi Hazırlık Aşaması

GZK GPS metodu ile aplikasyon yapabilmek için öncelikle aplikasyonu yapılacak olan noktaların koordinat bilgilerinin “Husky” adındaki el bilgisayarına aktarılması gerekmektedir. “Husky” içine aktarılan koordinat dosyaları binary formatında ve *.DAT uzantılı olmalıdır. Bu dosyayı elde etmek için “Mconvert” isimli yazılım kullanılır. Bu yazılım *.IN uzantılı ASCII dosyalarını Binary formatındaki *.DAT dosyalarına dönüştürmektedir. Bunun için ilk aşamada, koordinatlar .IN uzantılı bir formata göre yeniden düzenlenmelidir. Bu yüzden AUTOCAD ortamında sayısallaştırılmış olan koordinatlar PC’ de editör kullanılmak suretiyle yeniden düzenlenir ve *.IN olarak yeniden kaydedilir. Noktaların yazılış düzeni Şekil 10’daki gibi olmalıdır.

Buna göre; nokta numarası 6. sütundan itibaren yazılmalı ve en fazla 4 karakter olmalıdır. Noktanın “Y” değeri 15. sütundan, “X” değeri 26. sütundan ve “Z” değeri 40. sütundan itibaren başlamalıdır. (Yalnız Şekil 10’ daki ilk satır bilgileri, kaçınıcı sütundan başlanacağını göstermek amacıyla yazılmıştır. Normalde koordinatlar dönüştürülürken bu satır yazılmaz. Aksi takdirde program bu değerleri de koordinat olarak algılar ve ilk satırdaki bu bilgileri hatalı bir şekilde dönüştürür.) Bu kurallara uyulmadığı takdirde nokta koordinatları hatalı bir şekilde dönüştürülecektir.

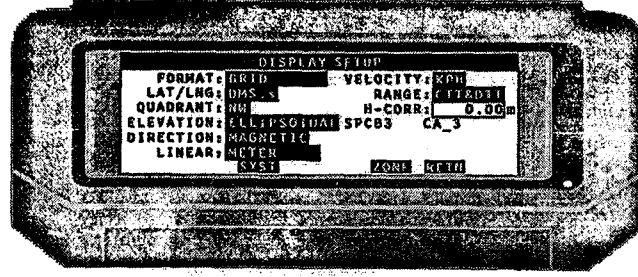
Point	Column 1	Column 2	Column 3
01234567890123456789012345678901234567890123456789			
Q0N1	564887.785	4540356.961	126.743
Q0N2	564959.098	4539975.793	153.254
Q0N3	564410.942	4540297.204	110.756
Q0N5	565508.751	4541260.251	7.563
Q0N6	565480.940	4540417.772	48.877
Q0N7	565035.940	4540196.145	115.538
Q0N8	564873.702	4540425.208	112.568
Q0N9	564895.488	4540774.307	66.177
Q0N10	565222.540	4540436.844	66.052
Q0N41	564388.128	4540792.108	58.933
Q0N61	565280.887	4540453.339	71.097
P101	565417.287	4540229.200	60.751
P102	565371.159	4540185.308	68.081
P104	565277.455	4540334.149	66.381
P106	565199.269	4540465.889	66.350
P107	565227.715	4540588.604	62.448
P108	565079.449	4540622.694	67.565
P109	564931.558	4540702.449	70.404
P115	565029.308	4540887.552	62.807
P116	565162.931	4540686.095	56.792
1	564959.73	4540771.95	0.000
2	565016.32	4540788.32	0.000
3	565015.53	4540778.35	0.000
4	565087.07	4540770.38	0.000
5	564091.73	4540755.91	0.000
6	564979.03	4540759.06	0.000
7	565085.54	4540722.06	0.000
8	564992.23	4540742.64	0.000
9	565026.44	4540774.90	0.000
9	565026.44	4540774.90	0.000
10	565041.75	4540766.56	0.000
11	565053.77	4540760.01	0.000
12	565055.36	4540752.19	0.000

Şekil 10. *.IN dosyası format yapısı

Noktalar bu şekilde düzenlendikten sonra bir dosya ismi verilmek suretiyle .IN uzantılı olarak kaydedilir. Daha sonraki aşamada “Mconvert” programı kullanılmak suretiyle bu dosya .DAT uzantılı koordinat dosyasına dönüştürülür. .DAT uzantılı koordinat dosyası “Handheld Transfer adlı yazılım kullanılarak Husky’ ye aktarılır.

Daha sonraki aşamada Husky’ de sistem ayarları yapılır. Bunun için öncelikle Husky açılarak “GPS Fieldmate” yazılımı koşturulur. Ana menü üzerinde “Go” (Aynı zamanda F3) tuşuna basılarak “Mission Setup” ekranına geçilir. Burada $\uparrow$ + F1 tuşlarına aynı anda basılarak DSST (Display Setup Screen) ekranına geçilir (Şekil 11).

Bilindiği üzere GPS WGS-84 elipsoidini kullanmaktadır. Bu nedenle GPS ile hesaplanan koordinatlar WGS-84 elipsoidal koordinatlardır. Jeodezik çalışmalar ise genellikle tanımlanmış bir lokal veya ülke koordinat sisteminde yapılır. Bu nedenle GZK GPS ölçü yöntemi ile arazide istenilen bir koordinat sisteminde nokta konumu elde edebilmek için öncelikle bu lokal sistemin tanımlanması gerekmektedir. İşte lokal sistem tanımlamaları DSST ekranında yapılmaktadır. Bunun için bu ekranda;



Şekil 11. DSST ekranı

FORMAT : GRID seçilerek çıktı olarak sunulacak koordinatların Grid koordinatlar (metre cinsinden) olması sağlanır. İsteğe göre “GEOGRAPHIC” seçimi yapılarak coğrafik koordinatlar da (enlem,boylam) elde edilebilir.

LAT/LNG : DMS.s ile coğrafik koordinatlar için format seçilmiştir. Diğer seçenekler D.d ve DM.m ' dir.

QUADRANT: NE (North-East), seçimi ile uygulama bölgesinin dünyanın hangi bölgesinde olduğu seçilir. Diğer seçenekler SW (Güney-Batı), SE (Güney-Doğu) ve NW (Kuzey-Batı) dır. Burada Türkiye için NE seçimi yapılır.

ELEVATION: ELLIPSOIDAL seçimi ile yükseklik hesaplanırken alınacak referans belirlenir. Diğer seçenek “ORTHOMETRIC” seçimi ile ortometrik yüksekliktir.

DIRECTION: TRUE seçimi ile kuzey tanımlaması için gerçek kuzey seçilmiştir. Diğer seçenek “MAGNETİK” seçimi ile manyetik kuzey seçimidir.

LINEAR : METER seçimi ile uzunluk birimi olarak metre seçilmiştir. Diğer seçenekler U.S. foot , international foot, U.S. Yard, international Yard, rod, chain, VARA, Texas VARA gibi uzunluk ölçüsü birimleridir.

VELOCITY : KPH (Kilometer Per Hour) ile hız birimi seçilmiştir. Diğer seçenekler MPH (Mile Per Hour), KN (Knots) dur.

RANGE : CTT&DTT (Course and distance to target) seçimi ile aplikasyon anında hedefe ulaşmak için yön ve mesafe seçeneği kullanılmıştır. Diğer seçenek ETT&NTT (East & North to target) ile hedefe bulunulan noktadan olan uzaklığının sağa ve yukarı (X,Y) koordinatlar cinsinden gösterilmesi sağlanır.

H-CORR : Yükseklik için bir ofset değer girilebilmesine imkan sağlar.

“Diğer seçenekler” diye belirtilen seçeneklere geçmek için değiştirilecek bölgenin üzerine yön tuşları ile gelinerek “Sp” (Space) tuşuna basılır. DSST ekranında bu ayarlar

yapıldıktan sonra F2 (SYST) tuşuna basılarak sistem olarak “TURKEY” seçilir. Daha sonra tekrar DSST ekranına dönülür. F3 (ZONE) tuşuna basılarak Türkiye’yi kapsayan 6 Zone seçeneği içinden Trabzon için “ZONE 5” seçilir. Bu sayede sistem ayarları yapılmış olur. Yapılan bu sistem ayarlarının her arazi uygulamasında tekrar yapılması gerekmez. DSST ekranına girip değiştirilmediği müddetçe bu ayarlar aynı kalacaktır.

Yukarıda seçilen “TURKEY” sistemi daha önceden oluşturularak “Fieldmate” programına atılmıştır. Bu nedenle bu sistemle ilgili elipsoit, projeksiyon, datum bilgileri ve ayrıca WGS-84 sistemi ile Türkiye sistemi arasındaki dönüklük parametreleri diğer tüm ülkelerin sistemlerinin de içinde bulunduğu “Geo.dat” adlı dosya ile birlikte Husky’ ye yüklenmiştir. Eğer kullanıcı Türkiye sisteminin dışında kendi özel lokal sistemini oluşturmak isterse, “System Selection” ekranından “Lokal” seçimini yaparak kendi özel sistemini tanımlamalıdır. Dönüklük parametrelerinin hesaplanabilmesi için en az üç ortak nokta kullanılmalıdır.

2.1.2. Referans ve Gezici Alıcının Başlangıç Ayarlarının Yapılması

Bu yüksek lisans çalışmasında detay alımı ve aplikasyon çalışmaları GZK donanımına sahip iki adet Ashtech Z-Surveyor GPS alıcısı ile yapılmıştır. Arazide veri kontrol ünitesi olarak “Husky” el bilgisayarı ve bu bilgisayarda koşturulan Ashtech Fieldmate programı kullanılmıştır. Husky, DOS işletim sistemini kullanan, GZK GPS ile ilgili tüm yazılımların üzerinde koşturulduğu ve tüm GZK GPS uygulamasının yönetildiği, bir el bilgisayarıdır. Bundan sonraki bölümlerde değinilecek olan, GZK GPS sisteminin başlangıç ayarlarının yapılması, arazide aplikasyon ve detay alımının anlatılması hep bu donanımlar dikkate alınarak yapılacaktır.

GZK GPS ölçü yöntemi ile arazide aplikasyon veya detay alımı yapabilmek için öncelikle referans ve gezici alıcıların başlangıç ayarlarının yapılması gerekmektedir. Yapılan başlangıç ayarları sonucunda referans alıcı taşıyıcı dalga düzeltme bilgilerini gezici alıcıya bir radyo modem vasıtasıyla yayınlar hale gelmektedir. Ashtech GZK GPS referans alıcı başlangıç ayarları şu şekilde yapılır:

Öncelikle referans GPS alıcısı koordinatları bilinen bir nokta üzerine kurulur. Eğer harici radyo kullanılıyorsa radyo modem ve radyo anteni bağlantıları yapılır. Radyo modemin başlangıç ayarları hangi port üzerinden yapılmışsa radyo modem alıcıya o port üzerinden bağlanmalıdır. Ayrıca Husky de başka bir seri port üzerinden alıcıya bağlanır ve

GPS alıcısı ve radyo modem açılır. Alıcı en az 5 uyduya bağlandıktan sonra da Husky açılır. Öncelikle DAT dosyası seçilir.

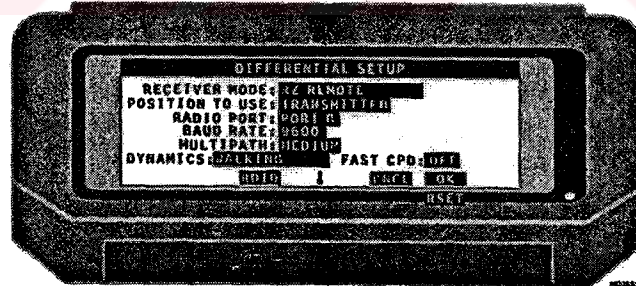
Referans alıcının ayarlanması Husky' de DFST (Differential Setup Screen) ekranından ve BSC (Base Station Coordinates) ekranından yapılmaktadır.

Husky' nin ana menüsünden "Go" tuşu ile "Mission Setup" ekranına gelinir. Buradan ($\uparrow$ +F2) tuşlarına birlikte basılarak DFST ekranına gelinir. DFST ekranında:

RECEIVER MODE : RZ BASE
 RADIO PORT : PORT B
 BAUD RATE : 9600

seçilir. Daha sonra COOR (F1) tuşuna basılarak BSC ekranına gelinir. BSC ekranında PT (F2) tuşu ile daha önce Husky' ye aktarılan .DAT uzantılı dosyanın içerisindeki nokta listesine geçilir. Burada referans nokta bulunarak tekrar "Mission Setup" ekranına dönünceye kadar OK (F4) tuşuna basılır. Radyo modemin yeşil renkte yanıp sönen lambası kırmızıya döndüğü anda referans alıcı artık diferansiyel düzeltmeleri radyo vericisi ile yayımlıyor demektir.

Gezici alıcının başlangıç ayarları ise sadece DFST ekranı kullanılarak yapılır.



Şekil12. DFST ekranı

DFST ekranında:

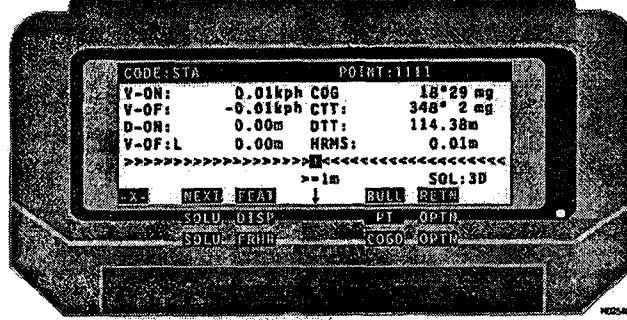
RECEIVER MODE : RZ REMOTE
 POSITION TO USE : TRANSMITTED
 RADIO PORT : PORT D
 BAUD RATE : 9600
 MULTIPATH : MEDIUM
 DYNAMICS : WALKING
 FAST CPD : OFF

seçilir. F4 (OK) tuşuna basılarak başlangıç ayarları işlemi bitirilir. DFST ekranı, alıcı modu (Receiver Mode) seçimine göre (referans alıcı için “Rz Base” yada gezici alıcı için “Rz Remote” seçimine göre) değişmektedir. Radyo portlarının daha önceden hangi portlar üzerinden başlangıç ayarları yapılmış ise “Radio Port” bölümünde mutlaka o port seçilmelidir.

2.1.3. Aplikasyon

Referans ve gezici alıcının başlangıç ayarları yapıldıktan sonra aplikasyon işlemine geçilebilir. Noktaların aplikasyonunu yapmadan önce gezici alıcı için kullanılan antenin yüksekliğinin LGST ekranından girilmesi gerekmektedir. Ayrıca aplike edilecek noktaların koordinatlarının bulunduğu *.DAT uzantılı dosya “Mission File Selection” ekranından seçilmelidir. Daha sonra “Mission Setup” ekranından F1 (SURV) tuşuna basılarak “Survey Setup” ekranına gelinir. Burada F3 (PT) tuşu ile aplike edilmek istenen nokta *.Dat dosyasına ait nokta listesinden seçilir. Nokta seçimi yapıldıktan sonra aplikasyon işlemi için “Survey Setup” ekranında F1 (NAVI) tuşuna basılması gerekmektedir. Bu sayede aplikasyon anında kullanıcıyı aradığı noktanın üzerine götüren üç ayrı ekran seçeneğine ulaşılır [33].

2.1.3.1. Navigasyon Ekranı (NAVI)



Şekil 13. NAVI ekranı

Navigasyon ekranı bulunulan nokta ile aplane edilecek noktayı birleştiren doğru üzerinde hareket ederek hedef noktaya ulaşılmasını sağlar. Ekranın en üst satırında hedef noktanın adı ve sözel tanımı (ID) bulunur. Ekran üzerindeki diğer bilgiler kısaca şunlardır:

V-ON : Hedef noktaya ilerlerken bulunulan nokta ile hedef noktayı birleştiren doğru üzerindeki hızı gösterir.

V-OF : Hedefe giden doğrudan sapıldığı takdirde bu doğruya dik yönde gidilen hızı gösterir.

D-ON : Hedefe ulaşabilmek için kat edilmiş olan yolu gösterir.

D-OF : Eğer hedefe giderken hedefe giden doğrudan sağa doğru sapılmışsa bu alanda R harfi belirir. Eğer sola doğru sapılmışsa L harfi belirir.

COG : Arazide kullanıcının gittiği yön.

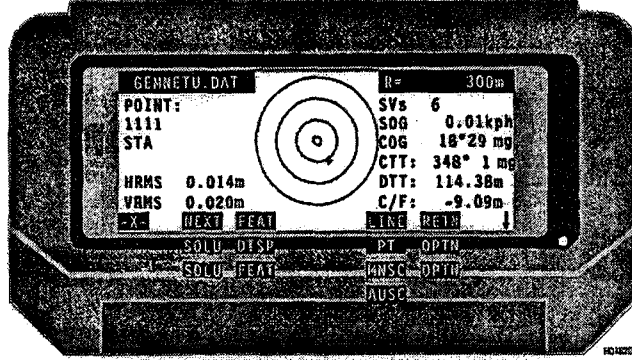
CTT : Hedef noktaya olan semt açısıdır. “mg” manyetik kuzeyi, “tr” coğrafi kuzeyi gösterir.

DTT : Hedefe olan uzaklığı gösterir

HRMS: Yataydaki konum duyarlılığıdır.

Navigasyon ekranındayken F3 (Bull) tuşu ile Bullseyes ekranına geçilir.

2.1.3.2. Bullseye Ekranı (BULL)



Şekil 14. Bullseye ekranı

Bullseye ekranı aplikasyon esnasında kullanıcıyı hedef noktaya götürmek için düzenlenmiş bir diğer ekran seçeneğidir. Bu ekranda aplane edilecek nokta hedef işaretinin tam ortasıdır ve kullanıcı küçük + işareti ile gösterilir. Hedefe doğru yaklaşıldıkça + işareti de merkeze doğru yaklaşmaktadır. Bu ekrandaki diğer yardımcı bilgiler:

POINT: Aplane edilecek noktanın adı.

R : Hedef işaretinin yarıçapı.

SVs : Ölçü anındaki mevcut uydu sayısı.

SOG : Arazide hareket ederkenki hız.

COG : Arazide kullanıcının gittiği yön.

CTT : Hedef noktaya olan semt.

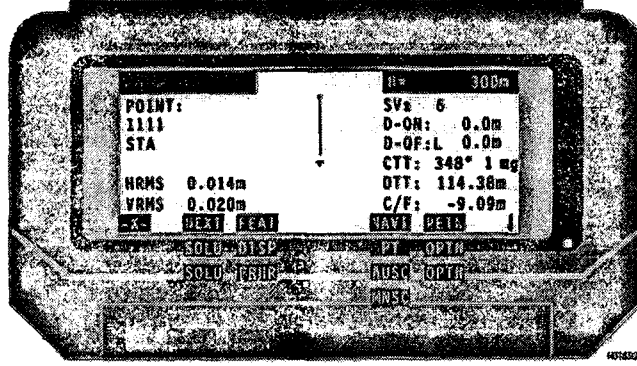
DTT : Hedef noktaya olan uzaklık.

C/F : Referans girilen bir yükseklik değerine göre ölçü anındaki noktanın kazı ya da dolgu durumu.

HRMS: Yataydaki konum duyarlılığı.

Bullseye ekranındayken F3 (LINE) tuşu ile çizgi ekranına geçilebilir.

2.1.3.3. Çizgi Ekranı (LINE)



Şekil 15. LINE ekranı

Bu ekranda ölçü anındaki konum bir çizgi ile ilişkili olarak verilir. Bu çizgi *.DAT dosyasındaki noktalara veya arazideki mevcut konumun aplike edilecek olan noktaya birleştirilerek oluşturulur. Kullanıcı + işareti ile bu çizginin sağında veya solunda yer alır. Amaç bu çizgi üzerinde hareket ederek hedef noktaya ulaşmaktır. Ekran üzerindeki diğer yardımcı bilgiler:

POINT: Aplike edilecek noktanın adını ve sözel bilgisini gösterir.

H : Çizginin ölçeği

D-ON : Başlangıç noktasından itibaren hedefe doğru gidilmiş olan yol

D-OF : Çizgiden sapma miktarını gösterir. R sağ tarafa L sol tarafa sapma miktarıdır.

CTT : Hedefe olan semt

DTT : Hedefe olan uzaklık

C/F : Referans girilen bir yükseklik değerine göre ölçü anındaki noktanın kazı ya da dolgu durumu.

HRMS : Yatay konum duyarlılığı.

VRMS : Düşey konum duyarlılığıdır.

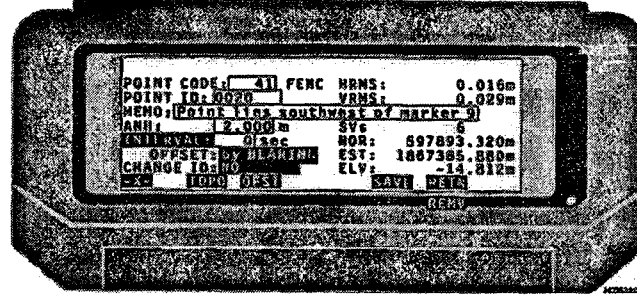
Bu üç ekrandan birisi kullanılarak hedef nokta üzerine kısa sürede ulaşılabilir. Aplikasyonu yapan kişi antenin bağlı bulunduğu jalona bağlı olan bir

pusula yardımıyla, o an ekranda gördüğü hedef noktaya olan semt ve mesafe bilgilerine göre hangi yöne kaç metre gideceğini belirler. Her üç ekranın da sol alt köşesinde bulunan “X” (Fix) işareti tam sayı faz belirsizliğinin belirlenmiş olduğunu göstermektedir. Eğer herhangi bir sebepten dolayı ölçü anında uydu sayısı dördün altına düşerse hesaplanan N sayısı kaybedilecektir. Böyle bir durumda X işaretinin yerini “Float” anlamına gelen F harfi alacaktır. Bu durumda hesaplanan koordinatlar birkaç metre hatalı olur. Bu nedenle uygulamanın sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için tekrar fix çözümün oluşmasının, yani “N” sayısının tekrar çözülmesinin beklenmesi gerekir. N sayısının belirlenme süresinin kısa ya da uzun olması ölçü anındaki uydu sayısı ile ilişkilidir. Eğer uydu sayısı çok ise “N” sayısının belirlenme süresi düşecektir. Bu yüzden uygulama, hem hassasiyetin artması hem de tamsayı faz belirsizliğinin belirlenme süresinin azaltılması için uydu sayısının çok olduğu bir zaman diliminde yapılmalıdır. Bu dilim çalışılan bölgenin yaklaşık coğrafi koordinatları girilerek AOSS (Astech Office Suite For Survey) programındaki Vis-A-Vis modülünden elde edilebilir. Bu sayede çalışılan bölgede günün hangi saatinde kaç uyduya bağlanılabileceği öğrenilebilir. Ayrıca uygulamayı yapılacak olan noktalara doğru ilerlerken uydulara olan bağlantıların kesilmeyeceği açık alanlardan gidilmeli, ağaç altlarından veya bina diplerinden gidilmemelidir. Bu sayede belirlenmiş olan tamsayı faz belirsizliği (fixed çözüm) korunmuş olur. Aksi takdirde kaybolan tam sayı faz belirsizliğinin tekrar belirlenebilmesi için bir süre beklemek gerekecektir. Bu süre 6 ve yukarı uydu için 10-15 sn, 4 veya 5 uydu durumunda 1-2 dakika civarındadır. Özellikle ikinci durumda uygulamanın hızı düşecektir.

Kişinin nokta üzerine ulaşabilmesinde hedefe olan semt ve uzaklık bilgileri çok büyük kolaylık sağlamaktadır. Bu bilgiler gezici alıcının ölçü anındaki koordinatlarına göre sürekli olarak güncellendiği için kişi hangi yöne gitmesi gerektiğini, noktaya yaklaştığını veya noktadan uzaklaştığını gerçek zamanlı olarak görebilmektedir. Alike edilecek noktaya bir metre çapında yaklaşıldığı takdirde (İsteğe göre bu çember daraltılır veya genişletilebilir) Husky kullanıcıyı uyarmak amacıyla sinyal vermeye başlar. Sinyalin frekansı noktaya yaklaştıkça artar ve tam nokta üzerine gelindiğinde kesiksiz bir şekilde sinyal vermeye başlar. Bu sayede hedeflenen nokta üzerine uygulama gerçekleştirilmiş olur.

2.1.4. Detay Alımı

Detay alımı için GZK GPS referans ve gezici alıcı başlangıç ayarları yapıp sistem ayarları yapıldıktan sonra Husky' de "Survey Setup" ekranına gelinir. Burada F2 (FEAT) tuşuna basılarak noktanın koordinatlarının kaydedileceği ekrana gelinir (Şekil 16).



Şekil 16. Koordinat kayıt ekranı

Bu ekranda nokta numarası ve noktanın sözel bilgisine karşılık gelen kodu "Point ID" ve "Point Code" bölümünden girilir. "ANH" bölümünden anten yüksekliği de girilir. Alımı yapılacak noktanın üzerine gelinir ve F3 (SAVE) tuşu ile noktanın ölçü anındaki nokta konum bilgileri hafızaya kaydedilir. Kaydedilen koordinatlar Husky içerisinde "m.out" adlı ASCII formatlı bir dosya içerisinde saklanmaktadır. Ölçü işlemi bittikten sonra Husky bilgisayara bağlanır ve "Handheld Transfer" yazılımı kullanılarak "m.out" dosyası bilgisayara aktarılır. Arazide toplanan koordinatlar bilgisayar ortamına atılmış olur.

Detay alımı esnasında bazı noktaların üzerine kadar gidilmesi mümkün olmayabilir. Mesela GPS antenin belli bir yarı çapının olması nedeniyle anten bina köşelerine iyice yaklaştırılmaz. Veya noktanın üzerine gidilebilir ama noktanın konumu nedeniyle yeterli sayıda uydu görmek mümkün olmaz. Bu nedenle de GZK GPS ile detay alımı yapmak mümkün olmayabilir. Bu durumlarda sistemin rahatlıkla çalışabildiği açık bir alanda bir merkez dışı nokta kullanılarak söz konusu detay noktasının alımı gerçekleştirilebilir. Bunun için Husky' de "Survey Setup ekranından F2 (FEAT) tuşuna basmak suretiyle koordinat kayıt ekranına gelinir (Şekil 16). Burada "OFFSET" bölümüne gelinerek 5 farklı

merkez dışı alımdan birisi yapılır [33]. Burada bu yöntemlerden sadece iki tanesi açıklanacaktır.

2.1.4.1. Grid Değerleriyle Merkez Dışı Alım

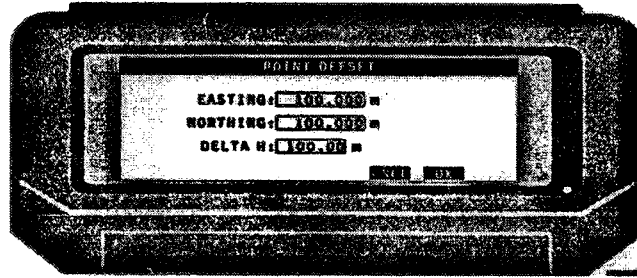
Bu yöntemde merkez dışı nokta üzerinde durularak bu nokta ile alımı yapılacak nokta arasındaki X (Northing), Y (Easting) ve Z (Delta H) koordinat farkları Şekil 17' deki ilgili yerlerine yazılmak suretiyle F4 (OK) tuşuna basılır.



Şekil 17. Grid değerleri ile merkez dışı alım

2.1.4.2. Semt, Azimut ve Yükseklik Farkıyla Merkezdışı Alım

Bu seçenekte merkez dışı nokta ile alımı yapılacak detay noktası arasındaki mesafe, semt ve yükseklik farkı değerlerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu değerler Şekil 18'de ilgili alanlara yazılmak suretiyle F4 (OK) tuşuna basılarak alımı yapılacak noktanın koordinatları merkez dışı bir noktadan hesaplanarak kaydedilmiş olur[33].



Şekil 18. Semt ve azimut değerleri ile merkez dışı alım

2.2. Yapılan Testler

2.2.1. GZK GPS Yönteminin Klasik Yersel Yöntemlerle Test Edilmesi

GZK GPS ölçme yöntemini klasik yersel yöntemlerle test edebilmek amacıyla çalışma bölgesi içerisindeki 16 adet nokta Topcon GTS-211 Elektronik Takeometre ile aplike edilerek arazide işaretlenmiştir. Aplikasyon koordinatları olarak sayısallaştırma sonucu elde edilen ham değerler (Tablo 2. deki koordinatlar) kullanılmıştır. Daha sonra, aplike edilen bu noktaların rölevesi yine elektronik takeometre ile yapılmıştır. Yersel yöntemle rölevesi yapılan noktaların koordinatları Tablo 3’ de verilmiştir. Bir sonraki aşamada yersel yöntem ile arazide işaretlenen noktaların GZK GPS yöntemi ile alımı yapılmıştır. Noktalara ait GZK GPS koordinatları ise Tablo 4’ de verilmiştir.

Tablo 3. Klasik yersel yöntemle belirlenen koordinatlar

Nokta No	Y (m)	X (m)	Z (m)
2	565016,322	4540788,334	63,837
14	564999,873	4540822,241	62,977
29	565043,706	4540673,147	67,443
30	565019,399	4540706,342	67,445
44	565077,940	4540636,845	67,205
45	565071,053	4540637,913	67,655
46	565053,371	4540661,158	67,545
88	565229,501	4540439,723	65,870
89	565222,895	4540441,186	66,210
91	565201,981	4540472,834	66,190
92	565223,932	4540503,278	63,050
119	565284,757	4540364,945	65,911
120	565279,776	4540366,907	66,171
122	565241,015	4540433,082	65,888
161	565290,015	4540356,410	66,021
205	564995,300	4540812,297	63,027

Tablo 4. GZK GPS koordinatları

Nokta No	Y (m)	X (m)	Z (m)
2	565016,312	4540788,287	63,792
14	564999,827	4540822,249	62,92
29	565043,647	4540673,16	67,443
30	565019,372	4540706,29	67,01
44	565077,92	4540636,835	67,213
45	565071,058	4540637,863	67,65
46	565053,326	4540661,116	67,629
88	565229,53	4540439,723	65,901
89	565222,895	4540441,22	66,252
91	565201,989	4540472,857	66,234
92	565223,955	4540503,259	63,134
119	565284,763	4540364,995	65,924
120	565279,783	4540366,955	66,124
122	565241,012	4540433,087	65,888
161	565290,032	4540356,466	66,033
205	564995,259	4540812,303	62,983

Bu iki yöntemi karşılaştırmak için yersel yöntem ile elde edilen koordinatlar ile GZK GPS ile elde edilen koordinatlar ve bunlara ait DX, DY, DZ koordinat farkları bir tabloda verilmiştir (Tablo 5).

Tablo 5. GPS ile yersel yöntemin karşılaştırılması

Nokta No	GPS İLE BELİRLENEN KOORDİNATLAR			YERSEL YÖNTEM İLE BELİRLENEN KOORDİNATLAR			FARKLAR		
	Y (m)	X (m)	Z (m)	Y (m)	X (m)	Z (m)	DY (m)	DX (m)	DZ (m)
2	565016,312	4540788,287	63,792	565016,322	4540788,334	63,837	-0,010	-0,047	-0,045
14	564999,827	4540822,249	62,920	564999,873	4540822,241	62,977	-0,046	0,008	-0,057
29	565043,647	4540673,160	67,443	565043,706	4540673,147	67,443	-0,059	0,013	0,000
30	565019,372	4540706,290	67,010	565019,399	4540706,342	67,025	-0,027	-0,052	-0,015
44	565077,920	4540636,835	67,213	565077,940	4540636,845	67,205	-0,020	-0,010	0,008
45	565071,058	4540637,863	67,650	565071,053	4540637,913	67,655	0,005	-0,050	-0,005
46	565053,326	4540661,116	67,629	565053,371	4540661,158	67,545	-0,045	-0,042	0,084
88	565229,530	4540439,723	65,901	565229,501	4540439,723	65,870	0,029	0,000	0,031
89	565222,895	4540441,220	66,252	565222,895	4540441,186	66,210	0,000	0,034	0,042
91	565201,989	4540472,857	66,234	565201,981	4540472,834	66,190	0,008	0,023	0,044
92	565223,955	4540503,259	63,134	565223,932	4540503,278	63,050	0,023	-0,019	0,084
119	565284,763	4540364,995	65,924	565284,757	4540364,945	65,911	0,006	0,050	0,013
120	565279,783	4540366,955	66,124	565279,776	4540366,907	66,171	0,007	0,048	-0,047
122	565241,012	4540433,087	65,888	565241,015	4540433,082	65,888	-0,003	0,005	0,000
161	565290,032	4540356,466	66,033	565290,015	4540356,410	66,021	0,017	0,056	0,012
205	564995,259	4540812,303	62,983	564995,300	4540812,297	63,027	-0,041	0,006	-0,044

2.2.2. GZK GPS Yönteminin Kendi İçerisinde Test Edilmesi

GZK GPS ölçme yönteminin kendi içerisinde duyarlı ve tutarlı olup olmadığını, değişik zamanlarda ve farklı uydu dağılımlarında aynı sonucu verip vermediğini test edebilmek amacıyla üç farklı test yapılmıştır.

2.2.2.1. Farklı Zamanda ve Farklı Uydu Dağılımında Aynı Noktanın Alımının Yapılması

Bu testin yapılış amacı arazide koordinatları GZK GPS yöntemi ile belirlenen bir noktanın alımının başka bir gün tekrar yapılması durumunda, koordinatların değişip değişmediğinin araştırılmasıdır. Bu test yapılırken ölçünün yapıldığı saate dikkat edilmemiştir. Dolayısıyla yöntemin farklı uydu dağılımlarında ve farklı ölçü zamanlarında tekrarlılığı ve güvenilirliği test edilmek istenmiştir. Bu amaçla uygulama bölgesi içerisinde seçilen 16 adet noktanın koordinatları farklı iki periyotta iki defa GZK GPS metodu ile belirlenmiştir. Bu testte ilk periyot ölçüler yapıldıktan yaklaşık bir ay sonra rasgele seçilen bir zamanda ikinci periyot ölçüler yapılmıştır. Birinci periyot ölçüler Tablo 6' da ikinci periyot ölçüler ise Tablo 7' de verilmiştir.

Tablo 6. Farklı zamanda ve farklı uydu dağılımında toplanan ilk periyot ölçüler

Nokta No	Uydu Sayısı	PDOP	Y (m)	X (m)	Z (m)	HRM S (m)	VRMS (m)	Anten Y. (m)
0N10	6	2,5	565222,623	4540436,814	66,078	0,014	0,022	2,038
2	6	3,1	565016,318	4540788,312	63,735	0,015	0,033	2,038
20	7	2,2	565024,198	4540794,497	63,267	0,012	0,023	2,038
21	8	1,9	565041,036	4540778,351	63,609	0,011	0,018	2,038
28	7	2,0	565064,791	4540765,389	61,392	0,012	0,019	2,038
44	6	3,6	565077,939	4540636,857	67,182	0,016	0,036	2,038
62	6	3,5	565121,023	4540641,337	64,034	0,016	0,037	2,038
88	6	3,6	565229,486	4540439,752	66,340	0,015	0,040	2,038
92	4	4,7	565223,930	4540503,281	63,077	0,028	0,042	2,038
P101	7	2,3	565417,273	4540229,204	60,708	0,012	0,023	2,038
P102	8	2	565371,141	4540185,400	68,063	0,011	0,019	2,038
P104	8	2	565227,429	4540334,137	66,325	0,011	0,018	2,038
P106	6	2,9	565199,301	4540465,874	66,243	0,015	0,027	2,038
P107	4	4,3	565227,723	4540508,628	62,359	0,022	0,041	2,038
P115	7	2,2	565029,279	4540807,540	62,691	0,012	0,023	2,038
P116	7	2,3	565162,923	4540686,091	56,656	0,013	0,018	2,038

Tablo 7. Farklı zamanda ve farklı uydu dağılımında toplanan ikinci periyot ölçüler

Nokta No	Uydu Sayısı	PDOP	Y (m)	X (m)	Z (m)	HRM S (m)	VRMS (m)	Anten Y. (m)
0N10	6	3,0	565222,610	4540436,783	66,046	0,016	0,029	2,038
2	7	2,1	565016,306	4540788,303	63,747	0,013	0,020	2,038
20	7	2,1	565024,205	4540794,487	63,747	0,013	0,020	2,038
21	8	1,7	565040,981	4540778,367	63,616	0,012	0,017	2,038
28	7	2,4	565064,788	4540765,394	61,392	0,011	0,016	2,038
44	6	2,8	565077,939	4540636,860	67,169	0,015	0,021	2,038
62	7	2,0	565121,06	4540641,281	64,091	0,012	0,021	2,038
88	6	2,9	565229,520	4540439,729	65,864	0,015	0,027	2,038
92	6	3,6	565223,925	4540503,276	63,221	0,025	0,066	2,038
P101	6	3,5	565417,261	4540229,198	60,712	0,018	0,034	2,038
P102	6	3,2	565371,133	4540185,378	68,089	0,018	0,031	2,038
P104	6	3,4	565227,439	4540334,176	66,315	0,020	0,030	2,038
P106	8	1,7	565199,263	4540465,859	66,250	0,010	0,015	2,038
P107	6	2,1	565227,686	4540508,594	62,362	0,020	0,020	2,038
P115	7	2,1	565029,315	4540807,538	62,691	0,015	0,019	2,038
P116	7	2,3	565162,920	4540686,103	56,670	0,015	0,020	2,038

Tablo 8' de ise her iki periyotta elde edilen koordinatların farkları alınmak suretiyle karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 8. Farklı zamanda ve farklı uydu dağılımında belirlenen koordinatların farkları

Nok. No	I PERİYOT			II. PERİYOT			FARKLAR		
	Y (m)	X (m)	Z (m)	Y (m)	X (m)	Z (m)	DY (m)	DX (m)	DZ (m)
0N10	565222,623	4540436,814	66,078	565222,610	4540436,783	66,046	0,013	0,031	0,032
2	565016,318	4540788,312	63,735	565016,306	4540788,303	63,747	0,012	0,009	-0,012
20	565024,198	4540794,497	63,267	565024,205	4540794,487	63,747	-0,007	0,010	-0,048
21	565041,036	4540778,351	63,609	565040,981	4540778,367	63,616	0,055	-0,016	-0,007
28	565064,791	4540765,389	61,392	565064,788	4540765,394	61,392	0,003	-0,005	0,000
44	565077,939	4540636,857	67,182	565077,939	4540636,860	67,169	0,000	-0,003	0,013
62	565121,023	4540641,337	64,034	565121,060	4540641,281	64,091	-0,037	0,056	-0,057
88	565229,486	4540439,752	66,340	565229,520	4540439,729	65,864	-0,034	0,023	0,047
92	565223,930	4540503,281	63,077	565223,925	4540503,276	63,221	0,005	0,005	-0,018
P101	565417,273	4540229,204	60,708	565417,261	4540229,198	60,712	0,012	0,006	-0,004
P102	565371,141	4540185,400	68,063	565371,133	4540185,378	68,089	0,008	0,022	-0,026
P104	565227,429	4540334,137	66,325	565227,439	4540334,176	66,315	-0,010	-0,039	0,010
P106	565199,301	4540465,874	66,243	565199,263	4540465,859	66,250	0,038	0,015	-0,007
P107	565227,723	4540508,628	62,359	565227,686	4540508,594	62,362	0,037	0,034	-0,003
P115	565029,279	4540807,540	62,691	565029,315	4540807,538	62,691	-0,036	0,002	0,000
P116	565162,923	4540686,091	56,656	565162,920	4540686,103	56,670	0,003	-0,012	-0,014

2.2.2.2. Farklı Günde ve Aynı Uydu Dağılımında Aynı Noktaların Alımının Yapılması

Bilindiği üzere GPS ile nokta konumları belirlenirken GPS ölçülerini etkileyen en önemli faktörlerden bir tanesi de uyduların uzaydaki dağılımlarıdır. GPS’ te uyduların uzaydaki dağılımlarının konum hassasiyetine etkisini DOP (Dilution of Precision) dediğimiz sayı belirlemektedir. DOP sayısının hesaplanmasında pseudo uzunluk gözlemleri (Kod ölçüleri) kullanılmaktadır. DOP sayısı ne kadar küçükse noktaların konum duyarlılıkları o kadar iyi olur [7]. GPS’ te çok çeşitli DOP sayıları vardır. Bunların hepsini birden kapsayan GDOP (geometric DOP) şu DOP sayılarını içerir [36]:

- **PDOP (Position DOP)** : En çok kullanılan DOP sayısıdır. Ölçülerin üç boyutlu konum duyarlılıklarıyla ilgilidir. Bazen SDOP (Spherical DOP) olarak ta adlandırılmaktadır.
- **VDOP (Vertical DOP)** : Yalnızca bir boyutlu olarak (z) düşey konum hassasiyetini belirtmektedir.
- **HDOP (Horizontal DOP)**: İki boyutlu (x,y) konum duyarlılığının bir ölçütüdür. Bu değer genellikle PDOP’ tan daha düşük bir değer alır. Çünkü HDOP’ ta düşey boyut (z) ihmal edilmektedir.
- **TDOP (Time DOP)** : Konumun zamana göre duyarlılığını gösteren bir ölçüttür.

Yukarıda da belirtildiği gibi DOP sayısının küçük bir değer alması istenen bir durumdur. DOP sayısının 2’ den küçük olması “mükemmel” olarak değerlendirilir. Fakat bu durumun gerçekleşmesi için uydu sayısının çok fazla olması ve uyduların uzaydaki dağılımlarının çok iyi olması gerekir. DOP’ un 2 ~ 3 arası bir sayı alması da “çok iyi” olarak değerlendirilir. 4 ~ 5 arası bir değer çok yüksek hassasiyet isteyen uygulamalar için pek iyi bir değer değildir. Ama çoğu uygulamalar için kabul edilebilir bir değerdir. DOP sayısının 6’ nın üzerinde olması durumu ise düşük konum hassasiyeti doğuracaktır. Bu nedenle bu durumda özellikle aplikasyon ve detay alımı çalışmalarında kayıt yapılmaması veya uygulamanın daha iyi bir uydu dağılımının olacağı başka bir zamanda yapılması tavsiye edilmektedir. Dünya üzerindeki bir noktada, istenilen bir saatte kaç uyduya bağlanılabileceği, DOP sayılarının ne olacağı gibi bilgiler AOSS (Ashtech Office Suite for

Survey) adlı GPS değerlendirme programının “Vis-A-Vis” isimli modülünden öğrenilebilir. Bu bilgiler arazi çalışması öncesi en verimli çalışma saatlerinin belirlenmesi açısından önemlidir. DOP sayıları ve temsil ettikleri ölçü kalitesi bir tablo halinde aşağıda sunulmuştur (Tablo 9)

Tablo 9. DOP sayısı ve kalitesi

DOP SAYISI	KALİTESİ
1 ~ 3	Çok iyi
4 ~ 5	İyi
6	Vasat
> 6	Şüpheli

Görüldüğü üzere DOP sayısı düştükçe konum duyarlılıkları artmaktadır. Zaten bunun böyle olacağı;

$$\sigma_k = \text{DOP} * \sigma_0 \quad (27)$$

bağıntısından da açık bir şekilde anlaşılmaktadır [7],[37].

GPS uyduları dünyanın etrafında yörünge düzlemleri boyunca hareket ederken geçtikleri bir noktadan ikinci gün geçişleri 4 dakika daha önce olmaktadır [7]. Başka bir deyişle dünya üzerindeki bir noktanın ufuk düzlemine göre herhangi bir GPS uydusu her gün 4 dakika daha önce doğmaktadır. Bu nedenle herhangi bir günde ve belli bir saatte yapılan bir GPS ölçüsünün aynısını bir sonraki gün tekrarlayabilmek için (ilk periyot ölçünün yapıldığı andaki uydu sayısını, DOP değerlerini ve uydu dağılımını tam olarak ertesi gün yakalayabilmek için) bu dört dakikalık zaman kayıklığının dikkate alınması gerekir. Eğer ölçü, ilk periyot ölçüden “n” gün sonra yapılmışsa ikinci periyot ölçü ilk periyottan 4*n dakika daha önce yapılmalıdır.

Tüm bu kriterler göz önünde bulundurularak ilk periyot ölçüler 24.07.2000 tarihinde gerçekleştirilmiş ve noktaların konum bilgilerinin tam olarak saat kaçta kaydedildiği, kayıt esnasındaki uydu sayıları ve PDOP değerleri ikinci periyot ölçülerle karşılaştırma yapabilmek için not edilmiştir. Bu testte tüm noktalarda karşılaştırma

yapılmamış olup sadece uygulama bölgesi içerisinde bulunan ve koordinatları daha önce statik GPS ile belirlenen poligon ve nirengi noktaları kullanılmıştır. İkinci periyot ölçüler bir gün sonra gerçekleştirilmiştir. İkinci periyotta aynı uydu sayısını ve PDOP değerini elde edebilmek için her noktadaki kayıt bir gün önceki kayıttan tam 4 dakika önce yapılmıştır. İlk periyot ölçüler Tablo 10'da ikinci periyot ölçüler ise Tablo 11' de verilmiştir. Ayrıca Tablo 12' de her iki günde belirlenen koordinatlar arasındaki farklar gösterilmiştir.

Tablo 10. Farklı günde ve aynı uydu dağılımında toplanan ilk periyot ölçüler

T A R İ H : 24.7.2000									
Nokta No	Saat Sa.dk.sn.	Uydu Sayısı	PDOP	Y (m)	X (m)	Z (m)	HRMS (m)	VRMS (m)	Anten Y. (m)
ON10	15.33.30	6	3.0	565222.606	4540436.781	66.045	0.016	0.029	2.038
ON10	15.35.00	6	3.1	565222.614	4540436.783	66.050	0.016	0.029	2.038
ON10	15.36.00	6	3.1	565222.609	4540436.786	66.044	0.016	0.029	2.038
P104	15.40.00	5	3.6	565277.432	4540334.166	66.303	0.021	0.032	2.038
P104	15.41.10	6	3.4	565277.446	4540334.188	66.329	0.019	0.031	2.038
P104	15.42.00	6	3.4	565277.439	4540334.173	66.313	0.019	0.028	2.038
P102	15.47.10	6	3.2	565371.128	4540185.383	68.088	0.017	0.031	2.038
P102	15.48.20	6	3.2	565371.141	4540185.372	68.097	0.018	0.031	2.038
P102	15.49.10	6	3.2	565371.131	4540185.378	68.081	0.018	0.031	2.038
P101	15.52.00	6	3.5	565417.264	4540229.198	60.712	0.018	0.034	2.038
P101	15.53.00	6	3.5	565417.258	4540229.202	60.725	0.018	0.034	2.038
P101	15.54.10	6	3.5	565417.262	4540229.194	60.698	0.018	0.034	2.038
P106	16.01.00	8	1.7	565199.263	4540465.861	66.245	0.010	0.015	2.038
P106	16.02.30	8	1.7	565199.261	4540465.861	66.256	0.010	0.015	2.038
P106	16.03.40	8	1.7	565199.264	4540465.856	66.250	0.010	0.015	2.038
P107	16.22.30	5	3.2	565227.694	4540508.596	62.361	0.022	0.026	2.038
P107	16.23.30	5	3.2	565227.684	4540508.594	62.349	0.022	0.026	2.038
P107	16.24.30	6	2.1	565227.680	4540508.596	62.348	0.015	0.019	2.038
P107	16.25.20	6	2.1	565227.685	4540508.590	62.373	0.014	0.018	2.038
P107	16.26.10	5	3.2	565227.689	4540508.594	62.378	0.023	0.025	2.038
P108	16.31.30	7	2.1	565079.436	4540622.667	67.504	0.013	0.018	2.038
P108	16.32.30	7	2.0	565079.446	4540622.672	67.507	0.013	0.018	2.038
P108	16.34.00	7	2.0	565079.460	4540622.674	67.497	0.013	0.018	2.038
P109	16.40.30	8	1.6	564931.558	4540702.460	70.261	0.012	0.015	2.038
P109	16.41.30	7	2.1	564931.563	4540702.467	70.274	0.014	0.019	2.038
P109	16.42.10	7	2.1	564931.561	4540702.466	70.266	0.014	0.019	2.038
P115	16.46.20	7	2.1	565029.322	4540807.544	62.695	0.015	0.019	2.038
P115	16.47.15	7	2.1	565029.315	4540807.529	62.685	0.015	0.019	2.038
P115	16.48.00	8	1.6	565029.309	4540807.542	62.694	0.015	0.019	2.038
P116	16.54.50	7	2.2	565162.913	4540686.100	56.670	0.015	0.020	2.038
P116	16.55.50	7	2.3	565162.921	4540686.106	56.671	0.015	0.020	2.038
P116	16.56.40	7	2.3	565162.925	4540686.104	56.669	0.015	0.020	2.038

Tablo 11. Farklı günde ve aynı uydu dağılımında toplanan ikinci periyot ölçüler

T A R İ H : 25.07.2000									
Nokta No	Saat Sa.Sn.Dk.	Uydu Sayısı	PDOP	Y (m)	X (m)	Z (m)	HRMS (m)	VRMS (m)	Anten Y. (m)
ON10	15.29.30	6	3.0	565222,603	4540436,782	66.022	0.016	0.028	2.038
ON10	15.31.00	6	3.1	565222,607	4540436,784	66.027	0.016	0.029	2.038
ON10	15.32.00	6	3.1	565222,604	4540436,788	66.039	0.016	0.029	2.038
P104	15.36.00	5	3.6	565277,435	4540334,168	66.306	0.022	0.033	2.038
P104	15.37.10	6	3.4	565277,432	4540334,181	66.307	0.022	0.033	2.038
P104	15.38.00	6	3.4	565277,429	4540334,173	66.310	0.022	0.033	2.038
P102	15.43.10	6	3.2	565371,146	4540185,402	68.082	0.018	0.031	2.038
P102	15.44.20	6	3.2	565371,142	4540185,413	68.084	0.018	0.031	2.038
P102	15.45.10	6	3.2	565371,148	4540185,408	68.093	0.018	0.031	2.038
P101	15.48.00	6	3.5	565417,266	4540229,215	60.715	0.018	0.034	2.038
P101	15.49.00	6	3.5	565417,261	4540229,204	60.718	0.018	0.034	2.038
P101	15.50.10	6	3.5	565417,271	4540229,211	60.707	0.018	0.034	2.038
P106	15.57.00	8	1.7	565199,264	4540465,861	66.248	0.010	0.015	2.038
P106	15.58.30	8	1.7	565199,267	4540465,861	66.260	0.010	0.015	2.038
P106	15.59.40	8	1.7	565199,268	4540465,86	66.259	0.010	0.015	2.038
P107	16.18.30	5	3.2	565227,684	4540508,598	62,352	0,022	0,026	2,038
P107	16.19.30	5	3.2	565227,688	4540508,594	62,360	0,022	0,026	2,038
P107	16.21.20	6	2.1	565227,692	4540508,596	62.348	0.013	0.014	2.038
P108	16.27.30	7	2.1	565079,443	4540622,663	67.506	0.013	0.018	2.038
P108	16.28.30	7	2.0	565079,452	4540622,674	67.507	0.013	0.018	2.038
P108	16.30.00	7	2.0	565079,452	4540622,665	67.497	0.013	0.018	2.038
P109	16.36.30	7	2.1	564931,563	4540702,453	70.275	0.014	0.019	2.038
P109	16.37.30	7	2.1	564931,568	4540702,458	70.277	0.014	0.019	2.038
P109	16.38.10	7	2.1	564931,559	4540702,453	70.275	0.014	0.019	2.038
P115	16.42.20	7	2.1	565029,319	4540807,553	62.696	0.015	0.019	2.038
P115	16.43.15	7	2.1	565029,31	4540807,549	62.697	0.015	0.019	2.038
P115	16.44.00	8	1.6	565029,317	4540807,547	62.703	0.015	0.019	2.038
P116	16.50.50	6	2.5	565162,921	4540686,101	56.668	0.017	0.022	2.038
P116	16.51.50	6	2.6	565162,921	4540686,102	56.676	0.017	0.022	2.038
P116	16.52.40	6	2.6	565162,938	4540686,106	56.673	0.017	0.023	2.038

Tablo 12. Farklı günde ve aynı uydu dağılımında belirlenen koordinatların farkları

Nokta No	I. Periyot				II. Periyot				Farklar		
	Kayıt Zamanı	Y (m)	X (m)	Z (m)	Kayıt Zamanı	Y (m)	X (m)	Z (m)	DY (m)	DX (m)	DZ (m)
0N10	15.33.30	565222,606	4540436,781	66,045	15.29.30	565222,603	4540436,782	66,022	0,003	-0,001	0,023
0N10	15.35.00	565222,614	4540436,783	66,050	15.31.00	565222,607	4540436,784	66,027	0,007	-0,001	0,023
0N10	15.36.00	565222,609	4540436,786	66,044	15.32.00	565222,604	4540436,788	66,039	0,005	-0,002	0,005
P104	15.40.00	565227,432	4540334,166	66,303	15.36.00	565277,435	4540334,168	66,306	-0,003	-0,002	-0,003
P104	15.41.10	565277,446	4540334,188	66,329	15.37.10	565277,432	4540334,181	66,307	0,014	0,007	0,022
P104	15.42.00	565277,439	4540334,173	66,313	15.38.00	565277,429	4540334,173	66,310	0,010	0,000	0,003
P102	15.47.10	565371,128	4540185,383	68,088	15.43.10	565371,146	4540185,402	68,082	-0,018	-0,019	0,006
P102	15.48.20	565371,141	4540185,372	68,097	15.44.20	565371,142	4540185,413	68,084	-0,001	-0,041	0,013
P102	15.49.10	565371,131	4540185,378	68,081	15.45.10	565371,148	4540185,408	68,093	-0,017	-0,030	-0,012
P101	15.52.00	565417,264	4540229,198	60,712	15.48.00	565417,266	4540229,215	60,715	-0,002	-0,017	-0,003
P101	15.53.00	565417,258	4540229,202	60,725	15.49.00	565417,261	4540229,204	60,718	-0,003	-0,002	0,007
P101	15.54.10	565417,262	4540229,194	60,698	15.50.10	565417,271	4540229,211	60,707	-0,009	-0,017	-0,009
P106	16.01.00	565199,263	4540465,861	66,245	15.57.00	565199,264	4540465,861	66,248	-0,001	0,000	-0,003
P106	16.02.30	565199,261	4540465,861	66,256	15.58.30	565199,267	4540465,861	66,260	-0,006	0,000	-0,004
P106	16.03.40	565199,264	4540465,856	66,250	15.59.40	565199,268	4540465,86	66,259	-0,004	-0,004	-0,009
P107	16.22.30	565227,694	4540508,596	62,361	16.18.30	565227,684	4540508,598	62,352	0,010	-0,002	0,009
P107	16.23.30	565227,684	4540508,594	62,349	16.19.30	565227,688	4540508,594	62,360	-0,004	0,000	-0,011
P107	16.25.20	565227,685	4540508,590	62,373	16.21.20	565227,692	4540508,596	62,348	-0,007	-0,006	0,025
P108	16.31.30	565079,436	4540622,667	67,504	16.27.30	565079,443	4540622,663	67,506	-0,007	0,004	-0,002
P108	16.32.30	565079,446	4540622,672	67,507	16.28.30	565079,452	4540622,674	67,507	-0,006	-0,002	0,000
P108	16.34.00	565079,460	4540622,674	67,497	16.30.00	565079,452	4540622,665	67,497	0,008	0,009	0,000
P109	16.40.30	564931,558	4540702,460	70,261	16.36.30	564931,563	4540702,453	70,275	-0,005	0,007	-0,014
P109	16.41.30	564931,563	4540702,467	70,274	16.37.30	564931,568	4540702,458	70,277	-0,005	0,009	-0,003
P109	16.42.10	564931,561	4540702,466	70,266	16.38.10	564931,559	4540702,453	70,275	0,002	0,013	-0,009
P115	16.46.20	565029,322	4540807,544	62,695	16.42.20	565029,319	4540807,553	62,696	0,003	-0,009	-0,001
P115	16.47.15	565029,315	4540807,529	62,685	16.43.15	565029,31	4540807,549	62,697	0,005	-0,020	-0,012
P115	16.48.00	565029,309	4540807,542	62,694	16.44.00	565029,317	4540807,547	62,703	-0,008	-0,005	-0,009
P116	16.54.50	565162,913	4540686,100	56,670	16.50.50	565162,921	4540686,101	56,668	-0,008	-0,001	0,002
P116	16.55.50	565162,921	4540686,106	56,671	16.51.50	565162,921	4540686,102	56,676	0,000	0,004	-0,005
P116	16.56.40	565162,925	4540686,104	56,669	16.52.40	565162,938	4540686,106	56,673	-0,013	-0,002	-0,004

2.2.2.3. Referans Noktası değiştirilerek Aynı Noktaların Alımının Yapılması

GZK GPS ölçü yönteminin duyarlılığını ve güvenilirliğini test edebilmek amacıyla yapılan deneylerden bir tanesi de kullanılan referans noktasının değiştirilmesidir. İlk periyot ölçülerde kullanılan 0N61 noktası çalışma bölgesinin yaklaşık olarak merkezinde yer almaktadır. Bu nedenle referans alıcı ile gezici alıcı arası mesafeler çok fazla değildir. Hem farklı referans nokta kullanıldığında hassasiyetin ne kadar değiştiğini ölçebilmek, hem de yeni seçilen referans noktasının çalışma bölgesinin kenarında seçilmesi suretiyle hassasiyetin aksi istikametteki sınır noktalarında ne kadar değiştiğini gözlemleyebilmek amacıyla böyle bir uygulama yapılmıştır. Bu nedenle ikinci referans nokta olarak uygulama bölgesinin en batısında yer alan P 115 noktası kullanılmıştır.

Tablo 13. 0N61 noktası referans alınan ölçüler

Nokta No	Uydu Sayısı	PDOP	Y (m)	X (m)	Z (m)	HRMS (m)	VRMS (m)	Anten Y. (m)
6	7	2,6	564979,035	4540759,037	66,588	0,02	0,026	2,038
5	7	2,5	564991,727	4540755,911	66,615	0,012	0,026	2,038
30	7	3,0	565019,417	4540706,279	66,994	0,015	0,03	2,038
3	7	2,5	565015,524	4540778,352	64,714	0,012	0,026	2,038
22	8	1,9	565039,337	4540785,188	63,305	0,011	0,018	2,038
28	7	2,0	565064,791	4540765,388	61,392	0,012	0,019	2,038
38	6	2,3	565106,171	4540737,737	58,89	0,016	0,021	2,038
52	6	2,0	565154,578	4540694,181	56,856	0,013	0,019	2,038
53	6	2,1	565132,063	4540715,244	57,528	0,013	0,019	2,038
70	5	4,0	565175,096	4540678,443	55,348	0,013	0,017	2,038
69	5	3,9	565175,148	4540673,064	56,081	0,026	0,036	2,038
83	7	2,3	565255,493	4540582,993	49,623	0,013	0,021	2,038
103	7	2,3	565307,669	4540550,974	46,479	0,014	0,02	2,038
112	8	2,1	565345,966	4540516,123	43,882	0,014	0,018	2,038
138	6	2,6	565389,435	4540512,398	41,593	0,014	0,025	2,038
139	7	2,6	565397,653	4540512,411	41,117	0,012	0,025	2,038
148	7	2,5	565480,930	4540448,006	42,207	0,012	0,025	2,038
191	7	2,5	565497,136	4540436,830	42,424	0,012	0,025	2,038
156	6	3,1	565438,547	4540413,828	51,320	0,018	0,028	2,038
175	5	4,2	565424,968	4540340,411	57,462	0,016	0,043	2,038
172	5	4,1	565396,428	4540301,631	58,885	0,015	0,041	2,038
P101	7	2,3	565417,273	4540229,204	60,709	0,012	0,023	2,038
P102	8	2,0	565371,141	4540185,400	68,063	0,011	0,019	2,038
P104	8	2,0	565277,429	4540334,137	66,326	0,011	0,018	2,038
119	7	2,3	565284,774	4540364,958	65,912	0,011	0,022	2,038
88	6	2,9	565229,520	4540439,729	65,864	0,015	0,027	2,038
91	7	1,9	565201,989	4540472,840	66,201	0,011	0,017	2,038
P106	6	2,9	565199,301	4540465,874	66,243	0,015	0,027	2,038

N61 noktası referans alınmak suretiyle GZK GPS ile koordinatları belirlenen noktalar Tablo 13' de verilmiştir. Aynı noktaların koordinatları bir de P115 noktası referans kullanılmak suretiyle belirlenmiştir. P115 noktası referans alınarak belirlenen koordinatlar da Tablo 14' te verilmiştir.

Son olarak Tablo 15' te bu iki farklı referans noktadan belirlenen koordinatların farkları alınmıştır.

Tablo 14. P115 noktası referans alınan ölçüler

Nokta No	Uydu Sayısı	PDOP	Y (m)	X (m)	Z (m)	HRMS (m)	VRMS (m)	Anten Y. (m)
6	6	2,6	564979,048	4540759,071	66,542	0,013	0,024	2,038
5	7	2,4	564991,728	4540755,952	66,567	0,013	0,022	2,038
30	5	2,9	565019,428	4540706,341	66,972	0,014	0,028	2,038
3	5	2,9	565015,554	4540778,353	64,707	0,014	0,028	2,038
22	6	2,2	565039,323	4540785,176	63,296	0,012	0,020	2,038
28	7	1,8	565064,785	4540765,405	61,388	0,011	0,016	2,038
38	7	2,8	565106,190	4540737,758	58,874	0,028	0,047	2,038
52	7	2,5	565154,594	4540694,195	56,848	0,018	0,020	2,038
*53	8	1,9	565132,154	4540715,172	57,750	0,096	0,196	2,038
69	5	2,9	565175,168	4540673,092	56,115	0,018	0,026	2,038
*70	8	2,0	565175,002	4540678,362	55,480	0,504	0,506	2,038
83	6	3,0	565255,478	4540583,021	49,612	0,023	0,024	2,038
103	5	2,6	565307,665	4540551,015	46,508	0,025	0,027	2,038
112	6	3,1	565345,976	4540516,122	43,816	0,025	0,024	2,038
138	7	2,5	565389,451	4540512,42	41,593	0,02	0,022	2,038
139	6	3,1	565397,702	4540512,4	41,139	0,022	0,022	2,038
148	7	2,1	565480,927	4540448,025	42,194	0,014	0,021	2,038
191	8	2	565497,143	4540436,847	42,401	0,014	0,021	2,038
156	8	2	565438,524	4540413,872	51,330	0,013	0,02	2,038
175	7	2,9	565424,968	4540340,457	57,415	0,018	0,032	2,038
172	6	3,4	565396,389	4540301,597	58,844	0,026	0,03	2,038
P101	7	2,9	565417,322	4540229,237	60,724	0,018	0,029	2,038
P102	5	3,8	565371,175	4540185,413	68,078	0,02	0,04	2,038
P104	7	2,9	565277,454	4540334,198	66,290	0,04	0,034	2,038
119	6	3,1	565284,789	4540364,951	65,900	0,019	0,03	2,038
88	8	3,8	565229,491	4540439,739	65,883	0,021	0,041	2,038
91	6	3,1	565202,006	4540472,872	66,159	0,02	0,029	2,038
P106	6	3,1	565199,294	4540465,909	66,250	0,02	0,029	2,038

Tablo 15. İki farklı referans noktasına ait ölçülerin karşılaştırılması

I. PERİYOT				II. PERİYOT			DY (m)	DX (m)	DZ (m)
N.N.	Y (m)	X (m)	Z (m)	Y (m)	X (m)	Z (m)			
6	564979,035	4540759,037	66,588	564979,048	4540759,071	66,542	-0,013	-0,034	0,046
5	564991,727	4540755,911	66,615	564991,728	4540755,952	66,567	-0,001	-0,041	0,048
30	565019,417	4540706,279	66,994	565019,428	4540706,341	66,972	-0,011	-0,062	0,022
3	565015,524	4540778,352	64,714	565015,554	4540778,353	64,707	-0,030	-0,001	0,007
22	565039,337	4540785,188	63,305	565039,323	4540785,176	63,296	0,014	0,012	0,009
28	565064,791	4540765,388	61,392	565064,785	4540765,405	61,388	0,006	-0,017	0,004
38	565106,171	4540737,737	58,890	565106,190	4540737,758	58,874	-0,019	-0,021	0,016
52	565154,578	4540694,181	56,856	565154,594	4540694,195	56,848	-0,016	-0,014	0,008
*53	565132,063	4540715,244	57,528	565132,154	4540715,172	57,750	-0,091	0,072	-0,222
69	565175,148	4540673,064	56,081	565175,168	4540673,092	56,115	-0,020	-0,028	-0,034
*70	565175,096	4540678,443	55,348	565175,002	4540678,362	55,480	0,094	0,081	-0,132
83	565255,493	4540582,993	49,623	565255,478	4540583,021	49,612	0,015	-0,028	0,011
103	565307,669	4540550,974	46,479	565307,665	4540551,015	46,508	0,004	-0,041	-0,029
112	565345,966	4540516,123	43,882	565345,976	4540516,122	43,816	-0,010	0,001	0,066
138	565389,435	4540512,398	41,593	565389,451	4540512,420	41,593	-0,016	-0,022	0,000
139	565397,653	4540512,411	41,117	565397,702	4540512,400	41,139	-0,049	0,011	-0,022
148	565480,930	4540448,006	42,207	565480,927	4540448,025	42,194	0,003	-0,019	0,013
191	565497,136	4540436,830	42,424	565497,143	4540436,847	42,401	-0,007	-0,017	0,023
156	565438,547	4540413,828	51,320	565438,524	4540413,872	51,330	0,023	-0,044	-0,010
175	565424,968	4540340,411	57,462	565424,968	4540340,457	57,415	0,000	-0,046	0,047
172	565396,428	4540301,631	58,885	565396,389	4540301,597	58,844	0,039	0,034	0,041
P101	565417,273	4540229,204	60,709	565417,322	4540229,237	60,724	-0,049	-0,033	-0,015
P102	565371,141	4540185,400	68,063	565371,175	4540185,413	68,078	-0,034	-0,013	-0,015
P104	565277,429	4540334,137	66,326	565277,454	4540334,198	66,290	-0,025	-0,061	0,036
119	565284,774	4540364,958	65,912	565284,789	4540364,951	65,900	-0,015	0,007	0,012
88	565229,520	4540439,729	65,864	565229,491	4540439,739	65,883	0,029	-0,01	-0,019
91	565201,989	4540472,840	66,201	565202,006	4540472,872	66,159	-0,017	-0,032	0,042
P106	565199,301	4540465,874	66,243	565199,294	4540465,909	66,250	0,007	-0,035	-0,007

2.2.3. GZK GPS Ölçü Yönteminin Statik GPS ile Test Edilmesi

GZK GPS ölçü yönteminin duyarlılığının ve güvenilirliğinin test edilmesi amacıyla yöntemin statik GPS ile karşılaştırılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla statik GPS yöntemi ile koordinatları hesaplanan poligon noktalarına bir de GZK GPS ile koordinat verilmiştir. Poligonlara ait statik GPS koordinatları Tablo 16’ da, GZK GPS koordinatları ise Tablo 17’ de verilmiştir. Ayrıca Tablo 18’ de her iki yöntem ile hesaplanan koordinatların farkı alınmak suretiyle GZK GPS ile hesaplanan koordinatların statik GPS’ ten olan farkları hesaplanmıştır.

Tablo 16. Statik GPS koordinatları

STATİK GPS KOORDİNATLARI			
Nokta No	Y (m)	X (m)	Z (m)
ON10	565222,596	4540436,796	66,110
P101	565417,287	4540229,200	60,751
P102	565371,159	4540185,380	68,081
P104	565277,455	4540334,149	66,381
P106	565199,269	4540465,889	66,350
P107	565227,715	4540508,604	62,448
P108	565079,449	4540622,695	67,565
P109	564931,558	4540702,449	70,407
P115	565029,300	4540807,552	62,807
P116	565162,931	4540686,095	57,792

Tablo 17. GZK GPS koordinatları

GZK GPS KOORDİNATLARI			
Nokta No	Y (m)	X (m)	Z (m)
ON10	565222,610	4540436,783	66,046
P101	565417,261	4540229,198	60,712
P102	565371,133	4540185,378	68,089
P104	565277,439	4540334,176	66,315
P106	565199,263	4540465,859	66,250
P107	565227,688	4540508,593	62,361
P108	565079,447	4540622,671	67,503
P109	564931,561	4540702,464	70,267
P115	565029,315	4540807,538	62,691
P116	565162,920	4540686,103	56,670

Tablo 18. Statik GPS ile GZK GPS' in karşılaştırılması

Nokta No	Referans Noktadan Uzaklık (m)	STATİK GPS KOORDİNATLARI			GZK GPS KOORDİNATLARI			FARKLAR		
		Y (m)	X (m)	Z (m)	Y (m)	X (m)	Z (m)	DY (m)	DX (m)	DZ (m)
0N10	59,87	565222,596	4540436,796	66,110	565222,610	4540436,783	66,046	-0,014	0,013	0,064
P107	76,21	565227,715	4540508,604	62,448	565227,688	4540508,593	62,361	0,027	0,011	0,087
P106	81,85	565199,269	4540465,889	66,350	565199,263	4540465,859	66,250	0,006	0,030	0,100
P104	119,18	565277,455	4540334,149	66,381	565277,439	4540334,176	66,315	0,016	-0,027	0,066
P116	260,65	565162,931	4540686,095	57,792	565162,920	4540686,103	56,670	0,011	-0,008	1,122
P108	262,63	565079,449	4540622,695	67,565	565079,447	4540622,671	67,503	0,002	0,024	0,062
P101	262,73	565417,287	4540229,200	60,751	565417,261	4540229,198	60,712	0,026	0,002	0,039
P102	282,95	565371,159	4540185,380	68,081	565371,133	4540185,378	68,089	0,026	0,002	-0,008
P109	428,47	564931,558	4540702,449	70,407	564931,561	4540702,464	70,267	-0,003	-0,015	0,140
P115	434,07	565029,300	4540807,552	62,807	565029,315	4540807,538	62,691	-0,015	0,014	0,116

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. GZK GPS'in Statik GPS ile Karşılaştırılması Testi ile İlgili Bulgular

Tablo 5' den de görüldüğü üzere zeminde işaretli noktaların her iki ölçme yöntemi ile hesaplanan koordinatları arasında yatayda maksimum ± 5.9 cm. düşeyde ise maksimum ± 8.4 cm. farklılık görülmektedir. İki farklı sistem arasında bu seviyede bir farklılık oluşması gayet normal kabul edilmelidir. Çünkü yersel yöntemle aynı noktanın farklı günlerde veya farklı poligon noktaları kullanarak alımında da bu seviyede farklar oluşabilmektedir. Ayrıca hem yersel hem de GPS ile röleve alımı sırasında jalonların çok hassas bir şekilde düzeçlenememesi de bu seviyede bir hataya sebep olabilmektedir.

Elektronik takeometre ile kutupsal koordinat yönteminin hassasiyeti ;

$$m_k^2 = S^2 \frac{m_\phi^2}{\rho^2} + m_s^2 \quad (28)$$

formülüyle bulunur [34]. Formülde;

m_k = Kutupsal koordinat yöntemiyle yapılan aplikasyonun konum hassasiyeti,

m_ϕ = Elektronik takeometrenin açı okuma hassasiyeti, m_s = elektronik takeometrenin kenar okuma hassasiyetidir.

200 metre uzaklıkta bir noktanın kutupsal koordinat yöntemine göre applike edildiği düşünülürse bu formüle göre konum hassasiyetinin ± 5 mm. olduğu görülür. Burada $m_\phi = 5''$, $m_s = 5$ mm. ($5\text{mm} + S_{\text{km}} \cdot 10^{-6}$) alınmıştır. Bu değer S mesafesi arttıkça daha da büyüyecektir. GZK GPS 'de; referans noktası ile gezici nokta arasındaki mesafe >500 m, DOP durumu 2'nin altında ve ölçüm anında uydu sayısı 6 ve üzeri ise konum hassasiyetinin 2-3 santimetrenin altında kaldığı görülür [35]. Kutupsal aplikasyonda ise 500 metre için bu değer hesaplanırsa 7 milimetre olarak bulunur.

Bu yapılan test neticesinde klasik yersel metotların konum hassasiyeti göz önüne alındığında, GZK GPS yönteminin konum hassasiyetinin yersel yöntemlerinki kadar hassas olmasa da aplikasyon ve detay alımı çalışmaları için yeterli olduğu, hız, zaman ve

ekonomiklik açısından karşılaştırıldığında ise yersel metotlara göre büyük üstünlükler sağladığı görülmüştür.

Ayrıca yukarıda bahsedilen testten ayrı olarak GZK GPS yöntemi ile klasik yersel yöntemi hız ve ekonomiklik açısından kıyaslayabilmek amacıyla arazi çalışmaları sırasında bazı notlar alınmış ve bu sayede bazı yargılara varılmıştır:

Uygulama bölgesindeki noktaların yersel aplikasyonu ve detay alımı sırasında çeşitli sıkıntılarla karşılaşmıştır. Mesela bazı durumlarda bir poligon noktasına alet kurularak en fazla iki-üç noktanın aplikasyonu yapılabilmektedir. Bunun sebebi klasik yersel sistemde noktalar arası görüş zorunluluğunun olmasıdır. Bu nedenle devamlı olarak başka poligon noktalarına ihtiyaç duyulmuş bu da çok fazla zaman kaybına sebep olmuştur. Mesela bu çalışmalar sırasında çalışma bölgesine homojen bir şekilde dağılmış 37 adet noktanın yersel aplikasyonu toplam 10 saatte yapılabilmektedir. Bu noktalar Tablo 3’de verilen noktalar olmayıp sadece yersel aplikasyonun zaman analizi için kullanılmış başka noktalardır. Bu noktalarda hassasiyet araştırması yapılmayıp sadece aplikasyonun toplam kaç saat sürdüğü hesaplandığı için noktalar ve isimleri burada verilmemiştir. Bu nedenle bu noktalar Tablo 3’de verilen noktalarla karıştırılmamalıdır. Buradan basit bir hesapla yersel olarak bir noktanın aplikasyonu yaklaşık 16 dakika sürmüştür. Sürenin bu kadar uzun çıkmasının sebebi 37 noktanın arazi şartları nedeniyle ancak 9 farklı poligona alet kurularak applike edilebilmesidir.

Uygulama bölgesi içerisindeki 180 adet nokta ise GZK GPS metodu kullanılarak toplam 9 saatte applike edilebilmiştir. Bu bir noktanın 3 dakikada applike edilebilmesi demektir. Tüm aplikasyon çalışması yalnızca bir tane referans nokta kullanılarak yapılmıştır. Aynı şekilde bu 180 nokta, GZK GPS metodunun aplikasyon hızını test etmek ve daha sonra diğer testlerde kullanılmak üzere zemine işaretlemek amacıyla aplikasyonu yapılan noktalardır. Bu 180 noktanın GZK GPS ile aplikasyonu sırasında yine hassasiyet araştırması yapılmamış olup yalnızca aplikasyonun kaç saat sürdüğü ölçülmüştür. Her iki yöntem için yapılan zaman hesaplarında arazide noktalar arası seyahat süreleri de dikkate alınmıştır. Buradan da açık bir şekilde görülmektedir ki GZK GPS yöntemi yersel sonuçlara göre çok daha hızlı sonuç vermektedir. Ayrıca GZK GPS metodunda noktaların birbirini görme zorunluluğu yoktur ve kullanılan radyo vericisinin gücüne bağlı olarak bir referans noktasından yaklaşık 5 kilometrelik bir çember içerisindeki tüm noktalar applike edilebilmektedir. Bu da daha az poligon noktası, dolayısıyla daha az nokta tesis masrafı demektir.

Ayrıca yüksek lisans çalışması boyunca GZK GPS ile yapılan tüm aplikasyon ve detay alımı çalışmaları tek kişi tarafından yapılmıştır. Halbuki yersel sistem, birisi alet operatörü ve diğeri de reflektörcü olmak üzere minimum iki kişiye ihtiyaç duymaktadır.

Ayrıca uygulamalar esnasında sistemin her türlü hava şartında ve günün 24 saatinde çalışabilmesi nedeniyle GZK GPS ile gece de çalışma imkanı bulunmuştur. Yersel metotlar düşünüldüğünde gece çalışılması çok büyük zorluklara sebebiyet vermektedir.

Yukarıda bahsedilen tüm bu avantajlar göz önüne alındığında GZK GPS yönteminin maliyet açısından klasik sistemlere üstünlük sağladığı söylenebilir. Çünkü projeler ne kadar kısa sürede ve ne kadar az iş gücü kullanarak bitirilirse o kadar ekonomik olur.

Fakat GZK GPS yönteminin yersel yöntemlere göre bazı dezavantajları da vardır. Sistemin gökyüzünü görme zorunluluğu nedeniyle çok sık ağaçlık alanlarda ve binaların aralarında çalışmama ihtimali bulunmaktadır. Bu gibi durumlarda GZK GPS yöntemi ile aplikasyon ve detay alımı mümkün olmamaktadır. Mesela sayısallaştırılan 202 adet ada köşe noktasından 22 tanesi çok sık ağaçlık alanlara düştüğü için applike edilememiştir. Bu şekilde bir problemle karşılaşıldığında applike edilemeyen veya alımı yapılamayan noktalar GZK GPS ile koordinat verilen iki nokta poligon olarak kullanılarak yersel yöntemlerle bütünlenebilir. Veya bu noktaların alımı merkez dışı GPS yöntemleri kullanılarak yapılabilir. Bu şekilde bir çözüm yalnız başına yersel yöntemden yine hızlı ve pratik olacaktır.

3.2. GZK GPS'in Kendi İçerisinde Test Edilmesi ile ilgili Bulgular

3.2.1. Farklı Zaman ve Farklı Uydu Dağılımı Testi

Farklı zamanda ve farklı uydu dağılımında aynı noktaların alımlarının yapılarak farklarının sunulduğu Tablo 8'den de görüleceği üzere iki farklı periyot arasındaki maksimum koordinat farkı yatayda 5.5 cm. düşeyde ise 5.7 cm. dir. Fakat tablonun geneli incelendiğinde farklı günde ve farklı uydu dağılımında yapılan GZK GPS ölçülerinin hassasiyetlerinin literatürde bahsedilen 2-3 cm. nin içerisinde kaldığı görülmektedir.

3.2.2. Farklı Gün ve Aynı Uydu Dağılımı Testi

Tablo 10 ve Tablo 11'den açık bir şekilde görülmektedir ki ölçüler, farklı günde yapılmış olsa dahi her gün için oluşan 4 dakikalık zaman farkı dikkate alındığı takdirde aynı uydu sayısı ve uydu dağılımı yakalanabilmektedir. Bu uygulamada yalnızca P116 ve P109 nolu noktaların alımı yapılırken uydu sayısı ve PDOP' da küçük bazı değişiklikler gözlenmiştir. Bunun dışındaki tüm noktalarda uydu sayıları ve PDOP değerleri bir önceki gün ki değerlerin aynısı olmuştur. Tablo 12'de de görüldüğü gibi farklı günde aynı uydu dağılımı yakalandığı takdirde ölçülerin konum duyarlıkları neredeyse aynı değerde olmaktadır. Koordinatların genelindeki mm. mertebesindeki değişiklikler kayıt esnasında jalonun tam düzeçlenememesinden ve jalonun çok az da olsa sallanmasına engel olunamamasından kaynaklanmıştır. Aynı uydu sayısı ve aynı uydu dağılımında yatay konum duyarlılığı (HRMS) ve düşey konum duyarlı (VRMS) değerleri de hemen hemen aynı değeri almaktadır. Bu testte bir nokta üzerinde yaklaşık birer dakika arayla üçer alım yapılmasının sebebi, ertesi gün aynı nokta üzerine giderken herhangi bir aksaklık nedeniyle 4 dakika daha önce nokta üzerine ulaşamaması durumunda, iki farklı periyodu karşılaştırabilmek için yine de en az bir ölçü alabilme şansının olabilmesidir. Fakat bu testte kullanılan noktalar üzerine, bir sonraki gün hiçbir gecikme olmadan ulaşıldığı için ikinci periyotta her noktada üçer kayıt alınabilmektedir. Buradan da anlaşılmaktadır ki GZK GPS ölçü yönteminin konum duyarlılığı uyduların dağılımlarıyla doğrudan ilişkilidir. Sistem aynı uydu dağılımı ve uydu sayısı sağlandığı takdirde aynı konum duyarlıklarını verebilmektedir.

3.2.3. Farklı Referans Noktası Testi

İki farklı referans noktadan koordinatları belirlenen noktalara ait koordinat farklarının verildiği Tablo 14 incelendiğinde 30 ve P104 nolu noktaların DX değerinde 6.2 ve 6.1 cm., 112 nolu noktanın DZ değerinde ise 6.6 cm. fark çıkmıştır. Fakat diğer bütün noktalar incelendiğinde kik farklı referans noktadan yapılan detay alımlarının yaklaşık 3-4 cm. civarında olduğu gözlemlenmiştir. Hatanın bazı noktalarda fazla çıkmasının sebebi ölçülerin farklı uydu dağılımında yapılması ve alım esnasında jalonun tam düzeçli hale getirilememesidir.

Yapılan bu test ile referans nokta olarak kullanılan poligon veya nirengi noktalarının koordinatları kendi içerisinde güvenilir ise, GZK GPS ile bir noktanın farklı iki referans noktadan aplikasyonunun veya alımının 3-4 cm. lik konum hassasiyeti ile yapılabileceği görülmüştür. Baş tarafına * konulmuş olan 53 ve 70 nolu noktaların alımı sistem Float çözüm halindeyken yapılmıştır. Tablo 14'den de görülebileceği gibi bu noktaların yatay ve düşey konum bulma duyarlıklarını gösteren HRMS ve VRMS değerleri de yüksek çıkmıştır. Bu nedenle Tablo 15'de bu noktalara ait iki farklı periyot ölçüler arasındaki farklar yarım metreye kadar çıkabilmiştir. Bu nedenle Float çözüm anında sistem N sayısını belirleyerek Fix hale dönmedikçe aplikasyon ya da detay alımı yapılmamalıdır.

3.3. GZK GPS'in Statik GPS ile Karşılaştırılması Testi ile İlgili Bulgular

Tablo 18' de görülmektedir ki statik GPS koordinatları ile GZK GPS koordinatları arasındaki fark birkaç cm. yi geçmemektedir. Bu da GZK GPS' in konum hassasiyetini ortaya koymaktadır.

Bu testten elde edilen sonuçlar göstermektedir ki GZK GPS 2-3 cm. hassasiyette konum bilgisinin yeterli olduğu her türlü jeodezik uygulamada rahatlıkla kullanılabilir. Referans alıcıdan uzaklaştıkça veri iletiminde oluşacak gecikmeden dolayı GZK GPS' in konum hassasiyetinin düşeceği kaynaklarda belirtilmektedir [35]. Elbette ki bu, kullanılan radyo vericisinin gücü ve menzili ile de orantılıdır. Bu sebepten dolayı GZK GPS ile aplikasyon veya detay alımı yaparken referans noktadan çok fazla uzaklaşılmalı, nokta eğer referans noktadan çok uzaksa daha yakında uygun bir nokta referans nokta olarak kullanılmalıdır.

Fakat bu uygulamada aplikasyonu veya alımı yapılacak noktaların referans noktadan olan uzaklıkları maksimum 434m. ile sınırlı olduğu için referans noktadan uzaklaşıldıkça hassasiyetin ne kadar düştüğü tespit edilememiştir.

Ayrıca statik GPS ile koordinatları hesaplanan noktalara ait yükseklikler çok güvenilir olmadığı için DZ farkları DY ve DX farklarına oranla yüksek çıkmıştır. Bunda statik GPS ile ölçüleri yapılan nirengi ve poligon ağına ait noktalara koordinat verirken, dönüşümde kullanılan ortak noktaların ortometrik yüksekliklerin sağlıklı olmaması etkili olmuştur. GZK GPS' in kendi içerisinde test edilmesine yönelik yapılan testlere bakıldığında hesaplanan yükseklik farklarının kendi içerisinde tutarlı ve küçük değerler olduğu

görülmektedir. Ayrıca GPS' in elipsoidal yükseklik kullanması nedeniyle ortometrik yüksekliklere geçilirken bir miktar hata yapılmaktadır. Bu nedenle zaten GPS ile yükseklikler (X,Y) 'ye oranla yaklaşık iki kat daha kötü belirlenebilmektedir.



4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu yüksek lisans çalışmasında GZK GPS metodunun hassasiyetini, hızını ve güvenilirliğini araştırmak için çeşitli testler yapılmıştır. Yapılan bu testler, GZK GPS metodunun klasik yersel yöntemler ile karşılaştırılması, yöntemin kendi içerisinde test edilmesi ve GZK GPS'in statik GPS ile test edilmesi olmak üzere üç ana başlık altında yapılmıştır.

GZK GPS yönteminin klasik yersel sistemle karşılaştırılması amacıyla oluşturulan uygulama alanına dağılmış 16 adet nokta hem elektronik takeometre ile hem de GZK GPS ile aplane edilerek arazide işaretlenmiştir. Daha sonra bu noktaların her iki yöntemle de alımı yapılmıştır. Elde edilen noktalar karşılaştırıldığında yatayda maksimum 5.9 cm. düşeyde ise maksimum 8.4 cm. farklılık oluşmuştur. Yapılan bu test ile GZK GPS'in en az yersel sistemler kadar hassas sonuç verdiği, yersel sistemlere oranla çok daha kullanışlı ve hızlı olduğu, ayrıca uzun vadede düşünüldüğünde yöntemin klasik yersel yöntemlere oranla çok daha ucuz olduğu sonucuna varılmıştır.

GZK GPS yönteminin kendi içerisinde test edilmesi amacıyla yapılan çalışmalar sonucunda uydu sayısının ve özellikle uyduların uzaydaki dağılımlarının ve DOP sayılarının konum hassasiyetini büyük oranda etkilediği görülmüştür. Çünkü aynı uydu dağılımında yapılan ölçülerin farkları mm. mertebesinde çıkmasına karşın farklı zamanda ve farklı uydu dağılımında yapılan ölçüler arası farklar yaklaşık 2-4 cm. mertebesinde olmaktadır. Ayrıca referans olarak kullanılan noktalar birbirleri ile tutarlı olduğu sürece bir noktanın değişik noktalar referans alınarak aplane edilmesi, konum hassasiyetini ancak GZK GPS' in sunabileceği hassasiyet mertebesinde etkilemektedir. Ayrıca sistem tam sayı faz belirsizliğini (N) hassas bir şekilde belirlemedikçe yani Fix çözüm sağlanmadıkça aplikasyon veya detay alımı yapılmamalıdır. Çünkü sistem Float çözüm halindeyken desimetreler mertebesinde konum hatası yapılabileceği görülmüştür. Ayrıca sistemin 2-3 cm. konum hassasiyetine ulaşp ulaşmadığı (bazen 4-5 cm. konum hassasiyeti elde edilebildiğinde de ekranda X işareti (Fix çözüm) belirebiliyor) Husky' nin ekranında verilen HRMS ve VRMS değerlerinden kontrol edilmelidir.

Yöntemin Statik GPS ile test edilmesi sonucunda GZK GPS' in çok hassas bir yöntem olan statik GPS' ten yatayda maksimum 3 cm. düşeyde ise maksimum 14 cm. farklı çıktığı görülmüştür. GZK GPS' in çok hassas kabul edilen statik GPS'den yatayda maksimumu 3 cm. farklı çıkması yöntemin 2-3 cm. hassasiyet isteyen uygulamalar için son

derece uygun ve güvenli olduğu, sonucuna varılmıştır. Yüksekliklerde oluşan ve 14 cm.'ye kadar varan farklılıklar referans olarak kullanılan noktanın yüksekliğinin hassas bir şekilde belirlenmemiş olmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü statik GPS ile koordinatları belirlenen noktalara ait elipsoid koordinatlar ülke sistemine dönüştürülürken kullanılan üç ortak noktanın ortometrik yükseklikleri çok güvenilir değildi. Bu olumsuz durum GZK GPS ile statik GPS arasında yükseklik açısından farklılık oluşmasına sebep olmuştur. Fakat GZK GPS ile bir noktanın defalarca yüksekliği belirlendiğinde 3-4 cm. seviyesinde aynı yükseklik değeri elde edilmektedir. Bu da sistemin kendi içerisinde güvenilir olduğunu göstermektedir.

Türkiye'de konuma dayalı bilgiye ihtiyaç duyan kamu ve özel sektörün en büyük sıkıntılarından birisi yeterli sayıda ve doğrulukta haritaların bulunmamasıdır. Bu nedenle Türkiye'de haritacılık ile ilgili bu problemin çözümünü bekleyen bir çok kurum vardır. Mesela henüz kadastro bitirilememiştir. Bu nedenle kadastronun sağlayacağı ekonomik ve sosyal faydalardan gereği gibi yararlanılamamaktadır. Aynı şekilde imar uygulama projeleri yapılırken veya halihazır harita üretilirken çok fazla vakit kaybedilmektedir. Yine bir kente ait bilgi sistemi oluşturma isteği yeterli sayıda ve istenilen hassasiyette altlık olmayışı nedeniyle hep ileri bir tarihe atılmaktadır. Tüm bu problemlerin çözümü hızlı ve doğru harita üretimi ile mümkündür.

Sonuç olarak GZK GPS metodu 2-3 cm. nin yeterli olacağı tüm haritacılık çalışmalarında yersel yöntemlerin yerine rahatlıkla kullanılabilir. Sağladığı hız ve kullanım kolaylığı nedeniyle, özellikle arazi yapısının müsaade ettiği durumlarda uzun yıllardır çözülemeyen bir problem olan kırsal kadastronun bitirilmesi için bir çözüm yolu olabilir. Aynı şekilde halihazır harita yapımı veya imar uygulama projeleri bu ölçme yöntemi ile çok daha ucuz ve çabuk bir şekilde bitirilebilir. Bu sayede CBS (Coğrafi Bilgi Sistemleri) uygulamaları için gerekli olan konuma dayalı bilgi üretimi de sağlanmış olur. Ayrıca yöntem tüm dünyada kullanılan, büyük mühendislik yapılarının inşaatında ve büyük iş makinelerinin uzaktan kumanda ile idare edilmesi gibi çok değişik alanlarda kullanılabilir.

Ayrıca GZK GPS metodunun ülkemizde özellikle haritacılık sektöründe yaygın bir şekilde kullanılır hale gelebilmesi için, bu ölçme yöntemi ile ilgili gerekli teknik şartname ve yönetmeliklerin bir an evvel düzenlenerek çıkartılması, böylece bu yöntemle yapılan projelerin ilgili kamu kurumları tarafından kabul edilir hale getirilmesi gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

1. Sickie, V.J., GPS for Land Surveyors, First Edition, Ann Arbor Press Inc., Michigan, 1996
2. Leick, A., DGPS and WADGPS, ACSM Bulletin Mart/Nisan 1995
3. <http://www.gisqatar.org.qa/conf97/links/b4.html>
4. Langley, R.B., RTK GPS, GPS World, Eylül 1998, Sayfa 70-76.
5. Diggelen, F., GPS and GPS+GLONASS RTK, ION-GPS 97, Kansas City, 1997.
6. Langley, R.B., GPS for Geodesy, Teunissen, P.J.G., Kleusberg, A., Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1998, Sayfa 115-121.
7. Leick, A., GPS Satellite Surveying, Second Edition, John Wiley and Sons Inc., New York, 1995.
8. Hofmann, W.B., Lichtenegger, H., Collins, J., Theory and Practice, Fourth Edition, Springer-Verlag, New York, 1997.
9. Teunissen, P.J.G., Kleusberg, A., GPS for Geodesy, Teunissen, P.J.G., Kleusberg, A., Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1998, Sayfa 188-194.
10. Karaali, C., Gökalp, E., GPS Gözlemleri, K.T.Ü. M.M.F. Araştırma Raporları, Fakülte Yayın no: 1994/2, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 1994.
11. Rizos, C., Han S., Status and Trends for High Precision GPS Kinematic Positioning, 9th Australasian Remote Sensing & Photogrammetry Conf., Sydney, Avustralya, 20-24 Temmuz, Bildiri No: 49, Sayfa 17.
12. Rizos, C., Han S., Comparing GPS Ambiguity Resolution Techniques, GPS World, October 1997, Sayfa 54-60.

13. http://www.osg.vic.gov.au/sbv_gps/SURVGPS.html
14. Neumann J.B., Van Dierendonck K.J., Manz A., Ford T.J., Real-Time Carrier Positioning Using the RTCM Standart Message Types 20/21 and 18/19, ION GPS, 1 Eylül, 1997, Volume 1, Sayfa 857-866.
15. Teunissen, P.J.G., GPS for Geodesy, Teunissen, P.J.G., Kleusberg, A., Second Edition, Springer-Verlag, Berlin, 1998, Sayfa 319-383.
16. Leick, A., On-The-Fly Ambiguity Fixixng, ACSM Bulletin Kasım/Aralık, 1995
17. Gökalp, E., Güngör, O., RTK (Real-Time Kinematic) GPS ve İmar Uygulamaları Çalışmalarında Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, K.T.Ü. M.M.F. Araştırma Raporları, Fakülte Yayın no: 27, K.T.Ü. Basımevi, Trabzon, 2000.
18. Lemmon T.R., Gerdan G.P., The Influence of the Number of Satallites on the Accuracy of RTK Positions, The Australian Surveyor, Volume 44, No.1, Haziran 1999, Sayfa 64-70.
19. Lewandowski, W., Azoubib J., GPS+GLONASS: Toward Subnanosecond Time Transfer, GPS World, Kasım 1998, Sayfa 30-38.
20. Leick, A., GLONASS Satallite Surveying, Journal of Surveying Engineering, Mayıs 1998, Sayfa 91-99.
21. Martin, W., Ladd, J., GPS+GLONASS Surveying Post-Processed and Real-Time Results, Ashtech Inc., www.ashtech.com.
22. Divis, D.A., Galileo: Contracts, Talks, and Opinions, GPS World, Şubat 2000, Sayfa10.
23. <http://www.navcen.uscg.mil/policy/dgps/rctm104>
24. Mansfield, C., Conversion Issues Confront GPS/GIS Users, GIS World, Şubat 1998, Sayfa 40.

25. Sumpter C.W., Asher G.W., Real-Time Kinematic GPS for Cadastral Surveys, ASPRS/ACSM Annual Convention, 1994.
26. Strang G., Borre K., Linear Algebra Geodesy and GPS, First Edition, Wellesley-Cambridge Press, USA 1997.
27. Brooke, C., Role of GPS in Cadastral Process, GIM International, Kasım 1998, Sayfa 85-87.
28. http://www.geoline.com/html/body_gps_construction.html
29. Hintzy, G., Noury, J.M., Pichot, C., Remote Machine Guidance by Real Time Kinematic GPS, GIM International, Mart 1999, Sayfa 28-31.
30. <http://www.denshi.tosho-u.ac.jp/paper-gps11.html>
31. <http://www.trimble.com/home/woolpert.htm>
32. <http://www.qid.net.au/gbr/northgroup/gps.htm>
33. Magellan Corporation, GPS FieldMate Operations and Reference Manual, U.S.A., Temmuz 1998.
34. TÜDEŞ, T., Aplikasyon, Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, Trabzon, 1995.
35. Gökalp, E., Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlarının Statik GPS İle Test Edilmesi, Harita Genel Komutanlığı Harita Dergisi, Sayı 122, Temmuz 1999.
36. French, G.T., Understanding the GPS, First Edition, GeoResearch Inc., U.S.A., 1996.
37. Uzel, T., Eren, K., GPS Ölçmeleri, YTÜ Matbaası, Yayın No:301, İstanbul, 1995.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Çorum'un Bayat ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Bayat'ta yaptı. Liseyi Ankara Anadolu Tapu ve Kadastro Lisesi'nde tamamladı. 1994 yılında yüksek öğrenimine başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden 1998 yılında Harita Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl içerisinde K.T.Ü. F.B.E.'ne bağlı Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Yüksek Lisans programına girerek K.T.Ü. F.B.E.'de Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen bu görevini sürdürmektedir.

