

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**İNTERNET VE GSM TEKNOLOJİLERİ KULLANILARAK
TEK SABİT REFERANS İSTASYONLU
RTK GPS TEKNİĞİNİN AÇIK ALANLARDA
UYGULANABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ**

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisi
M.Nurullah BAHŞI

FBE Harita (Jeodezi ve Fotogrametri) Mühendisliği Anabilim Dalı
Geomatik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. R.Gürsel HOŞBAŞ

İSTANBUL, 2010

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
KISALTMA LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
ÖNSÖZ	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1 GİRİŞ	1
2 UYDULARLA KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ	3
2.1 Genel	3
2.2 Uydu Bazlı Sistemler	6
2.2.1 Wass Sistemi	8
2.2.2 Egnos Sistemi	10
2.2.3 MSAS Sistemi	11
2.2.4 DGPS, Wass, Egnos, Msas Farkları	12
2.3 Yer Bazlı Sistemler	14
2.4 Yer Bazlı Bölgesel Sistemler	15
3 GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (RTK) GNSS	17
3.1 Genel	17
3.2 Klasik (Standart) RTK	18
3.3 Ağ Yapısında RTK (Ağ-RTK)	20
3.4 RTK Veri İletişimde Kullanılan Teknolojiler	26
4 UYDU YÖNTEMLERİ İLE KONUM BELİRLEMEDE HATA KAYNAKLARI	30
4.1 Modellenebilen Düzenli Hatalar	31
4.1.1 Uydu Kaynaklı Düzenli Hatalar	31
4.1.2 Alıcı Kaynaklı Düzenli Hatalar	33
4.1.3 Ölçü Kaynaklı Düzenli Hatalar	34
4.2 Modellenemeyen Düzenli Hatalar	36
5 UYGULAMA (TAVŞANLI RTK İSTASYONU)	38
5.1 Sistemin Tanıtılması	38
5.1.1 Tek Sabit Referans İstasyonu	40
5.1.2 Referans İstasyonunun Kurulması	42
5.2 Verilerin Elde Edilmesi	45
5.2.1 Ölçü Güzergahının Belirlenmesi ve Noktaların Tesisi	45

5.2.2	Ölçümlerin Yapılması.....	51
5.2.3	Uydu Geometri Analizleri	56
5.3	Verilerin Değerlendirilmesi ve İstatiksel Analizi	64
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	69
KAYNAKLAR.....		72
ÖZGEÇMİŞ.....		75

KISALTIMA LİSTESİ

AS	Anti Spoofing
BFB	Başlangıç Faz Belirsizliği
BE	Broadcast Ephemerdes
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CEBT	The European Conference of Postal and Telecommunications
CORS	Continuously Operating Reference Station
CORS-TR	Continuously Operating Reference Station-Turkey
DAP	Digital Audio Broadcasting
DGPS	Diferansiyel GPS
DOP	Dilution of Precision
EGNOS	European Geostationary Overlay Service
GAGAN	GPS Aided Geo Augmented Navigation System
GBAS	Ground Based Augmentation System
GLONASS	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GPRS	General Packet Radio Service
GRAS	Ground Based Regional Augmentation System
HTTP	The Hypertext Transfer Protocol
IGS	International GNSS Service
IP	Internet Protocol
RINEX	Receiver Independent Exchange Format
RMS	Root Mean Square
RTK	Real Time Kinematic
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High
WADGPS	Wide Area Augmentation System
WGS84	World Geodetic System, 1984

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	GNSS Konum Belirleme Yöntemleri.....	5
Şekil 2.2	Standart Navigasyon.....	6
Şekil 2.3	SBAS Sistem Yapısı.....	7
Şekil 2.4	Wass Yapısı.....	9
Şekil 2.5	Yer Sabit Yörüngede Inmarsat Uyduları.....	9
Şekil 2.6	Egnos Uydularının Konum ve Kapsama Alanları.....	11
Şekil 2.7	Wass Uydularının Konum ve Kapsama Alanları.	12
Şekil 2.8	GBAS Sistem Yapısı	14
Şekil 2.9	SBAS Sistem Yapısı.....	15
Şekil 2.10	GRAS Sistem Yapısı	16
Şekil 3.1	Tek Referans İstasyonundan olan Uzaklığa Bağlı Hata.....	19
Şekil 3.2	Ağ-RTK İş Akışı	22
Şekil 3.3	Atmosferik Etkilere İlişkin Ağ-RTK Düzeltmeleri Hesabı.....	23
Şekil 3.4	Düzeltmeler Gezen Alıcıda Hesaplanıyor.....	24
Şekil 3.5	Düzeltmeler Hesap Merkezinde Hesaplanıyor.....	24
Şekil 3.6	Küme RTK	25
Şekil 3.7	Simpleks Tekniği ile Veri İletişimi	28
Şekil 3.8	Dubleks Tekniği ile Veri İletişimi.....	28
Şekil 4.1	Bağıl Konum Belirleme Sonucunu Etkileyen Hata Kaynakları.....	30
Şekil 4.2	GPS Sinyallerinin Atmosferde İlerlediği Tabakalar	34
Şekil 5.1	Sabit İstasyon Ağları Tasarımı.	39
Şekil 5.2	Sabit Referans İstasyonu Ağı Tasarımı	39
Şekil 5.3	Referans İstasyonu (Tavşanlı Belediyesi)	40
Şekil 5.4.	Topcon Net-G3 GNSS Alıcısı.....	41
Şekil 5.5	İstasyon Noktası (CR-G3 Anten)	41
Şekil 5.6	Bilgi İşlem Merkezi Server Bilgisayarı.....	42
Şekil 5.7	Tavşanlı Noktasına ait Ağ Kanavasası	42
Şekil 5.8	Nokta Kanavasası.	50
Şekil 5.9	Yukarı Değer değişim fark grafiği	54
Şekil 5.10	Sağa Değer değişim fark grafiği.....	55
Şekil 5.11	h değişim fark grafiği	55
Şekil 5.12	Birinci Oturuma ait Uydu Azimut - Yükseklik Açısı	56
Şekil 5.13	Birinci Oturuma ait Anlık Uydu Görünürlük Grafiği	56
Şekil 5.14	Birinci Oturuma ait DOP Grafiği	57

Şekil 5.15 Birinci Oturuma ait Anlık Toplam Uydu Sayısı	57
Şekil 5.16 Birinci Oturuma ait Uydu Yükseklik Açıları	57
Şekil 5.17 İkinci Oturuma ait Uydu Azimut - Yükseklik Açısı	58
Şekil 5.18 İkinci Oturuma ait Anlık Uydu Görünürlük Grafiği	58
Şekil 5.19 İkinci Oturuma ait DOP Grafiği	59
Şekil 5.20 İkinci Oturuma ait Anlık Toplam Uydu Sayısı	59
Şekil 5.21 İkinci Oturuma ait Uydu Yükseklik Açıları	59
Şekil 5.22 Üçüncü Oturuma ait Uydu Azimut - Yükseklik Açısı	60
Şekil 5.23 Üçüncü Oturuma ait Anlık Uydu Görünürlük Grafiği	60
Şekil 5.24 Üçüncü Oturuma ait DOP Grafiği	61
Şekil 5.25 Üçüncü Oturuma ait Anlık Toplam Uydu Sayısı	61
Şekil 5.26 Üçüncü Oturuma ait Uydu Yükseklik Açıları	61
Şekil 5.27 Dördüncü Oturuma ait Uydu Azimut - Yükseklik Açısı	62
Şekil 5.28 Dördüncü Oturuma ait Anlık Uydu Görünürlük Grafiği	62
Şekil 5.29 Dördüncü Oturuma ait DOP Grafiği	63
Şekil 5.30 Dördüncü Oturuma ait Anlık Toplam Uydu Sayısı	63
Şekil 5.31 Dördüncü Oturuma ait Uydu Yükseklik Açıları	63

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1	Wass/Egnos Uyduları	13
Çizelge 5.1	Tavşanlı Referans İstasyonu Projeksiyon Koordinatları	44
Çizelge 5.2	N.1 Noktasına Ait Röper Krokisi	45
Çizelge 5.3	N.2 ve N.3 Noktalarına Ait Röper Krokisi	46
Çizelge 5.4	N.4 ve N.5 Noktalarına Ait Röper Krokisi	47
Çizelge 5.5	N.6 ve N.7 Noktalarına Ait Röper Krokisi	48
Çizelge 5.6	N.8 Noktasına Ait Röper Krokisi	49
Çizelge 5.7	Statik Ölçüm Dengeleme Sonuçları	51
Çizelge 5.8	Statik Ölçüm Değerleri	52
Çizelge 5.9	Birinci Güne Ait RTK Ölçüm Değerleri	52
Çizelge 5.10	İkinci Güne Ait RTK Ölçüm Değerleri	53
Çizelge 5.11	Üçüncü Güne Ait RTK Ölçüm Değerleri	53
Çizelge 5.12	Statik ve RTK Ölçüm Farkları	54
Çizelge 5.13	Statik GPS ve RTK GPS Gözlemlerinden Elde Edilen Yukarı Değer Fark Vektörleri Düzeltme Değerleri, Standart Sapmaları ve Grafıksel Gösterimi ...	65
Çizelge 5.14	Statik GPS ve RTK GPS Gözlemlerinden Elde Edilen Sağa Değer Fark Vektörleri Düzeltme Değerleri, Standart Sapmaları ve Grafıksel Gösterimi ...	66
Çizelge 5.15	Statik GPS ve RTK GPS Gözlemlerinden Elde Edilen h Fark Vektörlerinin Düzeltme Değerleri, Standart Sapmaları ve Grafıksel Gösterimi	67
Çizelge 5.16	Statik GPS ve RTK GPS Fark Vektörleri Analizi	68

ÖNSÖZ

Çalışmam süresince değerli katkıları ile her konuda destek olup ilgi ve yardımlarını esirgemeyen ve öğrencisi olmaktan her zaman gurur duyduğum başta tez hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. R.Gürsel HOŞBAŞ'a ; tezimin uygulama aşamasında beni yönlendirerek çalışmama yeni bakış açıları kazandıran ve bu noktaya gelmesinde büyük emeği olan Sayın Yrd.Doç.Dr. Atınç PIRTI hocama en kalbi dileklerimle teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca tezimin uygulama aşamasında yardımlarını esirgemeyen, her türlü desteği veren, araç gereç ve teknik anlamda her türlü hizmeti bana sunan Değerli Tavşanlı Belediyesi İmar Müdürlüğü çalışanlarına teşekkür ederim.

Bu uzun ve yorucu çalışmam sırasında bana her konuda büyük destek vererek, bitmez tükenmez bir sabırla bana yardımcı olan sevgili eşim Dila 'ya minnettarlığımı sunar ve bu tezi eşim ile yeni doğan sevgili bebeğime ithaf ediyorum.

AĞUSTOS , 2009

M.Nurullah BAHŞİ

ÖZET

Bu çalışmada GPS 'in konum belirleme tekniklerinden biri olan RTK yöntemi ile elde edilen konumun (yani koordinatların) güvenilir olup olmadığı sorusuna cevap aranmaktadır. Bu amaçla RTK yöntemlerinden biri olan ve bir örneğinin de Kütahya Tavşanlı ilçesinde kurulmuş olan tek sabit referans istasyonu baz alınarak yapılan RTK GPS ölçülerinin güvenilirliği sorgulanmaktadır.

Çalışmaya ölçü güzergâhı oluşturularak başlanmıştır. Güzergahı oluşturan baz 35 km uzunluğundadır. Bu güzergah üzerinde 8 nokta tesis edilmiş ve bu noktalarda biri gidiş biri dönüş olmak üzere üç gün boyunca RTK GPS datası toplanmıştır. Ayrıca RTK GPS yöntemiyle koordinatları belirlenen bu noktaların her birinde 1.5 saatlik Statik ölçüm yapılmıştır. Aynı noktaların Statik ve RTK GPS yöntemleriyle elde edilen koordinatları arasındaki farklar belirlenmiştir.

Tüm bu araştırma, karşılaştırma, analizler ve değerlendirme sonucunda elde edilen verilerin ; Kadastro, haritacılık, belediye ve tüm kamu kurum ve kuruluşlarının CBS / KBS çalışmalarında esas olan, konumun (yani koordinatların), güvenilir yöntemlerle hızlı,ekonomik, doğru, ünik ve üniform olarak belirlenmesine yönelik tüm ihtiyaçlarını karşılayabilecek duyarlılıkta olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uydular ile Konum Belirleme, Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK), Tek Sabit Referans Sistemi

ABSTRACT

In this study, the GPS positioning technique in one of the position obtained by the RTK method (ie coordinates) to the question of whether the answers are reliable. For this purpose, one of the RTK method and Single base reference station which was established in the town of Kutahya Tavsanlı based on the reliability of RTK GPS measurements are queries .

Measurements were started to work by creating routes. The length of the route is 35 kilometers. This route has been established over 8 points and points for three days to one going into one of RTK GPS data were collected. In addition, RTK GPS coordinates determined with the method of static measurements were made for 1.5 hours each of these points. Static and RTK GPS method of the same point with the difference between the coordinates obtained were determined.

All this research, comparison, analysis and evaluation of the data obtained as a result of ; Geodesic, Cadastral survey, cartography, municipalities and public institutions of all GIS / KBS is based on studies , position that coordinates, fast, economical, accurate, unique and uniform as to meet all the requirements for determine the sensitivity was concluded with reliable methods.

Key Words: Position Determination by Satellites, Real Time Kinematic, Single Base Reference System

1. GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında, doğruluk isteğine ilaveten hızlı ve ekonomik konumlama etken duruma gelmektedir. Diğer bir deyişle, mühendislik projelerinde verimlilik önemli bir istek haline gelmektedir. Klasik/konvansiyonel teknikleri uygulayabilmek için zamanın ve dolayısıyla maliyetin büyük bir kısmı ulusal ağa bağlı bir bölgesel nirengi ve/veya poligon ağı kurmaya gitmektedir. Oysa sadece maliyeti düşük tek frekanslı bir GPS alıcısıyla, her proje için bir nirengi ve/veya poligon ağı kurmadan bir RTK GPS tekniği ile saniyeler mertebesinde bir sürede cm doğruluklu arazide nokta üretimi mümkün olabilmektedir.

Haritacılık ilgili uygulamalarda nokta konumlama bilgileri 3 boyutlu olarak istenmekte olup, bunun için noktanın düzlem koordinatlarının ve yüksekliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Küresel konumlama sistemleriyle gerçek zamanlı olarak 3 boyutlu (3B) konumlama cm doğrulukla yapılabilmektedir. Bu kadar yüksek doğruluğun gerçek zamanlı olarak elde edilebilir olması, RTK GPS konumlama yöntemlerinin mühendislik uygulamalarında kullanılabilirliğine olanak sağlamıştır. Yüksek doğruluğun kısa ölçme ve değerlendirme sürelerinde elde edilmesiyle, RTK GPS'in ilk kullanıldığı yıllarda bile kadastro çalışmalarında klasik yersel yöntemlere göre maliyetlerde %50'ye varan tasarruflar sağlanmıştır (Sumper ve Asher, 1994). Daha sonra yazılım ve donanımlarda kaydedilen gelişmelerle, konumlama doğruluğundan taviz vermeden bu tasarruf oranları gittikçe artmıştır. Yapılan araştırmalardan, RTK GPS yönteminin elektronik takeometrelerin (total stationlar) kullanıldığı klasik yöntemlerle elde edilen konumlama doğruluğundan aşağı kalmadığı görülmektedir (El-Mowafy, 2000). GPS çağındaki son gelişme olan referans istasyonlarından oluşan RTK Ağlarının geliştirilmesiyle, aktif sürekli ölçen referans istasyonlarından gerekli olan ölçme düzeltmelerinin gerçek zamanlı olarak alınmasıyla artık arazideki kullanıcının kendi GPS referans istasyonu tesis etmesine gerek kalmamaktadır (Lachapelle vd., 2002). Arazide istihdam edilen personel sayısı, ölçme hızı ve nokta konum duyarlılığı ve güvenilirliği gibi nedenlerden dolayı bu yöntemin çok yakın gelecekte mühendislik ölçmelerinde egemen konumlama tekniği olacağını söylemek abartı olmayacaktır.

Bu çalışmada GPS 'in konum belirleme tekniklerinden biri olan RTK GPS yöntemi ile elde edilen nokta konumunun (yani koordinatların) güvenilir olup olmadığı sorusuna cevap aranmaktadır. Bu amaçla RTK GPS yöntemlerinden biri olan ve bir örneğinin de Kütahya Tavşanlı ilçesinde kurulmuş olan tek sabit referans istasyonu baz alınarak yapılan RTK GPS ölçülerinin güvenilirliği sorgulanmaktadır.

Çalışma altı ana bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm olan giriş kısmında, çalışmanın amaç ve içeriğinden söz edilmiştir. İkinci bölümde Konum Belirleme yöntemleri işlenmiştir. Üçüncü bölümde Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS hakkında bilgi verilmiştir. Dördüncü bölümde konum belirlemede ne tür hataların var olduğu ve olabileceği hakkında kısa ve öz bilgiler verilmiştir. Beşinci bölümde uygulama alanı olarak seçilen Kütahya Tavşanlı ilçesinde kurulmuş olan tek sabit referans istasyonunda yapılan gözlemler hakkındaki bilgiler ayrıntılı olarak aşama aşama verilmiştir.. Bununla birlikte elde edilen veriler ve bu verilere ait analizler ile değerlendirmeler sunulmuştur. Son bölüm olan altıncı bölümde ise sonuç ve öneriler kısmı yer almaktadır.

2. UYDULARLA KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNNS)

2.1. Genel

İlk yapay uydu olan SPUTNIK-1'in uzaya fırlatılmasıyla uydularla konum belirlemenin fiili gelişimi başlamıştır. Buna paralel olarak bilgisayar ve uydu teknolojilerindeki köklü gelişmeler 1980'li yılların önemli teknolojik ürünlerinden biri olan Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) 'nin günlük yaşama girmesine neden olmuştur.

GPS (Global Positioning System) ABD Savunma Dairesi (Department of Defence) tarafından geliştirilen, elinde GPS alıcısı olan herhangi bir kullanıcının, uydu sinyalleri yardımıyla:

- Herhangi bir yer ve zamanda
- Her türlü hava koşulunda
- Ortak bir koordinat sisteminde
- Yüksek duyarlılıkta
- Ekonomik olarak
- Anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirlenmesine olanak veren bir konum belirleme sistemidir.

1978 yılında ilk GPS uydusu yörüngeye yerleştirildiğinde, ilk kez üç boyutlu ve yaklaşık 300 metre doğruluğunda gerçek zamanlı konum belirlenmeye başlandığında özellikle bilim dünyasında büyük bir coşku yaşanmıştı. Zaman içerisinde bu alanda çok yoğun çalışmalar yapılmış ve bugün artık gerçek zamanlı santimetre doğruluğunda üç boyutlu konum belirleme standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu gelişmelere ilave olarak, söz konusu alandaki çalışmalar hızla devam etmiş ve bunun sonucunda ise yeni sinyaller ve farklı ülkelere ait yeni uydu sistemleri kullanıma girmeye başlamıştır. Bunlara örnek olarak 1982 yılında ilk uydusu yörüngeye yerleştirilen Rus GLONASS uydu sistemi verilebilir. GLONASS uydu sisteminin az sayıda ve düşük kapasiteyle de olsa faaliyete geçmesiyle uydu sistemleri için “Global Uydu Navigasyon Sistemleri (GNSS)” tanımı kullanılmaya başlanmıştır (Kahveci, 2009).

Diğer taraftan, Avrupa'da da Global Uydu Navigasyon Sistemlerine olan bağımlılık özellikle Avrupa Ulaştırma altyapısına yönelik yatırımlarda önemli bir konuma gelmiştir. Bu nedenle, söz konusu yatırımların yalnızca A.B.D. güdümündeki GPS sistemine tek taraflı bağımlılık yaratmasını önlemek amacıyla Avrupa Birliği (AB) tarafından GALILEO uydu sistemi geliştirilmiştir. Bu sistemin ilk aşamasını “Avrupa Yer Sabit Navigasyon Sistemi (EGNOS:

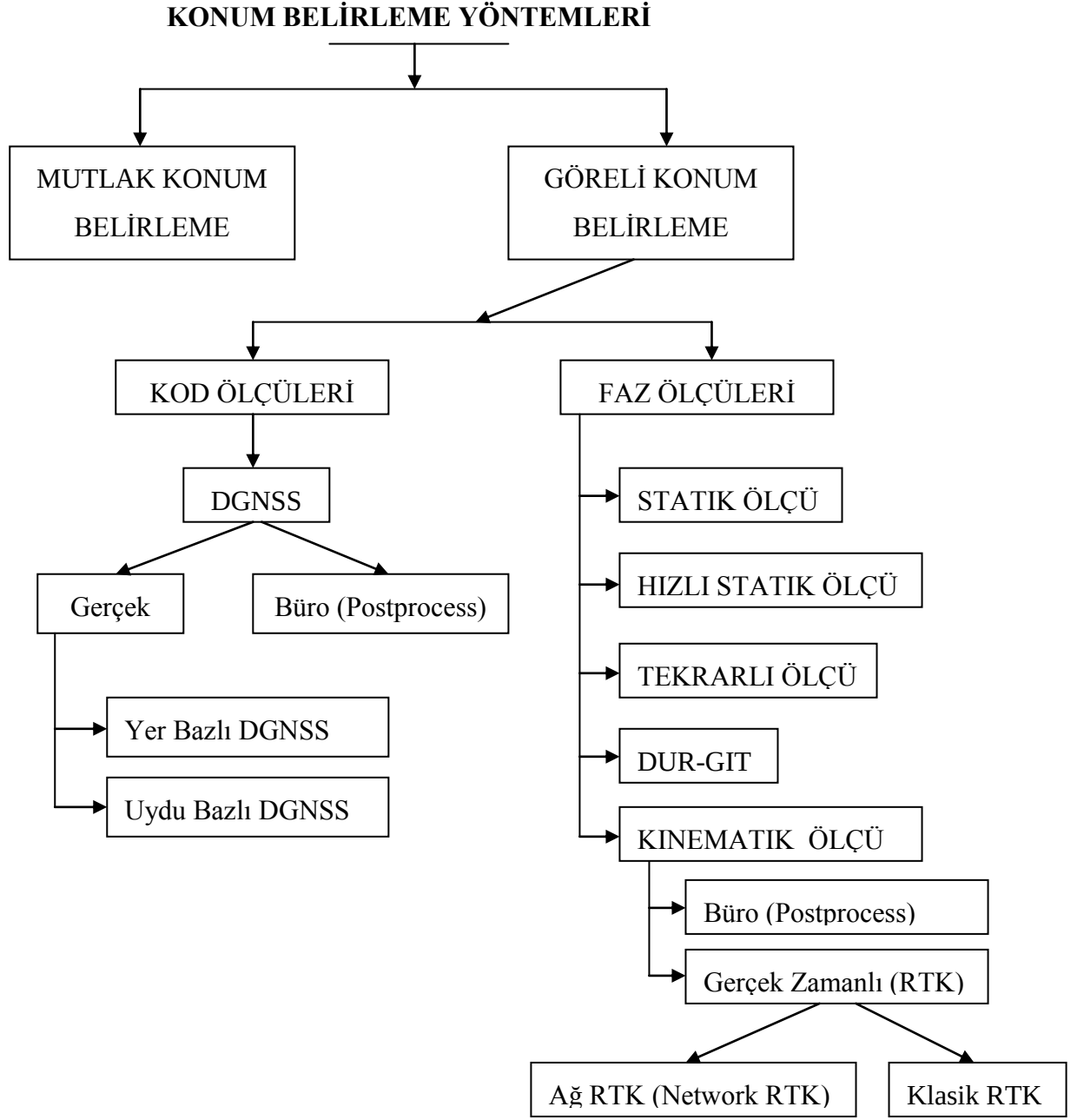
European Geostationary Overlay Service)’’ oluşturmaktadır. EGNOS tarafından GPS ve GLONASS uydularından elde edilen gerçek zamanlı navigasyon doğrulukları ile ilgili diferansiyel düzeltmeler yayınlanmakta ve özellikle havacılık sektöründe bir kalite kontrol ve izleme sistemi olarak kullanılmaktadır. A.B.D. WAAS (Wide Area Augmentation System) ve Japon MSAS (MTSAT(Multi-Functional Transport Satelüte) Satellite-based Augmentation System) sistemleri de aynı amaçlı kurulmuş sistemlerdir.

Diğer taraftan, uydularla navigasyon 2000’li yılların başında özellikle ticari havacılıkta güvenlik ve etkinlik bağlamında gelecek vaat eden bir sistem olmuştur. Bununla birlikte GPS ve GLONASS ’ın doğasında bulunan bazı kısıtlamalar(uydu saati hataları, atmosferik hatalar, alıcı kaynaklı hatalar vb.) bu sistemlerin de başka sistemlerle desteklenmesi gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Dolayısıyla, havacılık faaliyetlerinde özellikle sistem bütünlüğünün, doğruluğunun ve sürekliliğinin sağlanabilmesi amacıyla kapsama alanı genişletme çözümlerine gidilmiştir. Sivil havacılık kuruluşları olan RTCA ve ICAO 1993 yılından bu yana uydularla navigasyon sistemlerinin havacılık sektöründe güvenli ve sürekli kullanımı için yoğun bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Bu çalışmalarda öne çıkan düşünce uydu navigasyon sistemlerinin; her yerde ve her zaman ulaşılabilen, doğru, güvenilir ve kullanımı kolay olması şeklinde özetlenebilir. Bütün bu özelliklerin bir arada olması içinse bu sistemlerin "augmentation" adı verilen ilave sistemlerle desteklenmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Burada ifade edilmeye çalışan ilave sistemler günümüzde üç ayrı grup halinde tanımlanmaktadır. Bunlar;

1. Uydu bazlı sistemler (SBAS; Satellite Based Augmentation Systems)
2. Yer bazlı sistemler (GBAS; Ground Based Augmentation Systems)
3. Yer bazlı bölgesel sistemler (GRAS; Ground based Regional Augmentation Systems)

Sonuç olarak, WAAS, EGNOS, MSAS ve GAGAN gibi kapsama alanı genişletme (augmentation) ve gerçek zamanlı doğruluk artırma diferansiyel GNSS(DGNSS) sistemleri ayrı bir sınıflama ile uydu bazlı sistemler (SBAS) adını almaktadır. Böylece, uydularla konum belirleme sistemleri (GPS, GLONASS, Beidou/Compass, QZSS, IRNSS vd.) ve SBAS birlikte GNSS olarak adlandırılmaktadır (Kahveci, 2009)

Uydularla konum belirleme yöntemleri ile ilgili genel bir şema Şekil 2.1 'de verilmiştir.



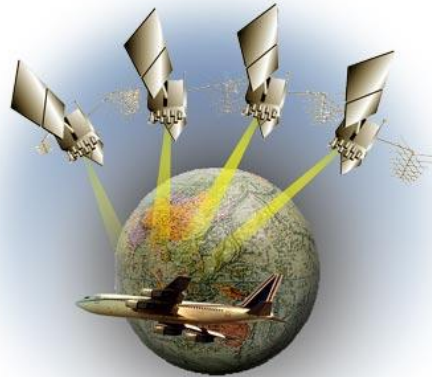
Şekil 2.1 GNSS Konum Belirleme Yöntemleri (Kahveci, 2009)

GNSS ve SBAS 'ın kullanım alanları çok genel olarak aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu
- Jeodezik ve jeodinamik amaçlı ölçmeler Kadastral ölçmeler
- Kinematik GPS destekli fotogrametrik çalışmalar
- Yerel ve global deformasyon ölçmeleri
- Araç takip sistemleri
- Aktif kontrol ağları (CORS)
- CBS veri tabanlarının geliştirilmesi
- Turizm, tarım, ormancılık, spor, arkeoloji
- Asayiş
- Hidrografik ölçmeler
- Askeri amaçlı kullanımlar.

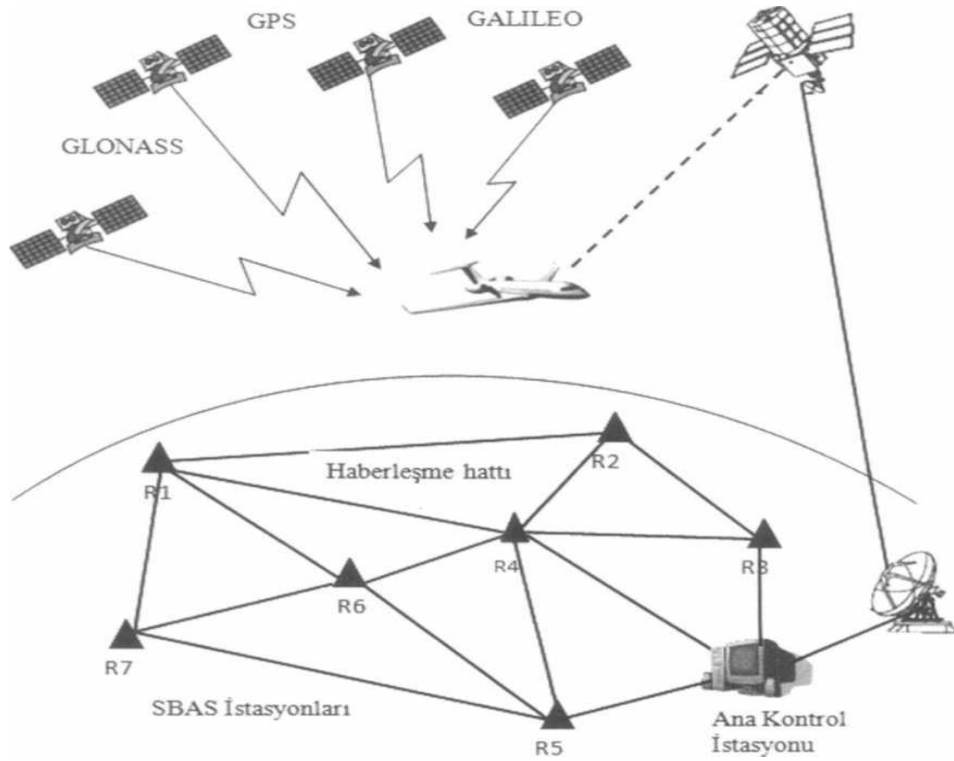
2.2. Uydu Bazlı Sistemler (SBAS)

Daha önce de ifade edildiği gibi standart bir uydularla konum belirleme ve navigasyon sistemi Şekil-2.2 'de görüldüğü gibidir. Bu sistem kullanılarak gerçekleştirilecek konum belirleme ve navigasyon uygulamaları uydu saatinden, atmosferden ve alıcıdan (receiver) kaynaklanan hatalarla yüklü olacaktır. Bu ise sistemin her yerde ve her zaman güvenilir ve doğru olmasını olumsuz etkileyen bir husustur.(Kahveci,2009)



Şekil 2.2 Standart navigasyon (www.gps-cdma.com)

Uydu bazlı (SBAS) sisteminin standart yapısı ise Şekil 2.3 'de görülmektedir. Bu sistemde çok sayıda referans istasyonu geniş bir coğrafi alana dağılmış durumdadır. Bu referans istasyonları herhangi bir haberleşme kanalıyla (internet, uydu vb.) kontrol merkezine bağlanmaktadır. Burada, her bir referans istasyonu görebildiği tüm uydulara ilişkin verileri toplar, bazı sinyal kalite kontrol işlemlerini yapmayı takiben bu verileri koordinatları yüksek doğrulukla bilinen kontrol merkezine gönderir. Kontrol merkezinde tüm referans istasyonlarından gelen veriler kullanılarak geniş coğrafi bölgede gözlenen her bir uyduya ait pseudorange düzeltmeleri hesaplanır. Ayrıca, buradaki en önemli hata kaynağı iyonosferik etki olduğu için, SBAS 'da coğrafi alanı kapsayan belirli grid aralıklarındaki gecikme miktarları hesaplanır. Daha sonra kullanıcıya gönderilen bu düzeltme değerleri yardımıyla, ölçü anındaki uydu geometrisi ve kullanıcı koordinatlarından yararlanılarak her bir uydu-alıcı mesafesine olan iyonosferik düzeltme kullanıcı tarafından hesaplanır. Kontrol merkezinde ayrıca uydu sinyallerinin güvenilirliğine ilişkin parametreler de her bir uydu için belirlenerek kullanıcıya aktarılır. Böylece, kullanıcı da herhangi bir uydu kombinasyonu için bu parametreleri kendi konum belirleme ve navigasyon hesaplamalarına dâhil eder. SBAS sisteminde, yukarıda anlatılan düzeltme ve güvenilirlik bilgileri kullanıcıya uydu haberleşmesi vasıtasıyla aktarılır.(Kahveci,2009)



Şekil 2.3 SBAS Sistem Yapısı

Günümüzde üç farklı SBAS sistemi-vardır. Bunlar; WAAS, EGNOS ve MTSAT sistemleridir. Ülkeler tarafından işletilen bu sistemlerden farklı olarak ticari amaçlı işletilen özel SBAS sistemleri de mevcuttur. Bunlardan en bilinenleri OmniSTAR ve Globalstar'dır.

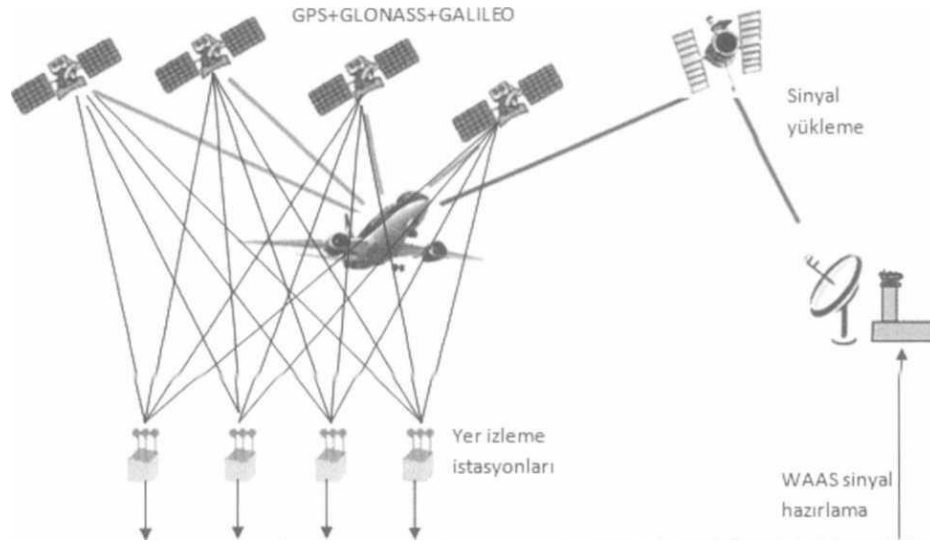
2.2.1. WASS Sistemi

Güvenli bir faaliyet amacıyla özellikle sivil havacılık kuruluşları gerçek zamanlı uygulamalarda GPS kapsama alanını genişletici sistemler kurmaktadır. Bunlardan bir tanesi küçük alanlar için kullanılan LAAS (Local Area Augmentation System) olup, örneğin havacılıkta her bir havaalanı için tek bir LAAS kurulmaktadır. Diğerleri ise büyük alanlar için kullanılan WAAS olup, kıtalararası hizmet vermektedir. WAAS sistemi tarafından, GPS alıcılarında hesaplanan konumların doğruluk ve güvenilirliğini artırıcı düzeltme bilgileri gönderilmektedir.

WAAS uydu bazlı bir DGPS sistemidir. Bu sistem 1999 yılından itibaren A.B.D.de kullanılmakta olup 2001 yılından bu yana da el tipi GPS alıcıları sistemden yararlanabilmektedir. WAAS, GPS sinyallerini kontrol eden yaklaşık 25 yer istasyonu ile bu yer istasyonlarındaki verileri toplayıp düzeltmeleri hesaplayan iki referans istasyonundan oluşmaktadır. Hesaplanan parametreler; yörünge, saat ve atmosferik (iyonosfer ve troposfer) düzeltmelerdir. Hesaplanan bu düzeltmeler kullanıcılara yere göre sabit uydularla aktarılmaktadır. WAAS sisteminin ortaya çıkış amacı özellikle uçakların hassas yaklaşmalarını ve inişini sağlamaktır. WAAS sivil kullanıma açık olup, havacılıkta, karada ve denizcilikte DGPS sistemine göre daha etkin bir kapsama alanı sağlamaktadır. Bu sistemde DGPS'de olduğu gibi herhangi bir ilave alıcıya gerek olmayıp tek şart kullanılan alıcı yazılımının WAAS düzeltmelerinin yayınladığı sinyalleri alacak şekilde desteklemesi gerekmektedir. Diğer taraftan WAAS düzeltmelerini alacak olan alıcıların WAAS uydularını görmesi gerekmektedir.

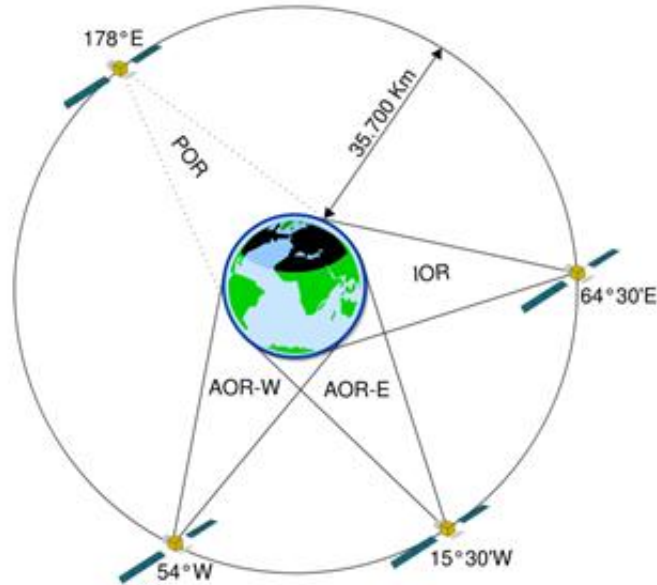
Sistemin çalışma prensibi ise şu şekilde özetlenebilir. Faaliyet alanında bulunan uygun dağılımlı çok sayıda (konumları hassas olarak bilinen) referans istasyonlarında GPS sinyalleri toplanır. Referans istasyonlarında toplanan GPS bilgileri yersel haberleşme ağı ile WAAS Ana Kontrol İstasyonuna gönderilir. Bu istasyonda WAAS düzeltme mesajları hesaplanır. Hesaplanan bu düzeltme mesajları yere göre sabit uydulara yüklenir. Söz konusu düzeltme bilgileri anılan uydulardan GPS benzeri sinyaller şeklinde yayınlanırlar. Bu sinyalleri alma

kapasitesine sahip herhangi bir GPS/WAAS alıcısı gelen düzeltme bilgilerini konum hesaplamalarında doğrudan kullanır (Şekil 2.4).



Şekil 2.4 WASS yapısı (Kahveci, 2009).

WAAS mesajlarını (diğer SBAS sistem mesajları dahil) yayınlayan yer-sabit uydular INMARSAT uyduları olarak bilinmektedir. Bu uyduları 4 tane olup bunların yeryüzünden yüksekliği yaklaşık 35700 kilometredir. Bu uyduların konumları Şekil 2.5 gösterildiği şekildedir.



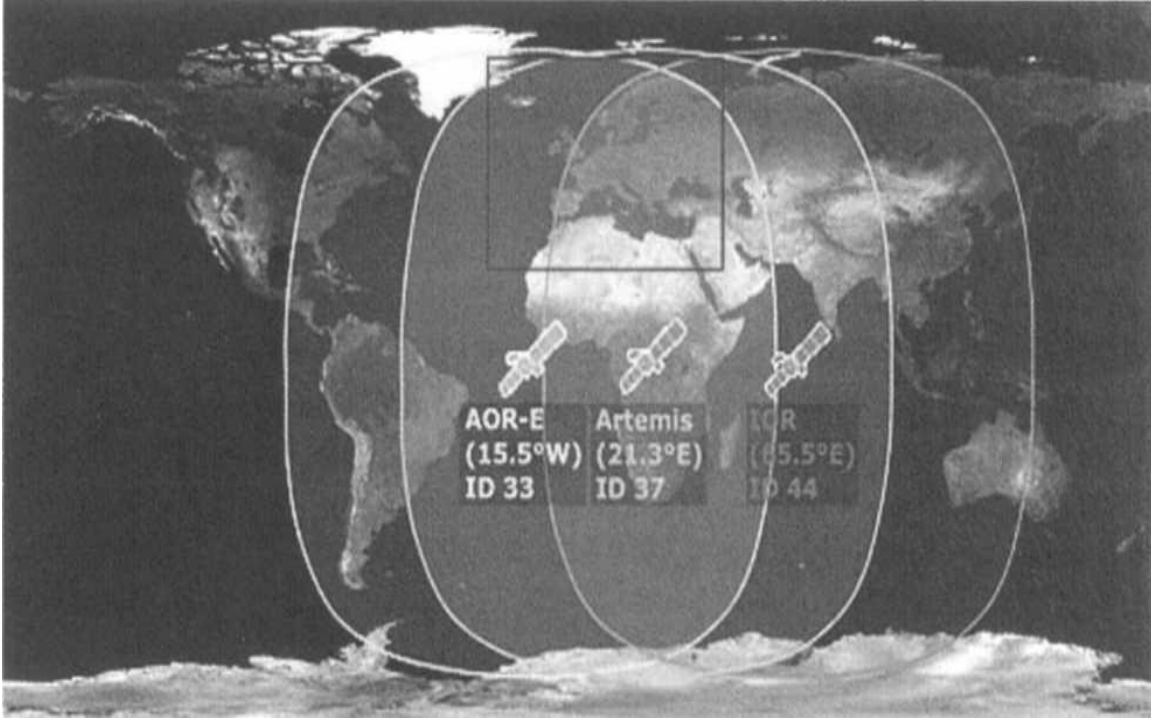
Şekil 2.5 Yer Sabit Yörüngede Inmarsat Uyduları (www.wikimedia.org).

2.2.2. EGNOS Sistemi

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service) Projesi Avrupa Birliği'nin uydu navigasyon sistemleri konusundaki ilk projesi olup 1998 yılında başlamıştır. Sistem Avrupa Uzay Ajansı (ESA: European Space Agency), Avrupa Komisyonu (EC: European Commission) ve Eurocontrol 'un ortak girişimidir.

Sistemin kuruluş amacı, GPS ve GLONASS sistemlerinin hizmet kalitesini (doğruluk, bütünlük ve süreklilik) artırarak uçakların güvenli bir şekilde uçmalarını ve gemilerin güvenli bir şekilde özellikle dar boğaz ve kanallarda yol almalarını sağlamaktır. EGNOS sistemi de uzay, yer kontrol ve kullanıcı olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Uzay bölümünde üç yersabit uydu mevcut olup bunlar Inmarsat uydularıdır. Bu uydular düzeltme sinyallerini GPS L1 frekansı üzerinden yayınlamaktadır. Sistemin yer kontrol bileşeni ise 4 ana kontrol istasyonu, bir merkezi hesaplama birimi, bir merkezi kontrol birimi ve 34 RIMS istasyonundan oluşmaktadır. RIMS istasyonlarda L1/L2 alıcıları mevcut olup zaman belirleme için de atomik saatler kullanılmaktadır. İstasyonların görevi GPS, GLONASS ve yersabit uyduları izleyerek bu verileri ana kontrol istasyonlarına göndermektir. RIMS istasyonlarının bazıları iki (RIMS-A ve RIMS-B) kanallı, bazıları ise üç kanallı (RIMS-A, RIMS-B ve RIMS-C)'dir. RIMS istasyonlarından ana kontrol istasyonuna gönderilen veriler merkezi hesaplama biriminde otomatik olarak hesaplanır. Merkezi hesaplama biriminde izlenen her uydu için bütünlük ve süreklilik bilgisi, uydu-alıcı uzaklığı(pseudorange) düzeltmeleri, yörünge ve saat bilgisi düzeltmeleri ile iyonosferik düzeltmeler hesaplanmaktadır. Merkezi kontrol biriminin görevi ise EGNOS sisteminin kontrolü ve izlenmesidir. EGNOS L1 verisini alabilen tüm GPS alıcıları sistemin kullanıcı bileşenini oluşturmaktadır.(Kahveci,2009)

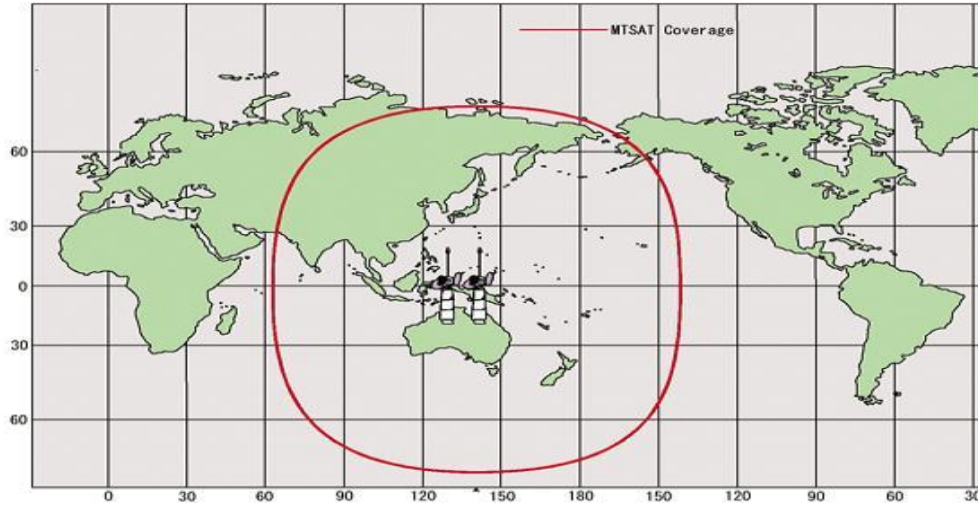
EGNOS'un kullanıldığı alanlar; sivil havacılık, kara ve demiryolu taşımacılığı ile denizcilik olarak sayılabilir. EGNOS düzeltmeleri ile sağlanan konum doğruluğu 1-3 metre mertebesindedir. Sistemden yararlanmak için kullanıcıların üye olması gerekmektedir. EGNOS uydularının planlanan konum ve kapsama alanları Şekil 2.6 'da görülmektedir.



Şekil 2.6 EGNOS Uydularının Konum ve Kapsama Alanları (www.kovoma.de)

2.2.3. MSAS Sistemi

Japon Ulaştırma Bakanlığının danışmanlık birimi olan Japon Sivil Havacılık Konseyi Kuzey ve Orta Pasifikte 2010'lu yıllarda hava trafiği ile elde mevcut sistemler kullanılarak baş edilemeyeceği kanısına vararak, mevcut hava navigasyon sistemlerinin uydu tabanlı olmasını, böylece daha güvenilir ve kontrol olanağı olan bir sistemin kullanılmasını önermişlerdir. Bu önerileri dikkate alan Japon Sivil Havacılık Bürosu (JCAB:Civil Aviation Bureau Japan), havacılık görevlerinin yanında meteorolojik gözlem görevlerinin de birleştirileceği bir uydu sistemi kurulmasına karar vermiştir. Bu yeni uydu sistemine MTSAT adı verilmiştir. MTSAT kapsama alanı Şekil 2.7 'de görülmektedir. MTSAT uyduları yerden yaklaşık 36000 km yukarıda yer-sabit (geostationary) uydulardır. MTSAT sisteminde iki uydu bulunmakta olup bunlar MTSAT-İR ve MTSAT-2'dir. MTSAT-İR 26 Şubat 2005 tarihinde, MTSAT-2 ise 18 Şubat 2006 tarihinde yörüngeye oturtulmuştur. MSAS uydularının konum ve kapsama alanları Şekil 2.7 'de gösterilmiştir.



Şekil 2.7 MSAS Uydularının Konum ve Kapsama Alanları (www.gpsworld.com)

2.2.4. DGPS, WAAS, EGNOS, MSAS FARKLARI

Normal olarak SBAS sistemleri de bir Diferansiyel GPS(DGPS) tekniğidir. Bu bağlamda DGPS tasarımı açısından iki temel sınıflama yapılabilir. Bunlardan birincisi sistemin tüm bileşenlerinin (referans istasyonları, veri aktarma cihazları vb.) yer üzerinde olması, ikincisi ise veri aktarma bileşeninin uzayda olmasıdır. Veri aktarma bileşeni uzayda olan sistemlere SBAS adı verilmektedir. Diğer taraftan, SBAS tanımı içerisinde yer alan WAAS, EGNOS ve MSAS prensip olarak aynıdır ve birbirleriyle uyumludur. Farklı ülkeler (ABD, AB ve Japonya) tarafından işletilmekte olmaları ve etkin kapsama alanları arasındaki en belirgin fark olarak düşünülebilir.

Karadaki bir kullanıcı için DGPS ile SBAS arasındaki temel fark ise iyonosferik düzeltmelerin hesaplanması yöntemidir. Bilindiği gibi klasik DGPS yönteminde her referans istasyonundaki alıcı gerçek zamanlı olarak hesapladığı konumu bilinen doğru konumu ile karşılaştırır ve arasındaki farkı(düzeltilmeyi) hesaplar.

Daha sonra bu düzeltme bilgisini gezen alıcılara uygun bir veri iletişim yöntemi ile aktarır. Gezen alıcılar ise bu düzeltme bilgisini hesap yaptıkları GPS sinyallerine eklerler. Ancak, düzeltme gönderen referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki uzaklık arttıkça atmosferik etkiler nedeniyle yayınlanan bu düzeltmelerin doğruluğu düşer. Bu nedenle, klasik DGPS

uygulamalarında referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki mesafenin 200-250 km'yi geçmemesi istenir.(Kahveci,2009)

Ancak, SBAS için durum farklıdır. SBAS uygulamasında tek bir referans istasyonu verilerine dayanarak düzeltme hesaplanmamaktadır. Bunun yerine tüm referans istasyonlarından alınan veriler hesaplanmakta ve geniş bir alan için geçerli olacak düzeltme değerleri haritası (düzeltme değerleri gridi) hazırlanır ve bu bilgiler aktarılır. Her gezen alıcı bu haritadan yararlanarak kendi konum bilgisini düzeltir. Böylece, klasik DGPS yönteminden daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmek olanaklı olmaktadır. Eğer gezen alıcı verisi yayınlanan alanın dışında kalıyorsa WAAS ya da EGNOS verilerinin kullanılmaması en uygun yöntemdir. Çünkü yanlış düzeltme değerleri sonuç konum bilgisinin normalden daha kötü doğruluklu hesaplanmasına yol açabilecektir. Bu durumda en uygun çözüm alıcının konum hesabında kendi yazılımında mevcut standart iyonosferik düzeltme modelini kullanması olacaktır. WAAS/EGNOS uyduları ve bunların GPS PRN numaraları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

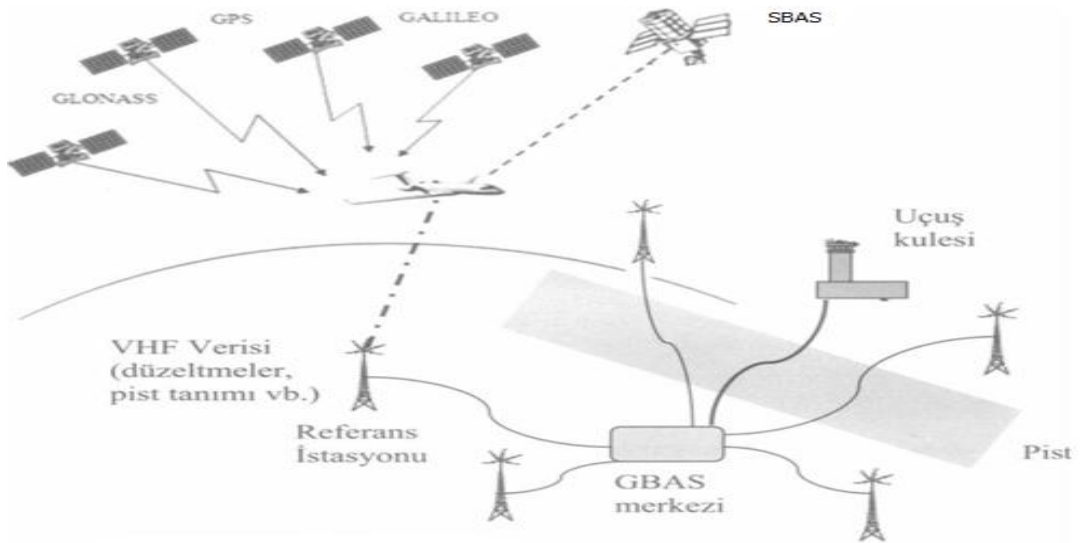
Çizelge 2.1: WASS/EGNOS Uyduları (Kahveci, 2009)

Uydu	Uydu Konumu	GPS PRN No
INMARSAT 3 F2 (AOR-E) (Atlantik Okyanusu Doğusu)	Batı Afrika	120
INMARSAT 3 F4 (AOR-VV) (Atlantik Okyanusu Batısı)	Brezilya Doğu Sahili	122
INMARSAT 3 F1 (IOR) (Hint Okyanusu)	Hint Okyanusu	131
INMARSAT 3 F3 (POR) (Pasifik Okyanusu)	Pasifik	134
INMARSAT IOR-VV (III-F5) (Hint Okyanusu Batı Bölgesi)	Afrika (Kongo)	126
Artemis	Afrika (Kongo)	124
MTSAT-1R	Asya	129
MTSAT-2	Asya	137

Bu uydu verilerinin kullanılmasında bölgelere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bazı durumlarda Amerika için geçerli olan veriler Avrupa'dan da alınabilmektedir. Örneğin, eğer alıcının WAAS/EGNOS fonksiyonu açıksa ve Avrupa'daki bir uygulama için bu bölgede geçerli olan PRN120 veya PRN131 no.lu uydu verileri yerine ABD için geçerli uydu olan PRN 122 numaralı uydu verisi kullanılıyorsa yanlış konum hesaplanması söz konusudur.

2.3. Yer Bazlı Sistemler (GBAS)

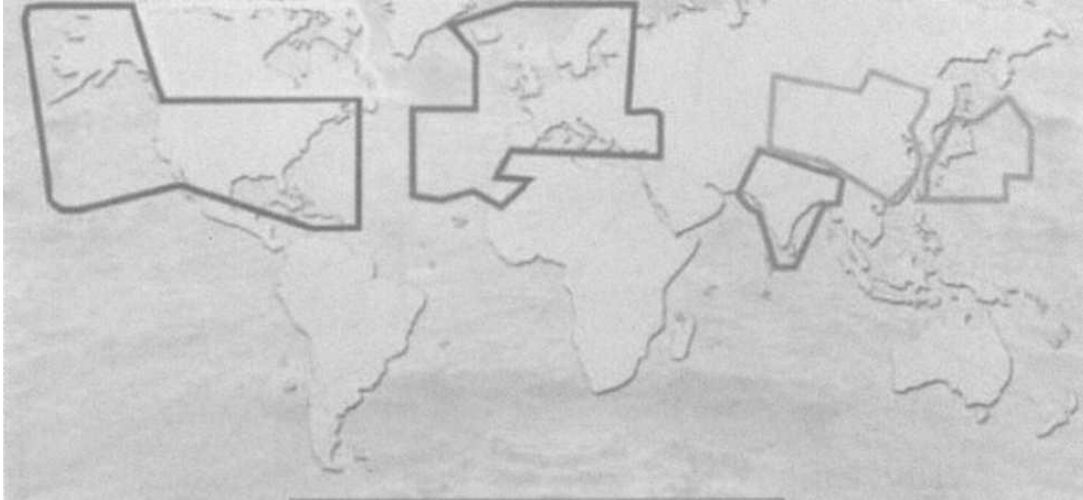
Bu sistemde, SBAS sistemine göre çok daha küçük bir alanda (örn. genelde havaalanı çevresinde) birkaç referans istasyonu kuruludur. Bu istasyonlarda kaydedilen uydu sinyalleri yardımıyla hesaplanan ham uydu-alıcı uzaklıkları (pseudorange) kontrol ve hesap merkezine gönderilir. Kontrol ve hesap merkezinde çok sayıdaki ham uydu-alıcı uzaklıkları kullanılarak her bir uyduya olan düzeltmeler hesaplanır. Bu merkezde ayrıca sistem güvenilirliği izlenir ve her bir uyduya ilişkin parametreler de hesaplanır. Hesaplanan bu parametrelerle sinyal sürekliliği belirli bir uydu geometrisi ve doğruluk seviyesinde kullanıcının isteğine göre belirlenebilmektedir. Diferansiyel düzeltmeler ve sistem güvenlik bilgileri 108.0-117.975 MHz bant aralığında VHF üzerinden kullanıcılara yayınlanmaktadır. GBAS sisteminde uçakların istenen piste yönlendirilmesine yarayan veriler de yayınlanabilmektedir, (Şekil 2.8). Bu sistemde SBAS uydusunun kullanılması durumunda yalnızca uzaklık bilgilerinden yararlanılmakta olup diğer SBAS bilgileri (augmentation verileri) kullanılmaz (Kahveci, 2009).



Şekil 2.8 GBAS Sistem Yapısı

2.4. Yer Bazlı Bölgesel Sistemler (GRAS)

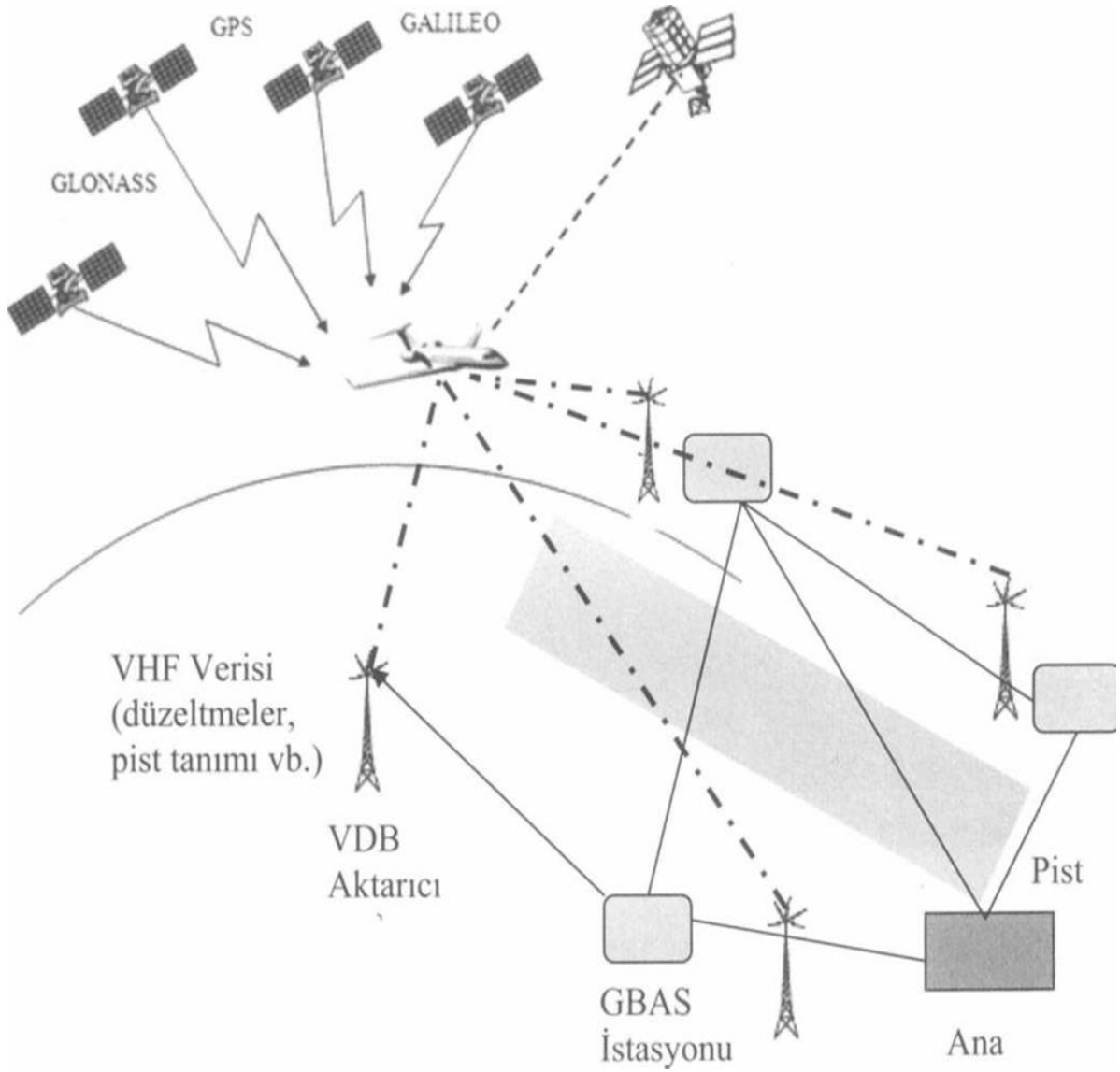
Yukarıda anlatıldığı gibi SBAS sistemi gereksinim duyulan kapsama alanı bütünlüğünü sağlamak için yeryüzü ile aynı hızda dönen (geostationary) uydudan yayınlanan verilere(düzeltilmelere) dayanmaktadır. GBAS sistemi aynı amaçlı olmakla birlikte uydu yerine yer bazlı veri(düzeltilme) gönderen bir sistemdir. SBAS sistemi GBAS sistemine göre daha geniş alanlar için etkili bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Günümüzde bir çok SBAS sistemi kullanılmakta olup, son durum ve kapsama alanları Şekil 2.9 'da görülmektedir. Şekilden de görüleceği gibi bu sistemlerin hiç birisi Avustralya'yı kapsamamaktadır. Söz konusu bu eksikliği gidermek için Avustralya tarafından GRAS sistemi önerilmiştir.



Şekil 2.9 SBAS Sistemleri Kapsama Alanları

GRAS sistemi, SBAS ve GBAS sistemlerinin birlikte kullanıldığı bir sistem olup, veriler VHF bandında GBAS formatında ve aynı frekansta yayınlanır. Başka bir ifadeyle SBAS sisteminde diferansiyel düzeltme ve sistem güvenilirlik bilgileri kullanıcılara yeryüzü ile aynı hızda dönen veri aktarma amaçlı kullanılan uydularla (geostationary) gönderilirken, GRAS sisteminde SBAS mesajları yer referans istasyonlarında toplanır, kontrol edilir ve formatı değiştirilerek elde edilen veriler GBAS sistemindeki gibi yer istasyonlarından kullanıcılara (örn. uçaklar) yayınlanır. Yayınlanan bu verilen kullanabilmek için kullanıcıların GNSS/GBAS özellikli alıcılarının olması gerekeceği açıktır.(Kahveci,2009)

GRAS sistemi yapısı Şekil 2.10 'de görülmektedir. Burada, sistem birden çok yer istasyonundan (GBAS) oluşmaktadır. GBAS istasyon yerlerinin planlanmasında tüm alana kesintisiz olarak kapsama sağlayacak dağılımda olmalarına dikkat edilmelidir. Şekilde görülen GBAS İstasyonları ile hücresel grid ağı oluşturulur ve en iyi ve güvenilir bilgiyi sağlayan hücre kullanıcı (rover receiver) tarafından alınır.



Şekil 2.10 GRAS Sistem Yapısı

3. GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (RTK) GNSS

3.1. Genel

Diferansiyel GNSS (DGNSS/DGPS) tekniğinde koordinatları bilinen bir referans istasyonuna dayalı olarak gezen bir alıcının (ölçmeci, uçak, gemi, araba vb) koordinatları kod (pseudorange) gözlemleri kullanılarak metre mertebesindeki doğruluklarla belirlenmektedir. Ancak, daha yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda faz gözlemleri kullanılmakta olup bu da sistemin kullanımında oldukça karmaşık yapılara yol açmaktadır. Bu karmaşık yapının en önemli nedenlerinden birisi faz belirsizliklerinin yüksek doğrulukta çözümündeki sorunlardır. Bu durum özellikle GPS(GNSS) donanım ve yazılımlarında önemli yeniliklerin geliştirilmesine yol açmıştır. Son yıllarda bu konuda yaşanan gelişmeler sonucu faz gözlemleri ile yüksek doğruluklu gerçek zamanlı kinematik uygulamaların yapılması olanaklı hale gelmiştir. Gerçek zamanlı konum belirlemede yaşanan bu gelişmeler yaklaşık aynı mertebedeki doğrulukların hareket halindeki GNSS alıcıları için de geçerli olmasını sağlamıştır. Söz konusu sistemlere gerçek zamanlı kinematik GNSS(RTK GNSS) adı verilmekte olup RTK, zamanın oldukça önemli olduğu araç takip ve navigasyonu, makine kontrol sistemleri ve kazı-dolgu çalışmaları gibi alanlarda etkili şekilde kullanılan bir teknik ve sistem haline gelmiştir. Bu sistemde de aynı DGPS/DGNSS sisteminde olduğu gibi tek bir referans istasyonu söz konusudur. Başka bir ifadeyle, RTK sisteminde referans alıcı ile gezici arasındaki uzaklık sisteminin kullanılması ile elde edilecek doğruluğu etkileyen en önemli faktördür (Kahveci, 2009).

Diğer taraftan, klasik DGPS tekniğinde bu sorunun aşılması için geniş bir coğrafi bölgeye dağıtılmış ana kontrol ve isleme istasyonları ağından oluşan WAAS ve WADGPS gibi sistemler kurulmuştur. Ancak bu sistemlerden de metre yada en iyi durumda metre altı doğruluklar elde edilmektedir. Çünkü kullanılan gözlem yöntemi kod bilgisidir. Oysa, gerçek zamanlı uygulamalarda (araç takip ve navigasyon) gerekse haritacılık kapsamındaki ölçmelerde (CBS, konum belirleme, deprem modelleme vb.) faz ölçülerinin kullanılması ile daha yüksek doğruluklar (mm/cm) gerektirmektedir. Dolayısıyla WASS yada WADGPS tekniğinin bir şekilde yüksek doğruluk isteyen gerçek zamanlı uygulamalarda da nasıl kullanılabileceği sorusu ortaya çıkmıştır. Bu sorunun yanıtı olarak birden fazla referans istasyonuna dayalı olarak çalışan ve klasik RTK tekniğinin uzaklık bağımlı hatalarının da modellenemediği “Ağ RTK” ya da “Ağ Tabanlı RTK” tekniği ortaya çıkmıştır.

3.2. Klasik (Standart) RTK

Gerçek zamanlı konum belirleme amaçlı olarak birçok GNSS tekniği geliştirilmiştir. Bunlarda en yaygın olarak bilinen ve kullanılanı diferansiyel GNSS(DGNSS) tekniğidir. Ancak teknolojik gelişmeler ve atmosferik modellemelerdeki önemli yenilikler sonucu kinematik GNSS tekniği günümüzde gerçek zamanlı konum belirlemede kullanılan en hassas yöntem olarak yerini almıştır. GNSS gözlemleri kullanılarak cm mertebesinde gerçek zamanlı konum belirleme teknikleri 1990'lı yıllarda geliştirilmiş olup bu teknik günümüzde "Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) konum belirleme" olarak bilinmektedir. RTK ile konum belirleme, gezen (rover) alıcılar tarafından uydulardan (GPS, GLONASS, Galileo vb.) kaydedilen faz gözlemlerine ve aynı anda referans bir istasyondan gerçek zamanlı olarak gezen alıcıya gönderilen ham ölçü yada düzeltme bilgilerine (konum, pseudorange, atmosfer vb.) dayalı olarak gerçekleştirilen, hesaplamaların ise genelde gezen alıcıda yapıldığı bir konum belirleme tekniğidir. Tanımdan da anlaşılacağı gibi, klasik RTK tekniğinde konumu yüksek doğrulukta bilinen (ya da önceden ölçülmüş) bir referans istasyonu ile bu istasyona en fazla 15-20 km uzaklıkta bulunan bir yada daha fazla sayıda gezen alıcının olması gerekmektedir. Bir başka ifadeyle, Klasik RTK performansı ve elde edilecek doğruluk(hızlı ve güvenli bir belirsizlik çözümü için) referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlıdır. Referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki bu sınırlamanın nedenleri yörünge hatası ile atmosferik (iyonosfer, troposfer) hatalardır. Referans istasyonu arazideki gezen alıcılara düzeltme bilgilerini herhangi bir iletişim vasıtasıyla (UHF-VHF telsizler, cep telefonu, uydu haberleşmesi vb. bir yöntemle) gönderir. Veri aktarma amacıyla kullanılacak telsizlerin birbirini görmesi ya da arada bir aktarıcı bulunması sistemin performansını etkileyen önemli bir gerekliliktir. Gezen alıcıda ise belirsizlik(ambiguity) çözümü ve alıcı konumunun hesabı gerçekleştirilir. Klasik RTK tekniğinde tek referans-tek gezen alıcı arasındaki tek bazın hesabı söz konusu olduğundan fazla ölçü ve dolayısıyla kontrol bulunmamaktadır (Kahveci, 2009).

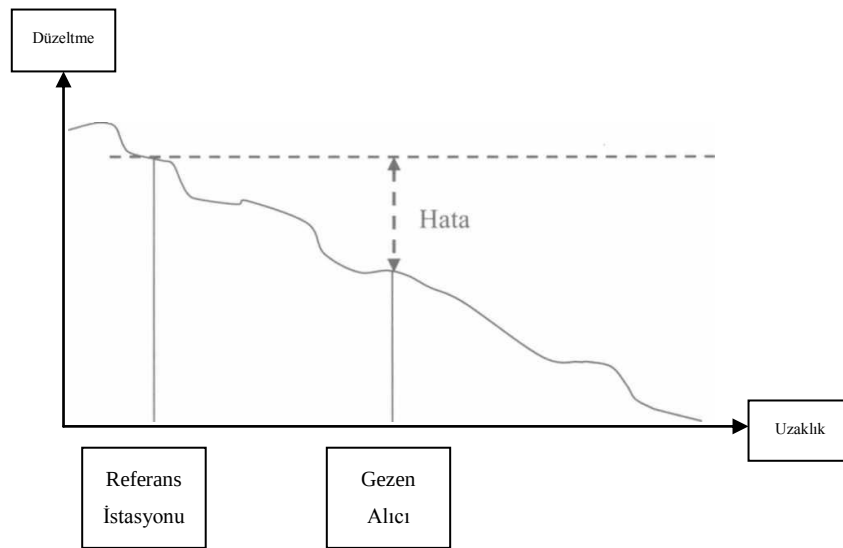
RTK bir görelî konum belirleme tekniğidir. Bir başka görelî konum belirleme tekniği olan DGNSS ile RTK arasındaki genel farklar aşağıdaki şekilde sıralanabilir:

- RTK için başlangıç belirsizlik (ambiguity initialization) çözümü yapılmalıdır. Bu ise belirli bir süre (yaklaşık 1 dk.) demektir. DGNSS'de kod ölçüleri kullanıldığı için böyle bir zorunluluk yoktur.
- Başlangıç ölçüsü için RTK tekniğinde en az 5 uydu gerekmektedir. Ölçüye 5 uydu ile başladıktan sonra 4 uydu ile devam edilebilir. DGNSS tekniğinde ise iki boyutta

(enlem, boylam) konum belirlenecekse ve/veya metre üstü doğruluk İsteniyorsa en az 3 uydu, üç boyutta konum belirlenecekse ve/veya metre altı doğruluk isteniyorsa en az 4 uydu gerekmektedir.

- RTK uygulaması için çift frekanslı alıcılar kullanılmalıdır. DGNSS için tek frekanslı alıcıların kullanılması yeterlidir.
- RTK ile elde edilmesi umulan doğruluk birkaç cm'dir. DGNSS'den elde edilecek doğruluk ise C/A kod düzeltmeleri kullanıldığından metre ve/veya desimetre mertebesinde.
- RTK tekniğinde en fazla 10 km yarıçapında bir bölgede referans alıcısı olmalıdır. DGNSS'de ise bölgesel yada global yayın yapan servisler (radio beacon, uydular vb.) mevcuttur. Başka bir ifadeyle, gerek DGNSS gerekse RTK tekniğinde elde edilecek doğruluk, referans istasyonu ile gezen alıcı(lar) arasındaki uzaklığa bağlı olarak (atmosferik etkiler ve yörünge doğruluğu nedeniyle) değişmektedir. DGNSS sisteminde bu uzaklığın birkaç yüz km.yi, RTK'da ise 15-20 km.yi geçmemesi hedeflenir.

Tek bir referans istasyonundan olan uzaklığa bağlı olarak hatalardaki artış Şekil 3.1 'de gösterilmiştir.



Şekil-3.1. Tek Referans İstasyonundan Olan Uzaklığa Bağlı Hata

Yukarıdaki bilgilerin ışığında DGNSS İle RTK arasındaki temel fark özetlenecek olursa; Konum belirlemede temel gözlem elemanı olarak tek frekanslı alıcılarla kod ölçüleri kullanılıyorsa buna Diferansiyel GNSS (DGNSS) adı verilmektedir. Eğer tek frekanslı alıcılar yerine çift frekanslı alıcılar ve faz ölçüleri kullanılıyorsa, buna Gerçek Zamanlı Kinematik GNSS (RTK GNSS) adı verilmektedir. Günümüzde RTK konum belirleme amaçlı kullanımının yanında navigasyon, araç takip ve otomatik makine kontrol sistemlerinde de temel bileşen olarak kullanılmaktadır (Kahveci, 2009).

Diğer taraftan, yukarıda da anlatıldığı gibi klasik (standart) gerçek zamanlı kinematik GNSS uygulamasında bir referans istasyonunda hesaplanan düzeltme bilgileri kullanıcıya (gezen alıcı) gönderilmektedir. Dolayısıyla, sistematik hatalardan (atmosferik etkiler, yörünge hatası etkisi vb.) kaçınmak ya da en aza indirmek için referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki uzaklığın 15-20 km'yi geçmemesi gerekmektedir. Sonuç olarak, eğer bu yöntemle ülke boyutunda bir ağ kurulmak istenseydi oldukça pahalı ve çok sayıda referans istasyonu gerektiren bir çözüme ulaşıldı. Bu nedenle, değişik ve daha ekonomik çözümler için arayışlar sürdürülmüş olup günümüzde ulaşılan farklı çözüm yöntemlerine ilişkin bilgiler takip eden konularda sunulmaktadır.

3.3. Ağ Yapısında RTK (Ağ-RTK/Network-RTK/Net-RTK/RTN)

Yukarıda da ifade edildiği gibi klasik RTK tekniğinde ham ölçüler ve düzeltme bilgileri tek bir referans istasyonu ile tek bir gezen alıcı arasında aktarılmaktadır. Başka bir ifadeyle, bir referans istasyonu ile bir gezen alıcı arasındaki baz hesaplanmaktadır. Bu şekildeki bir ölçü ve hesaplamada fazla ölçü olmayacağı için herhangi bir kontrol de söz konusu değildir. Oysa jeodezik ölçülerde ağ yapısındaki ölçü ve hesap yöntemleri kullanılmaktadır. Bilindiği gibi, ağ yapısındaki ölçülerde çok sayıda noktada, tekrarlı gözlemler yapılmaktadır. Daha sonra hatalardan arındırılmış ölçüler ile ağ dengelemesi yapılmakta, istatistik analizlerle kabalı hatalı ölçüler ayıklanmakta, sistematik etkiler daha iyi modellenmekte, böylece yüksek doğruluklu ve güvenilir koordinatlar elde edilmektedir. Jeodezik ağların bu üstünlüğü zaman içerisinde GNSS gözlemlerine de yansıtılmıştır. Klasik RTK tekniğinin zayıf taraflarını(kısıtlamalarını) ortadan kaldırmak ve bu tekniğin daha güvenilir ve doğru sonuçlar vermesini sağlamak için çok sayıda referans istasyonu kurulması düşüncesi ortaya çıkmıştır. Böylece, gezen alıcının etrafındaki referans istasyonlarından gelen veriler kullanılarak

yörünge hatası, atmosferik etkiler gibi hataların modellenmesi olanaklı olmuştur. Bunun sonucunda ise tek referans istasyonundan çoklu referans istasyonuna geçiş gerçekleştirilmiş ve tek referans istasyonu kavramının yerini çoklu referans istasyonu kavramı almıştır. Anılan yöntemin bölgesel yada ülke boyutunda yaygınlaştırılarak kullanılması ise Ağ-RTK (Net-RTK) kavramının yaşantımıza girmesine neden olmuştur. Ağ-RTK tekniğinde, tüm referans istasyonlarından alınan gözlemlere ait düzeltmeler hesap merkezinde hesaplanır ve bu ağ düzeltmeleri tüm kullanıcılara uygun iletişim teknikleri ile yayınlanır (Kahveci, 2009).

Çoklu referans istasyonu tekniği "Ağ yapısında RTK" yada kısaca "Ağ-RTK (Net-RTK)" olarak tanımlanmakta olup, burada GNSS gözlem tekniklerinin gücü ile ağ yapısının üstünlükleri (ağ dengelemesi) birleştirilmiştir. Ağ-RTK tekniğinin ortaya çıkmasındaki temel düşünce klasik RTK tekniğindeki uzaklığa bağlı hataların modellenmesinin sağlanması ve gözlemlere gerekli düzeltmelerin getirilerek daha doğru koordinatların elde edilmesidir. Sonuç olarak Ağ-RTK, klasik RTK tekniğine göre daha uzun baz uzunluklarında (50-100 km) faz gözlemlerine dayalı olarak cm doğruluğunda ve gerçek zamanlı konum belirleme tekniğidir. Ağdaki referans istasyonları uzaklığa bağlı hataların en İyi şekilde modellendirilerek arzu edilen doğruluk seviyesinin ve hızlı belirsizlik çözümünün sağlanabileceği şekilde uygun dağılımda ve yeterli sıklıkta kurulmalıdır. Ağ-RTK tekniği kullanılarak ölçmelerin yatırım maliyetinde önemli ölçüde tasarruf sağlanmıştır. Örneğin, 50 km x 50 km'lik bir alanda klasik RTK tekniği kullanılması durumunda gerekli olan referans istasyonu sayısı yaklaşık 5-8 arasındır. Oysa Ağ-RTK tekniği kullanılarak aynı büyüklükteki bir alanda gerekli olan referans istasyonu sayısı 1 yada 2 tanedir.

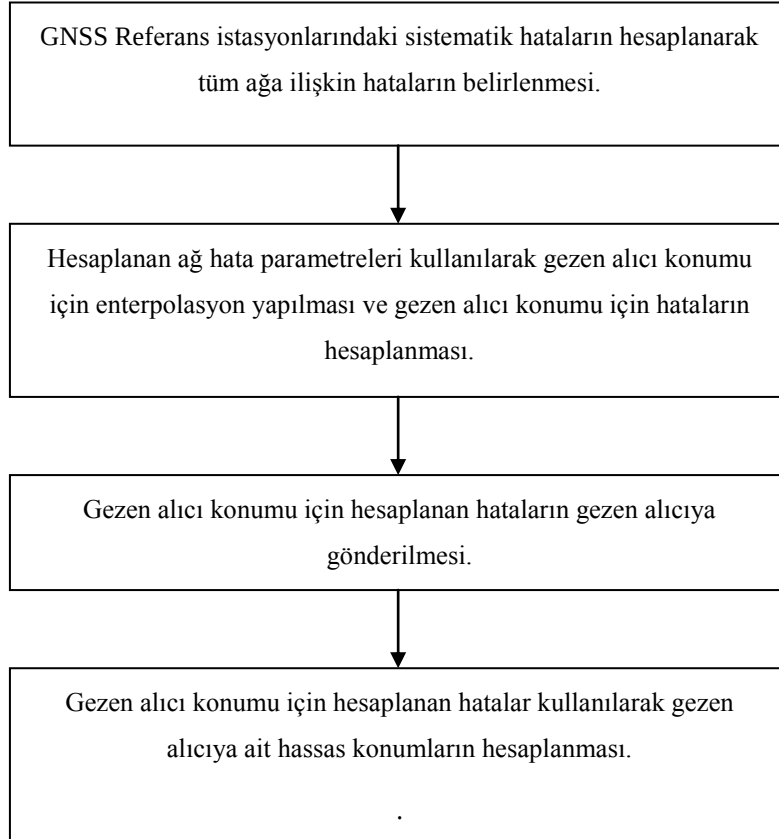
Ağ yapıların klasik RTK' ya göre üstünlükleri genel olarak şu şekilde sıralanabilir;

- Tek anlamlı ve homojen bir koordinat sisteminde ölçü yapılmaktadır,
- Uzaklığa bağlı ölçeklendirme sorunu ortadan kalkmıştır,
- Tüm ağ için oluşturulan atmosferik modelden yararlanılarak, her bir ölçü noktası için gerekli düzeltmeler enterpole ile hesaplanabilmektedir,
- Yüksek kalitede sonuçlar elde edilmektedir,
- Etkin ve performansı yüksektir,
- Veriler ülke uzay referans datumunda (örn. ITRF, WGS84 vb.), sürekli, gerçek zamanlı ve arşivlenerek sağlanmaktadır,
- Hizmet sunumu söz konusudur,

- Referans istasyonları bir kere kurulmaktadır,
- Modellenen ağda kullanıcılara sağlanan doğruluk seviyesi sabittir.

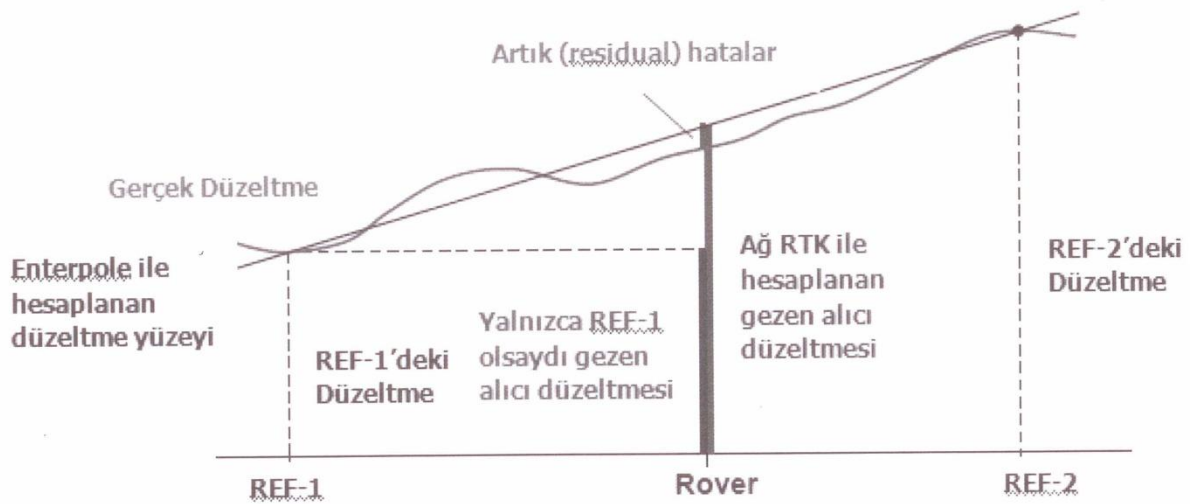
Ağ-RTK tekniğinde gerçekleşen işlem adımları genel olarak ;

- Referans istasyonda faz bilinmeyenleri çözümü gerçekleştirilir.
- Atmosferik düzeltme miktarları hesaplanır.
- İyonosferik etkiler zaman bağlı olarak büyük değişim gösterdiğinden, bu düzeltme katsayıları örneğin 5 saniyede bir hesaplanıp gezen alıcılara gönderilmelidir.
- Troposferik etkiler ise daha yavaş değişim gösterdiğinden, bu düzeltmelerin yaklaşık 60 saniyede bir hesaplanıp gönderilmesi yeterlidir.
- Söz konusu düzeltmelerin sağlıklı olarak belirlenebilmesi için hesaplamalarda gezen alıcıya en yakın referans istasyonlarının verileri kullanılmalıdır.
- Referans istasyonlarında hesaplanan mesafe bağımlı düzeltmeler ve/veya koordinat düzeltmeleri gezen alıcılara uygun veri aktarma yöntemleri ile gönderilir.
- Son aşama olarak, bu düzeltmeler kullanılarak gezen alıcı hassas konumları belirlenir.



Şekil 3.2 Ağ-RTK İş Akışı

Şekil 3.2'de özetlenen iş akışındaki ağ düzeltmeleri yalnızca atmosferik etkiler için hesaplanmaktadır. Diğer etkiler (yörünge, sinyal yansıması vb.) ağ düzeltme parametreleri yöntemiyle hesaplanmamaktadır. Atmosferik etkilere ilişkin düzeltme tekniği iki sabit GNSS istasyonu olması durumuna göre Şekil 3.3 'de görülmektedir. İstasyon sayısı arttıkça bu modelin daha da karmaşık hale geleceği açıktır. Söz konusu şekilde REF-1 ve REF-2 ile, sabit GNSS istasyonları (örn. TUSAGA-Aktif/CORS-TR istasyonları) ifade edilmektedir.



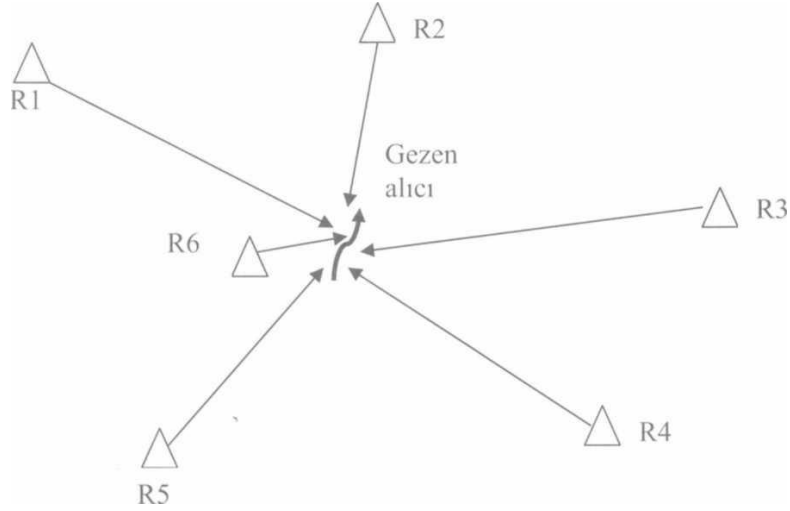
Şekil 3.3 Atmosferik Etkilere ilişkin ağ RTK düzeltmelerinin hesabı (Kahveci, 2009).

Ağ verilerinin gezen alıcılara aktarılmasında farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler;

- Düzeltmelerin referans istasyonunda yada gezen alıcıda yapıldığına göre,
- Gönderilecek bilgilerin kapsamına,
- Veri aktarma protokolüne (formatına) ve
- Veri aktarma ortamına (telsiz, GPRS vb.) bağlı olarak değişmektedir,

a. Düzeltmelerin gezen alıcıda yapılması durumunda (Şekil 3.4);

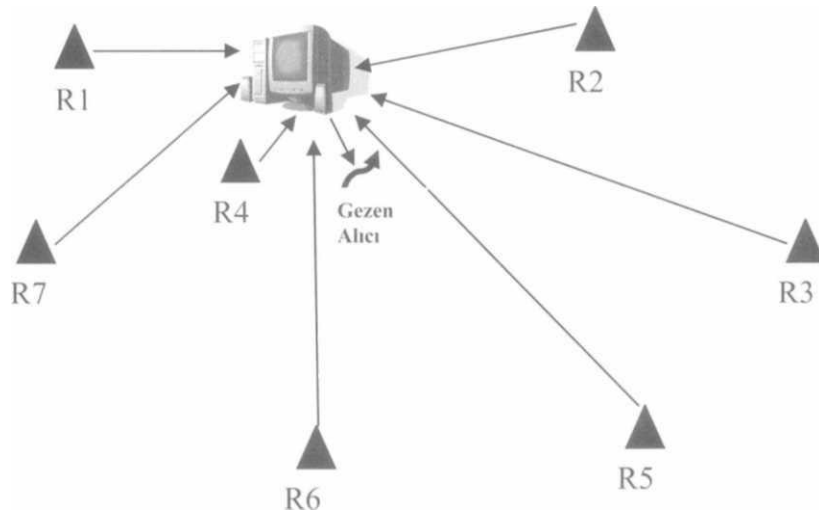
- Çok sayıda referans istasyonuna ait düzeltmelerin gezen alıcıya gönderilmesi,
- Referans istasyonlarla gezen alıcı arasında çok sayıda veri aktarma kanalı kurulması,
- Yüksek veri aktarım hızı olması gerekmektedir. Bu da yüksek maliyet demektir.



Şekil 3.4 Düzeltmeler gezen alıcıda hesaplanıyor.

b. Düzeltmelerin hesap merkezinde yapılması durumunda (Şekil 3.5);

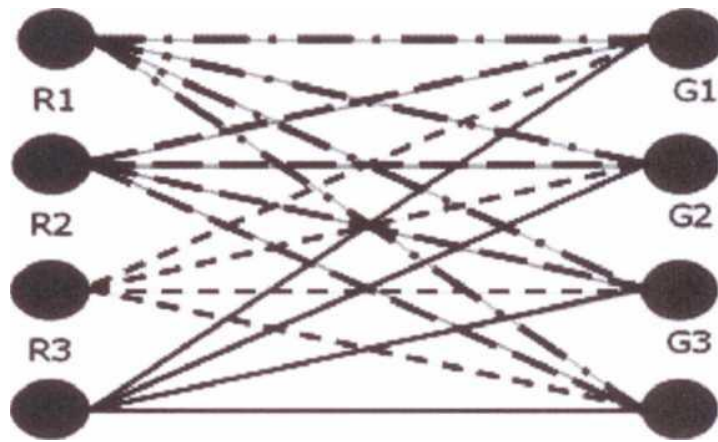
- Referans istasyonlardan gözlemlerin faz bilinmeyenleri çözülür,
- Uydu yörünge, uydu saati, troposfer ve iyonosfer için güvenilir modellendirme yapılabilir,
- Her gezen alıcı için çözüm yapılır,
- Gezen alıcıya tek bir veri kümesi gönderilir,
- Tek bir veri aktarma hattı kurulması yeterlidir,
- Düşük veri hızı yeterlidir.



Şekil 3.5 Düzeltmeler hesap merkezinde hesaplanıyor.

Klasik RTK tekniğinin doğruluk ve güvenilirliğini artırmak için birden fazla referans istasyonundan alınan veriler/ düzeltmeler kullanılmaktadır. Ancak bu durumda bile yeterli sayıda ve uygun sıklıkta referans istasyonu ölçüsü bulmak olanaklı olmayabilir. Bu amaçla Javad Ashjaee tarafından 2008 yılı içerisinde yeni bir düşünce ortaya atılmıştır. Yeni kavrama "Küme-RTK (Cluster RTK)" ya da "4x4 RTK" adı verilmektedir.

Söz konusu teknikte 4 referans ve 4 gezen alıcı ölçüsü toplanmakta, her bir RTK ölçüsü için 16 baz hesaplanmaktadır. Ölçü ve hesaplamalarda bilinen GNSS ölçme teknikleri ile ağ dengeleme modeli birlikte kullanılmaktadır. Bu da ölçü ve hesaplamalara ek bir yük getirmemektedir, (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Küme RTK

Örnekten de görüleceği gibi; 8 noktalı bir ağda oluşturulan 16 bazın ağ dengelemesi yapılarak hatalı ölçüler atılmakta, güvenilir ve kontrollü sonuçların elde edilebileceği varsayılmaktadır. RTK ölçülerinin 20Hz sıklıkla yapıldığı düşünülürse, her 0.05 sn.de doğru ve güvenilir koordinat belirlenmiş olacaktır.

Bu yöntemin yüksek doğruluk isteyen jeodezik ve mühendislik amaçlı ölçmelerde önemli bir iyileşme sağlamayacağı, ancak özellikle makine kontrol uygulamalarında dikkate değer katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca, hesaplanan 16 bazdan ve bunlara ilişkin koordinatlardan en azından bir kısmının, ormanlık bölgelerde ya da yerleşim alanlarında koordinat belirleyememe sorununun çözümü için yeterli olacağı varsayılmaktadır. Bununla birlikte, söz konusu yöntem çok yeni olduğu ve henüz kullanımına ilişkin deneme yada sonuçlar yayınlanmadığı için bu yöntem kullanılarak elde edilecek performans ve doğruluklar konusunda öngöründe bulunmak henüz olanaklı değildir (Kahveci, 2009).

Ağ-RTK tekniğinin günümüzde en fazla uygulanan şekli sabit GNSS ağlarıdır (CORS). Türkiye'de de bu amaçlı bir ağ (TUSAGA-Aktif) kurulmakta olup, bu ağ ile ilgili ayrıntılı bilgi beşinci bölümde verilmektedir. Diğer taraftan günümüzde "CORS" ile "RTN (Ağ-RTK)" tanımlarında da farklılıklar bulunmaktadır. Bununla birlikte genel kabul gören en kapsamlı tanımıyla "CORS" ile cm doğruluğunda konum belirlenmesine olanak tanıyan, ulusal nitelikte olan ve aynı zamanda ölçü sonrası büro hesaplamalarına (post process) olanak tanıyan arşiv sistemine sahip ağ ifade edilmektedir. Oysa RTN ile yerel ve özel kuruluşlarca tesis edilen ve işletilen, yalnızca cm doğruluğunda gerçek zamanlı (RTK) hizmet veren ağlar anlaşılmaktadır. CORS ve RTN sistemlerinin ortak yanı ise her ikisinin de yeryüzünde belirli sıklıkta kurulmuş sabit GNSS istasyon verilerinin kullanılmasıdır.

3.4. RTK Veri İletişiminde Kullanılan Teknolojiler

Gerçek zamanlı kinematik konum belirleme, GNSS kod ve faz ölçü düzeltmelerinin referans ve gezen alıcılar arasında alınmasını ve gönderilmesini gerektirmektedir. RTK bilgilerinin aktarılmasında kullanılacak olan veri iletişim tekniklerinin belirlenmesinde teknik (uzaklık, kapsama alanı, bant genişliği, güvenilirlik vb.), ekonomik(maliyet) ve idari konular(mevzuat) etken olmaktadır. Kullanıcıların büyük bölümü hareketli ve arazi şartlarında çalıştığı için gerçek zamanlı DGNSS ve RTK uygulamalarında ham veri ve/veya düzeltme bilgilerinin referans alıcılarla gezen alıcılar arasındaki aktarımında genelde radyo modem iletişimi kullanılmaktadır. Radyo modemler, referans alıcı ile gezen alıcı arasındaki telsiz iletişimini sağlamaktadır. Karşılıklı haberleşme için hem referans hem de gezen alıcılarda radyo modem olmalıdır. Referans istasyondan yayınlanan veriler çalışma bölgesinde bulunan sınırsız sayıda gezen alıcı radyo modemi tarafından alınabilmektedir. Bir radyo modemin haberleşme mesafesi, modemin gücüne ve çevresindeki engellerin (yüksek binalar, dağlar vb.) konumuna bağlıdır. Dolayısıyla, modem sınırlarının aşıldığı ölçme alanlarında birden çok referans İstasyonu kurulması genelde uygulanan yöntem olmuştur. Bu sorunun aşılabilmesi için günümüzde daha farklı yöntemler de (GSM/GPRS, uydu haberleşmeleri vb.) kullanılmaya başlanmıştır (Kahveci, 2009).

Standart bir radyo modem genel olarak modülatör, yükseltici (amplifier) ve antenden oluşmaktadır. Modülatör, GPS verisini alıcıdan alarak diğer alıcılara yayınlanabilecek radyo sinyallerine (UHF, VHF, Spread Spectrum vb.) dönüştürür. Yükseltici ise GPS verisinin gezen

alıcıda alınabilmesini sağlayacak şekilde sinyalin gücünü artırır. Dolayısıyla, gezen alıcı ile referans istasyon arasındaki uzaklık ne kadar fazla ise sinyal gücünün de aynı oranda artması gerekmektedir. "UHF" ve "Spread Spectrum" radyo modemler DGNSS ve RTK amaçlı en yaygın kullanılan modemlerdir. Eğer anten çok yüksek bir yere kurulmadıysa "Spread Spectrum" radyo modem menzili yaklaşık 20 km'dir. UHF radyo modemlerde ise, antenin konumuna, yükselticinin gücüne (örn. 35 Watt) ve arazi yapısına bağlı olarak bu uzaklık 45 km.ye kadar çıkabilmektedir. Klasik RTK (tek referans-tek gezen alıcı) uygulamaları için genelde UHF bandı kullanılmaktadır. Diğer taraftan son yıllarda gerçek zamanlı veri transferi için İnternet Protokolü (IP) kullanımı da oldukça yaygınlaşmıştır. Buna örnek olarak NTRIP protokolü verilebilir. Bu protokol, eş zamanlı bilgisayar ve GNSS alıcısı (receiver) bağlantılarında GSM, GPRS, EDGE, CDMA ya da UTMS(üçüncü nesil cep telefonu teknolojileri), uydu haberleşmeleri (OmniSTAR, Globalstar, Iridium, EGNOS, Thuraya, Türksat vb.) tekniklerinden birisi kullanılarak IP ağı üzerinden erişime olanak tanımaktadır. Diğer olası veri aktarma teknikleri olarak FM bandı üzerinden DARC ya da dijital radyo yayını üzerinden DAB düşünülebilir.

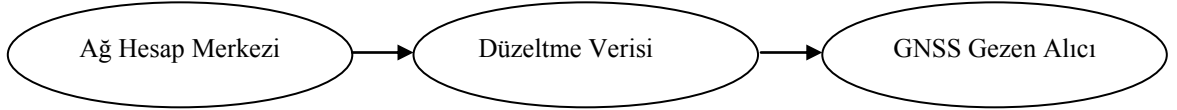
RTK uygulamalarında kullanıcıya aktarılabilecek olan verinin yoğunluğu gözlenen uydu sayısına ve kullanılacak olan veri protokolüne (formatına) bağlıdır. Örneğin, üçüncü bölümde ayrıntıları verilen RTCMv2.3 formatı çift frekanslı bir alıcıdan 12 uyduya ait kod ve faz ölçüleri ve düzeltmelerinin yayınlanması için 4800 bps'ye ihtiyaç vardır. Oysa aynı içerikli ve yoğunluktaki veri kümesi RTCMv3.1 formatı kullanılarak 1800 bps'de aktarılmaktadır.

Ağ-RTK veri ve düzeltmelerinin yayınlanma tekniği de bir diğer önemli konudur. Bu amaçla verilerin hangi çalışma prensibi ile yayınlanacağını belirlemek gereklidir. VHF/UHF sistemlerinde üç farklı teknik bulunmakta olup bunlar simpleks, iki frekanslı simpleks(yarı dubleks) ve dubleks tipi frekans tahsisleridir. Simpleks tekniğinde alıcı ve verici telsizlerin her ikisi de aynı frekans üzerinden haberleşmektedirler. Simpleks prensibi ile çalışan telsizlerde uzaklık sınırlayıcı bir etkidir. Örneğin, sabit telsizler daha uzak, araç yada el telsizleri ise daha kısa uzaklıklarla iletişim kurabilmektedir. Sistem "Bas Konuş- Bırak Dinle" prensibi ile çalışır. İki frekanslı simpleks tekniğinde alıcı ve verici telsizler farklı frekanslar üzerinden haberleşmektedirler. Bu teknikte gerektiğinde kapsama alanı oluşturabilmek için aktarma istasyonları (role) kullanılabilir. Dubleks tekniğinde ise telsize alma ve gönderme işlemleri aynı anda gerçekleşmektedir. Burada "bas-konuş" prensibine gerek

yoktur. Cep telefonu istasyonlarının çalışma prensibi dubleks tekniğine örnek olarak verilebilir. Ağ-RTK uygulamalarında şartlara bağlı olarak simpleks yada dubleks tekniklerinden birisi kullanılmaktadır.

Simpleks tekniği aşağıdaki durumlarda tercih edilmektedir (Şekil 3.7):

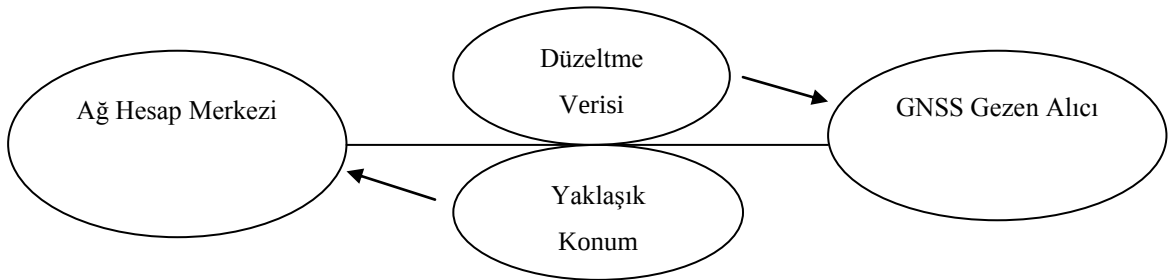
- Referans istasyonlarının seçilmesi ve bunların her biri ile bağlantı kurulması işlemlerinin kullanıcı tarafından yapılması durumunda,
- Mevcut ağın proje alanını kapsayan alt ağının kullanıcı tarafından seçilmesi durumunda,
- Referans istasyonu bilgileri ile ağ düzeltme model parametrelerinin alınması için ağdaki en yakın istasyonun kullanıcı tarafından seçilmesi durumunda.



Şekil-3.7. Simpleks tekniği ile veri iletişimi

Dubleks tekniği ise kendi yaklaşık konumunu hesap merkezine gönderen kullanıcıya (gezen alıcı) merkez tarafından (Şekil 3.8):

- Proje alanı çevresindeki referans istasyonlarının belirlenmesi ve bunların verilerinin gönderilmesi,
- Proje alanına en yakın referans istasyonunun belirlenmesi, bu istasyon verileri ile ağa ilişkin model düzeltme parametrelerinin gönderilmesi,
- Sanal referans istasyonu (VRS) verilerinin gezen alıcıya gönderilmek üzere üretilmesidir.



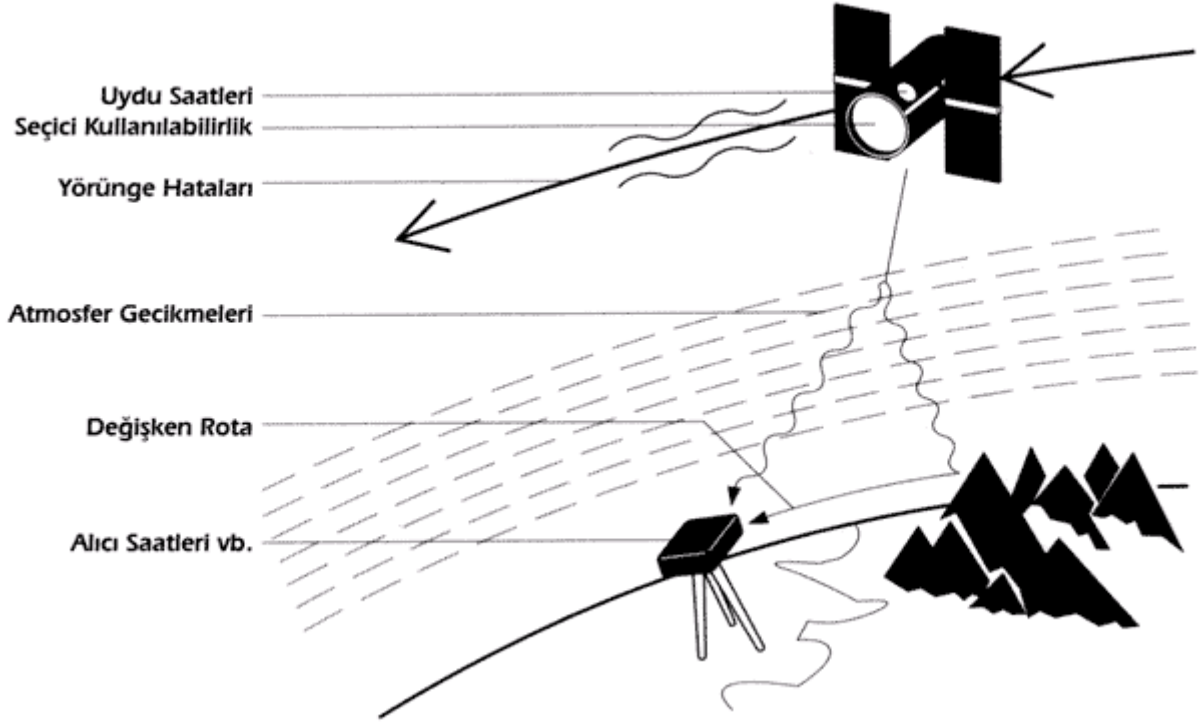
Şekil-3.8. Dubleks Tekniği ile veri iletişimi

Simpleks tekniğinin üstünlüğü, sınırsız sayıda kullanıcıya hizmet verebilmesidir. Diğer taraftan, dubleks tekniğinin üstünlüğü ise her kullanıcının ayrı ayrı tanımlanıp ücretlendirmeye olanak sağlamasıdır.(Kahveci,2009)

Elektromanyetik dalgalar kullanılarak veri iletişimi ve haberleşme faaliyetlerinin verimli ve sorunsuz olarak gerçekleştirilebilmesi için frekans planlamasının yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, elektronik dalgaların(radyo spektrumu) kullanılması uluslar arası yasal düzenlemeler (ITU: International Telecommunication Union) dışında her ülkede de belirli yasal düzenlemelere tabidir (Türkiye'de Telekomünikasyon Kurumu yetkilidir.) Bu düzenlemeler, her bir radyo frekansının bant genişliğini (TV yayını, radyo yayını, GSM operatörleri, silahlı kuvvetler kullanımı vb.) tanımlamaktadır. Dolayısıyla, bu frekans bantlarını kullanabilmek için ilgili kuruma müracaat edilip, kayıt olunarak istenen şartların yerine getirilmesi gerekmektedir. Diğer taraftan belirli bant genişlikleri amatör/bireysel kullanımlar için tahsis edilmiş olup bunlar ISM (Industrial, Scientific and Medical) bantlar (ABD için 900 MHz, Avrupa için 2.4 GHz) olarak bilinmektedir. Türkiye'de Kara mobil telsiz sistemleri için 146-174 MHz, 380-400 MHz ile 400-470 MHz frekans bantları planlanmıştır. Söz konusu bant aralıkları çok az gibi görünmekle birlikte gerçekte her frekans için 250'ye yakın farklı adresleme yapılabildiğinden, eşzamanlı GNSS ölçü çalışmaları önemli bir sorunla karşılaşmadan gerçekleştirilebilmektedir. Türkiye'de GNSS ölçüleri için yararlanılan bant aralığı ise 400-470 MHz arası (GNSS uygulamaları için 443.1375, 443.2375 ve 443.2625 frekansları tahsisli) olup, yararlanma Telekomünikasyon Kurumuna(TK) yapılacak müracaat sonucu alınacak olan lisansa tabidir. Çünkü mevzuat gereği Türkiye'de Elektromanyetik dalgalar kullanılarak yapılan haberleşme ve veri iletişimi için frekans planlaması TK tarafından yapılmaktadır. Söz konusu frekans bantlarının farklı amaçlar için kullanımı, Türkiye'nin de üyesi olduğu Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) tarafından belirlenen Telsiz Tüzüğü ile Avrupa Posta ve Telekomünikasyon Yönetimleri Birliği (CEPT) kararları kapsamında Milli Frekans Planı yapılarak uygulanmaktadır.

4. UYDU YÖNTEMLERİ İLE KONUM BELİRLEMEDE HATA KAYNAKLARI

Bu bölümde GPS ile bağıl konum belirlemede karşılaşılan hata kaynaklarından bahsedilecektir. GPS hata kaynakları modellenebilen (düzenli) ve modellenemeyen (rasgele) olmak üzere iki gruba ayrılabilir.



Şekil 4.1 Bağıl konum belirlemede sonucunu etkileyen hata kaynakları (www.gpsdunyasi)

- Modellenebilen düzenli hatalar
 - Uyduya bağımlı düzenli hatalar
 - Uydu yörünge hataları
 - Uydu saat hataları
 - SA ve AS etkileri
 - Alıcıya bağımlı düzenli hatalar
 - Alıcı saat hataları
 - Sabit istasyon koordinat hataları
 - Ölçüye bağımlı düzenli hatalar
 - İyonosferik refraksiyon
 - Troposferik refraksiyon
 - BFB hatası

a. Modellenemeyen düzenli hatalar

- Faz sıçramaları
- Yansıma hatası
- Anten faz merkezi hatası

4.1. Modellenebilen Düzenli Hatalar

Modellenebilen düzenli hatalar yeterince modellenebilen ve etkileri ihmal edilebilecek kadar azaltılabilen ya da ölçülerin özel kombinasyonları sonucu ortadan kaldırılabilen model hatalarıdır.

4.1.1. Uydu Kaynaklı Düzenli Hatalar

Uyduya ya da GPS'in uzay bölümüne bağlı olan hatalardır. Bu hatalar modellenebilen ya da etkileri azaltılabilen model hatalardır. Bunlar;

a. Uydu Yörünge Hataları

Uydunun bilinen konumu ($\underline{r}'$) ile gerçek konumu ($\underline{r}$) arasındaki fark vektörü ($\underline{dr}$) uydu yörünge hatasıdır. $\|\underline{dr}\|$ uydu konum hatası, $\|\underline{b}\|$ baz uzunluğu olmak üzere, mutlak konum belirleme ve bağıl konum belirlemedeki etkileri kabaca aşağıdaki bağıntılarla hesaplanabilir:

$$\underline{dr} = \underline{r}' - \underline{r} ,$$

$$\text{Mutlak Konum Belirleme Hatası} \approx \text{PDOP} \times \|\underline{dr}\| ,$$

$$\text{Bağıl Konum Belirleme Hatası} \approx \{ \|\underline{dr}\| / (\underline{r}) \} \times \|\underline{b}\| .$$

Birkaç kilometrelik baz uzunlukları için yörünge hatasının etkisi oldukça küçüktür. Ancak, baz uzunluğu arttıkça yörünge hatasının etkisi de artmakta, bu ise GPS sisteminin yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda kullanılmasında sorun oluşturmaktadır.

Uydu yörünge bilgileri, uyduların önceden izlenmiş yörüngelerinden yararlanarak kestirilen ve kullanıcılara ölçme anında ulaşan yayın yörünge bilgileri (Broadcast Ephemerides, BE) ve

ölçme anındaki izlenmiş uydu yörüngelerini de kapsayan ve ölçü sonrası değerlendirmeye tabi tutularak belirlenen duyarlı yörünge bilgileri (Precise Ephemerides, PE) olarak bilinen iki temel yörünge bilgisi ile kullanıcılara ulaştırılırlar. Duyarlı yörünge bilgileri, ölçme anında kullanıcıya ulaşmaz, daha geç elde edilirler. Bunun nedeni verilerin ana istasyonda toplanması, yörünge hesaplamaları ve kullanıcılara dağıtılması sırasında yaşanan gecikmelerdir. Planlama amacıyla üretilmiş olan ve kullanıcının önceden ulaşabileceği almanak bilgileri (Almanac Data, AD), GPS navigasyon mesajları ile birlikte ölçme anında elde edilirler.

Bu hatanın giderilmesi uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi ya da modellenmesine bağlıdır. Yörünge hatası üç bileşenle ifade edilmekte olup bunlar radyal(radial), teğet(tangential) ve çapraz yörünge (cross-track) hatalarıdır. Bu bileşenlerden en küçük etkiye sahip olan radyal hatadır. Diğer ikisi bu hatanın yaklaşık bir katı daha kötüdür.

b. Uydu Saat Hataları

GPS ile konum belirlemenin temelini zaman ölçümü oluşturduğundan konum belirlemede en büyük hata kaynağını uydu saat hataları oluşturmaktadır. Uydu saat hataları yörünge bilgileri ile birlikte kullanıcılara ulaşır. Bilindiği gibi uydu saat hatası Kontrol Bölümü tarafından sürekli olarak izlenmekte ve yayın efemerisi saat düzeltmeleri günlük olarak Navigasyon Mesajının bir bölümü olarak yüklenmektedir. Bu düzeltmelerin temel nedeni, uydu-alıcı uzaklığının hesaplanmasındaki toplam hatayı olabildiğince azaltmak, bunun için ise yapılması gereken uydu saatleri ile GPS zamanı arasındaki yaklaşık 20 nanosaniyelik senkronizasyonu sağlamaktır.

c. SA ve AS Etkileri

Seçimli Doğruluk Erişimi (SA; Selective Availability) yetkisiz kullanıcıların GPS'in sağladığı doğruluklara ulaşmasını engellemek amacıyla konum belirleme doğruluklarının ABD tarafından kasıtlı olarak kötüleştirilmesidir. 1 Mayıs 2000 tarihinde sona erdirilmiştir. SA, delta (δ) ve epsilom (ϵ) olarak bilinen iki farklı bileşenden oluşur. δ -bileşeni, bilinçli olarak uydu saatinin frekansı ile oynanarak, kod ve faz uzunluk ölçülerinin olduğundan uzun ya da kısa olarak üretilmesine neden olur. SA'nın saat parametrelerinin kasıtlı bozulduğu bileşeni altında (δ -bileşeni) faz ve kod ölçülerinde 10-100 m. hatalara neden olurlar.

SA'nın ε -bileşeni, ölçme anında yayınlanan parametrelere hatalar yüklenmesi ile gerçekleştirilir. Konum belirleme amacı ile kullanılan uydu yörünge bilgileri, üzerlerine yüklenen hataları alıcı konum bilgileri üzerine yayarlar.

AS (Anti-Spoofing), P-kod karakteristiğini değiştirerek GPS sinyalinin yapısını bozar. P-kodu, W kod olarak adlandırılan bir kodla karıştırılır, bunun sonucunda Y-kodu oluşur. Daha sonra bu kod taşıyıcı dalga üzerine modüle edilir ve böylece P-kod ölçüsü yapması engellenmiş olur. Bir çok üretici, sadece küçük bir hata ile P-kod ölçüsü yapabilen (çapraz korelasyon) teknikler geliştirmişlerdir. AS P-kod üzerinde etkilidir, P-kod ölçüsü yapmayan alıcılarda bu etkiden söz edilemez. SA etkisi kaldırılmasına rağmen AS etkisi günümüzde hala devam etmektedir.

4.1.2. Alıcı Kaynaklı Düzenli Hatalar

Kullanıcı bölümüne ya da alıcıya bağlı olan modellenen ya da etkileri azaltılabilen model hatalarıdır. Bunlar;

a. Alıcı Saat Hatası

Alıcı saatleri, kod korelasyonuna göre çalışan alıcılarda SA altında normal çalışma koşullarına göre yaklaşık 0.1 μ s civarında GPS zamanına senkronize edilmişlerdir. SA kapalıyken muhtemelen 0.1 μ s seviyesinde olan saat hatalarıdır.

b. Sabit İstasyon Koordinat Hatası

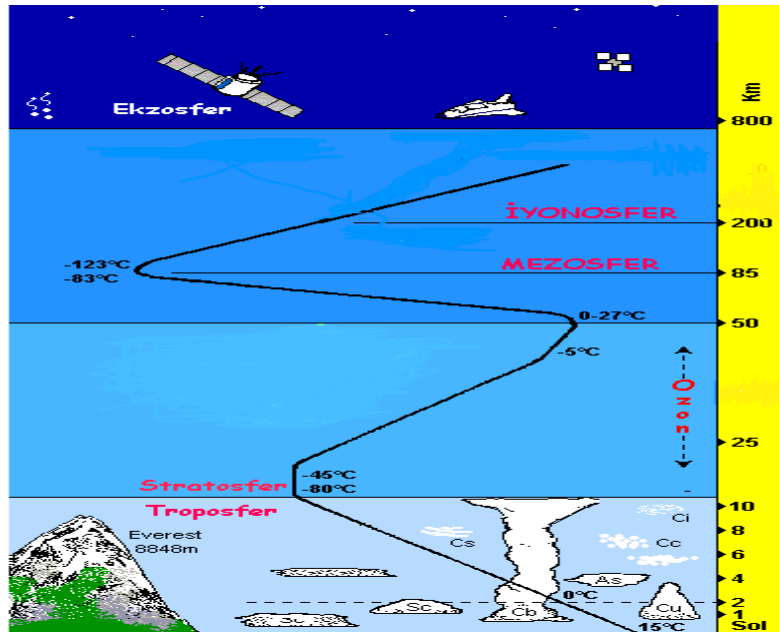
Bağıl konum belirlemede sabit alınan alıcının koordinatlarındaki hata, baz bileşenlerinin ve koordinatları hesaplanacak ikinci alıcının koordinatlarının hatalı olmasına neden olur. Buradaki hatanın bağıl konum belirlemedeki etkisi uydu yörünge hatalarının bağıl konum belirlemedeki etkileri gibi düşünülebilir. Daha doğru bağıl konumlama yapabilmek için, referans seçilen alıcının koordinatlarının belirlendiği uydu yörüngelerinin koordinat referansı daha doğru olmalıdır. Referans istasyon hatasının Bağıl konum belirlemedeki etkisi (3.3) bağıntısındaki $\|\underline{dr}\|$ sabit istasyon hatası ve $\|\underline{r}\|$ istasyon noktasının yer vektörü kabul edilerek, bu bağıntıdan kabaca hesaplanabilir.

4.1.3. Ölçü Kaynaklı Düzenli Hatalar

Yeterince modellenebilen ya da model etkileri yeterince azaltılabilen düzenli hatalardır. Atmosferik etkiler ve BFB bu türe girer. Atmosferik etkiler için detaylı bilgi (Leick, 1995; Hofmann-Wellenhof vd., 1997) kaynaklarından ulaşılabilir. Genellikle GPS de atmosfer iki katman olarak düşünülür. Nötüral özellik gösteren 0-50 km arası oluşan atmosfer katmanı troposfer, iyonize özellik gösteren 50-1000km arası atmosfer katmanı ise iyonosfer olarak adlandırılır. (Hofmann-Wellenhof vd., 1997).

a. İyonosfer Etkisi

GPS uydularından yayınlanan sinyaller atmosfere girmeden önce uzaydaki boşlukta ilerlerler. Bu sinyaller atmosfere girdiğinde içinden geçtikleri ilk tabaka iyonosferdir. İyonosfer tabakasında, Güneş'ten gelen ışınlar ile serbest kalan elektronlar mikrodalga sinyallerinin bu katmanda yayılışını etkiler. Sinyal iyonosferden geçerken, kod ve faz ölçülerini eşit fakat farklı yönlerde etkiler. Kod ölçüleri geometrik uzunluğa göre uzun ölçülürken, faz ölçüleri için durum bunun tam tersidir. Sinyallerde meydana gelen bu uzama ya da kısalma sinyalin geçtiği yol boyunca olan elektron yoğunluğunu TVEC' e (Total Vertical Electron Content) bağlıdır. TVEC miktarı, alıcının manyetik enlemine, zamana ve uydu yüksekliğine bağlı olarak değişmektedir. İyonosfer tabakasının GPS sinyallerine olan etkileri çift frekanslı ölçülerle büyük oranda giderilebilmektedir. İyonosferden geçen sinyaller sırasıyla mezosfer, stratosfer ve troposfer tabakalarından ilerlerler (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 GPS sinyallerinin atmosferde ilerlediği tabakalar (www.meteor.gov.tr)

Bu çalışmada seçilen bazlar 10km' den küçük olduğundan iyonosferik ve troposferik modeller değerlendirme aşamasında kullanılmamıştır.

b. Troposfer Etkisi

Sinyalin refraksiyonuna neden olan nötr atmosfer katmanı troposfer, yeryüzünden yaklaşık 8 km'ye kadar olan kısımdır (bu kalınlık ekvatorunda bunun yaklaşık iki katına ulaşır). Nötr olan atmosferin bir diğer bileşeni de stratosferdir. Yeryüzünden 50 km yüksekliğe kadar uzanır ve iyonosferik katmanın tabanını oluşturur. Troposfer tabakası iyonosfer tabakası gibi elektrik yüklü olmadığından yaklaşık 30 GHz'in altındaki radyo frekansları için dağıtıcı özelliğe sahip değildir. Bu nedenle, troposfer tabakasında GPS sinyallerinin yayılması frekans bağımlı değildir. Dolayısıyla, troposferin faz ve kod ölçülerine olan etkisi aynı büyüklüktedir. Dolayısıyla troposferik etkileri GPS alıcılarının çift frekans özelliğinden yararlanarak gidermek olanaklı değildir. Bunun için çeşitli matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modeller yardımıyla troposferik etkiler minimuma indirilebilmektedir.

c. Başlangıç Faz Belirsizliği

Gözlenen faz ölçülerinden yüksek duyarlıklı sonuçlar (uydu alıcı uzaklığı) elde edebilmek için faz belirsizliklerinin doğru olarak çözülmesi gerekmektedir. Bilindiği gibi GPS alıcısı ölçü anında yalnızca uydu sinyali ile alıcı sinyali arasındaki fazı ölçer. Alıcının açıldığı anda devreye giren sayaç, uydu alıcı fazı 0 ile 2π arasında değiştiğinde +1 veya -1 artar ve azalır. Böylece ilk ölçü epokundan itibaren fazdaki tam sayı dalga boyu değişimleri belirlenmiş olur. Bununla birlikte ilk epok (başlangıç anı) için uydu alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazının kaç tane tam dalga içerdiği bilinmemektedir. Bu bilinmeyene Taşıyıcı Dalga Faz Başlangıç Belirsizliği (Initial Phase Ambiguity) ya da kısaca faz belirsizliği (ambiguity) adı verilmektedir. (Kahveci, 2001).

Faz belirsizliklerinin çözümü özellikle bilimsel amaçlı çalışmalarda, yoğun çaba ayrıntılı bilgi ve deneyim gerektirmektedir. Ancak, pratik amaçlı konum belirlemede (20 km'yi geçmeyen kısa bazlarda) bu sorun mevcut GPS yazılımlarında tamamen otomatik olarak ve kullanıcıya yük getirmeksizin çözülmüştür.

Doğrudan elde edilmeyen bu değer, ölçme modeli içerisinde bilinmeyen parametre olarak eklenerek kestirilmeye çalışılır. Çözüm sonucunda rastgele ölçme hataları ve modelde

yeterince yansıtılmayan bazı parametrelerin etkileri BFB'nin (Başlangıç Faz Belirsizliği) gerçek sayı olarak elde edilmesine neden olur. Tam sayı olması gereken BFB'nin çözümü için EKK (En Küçük Kareler) kestirim fonksiyonu kullanan ve istatistik testlere dayanan bir çok çözüm yöntemi geliştirilmiştir ve halende geliştirilmektedir.

4.2. Modellenemeyen Düzenli Hatalar

Modellenebilen hatalar kısa bazlarda (10 km'den küçük) çok küçük etkilere neden olur. Bu başlık altında ise dikkat edilmesi gereken ve baz çözümlerinde anlamlı değişikliklere neden olan hata kaynaklarından bahsedilecektir.

a. Faz Sıçraması

Bir GPS alıcısı tarafından alınan sinyal;

- Ölçü noktası çevresinde ağaç, bina, köprü, dağ vb. uydu sinyallerinin alıcıya ulaşmasını engelleyen nesneler,
- Kötü iyonosferik şartlar nedeniyle sinyal-gürültü (S/N) oranının düşük olması,
- Sinyal yansıma etkisi (multipath),
- Alınan sinyalin zayıf olması,
- Alıcı yazılımında oluşabilecek arızalar sebebiyle kesintiye uğrayabilir.

Uygulamada faz sıçraması genellikle verilerin önceden işlenmesi ile belirlenir ve giderilir. Faz sıçraması belirlemek için; konum belirleme moduna, baz uzunluğuna, elde edilen verilere, anten yapısına vb. bağlı olan bir çok yöntem uygulanmıştır.

b. Yansıma Hatası

Yansıma hatası, uydudan yayınlanan sinyal alıcı antenine gelmeden önce, yansıtıcı bir yüzeyden yansıyarak alıcıya ulaşmasından kaynaklanan hatadır. Yansıma hatasında kastedilen genellikle alıcı anten çevresindeki yansıtıcı yüzeylerden kaynaklananlardır. Bunlar BFB değerlerini etkilemezler. L1 ya da L2 dalga boyları için 5-6 cm civarındadır.

c. Anten Faz Merkezi Hatası

Anten faz merkezi GPS sinyallerinin antene ulaştığı nokta olup bu nokta genellikle geometrik faz merkezinden farklıdır. İdeal olarak GPS anteninin faz merkezi, antene ulaşan sinyalin

geliş doğrultusundan bağımsız olması gerekir. Ancak uygulamada, uydu sinyalinin azimut ve yükseklik açısına bağlı olarak jeodezik antenlerin faz merkezlerinde küçük değişimler gözlenmektedir. Bu anten üreticilerinin gidermesi gereken bir problemdir. Testler bazı anten tipleri için bu değişimin küçük, bazıları içinde büyük olduğunu göstermiştir ve genellikle birkaç mm ile 1-2 cm arasında değişmektedir. Aynı yapı ve model antenler benzer değişimler gösterdiğinden, antenler aynı doğrultuya (genellikle manyetik kuzeye) yönlendirilerek bağıl konum belirleme yönteminde bu etki en aza indirilmektedir. (Kahveci, 2001).

5. UYGULAMA (TAVŞANLI RTK İSTASYONU)

5.1. Sistemin Tanıtılması

Sabit RTK GNSS ağlarının (CORS) kurulmasındaki temel amaç uzaklığa bağlı olarak farklılık gösteren hataların (iyonosfer, troposfer, yörünge vb.) giderilmesi ve böylece doğruluğu yüksek koordinatların gerçek zamanlı olarak elde edilmesidir.

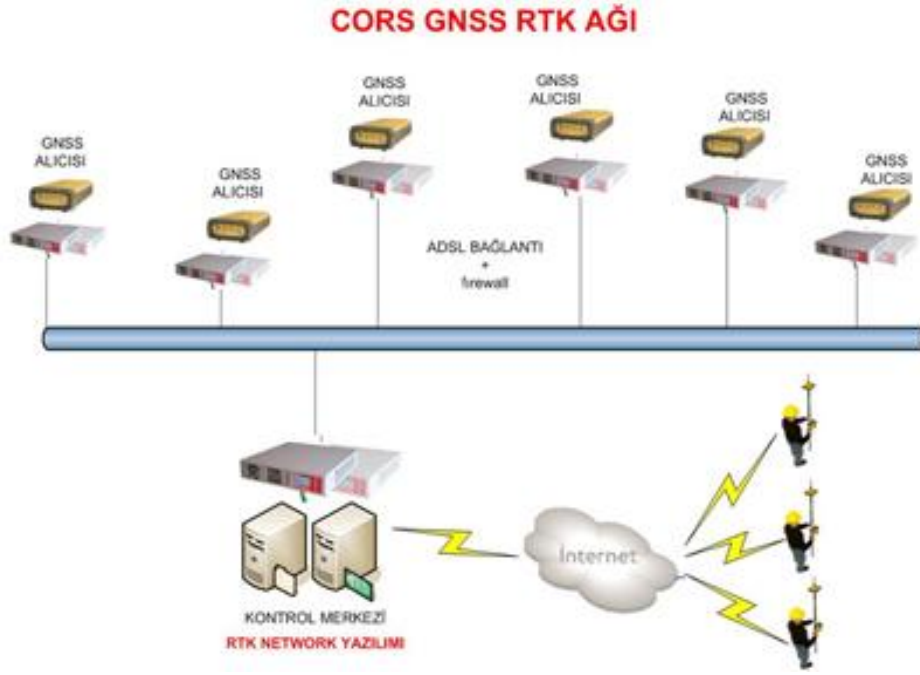
Gerçek zamanlı ve kontrollü hesaplamaların yapılabilmesi için ağdaki tüm istasyonlar birbirleriyle güvenilir bir iletişim vasıtasıyla bağlanmaktadır. Bir referans istasyonu en az bir alıcı, bir anten, iletişim vasıtası ve güç kaynağından oluşmaktadır. Sistemin son ucunda ise ağa herhangi bir iletişim vasıtasıyla (örn. cep telefonu, internet vb.) bu istasyonlara bağlanabilen kullanıcılar bulunmaktadır.

Cors sisteminden yayınlanan düzeltmeyi kullanacak gezici GPS alıcısının arazide GPRS üzerinden internet bağlantısını yapması gerekmektedir. RTK GNSS ağlarında da veriler arşivlenmekte ve hesaplanmakla birlikte bunlara ilave olarak konum düzeltme bilgileri de kullanıcılara gerçek zamanlı olarak herhangi bir iletişim vasıtasıyla yayınlanmaktadır.

Sürekli gözlem yapan sabit istasyonlar aynı zamanda kontrol merkezinde data kaydı yapmaktadır. Statik ölçülerde kullanılmak üzere sabit istasyon noktalarına ait RINEX veriler kontrol merkezinde yayında olan bir web sayfasından kullanıcılara sunulmaktadır.

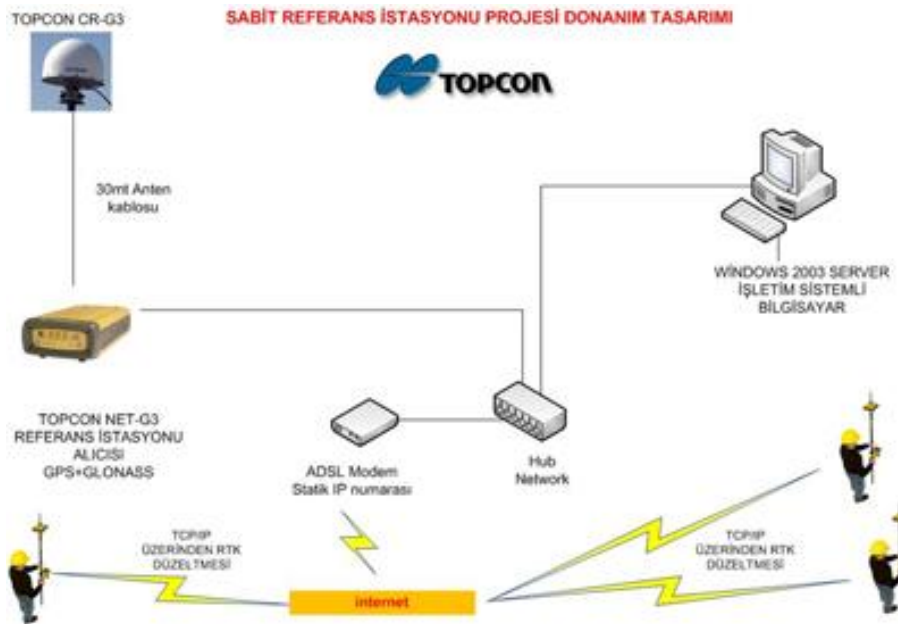
Temel olarak iki şekilde dünyada ve Türkiye de kullanılmaktadır.

- a. **Sabit istasyon Ağları:** 4 adet sabit istasyon ya da daha fazla sayıda sürekli gözlem yapan sabit istasyon noktasından oluşmaktadır. İSKİ-UKBS RTK sabit istasyonları ve Tusaga-Aktif (CORS-TR) bu sistemin Türkiye de çalışan örnekleridir.(Şekil 5.1)



Şekil 5.1 İstasyon Ağları Tasarımı (www.paksoytekni.com)

- b. Tek sabit GPS istasyonları:** Uygulamanın da amacı olan bu yöntem tek bir sürekli gözlem yapan sabit istasyon noktasından oluşmaktadır. 35km çalışma mesafesinde TCP/IP üzerinden ya da NTRIP protokolü ile RTK (Gerçek zamanlı Kinematik) düzeltmelerini yayınlamaktadır. Kütahya Tavşanlı Belediyesine kurulan istasyon bu sistemin Türkiye de çalışan örneklerindendir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Sabit Referans İstasyon Ağı Tasarımı (www.paksoytekni.com)

Her iki şekilde oluşturulmuş olan sisteme kullanıcılar bağlanarak arazide gerçek zamanlı yüksek konum doğruluğunda (2cm-4cm) detay ölçümü ve aplikasyon uygulamaları gerçekleştirebilmektedir.

5.1.1. Tek Sabit Referans İstasyonu

Tek sabit referans istasyonu Kütahya ili Tavşanlı Belediye Başkanlığı tarafından belediye hizmet binası üzerine tesis edilmiştir. Sistem TOPCON firması tarafından kurulmuştur. Referans istasyonun kurulu olduğu binanın mevki ve fotoğrafı Şekil 5.3 'te gösterilmiştir.



Şekil 5.3 Referans İstasyonu (Tavşanlı Belediyesi)

- Sistem bileşenlerinden 1 adet Topcon marka Net-G3 GNSS alıcısı kabin içerisinde Belediye bilgi işlem merkezinde kurulmuştur. (Şekil 5.4)



Şekil 5.4 Topcon Net-G3 GNSS Alıcısı

- 1 adet CR-G3 Jeodezik Choke Ring antenden paslanmaz metal Pilye Üzerinde Belediye binasının çatısında tesis edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 İstasyon Noktası (CR-G3 Anten)

- Bilgi İşlem Merkezinde TopNet Referans istasyonu yazılımının çalıştığı 1 adet Windows işletim sistemli Server Bilgisayar çalışmaktadır.(Şekil 5.6)

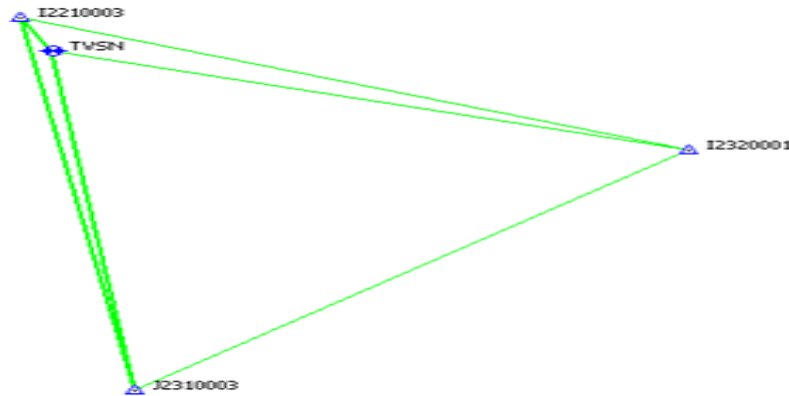


Şekil 5.6 Bilgi İşlem Merkezi Sunucu Bilgisayarı

5.1.2. Referans İstasyonunun Kurulması

İstasyon Paksoy Teknik Şirketi tarafından Topcon firmasına ait donanım ve yazılımlar kullanılarak kurulmuştur. Şirketten alınan ve kurulum aşamalarını içeren teknik rapor aşağıdaki şekildedir;

- Tavşanlı Belediyesi sabit referans istasyonu kurulumu için 1 adet C2 hassasiyetinde nokta tesisi yapılmıştır. Çalışma bölgesinde Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Eskişehir Tapu ve Kadastro Bölge Müdürlüğü Kütahya 3.Grup Sayısal harita yapım işine ait 2 adet C1, 1 adet C2 noktası tespit edilmiştir. (Şekil 5.7)



Şekil 5.7 Tavşanlı Noktasına ait Ağ Kanavası

- Ölçü hassasiyetlerinin yüksek ve istenilen kriterler de olması, ölçü öncesi iyi planlama ile mümkündür. Bu nedenle planlanan ölçü günlerine ait efemeris bilgileri gözden geçirilerek, GDOP<8 olduğu saatlerde ölçüler yapılmıştır.
- Arazi ölçmelerinde 1 adet sabit referans istasyonda Topcon GB-1000 alıcısı ve diğer noktalarda ise 3 adet çift frekanslı TOPCON GR3 tipi alıcı kullanılmıştır. Bu noktanın değerlendirilmesinde çözüm, dengeleme ve uyuşum testi aşamaları için Topcon Tools v6.11 yazılımı kullanılmıştır.
- Tavsanlı noktasının da yer aldığı jeodezik ağ ITRF2005'de serbest dengelenmiştir. Daha sonra ağın daha önceden bilinen 3 TUTGA noktasının 1998.0 epoğundaki ITRF96 koordinatları, noktaların bilinen hızları yardımıyla ölçüm epoğuna kaydırılmıştır. Dengelemeden bulunan koordinatlar ile hızlar yardımıyla günümüz epoğuna kaydırılan koordinatlar arasında Helmert dönüşüm yapılarak elde edilen ölçek faktörünün istatistiksel anlamlılığı test edilmiş ve uyuşumlu bulunmuştur. 3 boyutlu uyuşum testi sonucunda Ölçek Faktörünün -0,7065 ppm değeri bulunmuştur.
- Noktaların uyuşumlu olduğu görüldükten sonra; Ağdaki eski nirengi noktalarının ölçü epoğundaki koordinatları değişmez alınarak dayalı dengeleme yapılmış ve TVSN noktasının ölçü epoğu koordinatları hesaplanmıştır.
- TVSN noktasının hızı Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Eskişehir Tapu ve Kadastro Bölge Müdürlüğü Kütahya 3. Grup Sayısal harita yapım işinde kullanılan TUTGA noktalarına bağlı olarak hesaplanmıştır.
- Proje alanındaki nirengi noktalarından oluşan lup kapanmaları ortalama 1 ppm civarında bir doğrulukla elde edilmiştir.

Tavşanlı istasyon noktasına ait koordinatlar Çizelge 5.1 'de gösterilmektedir.

Çizelge 5.1 Tavşanlı Referans İstasyonu Projeksiyon Koordinatları

TAVŞANLI BELEDİYESİ
SABİT REFERANS İSTASYONU
REFERANS EPOĞUNDAKİ PROJEKSİYON KOORDİNATLARI

ELİPSOİD:GRS-80 DATUM:ITRF-96 EPOK:2005.00 DOM_DG: TM 30-3

GRİD KOORDİNATLARI

NOKTA NO	SAĞA DEĞER(m)	YUKARI DEĞER(m)	h-ELİPSOİD(m)
TVSN	456279.6602	4379000.1891	894.0570

KARTEZYEN KOORDİNATLARI

NOKTA NO	X(m)	Y(m)	Z(m)
TVSN	4287563.5709	2424935.8052	4039623.5994

COĞRAFİ KOORDİNATLARI

NOKTA NO	ENLEM	BOYLAM	h-ELİPSOİD(m)
TVSN	39°32'37.66740"	29°29'28.98669"	894.0570

5.2. Verilerin Elde Edilmesi

5.2.1. Ölçü Güzergâhının Belirlenmesi ve Noktaların Tesisi

Oluşturulacak baz için güzergah belirlenmesi aşamasında 2 alternatif üzerinde duruldu. Her iki alternatifte de noktalar arası uzaklık minimum 3 km maksimum 6 km olacak şekilde belirlenmeye çalışılmıştır. Toplam 8 noktadan oluşacak güzergah için uygulamada daha uygun olacağı öngörülen Tavşanlı Bursa Karayolu üzerindeki güzergah baz olarak kabul edilmiştir.

Güzergâh belirlendikten sonra noktalar arazide tesis edildi. Araziye tesis edilen noktaların röper krokileri ve özellikleri çizelge şeklinde belirtilmiştir.

Çizelge 5.2 N1 noktasına ait röper krokisi

NOKTA TESİSLERİ RÖPER KROKİSİ	
Proje Adı :	TEK SABİT REFERANS İSTASYONU BAZ ALINARAK ELDE EDİLEN RTK GPS ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ
Mevki :	KÜTAHYA / Tavşanlı
Nokta No :	N.1
Açıklama :	Nokta Referans istasyonuna yaklaşık 3 km uzaklıkta olup , etrafı az yoğunlukta yerleşim yerleri ile çevrelenmiştir. Şehir merkezindeki arazi aplikasyonları ve detay alımı için düşünülmüş bir noktadır. .
	

Çizelge 5.3 N.2 ve N.3 noktalarına ait röper krokisi

NOKTA TESİSLERİ RÖPER KROKİSİ	
Proje Adı :	TEK SABİT REFERANS İSTASYONU BAZ ALINARAK ELDE EDİLEN RTK GPS ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ
Mevki :	KÜTAHYA / Tavşanlı
Nokta No :	N.2
Açıklama :	Nokta referans istasyonuna 8.5 km uzaklıkta olup, N.1. noktasına 5.5 km uzaklıktadır. Nokta tesisi karayolu kenarına yapılmış olup, etrafı açık arazi koşullarına sahiptir. Yol çalışmaları ve benzeri uygulamalar için düşünülmüş bir noktadır.
	
	
NOKTA TESİSLERİ RÖPER KROKİSİ	
Proje Adı :	TEK SABİT REFERANS İSTASYONU BAZ ALINARAK ELDE EDİLEN RTK GPS ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ
Mevki :	KÜTAHYA / Tavşanlı
Nokta No :	N.3
Açıklama :	Üçüncü Nokta ; Nokta referans istasyonuna 14 km uzaklıkta olup, bir önceki nokta olan N.2.noktasına 5.5 km uzaklıktadır. Nokta tesisi daha içerde engebeli bir arazi üzerine tesis edilmiştir.
	
	

Çizelge 5.4 N.4 ve N.5 noktalarına ait röper krokisi

NOKTA TESİSLERİ RÖPER KROKİSİ	
Proje Adı :	TEK SABİT REFERANS İSTASYONU BAZ ALINARAK ELDE EDİLEN RTK GPS ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ
Mevki :	KÜTAHYA / Tavşanlı
Nokta No :	N.4
Açıklama :	Nokta referans istasyonuna 18.5 km uzaklıkta olup, bir önceki olan N.3. noktasına 4.5 km uzaklıktadır. Nokta sık ormanlık ve yüksek bir yere tesis edilmiştir.
	
	
NOKTA TESİSLERİ RÖPER KROKİSİ	
Proje Adı :	TEK SABİT REFERANS İSTASYONU BAZ ALINARAK ELDE EDİLEN RTK GPS ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ
Mevki :	KÜTAHYA / Tavşanlı
Nokta No :	N.5
Açıklama :	Nokta referans istasyonuna 23 km uzaklıkta olup, bir önceki noktaya 4.5 km uzaklıktadır. Nokta tesisi az ormanlık ve yüksek bir yere tesis edilmiştir.
	
	

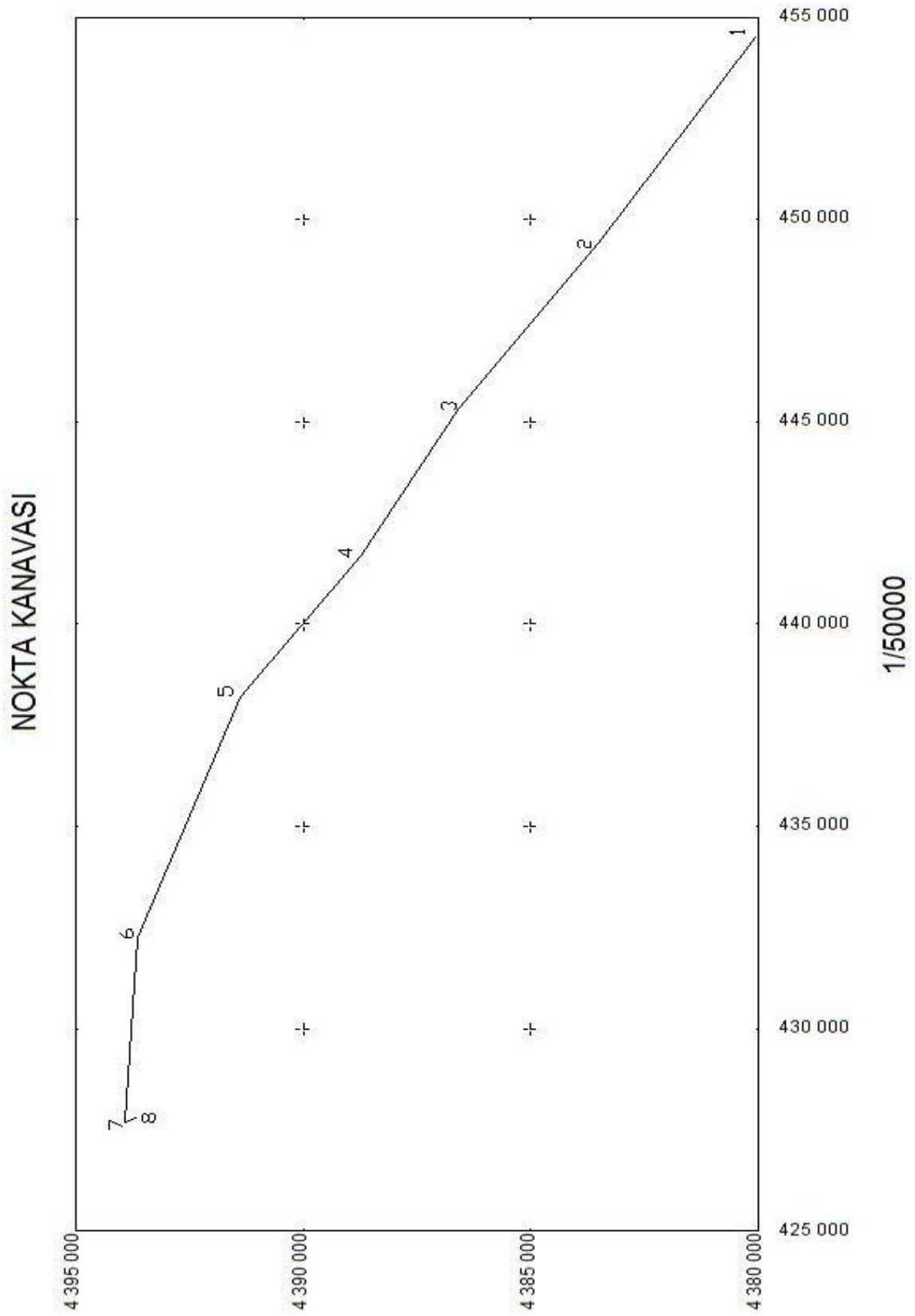
Çizelge 5.5 N.6. ve N.7. noktalarına ait röper krokisi

NOKTA TESİSLERİ RÖPER KROKİSİ	
Proje Adı :	TEK SABİT REFERANS İSTASYONU BAZ ALINARAK ELDE EDİLEN RTK GPS ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ
Mevki :	KÜTAHYA / Tavşanlı
Nokta No :	N.6
Açıklama :	Nokta referans istasyonuna 29.5 km uzaklıkta olup, bir önceki noktaya 6.5 km uzaklıktadır. Nokta tesisi karayolu kenarına ve çukur bir yere yapılmıştır.
	
NOKTA TESİSLERİ RÖPER KROKİSİ	
Proje Adı :	TEK SABİT REFERANS İSTASYONU BAZ ALINARAK ELDE EDİLEN RTK GPS ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ
Mevki :	KÜTAHYA / Tavşanlı
Nokta No :	N.7
Açıklama :	Nokta referans istasyonuna 34 km uzaklıkta olup bir önceki olan N.6. noktasına 4.5 km uzaklıktadır. Nokta yerleşimin yoğun olduğu yerde ve ağaç altına tesis edilmiştir.
	

Çizelge 5.6 N.8 noktasına ait röper krokisi

NOKTA TESİSLERİ RÖPER KROKİSİ	
Proje Adı :	TEK SABİT REFERANS İSTASYONU BAZ ALINARAK ELDE EDİLEN RTK GPS ÖLÇÜMLERİNİN GÜVENİLİRLİĞİ
Mevki :	KÜTAHYA / Tavşanlı
Nokta No :	N.8
Açıklama :	Nokta referans istasyonuna 35 km uzaklıkta olup, bir önceki nokta olan N.7. noktasına 0.5 km uzaklıktadır. Nokta tesisi karayolu kavşağının ortasına yapılmıştır.
	 

Nokta tesisleri krokide gösterildiği yerlerde tesis edilmiş, bu tesis işlemleri yapılırken özellikle Jeodezik uygulamalar göz önünde bulundurularak tespit edilmiştir. Noktalara ait kanava Şekil 5.8 ‘de gösterilmektedir.



Şekil 5.8 Nokta Kanavası

5.2.2. Ölçümlerin Yapılması

Güzergâh üzerinde bulunan noktalardaki ölçme işlemlerine önceden hazırlanan bir plan çerçevesinde başlanmıştır. Öncelikle bu noktalarda RTK GPS ölçmeleri tamamlanıp daha sonra statik ölçmelere başlandı. RTK GPS ölçmeleri her gün bir kez gidiş-dönüş olmak üzere üç gün boyunca sürdü. Her noktaya ait toplam 6 adet RTK GPS koordinat verisi elde edildi. Daha sonra statik ölçmelere geçildi. Her noktada 1.5 saat süreyle ölçümler yapıldı.

Statik ölçüm değerleri Topcon firması tarafından geliştirilmiş olan TOPCON TOOLS Post Processing yazılımı ile değerlendirildi. Değerlendirme sonucu elde edilen değerler Çizelge 5.7’de verilmiştir.

Used GPS Observations					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horizontal Precision (m)	Vertical Precision (m)
1-TVSN	-1070.409	1774.956	35.654	0.001	0.002
2-TVSN	-4524.057	6846.951	-4.706	0.003	0.005
3-TVSN	-7575.246	10935.952	-127.308	0.005	0.008
4-TVSN	-9722.086	14603.177	-124.834	0.009	0.013
5-TVSN	-14654.533	24034.324	52.136	0.01	0.016
6-TVSN	-12364.922	18074.909	0.33	0.013	0.023
7-TVSN	-14927.233	28594.508	183.658	0.011	0.019
8-TVSN	-14665.039	28480.02	200.738	0.008	0.02

Control Points				
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	Code
TVSN	4379000.189	456279.66	894.057	

Adjusted Points													
Name	Grid Northing (m)	Grid Easting (m)	Elevation (m)	WGS84 Latitude	WGS84 Longitude	WGS84 Ell.Height (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev Hz (m)	Std Dev u (m)
1	4380070.598	454504.705	858.403	39°33'12.04190N	29°28'14.39055E	858.403	4287829	2423039	4040418	0.002	0.001	0.002	0.003
2	4383524.246	449432.710	898.763	39°35'02.99813N	29°24'41.00903E	898.763	4288461	2417547	4043082	0.002	0.002	0.003	0.005
3	4386575.435	445343.708	1021.365	39°36'41.02253N	29°21'48.76624E	1021.365	4288881	2413066	4045490	0.004	0.004	0.005	0.008
4	4388722.276	441676.483	1018.891	39°37'49.75736N	29°19'14.36273E	1018.891	4289506	2409192	4047122	0.006	0.006	0.009	0.013
5	4393654.722	432245.336	841.921	39°40'27.17356N	29°12'37.10715E	841.921	4291314	2399348	4050747	0.007	0.007	0.01	0.016
6	4391365.111	438204.751	893.727	39°39'14.56609N	29°16'47.90713E	893.727	4289675	2405282	4049056	0.009	0.009	0.013	0.023
7	4393927.422	427685.152	710.399	39°40'34.66990N	29°09'25.67946E	710.399	4293322	2395243	4050841	0.009	0.007	0.011	0.02
8	4393665.228	427799.640	693.319	39°40'26.20424N	29°09'30.58601E	693.319	4293399	2395420	4050630	0.006	0.005	0.008	0.02

Çizelge 5.7 Statik Ölçüm Dengeleme Sonuçları

Yapılan Statik ölçümlerinden ve gidiş-dönüş RTK ölçümlerinden elde edilen ortalama değerler Topcon'a ait ticari yazılım kullanılarak gerekli dengelemeler yapılmış olup değerler Çizelge 5.8 – 5.9 – 5.10 ve 5.11'da gösterilmiştir.

Çizelge 5.8 Statik Ölçüm Değerleri

Nokta No	Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	h (m)
1	4380070.598	454504.705	858.403
2	4383524.246	449432.710	898.763
3	4386575.435	445343.708	1021.365
4	4388722.276	441676.483	1018.891
5	4393654.722	432245.336	841.921
6	4391365.111	438204.751	893.727
7	4393927.422	427685.152	710.399
8	4393665.228	427799.640	693.319

Çizelge 5.9 Birinci gün RTK Ölçüm Değerleri (Ort Gidiş-Dönüş)

Nokta No	Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	h (m)
1	4380070.598	454504.709	858.395
2	4383524.237	449432.726	898.770
3	4386575.424	445343.717	1021.343
4	4388722.263	441676.448	1018.998
5	4393654.714	432245.334	841.900
6	4391365.140	438204.759	893.790
7	4393927.445	427685.134	710.347
8	4393665.251	427799.632	693.387

Çizelge 5.10 İkinci gün RTK Ölçüm Değerleri (Ort Gidiş-Dönüş)

Nokta No	Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	h (m)
1	4380070.589	454504.710	858.391
2	4383524.228	449432.743	898.769
3	4386575.414	445343.728	1021.332
4	4388722.272	441676.456	1019.028
5	4393654.716	432245.334	841.900
6	4391365.117	438204.751	893.740
7	4393927.445	427685.134	710.347
8	4393665.260	427799.631	693.374

Çizelge 5.11 Üçüncü gün RTK Ölçüm Değerleri (Ort Gidiş-Dönüş)

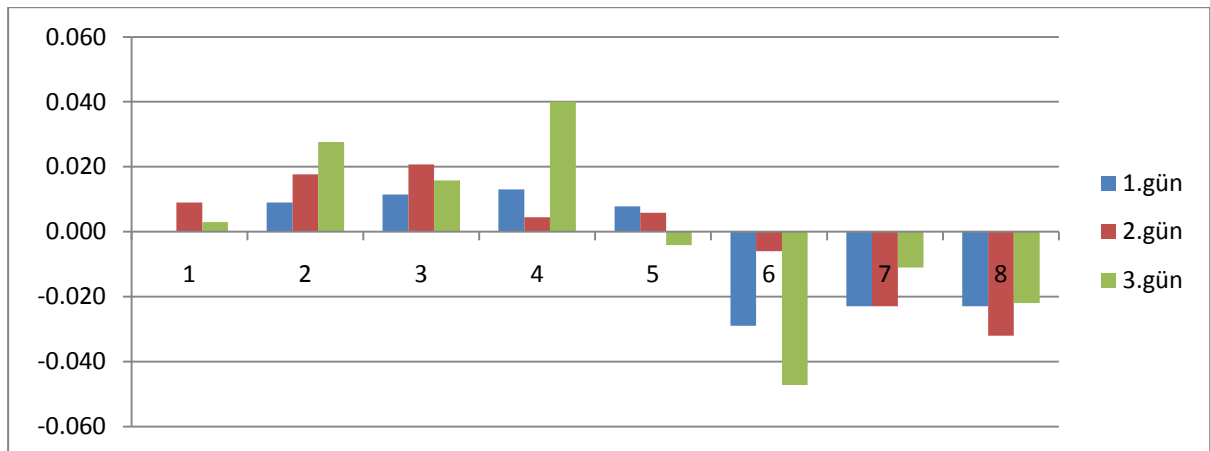
Nokta No	Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	h (m)
1	4380070.595	454504.703	858.399
2	4383524.218	449432.714	898.761
3	4386575.419	445343.725	1021.341
4	4388722.236	441676.532	1018.989
5	4393654.726	432245.328	841.919
6	4391365.158	438204.675	893.789
7	4393927.433	427685.113	710.416
8	4393665.250	427799.666	693.361

Statik ölçümler baz alınarak elde edilen koordinat değerlerinden her bir güne ait RTK ölçüm değerleri tek tek çıkartılarak Çizelge 5.12 ' deki ölçüm farkları elde edilmiştir.

Çizelge 5.12 Statik ve RTK Ölçüm Farkları

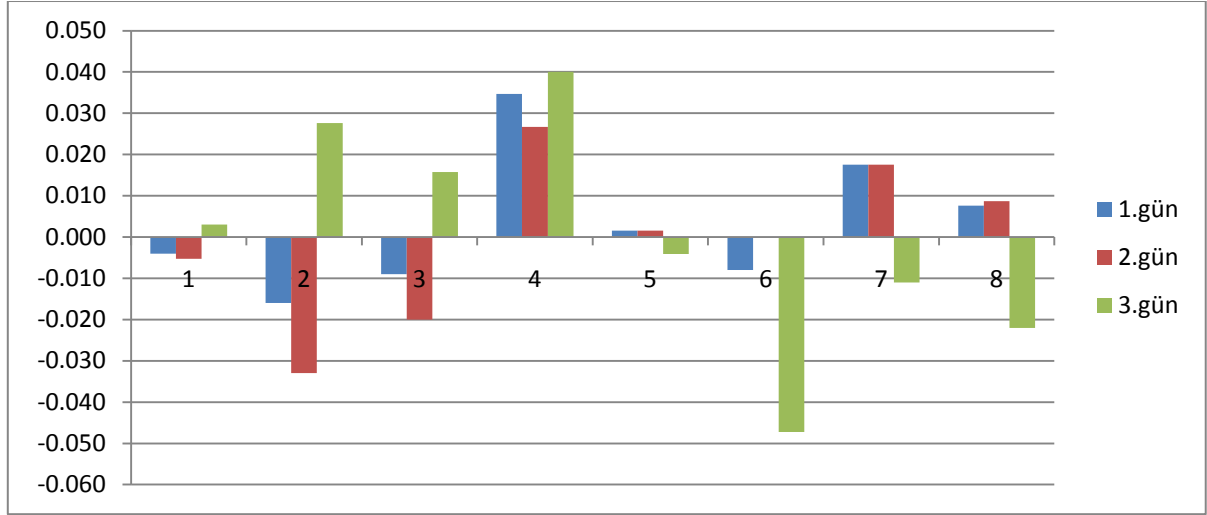
Statik ve RTK Ölçüm Farkları (Birinci Gün)			Statik ve RTK Ölçüm Farkları (İkinci Gün)			Statik ve RTK Ölçüm Farkları (Üçüncü Gün)		
Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	h (m)	Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	h (m)	Yukarı Değer (m)	Sağa Değer (m)	h (m)
0.000	-0.004	0.008	0.009	-0.005	0.012	0.003	0.002	0.004
0.009	-0.016	-0.007	0.018	-0.033	-0.006	0.028	-0.004	0.002
0.012	-0.009	0.022	0.021	-0.020	0.033	0.016	-0.017	0.024
0.013	0.035	-0.107	0.004	0.027	-0.137	0.040	-0.049	-0.098
0.008	0.002	0.021	0.006	0.002	0.021	-0.004	0.008	0.002
-0.029	-0.008	-0.063	-0.006	0.000	-0.013	-0.047	0.076	-0.062
-0.023	0.018	0.052	-0.023	0.018	0.052	-0.011	0.039	-0.017
-0.023	0.008	-0.068	-0.032	0.009	-0.055	-0.022	-0.026	-0.042

Elde edilen ölçüm farklarından oluşan birinci, ikinci ve üçüncü güne ait yukarı değer değişim fark grafiği Şekil 5.9 'da gösterilmiştir.



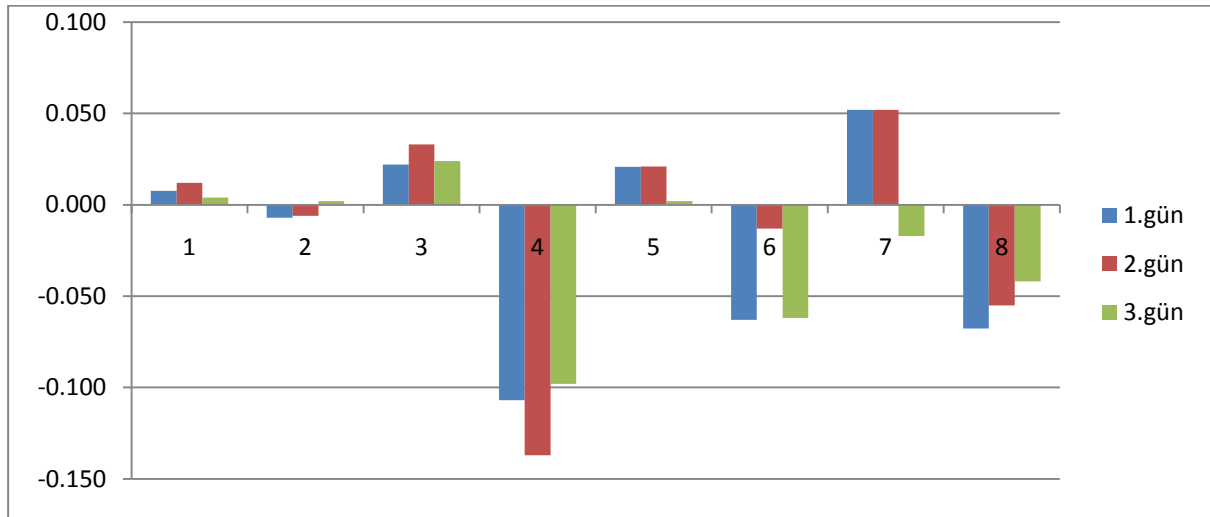
Şekil 5.9 Yukarı Değer (m) değişim fark grafiği

Elde edilen ölçüm farklarından oluşan birinci, ikinci ve üçüncü güne ait sağa değer değişim fark grafiği Şekil 5.10 'da gösterilmiştir.



Şekil 5.10 Sağa Değer (m) değişim fark grafiği

Elde edilen ölçüm farklarından oluşan birinci, ikinci ve üçüncü güne ait h değişim fark grafiği Şekil 5.11 'da gösterilmiştir.

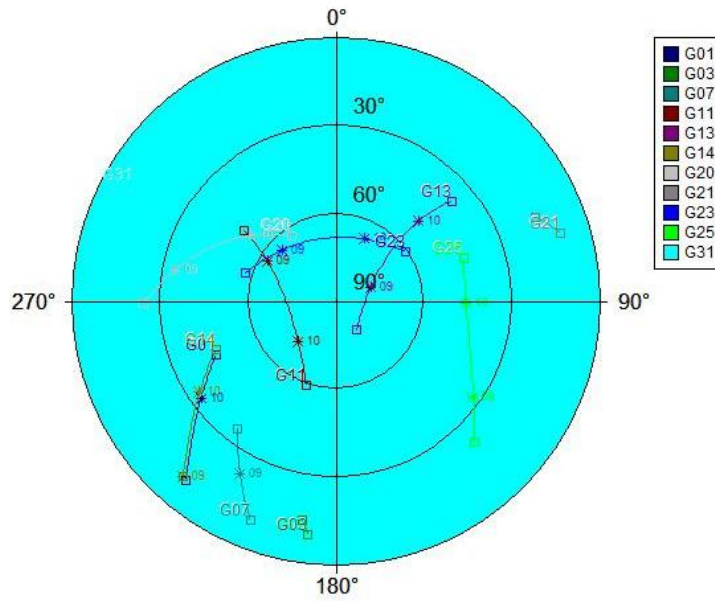


Şekil 5.11 h (m) değişim farkları

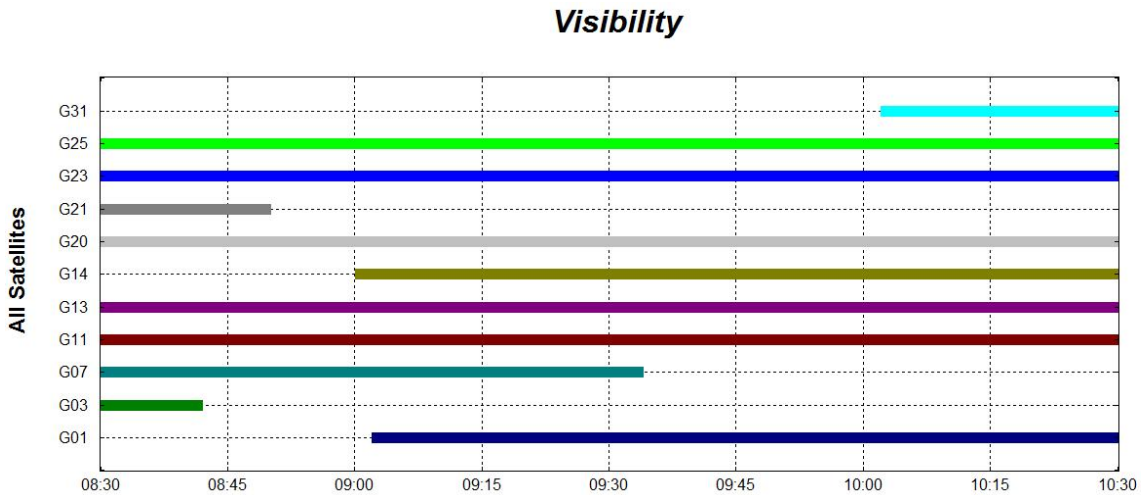
Uydu Geometri Analizleri

Ölçü güzergâhında bulunan noktalarda 2 ayrı ölçme aleti ile toplam 4 oturum sonucunda Statik ölçümlere ait veriler toplanmıştır. Her bir oturum boyunca o anki uydulara ait görünür toplam uydu sayısı grafiği, Uydu Azimut-Yükseklik Açısı Grafiği ve DOP değerleri aşağıda gösterilmiştir.

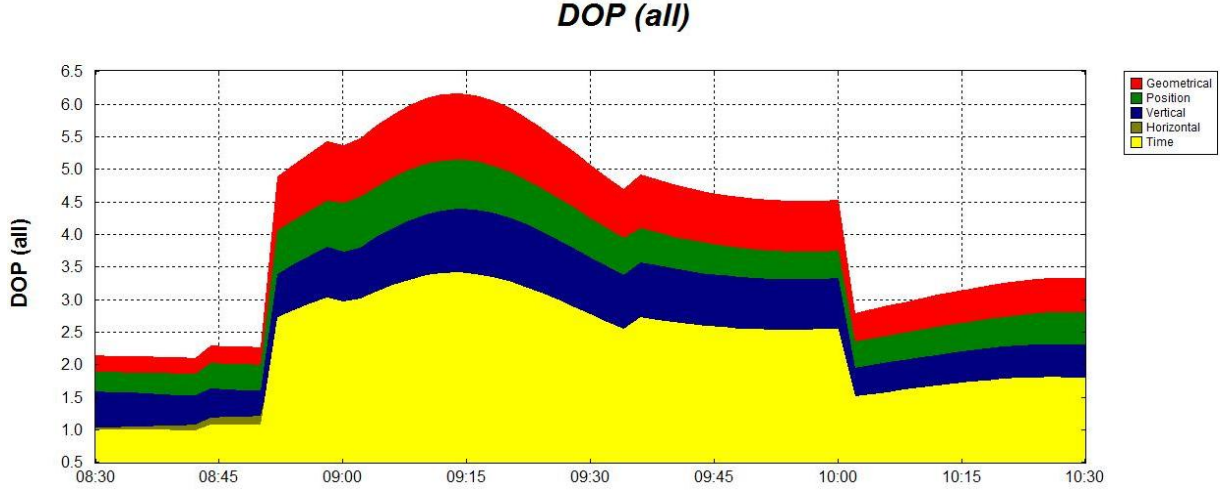
a. Birinci oturum (1 ve 2 noktalarına ait) ;



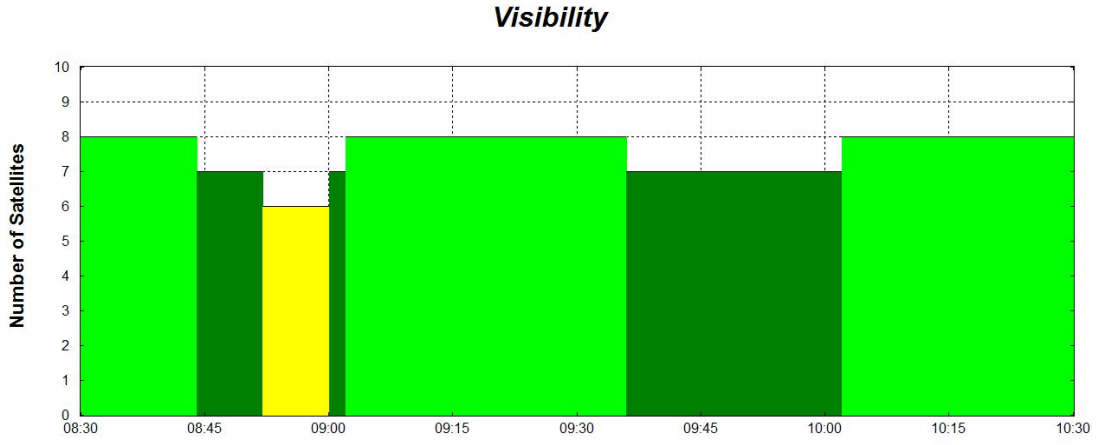
Şekil 5.12 Uydu Azimut – Yükseklik Açısı Grafiği



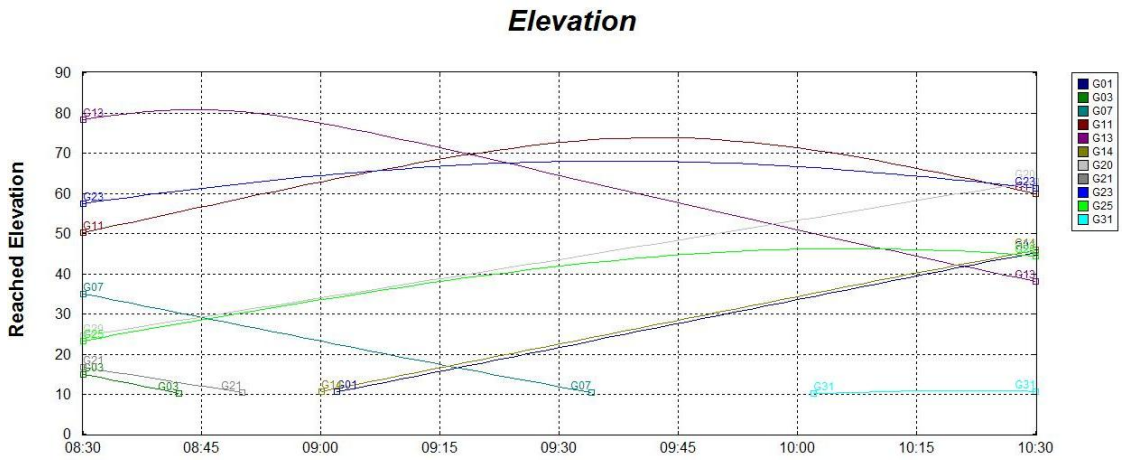
Şekil 5.13 Anlık Uydu Görünürlük Grafiği



Şekil 5.14 DOP Grafiği

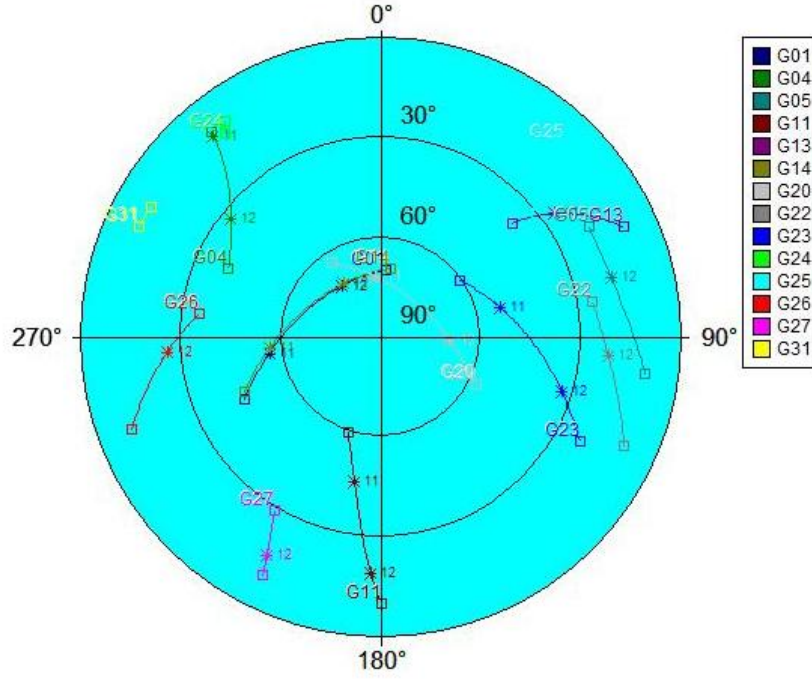


Şekil 5.15 Anlık Toplam Uydu Sayısı

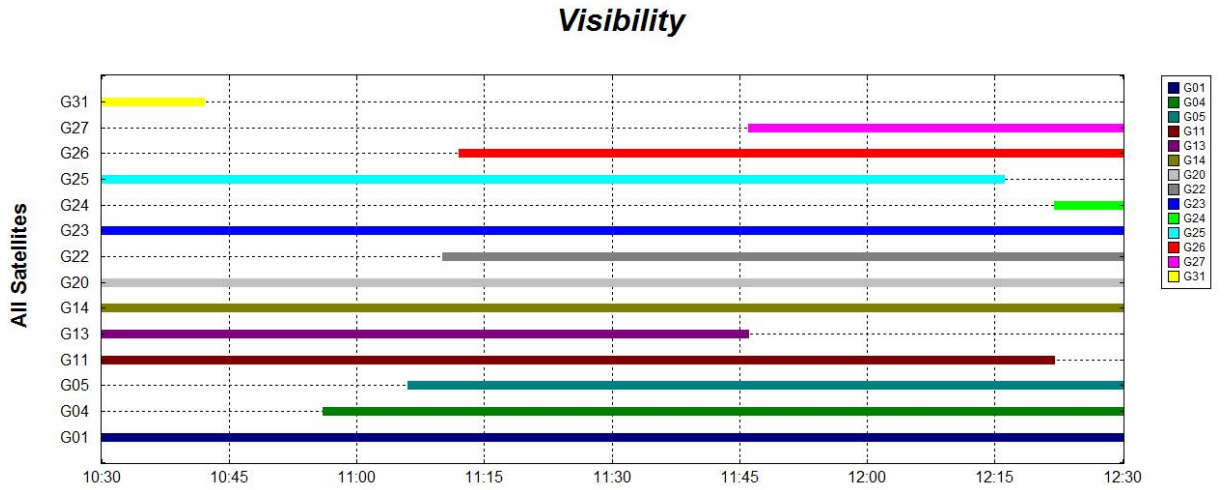


Şekil 5.16 Uydu Yükseklik Açıları

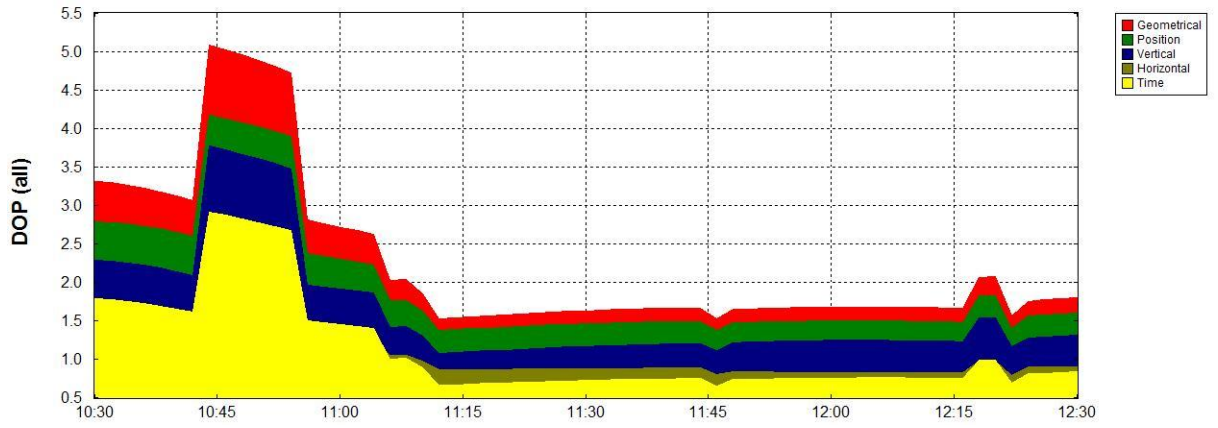
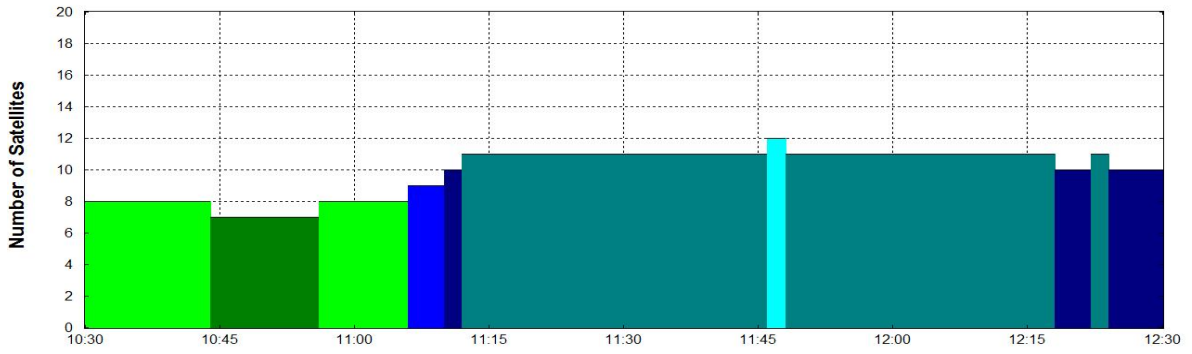
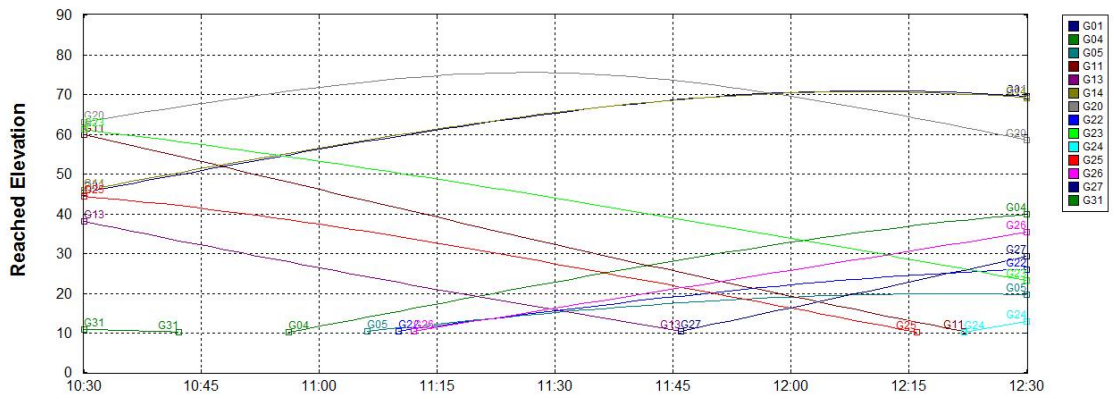
b. İkinci oturum (3 ve 4 noktalarına ait) ;



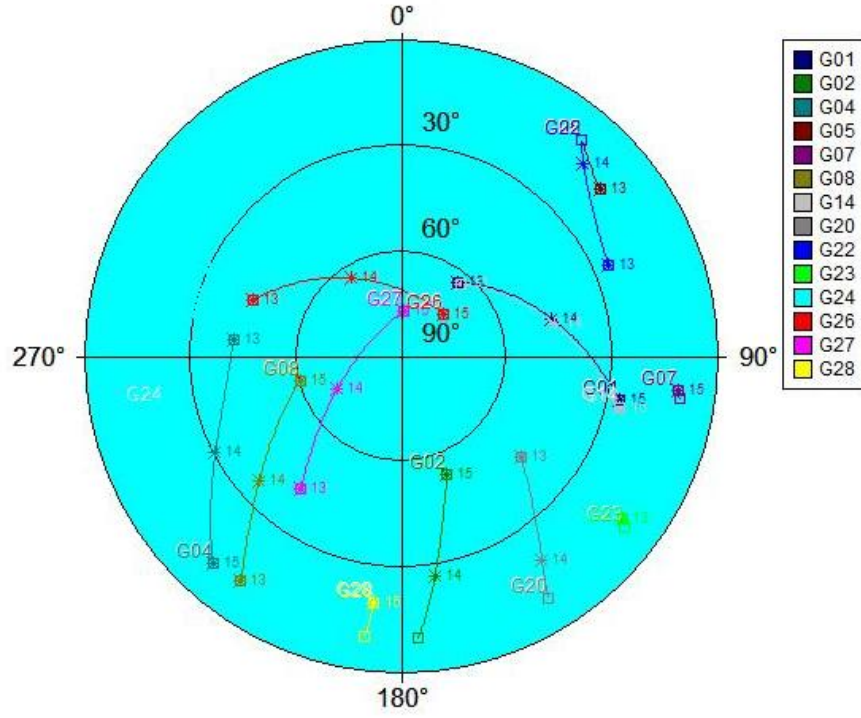
Şekil 5.17 Uydu Azimut – Yükseklik Açısı Grafiği



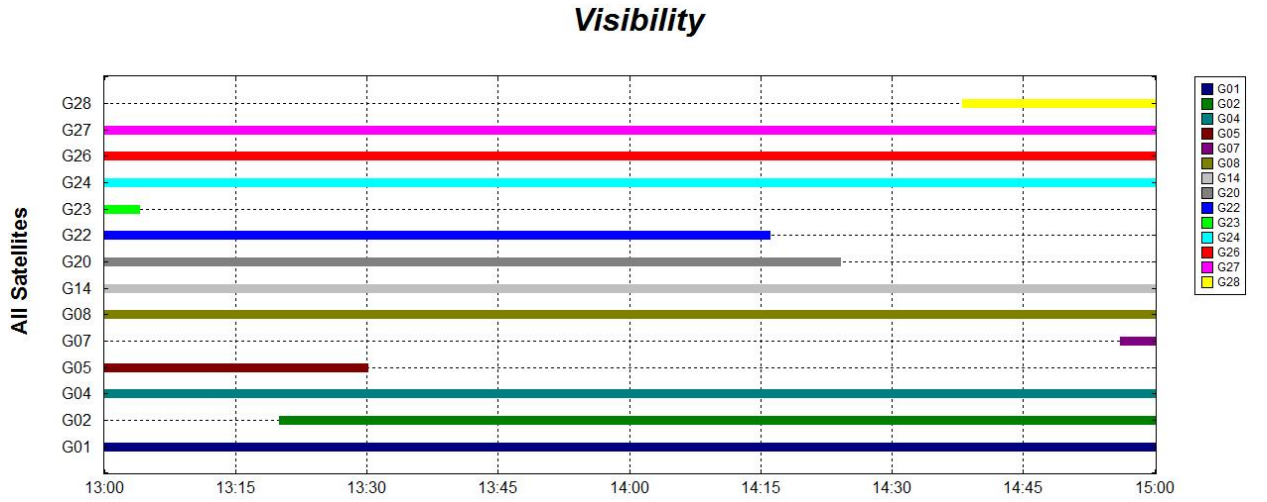
Şekil 5.18 Anlık Uydu Görünürlük Grafiği

DOP (all)**Şekil 5.19 DOP Grafiği****Visibility****Şekil 5.20 Anlık Toplam Uydu Sayısı****Elevation****Şekil 5.21 Uydu Yükseklik Açıları**

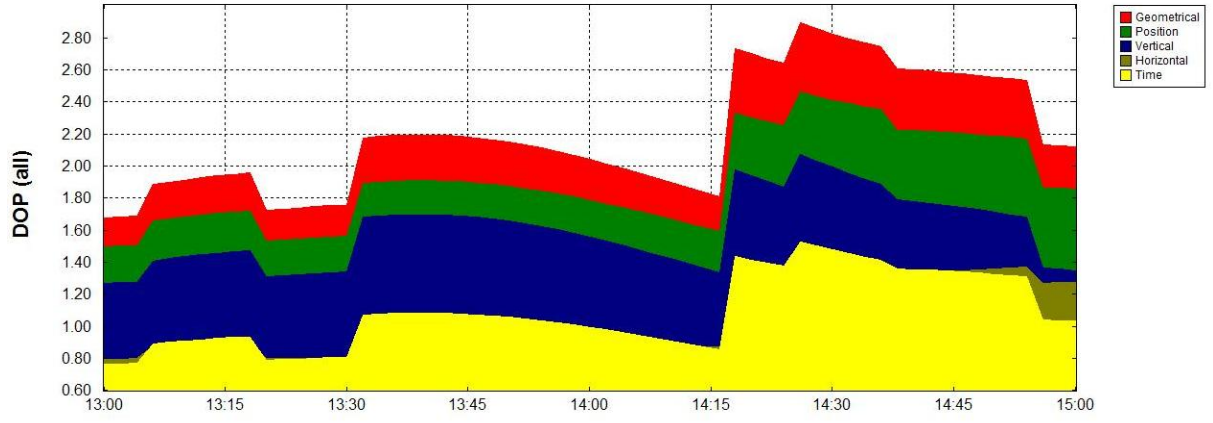
c. Üçüncü oturum (5 ve 6 noktalarına ait) ;



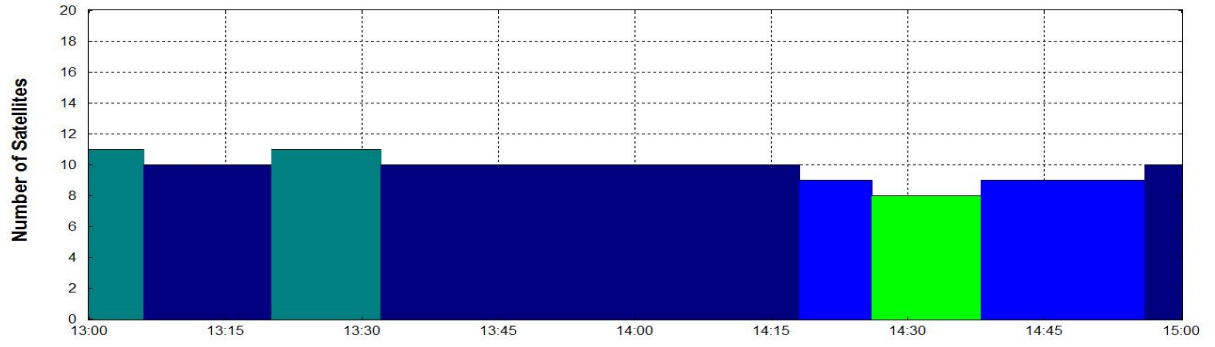
Şekil 5.22 Uydu Azimut – Yükseklik Açısı Grafiği



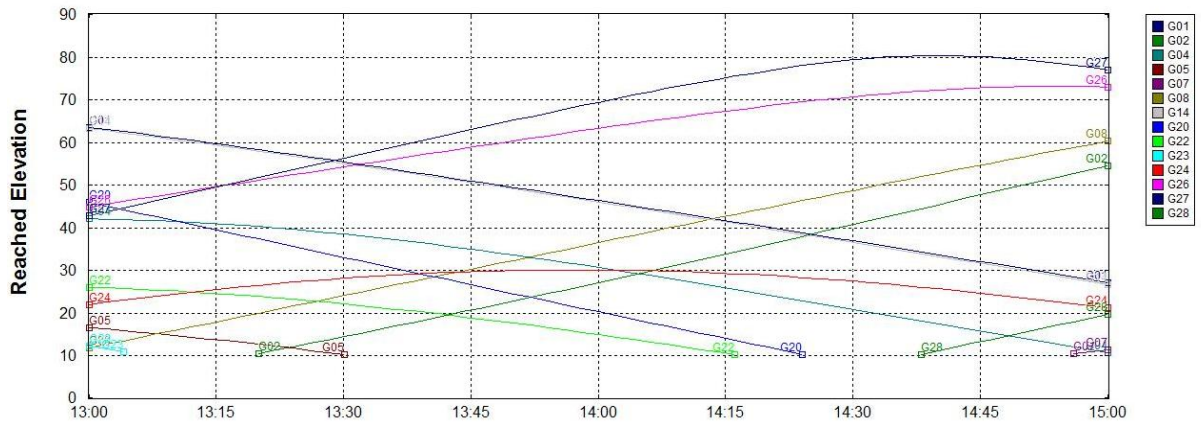
Şekil 5.23 Anlık Uydu Görünürlük Grafiği

DOP (all)

Şekil 5.24 DOP Grafiği

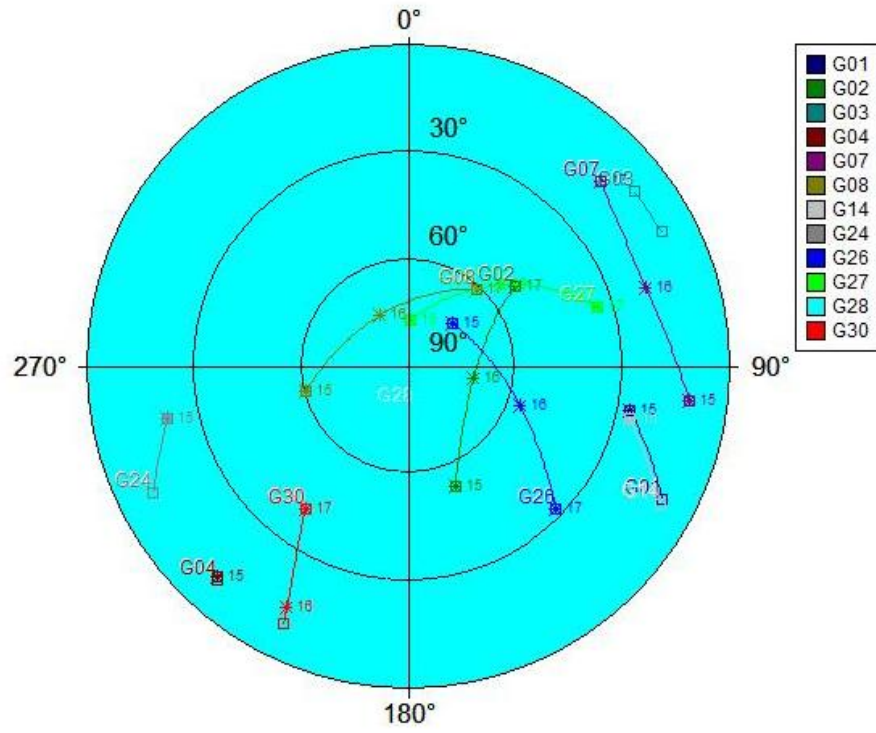
Visibility

Şekil 5.25 Anlık Toplam Uydu Sayısı

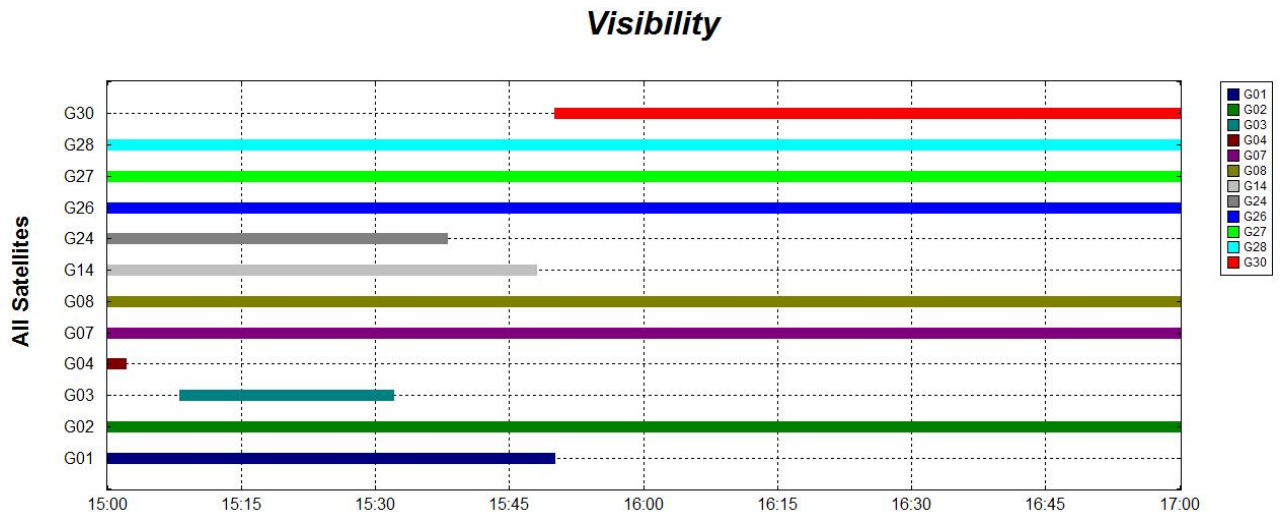
Elevation

Şekil 5.26 Uydu Yükseklik Açıları

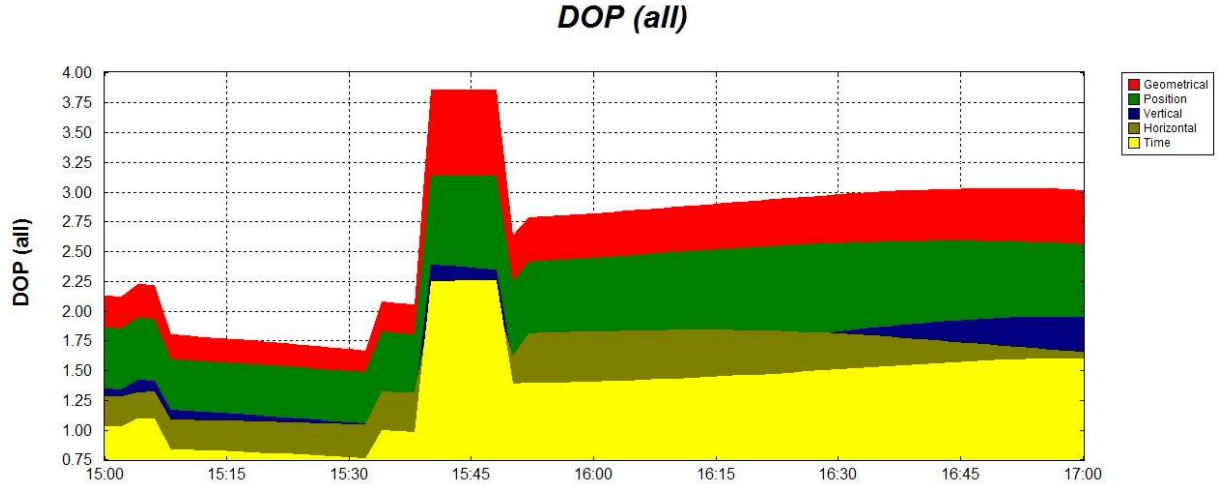
d. Dördüncü oturum (7 ve 8 noktalarına ait) ;



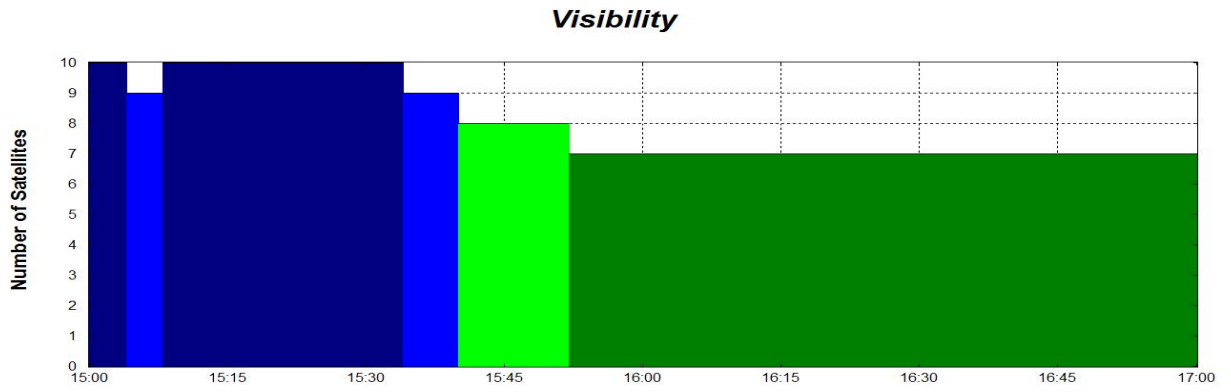
Şekil 5.27 Uydu Azimut – Yükseklik Açısı Grafiği



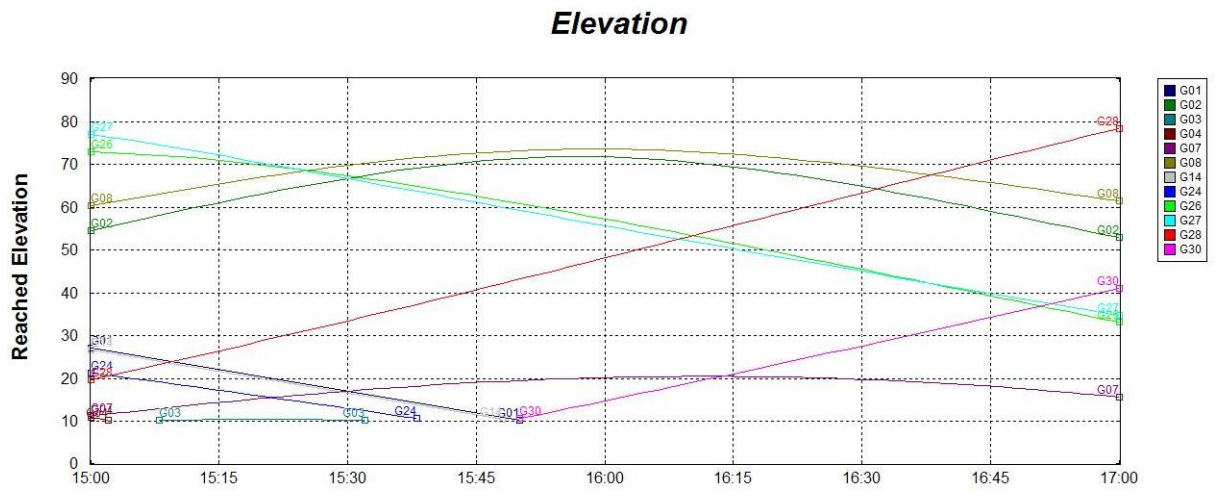
Şekil 5.28 Anlık Uydu Görünürlük Grafiği



Şekil 5.29 DOP Grafiği



Şekil 5.30 Anlık Toplam Uydu Sayısı



Şekil 5.31 Uydu Yükseklik Açıları

5.3. Verilerin Değerlendirilmesi ve İstatistik Analizi

RTK GPS sisteminin doğruluğunu test edebilmek amacıyla daha doğru sonuçlar ürettiği literatürde kabul görmüş olan statik GPS ölçme yöntemi tercih edilmiş ve bu iki yöntemin karşılaştırılması yoluna gidilmiştir. Bu amaçla Kütahya – Tavşanlı sınırları içerisinde kalan ve 8 noktadan oluşan bir ağ tasarlanmıştır. Bu noktalar değişik arazi koşullarına sahip yerlerde tesis edilmiştir. Oluşturulan bu ağ'da, noktaların referans alıcıya olan uzaklıkları yaklaşık 3 km ile 35 km arasında değişmektedir.

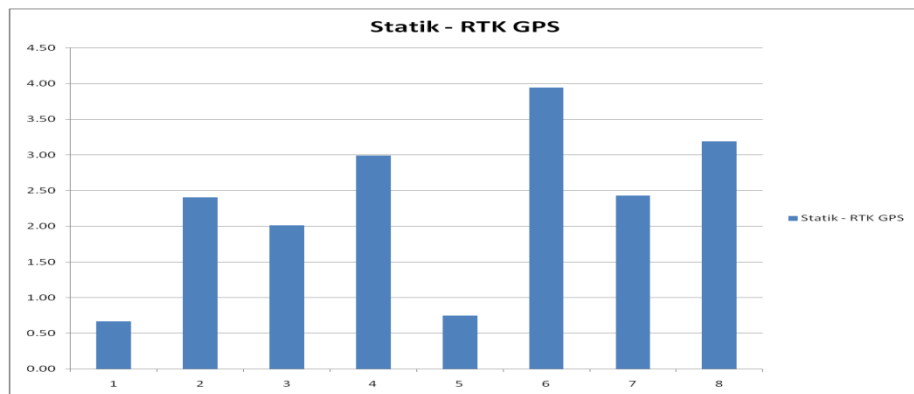
Tasarlanan ağda ilk olarak statik GPS yöntemi ile ölçümler gerçekleştirilmiştir. Statik GPS ölçümü esnasında oturumlar 90'ar dakika olarak planlanmış, gözlemler 2 adet Topcon GR-3 dahili GSM Modemli GPS alıcısıyla toplam 4 oturumda tamamlanmıştır. Statik GPS ile koordinatları belirlenen ağ noktalarına bir de RTK GPS yöntemiyle koordinat verilmiştir. Daha sonra her iki yöntemden elde edilen koordinatlar karşılaştırılmıştır. Her iki ölçümde de Tavşanlı Belediyesi binasının çatısında bulunan TVSN no'lu nokta sabit alınmıştır.

Statik GPS gözlemlerinden elde edilen koordinatlar ile RTK GPS gözlemlerinden elde edilen koordinatlar arasındaki üç eksen (x, y, h) yönündeki fark vektörlerinin düzeltme değerleri ile standart sapmaları ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara ilişkin sayısal değerler ve grafik gösterimleri sırasıyla Çizelge 5.13, Çizelge 5.14 ve Çizelge 5.15 'te verilmektedir..

Değerler incelendiğinde X eksenindeki standart sapma değeri 4 cm (min 0.67 - max 3.94) 'nin altında kalmaktadır. Y eksenindeki standart sapmalara baktığımızda 5.5 cm (min 0.49 – max 5.40) 'nin altında bir değer elde edilmiştir. Yükseklik (h) değerlerini incelediğimizde ise N.4 nolu noktanın göz ardı edilmesi durumunda standart sapma değeri 7 cm (min 0.67- max 6.85) 'nin altında kalmaktadır. N.4 noktasına ait h değerinin standart sapması 14.11 olarak elde edilmiştir. N.4 noktasının vadinin topografik yapısının uygun olmaması ve iki tarafının ormanlık alan olması nedenleriyle ölçüm esnasında sürekli sinyal kesikliği olmuştur. Ölçüm esnasında diğer noktalarda birkaç saniye içerisinde çözüme ulaşıldığı halde N.4 noktasındaki RTK GPS ölçümünde 3-4 dk beklemek zorunda kalınmıştır.

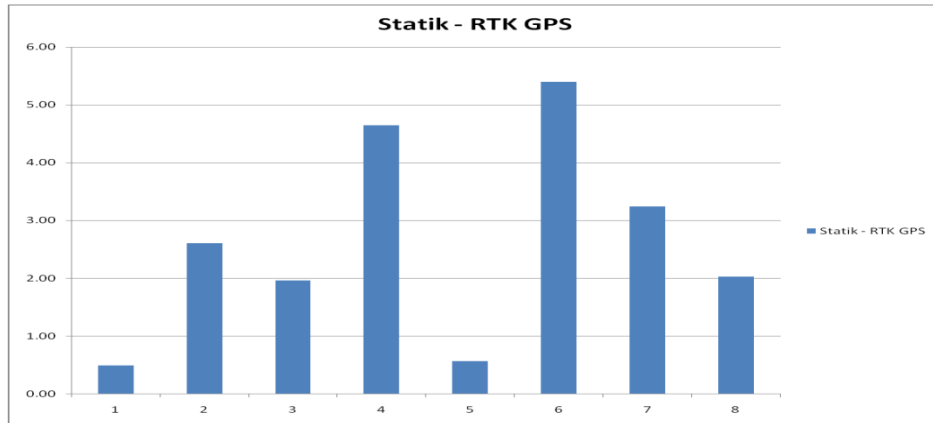
Çizelge 5.13 Statik GPS ve RTK GPS gözlemlerinden elde edilen dx fark vektörlerinin düzeltme değerleri, standart sapmaları ve grafiksel gösterimi

Yukarı Değer için ;		Vi (m)	Vi (cm)	Vi2 (cm2)	s (cm)
N1 ;	V1=	0.000	0.0	0.0	0.67
	V2=	0.009	0.9	0.8	
	V3=	0.003	0.3	0.1	
	[vv] =			0.9	
N2;	V1=	0.009	0.9	0.8	2.40
	V2=	0.018	1.8	3.1	
	V3=	0.028	2.8	7.6	
	[vv] =			11.6	
N3;	V1=	0.012	1.2	1.3	2.01
	V2=	0.021	2.1	4.3	
	V3=	0.016	1.6	2.5	
	[vv] =			8.1	
N4;	V1=	0.013	1.3	1.7	2.99
	V2=	0.004	0.4	0.2	
	V3=	0.040	4.0	16.0	
	[vv] =			17.9	
N5;	V1=	0.008	0.8	0.6	0.75
	V2=	0.006	0.6	0.3	
	V3=	-0.004	-0.4	0.2	
	[vv] =			1.1	
N6;	V1=	-0.029	-2.9	8.4	3.94
	V2=	-0.006	-0.6	0.4	
	V3=	-0.047	-4.7	22.3	
	[vv] =			31.1	
N7;	V1=	-0.023	-2.3	5.3	2.43
	V2=	-0.023	-2.3	5.3	
	V3=	-0.011	-1.1	1.2	
	[vv] =			11.8	
N8;	V1=	-0.023	-2.3	5.3	3.19
	V2=	-0.032	-3.2	10.2	
	V3=	-0.022	-2.2	4.8	
	[vv] =			20.4	



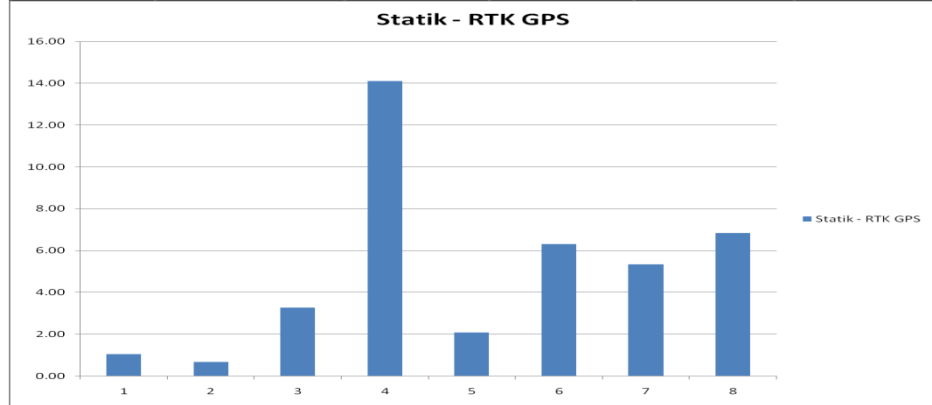
Çizelge 5.14 Statik GPS ve RTK GPS gözlemlerinden elde edilen dy fark vektörlerinin düzeltme değerleri, standart sapmaları ve grafiksel gösterimi

Sağa Değer için ;		Vi (m)	Vi (cm)	Vi2 (cm2)	s (cm)
N1 ;	V1=	-0.004	-0.4	0.2	0.49
	V2=	-0.005	-0.5	0.3	
	V3=	0.002	0.2	0.0	
			[vv] =	0.5	
N2;	V1=	-0.016	-1.6	2.6	2.61
	V2=	-0.033	-3.3	10.9	
	V3=	-0.004	-0.4	0.2	
			[vv] =	13.6	
N3;	V1=	-0.009	-0.9	0.8	1.96
	V2=	-0.020	-2.0	4.0	
	V3=	-0.017	-1.7	2.9	
			[vv] =	7.7	
N4;	V1=	0.035	3.5	12.0	4.65
	V2=	0.027	2.7	7.1	
	V3=	-0.049	-4.9	24.0	
			[vv] =	43.2	
N5;	V1=	0.002	0.2	0.0	0.56
	V2=	0.002	0.2	0.0	
	V3=	0.008	0.8	0.6	
			[vv] =	0.6	
N6;	V1=	-0.008	-0.8	0.6	5.40
	V2=	0.000	0.0	0.0	
	V3=	0.076	7.6	57.6	
			[vv] =	58.2	
N7;	V1=	0.018	1.8	3.1	3.24
	V2=	0.018	1.8	3.1	
	V3=	0.039	3.9	14.9	
			[vv] =	21.0	
N8;	V1=	0.008	0.8	0.6	2.03
	V2=	0.009	0.9	0.8	
	V3=	-0.026	-2.6	6.9	
			[vv] =	8.3	



Çizelge 5.15 Statik GPS ve RTK GPS gözlemlerinden elde edilen dh fark vektörlerinin düzeltme değerleri, standart sapmaları ve grafiksel gösterimi

h değerleri için ;		V_i (m)	V_i (cm)	V_{i2} (cm ²)	s (cm)
N1 ;	V1=	0.008	0.8	0.6	1.04
	V2=	0.012	1.2	1.4	
	V3=	0.004	0.4	0.2	
	[vv] =			2.2	
N2;	V1=	-0.007	-0.7	0.5	0.67
	V2=	-0.006	-0.6	0.4	
	V3=	0.002	0.2	0.0	
	[vv] =			0.9	
N3;	V1=	0.022	2.2	4.8	3.28
	V2=	0.033	3.3	10.9	
	V3=	0.024	2.4	5.8	
	[vv] =			21.5	
N4;	V1=	-0.107	-10.7	114.5	14.11
	V2=	-0.137	-13.7	187.7	
	V3=	-0.098	-9.8	96.0	
	[vv] =			398.2	
N5;	V1=	0.021	2.1	4.3	2.09
	V2=	0.021	2.1	4.4	
	V3=	0.002	0.2	0.0	
	[vv] =			8.8	
N6;	V1=	-0.063	-6.3	39.6	6.31
	V2=	-0.013	-1.3	1.7	
	V3=	-0.062	-6.2	38.4	
	[vv] =			79.7	
N7;	V1=	0.052	5.2	27.1	5.34
	V2=	0.052	5.2	27.0	
	V3=	-0.017	-1.7	2.9	
	[vv] =			57.0	
N8;	V1=	-0.068	-6.8	45.9	6.85
	V2=	-0.055	-5.5	30.3	
	V3=	-0.042	-4.2	17.6	
	[vv] =			93.8	



Statik GPS gözlemlerinden elde edilen koordinatlar ile RTK GPS gözlemlerinden elde edilen koordinatlar arasındaki üç eksen (x, y, h) yönündeki fark vektörlerinden minimum (min), maksimum (max) ve ortalama değerleri ile bu farklardan hesaplanan karesel ortalama hatalar (koh) Çizelge 5.8 'de gösterilmiştir.

Fark Vektörleri	min (cm)	max (cm)	ortalama (cm)	koh(cm)
<i>Yukarı Değer</i>	0.32	2.74	1.65	2.30
<i>Sağa Değer</i>	0.24	2.46	1.18	2.62
<i>h</i>	0.37	5.49 - (11.40)	2.60 - (3.71)	3.65 - (4.96)

Çizelge 5.16 Statik GPS – RTK GPS fark vektörleri analizi

Nokta konumlarına ilişkin fark vektörleri bileşenlerinin ortalama fark değerlerinin standart sapma değerlerinin altında kaldığı Çizelge 5.16 da görülmektedir. X yönündeki bileşende N.6 noktasındaki fark değerinin standart sapmanın 0.44 cm dışında kaldığı belirlenmiştir. Y yönündeki bileşende herhangi bir standart sapma değerini aşan bir fark tespit edilmemiştir. h yönündeki bileşende ise N.4 noktasındaki fark değerinin standart sapmasının üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Tüm bu karşılaştırmalar sonucunda elde edilen farklardan hesaplanan standart sapmaların 4 cm'nin altında değerler aldığı görülmüştür. Bu sonuç bize RTK GPS yönteminin Statik GPS yönteminden elde edilen sonuçlarına desimetrenin altında bir doğrulukta (cm ve/veya mm) türetebildiğini göstermektedir. Değerlendirme sonuçları uygulamada kullanılan noktaların, referans noktalarından 3 km ile 35 km 'ye varan uzaklıklarda tesis edilmiş olmasına rağmen koordinat değerlerinin beklenen duyarlılığa sahip olduğunu göstermektedir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Uzunluğunu yaklaşık 35 km dolaylarında belirlediğimiz Tavşanlı bazı üzerinde 8 ayrı nokta tesis edilmiştir. Her bir noktada ayrı ayrı yapmış olduğumuz Statik ve RTK GPS yöntemleri ile elde ettiğimiz koordinatlar karşılaştırılarak duyarlılık testine tabi tutulup değerlendirilmiştir.

Uygulamada Tavşanlı Belediyesinde kurulu olan Tek Sabit Referans İstasyonu baz alınarak her bir noktada 1.5 saatlik statik ölçümler yapılmıştır. Ölçümler Topcon firması tarafından geliştirilmiş TOPCON TOOLS Post Processing yazılımı ile değerlendirilip gerekli olan koordinat değerleri elde edilmiştir. Daha sonra aynı noktalarda RTK GPS ölçümleri yapılmıştır. Her bir noktada gidiş ve dönüş olmak üzere üç gün boyunca RTK GPS ölçümleri yapılmış olup, her bir noktaya ait 6 adet ölçüm değeri elde edilmiştir. Daha sonra her bir noktaya ait RTK değerlerinin ortalaması alınıp elde edilen koordinatlar, o noktaya ait ortalama değer kabul edilip ve statik ölçüm sonucu elde edilen koordinat değeri ise kesin değer kabul edilip karşılaştırma ve değerlendirmeler buna göre yapılmıştır.

Değerlendirmeler sonucunda nokta konumlarına ilişkin fark vektörleri bileşenlerinin ortalama fark değerlerinin standart sapma değerlerinin altında kaldığı görülmektedir. X yönündeki bileşende sapma değeri 4 cm (min 0.67 - max 3.94) 'nin altında kalmakta olup N.6 noktasındaki fark değerinin standart sapmanın 0.44 cm dışında kaldığı belirlenmiştir. Y yönündeki bileşende standart sapmalara baktığımızda 5,5 cm (min 0.49 – max 5.40) 'nin altında bir değer elde edilmiş ve herhangi bir standart sapma değerini aşan bir fark tespit edilmemiştir. h yönündeki bileşende ise N.4 nolu noktayı göz ardı ettiğimizde standart sapma değeri 7 cm (min 0.67 - max 6.85)'nin altında kalmaktadır. N.4 noktasına ait h değerinin standart sapması 14.11 olarak elde edilmiştir. N.4 noktasının vadinin topografik yapısının uygun olmaması ve iki tarafının ormanlık alan olması nedenleriyle ölçüm esnasında sürekli sinyal kesikliği olmuştur. Ölçüm esnasında diğer noktalarda birkaç saniye içerisinde çözüme ulaşıldığı halde N.4 noktasındaki RTK GPS ölçümünde 3-4 dk beklemek zorunda kalınmıştır

Tüm bu karşılaştırmalar sonucunda elde edilen farklardan hesaplanan standart sapmaların 4 cm'nin altında değerler aldığı görülmüştür. Bu sonuç bize RTK GPS yönteminin Statik GPS

yönteminden elde edilen sonuçlarına desimetrenin altında bir doğrulukta (cm ve/veya mm) türetebildiğini göstermektedir. Değerlendirme sonuçları uygulamada kullanılan noktaların, referans noktalarından 3 km ile 35 km 'ye varan uzaklıklarda tesis edilmiş olmasına rağmen koordinat değerlerinin beklenen duyarlılığa sahip olduğunu göstermektedir.

RTK GPS'in Statik GPS ile test edildiği uygulamada tasarlanan ağ'ın statik GPS gözlemleri ile konumlandırılması noktalar arası gidiş-geliş süreleri de dikkate alındığında yaklaşık 10-12 saat sürmüştür. Oysa aynı ağ'ın RTK GPS gözlemleri ile konumlandırmasında yalnızca noktalara ulaşım sırasında geçen süreler etkili olmuştur. RTK GPS gözlemleri ile bir ağ noktasının konumlandırması alet kurumuyla beraber yaklaşık 3-5 dakika sürmüştür, dolayısı ile RTK GPS ile toplam 2 saat gibi kısa bir zaman diliminde tüm ağ noktalarının konumları belirlenmiştir.

Yapılan değerlendirmelerde noktaların dengelenmiş WGS-84 koordinatları kullanılmıştır. Benzer şekilde, elipsoid al coğrafi koordinatları, ülke koordinatları veya lokal koordinatlar ile de değerlendirme yapmak mümkündür. Çünkü RTK GPS sistemi ile gerekli parametreleri girmek koşulu ile arazide ölçüm esnasında dönüşüm yapmak veya farklı seçenekte koordinat bilgisi elde etmek mümkündür.

Uygulama alanı değişik arazi yapısına sahip olan alanlarda gerçekleştirildiğinden RTK GPS için büyük önem teşkil eden bazı problemleri gözlemlene şansıda doğmuştur. Belirtildiği gibi RTK GPS sisteminin başarısı referans ve gezici alıcı arasında kurulacak güçlü veri bağlantısına bağlıdır. Özellikle kentsel alanlarda ve sert arazi koşullarında bu her zaman olanaklı değildir. Her zaman yapılardan veya engel teşkil eden nesnelerden kaçmak sorunu çözmeye yetmemektedir. Dolayısı ile RTK GPS sistemini kentsel alanlarda ve sert arazi koşullarında etkin biçimde kullanabilmek için bütünleşik bazı sistemlere ihtiyaç vardır. Örneğin kapalı alanlarda uydu sayısını artırabilmek için GPS+GLONASS bütünleşik sistemi iyi bir çözümdür. Böyle bir sistem yardımıyla dünyanın her hangi bir yerinde her hangi bir anda gözlemlenebilen minimum uydu sayısı 16'ya kadar çıkabilmektedir. Böylece binaların arasında bile en az 5 uydu ile ölçüm yapılabilir. Diğer yandan zayıf telsiz bağlantısını güçlendirmek için referans alıcının yüksekliği artırılmalı, bağlantının menzilini artırmak için ise, birden fazla referans noktası ya da aktarıcı istasyonlar (repeater) kullanılmalıdır.

Bir çok ülkede yürütülmekte olan gerçek zamanlı uygulamalar için, sistemin dezavantajlarını ortadan kaldıracı, gücünü ve hızını artırıcı yöntemler geliştirilmiştir. GSM/GPS bunlardan birisidir. Bu bütünleşik sistemde referans ve gezici alıcı arasındaki veri bağlantısı GSM istasyonları yardımıyla kurulmakta, böylece GSM sinyallerinin ulaştığı her yerde rahatlıkla RTK GPS yöntemi kullanılabilir. Bu sistemde özel tasarlanmış cep telefonları kullanılmaktadır. Ülkemizde de yer yer kullanım alanı bulan bu tür bir bütünleşik sistem GSM şirketlerinin veri iletiminde kullanım ücretlerini astronomik tutması nedeniyle henüz yaygınlaşmamıştır.

Günümüzde RTK GPS, santimetrenin altında bir doğruluk istendiği yüksek duyarlıklı jeodezik çalışmalar, deformasyon çalışmaları v.b. hariç sayısız meslek disiplininde çok rahatlıkla kullanılabilir. Örneğin, açık maden işletmeciliğinde, GIS amaçlı veri toplamada, hidrografik ölçmelerde, araç takip projelerinde, kontrol ölçülerinde, halihazır harita yapımında, kadastro çalışmalarında, aplikasyon işlerinde ve fotogrametride kullanılabilir. Yapılan tüm testler sonucunda RTK GPS'in ulaştığı doğruluk ve duyarlık sistemin yukarıda belirtilen tüm çalışmalarda rahatlıkla kullanılabileceğinin göstergesi olmaktadır.

GZK GPS, ülkemizde ki tüm haritacılık faaliyetlerinde kullanılan temel planların yetersiz oluşuna belki de en hızlı ve en doğru çözümü getirecek bir yöntem olacaktır. Özellikle Kent Bilgi Sistemi (KBS) uygulamalarında karşılaşılan en büyük problem çalışma alanına ait güncel ve yüksek doğruluklu temel planlarının olmayışıdır. Böyle bir durumda uygun sistem yapısı oluşturulmuş ve bütünleşik sistemlerle desteklenmiş bir RTK GPS çözümü küçük alanların haritalarının yapımında veya güncellenmesinde etkin bir rol alacaktır. Mülkiyet bilgisinin hassas belirlenmesi zorunluluğu olan KBS uygulamalarında fotogrametrik yöntem maliyet ve hız açısından üstünlükler sağlasa da doğruluk açısından RTK GPS'den daha az duyarlıklı sonuçlar üretecektir.

Bununla birlikte fotogrametrik uygulamalarda, jeodezik yöntemlerle konumlandırılmış noktalara ihtiyaç duyulduğu bilinmektedir. RTK GPS yöntemi, fotogrametrik yöntemle konumlamada da destek verebilecek en uygun, düşük maliyetli ve hızlı bir yöntem olarak devreye girebilir.

KAYNAKLAR

BKG (2005): NTRIP Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, <http://igs.ifag.de>

Collins, J., Hofmann-Wellenhof, B., ve Lichtenegger, H., (1997), "Global Positioning System Theory and Practice", Novographic,

Enge P., Fan R., Tieari A. (2000), "GPS RTK Reference Network's New Role Providing Continuity and Coverage", GPS World, vol. 11, no. 1.

EREN K., UZEL T., GÜLAL E., YILDIRIM Ö., CİNGÖZ A., "Results from a Comprehensive Global Navigation Satellite System Test in the CORS-TR Network: Case Study", Journal of Surveying Engineering, Volume 135 Issue 1, Ph.10-18 (2009)

Gordini,C., A.N.Kealy, P.M.Grgich, M.J.Hale (2006): Testing and Evaluation of a GPS CORS Network for Real Time Centimetric Positioning – The Victoria GPSnet. International Global Navigation Satellite System Society IGNSS Symposuim, Avustralia.

Gökalp, E., (1999) Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlarının Statik GPS ile Test Edilmesi, Harita Genel Komutanlığı Harita Dergisi, Ankara, sayı 122, s.56-64.

Güngör, O., (2000) Gerçek Zamanlı Kinematik GPS'in Jeodezik Çalışmalarda Kullanılabilirliğinin İncelenmesi, Y.Lisans Tezi, KTÜ FBE, Trabzon.

Hofmann-Wellenhof, B.,Lichtenegger, H. ve Clins, J.,(2001), "Global Positioning System Theory and Practise", Fifty Revise Edition, Springer, New York.

ICD-GLONASS (1998): Global Navigastion Satellite System Glonass Interface Control Document

Kahveci, M. (2009), "Kinematik GNSS ve RTK Cors Ağları", Zerpa Yayıncılık, Ankara.

Kahveci, M. ve Yıldız, F., (2001), "Global Konum Belirleme Sistemi Teori-Uygulama", Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.

Langley, R.B., (1998) RTK GPS, GPS World, Vol.9, No.9, pp.70-76.

Leick, A., (1995), "GPS Satellite Surveying", John Wiley and Sons, New-York,

Mekik, Ç.Ar (2003), “Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlarının Doğruluk Analizi ve Bir örnek Uygulama”, 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, , Ankara, 2003

Mekik, Ç. (2004), “Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Ağı (Network RTK) ile Konumlama”, Mühendislik Ölçmelerinde Jeodezik Ağlar Çalıştayı, IV. Oturum, 14-16 Ekim, Zonguldak

Pirti, A., Hosbas, R.G., Arslan, N., Deveci, B., Aydın, O., Erkaya, H., “Real Time Kinematic GPS for Cadastral Surveying”, Survey Review 41, No.314, October 2009

Pirti, A. , “Performance Analysis of The Real Time Kinematic GPS (RTK GPS) Technique in a Highway Project (Stake-Out)”, Survey Review Journal, Vol.39, No.303, January 2007

Rizos, C., (1999), “Satellite Navigation and Positioning Group (SNAP): Principles and Practice of GPS surveying”.

Rizos, C. (2007): Reference station network based RTK system – concepts&progress.Wuhan Univ J Nat Sci 8(2B):566-574

Rizos, C. (2007): Alternatives to current GPS-RTK services and some implication for CORS infrastructure and operations. GPS Solution, 11.151-158

Sanli, D. U. And F. Kurumahmut, Accuracy of GPS Positioning in the Presence of Large Height Differences, Survey Review, Accepted in May 2008

Stewart, M., Tsakiri, M., (1997) The Future of RTK GPS/GLONASS Positioning in the Urban Canyon, The Australian Surveyor, Vol.42, No.4, pp.172-178.

UZEL T., KARTAL F., GÜLAL E. vd. “GPS / GLONASS İkili Sistemi”, Harita Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi, Sayı:85, Sayfa:53-59 (1998).

Wien.Arslanoğlu, M. ve Mekik Ç. (2003), “Gerçek Zamanlı Kinematik GPS Konumlamasının Duyarlık Analizi ve Bir Örnek Uygulama”, 9. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultay, 437-445, 31 Mart-4 Nisan, Ankara.

İNTERNET KAYNAKLARI

- [1] www.kovoma.de
- [2] www.gps-cdma.com
- [3] www.gpsworld.com
- [4] www.meteor.gov.tr

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	03.05.1983	
Doğum yeri	Batman	
Lise	1998-2001	Batman Anadolu Lisesi
Lisans	2001-2006	Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı Geomatik Programı

Çalıştığı kurumlar

2006-2008	İstanbul Büyük Şehir Belediyesi – Harita Müdürlüğü
2008-2009	Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Siirt Tarım İl Müdürlüğü- Proje İstatistik Şubesi
2009-	Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı Batman Tarım İl Müdürlüğü- Proje İstatistik Şubesi