T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜRESEL KONUMLAMADA GLONASS' IN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Salih ALÇAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KONYA, 2010

T.C.

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KÜRESEL KONUMLAMADA GLONASS' IN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Salih ALÇAY

Yüksek Lisans Tezi

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 29.06.2010 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof.Dr. Cevat İNAL
(Danışman)

Prof.Dr. Hükmü ORHAN
(Üye)

Yrd.Doç.Dr. İsmail ŞANLIOĞLU
(Üye)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KÜRESEL KONUMLAMADA GLONASS' IN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Salih ALÇAY

Selçuk Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Harita Mühendisliği

Danışman: Prof.Dr. Cevat İNAL

2010, 95 Sayfa

Günümüzde uydularla konum belirlemede en gelişmiş sistem GPS olmasına rağmen, GLONASS da yeni atılan uydularıyla, GPS ile birlikte kullanılabilmesinin yanı sıra yalnız olarak da kullanılabilmektedir.

GLONASS' in yeniden hayata geçirilmesiyle birlikte yüksek duyarlılıklı GLONASS ve GPS/GLONASS alıcıları üretilmektedir.

GLONASS' in global konumlamada kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla 4 çalışma gerçekleştirilmiştir. İlk çalışmada, GPS/GLONASS alıcılarıyla donatılmış IGS istasyonları arasında farklı uzunluklarda 4 baz oluşturulmuştur. Bazlar, 4 saatlik 8 saatlik ve 24 saatlik ölçü süreleri göz önüne alınarak değerlendirilmiş ve analiz edilmiştir. İkinci çalışmada

GPS/GLONASS alıcılarıyla donatılmış 6 IGS istasyonundan oluşan bir ağ belirlenmiştir. 24 saatlik, 6 saatlik ve 12 saatlik ölçü süreleri göz önüne alınarak değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Üçüncü çalışmada Konya mücavir alan sınırları içerisinde 7 noktalı bir ağ oluşturulup, 6 saatlik ölçülerin ardından değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Dördüncü çalışmada ise tekrarlanabilirliği araştırmak amacıyla 4 IGS istasyonundan oluşan bir ağ belirlenmiş ve 10 günlük gözlemler değerlendirilmiştir. Tüm çalışmalarda değerlendirmeler GPS, GPS/GLONASS ve GLONASS gözlemleri kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmelerde Bernese 5.0 akademik analiz yazılımı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre uzun süreli oturumlarda GLONASS gözlemlerinin özellikle ağ yaklaşımında kullanılabileceği ancak GLONASS uydu sinyallerinden kaynaklanan problemler olduğunda(Sayısal Uygulama III) ise yalnız kullanılamayacağı gibi GPS/GLONASS sonuçlarını da olumsuz etkileyebileceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : GPS, GLONASS, IGS, rms

ABSTRACT

MSc Thesis

RESEARCHING THE USABILITY OF GLONASS ON GLOBAL POSITIONING

Salih ALÇAY

Selcuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Geomatic Engineering

Supervisor: Prof.Dr. Cevat İNAL

2010, 95 Pages

Although GPS is the most advanced system in global positioning for the present time, with launched new satellites, GLONASS can be used alone as well as together with GPS.

With recent revitalization of GLONASS, high precision GLONASS and GPS/GLONASS receivers have been produced.

Four studies were performed for investigating the usability of GLONASS on global positioning. In the first study, four baselines, having different length, between IGS tracking stations, equipped with GPS/GLONASS receivers were established. These baselines were processed and analyzed by using data from 4, 8 and 24 hourly observations. In the second study, a network of six IGS tracking stations, equipped with GPS/GLONASS receivers was formed. Analyses were run by using the data from 24, 12 and 6 hourly observations. In the

third study, 6 hourly observations were performed and analyzed for a network of seven sites in Konya urban area. In the fourth study, for investigating the repeatibilities, a network of four IGS tracking stations was formed and 10 daily observations were processed. In all studies, processes were performed seperately by using GPS, GLONASS and GPS/GLONASS observations. Bernese 5.0 academic analysis software were used in all data processing. Results showed that GLONASS observations can be used in network analyzes but when problems arised from the GLONASS signals, (Ex: practice III), they can't be used alone, also can influence the GPS/GLONASS results negatively.

Key Words : GPS, GLONASS, IGS, rms

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, GLONASS' ın GPS ile birlikte kullanılabilirliğinin yanı sıra yalnız olarak da kullanılabilirliği incelenmiştir. Sonuçlar GLONASS' ın kısa gözlem süreleri hariç Global konumlamada kullanılabileceğini göstermiştir. GPS ile entegrasyonu ise GPS sonuçlarıyla benzer niteliktedir.

Çalışmam süresince desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Cevat İNAL' a, ölçülerin yapılmasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.Cemal Özer YİĞİT ve Arş.Gör.Sefa YALVAÇ 'a teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET iii

ABSTRACT v

ÖNSÖZ vii

ŞEKİL LİSTESİ xi

ÇİZELGE LİSTESİ xiii

1. GİRİŞ 1

2. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNSS) 3

2.1 GPS 3
2.1.1 GPS' in bölümleri 3
2.1.1.1 Uzay bölümü 3
2.1.1.2 Kontrol bölümü 4
2.1.1.3 Kullanıcı bölümü 5
2.1.2 GPS sinyal yapısı 5
2.1.2.1 Taşıyıcı dalgalar 5
2.1.2.2 Kodlar 6

2.1.2.2.1 C/A Kod 6

2.1.2.2.2 P-Kod 6

2.1.2.2.3 Y-Kod 7

2.1.2.2.4 Navigasyon mesajı 7

2.1.3 GPS ölçmeleri 8
2.1.3.1 Kod ölçüsü 8
2.1.3.2 Taşıyıcı dalga faz ölçüsü 10
2.1.4 GPS fark gözlemleri 10
2.1.4.1 Tekli farklar 11
2.1.4.2 İkili farklar 11
2.1.4.3 Üçlü farklar 12
2.1.5 GPS ile konum belirleme yöntemleri 13
2.1.5.1 Mutlak konum belirleme 13
2.1.5.2 Göreli konum belirleme 14

2.1.5.2.1 Statik ölçü yöntemi 14

2.1.5.2.2 Hızlı statik ölçü yöntemi 15

2.1.5.2.3 Tekrarlı ölçü yöntemi 15

2.1.5.2.3.1 Merkezsel baz yöntemi 16
2.1.5.2.3.2 Travers yöntemi 16

2.1.5.2.4 Dur-Git ölçü yöntemi 16

2.1.5.2.5 Kinematik ölçü yöntemi 16

2.1.6 GPS' e etki eden hata kaynakları 17
2.1.6.1 Uydu efemeris hataları 17
2.1.6.2 Uydu saati hataları 18
2.1.6.3 İyonosferik etki 18
2.1.6.4 Troposferik etki 18
2.1.6.5 Sinyal yansıma(multipath) etkisi 20
2.1.6.6 Alıcı anteni faz merkezi hatası 20
2.1.6.7 Taşıyıcı dalga faz belirsizliği 20
2.1.6.8 Taşıyıcı dalga faz kesikliği (cycle slip) 21
2.1.7 GPS'de kullanılan doğruluk ve duyarlık (güven) ölçütleri 22
2.1.7.1 Doğruluk ölçütleri 22

2.1.7.1.1 %50 Olasılıklı doğruluk ölçütleri (LEP, CEP, SEP) 22

2.1.7.1.2 %95 Olasılıklı doğruluk ölçütleri (rms; root mean square) 24

2.1.7.2 Duyarlık kaybı (DOP; Dilution Of Precision) faktörleri 25
2.2 GLONASS 27
2.3 GALİLEO 30

3. JEODEZİK AĞLARDA DUYARLIK VE GÜVEN ÖLÇÜTLERİ 33

3.1 Jeodezik Ağlarda Duyarlık Ölçütleri 33
3.1.1 Noktalara göre tanımlanan duyarlılık ölçütleri 33
3.1.2 Helmert ortalama hata ve güven elipsoitleri 34
3.1.3 Lokal duyarlık ölçütleri 37
3.1.4 Bağıl hata elipsoitleri 37
3.1.5 Global duyarlık ölçütleri 38
3.1.5.1 Hacim ölçütleri 38
3.1.5.2 Varyans ölçütü 38
3.1.6 Ortalama konum duyarlığı 39
3.2 Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri 39
3.2.1 İç güvenirlik ölçütü 40
3.2.2 Dış güvenirlik ölçütü 41

4. BERNESE AKADEMİK GNSS YAZILIMI 43

4.1 Genel Özellikleri 43
4.2 Program Yapısı 44

5. SAYISAL UYGULAMALAR 46

5.1 Sayısal Uygulama I 46
5.2 Sayısal Uygulama II 66
5.3 Sayısal Uygulama III 83

5.4 Sayısal Uygulama IV 87
6. SONUÇLAR 90
7. KAYNAKLAR 93

Sayfa

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1 : Yörüngelerindeki GPS uyduları 4
Şekil 2.2 : C/A dalga boyu 6
Şekil 2.3 : P kod dalga boyu 7
Şekil 2.4 : Navigasyon mesajının yapısı 8
Şekil 2.5 : Uydu ve alıcı PRN kodlarının karşılaştırılması 9
Şekil 2.6 : Tekli fark gözlemleri 11
Şekil 2.7 : İkili fark gözlemi 12
Şekil 2.8 : Üçlü fark gözlemi 12
Şekil 2.9 : Mutlak konum belirleme 13
Şekil 2.10 : Göreli konum belirleme 14
Şekil 2.11 : Statik ölçü yöntemi 15
Şekil 2.12 : Hızlı statik ölçü yöntemi 15
Şekil 2.13 : Sinyallerin geçtiği atmosferik tabakalar 19
Şekil 2.14 : CEP(Circular Error Probable) dairesi 23
Şekil 2.15 : Yörüngelerindeki GLONASS uyduları 28
Şekil 2.16 : GLONASS' ın modernizasyonu 29
Şekil 2.17 : Sivil sinyaller ve uydular 30
Şekil 2.18 : Galileo uyduları 31
Şekil 2.19 : Oluşturulması planlanan Galileo uzay bölümü 31
Şekil 3.1 : Hata elipsoidinin elemanları 35
Şekil 5.1 : Kullanılan noktaların konumu 46
Şekil 5.2 : GLONASS gözlemlerinin ilavesi ile gözlem ve parametre sayısındaki değişim 48
Şekil 5.3 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 50
Şekil 5.4 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmaların grafik gösterimi 52
Şekil 5.5 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 54
Şekil 5.6 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmaların grafik gösterimi 56
Şekil 5.7 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 58
Şekil 5.8 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmaların grafik gösterimi 60
Şekil 5.9 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 62
Şekil 5.10 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmaların grafik gösterimi 64
Şekil 5.11 : Tüm bazlar için GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 65
Şekil 5.12 : 24 saatlik proseslerden elde edilen noktaların standart sapmaların grafik gösterimi 66
Şekil 5.13 : Test ağı 1 67
Şekil 5.14 : GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 69
Şekil 5.15 : Noktaların standart sapmalarının grafik gösterimi 70
Şekil 5.16 : 0-6 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 71
Şekil 5.17 : 6-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS

koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 72
Şekil 5.18 : 12-18 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 73
Şekil 5.19 : 18-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 74
Şekil 5.20 : 0-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 75
Şekil 5.21 : 12-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi 76
Şekil 5.22 : 0-6 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi 77
Şekil 5.23 : 6-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi 78
Şekil 5.24 : 12-18 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi 79
Şekil 5.25 : 18-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi 80
Şekil 5.26 : 0-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi 81
Şekil 5.27 : 12-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi 82
Şekil 5.28: Test ağı 2 83
Şekil 5.29 : GPS/GLONASS görev planlamasına ait DOP grafiği 84
Şekil 5.30 : GPS görev planlamasına ait DOP grafiği 84
Şekil 5.31 : GPS ve GPS/GLONASS ile elde edilen koordinat bileşenleri arasındaki farkların grafik gösterimi 86
Şekil 5.32 : Noktaların standart sapmalarının grafik gösterimi 87
Şekil 5.33 : Test ağı 3 88

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1 : GPS uydu sinyal bileşenleri 7

Çizelge 2.2 : Ölçü yöntemlerinde elde edilebilecek doğruluklar 17

Çizelge 2.3 : Boyuta bağlı olasılık faktörleri..... 25

Çizelge 2.4 : Kabul edilen DOP değerleri 27

Çizelge 3.1 : Serbestlik derecelerine bağlı olarak hata elipsoidinin istatistik güveni 37

Çizelge 3.2: Kısmi redundanz ile ölçülerin kontrolü..... 41

Çizelge 5.1 : Noktalardaki GPS/GLONASS alıcıları..... 47

Çizelge 5.2 : Bazlar ve detayları..... 47

Çizelge 5.3 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 49

Çizelge 5.4 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmalar..... 51

Çizelge 5.5 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 53

Çizelge 5.6 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmalar..... 55

Çizelge 5.7 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 57

Çizelge 5.8 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmalar..... 59

Çizelge 5.9 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 61

Çizelge 5.10 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmalar..... 63

Çizelge 5.11 : Tüm bazlar için GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları ... 64

Çizelge 5.12 : 24 saatlik proseslerden elde edilen noktaların standart sapmaları 65

Çizelge 5.13 : Noktalardaki GPS/GLONASS alıcıları..... 67

Çizelge 5.14 : Değerlendirme sonucunda elde edilen baz uzunlukları ve rms değerleri..... 68

Çizelge 5.15 : GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları..... 68

Çizelge 5.16 : Noktaların standart sapmaları 69

Çizelge 5.17 : 0-6 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 70

Çizelge 5.18 : 6-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 71

Çizelge 5.19 : 12-18 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 72

Çizelge 5.20 : 18-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 73

Çizelge 5.21 : 0-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 74

Çizelge 5.22 : 12-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları 75

Çizelge 5.23 : 0-6 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları 77

Çizelge 5.24 : 6-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları 78

Çizelge 5.25 : 12-18 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları 79

Çizelge 5.26 : 18-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları 80

Çizelge 5.27 : 0-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları 81

Çizelge 5.28 : 12-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları 82

Çizelge 5.29 : Değerlendirme sonucunda elde edilen baz uzunlukları ve rms değerleri..... 85

Çizelge 5.30 : GPS ve GPS/GLONASS ile elde edilen koordinat bileşenleri arasındaki farklar85

Çizelge 5.31 : Noktaların standart sapmaları 86

Çizelge 5.32 : Noktalardaki GPS/GLONASS alıcıları 88

Çizelge 5.33 : 10 güne ait baz uzunluk değerlerinin ortalaması..... 88

Çizelge 5.34 : Ortalama baz uzunluklarından olan farklar 89

Çizelge 5.35 : Bazlara ait karesel ortalama hatalar 89

KISALTMALAR LİSTESİ

CEP : Circular Errror Probable

DOP : Dilution of Precision

GLONASS : GLObal NAvigation Satellite System

GPS : Global Positioning System

IGS : International GNSS Service

rms : root mean square

1. GİRİŞ

Teknolojinin gelişimine paralel olarak uydularla konum belirleme önemini gün geçtikçe arttırmaktadır.

Günümüzde global anlamda 5 konum belirleme sistemi olmasına rağmen ilk akla gelen GPS dir. En çok kullanılan uydu sistemidir. Diğer sistemler; GLONASS (Rusya), GALILEO (Avrupa Birliği), COMPASS/BEIDOU (Çin) ve NIGCOMSAT-1 (Nijerya) 'dır. GLONASS' in henüz istenilen düzeyde uydu sayısı olmadığı için pek tercih edilmemektedir. GALILEO ise önümüzdeki yıllarda kullanıma açılacak olan bir sistemdir.

Konumlama için yeterli olanağa sahip olan sistemler tek başlarına kullanılabilmektedir. Ancak bazı özel hallerde örneğin topografyanın konumlama için yeterli uydu sayısına imkan vermediği durumlarda konumlama gerçekleştirilememektedir. Bu gibi durumlarda sistemlerin yalnız değil de birlikte kullanılmasının birçok yararı olacağı düşünülmüştür. Bu yüzden günümüzde kullanılan iki sistemin (GPS-GLONASS) entegrasyonu düşünülmüş ve gelişmelere paralel olarak yüksek duyarlılıklı GPS/GLONASS alıcıları üretilmiş ve üretilmektedir.

Bu iki sistemin entegrasyonu beklenen sonuçları getirirse, yakında hizmete girecek olan GALILEO sisteminin de dahil edilerek daha iyi sonuçların elde edilebileceği düşünülmektedir.

GLONASS, gerek uyduların yörünge doğruluğu gerekse sinyal kalitesi gibi birçok yönden GPS 'in gerisindedir. Ancak yeni atılan ve atılacak olan uydularla birlikte adım adım iyileşmeler beklenmektedir.

Bruyninx (2007) GLONASS' ın GPS ile birlikte kullanılabilirliğini test etmek amacıyla IGS noktalarından oluşan iki ağ belirlemiştir. 24 saatlik gözlem sürelerini göz önüne alarak değerlendirmeleri Bernese 5.0 akademik analiz yazılımıyla gerçekleştirmiştir. 40 dan fazla günlük proses gerçekleştirmiştir. Çalışmasını yaptığı sırada 29 GPS ve 13 GLONASS uydusu kullanımdadır. Elde ettiği sonuçlar ile bazı günlerde GPS/GLONASS çözümünün GPS'e göre daha iyi olduğunu, bazılarında ise GPS'in daha iyi olduğunu görmüştür.

Cai ve Gao (2007) PPP(Precise Point Positioning) üzerine bir çalışma yapmışlardır. Çalışma sonucunda GLONASS gözlemlerinin ilavesinin sonuçları olumlu etkilediği görülmüştür.

Stewart ve ark. (2000) yaptıkları çalışmayla GLONASS' in etkisini irdelemişlerdir. Elde

ettikleri sonuçlara göre GLONASS gözlemlerinin ilavesi ile elde edilen GPS/GLONASS sonuçlarının GPS sonuçlarına göre daha kötü olduğunu görmüşlerdir. Nedeni olarak da GLONASS yörüngelerinin GPS' e göre daha az hassasiyette belirlenmesi olarak göstermişlerdir.

Wang ve Wang (2007) uzun bazlarda GPS+GLONASS' in avantaj ve dezavantajını araştırmak amacıyla bir çalışma gerçekleştirmiştir. Elde ettiği sonuçları GPS sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Sonuçlar, GLONASS gözlemlerinin ilavesi ile rms değerlerinde bir iyileşmenin olduğunu göstermiştir.

GLONASS uydu sayısının gün geçtikçe artması, global konumlamada kullanılabilirliğinin araştırılmasını dikkate değer hale getirmiştir. Bu gelişmeler göz önüne alınarak, dört çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalar ile global konumlamada GLONASS 'in GPS ile birlikte kullanılabilirliğinin yanı sıra yalnız olarak da kullanılabilirliği incelenmiştir.

Tezde sırasıyla Global Konum Belirleme Sistemleri, Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri, Bernese Akademik GNSS yazılımı, konularına bölümlerinde yer verilmiş ve Uygulama bölümü ayrıntılarıyla ele alınmıştır.

2. GLOBAL KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GNSS)

Global anlamda konum belirleme sistemleri 5 tane olup bunlar; GPS, GLONASS (Rusya), GALİLEO (Avrupa Birliği), COMPASS/BEIDOU (Çin), NİGCOMSAT-1 (Nijerya) ‘dır. Burada, GPS, GLONASS ve GALILEO sistemleri üzerinde durulmuştur.

2.1 GPS

GPS, Transit sisteminin oldukça gelişmiş bir şekli olup, uydulara dayalı bir radyo navigayon sistemidir. İlk zamanlarda sadece askeri amaçlar için kullanılan bu sistem, günümüzde yeryüzünün herhangi bir yerinde uygun donanıma sahip sınırsız sayıdaki sivil kullanıcıya hassas konum ve hız belirleme imkanı sağlamaktadır. Sistemin temel ilkesi, uzayda farklı yörüngelerde bulunan en az 4 uydudan gelen sinyallerin değerlendirilerek alıcının konumunun belirlenmesidir.

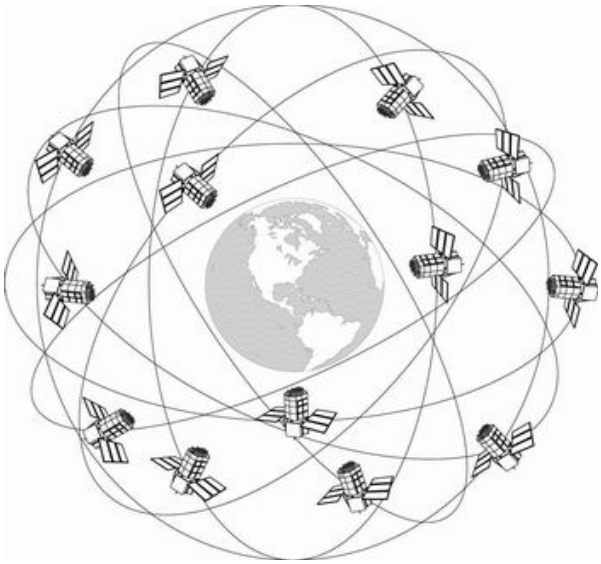
2.1.1 GPS’ in bölümleri

Amerika Hava Kuvvet Sistemleri Komutanlığı Uzay Bölümünün birimi olan JPO (Joint Program Office) sorumluluğunda geliştirilen GPS üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar;

- Uzay Bölümü,
- Kontrol Bölümü
- Kullanıcı Bölümü

2.1.1.1 Uzay bölümü

Uzay bölümü yeryüzünden yaklaşık 20200 km yukarıda olan, ekvator ile 55 derecelik eğim yapan 6 yörünge düzlemine yerleştirilmiş 21 esas ve 3 yedek olmak üzere 24 uydudan oluşacak şekilde planlanmıştır. Ancak hala ömrü dolmayan uydular nedeniyle uydu sayısı bu sayının üzerindedir(Şekil 2.1).



Şekil 2.1 : Yörüngelerindeki GPS uyduları

Blok I, Blok II, Blok II A, Blok II R (Blok II R-M), Blok II F ve Bok III olmak üzere altı farklı sınıf ya da türde GPS uydusu mevcuttur. Blok I uyduları 1978-1985 yılları arasında yörüngeye oturtulmuştur ve ömürleri dolduğu için şu anda kullanılmamaktadır. 1989 yılında yörüngeye oturtulmaya başlanan Blok II uyduları, Blok I uydularının aksine, askeri güvenlik için Seçimli Doğruluk Erişimi (Selective Availability; SA) ve Aldatmaya Karşı Koyma (Anti-Spoofing; A-S) engellemeleriyle yüklenmiş ve böylece sivil kullanıcılara sınırlı bir kullanım olanağı tanınmıştır. İlk uydusu 1990 yılında yörüngesine oturtulan Blok II A uydularından bazıları lazer ölçümlerini mümkün kılan yansıtıcılarla donatılmış olup bu uyduların birbirleri arasında haberleşme özelliği bulunmaktadır. Blok II uydularının yerini alması için üretilen Blok II R ve Blok II R-M uydularının en önemli özelliği atomik saate sahip olmaları olup ilk olarak 1997 yılında yörüngelerine oturtulmaya başlanmıştır.

2010 yılı sonuna kadar yörüngeye yerleştirilmesi planlanan Blok II F uydularında sivil amaçlı yeni bir sinyal olan, 1176.45 MHz frekanslı L5 sinyalinin kullanılmasına karar verilmiştir. Blok III uyduları henüz tasarım aşamasında olup 2010 yılından itibaren yörüngesine oturtulması planlanmaktadır.

2.1.1.2 Kontrol bölümü

Kontrol bölümü GPS'in sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlamak içim kurulmuş yer istasyonlarından oluşmaktadır. Ana Kontrol İstasyonu, İzleme İstasyonları ve Yer Antenleri birimlerinden oluşan Kontrol Bölümü'nde, Hawaii, Colorado Springs, Ascensiyon adası, Diego Garcia ve Kwajalein'e kurulan beş adet izleme istasyonu, 1.5 saniyede bir yaptıkları

pseudorange gözlemlerini iyonosferik ve meteorolojik verilerle birleştirerek Ana Kontrol İstasyonuna gönderir. Ana Kontrol İstasyonu, aldığı verilerle uydu yörüngelerini, uydu saat düzeltmelerini hesaplar ve bunları, Yer Antenleri aracılığıyla uydulara gönderir. Üç adet antenden oluşan ve S-Band radyo hatlarını kullanan Yer Antenleri, uydulardan gelen verileri alan ve her 8 saatte bir ana kontrol istasyonundan gelen verileri uydulara yükleyen birimlerdir(Eren ve Uzel, 1995).

2.1.1.3 Kullanıcı bölümü

GPS alıcılarına sahip tüm sivil ve askeri kullanıcıları kapsar. Alıcılar, anten, anten aracılığıyla alınan bilgileri depolayan kayıt birimi, gerçek zamanda alıcının konumunu veren yazılım ve mikroişlemciden oluşur.

2.1.2 GPS sinyal yapısı

GPS ölçmelerinde uydu alıcı arasındaki veri transferi, GPS uyduları tarafından yayınlanan ve elekromagnetik spektrumun mikro dalga bölümünde yer alan sinyallerle yapılır. Taşıyıcı dalgalar ve bunların üzerine modüle edilmiş kodlar, bu sinyalleri oluşturan bileşenlerdir. Uydu sinyalleri ile birlikte yeryüzü üzerindeki noktaların koordinatlarının bulunabilmesi için gerekli olan bilgiler de alıcıya ulaştırılır ve kaydedilir(Sickle, 1996).

GPS tek yönlü ölçmeyi, sınırsız sayıdaki askeri ve sivil kullanıcılara hizmet sunmayı, doğruluk ve açıklık sağlamayı, gerçek zamanlı mesafe ölçümüne olanak tanımayı, doğru taşıyıcı faz ölçümleri yapabilmeyi, yayın mesajı sağlamayı, iyonosferik gecikme düzeltmesi yapabilmeyi, aynı anda birden fazla uyduya gözlem yapmaya olanak tanımayı, sinyal girişimlerini engellemeyi gerektirmektedir. GPS sinyalleri, bu gereksinimleri karşılayacak bileşenleri yapısında barındırmaktadır (Teunissen and Kleusberg, 1998).

2.1.2.1 Taşıyıcı dalgalar

GPS uydularının her biri, 19 cm ve 24.4 cm dalga boylarında ve sırasıyla 1575.42 MHz ve 1227.60 MHz mikrodalga radyo frekanslarında, L1 ve L2 olarak adlandırılan iki adet taşıyıcı dalga yayınlar. L1 ve L2 frekansları, frekansı f_0 = 10.23 MHz olan temel frekansın 154 ve 120 katı alınarak elde edilmiştir. Bu taşıyıcılar L-Bant diye adlandırılan aralıkta (1-2 GHz) bulunurlar. L1 ve L2 taşıyıcı frekansları uydu saati okumaları ve yörünge parametreleri gibi bilgilerin taşınması için kodlarla modüle edilir. L1 taşıyıcı frekansı üzerine iki PRN kodu (C/A-Kod, P-Kod) ve Navigasyon Mesajı verileri modüle edilmiştir. L2 taşıyıcı sinyali ise yalnızca bir PRN kodu (P-kodu) ve Navigasyon Mesajı verileri ile modüle edilmiştir. L1

frekansının herhangi bir nedenle kesilmesi ya da elektronik karıştırmaya maruz kalması durumunda L2 frekansının yedek frekans olarak görev yapması planlanmıştır.

2.1.2.2 Kodlar

2.1.2.2.1 C/A Kod

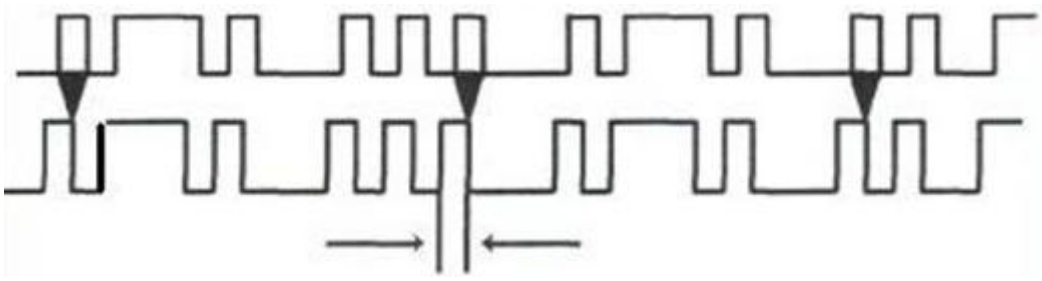
GPS uydularının her biri iki farklı PRN kodu yayınlar. Bunlar C/A (Clear/ Access) ve P (Precision / Protected) Kod'dur. C/A Kod 1,023 binary basamaklık bir sayı dizisi veya ''chip''tir ve her milisaniyede bir tekrarlanır. Her çip taşıyıcı dalgalara yüklenir ve uzayda ışık hızıyla hareket etmeleri sağlanır. Bu yüzden belli bir zaman aralığı, ışık hızıyla çarpılarak uzunluk birimine dönüştürülebilir. Bu nedenle 1 mikro saniye yaklaşık 300 metreyi ifade eder. Bu aynı zamanda C/A kodun dalga boyudur(Şekil 2.2).

Her uyduya kendine özgü C/A kod tahsis edilmiştir. C/A Kod her milisaniyede tekrarlandığı için alıcı sinyale çok çabuk kilitlenir ve aldığı kodu kendi ürettiğiyle karşılaştırır.

2.1.2.2.2 P-Kod

P-Kod, L1 ve L2 taşıyıcıların her ikisinde de modüle edilmiş olup yaklaşık 266,4 günlük kod uzunluğundadır. Kod uzunluğunun tamamı birer haftalık toplam 37 haftaya bölünmüştür. P Kod'un chip uzunluğu 29.3 metre olup, çözünürlüğü yaklaşık 30 cm dir. Uzunluk ölçüm hassasiyeti kısmen PRN Kodundaki chip' in dalga boyuna bağlı olduğundan, yüksek duyarlılık daha kısa dalga boyu ile elde edilebilir. GPS uyduları, C/A Kod'un verdiğinden daha hassas sonuç elde etmek için P kodu'unu da yayınlarlar(Şekil 2.3).

C/A Kod 1.023 MHz

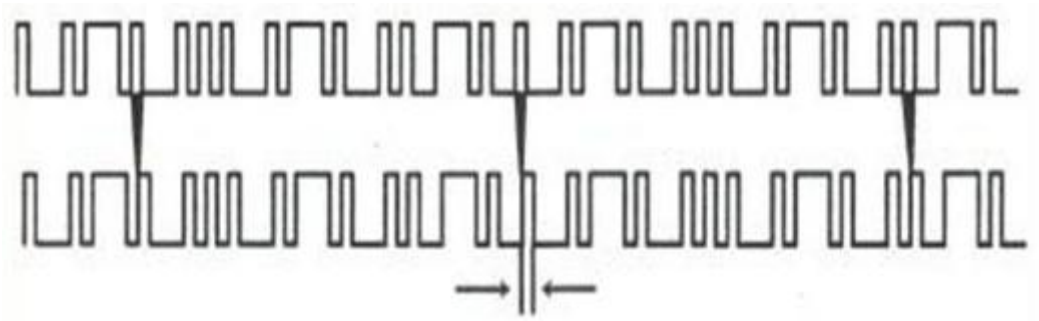


1 'Chip' 1 Microsaniye

Dalga boyu = 300 metre, Çözünürlük = 3 metre

Şekil 2.2 : C/A dalga boyu

P-Kod 10.23 MHz



1'Chip' 1/10 Microsaniye

Dalgaboyu = 29.3 metre, Çözünürlük = 30 cm

Şekil 2.3 : P kod dalga boyu

2.1.2.2.3 Y-Kod

ABD Savunma Bakanlığı, P-Kodunu gizli bir kod olan W-Kodu ile birleştirmek suretiyle şifrelemiş ve oluşan yeni koda Y-Kod denilmiştir. Y-Kod sadece yetkili kullanıcılar tarafından kullanılabilmektedir (Teunissen and Kleusberg, 1998).

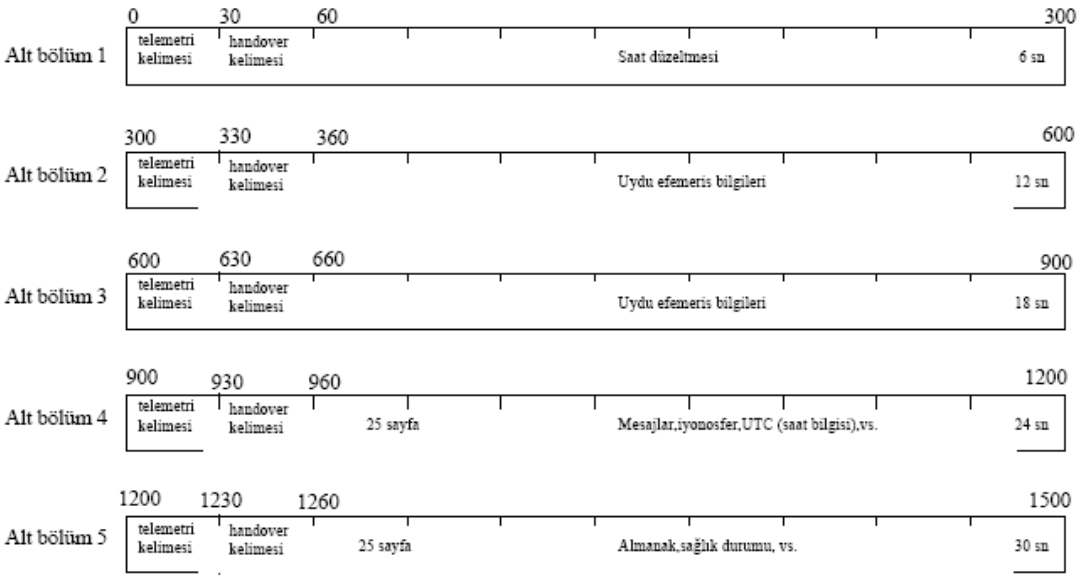
Çizelge 2.1 : GPS uydu sinyal bileşenleri

BİLEŞENLER	***FREKANS (MHz)***	***DALGA BOYU (λ)***
Temel Frekans	$f_0 = 10.23$	-
L1 Taşıyıcı	$154 * f_0 = 1575.42$	*19.0 cm*
L2 Taşıyıcı	$120 * f_0 = 1527.60$	*24.4 cm*
P-Kod	$f_0 = 10.23$	*30 m*
C/A-Kod	$f_0/10 = 1.023$	*300 m*
W-Kod	$f_0/20 = 0.5115$	-
Navigasyon Mesajı	$f_0/204600 = 50.10^{-6}$	-

2.1.2.2.4 Navigasyon mesajı

Navigasyon mesajı 50bit/sn.lik veri hızında P-Kod ve C/A-Kod üzerine bindirilmiştir. Mesajın tamamı 1500 bit uzunluğunda olup her biri 300 bitlik 5 alt bölümden oluşmaktadır(Şekil 2.4). Bir alt bölüm 6 saniyede yayınlanmakta ve her biri 30 bit'lik 10 kelime içermektedir. Navigasyon mesajı adı verilen bu mesajla birlikte uydunun durumu, almanak bilgileri, uydu yörünge parametreleri, sinyal gecikmesi, uydu saat düzeltmesi

parametreleri, C/A Kod'dan P Kod 'a geçişteki zaman senkronizasyon bilgileri alıcıya gönderilir.



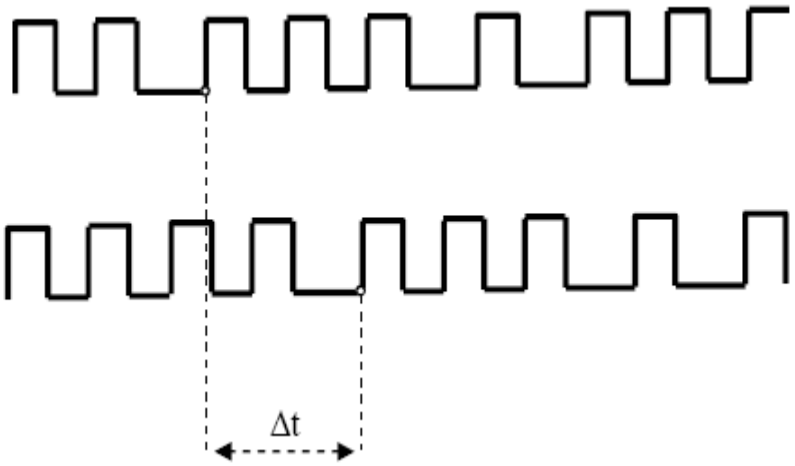
Şekil 2.4 : Navigasyon mesajının yapısı

2.1.3 GPS ölçmeleri

GPS ölçmeleri, kod ve faz ölçüleri yardımıyla, uydu alıcı arasındaki uzaklığın hesaplanmasıdır.

2.1.3.1 Kod ölçüsü

Burada temel prensip, uydudan yayınlanan sinyalin uydudan çıkış anı ile alıcıya ulaştığı ana kadar geçen zamanın ışık hızıyla ölçeklendirilmesiyle uydu alıcı arasındaki mesafenin elde edilmesidir. Sinyalin uyduyu terk ettiği andan itibaren alıcıya ulaşana kadar geçen zaman, alıcı ve uydu tarafından üretilen PRN kodlarının karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Alıcı içersindeki kod izleme lupu alıcı içersinde üretilen PRN kod ile uydudan yayınlanan PRN kod arasında maksimum korelasyon sağlanana kadar, alıcıda üretilen kodu kaydırır. Arada geçen zaman bu işlem sonucunda bulunmuş olur(Şekil 2.5).



Şekil 2.5 : Uydu ve alıcı PRN kodlarının karşılaştırılması

Elde edilen uydu alıcı uzunluğu ham uzunluk olup gerçek uzunluk değildir. Bunun nedeni uydu alıcı saatindeki kaçınılmaz hatalar, atmosferik etkiler ve multipath etkisidir. Tüm bu hatalar göz önüne alındığında kod pseudorange uzunluk ölçüsü denklemi;

$$P_k^p(t) = \rho_k^p(t) - cdt_k + cdt^p + I_{k,p}^p(t) + T_k^p(t) + d_{k,p}(t) + d_{k,p}^p(t) + d_p^p(t) + \varepsilon_p \qquad (2.1)$$

şeklindedir. Burada;

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

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

c : Işık hızı

dt_k : Alıcı saat hatası

dt^p : Uydu saat hatası

$I_{k,p}^p(t)$: İyonosferik hata

$T_k^p(t)$: Troposferik hata

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

$d_{k,p}^p(t)$: Sinyalin çevreden yansımasıyla oluşan multipath etkisi

$d_p^p(t)$: Uydu donanımından kaynaklanan kod gecikmesi

ε_p : Rastgele ölçü hatasıdır(Arslanoğlu, 2002).

2.1.3.2 Taşıyıcı dalga faz ölçüsü

Faz gözlemi, herhangi bir t anında uydudan yayınlanan sinyalin taşıyıcı fazı ile başka bir t anında alıcı tarafından üretilen referans sinyalin fazı arasındaki farktır. Taşıyıcı dalga faz gözlemleri, alıcı anten açıldığında, uydu ile alıcı arasındaki uzaklığın karşılığı olan fazın sadece anlık kesirli kısmını ölçebilir. Ölçülemeyen devir tam sayısına tam sayı faz belirsizliği denmektedir. Taşıyıcı dalga faz gözlemlerinin konum belirlemede kullanılabilmesi için tamsayı faz belirsizliğinin belirlenmesi gerekmektedir (Çelik, 2002).

Taşıyıcı dalga fazının dalga boyu P ve C/A kodlara göre daha kısa olduğundan, faz farkı ölçü duyarlılığı daha yüksektir. Faz ölçüsü φ'nin bir k referans noktası ve p uydusuna göre denklemi;

$$\varphi_k^p(t) = \rho_k^p(t) - cdt_k + cdt^p - I_{k,\varphi}^p(t) + T_k^p(t) + \frac{c}{f_1} N_k^p + d_{k,\varphi}(t) + d_{k,\varphi}^p(t) + d_\varphi^p(t) + \varepsilon_\varphi \qquad (2.2)$$

şeklindedir. Burada;

$\varphi_k(t)$: alıcıdaki faz

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

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

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

$T_k^p(t)$: Troposfer hatası

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

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

$d_\varphi^p(t)$: Faz ölçüsüne ait multipath etkisidir. (Arslanoğlu, 2002).

2.1.4 GPS fark gözlemleri

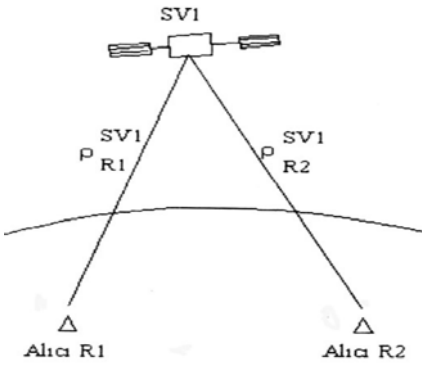
GPS ile iki temel büyüklük gözlenmekte olup bunlar kod ve faz gözlemleridir. Bu temel

gözlemlere sıfır farklar (zero differences) adı da verilmektedir. Ancak GPS gözlemlerinin değerlendirilmesi aşamasında bu temel gözlemlerin lineer kombinasyonlarının oluşturulması birçok fayda sağlamaktadır. Kod ve faz gözlemlerinden yararlanarak oluşturulan farklar yardımıyla uydu saat hataları, alıcı saat hataları ve faz başlangıç belirsizliği gibi birçok ortak hata kaynağı giderilebilmektedir. Gözlem fark kombinasyonları farklı şekillerde oluşturulabilmektedir. Bunlar genel olarak;

- Alıcılar arasında
- Uydular arasında
- Ölçü epokları arasında
- L1 ve L2 frekansları arasında yapılmaktadır.

2.1.4.1 Tekli farklar

Tekli farklar, iki farklı alıcı noktasında aynı uyduya eş zamanlı yapılan faz gözlemleri arasındaki farktır(Şekil 2.6).



Şekil 2.6 : Tekli fark gözlemleri

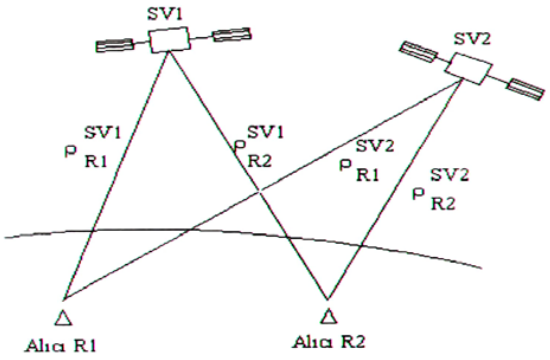
Tekli farklar için;

$$\Delta\phi_{R2R1}^{SV1}(t) = \phi_{R2}^{SV1}(t) - \phi_{R1}^{SV1}(t) \tag{2.3}$$

eşitliği yazılabilir. Burada Δ operatörü fark gözlemleri anlamında kullanılmıştır. Bu yöntemde temel olarak uydu saatlerindeki hatalar giderilmektedir. Tekli fark, uydular arasında aynı bir alıcı için oluşturulursa bu durumda alıcı saati hataları giderilmiş olur.

2.1.4.2 İkili farklar

İkili farklar, iki tekli farkın farkı olarak düşünülebilir. Başka bir ifadeyle aynı epokta iki farklı uydu için oluşturulan tekli farklar arasındaki farktır(Şekil 2.7).



Şekil 2.7 : İkili fark gözlemi

İkili fark gözlemleri,

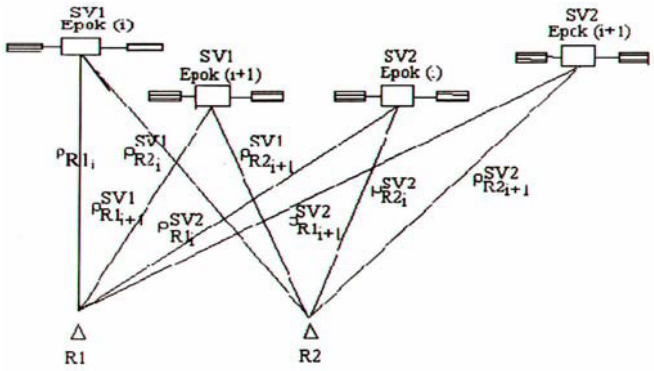
$$\Delta\Delta^{SV1SV2}_{R1R2}(t) = \Delta^{SV1}_{R1R2} - \Delta^{SV2}_{RIR2}(t) \tag{2.4}$$

eşitliği ile ifade edilir.

İkili farklar ile uydu ve alıcı saat hatalarının her ikisi birden giderilmektedir. Ayrıca kısa baz uzunluklarında troposferik ve iyonosferik etkilerde giderilebilmektedir.

2.1.4.3 Üçlü farklar

Üçlü farklar şekil 2.8'de görüldüğü üzere, iki farklı epokta oluşturulan iki ikili fark arasındaki farktır.



Şekil 2.8 : Üçlü fark gözlemi

Üçlü fark gözlemleri için genel eşitlik,

$$\Delta\Delta\Delta^{SV1SV2}_{RIR2}(t_i, t_{i+1}) = \Delta\Delta^{SV1SV2}_{R1R2}(t_{i+1}) - \Delta\Delta^{SV1SV2}_{R1R2}(t_i) \tag{2.5}$$

şeklinde ifade edilir.

Sinyal kesikliğinin olmadığı varsayılırsa üçlü farklar faz başlangıç belirsizliğini çözmektedir.

R sayıda alıcının, T sayıda gözlem epokunda, S sayıda uyduya gözlem yaptığı düşünülürse bu durumda R*S*T sayıda fark gözlemi olacaktır.

(R-1)*S*T sayıda tekli faz farkı,

(R-1)*(S-1)*T sayıda ikili faz farkı,

(R-1)*(S-1)*(T-1) sayıda üçlü faz farkı oluşturabileceğimiz ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2009).

2.1.5 GPS ile konum belirleme yöntemleri

GPS' de iki tür konum belirleme yöntemi bulunmaktadır. Bunlar;

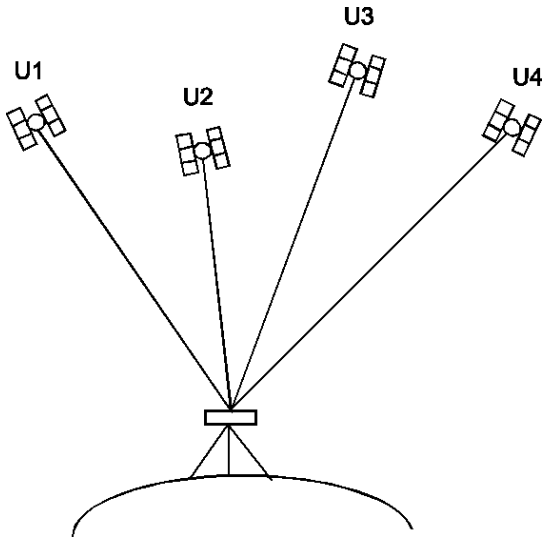
-Mutlak konum belirleme yöntemi

-Göreli konum belirleme yöntemidir.

2.1.5.1 Mutlak konum belirleme

Mutlak konum belirlemede tek bir GPS alıcısı ile en az dört uydudan kod gözlemleri yapılarak alıcının bulunduğu noktanın koordinatları belirlenmektedir.

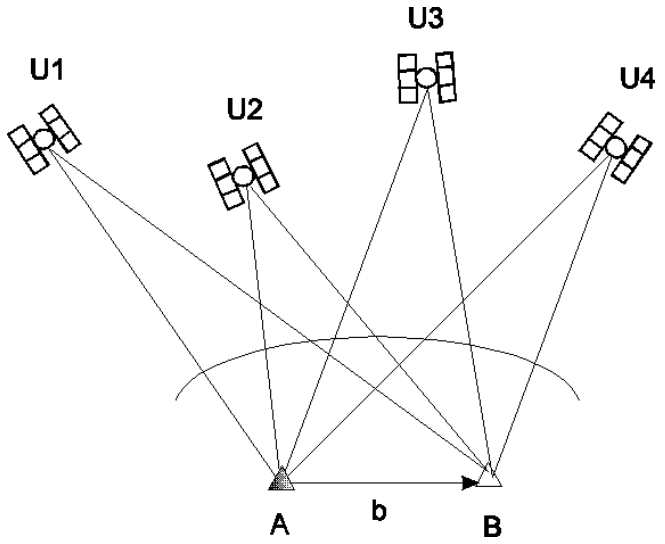
Yöntemin esası, sinyalin uydudan çıkışından alıcıya ulaşana kadar geçen zamanın ışık hızıyla ölçeklendirilmesiyle hesaplanan uydu- alıcı uzaklıkları ve uyduların bilinen koordinatları yardımıyla uzaydan geriden kestirme esasına dayanmaktadır.



Şekil 2.9 : Mutlak konum belirleme

2.1.5.2 Göreli konum belirleme

Burada, konumu belirlenecek noktalardaki alıcıların, referans noktalarında ölçüm yapan alıcılarla aynı uydulara eş zamanlı gözlem yapması gerekmektedir. Nokta koordinatları, yapılan ölçümlerin GPS yazılımlarında değerlendirilmesi sonucu elde edilmektedir.



Şekil 2.10 : Göreli konum belirleme

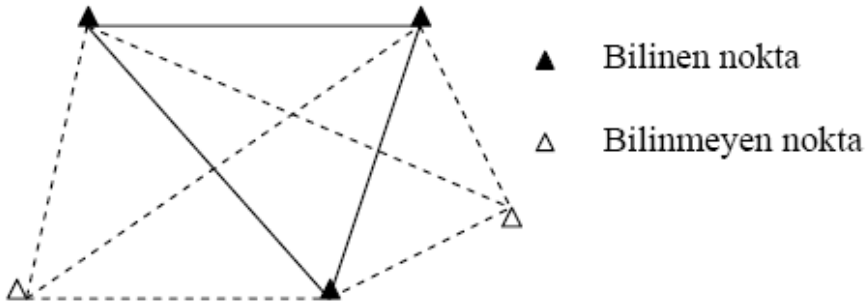
Göreli konum belirleme yöntemleri;

- Statik ölçü yöntemi
- Hızlı statik ölçü yöntemi
- Tekrarlı ölçü yöntemi
- Dur-Git ölçü yöntemi
- Kinematik ölçü yöntemi

olmak üzere 5 gruptan oluşmaktadır.

2.1.5.2.1 Statik ölçü yöntemi

Statik ölçü yöntemi çok yüksek presizyonlu ölçülerde kullanılan ve faz ölçümleriyle gerçekleştirilen bir tekniktir. Bu yöntemde iki ya daha fazla sayıda alıcı ile en az bir saat eş zamanlı ölçü yapılmaktadır. Süre arttıkça doğruluk da artmaktadır. Bilimsel amaçlı çalışmalarda ve çok uzun bazların söz konusu olduğu durumlarda ölçü süreleri 24 saate kadar belirlenebilmektedir. Ölçme süresi baz uzunluğundan, gözlenen uydu sayısından ve uydu geometrisinden etkilenmektedir.

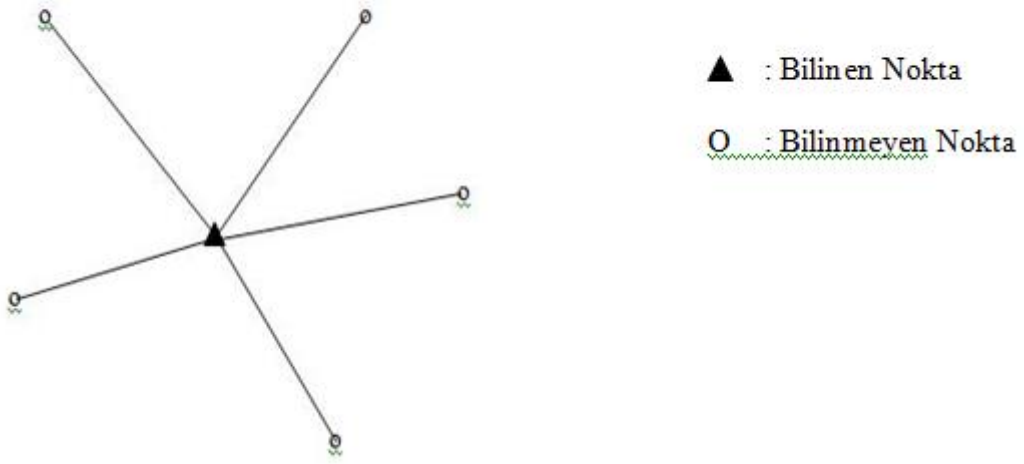


Şekil 2.11 : Statik ölçü yöntemi

2.1.5.2.2 Hızlı statik ölçü yöntemi

Alıcılardan en az birisi konumu bilinen bir noktada sürekli sinyal alırken diğer alıcı veya alıcılar bilinmeyen noktalar üzerinde 5-30 dakika bekletilerek veriler toplanır(Şekil 2.12). Oturum süresinin statik yönteme göre kısa olması tamsayı faz belirsizliğinin kısa sürede çözülmesine imkan veren matematiksel algoritmaların kullanılmasını gerektirmektedir.

Kısa sürede çok sayıda noktanın doğru ve ekonomik ölçülmesi gerektiğinde, hızlı statik ölçü yöntemi en iyi yöntemdir. Özellikle kısa bazlarda(< 5km) daha iyi sonuç vermektedir.



Şekil 2.12 : Hızlı statik ölçü yöntemi

2.1.5.2.3 Tekrarlı ölçü yöntemi

Bu yöntem statik ile kinematik arasında bir yöntem olup, değişen uydu geometrisinden yararlanmak için, bir noktanın birkaç dakika süre ile belirli bir aralıkla iki defa ölçülmesi esasına dayanır. Bir noktadan diğerine gidilirken alıcının uydu izlemeye devam etmesi

zorunluluğu yoktur. Alıcılardan biri koordinatları bilinen noktada sürekli gözlem yaparken diğer alıcı ya da alıcılar hareket halindedir ve her yeni noktada her biri 10 dakika olacak şekilde en az ikişer defa gözlem yapar. Bu iki gözlem arasında en az 1 saat fark olmalıdır. En fazla 4 saat içinde tekrar edilmelidir. Bu şekilde tamsayı belirsizliğinin çözümü kolaylaşmaktadır.

Tekrarlı ölçü yöntemi, merkezsel baz yöntemi ve travers yöntemi olmak üzere iki farklı şekilde uygulanır.

2.1.5.2.3.1 Merkezsel baz yöntemi

Bu yöntemde alıcılardan biri konumu bilinen bir referans noktasında sürekli gözlem yaparken diğer bir alıcı herhangi bir noktadan başlayarak diğer noktaları dolaşarak gözlem yapar. Her bir noktadaki ölçü süresi 10 dakika civarındadır. 1-4 saat içerisinde aynı alıcı aynı noktalarda tekrar gözlem yapmalıdır.

2.1.5.2.3.2 Travers yöntemi

Travers yönteminde iki alıcı da hareketlidir. Sabit alıcı söz konusu değildir. Bu yöntemde atlamalı ölçüler yapılmaktadır. Her defasında bir alıcı dururken diğer alıcı atlamalı olarak yer değiştirmektedir. Her bir baz 10 dakika olmak üzere iki defa ölçülmelidir.

2.1.5.2.4 Dur-Git ölçü yöntemi

Bu yöntemde alıcılardan biri koordinatları bilinen bir noktada referans olarak ölçüm yaparken diğer bir alıcı da durduğu ilk noktada, tamsayı belirsizliğini çözmek için birkaç dakika ölçüm yapar. Tamsayı faz belirsizliği çözülecek kadar ölçüm yapıldıktan sonra, gezici alıcı koordinatları belirlenecek noktalarda 1-2 dakika kadar ölçüm yapar ve ilgili koordinatlar cm hassasiyetinde belirlenmiş olur. Yöntemin avantajı, alıcının noktalar arasında gezerken kapatılmadığı için tamsayı belirsizliğinin aynı kalması ve ayrıca ölçü süresinin çok kısa olmasıdır. Eğer uydu sayısı 4 ün altına düşerse ya da sinyal kesikliği olursa, bu durumda tamsayı belirsizliğinin tekrar çözümü gerekecektir. Eğer ölçü noktaları birbirine yakınsa bu yöntem iyi sonuçlar vermektedir.

2.1.5.2.5 Kinematik ölçü yöntemi

Bu yöntemde amaç tek tek noktaların ölçülmesi değil, hareket eden bir antenin gezi yolunun belirlenmesidir. Bu yöntemde de faz belirsizliğinin çözülmesi gerekmektedir. Bunun için alıcılardan biri koordinatları bilinen bir noktaya, diğeri herhangi bir noktaya kurulmasıyla birkaç dakika yapılan gözlem sonucu faz belirsizliği çözümü sağlanır. Tamsayı belirsizliğinin çözümünden sonra güzergahının çıkarılması istenen yol üzerinde alıcıyla gezilerek ölçüme

devam edilir. Alıcı hareket halinde iken en az 4 uydunun izlenmesi gerekmektedir. Uydu sayısı 4 ün altına düştüğünde ya da sinyal kesikliği olduğunda faz belirsizliğinin bilinmeyenleri tekrar belirlenmelidir.

Çizelge 2.2'de yukarıda belirtilen yöntemlerle elde edilebilecek doğruluklar verilmektedir.

Çizelge 2.2 : Ölçü yöntemlerinde elde edilebilecek doğruluklar

ÖLÇÜ YÖNTEMİ	ELDE EDİLEBİLECEK BAZ ÖLÇÜM DOĞRULUĞU	ORANSAL DOĞRULUK SINIRLARI
STATİK	5 mm +1 ppm	1/100000-1/5000000
HIZLI STATİK	5-10 mm +1 ppm	1/100000-1/1000000
DUR-GİT	1-2 cm +1 ppm	1/100000-1/1000000
TEKRARLI ÖLÇÜ	5-10 mm +1 ppm	1/50000-1/500000
KİNEMATİK	1-2 cm +1 ppm	1/100000-1/1000000

2.1.6 GPS' e etki eden hata kaynakları

GPS ölçülerini etkileyen düzenli ve düzensiz olmak üzere birçok hata söz konusudur. Bunlar;

- Uydu efemeris hataları
- Uydu saati hataları
- İyonosferik etki
- Troposferik etki
- Sinyal yansıma(multipath) etkisi
- Alıcı anteni faz merkezi hatası
- Taşıyıcı dalga faz belirsizliği
- Taşıyıcı dalga faz kesiklik hatalarıdır.

2.1.6.1 Uydu efemeris hataları

Navigasyon dosyası içersinde yayınlanan uydu konum bilgilerinin doğruluğunun düşük olduğu durumlarda karşılaşılan hatadır. Modellendirilmesi oldukça zor olan bir hatadır. Bu hata uydu konumlarının belirlenmesinin bir sonucu olduğu için, hatanın büyüklüğü kontrol bölümü tarafından uydulara yapılan en son yükleme tarihinden uzaklaştıkça artacaktır.

Efemeris hatası radyal, teğet ve çapraz yörünge hataları olmak üzere üç bileşenden oluşmaktadır. Radyal, bu bileşenlerden en küçük etkiye sahip olan bileşen olmasına karşın uydu-alıcı uzaklıklarının hesabında etkili olanıdır (Erküçük, 1994).

2.1.6.2 Uydu saati hataları

Uydu ve alıcı saatlerinin GPS zamanına göre yeterli doğrulukta senkronize edilememesinden kaynaklanan uydu saati hatası, kontrol bölümü tarafından sürekli izlenerek, yayın efemerisi saat düzeltmeleri günlük olarak navigasyon mesajının bir bölümü olarak yüklenmektedir. Uydunun yönünden bağımsız olan uydu saati hataları, bütün alıcılar için aynı büyüklüktedir. Bu hata çok duyarlı atomik saatler kullanarak ya da farklı gözlemler oluşturularak giderilebilmektedir.

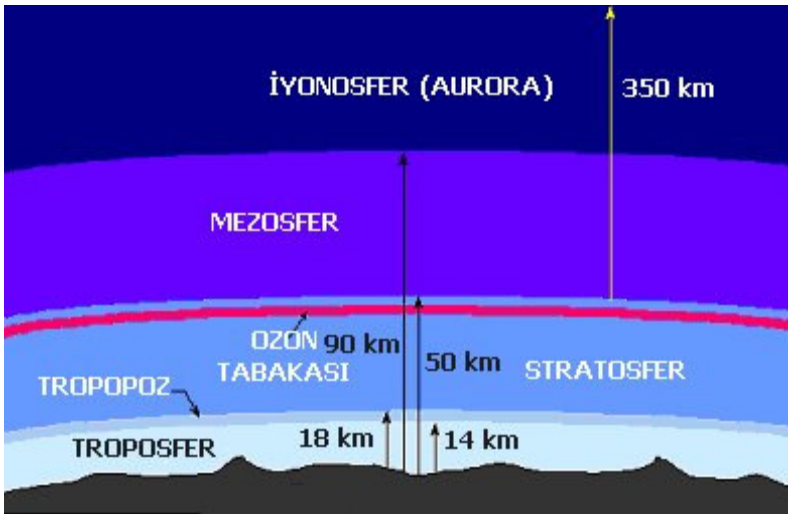
2.1.6.3 İyonosferik etki

İyonosfer, hava moleküllerinin ileri derecede yoğunlaşmış halde bulunduğu ve elektrik iletkenliği kazandığı yüksek atmosfer bölgelerinin tümüdür. İyonosferde atomlardan kopmuş serbest elektronların sayısı, elektromanyetik dalgaların yayılmasını değiştirmeye yetecek kadar çoktur. İyonlaşma ve serbest elektron sayısı, güneş ışığıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. Dolayısıyla, iyonosfer tabakasının etkisi gündüz saatlerinde geceye oranla daha fazladır.

İyonosfer etkisi kod ve faz gözlemlerinde farklılıklar göstermektedir. Faz gözlemlerinde iyonosfer tabakası faz hızlanmasına sebep olurken, kod gözlemlerinde iyonosferik grup gecikme etkisi söz konusudur. Birbirine yakın uzunlukta ölçü yapılan iki alıcı için iyonosferik etki aynı kabul edilir. Bu nedenle kısa baz uzunluklarında (<20-30 km) tekli, ikili ve üçlü faz farkları oluşturularak iyonosferik etki büyük ölçüde giderilmektedir. Ancak uzun bazlarda (>100 km) ise çift frekanslı alıcılar kullanılarak ortadan kaldırılabilir.

2.1.6.4 Troposferik etki

Sinyaller iyonosfer tabakasından geçtikten sonra sırasıyla mezosfer, stratosfer ve troposfer tabakalarından geçerler(Şekil 2.13). Elektrik yükü olmayan bir tabaka olan troposfer, elektromanyetik dalgaların yavaşlamasına ve eğilmesine neden olarak hızını ve yönünü değiştirir. Troposfer etkisi frekanstan bağımsız olduğu için kod ve faz ölçümlerinde aynı etkiyi gösterir ve modellenerek giderilir. Dolayısıyla iyonosferik etkide olduğu gibi çift frekanslı alıcılar kullanılarak giderilememektedir. Etkisinin azaltılabilmesi içinse yapılan uydu gözlemlerinde ve değerlendirmelerde uydu sinyali yükseklik açısının 15 derece ve yukarısı seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 2.13 : Sinyallerin geçtiği atmosferik tabakalar

Uygulamaya yönelik en çok kullanılan troposferik etki hesabı modellerinden Saastamoinen modeli;

$$\Delta S^{z}_{trop} = \frac{\Delta S^{z}_{d} + \Delta S^{z}_{w}}{CosZ}$$

$$\Delta S^{z}_{d} = \frac{0.002277.P}{1 - 0.00266.Cos2\varphi - 0.00028.h} \tag{2.6}$$

$$\Delta S^{z}_{w} = \frac{0.00277.e.\left(\frac{1255}{273.15+T} + 0.05\right)}{1 - 0.00266.Cos2\varphi - 0.00028.h}$$

dır. Burada;

Z : Uydu zenit uzaklığı

P : Atmosferik basınç (mbar)

T : Mutlak sıcaklık (^{0}C)

e : Su buharı basıncı (mbar)

φ : Ölçü noktasının yaklaşık enlemi

h : Ölçü noktasının yaklaşık elipsoit yüksekliği (km)

dir (Kahveci ve Yıldız, 2009).

2.1.6.5 Sinyal yansıma(multipath) etkisi

Uydulardan yayınlanan sinyallerin alıcıya bir ya da birden fazla yol izleyerek ve esas sinyale karışarak ulaşmasına sinyal yansıma etkisi denir. Sinyal yansıması uydulardan kaynaklanan ve alıcılardan kaynaklanan yansımalar olmak üzere ikiye ayrılır. Uyduların neden olduğu etkiler özellikle kısa kenarlı ağlarda (<100-200 km) bazın her iki ucundaki anten için aynı büyüklüğe sahip olacağından göreli konum belirleme yöntemiyle büyük ölçüde giderilebilir. Anten sinyal yansımasına, çevresindeki yapılar, araçlar, su yüzeyleri (deniz, göl vb.) ve diğer yansıtıcı yüzeyler neden olmaktadır.

GPS ölçülerinin sinyal yansıma (multipath) etkisinden en az etkilenmesi için; nokta yeri özellikle metal, su vb. gibi yansıtıcı yüzeylerden uzak seçilmeli, gözlem süresinin uzun tutulmalı, uydu yükseklik açısının 15^0 den büyük alınmalı, sinyal yansımasına duyarlı olmayan disk anteni ve çok bilezikli antenler (microstrip, choke ring, ground plane) kullanılmalıdır (Hofmann-Wellwnhof vd.,1997).

2.1.6.6 Alıcı anteni faz merkezi hatası

Alıcı anteni faz merkezi sinyallerin antene ulaştığı noktadır. Bu nokta geometrik faz merkezinden farklıdır. Teorik antene ulaşan sinyalin geliş doğrultusu antenin faz merkezini etkilemez, ancak pratikte antenlerin faz merkezi, uydu sinyalinin azimut ve yükseklik açısına bağlı olarak küçük değişimler göstermektedir.

Jeodezik amaçlı antenlerde faz merkezi genellikle yatay konumda anten fiziksel merkezi ile aynı olup, esas problem düşey bileşendedir. Bu nedenle anten fiziksel merkezine göre faz merkezi iyi bilinmeli ve arazide ölçülen anten yüksekliği titizlikle ve mm mertebesinde yapılmalıdır.

Anten faz merkezi değişim miktarı her anten yapısı ve modeli için farklı olduğundan modellendirilmesi oldukça zordur. Aynı yapı ve model antenler benzer değişimler gösterdiğinden, antenler aynı doğrultuya (genellikle manyetik kuzey) çevrildiğinde bu hata en aza indirilebilmektedir.

2.1.6.7 Taşıyıcı dalga faz belirsizliği

Başlangıç anı için uydu ile alıcı arasındaki taşıyıcı dalga fazının kaç tane tam dalga içerdiği bilinmemektedir. Bu bilinmeyene Taşıyıcı Dalga Faz Başlangıcı Belirsizliği (Initial Phase Ambiguity) ya da kısaca faz belirsizliği (Ambiguity) denir.

Uydudan gelen sinyallerde hiçbir ölçü kesikliği olmadığı sürece sadece faz başlangıcı

belirsizliğinin giderilmesi gerekmektedir.

Başlangıç faz belirsizliği değerlerinin belirlenmesi genellikle iki aşamalı bir yöntemle gerçekleştirilmektedir.

Birinci aşamada, klasik dengeleme tekniği kullanılarak (Kalman Filtreleme, EKK, vs) koordinat, saat ve başlangıç faz belirsizliği parametreleri beraber hesaplanmaktadır. Bu sonuçlar, başlangıç faz belirsizliği parametrelerinin kesirli değerli tahminleri ve konum parametrelerinin ise belirli bir referans noktasına göre iyileştirilmiş tahminleridir.

İkinci asama ise, kesirli değerli başlangıç faz belirsizliği tahminlerinin sabit tamsayı değerlere dönüştürülme adımıdır. Eğer bu başlangıç faz belirsizliği parametrelerini en yakın tamsayıya dönüştürme işlemini basardı ise, sabitleştiren bu tamsayı değerler bir sonraki dengelemeye bilinen değerler olarak sokulur. Bilinen başlangıç faz belirsizliği değerleri ile yapılan bu son dengeleme arzu edilen yüksek doğruluklu bağıl konumlamayı sağlar. Kesirli değerli başlangıç faz belirsizliği parametrelerini en yakın tamsayıya sabitleme işlemi için birçok yöntem mevcuttur. Bunların en yaygın olanları, gerçek değerli başlangıç faz belirsizliği parametrelerini en yakın tamsayı değerine yuvarlatma yöntemi, hesaplanan bir standart sapmaya göre yuvarlatma yöntemi ve genel tarama yöntemidir.

2.1.6.8 Taşıyıcı dalga faz kesikliği (cycle slip)

Uydu sinyalleri alınırken karşılaşılan problemler nedeniyle meydana gelen sinyal kesikliklerine cycle slip denir. Faz kesiklik nedenleri;

- Sinyal yansıma etkisi
- Alıcı noktası çevresinde uydu sinyallerinin alıcıya ulaşmasını engelleyen ağaç, bina gibi yapılar
- Kötü iyonosferik koşular nedeniyle sinyal gürültü (S/N) oranın düşük olması
- Alıcı yazılımındaki hatalar sayılabilir(Tuşat, 2003).

Faz kesikliğnin giderilmesi için, zamana bağımlı olarak uydu koordinatları ile gözlem istasyonlarının bilinen koordinatlarından faydalanılır. Eğer faz kesikliği sadece belirli uydularda ise ilgili uydu ya da faz kesikliğinin oluştuğu zaman dilimi değerlendirme dışı bırakılabilir (Altıner, 1992).

2.1.7 GPS'de kullanılan doğruluk ve duyarlık (güven) ölçütleri

2.1.7.1 Doğruluk ölçütleri

Doğruluk ve hassasiyet GPS ile elde edilen konumun iyi olup olmadığını göstermek için kullanılır. Doğruluk, tahmin edilen miktarın gerçeğe yakınlık derecesini, duyarlık ise GPS ağlarında nokta konumlarının yatay veya düşey yöndeki değişim miktarlarının; yönü, hız vektörlerinin belirlenmesi için farklı zamanlarda yapılan ölçülerin karşılaştırılarak ve test edilerek belirlenmesidir (Gülal 2003)

Amerika savunma idaresi GPS uygulamalarında iki farklı konum belirleme hizmeti sunmaktadır. Bunlar duyarlı konum belirleme hizmeti(PPS) ve standart konum belirleme hizmeti (SPS) dir.

PPS yüksek doğruluklu konum hız ve zaman belirleme hizmeti olup, sadece yetkili kullanıcılara açıktır. SPS ise PPS ye oranla daha düşük doğruluklu konum, hız ve zaman belirleme hizmeti olup sivil, askeri tüm kullanıcılara açıktır. PPS ve SPS arasındaki en büyük fark doğruluk seviyesidir.

Navigasyon sistemlerinin performanslarına ilişkin ölçütler %95 olasılık seviyesinde (rms) belirtilirken, Amerikan DoD dokümanlarında ise %50 olasılık seviyesinde (CEP, LEP, SEP) belirtilmektedir. Diğer taraftan Federal Havacılık İdaresi standartları 2drms olasılık seviyesinde (yaklaşık %97 olasılıklı) verilmektedir. Dolayısıyla doğruluk ölçütleri ile ilgili farklı kurumlar tarafından ortaya konulan bu farklı standartlar arasında istatistik ilişkilerin belirlenmesi, GPS sisteminin kullanılmasıyla elde edilecek performansların karşılaştırılabilmesi için büyük önem kazanmaktadır.

2.1.7.1.1 %50 Olasılıklı doğruluk ölçütleri (LEP, CEP, SEP)

Her bir koordinat eksenindeki doğrusal hatalar için standart sapmalar $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ olarak kabul edilirse, aşağıdaki eşitlikler yazılabilir,

LEP (Linear Error Probable, 1 boyutlu), herhangi bir koordinat eksenindeki olası doğrusal hata olup,

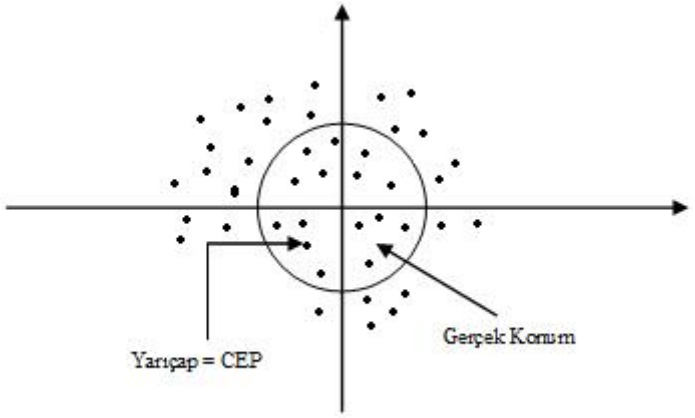
$$LEP = 0.6745.\sigma$$

ile verilmektedir.

Eğer üç koordinat eksenindeki standart sapmalar ($\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$) eşitse standart hata elipsoidi bir küre halini alır. Bir noktanın belirlenen doğru koordinatlarının %50' sini kapsayan bu kürenin

yarıçapı olası küresel hata SEP (Spherical Error Probable, 3 boyutlu) olarak adlandırılır. Başka bir deyişle, belirli bir noktada çok sayıda konum belirlendiği düşünülürse , o noktanın konumu merkez olmak üzere %50' sini kapsayan kürenin yarıçapı SEP olarak tanımlanmaktadır.

DoD, GPS ile anlık konum belirlemede 1991 yılı itibariyle tüm dünya için 16 m' lik SEP hedeflenmiştir. SEP' in iki boyutta karşılığı Olası Dairesel Hata CEP (Circular Error Probable) olarak adlandırılmaktadır. CEP, bir noktada belirlenen doğru yatay koordinatların %50 olasılıkla içinde bulunduğu (merkezi noktanın gerçek konumu olan) dairenin yarıçapı olarak ifade edilebilir(Şekil 2.14).



Şekil 2.14 : CEP(Circular Error Probable) dairesi

Matematiksel ifade olarak CEP,

$$CEP = 1.1774.\sigma_C \tag{2.7}$$

eşitliği ile verilmektedir. Burada σ_C, dairesel standart hata olup (%39.4 olasılıklı)

$$\sigma_C \cong \frac{1}{2}.(\sigma_X + \sigma_Y) \tag{2.8}$$

ile belirtilir. Standart hata elipsinin büyük yarı ekseni X ve küçük yarı ekseni Y ile ifade edilmekte olup,

$$CEP = 1.774.\frac{(\sigma_X + \sigma_Y)}{2} \tag{2.9}$$

şeklinde yazılabilir. $\sigma_X = \sigma_Y$ olduğu durumda ise, bu bir özel durumdur ve

$$CEP = 1.746.LEP \tag{2.10}$$

elde edilir. SEP ifadesi,

$$SEP \cong 0.513.(\sigma_X + \sigma_Y + \sigma_Z) \tag{2.11}$$

ya da

$$SEP = 0.76.LEP_{düşüş} + 0.87.CEP_{yatay} \tag{2.12}$$

ile verilmektedir.

Burada verilen eşitliklerin tamamı ölçülerin normal dağılımda olduğu varsayımı geçerli ise güvenilir sonuçlar vermektedir(Kahveci ve Yıldız, 2009).

2.1.7.1.2 %95 Olasılıklı doğruluk ölçütleri (rms; root mean square)

Karesel ortalamanın karekökü (rms), gerçek hata vektörleri ($\overline{e_i}$)'nin kareleri toplamının karekökünün ortalaması olarak tanımlanmaktadır. Matematiksel eşitlikler iki boyutta,

$$RMS(2B) = \frac{1}{N}.\sum_{İ=1}^{N}\left|\overline{e_İ}\right|^2 = \frac{1}{N}.\sum_{İ=1}^{N}\sqrt{\Delta X_İ^2 + \Delta Y_İ^2} \tag{2.13}$$

üç boyutta ise,

$$RMS(3B) = \frac{1}{N}.\sum_{İ=1}^{N}\left|\overline{e_İ}\right|^2 = \frac{1}{N}.\sum_{İ=1}^{N}\sqrt{\Delta X_İ^2 + \Delta Y_İ^2 + \Delta Z_İ^2} \tag{2.14}$$

şeklinde yazılabilir.

N, ölçü sayısını, (X_0, Y_0, Z_0) koordinat sisteminin merkezini oluşturan nokta konumunu ifade etmekte olup,

$$\Delta X_İ = \sum_{İ=1}^{N}(X_İ - X_0)/N$$

$$\Delta Y_İ = \sum_{İ=1}^{N}(Y_İ - Y_0)/N \tag{2.15}$$

$$\Delta Z_İ = \sum_{İ=1}^{N}(Z_İ - Z_0)/N$$

eşitlikleri söz konusudur.

drms (distance root mean square) tanımını kullanmak iki boyutta doğruluk ölçütü tanımlamanın en yaygın şeklidir. dms doğruluk ölçütü ortalama %63 seviyesini ifade etmekte olup,

$$drms = \sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \tag{2.16}$$

eşitliği geçerlidir.

GPS ile navigasyon amaçlı yatay konum belirlemede istatistik doğruluk ölçütü 2drms (twice the distance root mean square) ile ifade edilmekte olup, herhangi bir noktada belirli bir sistem kullanılarak elde edilecek olan konumların en az %95'ini kapsayan bir dairenin yarıçapı olarak tanımlanmaktadır ve,

$$2drms = 2.\sqrt{\sigma_X^2 + \sigma_Y^2} \tag{2.17}$$

eşitliği ile ifade edilmektedir. Drms olasılığı %63 iken 2drms olasılığı %95'dir. 2drms navigasyon uygulamalarında sıkça kullanılmaktadır. Ayrıca SPS ve PPS ile konum belirlemede yatay konumdaki doğruluk ölçütü için standart oluşturmaktadır. FRP (Federal Radionavigation Plan) SPS için yatay doğruluğun %95 (2drms) olasılıkla 100 metre olacağını belirtmiştir. Geriye kalan %5 ise bu doğruluğun dışında kalacaktır. FRP, yükseklikle ilgili doğruluğu 2σ ile tanımlanmıştır. 2σ da %95 olasılığa karşılık gelmektedir. PPS için yatay konum doğruluğu 16m olup, yükseklik doğruluğu is 27.7 m dir. Bu değerler öngörülen limitler olup uygulamada çok daha yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilir. Boyuta bağlı olasılık faktörleri çizelge 2.3' de verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Boyuta bağlı olasılık faktörleri

Doğruluk Ölçütü	***1-B Olasılık***	***2-B Olasılık***	***3-B Olasılık***
1σ	%99.7	%98.9	%97.1
2σ	%95.0	%86.0	%78.8
3σ	%68.0	%39.3	%19.9
Olası Hata	%50 ($0.67.\sigma$)	%50 ($1.18.\sigma$)	%50 ($1.54.\sigma$)

2.1.7.2 Duyarlık kaybı (DOP; Dilution Of Precision) faktörleri

Uydu geometrisinin navigasyon çözümlerinden elde edilen doğruluklar üzerindeki etkilerini ifade etmede kullanılan ölçütlerdir. DOP, alıcı ile gözlem yapılan uyduların birbirlerine göre olan göreli konumlarına bağlı olarak tanımlanan ve ölçü noktasına ait konum parametrelerinin pseudorange hataları (UERE, URE) ile ilişkisini kuran doğruluk sınırlayıcı geometri

faktörleridir. DOP faktörleri en genel anlamda dengeleme sonrası elde edilen kofaktör matrisinin köşegen elemanlarının fonksiyonu olarak elde edilmektedir. Genel olarak,

$$\sigma = DOP.\sigma_0 \tag{2.18}$$

olup, burada σ_0, gözlenen pseudorange ölçüsünün standart sapmasını, σ, koordinat bileşenlerinin standart sapmasını ifade etmektedir. Bu hesaplamalarda her bir uydu alıcı çifti için hesaplanan uydu-alıcı uzaklıkları korelasyonsuz kabul edildiğinden ağırlık matrisi

$$\underline{P} = \sigma_0^2.\underline{I} \tag{2.19}$$

ile verilmektedir. Bu durumda dengelenmiş nokta koordinatları ve alıcı saat hatasına ilişkin kofaktör matrisinden yararlanarak,

$$\underline{Q}_{ECEF} = (\underline{A}^T.\underline{A})^{-1} = \begin{bmatrix} q_x^2 & q_{xy} & q_{xz} & q_{xt} \\ q_{yx} & q_y^2 & q_{yz} & q_{yt} \\ q_{zx} & q_{zy} & q_z^2 & q_{zt} \\ q_{tx} & q_{ty} & q_{tz} & q_t^2 \end{bmatrix} \tag{2.20}$$

elde edilir. Bu matrisin köşegen elemanları kullanılarak aşağıdaki DOP faktörleri yazılabilir,

$$\text{GDOP} = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2 + q_t^2}$$

$$\text{PDOP} = \sqrt{q_x^2 + q_y^2 + q_z^2}$$

$$\text{HDOP} = \sqrt{q_x^2 + q_y^2} \tag{2.21}$$

$$\text{VDOP} = \sqrt{q_z^2}$$

$$\text{TDOP} = \sqrt{q_t^2}$$

DOP faktörleri arasında,

$$GDOP = \sqrt{PDOP^2 + TDOP^2}$$

$$GDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2 + TDOP^2} \tag{2.22}$$

$$PDOP = \sqrt{HDOP^2 + VDOP^2}$$

eşitlikleri söz konusudur(Kahveci ve Yıldız, 2009).

GDOP (Geometric Dilution of Precision), uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına (X,Y,Z) ve alıcı saati bilinmeyenlerine (t) toplam etkisini ifade etmekte olup, teorik ve bilimsel çalışmalarda kullanılmaktadır.

PDOP (Position Dilution of Precision), uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlara (X,Y,Z) etkisini ifade etmekte olup, üç boyutlu konumun önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır.

HDOP (Horizontal Dilution of Precision), uydu geometrisinin hesaplanan yatay koordinatlara (X,Y) etkisini ifade etmekte olup, özellikle denizcilikle ilgili uygulamalarda kullanılmaktadır.

VDOP (Vertical Dilution of Precision), uydu geometrisinin hesaplanan nokta yüksekliğine etkisini (Z) ifade etmekte olup, özellikle havacılık gibi yükseklik bilgisinin önemli olduğu uygulamalarda kullanılmaktadır.

TDOP (Time Dilution of Precision), uydu geometrisinin zaman bileşenine (t) etkisini ifade etmekte olup, zaman transferi uygulamalarında kullanılmaktadır.

NATO standartlarına uygun olarak kabul edilen DOP değerleri çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Kabul edilen DOP değerleri

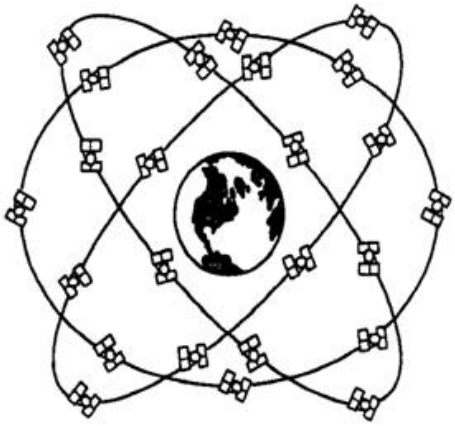
PDOP	*İyi* *Dikkatli Olmalı (Sınırda)* *Kullanma*	*PDOP<6* *PDOP=6-10* *PDOP>10*
HDOP	*İyi*	*HDOP ≤ 4*
VDOP	*İyi*	*VDOP ≤ 4.5*
TDOP	*İyi*	*TDOP ≤ 2*

2.2 GLONASS

GLONASS (GLObal NAvigation Satellite System) sistemi 1970'li yılların başında ABD'nin GPS sistemine karşılık olarak eski adıyla Sovyet Savunma Bakanlığı tarafınca üretilen bir projedir. Birçok yönden GPS sistemine benzer olan GLONASS sistemi, Rus Silahlı Kuvvetleri Uzay Kuvvetleri Komutanlığına bağlı bir program sıfatıyla 1993 yılında resmi olarak ilan edilmiştir.

GLONASS sistemi uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır.

Uzay bölümü 21+3 yedek uydudan oluşacak şekilde planlanmıştır. Ancak çeşitli nedenlerden dolayı 19 uydu hizmet verebilmektedir. GLONASS yörünge düzlemi üç tane olup, boylamları arasında 120 derecelik fark vardır. Sistem başlangıçta her yörüngede 8 uydu olacak şekilde planlanmıştır(Şekil 2.15). Uydu yörüngelerinin büyük yarı ekseni yaklaşık 25510 km'dir. Uydunun yörüngeyi bir tam dolanım süresi 11 saat 16 dakikadadır. İlk GLONASS uydusu 1982 yılında yörüngeye oturtulmuştur. GLONASS sisteminde iki frekans bandında yayın yapılmaktadır. Bu frekans bantları L1 (1602-1615.5 MHz) ve L2 (1246-1256.5 MHz) dir. P kod L1 ve L2 frekansları, C/A kod ise sadece L1 frekansı üzerinde yayınlanmaktadır. GLONASS navigasyon mesajının yayınlanması 2.5 dakika sürmekte, efemeris ve saat bilgileri 30 saniyede bir tekrar edilmektedir. P kod ise 12 dakikada yayınlanmakta olup, efemeris ve saat bilgileri 10 saniyede bir tekrar edilmektedir.



Şekil 2.15 : Yörüngelerindeki GLONASS uyduları

Kontrol bölümü, sistemin kontrol merkezi olup, Rusya'ya dağılmış izleme istasyonlarından oluşmaktadır. Bu istasyonların görevi, uyduların verimli bir şekilde çalışmasının sağlanması, uydulardan toplanan veriler ile uydu yörüngelerinin hesaplanması ve uydu saat düzeltmelerinin hesaplanmasıdır. Navigasyon verileri uydulara günde iki kez yüklenmektedir.

Kullanıcı bölümü GLONASS uydularının yayınladığı verileri toplayıp, farklı amaçlar için değerlendirebilen alıcı ile kullanıcılardan oluşmaktadır.

GLONASS zaman sistemi UTC (SU) olup bu zaman sistemi Rusya Federasyonu Ulusal Zaman ve Frekans Hizmeti (NTFS, National Time and Frequency Service) tarafından sürdürülmektedir. Sistemdeki jeodezik datum PZ-90 yersel referans sistemi olup, efemeris bilgilerinin referans sistemi olarak kullanılmaktadır.

GLONASS ile anlık konum doğruluğu yatayda 60 metre düşeyde ise 75 metredir. Sistemin doğruluğunu düşürecek SA gibi etkiler uygulanmamaktadır.

GLONASS uydularının modernizasyon aşaması;

GLONASS (1982-2007)

- Uydu ömrü 4-5 yıl

GLONASS-M (2003-2013)

- Uydu ömrü 7 yıl
- 2ci sivil sinyal ilavesi

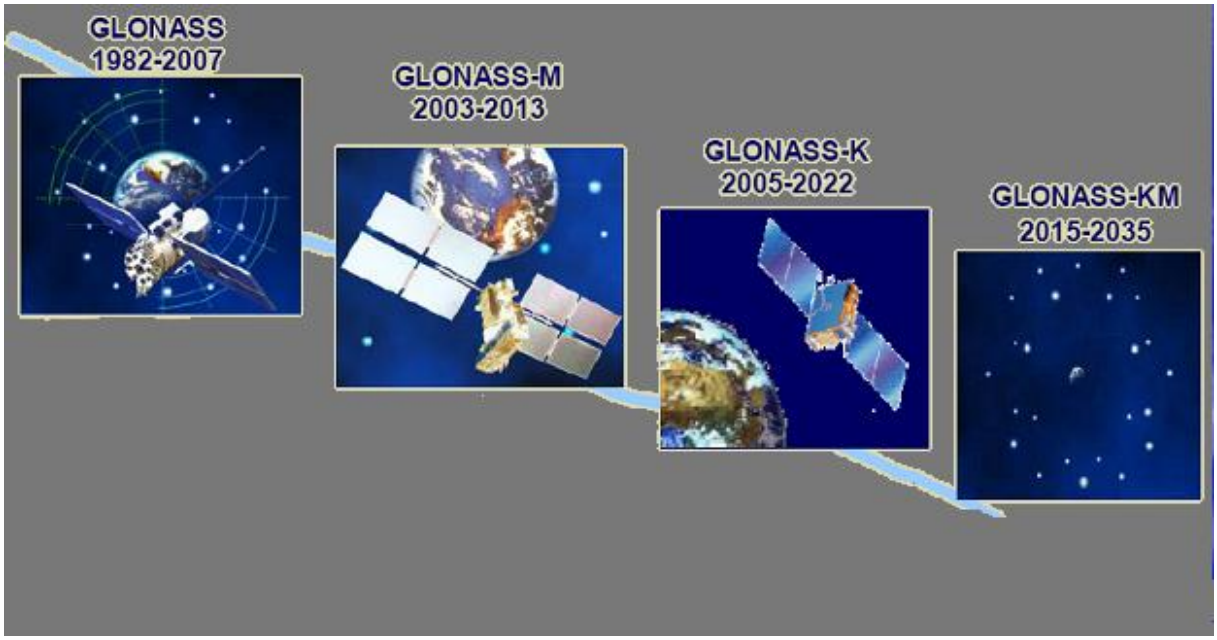
GLONASS-K (2005-2022)

- Uydu ömrü 10 yıldan fazla
- 3cü sivil sinyal ilavesi

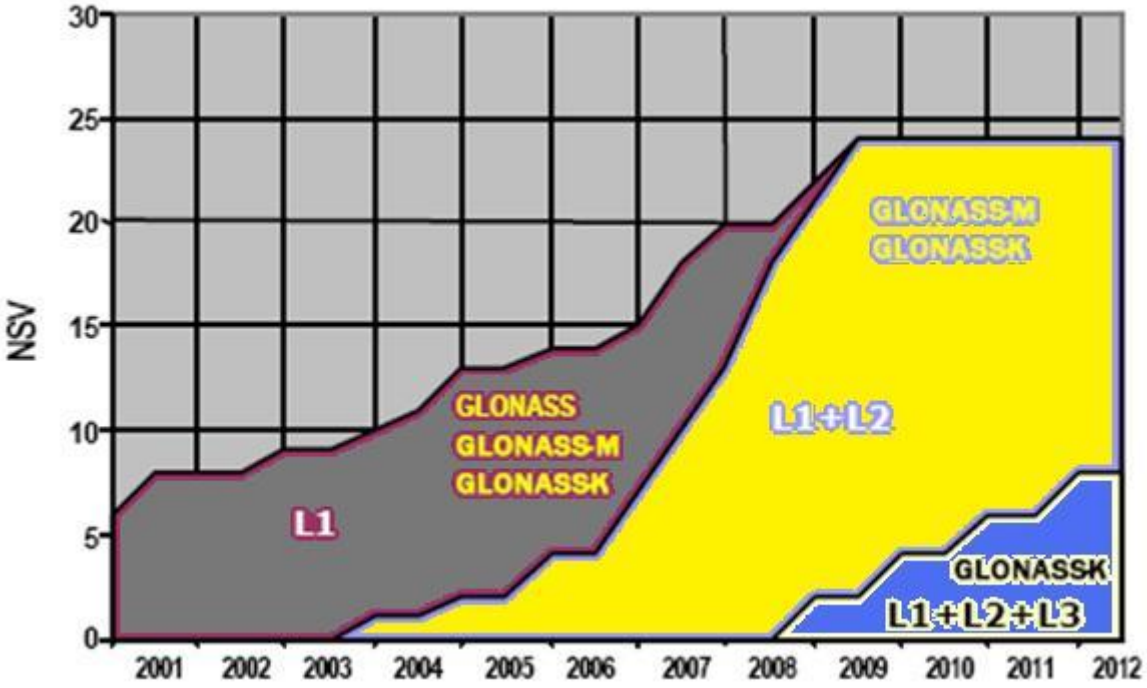
GLONASS-KM (2015-2035)

- Planlanma aşamasında

şeklindedir. Şekil 2.16 ve şekil 2.17' de sırasıyla modernizasyon aşaması ve yayın yapılan frekanslar verilmektedir.



Şekil 2.16 : GLONASS' ın modernizasyonu



Şekil 2.17 : Sivil sinyaller ve uydular

2.3 GALİLEO

Galileo uydu sistemi, A.B.D. Global Konum Belirleme Sisteminin Avrupa kaynaklı alternatifi olarak tasarlanmış bir uydularla konum belirleme ve navigasyon sistemidir. Henüz tamamlanamamış olup, karar verilirse 2014 yılı itibariyle tam kapasiteyle çalışması planlanmıştır.

Galileo sisteminin hayata geçirilmesinde çeşitli nedenler söz konusudur. Bunlardan birkaçı olarak,

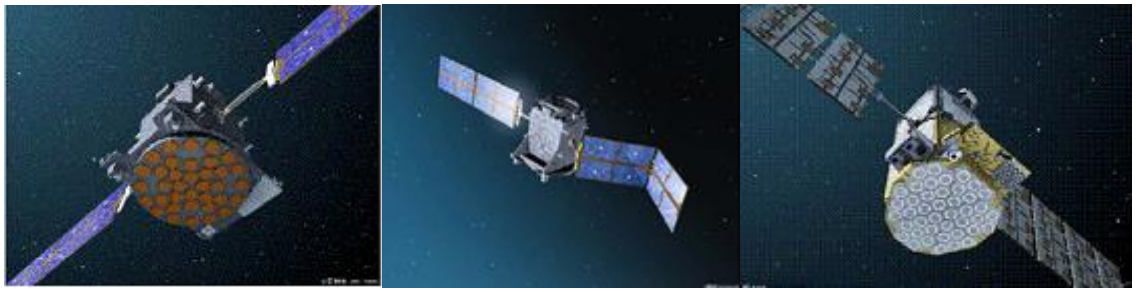
- Ekonomik nedenler
- GPS'in sivil kullanıcılara sağladığı doğruluğun zamana ve konuma bağlı olarak değiştiği özellikle Avrupa'da ulaşım sektörü için yetersiz olduğu ve Galileo ile bu açığın kapatılabileceği düşüncesi
- Ticari nedenler
- GPS' in kapsama alanının kuzey bölgelerde yetersiz olması
- Siyasi nedenler
- Askeri nedenler
- GPS' in devre dışı kalmasının ya da kasıtlı kullanıma kapatılmasının getireceği ekonomik yük

sayılabilir.

Galileo uydu sistemi GPS sistemine benzer olarak uzay bölümü, kontrol bölümü ve kullanıcı bölümü olmak üzere üç ana bölümden oluşmaktadır.

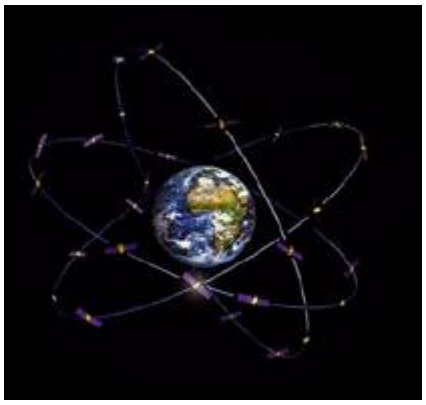
Uzay bölümü Galileo uydu sistemi uydularından oluşmaktadır. Galileo uydu sistemi, 27 asıl 3 yedek olmak üzere toplam 30 adet uydudan oluşacaktır. Uyduların yörünge yüksekliği yaklaşık olarak 23616 km dır. Bir uydunun dolanım süresi 14 saat olacaktır. Yörüngeler ekvatorla 56 derecelik açı yapacaktır. Dünya üzerinde herhangi bir yer ve zamanda en az 6 uydunun gözlenebilmesi sağlanacaktır. Tam faaliyette iken ± 1 metre hassasiyetinde konum belirleme yeteneği olacaktır. Uydular 10 sinyal gönderecektir. Bunların 6 sı günlük yaşam için hizmete açık, 2 si ticari, 2 si devlete ait olacaktır (İnal ve Uyar 2004).

Galileo'nun uzay bölümünü oluşturacak uydular GIOVE-A, GIOVE-A2, GIOVE-B dir. Şekil 2.18 de bu uydular, şekil 2.19 da ise sistemin tam kapasiteyle çalışması halinde uzay bölümünden durumu verilmektedir.



GIOVE-A GIOVE-A2 GIOVE-B

Şekil 2.18 : Galileo uyduları



Şekil 2.19 : Oluşturulması planlanan Galileo uzay bölümü

Kontrol bölümü, Avrupa'da bulunan iki kontrol merkezinden oluşması planlanmıştır. Bu iki merkez 20 adet alıcı istasyonu tarafından desteklenecektir. Uydular ile kontrol merkezi arasındaki haberleşmeyi sağlamak için dünya geneline dağılmış 15 istasyondan yararlanılacaktır. Yer kontrol istasyonları; uyduların yönetiminden, sinyallerin doğruluğundan, uydu atomik saatlerin senkronizasyonundan sorumlu olacaktır. Galileo uydu sisteminde jeodezik datum olarak ITRF referans sisteminin, referans zamanı olarak da UTC kullanılması planlanmıştır.

Galileo sisteminin tamamlanıp işletilmeye başlatılmasıyla GNSS kullanıcıları açısından üç olasılık söz konusu olacaktır. Bunlar;

- Sistemlerden sadece birini kullanmak
- Bir tanesini yalnızca diğerini kontrol amacıyla olmak üzere, bunlardan iki tanesini kullanmak
- Hepsini birden kullanmak(Kahveci ve Yıldız, 2009).

Bu seçenekler arasında, bir çok önemli uygulama dikkate alındığında en mantıklı görüneni üç sisteminde bir arada kullanılmasıdır.

3. JEODEZİK AĞLARDA DUYARLIK VE GÜVEN ÖLÇÜTLERİ

3.1 Jeodezik Ağlarda Duyarlık Ölçütleri

Duyarlık ölçütleri, jeodezik ağın kalitesini gösterir. Nokta koordinatlarının tümünün bilinmeyen olarak alındığı serbest ağ dengelemesi sonunda hesaplanan duyarlılık ölçütleri, iç duyarlık ölçütleridir. Bu ölçütlerin tümü, koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinde depolanmıştır. Bu nedenle, duyarlılık ölçütlerinin hesaplanması için koordinat bilinmeyenlerinin varyans-kovaryans matrisinin tümünden ya da bir bölümünden yararlanılır.

3.1.1 Noktalara göre tanımlanan duyarlılık ölçütleri

Noktalara göre tanımlanan duyarlılık ölçütleri ağ noktalarının gerçek değerlerinin hangi sınırlar içinde kalacağını belirlemeye yaramakta olup, jeodezik ağlar için tanımlanan duyarlık ölçütlerinin büyük bir bölümünü oluşturur.

Koordinat bilinmeyenlerine ilişkin ters ağırlık matrisi,

$$Q_{xx} = N^{-1} = (\underline{A}^T . \underline{P} . \underline{A})^{-1} \tag{3.1}$$

$$Q_{xx} = \begin{bmatrix} q_{x_i x_i} & q_{x_i y_i} & q_{x_i z_i} & . & . & . & q_{x_i x_p} & q_{x_i y_p} & q_{x_i z_p} \\ q_{y_i x_i} & q_{y_i y_i} & q_{y_i z_i} & . & . & . & q_{y_i x_p} & q_{y_i y_p} & q_{y_i z_p} \\ q_{z_i x_i} & q_{z_i y_i} & q_{z_i z_i} & . & . & . & q_{z_i z_p} & q_{z\, y_p} & q_{z_i z_p} \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ q_{x_p x_i} & q_{x_p y_i} & q_{x_p z_i} & . & . & . & q_{x_p x_p} & q_{x_p y_p} & q_{x_p z_p} \\ q_{y_p x_i} & q_{y_p y_i} & q_{y_p z_i} & . & . & . & q_{y_p x_p} & q_{y_p y_p} & q_{y_p z_p} \\ q_{z_p x_i} & q_{z_p y_i} & q_{z_p z_i} & . & . & . & q_{z_p x_p} & q_{z_p y_p} & q_{z_p z_p} \end{bmatrix}$$

Herhangi bir P_i ağırlık matrisi ve koordinat bilinmeyenleri,

$$Q_{ii} = \begin{bmatrix} q_{x_i x_i} & q_{x_i y_i} & q_{x_i z_i} \\ q_{y_i x_i} & q_{y_i y_i} & q_{y_i z_i} \\ q_{z_i x_i} & q_{z_i y_i} & q_{z_i z_i} \end{bmatrix} \tag{3.2}$$

$$x_i = \begin{bmatrix} X_I \\ Y_I \\ Z_I \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

Eşitliklerinden yararlanarak elde edilir. Koordinat bilinmeyenlerine ilişkin ters ağırlık matrisleri kullanılarak dengeleme sonucunda hesaplanan karesel ortalama hata,

$$m_0 = \pm\sqrt{\frac{\underline{V}^T \underline{P}\underline{V}}{n-u}} \tag{3.4}$$

eşitlikleri kullanılarak aşağıdaki eşitlikler elde edilir.

Koordinat bilinmeyenlerin ortalama hatası;

Koordinat bilinmeyenlerin ortalama hataları, dengeleme sonucunda hesaplanan karesel ortalama hata (m_0^2) ve koordinat bilinmeyenlerinin ters ağırlık matrisi (Q_{xx}) kullanılarak,

$$m_{x_i} = m_0\sqrt{q_{x_i x_i}} \quad ; \quad m_{y_i} = m_0\sqrt{q_{y_i y_i}} \quad ; \quad m_{z_i} = m_0\sqrt{q_{z_i z_i}} \tag{3.5}$$

eşitliklerinden hesaplanır.

Helmert nokta konum hatası;

$$m_{p_i} = \sqrt{m_{x_i}^2 + m_{y_i}^2 + m_{z_i}^2} = m_o\sqrt{q_{x_i x_i} + q_{y_i y_i} + q_{z_i z_i}} \tag{3.6}$$

Werkmeister nokta konum hatası;

$$W_{P_i} = m_{x_i}.m_{y_i}.m_{z_i} \tag{3.7}$$

eşitliklerinden hesaplanır(Öztürk ve Şerbetçi, 1992; Konak, 1994; Güllü, 1998).

3.1.2 Helmert ortalama hata ve güven elipsoitleri

Helmert elipsoitleriyle bir noktanın konum duyarlığı tanımlanabilmektedir. Bir noktaya ilişkin ortalama hata elipsoidinin elemanları,

$$A_H = m_0\sqrt{\lambda_1}$$

$$B_H = m_0\sqrt{\lambda_2} \tag{3.8}$$

$$C_H = m_0\sqrt{\lambda_3}$$

eşitliklerinde, denklemler*(3.8)* sırasıyla x, y ve z yönündeki yarı eksen uzunluklarını ifade etmektedir.

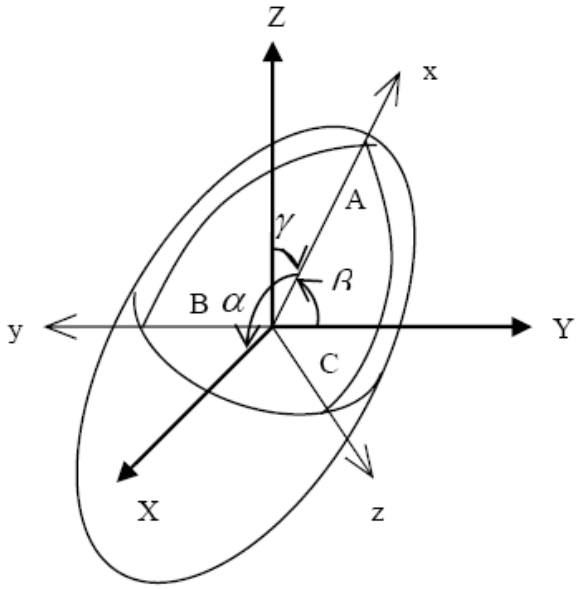
$i = A_H, B_H, C_H$ olmak üzere;

$$\cos\alpha_i = \frac{M_i}{W_i}$$

$$\cos\beta_i = \frac{N_i}{W_i} \qquad (3.9)$$

$$\cos\gamma_i = \frac{T_i}{W_i}$$

eşitlikleri ile i ekseninin x,y ve z yönündeki dönüklüğü hesaplanabilir(Şekil 3.1).



Şekil 3.1 : Hata elipsoidinin elemanları

$$a = -(q_{xx} + q_{yy} + q_{zz})$$

$$b = q_{xx}q_{yy} + q_{xx}q_{zz} + q_{yy}q_{zz} - q_{xy}^2 - q_{xz}^2 - q_{yz}^2$$

$$c = q_{xx}q_{yz}^2 + q_{yy}q_{xz}^2 + q_{zz}q_{xy}^2 - q_{xx}q_{yy}q_{zz} - 2q_{xy}q_{xz}q_{yz}$$

$$p = b - \left(\frac{a^2}{3}\right)$$

$$q = c - \left(\frac{ab}{3}\right) + \left(\frac{2a^3}{27}\right)$$

$$\cos 3\varphi = \frac{-q}{2\sqrt{-\left(\frac{p}{3}\right)^3}} \tag{3.10}$$

$$\lambda_1 = 2\sqrt{-\left(\frac{p}{3}\right)}\cos\varphi - \left(\frac{a}{3}\right)$$

$$\lambda_2 = 2\sqrt{-\left(\frac{p}{3}\right)}\cos\left(\varphi + \frac{2\pi}{3}\right) - \left(\frac{a}{3}\right)$$

$$\lambda_3 = 2\sqrt{-\left(\frac{p}{3}\right)}\cos\left(\varphi + \frac{4\pi}{3}\right) - \left(\frac{a}{3}\right)$$

$$M_i = q_{xz}(q_{yy} - \lambda_i) - q_{xy}q_{yz}$$

$$N_i = (q_{xx} - \lambda_i)q_{yz} - q_{xy}q_{xz}$$

$$T_i = q_{xy}^2(q_{xx} - \lambda_i) - (q_{yy} - \lambda_i)$$

$$W_i^2 = M_i^2 + N_i^2 + T_i^2$$

ara değerlerin hesaplanmasında bu formüllerden yararlanılır(Konak 1994).

A_G, B_G, C_G seçilen istatitiki güvene bağlı olarak hesaplanan hata elipsoidi yarı eksenleri olmak üzere,

$$A_{H\%} = A_G = m_0\sqrt{\lambda_1 3F_{3,f,1-\alpha}}$$

$$B_{H\%} = B_G = m_0\sqrt{\lambda_2 3F_{3,f,1-\alpha}} \tag{3.11}$$

$$C_{H\%} = C_G = m_0\sqrt{\lambda_3 3F_{3,f,1-\alpha}}$$

eşitlikleri söz konusudur. Helmert hata elipsoidi ve güven elipsoidi noktanın ortalama hatası gibi koordinat sistemindeki dönme ve ötelemelerden etkilenmezler. Yalnızca büyüklükleri ağda bilinen noktaların konumuna bağlıdır.

3 boyutlu PS ağlarında güven ve hata elipsoitleri arasındaki ilişki;

$$\begin{aligned} A_{H\%95} &= A_G \cong 2.8 A_H \\ B_{H\%95} &= B_G \cong 2.8 B_H \\ C_{H\%95} &= C_G \cong 2.8 C_H \end{aligned} \tag{3.12}$$

şeklinde ifade edilebilir. $\bar{x}$, bilinmeyenlerin gerçek değerleri olmak üzere güven elipslerinin olasılık bağıntısı,

$$P\left\{\left(\bar{x}-x\right)^T Q_{ii}^{-1}\left(\bar{x}-x\right) \le 3m_0^2 F_{3,f,1-\alpha}\right\} = 1-\alpha \tag{3.13}$$

ve hata elipsoitlerinin olasılık hatası,

$$P\left\{\left(\bar{x}-x\right)^T Q_{ii}^{-1}\left(\bar{x}-x\right) \le m_0^2\right\} = 1-\alpha \tag{3.14}$$

şeklinde ifade edilir. Serbestlik derecesine bağlı olarak hata elipsoidinin istatistik güven değerleri çizelge 3.1'te verilmiştir(Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Çizelge 3.1 : Serbestlik derecelerine bağlı olarak hata elipsoidinin istatistik güveni

Serbestlik Derecesi	***Hata Elipsoidinin İstatistik Güveni***
1	*0.182*
2	*0.192*
5	*0.197*
10	*0.198*
∞	*0.199*

3.1.3 Lokal duyarlık ölçütleri

Lokal duyarlılık ölçütleri ile noktaların birbirine göre konum duyarlıkları hesaplanır.

3.1.4 Bağıl hata elipsoitleri

Herhangi iki ağ noktasının birbirlerine göre konumları koordinatların farklarının bir fonksiyonu olarak düşünüldüğünde, bağıl hata kavramından söz edilir. Hesaplanan bağıl hata elipsoitlerinin geometrik yeri, iki noktayı birleştiren doğrunun orta noktası olarak düşünülür. i ve k noktalarının koordinat farklarından oluşan d vektörü ve ters ağırlık matrisi (Q_{dd}) olmak üzere,

$$d = \begin{bmatrix} -I & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \\ x_k \\ y_k \\ z_k \end{bmatrix} = FX \tag{3.15}$$

$$Q_{dd} = FQ_{xx}F^T = \begin{bmatrix} q_{d_x d_x} & q_{d_y d_x} & q_{d_x d_z} \\ q_{d_y d_x} & q_{d_y d_y} & q_{d_y d_z} \\ q_{d_z d_x} & q_{d_z d_y} & q_{d_z d_z} \end{bmatrix} \tag{3.16}$$

şeklinde hesaplanır. Bağıl hata elipsoidinin yarı eksenleri ve doğrultuları (*3.8,3.9,3.10*) eşitliklerinde verilen temel bağıntılara göre (*3.16*) Q_{dd} matrisinden hesaplanır (Konak, 1994; Kurt, 1996).

3.1.5 Global duyarlık ölçütleri

Global duyarlık ölçütleri ağın tamamının kalitesi hakkında bilgi verir.

3.1.5.1 Hacim ölçütleri

Güven hiperelipsoidlerinin hacimlerine ilişkin,

$$\det(K_{xx}) = m_0^2 \lambda_1 \lambda_2 ... \lambda_{3p} = m_0^2 \prod_{i=1}^{3p} \lambda_i \tag{3.17}$$

determinant değerlerinin her biri ağın tümü için geçerli duyarlık ölçütü olarak ele alınabilir. Ağın bir noktasına ilişkin güven hiperelipsoidinin güven ölçütü Werkmeister nokta hatasına denk düşer(Yalçınkaya ve ark, 2003).

3.1.5.2 Varyans ölçütü

Ağın tamamına ilişkin duyarlık ölçütü Helmert ortalama konum hatalarının toplamı olarak tanımlanan,

$$iz(K_{xx}) = m_0^2 iz(Q_{xx}) = \sum_{i=1}^{3p} (m_{x_i}^2 + m_{y_i}^2 + m_{z_i}^2) = \sum_{i=1}^{3p} m_{p_i}^2 = \min \tag{3.18}$$

büyüklüğüdür. Duyarlık Q_{xx} ve $m_{p_i}^2$ küçük olmasına bağlıdır. Varyans ölçütünün ayırma gücü, hacim ölçütünün ayırma gücünden çok fazladır. Bu nedenler ağın iç duyarlığının

yüksek olması istenildiğinde varyans ölçütünün minimum olması en uygun amaç fonksiyonudur (Konak 1994).

3.1.6 Ortalama konum duyarlığı

Serbest ağ dengelemesi sonunda Q_{xx} matrisi bulunuyorsa, m_p ağın iç konum hatası olarak tanımlanır ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır (Öztürk, 1987).

$$m_p = m_0\sqrt{\frac{iz(K_{xx})}{3p}} = m_0\sqrt{\frac{iz(Q_{xx})}{3p}} \tag{3.19}$$

3.2 Jeodezik Ağlarda Güven Ölçütleri

Bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrislerinin elemanlarından yararlanılarak hesaplanan global ve lokal hassasiyet ölçütleri, bilinmeyenler arasındaki geometrik ve fiziksel ilişkileri tanımlayan fonksiyonel model ile ölçülerin duyarlılıklarını ve aralarındaki korelasyonları gösteren stokastik modelin doğru kurulduğu şeklinde açıklanan model hipotezinin geçerli olması durumunda gerçeği yansıtırlar. Bu nedenle model hipotezinin geçerliliği uygun test yöntemleri ile kontrol edilmeli ve olası model hataları ortaya çıkarılmalıdır. Bir jeodezik ağda kaba model hataları belirlenebiliyorsa bu ağ güvenilir ağ diye nitelendirilir. Güvenirlik ölçütleri de lokal ve global olmak üzere ikiye ayrılır. Lokal güvenirlik ölçütleri ile ölçülerdeki kaba hatalar ortaya çıkarılır. Global güvenirlik ölçütleri ile ağın tamamı ya da büyük bir bölümünde etkili olan model hataları ortaya çıkarılır. Genellikle bu hatalar fonksiyonel modeldeki hatalardır. Ölçü aletlerinin hatalı kalibrasyonları, ölçülerin eksik ya da yanlış indirgenmeleri model hatalarına örnek gösterilebilir.

Model hipotezini test etmek için, dengeleme hesabı sonucunda bulunan birim ağırlıklı ölçünün karesel ortalama hatası m_0, a priori duyarlık σ_0 ile ya da ön dengelemeden elde edilen $\overline{m}_0$ ile karşılaştırılır.

Model hipotezi doğru ise; $\overline{m}_0^2$ ve m_0^2 varyanslarının beklenen değerleri arasında,

$$E(\overline{m}_0^2) = E(m_0^2) = \sigma_0^2 \tag{3.20}$$

bağıntısı geçerli olur. Test büyüklüğü $m_0 > \overline{m}_0$ halinde,

$$T = \frac{m_0^2}{\overline{m}_0^2} \tag{3.21}$$

bağıntısıyla hesaplanır. Bu değer F tablosundan alınan F_f, $\overline{f}$, 1-α sınır değerleriyle karşılaştırılır.

f : m_0 hesabındaki serbestlik derecesi

$\overline{f}$: $\overline{m}_0$ hesabındaki serbestlik derecesi

α : Yanılma ihtimali

olmak üzere $T > F_f$, $\overline{f}$, 1-α ise model hipotezi geçersizdir. Bunun nedeni, ölçülerin birinde veya birkaçında kaba hatalar olabileceği gibi, ölçülerin eksik ya da yanlış indirgenmeleri, veya ölçü aletlerinin yanlış kalibrasyonları da olabilir(İnal 1995).

3.2.1 İç güvenirlik ölçütü

İç güven ölçütü, hata sınırına yakın kaba hatalı ölçüleri ayırma gücüdür. Diğer bir ifadeyle, bir ölçüdeki hatanın açığa çıkarılabilmesi için en az ne büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösteren ölçüttür. Bir ağda oluşabilecek model hatalarının denetlenmesi amacıyla, herhangi bir ölçüde yapılacak hatanın yüzde kaçının bu ölçünün düzenlenmesine yansıyacağı her ölçü için

$$Q_{vv} = P_i^{-1} - AQ_{xx}A^T \tag{3.22}$$
$$r_i = Q_{vv}P_i$$

eşitliğinden hesaplanan kısmi redundanz payı ile belirlenir. Bir ağdaki kısmi redundanz fazla ölçü sayısına eşittir(Yalçınkaya ve ark, 2003).

$$İz(Q_{vv}P) = \sum r_i = n - u = r \tag{3.23}$$

Güvenilir bir ağda mümkün olduğunca büyük ve eşit büyüklükte kısmi redundanzlar ortaya çıkmalıdır. Kısmi redundanzlar yardımı ile ölçülerin kontrol edilebilirliğinin yorumu için aşağıdaki sınır değerleri tavsiye edilebilir(İnal 1995).

Çizelge 3.2: Kısmi redundanz ile ölçülerin kontrolü

Aralık	***Kontrol Durumu***
$0 \le r < 0.01$	Kontrol edilemez
$0.01 \le r < 0.1$	Yeterli kontrol edilemez
$0.1 \le r < 0.3$	Yeterli kontrol edilebilir
$0.3 \le r < 1$	İyi kontrol edilebilir.

Jeodezik ağlarda çok küçük kaba hatanın ortaya çıkarılabilmesi için iç güvenirlik ölçütü,

$$\Delta_{l_i} = \sigma_i . \frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}}, \qquad (i = (1,2,3...n) \tag{3.24}$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada,

σ_i : i ölçünün standart sapması

δ_0 : Dış merkezlilik parametresi

r_i : Kısmi redundaz dır.

Dış merkezlilik parametresi δ_0,

$$\delta_0 = \sqrt{\lambda_{0,1}} = \sqrt{f(\alpha_0, \gamma, l, \infty)} \tag{3.25}$$

eşitliğiyle hesaplanır.

İyi bir jeodezik ağda istenilen, küçük kaba hataların kolaylıkla tespit edilebilmesi ve sınır değerlerinin farklı ölçü tiplerinde bile eşit değerlere sahip olmalarıdır. İç güvenirlik ölçütü, bir ölçüdeki kaba hatanın istatistik testlerle ortaya çıkarılabilmesi için, en az hangi büyüklükte bir değere ulaşması gerektiğini gösterir(İnal 1995).

İyi bir jeodezik ağda çok küçük kaba hataların ortaya çıkarılabilmesi ve Δ_i sınır değerlerinin olabildiğince birbirine yakın büyüklükler olması istenir(Murle ve Bill, 1984).

3.2.2 Dış güvenirlik ölçütü

Dış güvenirlik ölçütü, ortaya çıkarılamayan bir model hatasının koordinat bilinmeyenlerine ya da bunların fonksiyonlarına etkime katsayısı olarak ifade edilebilir.

Bir jeodezik ağın endirekt ölçüler dengelemesi ile dengelenmesinde gözlemler ile bilinmeyenler arasında

$$x = Q_{xx} A^T Pl \tag{3.26}$$

eşitliği geçerlidir. Tespit edilemeyen ölçü hataları koordinat bilinmeyenlerini ve bunlardan çıkarılan tüm fonksiyonları etkiler. Herhangi bir ölçüde Δ_{0_i} kadar yapılan bir hatanın koordinat bilinmeyenlerine etkisi; α_i, A matrisinin i. Satırı, P_i, l_i ölçüsünün ağrılığı olmak üzere,

$$\Delta_{x_i} = Q_{xx} \alpha_i^T P_i \Delta_{0_i} \tag{3.27}$$

eşitliği ile elde edilir(Öztürk ve Şerbetçi, 1992).

Burada koordinat bilinmeyenleri vektörü $\underline{x}$, ağın datumuna bağlı olduğundan, koordinat hataları vektörü $\underline{\Delta}_{x_i}$ de ağın datumuna bağlı olur. Ağın dış güvenirliği için datumdan bağımsız bir ölçüt olarak,

$$\delta_{0_i} = \delta_0 \sqrt{\frac{1 - r_i}{r_i}} \tag{3.28}$$

eşitliği söz konusudur. İyi planlanmış ve dengelemenin matematik modeli doğru kurulmuş bir ağda, hataların koordinatlara etkime katsayılarının mümkün olduğu kadar küçük değerler alması ve $\delta_{0_i} \cong 6\text{-}10$ sınır değerlerinin altında kalması gerekir(İnal, 1995; Yalçınkaya ve ark, 2003).

4. BERNESE AKADEMİK GNSS YAZILIMI

4.1 Genel Özellikleri

Bernese bilimsel yazılımı, İsviçre'nin Bern Üniversitesi tarafından geliştirilen bir yazılım olup, özellikle yüksek duyarlılık gerektiren jeodezik çalışmalarda kullanılan bir yazılımdır. Bernese, GNSS analiz programı olup Amerika'nın GPS ve Rusya'nın GLONASS sistemlerini desteklemektedir. Yazılımın özellikleri;

- Küçük çaplı tek ve çift frekanslı ölçmelerde hızlı proses,
- IGS'e ait sürekli veri toplayan istasyonlarda otomatik proses imkanı,
- Çok sayıda farklı alıcının datalarını proses edebilme,
- GPS ve GLONASS verilerini değerlendirebilme,
- Uzun bazlarda ($\geq 2000km$) ambiguity çözümü sağlama,
- İyonosfer ve troposferi gözlemleme,
- Saat kayıklığı tahmini ve zaman transferi,
- Yörünge belirleme,
- Yer dönme parametrelerinin belirlenmesi,
- Verilerin ikili fark (double difference) veya sıfır fark (zero difference) modunda proses edilebilmesi,
- L1 ve L2 'in farklı lineer kombinasyonlarının kullanılabilmesi,
- Çok sayıda farklı parametre tiplerinin eş zamanlı tahminini destekleme,
- Statik ve çok sayıda kinematik GNSS uygulamalarına imkan sağlama,
- Son IERS standartlarına uygun olarak okyanus yüklenmesi etkisi ve yerkabuğu hareketleri için istasyon hareketlerini modelleyebilme,
- Farklı troposfer haritalama fonksiyonuna sahip olma,
- Uluslar arası girdi/çıktı formatlarını destekleme,
- Gelişmiş gözlem simülasyon araçlarına sahip olma,

- Proses aşamalarına yardım eden menü sistemi,
- Genişletilmiş online yardım hizmeti,
- Unix/Linux ve MS-Windows işletim sistemlerini destekleme,

şeklinde sıralanabilir.

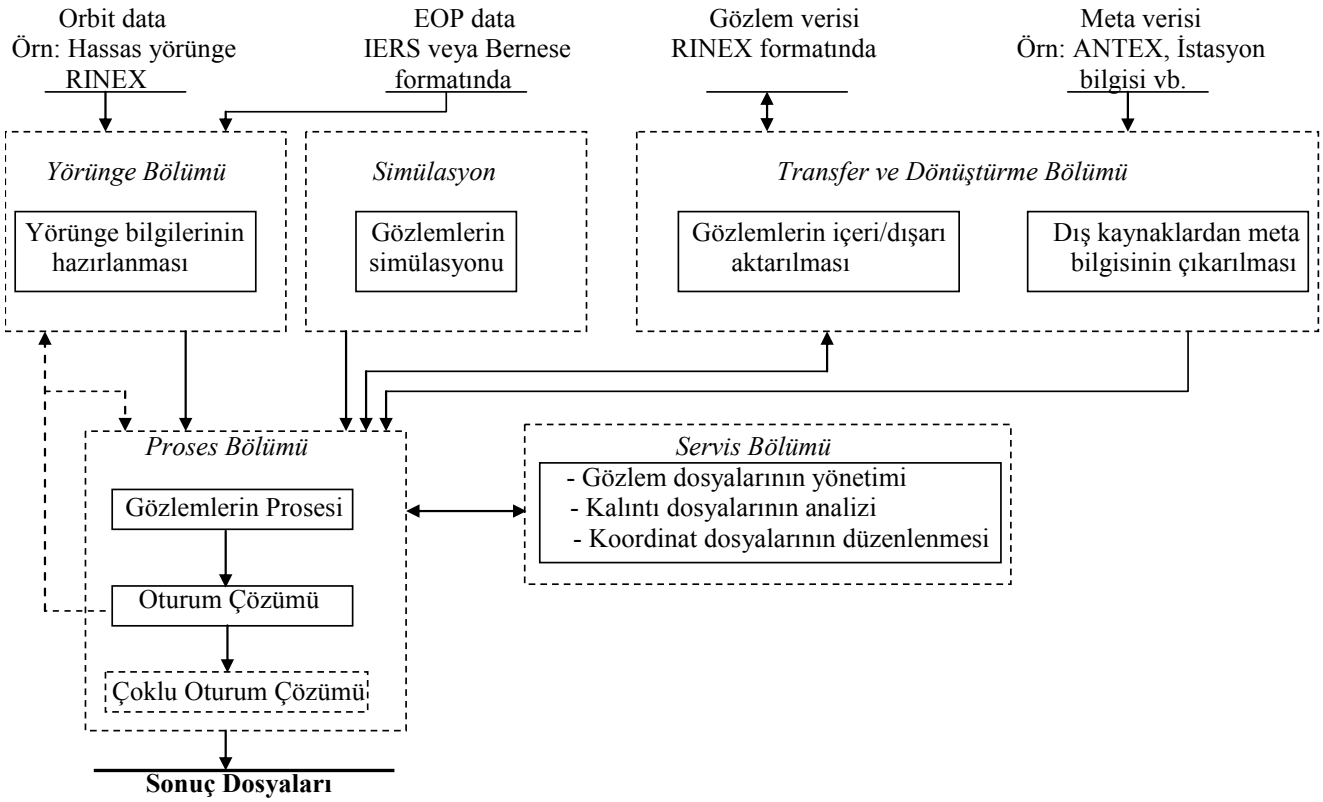
4.2 Program Yapısı

Bernese yazılımında diğer yazılımlardan farklı olarak ‘proje’ yerine, içerisinde birlikte değerlendirilen verileri ve işlemleri nitelemek için ‘compaign’ yani ’kampanya’ terimi kullanılmaktadır. Değerlendirme yapılabilmesi için kampanya yaratılması zorunludur. Kampanyanın oluşturulmasından sonra, verilerin kampanya ortamına alınması, koordinat(öncül) listesinin oluşturulması, hız dosyasının oluşturulması, kısaltmalar dosyasının oluşturulması, verilerin Bernese formatına dönüştürülmesi, yer dönme ve yörünge bilgilerinin hazırlanması gerekmektedir. İstasyon bilgilerini içeren station information dosyasının oluşturulması zorunlu değildir.

Bernese yazılımının kullanımında iki tür dosya grubuna gereksinim duyulmaktadır. İlk grup, değerlendirme sürecinde yararlanılan genel dosyalardan, ikinci grup ise çözüme konu olan zaman dilimine ait olan hassas yörünge, saat düzeltmesi, atmosferik düzeltmeler dosyalarından oluşmaktadır.

İlk grupta yer alan dosyaların bir kısmı yazılımla birlikte yüklenir ve güncellemelerine gerek yoktur. Uydulara ait hataları içeren CRX uzantılı dosyalar, anten faz merkezi kayıklıklarını içeren PHAS_COD.I05, PHAS_COD.I01 dosyaları, alıcı türlerini içeren RECEIVER ve uydu yörünge bilgilerini içeren SATELLIT dosyaları ise düzenli olarak yazılım geliştiricileri tarafından güncellenmektedir(URL1).

İkinci gruba konu olan dosyalar ise farklı kaynaklardan indirilebilmektedir. Farklı kaynaklardan indirilen dosyaların herhangi biri kullanılabilir. Bu kaynaklara; URL2, URL3, URL4 ve URL5 internet adreslerinden ulaşılabilinmektedir.



Şekil 4.1 : Bernese GNSS yazılımındaki standart prosesin fonksiyonel akış diyagramı

Bernese 5.0 akademik yazılımının kullanımına ilişkin detaylı bilgi ve değerlendirme aşamasında yararlanılabilecek dokümanlar URL6 adresinden temin edilebilir.

5. SAYISAL UYGULAMALAR

GLONASS ‘ın global konumlamada kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla dört uygulama gerçekleştirilmiştir. Aşağıda bu çalışmalar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

5.1 Sayısal Uygulama I

Bu çalışmada GPS/GLONASS alıcılarıyla donatılmış IGS noktaları kullanılarak 4 baz oluşturulmuş ve nokta koordinatları doğruluk ve hassasiyet bakımından analiz edilmiştir. Analiz işlemleri GPS, GLONASS ve GPS+GLONASS gözlemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Noktalar Avrupa plakasından seçilmiş olup, oluşturulan bazlar farklı uzunluktadırlar. Bazlar; HERT-SOFI, GOPE-SOFI, SOFI-ORID ve TITZ-EUSK noktaları arasında oluşturulmuştur. Noktaların konumu şekil 5.1 de verilmektedir.



Şekil 5.1 : Kullanılan noktaların konumu

Çizelge 5.1 de noktalarda bulunan GPS/GLONASS alıcı ve anten tipleri, çizelge 5.2 de ise oluşturulan bazlar ve detaylar verilmektedir.

Çizelge 5.1 : Noktalardaki GPS/GLONASS alıcıları

Nokta	Alıcı	Anten
HERT	*LEICA GRX1200GGPRO*	*LEIAT504GG NONE*
GOPE	*TPS NETG3*	*TPSCR.G3 TPSH*
SOFI	*TPS E_GGD*	*AOAD/M_T NONE*
ORID	*LEICA GRX1200GGPRO*	*LEIAT504GG LEIS*
TITZ	*JPS LEGACY*	*TPSCR3_GGD CONE*
EUSK	*LEICA GRX1200GGPRO*	*LEIAT504GG LEIS*

Çizelge 5.2 : Bazlar ve detayları

Nokta I	Nokta II	Baz	Baz Uzunluğu (km)
HERT	*SOFI*	*HESO*	*~1971*
GOPE	*SOFI*	*GOSO*	*~1051*
ORID	*SOFI*	*ORSO*	*~268*
TITZ	*EUSK*	*EUTI*	*~46.5*

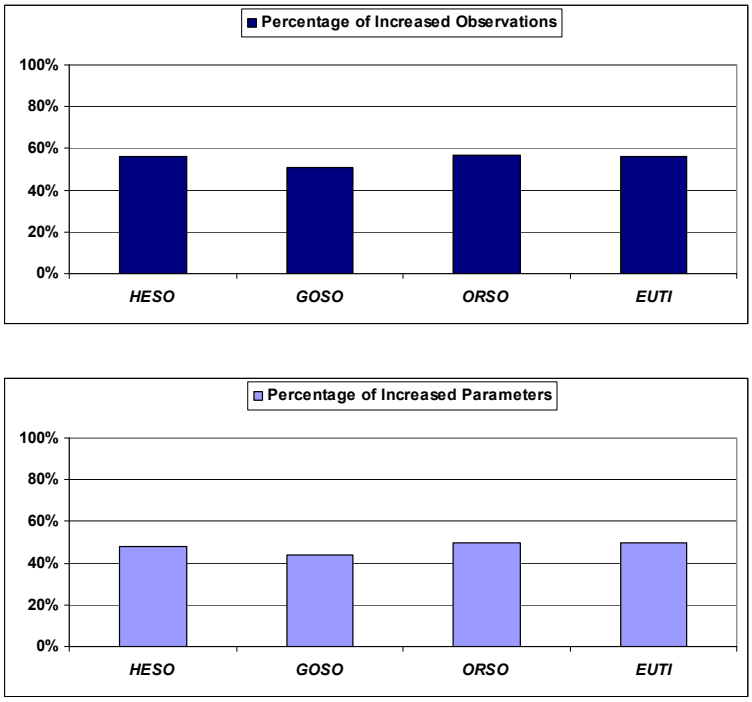
Her bir bazın prosesinde IGS Son yörüngeleri ve saat değerleri kullanılmıştır. IGS Son yörüngelerinin doğruluğu GPS için 2.5 cm, GLONASS için ise 5 cm dolaylarındadır.

GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemlerinin prosesinde Bernese 5.0 akademik analiz yazılımı kullanılmıştır. Noktalardan biri sabit alınarak diğer noktanın koordinat bileşenleri elde edilmiştir.

ORSO bazı dışında diğer bazlar için 24 saatlik GPS/GLONASS gözlemleri 1 ocak 2010 tarihinden seçilmiştir. Bu tarihte ORID noktasının gözlem dosyası bulunmadığından dolayı ORSO için 8 aralık 2009 tarihli gözlemler kullanılmıştır.

İlk önce 24 saatlik yalnız GPS, GPS/GLONASS ve yalnız GLONASS gözlemleri her bir baz için ayrı ayrı proses edilmiştir. Ardından gözlem süresinin sonuçlara etkisini görebilmek amacıyla gözlem dosyaları 8 ve 4 saatlik gözlemlere bölünmüştür. Bölme işleminin ardından 4 ve 8 saatlik gözlemlerin prosesi gerçekleştirilmiştir.

GPS/GLONASS gözlemlerinin proses işleminde gözlem sayısına ve parametre sayısına bakıldığında şekil 5.2 de görüldüğü üzere, GLONASS gözlemlerinin ilavesi gözlem sayısını parametre sayısından daha fazla arttırmıştır.



Şekil 5.2 : GLONASS gözlemlerinin ilavesi ile gözlem ve parametre sayısındaki değişim

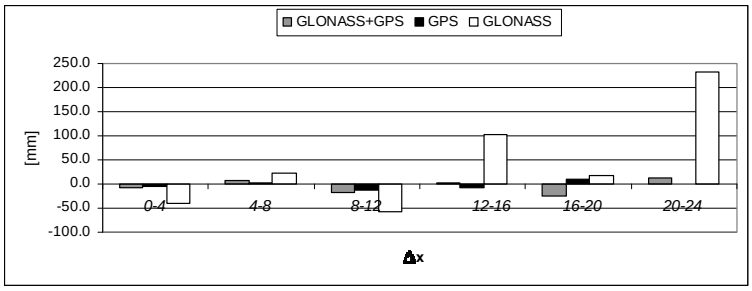
Baz çözümlerinin ardından noktalardan birinin koordinatları sabit alınarak diğer noktanın koordinatları hesaplanmıştır. Tüm bazlar için benzer işlemler gerçekleştirilmiştir.

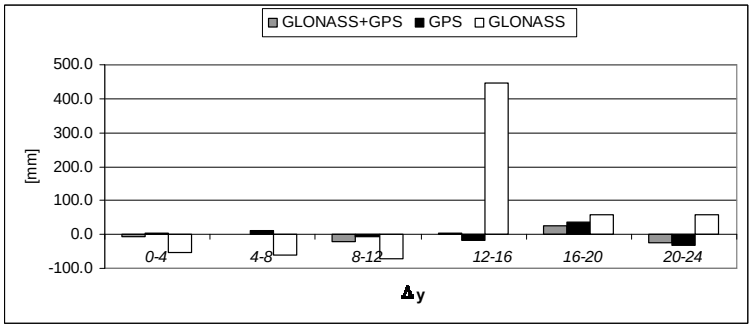
En uzun baz olan HESO bazında, HERT noktasının koordinatları sabit alınarak SOFI noktasının koordinatları belirlenmiştir. Önce 24 saatlik gözlemler ve ardından 8 ve 4 saatlik gözlemler proses edilmiştir. 24 saatlik GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemlerinin prosesi sonucunda elde edilen koordinatlar karşılaştırıldığında GLONASS ile elde edilen değerlerin 1.2 cm ye kadar farklı olduğu görülmüştür. GPS/GLONASS koordinatlarından olan farklar çizelge 5.11 ve şekil 5.11'de verilmektedir.

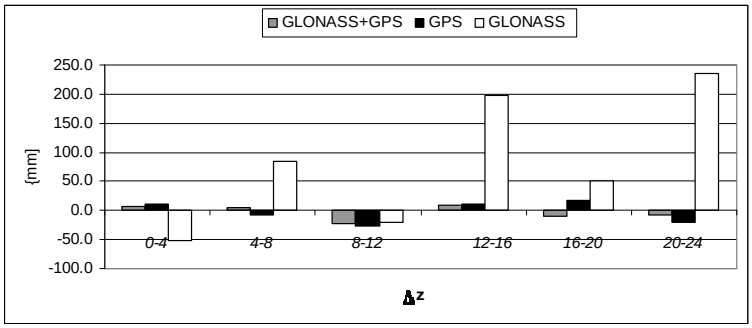
8 ve 4 saatlik gözlemlerin prosesi gerçekleştirilerek koordinat değerleri elde edilmiştir. GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemleriyle elde edilen bu değerlerin 24 saatlik GPS/GLONASS koordinat değerlerinden olan farkları çizelge 5.3 ve şekil 5.3' de verilmektedir. Şekilden de görüldüğü üzere GLONASS değerleri diğerlerinden daha kötüdür.

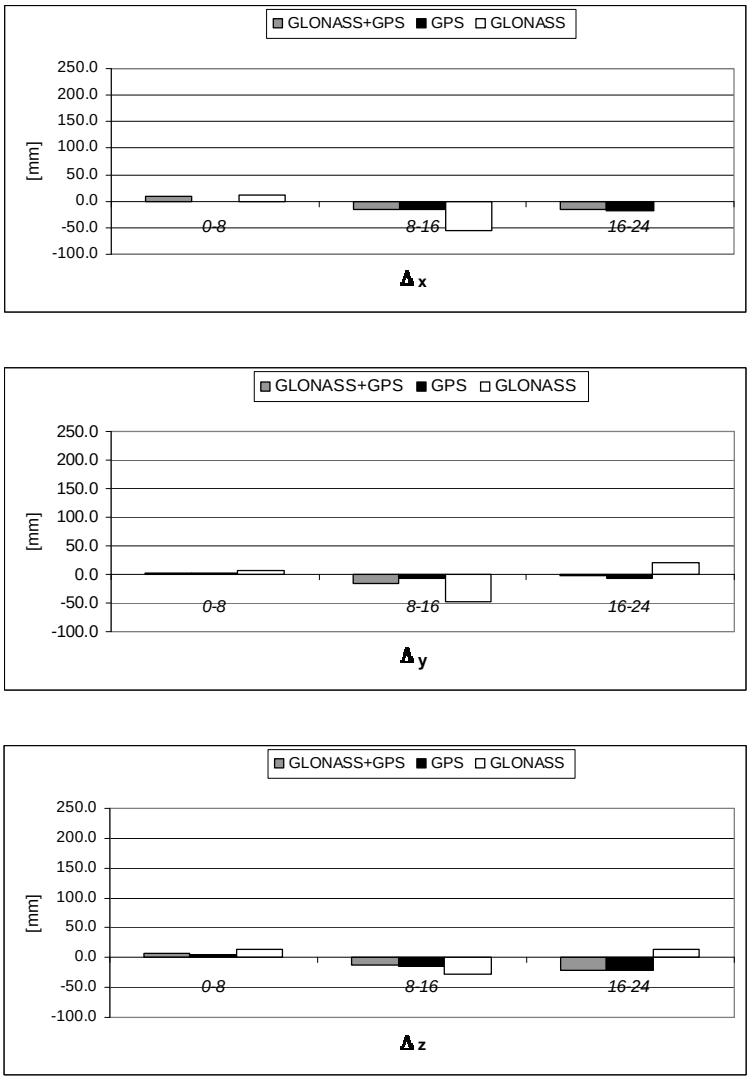
Çizelge 5.3 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

		Hert-Sofi								
		GLONASS+GPS (mm)			***GPS (mm)***			***GLONASS (mm)***		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
4 saatlik	0-4	-8.3	-5.4	6.1	-5.6	3.2	10.2	-41.1	-52.9	-50.9
	4-8	8.3	2.3	5.8	2.0	10.9	-6.9	22.1	-59.7	85.3
	8-12	-16.9	-19.9	-22.0	-12.1	-5.0	-26.6	-56.5	-71.0	-19.9
	12-16	3.4	2.4	10.0	-6.8	-16.7	11.5	101.7	447.4	197.0
	16-20	-25.8	26.7	-10.8	10.0	36.4	17.5	18.2	59.7	51.2
	20-24	13.6	-25.3	-7.1	-0.4	-31.5	-20.2	232.9	56.3	234.7
8 saatlik	0-8	8.1	2.7	8.2	-0.5	2.2	4.8	12.6	6.8	12.8
	8-16	-16.5	-14.8	-12.5	-14.4	-7.6	-15.3	-54.2	-47.1	-28.8
	16-24	-15.0	-3.3	-20.4	-19.2	-5.8	-21.3	0.1	20.5	13.3







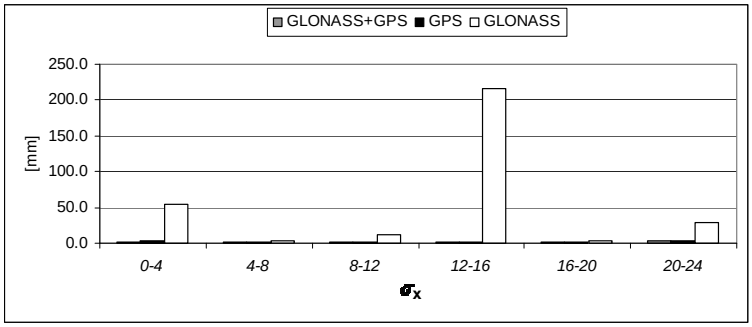


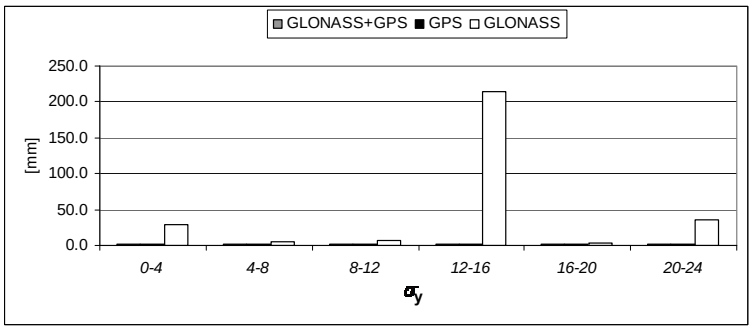
Şekil 5.3 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

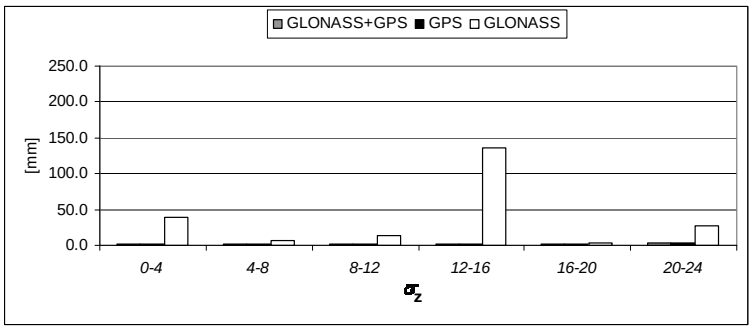
Çizelge 5.4 ve şekil 5.4'de görüldüğü üzere GLONASS gözlemlerinin prosesi sonucu elde edilen koordinat bileşenlerinin standart sapmaları özellikle 0-4, 8-12 ve 20-24 zaman dilimlerinde GPS ve GPS/GLONASS ile elde edilen değerlere nazaran daha kötüdür.

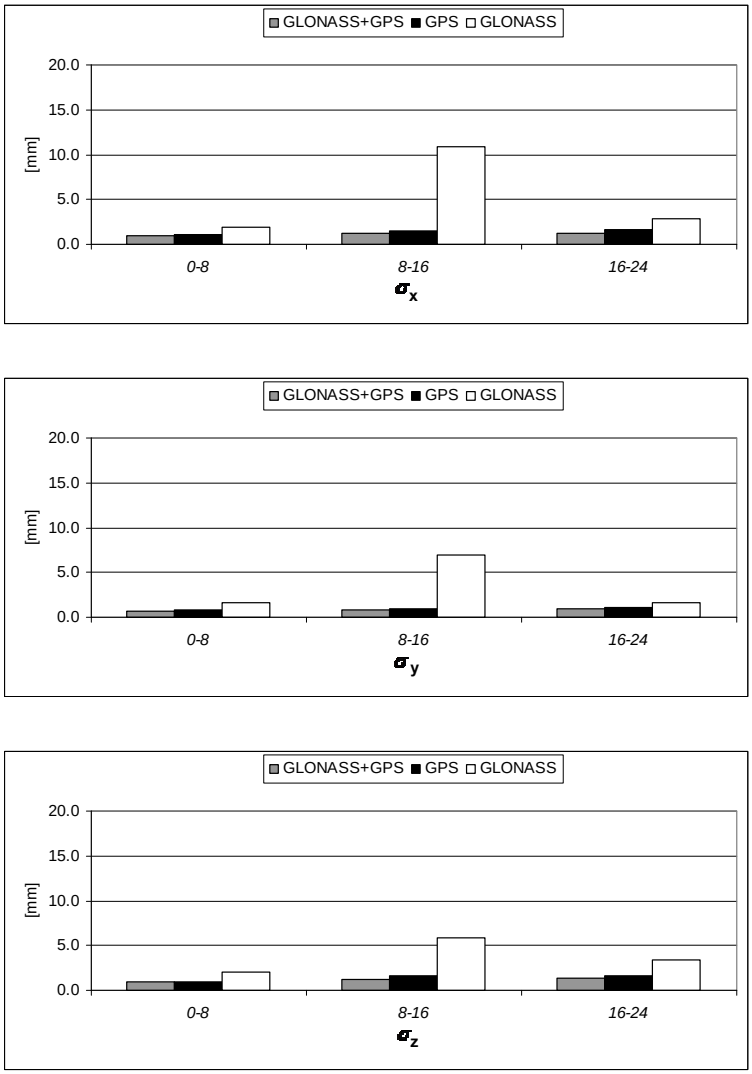
Çizelge 5.4 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmalar

		Hert-Sofi								
		GLONASS+GPS (mm)			***GPS (mm)***			***GLONASS (mm)***		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
4 saatlik	0-4	1.5	0.9	1.4	2.9	1.1	2.0	53.8	28.9	39.5
	4-8	1.2	0.9	1.2	1.4	1.1	1.3	3.6	5.0	6.9
	8-12	1.9	1.1	1.9	2.1	1.2	2.2	11.7	6.5	13.0
	12-16	1.7	1.3	1.7	2.2	1.7	2.2	216.6	214.1	135.9
	16-20	1.7	1.2	1.7	1.6	1.8	1.5	3.5	2.7	3.9
	20-24	3.2	1.6	2.7	3.7	2.4	3.1	28.2	36.5	27.2
8 saatlik	0-8	1.0	0.7	0.9	1.1	0.8	1.0	1.9	1.7	2.1
	8-16	1.2	0.8	1.2	1.5	1.0	1.6	10.9	7.0	5.9
	16-24	1.2	0.9	1.3	1.7	1.1	1.7	2.9	1.7	3.4









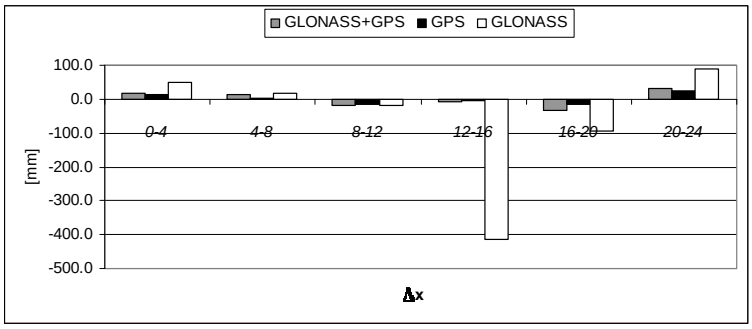
Şekil 5.4 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmaların grafik gösterimi

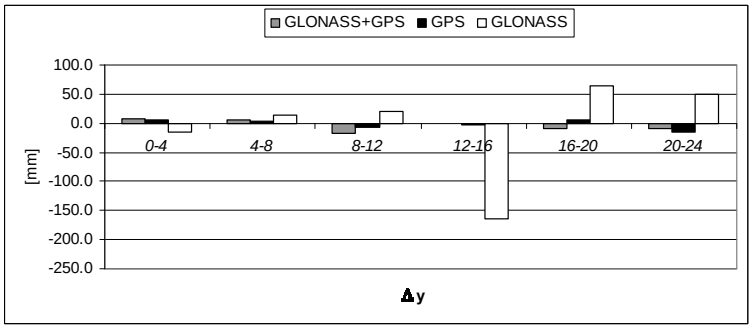
1051 km uzunluğundaki GOSO bazında GOPE noktasının koordinatlarına göre SOFI noktasının koordinatları elde edilmiştir. Önce 24 saatlik ve ardından 4 ve 8 saatlik GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemleri proses edilmiştir. 24 saatlik gözlem sonuçları karşılaştırıldığında GLONASS sonuçlarının 0.8 cm kadar farklı olduğu görülmüştür(çizelge 5.11 ve şekil 5.11).

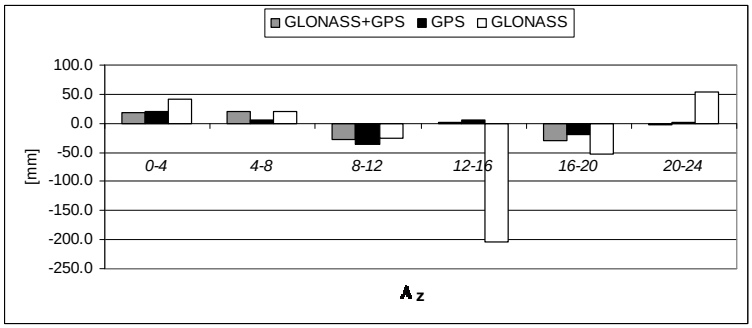
8 saatlik ve 4 saatlik gözlemler sonucu elde edilen koordinatlar 24 saatlik GPS/GLONASS gözlemleriyle elde edilen değerlerle karşılaştırıldığında yine GLONASS çözümlerinin diğerlerine nazaran özellikle 12-16 zaman diliminde farklı olduğu görülmüştür(çizelge 5.5 ve şekil 5.5).

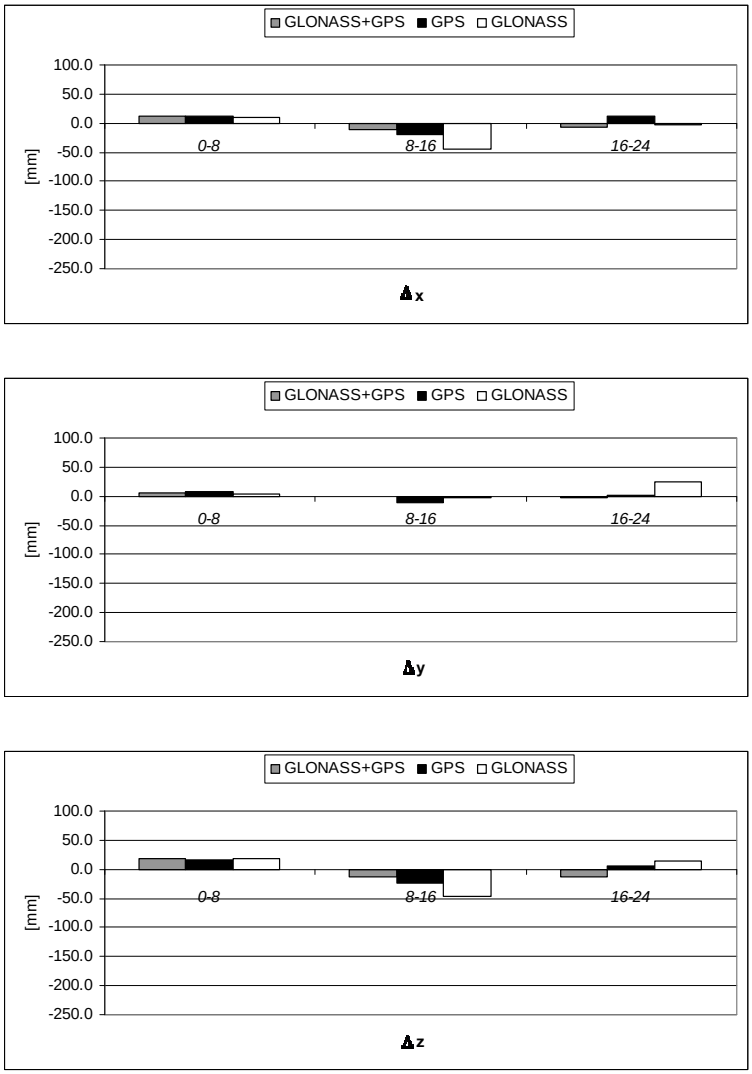
Çizelge 5.5 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

		Gope-Sofi								
		GLONASS+GPS (mm)			***GPS (mm)***			***GLONASS(mm)***		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
4 saatlik	0-4	18.7	7.1	17.6	12.0	5.8	20.7	48.8	-15.0	40.4
	4-8	12.9	5.9	19.4	3.0	4.3	6.1	17.4	13.1	20.9
	8-12	-19.6	-16.5	-27.5	-16.3	-7.1	-37.2	-17.4	21.3	-24.8
	12-16	-6.4	-0.9	1.1	-2.7	-2.8	5.1	-412.5	-163.2	-204.9
	16-20	-32.4	-9.6	-28.9	-16.5	4.7	-18.5	-95.4	64.8	-53.7
	20-24	32.1	-9.0	-3.0	23.2	-14.3	0.9	87.7	49.6	53.4
8 saatlik	0-8	12.9	5.8	18.1	11.6	7.4	16.5	9.5	3.0	18.1
	8-16	-11.5	-0.1	-12.5	-18.7	-10.1	-24.1	-44.4	-3.4	-46.1
	16-24	-6.0	-2.8	-12.5	11.8	2.5	4.7	-2.5	24.3	13.1







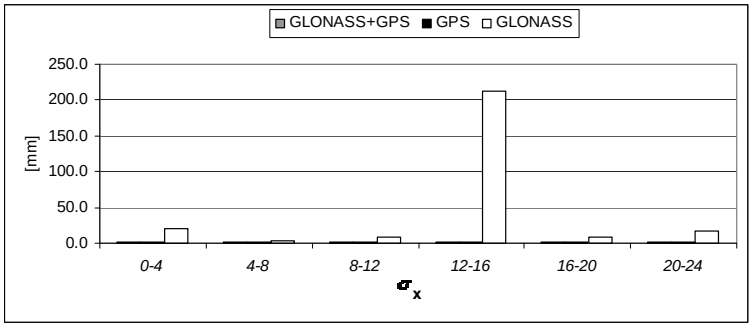


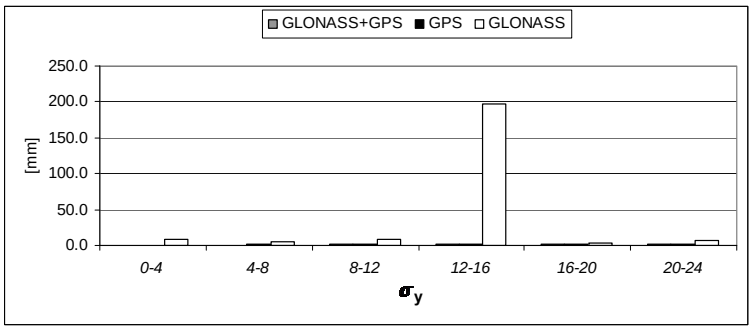
Şekil 5.5 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

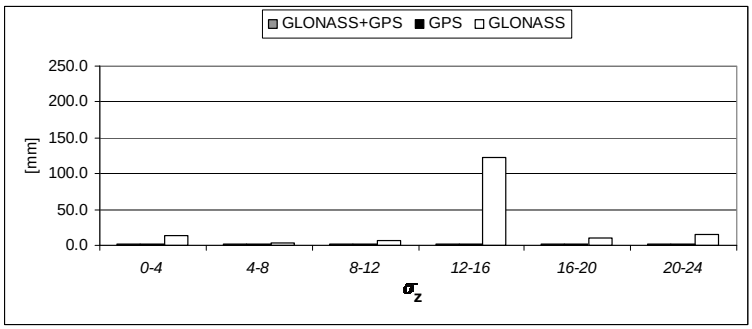
Standart sapmalar göz önüne alındığında ise GLONASS ile elde edilen değerlerin özellikle 12-16 zaman diliminde GPS ve GPS/GLONASS' a göre kötü olduğu görülmüştür(çizelge 5.6 ve şekil 5.6).

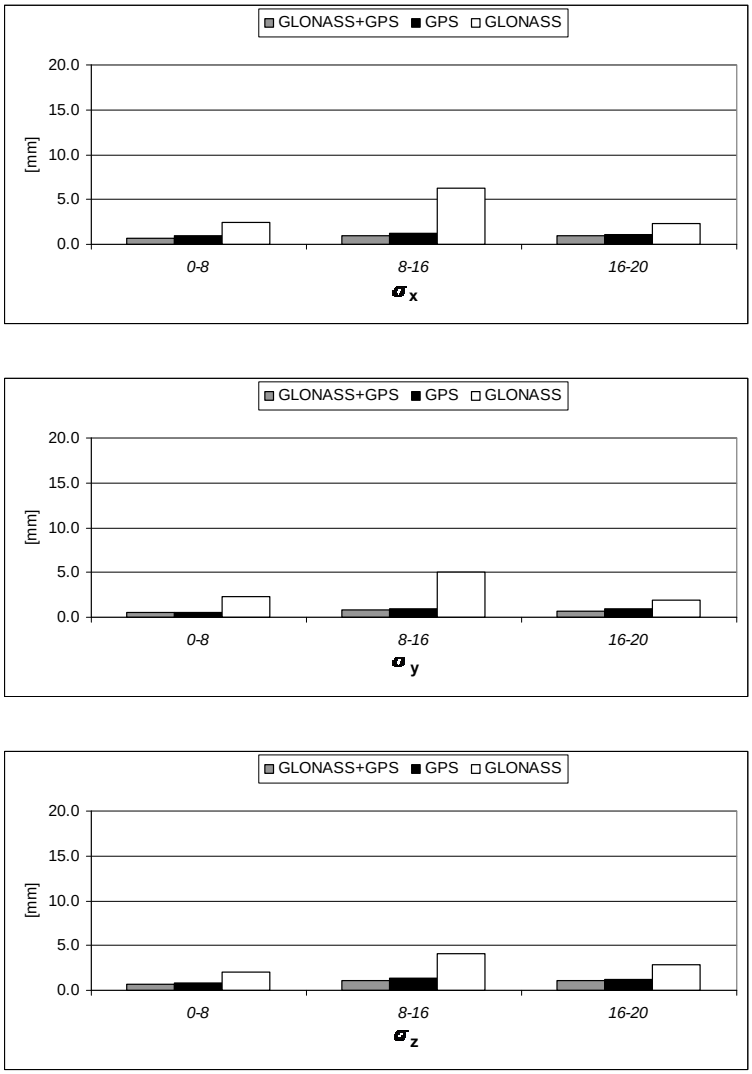
Çizelge 5.6 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmalar

		Gope-Sofi								
		GLONASS+GPS (mm)			***GPS (mm)***			***GLONASS (mm)***		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
4 saatlik	0-4	1.2	0.8	1.2	1.2	0.8	1.2	19.6	8.5	12.8
	4-8	0.9	0.7	1.1	1.2	0.9	1.2	4.2	5.7	2.7
	8-12	1.4	0.9	1.5	1.8	1.3	2.0	9.3	8.3	6.9
	12-16	1.5	1.2	1.6	1.8	1.3	2.1	212.6	198.0	123.0
	16-20	1.4	0.9	1.5	1.7	1.1	1.7	8.5	3.7	9.4
	20-24	1.9	1.2	1.6	2.4	1.5	2.0	17.6	7.2	14.7
8 saatlik	0-8	0.7	0.5	0.7	0.9	0.6	0.8	2.5	2.3	2.0
	8-16	1.0	0.8	1.1	1.2	0.9	1.4	6.3	5.1	4.1
	16-20	1.0	0.7	1.1	1.1	0.9	1.2	2.3	1.9	2.9









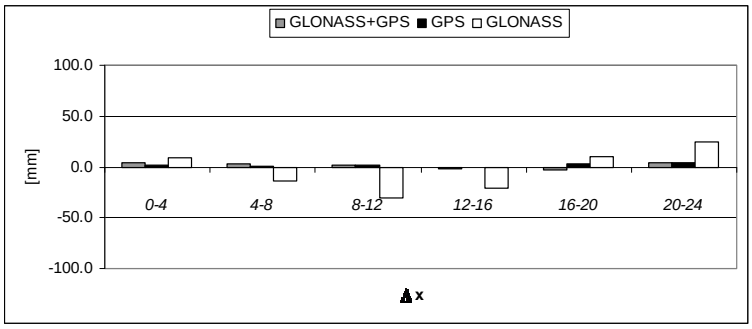
Şekil 5.6 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmaların grafik gösterimi

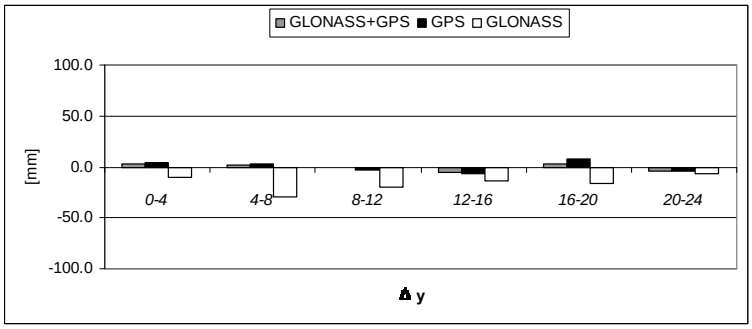
ORSO bazında, SOFI noktasına göre ORID noktasının koordinatları hesaplanmıştır. Strateji diğer bazlarla aynıdır. 24 saatlik çözümler karşılaştırıldığında GLONASS çözümlerinin 1 cm' ye kadar farklı olduğu görülmüştür(çizelge 5.11 ve şekil 5.11).

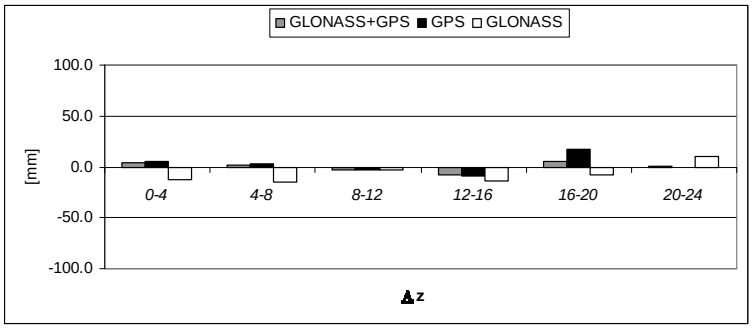
8 ve 4 saatlik çözümlerin 24 saatlik GPS/GLONASS' dan olan farkları çizelge 5.7 ve şekil 5.7 de verilmiştir.

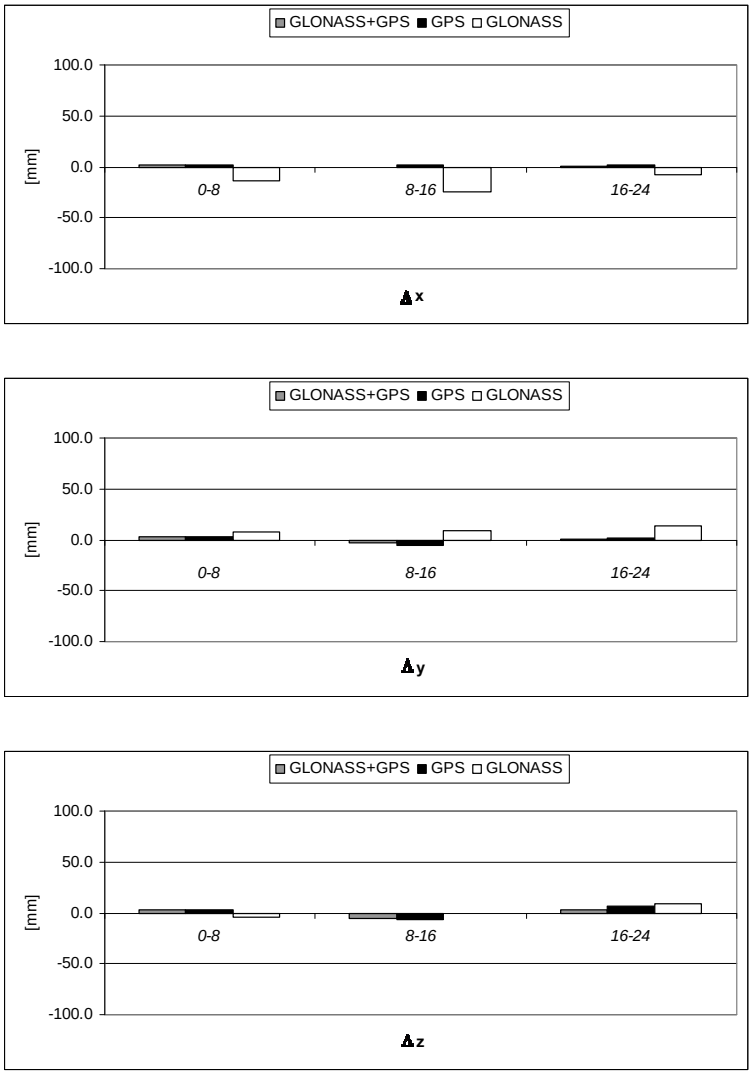
Çizelge 5.7 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

		Sofi-Orid								
		GLONASS+GPS (mm)			***GPS (mm)***			***Glonass (mm)***		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
4 saatlik	0-4	4.3	2.8	4.2	1.8	3.9	4.8	9.0	-10.3	-12.5
	4-8	3.0	2.1	2.3	0.5	2.8	2.9	-13.5	-28.8	-14.5
	8-12	2.1	-0.8	-3.0	2.2	-2.4	-3.5	-30.0	-19.8	-3.2
	12-16	-1.6	-5.8	-7.2	-0.6	-6.7	-8.7	-21.4	-13.8	-14.3
	16-20	-2.7	2.8	5.5	3.5	7.4	17.7	10.5	-16.0	-7.4
	20-24	4.2	-4.7	0.2	3.8	-4.1	-1.1	24.3	-6.1	9.7
8 saatlik	0-8	1.3	2.6	2.8	2.3	2.5	2.9	-13.5	7.5	-3.7
	8-16	-0.1	-2.6	-4.9	2.1	-5.1	-6.0	-24.0	8.4	-0.4
	16-24	0.7	0.3	3.0	1.8	1.4	6.0	-8.2	13.2	9.1







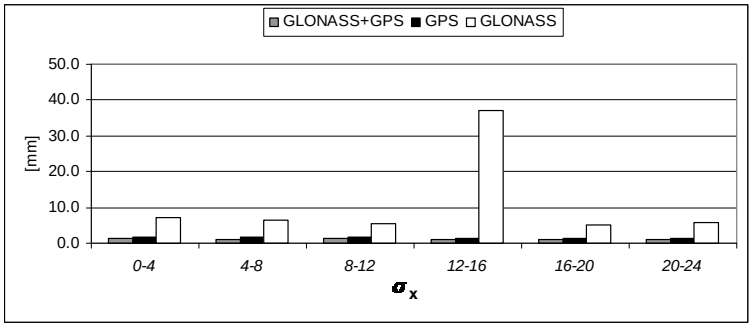


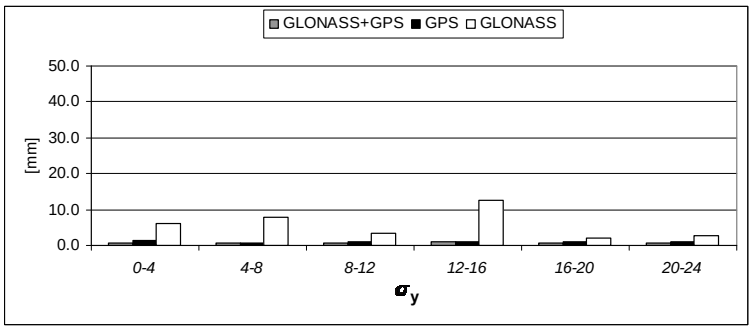
Şekil 5.7 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

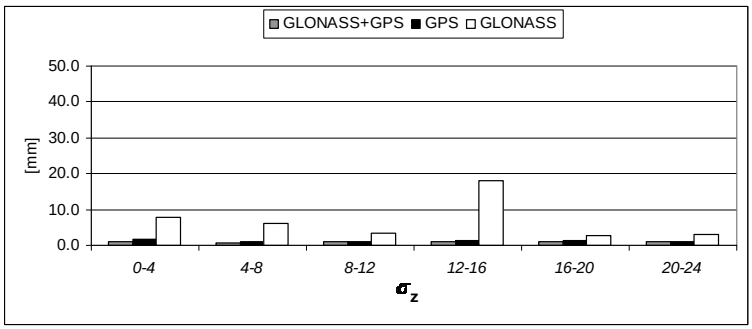
Standart sapmalar göz önüne alındığında yine GLONASS değerlerinin diğerlerine nazaran büyük olduğu görülmüştür(çizelge 5.8 ve şekil 5.8).

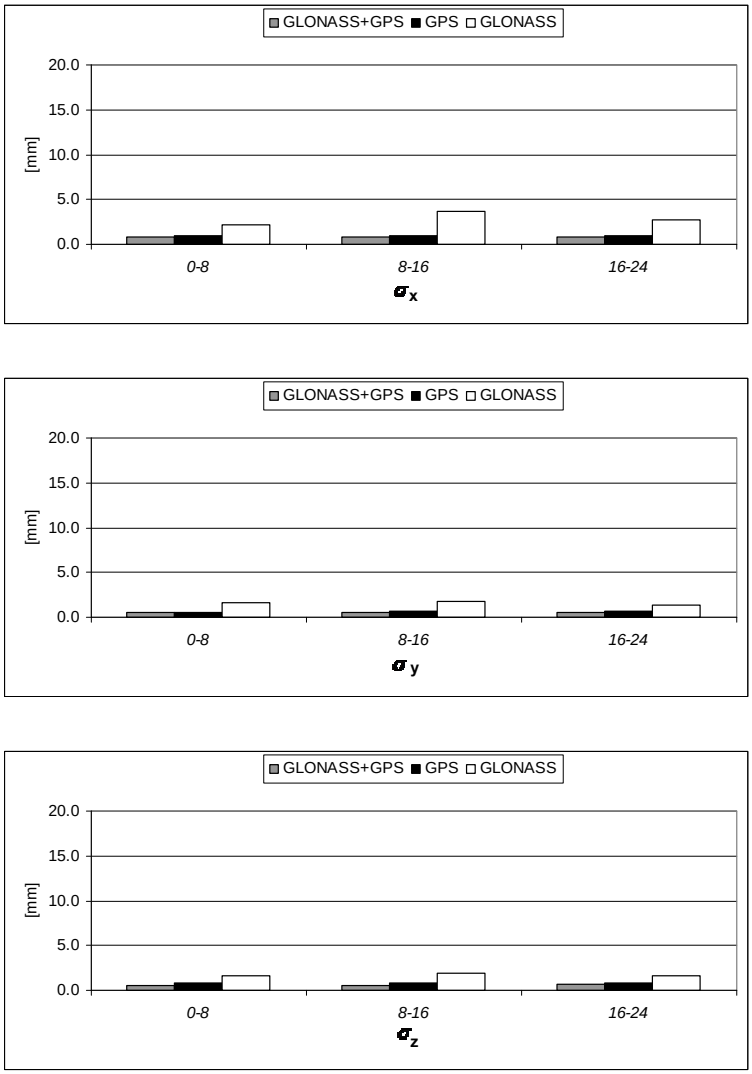
Çizelge 5.8 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmalar

		Sofi-Orid								
		GLONASS+GPS (mm)			***GPS (mm)***			***GLONASS (mm)***		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
4 saatlik	0-4	1.2	0.8	1.1	1.6	1.2	1.6	7.2	6.0	7.8
	4-8	1.1	0.7	0.8	1.6	0.8	1.0	6.4	7.7	6.1
	8-12	1.3	0.7	0.9	1.7	1.0	1.1	5.4	3.3	3.4
	12-16	1.1	0.9	1.0	1.5	1.1	1.4	37.2	12.6	18.1
	16-20	1.1	0.8	0.9	1.5	1.0	1.3	5.1	2.2	2.7
	20-24	1.1	0.8	0.9	1.3	0.9	1.1	5.8	2.8	3.2
8 saatlik	0-8	0.8	0.5	0.6	1.0	0.6	0.8	2.2	1.6	1.7
	8-16	0.8	0.5	0.6	1.0	0.7	0.8	3.7	1.8	1.9
	16-24	0.8	0.6	0.7	1.0	0.7	0.8	2.7	1.4	1.7









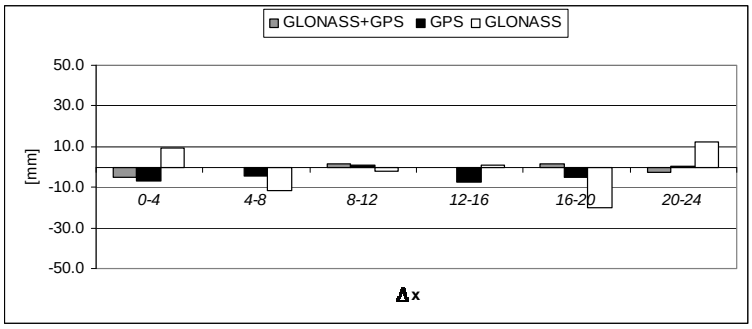
Şekil 5.8 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmaların grafik gösterimi

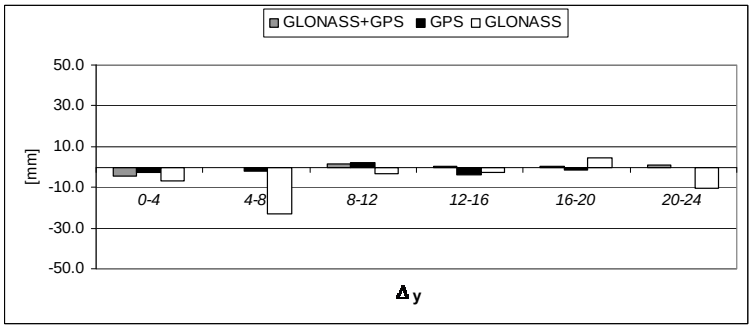
En kısa baz olan EUTI bazında,~45km, TİTZ noktası sabit alınarak, EUSK noktasının koordinatları elde edilmiştir. Sırasıyla 24 saatlik, 8 saatlik ve 4 saatlik gözlemler proses edilmiştir. 24 saatlik prosesler sonucu elde edilen koordinat bileşenleri karşılaştırılmış ve GLONASS çözümlerinin 0.8 cm' ye kadar farklı olduğu görülmüştür(çizelge 5.11 ve şekil 5.11).

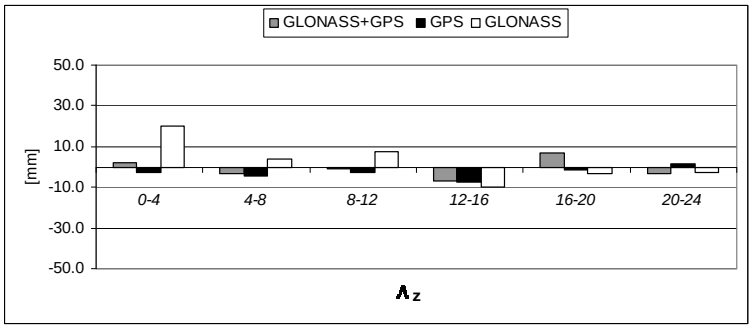
8 ve 4 saatlik gözlemler sonucu elde edilen değerlerin 24 saatlik GPS/GLONASS' dan olan farkları çizelge 5.9 ve şekil 5.9'da verilmiştir.

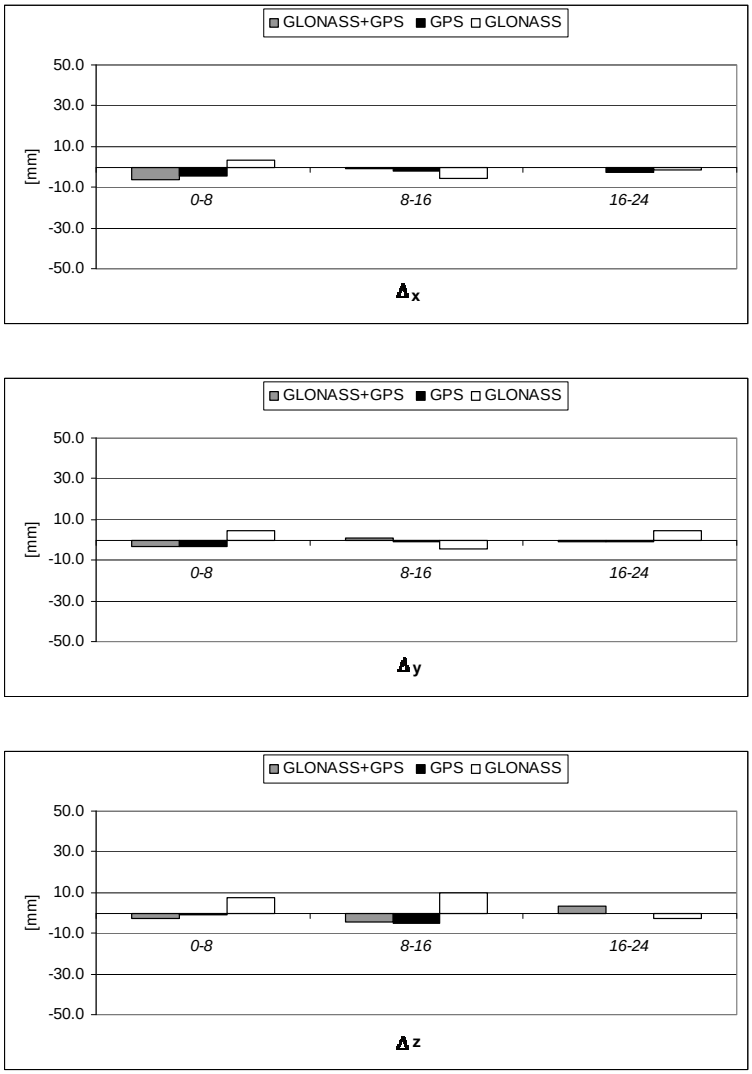
Çizelge 5.9 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

		Titz-Eusk								
		GLONASS+GPS (mm)			***GPS (mm)***			***GLONASS (mm)***		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
4 saatlik	0-4	-5.0	-4.3	2.1	-6.6	-2.4	-2.5	9.1	-7.0	20.2
	4-8	-0.4	-0.3	-3.4	-4.3	-1.9	-4.3	-11.9	-22.8	3.8
	8-12	1.6	1.3	-0.9	0.8	1.8	-2.7	-2.1	-3.2	7.6
	12-16	-0.2	0.3	-6.9	-7.2	-4.1	-7.3	1.0	-2.4	-10.1
	16-20	1.2	0.1	7.1	-4.8	-1.2	-1.4	-20.1	4.7	-3.4
	20-24	-2.4	1.0	-3.5	0.4	-0.4	1.4	12.2	-10.5	-2.6
8 saatlik	0-8	-6.3	-3.2	-2.8	-4.3	-3.4	-0.6	3.0	4.4	7.3
	8-16	-0.6	0.9	-4.3	-2.3	-0.6	-4.8	-5.6	-4.5	9.7
	16-24	-0.3	-0.6	3.5	-2.8	-0.9	-0.4	-1.7	4.4	-2.9







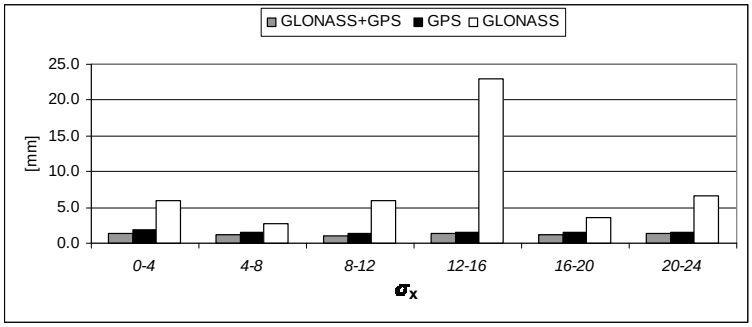


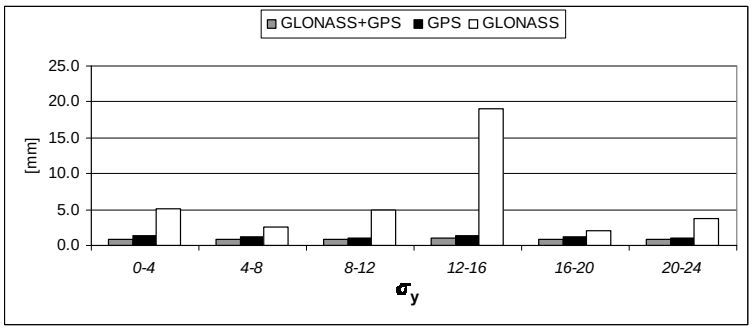
Şekil 5.9 : 24 Saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

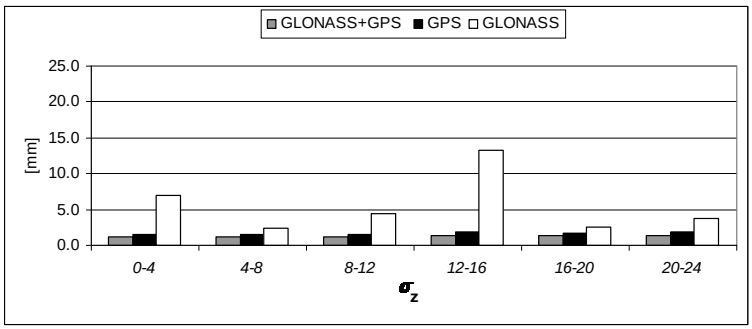
Çizelge 5.10 ve şekil 5.10'da verilen standart sapmalara göre GLONASS değerleri diğerlerinden daha büyüktür.

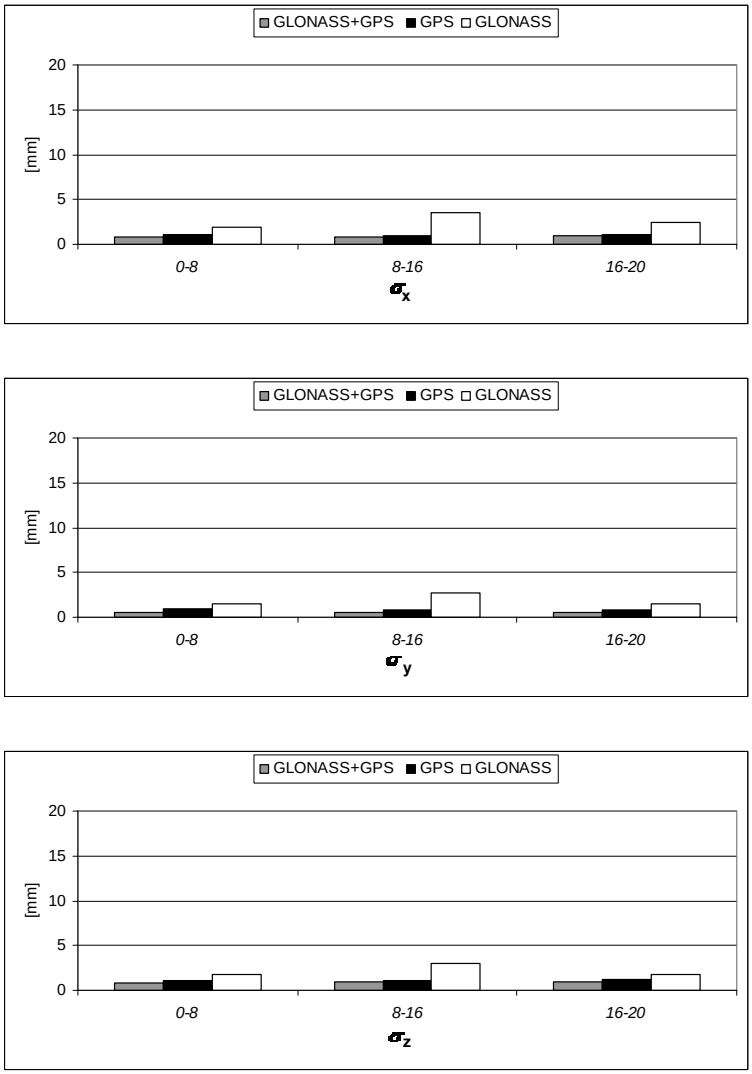
Çizelge 5.10 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmalar

		Titz-Eusk								
		GLONASS+GPS (mm)			***GPS (mm)***			***GLONASS (mm)***		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
4 saatlik	0-4	1.3	0.9	1.2	1.8	1.4	1.5	6.0	5.1	6.9
	4-8	1.2	0.8	1.2	1.6	1.2	1.6	2.8	2.5	2.3
	8-12	1.1	0.8	1.2	1.3	1.0	1.6	5.9	4.9	4.4
	12-16	1.3	1.0	1.3	1.6	1.3	1.8	22.9	19.0	13.2
	16-20	1.2	0.9	1.3	1.6	1.2	1.7	3.5	2.1	2.6
	20-24	1.3	0.9	1.4	1.6	1.1	1.8	6.6	3.8	3.7
8 saatlik	0-8	0.8	0.6	0.8	1.1	0.9	1.1	1.9	1.5	1.8
	8-16	0.8	0.6	0.9	1.0	0.8	1.1	3.6	2.7	3.0
	16-20	0.9	0.6	0.9	1.1	0.8	1.2	2.4	1.5	1.8





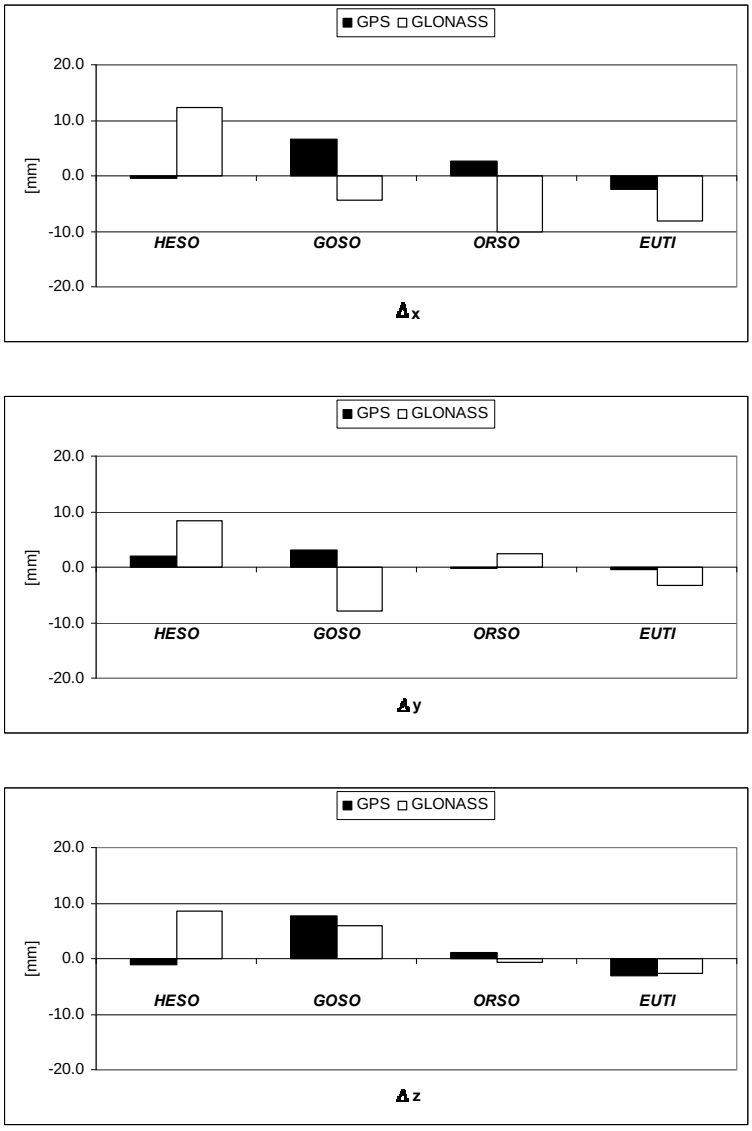




Şekil 5.10 : Zaman dilimlerine göre proses sonucu elde edilen standart sapmaların grafik gösterimi

Çizelge 5.11 : Tüm bazlar için GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

	GPS(mm)			***GLONASS(mm)***		
	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
HESO	-0.4	1.9	-1.2	12.4	8.4	8.6
GOSO	6.6	3.1	7.7	-4.4	-8.0	6.0
ORSO	2.6	-0.2	1.2	-10.2	2.4	-0.6
EUTI	-2.5	-0.5	-3.1	-8.2	-3.3	-2.7

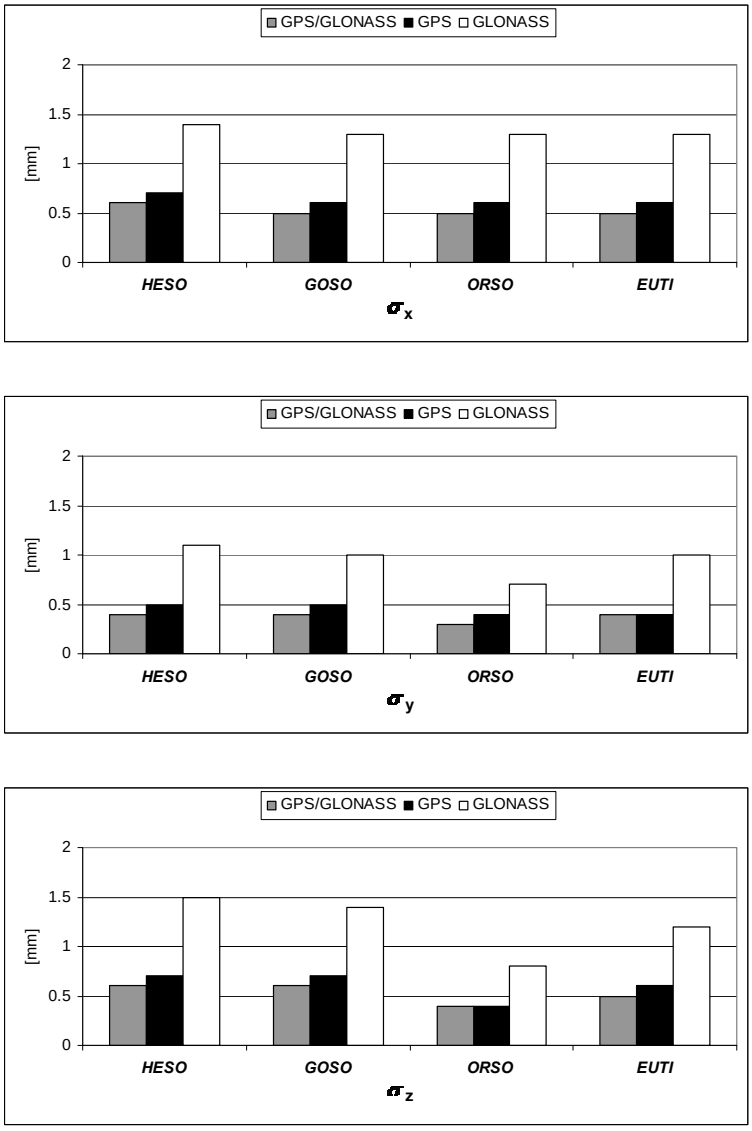


Şekil 5.11 : Tüm bazlar için GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

Tüm bazların 24 saatlik prosesleri ile elde edilen nokta koordinatlarının standart sapmaları çizelge 5.12 ve şekil 5.12 e verilmektedir.

Çizelge 5.12 : 24 saatlik proseslerden elde edilen noktaların standart sapmaları

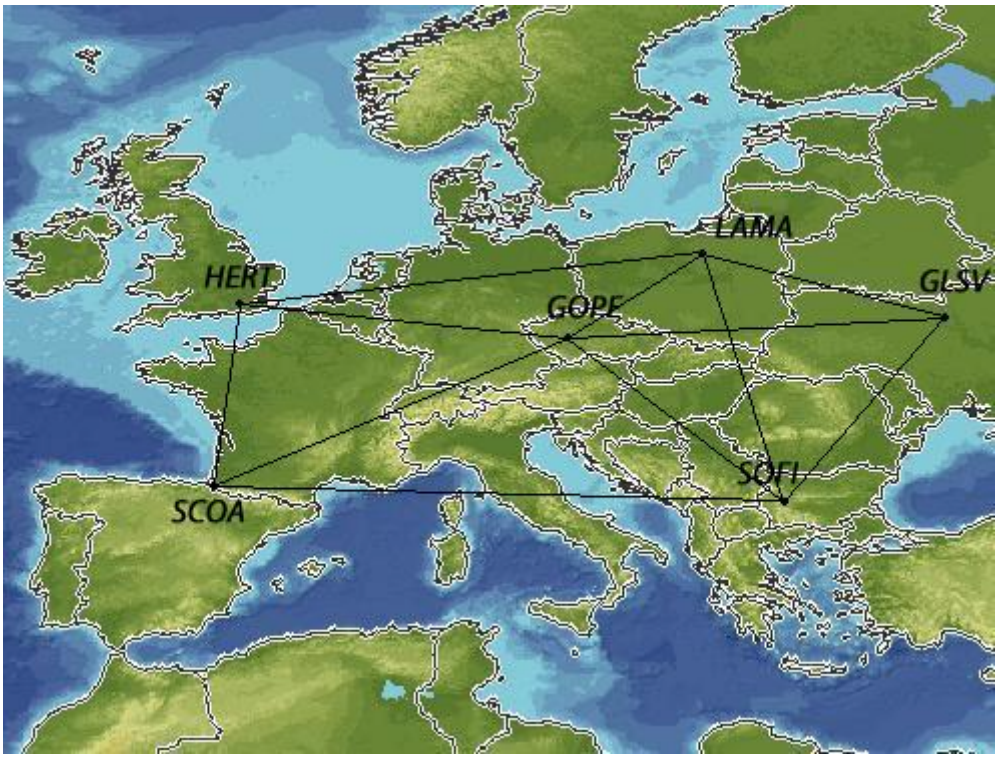
	GPS/GLONASS(mm)			***GPS(mm)***			***GLONASS(mm)***		
	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
HESO	0.6	0.4	0.6	0.7	0.5	0.7	1.4	1.1	1.5
GOSO	0.5	0.4	0.6	0.6	0.5	0.7	1.3	1.0	1.4
ORSO	0.5	0.3	0.4	0.6	0.4	0.4	1.3	0.7	0.8
EUTI	0.5	0.4	0.5	0.6	0.4	0.6	1.3	1.0	1.2



Şekil 5.12 : 24 saatlik proseslerden elde edilen noktaların standart sapmaların grafik gösterimi

5.2 Sayısal Uygulama II

Bu çalışmada, 6 IGS istasyonundan oluşan bir ağ belirlenmiştir. Tüm noktalar Avrupa plakasından seçilmiştir(şekil 5.13).



Şekil 5.13 : Test Ağı 1

Noktalarda GPS/GLONASS alıcıları bulunmaktadır. Noktalardaki GPS/GLONASS alıcı ve anten tipleri çizelge 5.13' de verilmektedir.

Çizelge 5.13 : Noktalardaki GPS/GLONASS alıcıları

Nokta	**Alıcı**	**Anten**
HERT	*LEICA GRX1200GGPRO*	*LEIAT504GG NONE*
GOPE	*TPS NETG3*	*TPSCR.G3 TPSH*
SOFI	*TPS E_GGD*	*AOAD/M_T NONE*
GLSV	*NOV OEMV3*	*NOV702GG NONE*
LAMA	*LEICA GRX1200GGPRO*	*LEIAT504GG LEIS*
SCOA	*TRIMBLE NETR5*	*TRM55971.00 NONE*

Ağ prosesinde 1 ocak 2010 tarihli 24 saatlik gözlemler kullanılmıştır. Gözlemlerin prosesinde Bernese 5.0 akademik analiz yazılımı kullanılmıştır.

İlk önce 24 saatlik GPS/GLONASS, GPS VE GLONASS gözlemleri proses edilmiştir. GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS gözlemlerinin prosesleri sonucunda elde dilen baz uzunlukları ve rms değerleri çizelge 5.14'de verilmektedir.

Çizelge 5.14 : Değerlendirme sonucunda elde edilen baz uzunlukları ve rms değerleri

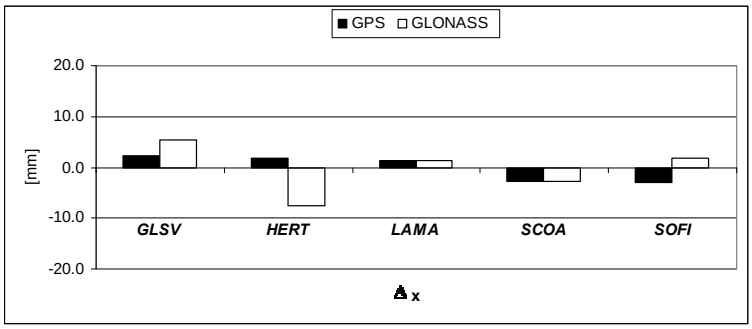
BAZLAR	GPS/GLONASS		GPS		GLONASS	
	UZUNLUK (m)	*rms (mm)*	*UZUNLUK (m)*	*rms (mm)*	*UZUNLUK (m)*	*rms (mm)*
GLSV-LAMA	777645.8835	0.2	777645.8839	0.1	777645.8842	0.3
GLSV-SOFI	1023107.5668	0.2	1023107.5673	0.2	1023107.5620	0.3
GLSV-GOPE	1120826.0959	0.2	1120826.0948	0.1	1120826.0921	0.3
LAMA-SOFI	1274432.9313	0.2	1274432.9314	0.2	1274432.9336	0.3
LAMA-GOPE	599415.7232	0.2	599415.7215	0.1	599415.7226	0.2
LAMA-HERT	1416793.1215	0.2	1416793.1198	0.1	1416793.1208	0.2
SOFI-GOPE	1051001.8056	0.2	1051001.8053	0.2	1051001.8069	0.3
SOFI-SCOA	2031500.6773	0.2	2031500.6779	0.2	2031500.6826	0.3
GOPE-HERT	1030398.2837	0.2	1030398.2836	0.1	1030398.2865	0.3
GOPE-SCOA	1446311.6891	0.2	1446311.6888	0.2	1446311.6935	0.3
HERT-SCOA	843980.1759	0.2	843980.1735	0.2	843980.1815	0.3

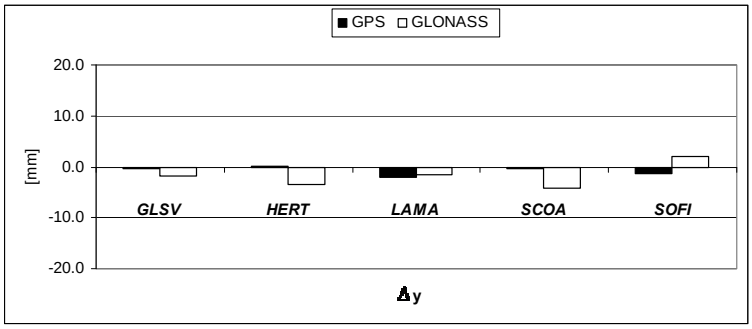
Minimum zorlamalı dengeleme gerçekleştirilmiştir. GOPE noktasına minimum zorlama yapılarak diğer noktaların koordinat bileşenleri hesaplanmıştır.

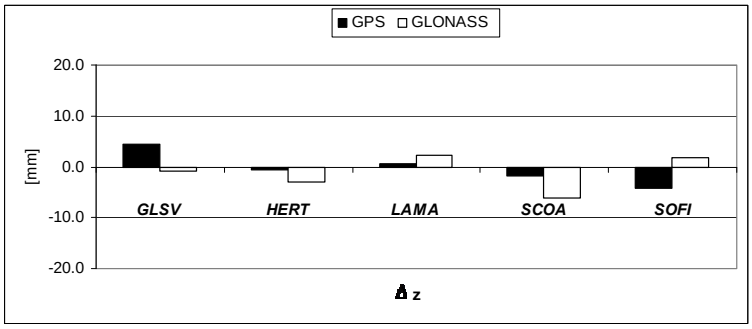
GPS/GLONASS gözlemlerinden elde edilen koordinat değerlerinden olan farklar çizelge 5.15 ve şekil 5.14'de verilmiştir.

Çizelge 5.15 : GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

İSTASYONLAR	*GPS (mm)*			*GLONASS (mm)*		
	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
GLSV	2.2	-0.3	4.5	5.3	-1.7	-0.8
HERT	1.8	0.2	-0.6	-7.5	-3.4	-3.1
LAMA	1.3	-2.0	0.6	1.3	-1.5	2.3
SCOA	-2.8	-0.4	-1.8	-2.8	-4.3	-6.1
SOFI	3.0	1.3	4.2	1.9	2.1	1.7





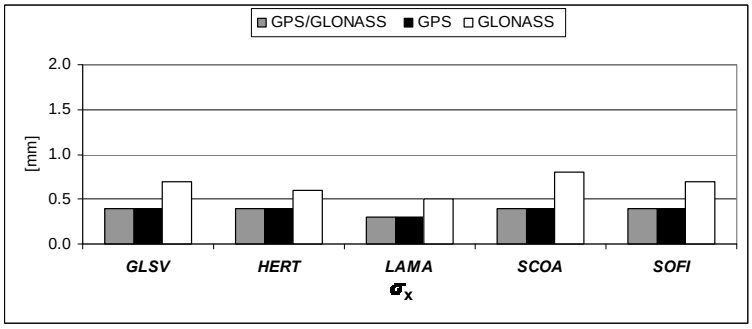


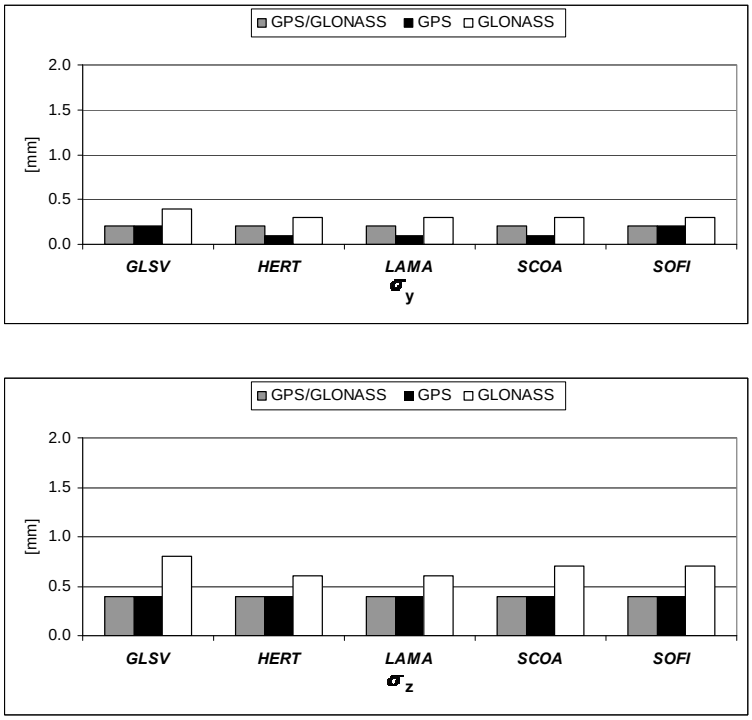
Şekil 5.14 : GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

Çizelge 5.16 ve şekil 5.15' de ise GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemlerinin prosesi sonucu elde edilen koordinatların standart sapmaları verilmiştir. Şekilden de görüldüğü üzere GLONASS sonuçları GPS/GLONASS ve GPS' e nazaran bir miktar büyüktür.

Çizelge 5.16 : Noktaların standart sapmaları

İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
GLSV	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.4	0.7	0.4	0.8
HERT	0.4	0.2	0.4	0.4	0.1	0.4	0.6	0.3	0.6
LAMA	0.3	0.2	0.4	0.3	0.1	0.4	0.5	0.3	0.6
SCOA	0.4	0.2	0.4	0.4	0.1	0.4	0.8	0.3	0.7
SOFI	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.4	0.7	0.3	0.7



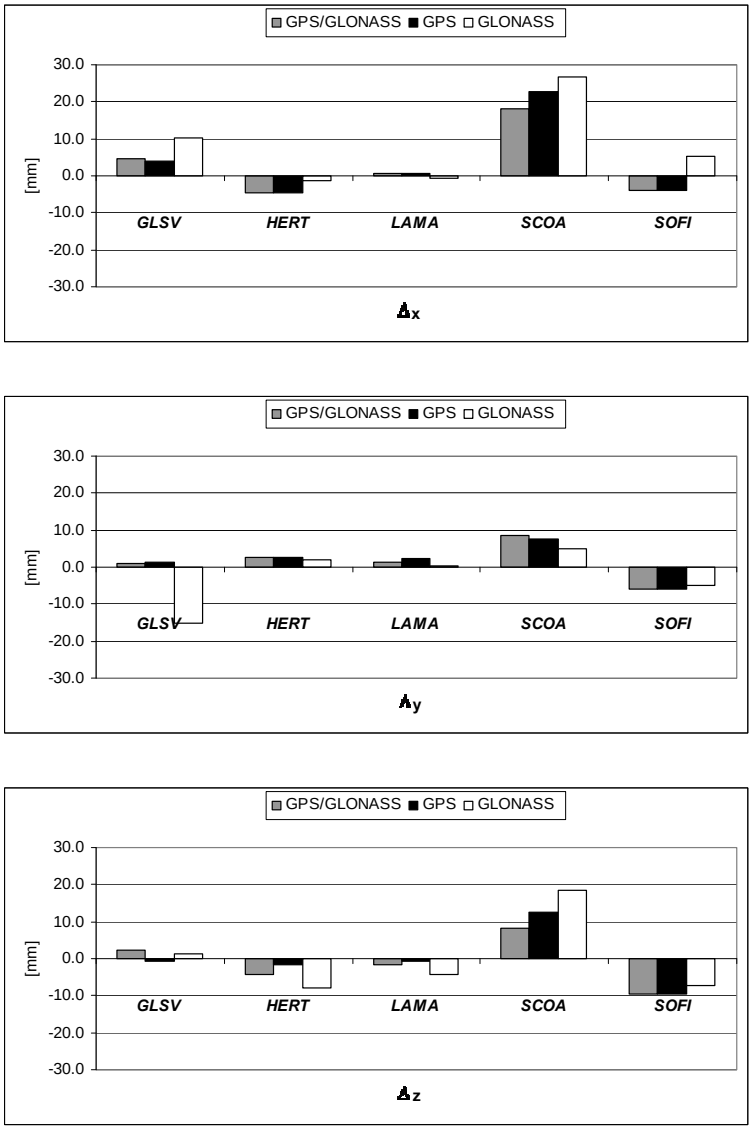


Şekil 5.15 : Noktaların standart sapmalarının grafik gösterimi

Ardından gözlem dosyaları 6 ve 12 saatlik gözlemlere bölünmüştür. Bölme işleminin ardından 6 ve 12 saatlik GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS gözlemlerinin prosesi gerçekleştirilmiştir. 6 saatlik gözlemlerin prosesleri sonucu elde edilen koordinat değerlerinin 24 saatlik GPS/GLONASS değerlerinden olan koordinat farkları çizelge 5.17-5.20 ve şekil 5.16-5.19' da ,12 saatlik gözlemlerin prosesleri sonucu elde edilen koordinat değerlerinin 24 saatlik GPS/GLONASS değerlerinden olan koordinat farkları ise çizelge 5.21, 5.22 ve şekil 5.20, 5.21 de verilmiştir.

Çizelge 5.17 : 0-6 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

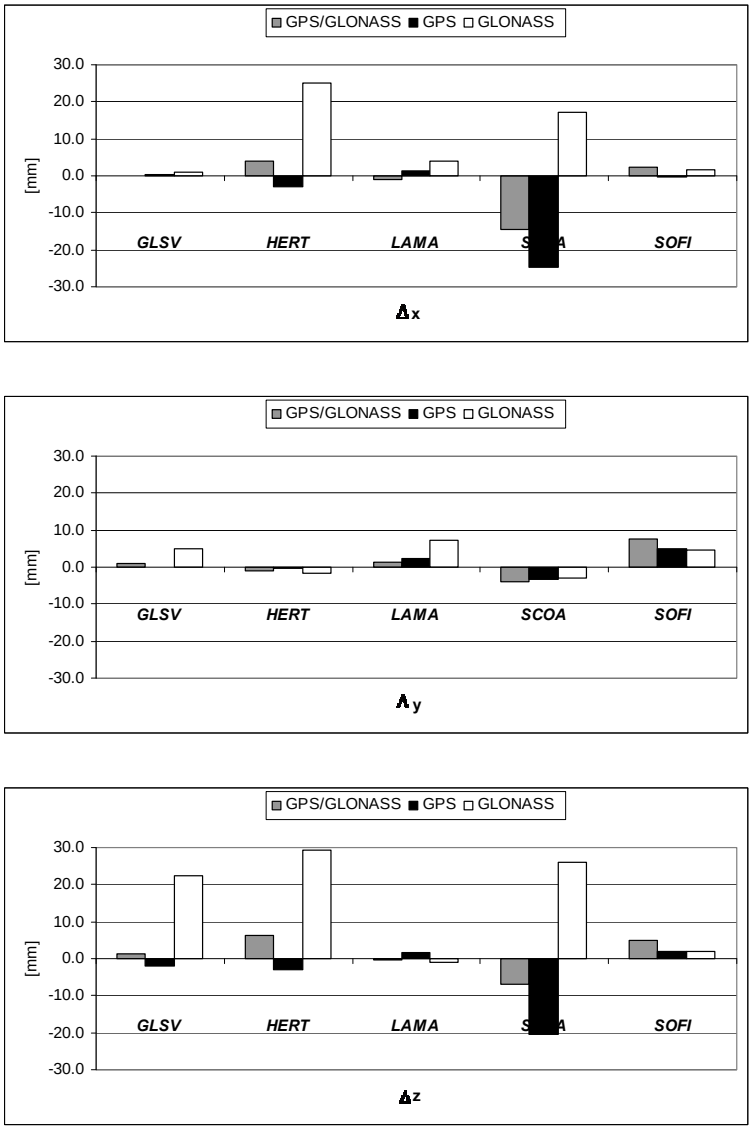
	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
0-6	GLSV	4.5	1.1	2.3	4.0	1.4	-0.8	10.3	-15.2	1.2
	HERT	-4.5	2.7	-4.4	-4.5	2.5	-1.5	-1.3	2.1	-7.9
	LAMA	0.6	1.4	-1.7	0.8	2.2	-0.6	-0.5	0.2	-4.2
	SCOA	18.1	8.7	8.4	22.9	7.6	12.6	26.7	4.8	18.4
	SOFI	-3.8	-5.9	-9.6	-4.1	-5.8	-9.5	5.4	-5.1	-7.1



Şekil 5.16 : 0-6 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

Çizelge 5.18 : 6-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

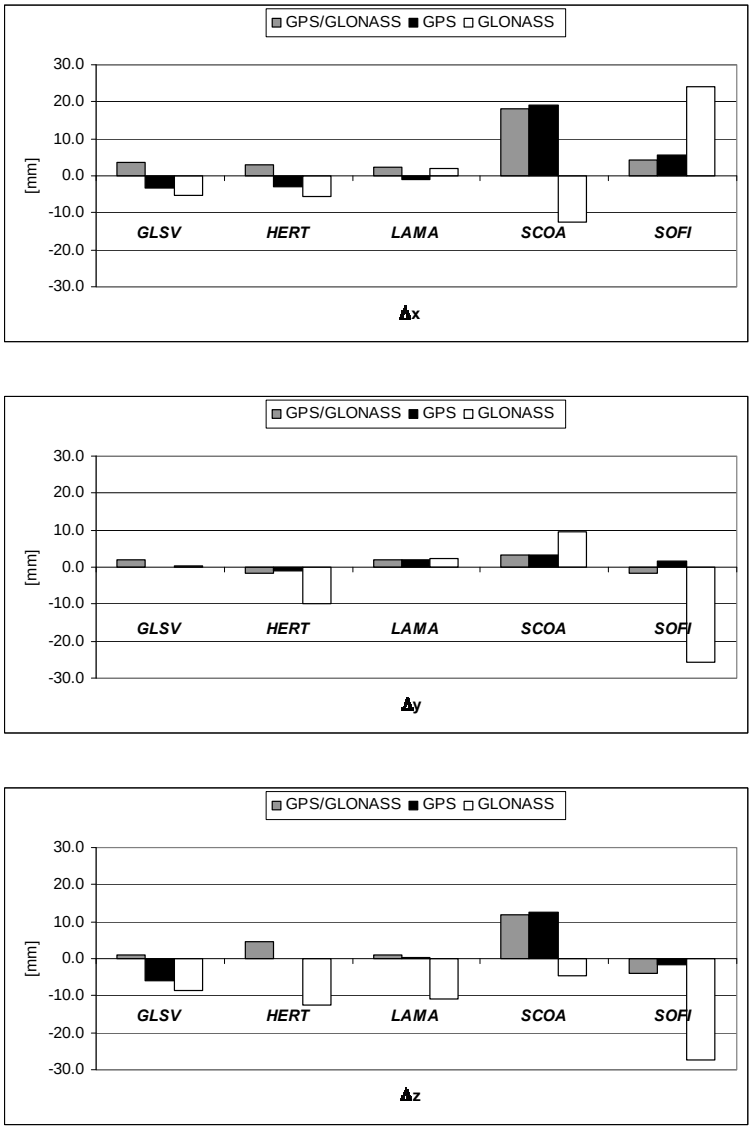
	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
6-12	***GLSV***	0.0	1.0	1.3	0.2	-0.1	-1.9	1.1	4.9	22.5
	HERT	4.0	-0.9	6.1	-2.9	-0.4	-3.1	25.1	-1.7	29.4
	LAMA	-1.0	1.3	-0.4	1.2	2.3	1.8	3.9	7.2	-0.9
	SCOA	-14.5	-3.8	-6.9	-24.6	-3.3	-20.6	17.2	-3.1	26.0
	SOFI	2.3	7.6	4.8	-0.4	5.0	2.0	1.6	4.7	1.9



Şekil 5.17 : 6-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

Çizelge 5.19 : 12-18 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

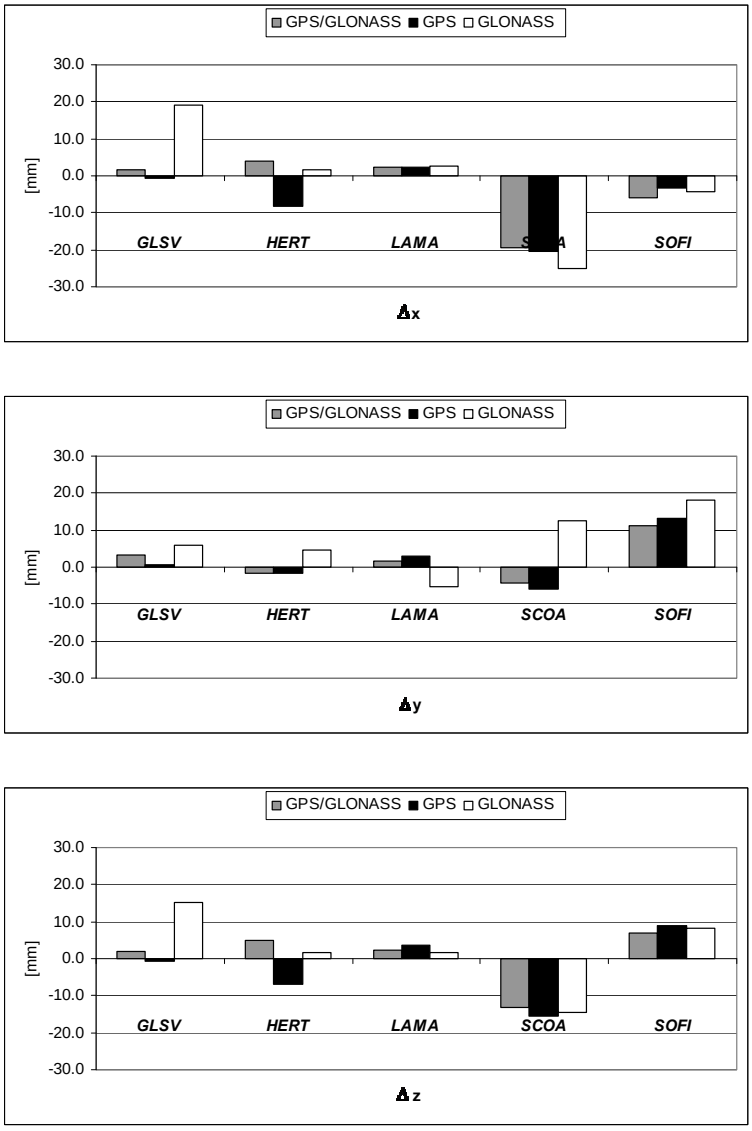
	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
12-18	GLSV	3.7	2.0	0.9	-3.2	-0.1	-5.8	-5.3	0.2	-8.6
	HERT	3.1	-1.5	4.5	-2.9	-1.0	0.1	-5.6	-10.0	-12.4
	LAMA	2.2	2.1	1.1	-1.1	1.9	0.3	2.0	2.4	-10.8
	SCOA	18.1	3.4	11.9	19.1	3.2	12.6	-12.4	9.6	-4.7
	SOFI	4.3	-1.7	-3.9	5.5	1.8	-1.6	24.2	-25.7	-27.2



Şekil 5.18 : 12-18 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

Çizelge 5.20 : 18-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

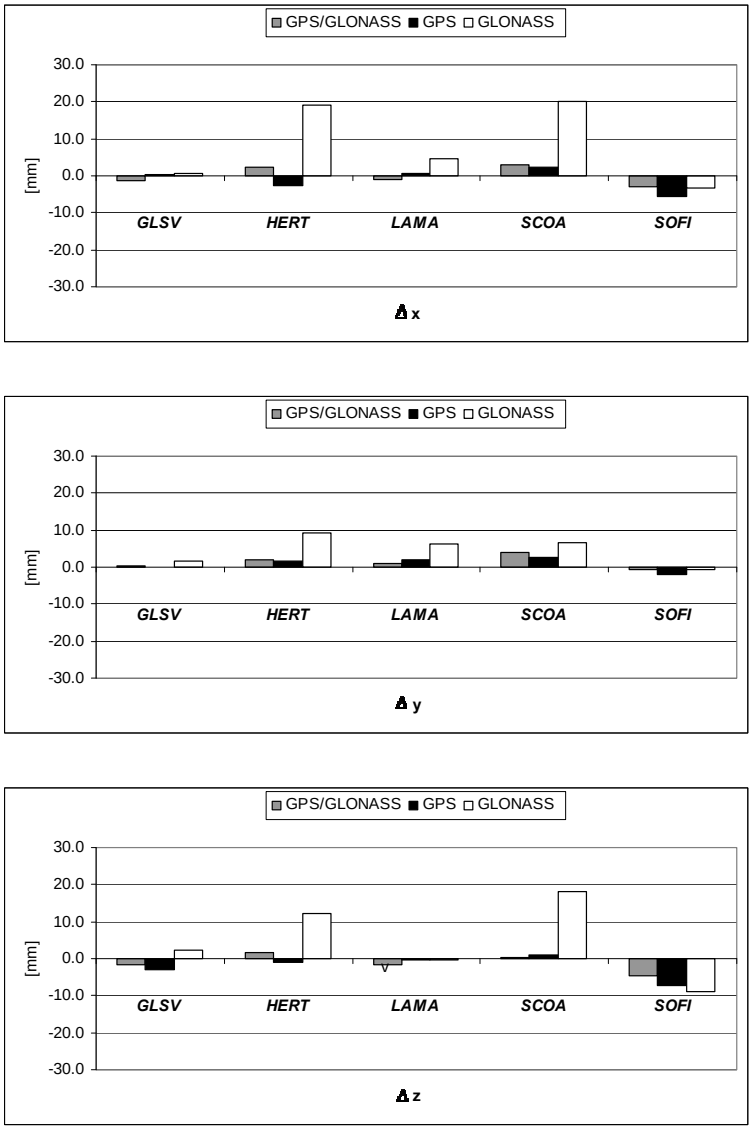
	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
18-24	GLSV	1.7	3.3	2.1	-0.8	0.7	-0.6	19.2	5.8	15.2
	HERT	4.1	-1.5	4.9	-8.3	-1.6	-6.8	1.6	4.6	1.8
	LAMA	2.2	1.8	2.2	2.2	2.9	3.6	2.8	-5.4	1.8
	SCOA	-19.4	-4.3	-13.1	-20.3	-5.9	-15.4	-25.0	12.5	-14.6
	SOFI	-6.0	11.1	6.8	-3.4	13.3	9.0	-4.4	18.1	8.3



Şekil 5.19 : 18-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

Çizelge 5.21 : 0-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

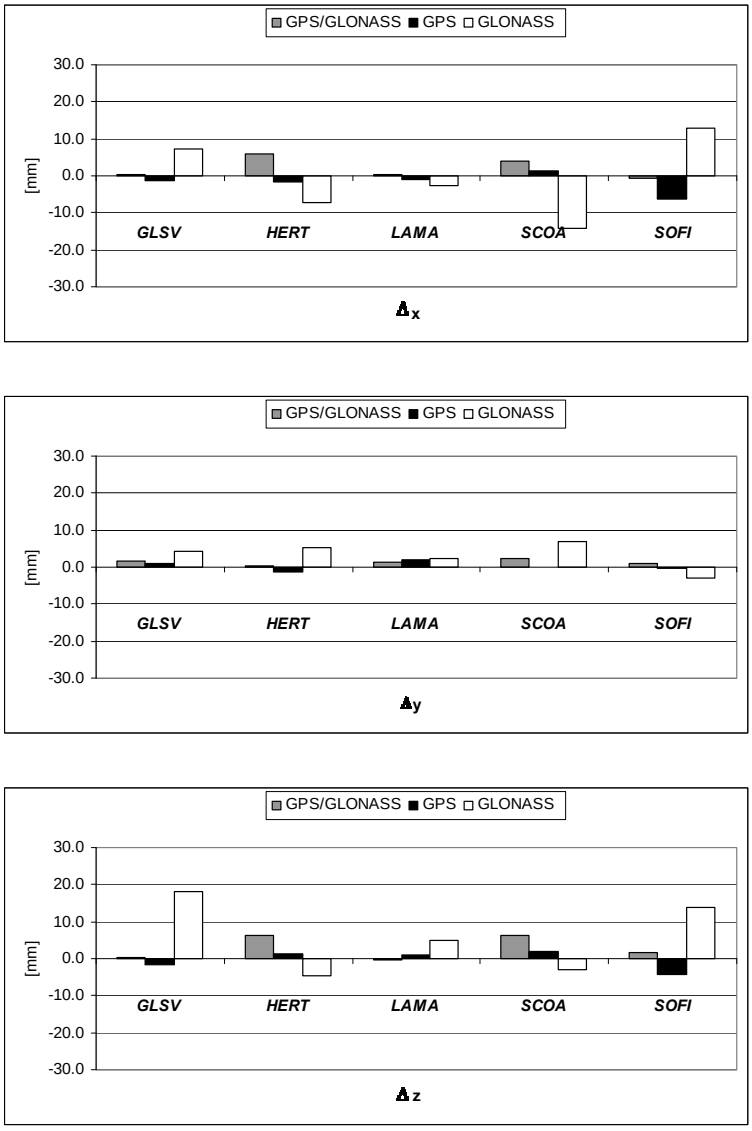
	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
0-12	***GLSV***	-1.4	0.2	-1.8	0.2	-0.1	-3.1	0.5	1.6	2.3
	HERT	2.4	1.9	1.8	-2.6	1.8	-0.9	19.0	9.1	12.3
	LAMA	-0.9	1.0	-1.8	0.8	2.1	-0.4	4.7	6.2	-0.2
	SCOA	3.1	4.0	0.2	2.3	2.8	1.1	20.1	6.5	18.1
	SOFI	-3.0	-0.6	-4.6	-5.7	-2.1	-7.4	-3.3	-0.6	-9.0



Şekil 5.20 : 0-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

Çizelge 5.22 : 12-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farkları

	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
12-24	GLSV	0.3	1.7	0.3	-1.2	1.0	-1.7	7.3	4.2	18.2
	HERT	5.8	0.4	6.1	-1.5	-1.3	1.4	-7.1	5.3	-4.7
	LAMA	0.2	1.3	-0.3	-0.9	2.1	0.9	-2.8	2.4	5.0
	SCOA	4.1	2.3	6.3	1.4	0.1	2.1	-14.1	6.9	-2.9
	SOFI	-0.8	0.9	1.8	-6.2	-0.3	-4.2	12.7	-3.1	13.8

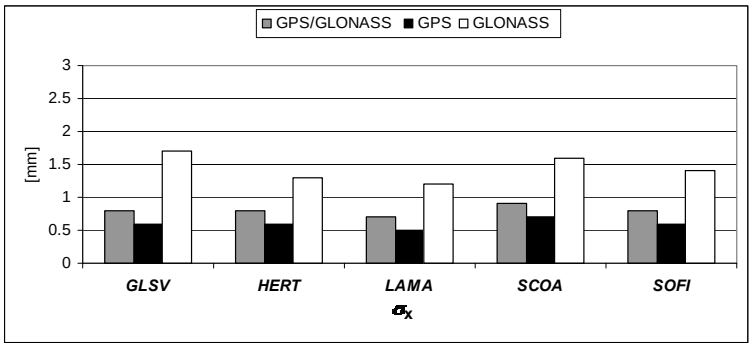


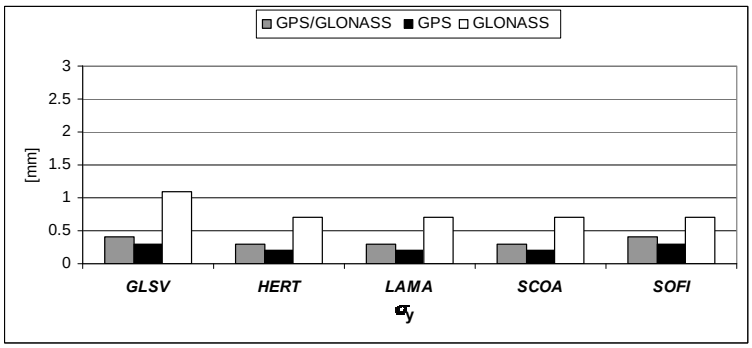
Şekil 5.21 : 12-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS koordinatlarından olan koordinat farklarının grafik gösterimi

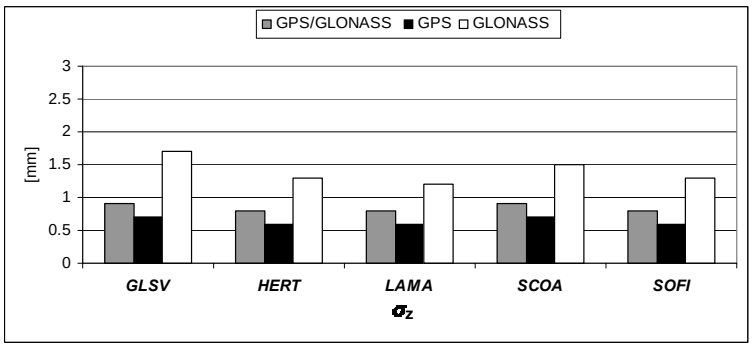
Çizelge 5.23-5.26 ve şekil 5.22-5.25 'de ise 6 saatlik gözlemlerin prosesi sonucu elde edilen koordinatların standart sapmaları, çizelge 5.27, 5.28 ve şekil 5.26, 5.27'de ise 12 saatlik gözlemlerin prosesi sonucu elde edilen koordinatların standart sapmaları verilmiştir. Görüldüğü üzere tüm zaman dilimlerinde GLONASS değerleri GPS/GLONASS ve GPS değerlerinden büyüktür.

Çizelge 5.23 : 0-6 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları

	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
0-6	***GLSV***	0.8	0.4	0.9	0.6	0.3	0.7	1.7	1.1	1.7
	HERT	0.8	0.3	0.8	0.6	0.2	0.6	1.3	0.7	1.3
	LAMA	0.7	0.3	0.8	0.5	0.2	0.6	1.2	0.7	1.2
	SCOA	0.9	0.3	0.9	0.7	0.2	0.7	1.6	0.7	1.5
	SOFI	0.8	0.4	0.8	0.6	0.3	0.6	1.4	0.7	1.3



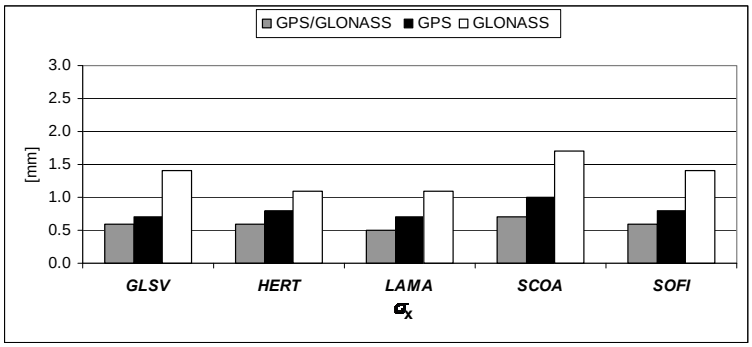


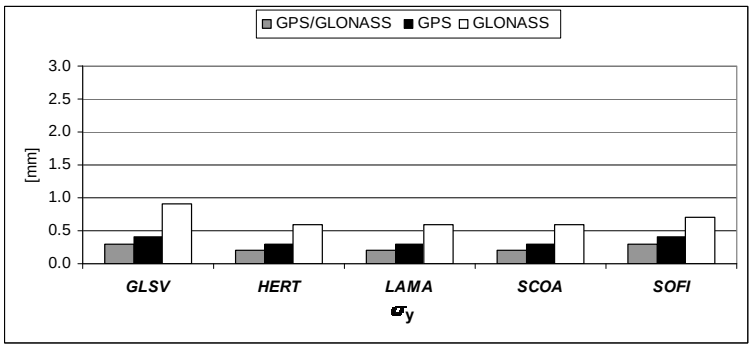


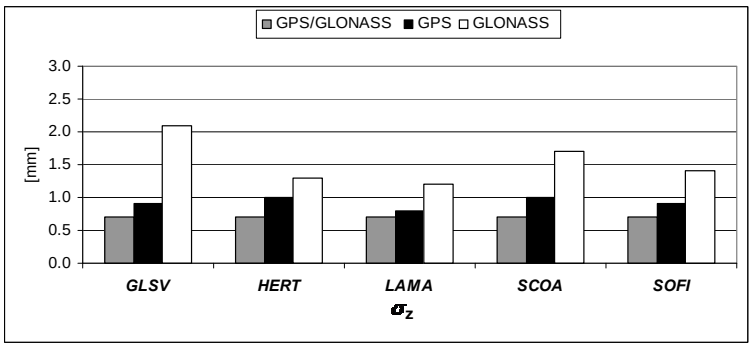
Şekil 5.22 : 0-6 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi

Çizelge 5.24 : 6-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları

	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
6-12	GLSV	0.6	0.3	0.7	0.7	0.4	0.9	1.4	0.9	2.1
	HERT	0.6	0.2	0.7	0.8	0.3	1.0	1.1	0.6	1.3
	LAMA	0.5	0.2	0.7	0.7	0.3	0.8	1.1	0.6	1.2
	SCOA	0.7	0.2	0.7	1.0	0.3	1.0	1.7	0.6	1.7
	SOFI	0.6	0.3	0.7	0.8	0.4	0.9	1.4	0.7	1.4



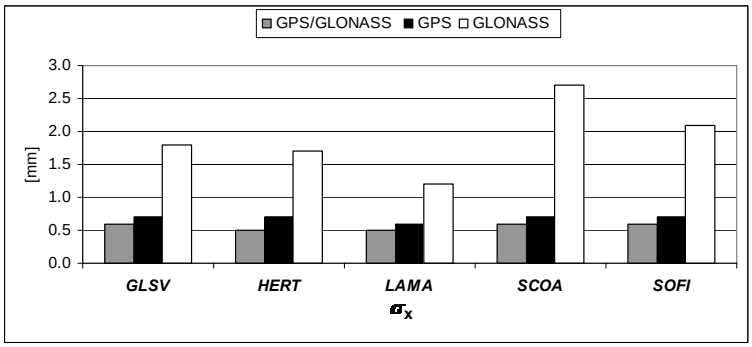


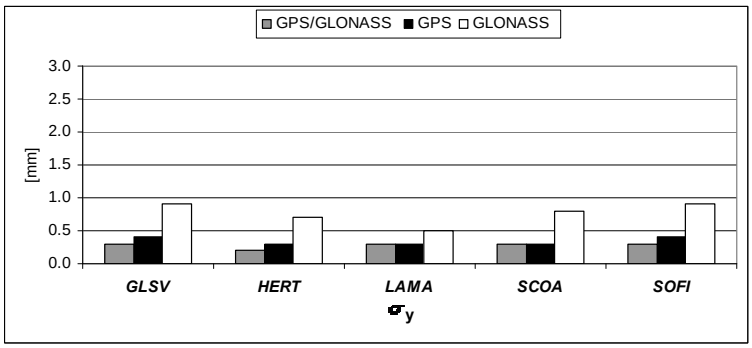


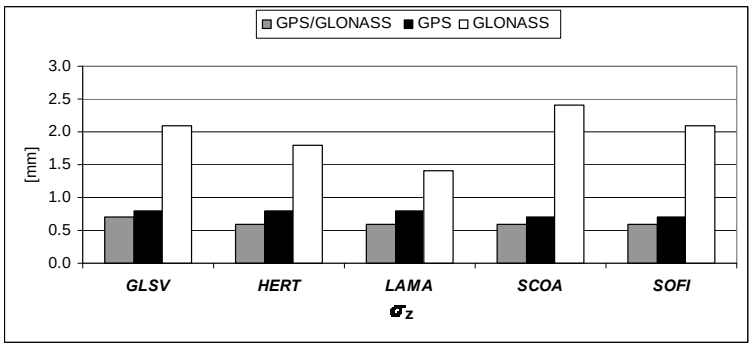
Şekil 5.23 : 6-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi

Çizelge 5.25 : 12-18 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları

	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
12-18	GLSV	0.6	0.3	0.7	0.7	0.4	0.8	1.8	0.9	2.1
	HERT	0.5	0.2	0.6	0.7	0.3	0.8	1.7	0.7	1.8
	LAMA	0.5	0.3	0.6	0.6	0.3	0.8	1.2	0.5	1.4
	SCOA	0.6	0.3	0.6	0.7	0.3	0.7	2.7	0.8	2.4
	SOFI	0.6	0.3	0.6	0.7	0.4	0.7	2.1	0.9	2.1



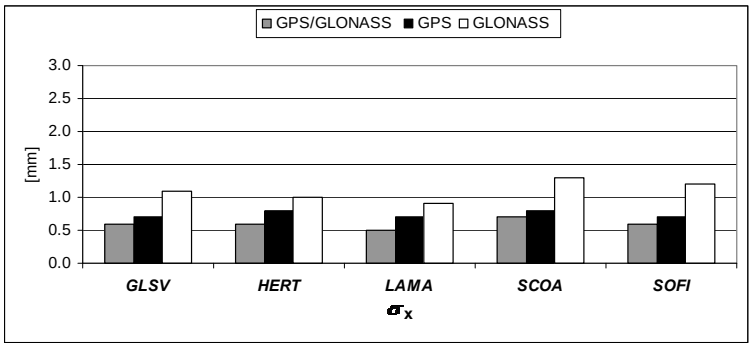


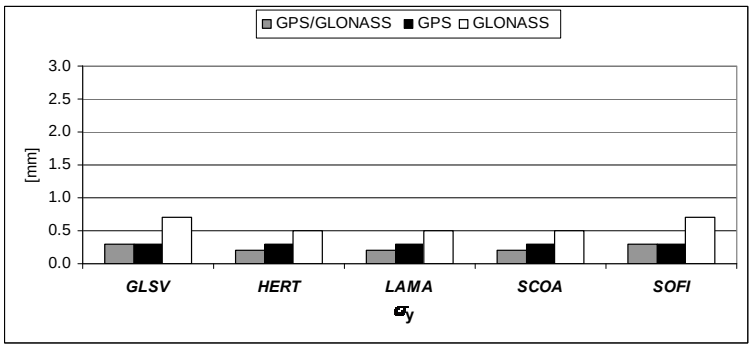


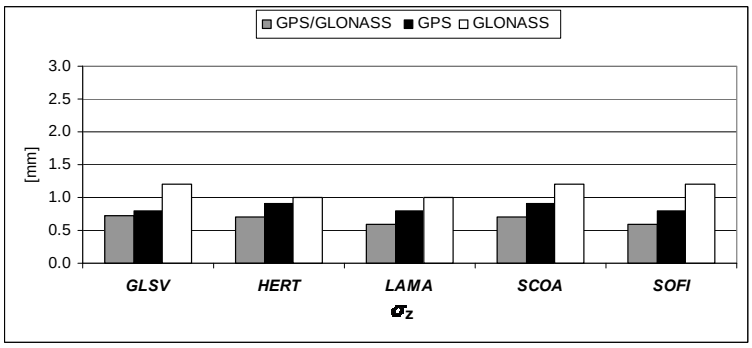
Şekil 5.24 : 12-18 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi

Çizelge 5.26 : 18-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları

	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
18-24	GLSV	0.6	0.3	0.7	0.7	0.3	0.8	1.1	0.7	1.2
	HERT	0.6	0.2	0.7	0.8	0.3	0.9	1.0	0.5	1.0
	LAMA	0.5	0.2	0.6	0.7	0.3	0.8	0.9	0.5	1.0
	SCOA	0.7	0.2	0.7	0.8	0.3	0.9	1.3	0.5	1.2
	SOFI	0.6	0.3	0.6	0.7	0.3	0.8	1.2	0.7	1.2



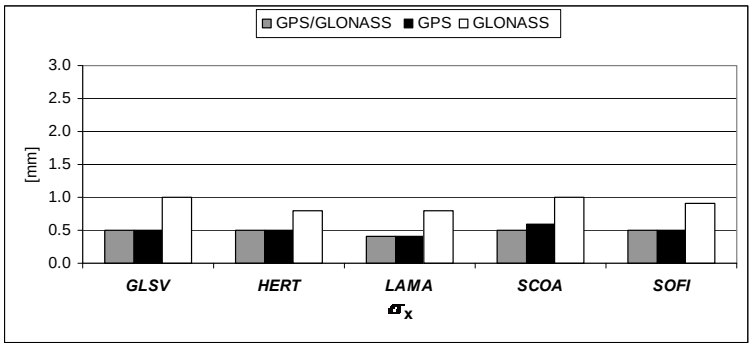


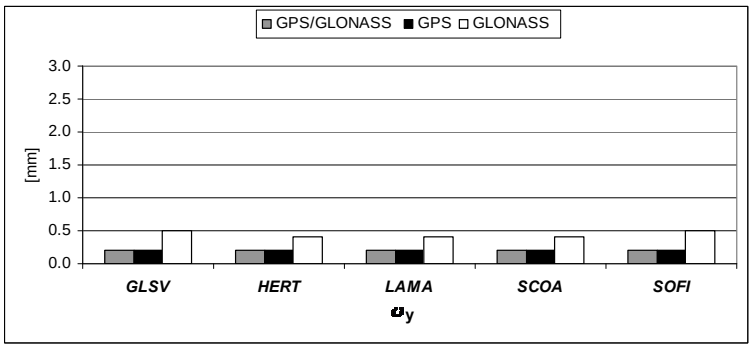


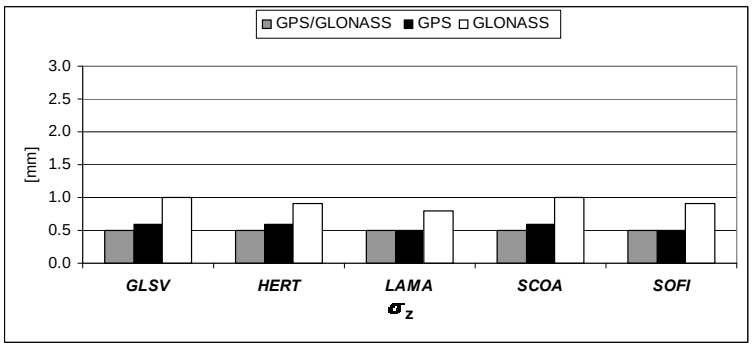
Şekil 5.25 : 18-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi

Çizelge 5.27 : 0-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları

	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
0-12	***GLSV***	0.5	0.2	0.5	0.5	0.2	0.6	1.0	0.5	1.0
	HERT	0.5	0.2	0.5	0.5	0.2	0.6	0.8	0.4	0.9
	LAMA	0.4	0.2	0.5	0.4	0.2	0.5	0.8	0.4	0.8
	SCOA	0.5	0.2	0.5	0.6	0.2	0.6	1.0	0.4	1.0
	SOFI	0.5	0.2	0.5	0.5	0.2	0.5	0.9	0.5	0.9



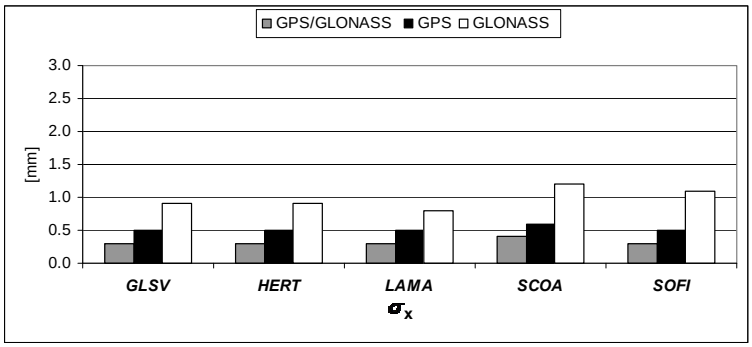


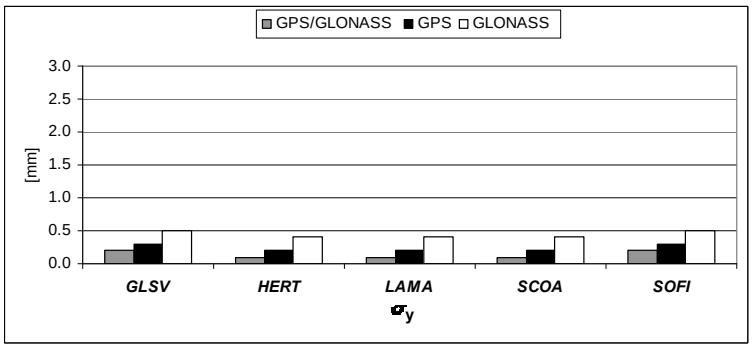


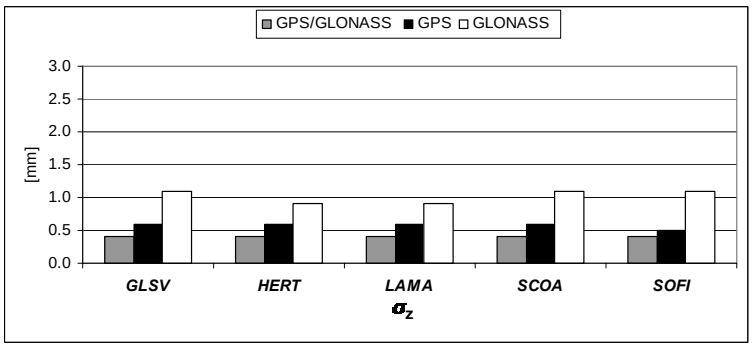
Şekil 5.26 : 0-12 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi

Çizelge 5.28 : 12-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmaları

	İSTASYONLAR	GPS/GLONASS (mm)			GPS (mm)			GLONASS (mm)		
		σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
12-24	GLSV	0.3	0.2	0.4	0.5	0.3	0.6	0.9	0.5	1.1
	HERT	0.3	0.1	0.4	0.5	0.2	0.6	0.9	0.4	0.9
	LAMA	0.3	0.1	0.4	0.5	0.2	0.6	0.8	0.4	0.9
	SCOA	0.4	0.1	0.4	0.6	0.2	0.6	1.2	0.4	1.1
	SOFI	0.3	0.2	0.4	0.5	0.3	0.5	1.1	0.5	1.1



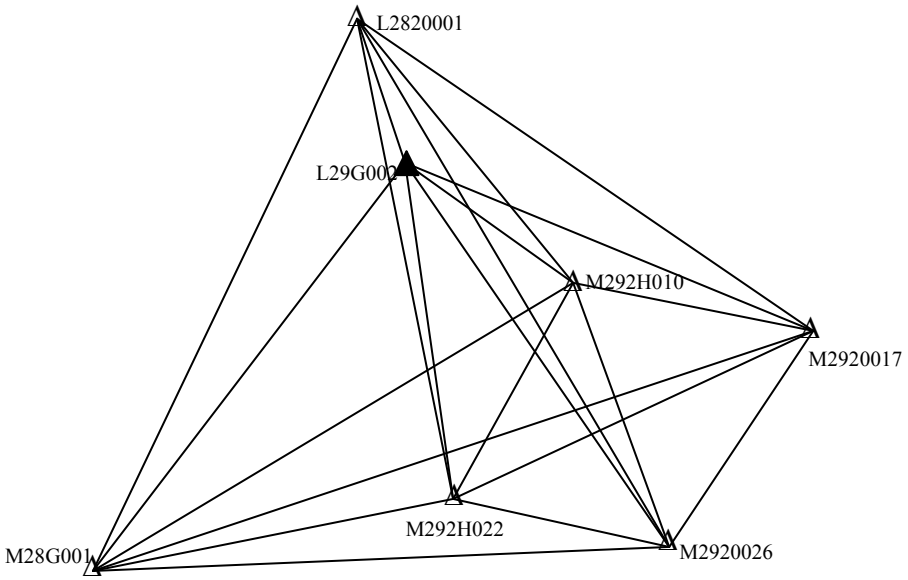




Şekil 5.27 : 12-24 zaman diliminde elde edilen koordinatların standart sapmalarının grafik gösterimi

5.3 Sayısal Uygulama III

Bu çalışmada, Konya mücavir alan sınırları içerisinde $38^o04'08.925'' - 37^o50'56.506''$ enlemleri ile $32^o23'39.563'' - 32^o43'04.444''$ boylamları arasında kalan çalışma bölgesinde 7 adet noktada eş zamanlı olarak 6 saat ölçü yapılmıştır(Şekil 5.16). Bu noktalardan M28G001 ve L29G002 TUTGA noktalarıdır. Tüm noktaların zemin tesisi pilye şeklindedir.

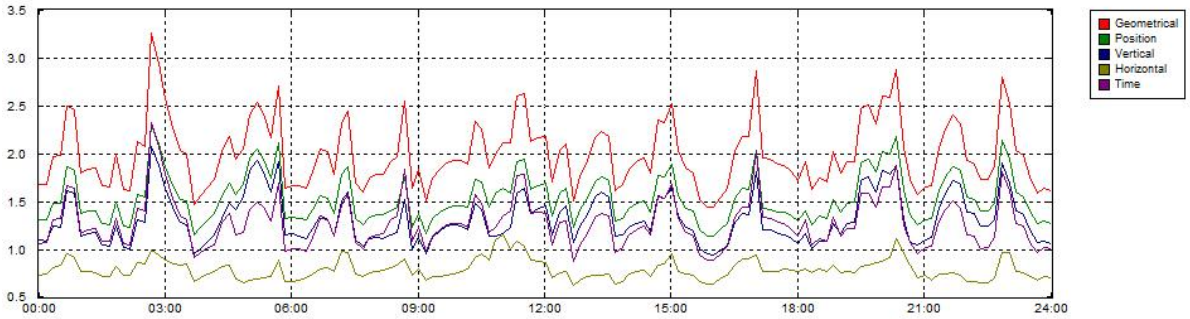


Şekil 5.28: Test Ağı 2

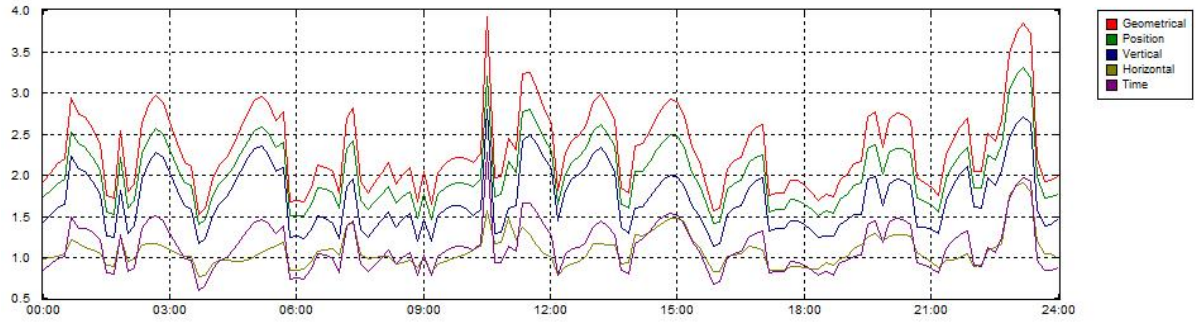
Ölçüler GPS/GLONASS alıcı ve anten tipleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tüm noktalarda Topcon firmasının TPSHIPER_PRO modelinden yararlanılmıştır.

Gözlem parametreleri olarak uydu yükseklik açısı 10^o, veri kayıt aralığı 10 sn seçilmiştir. Noktalar arasında oluşturulan baz uzunlukları 5240 m ile 28481 m arasında değişmektedir..

Ölçüye çıkılmadan önce Trimble Planning yazılımı kullanılarak görev planlaması yapılmıştır. Ölçü gününe ait DOP değerlerinin değişimi incelenmiştir(şekil 5.29-5.30). Görüldüğü üzere en uygun ölçü zamanı 11-18 saatleri arasıdır. Ölçüler bu saatler arasında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.29 : GPS/GLONASS görev planlamasına ait DOP grafiği



Şekil 5.30 : GPS görev planlamasına ait DOP grafiği

Ölçü sonucunda elde edilen veriler RINEX formatına dönüştürülmüştür. Prosesler Bernese 5.0 akademik analiz yazılımıyla gerçekleştirilmiştir. Prosesler GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemleri kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Dengeleme işleminde minimum zorlama L29G002 noktasına yapılmış ve noktaların koordinatları hesaplanmıştır. Değerlendirmeler sırasında GLONASS uydu sinyallerinden kaynaklanan problemler yüzünden beklenen düzeyde bir doğruluk elde edilememiştir. Çizelge 5.29'da değerlendirme sonucunda elde edilen baz uzunlukları ve rms değerleri verilmektedir.

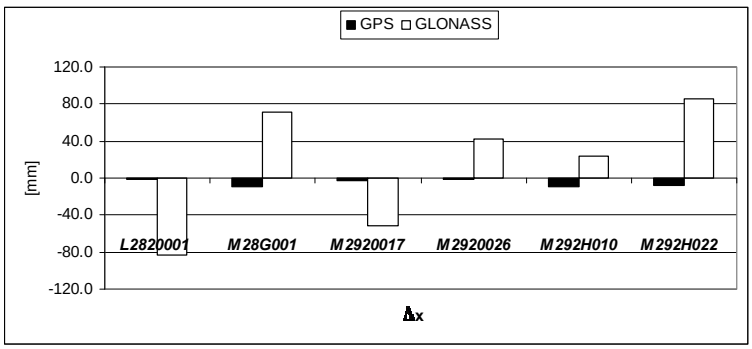
Çizelge 5.29 : Değerlendirme sonucunda elde edilen baz uzunlukları ve rms değerleri

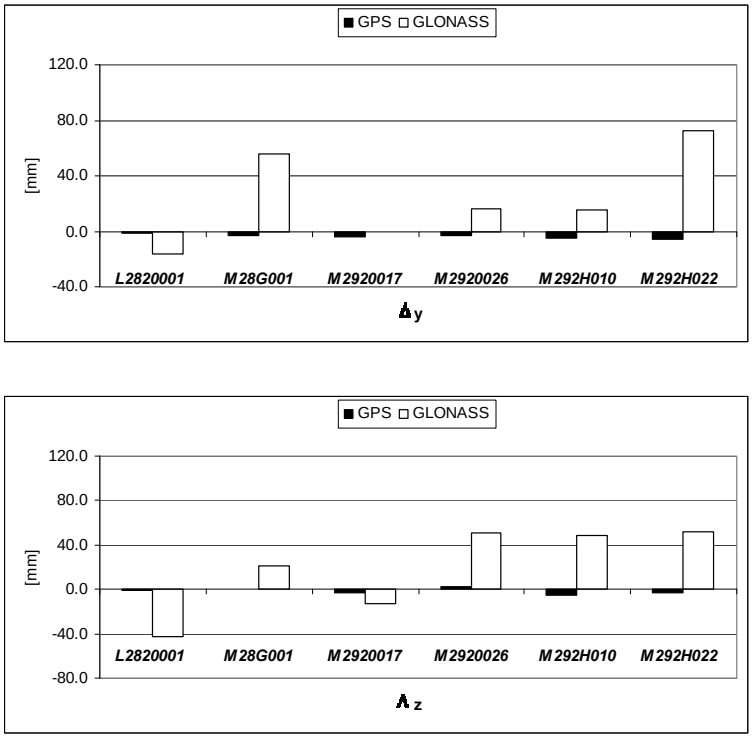
BAZLAR	GPS/GLONASS		GPS		GLONASS	
	UZUNLUK (m)	*rms (mm)*	*UZUNLUK (m)*	*rms (mm))*	*UZUNLUK (m)*	*rms (mm)*
L2820001-L29G002	5240.0075	0.2	5240.0071	0.2	5240.0008	5.1
L2820001-M28G001	23753.5626	0.4	23753.5686	0.5	23753.5036	5.6
L2820001-M2920026	23544.8726	0.4	23544.8755	0.5	23544.8899	6.0
L2820001-M292H010	12940.5676	0.3	12940.5675	0.3	12940.5924	5.3
L2820001-M292H022	19060.9374	0.4	19060.9407	0.4	19060.9007	6.2
L2820001-M2920017	21710.4922	0.4	21710.4933	0.4	21710.4967	6.5
L29G002-M28G001	19649.0730	0.4	19649.0788	0.4	19649.0429	4.4
L29G002-M2920026	18502.1909	0.3	18502.1945	0.4	18502.2069	5.4
L29G002-M292H010	8340.4400	0.2	8340.4401	0.2	8340.4545	4.6
L29G002-M292H022	13835.0594	0.3	13835.0631	0.3	13835.0317	5.5
L29G002-M2920017	18241.1224	0.3	18241.1243	0.4	18241.1035	5.8
M28G001-M2920026	19331.6970	0.4	19331.7019	0.4	19331.7103	4.2
M28G001-M292H010	19865.1753	0.4	19865.1784	0.4	19865.1468	3.2
M28G001-M292H022	12214.7400	0.2	12214.7427	0.3	12214.7311	2.9
M28G001-M2920017	28481.4945	0.5	28481.5000	0.5	28481.4561	5.0
M2920026-M292H010	10915.9602	0.2	10915.9622	0.3	10915.9550	1.6
M2920026-M292H022	7857.3463	0.2	7857.3481	0.2	7857.3802	4.2
M2920026-M2920017	11541.0460	0.2	11541.0473	0.3	11541.0207	2.9
M292H010-M292H022	9351.8977	0.2	9351.8991	0.2	9351.8626	3.1
M292H010-M2920017	10637.5585	0.2	10637.5612	0.2	10637.5312	4.3
M292H022-M2920017	16344.3826	0.3	16344.3855	0.3	16344.3541	3.4

GPS/GLONASS gözlemlerinin değerlendirilmesiyle elde edilen koordinatlardan olan koordinat farkları çizelge 5.30 ve şekil 5.31'de verilmiştir.

Çizelge 5.30 : GPS ve GPS/GLONASS ile elde edilen koordinat bileşenleri arasındaki farklar

Noktalar	*GPS (mm)*			*GLONASS (mm)*		
	Δx	Δy	Δz	Δx	Δy	Δz
L2820001	-1.1	-1.7	-1.2	-82.9	-16.4	-42.3
M28G001	-8.9	-2.7	-0.3	71.4	55.4	21.3
M2920017	-3.1	-4.1	-2.6	-50.9	-0.6	-12.8
M2920026	-0.7	-3.0	1.9	41.7	16.7	50.8
M292H010	-9.1	-4.5	-5.7	24.3	15.7	49.0
M292H022	-8.4	-5.3	-2.9	85.3	72.7	52.2



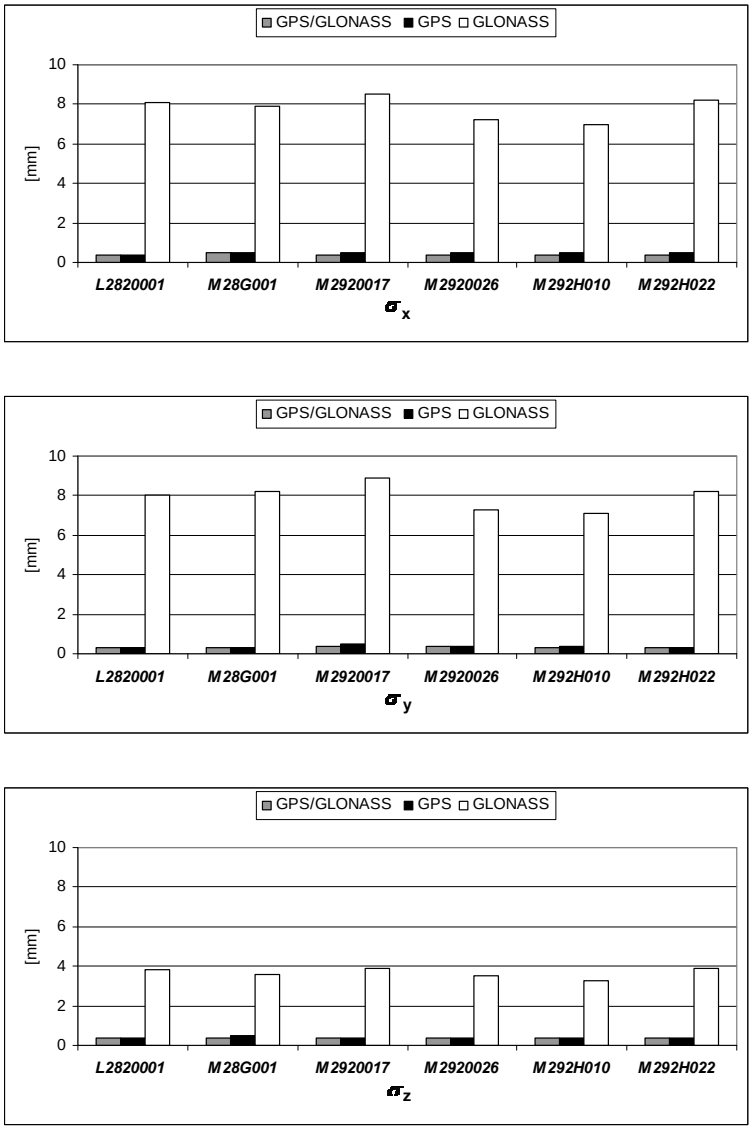


Şekil 5.31 : GPS ve GPS/GLONASS ile elde edilen koordinat bileşenleri arasındaki farkların grafik gösterimi

Çizelge 5.31 ve şekil 5.32'de ise GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemlerinin prosesi sonucu elde edilen koordinatların standart sapmaları verilmiştir. Görüldüğü üzere GLONASS değerleri GPS/GLONASS ve GPS değerlerine göre oldukça büyüktür.

Çizelge 5.31 : Noktaların standart sapmaları

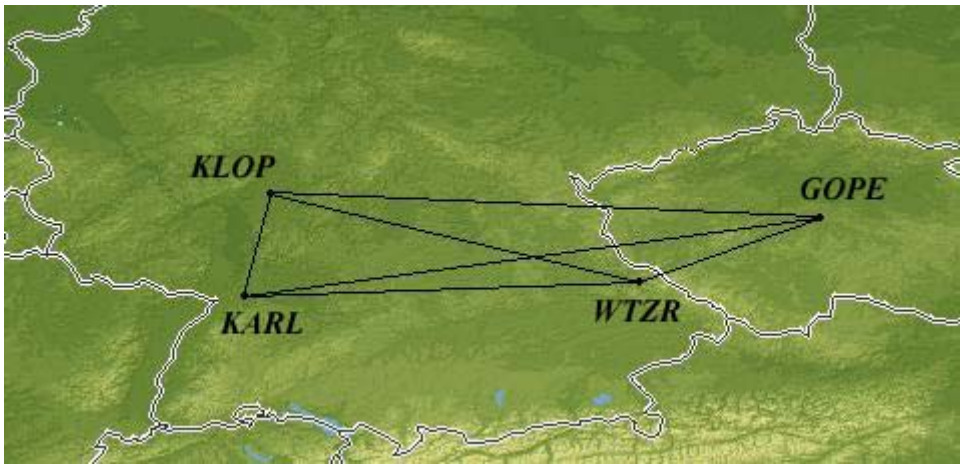
Noktalar	*GPS/GLONASS (mm)*			*GPS (mm)*			*GLONASS (mm)*		
	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z	σ_x	σ_y	σ_z
L2820001	0.4	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	8.1	8.0	3.8
M28G001	0.5	0.3	0.4	0.5	0.3	0.5	7.9	8.2	3.6
M2920017	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	8.5	8.9	3.9
M2920026	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	7.2	7.3	3.5
M292H010	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.4	7.0	7.1	3.3
M292H022	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	8.2	8.2	3.9



Şekil 5.32 : Noktaların standart sapmalarının grafik gösterimi

5.4 Sayısal Uygulama IV

Bu çalışmada noktalar arasındaki baz uzunlukları 162 km ile 473 km arasında değişen, GPS/GLONASS alıcılarıyla donatılmış 4 IGS noktasından oluşan bir ağ belirlenmiştir(şekil 5.33). Noktalardaki alıcı ve anten tipleri çizelge 5.32' de verilmektedir.



Şekil 5.33 : Test Ağı 3

Çizelge 5.32 : Noktalardaki GPS/GLONASS alıcıları

Nokta	Alıcı	Anten
GOPE	*TPS NETG3*	*TPSCR.G3 TPSH*
KARL	*JPS LEGACY*	*TRM29659.00 NONE*
KLOP	*TRIMBLE NETR5*	*TRM55971.00 TZGD*
WTZR	*LEICA GRX1200GGPRO*	*LEIAR25 LEIT*

GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS gözlemlerinin değerlendirilmesi ile elde edilen sonuçların tekrarlanabilirliğini araştırmak amacıyla 18.04.2010-27.04.2010 tarihleri arasındaki 10 günlük GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS gözlem verileri ayrı ayrı proses edilmiştir. Prosesler sonucunda her bir bazın 10 günlük değerlerinin ortalaması çizelge 5.33'de verilmiştir.

Çizelge 5.33 : 10 güne ait baz uzunluk değerlerinin ortalaması

BAZLAR	*ORTALAMA UZUNLUKLAR (m)*		
	GPS/GLONASS	*GPS*	*GLONASS*
GOPE-KARL	472627.6032	472627.6051	472627.6031
GOPE-KLOP	434723.1502	434723.1513	434723.1496
GOPE-WTZR	162417.4645	162417.4655	162417.4620
KARL-KLOP	136373.5301	136373.5305	136373.5281
KARL-WTZR	326670.7268	326670.7281	326670.7300
KLOP-WTZR	322366.4510	322366.4520	322366.4528

Değerlendirmeler sonucunda elde edilen baz uzunluklarının, ortalama değerlerden(çizelge 5.33) olan farkları belirlenmiş ve bunlardan en yüksek ve en düşük değerler çizelge 5.34'de

verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü üzere en yüksek değerler GLONASS ile elde edilen değerlerdir.

Çizelge 5.34 : Ortalama baz uzunluklarından olan farklar

BAZLAR	*GPS/GLONASS (mm)*		*GPS (mm)*		*GLONASS (mm)*	
	En Düşük	*En Yüksek*	*En Düşük*	*En Yüksek*	*En Düşük*	*En Yüksek*
GOPE-KARL	0.0	2.0	0.0	-1.0	0.0	3.7
GOPE-KLOP	0.1	1.8	0.0	-0.9	-0.2	-2.2
GOPE-WTZR	0.0	0.8	-0.1	-0.8	0.0	-4.9
KARL-KLOP	0.2	1.7	0.1	-1.8	0.0	1.3
KARL-WTZR	0.1	2.3	0.0	-1.0	0.0	5.9
KLOP-WTZR	0.1	-1.1	0.0	-1.0	-0.4	-4.6

GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS ile elde edilen bazlara ait karesel ortalama hatalar $m = \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$ eşitliğinden hesaplanmıştır(çizelge 5.35). Burada v değeri ortalama değerlerden olan fark değerini, n ise 10 günlük verilerin değerlendirilmesi dolayısıyla 10'u ifade etmektedir.

Çizelge 5.35 : Bazlara ait karesel ortalama hatalar

BAZLAR	*GPS/GLONASS (mm)*	*GPS (mm)*	*GLONASS (mm)*
GOPE-KARL	1.03	0.64	1.62
GOPE-KLOP	0.97	0.54	1.37
GOPE-WTZR	0.44	0.43	2.21
KARL-KLOP	0.83	1.03	0.56
KARL-WTZR	0.90	0.71	3.12
KLOP-WTZR	0.84	0.52	2.31

Çizelge 5.35'ten de görüldüğü üzere GLONASS çözümlerine ait karesel ortalama değerleri GPS ve GPS/GLONASS' a nazaran genelde büyüktür.

6. SONUÇLAR

Uydularla konum belirleme sistemi önemini gün geçtikçe arttırmaktadır. Çünkü bu sistem yalnızca navigasyon amaçlı değil, günlük yaşantımızın hemen her aşamasında kullanılabilen bir sistem haline gelmiştir. Her ne kadar uydularla konum belirleme sistemi denildiğinde GPS algılansa da günümüzde diğer sistemlerin de aşama kaydetmesi bu anlayışı yavaş yavaş değiştirmektedir.

GLONASS yakın zamanda atılan uydularıyla birlikte global konumlamada kullanılabilir hale gelmiştir. Ayrıca sistemlerin yalnız değil de birlikte kullanılabilme düşüncesi GPS ve GLONASS' in entegrasyonunu gündeme getirmiştir. Sonucunda yüksek duyarlılıklı GPS/GLONASS alıcıları üretilmiştir. GPS ve GLONASS gözlemlerinin birlikte değerlendirilmesinin birçok yönden avantaj sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu gelişmeler ışığında GLONASS' in global konumlamada kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla dört çalışma gerçekleştirilmiş ve sonuçlar analiz edilmiştir.

Tüm çalışmalarda prosesler Bernese 5.0 akademik analiz yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

İlk çalışmada IGS noktaları arasında oluşturulan 4 baz ayrı ayrı proses edilmiştir. Proses işlemi önce 24 saatlik gözlemler kullanılarak ardından 8 ve 4 saatlik gözlemlerle gerçekleştirilmiştir. Her bir proses GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemleri kullanılarak ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir.

24 saatlik gözlemlerin prosesi sonucu elde edilen koordinatlar karşılaştırıldığında GLONASS ile elde edilen değerlerin bir miktar farklı oluğu görülmektedir. Bu farkların GLONASS uydu sayısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü proseslerde ortalama 15 GLONASS uydusu kullanılmıştır. Diğerleri, kötü gözlemleri nedeniyle yazılım tarafından elemine edilmiştir. Noktaların hassasiyetleri dikkate alındığında, GLONASS ile elde edilen değerler bir miktar büyüktür. Bunun nedeninin GLONASS gözlem sayısından kaynaklandığı düşünülmektedir.

8 saatlik gözlemler sonucu elde edilen koordinat değerleri 24 saatlik GPS+GLONASS değerleriyle karşılaştırıldığında GLONASS ile elde edilen değerlerin bir miktar farklı olduğu görülmüştür. Hassasiyetlerine bakıldığında ise yine GLONASS ile elde edilen koordinatlara ait standart sapmalar diğerlerine nazaran daha büyüktür.

4 saatlik gözlemler sonucu elde edilen değerler 24 saatlik GPS/GLONASS ile karşılaştırıldığında GLONASS ile elde edilen farkların daha büyük olduğu görülmüştür. Standart sapmalar göz önüne alındığında GLONASS ile elde edilen değerlerin tüm bazlar için diğerlerine nazaran özellikle 12-16 zaman diliminde büyük olduğu görülmektedir. Bunun, yazılım tarafından kullanılan gözlem sayısından kaynaklandığı düşünülmektedir. Çünkü bu dilimde kullanılan gözlem sayısı diğer zaman dilimlerine nazaran daha azdır. Koordinat farkları göz önüne alındığında, HESO ve GOSO bazları için 12-16 saat diliminde yalnız GLONASS ile elde edilen değerler diğerlerinden daha büyüktür. Bu bazlar diğerlerinden uzun bazlar olduğundan, muhtemelen nedeni uydu konfigürasyonudur. Ayrıca HESO bazında 12-16 zaman diliminin yanı sıra 0-4 ve 20-24 zaman dilimlerinde de benzer sıkıntılar gözlemlenmiştir.

İkinci çalışmada, 6 IGS noktasından oluşan bir ağ düşünülmüş ve 24 saatlik GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS gözlemleri ayrı ayrı proses edilmiştir. Minimum zorlama GOPE noktasına yapılarak koordinat değerleri ve standart sapmalar elde edilmiştir. Ardından gözlem dosyaları 6 ve 12 saatlik gözlemlere bölünmüştür. Bölme işleminin ardından zaman dilimlerine göre GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS gözlemlerinin prosesi gerçekleştirilmiştir. Zaman dilimlerinde elde edilen koordinatların 24 saatlik GPS/GLONASS sonuçlarından olan farkları ve standart sapmaları ilgili şekil ve çizelgelerde verilmiştir. Koordinat farkları göz önüne alındığında GPS, GPS/GLONASS ve GLONASS farklarının tutarlı olmadığı görülmüştür. Standart sapmalara bakıldığında ise GLONASS değerlerinin GPS ve GPS/GLONASS değerlerine göre büyük olduğu görülmüştür. Bunun muhtemel nedeninin GLONASS gözlem sayısı olduğu düşünülmektedir.

Üçüncü çalışmada, yerel bir ağda yaklaşık 6 saat ölçü yapılmış, GPS, GPS/GLONASS ve GLONASS gözlemleri değerlendirilmiştir. Ağ kentsel ölçekte olmasına rağmen GLONASS uydu sinyallerinden kaynaklanan problemler yüzünden beklenen sonuç elde edilememiştir. GLONASS gözlemleri yalnız GLONASS çözümlerini değil, GPS/GLONASS çözümlerini de olumsuz etkilemiştir.

Dördüncü çalışmada ise 4 IGS noktasından oluşan bir ağ belirlenmiştir. Sonuçların tekrarlanabilirliğini araştırmak amacıyla 10 günlük GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS gözlemleri değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda elde edilen baz uzunluklarının ortalaması alınarak, ortalama değerden olan farklar yardımıyla karesel ortalama hata değerleri GPS/GLONASS, GPS ve GLONASS çözümleri için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar, GLONASS ile elde edilen değerlerin tekrarlanabilirliğinin GPS ve GPS/GLONASS'

a göre kötü olduğunu göstermiştir.

Yapılan bu çalışmalarda GLONASS sisteminin şu anki durumu ile GPS ile birlikte kullanılabilirliliğinin yanı sıra yalnız olarak da kullanılabilirliği araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre GPS/GLONASS gözlemleri kullanılarak elde edilen koordinat bileşenleri ile GPS ile elde edilen değerler arasında bir miktar fark olduğu görülmüştür. Ancak bu farklar GLONASS çözümlerinden olan farklardan oldukça küçüktür. Standart sapmalar göz önüne alındığında ise GPS/GLONASS sonuçlarının GPS sonuçlarına göre genelde daha iyi olduğu görülmüştür. Bunun en büyük nedeni, GLONASS gözlemlerinin ilavesi ile gözlem sayısının artmasıdır. GLONASS gözlemlerinin değerlendirilmesiyle elde edilen sonuçlar, GPS ve GPS/GLONASS sonuçlarından farklılığı GLONASS uydu sayısından ve buna bağlı olarak gözlem sayısından kaynaklanmaktadır. GLONASS sistemi günümüz itibariyle kısa gözlem sürelerinde yalnız kullanımı doğruluk ve hassasiyet açısından çok da sağlıklı olmadığı, gözlem sürenin arttırılmasıyla birlikte özellikle ağ yaklaşımında kullanılabileceği ancak GLONASS uydu sinyallerinden kaynaklanan problemler olduğunda ise yalnız kullanılamayacağı gibi GPS/GLONASS çözümlerini de olumsuz etkileyebileceği görülmüştür.

GLONASS sistemi tam kapasiteyle çalışmaya başladığında GPS' e tam olarak alternatif bir sistem olacağı ayrıca GPS ile birlikte kullanımının günümüze nazaran daha iyi sonuçlar getireceği düşünülmektedir. GLONASS 'ın GPS ile birlikte kullanılmasının sadece GPS ile çözümün olmadığı yani konumlama için yeterli uydu sayısının bulunmadığı durumlarda çözüm imkanı sunabilmesi yönünden değil, gelecekte sonuçları iyileştirmesi yönünden de katkısının olabileceği düşünülmektedir.

7. KAYNAKLAR

Arslanoğlu, M. (2002) ‘’Gerçek Zamanlı Kinematik GPS’in Kent Bilgi Sistemi Uygulamalarında Kullanılabilirliğinin Araştırılması’’, Yüksek Lisans Tezi, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 124s.

Altıner, Y. (1992)’’ Global Pozisyon Belirleme Sisteminin Ana Hatları’’, Harita ve Kadastro Mühendisliği Dergisi, Sayı:71, Sayfa.:9-54, Ankara.

Bruyninx, C. (2007) ’’Comparing GPS-only with GPS+GLONASS Positioning in a Regional Permanent GNSS Network’’. GPS Solutions, 11(2), 97-106.

Cai, C., Gao, Y. (2007) ‘’Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations’’. Journal of Global Positioning Systems, 1,13-22.

Çelik , R.N. (2002) ‘’GPS ve Ülke Nirengi Ağı ‘’, TMMOB HKMO İstanbul Şubesi Bülteni, Temmuz , İstanbul.

Eren, K., Uzel, T. (1995) ‘’GPS Ölçmeleri’’, Y.T.Ü., Yayın No:301, İstanbul.

Erküçük, G. (1994) ‘’Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) ve Uygulama Alanları’’ , YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü , Yüksek Lisans Tezi , İstanbul.

Gülal, E. (2003) ‘’Endüstriyel Tesislerde Jeodezik Ölçmeler’’, YTÜ Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Ders Notları, İstanbul.

Güllü, M. (1998) ‘’GPS ve Yersel Gözlemlerin Birlikte Dengelenmesi’’, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya(Yayınlanmamış).

Hofmann-Wellenhof, B.H.Lichtenegger, J. Collins ‘'GNSS Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo & more’’ Springer Wien/Newyork.

Hoffman-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. And Collins, J. (1997) ‘’GPS Theory and Pratice’’, New York.

İnal, C. (1995) ‘’Jeodezik Ağlarda Kalite Kontrolü’’ S.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi.

İnal, C., Uyar, K. (2004) ‘’Küresel Konum Belirleme Sisteminin Geleceği’’ Mülkiyet Dergisi, sayı 54, 9-12 Ankara.

Kahveci, M., Yıldız, F. (2009) ‘’Uydularla Konum Belirleme Sistemleri’’, 4. Baskı Nobel

Yayıncılık, Ankara.

Konak, H. (1994) ‘’Yüzey Ağlarının Optimizasyonu’’, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Kurt, O. (1996) ‘’GPS ölçülerinin Değerlendirildiği Yer Merkezli Üç Boyutlu Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Optimizasyonu’’, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Öztürk, E., Şerbetçi, M. (1992) ‘’Dengeleme Hesabı’’, Cilt III, KTÜ Basımevi, Trabzon.

Öztürk, E. (1987) ‘’Jeodezik Ağlarda Duyarlık ve Güven Ölçütleri’’, Türkiye 1. Harita ve Teknik Kurultayı Bildirileri Kitabı, s. 641-699, Ankara.

Murle, M. and Bill, R. (1984) ,’Zuverlaessingkeit und Genauigkeitsuntersuchung ebener Geodaetisher Netze’’, AVN 2.

Sickle, V.J. (1996) ‘’GPS For Land Surveyors’’, First Edition, Ann Arbor Pres Inc., Michigan.

Stewart, M.P., Tsakiri, M., Wang, J., Monico, J.F. (2000) ‘’The Contribution of GLONASS Measurements to Regional and Continental Scale Geodetic Monitoring Regimes’’. Earth Planets Space, 52,877-880.

Teunissen, P.J.G., Kleusberg, A. (Eds) (1998) ‘’GPS for Geodesy’’, ISBN:: 3-540-63661-7 , Springer-Verlag.

Tuşat, E., (2003) ‘’Büyük Ölçekli Harita Yapımında Jeodezik Amaçlı GPS Ölçü ve Hesap Standartlarının Araştırılması’’, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

Wang, J., & Wang, J., (2007) ‘’Comparing long baseline results from GPS and GPS/GLONASS’’. CombinedInt.Symp. & Exhibition on Geoinformation & GNSS, Johor Bahru,Malaysia, 5-7 November CD-ROM procs, paper 59.

Yalçınkaya, M., Teke, K., Bayrak, T., (2003) ‘’Jeodezik GPS Ağlarında Duyarlık ve Güven Analizi’’, 1. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu,İstanbul.

URL1 : ftp://ftp.unibe.ch/aiub/BSWUSER50/GEN

URL2 : http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER50

URL3 : http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE

URL4: ftp://igscb.jpl.nasa.gov.pub.product

URL5: ftp://igs.ensg.ign.fr/pub/igs/products

URL6: http://www.bernese.unibe.ch/