



T.C.  
NECMETTİN ERBAKAN ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (RTK)  
UYGULAMALARINDA AĞ BAZLI  
TEKNİKLERİN DOĞRULUK ANALİZLERİ**

Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

**YÜKSEK LİSANS**

**Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Kasım-2014  
KONYA  
Her Hakkı Saklıdır**

## TEZ KABUL VE ONAYI

Salih Sermet ÖĞÜTCÜ tarafından hazırlanan “GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (RTK) UYGULAMALARINDA AĞ BAZLI TEKNİKLERİN DOĞRULUK ANALİZLERİ” adlı tez çalışması 17/11/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Necmettin Erbakan Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

### Jüri Üyeleri

### İmza

#### Başkan

Doç. Dr. D. Uğur ŞANLI

#### Danışman

Doç. Dr. İbrahim KALAYCI

#### Üye

Doç. Dr. S. Savaş DURDURAN

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. ....  
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi BAP birimi tarafından 141319001’ nolu proje ile desteklenmiştir.

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

Tarih: 17/11/2014

## ÖZET

### YÜKSEK LİSANS

## GERÇEK ZAMANLI KİNEMATİK (RTK) UYGULAMALARINDA AĞ BAZLI TEKNİKLERİN DOĞRULUK ANALİZLERİ

**SALİH SERMET ÖĞÜTCÜ**

**Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü  
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Doç. Dr. İbrahim KALAYCI**

**Yıl, 2014, 141 Sayfa**

**Jüri**

**Doç. Dr. D. Uğur ŞANLI**

**Doç. Dr. İbrahim KALAYCI**

**Doç. Dr. S. Savaş DURDURAN**

Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonları (CORS-TR) ağ yönetim modelinin ülkemizde kurulmasıyla anlık olarak konum bilgilerini cm doğruluğunda elde etmek mümkün olmuştur. Bu istasyonlar sayesinde kullanıcılar güvenilir, hızlı ve sürekli veri yayını yapan bir sisteme sahip olmuşlardır. Ülkemizde CORS-TR sisteminde ağ bazlı RTK için 3 farklı yayın yapılmaktadır. Bunlar FKP (Alan Düzeltme Parameterleri), MAC (Ana-Yardımcı Referans İstasyonu) ve VRS (Sanal Referans İstasyonu) olarak adlandırılan yayın teknikleri olup, merkezi sunuculardan anlık olarak yayınlanmaktadır. Bu teknikler birbirlerine göre farklı algoritmalar ve çalışma prensiplerine sahiptirler. Bu projede, aynı ölçüm koşulları sağlanarak bu 3 adet ağ bazlı RTK tekniğinin doğruluk, hassasiyet, ağa kilitlenme ve kinematik analizleri Konya bölgesinde yapılmıştır. 7 adet ölçüm noktasında yapılan doğruluk analizleri sonucu, en düşük konum hatasına (1.6cm) FKP ve VRS ölçümleri sonucu istasyon\_7 noktasında ulaşılmıştır. En yüksek konum hatasına ise (5.2cm) istasyon\_5 noktasında MAC ölçümleri sonucu ulaşılmıştır. Ölçüm noktalarında yapılan hassasiyet ve ağa kilitlenme analizlerinde en iyi sonuçlar VRS tekniğinden alınmıştır. Tekniklerin kinematik analizleri için Konya-Karaman ve Konya-Cihanbeyli güzergâhlarında hareketli bir platform aracılığı ile ölçüm yapılmış ve ağa kilitli kalma süresi açısından en iyi performans FKP tekniğinde gözlemlenmiştir. Her bir teknikte kullanılan veri büyüklüğü ayrıca bir ölçüm yapılarak hesaplanmış ve MAC tekniğinin diğer tekniklere göre en yüksek hacimde veri kullandığı ortaya çıkmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** CORS, FKP, MAC, VRS.

## **ABSTRACT**

### **MS THESIS**

## **ACCURACY ANALYSES IN NETWORK BASED REAL TIME KINEMATIC TECHNIQUES**

**SALİH SERMET ÖĞÜTCÜ**

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF  
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE  
IN SURVEYING ENGINEERING**

**Advisor: Associate Prof. İbrahim KALAYCI**

**Year, 2014, 141 Pages**

### **Jury**

**Associate Prof. D. Uğur ŞANLI  
Associate Prof İbrahim KALAYCI  
Associate Prof S. Savaş DURDURAN**

Thanks to Continuously Operating Reference Stations in Turkey, users can acquire coordinates within cm accuracy. Thanks to these stations, users have correction broadcast which is continuous, fast, reliable and accurate as well. There are 3 NTRIP broadcast are available for network based RTK in Turkey. These are FKP (SAPOS), MAC (Master Auxiliary Concept) VRS (Virtual Reference Station) these are continuously broadcasting from servers. These techniques are quite different than to each other and each one has own unique algorithm. In this study, these 3 techniques are evaluated in terms of accuracy, precision, time to fix, and kinematic in Konya region. In accordance of results for 7 test points, the lowest positional error was observed in station\_7 for VRS and FKP techniques (1.6cm) whereas the highest positional accuracy was observed in station\_5 for MAC technique (5.2cm). In terms of precision and initializing, VRS technique was outperformed the others. In kinematic analysis, FKP technique was produced the best result in the Konya-Cihanbeyli and Konya-Karaman routes in terms of initializing time. The amount of data which each technique was used was determined in another survey and results show that MAC was used highest amount of data among the others.

**Keywords:** CORS, FKP, MAC, VRS

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında yardımını esirgemeyen Necmettin Erbakan Üniversitesi öğretim üyesi danışman hocam, Sayın Doç. Dr. İbrahim KALAYCI hocama teşekkürlerimi sunarım.

SALİH SERMET ÖĞÜTCÜ  
KONYA-2014

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. AĞ BAZLI RTK.....	3
2.1. Merkezi Sunucu ve Kullanıcılar Arasında Veri İletim Yolları.....	5
2.1.1. GPRS .....	6
2.1.2. EDGE.....	7
2.1.3. UMTS .....	7
2.1.4. HSPA .....	7
2.1.5. HSPA+.....	7
2.1.6. LTE .....	8
3. AĞ BAZLI RTK'DA VERİ PROTOKOLLERİ .....	9
3.1. Transmisyon Protokolü.....	10
3.1.1. NTRIP kaynağı .....	10
3.1.2. NTRIP sunucusu .....	10
3.1.3. NTRIP yayıncısı (Ntrip caster).....	11
3.1.4. NTRIP kullanıcıları.....	11
3.2. İletişimde Kullanılan Veri Formatları.....	12
3.2.1. NMEA.....	12
3.2.2. RTCM.....	12
3.3. DGNS Düzeltme Formatları .....	13
3.3.1. RTCM versiyonları .....	13
3.3.2. CMR/CMR+/CMRX .....	18
4. AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİ .....	20
4.1. FKP Tekniği.....	21
4.2. MAC Tekniği.....	26

4.3. VRS Tekniği .....	31
4.4. Tekniklerin Avantajları ve Dezavantajları .....	34
4.4.1. FKP tekniğinin dezavantajları yönleri .....	35
4.4.2. FKP tekniğinin avantajlı yönleri .....	36
4.4.3. MAC tekniğinin dezavantajları yönleri .....	37
4.4.4. MAC tekniğinin avantajları yönleri .....	<b>37</b>
4.4.5. VRS tekniğinin dezavantajları yönleri .....	38
4.4.6. VRS tekniğinin avantajları yönleri .....	39
5. UYGULAMA .....	41
5.1. Arazi Çalışmaları .....	43
5.2. Ölçülerin Değerlendirilmesi .....	45
5.2.1. Doğruluk analizleri .....	45
5.2.2. Hassasiyet (Prezisyon) analizleri .....	61
5.2.3. Kinematik performans analizleri .....	73
5.2.4. Tekniklerin kullandığı veri büyüklükleri .....	74
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	75
7. KAYNAKLAR .....	78
8. EKLER .....	81
ÖZGEÇMİŞ .....	141



## SİMGELELER VE KISALTMALAR

### **Kısaltmalar**

CMR:	Compact Measurement Record
CORS:	Continuously Operating Reference Stations
DGPS	Differential GPS
FKP:	Flaechen-Korrektur-Parameter
EDGE:	Enhanced Data Rates For GSM Evolution
HSPA:	High Speed Packet Access
GNSS:	Global Navigation Satellite System
GPRS:	General Packet Radio Service
GSM:	Global System for Mobile Communications
IGS:	International GNSS Service
IMAC:	Individualized Master Auxiliary Concept
IP:	Internet Protocol
LTE:	Long Term Evolution
MAC:	Master Auxiliary Concept
NMEA:	National Marine Electronic Association
NTRIP:	Network Transport of RTCM via Internet Protocol
RINEX:	Receiver Independent Exchange Format
RTK:	Real Time Kinematic
UMTS:	Universal Mobile Telecommunication System
UHF:	Ultra High Frequency
VHF:	Very High Frequency
VRS:	Virtual Reference Station

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

<b>Şekil 2.1.</b>	Ağ bazlı RTK tekniğinde rover için hata modellemesi.....	4
<b>Şekil 2.2.</b>	GSM teknolojisinin zamanla değişimi.....	8
<b>Şekil 3.1.</b>	Rover'ın NTRIP yayınlarından birine bağlanma aşaması.....	11
<b>Şekil 3.2.</b>	RTCM 3.1 için uydu sayısına göre bant genişlikleri.....	18
<b>Şekil 3.3.</b>	CMRX için uydu sayısına göre bant genişlikleri.....	19
<b>Şekil 4.1.</b>	Ağ bazlı RTK konsepti.....	20
<b>Şekil 4.2.</b>	4 adet referans istasyonun oluşturduğu FKP düzlemleri .....	21
<b>Şekil 4.3.</b>	CORS istasyonlarının oluşturduğu gözlem uzay düzlemleri.....	22
<b>Şekil 4.4.</b>	Ağ bazlı RTK modellemesi .....	23
<b>Şekil 4.5.</b>	FKP düzlemi.....	24
<b>Şekil 4.6.</b>	MAC konseptinin temel işleyişi.....	27
<b>Şekil 4.7.</b>	VRS konsepti.....	31
<b>Şekil 4.8.</b>	Geometrik yer değiştirme.....	33
<b>Şekil 5.1.</b>	Aparatın profil görünümü.....	41
<b>Şekil 5.2.</b>	Aparatın üstten görünüşü.....	41
<b>Şekil 5.3.</b>	Ölçüm yapılan noktalar ve KNY1 istasyon noktası.....	43
<b>Şekil 5.4.</b>	Aparatın düzeçlenmesi.....	44
<b>Şekil 5.5.</b>	GNSS alıcılarının aparata monte edilişi.....	44
<b>Şekil 5.6.</b>	İstasyon 1 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP bileşenleri arasındaki farklar.....	47
<b>Şekil 5.7.</b>	İstasyon 1 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	47
<b>Şekil 5.8.</b>	İstasyon 1 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	48
<b>Şekil 5.9.</b>	İstasyon 2 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	49
<b>Şekil 5.10.</b>	İstasyon 2 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	49
<b>Şekil 5.11.</b>	İstasyon 2 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	50
<b>Şekil 5.12.</b>	İstasyon 3 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	51
<b>Şekil 5.13.</b>	İstasyon 3 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	51
<b>Şekil 5.14.</b>	İstasyon 3 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	52
<b>Şekil 5.15.</b>	İstasyon 4 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	53
<b>Şekil 5.16.</b>	İstasyon 4 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	53
<b>Şekil 5.17.</b>	İstasyon 4 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	54
<b>Şekil 5.18.</b>	İstasyon 5 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	55
<b>Şekil 5.19.</b>	İstasyon 5 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	55

<b>Şekil 5.20.</b>	İstasyon 5 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	56
<b>Şekil 5.21.</b>	İstasyon 6 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	57
<b>Şekil 5.22.</b>	İstasyon 6 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	57
<b>Şekil 5.23.</b>	İstasyon 6 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	58
<b>Şekil 5.24.</b>	İstasyon 7 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	59
<b>Şekil 5.25.</b>	İstasyon 7 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	59
<b>Şekil 5.26.</b>	İstasyon 7 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar.....	60
<b>Şekil 5.27.</b>	İstasyon 1 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	62
<b>Şekil 5.28.</b>	İstasyon 1 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	62
<b>Şekil 5.29.</b>	İstasyon 1 noktasındaki VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	63
<b>Şekil 5.30.</b>	İstasyon 2 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	63
<b>Şekil 5.31.</b>	İstasyon 2 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	64
<b>Şekil 5.32.</b>	İstasyon 2 noktasındaki VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	64
<b>Şekil 5.33.</b>	İstasyon 3 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	65
<b>Şekil 5.34.</b>	İstasyon 3 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	65
<b>Şekil 5.35.</b>	İstasyon 3 noktasındaki VRS(GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	66
<b>Şekil 5.36.</b>	İstasyon 4 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	66
<b>Şekil 5.37.</b>	İstasyon 4 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	67
<b>Şekil 5.38.</b>	İstasyon 4 noktasındaki VRS(GPS/GLONASS) yönteminin koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	67
<b>Şekil 5.39.</b>	İstasyon 5 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	68
<b>Şekil 5.40.</b>	İstasyon 5 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	68
<b>Şekil 5.41.</b>	İstasyon 5 noktasındaki VRS(GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	69
<b>Şekil 5.42.</b>	İstasyon 6 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	69
<b>Şekil 5.43.</b>	İstasyon 6 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	70
<b>Şekil 5.44.</b>	İstasyon 6 noktasındaki VRS(GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	70

<b>Şekil 5.45.</b>	İstasyon 7 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	71
<b>Şekil 5.46.</b>	İstasyon 7 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	71
<b>Şekil 5.47.</b>	İstasyon 7 noktasındaki VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar.....	72
<b>Şekil 5.48</b>	Ölçüm aracı.....	73

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge 3.1.</b>	RTCM 2.0 mesaj türleri.....	14
<b>Çizelge 3.2.</b>	RTCM 2.0'a ilave edilen RTCM 2.1 mesaj türleri.....	14
<b>Çizelge 3.3.</b>	RTCM 2.1'e ilave edilen RTCM 2.2 mesaj türleri.....	15
<b>Çizelge 3.4.</b>	RTCM 2.2'e ilave edilen RTCM 2.3 mesaj türleri.....	15
<b>Çizelge 3.5.</b>	RTCM FKP mesaj türleri.....	15
<b>Çizelge 3.6.</b>	RTCM 3.0 mesaj türleri.....	15
<b>Çizelge 3.7.</b>	RTCM 3.1 mesaj türleri.....	16
<b>Çizelge 3.8.</b>	RTCM 3.1 transformasyon mesaj türleri.....	17
<b>Çizelge 3.9.</b>	RTCM 3.1, 2. sefer ilave edilen mesaj türleri.....	17
<b>Çizelge 5.1.</b>	İstasyon_1 noktasındaki RMS değerleri.....	46
<b>Çizelge 5.2.</b>	İstasyon_2 noktasındaki RMS değerleri.....	48
<b>Çizelge 5.3.</b>	İstasyon_3 noktasındaki RMS değerleri.....	50
<b>Çizelge 5.4.</b>	İstasyon_4 noktasındaki RMS değerleri.....	52
<b>Çizelge 5.5.</b>	İstasyon_5 noktasındaki RMS değerleri.....	54
<b>Çizelge 5.6.</b>	İstasyon_6 noktasındaki RMS değerleri.....	56
<b>Çizelge 5.7.</b>	İstasyon_7 noktasındaki RMS değerleri.....	58
<b>Çizelge 5.8.</b>	Statik ölçülerin RMS değerleri.....	61
<b>Çizelge 5.9.</b>	İstasyon_1 noktasındaki standart sapma değerleri.....	61
<b>Çizelge 5.10.</b>	İstasyon_2 noktasındaki standart sapma değerleri.....	63
<b>Çizelge 5.11.</b>	İstasyon_3 noktasındaki standart sapma değerleri.....	64
<b>Çizelge 5.12.</b>	İstasyon_4 noktasındaki standart sapma değerleri.....	66
<b>Çizelge 5.13.</b>	İstasyon_5 noktasındaki standart sapma değerleri.....	67
<b>Çizelge 5.14.</b>	İstasyon_6 noktasındaki standart sapma değerleri.....	69
<b>Çizelge 5.15.</b>	İstasyon_7 noktasındaki standart sapma değerleri.....	70
<b>Çizelge 5.16.</b>	Kinematik analiz sonuçları.....	73
<b>Çizelge 5.17.</b>	İstasyon 7 noktasındaki 100 adet ölçüm sonucu yöntemlerin kullandığı veri boyutları.....	74
<b>Çizelge 6.1.</b>	Minimum ve maksimum RMS değerleri (m).....	76

## 1. GİRİŞ

Günümüzde anlık konum bilgilerini yüksek doğrulukla belirlemek giderek artan bir ihtiyaç haline gelmiştir. Anlık konum bilgisini uydu navigasyonu tekniğiyle cm doğruluğunda belirleme işlemi, gerçek zamanlı kinematik (RTK) ölçüm olarak adlandırılmaktadır. RTK tekniğinin kullanıcılar açısından birçok avantajı vardır. Kullanıcılar ölçüm anında cm doğruluğunda konumlandırmak istedikleri noktayı sonradan bir değerlendirme işlemine (process) gerek kalmadan ölçebilmektedirler bu da zamandan önemli bir oranda tasarruf sağlamaktadır.

RTK genel olarak klasik RTK ve ağ bazlı RTK olarak ikiye ayrılır. Klasik RTK tekniğinde kullanıcılar açısından bazı kısıtlamalar söz konusudur. Sabit ile hareketli alıcılar (rover) arasındaki uzaklık arttıkça klasik RTK tekniğinin doğruluğu ciddi bir oranda düşmektedir. Bu teknikte en az bir adet GNSS alıcısı sabit ve koordinatları yüksek doğrulukta belirlenmiş veya daha sonra belirlenecek olan bir noktaya kurulması gerekir. Diğer GNSS alıcısı veya alıcıları ise hareketli olarak ölçüm yapılacak olan noktalara tatbik edilir. Ölçümden önce hareketli alıcıların sabit noktadaki alıcı ile radyo modem aracılığıyla bağlantı kurması gerekmektedir. Ölçüm yapılacak araziye yakın koordinatları bilinen sabit bir nokta her zaman için bulunamayabilir. Böyle durumlarda sabit nokta oluşturulup bu noktaya statik ölçüm yapılması gerekir ki bu da zaman gerektiren bir işlemdir.

1990'lı yılların ortalarında klasik RTK tekniğinin kısıtlamalarını ortadan kaldırmak için ağ bazlı RTK konsepti geliştirilmiştir (Zou ve ark., 2013). Ağ bazlı RTK tekniğinin amacı, sabit ve hareketli alıcılar arasındaki mesafe uzun olsa bile (50-100km, gibi) yüksek doğruluğa ulaşabilmektir. Klasik RTK tekniğinde hareketli olan alıcılara düzeltmeler genellikle VHF veya UHF radyo kanalları aracılığıyla iletilmektedir. Sabit ve hareketli alıcılarda radyo modem anteninin takılı olması gerekir. Ağ bazlı RTK tekniğinde ise bütün düzeltmeler internet aracılığıyla hareketli alıcılara iletilmektedir. Ağ bazlı RTK tekniğinde, düzeltme mesajında, yörünge, iyonosferik gecikme hataları, troposfer etkisi ve sinyal yansıma hatalarının büyüklüğü vardır. Bu hatalar elemine edilerek cm doğruluğunda konum bilgisine ulaşılır.

Ağ bazlı RTK konseptinde birden fazla teknik geliştirilmiştir. Bunlar, FKP, MAC ve VRS olarak adlandırılmaktadır. Bu teknikler farklı algoritmalar ve çalışma prensiplerine sahiptirler. Ülkemizde CORS-TR TUSAGA-AKTİF sistemi anlık olarak bu 3 farklı ağ bazlı RTK tekniğini merkezi sunucular aracılığıyla yayınlamaktadırlar.

Kullanıcılar ölçüm sırasında bu yöntemlerden herhangi biri aracılığı ile düzeltme verisi olarak cm doğruluğunda 3 boyutlu konum bilgisine erişebilmektedirler. GNSS alıcısı üreten firmalar genellikle bu 3 farklı teknikten veri alacak şekilde donanım ve yazılım üretmektedirler. Her bir tekniğin kullanıcı açısından kendine özgü avantajı ve dezavantajı vardır. Ağ bazlı RTK tekniklerinin doğruluk analizleri için bazı çalışmalar yapılmış (Dao ve ark., 2004; Gumus ve ark., 2012; Berber ve Arslan., 2013) ve elde edilen sonuçlarda cm doğruluğuna yatay ve düşey konumlamaya ulaşılmıştır.

Bu çalışmada doğruluk, hassasiyet, ağa kilitleme süreleri, kinematik ölçüm ve veri hacimleri analizleri, FKP, MAC ve VRS ağ bazlı RTK teknikleri için aynı şartlar altında Konya bölgesi için yapılmıştır.

## 2. AĞ BAZLI RTK

Ağ bazlı RTK konumlandırma tekniği günümüzde cm doğruluğu gerektiren koordinat belirleme işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Ağ bazlı RTK teknolojisi zamanla gelişen bir teknolojidir ve klasik RTK tekniğinden kaynaklanan sınırlamaları önemli oranda ortadan kaldırmıştır. Bu teknik, merkezi sunuculara bağlı üç veya daha fazla referans istasyonlarından oluşan ve ağ boyunca uzaklığa bağlı hataları modelleyen bir mimariye sahiptir. Temel prensip, ham referans istasyonu gözlemleri ve bunlara ait düzeltmelerin arazideki kullanıcılara iletilmesinden oluşur. Ağ bazlı RTK tekniğinde uzaklığa bağlı hatalar kullanıcılara homojen bir şekilde iletilir ve bu da arazideki kullanıcılara klasik tekniğe göre daha iyi bir esneklik kazandırır (Takac ve Zelzer, 2008).

Ağ bazlı RTK tekniğinin klasik RTK tekniğine göre avantajları şöyle sıralanabilir.

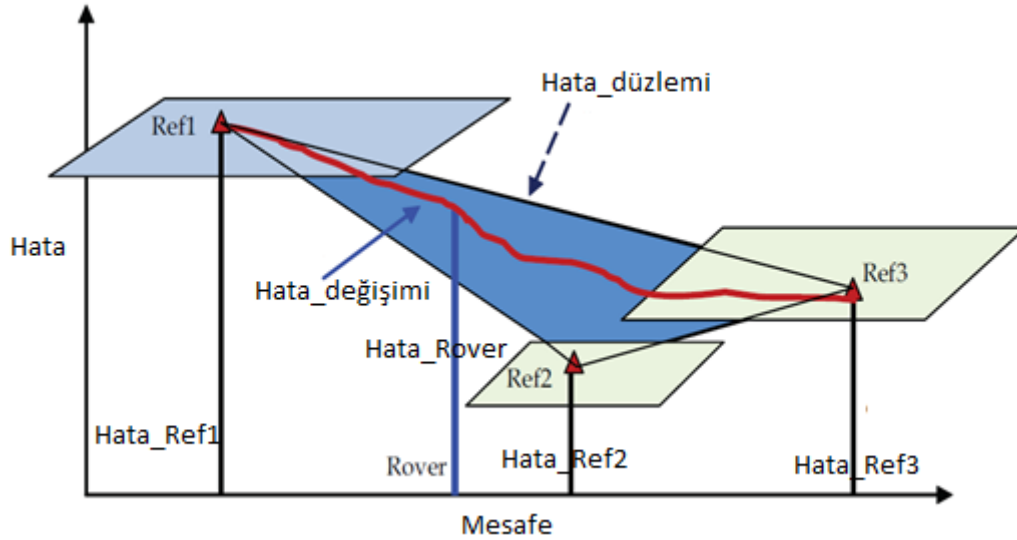
1. GNSS ölçümünü etkileyen hatalar bütün bir ağ boyunca modellenir.
2. Ölçüm doğruluğu klasik tekniğe göre daha iyi ve güvenilirdir.
3. Rover (gezici alıcı) için hareket alanı daha geniştir ve arazide sabit istasyon bulma veya tesis etme problemi ortadan kalkmıştır.
4. Rover'ın faz başlangıç belirsizliğinin çözümü daha hızlıdır.
5. Ölçüm alanı istenildiği kadar büyük tutulabilir ve sabit ile hareketli arasındaki mesafe klasik tekniğe göre daha büyüktür.
6. Aynı anda birden fazla kullanıcı farklı uygulamalarda çalışabilir.
7. Sürekli yayın yapan bir sistemdir (365 gün, 24 saat).
8. Önemli oranda arazideki ölçüm maliyetini düşürür.
9. Veri iletimi açısından klasik tekniğe göre daha verimlidir.

Ağ bazlı RTK tekniğinin temel prensibi uzaklığa bağlı hataları, (sabit ve gezici arasındaki) arazideki ağ içerisinde kalan rover'ın pozisyonuna göre minimize etmektir. Ağ bazlı RTK tekniği çok sayıda referans istasyonu verilerinden yararlanır dolayısıyla herhangi bir referans istasyonu çalışmasa bile ağdan veri alınabilir bu da ölçümlerin her durumda sürdürülmesini sağlar. Ağ bazlı RTK konseptinde veri yönetim merkezi ve veri iletim sistemi alt yapıları vardır. Veri yönetim merkezi, anlık olarak düzeltmelerin üretilmesinde, veri iletim sistemi ise düzeltmelerin kullanıcılara ulaştırılmasına hizmet eder. Veri yönetim merkezi, merkezi sunuculardan ve yazılımlardan oluşur. Veri iletim



sistemi, referans istasyonları ve referans istasyonları - kullanıcılar arasındaki iletişimden oluşur (Rizos ve Han, 2003).

Şekil 2.1, ağ bazlı RTK tekniğinde rover için hataların nasıl modellendiğine ilişkin bilgi vermektedir.



Şekil 2.1. Ağ bazlı RTK tekniğinde rover için hata modellemesi (El-Mowafy, 2012).

Yukarıdaki şekilde rover için modellenen, uzaklığa bağlı hatalar ve bu hatanın gerçek değerleri arasındaki ilişki gösterilmiştir. 3 adet referans istasyonunun hataları farklı seviyedir. Ağ bazlı RTK tekniği bu 3 adet referans istasyonunun hatalarından bir hata düzlemi oluşturur (mavi yüzey). Referans istasyonları arasındaki gerçek değişen hata Şekil 2.1'deki kırmızı eğridir. Rover'ın bulunduğu noktadaki gerçek hata ve ağdaki (mavi yüzey) hesaplanan hata arasındaki fark rover'ın bulunduğu noktaya enterpole edilerek önemli oranda elemine edilir.

Temel olarak ağ bazlı RTK konsepti 4 temel segmentten oluşur. Bunlar, referans istasyonlarındaki verilerin toplanması, bu verilerin işlenmesi ve merkezi sunucularda yazılım aracılığıyla düzeltmelerin üretilmesi, bu düzeltmelerin yayınlanması ve son olarak rover'ın ağdan gelen düzeltmeyi alarak konumunu hesaplamasıdır. İlk segmentte sürekli yayın yapan referans istasyonları (CORS) uydulardan GNSS gözlemlerini toplar ve bu gözlemleri bütün referans istasyonlarını internet aracılığıyla kontrol eden kontrol merkezindeki sunuculara gönderir. CORS noktalarında çok frekanslı jeodezik amaçlı alıcılar kullanılmaktadır. CORS noktalarından gelen hatalı gözlemler filtrelenir ve faz başlangıç belirsizlikleri çözülür. Kontrol merkezindeki sunucu bu verileri kullanarak rover'ın bulunduğu nokta için ağ bazlı çözüm üretir ve bu veriler daha sonra post-process amacıyla kullanmak için depolanır.

Ağdaki bu bilgiler kullanıcılar için yayınlanır. Ağdaki process sonucundaki veriler, hesaplamalarda kullanılan algoritmalara, hataların enterpolasyonundaki katsayılara ve referans istasyonlarından gelen ham verilere bağlı olarak değişiklik gösterir.

Ağ bazlı RTK tekniğinde ağ düzeltmelerinin üretilebilmesi için en az 3 adet CORS noktasına ihtiyaç vardır. İstasyon sayısında ve istasyonların kapsayacağı alanda herhangi bir kısıtlama söz konusu değildir. Ağ bölgesel, ulusal veya uluslararası olabilir ancak istasyon noktaları arasındaki mesafe 100km'den az olacak şekilde bir kısıtlama söz konusudur. Rover için hızlı ve güvenilir bir faz başlangıç belirsizliğinin çözümü için bu gereklidir. İstasyon nokta sayısı arttıkça ağın güvenilirliği ve düzeltmelerin doğruluğu da artar (El-Mowafy, 2012).

CORS istasyon noktalarının ham verileri ayrıca post process işlemi için de sıklıkla kullanılmaktadır. Statik ölçüm gerektiren oturumlarda ölçülecek arazinin çevresinde bulunan CORS noktalarının 24 saatlik RINEX verileri alınarak koordinatları üretilecek noktalar CORS noktalarına dayalı üretilebilir. Bu ölçüm işlerinde zamandan tasarruf sağlar ve ayrıca maliyeti önemli oranda düşürür.

TUSAGA AKTİF sistemi kurulum aşamasında 500 adet eş zamanlı kullanıcı (500 adet port) lisansı ile hizmet vermeye başlamıştır ve şu anda da bu şekilde devam etmektedir. Merkezi sunucudaki bir port arazideki aktif bir kullanıcıya karşılık gelmektedir.

## **2.1. Merkezi Sunucu ve Kullanıcılar Arasında Veri İletim Yolları**

Ağ bazlı RTK tekniğinde, merkezi sunucular ve kullanıcılar arasında bir iletişim alt yapısına ihtiyaç vardır. Bu iletişim alt yapısı iki yönlü veya tek yönlü olabilir. Her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. İki yönlü iletişim alt yapısında merkezi sunucular ve kullanıcılar birbirlerine veri gönderebilir. Tek yönlü iletişimde ise sadece merkezi sunucular rover'a veri gönderebilir. Ülkemizde genellikle iki yönlü iletişim alt yapısı kullanılmaktadır. İki yönlü iletişim alt yapısında GPRS veya GSM tabanlı hücresel bir modem kullanılmaktadır. GPRS genellikle tercih edilen yöntemdir çünkü sadece veri boyutuna göre faturalandırılmaktadır. GSM de ise hattın bağlı kaldığı süre boyunca faturalandırılır (cep telefonlarında olduğu gibi) dolayısıyla bu daha maliyetlidir. GPRS 1sn den daha kısa aralıklarla sağlam ve güvenilir bir bağlantı alt yapısı sağlar (Hu ve ark., 2002). GPRS bağlantısının daha geliştirilmiş

versiyonları EDGE, UMTS, HSPA, HSPA+ ve LTE iletişim alt yapıları da veri aktarmada kullanılabilirlerdir.

İki yönlü veri iletişimi ağ bazlı RTK da eş zamanlı kullanıcı sayısını kısıtlayan bir faktördür. Tek yönlü iletişim de ise UHF veya VHF yayınları aracılığıyla iletişim ağı kurulabilir fakat bu maliyetli bir alt yapı gerektirir (bütün bir ağı kapsayacak radyo sinyalleri üretmek gibi). Ayrıca radyo sinyallerini ağ içerisinde farklı noktalara ulaştırmada sıkıntılar çıkabilir. Bu yöntem elektronik karıştırmaya daha çok maruz kalabilir.

### 2.1.1. GPRS

GPRS teknolojisi ağ bazlı RTK tekniğinde veri aktarımı için sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. GPRS, mobil iletişimde kullanılan GSM teknolojisinin geliştirilmiş bir veri uzantısıdır. GSM veri servisinde, ses dijital olarak kodlanıp GSM ağı devre anahtarları aracılığıyla iletilir. GSM kullanıldığı zaman saniyede maksimum 14.4kb'lik veri aktarım hızına ulaşılır. Bu veri aktarım hızı telefon görüşmeleri için yeterlidir fakat farklı uygulama alanlarında örneğin internetten veri alışında yeterli hıza sahip değildir. GSM teknolojisinde ücretlendirme devre anahtarları aracılığı ile bağlantı süresi boyunca faturalandırılır. GPRS teknolojisi bu sınırlamaları ortadan kaldırarak veri akış hızını saniyede maksimum 115kb, ortalama 40kb-50kb hızına çıkarmıştır. Data boyutuna göre faturalandırma imkânı da sağlanmış olur. GPRS sisteminde paket anahtar sistemi kullanıldığı için kullanıcılar kullandıkları verinin hacmine göre ödeme yaparlar (Ghribi ve Logrippa, 2000). GPRS sistemi ayrıca ağa çok daha hızlı bir bağlantı sağlar.

Kullanıcılar sisteme bir IP adresi aracılığı ile bağlanırlar. Arazideki kullanıcılar (rover) ile merkezi sunucular arasında kesintisiz bir veri iletişimi sağlanmış olur. Arazideki rover internet bağlantısı mevcut olan bir sim kartı aracılığıyla GSM operatörüne bağlanır. Daha sonra CORS yayını yapan sistemin IP adresi aracılığıyla internet yoluyla sisteme bağlanır. Sisteme bağlandıktan sonra rover, merkezi sunucuların o anda yayınlandığı verileri GPRS aracılığıyla kesintisiz ve hızlı bir şekilde alır. GPRS, 2G teknolojisi olarak da adlandırılmaktadır. GSM şirketlerinin kapsama alanlarına bağlı olarak ülkemizde bazı yerlerde GPRS yayını mevcut değildir. Dolayısıyla bu yerlerde CORS ağına bağlanmak GPRS alt yapısıyla mümkün değildir.

### **2.1.2. EDGE**

GPRS sisteminin daha geliştirilmiş formatı EDGE olarak adlandırılmaktadır. Bu veri iletim sistemi günümüzde 3G teknolojisi olarak da bilinmektedir. Bu sistemde veri aktarım hızı teorik olarak saniyede maksimum 474kb, ortalama 70-130kb olarak belirlenmiştir. GPRS sisteminde olduğu gibi EDGE teknolojisi ağı sürekli bağlı kalarak veri alır dolayısıyla kullanıcılar her seferinde ağı bağlanmak zorunda değildir.

### **2.1.3. UMTS**

Evrensel mobil telekomünikasyon sistemi olarak adlandırılan UMTS ses ve hızlı veri aktarma teknolojisi, uluslararası telekomünikasyon birliğinin bir parçasıdır. UMTS, IP bazlı bir teknolojidir, saniyede maksimum 350kb, ortalama olarak da 200kb-300kb olarak veri aktarım hızı belirlenmiştir.

### **2.1.4. HSPA**

HSPA teknolojisi 3G iletişim alt yapısının geliştirilmiş versiyonudur. Saniyede maksimum 14Mb'lik veri aktarımı sağlar. HSPA bazen de 3.5G teknolojisi olarak adlandırılmaktadır.

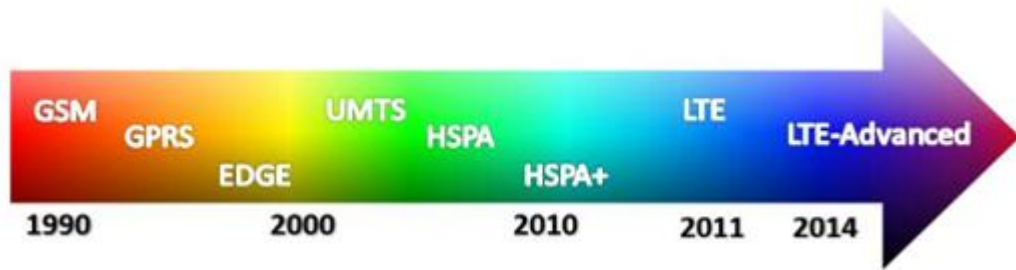
### **2.1.5. HSPA+**

HSPA teknolojisinin veri aktarımı yönünden geliştirilmiş versiyonudur. Gerçek zamanlı konferanslar, resim ve video paylaşımları, internet protokolü üzerinden hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Veri gelme aralığı 50 milisaniyenin altına kadar düşürülmüştür (Anonymous1, 2014).

### 2.1.6. LTE

LTE teknolojisi şu ana kadar geliştirilen en hızlı veri aktarımını sağlayan GPRS'in en son ürünüdür. HD kalitesinde kesintisiz video aktarımı ve diğer bütün uygulamalar LTE bağlantısı üzerinden sağlanabiliyor. HSPA alt yapısına göre daha yüksek bant genişliğine sahiptir. Radyo kanalları aracılığıyla saniyede maksimum 100mb'lik bir veri iletişim hızına çıkabilir fakat bu kompleks terminaller aracılığıyla kullanıldığından günümüzdeki çoğu teknolojik aygıt için uygun değildir. Veri gelme aralığı (gidiş-geliş zamanı) 10 milisaniyeye kadar düşürülmüştür.

Şekil 2.2, GSM teknolojisinden sonra geliştirilen veri aktarım teknolojilerinin yıllara göre değişimi gösterilmiştir.



Şekil 2.2. GSM teknolojisinin zamanla değişimi (Anonymous1, 2014)

### 3. AĞ BAZLI RTK'DA VERİ PROTOKOLLERİ

Ağ bazlı RTK tekniğinde alıcıya gönderilen düzeltmeler için uluslararası standartlarda gerçek zamanlı GNSS formatları ve protokolleri belirlenmiştir. Çoğu GNSS alıcısı üreten firmaların veri formatları kendine özgüdür. Ağ bazlı referans istasyonlarının alıcıları ve roverlar büyük çoğunlukla farklı firmaların ürettiği alıcılardır dolayısıyla uygulamada farklı tür veri formatları ortaya çıkmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için gerçek zamanlı kinematik uygulamalarda kullanılmak üzere bir standart format geliştirilmiştir. Denizcilik uygulamaları SC-104 için radyo teknik komisyonu olarak adlandırılan kısaltması RTCM SC-104 olan uluslararası standart format kabul edilmiştir. Yeni mesaj türleri ile bu veri protokollü yıllarca geliştirilmiş ve geliştirilmeye de devam edilmiştir.

Ağ bazlı RTCM veri transferi (NTRIP) ve gerçek zamanlı IGS protokolü (RT-IGS), GNSS datalarının internet aracılığıyla aktarılmasını sağlayan protokoller olarak geliştirilmiştir. Ülkemizdeki CORS-TR sistemi NTRIP protokollü aracılığıyla veri transferi sağlamaktadır.

İki çeşit standartlaştırılmış GNSS veri formatı bulunmaktadır. Birincisi, genellikle post process işlemlerinde kullanılan, uzun süreli oturumlar sonucu oluşan (statik ölçüm) ASCII dosya tabanlı RINEX veri formatıdır. Ülkemizdeki CORS istasyon noktalarının günlük RINEX dosyaları gerektiğinde kullanılmak üzere merkezi işlemcilerde depolanmaktadır. RINEX veri formatı dosya bazlıdır ve gerçek zamanlı kinematik uygulamalar için uygun değildir.

İkinci standart GNSS veri formatı ise RTCM'dir. Gerçek zamanlı kinematik uygulamalarda kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

GNSS verisini gerçek zamanlı olarak anlık iletebilmek için transmisyon protokolü, veri formatı ve veri bağlantı linki olmak üzere üç adet bileşene ihtiyaç vardır. Transmisyon protokolü (NTRIP) güvenilir bir akış kontrol mekanizması sağlayarak ağ boyunca verinin iletilmesini sağlar. Veri formatı uluslararası anlaşma ve standartlara bağlı olarak belirlenen bit serileri içeren verinin aktarılmasını sağlayan formattır. Bağlantı linki ise merkezi sunucu ve kullanıcılar arasındaki veri iletim yöntemleri adlı bölümde anlatılmıştır (2.1).

### **3.1. Transmisyon Protokolü**

GNSS verilerini internet aracılığıyla aktarmak için NTRIP ve gerçek zamanlı IGS (RTIGS) protokolleri belirlenmiştir. NTRIP, internet radyo teknolojisi tabanlı, GNSS verilerini aktarmak için geliştirilmiş ortak formattaki bir http protokoldür. (Weber, 2006). RTIGS ise UDP/IP tabanlı bir protokoldür.

NTRIP, diferansiyel düzeltme verisi ve diğer tür GNSS verisinin sabit veya rover'lara internet üzerinden yayınlanması için Almanya Jeodezi ve Kartografya Kurumu (BKG) tarafından geliştirilmiş olup http tabanlı genel ve bağımsız bir protokoldür. NTRIP sistemi dört ana bileşenden oluşmaktadır.

#### **3.1.1. NTRIP kaynağı**

NTRIP kaynağı kısaca GNSS verileridir. CORS istasyon noktasındaki alıcıların ve arazideki kullanıcıların GNSS gözlem verileridir. Bu gözlemler GPS, GPS+GLONASS ve diğer uydu gözlemlerini de kapsayabilir (Galileo, Beidou gibi). Rover'a gelen ağ bazlı RTK düzeltmesi (RTCM 104), NTRIP kaynağının bir ürünüdür.

#### **3.1.2. NTRIP sunucusu**

GNSS verilerinin NTRIP dağıtıcılarına transferinde NTRIP sunucuları kullanılmaktadır. GNSS verilerinin NTRIP dağıtıcılarına gönderilmesi işleminden önce NTRIP sunucusu verinin gönderileceği NTRIP dağıtıcı noktasına bir görevlendirme atayarak verinin istenilen NTRIP dağıtıcı noktasından gitmesini sağlar. NTRIP sunucusu, GNSS istasyon noktalarına bağlanıp bu istasyon noktalarının yayınladığı düzeltmeleri alan bir yazılım olarak düşünülebilir. NTRIP sunucusu düzeltmeyi aldıktan sonra bu düzeltmeyi sıkıştırarak ve NTRIP formatına dönüştürerek internet aracılığıyla şifre korumalı bir şekilde NTRIP yayınlayıcısına gönderir.

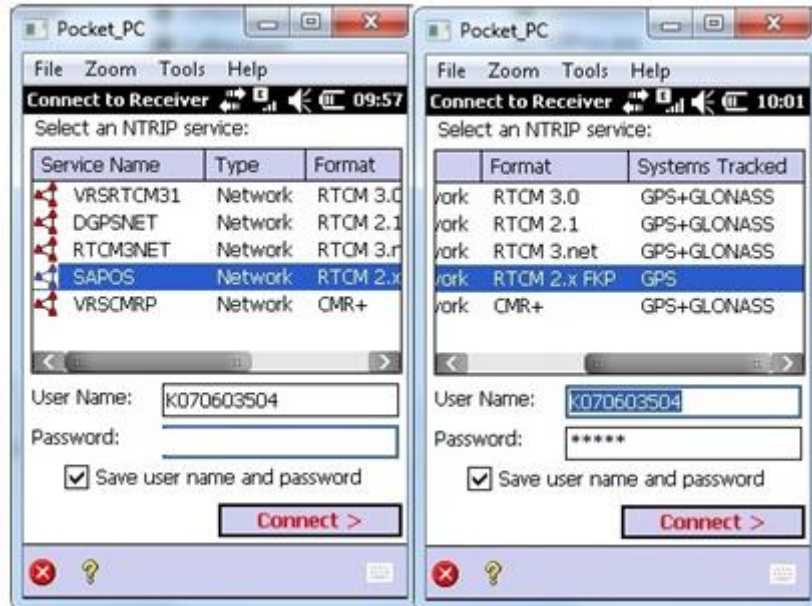
### 3.1.3. NTRIP yayıncısı (Ntrip caster)

NTRIP yayıncısı http tabanlı mesaj talebini destekleyen ve düşük bant genişliği yayın akışını kontrol eden (Saniyede 50kb den 500kb'e kadar) bir http protokolüdür. NTRIP yayıncısı, bir veya daha fazla NTRIP sunucusundan gelen RTCM verilerini alarak bunu kullanıcıların internet aracılığıyla düzeltme olarak alabileceği RTCM veri formatında yayımlar. Kısaca NTRIP yayıncısı, NTRIP sunucusu ve NTRIP kullanıcıları arasında köprü oluşturur (Anonymous 2, 2014)

### 3.1.4. NTRIP kullanıcıları

NTRIP kullanıcıları arazideki ağ bazlı düzeltme verisi alan GNSS alıcılarıdır. Türkiye'deki kullanıcılar CORS-TR aboneliğini alarak şifre ve kullanıcı kimlikleriyle ağa bağlanıp NTRIP casterin yayınladığı düzeltme verisini alabilmektedirler.

Şekil 3.1, bir GNSS alıcısına ait rover'ın CORS-TR sistemine bağlandıktan sonra ekranına gelen NTRIP yayınlarını göstermektedir.



Şekil 3.1. Rover'ın NTRIP yayınlarından birine bağlanma aşaması



### 3.2. İletişimde Kullanılan Veri Formatları

Ağ bazlı RTK tekniğinde arazideki GNSS alıcısından/alıcılarından merkezi sunucuya ve merkezi sunucudan rover'a olmak üzere iki tür iletişim vardır. Bu iletişimler sağlanırken çeşitli veri formatları kullanılmaktadır. Bu veri formatları uluslararası standartlaştırılmış yapıya sahiptirler. GNSS üreticisi firmalar arasındaki veri format uyumsuzluğu ve yazılımlar arasındaki farklılıklardan kaynaklanabilecek sorunları ortadan kaldırmak için standart iletişim veri formatları kullanmak ihtiyaç haline gelmiştir.

#### 3.2.1. NMEA

Amerika ulusal denizcilik elektronik birliği tarafından iletişim için NMEA 0183 standart formatı geliştirilmiştir. Standart format geliştirmekteki amaç deniz elektronik cihazları arasındaki mesaj formatları ve data akış hızları arasındaki uyumsuzlukları gidermektir (Langley, 1995). NMEA çoğunlukla GNSS alıcıları ve diğer elektronik cihazlar arasındaki veri iletişimde kullanılmaktadır. NMEA, ASCII formatında tasarlanmış olup kolay bir şekilde okunabilmektedir.

Çoğu GNSS alıcısı NMEA 0183 mesajını üretebilmesine rağmen bu mesaj türü sadece navigasyon bilgisiyle sınırlıdır dolayısıyla diferansiyel veya RTK uygulamalarında kullanılamaz (Yan, 2006).

Ağ bazlı RTK uygulamasında rover navigasyon çözümlemesi sonucu bulunduğu koordinatları (yaklaşık koordinatlar) NMEA veri formatı aracılığıyla merkezi sunucuya gönderir. Merkezi sunucu rover'ın bu yaklaşık konum bilgisini alarak rover'ın bulunduğu konuma göre ağ bazlı bir düzeltme hesaplar. NMEA formatı ağ bazlı RTK yönteminde alıcılar ile merkezi sunucular arasındaki iletişimde kullanılmaktadır.

#### 3.2.2. RTCM

Denizcilik servisi için radyo teknik komisyonu olarak adlandırılan birlik tarafından 1947 yılında RTCM veri formatı bulunmuştur. Gerçek zamanlı diferansiyel GNSS verilerinin aktarılması için artan talep nedeniyle RTCM özel komite 104 (RTCM SC-104) olarak adlandırılan standartlaştırılmış düzeltme mesajı üretilmiştir. RTCM özel bir komite olup radyo iletişim ve radyo navigasyon alanlarında çözüm üretmek

için görevlendirilmiştir. Ağ bazlı RTK uygulamalarında RTCM, GNSS alıcıları ve merkezi sunucular ile GNSS alıcılarının birbirleri arasındaki veri aktarımında kullanılmaktadır.

RTCM zamanla versiyon güncellemesi yapmaktadır. DGNSS düzeltme formatı olarak kullanılan RTCM versiyonları bölüm 3.3.1’de ayrıntılı olarak incelenmiştir.

### **3.3. DGNSS Düzeltme Formatları**

Ülkemizdeki CORS-TR sistemi DGNSS düzeltme formatı olarak iki ana format kullanmaktadır. Bunlar RTCM ve CMR formatlarıdır. RTCM ve CMR formatları zamanla bir üst versiyonlarına güncellenmektedirler. RTCM, üretici firmalardan bağımsız ortak format kullanmaktadır. Post-process dengelemede kullanılan RINEX formatı buna örnek olarak gösterilebilir. CMR, Trimble firmasına özgü bir formattır ve sadece VRS tekniği hem CMR hem de RTCM formatları aracılığı ile rover’a gönderilebilir. Ağ bazlı RTK için kullanılan teknikler (VRS, FKP, MAC) RTCM formatları üzerinden yayınlanır. Dolayısıyla ağ bazlı RTK yöntemlerinden veya üretici firmalardan kaynaklanan uyumsuzluk sıkıntılarını ortadan kaldırmak amacıyla RTCM formatı bütün alıcılar ve ağ bazlı RTK yöntemleri için uyum sorunu olmadan kullanılabilir.

#### **3.3.1. RTCM versiyonları**

İlk olarak RTCM 2.0, 1 Ocak 1990 tarihinde DGPS uygulamalarını desteklemek amacıyla ortaya çıkmıştır. 1992 yılında RTCM 2.0 versiyonuna taşıyıcı dalga fazı özelliği eklenerek RTCM 2.1 olarak güncellenmiştir. 1998 yılında RTCM 2.2 versiyonu, GLONASS düzeltmeleri ilave edilerek güncellenmiştir. 2001 yılında anten bilgileri, anten seri numarası, referans istasyon noktasındaki anten referans noktası gibi mesaj türleri ilave edilerek RTCM 2.3 versiyonu getirilmiştir. RTCM 2.3 DGPS ve klasik RTK yöntemlerinde kullanılabilmesine rağmen bazı kısıtlamalar söz konusudur. RTCM 2.x serilerinde, GPS L2C ve L5 sinyalleri ve diğer GNSS sistemlerinden gelen sinyaller (Galileo ve Compass gibi) eklenememektedir. RTCM 2.3 versiyonu ayrıca ağ bazlı RTK tekniği için uyumlu değildir. Geo++ şirketi mesaj tipi 59’u kullanarak alan düzeltme parametrelerini üretmek (FKP) ağ bazlı RTK için RTCM 2.x serilerini uyumlu hale getirmiştir.

RTCM SC-104 komitesi, RTCM 2.x versiyonlarının kısıtlamalarını gidermek amacıyla yeni bir sürüm olan RTCM 3.0'ı ortaya çıkarmıştır. RTCM 3.0, klasik RTK uygulamalarını geliştirmekle beraber ağ bazlı RTK uygulamalarında da kullanılabilir hale gelmiştir. RTCM 3.0'ın kullandığı bant genişliği RTCM 2.x versiyonlarına göre daha düşüktür. 2006 yılında RTCM 3.1 versiyonu üretilmiştir. RTCM 3.1, MAC ve ağ bazlı RTK uygulamaları için yeni mesaj türleri içermektedir. MAC uygulamaları için 5 adet yeni mesaj türü belirlenmiştir. (Heo ve ark., 2009). Aşağıdaki çizelgede RTCM sürümlerinin içerdiği bazı mesaj türleri ve açıklamaları verilmiştir.

**Çizelge 3.1.** RTCM 2.0 mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
1	Diferansiyel GPS düzeltmesi
2	Pseudorange düzeltmesi
3	Referans istasyon noktası koordinatları (ECEF, XYZ)
6	Boş mesajdır, kayıt durduğu zaman aralıkları doldurur.
16	ASCII uzantılı özel mesajdır.
59	İstenilen verinin iletiminde kullanılan alıcı firmalarına özgü mesajdır.

**Çizelge 3.2.** RTCM 2.0'a ilave edilen RTCM 2.1 mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
9	GPS kısmi düzeltmeler
17	GPS efemeris verisi
18	Düzeltilmemiş, RTK taşıyıcı dalga fazı (ham)
19	Düzeltilmemiş, RTK pseudorange (ham)
20	RTK taşıyıcı dalga fazı düzeltmeleri
21	RTK pseudorange düzeltmeleri

**Çizelge 3.3.** RTCM 2.1'e ilave edilen RTCM 2.2 mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
14	GPS zamanı (GPS haftası)
22	Genişletilmiş referans istasyon parametreleri
31	Diferansiyel GLONASS düzeltmesi
37	GNSS sistem zamanı ofset bilgileri

**Çizelge 3.4.** RTCM 2.2'e ilave edilen RTCM 2.3 mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
23	Anten bilgileri (Anten ismi, anten seri numarası)
24	Referans istasyon noktasındaki anten referans noktası koordinatları (ECEF, XYZ) ve anten yüksekliği

**Çizelge 3.5.** RTCM FKP mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
1	L1 taşıyıcı dalga fazı düzeltmesi ve pseudorange düzeltmeleri
2	L2 taşıyıcı dalga fazı düzeltmesi
3	L2 pseudorange düzeltmesi
FKP	1,2 ve 3 numaralı mesaj türlerine ilave edilen Geo++ formatındaki ağ bilgileri
5	İki yönlü iletişimde kullanılan Geo++ formatındaki ağ bilgileri
6	GLONASS efemeris bilgileri
8	GPS ağ bilgileri
15	Özel kullanıcı veri mesajı
16	DGPS veri mesajı
17	Farklı uygulamalar için özel kullanıcı verisi

**Çizelge 3.6.** RTCM 3.0 mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
1001	GPS L1 gözlem verileri
1002	Genişletilmiş GPS L1 gözlem verileri (Sinyal gürültü bilgisi ve kod gözlemleri için tüm milisaniyeler)
1003	GPS L1 ve L2 gözlem verileri
1004	Genişletilmiş GPS L1 ve L2 gözlem verileri

1005	Referans istasyonundaki anten referans noktası koordinatları (ECEF, XYZ)
1006	Referans istasyonundaki anten referans noktası koordinatları (ECEF, XYZ) ve anten yüksekliği
1007	Anten türü
1008	Anten türü ve anten seri numarası
1009	GLONASS L1 gözlem verileri
1010	Genişletilmiş GLONASS L1 gözlem verileri (Sinyal gürültü bilgisi ve kod gözlemleri için tüm milisaniyeler)
1011	GLONASS L1, L2 gözlem verileri
1012	Genişletilmiş GLONASS L1 ve L2 gözlem verileri
1013	Yayınlanan mesaj türleri, güncelleme oranları ve sistem parametreleri

**Çizelge 3.7.** RTCM 3.1 mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
1014	Yardımcı referans istasyonu ve ana referans istasyonu arasındaki koordinat farkı
1015	Yardımcı referans istasyonu ve ana referans istasyonu arasındaki tüm uydular için GPS iyonosferik düzeltme farkları
1016	Yardımcı referans istasyonu ve ana referans istasyonu arasındaki tüm uydular için GPS geometrik (troposfer) düzeltme farkları
1017	1015 ve 1016 mesajı içerir fakat daha kompakt yapıda
1018	Alternatif iyonosferik düzeltme farkı için ayrılmıştır henüz tanımlanmamıştır.
1019	GPS efemeris bilgileri
1020	GLONASS efemeris bilgisi

1014-1015-1016-1017-1018 mesaj türleri MAC düzeltmesini alabilmek için RTCM 3.0'a eklenmiştir. Ülkemizde CORS-TR için bu düzeltme formatı RTCM 3.1NET olarak NTRIP sunucularından yayınlanmaktadır. RTCM 3.1 versiyonuna ilk

ekleme ise 2007 yılının Mayıs ayında olmuştur. Dönüşüm parametreleri için 8 adet yeni mesaj türü içermektedir.

**Çizelge 3.8.** RTCM 3.8 dönüşüm mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
1021	Helmert-Molodensky transformasyon parametreleri
1022	Molodensky-Bedekas transformasyon parametreleri
1023	Dönüşüm hata mesajı (elipsoidal grid)
1024	Dönüşüm hata mesajı (düzlem grid)
1025	Projeksiyon parametreleri (Lambert konik konformal dışındaki)
1026	Projeksiyon parametreleri (Lambert konik konformal)
1027	Projeksiyon parametreleri (Merkator)
1028	Global transformasyon için ayrılmıştır

2007 yılının Ağustos ayında RTCM 3.1 versiyonuna 2.kez ekleme yapılmıştır. Bu eklemede 4 adet yeni mesaj türü belirlenmiştir. Mesaj türü 1030 ve 1031, ağ bazlı RTK için ilave bilgiler içermektedir (FKP, VRS, MAC). Bu mesaj türleri GPS ve GLONASS için ağ bazlı RTK için düzeltme sonucu hesaplanan hataları içermektedir.

**Çizelge 3.9.** RTCM 3.1, 2. sefer ilave edilen mesaj türleri

Mesaj türü	Açıklaması
1030	Ağ bazlı RTK düzeltme hataları (GPS)
1031	Ağ bazlı RTK düzeltme hataları (GLONASS)
1032	Fiziksel referans istasyon konum mesajı
1033	Anten ve alıcı bilgileri

Günümüzdeki RTCM SC 104 standartları GPS ve GLONASS verilerini DGNS ve RTK uygulamaları için desteklemektedir. GPS teknolojisinde kullanılan sinyal türleri zamanla geliştirilmektedir ve yeni sinyal türleri ilave edilmektedir (L2C ve L5 gibi). RTCM 2.3 versiyonu yeni sinyal türleri ve yeni uydulardan yayınlanan sinyallerle

(Galileo gibi) uyumlu bir şekilde çalışmamaktadır. RTCM 3.0 versiyonu Galileo sinyal verileri için uyumlu bir şekilde çalışacak şekilde üretilmiştir (RTCM Galileo mesaj türleri) (Heo ve ark., 2009).

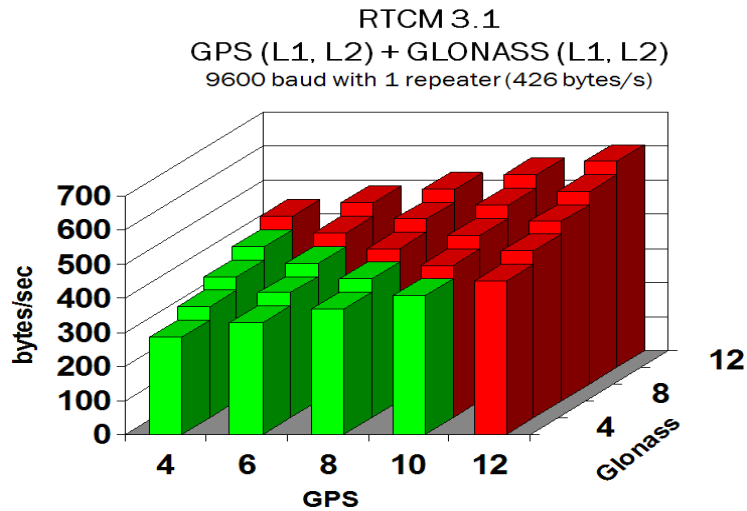
### 3.3.2. CMR/CMR+/CMRX

RTCM standart veri formatından farklı olarak CMR 90'lı yıllarda Trimble firması tarafından geliştirilmiştir. RTCM 2.0'a alternatif olarak daha etkili bant genişliği kullanılarak sadece GPS verileri için geliştirilmiştir. CMR mesaj türleri GPS gözlemlerini, referans istasyon noktası konumlarını ve referans istasyon tanımlarını içermektedir. CMR versiyonun güncellenmiş sürümü CMR+ olarak adlandırılmaktadır. CMR+, CMR versiyonuna göre daha kompakt mesaj türleri içermektedir (Talbot, 1997).

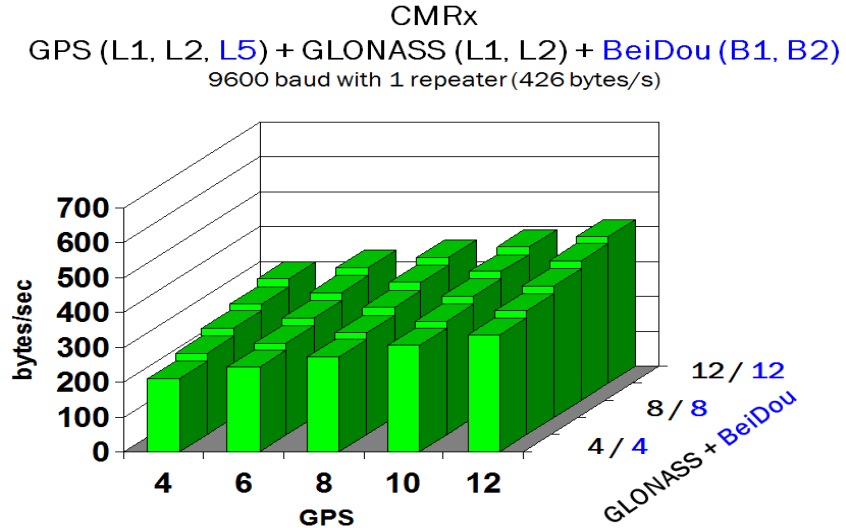
CMR ve CMR+ veri formatlarının kısıtlamalarından birisi GPS ve GLONASS verilerini ve diğer GNSS verilerini içermemesidir. Ancak GLONASS gözlem verilerini CMR ve CMR+ versiyonlarına aktarabilmek amacıyla üretici firmalar yeni mesaj türleri üretilmiştir.

Trimble firmasının en son geliştirdiği format CMRX olarak adlandırılmaktadır. CMRX diğer CMR formatlarına göre daha kompakt bir yapıdadır bu da daha düşük bant genişliğinde daha çok veri alabilmeyi sağlar. Ayrıca CMRX formatı sadece GPS verileriyle değil GNSS verileriyle de uyumlu çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'de RTCM 3.1 düzeltme formatı ile CMRX düzeltme formatının farklı uydu sayılarında kullandıkları bant genişlikleri verilmiştir.



Şekil 3.2. RTCM 3.1 için uydu sayısına göre bant genişlikleri (Talbot, 2013)



**Şekil 3.3.** CMRx için uydu sayısına göre bant genişlikleri (Talbot, 2013)

TUSAGA-AKTİF sistemi FKP (SAPOS) düzeltme bilgilerini RTCM 2.3, VRS düzeltme bilgilerini RTCM 3.1 veya CMR+, MAC düzeltme bilgilerini RTCM 3.1NET formatlarında yayınlamaktadır. TUSAGA-AKTİF sisteminde FKP ve MAC tekniği sadece GPS uydularına ait ağ verilerini kullanabilmekte iken VRS tekniği GPS ve GLONASS uydularına ait ağ verilerini beraber kullanılabilmektedir. Bunun nedeni TUSAGA-AKTİF sisteminde FKP ve MAC teknikleri için GLONASS mesaj türlerinin tanımlı olmamasıdır.

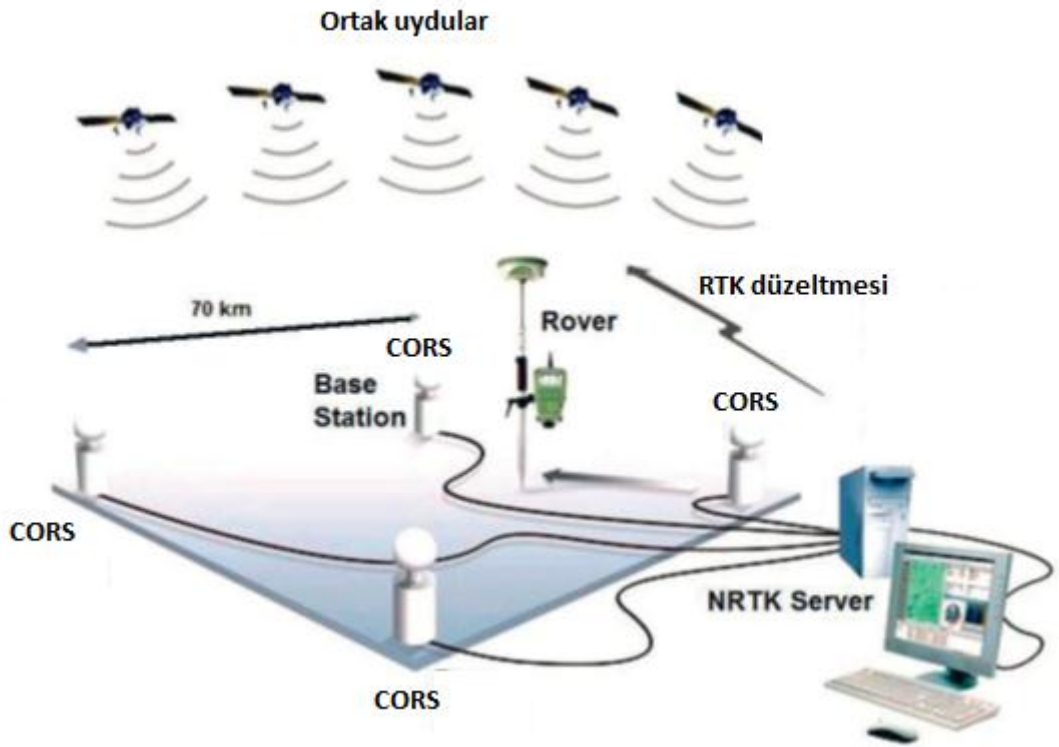
TUSAGA-AKTİF sisteminde yayınlanan ağ bazlı RTK tekniklerinin içerdiği mesaj türleri şu şekilde sıralanabilir;

1. VRSRTCM: 1004(1), 1005/1007(5), PBS(10).
2. SAPOS: 1(1), 3(10), 16(59), 20(1), 21(1), 22(6), 23(5), 24(5), 59.
3. RTCM3NET: 1004(1), 1005/1007(5), 1014, 1015, 1016.



#### 4. AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİ

Ağ bazlı RTK uygulamasını oluşturan unsurlar arasında uydulara sürekli gözlem yapan referans istasyonları, bu gözlem verilerinin merkezi sunucuya aktarılması, merkezi sunucuda bu gözlem verilerinin işlenmesi ve ağ bazlı düzeltmelerin rover'a aktarılması vardır. Ağ bazlı RTK uygulamasının prensibi referans istasyonlarının oluşturduğu ağ bazlı düzeltmelerin modellenmesidir. Dolayısıyla tek bir referans istasyonu kullanmak yerine birden çok referans istasyonu kullanılarak troposferik ve iyonosferik modellemeler daha sağlıklı bir şekilde yapılabilmektedir.



Şekil 4.1. Ağ bazlı RTK konsepti

Şekil 4.1'de 4 adet referans istasyonundan oluşan bir ağ görünüyor. Bu referans istasyonları merkezi sunucuya veri aktarıyor ve merkezi sunucuda işlenen veriler düzeltme olarak rover'a gönderiliyor.

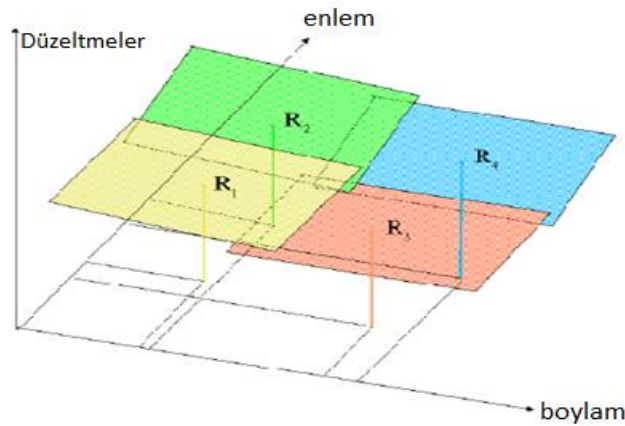
Günümüzde ağ bazlı RTK uygulamaları cm doğruluğunda anlık GNSS ölçümleri için temel bir ihtiyaç haline gelmiştir. Zaman, maliyet ve süreklilik faktörleri açısından kullanıcılar ağ bazlı RTK ölçümünü genellikle diğer yöntemlere göre tercih etmektedirler. Ağ bazlı RTK hizmetinden yararlanabilmek için belirli bir ücret karşılığında Tapu Kadastro Genel Müdürlüğünden kullanım süresine göre abone

olunması gerekir. Ayrıca ölçüm sırasında kullanılacak GNSS alıcısının ağ bazlı RTK düzeltmesini alabilecek uyumlulukta olması gerekir. Ağ bazlı RTK tekniğinde rover'a gelen bütün düzeltmeler internet aracılığı ile alınır, dolayısıyla bir adet internet paketi olan bir sim kartı veya data kartının GNSS alıcısına veya el ünitesine takılı olması gerekir.

Ağ bazlı RTK konseptinde 3 adet ana yöntem belirlenmiştir. Bunlar VRS (Sanal Referans İstasyonu Tekniği), FKP (Alan Düzeltme Parametreleri) ve MAC (Ana Yardımcı Referans İstasyon Tekniği) olarak adlandırılmıştır. Tüm yöntemlerin temel prensibi anlık olarak roverın bulunduğu konuma ağ bazlı modellemeler kullanarak yüksek doğrulukta (cm) koordinat düzeltme bilgisi getirmektedir.

#### 4.1. FKP Tekniği

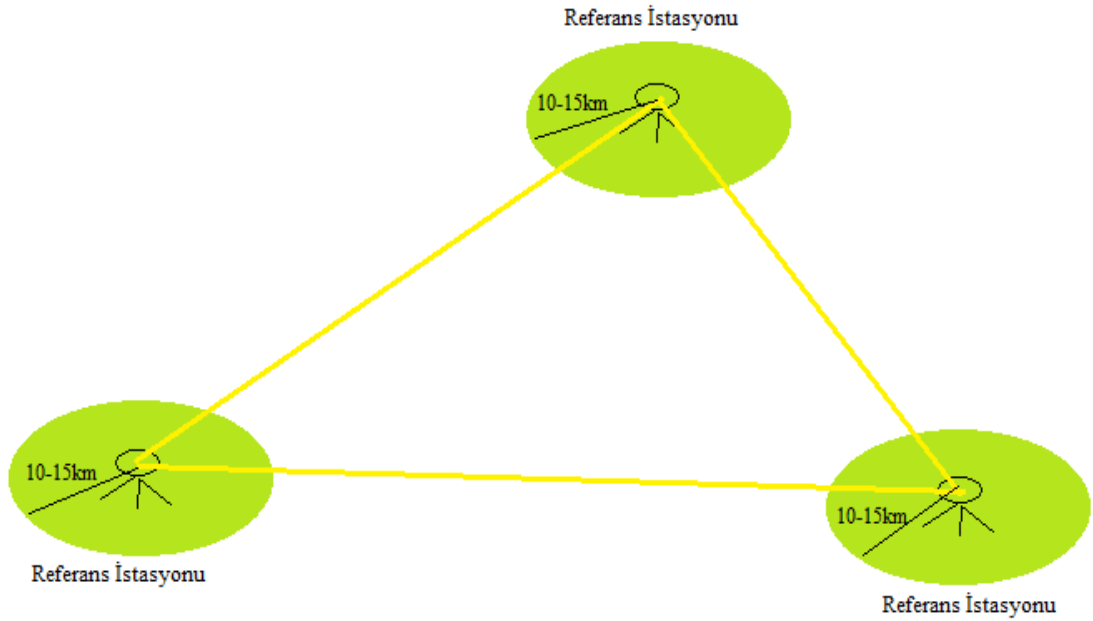
İlk geliştirilen ağ bazlı RTK yöntemlerinden biri olan ( 90'lı yılların ortalarında) FKP tekniğinin çalışma prensibi, referans istasyonlarından hesaplanan alan düzeltme parametre bilgileridir (Wübenna ve ark.,1996). Ağdaki referans istasyonundaki bilgiler atmosferik, iyonosferik ve yörünge hatalarını modelleyebilmek amacıyla lineer parametrelerle temsil edilerek bir polinomal yüzey aracılığıyla kullanıcı için enterpole edilir. Bu tekniğin temelinde doğrusal enterpolasyon vardır. Modellenen alana göre kuzey-güney ve doğu-batı şeklinde düzeltme parametreleri oluşturulur. Dolayısıyla düzlemsel düzeltme parametreleri oluşturulmuş olur. FKP, düzlem düzeltme parametreleri (flat correction parameters) ismi de buradan gelmektedir.



**Şekil 4.2.** 4 adet referans istasyonunun oluşturduğu FKP düzlemleri

Şekildeki her bir lineer FKP yüzeyinin merkezi, fiziksel referans istasyonlarının bulunduğu noktadır. Her bir istasyon noktasına ait geometrik ve iyonosferik düzeltme oranları (merkezi sunuculara hesaplanan) yatay gradyanlar aracılığı ile rover'ın yaklaşık pozisyonu için enterpole edilir. Düzeltme düzlemleri, referans istasyonunun yüksekliğinde WGS84 elipsoidine paralel olduğu varsayılır. FKP tekniğinde her bir referans istasyonu mesafeye bağlı hatalar için genel olarak 2 farklı düzlem oluşturulur. Bunlar geometrik (troposferik ve yörünge) ve iyonosferik hatalardır.

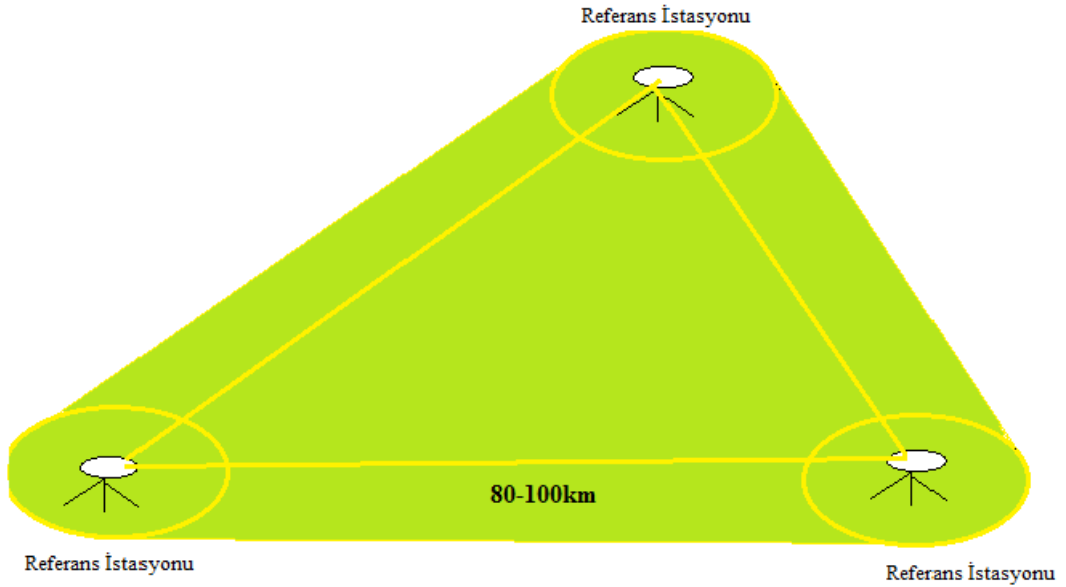
Burada genellikle karıştırılan konsept her bir referans istasyonu için oluşan düzlemler sanki bir adet referans istasyonu düzeltme uzay gözlem düzlemini modellemek için yetiyormuş gibi görünmesidir. Bu yanılgıyı düzeltmek için Şekil 4.3 aracılığı ile şöyle bir örnek verilebilir;



**Şekil 4.3.** CORS istasyonlarının oluşturduğu gözlem uzay düzlemleri

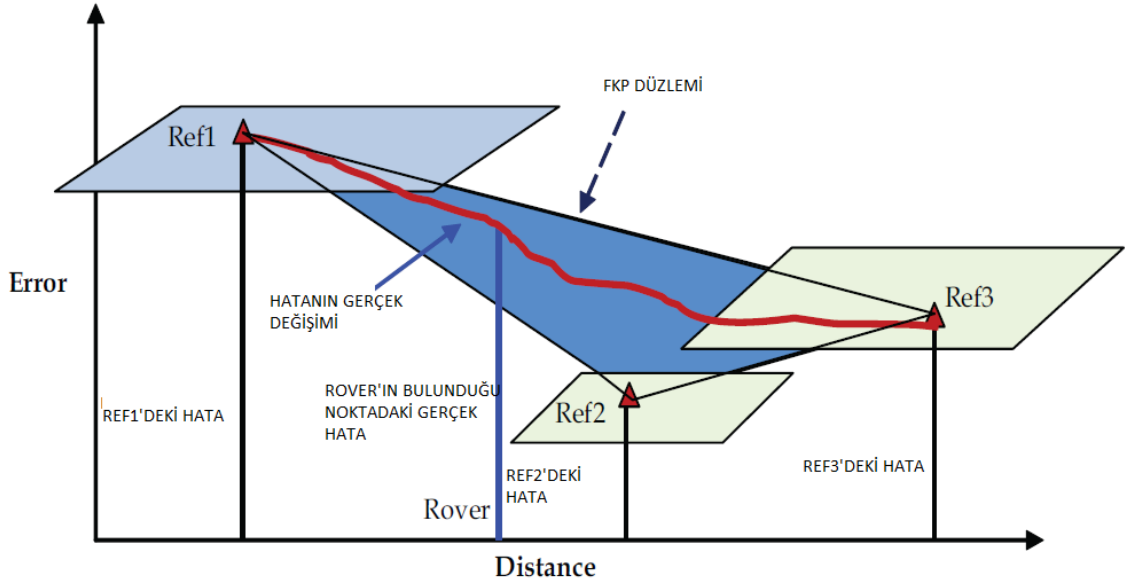
Şekil 4.3'te üç adet referans istasyonlarından oluşmuş bir ağ bazlı RTK konsepti gözükmemektedir. Bu referans istasyonlarının her birini ayrı olarak ele alırsak, klasik RTK yönteminde olduğu gibi her biri yarıçapı yaklaşık 10-15km'lik bir uzunlukta düzeltme alanları oluştururlar (yeşil bölgeler). Rover yeşil bölgelerin herhangi birinin içinde kaldığı varsayılır ise (referans istasyonlarına yakın bir bölgede) klasik RTK yönteminde olduğu gibi o bölgedeki sabit referans istasyonundaki düzeltmeler (geometrik ve iyonosferik) rover için de geçerli olur. Ancak rover bu yeşil bölgelerin dışında bir bölgede olursa üç adet referans istasyonu için hesaplanan hataların, oluşan düzlemde

rover'ın konumuna göre enterpole edilmesi gerekir dolayısıyla bu durumda bir adet referans istasyonu yeterli olmayacaktır. Ağ bazlı RTK konseptini doğuran ihtiyaçlardan birisi bu durumdur. Şekil 4.4'de, gözlem uzay düzleminin üç adet referans istasyonu kullanılarak modellendiği zaman 10-15km'lik yarıçap alanının nasıl büyüdüğü daha net görülmektedir.



**Şekil 4.4.** Ağ bazlı RTK modellemesi

Dairesel bölgelerin dışındaki alanlar referans istasyonlarındaki hesaplanan hatalar aracılığı ile enterpolasyon yolu ile modellenebilmektedir. FKP tekniğinde oluşan düzeltme düzlemi için (örneğin yukarıda sarı üçgenin içi) düzeltme katsayıları hesaplanır. Şekil 4.5'te hataların değişimini sembolize eden üç adet referans istasyonundan oluşmuş FKP düzlemi görülmektedir. FKP tekniğinde referans istasyonlarının merkezinde her uydu için dağılan ve dağılmayan hata türleri için iki adet uzay gözlem düzlemi oluşur.



Şekil 4.5. FKP düzlemi

Hataların mesafeye bağlı olarak değişimini modellemek amacıyla FKP tekniğinde genellikle düşük dereceden yüzey modeli kullanılır (low order surface model). Örneğin, bu modeli bir düzlem olarak ele alırsak bilinear formda polinom oluşturursak, yüzey yaklaşık olarak şu şekilde temsil edilebilir;

$$\epsilon_r(t) = a(t) * (e - e_r) + b(t) * (b - b_r) + c(t) \quad (4.1)$$

$a, b, c, t$  zamanında düzlemi tanımlayan katsayılar,  $a$  ve  $b$  bölgenin içinde hata değişim katsayıları,  $c$ , ana referans istasyonuna ait istasyona özgü hata katsayısı,  $e$  ve  $b$  enterpole edilecek noktanın enlem ve boylam değerleri (radyan cinsinden),  $e_r$  ve  $b_r$  ise ana referans istasyon noktasındaki enlem ve boylam değerleridir.  $a, b$  ve  $c$  katsayıları, her bir referans istasyonunda hesaplanan hata bileşenleri aracılığı ile en küçük kareler yöntemine göre dengelenir. Örneğin  $n$  adet referans istasyonu için denklem oluşturursak;

$$A = \begin{bmatrix} \Delta eR - 1 & \Delta bR - 1 & 1 \\ \Delta eR - 2 & \Delta bR - 2 & 1 \\ \Delta eR - 3 & \Delta bR - 3 & 1 \\ \dots & \dots & \dots \\ \Delta eR - n & \Delta bR - n & 1 \end{bmatrix} \quad (4.2)$$

$$\epsilon_r = \begin{bmatrix} \epsilon_r - 1 \\ \epsilon_r - 2 \\ \epsilon_r - 3 \\ \dots \\ \epsilon_r - n \end{bmatrix} \quad (4.3)$$

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = (A^T * A)^{-1} * A^T * \text{fr} \quad (4.4)$$

(Wu S ve ark., 2009)

Burada  $\Delta eR$  ve  $\Delta bR$ , referans istasyonu ve diğer referans istasyonları arasındaki enlem ve boylam farkları,  $\text{fr}$ , 4.8'deki denklemde verilen yaklaşık değerler. Denklemlerden de anlaşıldığı gibi FKP yüzeyinin oluşabilmesi için rover'ın en az 3 adet referans istasyonunun içinde kalması gerekir.

Uzaklığa bağlı hataları lineer alan polinomlarıyla ifade edersek referans istasyonlarının bulunduğu yükseklikte WGS84 elipsoidine paralel düzlemler oluşur. Rover'ın bu yüzey içerisindeki faz gözlemleri sonucu enlem ve boylam koordinatları  $(\alpha, \beta)$  uzaklığa bağlı hataları modellemek için şu şekilde kullanılır.

$$\hat{r}_0 = 6.37 * (N_0 * (\alpha - \alpha_R) + E_0 * (\beta - \beta_R) * \cos(\alpha_R)) \quad (4.5)$$

$$\hat{r}_1 = 6.37 * H * (N_1 * (\alpha - \alpha_R) + E_1 * (\beta - \beta_R) * \cos(\alpha_R)) \quad (4.6)$$

$N_0$ , FKP düzlemindeki kuzey-güney doğrultusundaki geometrik sinyal değişimi (iyonosferden bağımsız, ppm).

$E_0$ , FKP düzlemindeki doğu-batı doğrultusundaki geometrik sinyal değişimi (iyonosferden bağımsız, ppm).

$N_1$ , FKP düzlemindeki kuzey-güney doğrultusundaki iyonosferik sinyal değişimi (kısa aralık kombinasyonu, ppm).

$E_1$ , FKP düzlemindeki doğu-batı doğrultusundaki iyonosferik sinyal değişimi (kısa aralık kombinasyonu, ppm).

$\alpha_R$  ve  $\beta_R$ , referans istasyon noktalarının coğrafi koordinatları (radyan).

$$H = 1 + 16 * (0.53 - E / \pi)^3 \quad (4.7)$$

$E$ , uydu yükseklik açısı (radyan).

$\hat{r}_0$ , geometrik sinyal bileşeninin uzaklığa bağlı hatası (m).

$\hat{r}_1$ , iyonosferik sinyal bileşeninin uzaklığa bağlı hatası (m).

(Wübenna ve Bagge, 2006).

Yüzey için hesaplanan katsayılar rover'a, rover'ın en yakınındaki referans istasyonuna (ana referans istasyonu) ait ham veriler ile birlikte gönderilir. Burada dikkat edilmesi gereken unsur, düzeltmelerin hesaplanmasında (katsayılar) birden fazla referans istasyonu kullanılmasıdır. Ana referans istasyonundaki ham veriler ise bu katsayılar ile beraber rover'a gönderilir. Genellikle yanlış algılanan durum, rover için düzeltmelerin tek bir referans istasyonu için hesaplanmasıdır. Ağ bazlı RTK yönteminin

prensiplerinden birisi birden fazla referans istasyonu kullanılarak bölgenin modellenmesidir dolayısıyla hiçbir ağ bazlı RTK tekniğinde sadece bir adet referans istasyonu kullanılmaz.

Belirli zaman aralığında FKP yüzeyi için hesaplanan katsayılar o alandaki bütün roverlar için aynı değerde yayınlanır. Düzlem katsayıları ve ana referans istasyonundaki ham veriler ve istasyon koordinatları RTCM 59 mesaj türü aracılığı ile rover'a gönderilir. Rover, gönderilen katsayıları oluşan düzlemi referans alarak kendi konumuna göre düzeltme için enterpole eder. Rover'daki yazılım, rover'ın pozisyonuna göre uzaklığa bağlı hataları enterpole ederek ana referans istasyonundaki ham verilere düzeltme getirerek konum çözümlemesini yapar. Burada rover'ın pozisyonunun navigasyon çözümlemesiyle bulunması enterpolasyon için yeterlidir.

FKP tekniğinde merkezi sunucular ve rover hesaplama işlemlerinde görev almaktadır. Merkezi sunucuda, referans istasyonlarının bulunduğu noktalarda ağ bazlı yüzey katsayıları hesaplanmaktadır. Rover'daki yazılım ise hesaplanan katsayıları ve ana referans istasyonundaki ham verileri kullanarak hataları kendi konumuna göre enterpole eder. Rover'a yayınlanan düzeltme katsayıları anlık olarak server tarafından troposferik iyonosferik ve yörünge hatalarının değişim durumuna göre güncellenmektedir.

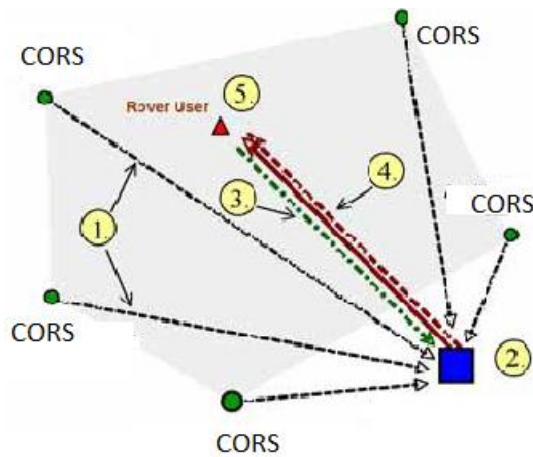
FKP tekniği tek yönlü iletişim alt yapısında da kullanılabilir. Ancak tek yönlü iletişim alt yapısında ham düzeltmelerin yayınlanacağı ana referans istasyonu kullanıcı tarafından seçilmek zorundadır. Çünkü rover yaklaşık pozisyonunu merkezi sunucuya göndermemektedir dolayısıyla rover'ın hangi referans istasyonuna en yakın olduğu bilinmemektedir. Dolayısıyla TUSAGA-AKTİF sisteminde FKP tekniği için çift yönlü iletişim kullanılmaktadır. GSM veya GPRS yayınının olmadığı yerlerde radyo aracılığı ile düzeltme katsayıları ve ham veri rover'a gönderilebilir. Rover'ın çalışma alanının büyük olduğu durumlarda, rover'a en yakın olan referans istasyonu değişim gösterebilir dolayısıyla rover'ın hangi referans istasyonunu ana referans istasyonu olarak kullanacağına merkezi işlemcideki yazılım aracılığı ile karar verebilir.

#### **4.2. MAC Tekniği**

Gerçek zamanlı GNSS uygulamalarında karşılaşılan sorunlardan en önemlisi ortak bir formatın uygulamalarda kullanılamamasıdır. VRS ve FKP tekniklerinin düzeltme verileri (merkezi sunuculardaki yazılımca hesaplanan) RTCM standartlarında

ortak bir format değildir ve üretici firmaya özgüdür. Ayrıca bu yöntemlerde rover için yayınlanan mesajlar ham veri yerine modellenen veri içerir dolayısıyla bu da RTCM konseptine uymaz. VRS ve FKP tekniklerinde rover gelen düzeltme verilerini kendi konumuna göre optime edemez. Sözü edilen ağ bazlı RTK teknikleri belirli bir süre tek bir firmaya ait özel formatlar olarak kullanılmış (örneğin Trimble genellikle CMR formatını kullanmaktadır) fakat zaman içerisinde diğer alıcı firmaları tarafından da kullanılır hale gelmiştir. Ancak farklı markalar için bu teknikler tam anlamıyla istenilen performansta kullanılamamıştır. Bu tür sıkıntıları ortadan kaldırmak için gerçek zamanlı diferansiyel GNSS verilerinin ortak bir formata bindirilmesi için RTCM özel komite 104 (RTCM SC-104) olarak adlandırılan birim ağ bazlı RTK uygulamalarında kullanılan standartlaştırılmış RTCM 3.1 düzeltme mesajını üretmiştir. MAC konsepti bu alanda ilk uluslararası standart olan bu mesaj türünü kullanmaktadır.

Diğer tekniklere göre yeni olan MAC konsepti 2001 yılında Euler tarafından ortaya konulmuştur (Euler ve ark., 2001). Ağ düzeltmelerinin aktarılması ve kullanılması bakımından diğer ağ bazlı RTK tekniklerine göre farklı bir yaklaşımdır. MAC tekniğinin amacı büyük ölçekteki ağ bilgilerinden olabildiğince kompakt bir şekilde yararlanmaktır. MAC tekniğini, diğer tekniklerinden ayıran en önemli özellik, merkezi işlemci yazılımının rover için hata hesaplamaları, MAC tekniğinde rover'daki yazılım aracılığı ile yapılmaktadır. Büyük ölçekteki ağlarda rover'ın konumuna göre alt ağ kümeleri belirlenerek verinin boyutu düşürülmektedir. Tekniğin işleyişi Şekil 4.6 aracılığı ile açıklanabilir;



Şekil 4.6. MAC konseptinin temel işleyişi



1-) Referans istasyonlarından toplanan ham gözlem verileri (kod ve faz gözlemleri) merkezi işlemci birimine 1sn aralıklarla gönderilir.

2-) Merkezi işlemci birimi gelen verileri işleyerek referans istasyonları arasındaki faz başlangıç belirsizliğini ortak bir seviyeye indirger. Faz uzaklıkları (uydu-alıcı çiftleri için) ortak bir belirsizlik seviyesine indirgenir.

3-) Rover navigasyon çözümlemesiyle bulduğu konum bilgilerini NMEA formatında merkezi işlemci birimine gönderir. Rover'ın konumuna en yakın referans istasyonu kontrol ve hesap merkezindeki yazılım aracılığı ile ana referans istasyonu olarak seçilir, belirli sayıda, rover'ın yakınındaki diğer referans istasyonları (yazılımın belirlediği değere göre örneğin en yakın 6 adet CORS noktası) ise yardımcı referans istasyonları olarak belirlenir. Böylece rover'ın bulunduğu yere göre tüm ağın alt ağ kümesi belirlenmiş olur.

4-) Ana referans istasyon noktasına ait koordinat bilgileri, ham gözlemler ve düzeltmeler (geometrik ve iyonosferik) ile ana referans istasyon noktası ile yardımcı referans istasyon noktalarının koordinat farkları ve tekli farklar sonucu, her bir uydu ve alıcı çifti için düzeltme farkları (dağıtıcı ve dağıtıcı olmayan hatalar) rover'a RTCM 3.1 mesaj formatında gönderilir. Rover yazılımına bağlı olarak gelen düzeltmeleri konumuna göre enterpole edebilir veya ağ bilgilerini kullanarak tekrar bir düzeltme oluşturarak konumunu yüksek doğrulukta hesaplar.

Ana referans istasyonu (A) ve yardımcı referans istasyonu (B) arasındaki tekli farklar ( $\partial_{AB}^i$ ) i uydusu için şu şekilde gösterilebilir;

$$\partial_{AB}^i = p_{AB}^i + c * \Delta t_{AB} + f * N_{AB}^i + T_{AB}^i - I_{AB}^i + O_{AB}^i \quad (4.8)$$

$O_{AB}^i$ , tekli farklar sonucu yörünge hatası,  $\Delta t_{AB}$ , tekli farklar sonucu alıcı saati hatası,  $N_{AB}^i$  frekansa bağlı faz başlangıç belirsizliği,  $I_{AB}^i$  ve  $O_{AB}^i$  iyonosferik ve troposferik hatalardır.

MAC tekniğinde, ağ sunucusu tek bir referans istasyonu için (ana referans istasyonu) bütün ham gözlemleri ve koordinat bilgilerini, alt ağda bulunan diğer referans istasyonları için ise (yardımcı referans istasyonları) faz başlangıç belirsizliği eşitlenmiş (faz uzaklıkları eşit) gözlemler ve koordinat farklarını rover'a gönderir. Örneğin iki referans istasyonunda kaydedilen faz ölçülerine (uydu ve alıcı çifti için) ait tüm faz başlangıç belirsizliği parametreleri ortak bir seviyeye getirilirse her iki referans istasyonu ortak belirsizlik seviyesine indirgenmiş olur. Böylece ikili farklar oluşturularak (iki uydu ve iki alıcı arasında) belirsizlik bilinmeyenleri giderilmiş olur.

MAC tekniğinde ağ düzeltmeleri bir şekilde oluşturulamaz ise rover en yakın referans istasyonundaki ham veriler aracılığı ile klasik RTK uygulamasına geçebilir. Ana referans istasyonunun herhangi bir nedenden dolayı devreden çıkması durumunda yardımcı referans istasyonlarından birisi ana referans istasyonu görevini devralır. MAC düzeltme bilgileri tek yönlü iletişim yolu ile de kullanıcılara gönderilebilir. Fakat bu durumda ana referans istasyonu ve ağın alt kümesinden oluşan yardımcı referans istasyonları önceden seçilmek zorundadır.

MAC tekniği ile ilgili yanlış bilinen bazı durumlar vardır. Bunlar maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır.

1. Ağın sadece belirli bir kısmı düzeltme oluşturmak için kullanıldığından bu MAC tekniği için bir dezavantaj olarak görülebilir.
2. Çok kısa bir zaman dilimi içerisindeki geometrik ve iyonosferik hatalar rover'a gönderildiği için rover sistematik etkilere ait hemen bir bilgi sahibi olamamaktadır ve bunları modellemek için belirli bir süre geçmek zorundadır.
3. Ağ hatalarına ilişkin model bazlı vektörler rover'a gönderilirse sonuçlar daha sağlıklı olabilir.
4. MAC tekniğinde ana referans istasyonu rover'a çok uzun mesafede bir noktada belirlenebilir.
5. Eğer ağda faz başlangıç belirsizliği çözülemezse rover hiçbir şekilde düzeltme alamaz.
6. MAC tekniğinde rover'ın işlemcisinin çok güçlü olması gerekir çünkü diğer yöntemlerde merkezi işlemcinin yapmış olduğu hesaplar bu yöntemde rover'ın içindeki yazılım tarafından yapılmaktadır.
7. Azaltılmış güncelleme oranları (yayılan ve yayılmayan hatalar için) konum doğruluğunu olumsuz etkilemektedir.

Bu yanlış bilinen durumların açıklaması aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Rover'ın konumuna göre ağdaki referans istasyonları çok uzakta kalabilir dolayısıyla uzaktaki referans istasyonlarının bulunduğu noktalardaki atmosferik şartlar ile rover'ın bulunduğu noktadaki atmosferik şartlar birbirinden tamamen farklı olabilir. Bunu önlemek amacıyla merkezdeki yazılım en iyi yararlanabileceği referans istasyonlarını seçer.

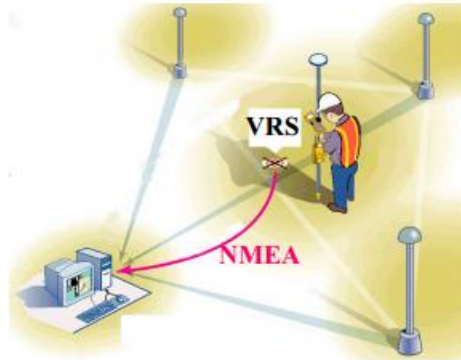
2. Ağdaki MAC düzeltmeleri rover'a ulaştığı anda rover direk olarak kendi konumundaki hataları hesaplar böylece hataların modellenmesi için belirli bir zamana ihtiyaç yoktur. Yüksek doğrulukta konum belirleme ilk düzeltme veri seti alınır alınmaz mümkündür.
3. Model bazlı vektörler (FKP tekniğinde olduğu gibi) hatalara ilişkin tahmini sonuçlar içerir ve yazılıma özgü formattadır dolayısıyla tüm roverlar için ortak bir yapıda değildir. Basit enterpolasyon uygulanarak rover konumunu bu düzeltmeleri kullanarak hesaplamaktadır. MAC tekniğinde faz başlangıç belirsizliğinin eşitlendiği gözlemlerin içerdiği referans istasyonlarında gözlemlenen gerçek atmosferik ve geometrik hatalar rover'a gönderilir. Dolayısıyla bu düzeltmeler modellenmemiş ham veri içerir ve rover bütün ilişkili hata bilgilerini kullanarak gerçek çok bazlı çözüm hesaplar. Ağdaki hatalar rover'a sağlıklı bir şekilde geldiği sürece hangi modelin referans istasyon noktalarındaki yazılımca verilere eklendiğinin bir önemini kalmaz.
4. Çift yönlü iletişim kullanıldığı durumlarda (CORS-TR sistemi çift yönlü iletişim kullanır) rover'ın en yakınındaki referans istasyonu otomatik olarak ana referans istasyonu seçilir. Dolayısıyla rover ile aynı uyduları takip etme olanağı olur.
5. MAC tekniği ana referans istasyon noktasına ait tüm ham gözlemleri içermektedir dolayısıyla rover klasik RTK uygulamasını kullanarak düzeltme alabilir.
6. FKP ve VRS tekniklerinde merkezi işlemci bütün referans istasyonlarındaki düzeltmeleri hesaplar. MAC tekniğinde rover'ın içindeki yazılım sadece bütün ağın alt ağ kümesinden oluşan (örneğin 1 adet ana referans istasyonu ve 6 adet yardımcı istasyon) düzeltmeleri kullandığı için veri boyutu işlemciyi zorlayacak kadar büyük değildir. Sadece rover'ın MAC düzeltmelerinden yararlanabilecek yazılıma sahip olması önemlidir.
7. Ana referans istasyonu ham gözlemleri ile yayılan ve yayılmayan hatalar (iyonosfer ve geometrik) 1HZ güncelleme hızına kadar (1sn aralıklarla) gönderilebilir. İyonosferik düzeltme zamanla hızlı değişim gösterdiği ve frekansa bağımlı olduğu için, tüm frekanslardaki düzeltmeler tam olarak ve sık aralıklarla yayınlanırlar. Türkiye'nin de

aralarında bulunduğu orta enlemlerde diferansiyel iyonosferik değişim saniyede birkaç mm mertebesindedir. Troposfer ve uydu yörünge düzeltmeleri ise zaman içerisinde yavaş değişim göstereceğinden daha seyrek aralıklarla yayınlanırlar. Bu nedenle iyonosferik düzeltmelerin 2-10sn sıklıkla, troposferik düzeltmelerin ise 10-30sn de bir yayınlanması yeterlidir. Sonuç olarak atmosferik düzeltmelerin 2-10sn arasında bir güncelleme hızı ile yayınlanması rover'ın konumunun hesaplanmasında önemli bir doğruluk kaybına neden olmayacaktır (Anonymous 3,2005;Kahveci M, 2009).

### 4.3. VRS Tekniği

VRS tekniğinin temel prensibi, gerçek bir referans istasyonu yerine sanal bir referans istasyonu kullanılmasıdır. VRS konsepti, tek bir referans istasyonu kullanılarak klasik RTK yönteminden sağlanan doğruluğu, gözle görünmeyen ve tesis edilemeyen bir sanal nokta oluşturarak ağa bağlı RTK düzeltmeleri aracılığı ile optimize etmektedir (Talbot ve ark., 2002). Referans istasyonlarından oluşan ağ sürekli olarak merkezi işlemcilerle bağlanarak ağ boyunca bir bölgesel düzeltme verisi oluşturur. Daha sonra bu veri rover'ın bulunduğu yerin birkaç metre uzaklığında sanal bir referans istasyonu oluşturmak için kullanılır ve bu noktadan yayınlanır. Rover bu noktayı gerçek bir referans istasyonundan gelen GNSS verisi olarak alır ve kullanır (Landau ve ark., 2002).

VRS tekniğinin uygulanabilmesi için rover'ın çalışma sahasında en az 3 adet (Tusaga-Aktif için en az 5 adet) referans istasyonunun merkezi işlemci birimine bağlanması gerekir ve ayrıca rover iki yönlü iletişimi desteklemek zorundadır. VRS tekniğinin çalışma prensibi Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



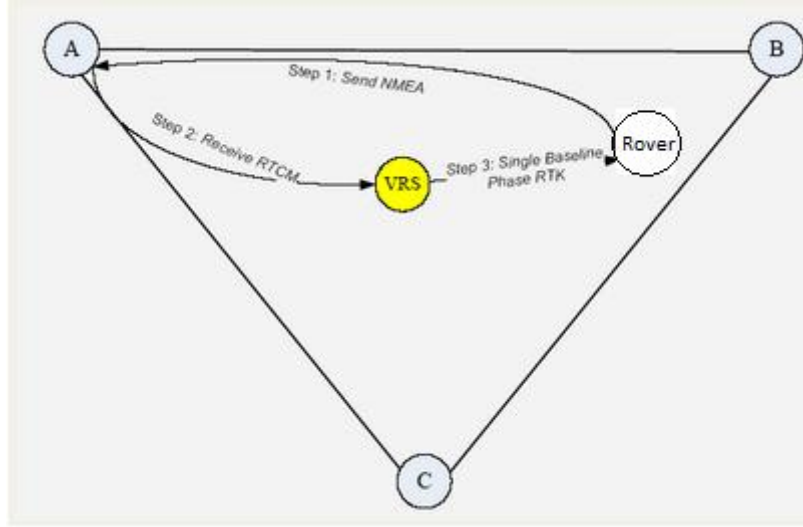
Şekil 4.7. VRS konsepti (Landau H ve ark., 2002)

VRS tekniğini kullanarak anlık konum bilgisini almak için işlem adımlarını şu şekilde sıralayabiliriz.

1. Referans istasyonundaki gözlem verileri merkezi işlemci birimine gönderilir (TUSAGA-AKTİF sistemi için).
2. Arazideki rover kendi konumunu belirlemek için kullandığı navigasyon koordinatlarını (kod ölçümü sonucu, metre doğruluğunda) merkezi işlemci birimine NMEA formatında GSM veya GPRS aracılığı ile gönderir.
3. Merkezi sunucu bu navigasyon koordinatlarına sanal bir referans istasyonu oluşturur.
4. Merkezi işlemci birimi rover'ın en yakın hangi 3 adet referans istasyonu arasında kaldığını belirler.
5. Rover'ın en yakınında bulunan referans istasyonu ana referans istasyonu olarak belirlenir.
6. Referans istasyonları arasındaki bazlarda taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizleri çözülerek troposfer, iyonosfer ve yörünge hataları cm doğruluğunda belirlenir.
7. Ana referans istasyonundaki pseudorange ve taşıyıcı dalga fazı gözlem verileri geometrik olarak sanal referans istasyon noktasına ötelenir ve ağdaki düzeltmeler (troposferik, iyonosferik, yörünge) bu sanal istasyon noktasına göre enterpole edilerek ilave edilir.
8. Oluşturulan sanal referans noktasındaki veriler kullanıcıya RTCM protokolü aracılığıyla merkezi sunucu tarafından aktarılır.
9. Rover gelen verileri fiziksel bir referans istasyon noktasından geliyormuş gibi klasik RTK çözümlemesinde kullandığı algoritmayı kullanarak bulunduğu noktanın konumunu hesaplar.
10. VRS tekniğinin temel amaçlarından birisi referans istasyonu ve rover arasındaki baz uzunluğunu düşürerek korelasyonlu hataları etkili bir şekilde elemine etmektedir.

Ana referans istasyonundaki gözlem verilerinin sanal referans istasyon noktasına geometrik olarak ötelenmesi Şekil 4.8 ile açıklanabilir.

Ana referans istasyonunun koordinatları yüksek doğrulukta bilindiği varsayılırsa ve uyduların koordinatları efemeris bilgisi yardımıyla çözüldüğü zaman, uydu ve alıcı anteni faz merkezi arasındaki geometrik mesafe yüksek bir doğrulukla belirlenebilir.



Şekil 4.8. Geometrik yer değiştirme

B istasyon noktasının rover'a en yakın istasyon noktası olduğu varsayılırsa. B istasyon noktasının her bir uyduya olan mesafesi ( $p_B^i$ ), B istasyon noktasının ve uyduların geocentric vektör bileşenleri kullanılarak şu şekilde yazılabilir.

$$p_B^i = X^i - X_B \quad (4.9)$$

Rover'ın navigasyon koordinatlarına üretilen sanal referans istasyon noktasının her bir uyduya olan mesafesi ( $p_{VRS}^i$ ), sanal noktanın ve uyduların geocentric vektör bileşenleri kullanılarak şu şekilde yazılabilir.

$$p_{VRS}^i = X^i - X_{VRS} \quad (4.10)$$

Her bir mesafe için geometrik öteleme ( $\Delta p^i$ ) şu şekilde hesaplanır.

$$\Delta p^i = p_B^i - p_{VRS}^i \quad (4.11)$$

Böylece en yakın referans istasyonundaki geometrik mesafe ile sanal referans istasyonundaki geometrik mesafe arasındaki fark yardımıyla ötelenen pseudorange hesaplanmış olur. Bu sanal pseudorange yardımıyla uydu konumları VRS noktası için kepler elemanları yardımıyla iterasyonlu bir algoritma kullanılarak bulunur. Güncellenen uydu pozisyon bilgileri ve gözlemler yardımıyla düzeltilmiş geometrik farklar VRS noktası için tekrar hesaplanır.

Aşağıdaki denklemlerde sanal referans noktası için L1 frekansı kullanılarak taşıyıcı dalga fazı ( $\phi_{VRS\_L1}$ ) ve pseudorange ( $P_{VRS\_L1}$ ) oluşumu gösterilmiştir. Bunun için B istasyon noktasındaki taşıyıcı dalga fazı ( $\phi_{B\_L1}$ ) ve pseudorange ( $P_{B\_L1}$ ) gözlemleri kullanılması gerekir. Aşağıdaki denklemler L2 frekansı için de yazılabilir.

$$f_{VRS\_LI} = f_{B\_LI} + (f_1 * \Delta p^i) / c \quad (4.12)$$

$$P_{VRS\_LI} = P_{B\_LI}^i + \Delta p^i \quad (4.13)$$

Sanal referans noktası için sentetik pseudorange ve faz gözlemleri üretildikten sonra, bu nokta için düzeltmeler (iyonosferik, troposferik, yörünge) farklı enterpolasyon teknikleri kullanılarak hesaplanır ve en yakın referans istasyonundaki gözlem verilerine ilave edilir. Genellikle ticari yazılımlar lineer enterpolasyon metodunu uygulamaktadır. Uzaklığa bağlı lineer enterpolasyon tekniği kullanılarak VRS noktası için pseudorange düzeltmesi ( $\Delta p_{d\u00fczeltme\_B-VRS}$ ) ve faz düzeltmesi ( $\Delta f_{d\u00fczeltme\_B-VRS}$ ) aşağıdaki şekilde elde edilir (Wei, E ve ark., 2006).

$$P_{VRS}^i = P_B^i + \Delta p^i + \Delta p_{d\u00fczeltme\_B-VRS} \quad (4.14)$$

$$f_{VRS}^i = f_B + \Delta p^i + \Delta f_{d\u00fczeltme\_B-VRS} \quad (4.15)$$

Oluşturulan sanal referans istasyon noktasındaki sentetik pseudorange ve taşıyıcı dalga fazı gözlemleri RTCM mesaj türlerinden 18 ve 19 kullanılarak rover'a aktarılır. Rover bu gelen verileri sanki gerçek bir fiziksel referans istasyonundan geliyormuş gibi alır ve klasik RTK algoritmasını kullanarak hesaplama yapar.

VRS tekniğı RTCM konseptine uymaz çünkü sanal referans noktasındaki ölçümler modellenen veri içerir. Ayrıca GNSS düzeltme verileri fiziksel bir referans istasyonu yerine sanal bir referans istasyonuna göre modellendiğı için yasal olarak bu verinin takip edilip analizi veya tekrarlanması söz konusu değıldir (Anonymous 4, 2014).

Ana referans istasyonu ve rover arasındaki baz uzunluğı VRS tekniğinin performansını etkileyen önemli kriterlerden biridir. VRS noktası ile rover arasındaki baza ait ionosferik etki ile ana referans istasyonu ve rover arasındaki baza ait ionosferik etki birbirinden farklı olduğı durumda VRS noktasındaki ionosferik etki tam olarak giderilemez. Bunun nedeni rover ile VRS arasındaki baz mesafesinin VRS ile referans istasyonu arasındaki baz mesafesine göre çok kısa olmasıdır.

#### 4.4. Tekniklerin Avantajları ve Dezavantajları

Ağ bazlı RTK tekniklerinin temel amaçları gerçek zamanlı yüksek doğrulukta konum bilgisini kullanıcılara zamandan ve buldukları konumdan bağımsız bir şekilde göndermektir. Yöntemlerin amaçları aynı olsa da çalışma prensipleri önceki bölümlerde

açıklandığı gibi birbirinden oldukça farklıdır. Dolayısıyla her tekniğin kendine özgü bazı avantajları ve dezavantajları vardır.

MAC tekniği çıkana kadar ağ RTK düzeltmeleri ve bu düzeltmelerin kullanıcılara yayınlanması konusunda hiçbir uluslararası standart mevcut değildi dolayısıyla VRS ve FKP teknikleri kullanılmaktaydı. Bu iki yaklaşımda ağ yazılımının modelleme algoritmaları kullanıcılara sağlanmadığı için özel formatlarda çalışmak zorunlu hale gelmiştir bu da belirli markalara bağımlılığa (referans istasyonu, merkezi işlemci ve rover'daki yazılımlar gibi) neden olmuştur. Diğer markalar kendi yazılımlarını bu düzeltme mesajlarını alabilecek şekilde değiştirmişler fakat %100 uyumlu bir hale getirememişlerdir dolayısıyla istenilen performans elde edilememiştir. Aşağıdaki bölümlerde FKP, MAC ve VRS tekniklerinin dezavantajları ve avantajları yönleri anlatılmıştır.

#### **4.4.1. FKP tekniğinin dezavantajları yönleri**

1. Referans istasyonlarının oluşturmuş olduğu daireler dışındaki alanlarda FKP tekniği için doğrusal enterpolasyon yöntemi (düşük mertebeli yüzey modeli) uygulanır. Eğer referans istasyonları arasında doğrusal olmayan bir değişim söz konusu ise (düzensiz troposferik ve iyonosferik değişimlerde) enterpolasyon hataları oluşur bu da rover'ın konumunun hatalı hesaplanmasına yol açar.
2. Kontrol ve hesap merkezinde FKP tekniği için uygulanan algoritma üretici firmaya özgüdür. Dolayısıyla alıcı için standart olmayan bu formatı her rover doğrudan kullanamaz ve gelen düzeltme mesajlarını kendi konumuna göre optimize edemeyebilir.
3. Rover'ın hareket sahası diğer tekniklere göre daha sınırlıdır çünkü FKP tekniğinde modellenen alana göre kuzey-güney, doğu-batı şeklinde düzeltme parametreleri oluşturulur ve oluşan katsayılar bu alanın her tarafı için geçerlidir dolayısıyla rover bu modellenen alanın dışına çıktığı zaman veya modellenen alanın kenarlarındaki çalışmalarda düzeltme parametreleri geçerliliğini kaybedebilir.
4. FKP tekniğindeki yayın formatı RTCM standartlarına uymaz çünkü RTCM 59 formatındaki mesaj türü üretici firmaya bağlı olan bir mesaj türüdür dolayısıyla bütün alıcılar bu mesaj türünü doğrudan kullanamaz.



5. Bu teknik resmi olarak yayınlanmamış bir algoritma kullanır (firmaya özgü) bu da ağ bazlı RTK çözümlerinde standart dışı bir teknik olup aynı zamanda RTCM standartlarına da uymaz.
6. FKP tekniğinde gerçek referans istasyonları, ağ modellemesi için kullanılmasına rağmen FKP mesajı modellenen veri içerir dolayısıyla rover uzaklığa bağlı hata verilerini takip edemez ve bu modeli kendi konumuna göre optimize etmek için değiştiremez.
7. Ağ düzeltmelerine erişim için ilk kilitlenme diğer tekniklere göre daha uzun zaman alır.
8. TUSAGA AKTİF sisteminde FKP tekniği için yayınlanan mesaj türleri içerisinde GLONASS verilerine ait mesaj bilgisi yoktur dolayısıyla FKP ile yapılan ölçümlerde GLONASS uydularından yararlanılamaz.

#### **4.4.2. FKP tekniğinin avantajlı yönleri**

1. FKP düzeltme parametrelerinin oluşturulduğu referans istasyonlarından herhangi biri devreden çıkarsa veya GPS sinyallerinde bir kesiklik olursa rover'ın bulunduğu bölgeye bağlı olarak sorunlu referans istasyonu devreden çıkartılarak FKP düzlemi tekrar oluşturulur.
2. Tek yönlü iletişim alt yapısı ile de kullanılabilir. GPRS yayınının olmadığı kırsal ve dağlık bölgelerde kullanıcılar radyo yayını aracılığı ile düzeltme alabilirler. Bu gibi durumlarda kullanıcılarının çalışacakları bölge önceden belirlenmeli ve rover'a en yakın referans istasyonu ana referans istasyonu olarak seçilmelidir.
3. Merkezi hesaplama biriminin işlem hacmi çok yoğun değildir çünkü modellemeler basit bir şekilde yapılır (doğrusal enterpolasyon) ve VRS tekniğinde olduğu gibi her bir kullanıcı için sanal referans istasyon belirleme söz konusu değildir.
4. Eş zamanlı kullanıcı kısıtlaması yoktur. Belirli bölge için hesaplanan FKP parametreleri o bölgedeki tüm kullanıcılar için geçerlidir dolayısıyla o bölgedeki her kullanıcı için ayrı bir hesaba gerek kalmaz.

5. Düzeltme parametreleri belirli bir bölgeyi kapsadığı için (maksimum 100km) rover bir kez ağ düzeltmelerini almak için kilitlendikten sonra kinematik uygulamada tekrar kilitlenmek zorunda kalmaz.

#### 4.4.3. MAC tekniğinin dezavantajları yönleri

1. Veri hacmi diğer tekniklere göre daha yüksektir ve yüksek bant genişliğine ihtiyaç duyar.
2. Bütün hesaplamalar rover üzerinden yapıldığı için rover'a uygun yazılımın yüklenmiş olması gerekir.
3. TUSAGA AKTİF sisteminde MAC tekniği için yayınlanan mesaj türlerinde GLONASS uydu verileri yoktur.
4. Ağ düzeltmelerini almak için ilk kilitlenme zamanı alabilir.
5. TUSAGA AKTİF sisteminde MAC için ayrılan port sayısı VRS ve FKP için ayrılan port sayısından daha azdır. Bunun nedeni MAC kullanıcılarının sayısının az olmasıdır. Rover'ın bulunduğu bölgede MAC için ayrılan port sayısı dolu veya yok ise kullanıcı MAC yayınından düzeltme alamaz. Bu diğer tekniklerde daha düşük bir ihtimaldir çünkü port sayıları daha fazladır.
6. Ağdaki ilk düzeltme veri seti rover'a geldiği anda rover yazılımına bağlı olarak hata modellemeleri için kompleks algoritmalar kullandığı durumda konum çözümlemesi rover'ın işlemci hızına bağlı olarak zaman alabilir.

#### 4.4.4. MAC tekniğinin avantajları yönleri

1. MAC tekniğini diğerlerinden ayıran en önemli özellik modellenmemiş ham veri içermesidir dolayısıyla RTCM standartlarına uygun tek ağ bazlı RTK yöntemidir.
2. Ağ düzeltmeleri için resmi olarak yayınlanmış algoritma içeren tek ağ bazlı RTK tekniğidir.
3. Rover'a uzaklığa bağlı hataların hesabının kontrolünü veren tek yöntemdir böylece rover duruma göre farklı algoritma uygulayarak yersel çevre değişikliğine göre hesaplamaları optimize edebilir.

4. Gerçek referans istasyonlarının ham verileri kullanıldığı için veriler izlenebilir ve geriye yönelik tekrar edilebilir.
5. Ağdaki faz başlangıç belirsizliğinin çözülemediği durumlarda (örneğin referans istasyonlarının bazılarının devreden çıkması durumunda) ana referans istasyonuna ait ham veriler kullanılarak rover klasik RTK algoritmasını uygulayarak ana referans istasyonundaki düzeltmelerden yararlanabilir.
6. Hataların modellenmesi rover'daki yazılım tarafından yapıldığı için merkezi hesaplama ve kontrol biriminin iş yükü hafifler dolayısıyla eş zamanlı kullanıcı kısıtlaması yoktur.

#### 4.4.5. VRS tekniğinin dezavantajları yönleri

1. VRS tekniğinde eş zamanlı kullanıcı sayısı kısıtlaması vardır. Bunun nedeni merkezi hesaplama merkezinde her bir kullanıcının konumuna bağlı olarak ayrı bir model oluşturulur dolayısıyla eş zamanlı kullanıcı sayısı arttıkça merkezi sunucunun yük hacmi artar. Belirli bir kullanıcı sayısından sonra hesaplama merkezinin merkezi işlemci birimi kilitlenir.
2. İki yönlü iletişim alt yapısı gerektirir dolayısıyla rover'ın iki yönlü iletişim alt yapısına uygun olması gerekir. GPRS yayının olmadığı yerlerde düzeltme alınmaz çünkü rover merkezi hesaplama birimine konum bilgisini gönderemez.
3. Modellenen veri merkezi işlemci yazılımının kendi markasına göre modellendiği için rover için ortak bir format değildir dolayısıyla her rover bu düzeltmeyi alamaz ve bu veri başka optimizasyon teknikleri için (algoritma, modelleme ve enterpolasyon gibi) kullanılamaz.
4. VRS tekniği RTCM standartlarına uymaz çünkü düzeltme verileri ham veri yerine modellenen veri içerir. Kullanıcı hataların ve gelen düzeltmelerin büyüklüğüne dair bilgi sahibi olamaz.
5. GNSS düzeltme verileri fiziksel bir referans istasyonu yerine sanal bir referans istasyonuna göre modellendiği için yasal olarak bu verinin takip edilip analizi veya tekrarlanması söz konusu değildir. Örneğin belirli bir zamanda VRS tekniği ile yapılan bir ölçünün analizi yapılmak istenilirse

rover'ın düzeltme olarak baz aldığı en yakın referans istasyonunun o zamana ait rinex dosyasına bakılabilir fakat rover klasik RTK uygulamasında olduğu gibi oluşturulan sanal referans istasyonunu sabit aldığı için fiziksel referans istasyonunun analizi sağlıklı olmayabilir. Önemli olan sanal referans istasyonunun doğru bir şekilde oluşup oluşmadığıdır. Kullanıcı o tarihte ağ düzeltmelerini almak için ilk kilitlendiği noktayı tam olarak bulsa bile sanal referans istasyonu o tarihte oluşan yerde tekrar oluşmayabilir.

6. Troposferik ve iyonosferik modellemelerde merkezi işlemci yazılımının rover'ın navigasyon konumu için ürettiği sonuç ile rover'ın bulunduğu noktadaki gerçek hata farklı olabilir. Çünkü rover'ın merkezi işlemciye gönderdiği navigasyon koordinatlarının doğruluğu düşüktür.
7. VRS tekniğinin temelinde klasik RTK yöntemi vardır. Rover'ın ilk kilitlenmesinden sonra oluşan sanal istasyon noktası ile arasındaki baz uzunluğu artarsa gelen düzeltmeler uzaklığa bağlı hatalar nedeniyle geçerliliğini kaybedecektir dolayısıyla rover ilk kilitlendiği noktadan çok uzaklaşırsa (örneğin, 5km'nin üstünde) ağa tekrar kilitlenmesi gerekir.
8. VRS tekniğinde sabit ile (sanal referans istasyon noktası) hareketli arasındaki baz mesafesi genellikle kısadır. İyonosfer modellemesinde artık iyonosferik etki varsa alıcı L1 ve L2 frekanslarını kombine ederek iyonosfer free düzeltmesini uygulayamaz bu durumda iyonosferik etkinin tam olarak giderilememesine yol açabilir.

#### **4.4.6. VRS tekniğinin avantajları yönleri**

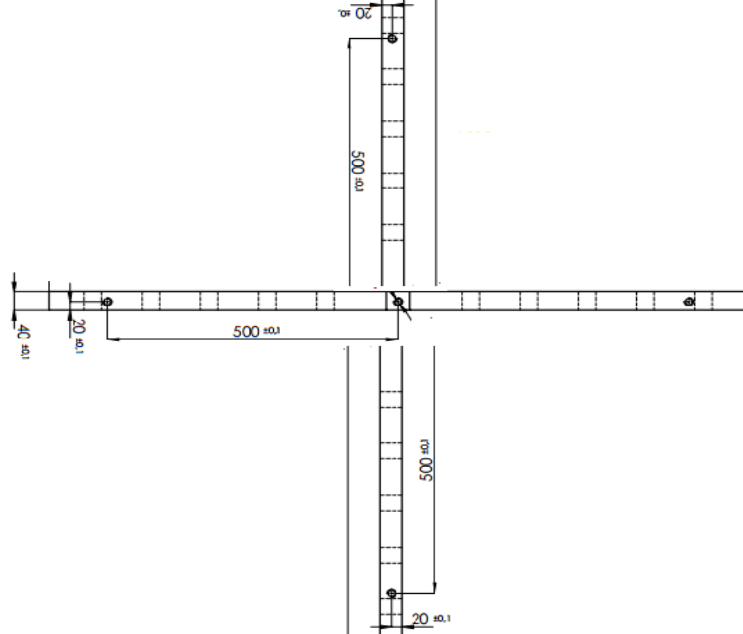
1. Rover konum hesabı için düzeltmeleri, oluşturulan sanal referans istasyonu noktasından alır. Klasik RTK tekniğinde olduğu gibi bu sanal referans istasyon noktası için ikili farklar uygulanır. Dolayısıyla rover'ın düzeltmeleri alabilmesi için ayrıca bir yazılıma (temel yazılım dışında) veya donanıma ihtiyacı yoktur ve çoğu rover VRS düzeltmesini alabilmektedir. Firmware sürümünün güncellenmesi de VRS tekniğini kullanma açısından çok önemli değildir.
2. Ağdaki düzeltmeler merkezi işlemci biriminde hesaplanır dolayısıyla rover'ın hesap yükü diğer yöntemlere göre daha düşüktür. Rover'ın

ağdaki düzeltmeleri alma anındaki kilitlenme hızı (fixlenme) diğer yöntemlere göre daha hızlıdır.

3. İyonosferik ve troposferik etkiler hesaplama merkezindeki yazılıma bağlı olarak kompleks algoritmalar kullanılarak modellenenir.
4. VRS tekniğinde GLONASS uydularına ait verilerin mesaj türü CORS-TR sisteminde yayınlanmaktadır dolayısıyla uydu görüş alanının kısıtlı olduğu yerlerde diğer yöntemlere göre uydu geometrisi açısından daha avantajlıdır.
5. Veri hacmi diğer tekniklere göre daha düşüktür.

## 5. UYGULAMA

VRS, FKP ve MAC düzeltme tekniklerinin doğruluk analizlerini aynı şartlar altında (aynı uydu geometrisi, aynı zamanda vb.) yapabilmek amacıyla özel bir aparat yaptırılmıştır (Şekil 5.1,5.2).



Şekil 5.1. Aparatın profil görünümü



Şekil 5.2. Aparatın üstten görünüşü

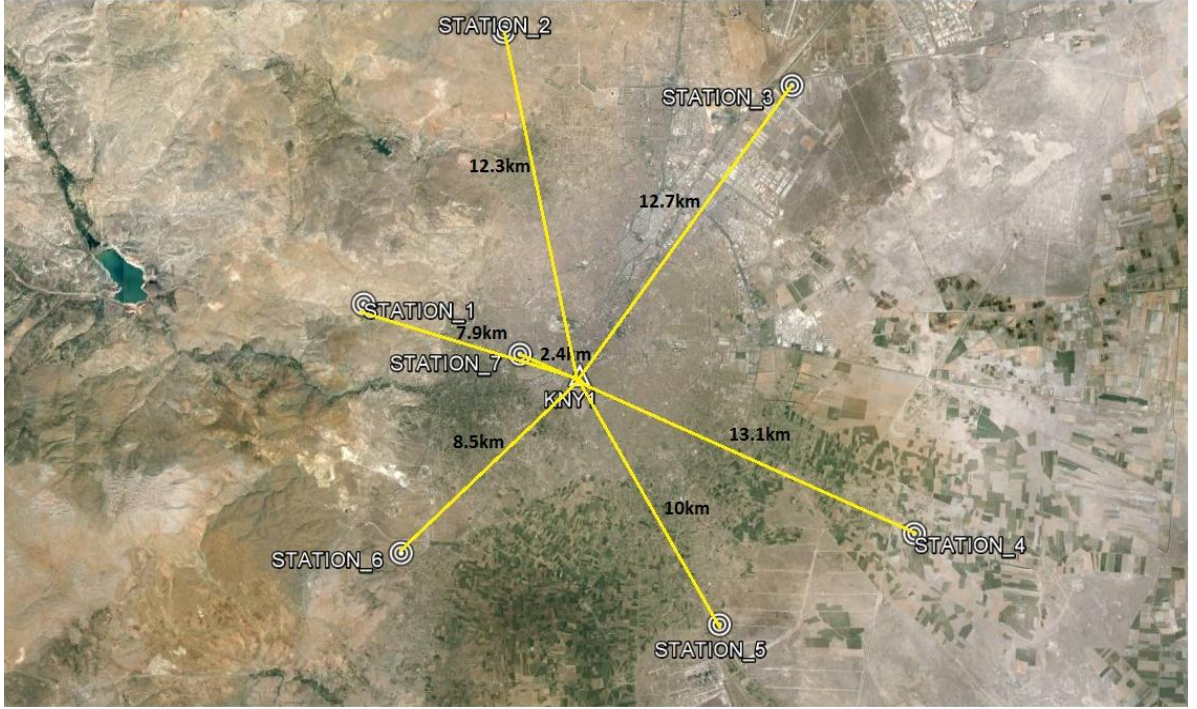
Aparat, SolidWorks programında çizilip CNC tezgaha aktarılmıştır. Gövde aliminyumdan yapılmıştır ve iki parça birbirine 90 derece  $\pm 0.1''$  dik açı yapacak şekilde işlenip birleştirilmiştir.

GNSS ölçümlerini etkileyen hatalar (troposferik, iyonosferik, vb.) zamana göre değişim gösterdiği için ölçülen koordinatlardaki doğrulukta değişkenlik göstermektedir (Olynik ve ark., 2002). Bu projede ağ bazlı RTK tekniklerinin karşılaştırması olabildiğince aynı zaman diliminde ve aynı şartlar altında yapılmıştır. Tasarlanan aparat aracılığı ile her ölçüm noktasında alıcıların faz merkezi birbirinden  $500\text{mm} \pm 0.1\text{mm}$  uzaklıkta ve yaklaşık aynı yükseklikte olması sağlanmıştır. Ağ bazlı RTK tekniklerinden aynı zaman dilimi içerisinde veri alınarak tekniklerin aynı sistematik hatayı içermesi amaçlanmıştır.

Uygulama için 3 adet EPOCH-50 marka GNSS alıcısı, 3 adet NOMAD el ünitesi, 1 adet tripod, 1 adet tribrach, 1 adet özel yapım aparat ve ölçülerin dengelenmesi için Trimble Spectra Precision Survey Office programı kullanılmıştır. Uygulamada kullanılan EPOCH-50 GNSS alıcılarının ölçüm doğruluğu ve alabildiği uydu sinyalleri şu şekildedir:

- Statik GNSS yatay doğruluk:  $\pm 3\text{mm} + 0.1\text{ ppm}$ .
- Statik GNSS düşey doğruluk:  $\pm 5\text{mm} + 0.4\text{ ppm}$ .
- Desteklediği GPS sinyalleri: L1/L2/L2C/L5
- Desteklediği GLONASS sinyalleri: L1/L2

Uygulama alanı Konya ili merkez bölgesini kapsayacak şekilde yapılmıştır. Şekil 5.3'te ölçüm yapılan 7 adet nokta ve bu noktaların KNY1 TUSAGA-AKTİF noktasına olan mesafeleri Google Earth üzerinden gösterilmektedir.



**Şekil 5.3.** Ölçüm yapılan noktalar ve KNY1 istasyon noktası

Ölçüm yapılan noktaların yerleri belirlenirken Konya merkez bölgesini kapsayacak olması ve sinyal etkileşimine, sinyal yansımalarına ve sinyal kesikliğine neden olabilecek objelerden uzak olması dikkate alınmıştır.

### 5.1. Arazi Çalışmaları

Belirlenen noktalarda öncelikle CORS bağlantısının (GPRS yayınının) olup olmadığı kontrol edilmiştir. Daha sonra ölçüm aparatı, tripod ve tribrach aracılığıyla belirlenen noktalara düzeçlenmiştir (Şekil 5.4-5.5).





**Şekil 5.4.** Aparatın düzeçlenmesi



**Şekil 5.5.** GNSS alıcılarının aparata monte edilişi.

Ölçüm işlem adımları ölçüm yapılan tüm noktalar için şu şekilde gerçekleşmiştir:

1. 3 adet GNSS alıcısı aparata monte edildikten sonra aparatın küresel düzeci yardımıyla ölçüme başlamadan önce düzeçlenmiştir.

2. Aparattan gelecek herhangi bir multipath etkisini önlemek için aparatın kolları bezle kapatılmıştır.
3. Aparatın kollarındaki 3 adet GNSS alıcısı ile yaklaşık 3 saatlik statik oturum yapılmıştır. Statik oturum kayıt aralığı 5sn, uydu yükseklik açısı 10 derece seçilmiştir.
4. Statik oturum bittikten sonra alıcılar hareket ettirilmeden el ünitesi aracılığı ile VRS, FKP ve MAC tekniklerine getirilerek her ölçü 1 saniye veri toplama aralığında, 10 saniyelik gözlem süresinin ortalaması 1 ölçü olacak şekilde 3 teknik için de aynı zaman diliminde 40 adet ölçü yapılmıştır.
5. Her teknik için 40 adet ölçü yapıldıktan sonra VRS tekniğinden GLONASS uyduları çıkartılıp tekrar 40 adet ölçü yapılmıştır.

VRS, FKP ve MAC teknikleri ölçüm yapılan noktaların hepsinde KNY1 (Konya) TUSAGA-AKTİF referans istasyonunu baz referans istasyonu olarak kullanmışlardır.

## 5.2. Ölçülerin Değerlendirilmesi

Ağ bazlı RTK teknikleri sırasıyla doğruluk, hassasiyet, kinematik performans ve veri büyüklüğü bakımından birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki bölümlerde detaylı bir şekilde verilmiştir.

### 5.2.1. Doğruluk analizleri

TUSAGA-AKTİF ağ bazlı RTK tekniklerinin anlık koordinatları ITRF 96 2005.00 referans epoğunda hesaplandığı için statik oturum sonucu noktalarının koordinatları ITRF96 2005.00 referans epoğunda dayalı dengeleme sonucu üretilmiştir. Dayalı dengelemede kullanılan CORS noktaları AKHR (Akşehir), BEYS (Beyşehir) ve CIHA (Cihanbeyli) TUSAGA-AKTİF istasyon noktalarıdır. Baz çözümlerinde GPS ve GLONASS uydularına ait hassas efemeris (Dow, J.M ve ark., 2005) kullanılıp uydu yükseklik açısı 10 derece seçilmiştir.

7 adet noktada yapılan ölçümler sonucu tekniklerden (VRS (GPS/GLONASS)), FKP (GLONASS), MAC (GLONASS) ve VRS(GLONASS) elde edilen projeksiyon

koordinatları (transverse mercator, 3 derecelik dilim genişliği) ile statik oturum sonucu dengelenmiş projeksiyon koordinatlarının farklarından konum bileşenlerindeki RMS değerleri ve farkları hesaplanmıştır. Aşağıdaki çizelgeler ve grafiklerde bu sonuçlar gösterilmiştir. Ek-2'de istasyon noktalarında yapılan statik oturum sonucu projeksiyon koordinatları ile tekniklerden elde edilen projeksiyon koordinatları ve bunların farkları gösterilmiştir. Ek-1'de tekniklerin hata dağılım grafikleri verilmiştir.

**Çizelge 5.1.** İstasyon\_1 noktasındaki RMS değerleri

Teknik	$m_{yukarı}$ (m)	$m_{sağa}$ (m)	$m_h$ (m)	$m_p$ (m)	İlk fixlenme için geçen
STATİK-FKP(GPS)	0.013	0.023	0.051	0.027	2dk 11sn
STATİK-MAC(GPS)	0.004	0.018	0.051	0.018	19sn
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	0.002	0.020	0.050	0.020	12sn
STATİK-VRS(GPS)	0.002	0.023	0.047	0.023	

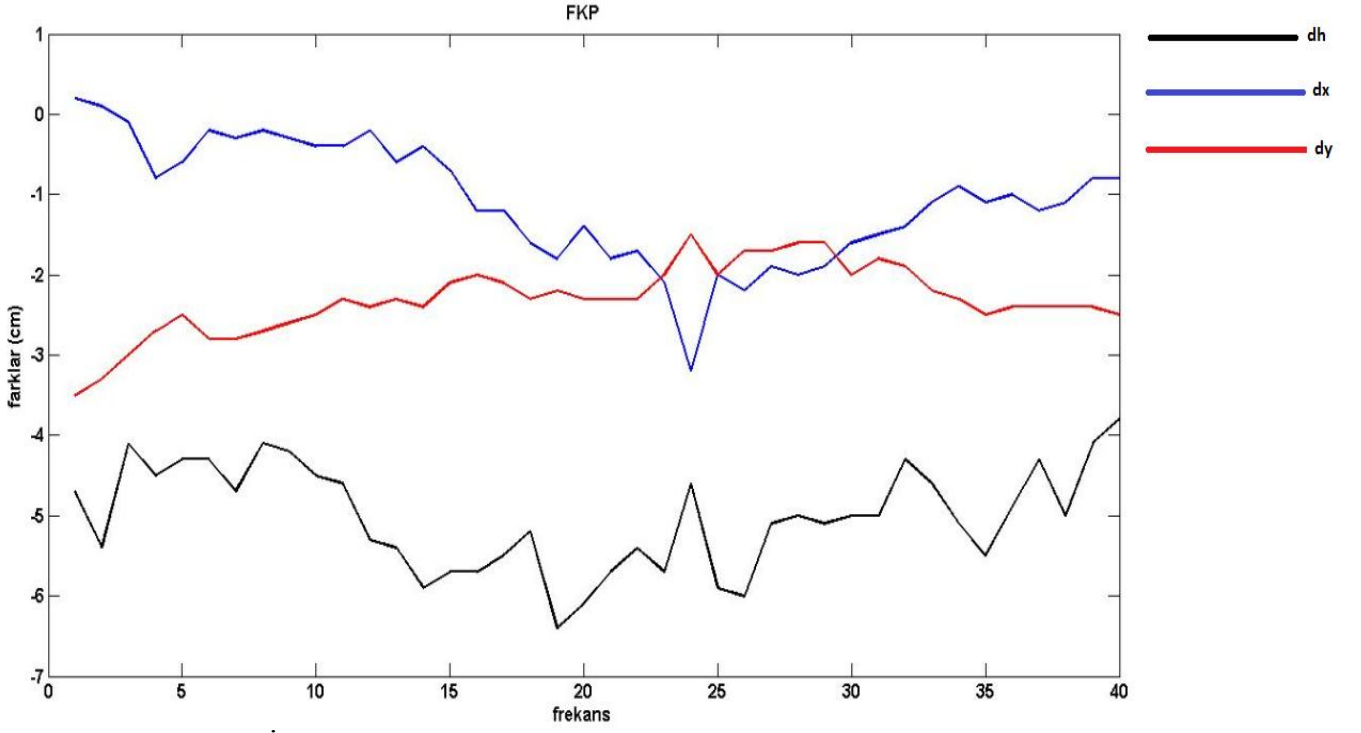
İstasyon\_1 noktasında yapılan statik ölçüm sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farkları şu şekilde çıkmıştır;

FKP (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3.5cm ile -1.5cm arasında ve ortalama -2.3cm, yukarı değer farkları -3.2cm ile +0.2cm arasında ve ortalama -1.1cm, h farkları -6.4cm, -3.8cm arasında ve ortalama -5.0cm;

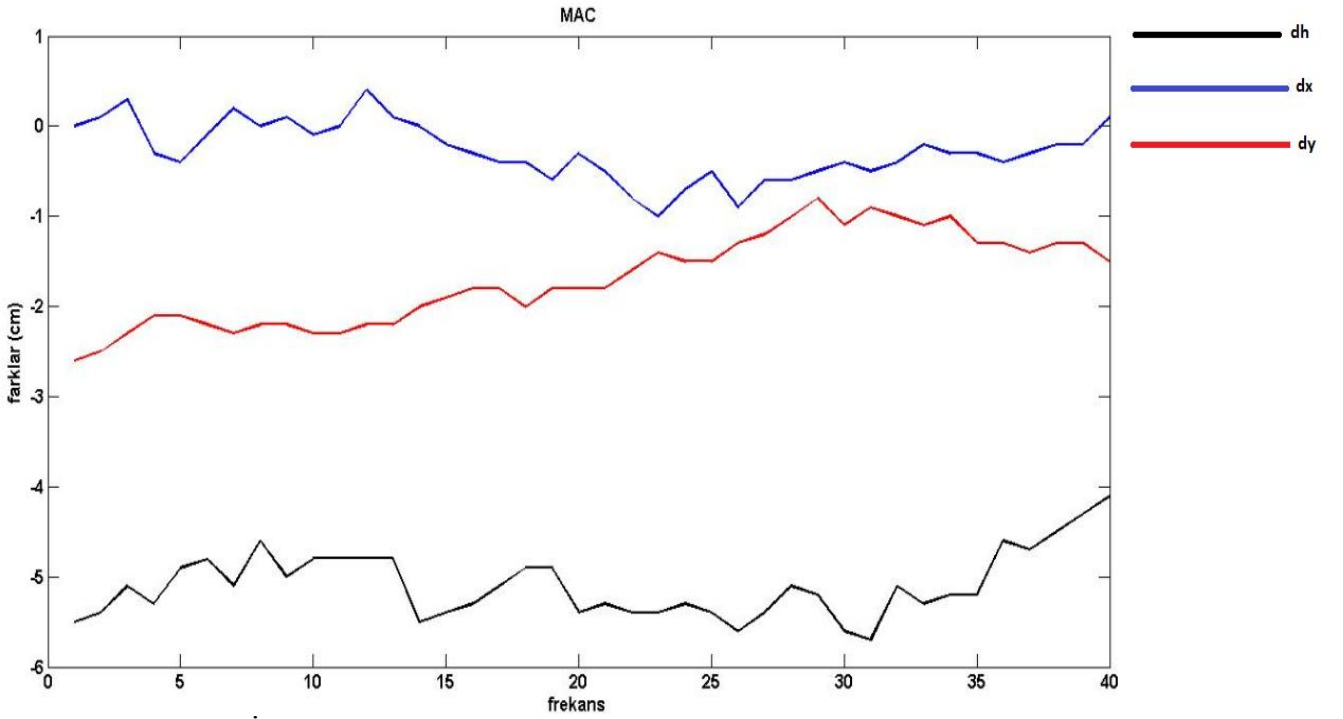
MAC (GPS) tekniği için sağa değer farkları -2.6cm ile -0.8cm ve ortalama -1.7cm, yukarı değer farkları -1.0cm ile +0.4cm ve ortalama -0.3cm, h farkları -5.7cm ile -4.1cm ve ortalama -5.1cm;

VRS (GPS/GLONASS) tekniği için sağa değer farkları -2.5cm ile -1.6cm arasında ve ortalama -2.0cm, yukarı değer farkları -0.5cm ile +0.2cm arasında ve ortalama -0.2cm, h farkları -6.0cm ile -3.9cm arasında ve ortalama -5.0cm;

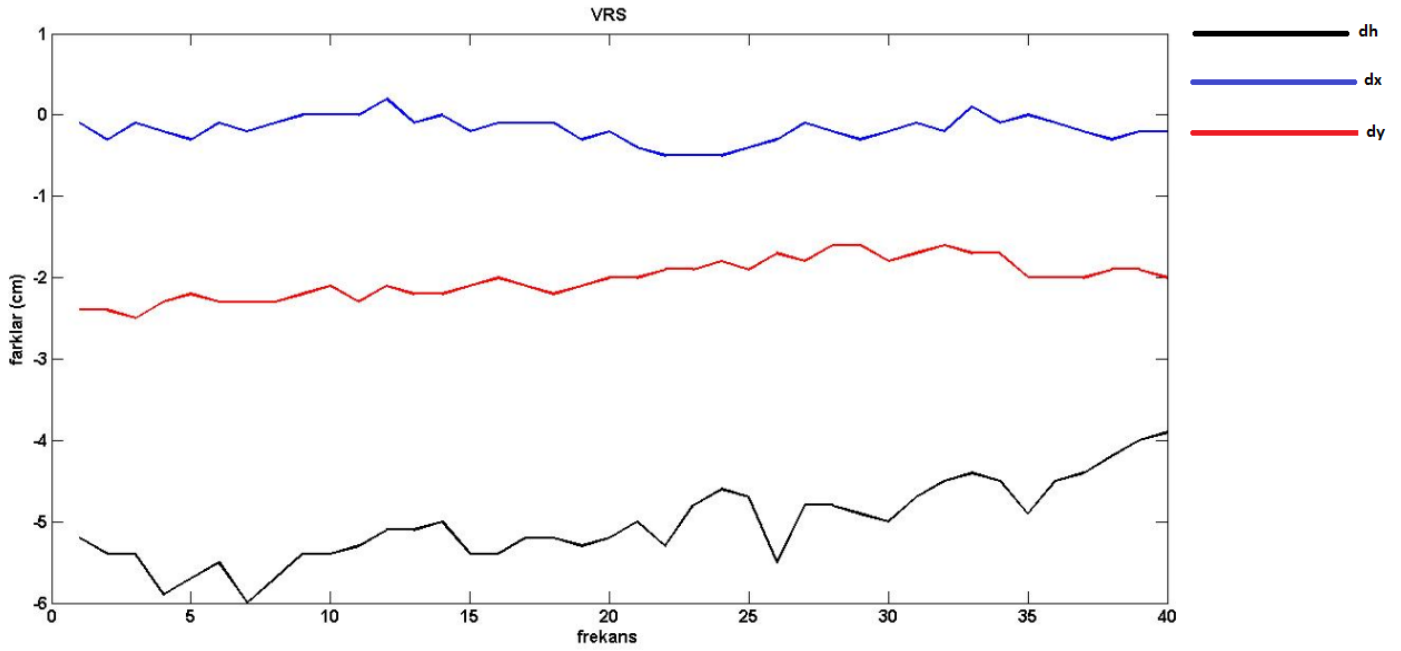
VRS (GPS) tekniği için sağa değer farkları -2.7cm ile -2.1cm arasında ve ortalama -2.3cm, yukarı değer farkları -0.4cm ile +0.5cm arasında ve ortalama -0.4cm, h farkları -6.0cm ile -3.9cm arasında ve ortalama -4.7cm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.6. İstasyon 1 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar



Şekil 5.7. İstasyon 1 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.8.** İstasyon 1 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar

**Çizelge 5.2.** İstasyon\_2 noktasındaki RMS değerleri

Teknik	$m_{\text{yukarı}}$ (m)	$m_{\text{sağa}}$ (m)	$m_h$ (m)	$m_p$ (m)	İlk fixlenme için geçen süre
STATİK-FKP(GPS)	0.010	0.025	0.047	0.018	2dk 11sn
STATİK-MAC(GPS)	0.020	0.009	0.040	0.022	19sn
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	0.010	0.025	0.067	0.027	15sn
STATİK-VRS(GPS)	0.006	0.022	0.076	0.023	

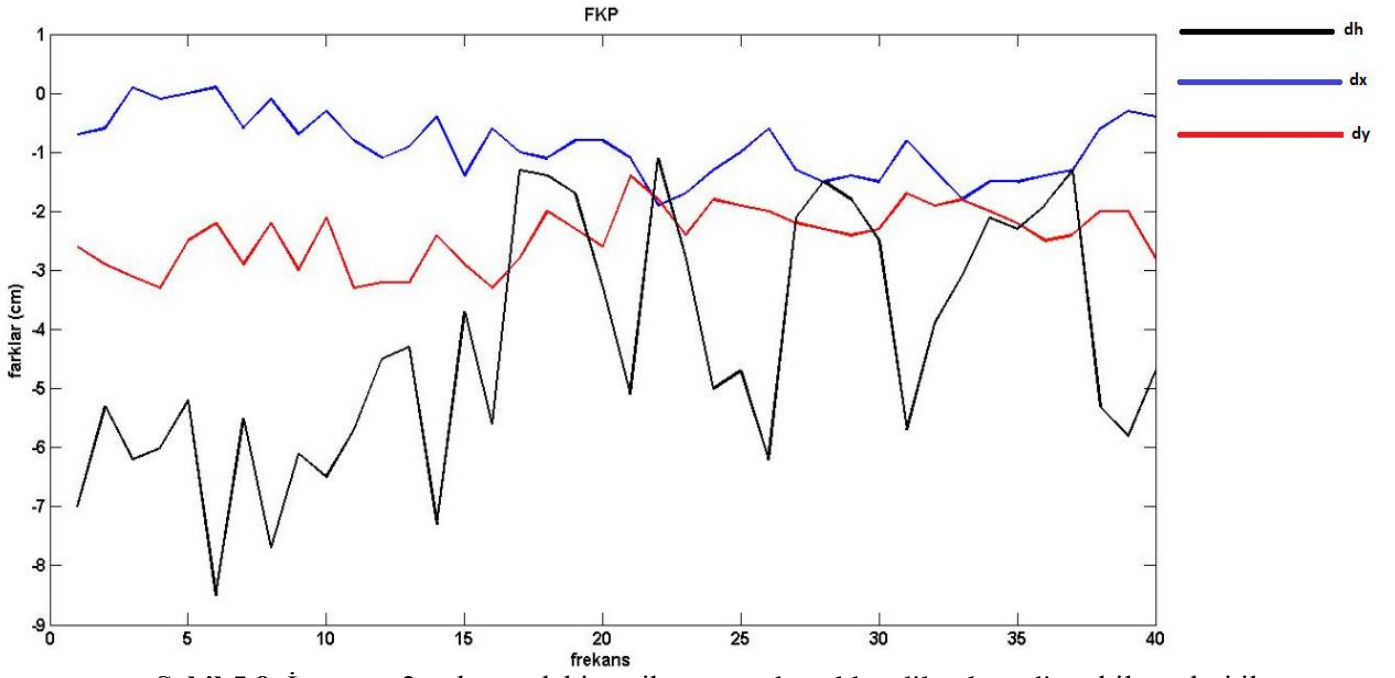
İstasyon\_2 noktasında yapılan statik ölçüm sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farkları şu şekilde çıkmıştır;

FKP (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3.3cm ile -1.4cm arasında ve ortalama -2.4cm, yukarı değer farkları -1.9cm ile +0.1cm arasında ve ortalama -0.9cm, h farkları -8.5cm ile -1.1cm arasında ve ortalama -4.3cm;

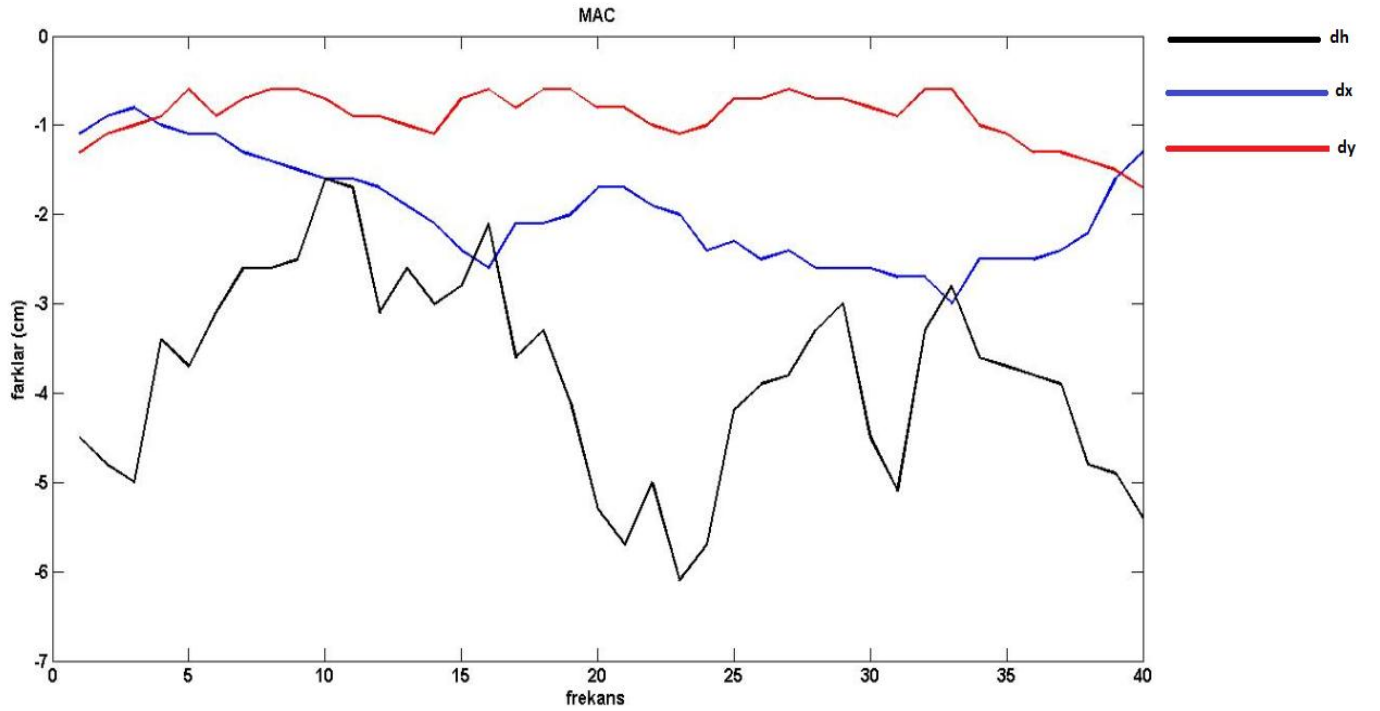
MAC (GPS) tekniği için sağa değer farkları -1.7cm ile -0.6cm arasında ve ortalama -0.9cm, yukarı değer farkları -3.0cm ile -0.8cm arasında ve ortalama -1.9cm, h farkları -6.1cm ile -1.6cm arasında ve ortalama -3.8cm;

VRS (GPS/GLONASS) tekniği için sağa değer farkları -4.0cm ile -1.1cm arasında ve ortalama -2.4cm, yukarı değer farkları -1.7cm ile +1.6cm arasında ve ortalama -0.6cm, h farkları -8.7cm ile -3.4cm arasında ve ortalama -6.5cm;

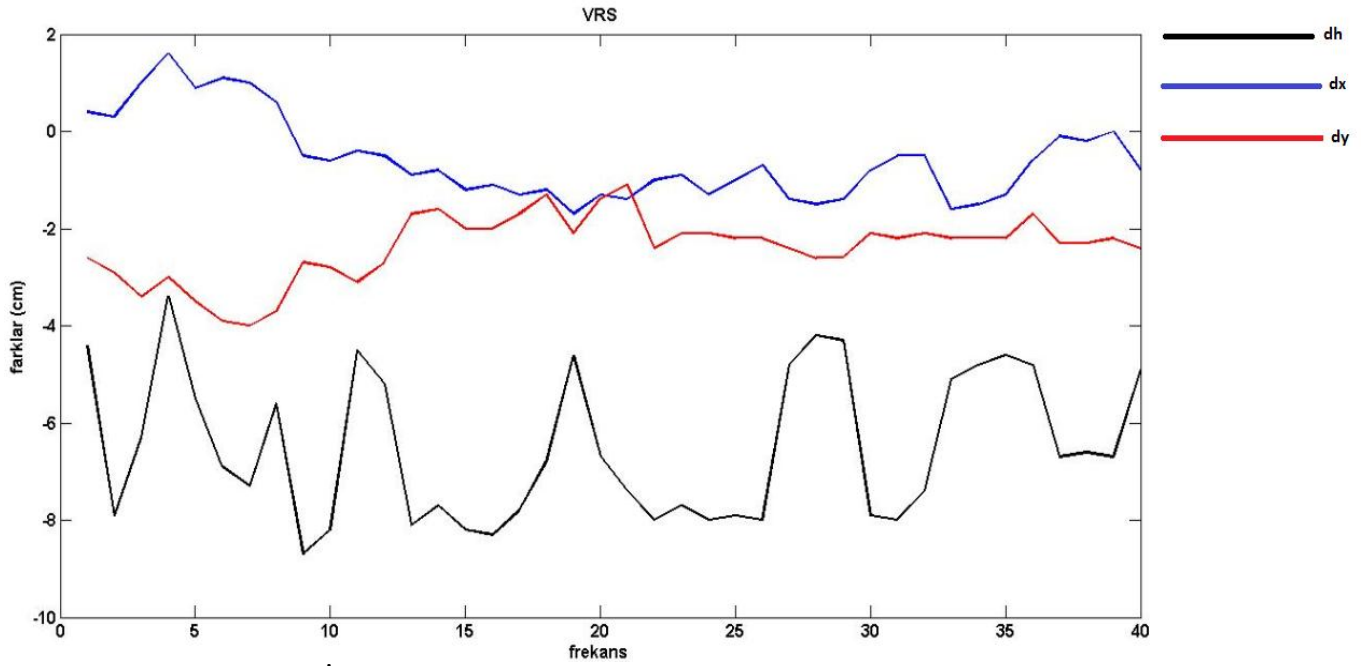
VRS (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3cm ile -1.1cm arasında ve ortalama -2.2cm, yukarı değer farkları -1.8cm ile +0.9cm arasında ve ortalama -0.4cm, h farkları -10.1cm ile -2.2cm arasında ve ortalama -7.4cm olarak bulunmuştur.



**Şekil 5.9.** İstasyon 2 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.10.** İstasyon 2 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.11.** İstasyon 2 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar

**Çizelge 5.3.** İstasyon 3 noktasındaki RMS değerleri

Teknik	$m_{\text{yukarı}}$ (m)	$m_{\text{sağa}}$ (m)	$m_h$ (m)	$m_p$ (m)	İlk fixlenme için geçen süre
FKP(GPS)	0.007	0.022	0.060	0.023	2dk 17sn
MAC(GPS)	0.018	0.020	0.053	0.027	19sn
VRS(GPS/GLONASS)	0.007	0.024	0.045	0.025	19sn
VRS(GPS)	0.021	0.027	0.056	0.034	

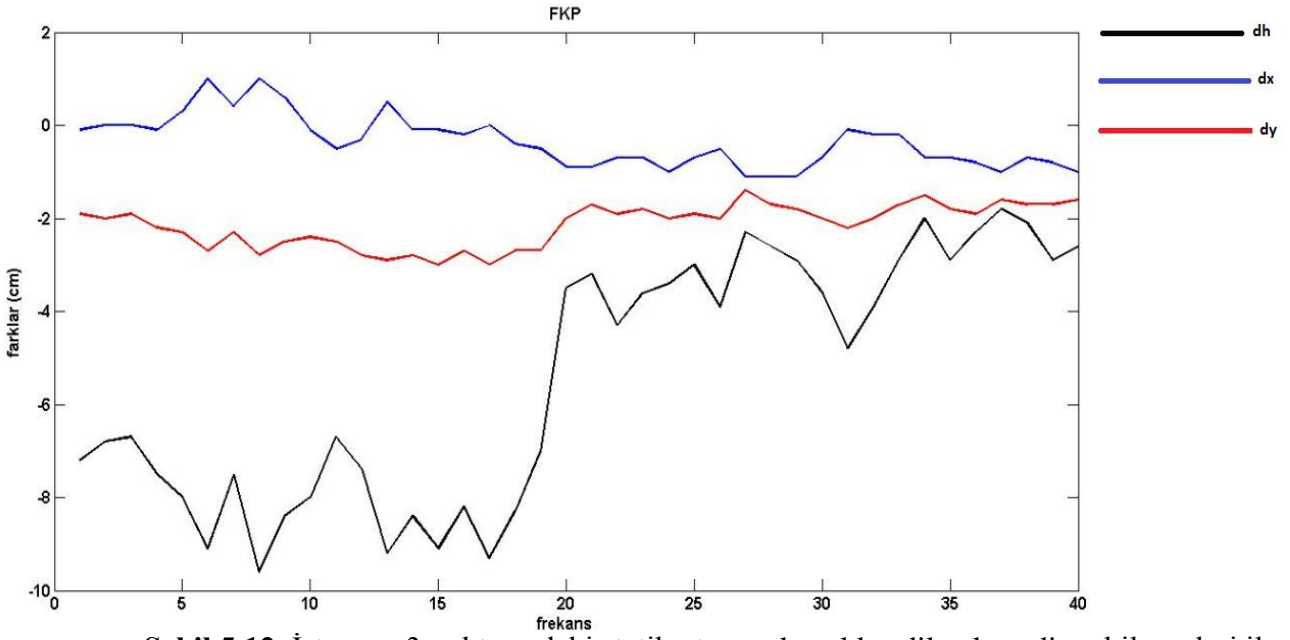
İstasyon\_3 noktasında yapılan statik ölçüm sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farkları şu şekilde çıkmıştır;

FKP (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3.0cm ile -1.4cm arasında ve ortalama -2.1cm, yukarı değer farkları -1.1cm ile +1.0cm arasında ve ortalama -0.4cm, h farkları -9.3cm ile -1.8cm arasında ve ortalama -5.4cm;

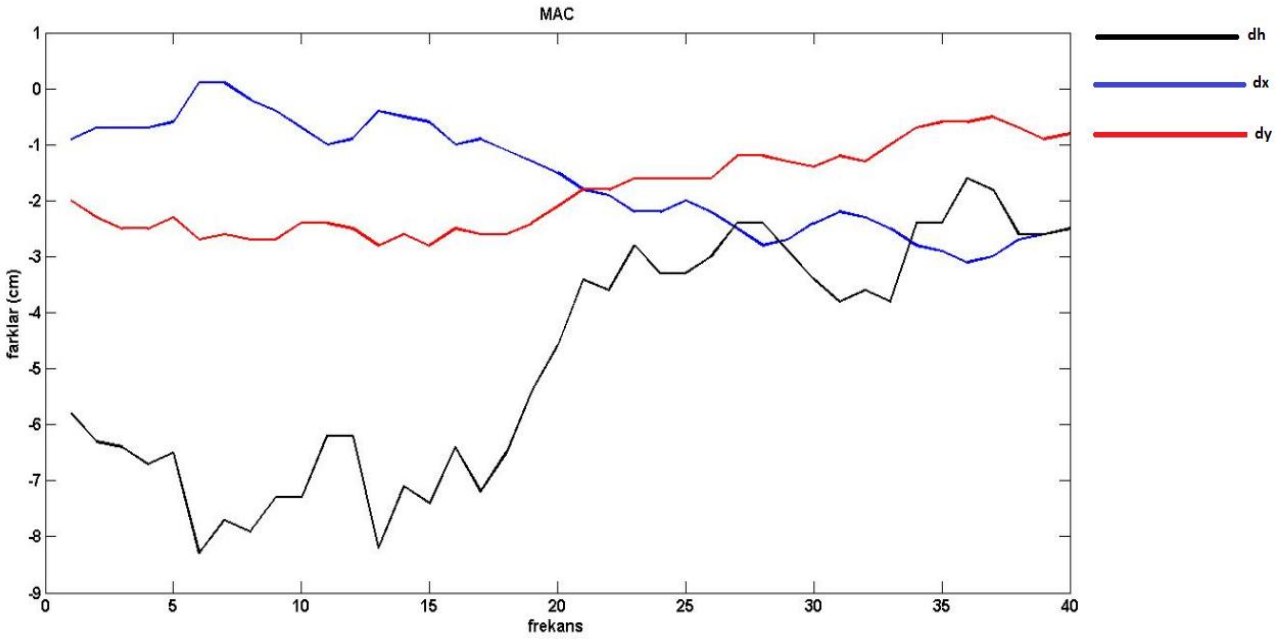
MAC (GPS) tekniği için sağa değer farkları -2.8cm ile -0.5cm arasında ve ortalama -1.8cm, yukarı değer farkları -3.1cm ile +0.1cm arasında ve ortalama -1.6cm, h farkları -8.3cm ile -1.6cm arasında ve ortalama -4.8cm;

VRS (GPS/GLONASS) tekniği için sağa değer farkları -2.9cm ile -2.0cm arasında ve ortalama -2.4cm, yukarı değer farkları -1.2cm ile -0.3cm arasında ve ortalama -0.7cm, h farkları -5.0cm ile -3.7cm arasında ve ortalama -4.5cm;

VRS (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3.9cm ile -1.6cm arasında ve ortalama -2.6cm, yukarı değer farkları -3.2cm ile -0.8cm arasında ve ortalama -1.9cm, h farkları -7.7cm ile -3.7cm arasında ve ortalama -5.6cm olarak bulunmuştur.

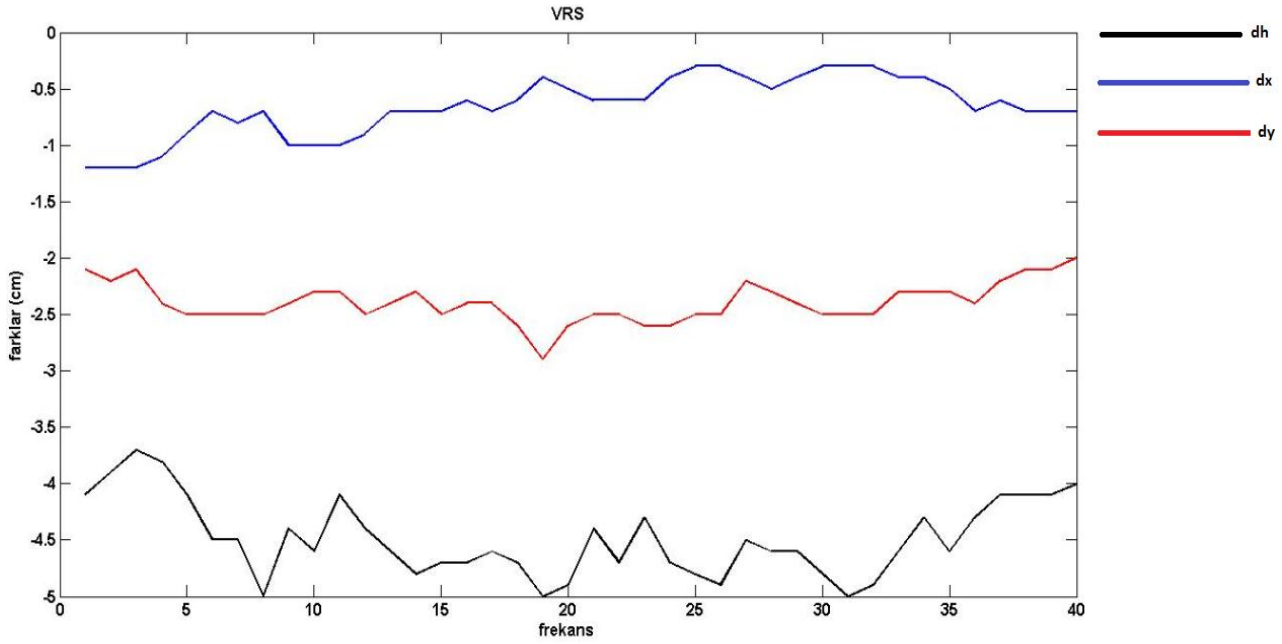


**Şekil 5.12.** İstasyon 3 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.13.** İstasyon 3 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar





**Şekil 5.14.** İstasyon 3 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar

**Çizelge 5.4.** İstasyon 4 noktasındaki RMS değerleri

Teknik	$m_{\text{yukarı}}$ (m)	$m_{\text{sağa}}$ (m)	$m_h$ (m)	$m_p$ (m)	İlk fixlenme için geçen süre
STATİK-FKP(GPS)	0.015	0.020	0.039	0.026	2dk 13sn
STATİK-MAC(GPS)	0.017	0.025	0.045	0.030	19sn
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	0.013	0.022	0.044	0.026	10sn
STATİK-VRS(GPS)	0.013	0.022	0.034	0.026	

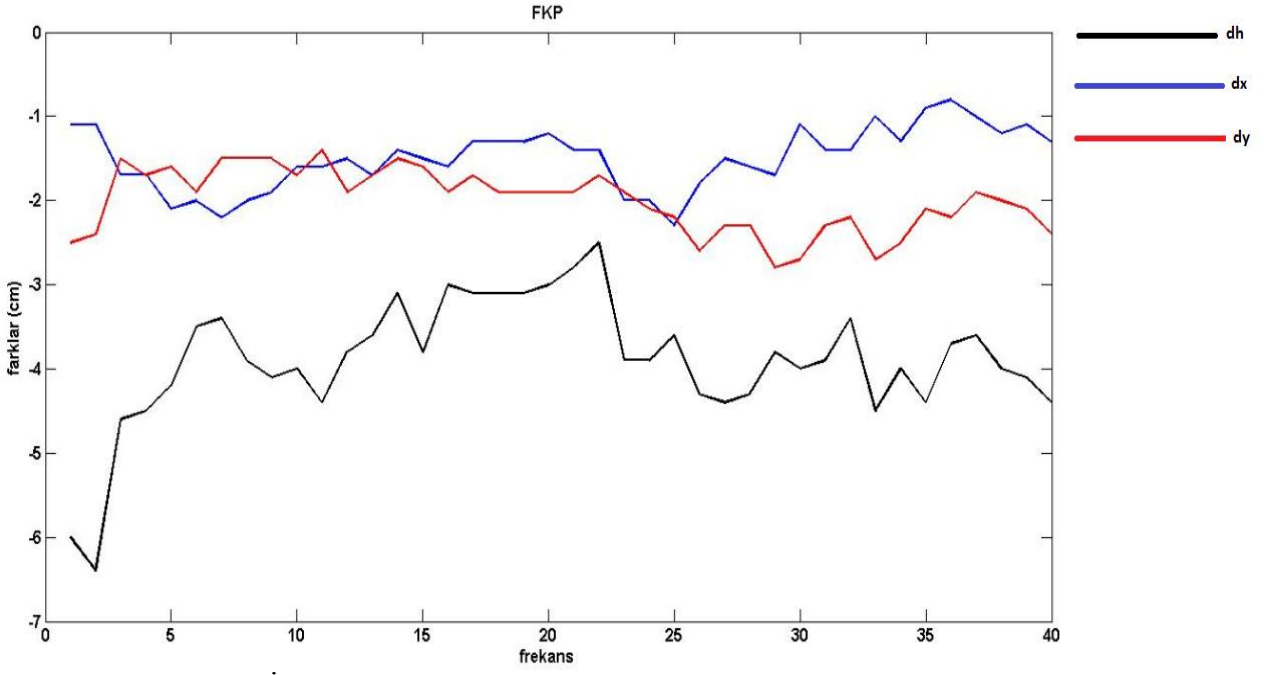
İstasyon\_4 noktasında yapılan statik ölçüm sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farkları şu şekilde çıkmıştır;

FKP (GPS) tekniği için sağa değer farkları -2.8cm ile -1.4cm arasında ve ortalama -2.0cm, yukarı değer farkları -2.3 cm ile -0.8cm arasında ve ortalama -1.5cm, h farkları -6.4cm ile -2.5cm arasında ve ortalama -3.9cm;

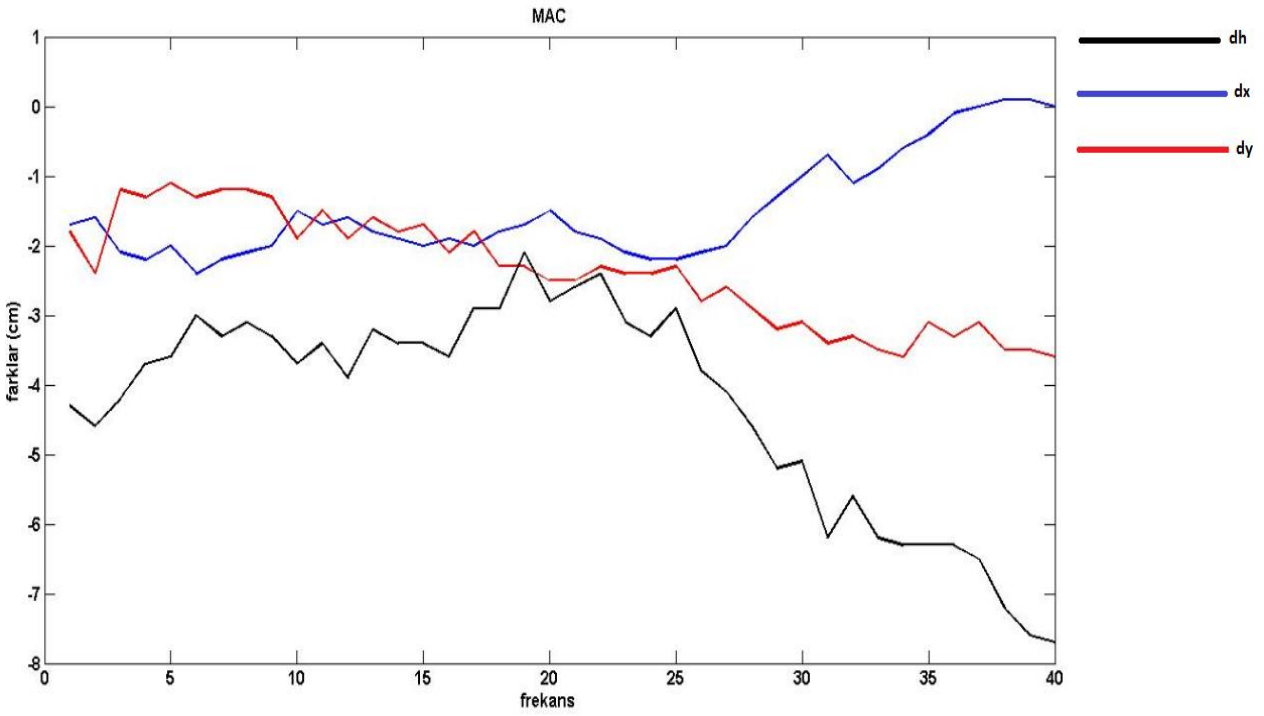
MAC (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3.6cm ile -1.1cm arasında ve ortalama -2.4cm, yukarı değer farkları -2.4cm ile +0.1cm arasında ve ortalama -1.5cm, h farkları -7.7cm ile -2.1cm arasında ve ortalama -4.3cm olarak bulunmuştur.

VRS (GPS/GLONASS) tekniği için sağa değer farkları -2.6cm ile -1.8cm arasında ve ortalama -2.2cm, yukarı değer farkları -1.9cm ile -0.6cm arasında ve ortalama -1.3cm, h farkları -5.6cm ile -3.6cm arasında ve ortalama -4.4cm;

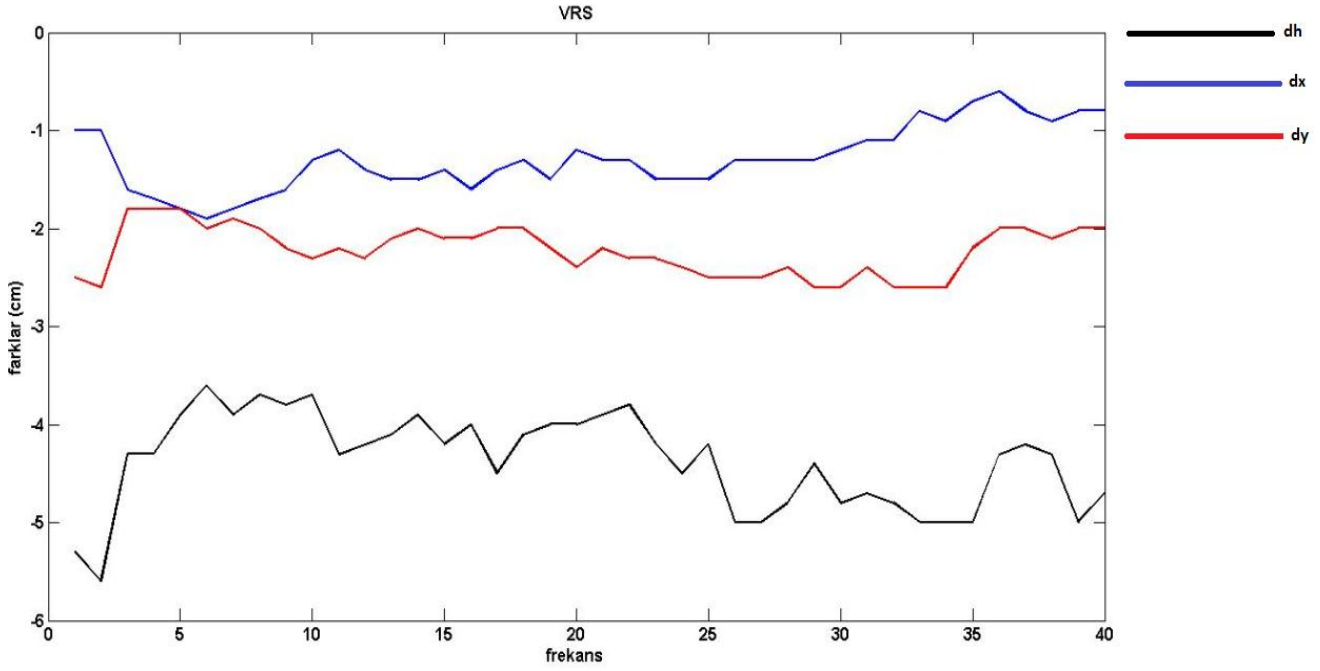
VRS (GPS) tekniği için sağa değer farkları -2.8cm ile -1.8cm arasında ve ortalama -2.2cm, yukarı değer farkları -2.0cm ile -0.7cm arasında ve ortalama -1.3cm, h farkları -4.1cm ile -2.3cm arasında ve ortalama -3.4cm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.15. İstasyon 4 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar



Şekil 5.16. İstasyon 4 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.17.** İstasyon 4 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar

**Çizelge 5.5.** İstasyon 5 noktasındaki RMS değerleri

Teknik	$m_{\text{yukarı}}$ (m)	$m_{\text{sağa}}$ (m)	$m_h$ (m)	$m_p$ (m)	İlk fixlenme için geçen süre
STATİK-FKP(GPS)	0.023	0.034	0.053	0.041	2dk 3sn
STATİK-MAC(GPS)	0.031	0.042	0.054	0.052	20sn
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	0.019	0.036	0.054	0.041	19sn
STATİK-VRS(GPS)	0.026	0.032	0.033	0.041	

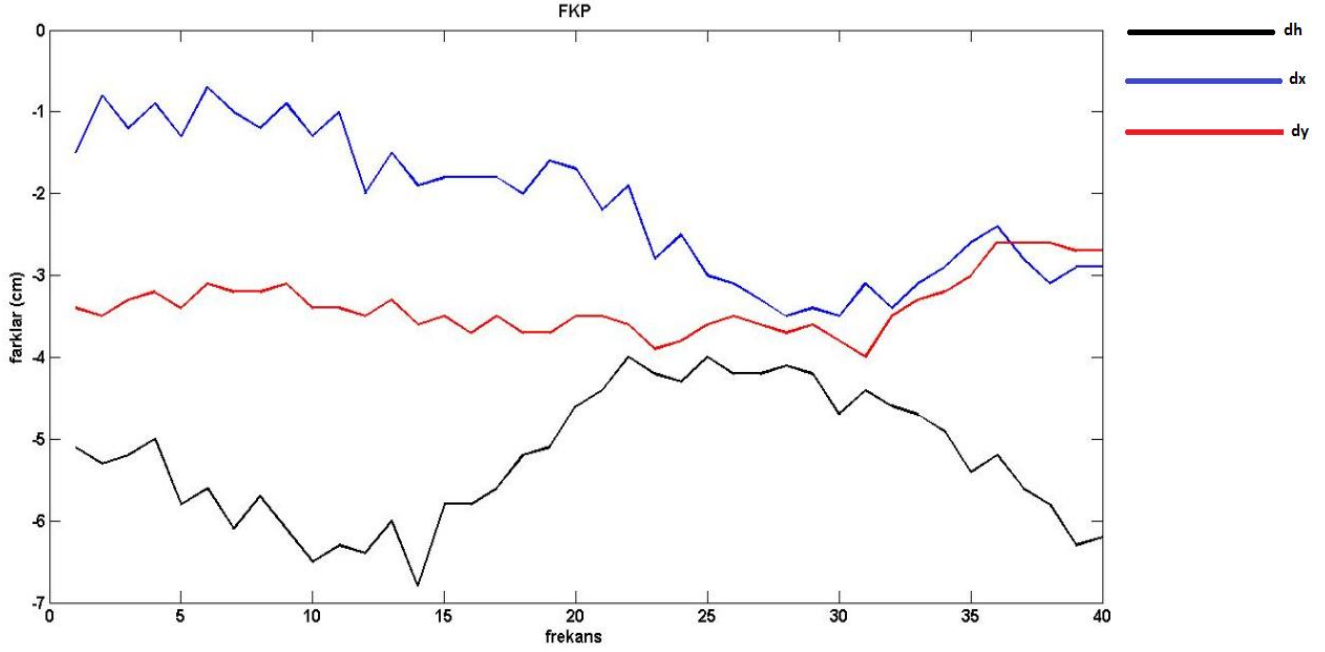
İstasyon\_5 noktasında yapılan statik ölçüm sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farkları şu şekilde çıkmıştır;

FKP (GPS) tekniği için sağa değer farkları -4.0cm ile -2.6cm arasında ve ortalama -3.4cm, yukarı değer farkları -3.5cm ile -0.7cm arasında ve ortalama -2.2cm, h farkları -6.8cm ile -4.0cm arasında ve ortalama -5.2cm;

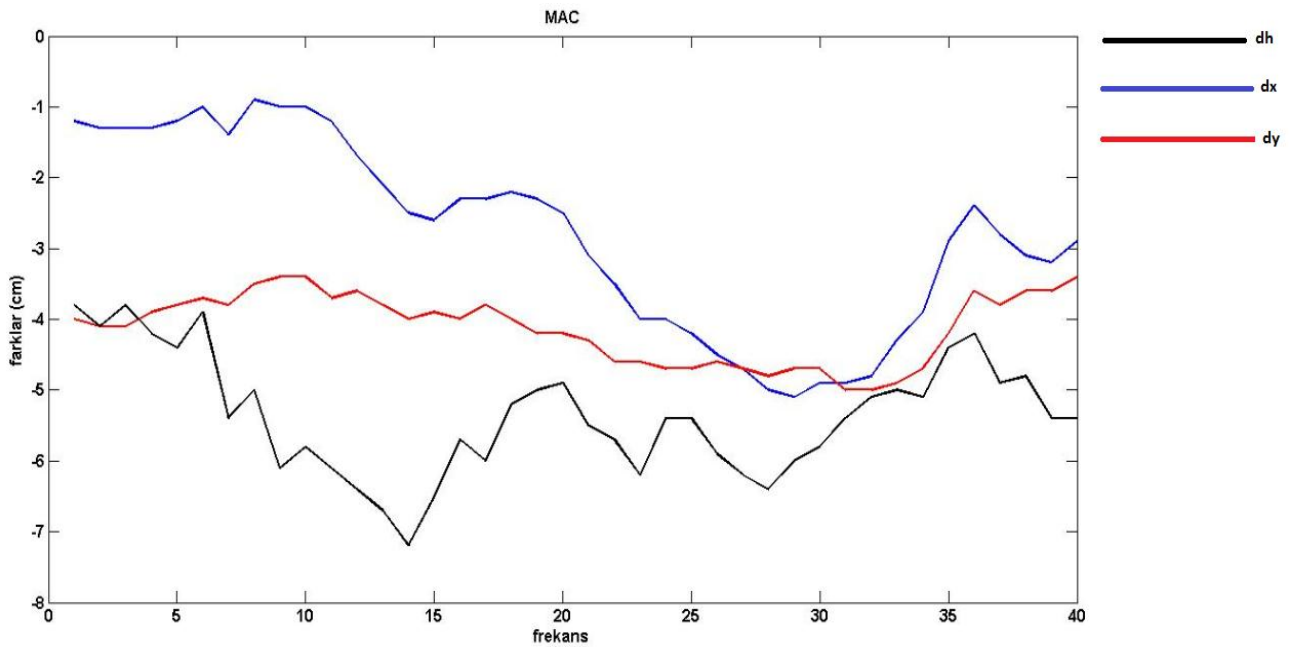
MAC (GPS) tekniği için sağa değer farkları -5.0cm ile -3.4cm arasında ve ortalama -4.1cm, yukarı değer farkları -5.1cm ile -0.9cm arasında ve ortalama -2.8cm, h farkları -7.2cm ile -3.8cm arasında ve ortalama -5.4cm;

VRS (GPS/GLONASS) tekniği için sağa değer farkları -4.0cm ile -2.3cm arasında ve ortalama -3.6cm, yukarı değer farkları -2.8cm-ile -0.5cm arasında ve ortalama -1.7cm, h farkları -8.7cm ile -3.5cm arasında ve ortalama -5.2cm;

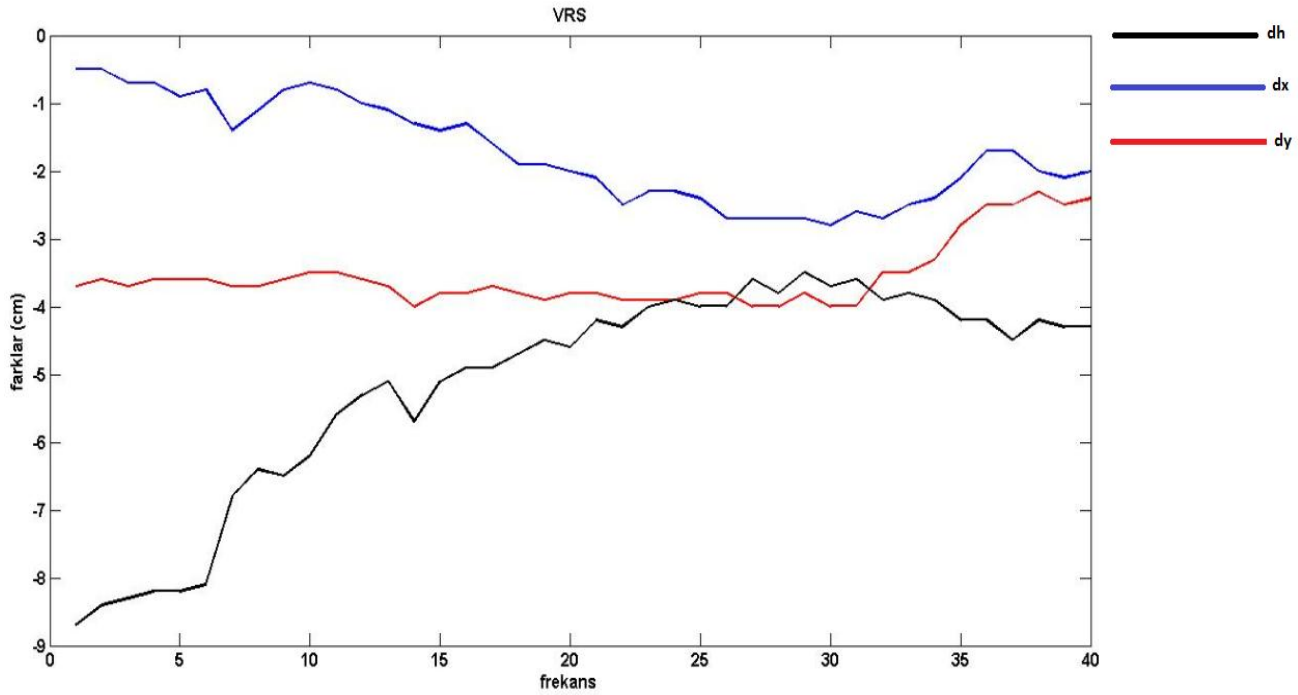
VRS (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3.8cm ile -2.5cm arasında ve ortalama -3.1cm, yukarı değer farkları -3.8cm ile -1.6cm arasında ve ortalama -2.6cm, h farkları -4.1cm ile -2.8cm arasında ve ortalama -3.2cm olarak bulunmuştur.



**Şekil 5.18.** İstasyon 5 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.19.** İstasyon 5 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.20.** İstasyon 5 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar

**Çizelge 5.6.** İstasyon 6 noktasındaki RMS değerleri

Teknik	$m_{\text{yukarı}}$ (m)	$m_{\text{sağa}}$ (m)	$m_h$ (m)	$m_p$ (m)	İlk fixlenme için geçen
STATİK-FKP(GPS)	0.022	0.027	0.092	0.035	2dk 14sn
STATİK-MAC(GPS)	0.020	0.024	0.058	0.031	18sn
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	0.011	0.022	0.089	0.024	13sn
STATİK-VRS(GPS)	0.017	0.018	0.062	0.025	

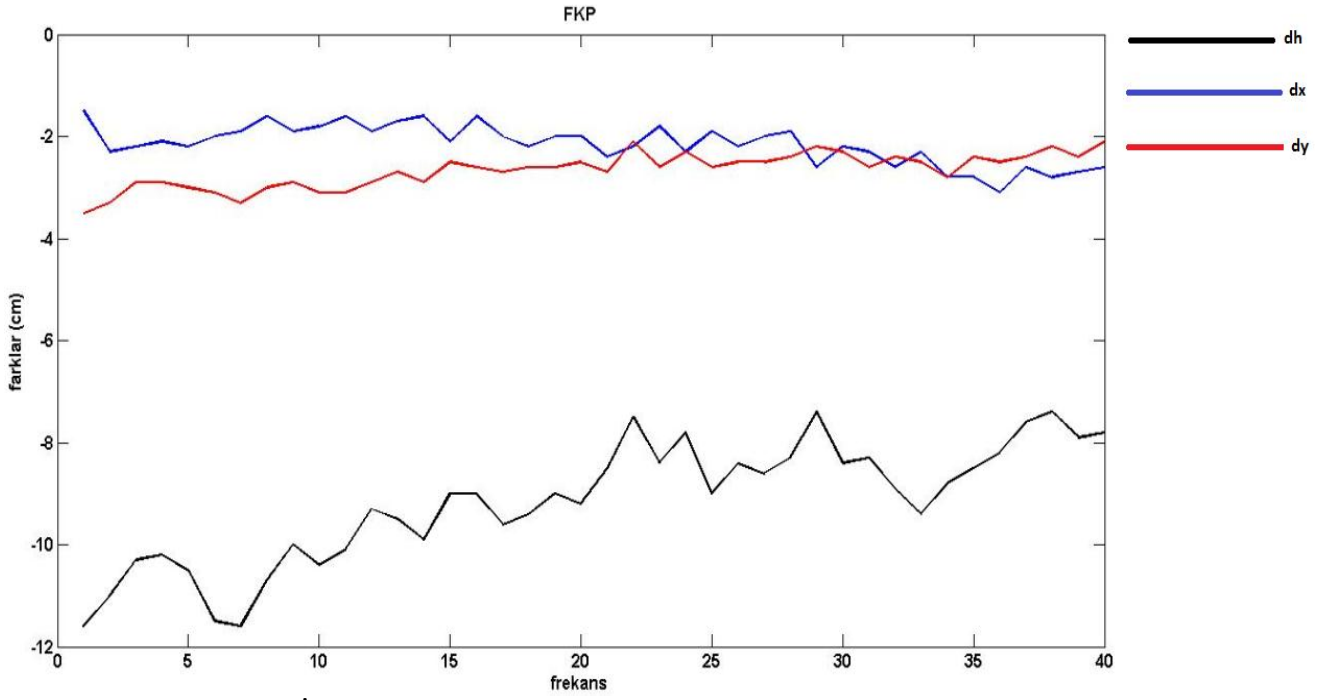
İstasyon\_6 noktasında yapılan statik ölçüm sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farkları şu şekilde çıkmıştır;

FKP (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3.5cm ile -2.1cm arasında ve ortalama -2.7cm, yukarı değer farkları -3.1cm ile -1.5cm arasında ve ortalama -2.2cm, h farkları -11.6cm ile -7.4cm arasında ve ortalama -9.2cm;

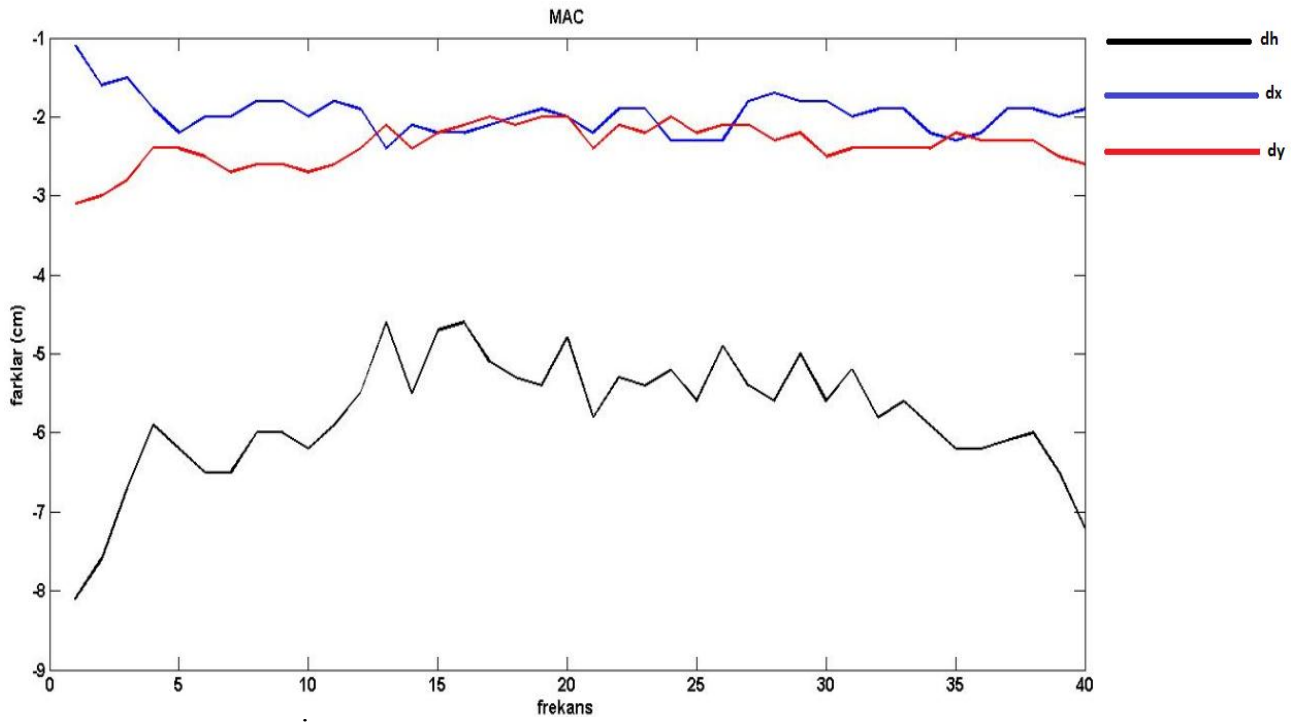
MAC (GPS) tekniği için sağa değer farkları -3.1cm ile -2.0cm arasında ve ortalama -2.4cm, yukarı değer farkları -2.4cm ile -1.1cm arasında ve ortalama -2.0cm, h farkları -8.1cm ile -4.6cm arasında ve ortalama -5.8cm;

VRS (GPS/GLONASS) tekniği için sağa değer farkları -2.7cm ile -1.8cm arasında ve ortalama -2.2cm, yukarı değer farkları -1.5cm-ile -0.7cm arasında ve ortalama -1.0cm, h farkları -11.2cm ile -7.0cm arasında ve ortalama -8.8cm;

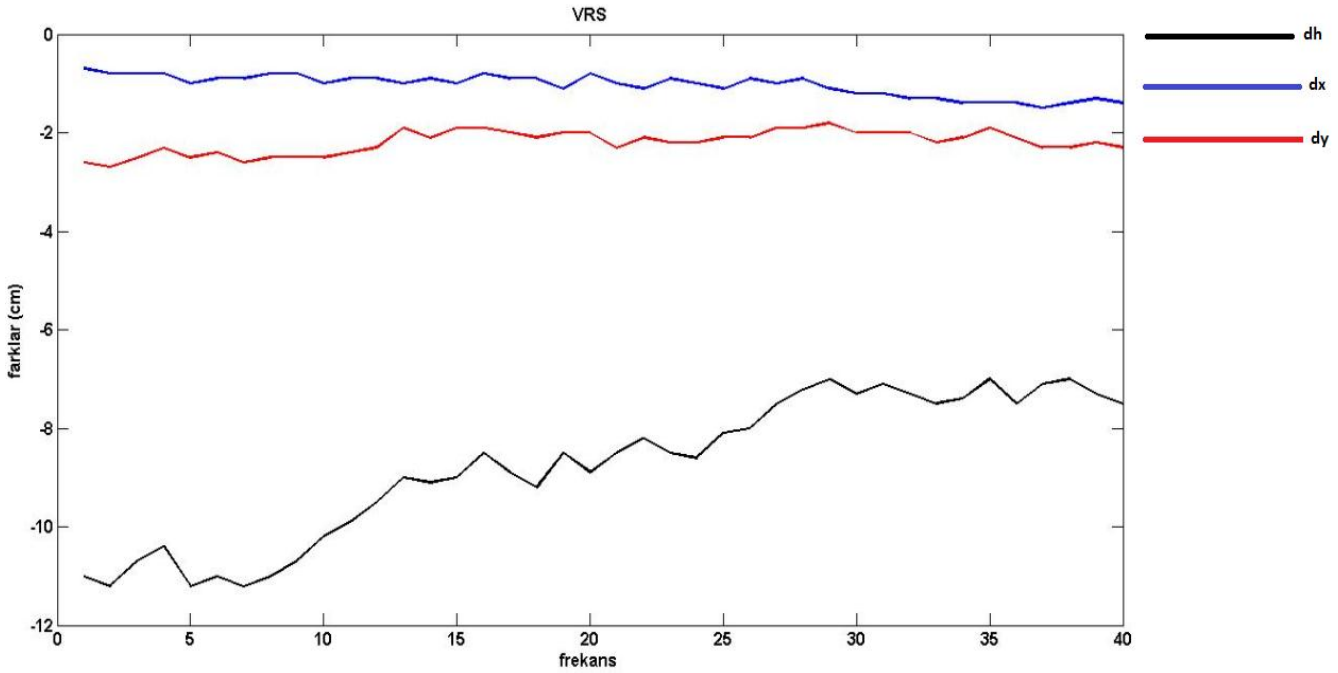
VRS (GPS) tekniği için sağa değer farkları -2.2cm ile -1.5cm arasında ve ortalama -1.8cm, yukarı değer farkları -2.2cm ile -1.1cm arasında ve ortalama -1.7cm, h farkları -7.3cm ile -5.1cm arasında ve ortalama -6.2cm olarak bulunmuştur.



Şekil 5.21. İstasyon 6 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar



Şekil 5.22. İstasyon 6 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.23.** İstasyon 6 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar

**Çizelge 5.7.** İstasyon\_7 noktasındaki RMS değerleri

Teknik	$m_{\text{yukarı}}$ (m)	$m_{\text{sağa}}$ (m)	$m_h$ (m)	$m_p$ (m)	İlk fixlenme için geçen süre
STATİK-FKP(GPS)	0.012	0.010	0.088	0.016	19sn
STATİK-MAC(GPS)	0.005	0.017	0.079	0.018	2dk 17sn
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	0.007	0.018	0.079	0.019	19sn
STATİK-VRS(GPS)	0.006	0.015	0.095	0.016	

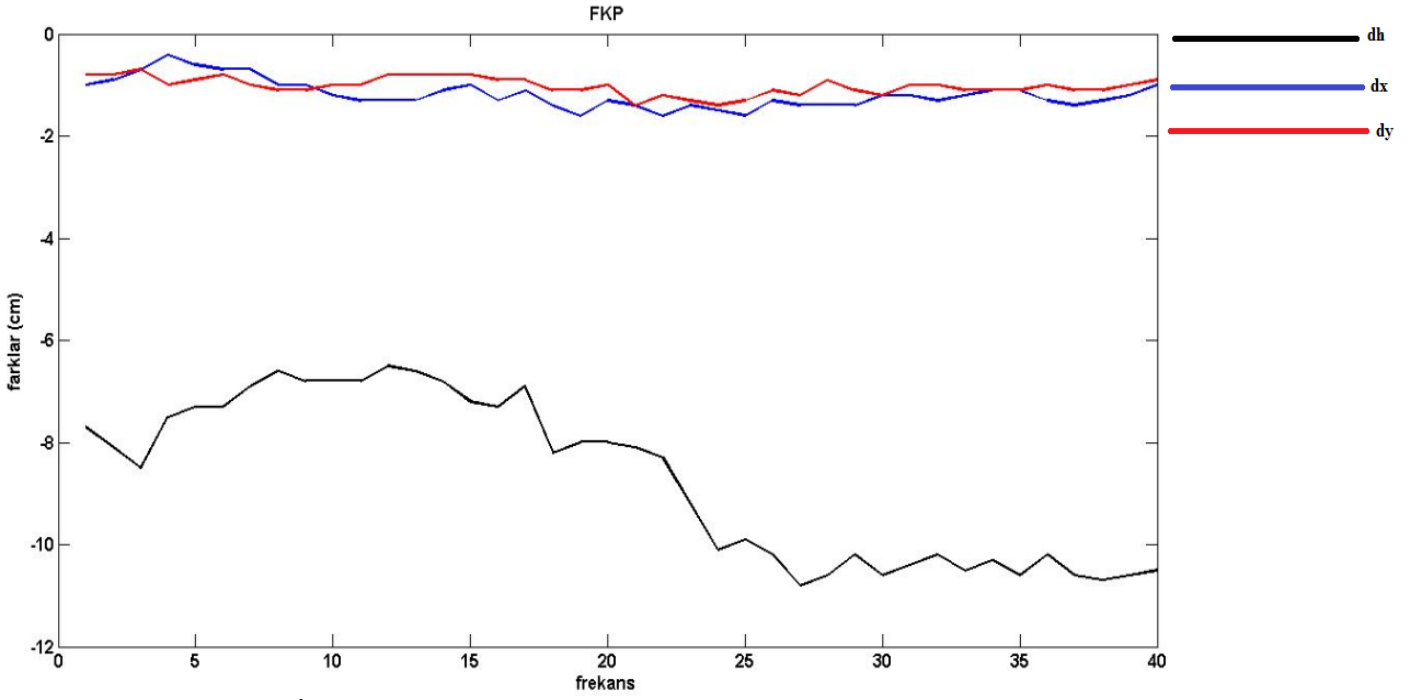
İstasyon\_7 noktasında yapılan statik ölçüm sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farkları şu şekilde çıkmıştır;

FKP tekniği için sağa değer farkları -1.4cm ile -0.7cm arasında ve ortalama -1cm, yukarı değer farkları -1.6cm ile -0.4cm arasında ve ortalama -1.2cm, h farkları -11.0cm ile -6.5cm arasında ve ortalama -8.7cm;

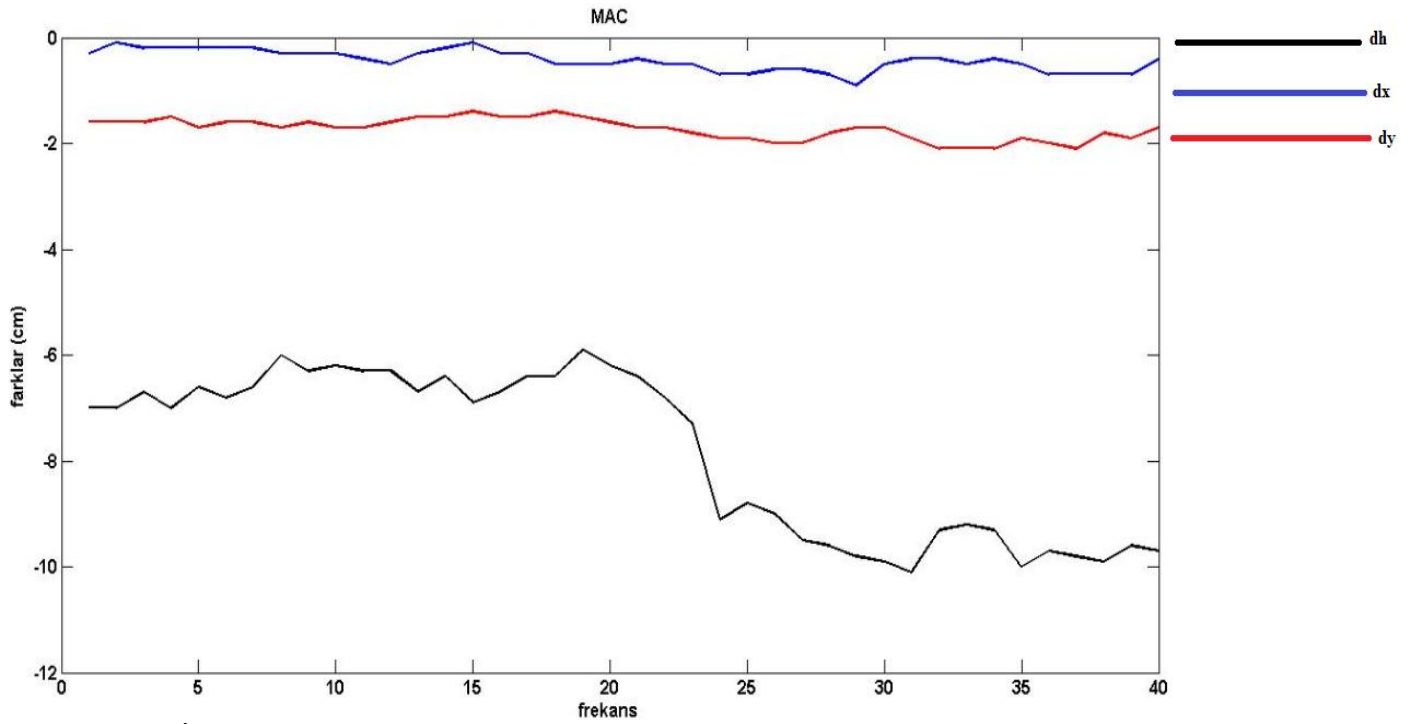
MAC tekniği için sağa değer farkları -2.1cm ile -1.4cm arasında ve ortalama -1.7cm, yukarı değer farkları -0.9cm ile -0.1cm arasında ve ortalama -0.4cm, h farkları -10cm ile -5.9cm arasında ve ortalama -7.8cm;

VRS (GPS/GLONASS) tekniği için sağa değer farkları -2.2cm ile -1.5cm arasında ve ortalama -1.8cm, yukarı değer farkları -1.0cm ile -0.1cm arasında ve ortalama -0.6cm, h farkları -9.7cm ile -5.8cm arasında ve ortalama -7.8cm;

VRS (GPS) tekniği için sağa değer farkları -1.8cm ile -1.2cm arasında ve ortalama -1.5cm, yukarı değer farkları +0.1cm ile -0.9cm arasında ve ortalama -0.5cm, h farkları -7.9cm ile -10.6cm arasında ve ortalama -9.5cm olarak bulunmuştur.

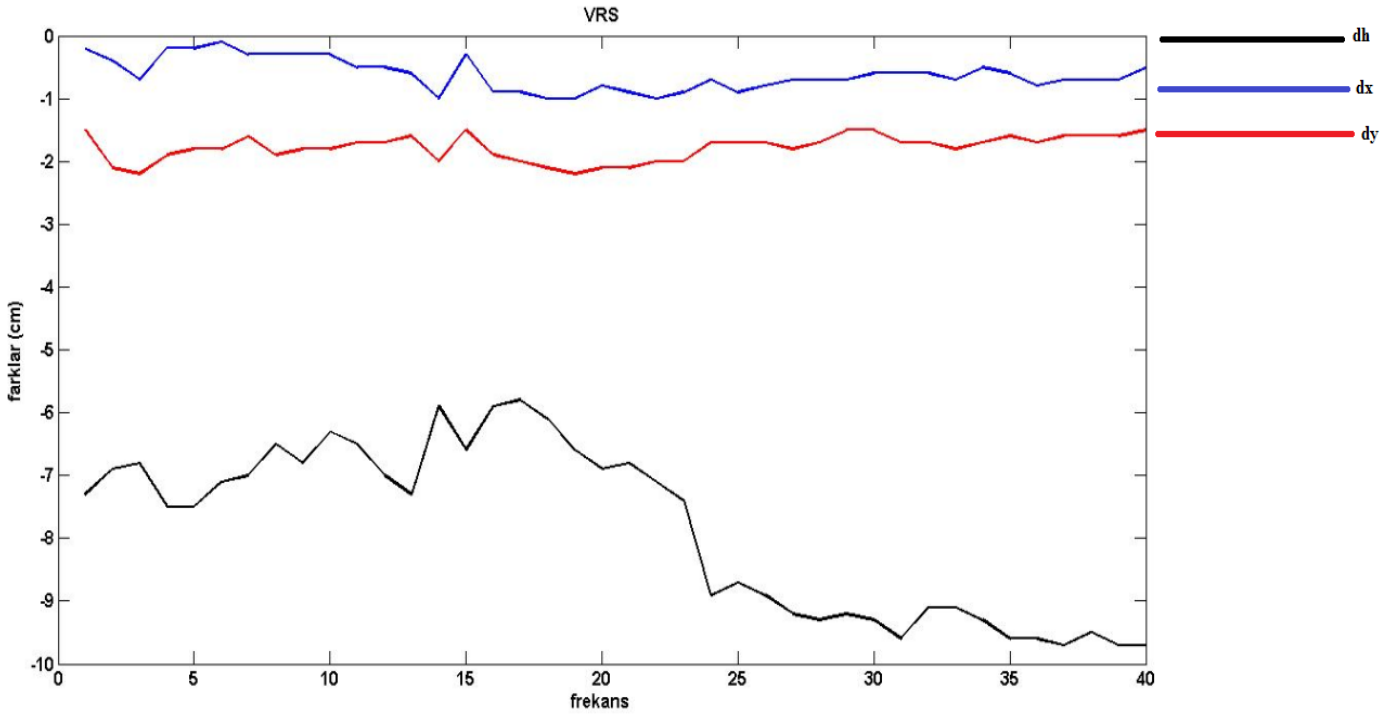


**Şekil 5.24.** İstasyon 7 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile FKP koordinat bileşenleri arasındaki farklar



**Şekil 5.25.** İstasyon 7 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile MAC koordinat bileşenleri arasındaki farklar





**Şekil 5.26.** İstasyon 7 noktasındaki statik oturumdan elde edilen koordinat bileşenleri ile VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenleri arasındaki farklar

RMS değerleri hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$d_x = \text{statik}_{\text{yukarı}} - \text{RTK}_{\text{yukarı}} \quad (5.1)$$

$$d_y = \text{statik}_{\text{sağa}} - \text{RTK}_{\text{sağa}} \quad (5.2)$$

$$d_h = \text{statik}_h - \text{RTK}_h \quad (5.3)$$

$$m_{\text{yukarı}} = \pm \sqrt{dx * dx / n} \quad (5.4)$$

$$m_{\text{sağa}} = \pm \sqrt{dy * dy / n} \quad (5.5)$$

$$m_h = \pm \sqrt{dh * dh / n} \quad (5.6)$$

$$m_p = \sqrt{(dx * dx + dy * dy) / n} \quad (5.7)$$

(Kalaycı ve Öğütçü, 2014)

statik<sub>yukarı</sub> ve statik<sub>sağa</sub> statik oturum sonucu dengelenmiş yukarı ve sağa projeksiyon koordinatları, statik<sub>h</sub>, statik oturum sonucu dengelenmiş elipsoidal yükseklik, RTK<sub>yukarı</sub> ve RTK<sub>sağa</sub> tekniklerden elde edilen projeksiyon koordinatları, RTK<sub>h</sub>, tekniklerden elde edilen elipsoidal koordinatlar, n, ölçü sayısı olarak temsil edilmiştir.

Ölçüm noktalarında yapılan statik ölçümlerin dayalı dengeleme sonucu iki boyutlu konumsal hata değerleri (RMS) Çizelge 5.8’de verilmiştir.

**Çizelge 5.8.** Statik ölçülerin RMS değerleri (m)

Noktalar	Statik_1 (FKP)	Statik_2 (MAC)	Statik_3 (VRS)
İstasyon_1	0.019	0.019	0.018
İstasyon_2	0.024	0.024	0.024
İstasyon_3	0.020	0.018	0.019
İstasyon_4	0.020	0.021	0.020
İstasyon_5	0.024	0.023	0.024
İstasyon_6	0.020	0.021	0.020
İstasyon_7	0.029	0.025	0.025

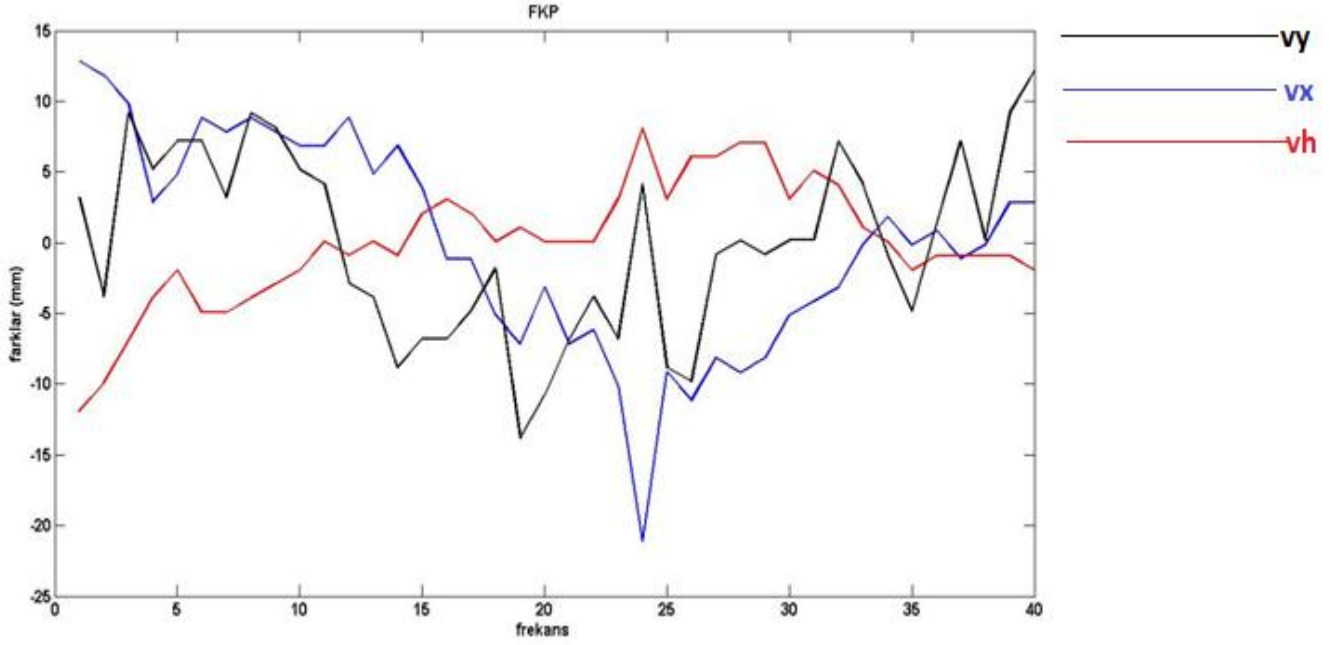
Statik ölçümlerin dayalı dengeleme sonucu RMS değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır. Dolayısıyla her bir istasyon noktasında yapılan üç adet statik ölçüm sonucu doğruluklar aynı kabul edilebilir.

### 5.2.2. Hassasiyet (Prezisyon) analizleri

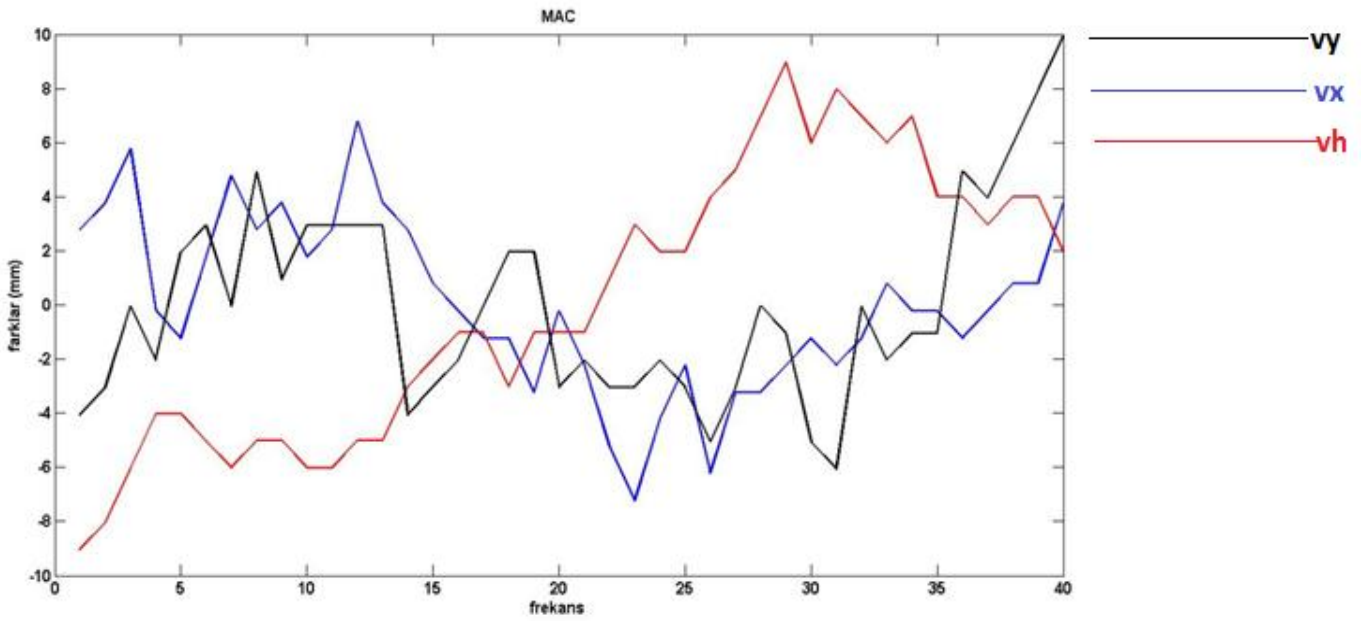
Her bir ölçüm noktasında tekniklerin koordinat bileşenlerindeki ortalama değerlere göre standart sapmaları hesaplanmıştır. Aşağıdaki çizelgeler ve grafiklerde bu sonuçlar gösterilmiştir.

**Çizelge 5.9.** İstasyon\_1 noktasındaki standart sapma değerleri

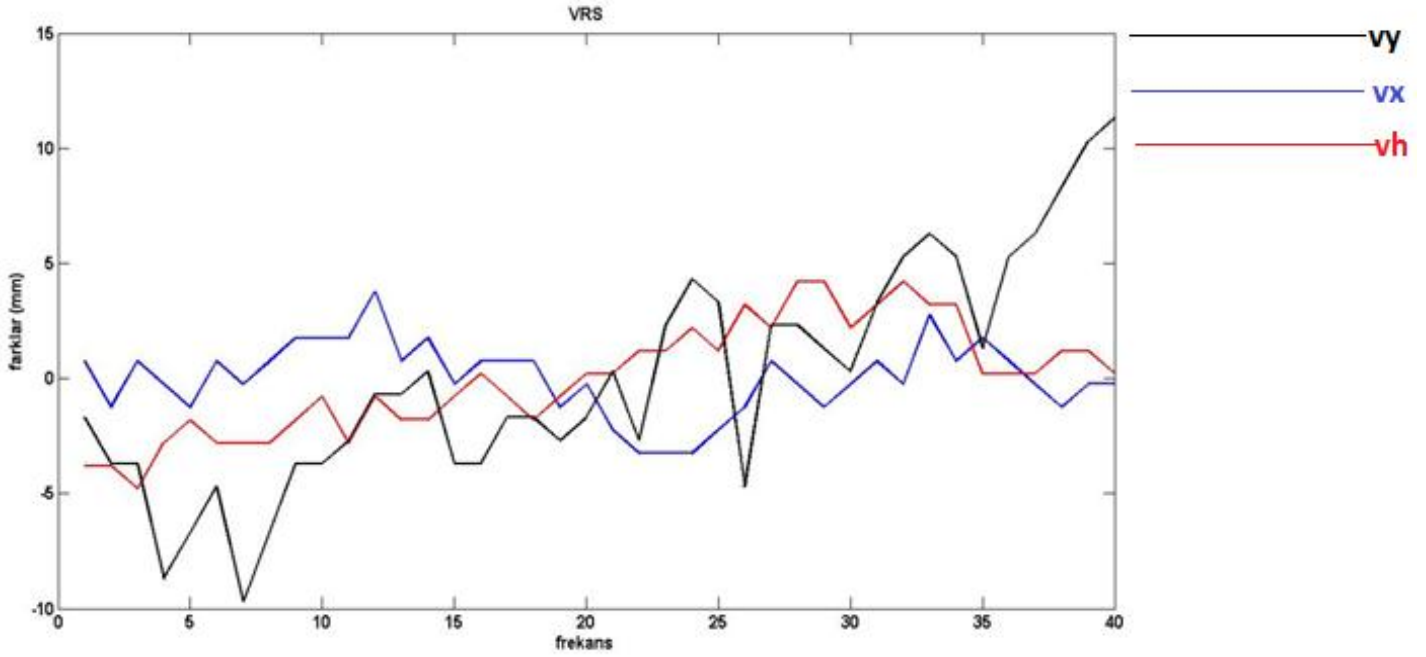
Teknik	$S_{\text{yukarı}}$ (mm)	$S_{\text{sağa}}$ (mm)	$S_h$ (mm)	$S_p$ (mm)
STATİK-FKP(GPS)	7.4	4.3	6.4	8.6
STATİK-MAC(GPS)	3.1	4.9	3.6	5.8
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	1.5	2.4	4.9	2.9
STATİK-VRS(GPS)	2.0	1.6	5.2	2.6



Şekil 5.27. İstasyon 1 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



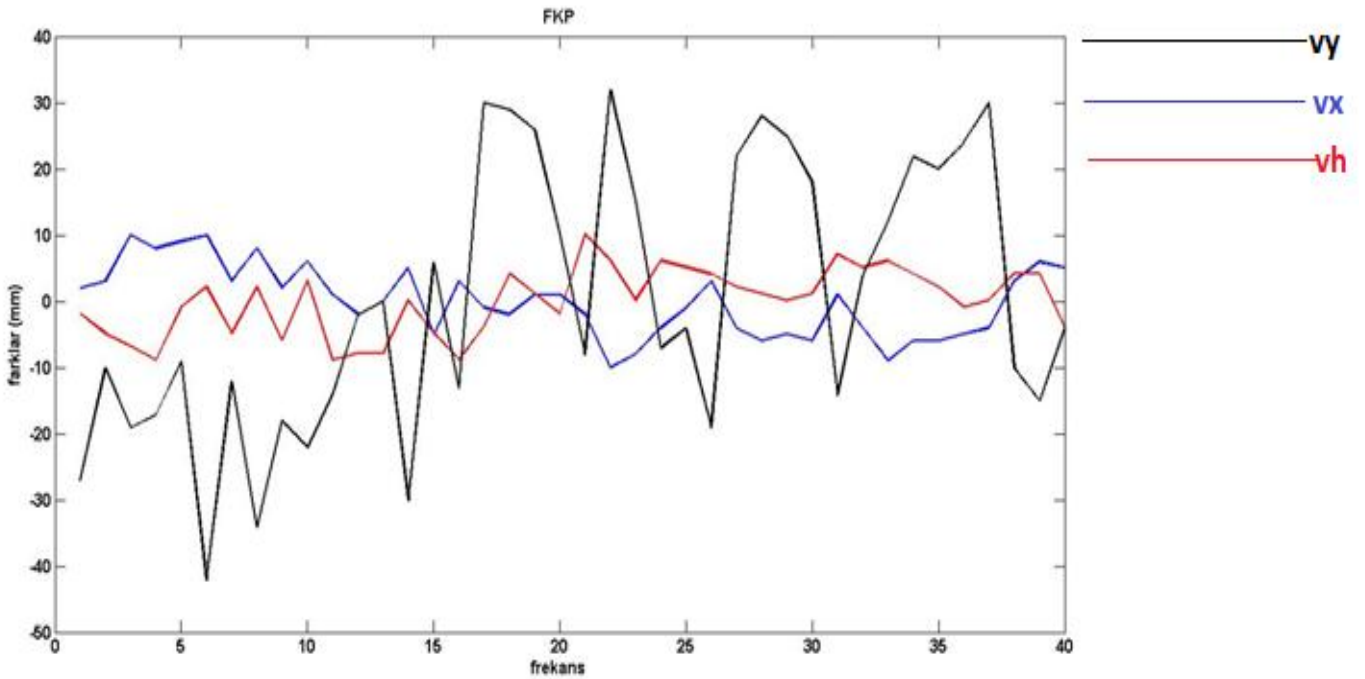
Şekil 5.28. İstasyon 1 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



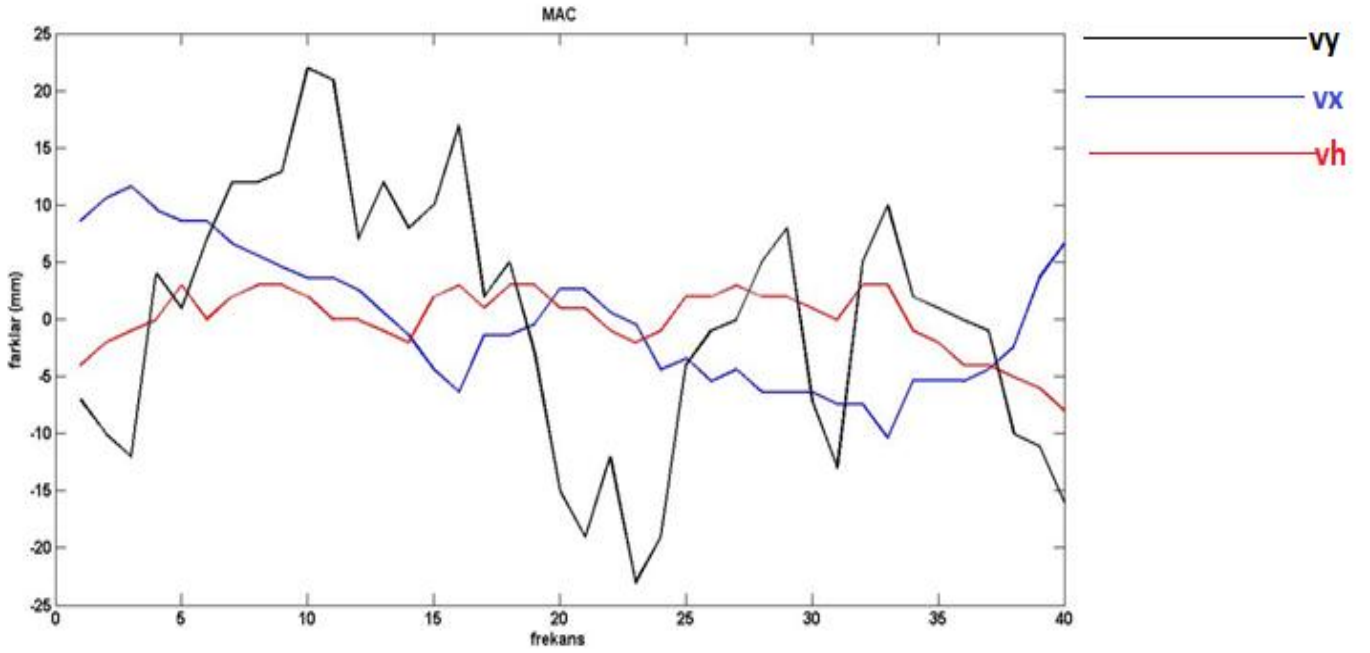
Şekil 5.29. İstasyon 1 noktasındaki VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar

Çizelge 5.10. İstasyon 2 noktasındaki standart sapma değerleri

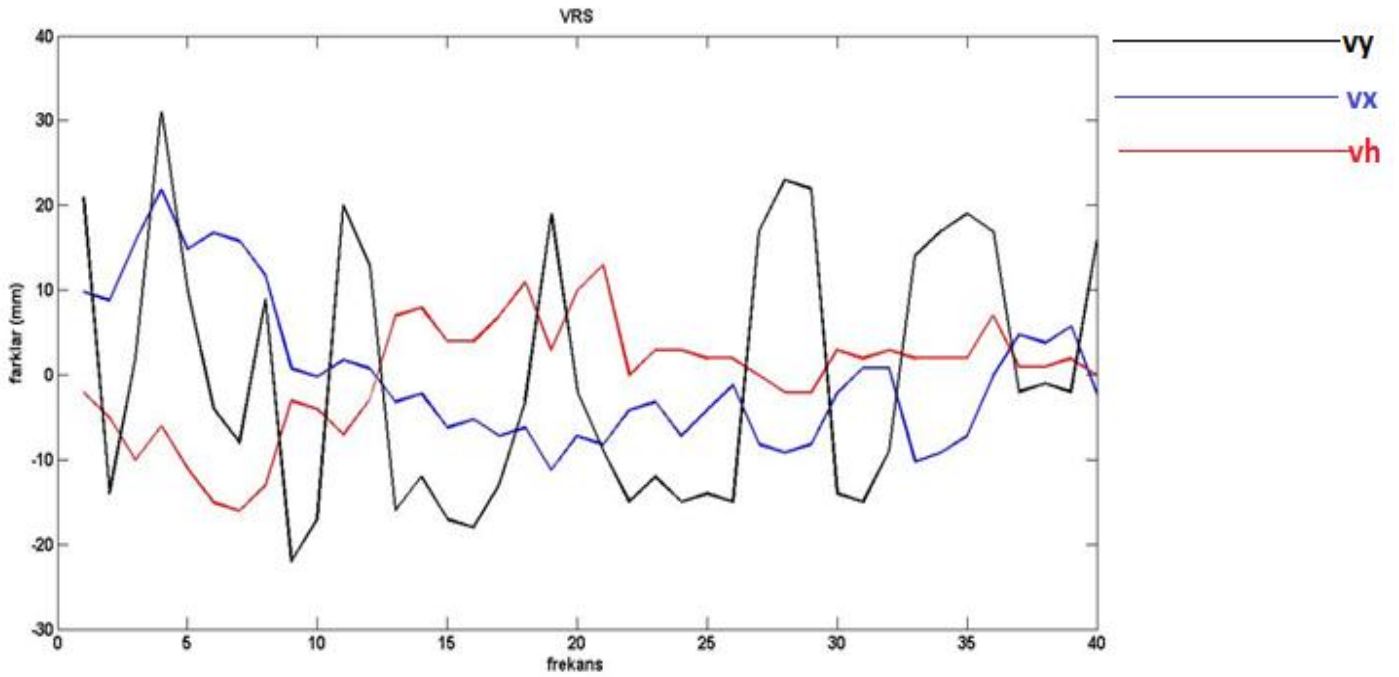
Teknik	$s_{\text{yukarı}}$ (mm)	$s_{\text{sağa}}$ (mm)	$s_h$ (mm)	$s_p$ (mm)
STATİK-FKP(GPS)	5.3	5.0	20.2	7.3
STATİK-MAC(GPS)	5.8	2.8	11.2	6.4
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	8.4	6.6	15.0	10.7
STATİK-VRS(GPS)	5.2	4.9	16.3	7.2



Şekil 5.30 İstasyon 2 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



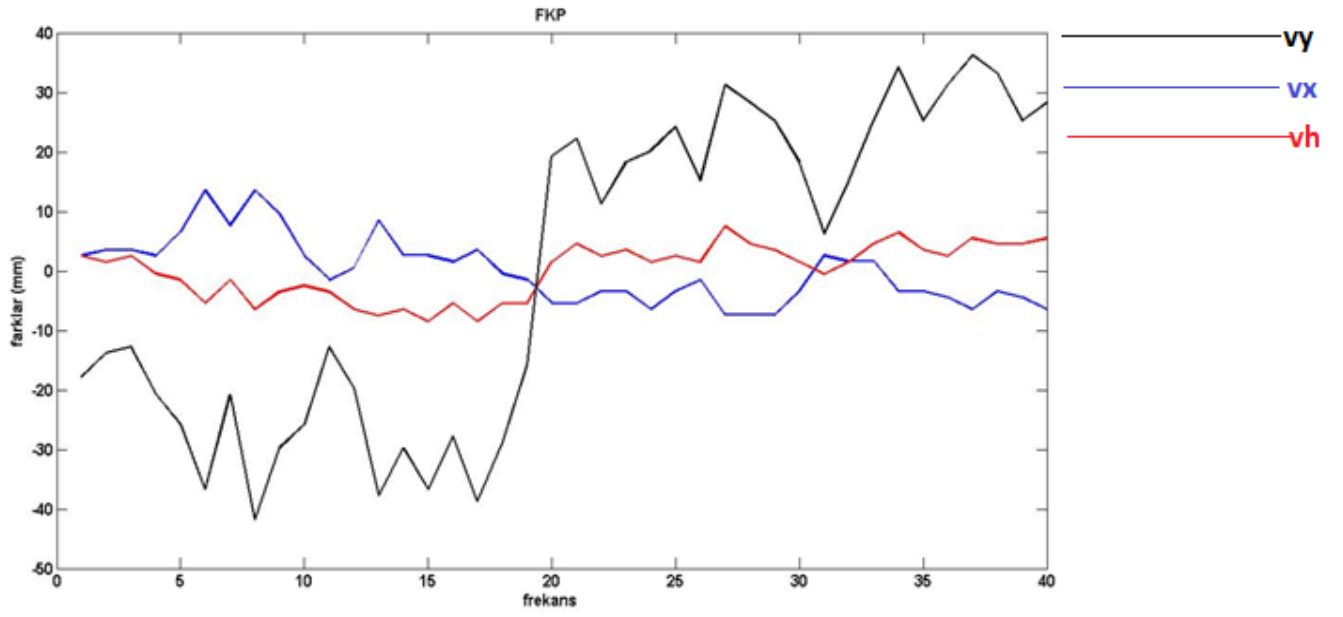
Şekil 5.31. İstasyon 2 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



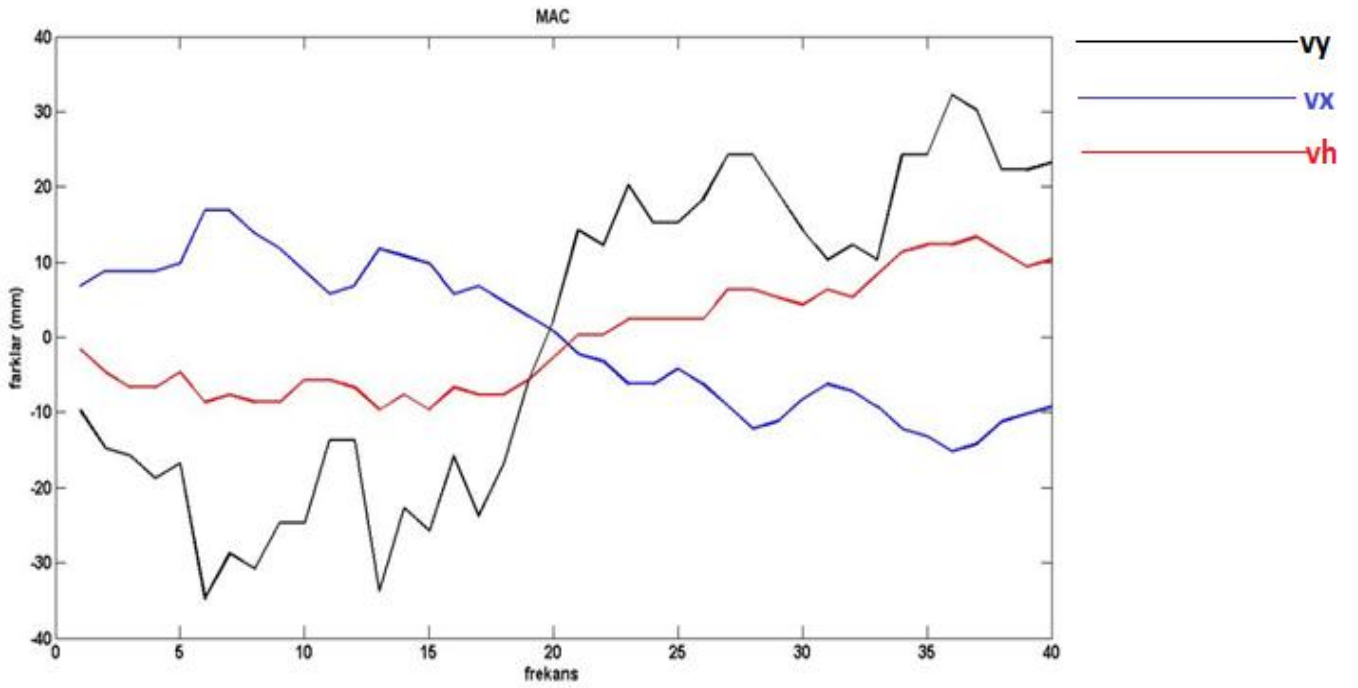
Şekil 5.32. İstasyon 2 noktasındaki VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar

Çizelge 5.11. İstasyon 3 noktasındaki standart sapma değerleri

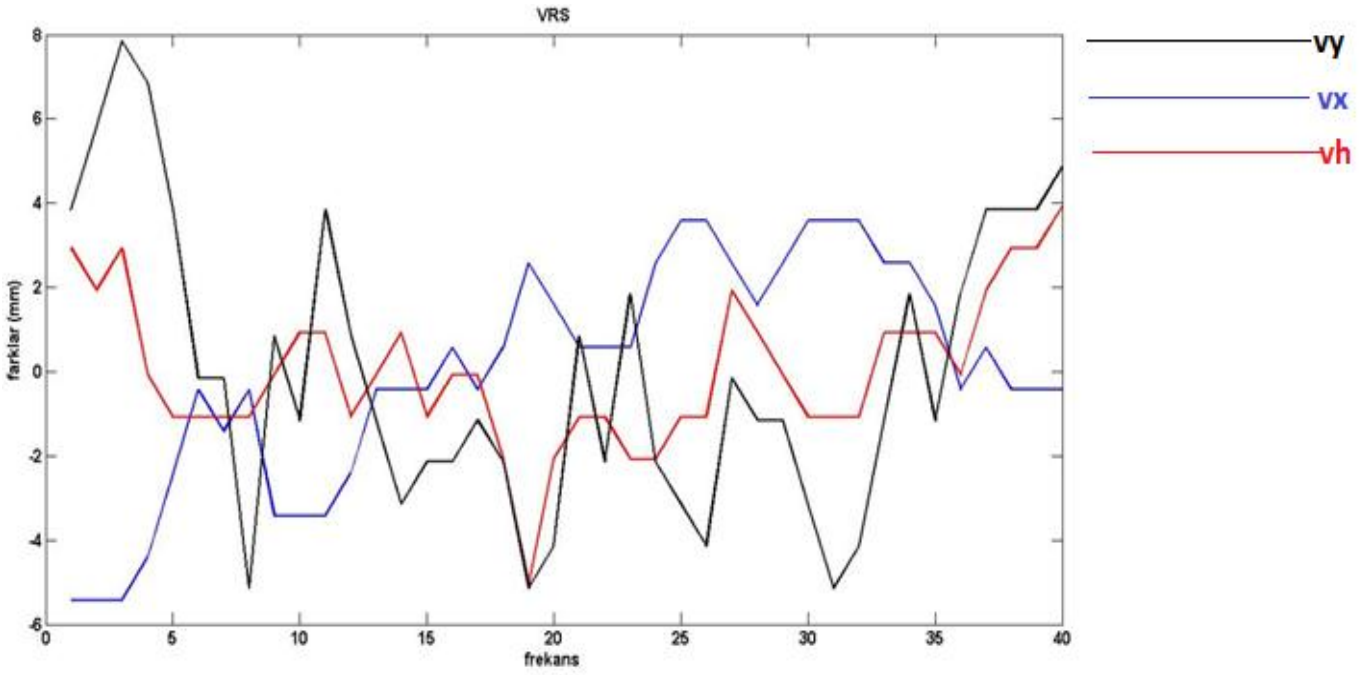
Teknik	$s_{\text{yukarı}}$ (mm)	$s_{\text{sağa}}$ (mm)	$s_h$ (mm)	$s_p$ (mm)
STATİK-FKP(GPS)	5.5	4.5	26.1	7.1
STATİK-MAC(GPS)	9.6	7.4	21.0	12.1
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	2.6	1.8	3.4	3.1
STATİK-VRS(GPS)	7.0	6.6	9.2	9.6



Şekil 5.33. İstasyon 3 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



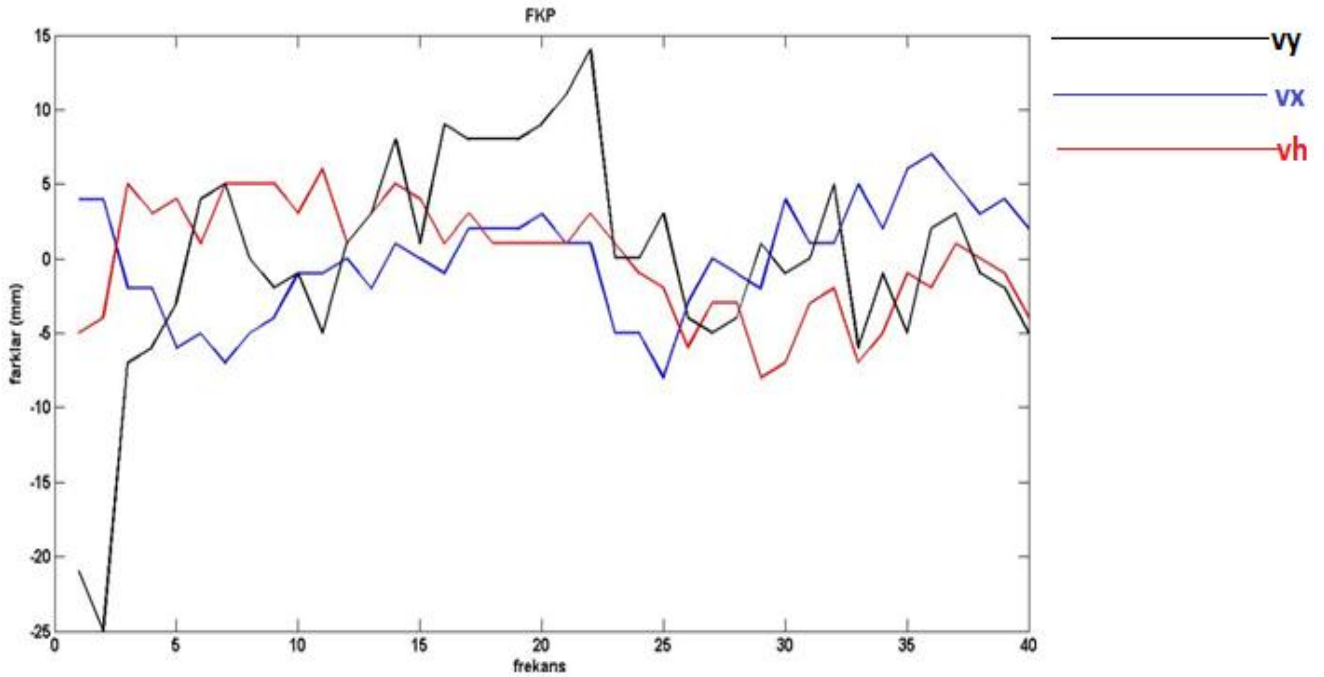
Şekil 5.34. İstasyon 3 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



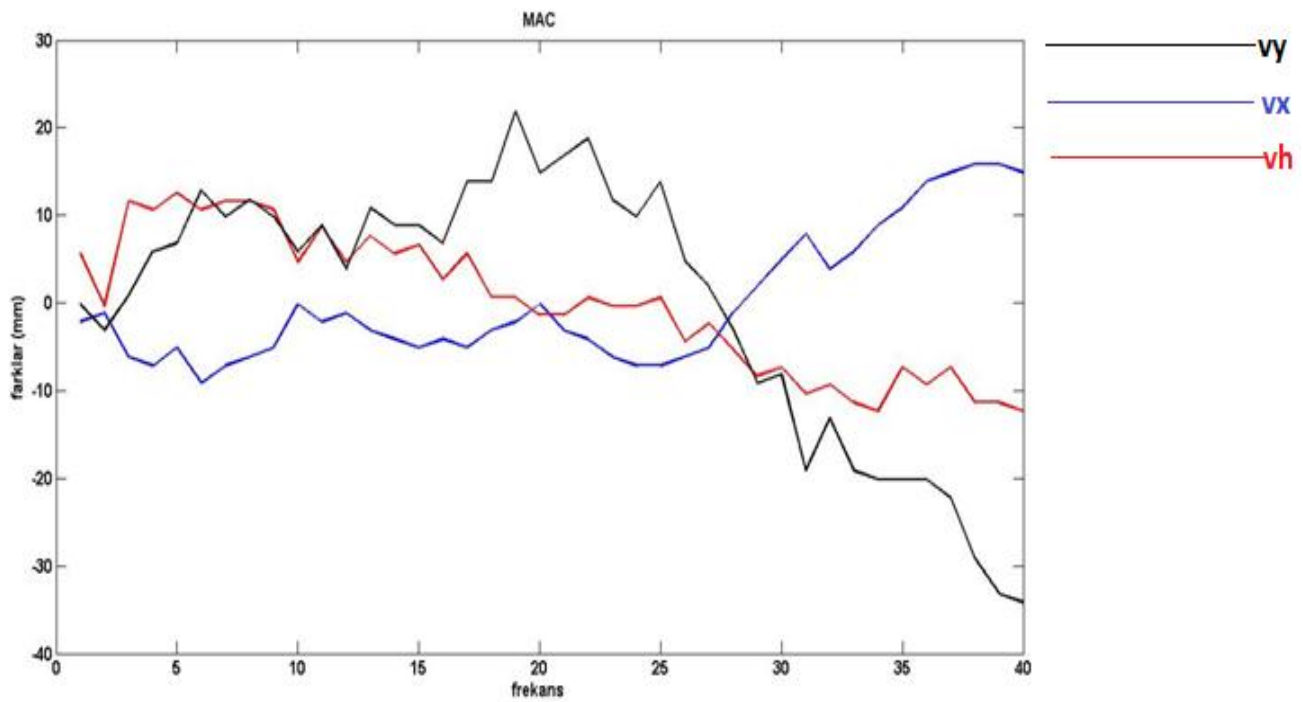
Şekil 5.35. İstasyon 3 noktasındaki VRS(GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar

Çizelge 5.12. İstasyon 4 noktasındaki standart sapma değerleri

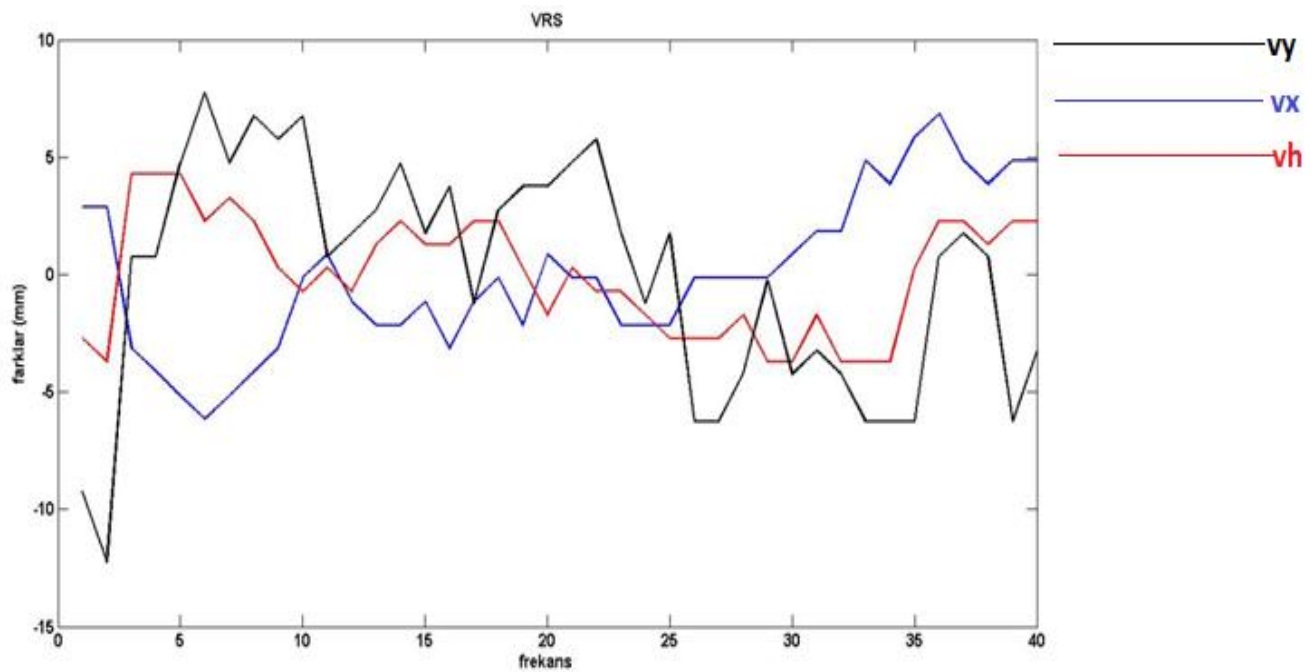
Teknik	$s_{\text{yukarı}}$ (mm)	$s_{\text{sağa}}$ (mm)	$s_h$ (mm)	$s_p$ (mm)
STATİK-FKP(GPS)	3.7	3.8	7.4	5.3
STATİK-MAC(GPS)	7.3	7.9	15.1	10.8
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	3.2	2.5	4.8	4.0
STATİK-VRS(GPS)	3.4	2.6	4.0	4.3



Şekil 5.36. İstasyon 4 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



Şekil 5.37. İstasyon 4 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar

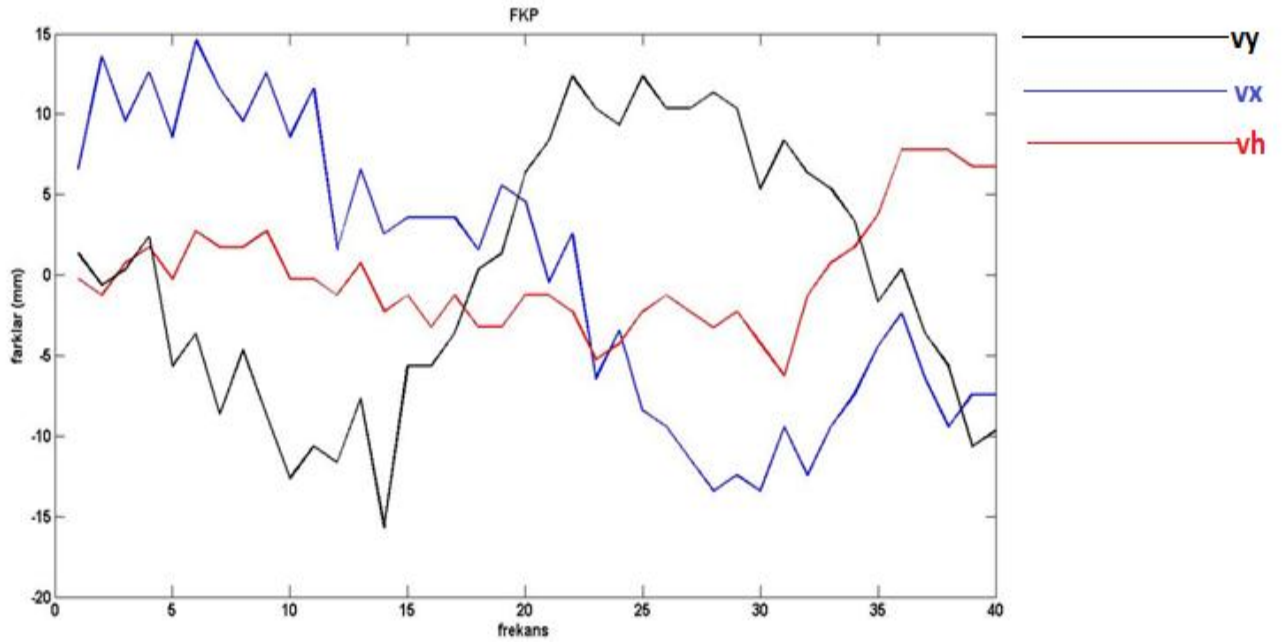


Şekil 5.38. İstasyon 4 noktasındaki VRS(GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar

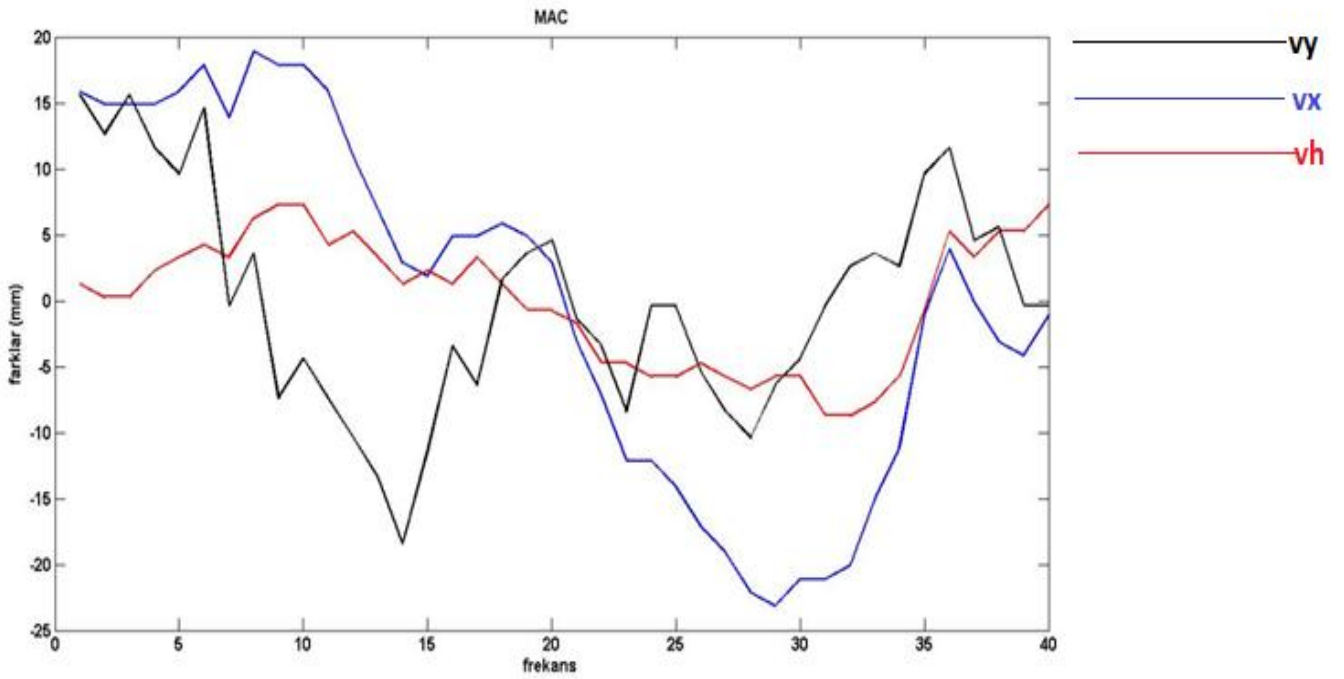
Çizelge 5.13. İstasyon 5 noktasındaki standart sapma değerleri

Teknik	$s_{\text{yukarı}}$ (mm)	$s_{\text{sağa}}$ (mm)	$s_h$ (mm)	$s_p$ (mm)
STATİK-FKP(GPS)	8.7	3.5	7.9	9.4
STATİK-MAC(GPS)	13.4	4.9	8.3	14.2
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	7.3	4.7	15.5	8.7
STATİK-VRS(GPS)	4.8	3.5	3.5	5.9

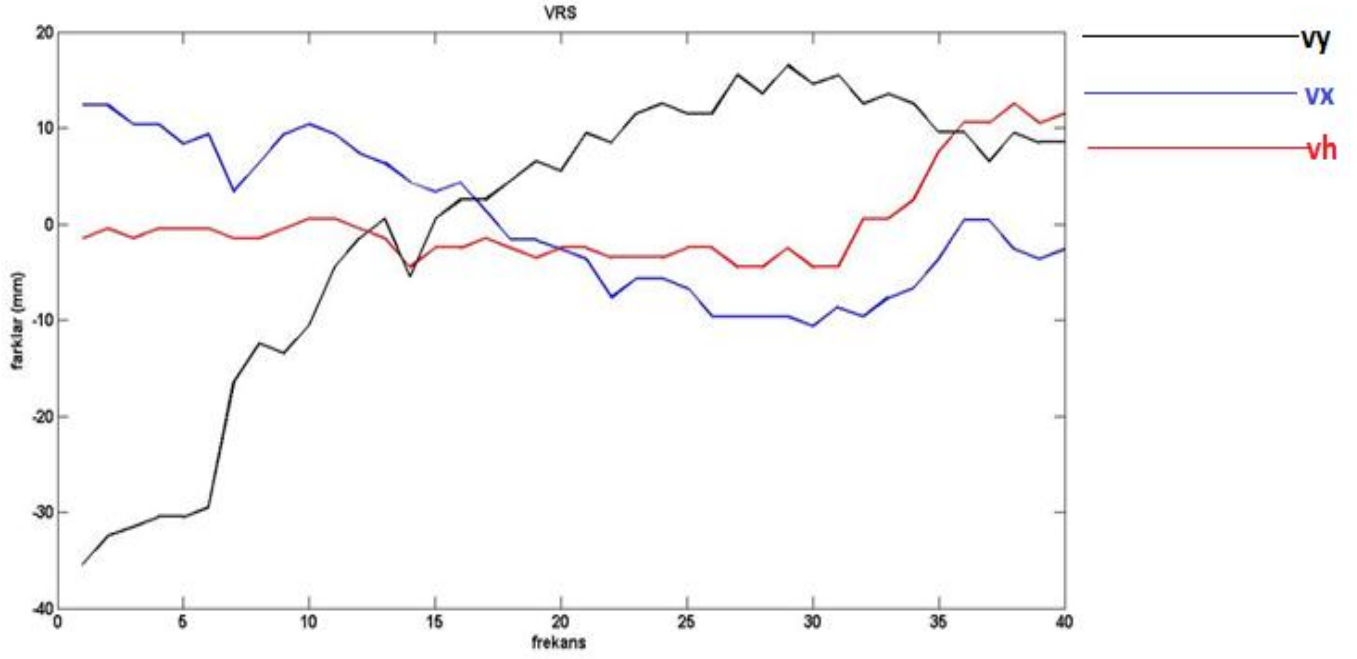




Şekil 5.39. İstasyon 5 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



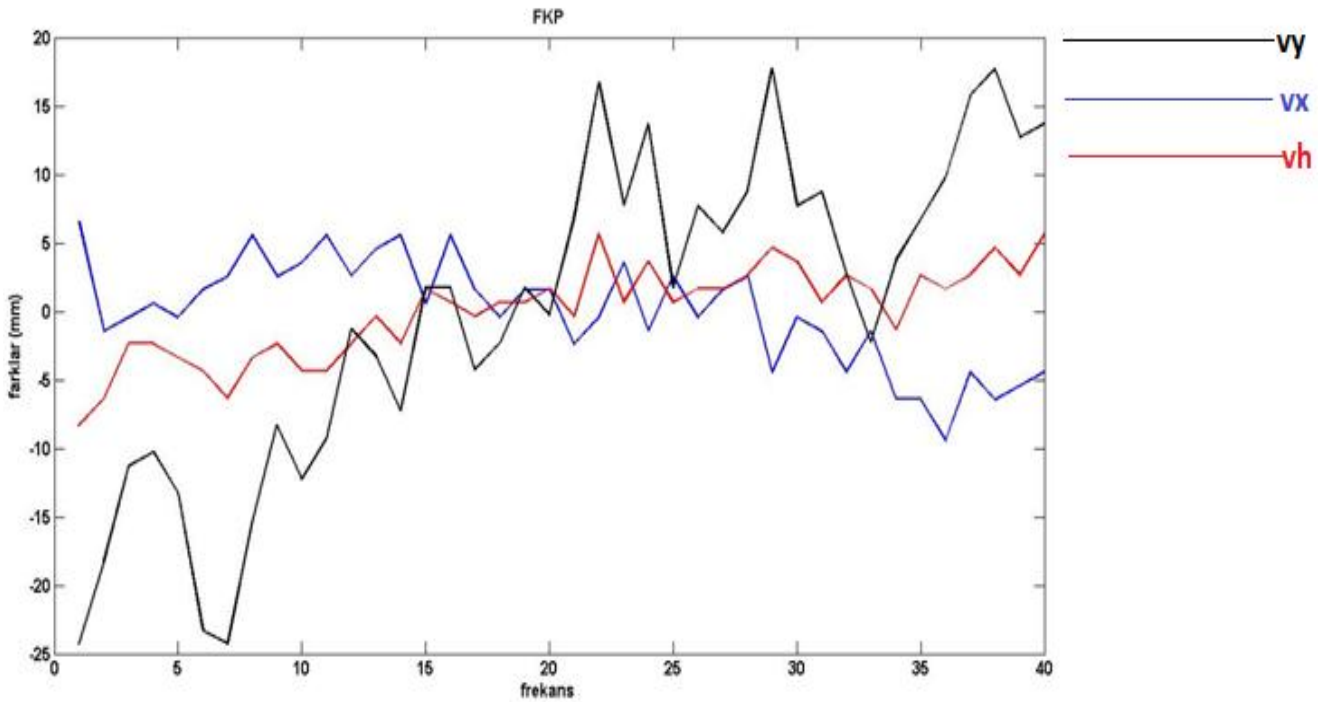
Şekil 5.40. İstasyon 5 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



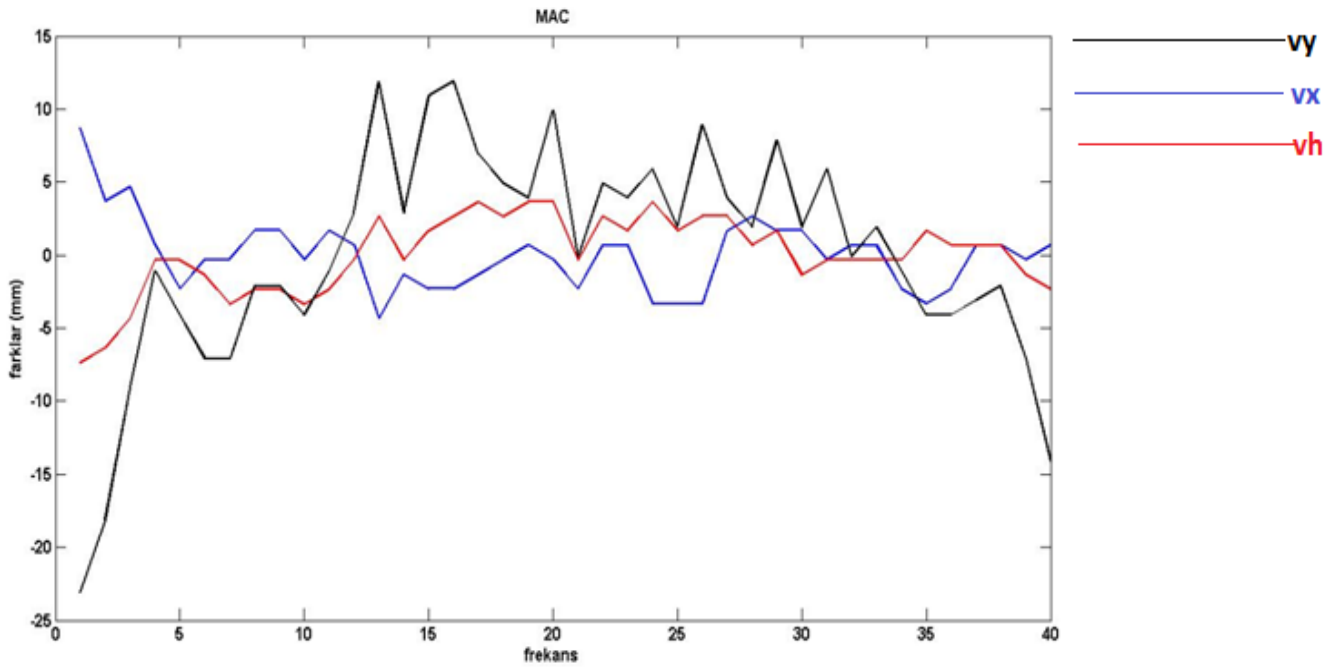
Şekil 5.41. İstasyon 5 noktasındaki VRS(GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar

Çizelge 5.14. İstasyon 6 noktasındaki standart sapma değerleri

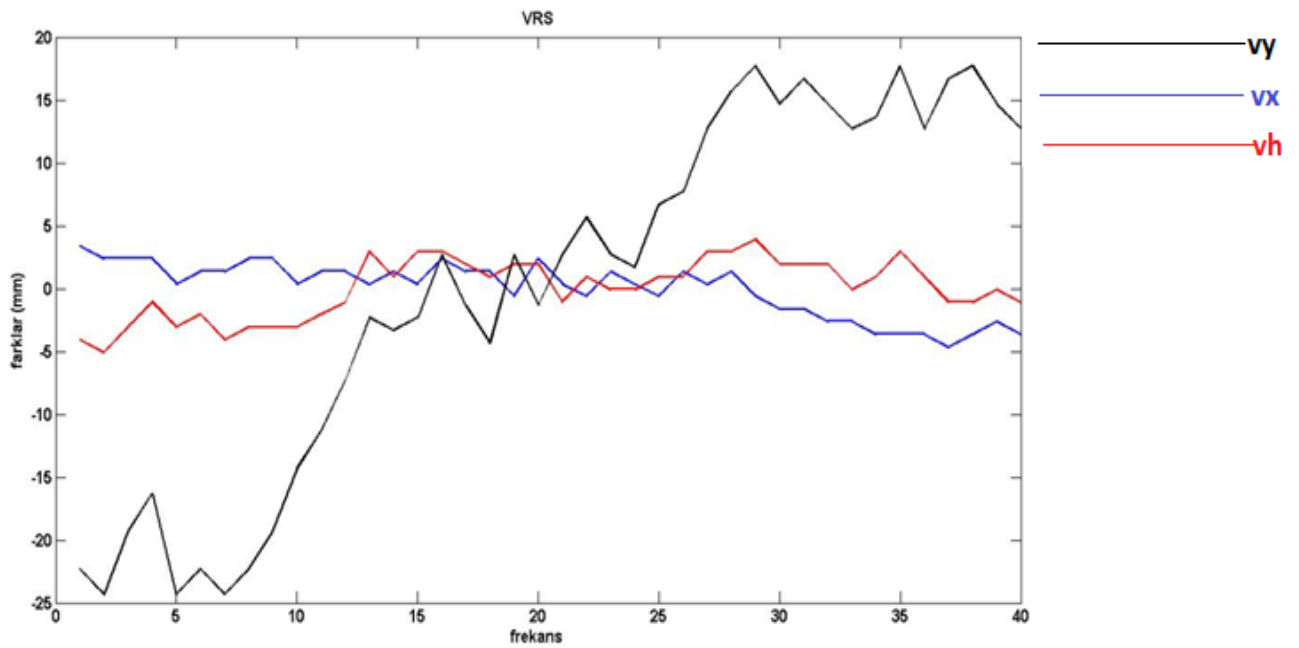
Teknik	$s_{\text{yukarı}}$ (mm)	$s_{\text{sağa}}$ (mm)	$s_h$ (mm)	$s_p$ (mm)
STATİK-FKP(GPS)	3.9	3.3	11.6	5.1
STATİK-MAC(GPS)	2.4	2.6	7.5	3.6
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	2.2	2.3	14.2	3.2
STATİK-VRS(GPS)	2.9	1.5	5.6	3.2



Şekil 5.42. İstasyon 6 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



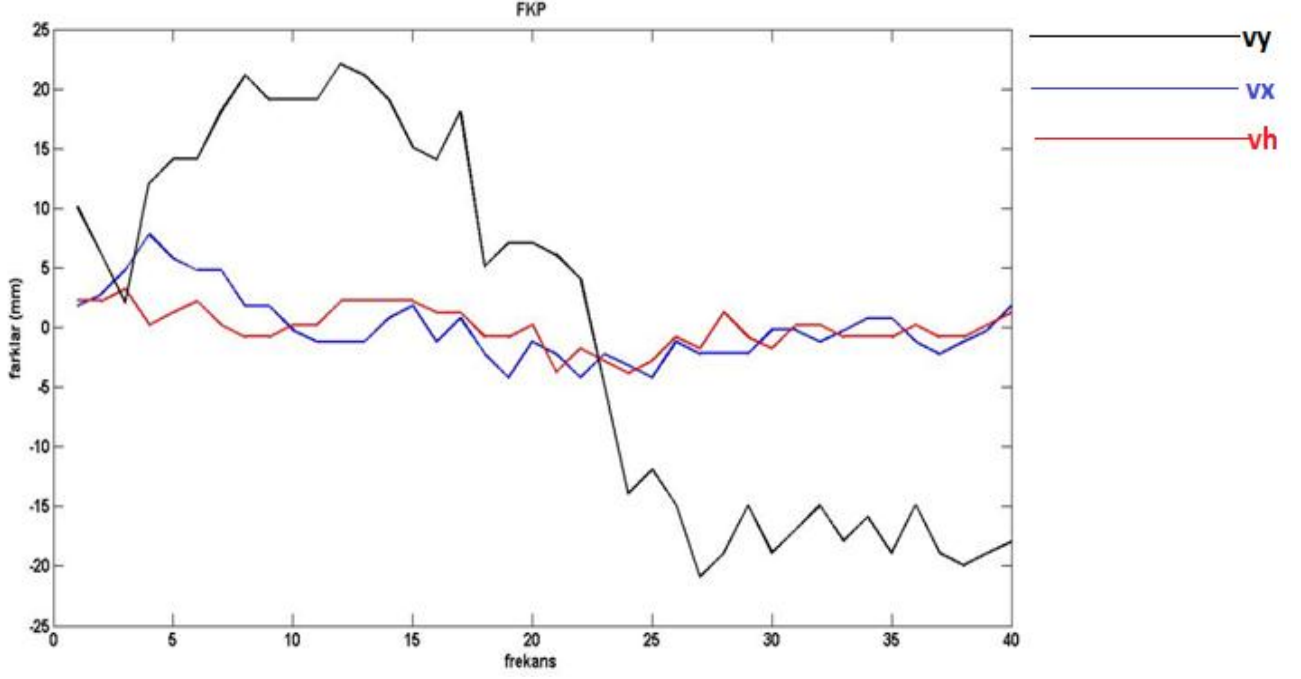
Şekil 5.43. İstasyon 6 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



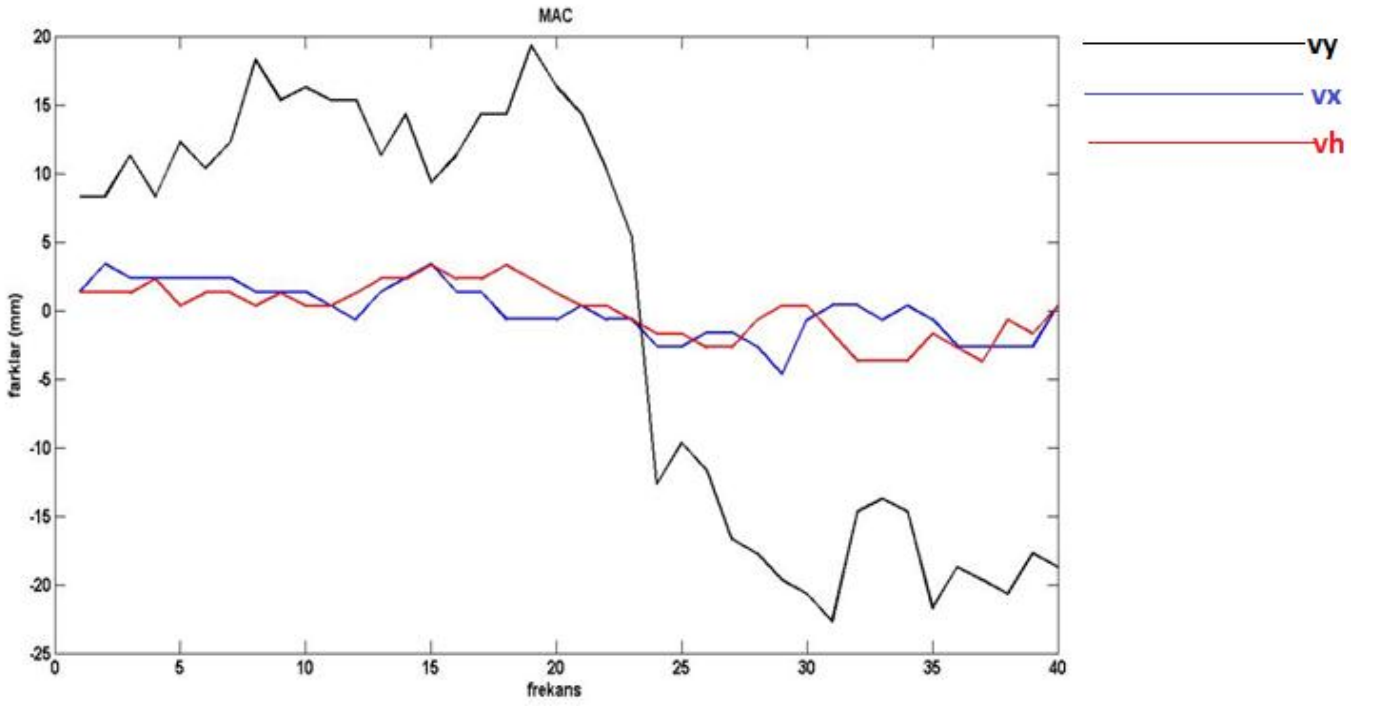
Şekil 5.44. İstasyon 6 noktasındaki VRS(GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar

Çizelge 5.15. İstasyon 7 noktasındaki standart sapma değerleri

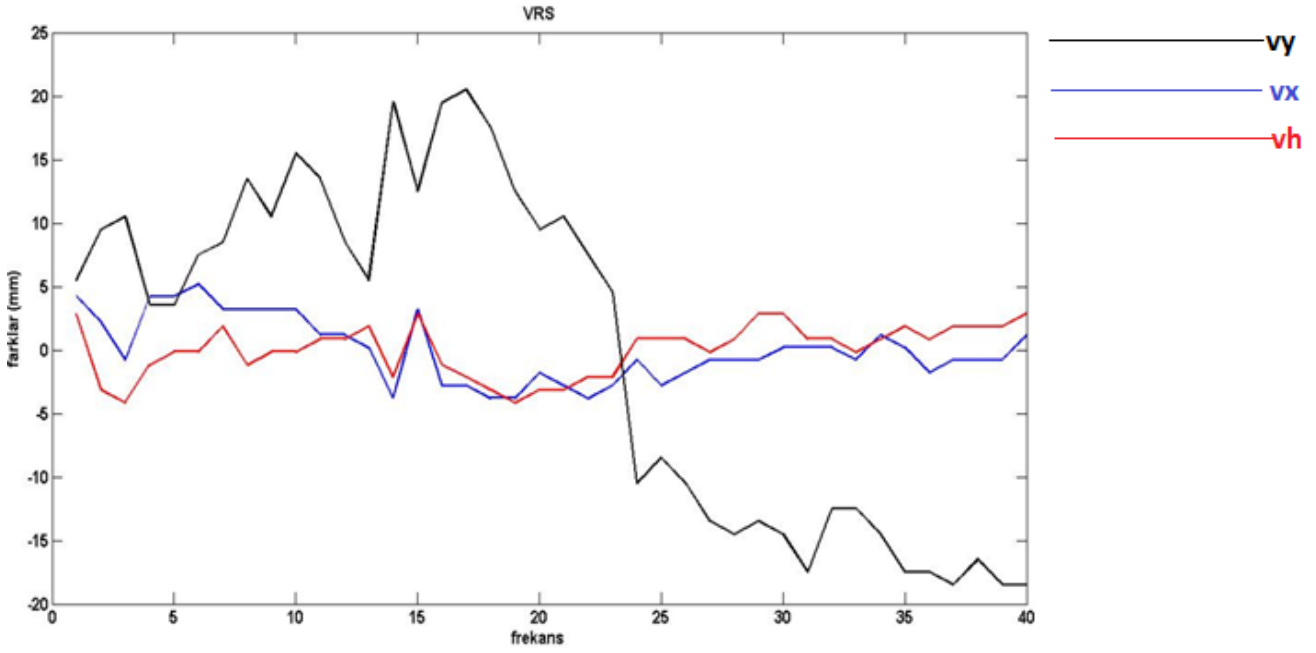
Teknik	$s_{\text{yukarı}}$ (mm)	$s_{\text{sağa}}$ (mm)	$s_h$ (mm)	$s_p$ (mm)
STATİK-FKP(GPS)	2.7	1.7	15.7	3.2
STATİK-MAC(GPS)	1.9	2.0	15.2	2.8
STATİK-VRS(GPS/GLONASS)	2.5	2.0	13.3	3.2
STATİK-VRS(GPS)	3.3	1.5	9.0	3.7



Şekil 5.45. İstasyon 7 noktasındaki FKP koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



Şekil 5.46. İstasyon 7 noktasındaki MAC koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar



Şekil 5.47. İstasyon 7 noktasındaki VRS (GPS/GLONASS) koordinat bileşenlerindeki standart sapmalar

Standart sapma değerleri hesaplanırken aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$v_x = \text{RTK}_{\text{yukarı\_ortalama}} - \text{RTK}_{\text{yukarı}} \quad (5.8)$$

$$v_y = \text{RTK}_{\text{sağa\_ortalama}} - \text{RTK}_{\text{sağa}} \quad (5.9)$$

$$v_h = \text{RTK}_{\text{h\_ortalama}} - \text{RTK}_h \quad (5.10)$$

$$s_{\text{yukarı}} = \pm \sqrt{v_x * v_x / n} \quad (5.11)$$

$$s_{\text{sağa}} = \pm \sqrt{v_y * v_y / n} \quad (5.12)$$

$$s_h = \pm \sqrt{v_h * v_h / n} \quad (5.13)$$

$$s_p = \sqrt{(v_x * v_x + v_y * v_y) / n} \quad (5.14)$$

$\text{RTK}_{\text{yukarı\_ortalama}}$ ,  $\text{RTK}_{\text{sağa\_ortalama}}$ , her bir teknikten alınan 40 adet projeksiyon koordinatlarının ortalaması,  $\text{RTK}_{\text{h\_ortalama}}$ , her bir teknikten alınan 40 adet elipsoidal yüksekliklerin ortalaması,  $\text{RTK}_{\text{yukarı}}$ ,  $\text{RTK}_{\text{sağa}}$ , ağ bazlı RTK tekniklerinden elde edilen yukarı ve sağa projeksiyon koordinatları ve  $\text{RTK}_h$  (elipsoidal) koordinatlar, n, ölçü sayısı olarak temsil edilmiştir.

### 5.2.3. Kinematik performans analizleri

Ağ bazlı RTK tekniklerinin hareket halinde iken ağa kilitli kalma (fixlenme) performanslarını analiz etmek amacıyla bir ölçüm aracı tasarlanmıştır. (Şekil 5.48)



Şekil 5.48. Ölçüm aracı

Ölçüm aracının üzerine 3 adet GNSS alıcısı monte edilmiştir. Araç harekete başlayacağı noktaya geldiğinde alıcılar sırasıyla VRS, FKP ve MAC tekniklerine ayarlanmış ve ağa kilitlenmeleri sağlanmıştır. El ünitesi yardımı ile her 250m'te (yatayda) bir 1sn'lik epok alacak şekilde alıcılara komut verilmiştir. Araç saatte yaklaşık 75km'lik bir hızla Konya-Karaman ve Konya-Cihanbeyli karayollarında gidiş ve dönüş şeklinde sürülmüştür. Cihazlar aynı anda ölçüme başlayıp aynı anda ölçümleri sonlandırılmıştır. Ölçüm güzergâhlarında dönüş sırasında alıcılar kapatılıp tekrar açılmış ve ağa kilitlenmeleri sağlanmıştır. Çizelge 5.15'de ölçüm güzergâhları boyunca hareket halinde iken tekniklerin ağa kilitli kalma oranları ve topladığı toplam epok sayıları verilmiştir.

Çizelge 5.16. Kinematik analiz sonuçları

Güzergâh	Teknik	Toplam Epok	Fix	Float
Konya-Cihanbeyli	VRS	319	%84.64	%15.36
Konya-Cihanbeyli	FKP	329	%90.27	%9.73
Konya-Cihanbeyli	MAC	338	%77.81	%22.19
Cihanbeyli-Konya	VRS	323	%79.88	%20.12
Cihanbeyli-Konya	FKP	325	%91.69	%8.31
Cihanbeyli-Konya	MAC	330	%90.91	%9.09
Konya-Karaman	VRS	326	%82.38	%17.17
Konya-Karaman	FKP	321	%88.16	%11.84
Konya-Karaman	MAC	325	%86.15	%13.85
Karaman-Konya	VRS	313	%71.57	%28.43
Karaman-Konya	FKP	309	%89.00	%11.00
Karaman-Konya	MAC	309	%63.11	%36.89

Tüm ölçüm güzergâhlarında FKP tekniğinin diğer tekniklere göre ağa daha uzun süre kilitli kaldığı görülmektedir. Tekniklerin toplam epok sayılarında farklar oluşmuştur bunun nedeni hareket halinde iken tekniklerin ana baz sunucusu ile bağlantılarının zaman zaman kesilmesidir. Bağlantısı kesilen teknik ağa tekrar kilitleninceye kadar veri alamamıştır.

#### 5.2.4. Tekniklerin kullandığı veri büyüklükleri

İstasyon 7 noktasında, VRS, FKP ve MAC düzeltme tekniklerine gelen veri boyutlarını karşılaştırabilmek amacıyla ayrı bir ölçüm gerçekleştirilmiştir.

FKP ve MAC teknikleri GLONASS uydularından gelen veriyi kullanmadıkları için karşılaştırmanın sağlıklı yapılabilmesi için VRS tekniğinden GLONASS uyduları çıkarılmıştır. Tüm teknikler için 1sn kayıt aralığında 1 epok 1 ölçüye karşılık gelecek şekilde 100 adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.17’de ağa kilitlenme anından ölçüm bitim anına kadar her bir teknik için el ünitesindeki sim karta gelen veri boyutları gösterilmiştir.

**Çizelge 5.17.** İstasyon 7 noktasındaki 100 adet ölçüm sonucu tekniklerin kullandığı veri boyutları

Teknik	Uydu Sayısı	Veri Boyutu (kb)
VRS (GPS)	7	109.96
FKP (GPS)	7	149.94
MAC(GPS)	6	215.37

Bu uygulamada yaklaşık 60kb'lık bir veri, tekniklerin ilk olarak ağa kilitlendikleri zaman kullanılmaktadır. Bu oran FKP tekniğinde daha fazladır çünkü FKP tekniğinde ağa ilk kilitlenme daha uzun sürmektedir. MAC tekniğinin diğer tekniklere göre daha fazla veri kullandığı yapılan ölçüm sonucu tespit edilmiştir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 7 adet ölçüm noktasında TUSAGA-AKTİF CORS sisteminden elde edilen VRS (GPS/GLONASS), VRS (GPS), FKP (GPS) ve MAC (GPS) ağ bazlı düzeltme tekniklerinden elde edilen nokta koordinatları ile statik oturum sonucu elde edilen nokta koordinatları karşılaştırılmıştır. VRS (GPS/GLONASS), FKP (GPS) ve MAC (GPS) tekniklerinden aynı şartlar altında ve aynı zaman diliminde koordinat verileri elde edilmiştir. İstasyon noktalarında yapılan üç adet statik oturum sonucu koordinatların doğrulukları kontrol edilmiş (Çizelge 5.8) ve aynı doğrulukta kabul edilebilir oldukları sonucuna varılmıştır. GLONASS uydularının VRS tekniğinin konum ve yükseklik doğruluğuna etkisini araştırmak için VRS (GPS) tekniği ile yapılan GLONASS uydularının kullanılmadığı ölçümlerde, konum doğruluğunun önemli oranda değişmediği, yükseklik doğruluğunun bazı noktalarda kötüleştiği bazı noktalarda ise iyileştiği gözlemlenmiştir.

Statik oturum sonucu elde edilen koordinatlar ile ağ bazlı RTK tekniklerinin koordinat farkları arasında tüm noktalarda eksi (-) yönüne doğru sistematik bir kayma gözlemlenmiştir. Bu sistematik sapmanın şu durumlardan kaynaklanacağı düşünülmektedir;

1. TUSAGA-AKTİF CORS noktalarının koordinatları ITRF 2008 referans sisteminde IGS noktalarına göre dayalı dengeleme sonucu üretilmiştir. Daha sonra bu koordinatlar ortak noktalar kullanılarak 3 boyutlu benzerlik dönüşümü ile ITRF 96 referans sistemine dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm sonucunda noktaların X, Y, Z kartezyen koordinatları dönüşümden kaynaklanan belirli bir miktar hata ile tespit edilmiştir. Dolayısıyla bu durumun TUSAGA-AKTİF sistemine belirli bir oranda sistematik hata yüklediği varsayılmaktadır.
2. TUSAGA-AKTİF CORS verilerinin analizi GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmada statik oturum koordinatları belirlenirken ticari bir yazılım kullanılmıştır. Bilimsel yazılımlarda olan bazı modellemeler ticari yazılımlarda mevcut değildir dolayısıyla ticari yazılımlarda bazı modellenemeyen etkiler sistematik sapmaya neden olabilmektedir.

Tekniklerin presizyon analizleri, elde edilen 40 adet koordinat değerinin ortalamasından her bir koordinatın sapma değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir.



İstasyon\_7 ve istasyon\_2 noktası hariç diğer noktalarda VRS (GPS/GLONASS) ile VRS (GPS) tekniği en düşük konumsal standart sapma değerine ( $s_p$ ) sahip olduğu gözlemlenmiştir dolayısıyla ölçüm yapılan noktalarda VRS tekniğinin diğerlerine göre daha yüksek prezisyona sahip olduğu söylenebilir.

Ölçüm noktalarında VRS ile MAC tekniklerinin ağa ilk kilitlenme süreleri birbirine yakın çıkmıştır (genellikle VRS daha hızlı) ancak FKP tekniği için önemli oranda bir gecikme söz konusudur. Ağa ilk kilitlenmede FKP tekniği için 2 dakikanın üzerinde bir bekleme süresi gerçekleşmiştir. FKP tekniğindeki bu gecikmenin ölçümler sırasında kullanılan alıcıya özgü olduğu görülmüştür. Genel olarak FKP tekniğinin ağa ilk kilitlenme süresi diğer tekniklere göre biraz daha zaman almaktadır ancak bu süre genellikle 20-40sn arasındadır.

Doğruluk analizlerinde belirli bir teknik ön plana çıkmamıştır. Test noktalarında yapılan ölçümler sonucu tekniklerin minimum ve maksimum iki boyutlu konumsal ve yükseklik karesel ortalama hataları Çizelge 6.1’de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.1.** Minimum ve maksimum RMS değerleri (m)

İstasyonlar	$m_{pmin}$	$m_{pmax}$	$m_{hmin}$	$m_{hmax}$
1	<b>0.018</b> (MAC)	<b>0.027</b> (FKP)	<b>0.047</b> (VRS/GPS)	<b>0.051</b> (FKP&MAC)
2	<b>0.018</b> (FKP)	<b>0.027</b> (VRS/GPS/GLONASS)	<b>0.040</b> (MAC)	<b>0.076</b> (VRS/GPS)
3	<b>0.023</b> (FKP)	<b>0.034</b> (VRS/GPS)	<b>0.045</b> (VRS/GLONASS)	<b>0.060</b> (FKP)
4	<b>0.026</b> (FKP&VRS/GPS&VR S/GPS/GLONASS)	<b>0.030</b> (MAC)	<b>0.039</b> (FKP)	<b>0.045</b> (MAC)
5	<b>0.041</b> (FKP&VRS/GPS&VR S/GPS/GLONASS)	<b>0.052</b> (MAC)	<b>0.033</b> (VRS/GPS)	<b>0.054</b> (MAC&VRS/GPS/ GLONASS)
6	<b>0.024</b> (VRS/GLONASS)	<b>0.035</b> (FKP)	<b>0.058</b> (MAC)	<b>0.092</b> (MAC)
7	<b>0.016</b> (FKP&VRS/GPS)	<b>0.019</b> (VRS/GPS/GLONASS)	<b>0.079</b> (MAC&VRS/GPS /GLONASS)	<b>0.095</b> (VRS/GPS)

VRS tekniği Tusaga-Aktif kullanıcıları arasında diğer tekniklere göre en çok kullanılan tekniktir. Bu teknik için ayrılan port sayısının diğer tekniklere göre daha fazla olması, hızlı ağa kilitleme ve rover'ların default ayarlarının genellikle bu teknik için yapılmış olması kullanıcı sayısının fazla olmasını etkileyen faktörler arasındadır.

## 7. KAYNAKLAR

- Anonymous1, <http://www.4gamericas.org/index.cfm?fuseaction=page&sectionid=243> [Ziyaret Tarihi 5 Mayıs 2014].
- Anonymous2, <http://epsagnss.usal.es/documentos/ntripdocumentation.pdf> [Ziyaret Tarihi 17 Mayıs 2014].
- Anonymous3, [http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/nrs/spider/white-tech-paper/Leica\\_GPS\\_SpiderNET-Take\\_it\\_to\\_the\\_MAX\\_June2005\\_en.pdf](http://www.leica-geosystems.com/downloads123/zz/nrs/spider/white-tech-paper/Leica_GPS_SpiderNET-Take_it_to_the_MAX_June2005_en.pdf) [Ziyaret Tarihi 19 Ağustos 2014].
- Anonymous4, <http://tekmon.gr/2011/03/virtual-reference-station/> [Ziyaret Tarihi 19 Mayıs 2014].
- Berber, M., Arslan, N., 2013, Network RTK: A case study in Florida, *Measurement*, 46 (8), 2798-2806.
- Dao, D., Alves, P., Lachapelle, G., 2004, Performance Evaluation of Multiple Reference Station GPS RTK for a Medium Scale Network, *Journal of Global Positioning Systems*, 3 (1-2), 173-182.
- Dow, J.M., Neilan, R.E., Gendt, G., 2005, The International GPS Service: celebrating the 10th anniversary and looking to the next decade, *Advances in Space Research*, 36 (3), 320-326.
- El-Mowafy, A., 2012, *Global Navigation Satellite Systems Signal, Theory And Applications*, Shuanggen Jin, Croatia, 174-179.
- Euler, H., Keenan, C.R., Zebhauser B.E., Wübbena, G., 2001, Study of a Simplified Approach Utilizing Information from Permanent Station Arrays, *GEO++*, Germany, 1-4.
- Ghribi, B., Logrippo, L., 2000, Understanding GPRS: The GSM Packet Radio Service, *Journal of Computer Networks*, 34 (5), 763-779.
- Gumus, K., Celik, C.T., Erkaya H., 2012, Investigation of accurate method in 3-D position using CORS-NET in Istanbul, *Bol. Ciênc. Geod*, 18 (2), 171-184.
- Heo, Y., Yan, T., Lim, S., Rizos, C., 2009, International Standard GNSS Real-Time Data Formats and Protocols, *International Global Navigation Satellite Systems Society IGNSS Symposium*, Australia, 1-13.
- Hu, G.R., Khoo, H.S., Goh, P.C., Law, C.L., 2002, Internet-based GPS VRS RTK Positioning with a Multiple Reference Station Network, *Journal of Global Positioning Systems*, 2, 113-120.
- Kalaycı, İ., Öğütçü, S., 2014, A Novel Approach for Detail Surveys by the Motorized GPSSIT Concept in Residential Areas and its Application, *Bol. Ciênc. Geod*, 20 (1), 70-83.

- Kahveci, M., 2009, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, 51-61.
- Langley, R., 1995, *GPS WORLD*, 55-57.
- Landau, H., Vollath, U., Chen, X., 2002, Virtual reference station systems, *Journal of Global Positioning Systems*, 1 (2), 137-143.
- Olynik M., Petovello, M.G., Cannon, M.E., Lachapelle, G., 2002, Temporal Variability of GPS Error Sources and Their Effect on Relative Positioning Accuracy, Institute of Navigation National Technical Meeting, San Diego, 877-888.
- Rizos, C., Han, S., 2003, Reference station network based RTK systems-concepts and progress, *Wuhan University Journal Of Natural Sciences*, 8 (2B), 566-574.
- Talbot, N.C, 1997, Improvements in the Compact Measurement Record Format, Trimble User's Conference, California, 322-337.
- Talbot, N.C., Lu G., Allison, T., Vollath U., 2002, Broadcast network RTK – Transmission standards and results, *Proceedings of ION GPS*, Portland, 2379-2387
- Talbot, N.C., 2013, Improved High Precision GNSS Positioning with New Satellites and Signals, *The institution of Surveyors*, Australia, 10-11.
- Takac, F., Zelzer, O., 2008, The Relationship Between Network RTK Solutions MAC, VRS, PRS, FKP and i-MAX, *Proceedings of the 21st International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation*, Savannah, 348-355.
- Yan, T., 2006, GNSS data protocols: Choice and implementation, *IGNSS Symposium*, Australia, 17-21.
- Weber, G., 2006, Streaming Real-Time IGS Data and Products Using NTRIP, *Proceedings of the IGS Workshop*, Germany, 105-109.
- Wei, E., Chai, H., An, Z, 2006, VRS Virtual Observations Generation Algorithm, *Journal of Global Positioning Systems*, 5 (1), 76-81.
- Wübenna, G., Bagge, A., G. Seeber., V. Böder., P. Hankemeier., 1996, Reducing distance dependent errors for real-time precise DGPS applications by establishing reference station networks, 9th Int. Tech. Meeting of the Satellite Div. of the U.S. Institute of Navigation, Kansas City, Missouri, 1854-1852.
- Wübenna, G., Bagge, A., 2006, RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP, GEO ++, *Germany*, 1-2.
- Wu, S., Zhang, K., Silcock, D., 2009, Differences in Accuracies and Fitting Surface Planes of Two Error Models for NRTK in GPSnet, *Journal of Global Positioning Systems*, 8 (2), 154-163.

Zou, X., Tang, W.M., Ge, M.R., Liu, J.N., Cai, H., 2013, New Network RTK Based on Transparent Reference Selection in Absolute Positioning Mode, *Journal of Surveying Engineering*, 139 (1), 11-18.

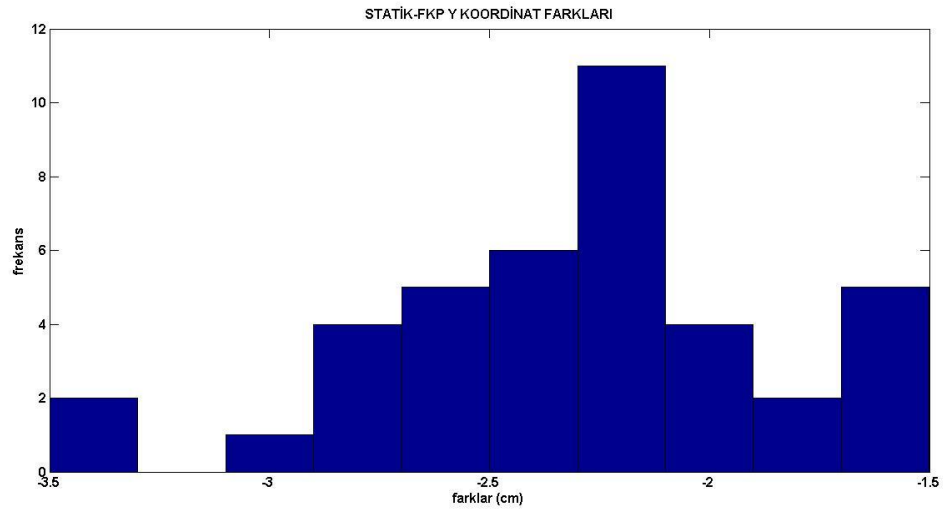
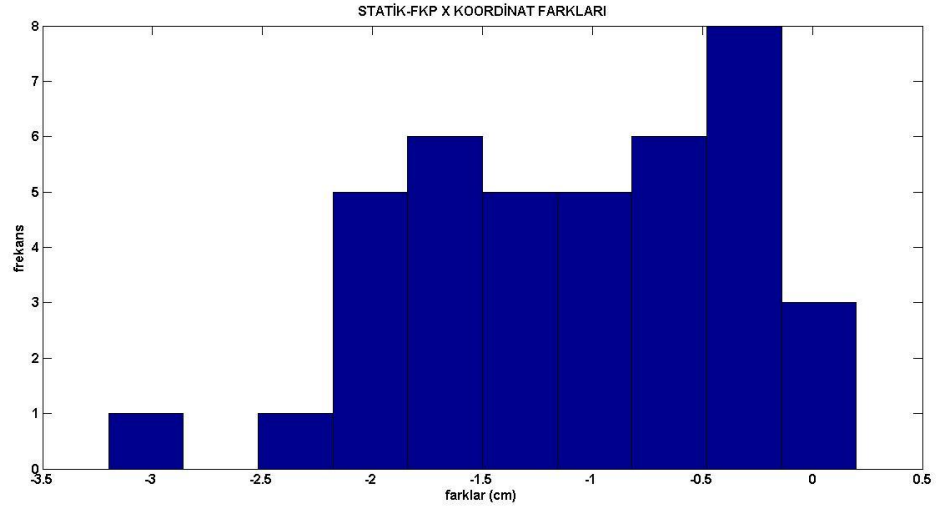
**8. EKLER**

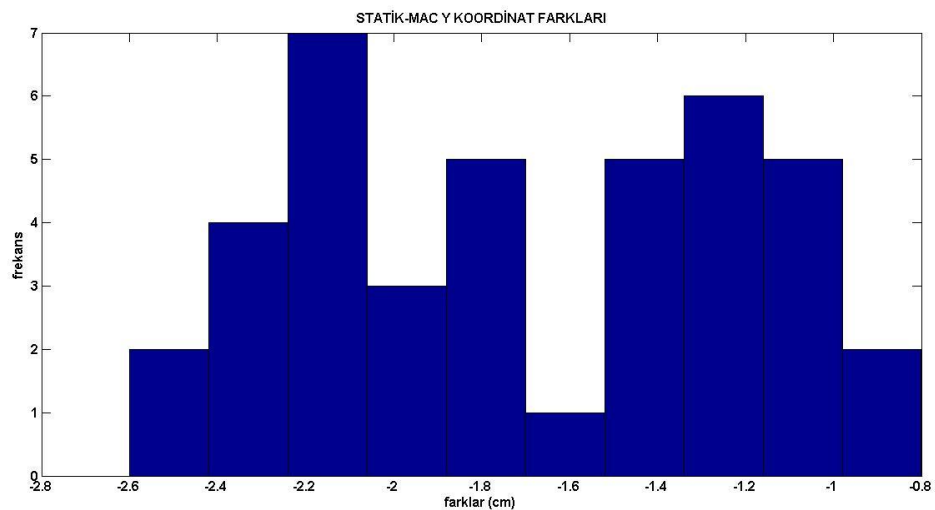
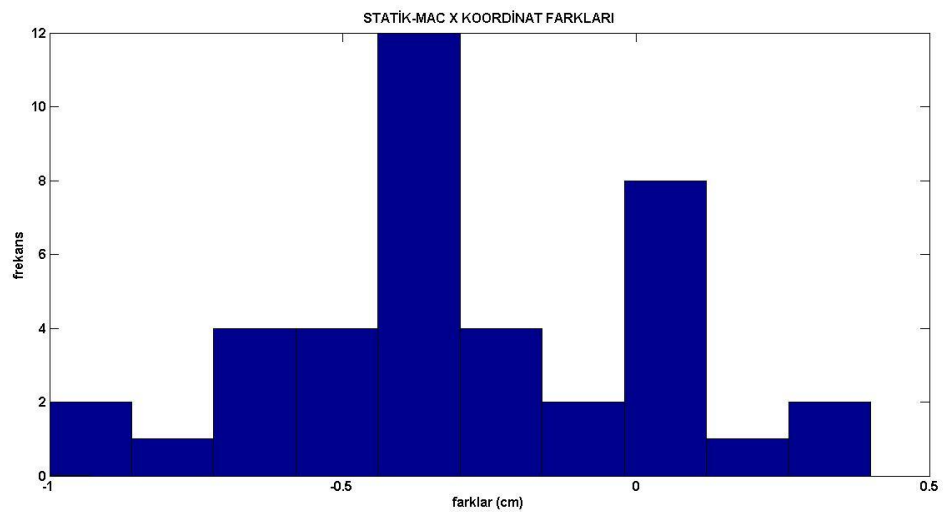
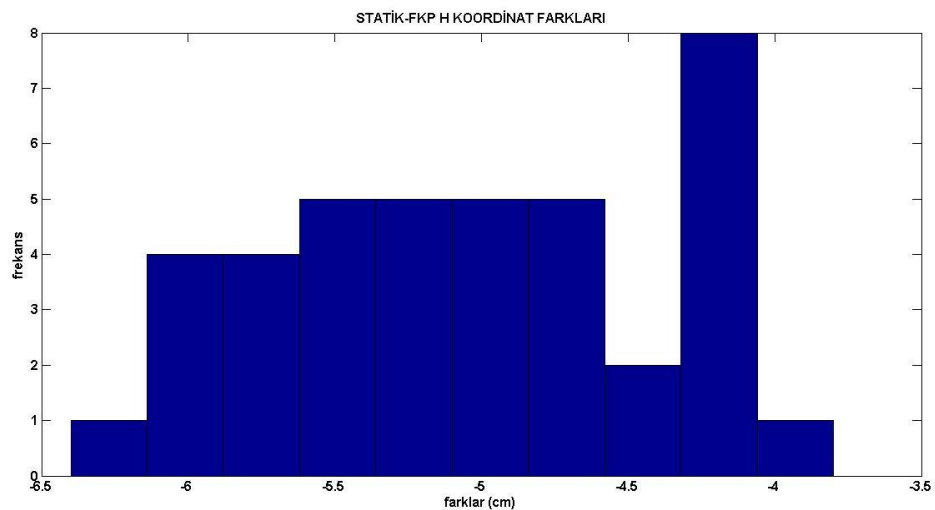
**EK-1** Statik oturma sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farklarının dağılım grafikleri

**EK-2** Ölçüm noktalarındaki statik oturma sonucu koordinatlar ile ağ bazlı RTK tekniklerinden elde edilen koordinatlar arasındaki farklar

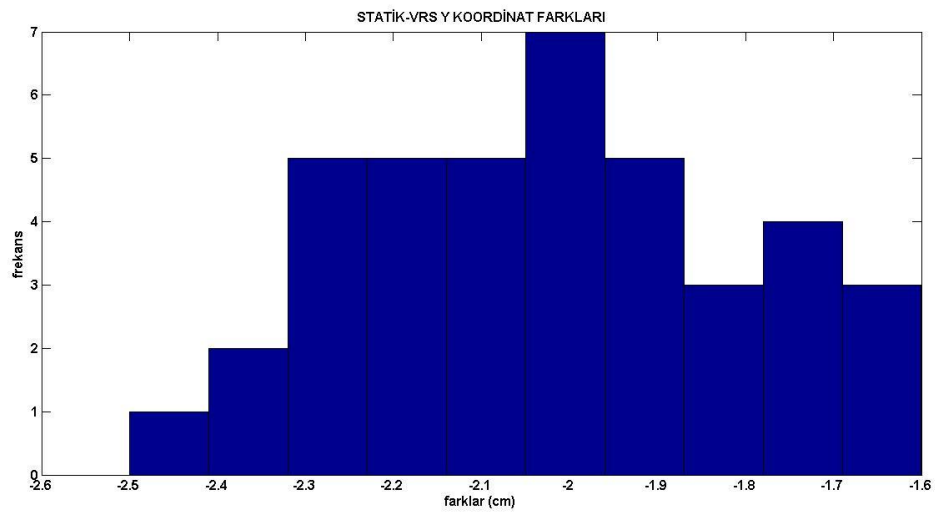
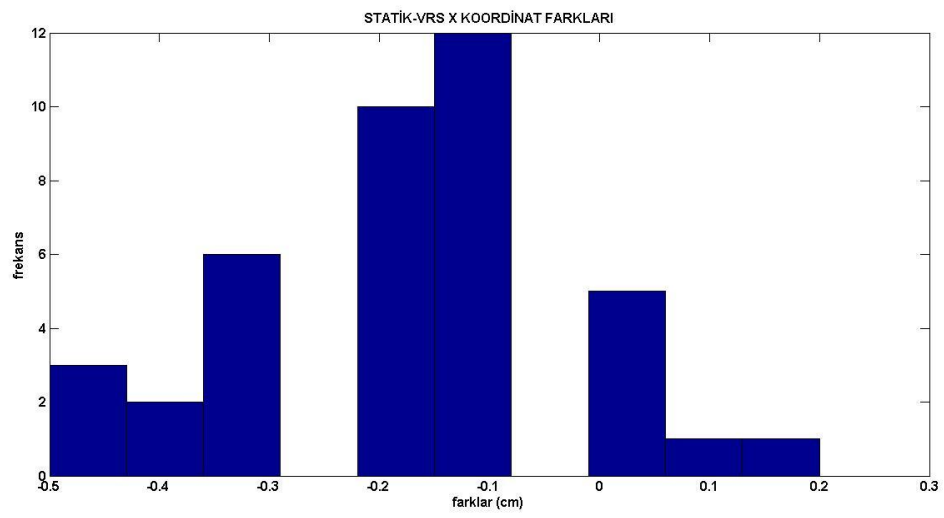
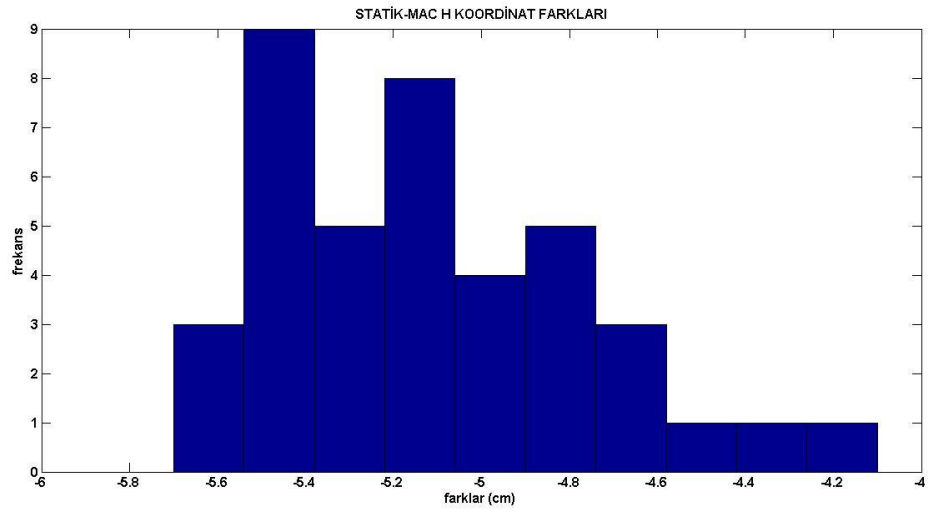
**EK-1** Statik oturum sonucu koordinatlar ile tekniklerin koordinat farklarının dağılım grafikleri

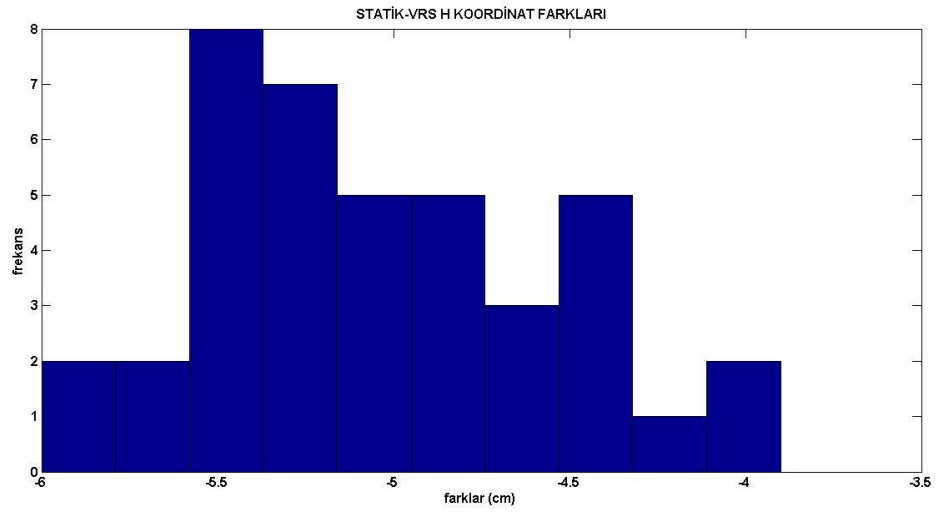
İstasyon\_1 noktasındaki hata dağılım grafikleri.



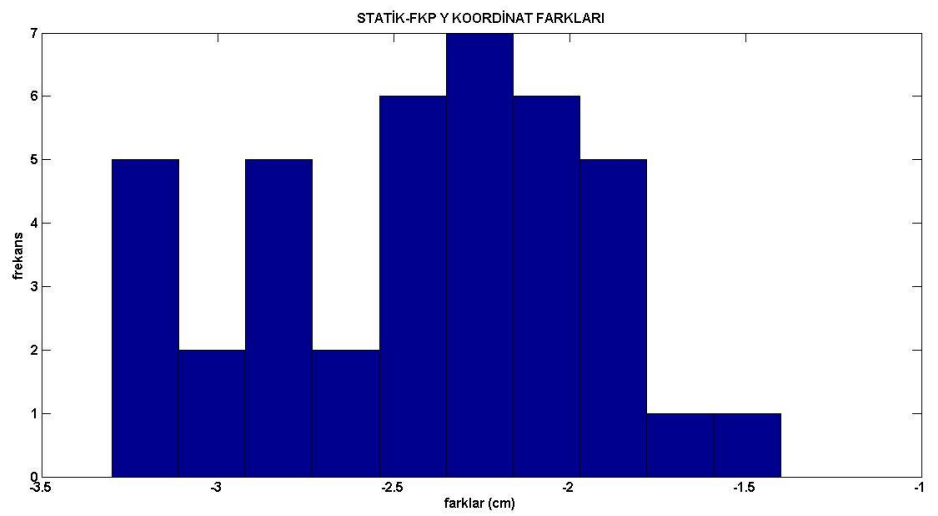
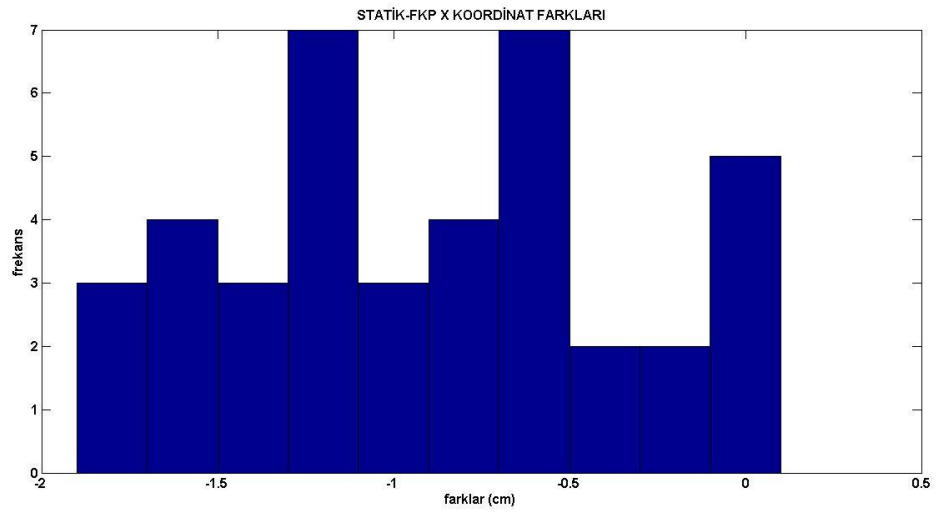


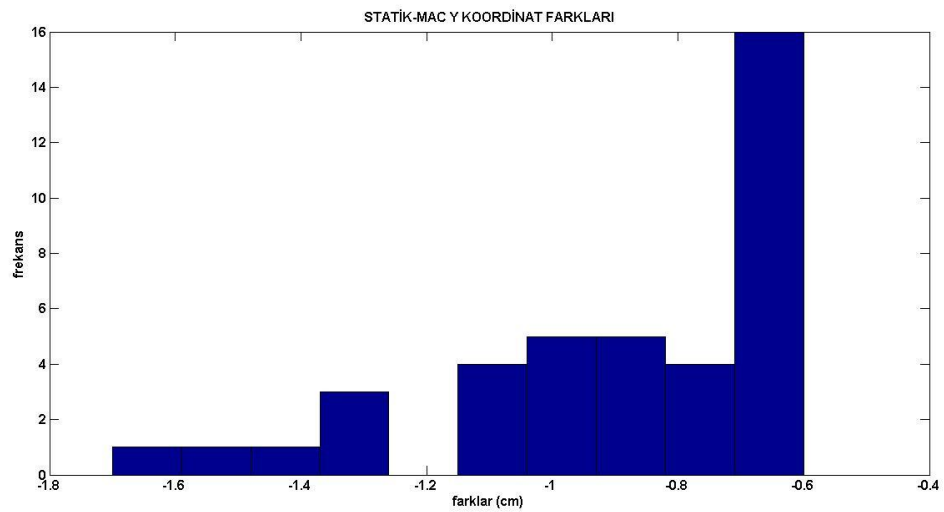
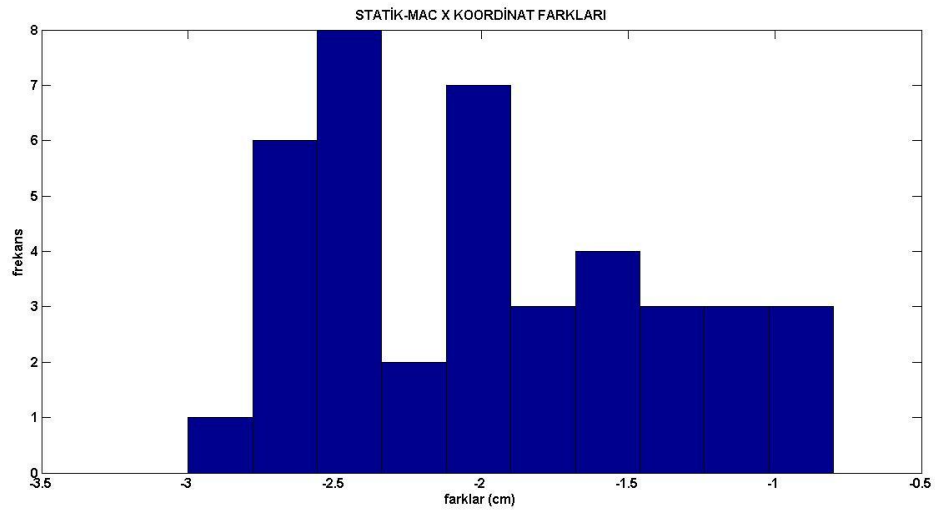
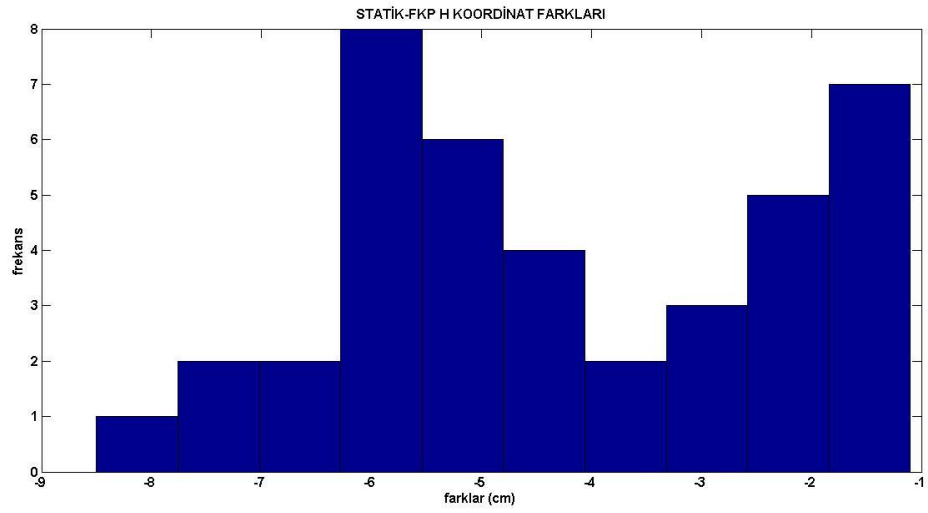


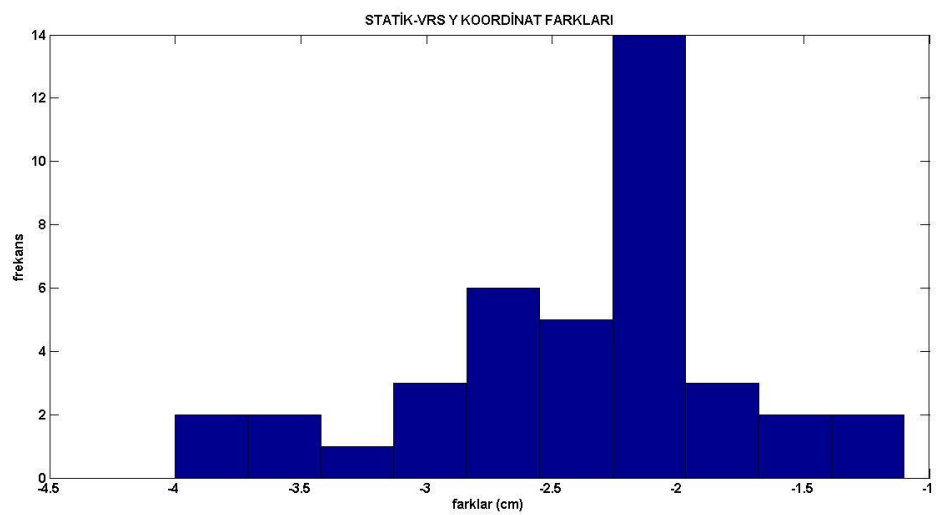
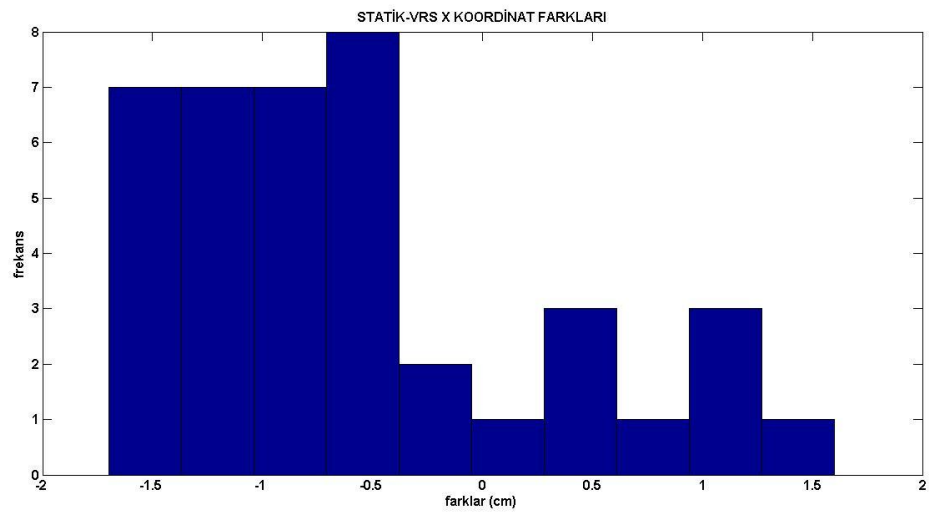
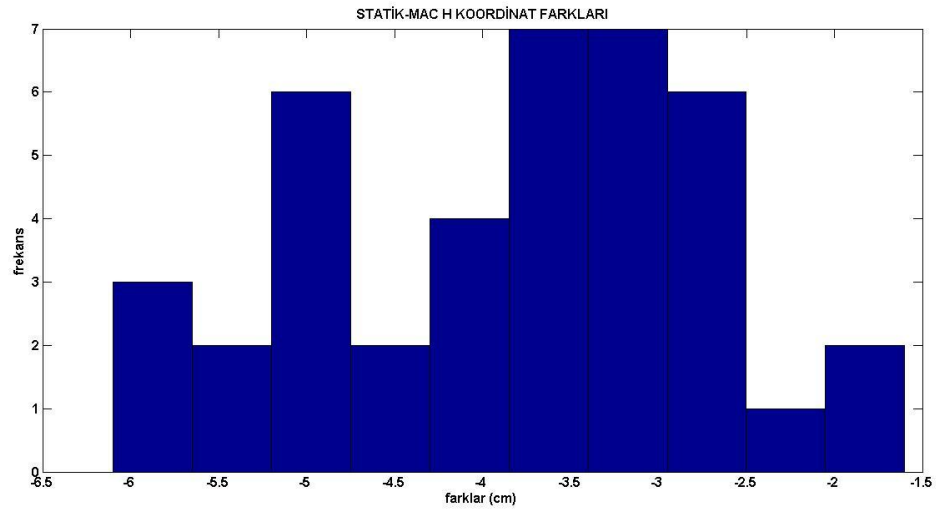


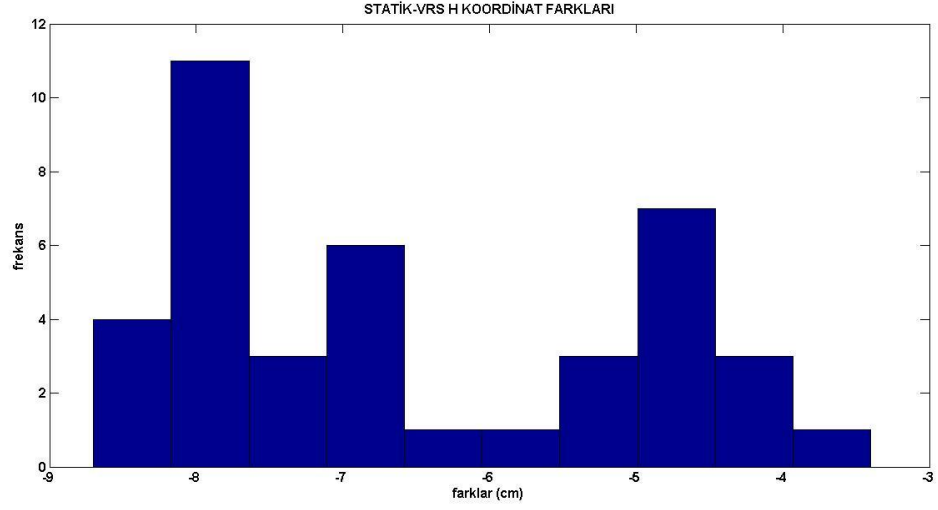


İstasyon\_2 noktasındaki hata dağılım grafikleri.

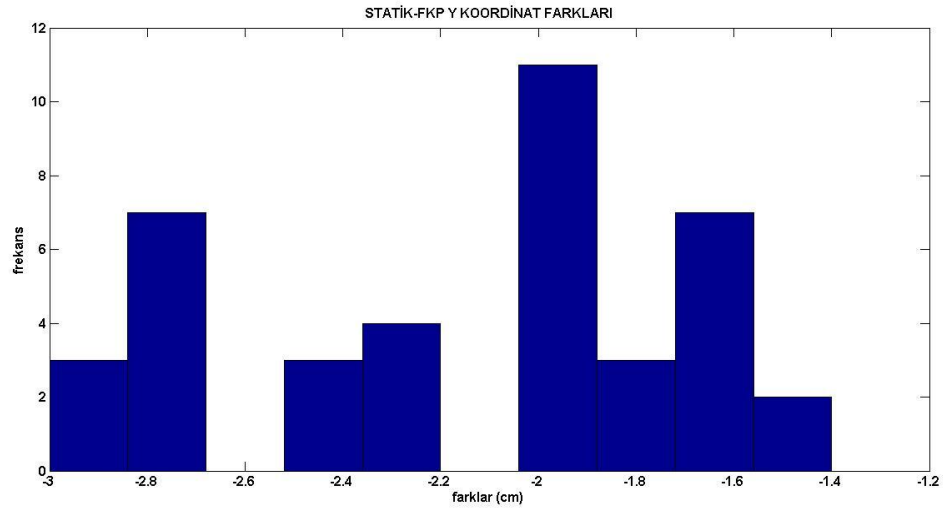
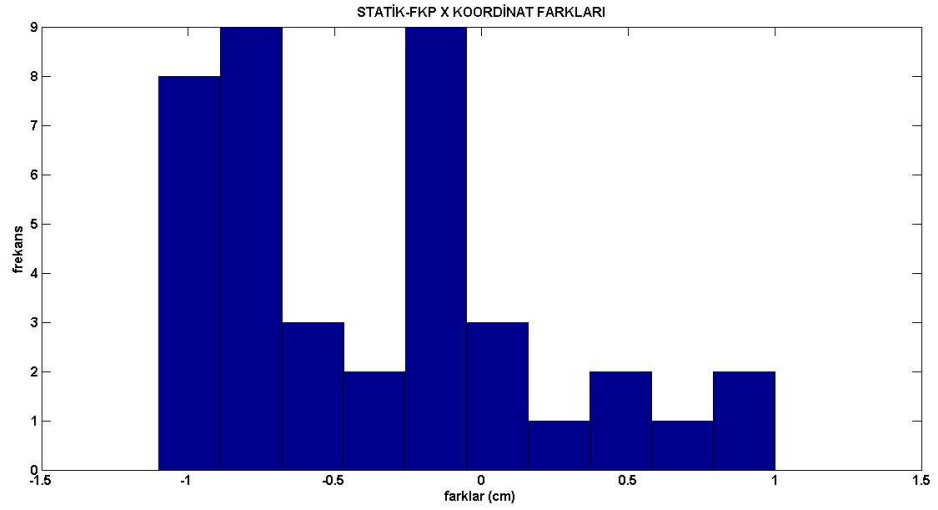


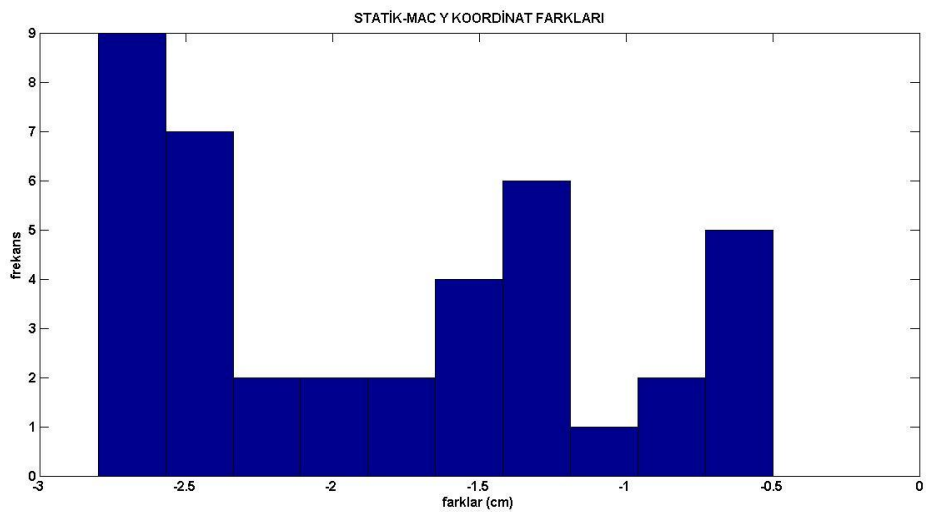
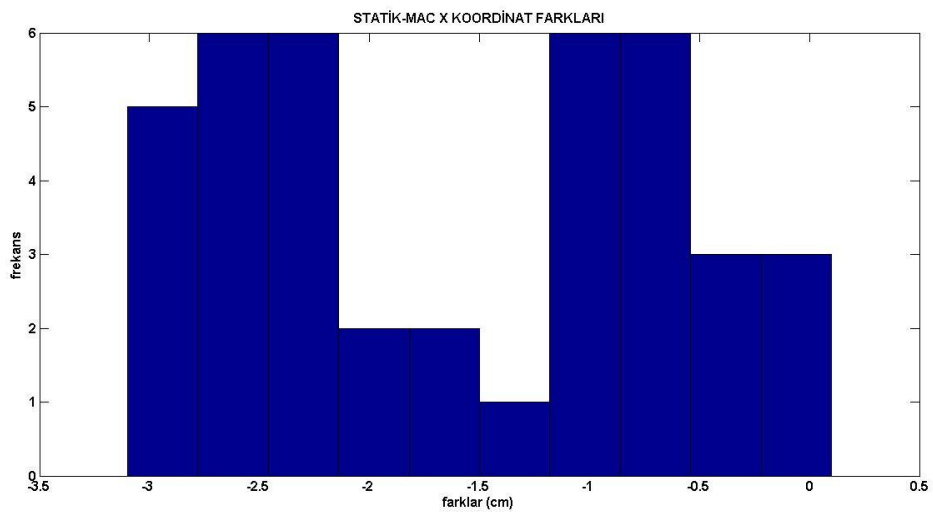
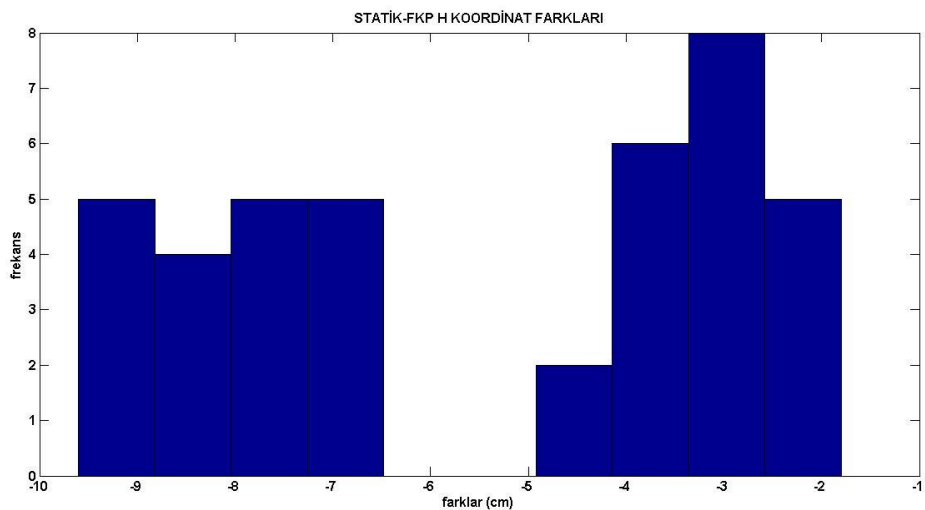


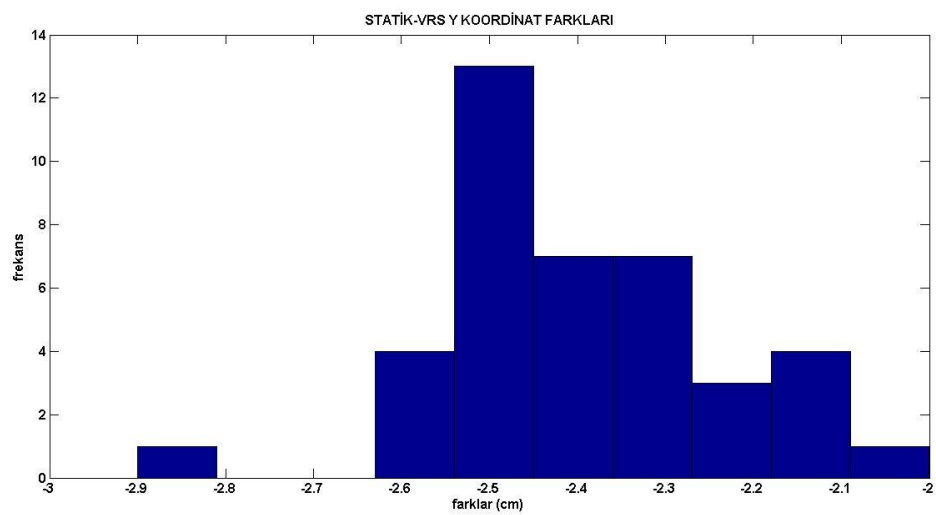
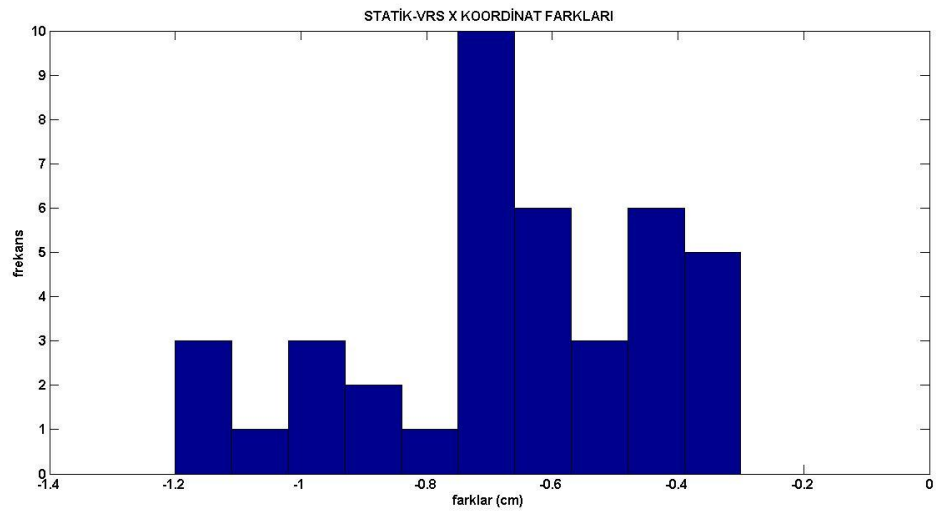
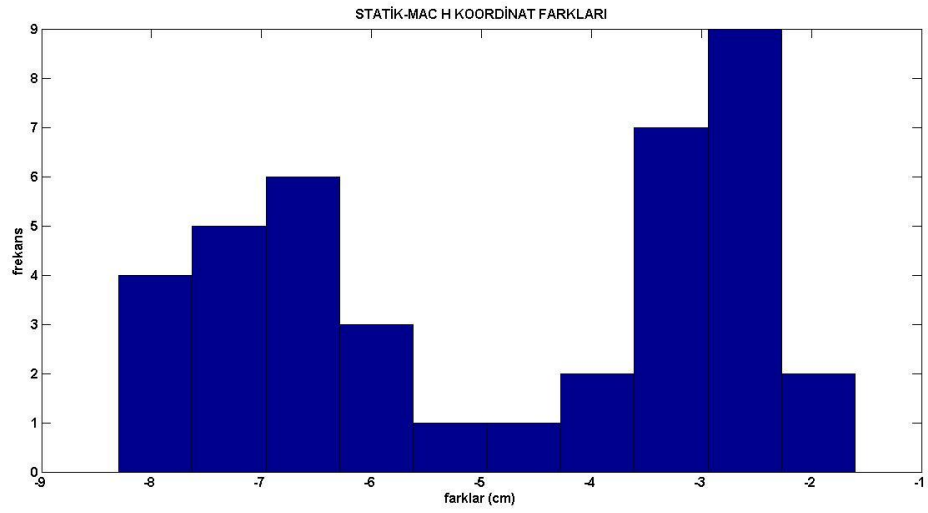


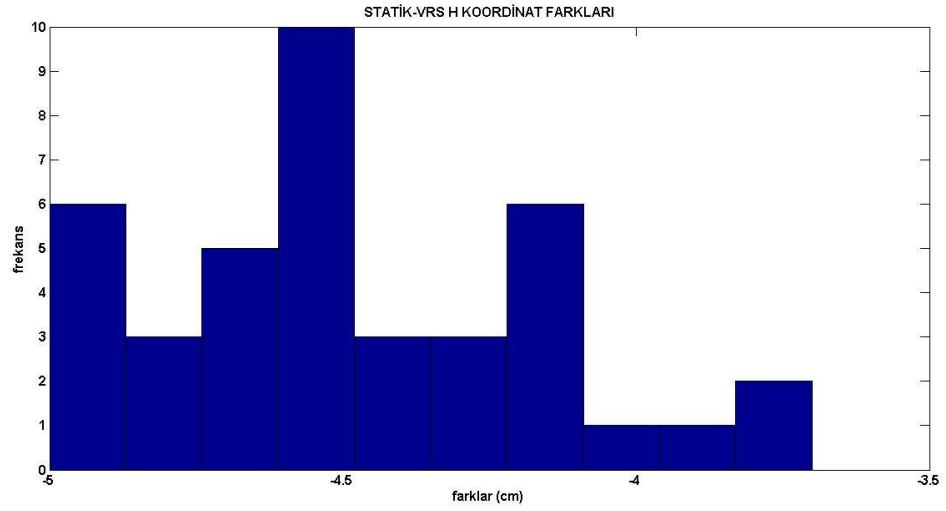


İstasyon\_3 noktasındaki hata dağılım grafikleri.

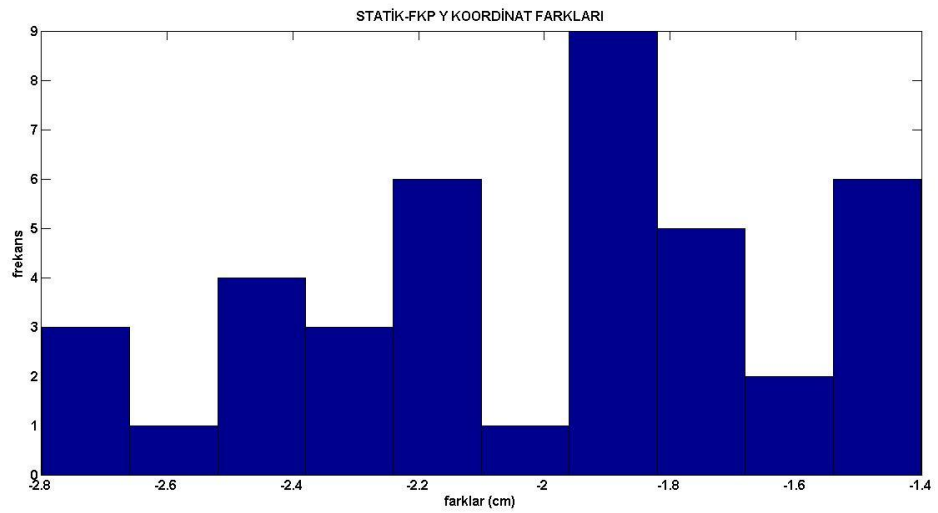
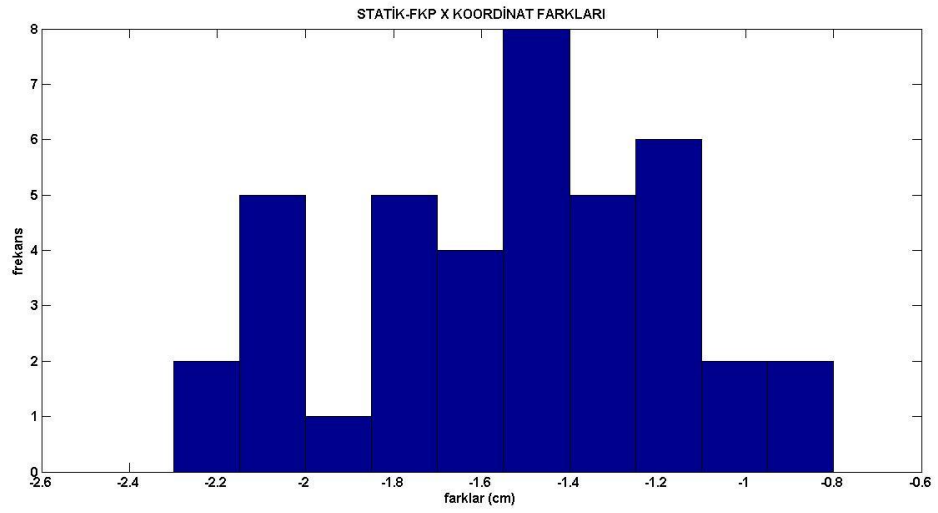




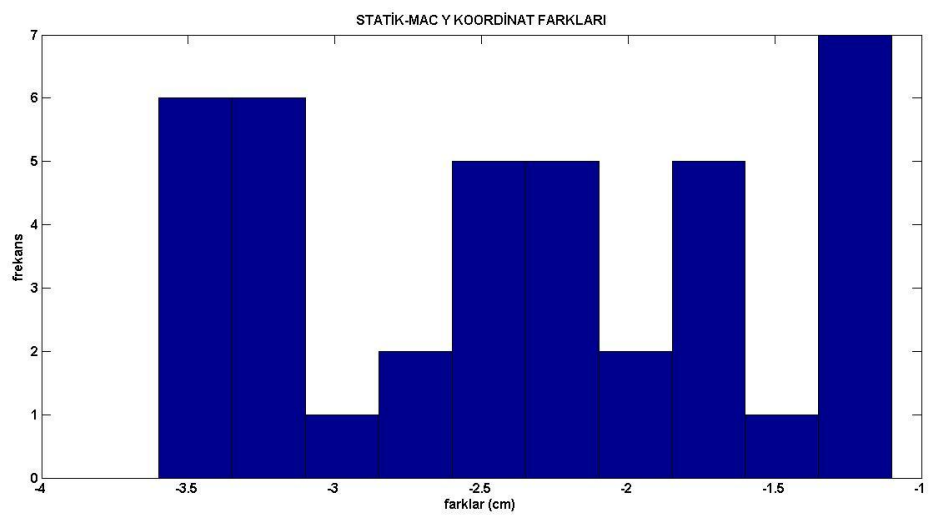
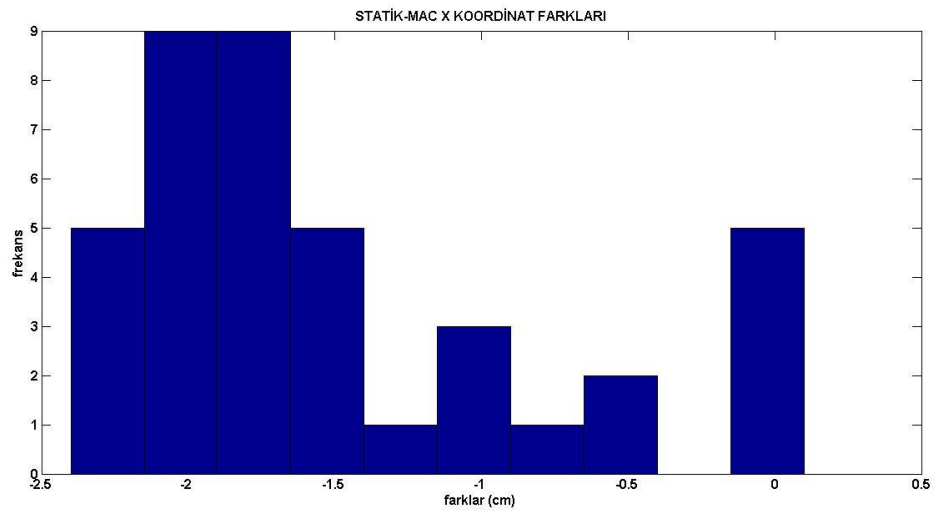
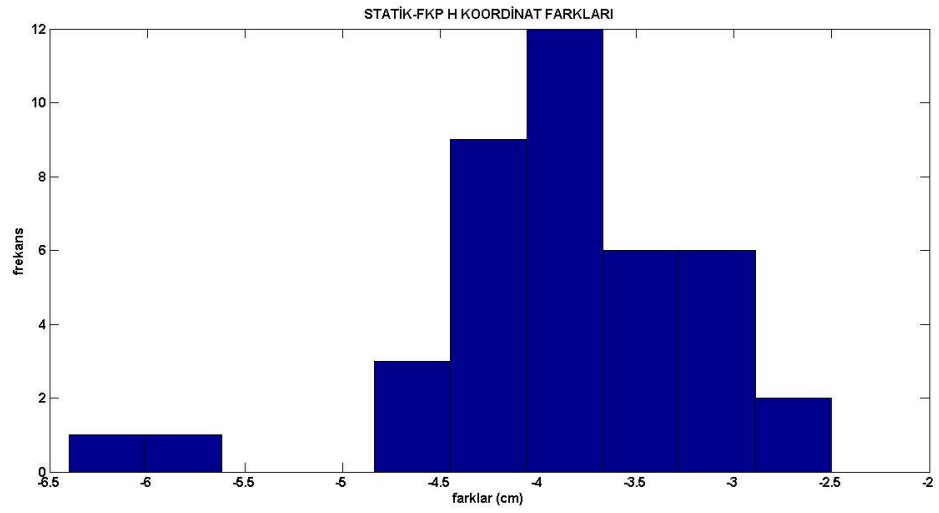


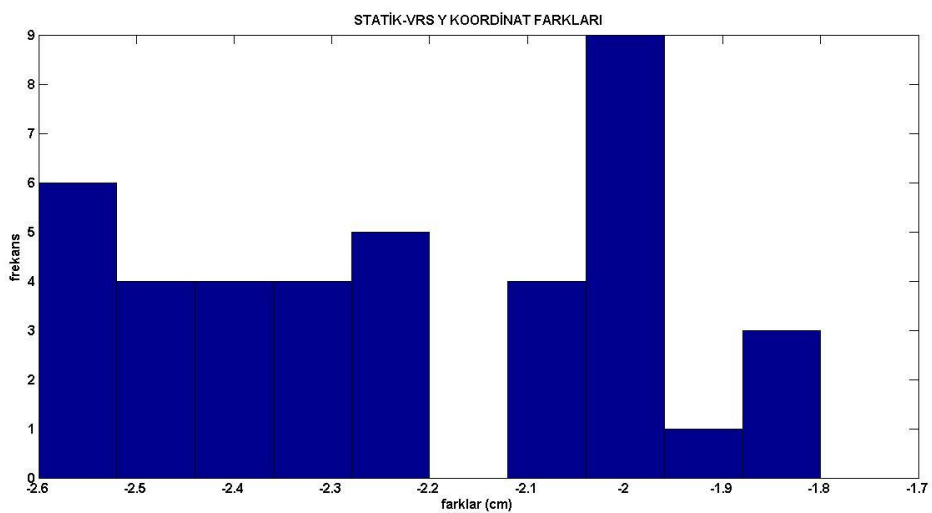
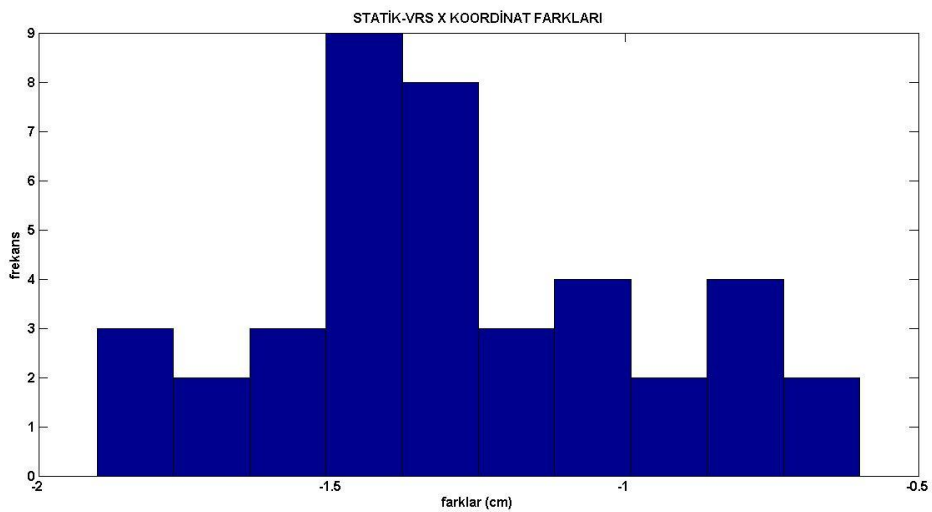
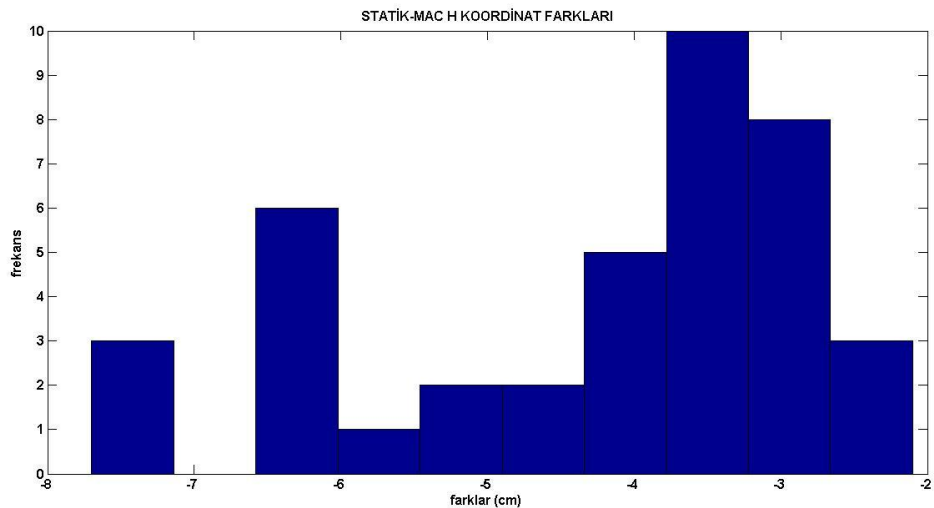


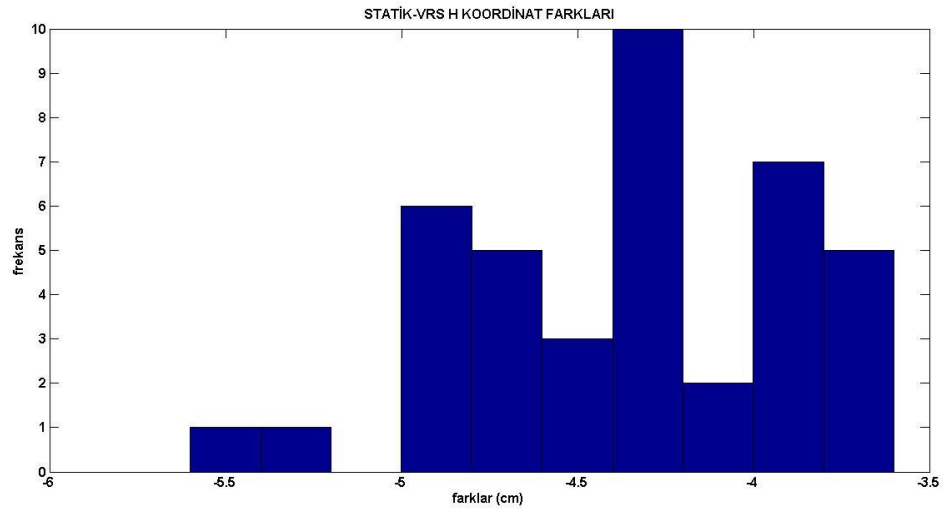
İstasyon 4 noktasındaki hata dağılım grafikleri.



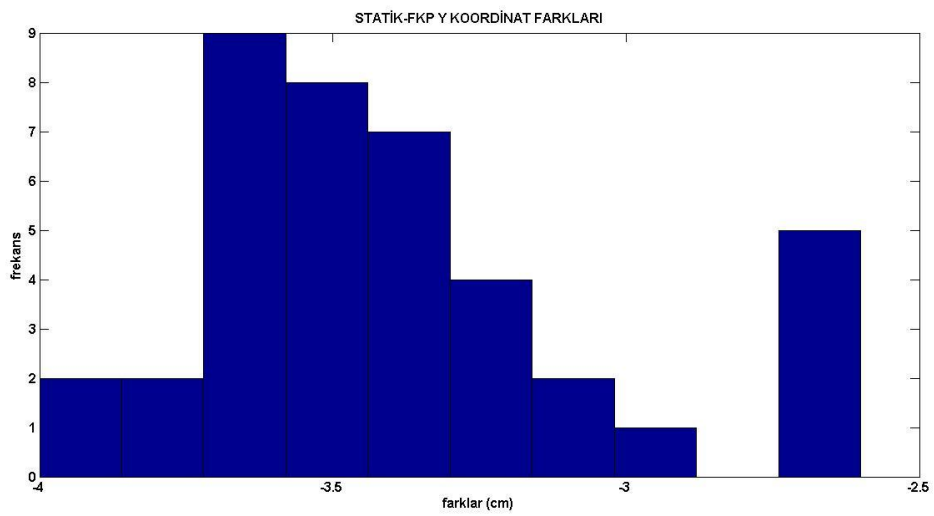
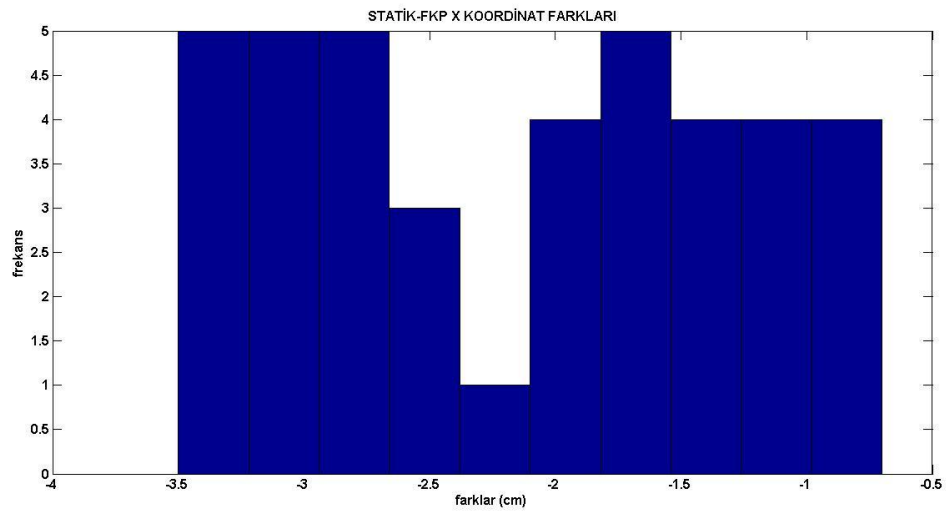


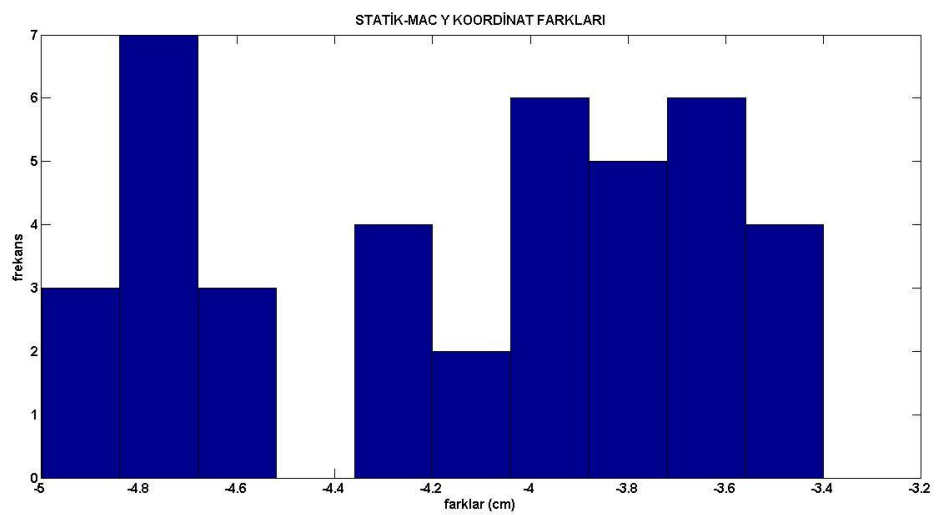
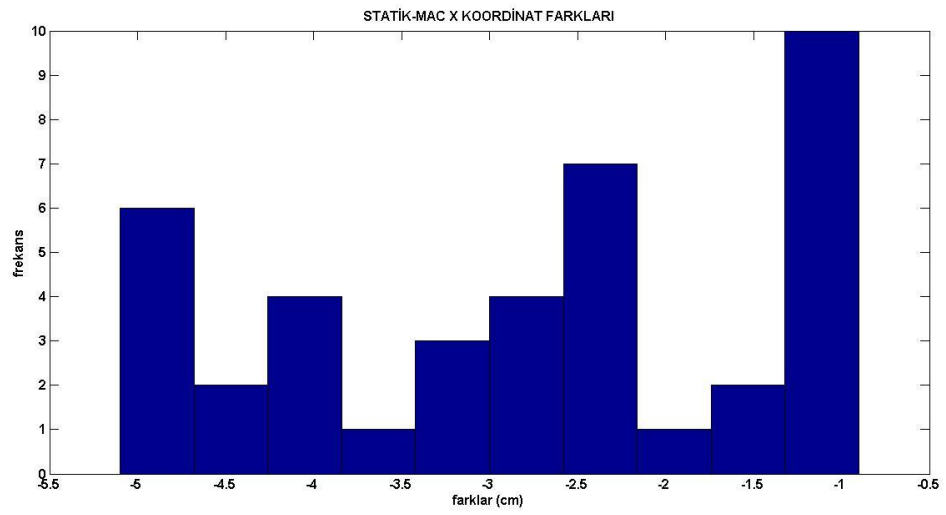
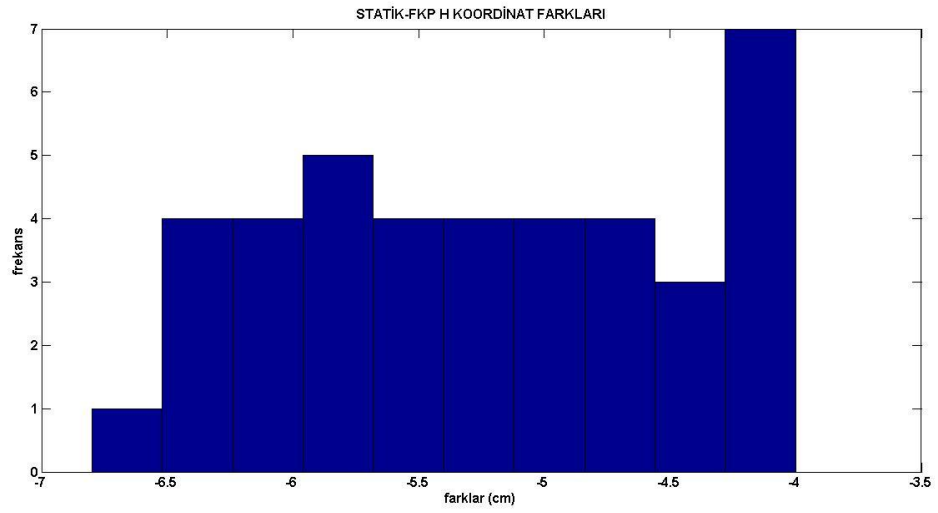


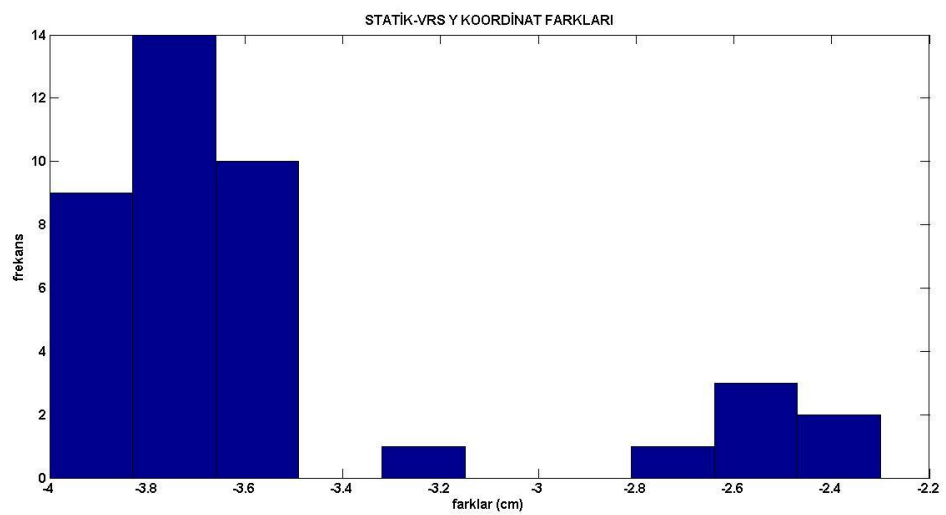
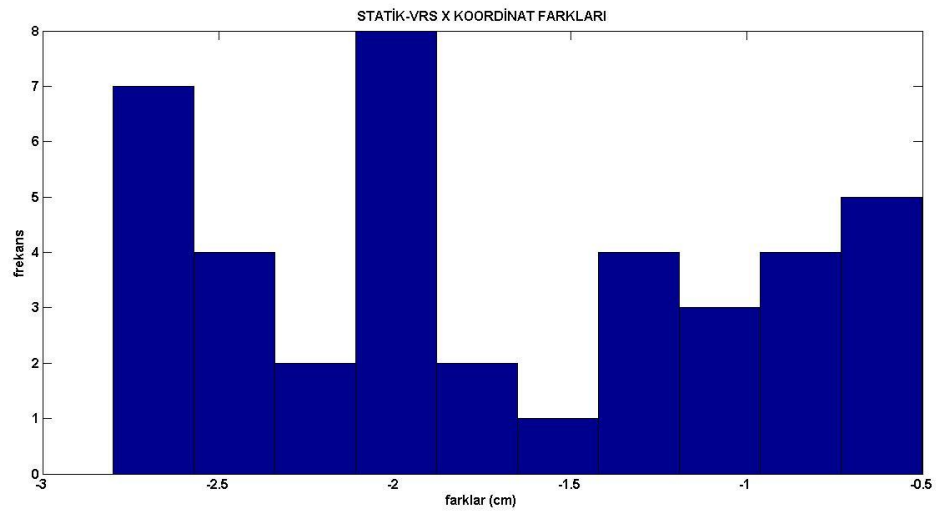
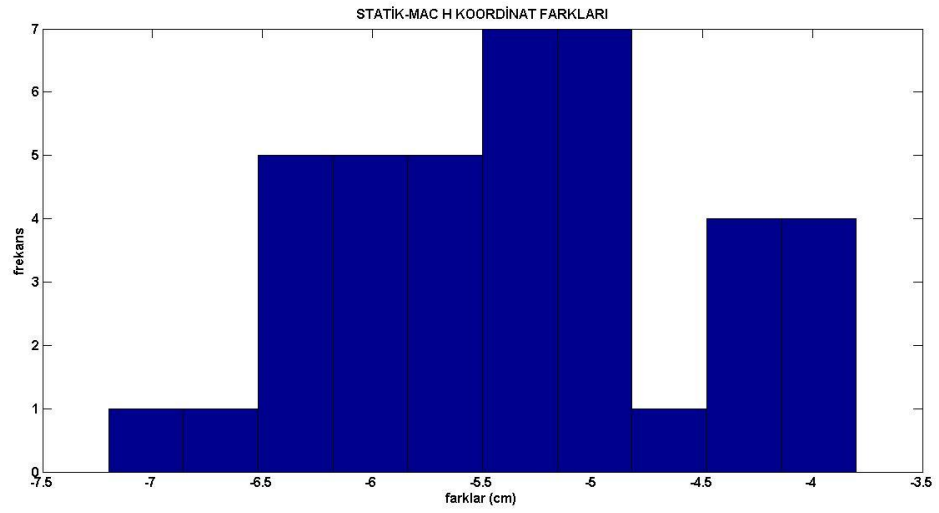


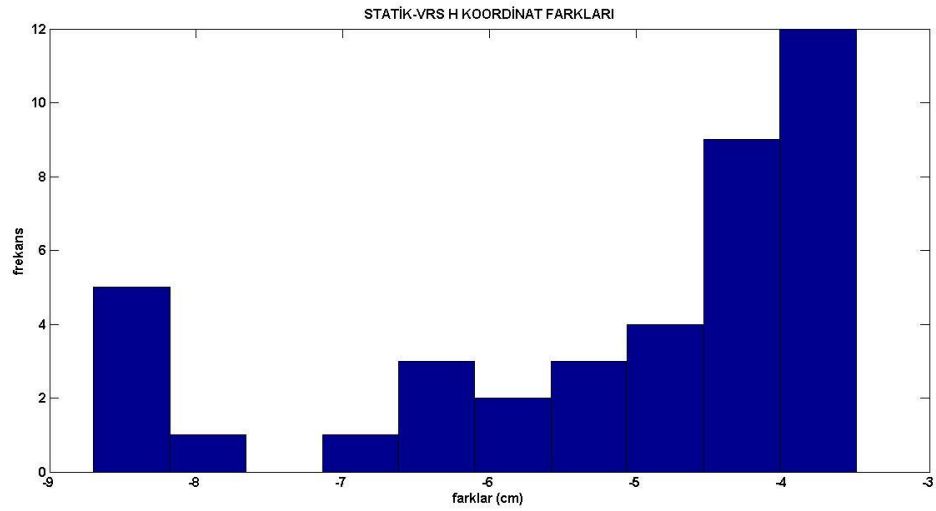


İstasyon 5 noktasındaki hata dağılım grafikleri.

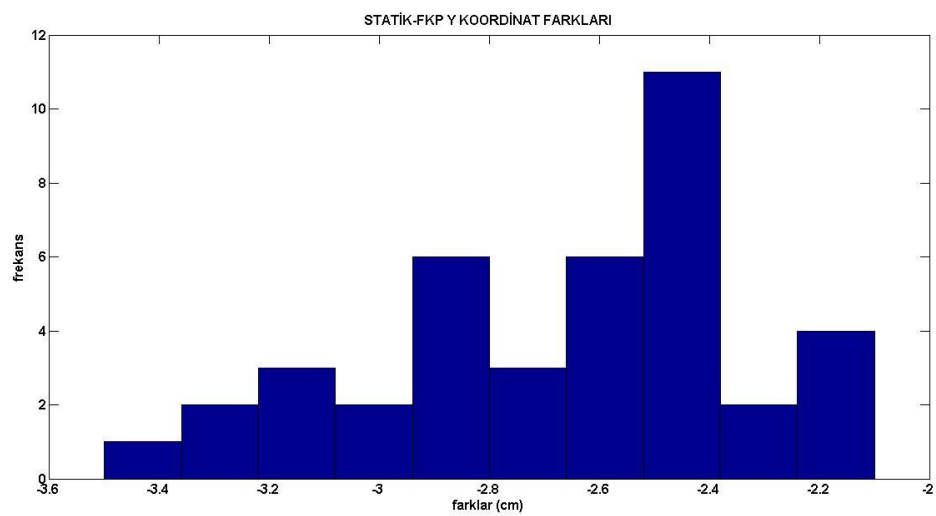
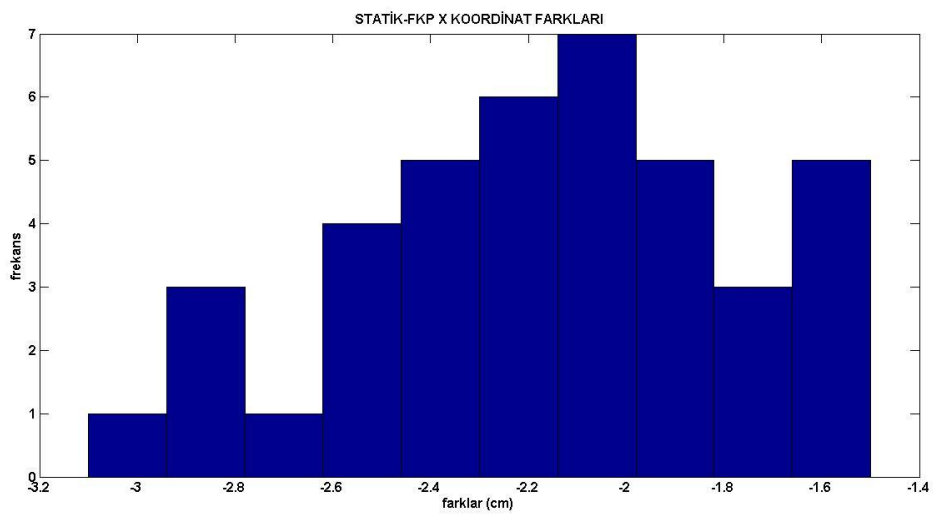


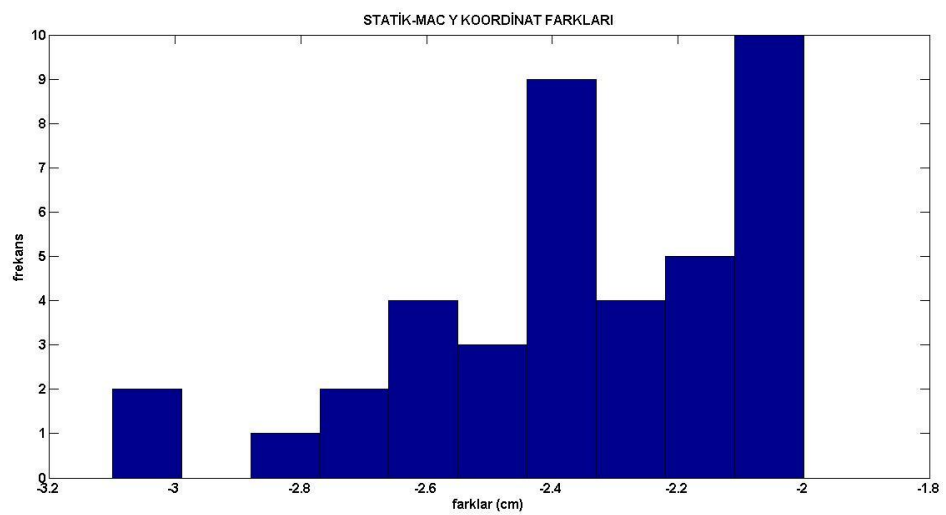
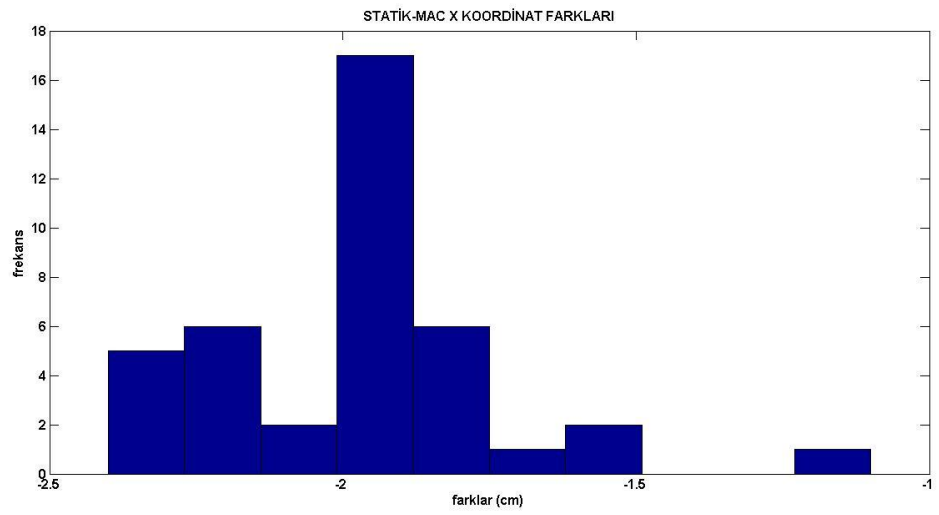
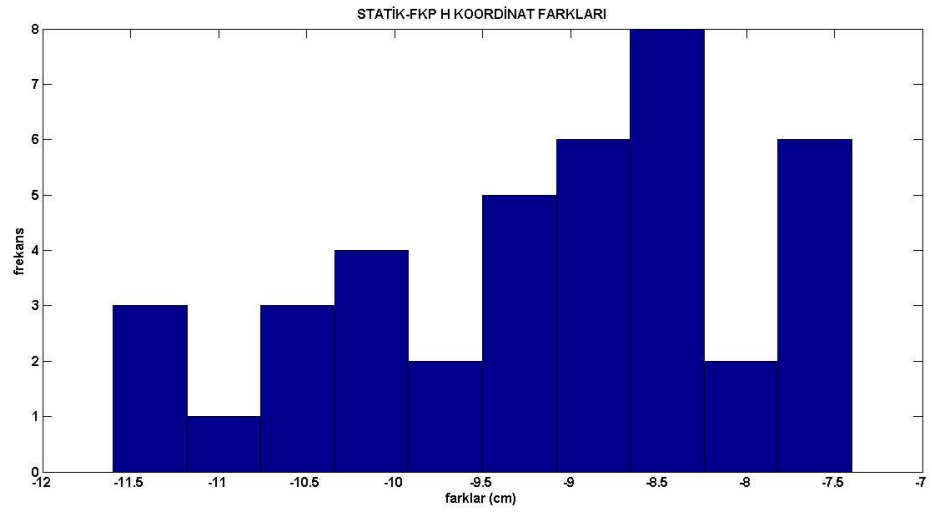


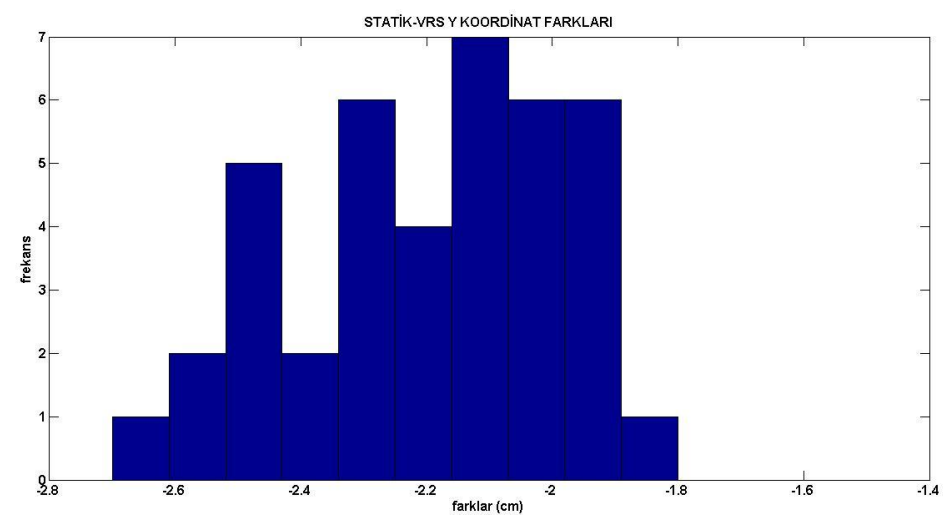
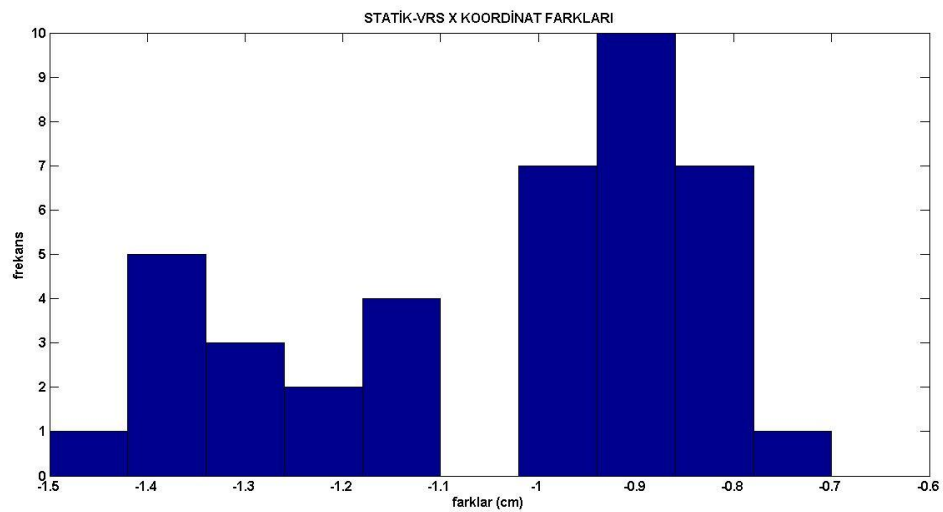
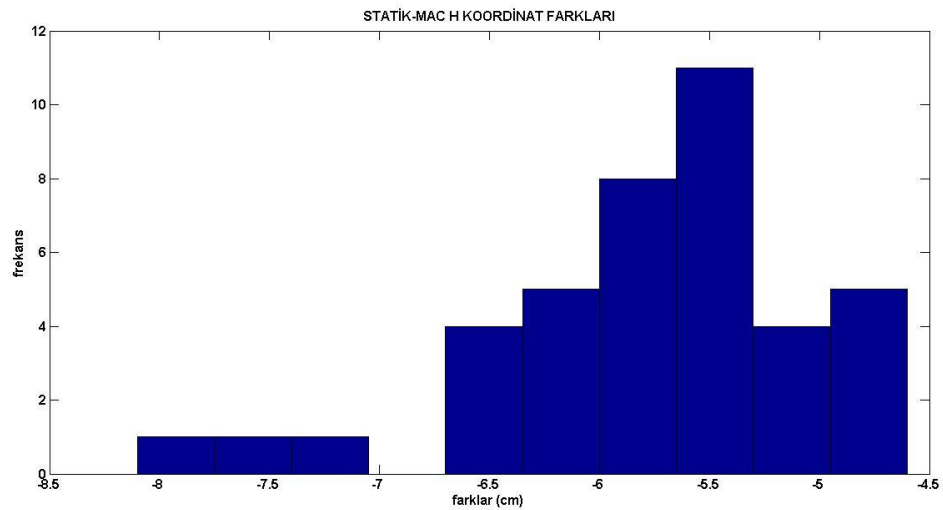




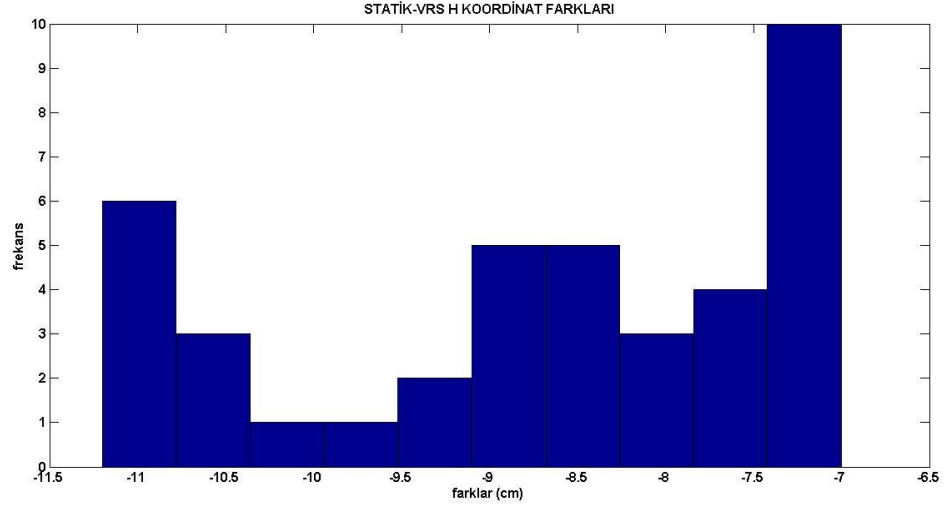
İstasyon 6 noktasındaki hata dağılım grafikleri.



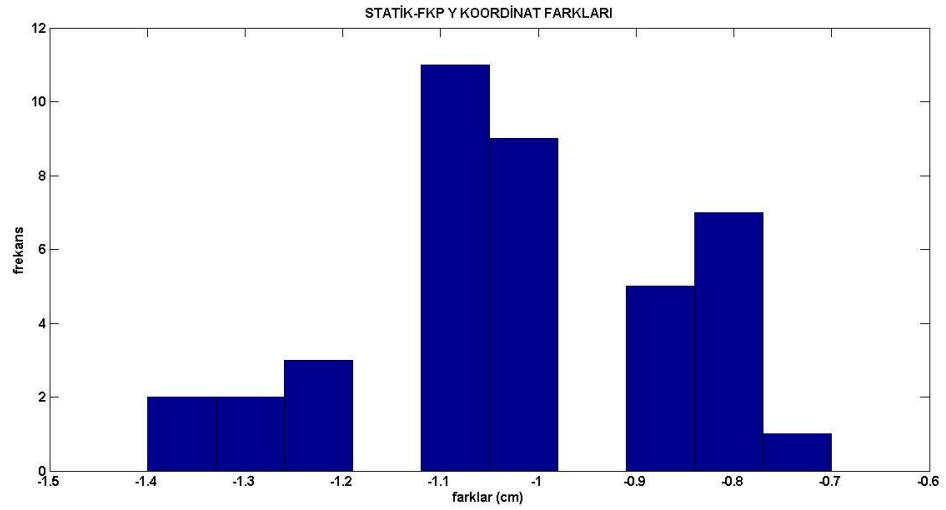
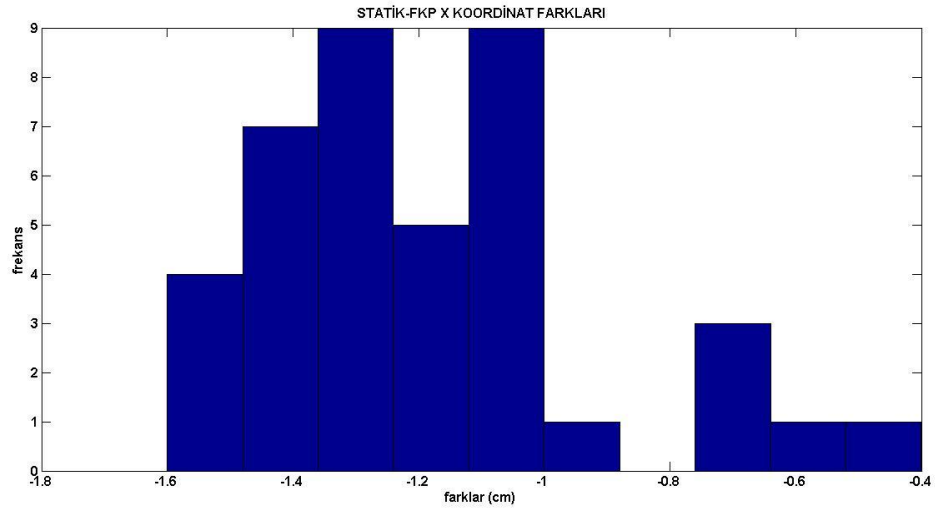


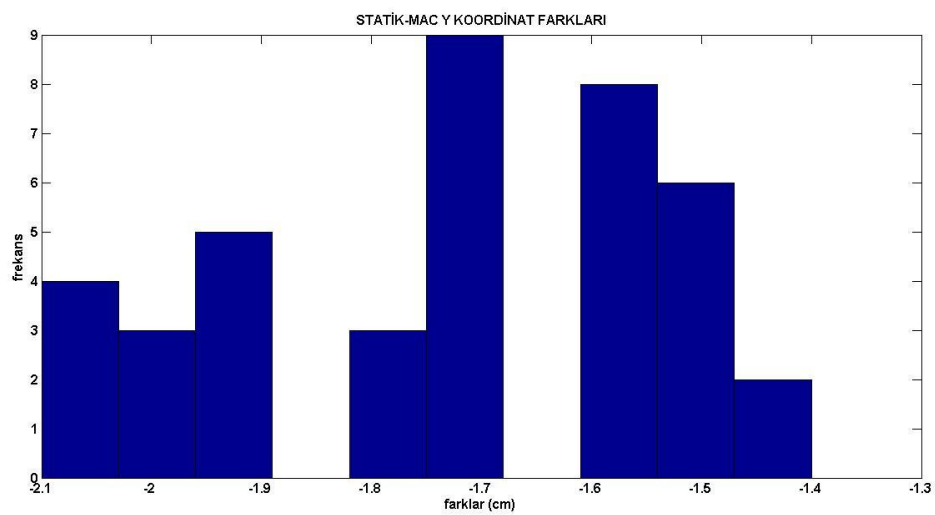
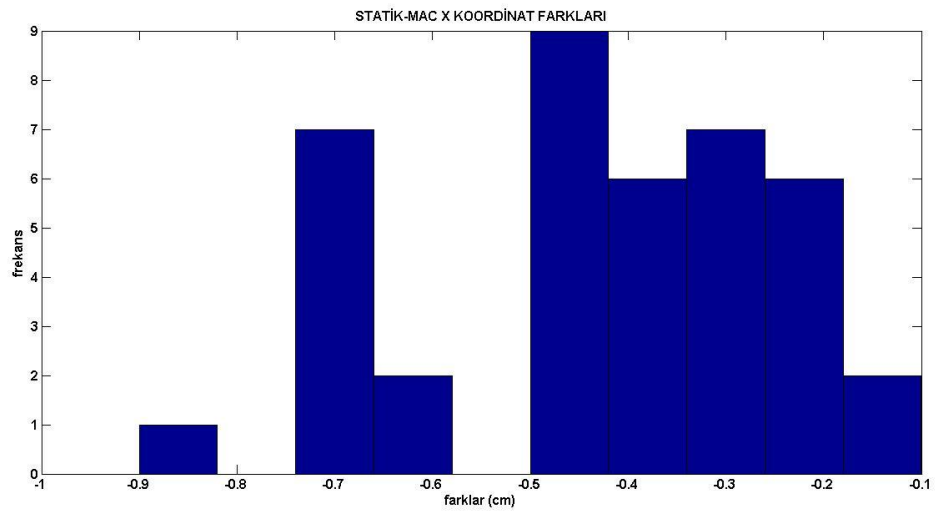
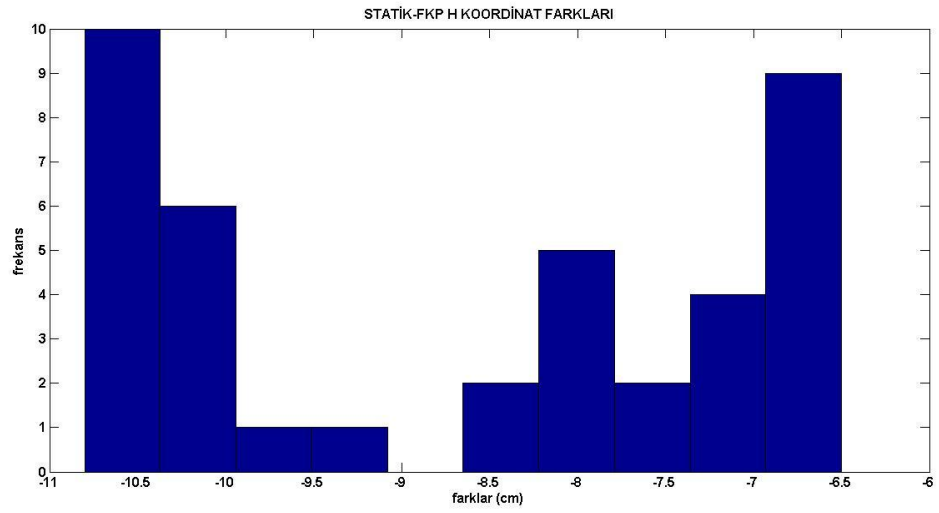


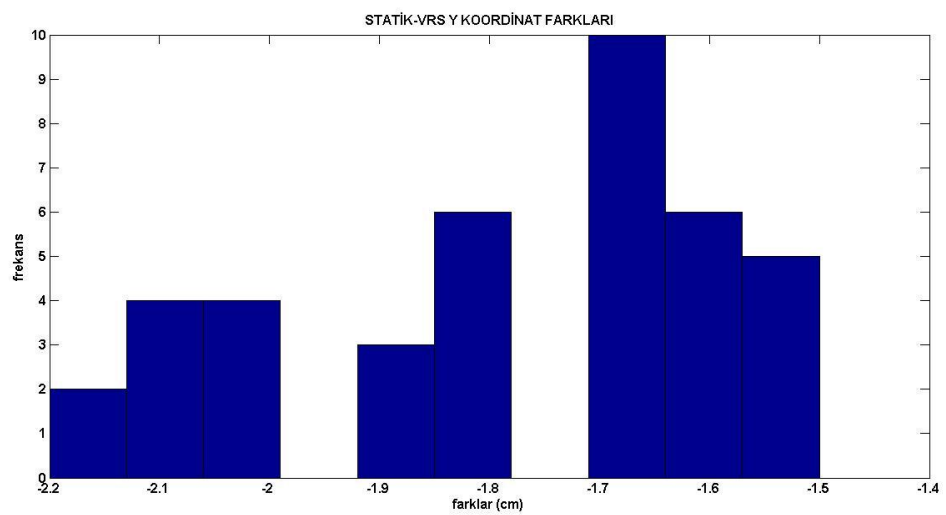
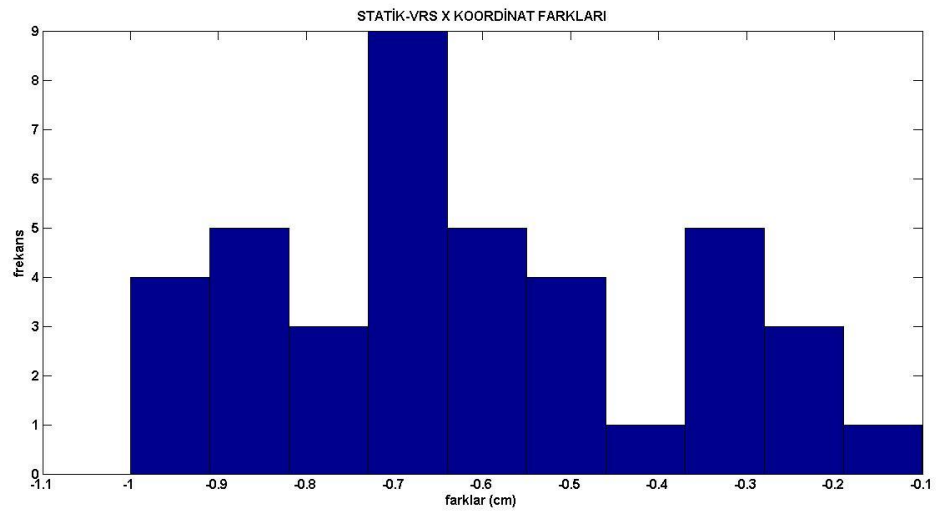
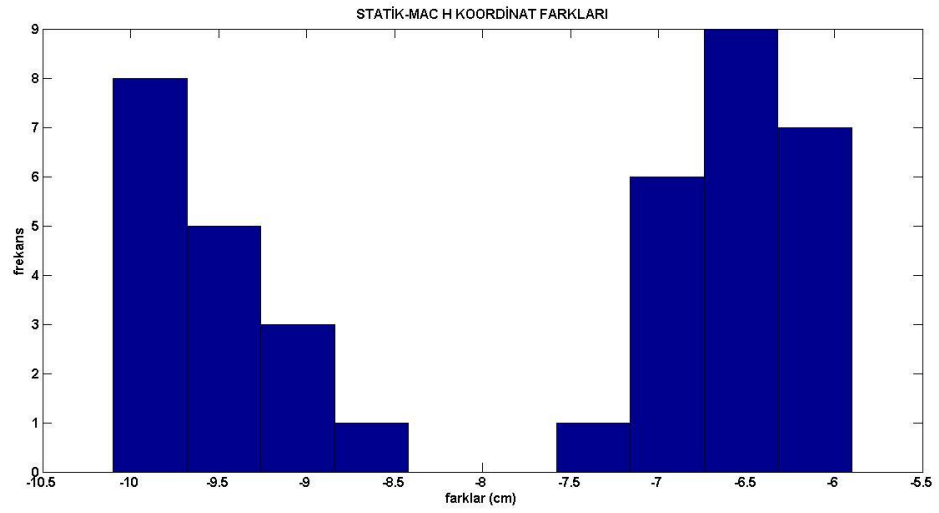


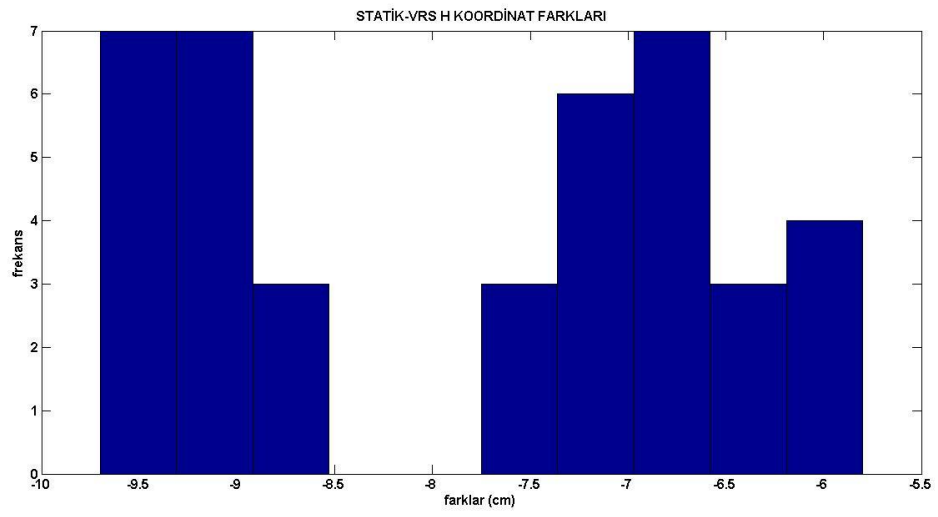


İstasyon 7 noktasındaki hata dağılım grafikleri.









## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Salih Sermet Öğütçü  
**Uyruğu** : T.C  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Konya/08 06 1986  
**Telefon** : 0533 814 03 86  
**Faks** :  
**e-mail** : sermetogutcu@konya.edu.tr

### EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Gazi, Meram, Konya	2003
Üniversite	: Selçuk, Bosna, Konya	2008
Yüksek Lisans	:	
Doktora	:	

### İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2012-	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Arş. Gör.