T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİNİN (VRS, FKP, MAC) BAZ UZUNLUĞU VE EPOK SAYISINA BAĞLI DOĞRULUK VE DUYARLIK MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

DOKTORA TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Aralık-2017
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Salih Sermet ÖĞÜTCÜ tarafından hazırlanan "AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİNİN (VRS, FKP, MAC) BAZ UZUNLUĞU VE EPOK SAYISINA BAĞLI DOĞRULUK VE DUYARLIK MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA" adlı tez çalışması 15/12/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU	
Danışman Prof. Dr. İbrahim KALAYCI	
Üye Prof. Dr. Ali TOR	
Üye Yrd. Doç. Dr. Salih ALÇAY	
Üye Yrd. Doç. Dr. Kutalmış GÜMÜŞ	

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Ahmet COŞKUN
FBE Müdürü

Bu tez çalışması Necmettin Erbakan Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından 161419003 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: 15/12/2017

ÖZET

DOKTORA TEZİ

AĞ BAZLI RTK TEKNİKLERİNİN (VRS, FKP, MAC) BAZ UZUNLUĞU VE EPOK SAYISINA BAĞLI DOĞRULUK VE DUYARLIK MODELLERİNİN OLUŞTURULMASI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

2017, 93 Sayfa

Jüri
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
Prof. Dr. Ali TOR
Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Yrd. Doç. Dr. Salih ALÇAY
Yrd. Doç. Dr. Kutalmış GÜMÜŞ

Bu tez çalışması TUSAGA-Aktif sisteminden yayınlanan ağ bazlı RTK tekniklerinin (VRS, FKP, MAC) baz mesafesi ve ortalaması alınan epok sayısına bağlı olarak ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinin oluşturulmasını kapsamaktadır. Ölçümler, Aksaray ve Cihanbeyli güzergâhı arasında belirlenen yedi adet noktada yapılmıştır. Ölçüm yapılan noktalardaki GNSS alıcıları ile düzeltmenin alındığı en yakın CORS istasyonu arasındaki uzaklıklar yaklaşık 5-20-40-50 km olacak şekilde belirlenmiştir. Tasarlanan özel bir aparat aracılığı ile üç adet GNSS alıcısı birbirinden 25 cm uzaklıkta üçayak üzerine belirlenen noktalarda monte edilmiştir. GNSS alıcıları aracılığı ile ağ bazlı RTK tekniklerinden (VRS, FKP, MAC) her nokta için eş zamanlı yaklaşık 3000 adet epok yukarı-sağa değer ve elipsoit yüksekliği koordinat bileşenleri için iki saniye aralıklar ile toplanmıştır. Her bir koordinat bileşeni için toplanan epoklar 1-5-30-60-300 epoğun ortalaması bir ölçü olacak şekilde sınıflandırılmıştır. GNSS alıcılarının bulunduğu noktaların doğru kabul edilen yatay ve düşey koordinatlarının belirlenmesi için ayrıca altı saatlik statik oturum yapılmıştır. Statik oturum verileri GAMIT/GLOBK akademik yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. GAMIT/GLOBK yazılımı ile dengelenen yer merkezli yer sabit (ECEF) koordinatları TUSAGA-Aktif sistemindeki ulusal koordinatlara (sağa-yukarı değer, elipsoit yüksekliği) dönüştürülmüştür. Statik oturum sonucu dengelenen koordinatlar ile ağ bazlı RTK tekniklerinden alınan koordinatlar arasındaki farklar doğruluk modelinin oluşturulması için kullanılmıştır. Ayrıca ağ bazlı RTK tekniklerinin prezisyonu her bir nokta için hesaplanmıştır. Bu veriler de prezisyon modelinin oluşturulması için kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda tekniklerinin doğruluğunun GNSS alıcı (rover) ile düzeltmenin yayınlandığı GNSS alıcısına en yakın CORS istasyonu arasındaki baz mesafesine bağlı olmadığı (50 km'lik baz mesafesine kadar) sadece ortalaması alınan epok sayısına bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Prezisyon analizinde ise, tekniklerin prezisyonunun hem baz mesafesine hem de ortalaması alınan epok sayısına bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Yedi adet ölçüm noktası haricinde, modellerin dış kontrolü için iki adet noktada ölçümler yapılmıştır. Dış kontrol analizleri doğruluk ve prezisyon olarak ikiye ayrılmıştır. Doğruluk analizleri sonucunda modelden ve ölçüm noktasından hesaplanan maksimum karesel ortalama hata farkları, yatay bileşende, MAC tekniği için 7.9 mm, düşey bileşende VRS tekniği için 14 mm bulunmuştur. Prezisyon analizleri sonucunda modelden ve ölçüm noktasından hesaplanan maksimum standart sapma farkları, yatay bileşende FKP tekniği için 8.4 mm, düşey bileşende MAC tekniği için 18.9 mm olarak bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: CORS, Doğruluk, Duyarlık, FKP, MAC, TUSAGA-Aktif, VRS

ABSTRACT

Ph.D THESIS

A CASE STUDY FOR DETERMINATION OF ACCURACY AND PRECISION MODEL FOR NETWORK BASED RTK TECHNIQUES (VRS, FKP, MAC) AS A FUNCTION OF BASELINE DISTANCE AND AVERAGED EPOCH NUMBER

Salih Sermet ÖĞÜTCÜ

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY
IN GEOMATIC ENGINEERING

Advisor: Prof. Dr. İbrahim KALAYCI

Year, 2017 Pages 93

Jury
Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
Prof. Dr. Ali TOR
Assoc. Prof. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU
Assis. Prof. Dr. Salih ALÇAY
Assis. Prof. Dr. Kutalmış GÜMÜŞ

This thesis includes the determination of empirical accuracy models based on the baseline distance and averaged epoch number of network-based RTK techniques (VRS, FKP, MAC) broadcasting by the TUSAGA-Aktif system. Measurements were made at seven points between Aksaray and Cihanbeyli route. The distances between the GNSS receivers and the nearest CORS station were determined to approximately 5-20-40-50 km. With the help of a special improvised apparatus, three GNSS receivers are mounted at points on a tripod at a distance of 25 cm from each other. With the help of GNSS receivers, approximately 3000 epochs were collected at two second interval simultaneously for each point from network based RTK techniques (VRS, FKP, MAC). All epochs collected for the each coordinate component are classified as 1-5-30-60-300 averaged epoch. A six hour static session was also held to determine the correct horizontal and vertical coordinates of the GNSS receivers. Static session data were processed with using GAMIT / GLOBK academic software. Earth Centered Earth Fixed (ECEF) coordinates have been converted to national datum (easting-northing, ellipsoid height) of TUSAGA-Aktif network. The differences between the processed coordinates and the obtain coordinates from the network based RTK techniques were used to determination of the accuracy model. In addition, precision of network based RTK techniques is calculated for each point. This data was also used for the determination of the precision model. Analyses show that accuracy does not depend on the baseline distance between the GNSS receiver (rover) and the closest CORS station (up to 50 km) which broadcasting the correction, but it depends on the averaged epoch number. For the precision analyses, it was found that precision depends on the baseline distance and the averaged epoch number. Apart from the seven points, two point measurements were made for external control of the models. The external control analyzes are divided into two as accuracy and precision. As a result of the accuracy analysis, the maximum root mean square error differences for horizontal and vertical components between the model and the points were found 7.9 mm for the MAC technique and 14 mm for the VRS technique, respectively. The maximum standard deviation differences for horizontal and vertical components between the model and the points were found 8.4 mm for the FKP technique and 18.9 mm for the MAC technique, respectively.

Keywords: Accuracy, CORS, FKP, MAC, TUSAGA-Aktif, Precision, VRS

ÖNSÖZ

Tez çalışmamın süresince benden yardımını esirgemeyen ve her türlü desteği veren başta danışman hocam Prof. Dr. İbrahim KALAYCI olmak üzere, Yrd. Doç. Dr Salih ALÇAY, Prof. Dr. Doğan Uğur ŞANLI, Doç. Dr. İbrahim TİRYAKİOĞLU, Dr. Bob KING ve GAMIT/GLOBK yazılımda emeği geçen MIT çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Salih Sermet ÖĞÜTCÜ
KONYA-2017

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ..... **v**

İÇİNDEKİLER ..... **vi**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **vii**

ŞEKİLLER LİSTESİ ..... **ix**

ÇİZELGELER LİSTESİ ..... **xi**

1. GİRİŞ **1**

1.1. Tezin Amacı 2

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

3. MATERYAL VE YÖNTEM **6**

3.1. Ağ Bazlı RTK 6
3.2. Ağ Bazlı RTK ve Klasik RTK Karşılaştırması 12
3.3. Ağ Bazlı RTK Teknikleri 14
3.3.1. VRS (Sanal Referans İstasyonu) 14
3.3.2. FKP (Alan Düzeltme Parametreleri) 18
3.3.3. MAC (Ana-Yardımcı Referans İstasyonu Konsepti) 22
3.3.4. Tekniklerin karşılaştırılması 27
3.4. Arazi Çalışması 29
3.5. Verilerin Değerlendirilmesi 32
3.5.1. Verilerin kalite analizi 32
3.5.2. Statik oturum verilerinin dengelenmesi 36
3.5.3. Doğruluk-prezisyon değerlerinin elde edilmesi 39
3.5.4. Karesel ortalama hata ve standart sapma değerlerinin 2-sigma (%95) güven aralığına dönüştürülmesi 57
3.6. Ampirik Doğruluk ve Prezisyon Modellerinin Oluşturulması 62

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA **70**

4.1. Ampirik Modellerin Test Edilmesi 70
4.1.1. İç kontrol 70
4.1.2. Dış kontrol 77

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **85**

KAYNAKLAR **89**

ÖZGEÇMİŞ **92**

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

f1 GPS 1.temel frekans değeri

f2 GPS 2.temel frekans değeri

MP1 GPS L1 frekansındaki kod sinyal yansıma değeri

MP2 GPS L2 frekansındaki kod sinyal yansıma değeri

Kısaltmalar

CMR Compact Measurement Record

CORS Continously Operating Reference Station

DGPS Differantial Global Positioning System

FKP Flachen Korrectur Parameter

GNSS Global Navigation Satellite System

GPRS General Packet Radio Service

GPS Global Positioning System

İSKİ İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi

NTRIP Networked Transport of RTCM via Internet Protocol

MIT Massachusetts Institute of Technology

MAC Master Auxiliary Concept

NMEA National Marine Electronics Association

TKGM Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü

TUSAGA Türkiye Ulusal Sabit GPS Ağı

PDOP Positioning Dilution of Precision

RINEX Receiver Independent Exchage

RTCM Radio Technical Commission for Maritime Services

SBAS Satellite Based Augmentation Systems

VRS	Virtual Reference Station

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Ağ bazlı RTK konsepti…….....9

Şekil 3.2. VRS konsepti (Landau ve ark., 2002) ……15

Şekil 3.3. VRS geometrik yer değiştirme (Wei ve ark., 2006)……16

Şekil 3.4. FKP modeli (Wübenna ve ark., 2001)…… 19

Şekil 3.5. 4 adet referans istasyonun oluşturduğu FKP düzlemleri (Saeidi, 2012)……20

Şekil 3.6. FKP düzlemi https://pdfs.semanticscholar.org/529c/8b25ff342e171ee486f4d-4834736323cb26.pdf?_ga=2.62572076.1061630881.1514202122247527942.1484213770 (son erişim 1 Temmuz 2017)……..20

Şekil 3.7. MAC konsepti (Cina ve ark, 2015)…… 23

Şekil 3.8. AKSR-CIHA CORS istasyonları ve ölçüm noktalarının Tusaga-Aktif ağı içerisindeki konumu (https://www.tkgm.gov.tr/sites/default/files/icerik_ekleri/tusagay2_0.jpg) (son erişim 5 Haziran 2017)……..29

Şekil 3.9. Ölçüm yapılan AKSR-CIHA CORS istasyonları arası ve ölçüm noktaları……..……..……...30

Şekil 3.10. Aksaray-Cihanbeyli hattı arasında 20.km'deki ölçüm noktasındaki ölçüm aparatı ve GNSS alıcıları…….31

Şekil 3.11. Ölçüm yapılan tarihlerdeki kp ve dst değerleri (http://isgi.unistra.fr/data_plo-t.php) (son erişim 5 Aralık 2017)……36

Şekil 3.12. AKSR-CIHA hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki doğruluk varyans değerleri…….....40

Şekil 3.13. CIHA-AKSR hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki doğruluk varyans değerleri……...41

Şekil 3.14. AKSR-CIHA hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki prezisyon varyans değerleri……...42

Şekil 3.15. CIHA-AKSR hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki prezisyon varyans değerleri……..……43

Şekil 3.16. AKSR-CIHA hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki doğruluk varyans değeri ile epok sayısı arasındaki ilişki……44

Şekil 3.17. CIHA-AKSR hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki doğruluk varyans değeri ile epok sayısı arasındaki ilişki……45

Şekil 3.18. AKSR-CIHA hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki prezisyon varyans değeri ile epok sayısı arasındaki ilişki…….46

Şekil 3.19. CIHA-AKSR hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki prezisyon varyans değeri ile epok sayısı arasındaki ilişki…….47

Şekil 3.20. FKP tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hata dağılımı……..…….49

Şekil 3.21. MAC tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hata dağılımı ……..…50

Şekil 3.22. VRS tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hata dağılımı……..……..51

Şekil 3.23. FKP tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki standart sapma dağılımı……..……..53

Şekil 3.24. MAC tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki standart sapma dağılımı……..……..54

Şekil 3.25. VRS tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki standart sapma dağılımı……..……..55

Şekil 3.26. İki boyutlu hataların oluşturduğu eliptik hata dağılımı…….58

Şekil 3.27. Tek boyutlu hataların oluşturduğu eliptik hata dağılımı…….59

Şekil 4.1. Modellerin dış kontrolü için kullanılan noktalar……77

Şekil 4.2. Birinci dış doğruluk test noktasındaki FKP tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hata dağılımı……..79

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Tusaga-Aktif ağından yayınlanan NTRIP protokolleri……..9

Çizelge 3.2. Yaygın olarak kullanılan RTCM 3.x mesaj türleri (https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/rtcm-3-message-list/) (son erişim 18 Ağustos 2017)…...10

Çizelge 3.3. Klasik RTK ile ağ bazlı RTK arasındaki farklar……...13

Çizelge 3.4. VRS, FKP ve MAC yöntemlerinin karşılaştırılması……27

Çizelge 3.5. Ölçüm noktalarında ağ bazlı RTK tekniklerinin kullandığı ortalama uydu sayısı ve ortalama PDOP değerleri……...32

Çizelge 3.6. Ölçüm noktalarındaki sinyal yansıma değerleri……...33

Çizelge 3.7. Statik verilerin değerlendirme parametreleri……37

Çizelge 3.8. İstatiksel hata değerleri (mm)……..52

Çizelge 3.9. İstatiksel standart sapma değerleri (mm)…….56

Çizelge 3.10. Tekniklerin skewness değerleri……56

Çizelge 3.11. Ölçümlerin elips içeresindeki olasılık yüzdesi ve k sigma değeri arasındaki ilişki (Chin, 1987)……57

Çizelge 3.12. Ölçümlerin daire içeresindeki olasılık yüzdesi ve k sigma değeri arasındaki ilişki (Chin, 1987)……58

Çizelge 3.13. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay rms değerleri (mm)……60

Çizelge 3.14. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey rms değerleri (mm)…….60

Çizelge 3.15. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay standart sapma değerleri (5 km'lik baz mesafesi için, mm)……60

Çizelge 3.16. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey standart sapma değerleri (5 km'lik baz mesafesi için, mm)……60

Çizelge 3.17. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay standart sapma değerleri (20 km'lik baz mesafesi için, mm)…….....61

Çizelge 3.18. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey standart sapma değerleri (20 km'lik baz mesafesi için, mm)……61

Çizelge 3.19. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay standart sapma değerleri (4 0km'lik baz mesafesi için, mm)……..61

Çizelge 3.20. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey standart sapma değerleri (40 km'lik baz mesafesi için, mm)……61

Çizelge 3.21. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay standart sapma değerleri (50 km'lik baz mesafesi için, mm)……62

Çizelge 3.22. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey standart sapma değerleri (50 km'lik baz mesafesi için, mm)……62

Çizelge 3.23. Ampirik doğruluk modellerinin standart sapma değerleri (mm)……..68

Çizelge 3.24. Ampirik prezisyon modellerin standart sapma değerleri (mm)……68

Çizelge 4.1. Ampirik doğruluk modellerinin iç doğruluğu……..71

Çizelge 4.2. Ampirik prezisyon modellerinin iç doğruluğu……72

Çizelge 4.3. Ampirik doğruluk modellerinin dış doğruluğu (en yakın CORS istasyonu: AKSR)……78

Çizelge 4.4. Ampirik doğruluk modellerinin dış doğruluğu (en yakın CORS istasyonu: BEYS)……..80

Çizelge 4.5. Ampirik prezisyon modellerinin dış doğruluğu (en yakın CORS istasyonu: AKSR)……82

Çizelge 4.6. Ampirik prezisyon modellerinin dış doğruluğu (en yakın CORS istasyonu: BEYS)……..83

1. GİRİŞ

Ülkemizde Türkiye Ulusal Sabit Küresel Konum Belirleme (GPS) İstasyonları Ağı (TUSAGA) Aktif projesi İstanbul Kültür Üniversitesi, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Komutanlığı işbirliği ile Mayıs 2006 tarihinde başlamış ve Mayıs 2009 tarihinde tamamlanmıştır (Yıldırım ve ark., 2007). Projenin toplam maliyeti 4 728 500 TL'dir. Şu anda ülke çapında 146 adet Global Navigation Satellite System (GNSS) istasyonu aktif halde çalışmaktadır. Bu istasyonlardan dört tanesi Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetindedir.

Bu istasyonlar 7/24 saat ilkesine göre çalışmaktadır. Bu istasyonlardan bir saniye aralıklarla toplanan GNSS gözlem verileri Tapu Kadastro Genel Müdürlüğünün merkezi sunucularında toplanmaktadır. Bu gözlem verileri, merkezi sunucuda bulunan yazılım sayesinde değerlendirilip, troposfer ve iyonosfer bilgileri bütün bir ağ için modellenmektedir. Kullanıcılar merkezi sunucudan yayınlanan düzeltmeleri internet aracılığı ile alarak cm mertebesinde anlık 3 boyutlu konum bilgisine ulaşabilmektedirler. Tusaga-Aktif sisteminde kullanılan sunucular ve yazılım, 2016 yılında güncellenmiştir. Bu güncelleme sayesinde sunucular 64 bitlik alt yapısını destekleyecek hale getirilmiştir. Ayrıca eski sistemden kaynaklanan eş zamanlı kullanıcı kısıtlamaları giderilmiştir. Yeni sistem sayesinde ağ bazlı RTK tekniklerinin port sayısı artırılmıştır. Port sayıları her bir teknik için eş zamanlı kullanıcı sayısını belirlemektedir. Merkezi sunucudaki ilk ağ bazlı RTK yazılım olan Trimble GPSNet, Trimble Pivot Platform olarak güncellenmiştir. Eski sistemde sadece tek bir düzeltme tekniğinde (VRS) desteklenen GLONASS mesaj türü, yeni sistemde bütün düzeltme tekniklerinde tanımlanmıştır. Bu sayede Tusaga-Aktif ağından yayınlanan ağ bazlı RTK teknikleri için GPS ve GLONASS uyduları beraber kullanılabilmektedir.

Tusaga-Akif CORS-TR projesi sayesinde, klasik RTK tekniğindeki sabit ile gezici (rover) GNSS alıcısı arasındaki baz mesafesi kısıtlaması ortadan kalkmıştır. Ayrıca kullanıcılar tek bir jeodezik GNSS alıcısı ile sabit nokta tesis etmeye gerek kalmadan cm doğruluğunda anlık konum bilgisine ulaşabilmektedirler. Ayrıca statik oturum değerlendirmelerinde istasyonların Receiver Independent Exchage (RINEX) verileri kullanılarak statik oturum işlemlerinin maliyeti önemli ölçüde düşmüştür. Kullanıcıların sistemden yayınlanan ağ bazlı RTK tekniklerini kullanabilmeleri için Tapu Kadastro Genel Müdürlüğüne belirli bir ücret karşılığında kayıt olmaları gerekmektedir. Kayıt işleminden sonra arazide internet ve General Packet Radio Service (GPRS) bağlantısının

bulunduğu yerlerde Tusaga-Aktif sisteminden kullanıcılar yararlanabilmektedirler. Tusaga-Aktif sisteminden 3 farklı ağ bazlı RTK tekniği için yayın yapılmaktadır. Bunlar, Virtual Reference Station (VRS), (Landau ve ark., 2002; Vollath ve ark., 2000), Flachen Korrectur Parameter (FKP) (Wübenna ve ark., 2005; Wübenna ve ark., 2001) ve Master Auxiliary Concept (MAC) (Brown ve ark., 2005) teknikleridir. GNSS alıcıları genellikle bu üç farklı ağ bazlı RTK tekniğinden veri alabilecek şekilde üretilmektedirler.

Bu çalışmada, Tusaga-Aktif istasyonlarında yayınlanan ağ bazlı RTK (Real Time Kinematic) tekniklerinin (VRS, FKP ve MAC) baz mesafesi ve ortalaması alınan epok sayısına göre doğruluk ve prezisyon analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucu her bir teknik için ampirik doğruluk ve prezisyon modelleri oluşturulmuştur.

1.1. Tezin Amacı

Ülkemizde Tusaga-Aktif ağına kayıtlı yaklaşık 9600 adet kullanıcı vardır (1 Ekim 2017 tarihi itibariyle). Bu kullanıcıları, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM), kamu kurumları, belediyeler, üniversiteler ve özel sektör oluşturmaktadır. Kullanıcıların büyük çoğunluğunu özel sektör oluşturmaktadır. Tusaga-Aktif ağı kapladığı alan ve istasyon sayısı bakımından dünyadaki en büyük CORS ağları içerisindedir. Kullanıcıların ağ bazlı RTK hizmetinden yararlanarak arazide tesis ettikleri noktaların konum doğruluğunu ve prezisyonunu bazı faktörler etkilemektedir. Bunların en önemlileri ortalaması alınan epok sayısı (oturum süresi), en yakın CORS istasyonuna olan baz mesafesi ve en yakın CORS istasyonunun koordinatlarının doğruluğudur.

Bu tez çalışmasında baz mesafesi ve ortalaması alınan epok sayısı kriterlerinin Tusaga-Aktif ağından yayınlanan VRS, FKP ve MAC ağ bazlı RTK tekniklerinin doğruluk ve prezisyon sonuçlarına etkisi araştırılmaktadır. Elde edilen veriler yardımıyla her bir teknik için doğruluk ve prezisyon değerlerine bağlı ampirik modeller oluşturulmuştur. Bu modellerden yararlanılarak kullanıcıların arazideki ölçümlerinden önce yapılan çalışmanın gerektirdiği doğruluk ve prezisyon değerlerine bağlı olarak ölçüm planlaması yapabilmeleri hedeflenmektedir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Ağ bazlı RTK tekniklerinin doğruluk analizlerini içeren bazı çalışmalar şu şekilde sıralanabilir;

Öğütcü ve Kalaycı (2016) ağ bazlı RTK tekniklerinin (VRS, FKP, MAC) Konya ili içerisinde yedi adet noktada doğruluk analizlerini yapmışlardır. Sonuçlarda, yatayda ve düşeyde cm mertebesinde doğruluğa ulaşıldığı gözlemlenmiştir.

Gümüş ve ark. (2012), İstanbul bölgesinde Tusaga-Aktif ve İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ) –CORS ağlarını kullanarak FKP ve VRS ağ bazlı RTK tekniklerinin doğruluk analizlerini yapmışlardır. Yıldız Teknik Üniversitesi Davutpaşa kampüsüne 49 adet test noktası tesis edilmiştir. Bu test noktalarının 3 boyutlu koordinatları total station, klasik RTK ve ağ bazlı RTK teknikleri ile (FKP ve VRS) belirlenmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken total station ile belirlenen koordinatlar gerçek değer olarak ele alınmıştır. Sonuçlarda, Tusaga-Aktif ağından yayınlanan VRS ve FKP tekniklerinin sağa değer koordinat bileşeninde, yukarı değerinde klasik RTK tekniğinde en iyi sonucu verdiği ortaya çıkmıştır. Düşey bileşende ise Tusaga-Aktif ağından yayınlanan VRS tekniğinin en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir.

Odolonski (2012) İsveç'de VRS ağ bazlı RTK tekniğinin korelasyon analizini yapmıştır. İki farklı ağ konfigürasyonu olarak standart ve proje tabanlı servisler seçilmiştir. Standart serviste CORS istasyonları arasındaki mesafe yaklaşık 70km iken proje tabanlı serviste bu mesafe yaklaşık 10 ile 20km arasında değişmektedir. Sonuç olarak, standart serviste yatay koordinat bileşeninde 17dk, düşey bileşende ise 36-37dk'lık, proje tabanlı serviste ise yatayda 13-17dk, düşeyde 13-16dk'lık bir korelasyon uzunluğu ortaya çıkmıştır.

Edwards ve ark. (2010) İngiltere'de iki ticari ağ bazlı RTK hizmeti sunan sistemlerinin doğruluk analizlerini yapmışlardır. Sonuç olarak, yatayda 10-20mm, düşeyde 15-35mm'lik bir doğruluğa ulaşıldığı belirlenmiştir. 20-45dk'lık zaman farkı ile iki oturum sonucu ortalama koordinatlarının koordinat doğruluğundaki artış için yeterli olduğu ortaya çıkmıştır.

Wang ve ark. (2010) üç farklı ağ bazlı RTK tekniğinin (i-MAX, MAX, VRS) üç farklı ağ konfigürasyonunda doğruluk analizlerini yapmışlardır. CORS istasyonları arasındaki mesafeler bu üç farklı ağ için yaklaşık 69-118-166km'dir. Sonuçlarda, CORS istasyonları arasındaki mesafenin artmasının tüm teknikler için doğruluğu düşürdüğü

gözlemlenmiştir. Ayrıca MAX tekniğinin faz başlangıç belirsizliğinin çözümünde en yüksek orana sahip olduğu görülmüştür.

Charoenkalunyuta ve ark. (2012) Taylan'da ağ bazlı RTK tekniklerinden VRS tekniğinin 31 gün süren peş peşe ölçümler sonucu doğruluk analizini yapmışlardır. Bu ölçümler CORS istasyonları arasındaki mesafeler sınıflandırılarak dört farklı ağda yapılmıştır. Sonuç olarak, referans istasyonları arasındaki mesafe artıkça doğruluğun belirli bir ölçüde azaldığı görülmüştür. Ayrıca doğruluk üzerinde iyonosferik etkinin oldukça yüksek olduğu ortaya çıkmıştır, özellikle de faz başlangıç belirsizliğinin çözüm performansında iyonosferdeki düzensiz değişimler oldukça etkili olmaktadır.

Aponte ve ark. (2009) İngiltere de Leica Geosystems şirketinin kurduğu SmartNet ağ bazlı RTK servisinin statik ve kinematik doğruluk analizlerini yapmışlardır. Statik ve kinematik testlerde MAX ve I-MAX ağ bazlı RTK tekniklerini kullanmışlardır. Sekiz adet nokta statik, iki adet nokta ise kinematik test için seçilmiştir. Statik test için, dört adet noktada milimetre mertebesinde doğruluk ve prezisyon değerlerine ulaşılmıştır. Ayrıca faz başlangıç belirsizliğinin çözüm yüzdesi tüm ölçümler için %97.74 oranından daha yüksek olduğu belirtilmiştir. Statik testler için uydu görünürlüğünün doğruluğa önemli bir etkisi olduğu gözlenmiştir. Kinematik testlerde uydu görünürlüğü ve sinyal kesintileri nedeniyle 5cm'nin altındaki doğruluk oranın tüm ölçümlerin %50'si olduğu vurgulanmaktadır.

Shariff ve ark. (2015) Malezya'da Malezya Teknoloji Üniversitesinin geliştirdiği ISKANDARnet ve Malezya'da ticari olarak hizmet veren MyRTKnet ağ bazlı RTK sistemlerinin performans analizlerini yapmışlardır. Ağ içerisindeki gezici ile geziciye en yakın sabit GNSS istasyonlarının arasındaki mesafe 5.3km ile 37.6km arasında değişecek şekilde ölçüm noktaları seçilmiştir. Sonuçlarda CORS istasyonuna en yakın noktadaki gezicinin faz başlangıç belirsizliğinin çözüm oranının diğer noktalara göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca ağın kenarında kalan noktalarda faz başlangıç belirsizliğinin çözüm yüzdesinin en düşük olduğu görülmüştür. Ancak doğruluk bakımından baz uzunluğu ile herhangi bir korelasyon bulunamamıştır. Ölçüm yapılan noktalarda yatayda ve düşeyde cm mertebesinde doğruluğa ulaşılmıştır. Sonuçlarda ayrıca ISKANDARnet ağ bazlı RTK hizmetinin ticari olarak ülkede hizmet veren MyRTKnet sisteminin yerine kullanılabileceği gösterilmiştir.

Garrido ve ark. (2011) İspanyada, iki farklı ağ bazlı RTK hizmeti sunan servislerin beş farklı noktada doğruluk analizlerini yapmışlardır. Test noktalarının doğru kabul edilen koordinatlarını belirleyebilmek için 2 saatlik statik oturum yapılmıştır. Statik

oturum verileri BERNESE akademik yazılımda dengelenmiştir. Ağ bazlı RTK hizmeti sunan servislerin birisi MAC diğeri VRS tekniğini kullanmaktadır. Analizler sonucu her iki servisten yatayda 2.5cm düşeyde 5cm'lik bir doğruluk elde edilebileceği ortaya çıkmıştır.

Yu ve ark. (2016) İngiltere'de Wilford asma köprüsünün ağ bazlı RTK hizmeti sunan servisi kullanarak köprünün titreşim frekansını ve dinamik yer değiştirmesini hesaplamışlardır. Doğru kabul edilen değerler üç eksenli ivmeölçer ile ağ bazlı RTK ile eş zamanlı hesaplanmıştır. Analizler sonucu, ağ bazlı RTK ile köprüdeki dinamik yer değiştirmenin genliği 10mm'den az bir hassasiyet ile belirlenebileceği ortaya çıkmıştır.

Raska ve Pospisil (2015) Çek Cumhuriyetinde kurulmuş olan CZEPOS CORS ağını kullanarak en küçük belirlenebilen yer değiştirme miktarını belirlemeye çalışmışlardır. Analizler sonucu cm mertebesinde gerçek zamanlı yer değiştirme miktarı ağ bazlı RTK tekniklerinden VRS ve FKP kullanılarak belirlenmiştir. Bu çalışma toprak kaymalarını gerçek zamanlı olarak CORS ağı kullanılarak belirleyebilmeye olanak sağlamıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem bölümünü aşağıda şu başlıklar altında incelemek mümkündür: Ağ bazlı RTK, Ağ Bazlı RTK ve Klasik RTK Karşılaştırması, Ağ Bazlı RTK Teknikleri, arazi çalışması, verilerin değerlendirilmesi ve ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinin oluşturulması.

3.1. Ağ Bazlı RTK

Ülkemizde ağ bazlı RTK hizmeti TUSAGA-Aktif bünyesi altında hizmet vermektedir.

GNSS tekniğine dayalı konum belirlemede iki farklı yaklaşım kullanılabilir. Bunlardan biri ölçüm sonrası değerlendirmeye dayalı olan (post-processing) teknik, diğeri ise gerçek zamanlı kinematik (real time kinematic) tekniktir. Ölçüm sonrası değerlendirmeye dayalı olan teknik genellikle en yüksek doğruluğu sağlar (cm veya cm altı). Gerçek zamanlı kinematik teknikte gezici GNSS alıcısının koordinatları ölçüm anında cm mertebesinde bir doğrulukla belirlenmesi gerekir. Bunun için gezici GNSS alıcısının ölçümlerine gerekli olan düzeltmeler başka bir GNSS alıcısından veya bir sistemden yayınlanmak zorundadır.

Gerçek zamanlı kinematik ölçümler üç farklı teknik altında toplanabilir. Bunlar, uydu tabanlı sistemler (SBAS), klasik RTK ve ağ bazlı RTK sistemleridir. Uydu tabanlı sistemler, L1 frekansına modüle edilmiş C/A kod için düzeltme yayınlarlar (çift frekans için çalışmalar devam ediyor). Bu uydular yer durağan uydularıdır. Satellite Based Augmentation (SBAS) sistemi sayesinde kod ölçümleri kullanılarak metre altı bir doğruluğa erişmek mümkündür. Klasik RTK tekniğinde, koordinatları yüksek doğrulukla belirlenmiş bir adet sabit GNSS istasyonuna ihtiyaç vardır. Faz ölçümleri kullanılarak cm mertebesinde bir doğruluğa erişmek mümkündür. Gezici GNSS alıcısının elde ettiği doğruluk sabit ile gezici GNSS alıcısı arasındaki baz uzunluğuna bağlıdır. Baz uzunluğu arttıkça doğruluk düşmektedir.

Ağ bazlı RTK tekniği, 1990'lı yılların ortalarına doğru çıkmaya başlamıştır. Ağ bazlı RTK tekniğinin temel amacı sabit GNSS istasyonlarında hesaplanan düzeltmelerin sadece belirli bir mesafe içerisinde değil ağın içerisindeki her noktada gezici GNSS alıcısı için yeterli doğrulukta olmasıdır. Bu tür bir esnekliği gezici GNSS alıcı için sağlayabilmek belirli mesafe aralıklarıyla CORS istasyonlarının kurulumunu

gerektirmektedir. Ağ bazlı RTK konsepti dört temel yapıdan oluşmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilir;

1. Ülke genelinde tesisi tamamlanan 365 gün 24 saat esasına göre veri toplayan GNSS istasyonları.
2. CORS istasyonlarındaki verinin depolanması ve iletiminin sağlanması için donanım ve yazılım.
3. Merkezi hesaplama altyapısı. Bu altyapı, server sistemleri ve yazılımdan oluşmaktadır.
4. Merkezi hesaplama birimi ve CORS istasyonları arasındaki iletişim altyapısı.

Ülkemizde ağ bazlı RTK hizmeti Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü kontrolü altında Tusaga Aktif ismi altında hizmet vermektedir. Şu anda ülke çapında 146 adet GNSS istasyonu aktif halde çalışmaktadır. Bu istasyonlardan dördü Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyetindedir. Çoğu ülke kendi CORS altyapısını kurmuştur. Bunlardan bazıları, Avusturalya ve İngiltere'deki SmartNet CORS ağı, Amerika'daki NGS CORS ağı, İspanyadaki REGAM ve MERISTEMUM CORS ağı ve Almanya'daki SAPOS CORS ağı örnek olarak gösterilebilir.

Ağ bazlı RTK konseptinde CORS istasyonları arasındaki bazlarda faz başlangıç tam sayı belirsizliğinin çözümünü gerçekleştirecek bir yapıya ihtiyaç vardır. Bu yapı 50-100 km arasındaki bazlarda gerçek zamanlı olarak görünen tüm uydular için ikili farklar oluşturmaya olanak sağlamalıdır. CORS istasyonları arasındaki mesafenin 50-100 km olduğu bir ağda gerçek zamanlı faz başlangıç belirsizliği çözümü mesafeye bağlı hatalar yüzünden oldukça zordur. Gerçek zamanlı faz başlangıç belirsizliği çözümü gezici GNSS alıcısına gelen düzeltmenin doğruluğu açısından oldukça önemlidir.

CORS istasyonları arasındaki bazlarda ikili fark sonucunda belirlenen faz başlangıç belirsizliği çözümü için geniş aralık-dar aralık faz başlangıç belirsizliği kombinasyonu uygulanabilir (http://gnss.curtin.edu.au/wp- content/uploads/sites/21-/2016/04/Odi10b.pdf) (son erişim 5 Haziran 2017).

$$L_w = (f1 * L1 - f2 * L2)/(f1 - f2) \quad (3.1)$$

$$P_n = (f1 * P1 - f2 * P2)/(f1 + f2) \quad (3.2)$$

$$\mathrm{MW} = (L_w - P_n) \quad (3.3)$$

Burada, f1, f2, iki temel frekans değerleri, L1, L2, P1, P2 iki temel frekanstaki faz ve kod ölçümleri, L_w, P_n ve MW, geniş aralık, dar aralık ve Melbourne-Wubbena kombinasyonudur.

CORS istasyonları arasındaki bazlarda faz başlangıç belirsizliğinin çözümü ağı yöneten yazılım tarafından CORS istasyonlarının ham verileri kullanılarak yapılmasına

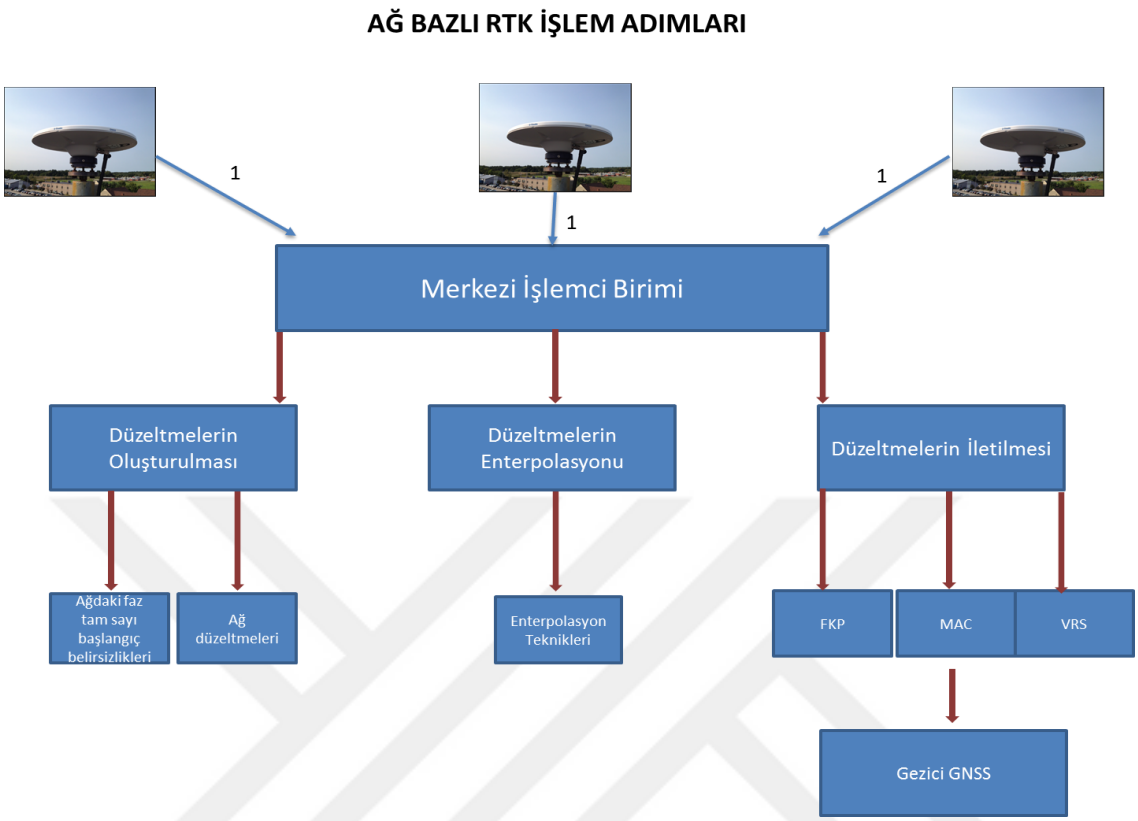
rağmen bazı durumlarda faz başlangıç belirsizliğinin çözümünün defalarca yenilenmesi gerekir. Ağ boyunca takip edilen herhangi bir uyduda faz sıçraması meydana gelmesi durumu, herhangi bir CORS istasyonundaki ham veri kesikliği, yeni görünürlüğe giren herhangi bir uydu bu tür durumlara örnek olarak gösterilebilir (Rizos ve Han, 2003).

Ağdaki CORS istasyonlarında hesaplanan bütün düzeltmeler farklı enterpolasyon teknikleri kullanılarak gezici GNSS alıcısının bulunduğu konuma göre enterpole edilir. Bu düzeltmeler CORS istasyonlarının bir saniye aralıkla kayıt altına alınan rinex verileri değerlendirilerek bir saniye aralıklarla güncellenmektedir. İsteğe bağlı olarak bu güncelleme oranı troposfer ve iyonosfer düzeltmeleri için daha yavaş oranlara yazılım aracılığı ile ayarlanabilir (örneğin troposfer için 10 s, iyonosfer için 2 s).

Ağ bazlı RTK konseptinde, CORS istasyonlarının durumuna göre gezici GNSS alıcısının konum doğruluğunu etkileyen bazı faktörler şu şekilde sıralanabilir;

1. Ağdaki CORS istasyonları arasındaki mesafeler bazı benchmark testleri yaparak belirlenmektedir. Bu mesafeler Tusaga-Aktif ağı için yaklaşık 50-100 km arasında sınırlandırılmıştır. Ağın kenar bölgelerinde yapılan çalışmalarda doğruluk ağın orta bölgelerinde yapılan çalışmalardaki doğruluğa göre biraz daha düşüktür. Dolayısıyla Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ağın kenar bölgelerinde CORS istasyonlarının sıklaştırma çalışmalarını yapmayı planlamaktadır.
2. Gezici GNSS alıcısı ağ bazlı RTK tekniklerinden herhangi birine bağlanırken genellikle bulunduğu bölgeye en yakın CORS istasyonu ana istasyon olarak belirlenir. Bu CORS istasyonunun koordinatlarının yüksek duyarlıkla belirlenmesi gerekir. CORS istasyonlarının koordinatları belirlenirken uzun yıllar içeren günlük çözümler GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak değerlendirilir. Bu şekilde noktanın koordinat zaman serisi ve üç boyutlu hızları belirlenmiş olur. Bazı durumlarda CORS istasyonlarının yerleri değişmek zorunda kalınmaktadır. Bu durumda yeni CORS istasyonun koordinatları için yıllık çözümler mevcut olmadığı için yeni noktanın koordinatları yeterli doğrulukta belirlenemeyebilir. Bu durumda arazideki gezici GNSS alıcısı ana istasyon olarak koordinatları yeterli doğrulukta belirlenemeyen CORS istasyonunu ana istasyon olarak kullanırsa bu CORS istasyonun koordinatlarındaki hatalar direk olarak gezicinin koordinatlarına yansımaktadır.
3. Bazı durumlarda depremler CORS istasyonlarının yerlerinde değişikliğe neden olmaktadır. Bu durumlarda CORS istasyonlarının güncel koordinatları tekrar hesaplanmazsa bu durum gezicinin koordinatlarında doğruluk kaybına neden olmaktadır.

Şekil 3.1'de ağ bazlı RTK konseptinin işlem adımları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Ağ bazlı RTK konsepti

Tusaga-Aktif ağından yayınlanan sekiz farklı Networked Transport of Radio Technical Commission for Maritime Services (RTCM) via Internet Protocol (NTRIP) protokolü bulunmaktadır. NTRIP, GNSS düzeltmelerinin gezici GNSS alıcısına internet üzerinden aktarılmasını sağlayan bir protokoldür. Çizelge 3.1'de Tusaga-Aktif ağından yayınlanan NTRIP protokolleri verilmektedir.

Çizelge 3.1. Tusaga-Aktif ağından yayınlanan NTRIP protokolleri

NTRIP servis adı	RTCM FORMATI
DOGU_TG03_BROADCASTRTCM	RTCM 3.1
ORTA_TG03_BROADCASTRTCM	RTCM 3.1
BATI_TG03_BROADCASTRTCM	RTCM 3.1
DGPSNet	RTCM 2.3
FKP_RTCM31	RTCM 3.1
RTCM3Net	RTCM 3.1
VRSRTCM31	RTCM 3.1
VRSCMRP	RTCM 3.1

NTRIP protokollerinin açıklaması sırasıyla şu şekildedir;

DOGU_TG03_BROADCASTRTCM, ORTA_TG03_BROADCASTRTCM ve BATI_TG03_BROADCASTRTCM, protokolleri bulunulan bölgeye bağlı olarak TG03 ondülasyon modeli kullanarak gezici GNSS alıcısının ortometrik yüksekliğini hesaplamaktadır. Sistemlerin doğruluğu direk olarak TG03 modelinin doğruluğuna bağlıdır. Gezici GNSS alıcısı yaklaşık koordinatlarını merkezi işlemci birimine gönderdiği anda, yazılım TG03 modeli içerisindeki enlem ve boylama bağlı ondülasyon değerlerini gezicinin yaklaşık koordinatlarına göre enterpole eder.

DGPSNet, DGPS (Differantial Global Positioning System) düzeltmesi sağlamaktadır. Tek noktaya dayalı kod ölçümlerinde metre altı doğruluk sağlamaktadır.

FKP_RTCM31, RTCM3Net, VRSRTCM31 sırasıyla FKP, MAC ve VRS tekniklerinin yayınlandığı NTRIP protokolleridir. VRSCMRP, VRS tekniğine ait bir NTRIP protokolüdür. VRSRTCM31 ile olan farkı ise VRSCMRP protokolünde Compact Measurement Record (CMR) formatında sıkıştırılmış yayın yapılmasıdır. Bu format Trimble firmasına özgüdür. Her GNSS alıcısı bu formattaki veriyi alamayabilir.

DGPSNet protokolü hariç bütün NTRIP protokollerinde RTCM 3.1 mesaj formatı kullanılmaktadır. RTCM, denizcilik servisi için radyo teknik komisyonu olarak adlandırılan birlik tarafından 1947 yılında bir veri formatı olarak üretilmiştir (Heo ve ark, 2009). Ağ bazlı RTK uygulamalarında RTCM, arazideki gezici GNSS alıcıları ve merkezi hesaplama birimi arasındaki veri aktarımında kullanılmaktadır. Çizelge 3.2'de RTCM 3.x (x: 0, 1) formatına ait sıklıkla kullanılan mesaj türleri verilmektedir.

Çizelge 3.2. Yaygın olarak kullanılan RTCM 3.x mesaj türleri (https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/rtcm-3-message-list/) (son erişim 18 Ağustos 2017)

Mesaj Türü	Açıklaması
1004	Genişletilmiş GPS L1 ve L2 RTK gözlem verilerini içermektedir. Ayrıca L1 ve L2 frekansları için uydu sinyal gürültü verilerini de içermektedir (VRS tekniği için).
1005	Sabit RTK referans istasyon anten referans noktası koordinatları (VRS tekniği için).
1006	Sabit RTK referans istasyon anten referans noktası koordinatları ve anten yüksekliği (VRS tekniği için).

Çizelge 3.2. Devamı

1007	Anten türü
1008	Anten türü ve anten seri numarası
1012	Genişletilmiş GLONASS L1 ve L2 gözlem verileri. Ayrıca L1 ve L2 frekansları için uydu sinyal gürültü verilerini de içermektedir.
1013	Hangi mesaj türünün hangi güncelleme oranlarında yayınlandıklarını içerir.
1014	Yardımcı referans istasyonu ve ana referans istasyonu arasındaki koordinat farkı (MAC tekniği için)
1015	Yardımcı referans istasyonu için GPS faz ölçümleri iyonosferik düzeltme farkları (MAC tekniği için)
1016	Yardımcı referans istasyonu için GPS faz ölçümleri geometrik düzeltme farkları (MAC tekniği için)
1017	Yardımcı referans istasyonu için GPS faz ölçümleri iyonosferik düzeltme ve geometrik düzeltme farkları (MAC tekniği için)
1018	Yedek alternatif iyonosferik düzeltme farkı mesajı (MAC tekniği için)
1019	Kepler formatında GPS yörünge bilgileri
1020	XYZ formatında GLONASS yörünge bilgileri
1034	FKP tekniği için alan düzeltme parametreleri (yatay gradyenler aracılığı ile enterpole edilerek, GPS uyduları için geçerli)
1035	FKP tekniği için alan düzeltme parametreleri (yatay gradyenler aracılığı ile enterpole edilerek, GLONASS uyduları için geçerli)
1037	Yardımcı referans istasyonu için GLONASS faz ölçümleri iyonosferik düzeltme farkları (MAC tekniği için)
1038	Yardımcı referans istasyonu için GLONASS faz ölçümleri geometrik düzeltme farkları (MAC tekniği için)
1039	Yardımcı referans istasyonu için GLONASS faz ölçümleri iyonosferik düzeltme ve geometrik düzeltme farkları (MAC tekniği için)

3.2. Ağ Bazlı RTK ve Klasik RTK Karşılaştırması

Klasik RTK tekniğinde konumu yüksek doğrulukla bilinen bir fiziksel referans istasyonu ile bir veya daha fazla gezici GNSS alıcısına ihtiyaç duyulmaktadır. Referans istasyonunda hesaplanan troposferik ve iyonosferik düzeltmeler radyo modem aracılığı ile gezici GNSS alıcısına aktarılır. Gezici GNSS alıcısı ham verilerine bu düzeltmeyi ilave ederek cm doğruluğunda üç boyutlu koordinat verisi elde eder. Yüksek doğruluk için faz başlangıç tam sayı belirsizliğinin ikili farklar aracılığı ile çözülmesi gerekir.

Sabit istasyonda hesaplanan hata miktarları sabit istasyondan uzaklaştıkça geçerliliğini kaybeder. Genellikle kabul edilen sabit ve hareketli GNSS alıcısı arasındaki baz uzunluğu maksimum 10-30 km arasıdır. Bu uzunluk değeri aşılınca genellikle sabit ve hareketli GNSS alıcılarındaki ölçüleri etkileyen hata değerleri aynı olmaz ve faz başlangıç tamsayı bilinmeyi güvenli bir şekilde çözülemez dolayısıyla doğruluk belirli bir seviyede azalır.

Klasik RTK'daki sabit ve gezici GNSS alıcıları arasındaki baz mesafesi sınırlamasını kaldırmak amacıyla ağ bazlı RTK konsepti ortaya çıkmıştır. Ağ bazlı RTK, sürekli gözlem yapan sabit GNSS alıcıları, kontrol merkezi (merkezi hesaplama birimi (server) ve ağ düzeltmelerini hesaplayan yazılım) ve kontrol merkezi ile sabit GNSS alıcıları arasındaki veri aktarım altyapısından oluşmaktadır. Bu altyapı sayesinde RTK ölçümlerinde sabit ve koordinatları bilinen bir nokta tesis etme işlemi ortadan kalkmıştır.

Sabit CORS istasyonları ile gezici GNSS arasındaki mesafe onlarca km olsa bile ağ bazlı RTK'dan elde edilen doğruluk klasik RTK'da yaklaşık 5-10 km'lik bir bazdan elde edilecek doğruluk ile aynı seviyededir. Yüksek bir doğruluğu (cm mertebesinde) bütün bir ağ boyunca sağlayabilmek CORS istasyonları arasındaki mesafeye bağlıdır. Bu mesafe teorik olarak 50-100 km arasında olmalıdır ancak ağın bulunduğu coğrafi konum ve iyonosfer aktivitesi göz önüne alınmalıdır. Örneğin, yüksek iyonosfer aktivitesi yüzünden Singapur'a tesis edilen CORS istasyonları arasındaki mesafe 40 km'nin altında tutulmuştur (Rizos ve Han, 2003).

Çizelge 3.3'de klasik RTK ve ağ bazlı RTK arasındaki farklar verilmiştir.

Çizelge 3.3. Klasik RTK ile ağ bazlı RTK arasındaki farklar

	Klasik RTK	**Ağ bazlı RTK**
Sabit istasyonlar arası mesafe	Genellikle bir adet sabit GNSS istasyonu	50-100km arasında
Atmosferik modelleme	Yok	Merkezi sunucudaki yazılım tarafında yapılıyor
Gezici GNSS ile sabit arasındaki mesafe	Maksimum 10-30km arasında	Gezici ağ içerisinde kaldığı süre önemli değil
Gezici sabit arası iletişim	Radyo frekansı veya internet aracılığı ile	İnternet aracılığı ile
Sabit istasyonlara ait problemlerin izlenebilirliği	Yok	Var
Gezici GNSS alıcısının düzeltme alacağı sabit istasyonu seçebilmesi	Kullanıcı sabit istasyon seçimini kendi yapmak zorunda	Merkezi sunucudaki yazılım tarafından en uygun CORS istasyonu ana istasyon olarak seçilir
Sabit istasyon noktasındaki fiziksel hareketin izlenebilirliği	Yok	Merkezi sunucudaki yazılım tüm sabit istasyon noktalarını anlık değerlendirerek istasyonların stabilizesini kontrol ediyor
Sistemin ücretlendirilmesi	Ücretsiz	Ağ bazlı RTK hizmetini sağlayan kuruma abonelik gerektiriyor.
Ölçüm yapılan yerde bağlantı altyapısı	Radyo frekansı kullanılması durumunda herhangi bir bağlantı altyapısına gerek yoktur.	Kullanılan GSM şirketinin internet ve GSM bağlantılarının ölçüm yapılan bölgede mevcut olması gerekir.
Sabit istasyon koordinat doğruluğunun geziciye etkisi	Sabit istasyon koordinatlarının doğruluğu direk olarak gezicinin koordinatlarını etkilemektedir.	Gezicinin düzeltme aldığı ana CORS istasyonun koordinatları direk olarak gezicinin koordinatlarını etkilemektedir.

Tusaga-Aktif sisteminden yayınlanan üç temel ağ bazlı RTK tekniklerinden VRS, FKP ve MAC tekniklerinin temel işleyiş prensipleri aşağıdaki üç başlık altında incelenmek mümkündür.

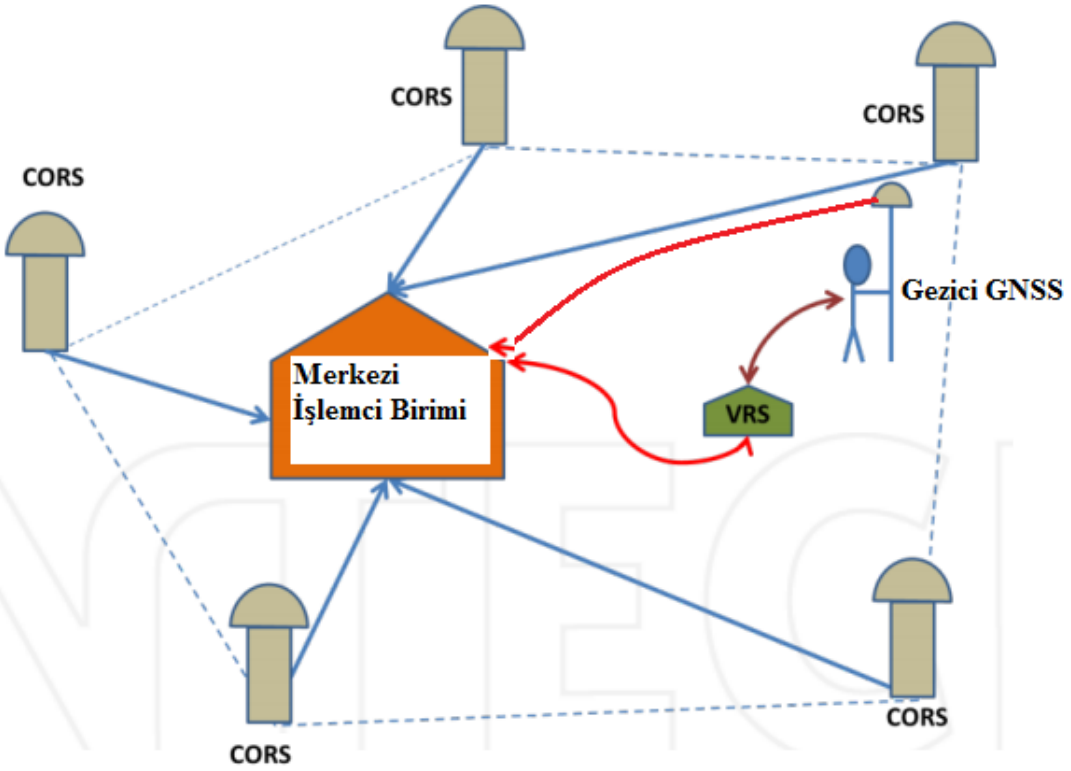
3.3. Ağ Bazlı RTK Teknikleri

Ağ boyunca CORS istasyonlarında hesaplanan düzeltmeler gezici GNSS alıcısının bulunduğu konuma göre hesaplanması için çeşitli enterpolasyon teknikleri mevcuttur. Bu enterpolasyon tekniklerinden bazıları lineer enterpolasyon, en küçük karelerle enterpolasyon, en küçük karelerle kolokasyon ve düşük dereceli yüzey ile polinomal enterpolasyondur (Lin, 2006). Bu enterpolasyon tekniklerinin amacı gezici GNSS alıcısı ağ içerisinde hangi konumda bulunursa bulunsun doğruluğun bu konumdan etkilenmemesini sağlamaktadır. Yani CORS istasyonlarındaki düzeltmelerin enterpolasyonu bütün ağ boyunca cm mertebesindeki doğruluğu sağlaması gerekir.

Ağ bazlı RTK teknikleri için üç temel yöntem belirlenmiştir. Bunlar VRS, FKP ve MAC ağ bazlı RTK teknikleri olarak adlandırılmıştır. Aşağıdaki VRS, FKP ve MAC başlıkları altında bu teknikler anlatılmıştır.

3.3.1. VRS (Sanal Referans İstasyonu)

İlk ticari olarak ortaya çıkan ağ bazlı RTK tekniğidir. Üreticisi Trimble firmasıdır. VRS tekniğinin temel konsepti, gerçek bir fiziksel referans istasyonu yerine sentetik gözlem verileri ile üretilen 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 sağlamaktadır (Talbot ve ark., 2002). VRS tekniğinin uygulanabilmesi için gezici GNSS alıcısının çalışma sahasında en az 3 adet CORS istasyonunun merkezi işlemci birimine bağlanması gerekir ve ayrıca gezici GNSS alıcısı iki yönlü iletişimi desteklemek zorundadır. VRS tekniğinin çalışma prensibi Şekil 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.2. VRS konsepti (Landau ve ark., 2002)

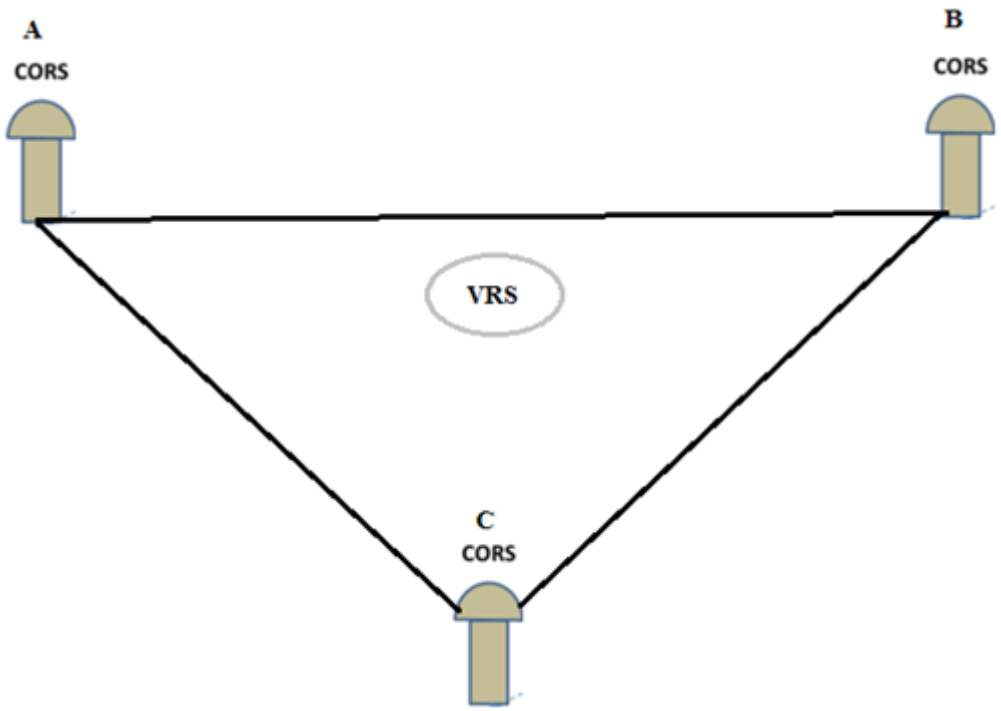
VRS konseptinin çalışma prensibi şu şekilde açıklanabilir;

- CORS istasyonlarındaki gözlem verileri 1 sn aralıklarla merkezi işlemci birimine gönderilir.
- Arazideki gezici GNSS alıcısı kendi konumunu belirlemek için kullandığı navigasyon koordinatlarını (metre mertebesinde) merkezi işlemci birimine NMEA formatında GSM veya GPRS aracılığı ile gönderir.
- Merkezi sunucu bu navigasyon koordinatlarına sanal bir referans istasyonu oluşturur.
- Merkezi işlemci birimi gezici GNSS alıcısının en yakın hangi üç adet CORS istasyonu arasında kaldığını belirler ve en yakın CORS istasyonunu ana istasyon olarak belirler.
- Referans istasyonları arasındaki bazlarda taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizleri çözülerek troposfer, iyonosfer ve yörünge hataları cm doğruluğunda bütün CORS istasyonları için belirlenir.
- Ana referans istasyonundaki kod ve faz ölçümleri geometrik olarak sanal referans istasyon noktasına ötelenir ve ağdaki düzeltmeler (troposferik, iyonosferik ve

yörünge) oluşan sanal istasyon noktasına göre enterpole edilerek sentetik olarak oluşturulan ölçümlere ilave edilir.

- Oluşturulan sanal referans noktasındaki gözlem verileri kullanıcıya RTCM protokolü aracılığıyla merkezi sunucu tarafından aktarılır.
- Gezici GNSS alıcısı gelen gözlem verilerini fiziksel bir referans istasyon noktasından geliyormuş gibi klasik RTK çözümlemesinde kullandığı algoritmayı kullanarak bulunduğu noktanın koordinatlarını hesaplar (Landau ve ark., 2002).

Sanal referans istasyonunun oluşturulması Şekil 3.3 yardımıyla açıklanabilir.



Şekil 3.3. VRS geometrik yer değiştirme ((Wei ve ark., 2006)

Şekil 3.3'deki örnekte gezici GNSS alıcısına en yakın CORS istasyonunun A istasyonu olduğu varsayılsın. A istasyon noktasının her bir gözlenebilen uyduya olan mesafesi (p_A^i), A istasyon noktasının ($\overline{x_a}$) ve uyduların ($\overline{x_\iota}$) yer merkezli vektör bileşenleri kullanılarak şu şekilde yazılabilir (uydu koordinatları ultra-rapid-predicted veya efemeris ürünleri kullanılarak bulunabilir).

$$\rho_A^i = \overline{x_\iota} - \overline{x_a} \tag{3.4}$$

Gezici GNSS alıcısının navigasyon koordinatlarına üretilen sanal referans istasyon noktasının her bir gözlenebilen uyduya olan mesafesi sanal referans istasyon

noktasının ve uyduların yer merkezli vektör bileşenleri kullanılarak şu şekilde yazılabilir (Wei ve ark., 2006);

$$\rho_{VRS}^{i} = \overline{x_{\iota}} - \overline{x_{VRS}} \tag{3.5}$$

Her bir uydu-ana referans istasyonu ve uydu-VRS mesafeleri için geometrik öteleme şu şekilde yazılabilir;

$$\Delta p_{A,VRS}^{\dot{\imath}} = \rho_{A}^{i} - \rho_{VRS}^{i} \tag{3.6}$$

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.

Uydular arası tekli farklar m,n uyduları için ana referans istasyonunda şu şekilde oluşturulur;

$$\Delta\varphi_{A}^{m,n} = \frac{1}{\lambda} * (\rho_{A}^{m,n} - \Delta I_{A}^{m,n} + \Delta T_{A}^{m,n}) - \Delta N_{A}^{m,n} \tag{3.7}$$

VRS istasyonu için de aynı eşitlik şu şekildedir;

$$\Delta\varphi_{VRS}^{m,n} = \frac{1}{\lambda} * (\rho_{VRS}^{m,n} - \Delta I_{VRS}^{m,n} + \Delta T_{VRS}^{m,n}) - \Delta N_{VRS}^{m,n} \tag{3.8}$$

Ana referans istasyonu ve VRS için ikili farklar şu şekilde oluşturulur;

$$\nabla\Delta\varphi_{A,VRS}^{m,n} = (\Delta\varphi_{VRS}^{m,n} - (\Delta\varphi_{A}^{m,n}) \tag{3.9}$$

$$\nabla\Delta\varphi_{A,VRS}^{m,n} = \frac{1}{\lambda} * \left(\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n} - \nabla\Delta I_{A,VRS}^{m,n} + \nabla\Delta T_{A,VRS}^{m,n}\right) - \nabla\Delta N_{A,VRS}^{m,n} \tag{3.10}$$

Eşitlik 3.9'da $\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n}$ ikili farklar sonucu ana referans istasyonu ve VRS arasındaki geometrik ilişkidir ve şu şekilde gösterilebilir;

$$\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n} = (\rho_{VRS}^{n} - \rho_{A}^{n}) - (\rho_{VRS}^{m} - \rho_{A}^{m}) \tag{3.11}$$

Yukarıdaki eşitliklerde, Δ, tekli farkları, ∇Δ, ikili farkları, $\nabla\Delta\varphi_{A,VRS}^{m,n}$, ana referans istasyonu ve VRS arasındaki faz ölçümleri ikili farkları, $\nabla\Delta N_{A,VRS}^{m,n}$, ikili farklar sonucu faz başlangıç belirsizliğini, λ, sinyalin dalga boyunu, $\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n}$, ikili farklar sonucu ana referans istasyonu ve VRS arasındaki uydu ve istasyonlar arasındaki geometrik mesafeyi, $\Delta I_{A,VRS}^{m,n}$, ikili farklar sonucu iyonosferik gecikmeyi, $\nabla\Delta T_{A,VRS}^{m,n}$, ikili farklar sonucu troposferik gecikmeyi temsil etmektedirler.

Eşitlik 3.9 ile 3.10'da tekli farklar faz gözlemleri $\Delta\varphi_{VRS}^{m,n}$ bilinmeyendir. $\Delta\varphi_{A}^{m,n}$ ana referans istasyonunda oluşturulan faz ölçümleri tekli farklarını temsil etmektedir. İkili farklar sonucu oluşan geometrik yer değiştirme ($\nabla\Delta\rho_{A,VRS}^{m,n}$) eşitlik 3.11 ile belirlenebilir.

İkili farklar sonucu iyonosferik gecikme ($\nabla\Delta I_{A,VRS}^{m,n}$) ve ikili farklar sonucu troposferik gecikme $\nabla\Delta T_{A,VRS}^{m,n}$ enterpolasyon algoritmaları yardımıyla gezici GNSS alıcısı için belirlenir (Wei ve ark., 2006).

Eşitlik 3.10 klasik RTK ölçümünde kullanılan algoritma ile aynıdır. Eşitlik 3.10'daki ikili farklar sonucu iyonosferik ve troposferik düzeltmeler klasik RTK tekniğinde sabit istasyonun bulunduğu bölge içerisinde geçerliyken, VRS tekniğinde bu düzeltmeler gezici GNSS alıcısı için ağdaki CORS istasyonları aracılığı ile enterpole edilir.

Tusaga-Aktif sistemini yöneten Trimble Pivot Platform yazılımında VRS tekniği için enterpolasyon, ağırlıklandırılmış doğrusal yaklaşımla en küçük karelerle kolokasyon tekniği ile yapılmaktadır.

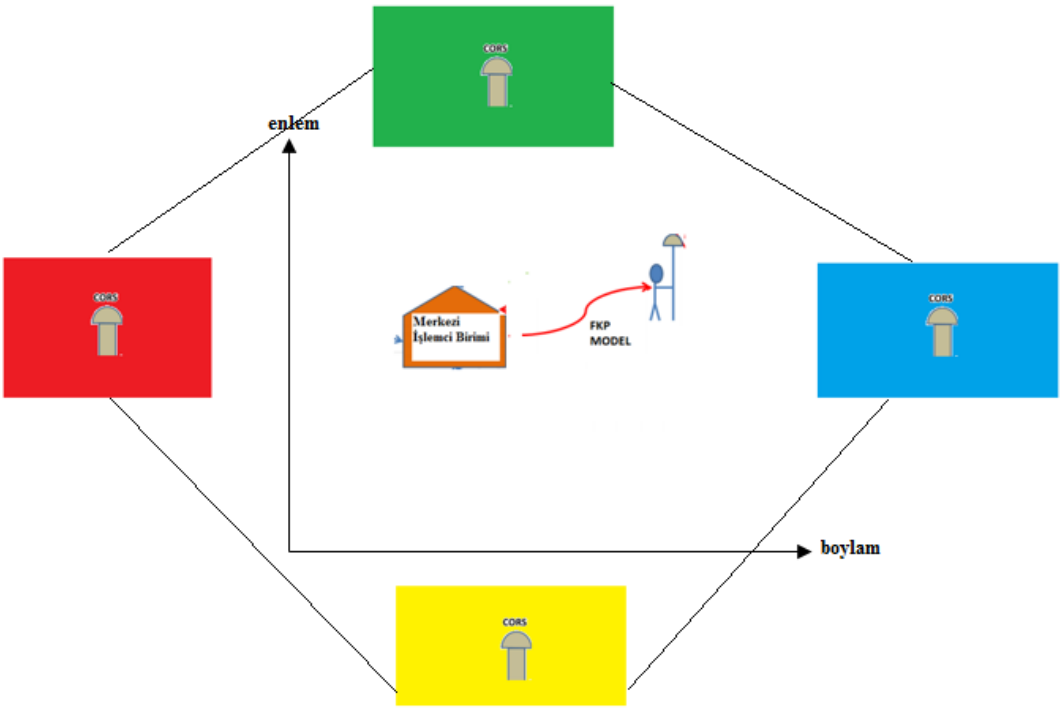
VRS tekniği RTCM konseptine uymaz çünkü sanal referans noktasındaki ölçümler modellenen veri içerir. Ayrıca GNSS düzeltme verileri fiziksel bir referans istasyonu yerine sanal bir referans istasyonuna göre modellendiği için yasal olarak bu verinin takip edilip analizi veya tekrarlanması söz konusu değildir. Örneğin belirli bir zamanda VRS tekniği ile yapılan bir ölçünün analizi yapılmak istenilirse gezici GNSS alıcısının düzeltme olarak baz aldığı en yakın referans istasyonunun o zamana ait rinex dosyasına bakılabilir fakat gezici GNSS alıcısı klasik RTK uygulamasında olduğu gibi oluşturulan sanal referans istasyonunu sabit aldığı için fiziksel referans istasyonunun analizi tek başına yeterli değildir. Önemli olan sanal referans istasyonundaki geometrik olarak ötelenmiş gözlem verilerinin doğru bir şekilde oluşturulmasıdır. Kullanıcı o tarihte ağ düzelmelerini almak için ilk kilitlendiği noktayı tam olarak bulsa bile sanal referans istasyonu o tarihte oluşan yerde tekrar oluşmayabilir.

3.3.2. FKP (Alan Düzeltme Parametreleri)

FKP tekniği VRS tekniğine benzer bir yapıda çalışmaktadır. CORS istasyonları arasındaki ikili farklar aracılığı ile frekans bağımlı ve frekans bağımsız hatalar ağ boyunca hesaplanır. FKP tekniğinin temel çalışma prensibi ağdaki CORS istasyonlarından hesaplanan bu hataların alan düzeltme parametreleri aracılığı ile ifade edilip bu parametrelerin gezici GNSS alıcısına aktarılmasıdır.

Ağdaki referans istasyonundaki bilgiler atmosferik, iyonosferik ve yörünge hatalarını modelleyebilmek amacıyla lineer parametrelerle temsil edilerek bir polinom

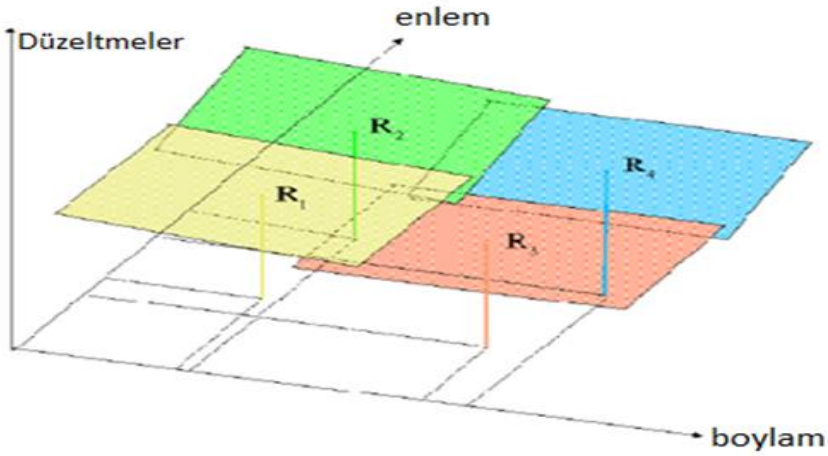
yüzeyi aracılığıyla kullanıcı için enterpole edilir. Modellenen alana göre kuzey-güney ve doğu-batı şeklinde düzeltme parametreleri oluşturulur. Dolayısıyla düzlemsel düzeltme parametreleri oluşturulmuş olur. FKP, düzlem düzeltme parametreleri (Flachen Korrectur Parameter) ismi de buradan gelmektedir (Wübenna ve ark., 2001).



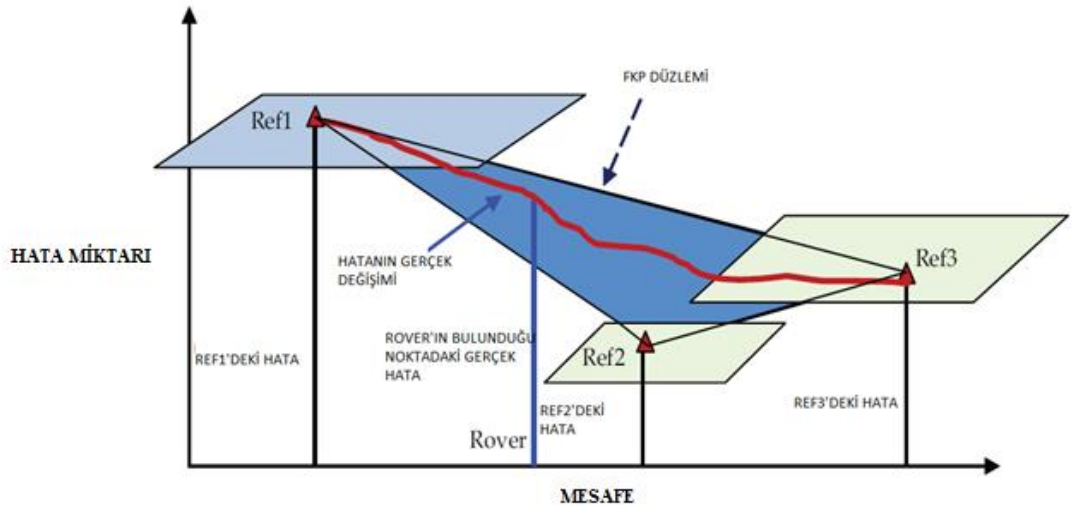
Şekil 3.4. FKP modeli (Wübenna ve ark., 2001)

Şekil 3.4'de her bir lineer FKP yüzeyinin merkezi, fiziksel referans istasyonlarının bulunduğu noktadır. Her bir istasyon noktasına ait geometrik ve iyonosferik düzeltme oranları (merkezi sunucularda hesaplanan) yatay gradyanlar aracılığı ile gezici GNSS alıcısının yaklaşık pozisyonu için enterpole edilir. Düzeltme düzlemleri, referans istasyonunun yüksekliğinde WGS84 elipsoidine paralel olduğu varsayılır.

Şekil 3.5'de düzlem düzeltme parametrelerinin konsepti gösterilmiştir. Şekil 3.6 ise hataların değişimini sembolize eden üç adet referans istasyonundan oluşmuş FKP düzlemi görülmektedir. FKP tekniğinde referans istasyonlarının merkezinde her uydu için frekansa bağımlı ve frekanstan bağımsız hata türleri için iki adet uzay gözlem düzlemi oluşur.



Şekil 3.5. 4 adet referans istasyonun oluşturduğu FKP düzlemleri (Saeidi, 2012)



Şekil 3.6. FKP düzlemi (https://pdfs.semanticscholar.org/529c/8b25ff342e171ee48c6f4d4834736323cb26.pdf?_ga=2.62572076.1061630881.1514202122-247527942.1484213770) (son erişim 1 Temmuz 2017)

FKP tekniğinde her bir referans istasyonunda mesafeye bağlı hatalar için genel olarak iki farklı düzlem oluşturulur. Bunlar geometrik (troposferik ve yörünge) ve iyonosferik hatalardır. Düzeltmeler gezici GNSS alıcısına en yakın olan CORS istasyonundan yayınlanır. Gezici GNSS alıcısının bulunduğu konuma bağlı FKP düzlem parametreleri şu şekilde oluşturulur (Wübenna, 2006).

$$\delta r_0 = 6.37 * (N_0 * (\varphi - \varphi_{R)} + E_0 * (\lambda - \lambda_R) * \cos(\varphi_R)) \quad (3.12)$$

$$\delta r_1 = 6.37 * H * (N_1 * (\varphi - \varphi_{R)} + E_1 * (\lambda - \lambda_R) * \cos(\varphi_R)) \quad (3.13)$$

$$H = 1 + 16 * \left(0.53 - \left(\frac{E}{\pi}\right)\right)^3 \quad (3.14)$$

Burada, N_0, FKP düzlemindeki kuzey-güney doğrultusundaki geometrik sinyal değişimi (ppm), E_0, FKP düzlemindeki doğu-batı doğrultusundaki geometrik sinyal değişimi (ppm), N_1, FKP düzlemindeki kuzey-güney doğrultusundaki iyonosferik sinyal değişimi (ppm), E_1, FKP düzlemindeki doğu-batı doğrultusundaki iyonosferik sinyal değişimi (ppm), E, uydu yükseklik açısı (radyan), δr_0, geometriden bağımsız sinyal kombinasyonunun uzaklığa bağlı hatası, δr_1, iyonosferden bağımsız sinyal kombinasyonunun uzaklığa bağlı hatası.

L1 ve L2 frekanslarındaki toplam düzeltmeler şu şekilde bulunur;

$$\delta r_{L1} = \delta r_0 * (\frac{120}{154} * \delta r_1) \quad (3.15)$$

$$\delta r_{L2} = \delta r_0 * (\frac{154}{120} * \delta r_1) \quad (3.16)$$

Gezici GNSS alıcısındaki düzeltilmiş taşıyıcı dalga fazı gözlemleri aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\varphi 1_{düzeltilmiş} = \varphi 1_{ham} - \delta r_{L1} \quad (3.17)$$

$$\varphi 2_{düzeltilmiş} = \varphi 2_{ham} - \delta r_{L2} \quad (3.18)$$

Bu işlemlerden sonra gezici GNSS alıcısı ile ana referans istasyonu arasında klasik RTK algoritması uygulanarak ikili farklar sonucu faz başlangıç belirsizliği tamsayı olarak çözülür.

FKP alan düzeltme parametreleri ana referans istasyonun bulunduğu konumdan maksimum 100 km'lik yarıçaptaki bir alan için geçerlidir. Bu mesafenin dışına çıkıldığı zaman FKP düzeltme parametreleri gezici GNSS alıcısının bulunduğu konuma göre sağlıklı bir şekilde enterpole edilemeyebilir. Bunun nedeni bu mesafede hataların doğrusal olmayan bir değişim göstermesinden kaynaklanır.

Belirli zaman aralığında FKP yüzeyi için hesaplanan katsayılar o alandaki bütün gezisi GNSS alıcıları için aynı değerde yayınlanır. Düzlem katsayıları ve ana referans istasyonundaki ham veriler ve istasyon koordinatları gezisi GNSS alıcısına gönderilir. Gezisi GNSS alıcısı, gönderilen katsayıları oluşan düzlemi referans alarak kendi konumuna göre enterpole eder. Gezisi GNSS alıcısındaki yazılım, kendi pozisyonuna göre uzaklığa bağlı hataları enterpole ederek ana referans istasyonundaki ham verilere

düzeltme getirerek konum çözümlemesini yapar. Burada gezisi GNSS alıcısının pozisyonunun navigasyon çözümlemesiyle bulunması enterpolasyon için yeterlidir

FKP tekniğinde merkezi sunucular ve gezici GNSS alıcısı hesaplama işlemlerinde görev almaktadır. Merkezi sunucuda, referans istasyonlarının bulunduğu noktalarda ağ bazlı yüzey katsayıları hesaplanmaktadır. Gezici GNSS alıcısındaki yazılım ise hesaplanan katsayıları ve ana referans istasyonundaki ham verileri kullanarak hataları kendi konumuna göre enterpole eder. Bu enterpolasyon doğrusal tabanlı bir enterpolasyondur. Gezici GNSS alıcısı ve CORS istasyonları arasındaki mesafe enterpolasyon işleminde ağırlıklandırma için kullanılır. Frekansa bağımlı ve frekanstan bağımsız oluşturulan düzeltme katsayıları her bir CORS istasyonu için doğu-batı ve kuzey-güney doğrultularındaki hataların doğrusal korelasyonunun ifade eder.

Gezici GNSS alıcısına yayınlanan düzeltme katsayıları anlık olarak server tarafından troposferik, iyonosferik ve yörünge hatalarının değişim durumuna göre güncellenmektedir.

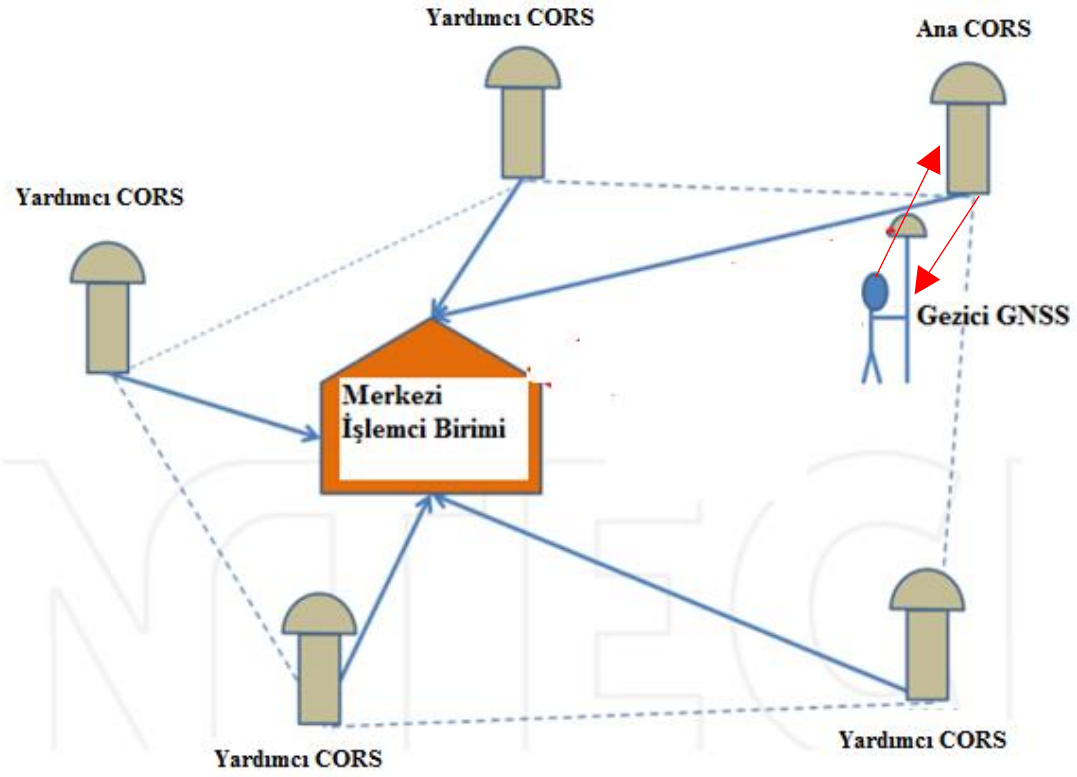
FKP tekniği tek yönlü iletişim alt yapısında da kullanılabilir. Ancak tek yönlü iletişim alt yapısında ham düzeltmelerin yayınlanacağı ana referans istasyonu kullanıcı tarafından seçilmek zorundadır. Çünkü gezici GNSS alıcısı yaklaşık pozisyonunu merkezi sunucuya tek yönlü iletişim alt yapısında gönderememektedir dolayısıyla gezici GNSS alıcısının hangi referans istasyonuna en yakın olduğu bilinememektedir. Dolayısıyla TUSAGA-Aktif sisteminde FKP tekniği için çift yönlü iletişim kullanılmaktadır.

3.3.3. MAC (Ana-Yardımcı Referans İstasyonu Konsepti)

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 gezici GNSS alıcısı için yayınlanan mesajlar ham veri yerine modellenen veri içerir dolayısıyla bu da RTCM formatına uymaz.

Bu sorunları ortadan kaldırabilmek için Euler ve ark. (2001) ağ bazlı RTK düzeltmeleri için yeni bir standart teknik olan MAC tekniğini oluşturmuşlardır. 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 gezici GNSS alıcısı için hata hesaplamaları, MAC tekniğinde gezici GNSS alıcısına yüklü yazılım aracılığı ile yapılmaktadır. MAC tekniğinin işleyişi Şekil 3.7 aracılığı ile aşağıdaki maddeler halinde açıklanabilir (Brown ve ark., 2006).



Şekil 3.7. MAC konsepti (Cina ve ark, 2015)

- Referans istasyonlarından toplanan ham gözlem verileri (kod ve faz gözlemleri) merkezi işlemci birimine 1sn aralıklarla gönderilir.
- 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.
- Gezici GNSS alıcısının navigasyon çözümlemesiyle bulduğu konum bilgilerini NMEA formatında merkezi işlemci birimine gönderir. Gezici GNSS alıcısının konumuna en yakın referans istasyonu (veya en uygun referans istasyonu) kontrol merkezindeki yazılım aracılığı ile ana referans istasyonu olarak seçilir, belirli sayıda, gezici GNSS alıcısının yakınındaki diğer referans istasyonları ise yardımcı referans istasyonları olarak belirlenir. Trimble Pivot Platform yazılımında yardımcı referans istasyon sayısı altı olarak programa

girilmiştir. Böylece gezici GNSS alıcısının bulunduğu yere göre tüm ağın alt ağ kümesi belirlenmiş olur.

- 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 gezici GNSS alıcısına RTCM 3.1 mesaj formatında gönderilir.
- Gezici GNSS alıcısı yazılımına bağlı olarak gelen düzeltmeleri konumuna göre enterpole edebilir veya ağ bilgilerini kullanarak tekrar bir düzeltme oluşturarak konumunu yüksek doğrulukta hesaplar (Euler ve ark. (2001).

MAC konseptindeki düzeltme farkları alt ağı oluşturulan CORS istasyonlarının faz gözlem verileri kullanılarak oluşturulur. Bu gözlem verileri sadece ortak faz başlangıç belirsizliği için düzeltilmiştir. Bu ortak faz başlangıç belirsizliği uydu saati, geometrik uzaklık ve uydu saatini içerir. Dolayısıyla bu düzeltme mesajı üretici firmalardan ve kontrol merkezinde kullanılan yazılıma bağlı değildir.

MAC tekniğinde ağ düzeltmeleri bir şekilde oluşturulamaz ise gezici GNSS alıcısına 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. Bu yanlış bilinen durumlar 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 gezici GNSS alıcısına gönderildiği için gezici GNSS alıcısı sistematik etkilere ait hemen bir bilgi sahibi olamamaktadır ve bunları modellemek için belirli bir süre geçmek zorundadır.
3. Ağ hatalarına ilişkin model bazlı vektörler gezici GNSS alıcısına gönderilirse sonuçlar daha sağlıklı olabilir.
4. MAC tekniğinde ana referans istasyonu gezici GNSS alıcısına çok uzun mesafede bir noktada belirlenebilir.
5. Eğer ağda faz başlangıç belirsizliği çözülemezse gezici GNSS alıcısı hiçbir şekilde düzeltme alamaz.

6. MAC tekniğinde gezici GNSS alıcısının işlemcisinin çok güçlü olması gerekir çünkü diğer yöntemlerde merkezi işlemcinin yapmış olduğu hesaplar bu yöntemde gezici GNSS alıcısının içindeki yazılım tarafından yapılmaktadır.
7. Azaltılmış güncelleme oranları (iyonosfer ve troposfer hatalar için) konum doğruluğunu olumsuz etkilemektedir.

Bu yanlış bilinen durumların açıklaması aşağıda sırasıyla verilmiştir.

1. Gezici GNSS alıcısının konumuna göre ağdaki referans istasyonları çok uzakta kalabilir dolayısıyla uzaktaki referans istasyonlarının bulunduğu noktalardaki atmosferik şartlar ile gezici GNSS alıcısının bulunduğu noktadaki atmosferik şartlar birbirinden tamamen farklı olabilir. Bunu önlemek amacıyla merkezdeki yazılım en iyi yararlanabileceği referans istasyonlarını seçer.
2. Ağdaki MAC düzeltmeleri gezici GNSS alıcısına ulaştığı anda gezici 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 alıcılar için ortak bir yapıda değildir. Basit enterpolasyon uygulanarak gezici GNSS alıcısının konumunu bu düzeltmeleri kullanarak hesaplamaktadır. MAC tekniğinde faz başlangıç belirsizliğinin eşitlendiği gözlemlerin içerdiği referans istasyonlarında gözlemlenen gerçek atmosferik ve geometrik hatalar geziciye gönderilir. Dolayısıyla bu düzeltmeler modellenmemiş ham veri içerir ve gezici bütün ilişkili hata bilgilerini kullanarak gerçek çok bazlı çözüm hesaplar. Ağdaki hatalar geziciye 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) gezici en yakınındaki referans istasyonu otomatik olarak ana referans istasyonu seçilir. Dolayısıyla gezici ile aynı uyduları takip etme olanağı olur.
5. MAC tekniği ana referans istasyon noktasına ait tüm ham gözlemleri içermektedir dolayısıyla gezici klasik RTK uygulamasını kullanarak düzeltme alabilir.
6. FKP ve VRS tekniklerinde merkezi işlemci bütün referans istasyonlarındaki düzeltmeleri hesaplar. MAC tekniğinde gezici içindeki yazılım sadece bütün ağın alt ağ kümesinden oluşan (Trimble Pivot Platform ağ yazılımı için 1 adet ana referans istasyonu ve 6 adet yardımcı istasyon belirlenmektedir) düzeltmeleri kullandığı için veri boyutu işlemciyi

zorlayacak kadar büyük değildir. Sadece alıcının 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 2-10 sn sıklıkla, troposferik düzeltmelerin ise 10-30 sn de bir yayınlanması yeterlidir. Sonuç olarak atmosferik düzeltmelerin 2-10 sn arasında bir güncelleme hızı ile yayınlanması gezicinin konumunun hesaplanmasında önemli bir doğruluk kaybına neden olmayacaktır (Kahveci M, 2009).

MAC tekniğinde ana referans istasyonu (A) ve yardımcı referans istasyonu (B) arasında tekli farklar (i uydusu için) aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$\lambda * \Delta\varphi_{AB}^{i} = \Delta\rho_{AB}^{i} + c * \Delta\delta t_{AB} + \lambda * \Delta N_{AB}^{i} + \Delta T_{AB}^{i} - \Delta I_{AB}^{i} + \Delta Y_{AB}^{i} \quad (3.19)$$

Burada Δ, tekli farkları, ρ_{AB}^{i}, iki istasyon arasındaki geometrik mesafe farkını, δt_{AB}, uydu saat hatalarını, N_{AB}^{i}, frekans bağımlı faz başlangıç belirsizliğini, T_{AB}^{i}, I_{AB}^{i}ve Y_{AB}^{i}, troposferik, iyonosferik ve uydu yörünge hatalarını temsil etmektedir.

Anten faz merkezi ofseti ve değişimi merkezi sunucudaki yazılım tarafından geometrik mesafeye ilave edilebilir. MAC tekniği için tekli farklar düzeltmesi eşitlik 3.20'de verilmektedir.

$$V_{AB}^{i} = \rho_{AB}^{i} - \lambda * \varphi_{AB}^{i} + c * \delta t_{AB} + \lambda * N_{AB}^{i} - I_{AB}^{i} + T_{AB}^{i} + Y_{AB}^{i} \quad (3.20)$$

Troposferik ve iyonosferik etkiler için standart modeller kullanılabilir. Dolayısıyla eşitlik 3.20'de $I_{AB}^{i} + T_{AB}^{i}$ artık iyonosferik ve troposferik hataları temsil etmektedir. Toplam düzeltme miktarı tekli farklar sonucu oluşan (L1 ve L2 frekansları için) iyonosfer, troposfer ve uydu yörünge hatalarından oluşmaktadır. CORS istasyonlarının saat hataları epok bazlı pseudorange gözlem verilerinin dengelenmesiyle bulunur.

Ana referans istasyonu (A) ve yardımcı referans istasyon (B) arasındaki iyonosferik, troposferik ve uydu yörünge düzeltme farkları her bir sinyal (L1,L2) ve i uydusu için t zamanında aşağıdaki şekilde gösterilebilir (Lin, 2006);

$$L1_düzeltme_farkları_{AB}^{i} = \left(\frac{\Delta I_{AB}^{i}(t)}{f1^2}\right) - (\Delta T_{AB}^{i}(t) + \Delta Y_{AB}^{i}(t)) \quad (3.21)$$

$$L2_düzeltme_farkları_{AB}^{i} = \left(\frac{\Delta I_{AB}^{i}(t)}{f2^2}\right) - (\Delta T_{AB}^{i}(t) + \Delta Y_{AB}^{i}(t)) \quad (3.22)$$

3.3.4. Tekniklerin karşılaştırılması

Ağ bazlı RTK tekniklerinin birbirlerine göre bazı farkları bulunmaktadır. Bu farklar temel olarak gezici GNSS alıcısı ve merkezi işlemci yazılımının çalışma farklılıklarından kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.4'de tekniklerin birbirine göre olan bazı farklılıkları özetlenmiştir.

Çizelge 3.4. VRS, FKP ve MAC yöntemlerinin karşılaştırılması

Teknikler	**VRS**	**FKP**	**MAC**
Kullanılan veri hacmi	Düşük	Düşük	Yüksek
RTCM format uygunluğu	Ham veri yerine modellenen veri içerdiği için RTCM formatına uygun değildir.	Veriler fiziksel referans istasyonundan gelmesine rağmen FKP mesajı modellenen veri içerir dolasıyla RTCM formatına uygun değildir.	Gezici GNSS alıcısı fiziksel referans istasyonlarının ham verilerini direk kullanabildiği için RTCM formatına uygundur.
Merkezi yazılımın görevi	Sanal referans istasyonunu oluşturarak gezici GNSS alıcısı için düzeltmelerin hesabı.	Alan düzeltme parametrelerinin hesabı ve bunların gezici GNSS alıcısına aktarılması.	Ana ve yardımcı referans istasyonlarının (alt ağın) belirlenmesi ve ham gözlemlerin gezici GNSS alıcısına aktarılması
İletişim alt yapısı	Çift yönlü iletişim zorunludur.	Çift yönlü iletişimin olmadığı durumlarda tek yönlü iletişim alt yapısında kullanılabilir.	Çift yönlü iletişimin olmadığı durumlarda tek yönlü iletişim alt yapısında kullanılabilir.

Çizelge 3.4. Devamı

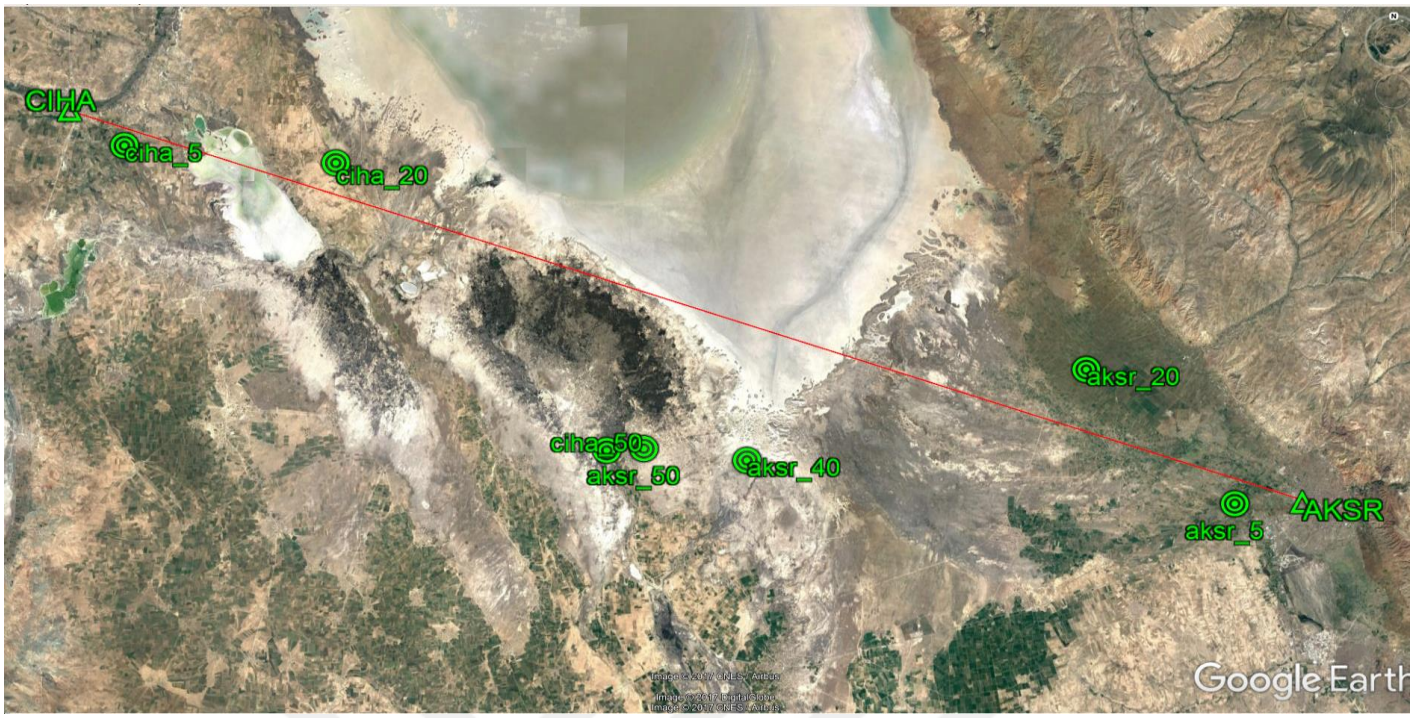
Eş zamanlı kullanıcı kısıtlaması	Her bir kullanıcının konumuna bağlı olarak düzeltmelerin hesabı merkezi yazılım tarafından yapıldığı için belirli bir sayının üstünde eş zamanlı kullanıcı sistemin kilitlenmesine neden olur.	Yoktur	Yoktur
Ağa kilitlenme süresi	Kısadır.	Uzundur.	Kısadır.
Kinematik uygulamalarda gezici GNSS alıcısı hareket kısıtlaması	Ağa ilk kilitlendikten sonra gezici GNSS alıcısı bulunduğu yerden yaklaşık 5km uzaklaşırsa tekrar ağa kilitlenmek zorundadır.	Ağa kilitlendiği ana CORS istasyonundan harekete geçip başka bir CORS istasyonuna yaklaşıncaya kadar tekrar ağa kilitlenmesine gerek yoktur.	Ağa kilitlendiği ana CORS istasyonundan harekete geçip başka bir CORS yaklaşıncaya kadar tekrar ağa kilitlenmesine gerek yoktur.
Gezici GNSS alıcısının görevi	Ana CORS istasyonu ve sanal referans istasyon arasında klasik RTK algoritmasını uygulamak.	FKP alan düzeltme parametrelerini kendi konumuna eklemek ve düzeltmelerin enterpolasyonu.	Ana ve yardımcı CORS istasyonlarının ham verilerini ve tekli farklarını kullanarak konumuna göre düzeltmeleri hesaplamak.

3.4. Arazi Çalışması

Tusaga-Aktif sisteminden yayınlanan ağ bazlı RTK tekniklerinin baz mesafesi ve ortalaması alınan epok sayısına göre doğruluk ve prezisyon analizlerini yapmak için Aksaray-Cihanbeyli güzergahı seçilmiştir. Bu güzergâhın seçilmesindeki nedenlerden en önemlisi AKSR ve CIHA CORS istasyonları arasındaki mesafenin yaklaşık 100 km olmasıdır. Güzergâh üzerinde yedi adet ölçüm noktası tespit edilmiştir. Ölçüm noktalarının yerleri belirlenirken ölçüm noktaları ile AKSR ve CIHA CORS istasyonları arasındaki mesafenin yaklaşık 5-20-40-50 km olmasına özen gösterilmiştir. Ölçüm noktalarının Tusaga-Aktif ağı içerisindeki yeri Şekil 3.8'de gösterilmektedir. Şekil 3.9'da AKSR, CIHA CORS istasyonlarının ve ölçüm noktalarının Google Earth görüntüsü gösterilmiştir.



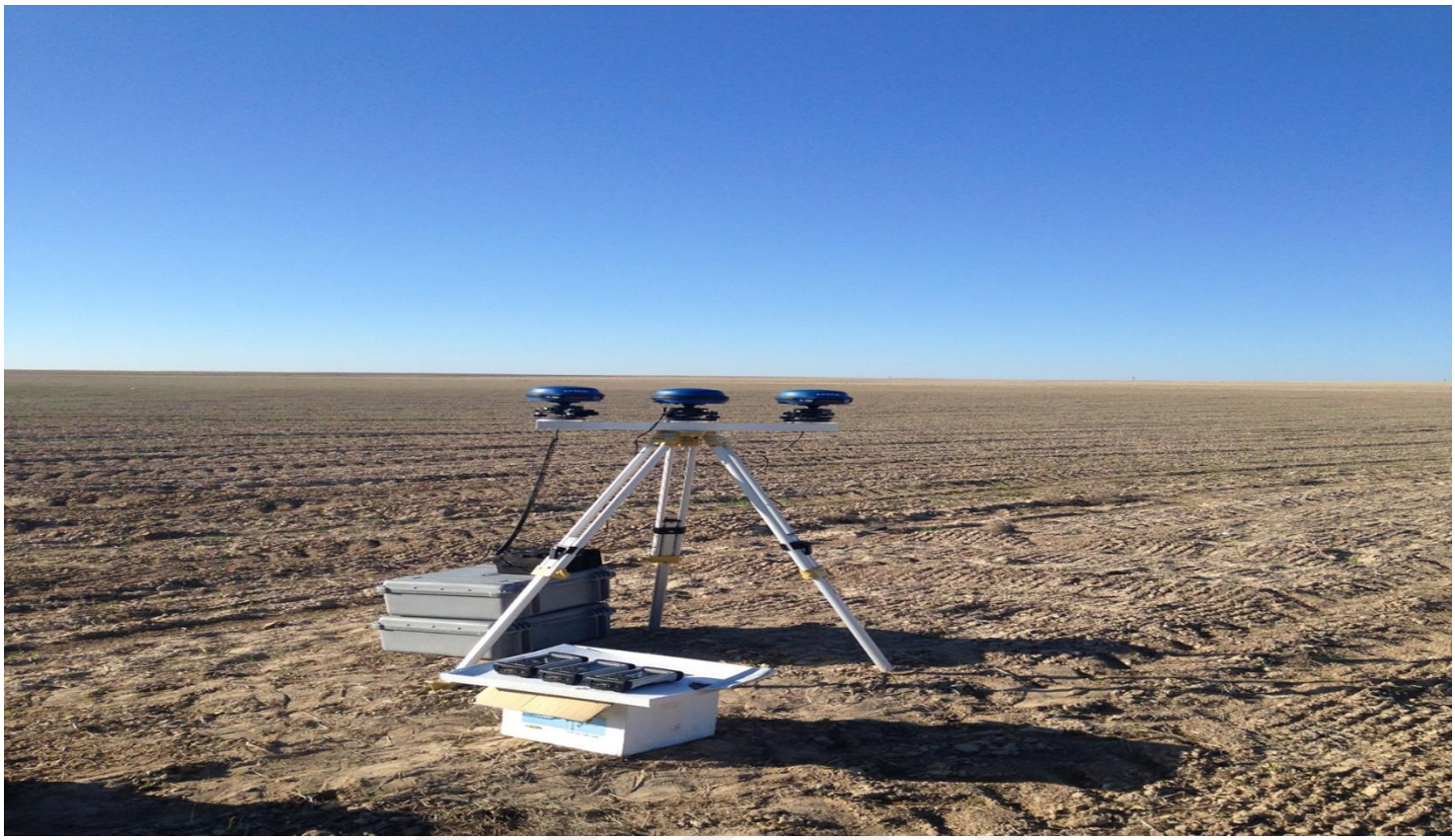
Şekil 3.8. AKSR-CIHA CORS istasyonları ve ölçüm noktalarının Tusaga-Aktif ağı içerisindeki konumu (https://www.tkgm.gov.tr/sites/default/files/icerik_ekleri/tusagay2_0.jpg) (son erişim 5 Haziran 2017)



Şekil 3.9. Ölçüm yapılan AKSR-CIHA CORS istasyonları arası ve ölçüm noktaları

Cihanbeyli-Aksaray hattının 40.km'sinde internet bağlantısı yetersiz olduğu için bu noktada ölçüm yapılamamıştır.

Ölçüm yapılan noktalarda VRS, FKP ve MAC ağ bazlı RTK tekniklerinden aynı şartlarda ve zaman diliminde veri alabilmek için özel bir aparat tasarlanmış. Aparat aracılığı ile üç adet GNSS alıcısı birbirinden 25 cm mesafede olacak şekilde üçayağın üzerinde ölçüm yapılan noktalarda düzeçlenmiştir. Ölçüm yapılan noktalardan birinde düzeçlenen GNSS alıcıları ve ölçüm aparatı Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Aksaray-Cihanbeyli hattı arasında 20.km'deki ölçüm noktasındaki ölçüm aparatı ve GNSS alıcıları

Ölçüm noktalarının yerleri belirlenirken sinyal yansımasına neden olabilecek objelerden uzakta olmasına özen gösterilmiştir. Ayrıca tüm ölçüm noktalarında aynı uydu geometrisini sağlayabilmek için 10 derecenin üstünde uydu sinyallerini engelleyecek herhangi bir obje olmamasına özen gösterilmiştir.

Ölçümlerde üç adet EPOCH50 Spectra Precision marka çift frekanslı jeodezik amaçlı GNSS alıcısı kullanılmıştır. Ölçüm noktalarına GNSS alıcıları düzeçlendikten sonra üç alıcı VRS, FKP ve MAC tekniklerinden veri alacak şekilde el ünitesi yardımıyla ayarlanmıştır. Her bir ölçüm noktasında VRS, FKP ve MAC tekniklerinden eş zamanlı olarak iki saniye aralıklı yaklaşık 3000 epok koordinat verisi alınmıştır. Her bir koordinat bileşeni için alınan epoklar 1-5-30-60-300 epoğun ortalaması bir ölçü olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Sınıflandırma sonucu, bir ölçüm noktası için 3000 adet 1 epok, 600 adet 5 epok, 50 adet 60 epok ve 10 adet 300 epoğun ortalamasını içeren ölçümler oluşmuştur. Ağ bazlı RTK ölçümleri tüm noktalarda sabah saatlerinde yapılmıştır (yaklaşık 07:30-10:30 arası). Yedi adet ölçüm noktasında her teknik için toplamda

yaklaşık 21000 epok koordinat verisi alınmıştır. Ağ bazlı RTK tekniklerinden veri alırken faz başlangıç belirsizliği çözülmüş epoktaki veriler kayıt edilmiştir.

Ölçüm noktalarında ağ bazlı RTK ölçümleri bittikten sonra GNSS alıcıları hareket ettirilmeden statik oturum ölçümüne geçilmiştir. Her bir GNSS alıcısı için yaklaşık altı saatlik statik oturum yapılmıştır. Statik oturum sonucu elde edilen koordinatlar gerçek değer olarak kabul edilmiştir. Statik oturum ve ağ bazlı RTK teknikleri için uydu yükseklik açısı 10 derece olarak ayarlanmıştır. Ölçüm noktalarındaki ağ bazlı RTK ve statik ölçümler 2017 yılının 22-31 Mart tarihleri arasında yapılmıştır.

3.5. Verilerin Değerlendirilmesi

Verilerin değerlendirilmesi bölümü arazide alınan verilerin kalite analizi, statik oturum verilerinin dengelenmesi, doğruluk-prezisyon değerlerinin elde edilmesi ve karesel ortalama hata ve standart sapma değerlerinin 2-sigma (%95) güven aralığına dönüştürülmesi bölümlerinden oluşmaktadır.

3.5.1. Verilerin kalite analizi

Arazide alınan ağ bazlı RTK tekniklerinin veri analizi ölçüm noktalarında tekniklerin kullandığı ortalama uydu sayısı, sinyal yansıma değerleri ve uyuşumsuz ölçüler olarak analiz edilmiştir. Çizelge 3.5'de VRS, FKP ve MAC ağ bazlı RTK tekniklerinin ölçüm noktalarında kullandığı ortalama uydu sayıları (GPS+GLONASS) verilmektedir.

Çizelge 3.5. Ölçüm noktalarında ağ bazlı RTK tekniklerinin kullandığı ortalama uydu sayısı ve ortalama PDOP değerleri

Noktalar	VRS	FKP	MAC	PDOP
1	14	14	14	1.5
2	13	14	14	1.6
3	15	16	14	1.4
4	14	15	14	1.5
5	14	14	14	1.5
6	14	14	14	1.5
7	14	14	13	1.6

Çizelge 3.5'deki verilerden görüldüğü gibi ağ bazlı RTK teknikleri hemen hemen aynı uydu sayılarını ölçüm boyunca kullanmışlardır. Uydu sayılarının bazı noktalarda teknikler arasında farklılık göstermesinin nedeni, bazı noktalarda tekniklerin faz başlangıç belirsizliğinin görünen tüm uydular için aynı oranda çözülememesinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 3.6'da ölçüm noktalarının çift frekanstaki kod sinyal yansıma değerleri verilmiştir. Bu değerlerin elde edilmesinde TEQC yazılımı kullanılmıştır. TEQC yazılımı rinex verilerinin kalite kontrolünde sıklıkla kullanılan bir programdır (https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/doc/UNAVCO_Teqc_Tutorial.pdf) (son erişim 10 Ağustos 2017). Sinyal yansıma değerleri elde edilirken statik oturum sonucundaki veriler kullanılmıştır.

Çizelge 3.6. Ölçüm noktalarındaki sinyal yansıma değerleri

Noktalar	MP1 rms (m)	MP2 rms (m)
1	0.33	0.27
2	0.25	0.26
3	0.31	0.28
4	0.33	0.29
5	0.27	0.27
6	0.29	0.28
7	0.29	0.27

Statik oturum epok verileri sadece GPS ölçülerini içerdiği için teqc yazılımından elde edilen MP1 ve MP2 değerleri GPS L1 ve L2 frekanslarındaki kod sinyal yansıma değerlerini temsil etmektedir. MP1 ve MP2 değerleri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanabilir (http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/teaching/geodesy/EAS_591T_2003_lab_6.htm) (son erişim 5 Eylül 2017).

$$f1 = 1.57542 * 10e - 9 \quad (3.23)$$

$$f2 = 1.22760 * 10e - 9 \quad (3.24)$$

$$alfa = (\frac{f1}{f2})\text{^}2 \quad (3.25)$$

$$MP1' = P1 - \left(\left(\left(\frac{2}{alfa-1}\right) + 1\right) * L1\right) + \left(\left(\frac{2}{alfa-1}\right) * L2\right) + (sabit\ belirsizlik) \quad (3.26)$$

$$MP2' = P2 - \left(\left(\frac{2*alfa}{alfa-1}\right) * L1\right) + \left(\left(\left(\frac{2*alfa}{alfa-1}\right) - 1\right) * L2\right) + (sabit\ belirsizlik) \quad (3.27)$$

$$MP1 = MP1' - MP1_ortalama \quad (3.28)$$

$$MP2 = MP2' - MP2_ortalama \quad (3.29)$$

$$MP1_{rms} = \sqrt{(\sum MP1^2)/(n-1)} \quad (3.30)$$

$$MP2_{rms} = \sqrt{(\sum MP2^2)/(n-1)} \quad (3.31)$$

P1, P2, L1, L2, 1. ve 2. frekanstaki kod ve faz ölçümleridir. f1, f2, iki temel frekans değerleridir. $MP1_ortalama$ ve $MP2_ortalama$ $MP1'$ ve $MP2'$ değerlerinin ortalamasıdır. $MP1_{rms}$ ve $MP2_{rms}$ MP1 ve MP2 değerlerinin karesel ortalama hatalarıdır. Sabit belirsizlik, faz başlangıç belirsizliğini içermektedir. Faz sıçraması olmaması durumunda belirli zamandaki epok sayılarında sabittir. n değeri uydu yayı boyunca alınan epok sayısıdır.

TEQC programı çift frekanstaki sinyal yansıma değerlerinin karesel ortalama hatalarını (rms) hesaplarken hareketli ortalama pencere aralığı (moving average window) tekniğini kullanmaktadır. Programın varsayılan değeri bu aralık için 50'dir. Bu değer rinex verilerinin örnekleme aralığına göre değiştirilebilmektedir (https://postal.unavco.org/pipermail/teqc/2016/002071.html) (son erişim 14 Ağustos 2017). Algoritma aşağıdaki şekilde açıklanabilir.

$MP1_ortalama$ ve $MP2_ortalama$ değerleri hareketli ortalama pencere aralığı 50 değeri, 51 epokluk veri için şu şekilde hesaplanır.

$$MP1_1' = MP1_1'$$

$$MP1_2' = (MP1_1' + MP1_2')/2$$

$$MP1_3' = (MP1_1' + MP1_2' + MP1_3')/3$$

…

$$MP1_50' = (MP1_1' + MP1_2' + MP1_3' + \cdots + MP1_{50}')/50$$

$$MP1_51' = (MP1_2' + MP1_3' + MP1_4' + \cdots + MP1_{51}')/50 \quad (3.32)$$

$$MP1_{ortalama} = ortalama(MP1_i') \quad (3.33)$$

Aynı eşitlikler $MP2$ için de geçerlidir. Hareketli ortalama pencere aralığı değeri hesaplanırken veri örnekleme aralığına göre aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$pencere_{aralığı} = 900/örnekleme_aralığı_saniye \quad (3.34)$$

15 saniye aralığındaki bir rinex verisi için $pencere_{aralığı}$ 60 değerine eşittir.

Çizelge 3.6'daki sinyal yansıma değerlerinden tüm ölçüm noktalarının yaklaşık aynı sinyal yansıma değerine sahip olduğu anlaşılmaktadır. IGS istasyonlarında beklenen değer 0.3 metrenin altıdır. Sinyal yansıma değerleri GNSS alıcısının teknoloji ile doğrudan ilgilidir. Bazı GNSS alıcıları kendi içerisinde sinyal yansıma giderici algoritma (Gelişmiş Sinyal Yansıma Giderici) kullanmaktadır. Dolayısıyla sinyal yansıma değerleri sadece GNSS alıcısının bulunduğu yere bağlı değil ayrıca kullanılan GNSS alıcılarına da bağlıdır.

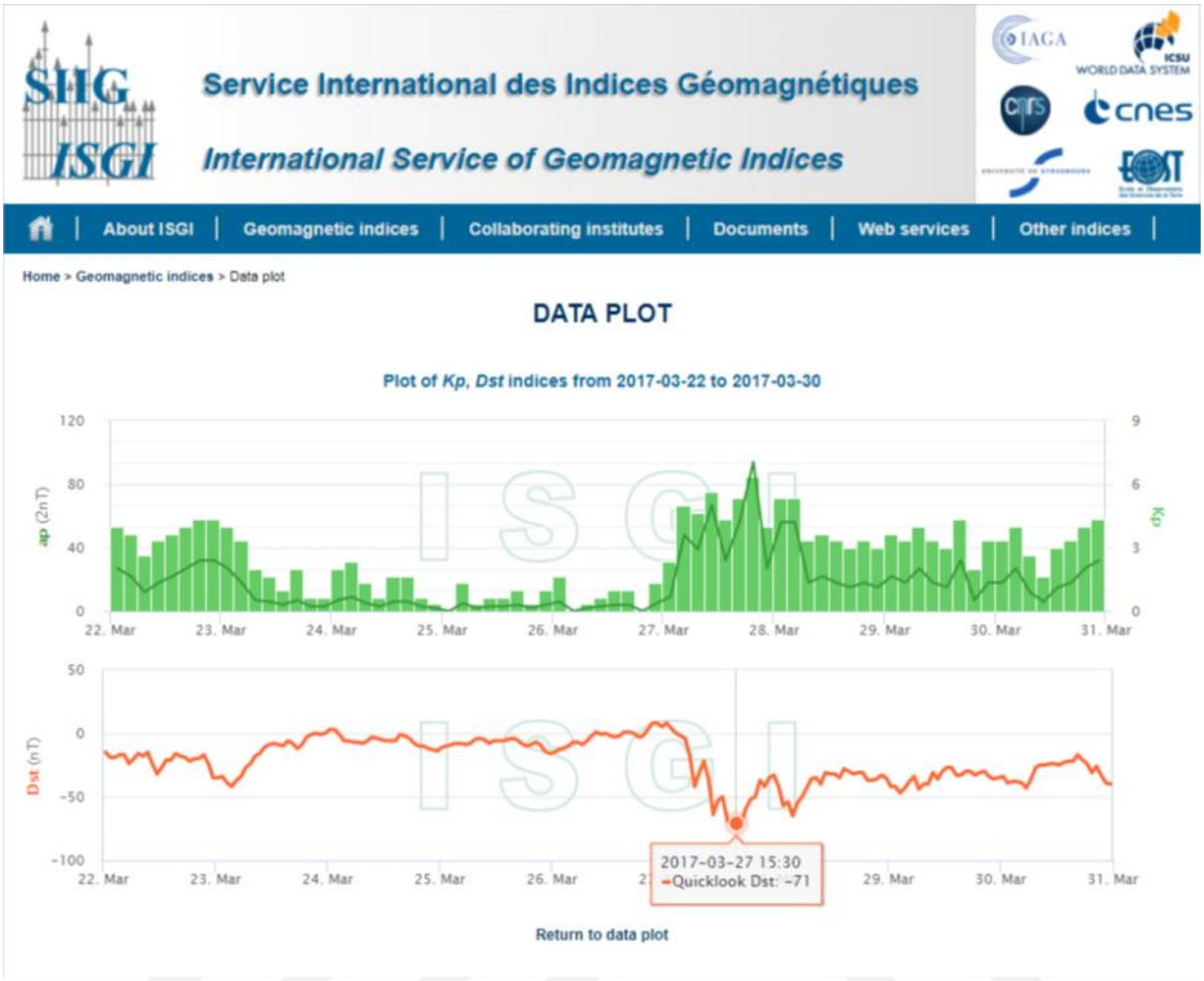
Ağ bazlı RTK tekniklerinden alınan yukarı-sağa değer ve elipsoit yüksekliğini içeren koordinat bileşenleri için uyuşumsuz ölçü testi yapılmıştır. Her bir koordinat bileşeni için 10 cm'den büyük değerler ölçü gurubundan atılmıştır. Tüm ölçü gurubu içerisinde doğruluk analizi sonucunda sadece iki adet ölçü uyuşumsuz olarak belirlenmiştir. Prezisyon analizinde uyuşumsuz ölçü çıkmamıştır.

Ölçüm yapılan yedi adet noktada iyonosferik ve jeomanyetik aktivite analiz edilmiştir. İyonosferik ve jeomanyetik aktivitelerin analizinde kp ve dst indeksleri kullanılmıştır.

The Disturbance Storm Time Index (Dst) indeksi, küresel simetrik ekvatoral elektrojetin yoğunluğunu ölçen yakın ekvatoral jeomanyetik gözlem merkezlerinden elde edilen manyetik aktivitenin bir indeksidir. Nano tesla (nt) birimi ile ifade edilir. -100nt birimine eşit veya daha küçük indeks verileri jeomanyetik fırtınanın olduğunun göstergesidir (Zhang ve ark, 2003).

Kp indeksi de jeomanyetik aktivitelerin izlenmesinde kullanılan bir indekstir. 0 ile 9 arasında değerler alır. 5 değerine eşit veya büyük olan kp indis değerleri jeomanyetik fırtınanın olduğunun göstergesidir (https://ccmc.gsfc.nasa.gov. /RoR_WWW/SWREDI/contestpresentations/2017/CCMCPaper_ShreeyaKhurana_Final .pdf) (son erişim 10 Kasım 2017).

Şekil 3.11, ölçüm tarihlerindeki dst ve kp indeks değerlerini göstermektedir. En yüksek kp ve dst değerleri 27 Mart tarihinde saat 15:30'da (GMT) gözlenmiştir. Lokal saat göz önüne alındığına bu tarihte bu saat içerisinde ölçüm yapılmamıştır.



Şekil 3.11. Ölçüm yapılan tarihlerdeki kp ve dst değerleri (http://isgi.unistra.fr/data_plot.php) (son erişim 5 Aralık 2017)

3.5.2. Statik oturum verilerinin dengelenmesi

Ölçüm noktalarında ağ bazlı RTK tekniklerinin doğruluk analizlerini yapabilmek amacıyla GNSS alıcılarının bulunduğu noktaların doğru kabul edilen koordinatları statik oturum sonucu bulunmuştur. Statik oturum her noktada yaklaşık altı saat sürmüştür. Statik oturum verileri GAMIT/GLOBK 10.61 akademik yazılımı (Herring ve ark., 2015) kullanılarak dengelenmiştir. Dengeleme stratejisi Çizelge 3.7'de açıklanmıştır.

Çizelge 3.7. Statik verilerin değerlendirme parametreleri

Datum:	ITRF96 referans epoğu statik datum
Dengeleme:	Tek noktaya dayalı zorlamasız dengeleme
Uydu Yükseklik Açısı:	10 derece
Uydu Yüksekliğine Göre Veri Ağırlıklandırma:	Yapıldı
Epok Aralığı	30 saniye
GNSS Sistemi:	GPS
Yörünge bilgileri:	IGS duyarlı efemeris
İyonosfer veri kombinasyonu:	L1, L2 lineer kombinasyon
Faz sıçraması giderilmesi:	İteratif şekilde kod ve faz ölçümleri kullanılarak
Faz başlangıç belirsizliği çözümü:	Geniş ve dar aralık kombinasyonu kullanarak
GNSS ve uydu anten faz merkezi değişim dosyası:	IGS08.atx
Troposfer Modeli:	GPT2 modeli
Troposfer Gradyenleri:	Hesaplandı
Kod ölçümlerinin göreli hataları:	Güncel DCB (differantial code bias) dosyası kullanıldı

GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak dengelenen koordinatlar yer merkezli yer sabit (ECEF) koordinatlardır. Yer merkezli yer sabit koordinatlar ağ bazlı RTK tekniklerinden alınan ulusal koordinatlara dönüştürülmüştür. Bu koordinatların datumu ITRF96 2005 referans epoğu, yatay koordinatların bağlı olduğu projeksiyon gauss-kruger 3 derece dilim genişliğinde 33. derece dilim orta meridyenine ait sağa-yukarı değerlerdir. Yükseklik bilgisi GRS80 elipsoidine aittir. Dönüşüm için Matlab programlama dilinde yazılmış olan dönüşüm programları kullanılmıştır (https://www.konya.edu.tr/personel/sermetogutcu).

Tek noktaya dayalı serbest dengelemede kullanılan ve koordinatları sabit kabul edilen CORS istasyonları AKSR ve CIHA istasyonlarıdır. AKSR-CIHA hattındaki ölçüm noktaları için AKSR diğer hattaki ölçüm noktaları için CIHA CORS istasyonu sabit istasyon olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla sabit ile ölçüm noktaları arası en uzun baz mesafesi 50 km ile sınırlı kalmıştır.

GAMIT/GLOBK yazılımdan elde edilen koordinatların güvenilirliği için faz başlangıç belirsizliği çözüm yüzdeleri kontrol edilmiştir. Geniş ve dar aralık kombinasyonları için bu değerler tüm ölçüm noktalarında %90'nun üzerindedir.

Dengeleme işleminde koordinatları sabit kabul edilen AKSR ve CIHA CORS istasyonlarının ITRF96 2005 referans epoğundaki koordinatları Harita Genel Komutanlığı tarafından yaklaşık yedi yıllık koordinat zaman serisi analizi sonucu (yerleri değişmeyen istasyonlar için) GAMIT/GLOBK yazılımı ile 2016 yılında tekrar güncellenmiştir (Özdemir, 2016). CORS istasyonlarının koordinatları deprem, tektonik olmayan deformasyonlar, post-sismik deformasyonlar, istasyon yer değişikleri gibi nedenlerden dolayı koordinatlar güncelliğini yitirmektedir. Dolayısıyla Tusaga-Aktif ağında bulunan CORS istasyonlarının koordinatları belirli aralıklarla güncellenmektedir. Koordinatlar güncellendikten sonra merkezi sunucuya yüklü olan yazılıma bu koordinatlar girilmektedir. Statik oturum değerlendirme işleminde herhangi bir sistematik hataya neden olmamak için AKSR ve CIHA istasyonlarının güncel koordinatları kullanılmıştır. Tusaga-Aktif istasyonlarının ulusal datumdaki (ITRF96 2005 referans epoğu) koordinatları belirlenirken şu strateji izlenmiştir;

Tüm istasyonların 24 saatlik rinex verileri (belirli yıl aralığında) kinematik datumda (IGS08) değerlendirilmiştir. İstasyonların zaman seri analizin yapılarak uyuşumsuz ölçü içeren günlük çözümler değerlendirmeden atılmıştır. Uyuşumsuz günlük ölçümler atıldıktan sonra her bir istasyonun IGS08 datumunda üç boyutlu tektonik hızları ve her zaman dilimine ait koordinatları (ECEF) belirlenmiştir. CORS istasyonlarının referans çerçevesi belirleme işleminde gevşek kısıtlı günlük GAMIT dengelemeleri GLOBK modülü kullanılarak Kalman filtresi yardımıyla birleştirilmiştir. Referans çerçevesi belirleme işleminde Türkiye'nin etrafında bulunan on adet IGS istasyonu kullanılmıştır. Değerlendirme sonucunda istasyonların IGS08 2005 referans epoğunda koordinatları belirlenmiştir. ITRF dönüşümü yardımıyla IGS08 referans epoğundan ITRF96 referans epoğuna üç boyutlu koordinat ve hız dönüşümü yapılmıştır (Özdemir, 2016).

3.5.3. Doğruluk-prezisyon değerlerinin elde edilmesi

Ölçüm yapılan yedi adet noktada doğruluk için varyans değerleri eşitlik 3.35, 3.36, 3.37 ve 3.38'de hesaplanan yukarı-sağa-elipsoit yükseklik rms değerlerinin karesidir. Prezisyon için varyans değeri aşağıdaki eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Prezisyon, literatürde standart sapma değerinin hesabı ile bulunduğu için tezin bazı yerlerinde prezisyon değeri yerine standart sapma değeri ifadesi kullanılmıştır. Ampirik olarak bulunması hedeflenen doğruluk ve prezisyon modelleri için varyans değerleri kullanılacağı için karesel ortalama hata (rms) yerine varyans değerleri hesaplanmıştır. Modellerin oluşturulmasının detaylı açıklaması ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinin oluşturulması başlığı altında verilmiştir.

$$sağa_{rms} = \sqrt{\sum(sağa_{hata}^2)/n} \tag{3.35}$$

$$yukarı_{rms} = \sqrt{\sum(yukarı_{hata}^2)/n} \tag{3.36}$$

$$yatay_{rms} = \sqrt{sağa_{rms}^2 + yukarı_{rms}^2} \tag{3.37}$$

$$elipsoitel_{rms} = \sqrt{\sum(elipsoidal_{hata}^2)/n} \tag{3.38}$$

$$sağa_{ortalama} = \sum(sağa)/n \tag{3.39}$$

$$yukarı_{ortalama} = \sum(yukarı)/n \tag{3.40}$$

$$elipsoitel_{ortalama} = \sum(elipsoidal)/n \tag{3.41}$$

$$sağa_{standart_sapma} = \sum(sağa_{fark}^2)/(n-1) \tag{3.42}$$

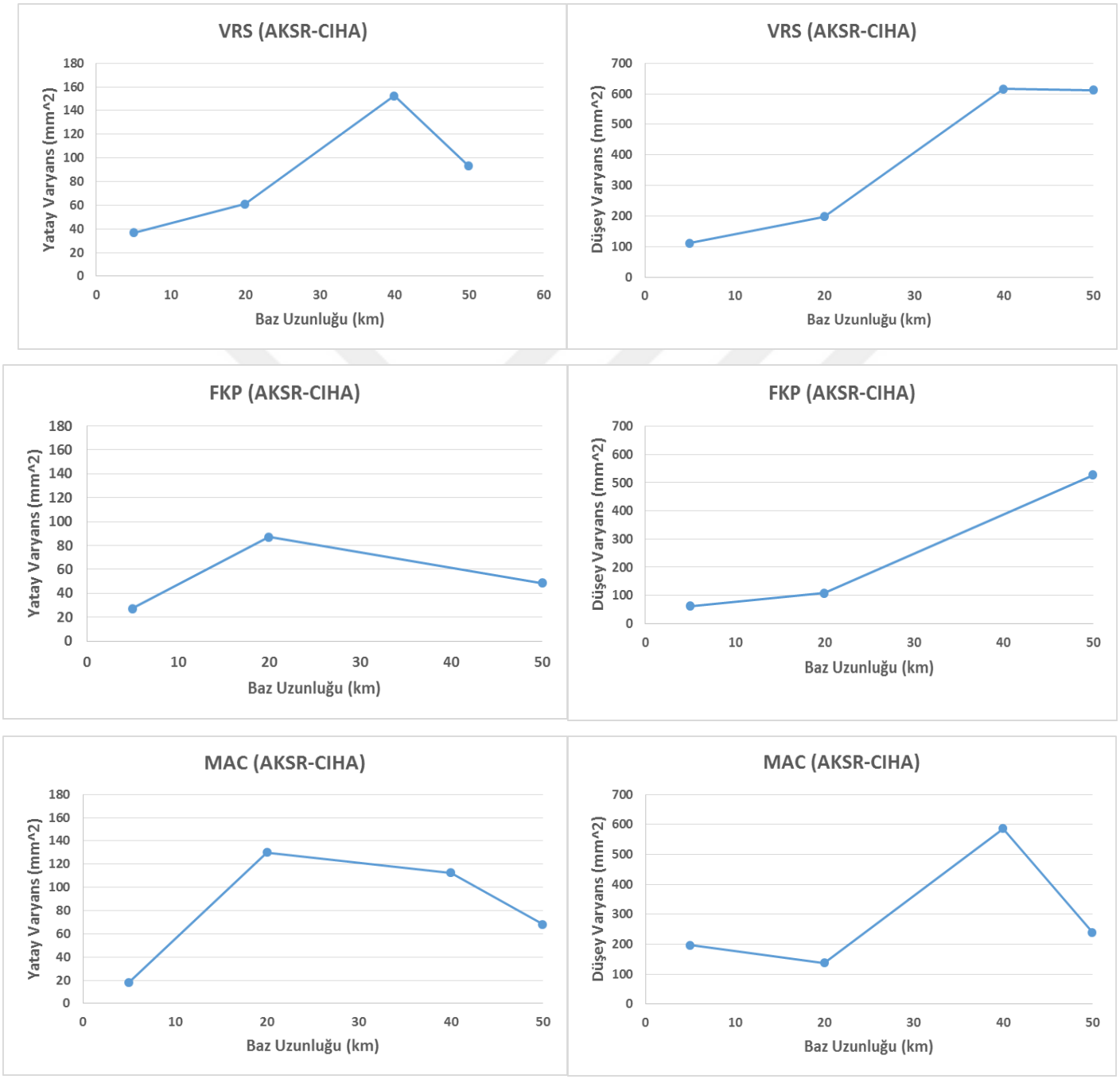
$$yukarı_{standart_sapma} = \sum(yukarı_{fark}^2)/(n-1) \tag{3.43}$$

$$yatay_{standart_{sapma}} = \sqrt{sağa_{standart_{sapma}}^2 + yukarı_{standart_{sapma}}^2} \tag{3.44}$$

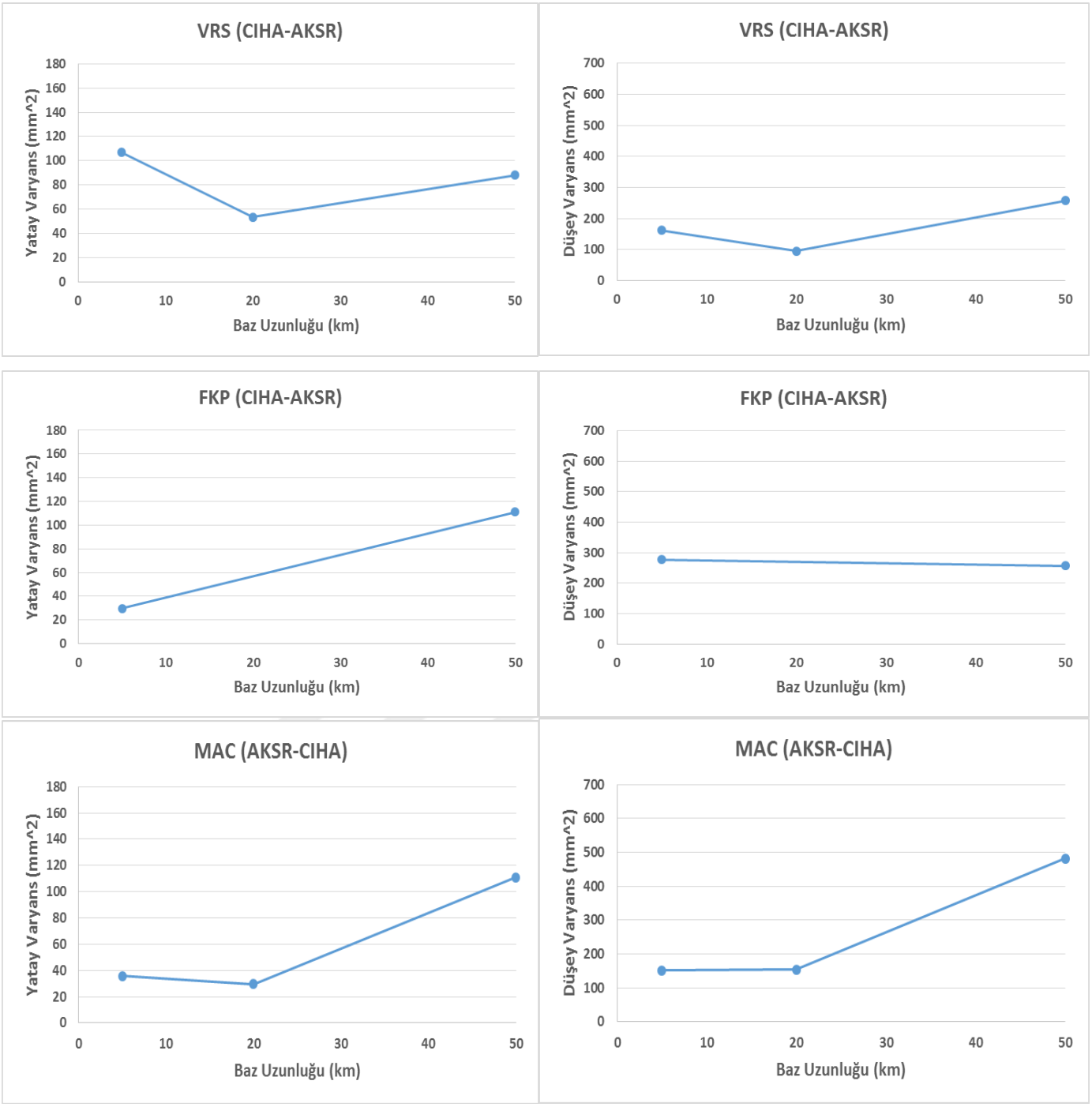
$$elipsoidal_{standart_sapma} = \sqrt{\sum(elipsoidal_{fark}^2)/n} \tag{3.45}$$

Burada, $sağa_{hata}$, $yukarı_{hata} ve\ elipsoitel_hata$ ağ bazlı RTK tekniklerinden alınan koordinat bileşenleri ile bu koordinat bileşenlerinin statik oturum sonucu bulunan gerçek koordinatları arasındaki farktır. $sağa_{ortalama}$, $yukarı_{ortalama}$ ve $elipsoidal_{ortalama}$, ağ bazlı RTK tekniklerinden alınan sağa-yukarı-elipsoit yükseklik değerlerinin uyuşumsuz ölçüler atıldıktan sonraki ortalama değerleridir. $sağa_{fark}^2$, $yukarı_{fark}^2$ ve $elipsoitel_{fark}^2$, sağa-yukarı-elipsoidal değerlerin bu değerlerin ortalamalarından olan farklarının karelerinin toplamıdır, n ölçü sayısıdır.

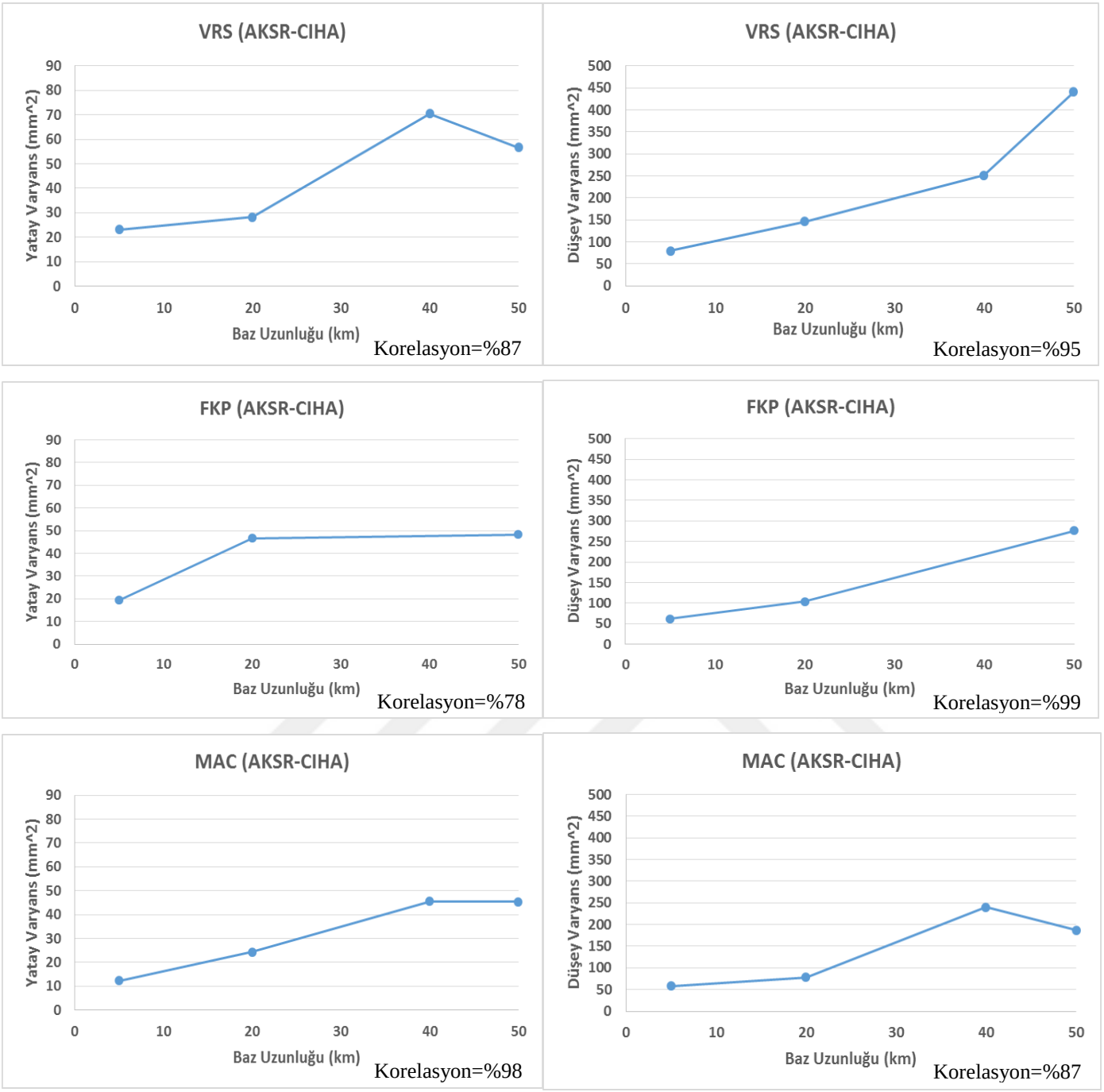
Aşağıdaki şekillerde tüm ölçüm noktalarında her bir teknik için hesaplanan doğruluk-prezisyon varyans değerleri 1-sigma (%68) aralığında verilmiştir. Sonuçlara iki saniye aralıklı alınan tüm epoklar dahil edilmiştir.



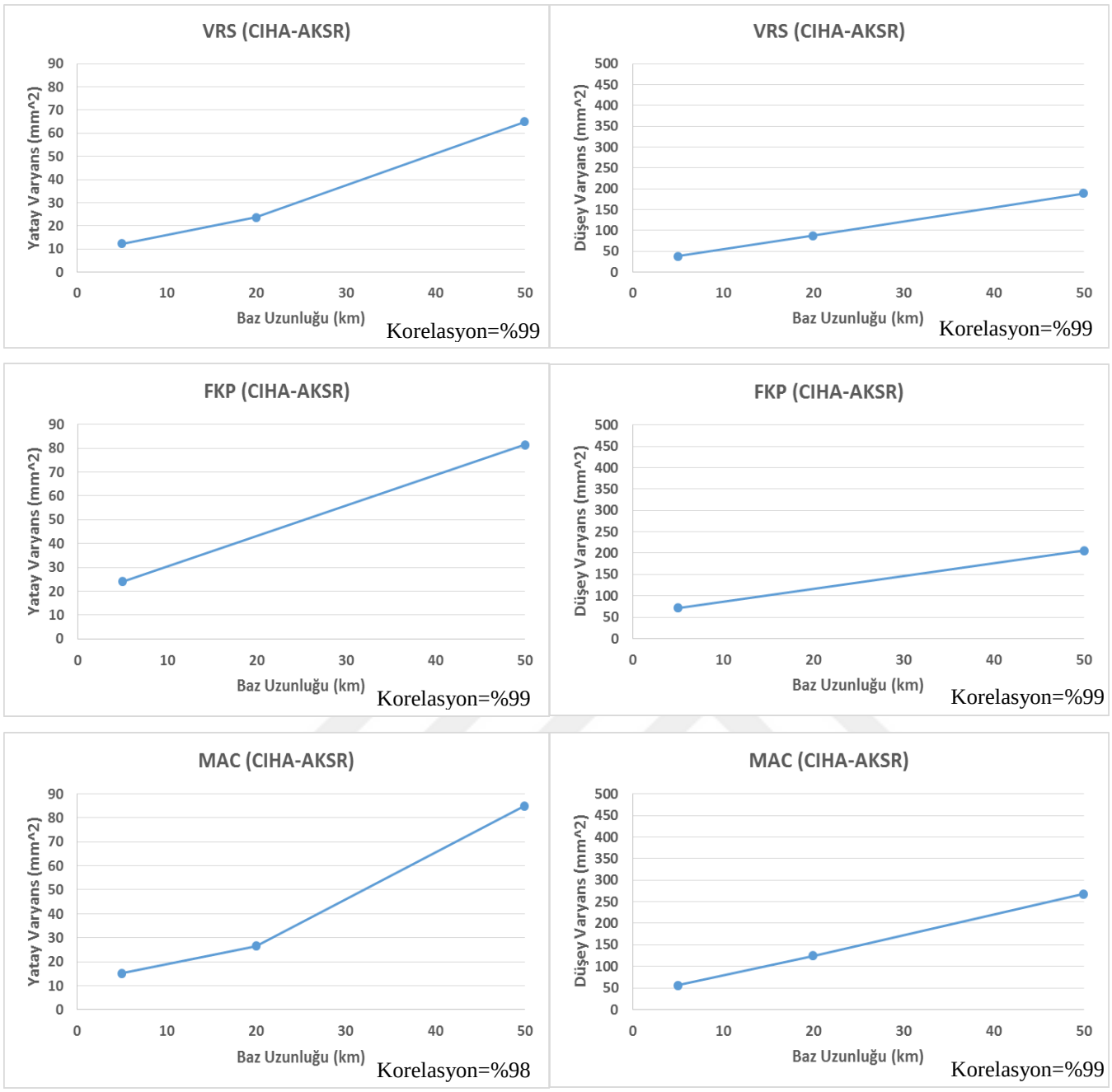
Şekil 3.12. AKSR-CIHA hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki doğruluk varyans değerleri



Şekil 3.13. CIHA-AKSR hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki doğruluk varyans değerleri



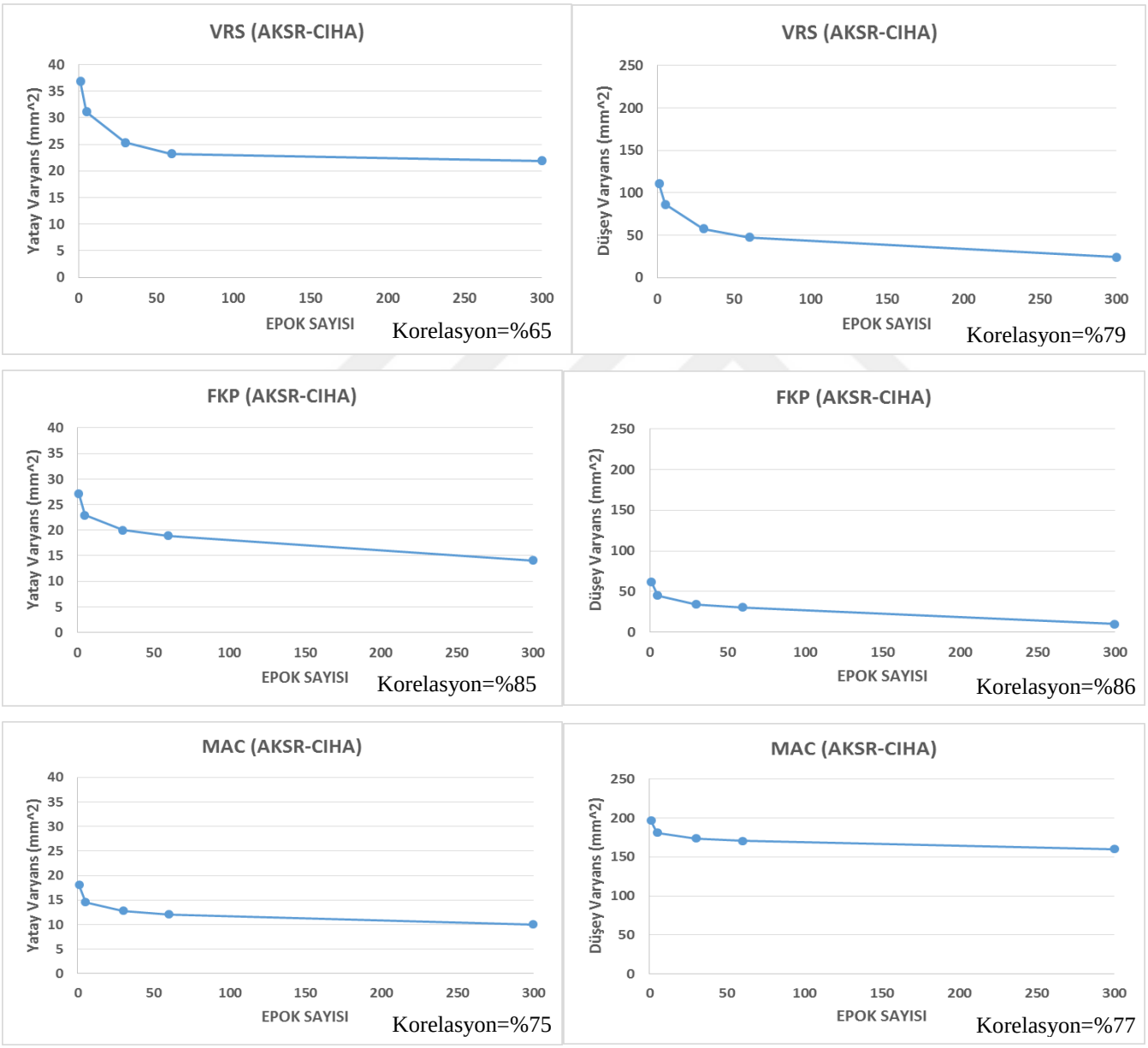
Şekil 3.14. AKSR-CIHA hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki prezisyon varyans değerleri



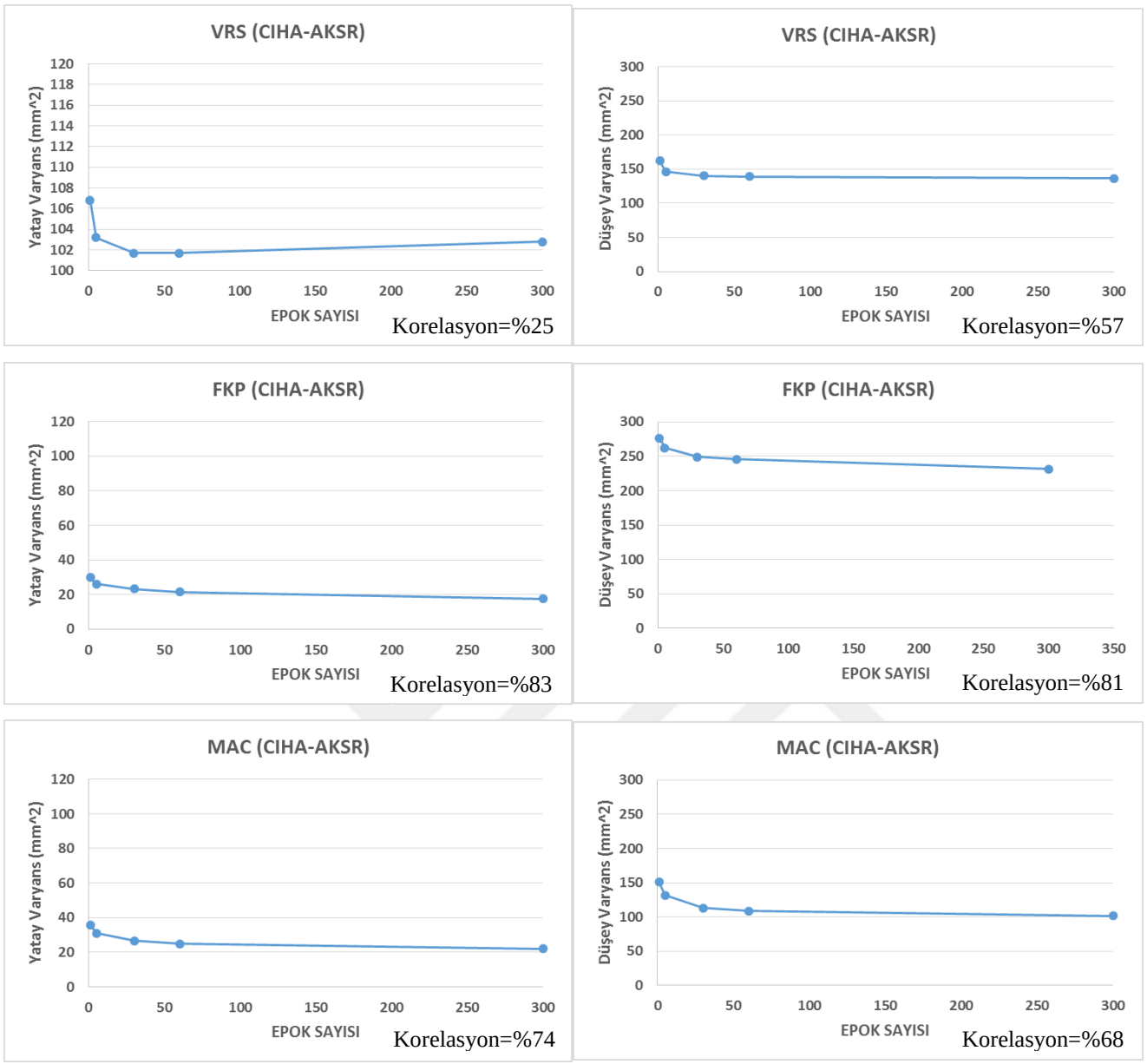
Şekil 3.15. CIHA-AKSR hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki prezisyon varyans değerleri

Yukarıdaki varyans grafiklerinde görüldüğü gibi doğruluk ile baz mesafesi arasında (50 km'ye kadar) bir trend bulunamamıştır (tüm ölçüm noktaları ve ağ bazlı RTK teknikleri göz önüne alındığında). Prezisyon ile baz mesafesi arasında belirli bir trend tüm ağ bazlı RTK teknikleri ve ölçüm noktaları için ortaya çıkmıştır. Yani baz mesafesi artıkça prezisyon düşmektedir.

Şekil 3.16 ve 3.17'de 5 km'lik baz mesafesi için ortalaması alınan epok sayısı ile doğruluk varyans değerleri (1-sigma) arasındaki ilişki gösterilmektedir.



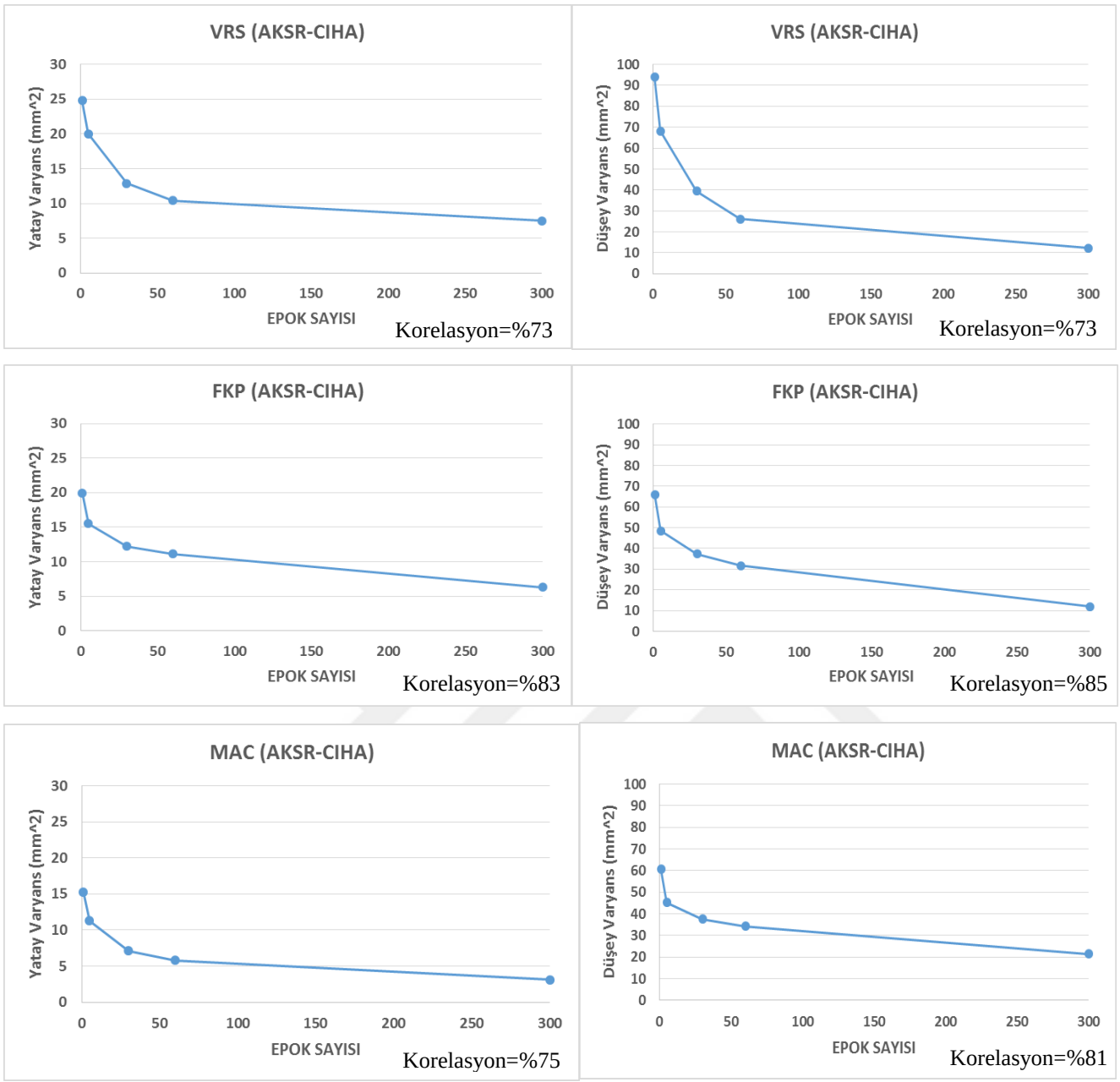
Şekil 3.16. AKSR-CIHA hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki doğruluk varyans değeri ile epok sayısı arasındaki ilişki



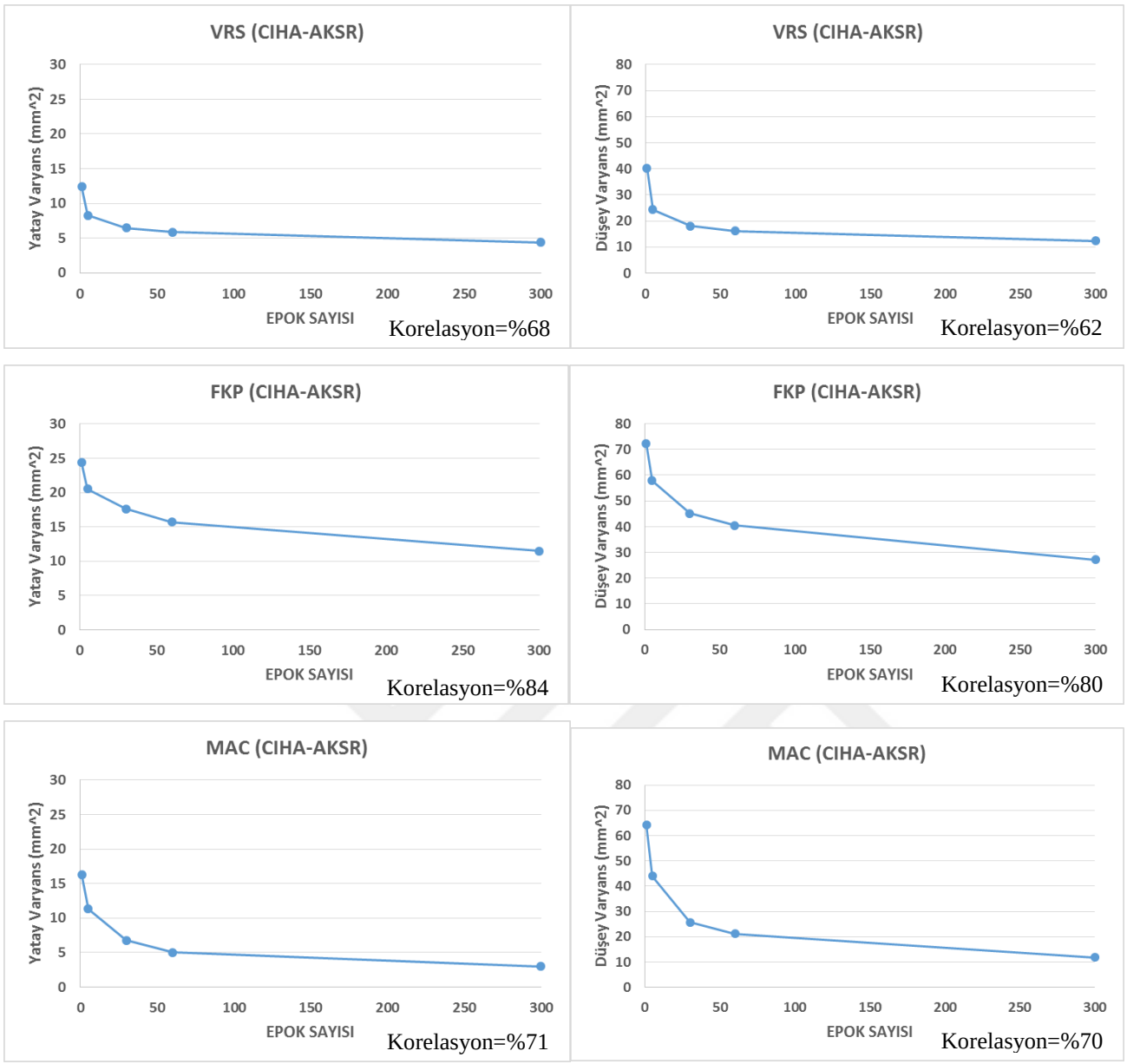
Şekil 3.17. CIHA-AKSR hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki doğruluk varyans değeri ile epok sayısı arasındaki ilişki

Şekil 3.16 ve 3.17'de görüldüğü gibi epok sayısı ile doğruluk varyans değerleri arasında ağ bazlı RTK teknikleri için bir trend bulunmuştur. Yani epok sayısı artıkça doğruluk belirli bir oranda artmaktadır.

Prezisyon ve epok sayısı için de benzer bir trend bulunmaktadır. Şekil 3.18 ve 3.19'da 5 km'lik baz mesafesi için epok sayısı ile prezisyon varyans değerleri (1-sigma) arasındaki ilişki gösterilmektedir.

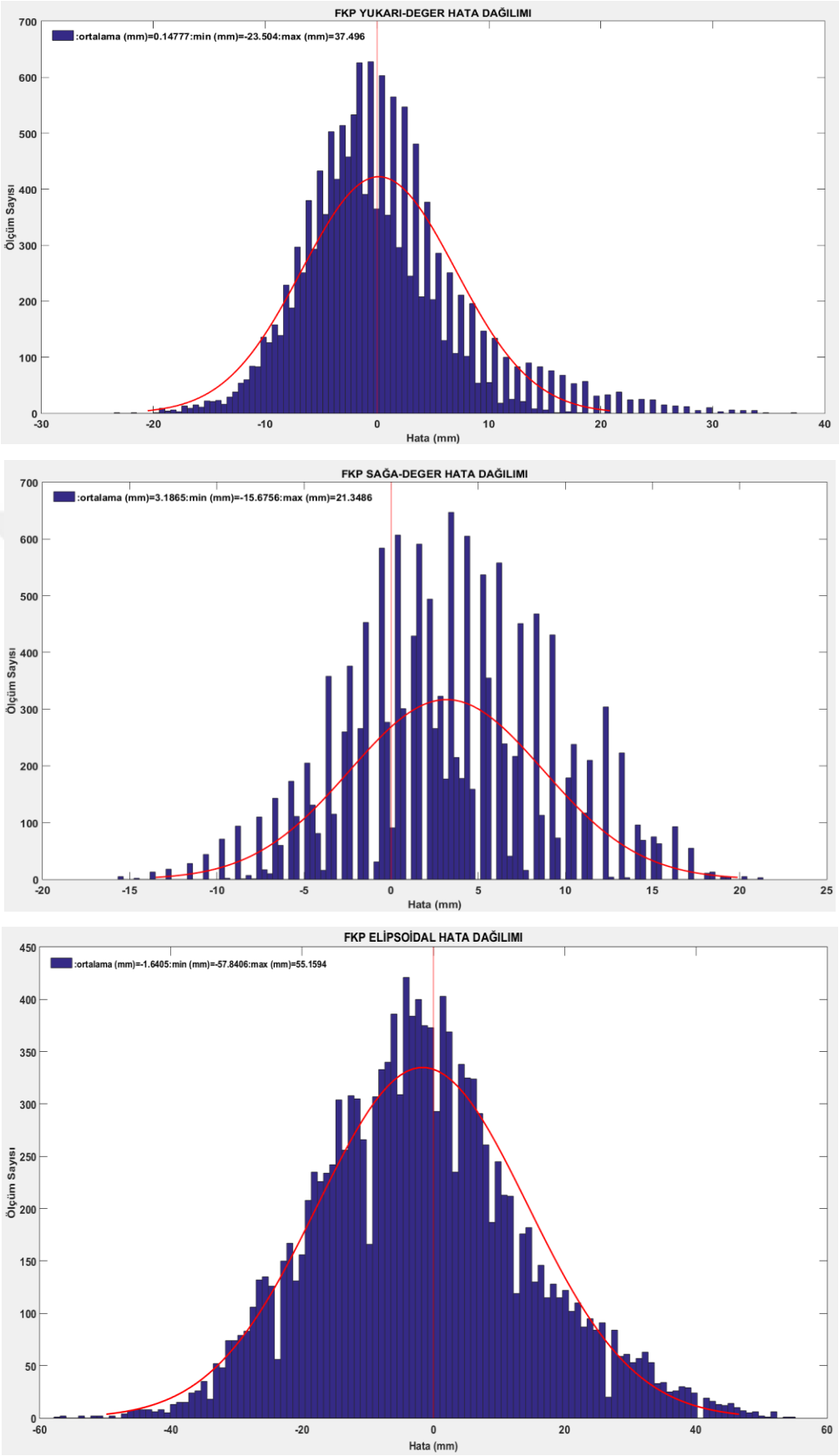


Şekil 3.18. AKSR-CIHA hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki prezisyon varyans değeri ile epok sayısı arasındaki ilişki

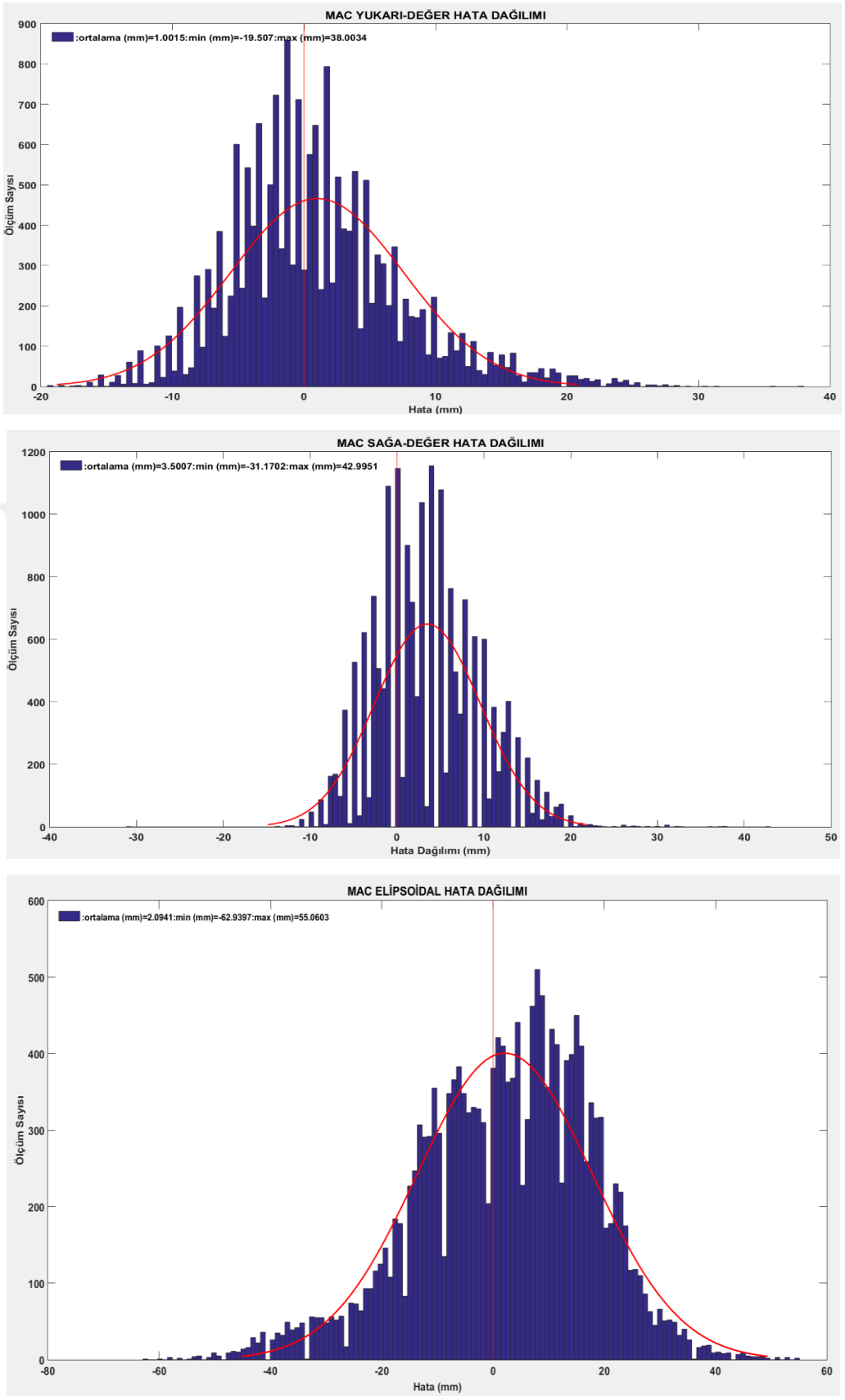


Şekil 3.19. CIHA-AKSR hattı arasındaki ölçüm noktalarındaki prezisyon varyans değeri ile epok sayısı arasındaki ilişki

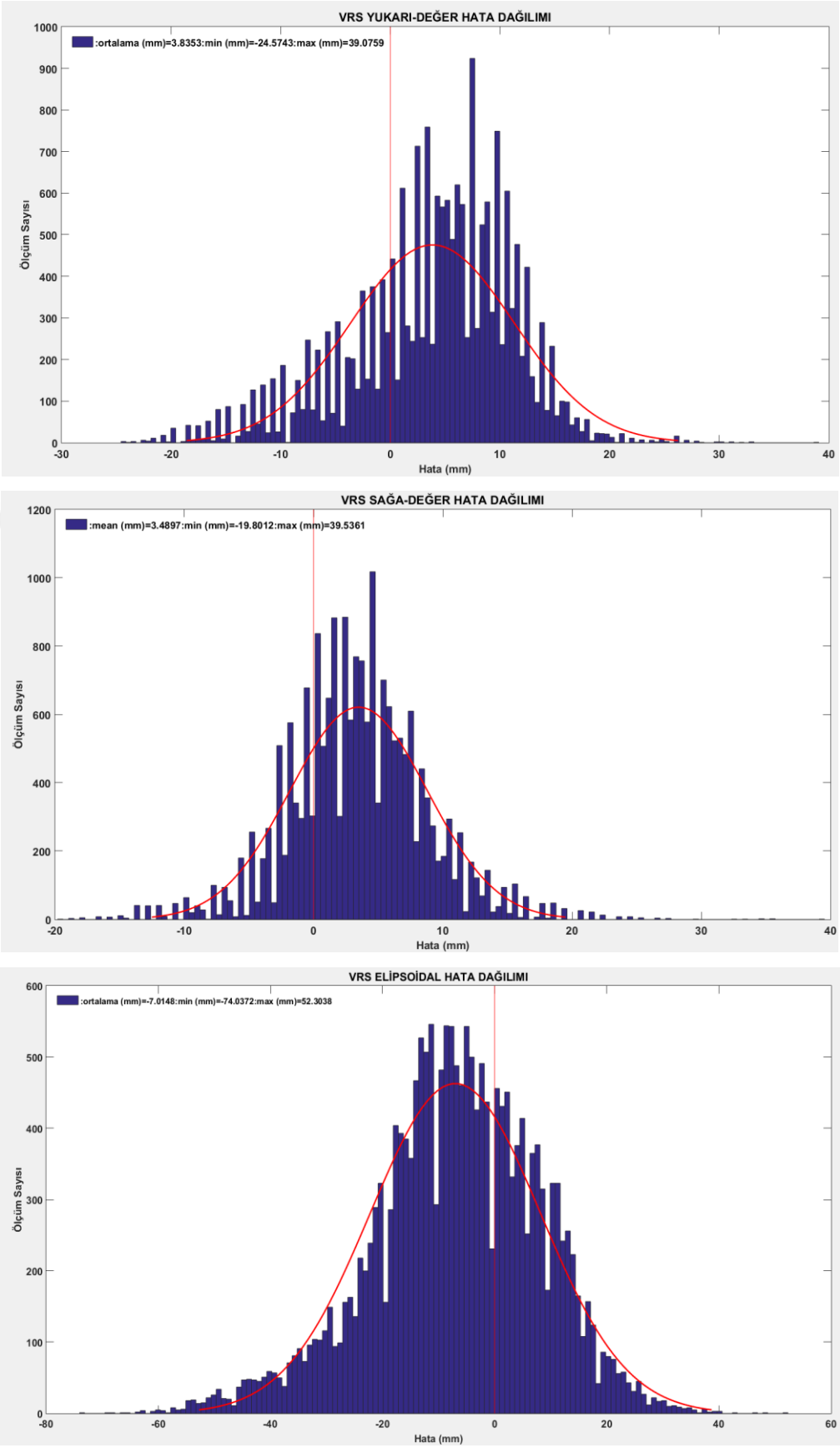
Tüm ölçüm noktalarında her bir teknik için hesaplanan hatalar (gerçek değer – ağ bazlı RTK teknikleri, 1 epok için) her bir teknik için birleştirilmiştir. Birleştirilen hata değerlerinin 1-sigma (%68) aralığında yukarı-sağa değer ve elipsoit yüksekliği için hata dağılımları aşağıdaki şekillerde her bir teknik için verilmiştir.



Şekil 3.20. FKP tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hata dağılımı



Şekil 3.21. MAC tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hata dağılımı



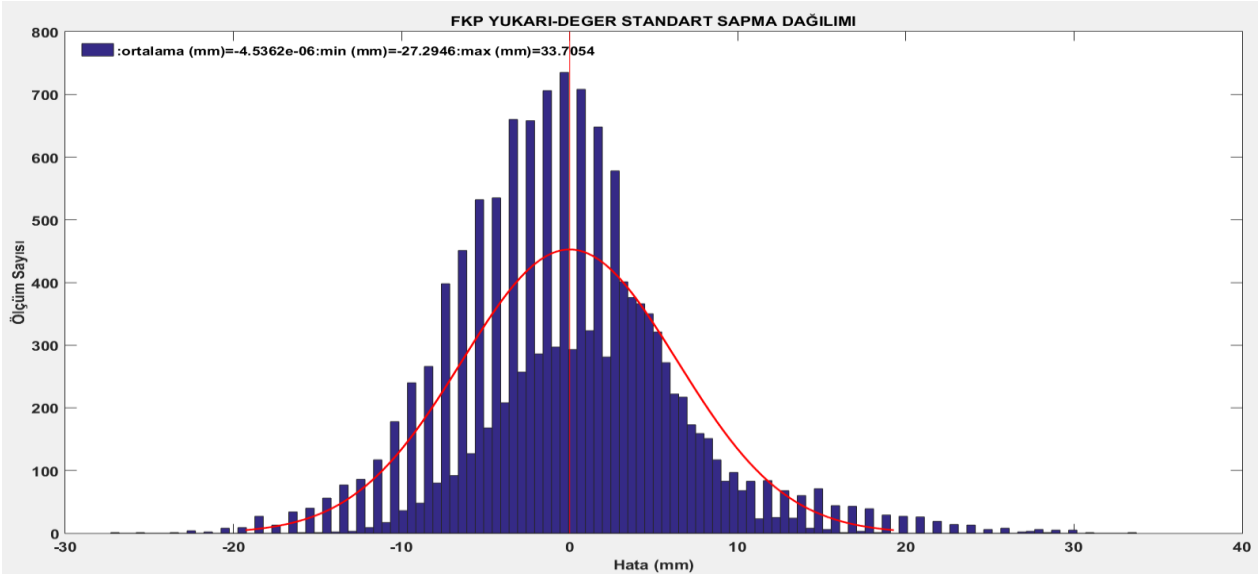
Şekil 3.22. VRS tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hata dağılımı

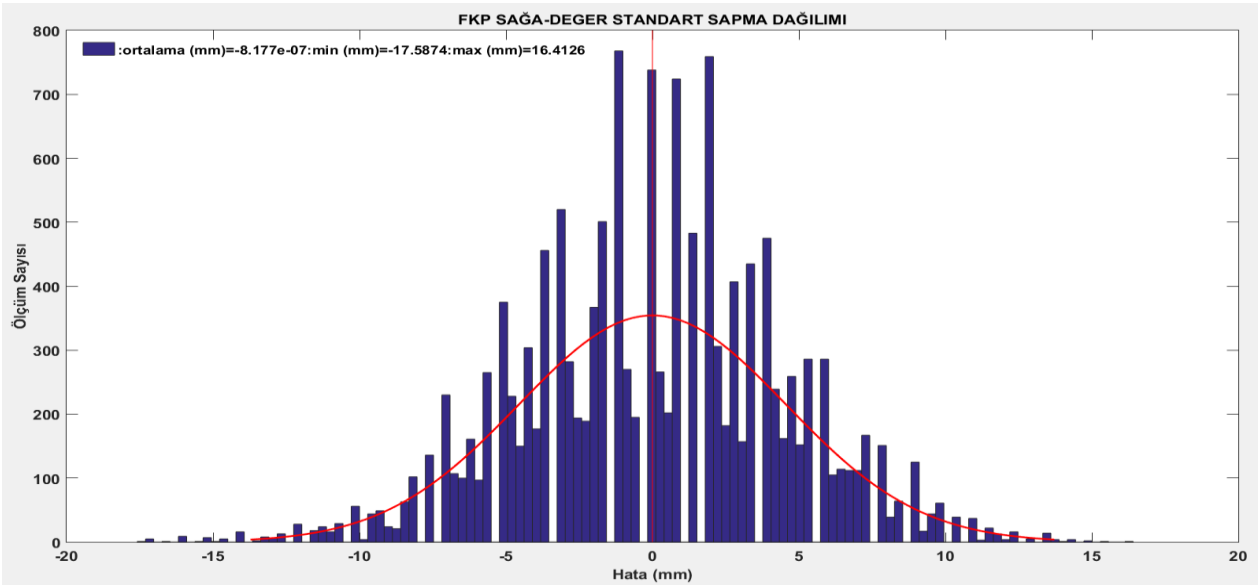
Ölçüm noktalarında standart sapma değerlerinin hesabında kullanılan farklar (1 epok için) her bir teknik için birleştirilerek bu farkların 1-sigma (%68) aralığında yukarı-sağa değer ve elipsoit yüksekliği için hata dağılımları aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

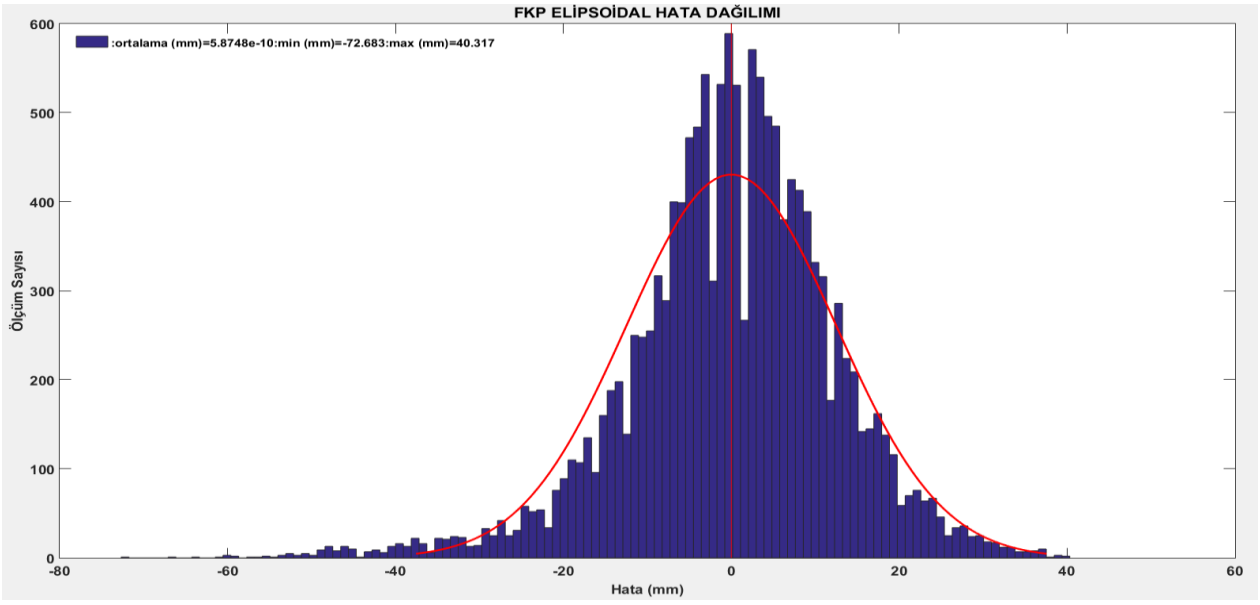
Çizelge 3.8'de her bir teknik ve koordinat bileşeni için hata değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.8. İstatiksel hata değerleri (mm)

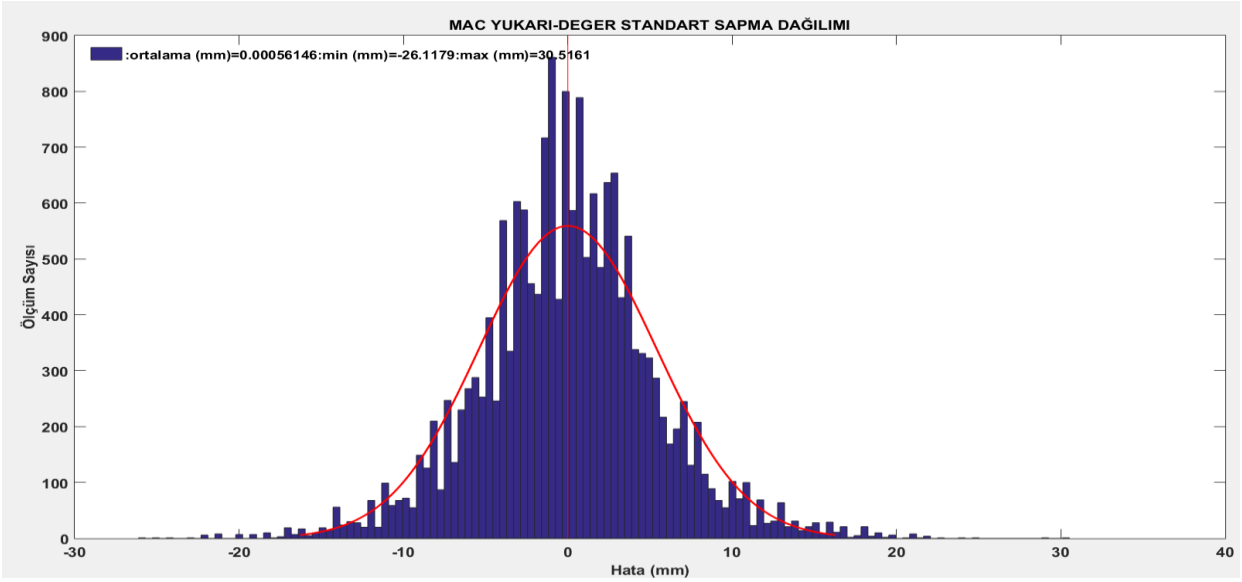
	YUKARI DEĞER			**SAĞA DEĞER**			**ELİPSOİT YÜKSEKLİĞİ**		
	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum
FKP	0.1	-23.5	37.5	3.2	-15.7	21.3	1.6	-57.8	55.2
MAC	1.0	-19.5	38.0	3.5	-31.2	43.0	2.1	-62.9	55.1
VRS	3.8	-24.6	39.1	3.5	-19.8	39.5	7.0	-74.0	52.3

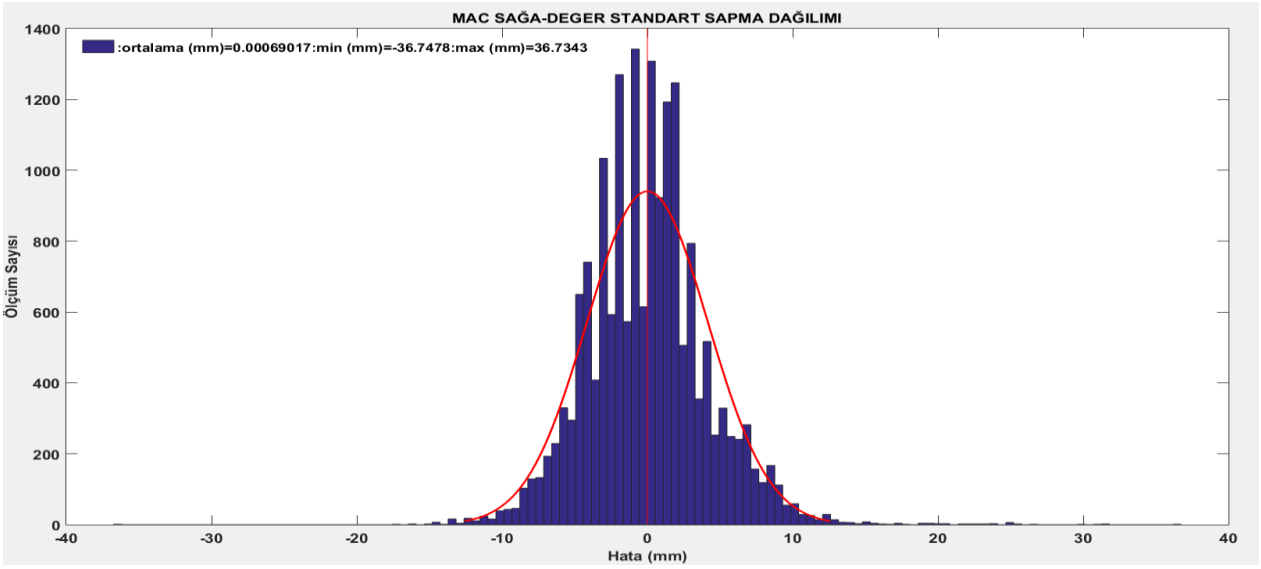


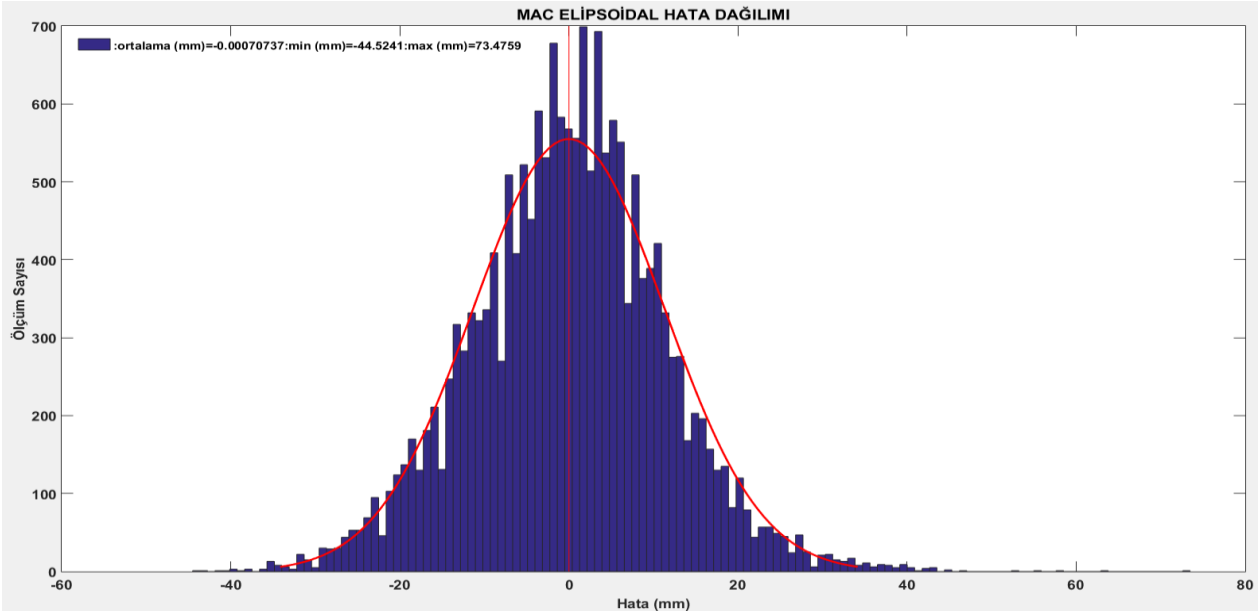




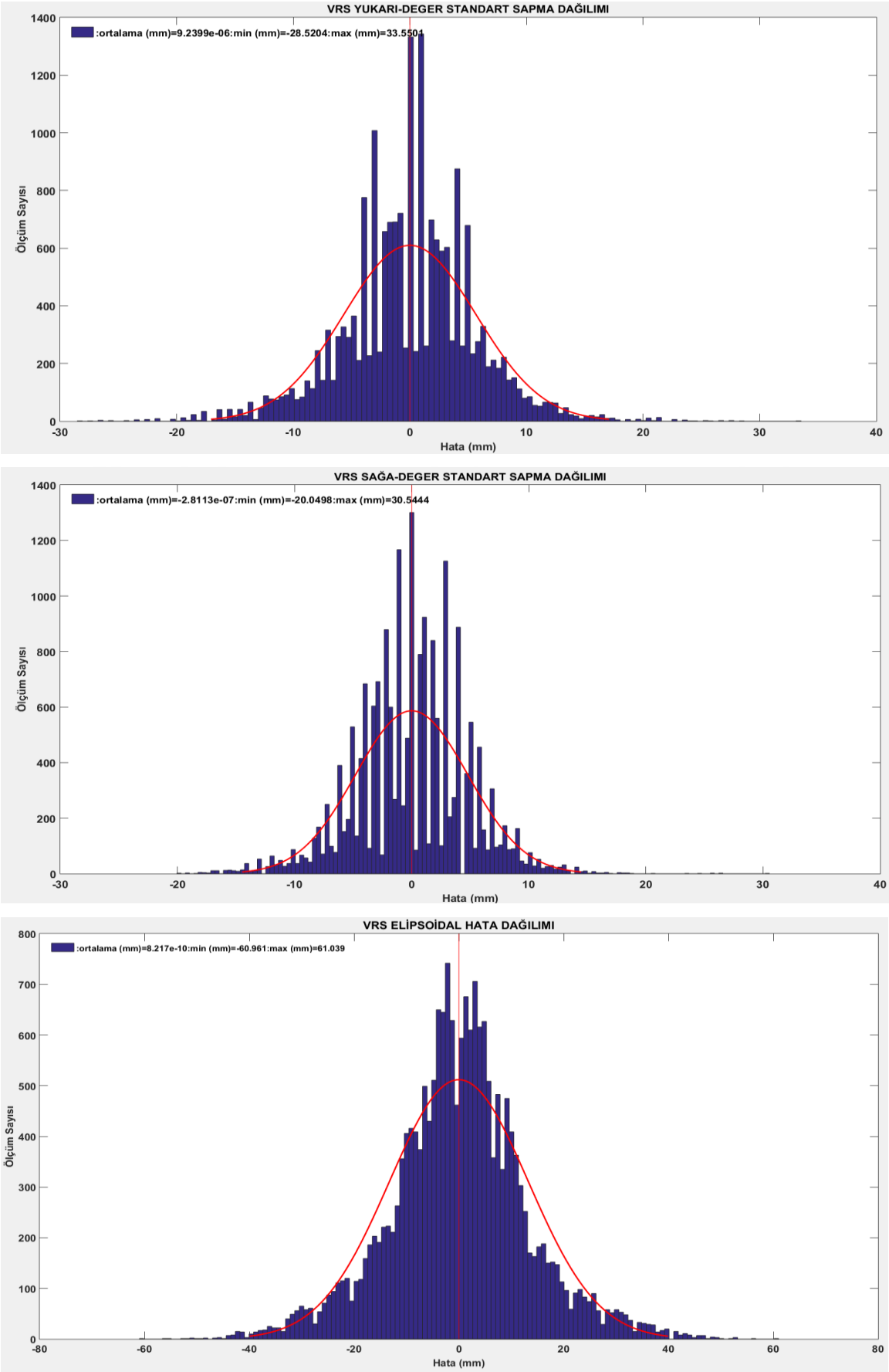
Şekil 3.23. FKP tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki standart sapma dağılımı







Şekil 3.24. MAC tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki standart sapma dağılımı



Şekil 3.25. VRS tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki standart sapma dağılımı

Çizelge 3.9'da her bir teknik ve koordinat bileşeni için standart sapma değerlerinin minimum, maksimum ve ortalama değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.9. İstatiksel standart sapma değerleri (mm)

	YUKARI DEĞER			SAĞA DEĞER			ELİPSOİT YÜKSEKLİĞİ		
	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum	Ortalama	Minimum	Maksimum
FKP	0.0	-27.3	33.7	0.0	-17.6	16.4	0.0	-72.7	40.3
MAC	0.0	-26.1	30.5	0.0	-36.7	36.7	0.0	-44.5	78.5
VRS	0.0	-28.5	33.5	0.0	-20.0	30.5	0.0	-61.0	61.0

Teorik olarak hataların normal dağılımda olması durumunda ortalama değerlerinin sıfır çıkması gerekir. Pratikte hataların ortalaması sıfır gelmeyebilir. İstatistikler olarak hataların dağılımlarının normal dağılımlı olup olmadığı skewness değerinin hesabından bulunabilir. Aşağıdaki eşitlikte skewness değerinin nasıl hesaplandığı verilmektedir (Seier, 1998).

$$\text{skewness} = \frac{\left(\frac{1}{n}\right)*\Sigma_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^3}{\sigma^3} \tag{3.46}$$

Burada, n, ölçü sayısı, $x_i - \bar{x}$, ölçüler ve ölçülerin ortalamaları, σ ise varyans değerini temsil etmektedir.

Çizelge 3.10'de doğruluk analizinde kullanılan hataların her bir teknik için hesaplanan skewness değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.10. Tekniklerin skewness değerleri

	YUKARI DEĞER	SAĞA DEĞER	ELİPSOİT YÜKSEKLİĞİ
FKP	0.7	0.1	0.3
MAC	0.6	0.3	-0.3
VRS	-0.7	0.1	-0.4

Genellikle, ölçüm sayısı 300'ün üzerinde olduğu durumlarda skewness değeri ikiden küçükse dağılım normal dağılımlı olarak kabul edilebilir (Kim, 2013). Çizelge 3.10'daki değerlere göre tüm teknikler için hataların dağılımları normal dağılım aralığına girmektedir.

3.5.4. Karesel ortalama hata ve standart sapma değerlerinin 2-sigma (%95) güven aralığına dönüştürülmesi

Elde edilen karesel ortalama hata ve standart sapma değerleri 1-sigma güven aralığından (%68) 2-sigma (%95) güven aralığına aşağıdaki şekilde dönüştürülmüştür.

Eliptik hata dağılım olasılığı iki boyutta aşağıdaki eşitlik aracılığı ile verilmiştir (Chin, 1987).

$$P_E(k) = 1 - e^{-\frac{k^2}{2}} \tag{3.47}$$

Burada P_E, olasılık yüzdesi k, sigma katsayısını vermektedir. Çizelge 3.11'de P_E olasılık yüzdesi ve sigma katsayısı arasındaki ilişki iki boyutlu koordinat bileşenlerinin oluşturduğu elips (sağa ve yukarı değer bileşenlerinin oluşturduğu elips örneği gibi) için verilmiştir.

Çizelge 3.11. Ölçümlerin elips içeresindeki olasılık yüzdesi ve k sigma değeri arasındaki ilişki (Chin, 1987)

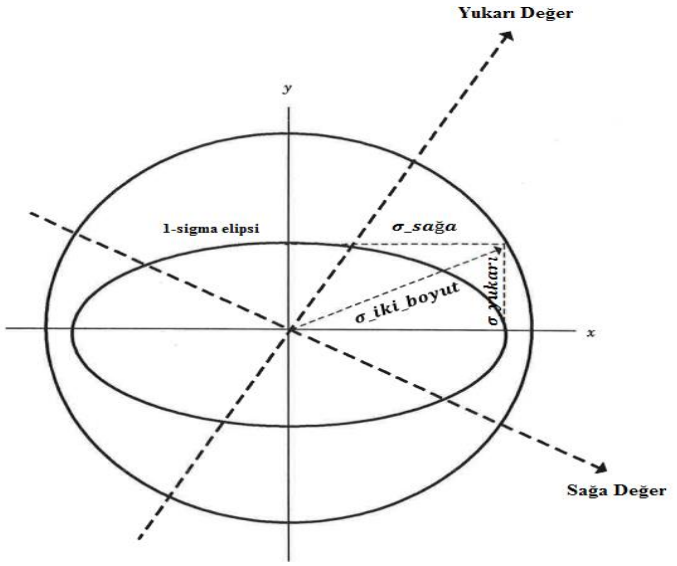
P_E olasılık yüzdesi	K (sigma)
25	0.7585
39.347	1.0 (1-sigma)
50	1.17741
75	1.665
86.466	2.0 (2-sigma)
90	2.146
95	2.44775
98.8	3.0 (3-sigma)
99	3.035

Çizelge 3.11'de P_E olasılık yüzdesi ve 1-2-3 sigma k katsayısı arasındaki ilişki tek boyutun oluşturduğu daire (elipsoidal yükseklik bileşenin oluşturduğu daire örneği gibi) için verilmiştir.

Çizelge 3.12. Ölçümlerin daire içeresindeki olasılık yüzdesi ve k sigma değeri arasındaki ilişki (Chin, 1987)

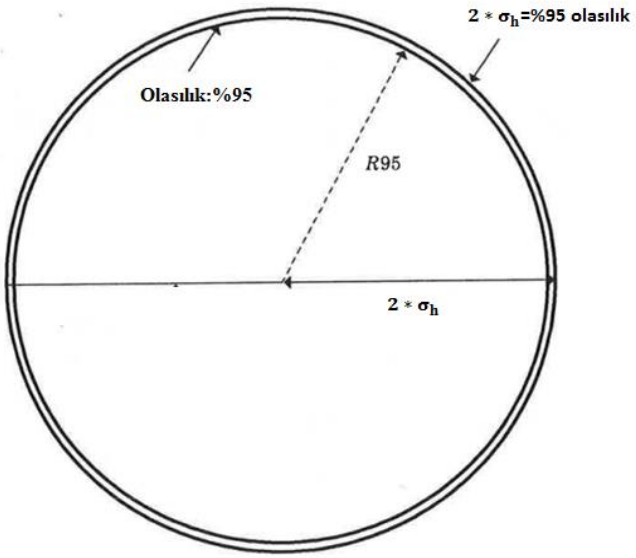
P_E olasılık yüzdesi	K (sigma)
68.27	1.0 (1-sigma)
95.45	2.0 (2-sigma)
99.73	3.0 (3-sigma)

Şekil 3.26'da iki boyutta eliptik hata dağılımı (sağa ve yukarı değer koordinat bileşenleri için) gösterilmiştir.



Şekil 3.26. İki boyutlu hataların oluşturduğu eliptik hata dağılımı

Şekil 3.27'de tek boyutta dairesel hata dağılımı (elipsoit yüksekliği koordinat bileşeni için) gösterilmiştir.



Şekil 3.27. Tek boyutlu hataların oluşturduğu eliptik hata dağılımı

Eliptik ve dairesel hata dağılım olasılıklarını şu şekilde yorumlayabiliriz;

Yukarı ve sağa değer hata bileşenlerinden oluşturulmuş eliptik iki boyutlu hataların 1-sigma olasılığı 3.44'deki eşitliğe göre %39.347'dir. Elipsoit yüksekliği hata bileşeninden oluşturulmuş dairesel tek boyutlu hataların 1-sigma olasılığı Çizelge 3.12'ye göre %68.27'dir. Dolayısıyla bu hata olasılık değerlerini %95 olasılık oranına arttırmak için 1-sigma aralığında bulunan yatay-düşey rms ve standart sapma değerleri aşağıdaki şekilde ölçeklendirilmiştir (El-Diasty ve Elsobeiey, 2015).

$$rms_{2B_{2sigma}} = rms_{2B_1sigma} * 2.44775 \quad (3.48)$$

$$rms_{düşey_2sigma} = rms_{düşey_1sigma} * 2 \quad (3.49)$$

$$prezisyon_{2B_{2sigma}} = prezisyon_{2B_{1sigma}} * 2.44775 \quad (3.50)$$

$$prezisyon_{düşey_2sigma} = prezisyon_{düşey_1sigma} * 2 \quad (3.51)$$

Çizelge 3.13 ve 3.14'de ağ bazlı RTK tekniklerinin iki boyutlu ve düşey rms değerleri 2-sigma (%95) güven aralığında tüm ölçüm noktalarının birleştirilmiş sonuçlarına göre 1-5-30-60-300 epoğun ortalaması için verilmiştir.

Çizelge 3.13. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay rms değerleri (mm)

EPOK SAYISI	FKP_2B	MAC_2B	VRS_2B
1	19.4	19.9	22.0
5	18.5	19.1	21.2
30	17.6	18.2	20.2
60	17.1	17.8	19.8
300	15.0	15.8	18.5

Çizelge 3.14. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey rms değerleri (mm)

EPOK SAYISI	FKP_H	MAC_H	VRS_H
1	32.3	31.7	33.5
5	30.9	30.3	31.5
30	29.5	28.9	30.5
60	28.8	28.4	29.5
300	25.9	25.0	25.8

Aşağıdaki çizelgelerde ağ bazlı RTK tekniklerinin iki boyutlu ve düşey standart sapma değerleri 2-sigma (%95) güven aralığında baz mesafeleri ve epok sayılarına göre verilmiştir.

Çizelge 3.15. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay standart sapma değerleri (5km'lik baz mesafesi için, mm)

EPOK SAYISI	FKP_2B	MAC_2B	VRS_2B
1	11.6	9.7	10.2
5	10.5	8.2	8.7
30	9.6	6.5	7.4
60	9.0	5.7	6.8
300	7.4	4.1	5.8

Çizelge 3.16. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey standart sapma değerleri (5km'lik baz mesafesi için, mm)

EPOK SAYISI	FKP_H	MAC_H	VRS_H
1	16.7	15.8	15.8
5	14.7	13.3	13.0
30	12.9	11.0	10.4
60	12.1	10.3	9.0
300	9.1	8.5	7.0

Çizelge 3.17. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay standart sapma değerleri (20km'lik baz mesafesi için, mm)

EPOK SAYISI	FKP_2B	MAC_2B	VRS_2B
1	17.6	12.7	12.5
5	16.8	11.5	11.2
30	16.0	10.2	9.6
60	15.6	9.5	8.8
300	10.2	7.5	6.6

Çizelge 3.18. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey standart sapma değerleri (20km'lik baz mesafesi için, mm)

EPOK SAYISI	FKP_H	MAC_H	VRS_H
1	22.0	20.5	21.8
5	20.1	18.5	19.7
30	18.2	16.7	17.6
60	17.2	15.5	16.5
300	9.7	10.4	13.1

Çizelge 3.19. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay standart sapma değerleri (40km'lik baz mesafesi için, mm)

EPOK SAYISI	FKP_2B	MAC_2B	VRS_2B
1	18.9	17.4	21.1
5	18.2	16.1	20.0
30	16.6	13.9	17.9
60	16.3	12.6	16.5
300	12.0	8.2	13.4

Çizelge 3.20. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey standart sapma değerleri (40km'lik baz mesafesi için, mm)

EPOK SAYISI	FKP_H	MAC_H	VRS_H
1	29.0	31.5	31.9
5	26.7	29.5	30.1
30	24.2	26.4	27.4
60	24.5	25.3	25.9
300	17.7	18.2	23.5

Çizelge 3.21. 2-sigma (%95) güven aralığında yatay standart sapma değerleri (50km'lik baz mesafesi için, mm)

EPOK SAYISI	FKP_2B	MAC_2B	VRS_2B
1	20.1	18.6	24.0
5	19.0	17.7	22.0
30	17.4	16.4	20.8
60	16.5	15.6	14.6
300	12.2	10.3	16.5

Çizelge 3.22. 2-sigma (%95) güven aralığında düşey standart sapma değerleri (50km'lik baz mesafesi için, mm)

EPOK SAYISI	FKP_H	MAC_H	VRS_H
1	32.0	37.5	33.2
5	30.3	35.0	31.7
30	28.2	29.4	29.4
60	27.1	30.1	27.2
300	23.1	20.0	23.9

3.6. Ampirik Doğruluk ve Prezisyon Modellerinin Oluşturulması

Ağ bazlı RTK tekniklerinin ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinin oluşturulması için aşağıdaki fonksiyon temel alınmıştır (Eckl ve ark., 2001).

$$S_n(L,T) = \sqrt{a * T + (b * L^2 * T) + c + d * L\text{^}2} \quad (3.52)$$

Burada, S_n, rms ve standart sapma değerlerini, a, b, c ve d fonksiyonun bilinmeyen katsayıları, L ve T ise baz uzunluğunu ve epok sayısını temsil etmektedir. Eşitliğin her iki tarafının karesi alınırsa fonksiyon şu şekilde tekrar yazılabilir;

$$S_n^2(L,T) = a * T + (b * L^2 * T) + c + d * L^2 \quad (3.53)$$

Karekökten kurtulmak için eşitliğin her iki tarafının karesi alındığı zaman $S_n^2(L,T)$ fonksiyonda doğruluk ve prezisyon varyans değerlerini temsil etmektedir.

Bu fonksiyonda bilinmeyenlerin (a, b, c ve d katsayıları) çözümü en küçük kareler dengelemesi yöntemiyle bulunmaktadır.

Bu fonksiyonun en küçük kareler dengelemesiyle çözümünün matematiksel modeli şu şekildedir;

$$X = (A^T * A)^{-1} * A^T * S_n^2(L,T) \quad (3.54)$$

$$V = A * X - S_n^2(L,T) \quad (3.55)$$

$$m0 = (V^T * V)/n \quad (3.56)$$

Burada, X bilinmeyenler matrisini, A katsayılar matrisini, $S_n^2(L,T)$ prezisyon ve doğruluk için varyans değerlerini, V ve $m0$ oluşan modelin hatalarını ve karesel ortalama hatasını, n ise ölçüm sayısını temsil etmektedir.

Katsayılar matrisi, $S_n^2(L,T)$ fonksiyonunun a, b, c ve d bilinmeyenlerine göre kısmi türevlerinin alınması ile oluşturulur. Ölçüm noktalarında ağ bazlı RTK tekniklerinin prezisyonu baz mesafesi ve epok sayısına bağlı olduğu için ampirik prezisyon modelinde A katsayılar matrisi şu şekilde oluşturulur;

A_prezisyon_katsayılar_matrisi=

$$\begin{bmatrix}
\frac{\partial S_n^2(L_1,T_1)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_1)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_1)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_1)}{\partial d} \\
\frac{\partial S_n^2(L_1,T_2)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_2)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_2)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_2)}{\partial d} \\
\frac{\partial S_n^2(L_1,T_3)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_3)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_3)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_3)}{\partial d} \\
. & . & . & . \\
\frac{\partial S_n^2(L_1,T_j)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_j)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_j)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_1,T_j)}{\partial d} \\
\frac{\partial S_n^2(L_2,T_1)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_1)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_1)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_1)}{\partial d} \\
\frac{\partial S_n^2(L_2,T_2)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_2)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_2)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_2)}{\partial d} \\
\frac{\partial S_n^2(L_2,T_3)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_3)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_3)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_3)}{\partial d} \\
. & . & . & . \\
\frac{\partial S_n^2(L_2,T_j)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_j)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_j)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_2,T_j)}{\partial d} \\
\frac{\partial S_n^2(L_3,T_1)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_1)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_1)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_1)}{\partial d} \\
\frac{\partial S_n^2(L_3,T_2)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_2)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_2)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_2)}{\partial d} \\
\frac{\partial S_n^2(L_3,T_3)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_3)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_3)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_3)}{\partial d} \\
. & . & . & . \\
\frac{\partial S_n^2(L_3,T_j)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_j)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_j)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_3,T_j)}{\partial d} \\
. & . & . & . \\
\frac{\partial S_n^2(L_i,T_j)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(L_i,T_j)}{\partial b} & \frac{\partial S_n^2(L_i,T_j)}{\partial c} & \frac{\partial S_n^2(L_i,T_j)}{\partial d}
\end{bmatrix} \tag{3.57}$$

A katsayılar matrisinde L_i değerleri baz mesafelerini (5-20-40-50km), T_j değerleri ise ortalaması alınan epok sayılarını (1-30-60-300) temsil etmektedir.

Ağ bazlı RTK tekniklerinden alınan rms değerleri ile baz mesafesi arasında bir ilişki bulunmadığı için doğruluk modeli oluşturulurken baz mesafesine bağlı parametreler (b, d) fonksiyondan çıkarılmıştır. Dolayısıyla ampirik doğruluk modeli için A katsayılar matrisi şu şekilde oluşturulmuştur;

A_doğruluk_katsayılar_matrisi=

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial S_n^2(T_1)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(T_1)}{\partial c} \\ \frac{\partial S_n^2(T_2)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(T_2)}{\partial c} \\ \frac{\partial S_n^2(T_3)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(T_3)}{\partial c} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial S_n^2(T_j)}{\partial a} & \frac{\partial S_n^2(T_j)}{\partial c} \end{bmatrix} \tag{3.58}$$

$S_n^2(L,T)$ fonksiyonunun a, b, c ve d bilinmeyenlerine göre kısmi türevlerinin alınması sonucu ampirik prezisyon ve doğruluk modelleri için A katsayılar matrisi şu şekilde oluşur;

A_prezisyon_katsayılar_matrisi=

$$\begin{bmatrix} 1*T_1 & L_1^2*T_1 & 1 & L_1^2 \\ 1*T_2 & L_1^2*T_2 & 1 & L_1^2 \\ 1*T_3 & L_1^2*T_3 & 1 & L_1^2 \\ . & . & . & . \\ 1*T_j & L_1^2*T_j & 1 & L_1^2 \\ 1*T_1 & L_2^2*T_1 & 1 & L_2^2 \\ 1*T_2 & L_2^2*T_2 & 1 & L_2^2 \\ 1*T_3 & L_2^2*T_3 & 1 & L_2^2 \\ . & . & . & . \\ 1*T_j & L_2^2*T_j & 1 & L_2^2 \\ 1*T_1 & L_3^2*T_1 & 1 & L_3^2 \\ 1*T_2 & L_3^2*T_2 & 1 & L_3^2 \\ 1*T_3 & L_3^2*T_3 & 1 & L_3^2 \\ . & . & . & . \\ 1*T_j & L_3^2*T_j & 1 & L_3^2 \\ . & . & . & . \\ 1*T_j & L_i^2*T_j & 1 & L_i^2 \end{bmatrix}$$

(3.59)

A_doğruluk_katsayılar_matrisi=

$$\begin{bmatrix} 1*T_1 & 1 \\ 1*T_2 & 1 \\ 1*T_3 & 1 \\ . & . \\ 1*T_j & 1 \end{bmatrix} \quad (3.60)$$

Doğruluk ve prezisyon için hesaplanan varyans değerleri kullanılarak en küçük kareler dengelemesiyle bilinmeyenleri oluşturan katsayılar matrisi her bir ağ bazlı RTK tekniği için çözülmüştür.

Oluşan ampirik doğruluk modelleri (mm^2), yatay ve düşey koordinat bileşenlerinin varyans değerleri için %95 olasılıkla (2-sigma) şu şekildedir;

$$\text{FKP_2B_Doğruluk_Varyans} = 341.8 - 0.41 * T \quad (3.61)$$

$$\text{MAC_2B_Doğruluk_Varyans} = 363.4 - 0.40 * T \quad (3.62)$$

$$\text{VRS_2B_Doğruluk_Varyans} = 444.3 - 0.37 * T \quad (3.63)$$

$$\text{FKP_H_Doğruluk_Varyans} = 952.8 - 1.0 * T \quad (3.64)$$

$$\text{MAC_H_Doğruluk_Varyans} = 919.8 - 1.0 * T \quad (3.65)$$

$$\text{VRS_H_Doğruluk_Varyans} = 1012.5 - 1.22 * T \quad (3.66)$$

Burada, FKP_2B_Doğruluk_Varyans, MAC_2B_Doğruluk_Varyans ve VRS_2B_Doğruluk_Varyans, FKP, MAC, VRS tekniklerinin yatay bileşendeki doğruluk varyans değerinin ortalaması alınan epok sayısına (T) göre ampirik fonksiyonudur.

FKP_H_Doğruluk_Varyans, MAC_H_Doğruluk_Varyans ve VRS_H_Doğruluk_Varyans, FKP, MAC, VRS tekniklerinin elipsoit yüksekliği bileşenindeki doğruluk varyans değerinin ortalaması alınan epok sayısına (T) göre ampirik fonksiyonudur.

Oluşan ampirik prezisyon modelleri (mm^2) yatay ve düşey koordinat bileşenlerinin varyans değerleri için %95 olasılıkla (2-sigma) şu şekildedir;

$$\text{FKP_2B_Prezisyon_Varyans} = -0.36 * T - 0.00015 * L^2 * T + 179.5 + 0.079 * L^2 \quad (3.67)$$

$$\text{MAC_2B_Prezisyon_Varyans} = -0.19 * T - 0.00020 * L^2 * T + 78.2 + 0.090 * L^2 \quad (3.68)$$

$$\text{VRS_2B_Prezisyon_Varyans} = -0.19 * T - 0.00020 * L^2 * T + 73.9 + 0.160 * L^2 \quad (3.69)$$

$$\text{FKP_H_Prezisyon_Varyans} = -0.74 * T - 0.00030 * L^2 * T + 257.9 + 0.27 * L^2 \quad (3.70)$$

$$\text{MAC_H_Prezisyon_Varyans} = -0.41 * T - 0.00090 * L^2 * T + 178.3 + 0.40 * L^2 \quad (3.71)$$

$$\text{VRS_H_Prezisyon_Varyans} = -0.52 * T - 0.00040 * L^2 * T + 224.7 + 0.33 * L^2 \quad (3.72)$$

Burada, FKP_2B_Prezisyon_Varyans, MAC_2B_Prezisyon_Varyans ve VRS_2B_Prezisyon_Varyans, FKP, MAC, VRS tekniklerinin yatay bileşendeki standart sapma varyans değerinin ortalaması alınan epok sayısına (T) ve baz uzunluğuna göre ampirik fonksiyonudur.

FKP_H_Prezisyon_Varyans, MAC_H_Prezisyon_Varyans ve VRS_H_Prezisyon_Varyans, FKP, MAC, VRS tekniklerinin elipsoit yüksekliği bileşenindeki standart sapma varyans değerinin ortalaması alınan epok sayısına (T) ve baz uzunluğuna (L, km) göre ampirik fonksiyonudur.

Oluşturulan ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinin standart sapma değerleri Çizelge 3.23 ve 3.24'de verilmiştir.

Çizelge 3.23. Ampirik doğruluk modellerinin standart sapma değerleri (mm)

Ampirik Yatay Doğruluk Modeli	**Standart Sapma Değerleri (mm)**
FKP	±5.2
MAC	±5.1
VRS	±5.7
Ampirik Düşey Doğruluk Modeli	**Standart Sapma Değerleri (mm)**
FKP	±8.5
MAC	±8.0
VRS	±9.0

Çizelge 3.24. Ampirik prezisyon modellerin standart sapma değerleri (mm)

Ampirik Yatay Prezisyon Modeli	**Standart Sapma Değerleri (mm)**
FKP	±8.3
MAC	±6.0
VRS	±9.3
Ampirik Düşey Prezisyon Modeli	**Standart Sapma Değerleri (mm)**
FKP	±9.6
MAC	±11.5
VRS	±12.1

En küçük kareler dengelemesiyle çözülen bilinmeyenler katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı analiz edilmiştir. Bu analiz için t testi kullanılmıştır. Analiz sonucunda doğruluk ve prezisyon için bulunan katsayılar %95 olasılıkla anlamlı çıkmıştır. T parametre anlamlılık testi, modellerin dengelemesi sonucu aşağıdaki şekilde yapılmıştır.

$$Q = (A^T * A)^{-1} \tag{3.73}$$

$$Qxx = \sqrt{köşegen(Q)} \tag{3.74}$$

$$parametre_{test_{değerleri}} = |X_i|/Qxx_i \tag{3.75}$$

Eğer

$parametre_{test_{değerleri}} > t_test_{95}$

$parametre_{test_{değerleri}}$ = anlamlı

$parametre_{test_{değerleri}} < t_test_{95}$

$parametre_{test_{değerleri}}$ = anlamsız

Son

Burada, Q, bilinmeyenlerin varyans-kovaryans matrisi, Qxx, bilinmeyenlerin standart sapma değerleri, X_i, bilinmeyenler matrisi ve t_test_{95}, t testi tablosundaki %95 güven aralığı ve serbest derecesi için elde edilen değerdir.

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Ampirik Modellerin Test Edilmesi

Ölçümler sonucu oluşturulan doğruluk ve ampirik prezisyon modellerinin doğruluğu iç kontrol ve dış kontrol olmak üzere iki farklı şekilde test edilmiştir.

4.1.1. İç kontrol

Elde edilen ampirik modellerin iç kontrol analizlerinin amacı, en küçük kareler yöntemiyle elde edilen model katsayılarının doğru bir şekilde hesaplanıp hesaplanmadığının kontrolüdür. Ayrıca elde edilen modeller ölçüm noktalarındaki verilere ne kadar uyduğunun da bir göstergesidir.

Teorik olarak modellerden hesaplanan rms ve standart sapma değerleri ile ölçüm noktalarının birleştirilmiş verilerinden elde edilen rms ve standart sapma değerleri arasındaki farkın sıfır çıkması gerekir. Ancak uygulamada dengeleme sonucu hesaplanan dengelenmiş katsayıların standart sapma değerleri sıfırdan farklı olduğu için farklar da sıfırdan farklı çıkmaktadır.

Ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinin iç kontrolü için 1-5-30-60-300 epoğun ortalaması olacak şekilde prezisyon ve doğruluk için varyans değerleri model aracılığı ile hesaplanmıştır. Prezisyon varyans değeri için baz uzunluğu 5-20-40-50km olacak şekilde seçilmiştir.

Model aracılığı ile hesaplanan rms ve standart sapma değerleri (%95 olasılıkla) ölçüm yapılan noktaların birleştirilmiş hatalarından hesaplanan rms ve standart sapma değerleri ile karşılaştırılmıştır. Ölçüm yapılan noktalardaki veriler ampirik modellerin oluşturulmasında kullanıldığı için bu test, modellerin iç doğruluk kontrolü olarak adlandırılabilir. FKP, MAC ve VRS tekniklerinin modelden ve ölçüm noktalarından hesaplanan yatay-düşey rms ve standart sapma değerleri mm biriminde 1-5-10-30-60-180-300 epoğun ortalaması için Çizelge 4.1 ve 4.2'de verilmiştir. İç kontrol testinde ayrıca 10-180 epok ortalamasının sonuçları da test edilmiştir. 10-180 epok ortalamasının sonuçları prezisyon iç kontrol testinde sadece 5 km'lik baz için verilmiştir.

Çizelge 4.1. Ampirik doğruluk modellerinin iç doğruluğu

EPOK ORTALAMASI:1	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.5	30.9	19.4	32.3	0.9	1.4
MAC	19.1	30.3	19.9	31.7	0.8	1.4
VRS	21.1	31.8	22.0	33.5	0.9	1.7
EPOK ORTALAMASI:5	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.4	30.8	18.5	30.9	0.1	0.1
MAC	19.0	30.2	19.1	30.3	0.1	0.1
VRS	21.0	31.7	21.2	31.5	0.2	0.2
EPOK ORTALAMASI:10	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.4	30.7	18.2	30.5	-0.2	-0.2
MAC	19.0	30.2	18.8	29.8	-0.2	-0.4
VRS	21.0	31.6	20.9	31.4	-0.1	-0.2
EPOK ORTALAMASI:30	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.1	30.4	17.6	29.5	-0.5	-0.9
MAC	18.7	29.8	18.2	28.9	-0.5	-0.9
VRS	20.8	31.2	20.2	30.5	-0.6	-0.7
EPOK ORTALAMASI:60	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.8	29.9	17.1	28.8	-0.7	-1.1
MAC	18.4	29.3	17.8	28.4	-0.6	-0.9
VRS	20.5	30.6	19.8	29.5	-0.7	-1.1
EPOK ORTALAMASI:180	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	16.4	27.8	15.7	27.2	-0.7	-0.6
MAC	17.1	27.2	16.8	26.4	-0.3	-0.8
VRS	19.4	28.2	18.7	28.0	-0.7	-0.2

Çizelge 4.1. Devamı

EPOK ORTALAMASI:300	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	14.8	25.5	15.0	25.9	0.2	0.4
MAC	15.6	24.9	15.8	25.0	0.2	0.1
VRS	18.2	25.4	18.5	25.8	0.3	0.4

Çizelge 4.2. Ampirik prezisyon modellerinin iç doğruluğu

EPOK ORTALAMASI:1 BAZ UZUNLUĞU:5KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	13.5	16.2	11.6	16.7	-1.9	0.5
MAC	9.0	13.7	9.7	15.8	0.7	2.1
VRS	8.8	15.2	10.2	15.8	1.4	0.6
EPOK ORTALAMASI:1 BAZ UZUNLUĞU:20KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	14.5	19.1	17.6	22.0	3.1	2.9
MAC	10.7	18.4	12.7	20.5	2.0	2.1
VRS	11.7	18.9	12.5	21.8	0.8	2.9
EPOK ORTALAMASI:1 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.5	26.2	18.9	29.0	1.4	2.8
MAC	14.9	28.6	17.4	31.5	2.5	2.9
VRS	18.1	27.4	21.1	31.9	3.0	4.5

Çizelge 4.2. Devamı

EPOK ORTALAMASI:1 BAZ UZUNLUĞU:50KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	19.4	30.5	20.1	32.0	0.7	1.5
MAC	17.4	34.3	18.6	37.5	1.2	3.2
VRS	21.7	32.4	24.0	33.2	2.3	0.8
EPOK ORTALAMASI:5 BAZ UZUNLUĞU:5KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	13.4	16.1	10.5	14.7	-2.9	-1.4
MAC	8.9	13.6	8.2	13.3	-0.7	-0.3
VRS	8.8	15.2	8.7	13.0	-0.1	-2.2
EPOK ORTALAMASI:5 BAZ UZUNLUĞU:20KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	14.5	19.0	16.8	20.1	2.3	1.1
MAC	10.6	18.3	11.5	18.5	0.9	0.2
VRS	11.7	18.8	11.2	19.7	-0.5	0.9
EPOK ORTALAMASI:5 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.4	26.1	18.2	26.7	0.8	-0.6
MAC	14.8	28.4	16.1	29.5	1.3	1.1
VRS	18.1	27.3	20.0	30.1	1.9	2.8
EPOK ORTALAMASI:5 BAZ UZUNLUĞU:50KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	19.3	30.4	19.0	30.3	-0.3	-0.1
MAC	17.3	34.1	17.7	35.0	0.4	0.9
VRS	21.7	32.3	22.0	31.7	0.3	-0.6

Çizelge 4.2. Devamı

EPOK ORTALAMASI:10 BAZ UZUNLUĞU:5KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	13.3	16.0	10.1	14.2	-3.2	-1.8
MAC	8.9	13.6	7.6	12.5	-1.3	-1.1
VRS	8.7	15.1	8.1	12.0	-0.6	-3.1
EPOK ORTALAMASI:30 BAZ UZUNLUĞU:5KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	13.1	15.6	9.6	12.9	-3.5	-2.7
MAC	8.6	13.2	6.5	11.0	-2.1	-2.2
VRS	8.5	14.7	7.4	10.4	-1.1	-4.3
EPOK ORTALAMASI:30 BAZ UZUNLUĞU:20KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	14.1	18.4	16.0	18.2	1.9	-0.2
MAC	10.3	17.7	10.2	16.7	-0.1	-1.0
VRS	11.4	18.3	9.6	17.6	-1.8	-0.7
EPOK ORTALAMASI:30 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.0	25.6	16.6	24.2	-0.4	-1.4
MAC	14.4	27.6	13.9	26.4	-0.5	-1.2
VRS	17.7	26.8	17.9	27.4	0.2	0.6
EPOK ORTALAMASI:30 BAZ UZUNLUĞU:50KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.8	29.8	17.4	28.2	-1.4	-1.6
MAC	16.8	33.1	16.4	29.4	0.4	-3.7
VRS	21.3	31.7	20.8	29.4	-0.5	-2.3

Çizelge 4.2. Devamı

EPOK ORTALAMASI:60 BAZ UZUNLUĞU:5KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	12.6	14.8	9.0	12.1	-3.6	-2.7
MAC	8.3	12.7	5.7	10.3	-2.6	-2.4
VRS	8.1	14.2	6.8	9.0	-1.3	-5.2
EPOK ORTALAMASI:60 BAZ UZUNLUĞU:20KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	13.6	17.7	15.6	17.2	2.0	-0.5
MAC	9.9	17.1	9.5	15.5	-0.4	-1.6
VRS	11.0	17.8	8.8	16.5	-2.2	-1.3
EPOK ORTALAMASI:60 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	16.4	28.8	16.3	24.5	-0.1	-4.3
MAC	13.8	26.6	12.6	25.3	-1.2	-1.3
VRS	17.3	26.1	16.5	25.9	-0.8	-0.2
EPOK ORTALAMASI:60 BAZ UZUNLUĞU:50KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.2	29.0	16.5	27.1	-1.7	-1.9
MAC	16.2	31.9	15.6	30.1	-0.6	-1.8
VRS	20.8	31.0	14.6	27.2	-6.2	-3.8
EPOK ORTALAMASI:180 BAZ UZUNLUĞU:5KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	10.8	11.4	8.0	10.1	-2.8	-1.3
MAC	6.5	10.5	4.7	8.8	-1.8	-1.7
VRS	6.5	11.7	6.1	7.4	-0.4	-4.3

Çizelge 4.2. Devamı

EPOK ORTALAMASI:300 BAZ UZUNLUĞU:5KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	8.5	6.3	7.4	9.1	-1.1	2.8
MAC	4.7	7.6	4.1	8.5	-0.6	0.9
VRS	4.4	8.6	5.8	7.0	1.4	-1.6
EPOK ORTALAMASI:300 BAZ UZUNLUĞU:20KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	9.2	10.4	10.2	9.7	1.0	-0.7
MAC	5.8	10.3	7.5	10.4	1.7	0.1
VRS	7.5	12.4	6.6	13.1	-0.9	0.7
EPOK ORTALAMASI:300 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	11.2	18.0	12.0	17.7	0.8	-0.3
MAC	8.3	16.2	8.2	18.2	-0.1	2.0
VRS	13.3	20.1	13.4	23.5	0.1	3.4
EPOK ORTALAMASI:300 BAZ UZUNLUĞU:50KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	12.5	22.0	12.2	23.1	-0.3	1.1
MAC	9.8	19.5	10.3	20.0	0.5	0.5
VRS	16.3	24.4	16.5	23.9	0.2	-0.5

Ampirik modellerin iç kontrolünde, modelden alınan sonuçlar ile ölçümden alınan sonuçlar arasındaki farklar yatay ve düşey koordinat bileşenleri için birkaç mm mertebesindedir. Bu sonuçlar dengeleme sonucu bulunan katsayıların ölçüm verilerine göre yeterli bir doğrulukta dengelendiğini göstermektedir.

4.1.2. Dış kontrol

Elde edilen ampirik modellerin dış kontrol analizleri, bağımsız noktalarda gerçekleştirilen ölçümlerin modele ne kadar uyduğunun kontrolünü sağlamak amacıyla yapılmıştır.

Ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinin dış kontrolü için iki farklı noktada bağımsız ölçüler gerçekleştirilmiştir. Bu noktalardan birisi Aksaray (AKSR) CORS istasyonuna yaklaşık 40 km, diğeri ise Beyşehir (BEYS) CORS istasyonuna yaklaşık 28 km uzaklıktadır. Şekil 4.1'de bu noktaların Google Earth görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.1. Modellerin dış kontrolü için kullanılan noktalar

Bu noktalarda ağ bazlı RTK, statik ölçümler ve değerlendirme işlemleri, ampirik modellerin oluşumunda kullanılan ölçüm noktalarındaki strateji ile aynıdır (yaklaşık 3000 epok ağ bazlı RTK verisi, altı saat statik oturum). Bu iki adet noktadaki veriler ampirik modellerin oluşturulmasında kullanılmadığı için bu noktalardaki rms ve standart sapma değerleri ile ampirik modeller arasındaki farklar ampirik modellerin dış doğruluğu olarak adlandırılabilir.

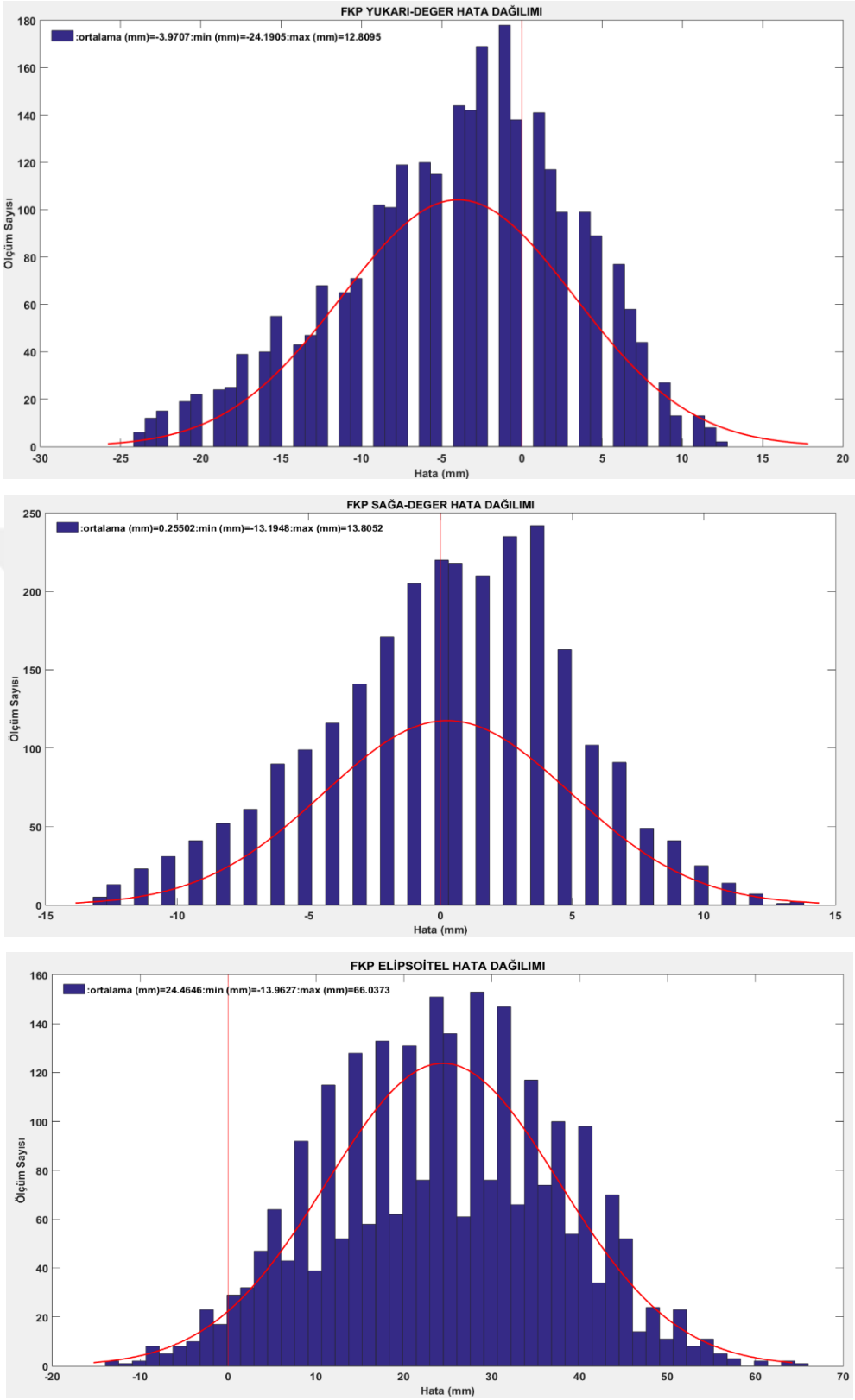
FKP, MAC ve VRS tekniklerinin modelden ve bu iki adet ölçüm noktasından hesaplanan yatay-düşey rms ve standart sapma değerleri iç kontrolün hesabında

kullanılan 1-5-30-60-300 epoğun ortalaması ve 28-40 km baz uzunluğu için mm biriminde iki nokta için ayrı ayrı Çizelge 4.3-4.4-4.5-4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.3. Ampirik doğruluk modellerinin dış doğruluğu (en yakın CORS istasyonu: AKSR)

EPOK ORTALAMASI:1	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.5	30.9	20.8	26.5	2.3	-4.4
MAC	19.1	30.3	24.0	39.5	4.9	9.2
VRS	21.1	31.8	15.7	36.4	-5.4	4.6
EPOK ORTALAMASI:5	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.4	30.8	19.9	24.6	1.5	-6.2
MAC	19.0	30.2	23.3	38.6	4.3	8.4
VRS	21.0	31.7	14.6	35.1	-6.4	3.4
EPOK ORTALAMASI:30	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.1	30.4	19.1	23.1	1.0	-7.3
MAC	18.7	29.8	22.8	37.8	4.1	8.0
VRS	20.8	31.2	13.6	34.1	-7.2	2.9
EPOK ORTALAMASI:60	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.8	29.9	18.7	22.3	1.1	-7.6
MAC	18.4	29.3	22.7	37.5	4.3	8.2
VRS	20.5	30.6	13.2	33.8	-7.3	3.2
EPOK ORTALAMASI:300	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	14.8	25.5	16.9	17.3	2.1	-8.2
MAC	15.6	24.9	20.5	36.2	4.9	11.3
VRS	18.2	25.4	11.1	31.7	-7.1	6.3

Şekil 4.2'de FKP tekniğinin Aksaray CORS istasyonuna 40 km uzaklıktaki birinci dış doğruluk test noktasındaki yatay ve düşey bileşendeki hata dağılımları verilmiştir.



Şekil 4.2. Birinci dış doğruluk test noktasındaki FKP tekniğinin yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hata dağılımı

Hata dağılımları incelendiğinde FKP tekniğinin elipsoidal yükseklik hatalarının normal dağılımda olmadığı görülmektedir. Bunun nedeninin bu ölçüm noktasında FKP tekniğinin elipsoidal yükseklik bileşenine ait hataların enterpolasyonunun gezici GNSS alıcısı tarafından sağlıklı bir şekilde yapılamadığı olabilir. FKP tekniği hatalar için doğrusal bir enterpolasyon tekniği uygulamaktadır. Herhangi bir doğrusal değişmeyen hatalar bu sistematik hataya neden olmuş olabilir. 2.5 cm'lik ofset değeri FKP tekniğinin elipsoit yükseklik bileşenine ilave edilerek, rms ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.4. Ampirik doğruluk modellerinin dış doğruluğu (en yakın CORS istasyonu: BEYS)

EPOK ORTALAMASI:1	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.5	30.9	24.4	39.2	5.9	8.3
MAC	19.1	30.3	25.9	41.6	6.8	11.3
VRS	21.1	31.8	26.3	42.4	5.2	10.6
EPOK ORTALAMASI:5	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.4	30.8	20.1	37.3	1.7	6.5
MAC	19.0	30.2	22.6	40.7	3.6	10.5
VRS	21.0	31.7	25.5	41.9	4.5	10.2
EPOK ORTALAMASI:30	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	18.1	30.4	18.1	35.5	0.0	5.1
MAC	18.7	29.8	19.6	38.3	0.9	8.5
VRS	20.8	31.2	25.0	41.1	4.2	9.9
EPOK ORTALAMASI:60	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.8	29.9	17.9	34.2	0.1	4.3
MAC	18.4	29.3	19.2	38.0	0.8	8.7
VRS	20.5	30.6	23.9	40.6	3.4	10.0
EPOK ORTALAMASI:300	**MODEL (rms)**		**ÖLÇÜM (rms)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	14.8	25.5	10.7	28.3	-4.1	2.8
MAC	15.6	24.9	7.7	32.4	-7.9	7.5
VRS	18.2	25.4	21.6	39.4	3.4	14.0

Birinci dış doğruluk test noktasında ölçüm sonucu ve modelden hesaplanan rms değerleri arasındaki farklar yatay ve düşey bileşende genellikle cm altı çıkmıştır.

İkinci dış doğruluk test noktasında ölçüm sonucu ve modelden hesaplanan rms değerleri arasındaki farklar yatay bileşende cm altı, düşey bileşende genellikle birkaç cm mertebesinde çıkmıştır.

Çizelge 4.5. Ampirik prezisyon modellerinin dış doğruluğu (en yakın CORS istasyonu: AKSR)

EPOK ORTALAMASI:1 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.5	26.2	18.6	26.4	1.1	0.2
MAC	14.9	28.6	19.3	38.8	4.4	10.2
VRS	18.1	27.4	14.6	31.9	-3.5	4.5
EPOK ORTALAMASI:5 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.4	26.1	17.6	24.5	0.2	-1.6
MAC	14.8	28.4	18.6	37.9	3.8	9.5
VRS	18.1	27.3	13.3	30.4	-4.8	3.1
EPOK ORTALAMASI:30 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	17.0	25.6	16.7	23.1	-0.3	-2.5
MAC	14.4	27.6	17.9	37.1	3.5	9.5
VRS	17.7	26.8	12.2	29.2	-5.5	2.4
EPOK ORTALAMASI:60 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	16.4	28.8	16.2	22.2	0.2	-6.6
MAC	13.8	26.6	17.7	36.8	3.9	10.2
VRS	17.3	26.1	11.7	28.8	-5.6	2.7
EPOK ORTALAMASI:300 BAZ UZUNLUĞU:40KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	11.2	18.0	14.1	17.3	2.9	-0.7
MAC	8.3	16.2	15.9	35.1	7.6	18.9
VRS	13.3	20.1	8.9	25.9	-4.4	5.8

Çizelge 4.6. Ampirik prezisyon modellerinin dış doğruluğu (en yakın CORS istasyonu: BEYS)

EPOK ORTALAMASI:1 BAZ UZUNLUĞU:28KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	15.5	21.6	10.2	30.6	-5.3	9.0
MAC	12.2	22.2	14.2	30.2	2.0	12.0
VRS	14.1	22.0	11.2	25.8	-2.9	3.8
EPOK ORTALAMASI:5 BAZ UZUNLUĞU:28KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	15.4	21.5	8.7	28.6	-6.7	7.1
MAC	12.1	22.0	13.2	29.5	1.1	7.5
VRS	14.0	21.9	10.0	25.1	-4.0	3.2
EPOK ORTALAMASI:30 BAZ UZUNLUĞU:28KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	15.1	20.9	6.7	27.0	-8.4	6.1
MAC	11.8	21.4	11.7	27.9	-0.1	6.5
VRS	13.7	21.4	8.8	24.6	-4.9	3.2
EPOK ORTALAMASI:60 BAZ UZUNLUĞU:28KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	14.6	20.3	5.4	22.3	-9.2	2.0
MAC	11.3	20.6	11.0	26.0	-0.3	5.4
VRS	13.4	20.8	8.1	23.3	-5.3	2.5
EPOK ORTALAMASI:300 BAZ UZUNLUĞU:28KM	**MODEL (standart sapma)**		**ÖLÇÜM (standart sapma)**		**FARKLAR (ölçüm-model)**	
	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)	Yatay(mm)	Düşey(mm)
FKP	9.9	13.3	4.8	11.5	-5.1	-1.8
MAC	6.7	12.5	7.7	14.7	1.0	2.2
VRS	9.8	15.3	4.7	22.2	-5.1	6.9

Dış prezisyon analizleri için ölçüm sonucu ve ampirik model sonucu standart sapma farkları incelendiğinde, farkların yatay ve düşeyde genellikle cm altı mertebesinde

olduğu görülmektedir. En yüksek fark Aksaray test noktasında 18.9mm ile MAC tekniğinin düşey bileşeninde gözlenmiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Tusaga-Aktif sisteminden yayınlanan VRS, FKP ve MAC ağ bazlı RTK tekniklerinin ortalaması alınan epok sayısı ve en yakın CORS istasyon noktasına olan uzaklığa bağlı olarak ampirik doğruluk ve prezisyon modelleri oluşturulmuştur. Ölçüm noktaları Aksaray-Cihanbeyli hattı üzerinde yedi adet noktadan oluşmaktadır. Ölçüm noktalarının en yakın CORS istasyonundan uzaklıkları yaklaşık 5-20-40-50 km'dir. Her ölçüm noktasında yaklaşık 3000 epok veri yukarı-sağa değer ve elipsoit yüksekliği olacak şekilde iki saniye aralıklarla her bir teknik için aynı zaman diliminde toplanmıştır. Her bir koordinat bileşeni için 10 cm'yi geçen hatalar uyuşumsuz ölçü olarak ölçü gurubundan atılmıştır. Ölçüm noktalarının doğru kabul edilen koordinatları yaklaşık altı saatlik statik oturum sonucu verilerin değerlendirilmesi ile elde edilmiştir. Statik oturum verilerinin değerlendirilmesinde GAMIT/GLOBK bilimsel yazılımı kullanılmıştır.

Her bir ölçüm noktasında VRS, FKP ve MAC ağ bazlı RTK tekniklerinden toplanan yukarı-sağa değer ve elipsoit yüksekliği koordinat bileşenleri 1-5-30-60-300 epoğun ortalaması bir ölçü olacak şekilde sınıflandırılmıştır. Epok ortalamasına göre sınıflandırılan veriler için tüm ölçüm noktalarında her bir teknik için yatay ve düşey koordinat bileşenlerinin karesel ortalama hata ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Koordinat bileşenlerindeki karesel ortalama hata değeri, tekniklerin doğruluğunu, standart sapma değeri ise tekniklerin prezisyonunu vermektedir.

Prezisyon ve doğruluk analizleri sonucunda her bir teknik için doğruluğun sadece ortalaması alınan epok sayısına bağlı olduğu, prezisyonun ise hem ortalaması alınan epok sayısına hem de gezici GNSS alıcısı ile gezici GNSS alıcısına en yakın CORS istasyonu arasındaki uzaklığa bağlı olduğu ortaya çıkmıştır. Dolayısıyla ampirik doğruluk modeli oluşturulurken baz mesafesine bağlı katsayılar modelden çıkartılmıştır. Ampirik prezisyon modelinde ise hem epok sayısı hem de baz mesafesine bağlı katsayılar kullanılmıştır. Ampirik modellerin oluşumunda en küçük karelerle dengeleme yöntemiyle kullanılmıştır. Dengeleme sonucu bulunan katsayılar parametre anlamlılık testinden (T testi) geçirilmiştir. Anlamlılık testi sonucu, %95 olasılıkla katsayılar doğruluk ve prezisyon modelleri için anlamlı çıkmıştır.

Doğruluk ve prezisyon ampirik modellerinin iç ve dış doğruluk testi yapılmıştır. Doğruluk testi epok sayısına göre, prezisyon testi ise hem epok sayısı hem de en yakın CORS istasyonundan olan baz uzunluğuna göre yapılmıştır. İç doğruluk testinde

modellerin oluşumunda kullanılan noktalar, dış doğruluk testinde ise bağımsız iki adet nokta kullanılmıştır. Modellerin doğruluğu ölçüm sonucu elde edilen rms ve standart sapma değerlerinin modelden elde edilen değerlerden farkı olarak analiz edilmiştir. Doğruluk ve prezisyon modellerinin iç doğruluk testi analizi sonucunda, yatay ve düşey koordinat bileşenlerinde rms ve standart sapma değerleri için mm seviyesinde farklar ortaya çıkmıştır.

Ampirik doğruluk ve prezisyon modelleri için iç doğruluk testi analizleri sonucunda bulunan en büyük farklar şu şekildedir;

En büyük rms farkı düşey bileşende, VRS tekniği için (1 epoğun ortalaması alındığında) 1.7mm, yatay bileşende, FKP tekniği için (1 epoğun ortalaması alındığında) 0.9mm olarak bulunmuştur.

En büyük standart sapma farkı düşey bileşende, VRS tekniği için (60 epoğun ortalaması alındığında 5km'lik baz mesafesi için) 5.2mm, yatay bileşende, VRS tekniği için (60 epoğun ortalaması alındığında 50km'lik baz mesafesi için) 6.2mm olarak bulunmuştur.

Dış doğruluk testi için iki adet bağımsız nokta kullanılmıştır. Bu noktalardan birisi Aksaray CORS istasyonuna yaklaşık 40km uzaklıkta diğeri ise Beyşehir CORS istasyonuna yaklaşık 28km uzaklıktadır. Bu noktalarda yapılan ampirik doğruluk ve prezisyon modelleri için dış doğruluk testi analizleri sonucunda bulunan en büyük farklar şu şekildedir;

En büyük rms farkı düşey bileşende, VRS tekniği için (300 epoğun ortalaması alındığında, en yakın CORS: Beyşehir) 14.0mm, yatay bileşende, MAC tekniği için (300 epoğun ortalaması alındığında: en yakın CORS: Beyşehir) 7.9mm olarak bulunmuştur.

En büyük standart sapma farkı düşey bileşende, MAC tekniği için (300 epoğun ortalaması alındığında, en yakın CORS: Aksaray) 18.9mm, yatay bileşende, FKP tekniği için (30 epoğun ortalaması alındığında: en yakın CORS: Beyşehir) 8.4mm olarak bulunmuştur.

FKP tekniğinin düşey bileşenindeki hatasının yüksek çıkması sistematik hatadan kaynaklanmaktadır. FKP tekniği için gezici GNSS alıcısı hataların enterpolasyonu için doğrusal bir enterpolasyon tekniği kullanmaktadır. Gezici GNSS alıcısının bulunduğu noktaya göre herhangi bir doğrusal olmayan değişim sistematik hataya neden olabilmektedir. Bu durum FKP tekniğinin, VRS ve MAC tekniğine göre en önemli dezavantajı olarak görülebilir.

Ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinden alınan doğruluğun yüksek olması için koordinat bileşenlerinde önemli bir sistematik hata olmaması gerekir. Ağ bazlı RTK tekniklerinden alınan koordinat bileşenlerindeki sistematik hataya neden olan bir başka durum ise gezici GNSS alıcısının düzeltmeleri aldığı en yakın CORS istasyonunun koordinatlarının doğruluğudur. TUSAGA-AKTİF CORS istasyonlarının yeri zamanla farklı nedenlerden dolayı değişmektedir. Bu değişimlerden sonra yeri değişen CORS istasyonlarının koordinatları yeterli doğrulukta hesaplanamamaktadır. Bu durum ağ bazlı RTK tekniklerinin hepsi için koordinat bileşenlerinde sistematik hataya neden olmaktadır. Ölçüme çıkılmadan önce gezici GNSS alıcısına en yakın yeri değişmiş olan CORS istasyonları olup olmadığı kontrol edilmelidir. Böyle bir durumda önce statik oturum yapılarak ağ bazlı RTK tekniklerinin koordinat bileşenlerinde herhangi bir sistematik hata olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Bu çalışmadaki ölçüm noktaları belirlenirken optimum düzeyde GNSS sinyallerinin alınması hedeflenmiştir. Dolayısıyla şehir içinde veya uydu sinyallerinin yeterli bir şekilde alınmadığı durumlarda ampirik modellerin ölçüm değerleri ile ilişkisi zayıflayabilir.

Ampirik modellerin oluşumunda kullanılan ölçüm noktalarındaki ağ bazlı RTK tekniklerinden alınan yatay ve düşey koordinat bileşenlerindeki hatalar istatistiksel olarak normal dağılımlı çıkmıştır. Tekniklerin doğruluk ve prezisyon farkları birbirine yakın çıkmıştır. Tekniklerden elde edilen karesel ortalama hatalar (1 epok ortalaması için %95 güven aralığında) yatay bileşende yaklaşık 20mm, düşey bileşende yaklaşık 32mm, standart sapma değerleri (1 epok ortalaması için %95 güven aralığında) yatay bileşende yaklaşık 10mm, düşey bileşende yaklaşık 15mm olarak bulunmuştur.

Oluşturulan doğruluk ampirik ve prezisyon modelleri 1-300 epok aralığı dışında kullanılmamalıdır. Bazı bölgelerde gezici GNSS alıcısı ile en yakın CORS istasyonu arasındaki mesafe 50km'yi geçebilir. Bu çalışmada 50km'lik baz mesafesinin üstü test edilmediği için 50km'nin üstündeki bazlarda prezisyon modelleri sağlıklı sonuç vermeyebilir.

Bu çalışma sonucunda oluşturulan ampirik modeller, ağ bazlı RTK ölçümlerinde sistematik hata olmaması durumunda güvenli bir şekilde kullanılabilir. Ampirik doğruluk ve prezisyon modellerinin doğruluğu normal şartlar altında genellikle cm altında sonuç vereceği düşünülmektedir.

Ağ bazlı RTK tekniklerden elde edilecek yatay bileşendeki doğruluk açısından tüm epok aralıklarında (1-5-30-60-300) en düşük karesel ortalama hata değerine sahip

FKP tekniğidir. Ancak koordinat bileşenlerinde sistematik hata çıkma olasılığı en yüksek olan teknik de FKP tekniğidir. Bu durumun FKP tekniğinin doğrusal bir enterpolasyon tekniği uygulamasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Düşey bileşende ağ bazlı RTK tekniklerinden elde edilen karesel ortalama hata değerleri birbirine oldukça yakın çıkmıştır.

Ağ bazlı RTK tekniklerden elde edilecek yatay bileşendeki prezisyon açısından tüm epok aralıklarında (1-5-30-60-300) ve 5-40-50 km'lik bazlar için en düşük standart sapma değerine sahip ağ bazlı RTK tekniği MAC tekniğidir. Tekniklerin düşey bileşendeki prezisyon sonuçlarına göre 40 km'ye kadar bir epokluk ölçü için MAC ve VRS tekniklerinin düşey prezisyonu FKP tekniğine göre daha düşük çıkmıştır. 40 ve 50 km'lik baz mesafelerinde bir epokluk ölçü için FKP tekniğinin düşey prezisyonu MAC ve VRS tekniklerine göre daha düşük çıkmıştır.

Bu çalışma sonucunda oluşturulan ampirik modeller Cihanbeyli ve Aksaray CORS istasyonları arasındaki ölçümler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Modellerin Türkiye genelinde geçerliliğinin testi farklı bölgelerde yapılacak olan dış doğruluk testleri gerektirmektedir.

KAYNAKLAR

Aponte, J., Meng, X., Hill, C., Moore, T., Burbidge, M. ve Dodson, A., 2009, Quality assessment of a network-based RTK GPS service in the UK, Journal of Applied Geodesy, 3(1), 25-34.

Brown, N., Keenan, R., Richter, B. ve Troyer, L., 2005, Advances in ambiguity resolution for RTK applications using the new RTCMV3. 0 Master-Auxiliary messages, Proccedings of ION GNSS, Long Beach, California, 73–80.

Brown, N., Geisler, I ve Troyer, L., 2006, RTK rover performance using the Master-Auxiliary Concept, Journal of Global Positioning Systems, 5 (1), 135-144.

Cina, A., Dabove, P., Manzino, A. M. ve Piras, M., 2015, Network Real Time Kinematic (NRTK) Positioning–Description, Architectures and Performances, Satellite Positioning-Methods, Models and Applications. InTech.

Charoenkalunyuta, T., Satirapod, C., Lee, H. K. ve Choi, Y.S., 2012, Performance of Network-Based RTK GPS in Low-Latitude Region: A Case Study in Thailand, Engineering Journal, 16 (5), 96-103.

Chin, G. Y., 1987, Two-Dimensional Measures of Accuracy in Navigational Systems, Transportation System Center Cambridge.

Eckl, M. C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W. ve Mader, G. L., 2001, Accuracy of GPS-derived relative positions as a function of interstation distance and observing-session duration, Journal of Geodesy, 75, 633-640.

Edwards, S.J., Clarke, P. J., Penna, N. T. ve Goebell, S., 2010, An examination of network RTK GPS services in Great Britain, Survey Review 42 (316), 107-121.

El-Diasty, M. ve Elsobeiey, M., 2015, Precise Point Positioning Technique with IGS Real-Time Service (RTS) for Maritime Applications, Positioning, 6(04), 71.

Euler, H. J., Keenan, C. R., Zebhauser, B. E. ve Wübbena, G., 2001, Study of a simplified approach in utilizing information from permanent reference station arrays, ION GPS, 9, 11-14.

Garrido, M.S., Gimenez, E., Lacy, M. A. ve Gil, A.J., 2011, Testing precise positioning using RTK and NRTK corrections provided by MAC and VRS approaches in SE Spain, Journal of Spatial Science, 56(2), 169-184.

Gümüş, K., Çelik, C. T. ve Erkaya, H., 2012, Investigation of accurate method in 3-d Position using cors-net in İstanbul, Boletim de ciencias geodesicas, 18 (2), 171-184.

Heo, Y., Yan, Thomas., Lim, S ve Rizos C., 2009, International Standard GNSS Real-Time Data Formats and Protocols, IGNSS Symposium.

Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A. ve McClusky, S. C., 2015, GAMIT REFERENCE MANUAL, http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/GAMIT_Ref.pdf [Ziyaret Tarihi: 20 Ağustos 2017].

Kahveci, M., 2009, Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları, 51-61.

Kim, H. Y., 2013, Statistical notes for clinical researchers: assessing normal distribution (2) using skewness and kurtosis, Restorative dentistry & endodontics, 38(1), 52-54.

Landau, H., Vollath, U. ve Chen, X., 2002, Virtual reference station Systems, Journal of Global Positioning System, 2, 137–143.

Lin, M., 2006, RTCM 3.0 Implementation in Network RTK and Performance Analysis, Degree Of Master Of Science, Universıty Of Calgary, Department Of Geomatics Engineering.

Odolonski, R., 2012, Temporal correlation for network RTK positioning, GPS Solutions, 16 (2), 147-155.

Öğütcü, S. ve Kalaycı, İ., 2016, Investigation of network-based RTK techniques: a case study in urban area, Arabian Journal of Geosciences, 9 (3):199.

Özdemir, S., 2016, TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine, Harita Dergisi, 155.

Raska, M. ve Pospisil, J., 2015, Minimal Detectable Displacement Achievable by GPS-RTK in CZEPOS Network, Geoinformatics FCE CTU, 14(1), 29-38.

Rizos, C. ve Han, S., 2003, Reference Station Network Based RTK Systems-Concepts and Progress, Wuhan University Journal of Natural Sciences, 8(2), 566-574.

Saeidi, A., 2012, Evaluation of Network RTK In Southern Ontario, Yüksek Lisans Tezi, York University.

Seier, E., 1998, A family of skewness and kurtosis measures, Doktora Tezi, Wyoming Üniversitesi.

Shariff, N. S., Musa, T. A., Ses, S., Musliman, I. A. ve Lee, H. K., 2015, Performance analysis of ISKANDARnet: a research-based network RTK positioning system, Journal of Spatial Science, 60(2), 365-386.

Talbot, N. C., Lu, G., Allison, T., Vollath, U., 2002, Broadcast network RTK – Transmission standards and results, Proceedings of ION GPS, Portland, 2379-2387.

UCI, son erişim 5 Haziran 2017, http://gnss.curtin.edu.au/wp- content/uploads/sites/21-/2016/04/Odi10b.pdf).

UCI, son erişim 14 Ağustos 2017, [teqc] helpful tip of week 1895, https://postal.unavco.org/pipermail/teqc/2016/002071.html.

UCI, son erişim 18 Ağustos 2017, https://www.use-snip.com/kb/knowledge-base/rtcm-3-message-list/.

UCI, son erişim 10 Ağustos 2017, https://www.unavco.org/software/data-processing/teqc/doc/UNAVCO_Teqc_Tutorial.pdf.

UCI, son erişim 5 Eylül 2017, http://web.ics.purdue.edu/~ecalais/teaching/geodesy/EAS-_591T_2003_lab_6.htm.

UCI, son erişim 10 Kasım 2017, https://ccmc.gsfc.nasa.gov/RoR_WWW /SWREDI/contest-presentations /2017/CCMCPaper_ShreeyaKhurana_Final.pdf.

Vollath, U., Buecherl, A., Landau, H., Pagels, C. ve Wagner, B., 2000, Multi-base RTK positioning using virtual reference stations, Proccedings of 13th International Technical Meeting of the Satellite of the ION, Salt Lake City, UT 123-131.

Wang, Charles., Feng Y., Higgins M. ve Cowie B., 2010, Assessment of Commercial Network RTK User Positioning Performance over Long Inter-Station Distances, Journal of Global Positioning Systems 9 (1), 78-89.

Wei, E., Chai, H., An, Z. ve Liu, J., 2006, VRS virtual observations generation algorithm, Journal of Global Positioning Systems, 5(1-2), 76-81.

Wübenna, G., Bagge, A. ve Schmitz, M., 2001, Network–based techniques for RTK applications, GPS Society, Japan Institute of Navigation, Tokyo, Japan

Wübenna, G., Schmitz, M. ve Bagge, A., 2005, PPP-RTK: precise point positioning using state-space representation in RTK networks, 18th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation, Long Beach, California, 2584–2594.

Wübenna, G. ve Bagge, A., 2006, RTCM Message Type 59-FKP for transmission of FKP, Geo++ White Paper, Garbsen, Germany.

Yıldırım, Ö., Bakıcı, S., Cingöz, A., Erkan, Y., Gülal, E. ve Dindar, A.A, Tusaga-Aktif (Cors Tr) Projesi Ve Ülkemize Katkıları, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Ulusal Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Trabzon, 2007.

Yu, J., Yan, B., Meng, X., Shao, X. ve Ye, H., 2016, Measurement of bridge dynamic responses using network-based real-time kinematic GNSS technique, Journal of Surveying Engineering, 142(3), 04015013.

Zhang, J., Dere, K. P., Howard, R. A. ve Bothmer, V., 2003, Identification of solar sources of major geomagnetic storms between 1996 and 2000, The Astrophysical Journal, 582(1), 520.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Salih Sermet Öğütcü
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 Lisesi, Meram, Konya	2003
Üniversite	:	Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2008
Yüksek Lisans	:	Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	2014
Doktora	:	Necmettin Erbakan Üniversitesi, Meram, Konya	2017

Özel Öğrenci Statüsünde Alınan Dersler (Yıldız Teknik Üniversitesi)	**Bitirme Yılı**
Duyarlıklı GPS için Değerlendirme Modelleri	2014-2015 Bahar Yarıyılı
Yüksek Duyarlıklı GPS Jeodezisi	2014-2015 Güz Yarıyılı

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2012-	Necmettin Erbakan Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

UZMANLIK ALANI

GNSS, MATLAB

YABANCI DİLLER

İNGİLİZCE

YAYINLAR

Öğütcü, S. ve Kalaycı, İ., 2016, Investigating Precision of Network Based RTK Techniques: Baseline Length Is Concerned, World Journal of Research and Review, 5 (1), 1-3. (Doktora tezinden yapılmıştır)

Öğütcü, S. ve Kalaycı, İ., 2016, Investigation of network-based RTK techniques: a case study in urban area, Arabian Journal of Geosciences, 9 (3):199. (Yüksek lisans tezinden yapılmıştır)