



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GNSS AĞ-RTK SİSTEMİNDE REFERANS
İSTASYONLARI GEOMETRİSİNİN VE
GEZEN ALICIYA OLAN UZAKLIĞIN ÖNEMİ**

Şeyma Gökçe ÇELİK KUBAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Mayıs-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Şeyma Gökçe ÇELİK KUBAT tarafından hazırlanan “GNSS AĞ-RTK SİSTEMİNDE REFERANS İSTASYONLARI GEOMETRİSİNİN VE GEZEN ALICIYA OLAN UZAKLIĞIN ÖNEMİ” adlı tez çalışması 28/05/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Reha Metin ALKAN
(İstanbul Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

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.

Şeyma Gökçe ÇELİK KUBAT

Tarih: 28.05.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GNSS AĞ-RTK SİSTEMİNDE REFERANS İSTASYONLARI GEOMETRİSİNİN VE GEZEN ALICIYA OLAN UZAKLIĞIN ÖNEMİ

Şeyma Gökçe ÇELİK KUBAT

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

2025, 81 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Prof. Dr. Reha Metin ALKAN

Uydularla Global Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) hızlı, ekonomik ve güvenilir konum hizmeti sunmasıyla günlük yaşantımızda yerini almıştır. GNSS ile konum belirleme yöntemlerinden birisi olan Ağ-RTK tekniği sayesinde gerçek zamanlı, yüksek kalitede, etkin ve performansı yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir. Klasik-RTK tekniğinin getirmiş olduğu mesafeye bağlı hatalar, Ağ-RTK tekniği ile büyük oranda ortadan kalkmış olup Ağ-RTK tekniğinde, gezen (rover) alıcıların 3 boyutlu gerçek zamanlı koordinatlarının 2-6 cm doğruluğunda belirlenmesi artık günümüzde standart bir uygulama haline gelmiştir. Bu doğruluklara ise TUSAGA-Aktif (Türkiye) ağı örneğinde gezen alıcının yaklaşık 40-80 km etrafındaki Ağ-RTK referans istasyonlarından elde edilen atmosferik parametreler gezen alıcı noktasına enterpole edilerek ulaşılmaktadır. Sonuç olarak hesaplanan gezici koordinatların standart sapmaları büyük oranda Ağ-RTK referans istasyonlarının geometrisi ve gezen alıcı ile referans istasyonları arasındaki uzaklığa bağlıdır. Dolayısıyla referans istasyonunun örneğin 10 km yakınındaki bir gezen alıcı koordinatının doğruluğu ile referans istasyonuna örneğin 150 km uzaklıktaki bir gezen alıcı koordinatının doğruluğu bu parametrelere bağlı olarak farklı olacaktır. İşte bu uzaklığa bağlı doğrulukların belirlenebilmesi için bazı ölçütlere gereksinim bulunmaktadır. Bu bağlamda birimsiz bir büyüklük olan IDOP (Interpolative Dilution Of Precision) kavramının kullanılabileceği değerlendirilmektedir. Diğer taraftan, Ağ-RTK ölçülerinde gezen alıcı (Rover) koordinatlarının doğruluğu onu çevreleyen (gezen alıcı koordinatlarının hesaplanmasında kullanılan) referans istasyonlarının geometrisine bağlı olarak da değişmektedir. IDOP kavramı ABD’de OPUS-RS ağ-RTK yazılımında kullanılmakta olup, Türkiye’de ise referans istasyonları geometrisi ve IDOP konularında yeterli çalışma olmadığı değerlendirilmektedir.

Yukarıda kısaca ifade edilen nedenlerle bu tez çalışmasında gerek referans istasyonları geometrisinin gerekse IDOP kavramının gezen alıcı koordinatlarının gerçek zamanlı olarak belirlenmesindeki etkisi TUSAGA-Aktif aracılığıyla araştırılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ağ-RTK, GNSS, IDOP, RMSD, TUSAGA-Aktif

ABSTRACT

MS THESIS

THE IMPORTANCE OF REFERENCE STATIONS GEOMETRY AND DISTANCE TO ROVER IN GNSS NETWORK-RTK SYSTEM

Şeyma Gökçe ÇELİK KUBAT

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ

2025, 81 Pages

Jury

**Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Prof. Dr. Reha Metin ALKAN**

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) have taken their place in our daily lives by providing fast, economical and reliable positioning services. Network RTK, which is one of the GNSS positioning methods, provides real-time, high quality, efficient and powerful results. The distance dependent errors introduced by the classical RTK technique have been largely eliminated with the Network-RTK technique, and the determination of the 3D real-time coordinates of the rover receivers with an accuracy of 2-6 cm in the Network-RTK technique has become a standard practice today. These accuracies are achieved by interpolating the atmospheric parameters obtained from the Network RTK reference stations located approximately 40–80 km around the rover receiver point, as in the example of the TUSAGA-Aktif (Türkiye) network. As a result, the standard deviations of the calculated rover coordinates are highly dependent on the geometry of the Network-RTK reference stations and the distance between the rover receiver and the reference stations. Therefore, the accuracy of a rover coordinate within, for example, 10 km from the reference station will be different from the accuracy of a rover coordinate within, for example, 150 km from the reference station, depending on these parameters. In order to determine these distance dependent accuracies, some criteria are needed. The concept of IDOP (Interpolative Dilution Of Precision) as a unitless quantity can be used. On the other hand, the accuracy of the rover coordinates in network RTK measurements also depends on the geometry of the surrounding reference stations (used to calculate the rover coordinates). The IDOP concept is used in the OPUS-RS network-RTK software in the USA, and it is evaluated that there is not enough work on reference station geometry and IDOP concept in Türkiye.

For the above mentioned reasons, this thesis will investigate the effect of both the geometry of the reference stations and the IDOP concept on the real-time determination of the rover receiver coordinates via TUSAGA-Aktif.

Keywords: NETWORK-RTK, GNSS, IDOP, RMSD, TUSAGA-Aktif

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın gerçekleşmesinde, hazırlık sürecinin her aşamasında desteğini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, bilgi ve birikimleriyle tez sürecimde bana her daim yol gösteren kıymetli danışmanım Prof. Dr. Muzaffer KAHVECİ'ye içten teşekkürlerimi sunarım. Onun rehberliğinde bu çalışmayı yürütmek benim için kıymetli bir deneyim, öğrencisi olmakta büyük bir ayrıcalık olmuştur.

Tez çalışmamla ilgili değerli zamanlarını ayırarak bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan Sayın Ziya Serhan KARAN'a, Ankara SİSTEM A.Ş. çalışanlarına ve Alaattin KADAKOĞLU'na destekleri için teşekkür ederim.

Sevgileri ve anlayışlarıyla her daim yanımda olan sevgili anneme ve babama en kalpten teşekkürlerimi sunarım. Hayatım boyunca verdikleri destek için sonsuz minnettarım.

Son olarak tez çalışmasının her aşamasında sabrı ve anlayışıyla yanımda olan, zorlu ve yoğun geçen bu süreçte koşulsuz sevgisiyle bana huzur ve motivasyon veren sevgili eşim, hayat arkadaşım Burak KUBAT' a içten teşekkürlerimi sunarım.

Şeyma Gökçe ÇELİK KUBAT
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. GNSS ile Konum Belirleme	2
1.2. GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri	3
1.2.1. Mutlak konum belirleme	3
1.2.2. Görelî konum belirleme	4
1.3. GNSS Hata Kaynakları	6
1.3.1. Uydu yörünge (efemeris) hataları	7
1.3.2. Uydu ve alıcı saat hataları	7
1.3.3. Atmosferik (İyonosfer ve Troposfer) hatalar	8
1.3.4. Sinyal yansıma hataları	10
1.3.5. Alıcı anteni faz merkezi hataları	11
1.3.6. Taşıyıcı dalga faz belirsizliği ve faz kesiklileri	11
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	15
3.1. RTK Yöntemi ile Konum Belirleme	15
3.1.1. Klasik (Standart) RTK	15
3.1.2. Ağ-RTK (Network-RTK)	16
3.1.3. GNSS ile Konum Belirlemede Noktalar Arasındaki Uzaklığın Önemi	18
3.2. Uzaklığa Bağlı Enterpolasyon Hatası (IDOP) ve RMSD Hesabı	18
3.3. Ankara Bölgesi ve Çevresindeki TUSAGA-Aktif Noktalarını Kapsayan Ağ Geometrisi ve GNSS Ölçü Planı	27
3.4. Seçilen TUSAGA-Aktif Noktaları ve Gezen Alıcılar (HYMG ve KKAG) İçin IDOP ve RMSD Hesaplamaları	32
3.5. IDOP ve RMSD'nin Fonksiyonu Olarak Doğruluğun Gösterimi	44
3.6. TUSAGA-Aktif ve Gezen Alıcı Noktalarına Ait Hesaplamalar	45
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
5.1 Sonuçlar	76
5.2 Öneriler	76
KAYNAKLAR	78

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

σ	: Standart sapma
α	: Deneysel olarak bulunan sabit
β	: Deneysel olarak bulunan sabit
γ	: Deneysel olarak bulunan sabit

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AGNES	: Automated GNSS Network for Switzerland
Ağ-RTK	: Ağ-Real Time Kinematic
APOS	: Austrian Positioning Service
BÖHHBÜY	: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CONUS	: Continental United States
CORS	: Continuously Operating Reference Station
DOP	: Dilution Of Precision
FKP	: Flachen Korrektur Parameters
GDOP	: Geometric Dilution Of Precision
GEONET	: GNSS Earth Observation Network System
GMF	: Global Mapping Function
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
GRS80	: Geodetic Reference System 1980
HDOP	: Horizontal Dilution Of Precision
IDOP	: Interpolative Dilution Of Precision
IGS	: International GNSS Service
IRNSS	: Indian Regional Navigation Satellite System
ITRF	: International Terrestrial Reference Frame
MAC	: Master Auxiliary Concept
NAVSTAR	: Navigation System by Timing And Ranging
NETPOS	: Netherlands Positioning Service
NGS	: National Geodetic Survey
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
OPUS	: Online Positioning User Service
OPUS-RS	: Online Positioning User Service Rapid Static
OPUS-S	: Online Positioning User Service-Static
PDOP	: Position Dilution Of Precision
PRN	: Pseudorandom Noise
RINEX	: Receiver Independent Exchange Format
RMSD	: Root Mean Square Distance
RTK	: Real Time Kinematic
SA	: Selective Availability
SAPOS	: Satellite Positioning Service
SOPAC	: Scripps Orbit and Permanent Array Center
SP3	: Standart Product 3
TDOP	: Time Dilution Of Precision

TEC	: Total Electron Content
TUBİTAK	: Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
TUSAGA-AKTİF	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif
UERE	: User Equivalent Range Error
UHF	: Ultra High Frequency
URE	: User Range Error
UTC	: Coordinated Universal Time
VDOP	: Vertical Dilution Of Precision
VHF	: Very High Frequency
VMF	: Vienna Mapping Function
VRS	: Virtual Reference Stations



1. GİRİŞ

Konum belirleme insanlık tarihi boyunca ilk çağlardan itibaren hep önemli bir konu olmuştur. İlk çağlarda insanlar bulundukları yerin konumunu belirlemek için doğal referans noktalarından (ağaçlar, dağlar, ay, güneş, yıldızlar vs.) faydalanmıştır. Tarihin akışı içerisinde bulunduğu yerden daha uzak yerlere gitme ihtiyacı duyulmuş ve bunun için çeşitli yön belirleyici teknikler ve yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan en bilineni, gök cisimlerini referans noktası olarak kabul ederek usturlap ve sekstant gibi ölçüm aletleri yardımıyla konum belirleme yöntemidir. İnsanlık tarih içerisinde yüzyıllarca bu yöntemi kullanarak yönünü tayin etmiş ancak çeşitli sorunlarla karşılaşmıştır. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte gök cisimlerini kullanarak konum belirlemede edinilen tecrübeler ışığında kendi yapay gök cisimlerini (konum belirleme ve navigasyon uyduları) üreten insanlık çok daha hassas bir şekilde yeryüzündeki konum bilgisini elde etmeyi başarmıştır. Bu süreçte başlangıçta kullanılan konum belirleme yönteminden günümüzdeki gelişmiş sistemlere kadar tüm konum belirleme yöntemlerinin ortak noktası her zaman bir referans noktasından yola çıkarak varılacak hedefe ait konumu belirleme işlemi gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu durum günümüzde kullanılan GNSS ile konum belirleme yöntemi içinde geçerlidir.

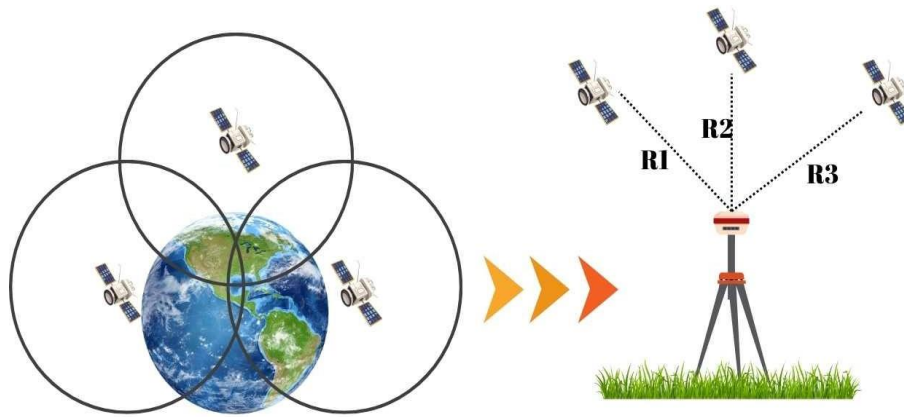
4 Ekim 1957'de Sovyetlerin uzaya fırlattığı Sputnik uydusu, uydularla konum belirlemenin temel prensiplerini ortaya koyan öncü bir uygulama olmuştur. Böylelikle uzaya uydu fırlatma döneminin de başlangıcını oluşturmuştur. Diğer taraftan ABD Savunma Bakanlığı tarafından geliştirilen NAVSTAR/GPS, ana amaç olarak askeri faaliyetlerde kullanılmak üzere yer alan ve daha sonraki süreçte sivilin kullanımına açılarak kara, hava ve deniz araçlarının navigasyonu, kadastral ölçmeler, hassas tarım, ormancılık, araç takip sistemleri, coğrafi bilgi sistemleri, insansız hava araçlarının kullanımı gibi günümüzde birçok sektörde çeşitli amaçlara hizmet etmektedir. GPS çoğunlukla hava şartlarından bağımsız olarak gece ve gündüz sürekli, herhangi bir yer ve zamanda ölçüm yaparak gerçek zamanlı konum, hız ve zaman bilgisini sağlamasıyla üç boyutlu nokta koordinatları elde etmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2021). Zaman içerisinde; Avrupa Birliği tarafından Galileo, Rusya tarafından GLONASS ve Çin'e ait BeiDou global konum belirleme uydu sistemleri geliştirilmiş ve uygulamaya konulmuştur. Günümüz itibarıyla mevcut 4 farklı global uydu sistemi, GNSS olarak adlandırılan sistemi ortaya çıkarmıştır.

1.1. GNSS ile Konum Belirleme

Koordine edilmiş bir noktadan, başka bir noktaya ulaşım hedefine yönelik hareket seyrüsefer (navigasyon) olarak tanımlanır. Seyrüsefer bu hareketlerin hem planlanmasını hem de uygulanmasını içerir (Montello, 2005). Konum belirleme gereksinimi nedeniyle senelerdir süre gelen birçok donanım ve sistem geliştirilmiştir. Günümüzde ise GNSS sistemleri yalnızca navigasyon amaçlı olmayıp günlük yaşamın her aşamasında kullanılan bir sistem haline gelmiştir (Kahveci ve Yıldız, 2021). GNSS sistemleri, kullanıcılara uydu tabanlı navigasyon sağlayarak mutlak anlamda konum doğruluğu sunmaktadır (Sayan, 2024).

GNSS, uzayda konumları bilinen, sinyalleri Dünya'dan gözlemlenebilen ve belirli yörüngede bulunan bir dizi uydudan oluşur. Kullanıcıların üç boyutlu konumlarını saptamak için konumu bilinen üç farklı uydunun gözlemciye olan mesafesinin bilinmesi yeterli bilgi sağlar. Ancak Dünya'nın herhangi bir yerinde sürekli konum bilgisi sağlanması için en az dört uydu gerekmektedir (Kocaman ve Ingensand, 2003).

GNSS, uzunluk ölçümüne ve trilaterasyon (uzayda geriden kestirme) yöntemine dayanır (Davidovic ve Mijic, 2017). GNSS uyduları, konumlarını ve zaman bilgilerini içeren verilerin Dünya'ya iletilmesi amacıyla radyo sinyalleri yayınlamalıdır. Uydularda bulunan hassas atomik saatler zamanı belirler. Yeryüzündeki alıcı en az 4 uydudan gelen sinyal yardımıyla uydu-alıcı uzaklığından yararlanarak konumunu belirler. Alıcı, sinyal alım zamanı ve yayın zamanı arasındaki zaman farkının ışık hızıyla çarpılması ile uydu-alıcı arasındaki mesafe bilgisini elde eder (Şekil 1.1).



Şekil 1.1. GNSS ile Konum Belirleme

1.2. GNSS ile Konum Belirleme Yöntemleri

GNSS ile konum belirleme uygulamalarında farklı yöntemler mevcuttur. Bunlar hesaplamalarda kullanılan kod gözlem ve faz gözlem verisine, çözümlerde doğru sonuçlar elde edebilmek için ölçü epok sayısına, kullanılan alıcı sayısına bağlı olarak değişir (Kahveci ve diğ., 2011). GNSS ile konum belirleme yöntemleri, Şekil 1.2'deki gibi temel olarak Mutlak Konum Belirleme ve Görelî Konum Belirleme olarak ikiye ayrılır.

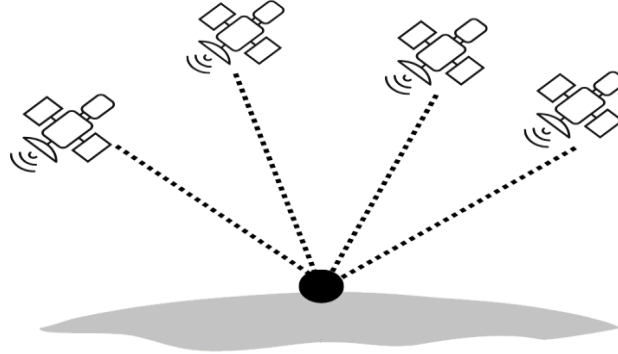


Şekil 1.2. Uydularla Konum Belirleme Yöntemleri (Kahveci ve Yıldız, 2021)

1.2.1. Mutlak konum belirleme

Mutlak konum belirleme; uydu ile alıcı arasındaki kod ve faz ölçülerinden yararlanarak alıcı koordinatlarının doğrudan (gerçek zamanlı) hesaplanması temeline dayanır. Yöntem, ölçü noktası üzerinde kurulan tek bir alıcı tarafından 3 boyutlu konum için en az dört uyduya gözlem yapılarak kod gözlemleri ile nokta koordinatlarını bulma esasına dayanmaktadır (Şekil 1.3). Uzayda geriden kestirme hesabından yola çıkarak elde edilen koordinatlar uydu geometrisine ve kod bilgisine bağlı olarak anlık ve kesin olarak belirlenebilmektedir. Mutlak konum belirleme yönteminde GNSS gözlemlerini etkileyen çok sayıda hata kaynağı (uydu yörünge hatası, atmosferik etkiler, uydu ve alıcı saati hataları, sinyal yansıma etkisi vb.) vardır. Yüksek doğruluklu konum

belirlenirken tüm bu hata kaynaklarının dikkate alınarak giderilmesi gerekmektedir. (Kahveci ve Yıldız, 2021; Kurt, 2010). Mutlak konum belirleme ile metre mertebesinde doğruluklara ulaşmak olanaklıdır. Bu nedenle söz konusu yöntem daha çok arazide nokta keşfi, hobi amaçlı kullanım (dağcılık vb.) ve navigasyon gibi çok yüksek doğruluk istemeyen uygulamalarda kullanılmaktadır.



Şekil 1.3. Mutlak Konum Belirleme

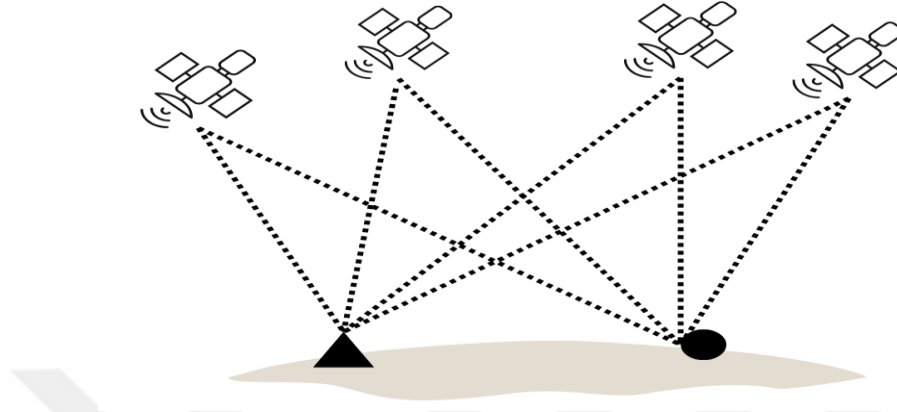
1.2.2. Göreli konum belirleme

GNSS ile göreli konum belirlemede amaç, bilinen noktaların koordinatlarından yararlanarak bilinmeyen bir noktanın koordinatlarının hesaplanmasıdır (Şekil 1.4). Bu ise bilinen ve bilinmeyen iki nokta arasında baz vektörünün (uzunluğun) belirlenmesi anlamına gelir. Bu tür konumlandırmayı gerçekleştirmek için kod ya da faz gözlemi olarak iki tür GNSS gözlemi kullanılabilir (Souza ve diğ., 2009). Göreli konumlandırma hem referans hem de bilinmeyen noktada eşzamanlı gözlemlerin yapılmasını gerektirir (Hofmann-Wellenhof ve diğ., 2008). Mühendislik ölçmeleri, deprem tahmini, yağış tahmini, deformasyon analizi, ülke datumunu belirleme gibi yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda faz gözlemleri kullanılmaktadır (Chen ve diğ., 2019; Kahveci ve Yıldız, 2021).

Faz gözlemleri kullanarak yapılarak göreli konum belirlemede beş farklı yöntem mevcut olup bunlar aşağıdaki gibidir;

- Statik Ölçü Yöntemi
- Hızlı (rapid/fast) Statik Ölçü Yöntemi
- Tekrarlı (reoccupation/pseudostatic) Ölçü Yöntemi
- Dur-Git (stop and go) Ölçü Yöntemi
- Kinematik Ölçü Yöntemi

Günümüzde Statik Ölçü Yöntemi ve Kinematik Ölçü yöntemi kullanılmakta olup bunların dışındaki ölçü yöntemleri çok özel uygulamalar dışında artık kullanılmamaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2021).



Şekil 1.4. Görelî Konum Belirleme

1.2.2.1. Statik ölçü yöntemi

Alıcılardan biri seçilen başlangıç noktasına (referans noktası) diğeri yeni noktaya kurulur. En az 4 ayrı uydu eş zamanlı gözlenerek faz ölçümleri yapılır ve alıcı saat bilinmeyenleriyle birlikte iki nokta arasındaki koordinat farkları veya baz belirlenir. Tektonik hareketlerin ve deformasyonların belirlenmesi gibi çok yüksek doğruluk istendiğinde, uzun bazlar söz konusu olduğunda ve sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda statik ölçme yöntemi en iyisidir. Statik yöntemle toplanmış olan ölçüler büroda uygun GNSS yazılımları (post-process) ile değerlendirilir. Başlangıçtaki tam dalga sayısını bulmak için en az bir saat süreli gözlem yapmak gerekir. Gözlem süresi bazın büyüklüğüne, gözlenebilen uydu sayısına ve uydu geometrisine bağlıdır (Erkaya ve diğ., 2005).

1.2.2.2. Hızlı statik ölçü yöntemi

Hızlı statik ölçme, statik GNSS ölçmesine benzeyen ve faz gözlemleri kullanılarak yapılan görelî konum belirleme tekniğidir. Sistem, eşzamanlı gözlem yaparak iki veya daha fazla alıcı kullanır. Hızlı statik ölçümde gözlem oturumu boyunca alıcılardan birisi koordinatı bilinen nokta üzerinde sabit kalırken başka alıcı bilinmeyen noktalar üzerinde kısa bir süre için sabit kalarak koordinatları bulunmak istenen başka

noktalara hareket eder. Bu yöntem, referans noktasının belirli uzaklığında koordinatı bulunacak noktalar için uygundur. Ölçü süresi noktalar arası mesafeye ve uydu geometrisine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bu yöntemde hareket halindeyken gezen alıcının kapatılabilmesi sistemin üstün yanlarından biridir (Rabbany, 2002).

Hızlı statik ölçme, statik konum belirlemeye göre süre bakımından çok daha kısadır çünkü teknik, çeşitli istatistikler kullanarak hızlı belirsizlik çözümü sağlayan özel işleme algoritmalarından yararlanır (Hastaoğlu ve Şanlı, 2011). Hızlı statik yöntem RTK' dan daha iyi doğruluk ve güvenilirlik ve statik yöntemden daha hızlı ölçme imkânı sunar (Marcelo, 2000).

1.2.2.3. Kinematik ölçü yöntemi

Bu ölçüm yönteminde tespit edilen güzergâh üzerinde belirli bir süre aralıkları ile nokta konumlarının belirlenmesi amaçlanmaktadır. Faz belirsizliğinin çözümü için Alıcılardan biri koordinatı bilinen bir noktaya, ikinci alıcı ise herhangi bir noktaya kurulur. Önceden belirlenen ölçü aralıkları ile ölçüye devam edilerek hareket halindeki antenin konumu belirlenmiş olur. Diğer alıcı hareket halinde iken faz belirsizliğine düşmemesi için en az dört uydunun sürekli izlenmesi gerekmektedir. Bu ölçü yöntemi zaman bakımından hızlı ve ekonomik bir ölçü tekniği olup hidrografik ölçmelerde uygundur (Kahveci ve Yıldız, 2021).

1.3. GNSS Hata Kaynakları

Global navigasyon uydu sistemleri (GNSS) tarafından sağlanan hizmetler hem askeri hem de sivil olmak üzere pek çok alanda ve uygulamada kullanılmaktadır. Bir GNSS alıcısı uydudan sinyalleri almak ve navigasyon çözümünü oluşturmak için bu uydulara gözlem yapar. Bu gözlemlerde sinyalin, uydu anteni ve varış noktası olan alıcı anteni arasında binlerce kilometrelik (örn. GPS için yaklaşık 20200 km) bir yolculuğu söz konusudur. Sinyaller çeşitli bozulmaya eğilimlidir ve bu bozulmalardan kaynaklı ölçümlerde hatalara neden olarak konumlandırma doğruluğunu düşürür (Karaim ve diğ., 2018).

Alıcı aracılığıyla belirlenen konum, zaman veya hız ile ilgili gerçeğe yakın değerler sistemin doğruluğu olarak adlandırılabilir. Ölçülen değerlerde her zaman gerçek değerlerden sapma durumu vardır (Banerjee, 2017). Uydu ve alıcı arasındaki

uzaklık ve faz gözlemleri, farklı türlerde rastgele ve sistematik hataların etkisindedir. Temel olarak uydu-alıcı arasındaki uzaklığa bağlı hata kaynaklarını şu şekilde sıralamak mümkündür (Petropoulos ve diğ., 2021; Kahveci ve Yıldız, 2021).

- Uydu efemeris hataları
- Uydu ve alıcı saat hataları
- İyonosferik hatalar
- Troposferik hatalar
- Sinyal yansıma hataları
- Alıcı anteni faz merkezi hataları
- Taşıyıcı dalga faz belirsizliği ve faz kesiklileri

1.3.1. Uydu yörünge (efemeris) hataları

Global Konum Belirleme Sistemi (GPS) uzayda geriden kestirme prensibine göre çalışır. Bir kullanıcı, alıcı yardımıyla tam konumunu belirlemek için görüş alanındaki en az dört uydunun konum ve saat bilgisini elde etmelidir. Gerçek zamanlı uydu konumları ve saatleri efemeris parametrelerinden türetilir. Kontrol bölümü tarafından yayınlanan navigasyon mesajı içerisinde uydu ve yörünge saat düzeltmeleri yer alır. Efemeris ve saat bilgisinin hatasız biçimde yayınlanması uydu-alıcı uzaklığı (pseudorange) doğruluğunu ve dolayısıyla kullanıcı konum doğruluğunu doğrudan etkiler (Heng ve diğ., 2010).

Yayınlanan navigasyon mesajı içerisinde uydu konum bilgilerinin zayıf veya kasıtlı olarak hatalı yayınlanması durumunda karşılaşılan hata türü efemeris hatasıdır. Bu hata modellendirilmesi zor olduğundan uydu yörüngeleri daha duyarlı hesaplanmalı ve uydulara etki eden kuvvetlerin çok iyi ölçülmesi ya da modellendirilmesi gerekmektedir. Uydu efemeris hatasının birkaç kilometrelik kısa baz uzunluklarında bozucu etkisi küçük olmasına karşın baz uzunluklarının 100 km ve daha fazlasını bulduğu durumlarda hatanın büyüklüğü önem arz etmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2021).

1.3.2. Uydu ve alıcı saat hataları

Konum belirleme sistemlerinin ölçüm temelinde zaman faktörü önem taşır. Uydu saati hatası en büyük hatayı oluşturmaktadır. Hatanın etkisi ölçü noktalarındaki

tüm alıcılar ve sivil kod, askeri kod kullanıcıları için aynı büyüklüğe sahiptir (Kahveci ve Yıldız, 2021).

Seçimli Doğruluk Erişimi (SA) nedeniyle özellikle saat frekanslarının kasıtlı olarak azaltılması konum hesaplarındaki hassasiyeti düşürür. Doğruluğun zayıf olması uydu saat hatasıyla ilgili bilginin eksik olmasından kaynaklıdır (Han ve diğ., 2001). Sebeplerden bir diğeri de GNSS alıcılarında kullanılan ve doğruluğu düşük olan ucuz kristal saatlerin kullanılmasıdır. Bu nedenle alıcı saat hatası GNSS uydu saatininkinden çok daha büyüktür. Bu sorunun çözümlerinden biri sezyum veya rubidyum saatlerini kullanmaktır. Ancak bu yöntem çok daha pahalı olmasından dolayı daha yaygın çözüm ise hatayı konum ölçümünde ek bir bilinmeyen parametre olarak tahmin ederek ortadan kaldırmaktır (Karaim ve diğ., 2018).

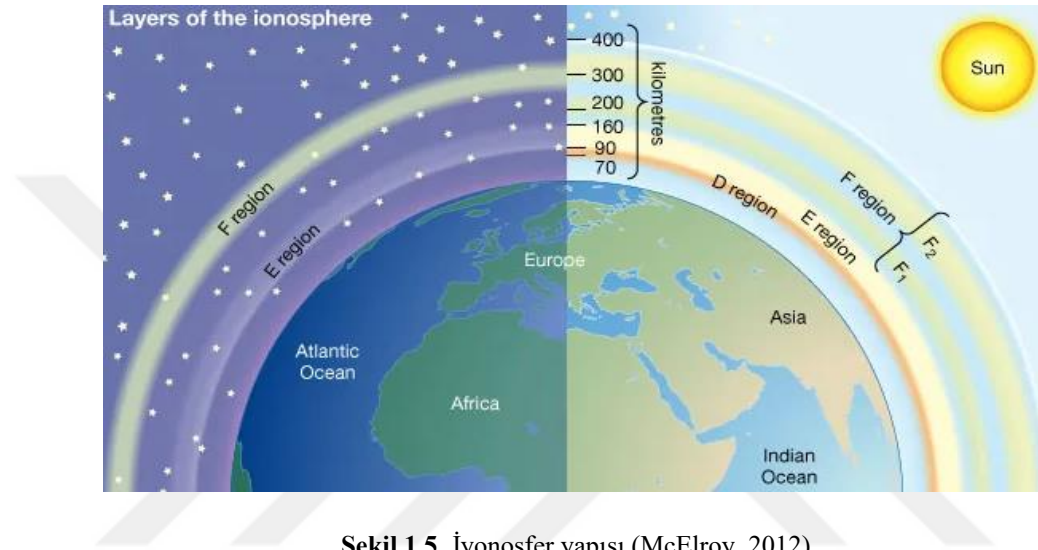
Uydu ve alıcı saatlerinin GNSS zamanına tam olarak senkronize edilememesi uydu saati hatasının temel nedenidir. GNSS uyduları son derece hassas ve oldukça maliyetli saatler kullanmasına rağmen GNSS zamanına göre ufak sapmalar meydana gelebilir. Öte yandan alıcı saatlere daha küçük, uygun maliyetli ve de pratik olması için tasarlandığından bu sapmalar uydulara kıyasla daha belirgin olmaktadır. Bu hata, kontrol merkezleri tarafından sürekli izlenmekte ve yayınlanan efemeris düzeltmeleri sayesinde navigasyon mesajları aracılığıyla alıcılara iletilerek giderilmektedir (Mutlu, 2019).

1.3.3. Atmosferik (İyonosfer ve Troposfer) hatalar

İyonosfer, atmosferin en üst kısmıdır. Tabaka içerisinde barınan ve iyonize olma potansiyeli taşıyan atomlar nedeniyle güneş aktivitesine bağlı olarak değişkenlik gösterir (Şekil 1.5). Küresel Konumlandırma Uydu Sistemleri (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) teknolojisinin kullanıldığı çalışmalarda iyonosferdeki serbest elektron yoğunluğu TEC (Total Electron Content) parametresiyle tanımlanır. TEC, birim olarak TECU ile ifade edilir ve 1 TECU 10^{16} elektron/m² 'ye eşittir. Bu değer, sinyalin izlediği yol boyunca, taban alanı 1 m² olan bir silindirin içinde bulunan toplam serbest elektron miktarını ifade eder (Şentürk, 2021).

İyonosfer tabakası yapısı gereği güneş aktivitesi, mevsimsel değişim, gece-gündüz, konum, jeomanyetik aktivite, deprem gibi etmenlere bağlı olarak değişim göstermektedir (İnyurt ve diğ., 2020).

Atmosferde ilerleyen bir GNSS sinyali, sinyal frekansının karesinin tersi oranında iyonosferdeki serbest elektron miktarına bağlı olarak gecikme/hızlanma etkisine maruz kalır. Sinyaldeki gecikmenin frekans bağımlı olması sayesinde en az çift frekanslı bir GNSS alıcısı yardımıyla, frekanslarda meydana gelen iyonosferik etkinin farklılığı üzerine kurulu bir modelleme (kod ölçüleri, faz ölçüleri veya her ikisinin birleşimi) ile iyonosferdeki toplam serbest elektron miktarı hesaplanabilir (Şentürk, 2021).



Şekil 1.5. İyonosfer yapısı (McElroy, 2012)

GNSS sinyalleri, iyonosferden yeryüzündeki bir alıcıya varana kadar sırasıyla atmosferin mezosfer, stratosfer ve troposfer tabakalarından geçerek seyahat eder.

Troposfer, enleme bağlı olarak Dünya yüzeyinden yaklaşık 10-15 km'ye kadar uzanan ve iyonize edilmemiş gazlardan oluşan atmosferin en alt tabakasıdır. Bu kısım aynı zamanda ticari uçaklarında uçtuğu ve çoğu hava olaylarının meydana geldiği yerdir. Bir elektromanyetik dalga troposferden geçerken, gaz molekülleriyle etkileşime girerek kırılma, emilim, saçılma ve parazit gibi çeşitli etkilere yol açar (Kindervatter ve diğ., 2022). İyonize olmayan (nötr) atmosferin radyo frekanslarında yayınlanan elektromanyetik dalgalara olan etkisi troposferik gecikme olarak isimlendirilir. Nötr atmosfer elektromanyetik dalgaların hızında ve yönünde değişime neden olur (Kahveci ve Yıldız, 2021).

Bir elektromanyetik dalga troposferden geçerken, yavaş bir hızda yayılarak kırılmaya uğrar. Böylece yüzeye doğru düz bir yol olarak daha uzun bir yol kat eder. Bu iki etkinin birleşimi, yavaş yayılma hızı ve daha uzun yoldur. Bu troposferik etkiden dolayı GNSS konumlandırmasını gerçekleştirirken hataya neden olur. Ortaya çıkan hata

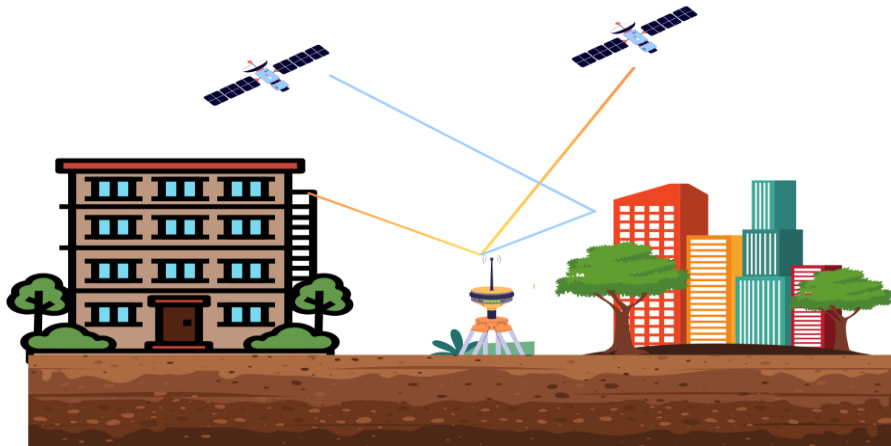
troposferin kırıcılığına bağlıdır. Troposferik kırıcılık sıcaklık, kuru gazların basıncı ve su buharı basıncı büyüklükleri ile belirlenebilir (Kindervatter ve diğ., 2022). Troposferik etkinin giderilmesi amacıyla ticari amaçlı değerlendirme yazılımlarında en çok kullanılan Saastamoinen ve Hopfield modelleri; bilimsel amaçlı ve yüksek doğruluk isteyen hesaplamalarda ise kullanılan Niell (Isobaric Mapping Function), VMF (Vienna Mapping Function) ve GMF (Global Mapping Function) modelleridir (Kahveci ve Yıldız, 2021).

1.3.4. Sinyal yansıma hataları

GNSS alıcısı, radyo sinyalinin uydulardan GNSS alıcısına ulaşması için geçen süreyi ölçerek uydu-alıcı mesafesini hesaplar. Yansıyan çok yollu sinyal (multipath), doğrudan gelen sinyalden daha uzun bir yol aldığından yüksek doğruluk gerektiren GNSS uygulamalarında önemli konumlandırma hatalarına neden olabilir (Kos ve diğ., 2010).

Sinyal yansıma hatası, uydulardan gelen doğrudan sinyallerin antenin çevresindeki nesnelerden yansıyan sinyallerle karıştırıldığında ortaya çıkar (Şekil 1.6). Ortamdaki herhangi bir yansıtıcı yüzey yansıyan sinyallere ve dolayısıyla sinyal yansıma hatasına sebep olur. GNSS ölçümünde sinyal yansıma hatası dört faktöre bağlıdır. Bunlar; Yansıtıcı ortam, uydu/anten geometrisi, kullanılan alıcı donanımı ve antenin türü, ürün yazılımıdır (Lau, 2021).

Hatanın büyüklüğü PRN koduna ve kullanılan taşıyıcı frekansa göre değişiklik gösterir. Hata birkaç santimetreden birkaç metreye kadar değişebilir (Czerniak ve diğ., 1998).



Şekil 1.6. Sinyal yansıma etkisi

1.3.5. Alıcı anteni faz merkezi hataları

GNSS anteni, GNSS uydu ile alıcı arasındaki bağlantı modülüdür. Uydulardan gelen sinyali filtrelemek, yükseltmek ve alıcı tarafından işlenebilecek bir elektrik sinyaline dönüştürmek için kullanılır (ElHattab, 2013). Anten faz merkezi, uydudan gelip antende kaydedilen sinyallerin merkezidir. Jeodezik amaçlı ölçümlerde anten yüksekliğinin hassas olarak ölçülmesi çok önemlidir. Çünkü bu hata doğrudan nokta yüksekliğini etkilemektedir. Jeodezik amaçlı uygulamalar gibi çok yüksek doğruluk isteyen çalışmalarda özellikle antenin faz merkezinin yerinin doğru bilinmesi ve sonraki konum hesaplamalarında hesaba katılması önemlidir (Czerniak ve diğ., 1998).

1.3.6. Taşıyıcı dalga faz belirsizliği ve faz kesiklikleri

Konum belirleme amacıyla GNSS de kullanılan faz ölçülerinde, uydudan yayınlanan taşıyıcı sinyal fazı ile alıcı arasındaki taşıyıcı sinyal fazının tam dalga boylarının sayısı bilinmemektedir. Buna “başlangıç belirsizliği” ya da “tamsayı belirsizliği” denilmektedir (Mekik ve Akçın, 1998).

Uydu sinyallerinde herhangi bir ölçü kesikliği olmadığı sürece yalnızca faz başlangıcı belirsizliğinin giderilmesi gerekmektedir. Başlangıç faz belirsizliği değerlerinin belirlenmesi genellikle iki aşamalı bir yöntemle gerçekleştirilmektedir. İlk aşama klasik dengeleme tekniği ile koordinat, saat ve başlangıç faz belirsizliği parametreleri beraber hesaplanmaktadır. İkinci aşama ise kesirli değerli başlangıç faz belirsizliği tahminlerinin sabit tamsayı değerlere dönüştürülme adımıdır (Alçay, 2010).

Uydu sinyalleri geçici olarak bir problem nedeniyle kesintiye uğrar. Buna faz kesiklikleri ya da faz kayıklıkları (cycle slips, loss of lock) adı verilmektedir. Bu problemler genel olarak; uydu sinyallerinin alıcıya ulaşmasında etrafını çevreleyen doğal ve yapay nesnelerin engelleriyle karşılaşması, kötü iyonosferik şartlar, sinyal yansıma etkisi ve alıcı yazılımında oluşabilecek hatalar şeklinde sıralanır. Faz kesikliğinin gerçekleştiği epoktan itibaren tüm epoklardaki faz gözlemleri bundan etkilenir. İstisna olarak etkilenmeyen tek gözlem üçlü farklardır. Bunun sebebi üçlü farklarda faz kesikliğinin yalnızca ilgili epokta geçerli olmasından kaynaklanır. Üçlü farklar faz kesikliklerinin belirlenip giderilmesinde kullanılan yöntemdir. Faz kesikliği ile karşılaşılması durumunda sinyal kesikliğinin meydana geldiği epok ve sonraki tüm epoklara kayma miktarı kadar düzeltme getirilmelidir (Kahveci ve Yıldız, 2021).

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Schwarz ve diğ. (2009), yayınlanan çalışmada konumsal koordinatların üç boyutlu olarak hesaplanması için CORS ağından gelen veri gözlemlerinden yararlanarak OPUS-RS yardımcı programı kullanılmıştır. Referans istasyonu geometrisinin OPUS-RS ile elde edilen gezici koordinatlarının doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan çalışmada, CONUS genelinde 10 aylık (Temmuz 2007-Nisan 2008) dönemde ve günün aynı saatinde (17:45-18:00 UTC) 15 dakikalık veri setleriyle gözlemler yapılmıştır. Bunun sonucunda beklenen standart hataları IDOP ve geziciye olan RMSD (Root Mean Square Distance)'nin bir fonksiyonu olarak istatistikler sunulmuştur. Sonuç olarak bu istatistiklerde yatay ve düşey bileşenlerde daha iyi standart hataların elde edildiği gösterilmiştir.

Soler ve diğ. (2011), Schwarz ve diğ. (2009)'da yapılmış olan bir çalışmanın bir devamı olarak zaman içerisinde α ve β deneysel değerleri ile tam olarak giderilemeyen CORS koordinatlarındaki hatalar, sinyal yansımaları (multipath) gibi etkiler nedeniyle oluşan hatalar vb. diğer artık rastgele hataları absorbe edecek şekilde sabit sayısını üçe çıkararak verilerde daha iyi bir uyum elde ederek " γ " olarak belirlenen ilave bir sabit belirlenmesi üzerine çalışma yapılmıştır.

NOAA (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi) (2011), yılında Ulusal Jeodezik Araştırması (NGS) tarafından sunulan Çevrimiçi Konumlandırma Kullanıcı Hizmeti (OPUS) ile elde edilebilecek hassasiyeti için yayımlanan çalışmasında OPUS-RS ile hesaplanan koordinatların mutlak olarak üç değişkene bağlı olduğu belirtilmiştir. Bunlar; gözlem oturumunun süresi, OPUS-RS çözümü için kullanılan CORS ağı istasyonlarının geometrisi (IDOP ölçütü) ve kullanıcının (gezici) OPUS-RS çözümü için kullanılan referans istasyonlarına olan mesafelerinin (RMSD ölçütü) göz önünde bulundurulması olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Kahveci (2017), "Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları" isimli kitapta, Türkiye'de Sürekli Gözlem Yapan GNSS İstasyonları Ağı ve Ulusal Datum Dönüşümü Projesi (CORS-TR/ TUSAGA-Aktif) ve yerel işletmelere ait olan sabit referans ağlarının GNSS ölçümlerinde günümüzde önemli rol oynadığını belirtmiştir. Ancak bu ağlar için konumsal koordinatlara genel doğruluk ifadelerinin kullanıldığı ve referans istasyonundan belirli mesafelerde doğruluk ifadesinin nasıl değişkenlik gösterdiğine dair bir ölçütün bulunmadığını ifade etmiştir.

Lee ve diğ. (2023), otonom araçlar ve benzeri uygulamalarda yüksek doğruluk ve güvenilirliği sağlamak amacıyla uydu navigasyon destek sistemlerinin kullanılmasında sistem performansını büyük ölçüde etkileyen yer istasyonlarının yerleşimi ve mesafesi için yerleşim noktasının sistem performansına olan etkisi analiz edilmiş ve performans ile hizmet alanına göre en uygun yerleşim noktaları belirlenmeye çalışılmıştır. Bunun için Schwarz ve diğ. 2009'da yayınlanan makalesinde kullanıcı konumlandırma performansını modelleyen formül olarak IDOP ve RMSD kavramlarına çalışmalarında yer vermiştir. Sonuç olarak gözlem istasyonlarına yeni referans istasyonlarının eklenmesi durumunda, eklenen noktalar ve kurulum sayısına bağlı olarak ortalama %95 doğrulukla yatayda yaklaşık 1.87 cm, dikeyde ise yaklaşık 4.61 cm iyimser sonuç elde edilmiştir.

Choi ve diğ. (2013), OPUS' un bir sürümü olan OPUS-Net' de gezici ile konumu bilinen referans istasyonları arasında oluşan baz mesafesinde güvenilir ve iyi geometrik dağılım sağlamak amacıyla algoritma geliştirmiştir. Bu algoritma ise mesafe odaklı olmamakla birlikte bölgelere göre en yakın istasyonu seçerek işlemlerini gerçekleştirir. OPUS için yeni bir referans istasyonu seçim modülünü değerlendirmek ve karşılaştırmak amacıyla IDOP nicel değişkeninden yararlanarak istasyon konumları geometrik olarak karşılaştırılır.

Doğru (2016), OPUS-RS yazılımıyla üretilen hızlı statik konum doğruluğunu deneysel olarak gözlem süresine ve baz uzunluğuna bağlı olarak belirlenmek için çalışma yapılmıştır. Bu kapsamda belirli baz uzunluklarına sahip US CORS GPS istasyonlarının tüm gün verilerinden yararlanarak hızlı statik konum belirleme için, 3'er günlük 8- 118 dakika arası (8, 15, 30, 60, 90, ve 118 dk.) gözlem setleri kullanılmıştır. Çalışma neticesinde NGS tarafından geliştirilmiş istatistik ölçüt birimi IDOP değerine bağlı olan sonuçlar ile klasik yöntemle elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak NGS' ye ait değerlerin yapılan çalışmadakine göre daha iyimser sonuçlar olduğu, gözlem süresinin 60 dakika ve üstü zamanlar için elde edilecek sonuçların baz uzunluğuna bağlı olmadığını ve sonraki yapılan çalışmalar için baz uzunluğuna bağlı örneklemenin RMSD ile belirlenen ortalama baz uzunluğuna göre yapılması gerektiğinin sonucuna ulaşılmıştır.

Son ve diğ. (2012), ağ tabanlı GNSS hassas konumlandırma performansını iyileştirme amacıyla GNSS alıcı istasyonlarının kurulum gereksinimlerini, uluslararası kuruluşların (IGS, NGS) önerileri doğrultusunda belirlemişlerdir. Ağ yapılandırmalarının farklılıklarına göre kullanılabilirliği değerlendirecek bir analiz

yöntemi önermiş ve ağı değerlendirmek için geometrik yapı ve baz mesafesi esas alınarak kullanıcı konumlandırma performansının ölçülme yöntemini irdelemişlerdir. Bu yöntemle 6 farklı ağ yapısı belirlenip konuma göre performans incelenmiştir. Sonuçta en uygun alıcı istasyon ağı belirlenmiştir.

Snay ve diğ. (2011), NGS'nin referans sistemine doğru ve kolay erişim amacıyla tanıtmış olduğu OPUS hizmeti için üç makale yayınlamışlardır. Makalenin bölümlerinde OPUS' un pozisyonel olarak koordinatları hangi hassasiyetle hesapladığı incelenmiştir. Sonuç olarak hassasiyet, OPUS' un ürettiği koordinatların, uzun süreli GPS verilerinden elde edilen ve NGS tarafından yayımlanan referans koordinatlarla karşılaştırılmasıyla değerlendirilmiştir.

Koivula ve diğ. (2018), Finlandiya'da bulunan GNSS referans istasyonu olan FinnRef ağ istasyonlarının yapılanmasını değiştirerek seyrek aralıklı yerleştirildiği bir ağla yapılan konumlandırmanın ne kadar doğru ve kullanılabilir olduğu test edilmiştir. Bu kapsamında istasyonlar arası 160 km olacak şekilde ayarlanarak iki farklı RTK cihazı ve farklı konumlandırma yöntemi kullanmışlardır. Sonuçta GNSS istasyonları seyrek olsa bile konumlandırma kalitesinin oldukça iyi olabileceği görülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. RTK Yöntemi ile Konum Belirleme

GNSS ile konum belirlemede yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda faz gözlemleri kullanılır ancak faz belirsizliklerin çözümü sistemi karmaşık hale getirir. Bu durum GNSS donanım ve yazılımlarında önemli yeniliklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Son yıllarda yaşanan gelişmeler sayesinde faz gözlemlerine dayalı yüksek hassasiyetli gerçek zamanlı kinematik (RTK) konum belirleme olanaklı hale gelmiştir. RTK sistemi özellikle araç takibi, navigasyon, makine kontrolü ve kazı dolgu gibi zamanın önemli olduğu alanlarda etkin şekilde kullanılan bir teknik haline gelmiştir (Kahveci, 2017).

Kinematik ölçü yöntemi farklı kategorilere ayrılırken, günümüzde en sık tercih edilen gerçek zamanlı kinematik (RTK) ölçüleridir. Bu nedenle kamu kurumları ve özel sektör, gerçek zamanlı sabit GNSS ağı kurarak bu sistemi yaygınlaştırmaktadır.

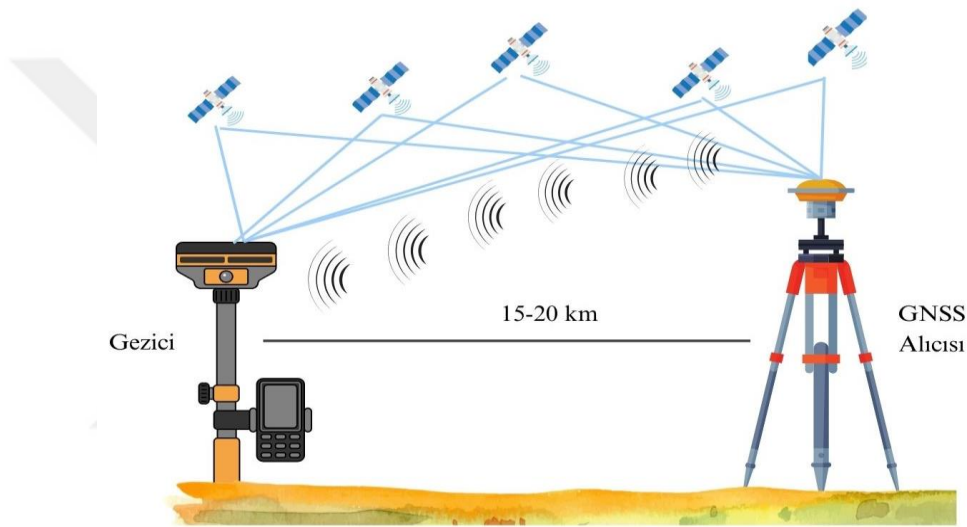
3.1.1. Klasik (Standart) RTK

GNSS teknolojisi, yüksek doğruluk, her türlü hava koşulunda çalışabilme, otomasyon ve yüksek verimlilik gibi önemli avantajlara sahip bir ölçüm aracıdır. GPS'in dinamik konumlandırma özellikleri geliştikçe, ölçüm alanındaki rolü de giderek artmaktadır. GNSS RTK teknolojisi ise, GNSS uydu tabanlı konum belirleme sistemine dayanan modern bir ölçüm yöntemidir (Dong, 2023).

Gerçek zamanlı kinematik (RTK) GNSS teknolojisi, konum ölçmelerinde önemli bir fayda sağlayarak daha yüksek doğruluk ve verimlilik sunar. RTK GNSS sistemleri, faz gözlemleri ile bir baz istasyonundan gerçek zamanlı düzeltmeler kullanarak santimetre seviyesinde hassasiyet elde eder. RTK GNSS yönteminde, bir noktanın konumu, bilinen bir referans noktasıyla karşılaştırılarak belirlenir. Baz istasyonu, düzeltme sinyallerini veri iletişim bağlantısı (VHF-UHF radyo, cep telefonu, uydu haberleşmesi vb.) aracılığıyla ölçüm alanındaki gezici (rover) cihaza iletir. Gezici cihaz, bu sinyalleri GNSS verilerine ekleyerek konum bilgisini daha hassas hale getirir. Bu yaklaşım, uydu tabanlı konumlandırmadaki hataları önemli ölçüde azaltır. Bu hatalar genellikle atmosferik etkiler, sinyal yansıma (multipath) etkileri ve uydu geometrisi gibi faktörlerden kaynaklanır.

Hatalardan kaçınmak veya en aza indirmek için, referans istasyonu ile gezici alıcı arasındaki mesafe 15-20 km'yi aşmamalıdır. Klasik RTK yöntemiyle ölçüm, başlangıç fazı bilinmeyenlerinin çözülmesiyle yapılır. Gezici alıcı, başlangıç için 5 uyduya, ölçüm başladıktan sonra ise en az 4 uyduya sinyal alarak izleme yapmalıdır. Klasik RTK yönteminde, yalnızca bir referans istasyonu ve bir gezici alıcı arasındaki tek bir baz ölçüldüğü için ek ölçümler yapılamaz. Bu durum, yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda güvenilirlik sorunlarına yol açmaktadır (Kahveci, 2017).

Gezici alıcı ile referans istasyonu arasındaki mesafeye bağlı sınırlamaların iyileştirilmesi amacıyla Ağ-RTK yöntemi geliştirilmiştir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Gerçek zamanlı klasik kinematik (RTK) yöntemi

3.1.2 Ağ-RTK (Network-RTK)

Tek bir baz istasyonu ile yapılan "gerçek zamanlı kinematik (RTK)" ölçümlerinin sınırlaması, referans alıcı ile gezici alıcı arasındaki mesafeye bağlı hatalardan kaynaklanır; bunlar yörünge, iyonosfer ve troposfer hatalarıdır. Bu mesafe bağımlılığını aşmak amacıyla, geniş bir alanı kapsayan GNSS referans istasyonları ağı kullanılarak çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bu sayede, ölçüm hataları modelleyip düzeltildiği için konum doğruluğu, alıcılar arasındaki mesafeye bağlı olmadan sağlanır. 1990'ların ortalarından itibaren araştırmacılar, referans alıcı verilerini analiz ederek, kullanıcılara gerçek zamanlı düzeltme verilerini sağlamak için en verimli yöntemi

geliştirmeye çalışmışlardır. Bugün bu yaklaşım, Ağ-RTK olarak adlandırılmaktadır (Rizos ve Han, 2003).

Ağ-RTK, temelde dört ana aşamadan oluşur; referans istasyonlarından veri toplanması, verilerin işlenip düzeltmelerin ağ işleme merkezinde oluşturulması, düzeltmelerin iletilmesi ve gezici alıcıda Ağ-RTK ile konumun belirlenmesi. İlk aşamada, birden fazla referans istasyonu aynı anda GNSS uydu gözlemleri yapar ve bu veriler kontrol merkezine gönderilir. Burada bir ana bilgisayar, tüm istasyonları internet üzerinden yönetir. Gelen veriler hatalar açısından incelenir, belirsizlikler düzeltilir ve ağ çözümü için işlenir. Veriler, sonradan işlemeye yönelik olarak arşivlenir. İşlenen ağ verileri, kullanıcılara gönderilir. Ağ bilgileri, kullanılan algoritmalara göre değişebilir ve referans istasyonlarının gözlemleri, düzeltme katsayıları veya birden fazla istasyondan elde edilen düzeltmeleri içerir (Mowafy, 2012).

Ağ-RTK tekniğinde çeşitli düzeltme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olanlar Sanal Referans İstasyonu (VRS), Alan Düzeltme Parametreleri (FKP) ve Ana Yardımcı Konsept (MAC) yöntemleridir. Her bir yöntemin üstün ve zayıf yönleri vardır. VRS ve FKP yöntemlerinde hata hesaplamaları ağ yazılımı tarafından yapılırken, MAC yönteminde bu işlem gezicideki yazılım tarafından gerçekleştirilir. Her ne kadar işlem şekilleri farklı olsa da bu yöntemlerin ortak amacı, kullanıcıların konumunu belirlerken referans istasyonlarındaki hataların enterpolasyonudur. Bu enterpolasyon, yüksek doğrulukla gerçek zamanlı konum belirleme için gereklidir. Bu yöntemlerle yapılan çalışmalar, birkaç santimetre hassasiyetinde yatay doğruluk sağlar (Öğütçü ve Kalaycı, 2016).

Dünya genelinde yaygın olarak kullanılan sürekli çalışan referans istasyonları sistemleri olarak; Amerika-CORS, Almanya-SAPOS, Japonya-GEONET, İsviçre-AGNES, Avusturya-APOS, Hollanda-NETPOS gibi Ağ-RTK örnekleri mevcuttur. Ülkemizde ise bu sistem TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif) adını almıştır. TUSAGA-Aktif Ağı, TÜBİTAK destekli ve yapımı 2009 yılında tamamlanmış olan Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü'nün iş birliğiyle kurulmuştur. TUSAGA-Aktif, yeterli sayıda GNSS uydusunun görülebildiği ve iletişimin sağlanabildiği her yerde, sadece birkaç saniye içinde, santimetre seviyesinde doğrulukla gerçek zamanlı konum bilgisi elde edilebilmektedir.

3.1.3 GNSS ile Konum Belirlemede Noktalar Arasındaki Uzaklığın Önemi

Ağ tabanlı yöntemin temel avantajı, uzun mesafelerde konuma bağlı hataların daha iyi modellenmesini sağlamasıdır. Faz kesikliklerinin ve faz belirsizliklerinin tespitinden sonra, gerekli gözlem düzeltmeleri sağlamaktadır. Ağ-RTK sistemlerinde referans noktaları arasındaki büyük mesafeler nedeniyle belirsizliklerin belirli bir zaman zarfında çözülmesi, en önemli teknik zorluklardan birisidir (Mowafy, 2012).

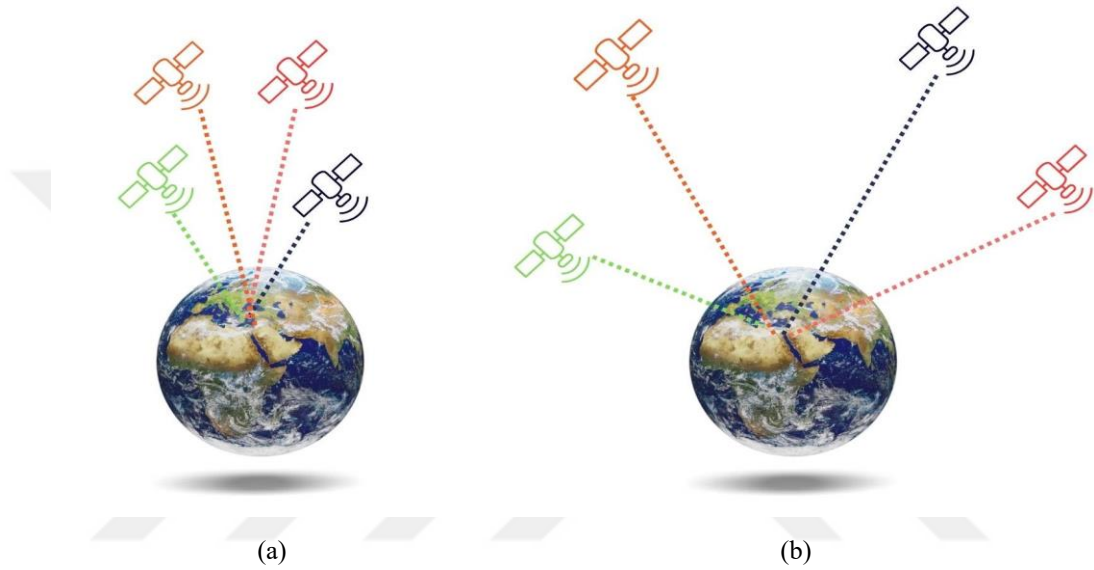
Diğer taraftan Ağ-RTK uygulaması, klasik RTK konumlandırılmasından geliştirilmiştir. Ancak klasik RTK tekniğinde tek bir referans istasyonu kullanılması sebebiyle gezici 15-20 km yakınında bulunması gereklidir. Çünkü GNSS hataları, daha uzun mesafe sebebiyle konum doğruluğunu olumsuz etkiler. Bu nedenle Ağ-RTK tekniği, referans istasyonları ağının geometrik yapısını kullanarak hataları mekânsal olarak modellemeyi amaçlayan klasik RTK'nin bir gelişimi olarak ortaya çıkmıştır. Ağ-RTK tekniği, temelde bölgesel bir referans istasyonu ağ verilerini birleştirerek kullanıcılara hassas ölçüm düzeltmeleri sağlar. Ancak, bu düzeltmelerin kalitesi, referans istasyonlarının arasındaki mesafeye, gezicinin konumuna ve ölçüm hatalarının özelliklerine bağlıdır. Bu durumda, gezicinin konumunun doğruluğu, ağdan alınan atmosferik düzeltmelerin doğruluğuna ve bu düzeltmelerin kablosuz bağlantılarla kullanıcılara iletilme yöntemlerine bağlıdır. Ağın geometrisi önemlidir çünkü zayıf bir ağ yapısı, iyonosferik ve troposferik değişiklikleri doğru şekilde modelleyemeyebilir. Bu da gezici konumuna yapılan enterpolasyonla iletilen düzeltmelerin kalitesinin düşmesine ve dolayısıyla belirsizlik çözümünün güvenilirliğinin azalmasına neden olabilir (Tsakiri, 2011).

Bu durum hakkında Schwarz ve diğ. (2009) tarafından yapılan çalışmada hesaplanan koordinatların standart hataları, referans istasyon ağlarının yerel geometrisine ve gezici ile referans istasyonları arasındaki mesafelere büyük ölçüde bağlı olduğu vurgulanmakta ve istasyon ağlarının yerel geometrisinin geziciye göre etkisinin tahmini önerilmektedir.

3.2. Uzaklığa Bağlı Enterpolasyon Hatası (IDOP) ve RMSD Hesabı

DOP (Dilution of Precision) ölçütleri, uyduların konumlarının oluşturduğu geometrik şeklin, elde edilen ölçümlerin doğruluğu üzerindeki etkilerini ifade etmek için yaygın olarak kullanılan ölçütlerdir. Bu ölçütler yardımıyla uyduların geometrik

durumuna göre alıcının konumunun güvenilirliği test edilir. Eğer uydular gökyüzünde birbirine geniş uygun bir uzaklıkta dağılırsa DOP sayısal değeri küçük olur ve ölçüm için uygun bir durumdur. Tersine, uyduların gökyüzündeki dağılımı birbirine yakın olduğu durumda ise DOP sayısal değeri yüksek olur ve bu ölçüm için uygun bir durum değildir (Şekil 3.2). Uydu geometrisi değerlerinin bilinmesiyle zaman tasarrufu, ölçü verimlerinin daha yüksek olması ve gereksiz ölçü tekrarlarının önüne geçilmesi açısından önemlidir.



Şekil 3.2. DOP (Dilution of Precision): (a): Kötü DOP (b): İyi DOP

Başka bir tanımla DOP, alıcı ile uyduların birbirine göre göreli konumlarına bağlı olarak tanımlanan ve ölçü noktasına ait konum parametrelerinin uydu-alıcı uzaklığı (Pseudorange) hataları (UERE, URE) ile ilişkisini kuran doğruluk sınırlayıcı geometri faktörleri olarak da ifade edilmektedir. DOP faktörleri genel olarak dengeleme sonrası elde edilen kofaktör veya varyans- kovaryans matrisinin köşegen elemanlarının fonksiyonu olarak elde edilmektedir. DOP faktörleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

- GDOP: Uydu geometrisinin hesaplanan nokta koordinatlarına ve alıcı saati bilinmeyenine toplam etkisini,
- PDOP: Uydu geometrisinin hesaplanan yatay ve düşey koordinatlara etkisini,
- HDOP: Uydu geometrisinin hesaplanan yatay koordinatlara etkisini (enlem, boylam)
- VDOP: Uydu geometrisinin hesaplanan nokta yüksekliğine etkisini,
- TDOP: Uydu geometrisinin hesaplanan zaman bilgisine etkisini gösterir (Baysal, 2008).

Uydu geometrisinin yapılan ölçümler sonucu elde edilen doğruluklar üzerindeki etkilerini ifade etmek için yukarıda belirtildiği üzere çeşitli ölçütler kullanılmaktadır. Uydu geometrisinden farklı olarak Schwarz ve diğ. (2009)'de yapılmış olan çalışmada; referans istasyonları ile gezici arasındaki mesafeye ve referans istasyonlarının geometrisine bağlı olup olmadığı araştırılmıştır. Alıcı ile referans istasyonları arasındaki uzaklığa bağlı olarak oluşan yerel ağ geometrisinin, atmosferik etkilerin düzeltilmesi amacıyla bir ölçüt olarak kullanılması için Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından IDOP (Interpolative Dilution Of Precision) kavramı geliştirilmiştir.

Schwarz ve diğ. (2009)'nin yaptıkları çalışmada IDOP'u, birimsiz bir büyüklük olarak tanımlayarak, bu değerin Ağ-RTK'nın yerel geometrik gücünü yansıttığını belirtmişlerdir. Bu incelemede, gezen alıcı koordinatlarının daha yüksek doğrulukta hesaplanabilmesinin referans istasyonları ile gezici arasındaki mesafeye ve referans istasyonlarının geometrisine bağlı olup olmadığı araştırılmıştır.

Schwarz ve diğ. (2009)'nin yaptıkları bu çalışmada referans istasyonları geometrisinin OPUS-RS yazılımı ile elde edilen gezen alıcı koordinatlarının doğruluğu üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmada IDOP şu şekilde hesaplanmıştır;

$i = 1, 2, 3, \dots, n$ için (x_i, y_i) noktalarında gösterilen n bağımsız gözlem kümesi olduğunu varsayıldığında;

$$R = (\sum \Delta x_i^2) (\sum \Delta y_i^2) - (\sum \Delta x_i \Delta y_i)^2 \quad (3.1)$$

$$Q = nR + 2(\sum \Delta x_i)(\sum \Delta y_i)(\sum \Delta x_i \Delta y_i) - (\sum \Delta x_i)^2 (\sum \Delta y_i^2) - (\sum \Delta y_i)^2 (\sum \Delta x_i^2) \quad (3.2)$$

Burada $i=1, 2, 3, \dots, n$ olmak üzere;

$\Delta x_i = x_i - x_0$ ve $\Delta y_i = y_i - y_0$ ile ifade edilmektedir.

$$IDOP = \sqrt{\frac{R}{Q}} \quad (3.3)$$

Eğer (x_0, y_0) veri noktalarının ağırlık merkezinde bulunuyorsa ($x_0 = (\sum x_i) / n$ ve $y_0 = (\sum y_i) / n$) o zaman, $\sum \Delta x_i = \sum \Delta y_i = 0$ olur ve IDOP formülü Eşitlik (3.4)'deki gibi elde edilir.

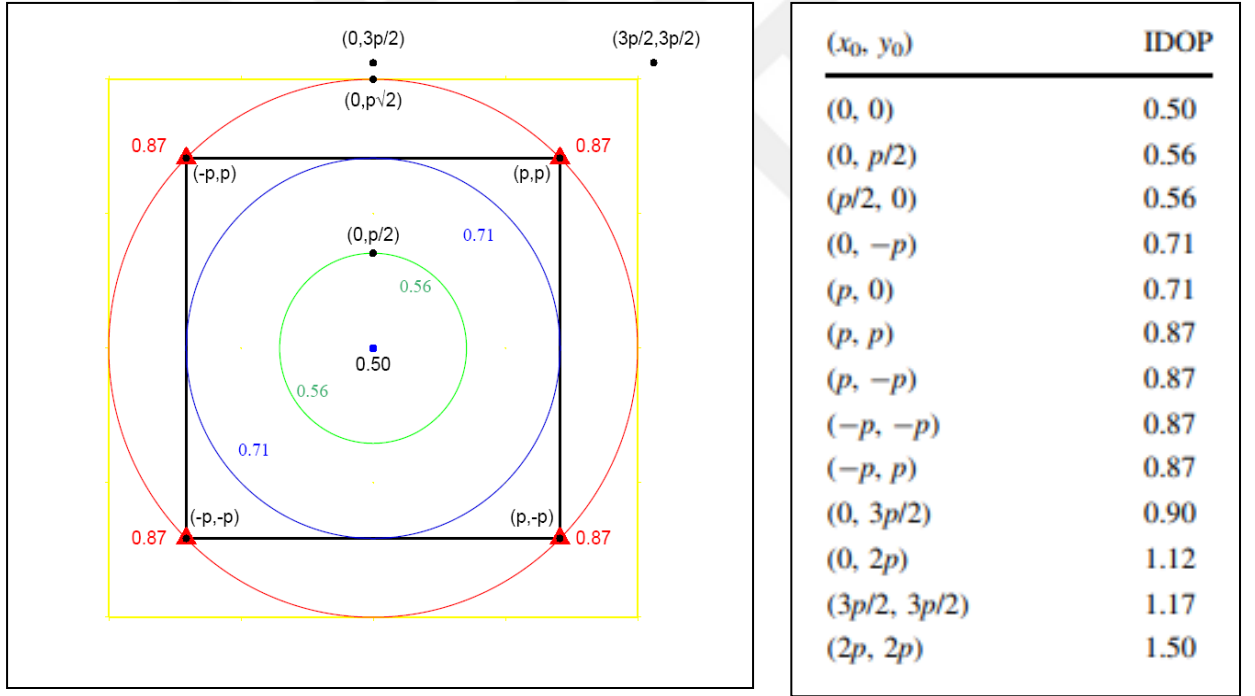
$$IDOP = \frac{1}{\sqrt{n}} \quad (3.4)$$

Burada (3.5) eşitliğinde;

$$\frac{\sigma(IDOP)}{\sigma x_0} = \frac{\sigma(IDOP)}{\sigma y_0} = 0 \quad (3.5)$$

Olduğu için (3.4) eşitliğindeki gibi IDOP minimum değerine sadece ağırlık merkezi noktasında ulaşır.

Şekil 3.3' de IDOP' un konuma nasıl bağlı olduğuna dair bir örnek vardır. Bu örnek için kenarları $2p$ olan bir karenin köşelerine yerleştirilmiş yalnızca dört referans istasyonu kullanılmıştır. Burada IDOP, p değişkeni için şekilde görüldüğü gibidir.

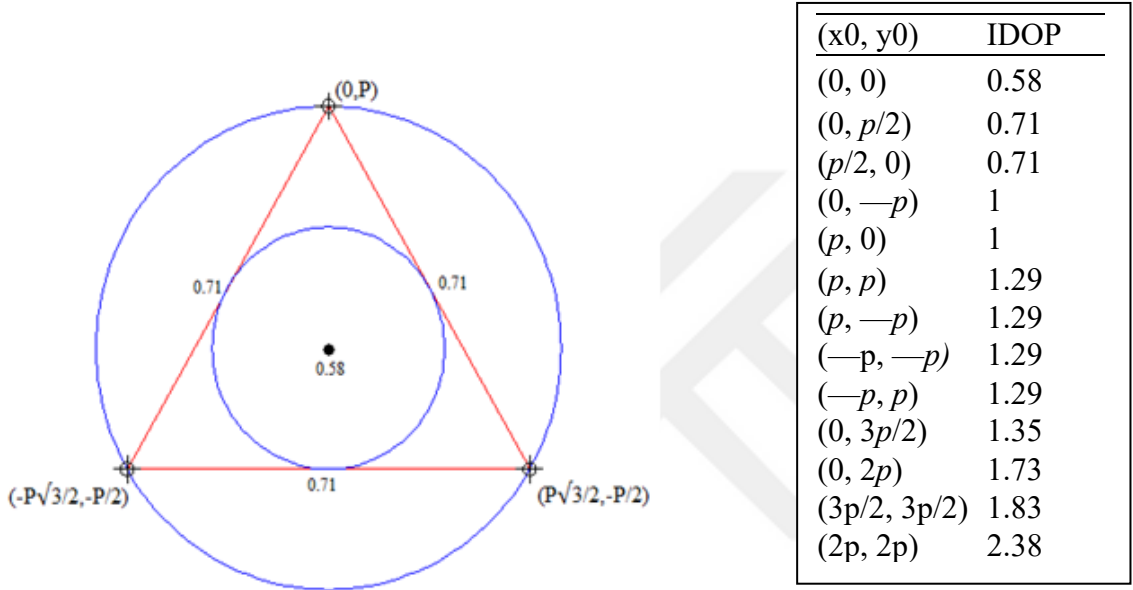


Şekil 3.3. Bir karenin köşelerinde bulunan dört referans istasyonu durumu için konumun bir fonksiyonu olarak IDOP değerleri (Schwarz ve diğ., 2009)

Şekil 3.3'te karenin her bir köşesi referans istasyonlarını temsil etmektedir. Karenin ağırlık merkezinde ($0.5 = 1/\sqrt{n}$) IDOP değeri en düşük olur. Bu değer dört referans istasyonu olduğunda 0.5'tir. Şekil 3.3'ün hemen sağındaki tabloda söz konusu karenin içinde ve dışındaki farklı konumlar için IDOP değerleri de sunulmuştur. Dolayısıyla IDOP teorisine göre, karenin dört köşesindeki referans istasyonunda hesaplanmış olan

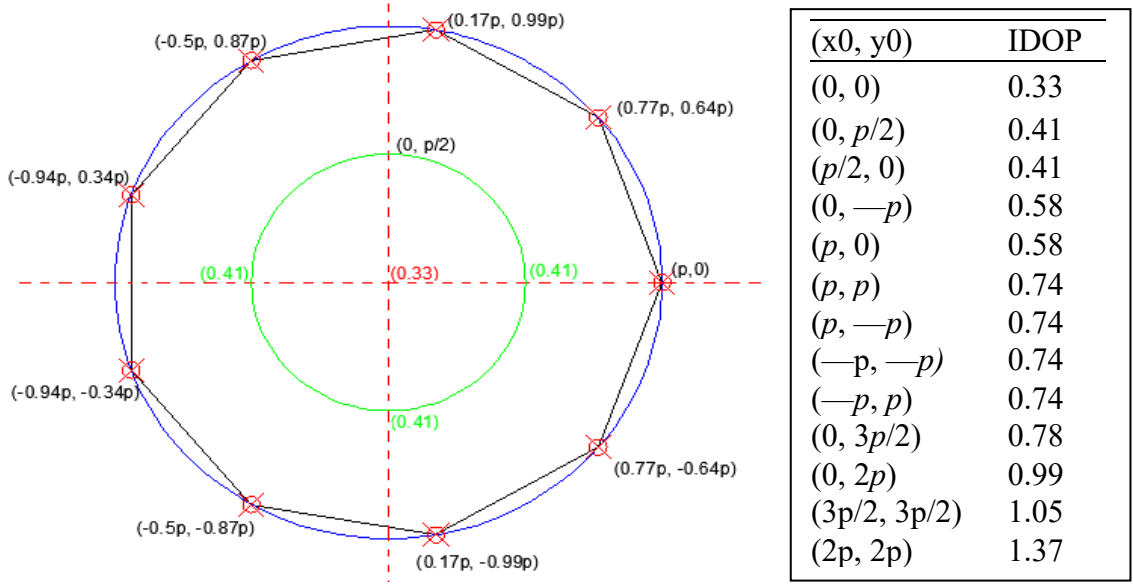
atmosferik parametreler birbirlerinden istatistik anlamda bağımsız kabul edilirse, bu durumda söz konusu atmosferik etkinin mekânsal dağılımının lineer değiştiği kabulüyle, bu düzlemde herhangi bir yerde bulunan gezen alıcı konumundaki atmosferik parametreler ve standart sapmaları belirlenebilir. Ancak, bu hesaplamaların doğruluğu sadece referans istasyonlarının oluşturduğu kare düzlemin ağırlık merkezi ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olacaktır (Schwarz ve diğ., 2009).

Bu durum 3 ve 9 referans istasyonu için aşağıdaki Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'te gösterildiği gibi hesaplanır.



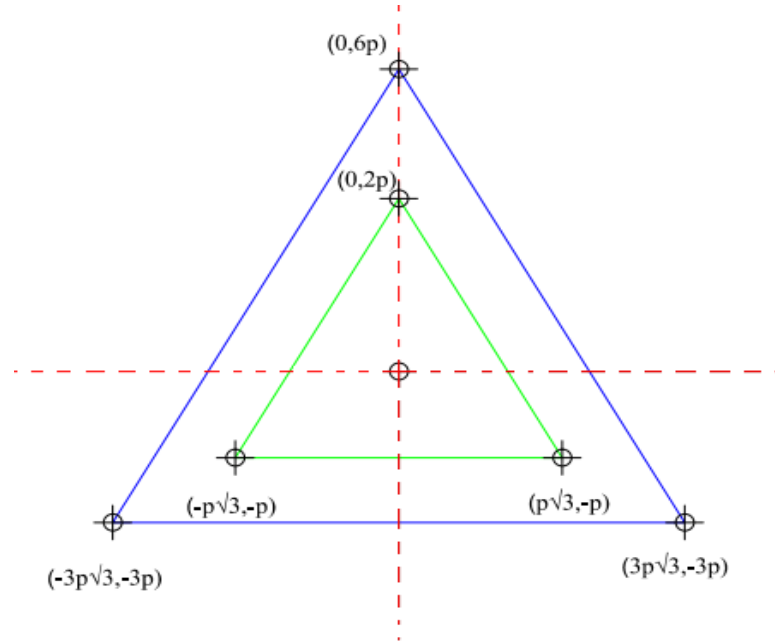
Şekil 3.4. Üç referans istasyonu için IDOP gösterimi ve değerleri

Şekil 3.5'te ifade edilmiş olduğu gibi 9 referans istasyonunun bulunduğu durumda IDOP ağırlık merkezi değeri 0.33 olacaktır. Ağırlık merkezinden uzaklaştıkça diğer şekillerde olduğu gibi IDOP değeri büyüyecektir. Çünkü bu program (OPUS-RS) ile yapılan hesaplamalarda aynı anda en fazla dokuz referans istasyonu (CORS) verisi kullanılabilir.



Şekil 3.5. Dokuz referans istasyonu için IDOP gösterimi ve değerleri

IDOP' un önemli bir özelliği, hesaplanan değerlerin mutlak anlamda referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olmamasıdır. Şekil 3.6 da görüldüğü gibi yeşil ve mavi üçgenlerin köşeleri arasındaki uzaklıklar farklı olmasına rağmen Çizelge 3.1.'de ve Çizelge 3.2.'de görüldüğü gibi IDOP değerleri birbirine eşittir. Bu durum IDOP' un mesafeden bağımsız olarak sadece gezici ve referans istasyonları arasındaki geometrik gücü ifade ettiği anlamına gelir.



Şekil 3.6. Referans istasyonları arası uzaklığın etkisi

Çizelge 3.1. Referans istasyonları arası uzaklığın etkisi IDOP değeri

Mavi Üçgen			Δx_i	Δy_i	$\Delta x_i \cdot \Delta y_i$	$(\Delta x_i)^2$	$(\Delta y_i)^2$
	X	Y	0	6	0	0	36
1	0	6	-5.196	-3	15.588	26.99842	9
2	-5.196	-3	5.196	-3	-15.588	26.99842	9
3	5.196	-3	Σ 0	0	0	53.99683	54
Gezici	0	0	R=	2915.8289		IDOP=	0.57735
			Q=	8747.4868			

Çizelge 3.2. Referans istasyonları arası uzaklığın etkisi IDOP değeri

Yeşil Üçgen			Δx_i	Δy_i	$\Delta x_i \cdot \Delta y_i$	$(\Delta x_i)^2$	$(\Delta y_i)^2$
	X	Y	0	2	0	0	4
1	0	2	-1.732	-1	1.732	2.99982	1
2	-1.732	-1	1.732	-1	-1.732	2.99982	1
3	1.732	-1	Σ 0	0	0	5.99965	6
Gezici	0	0	R=	35.9979		IDOP=	0.57735
			Q=	107.9937			

Sonuç olarak; Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5'ten görüleceği gibi ağırlık merkezinden uzaklaştıkça IDOP değeri artmaktadır ve ağırlık merkezinden uzaklıkları eşit olan noktaların IDOP değeri birbirine eşittir. Gezen alıcı konumu ağırlık merkezine yaklaştıkça IDOP sayısal değeri ideal değere yaklaşmakta, ağırlık merkezinden uzaklaştıkça geometrik güç azalmakta yani IDOP değeri artmaktadır. IDOP 'un sayısal değeri azaldıkça (ağırlık merkezine yaklaştıkça) referans istasyonlarının gezen alıcıya göre olan geometrik gücünün artması anlamına gelmektedir.

IDOP' un hesaplanan değerlerin mutlak anlamda referans istasyonu ile gezen alıcı arasındaki uzaklığa bağlı olmaması durumu, enterpole (extrapole) edilen alandaki $f(x, y)$ ' nin x ve y gibi iki değişkenin lineer olmayan fonksiyonu şeklinde açıklanabilir. Oysa, lineer olmayan bu durumda yapılan lineer enterpolasyon işlemi sonucunda gezen alıcıdaki atmosferik parametreler hatalı şekilde elde edilmiş olacaktırlar. Bu hatanın büyüklüğü ise $f(x, y)$ fonksiyonunun yapısına bağlıdır. Schwarz ve diğ., 2009 'da yapılan çalışmada bu hata miktarı gezen alıcıda konumunda hesaplanan RMSD (referans istasyonu-gezen alıcı arasındaki ortalama uzaklık) değerine orantılı şekilde yaklaşık olarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama aşağıda Eşitlik (3.6) ile ifade edilmektedir.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_i^n d_i^2}{n}} \quad (3.6)$$

Burada, d_i $i = 1, 2, 3, \dots, n$ için gezen alıcı ile i ' inci referans istasyonu arasındaki yatay mesafeye eşittir. Ölçü sayısı n ile ifade edilmektedir. Böylece, bu yaklaşımla iki hata kaynağı belirlenmiş olup bunlar; atmosferik parametreleri belirlemede kullanılan basit düzlem kabulünün neden olduğu hata ile enterpolasyon hatasıdır. İşte bu iki hata kaynağı birleştirilerek gezen alıcı konumunda hesaplanan atmosferik etkinin standart hatası elde edilmiş olmakta ve nihai durum Eşitlik (3. 7) ile ifade edilmektedir.

$$\sigma (IDOP, RMSD) = \sqrt{(\alpha .IDOP)^2 + (\beta .RMSD)^2} \quad (3.7)$$

Eşitlik (3.7)'de görülmek üzere α ve β deneysel olarak belirlenmiş sabit değerler olup, α . IDOP doğrusal enterpolasyondan gelen rastlantısal hatayı, β . RMSD terimi ise atmosferik gecikmenin doğrusal olmamasından kaynaklanan ve uzaklığa bağlı olarak değişen sistematik hatayı gösterir. Yapılmış olan deneysel hesaplamalar sonucunda yerel koordinat sisteminde (n , e , u) koordinatları için Eşitlik (3. 8), (3.9) ve (3.10) ifadeleri oluşturulmuştur.

$$STDERR (north) \approx \sqrt{(1.8cm .IDOP)^2 + (0.05ppm .RMSD)^2} \quad (3.8)$$

$$STDERR (east) \approx \sqrt{(1.8cm .IDOP)^2 + (0.05ppm .RMSD)^2} \quad (3.9)$$

$$STDERR (up) \approx \sqrt{(6.7cm .IDOP)^2 + (0.15ppm .RMSD)^2} \quad (3.10)$$

Zaman içerisinde α ve β deneysel değerleri ile tam olarak giderilemeyen (CORS koordinatlarındaki hatalar, sinyal yansımaları (multipath) gibi etkiler nedeniyle oluşan hatalar vb.) diğer artık rastlantısal hataları absorbe edecek şekilde “ γ ” sembolü ile gösterilen ilave bir sabit belirlenmesi üzerinde çalışma yapılmıştır. Schwarz ve diğ., 2009’da yapılmış olan çalışmanın bir devamı olarak Soler ve diğ., 2011’de α , β ve γ değerlerini belirlemek için toplam 783 farklı CORS’ tan yedi ardışık ayın (Ekim, Kasım, Aralık, Ocak, Şubat, Mart ve Nisan 2008) her birinin 10ncu gününde 15 dakikalık (17.45 – 18.00) veri elde edilmiştir. Bu veriler OPUS-RS kullanarak toplam 4552 OPUS-RS çözümü yapıp α , β ve γ değerleri Çizelge 3.3’teki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 Farklı OPUS-RS oturum sürelerine göre yatay ve düşey bileşenler için α , β ve γ değerleri. (Normal renkli olanlar eşitlik 3.7'ye göre, koyu renkli olanlar ise eşitlik 3.11'e göre hesaplanmıştır. Parantez içindeki sayılar ise 1 σ hatalardır (Soler ve diğ., 2011))

	α cm	β ppm	γ cm
15- dakika düşey	6.34 (0.62)	0.129 (0.031)	1.52 (0.57)
15- dakika düşey	6.69 (0.40)	0.151 (0.027)	
15- dakika yatay	1.78 (0.13)	0.043 (0.006)	0.31 (0.15)
15- dakika yatay	1.82 (0.09)	0.049 (0.005)	
1- saat düşey	2.47 (0.61)	0.115 (0.013)	1.36 (0.24)
1- saat düşey	3.63 (0.34)	0.127 (0.014)	
1- saat yatay	0.50 (0.17)	0.023 (0.004)	0.55 (0.04)
1- saat yatay	1.18 (0.09)	0.031 (0.004)	
4- saat düşey	3.12 (0.46)	0.095 (0.013)	0.71 (0.41)
4- saat düşey	3.43 (0.26)	0.098 (0.012)	
4- saat yatay	0.59 (0.16)	0.021 (0.004)	0.49 (0.04)
4- saat yatay	1.14 (0.08)	0.028 (0.004)	

Soler ve diğ., 2011'de yaptıkları çalışmada Çizelge 3.3' de belirtildiği gibi 15 dakika, 1 saat ve 4 saatlik verilerin yatay ve düşey bileşenleri için α , β ve γ değerleri hesaplanmıştır. Yani Schwarz ve diğ., 2009'da yaptıkları çalışmadan farklı olarak; γ değeri ve ölçüm sürelerine göre değişkenlik gösteren α , β ve γ değerleri hesaplanmış ve bu durum Eşitlik 3.11 ile ifade edilmiştir.

$$\sigma(IDOP, RMSD) = \sqrt{(\alpha.IDOP)^2 + (\beta.RMSD)^2 + \gamma^2} \quad (3.11)$$

Bu tez çalışmasında α , β ve γ değerleri Çizelge 3.3'ten alınarak hesaplamalar yapılacaktır. Bu değerler Soler ve diğ., 2011'de kendi Ağ-RTK sistemlerinde yaptıkları deneysel çalışmalar sonucu elde edilen değerlerdir. Türkiye'de mevcut başta TUSAGA-Aktif olmak üzere tüm Ağ-RTK sistemlerinde de belirlenerek bir ölçüt olarak değerlendirilmesi yararlı olacağı değerlendirilmektedir. Bu amaçla, ülkemizde de deneysel çalışma yapılarak öncelikle α , β ve γ değerleri katsayılarının belirlenip daha sonra da kendi Ağ-RTK sistemlerimize uyumlu (3.11) Eşitliklerinin oluşturulması gerekmektedir.

3.3. Ankara Bölgesi ve Çevresindeki TUSAGA-Aktif Noktalarını Kapsayan Ağ Geometrisi ve GNSS Ölçü Planı

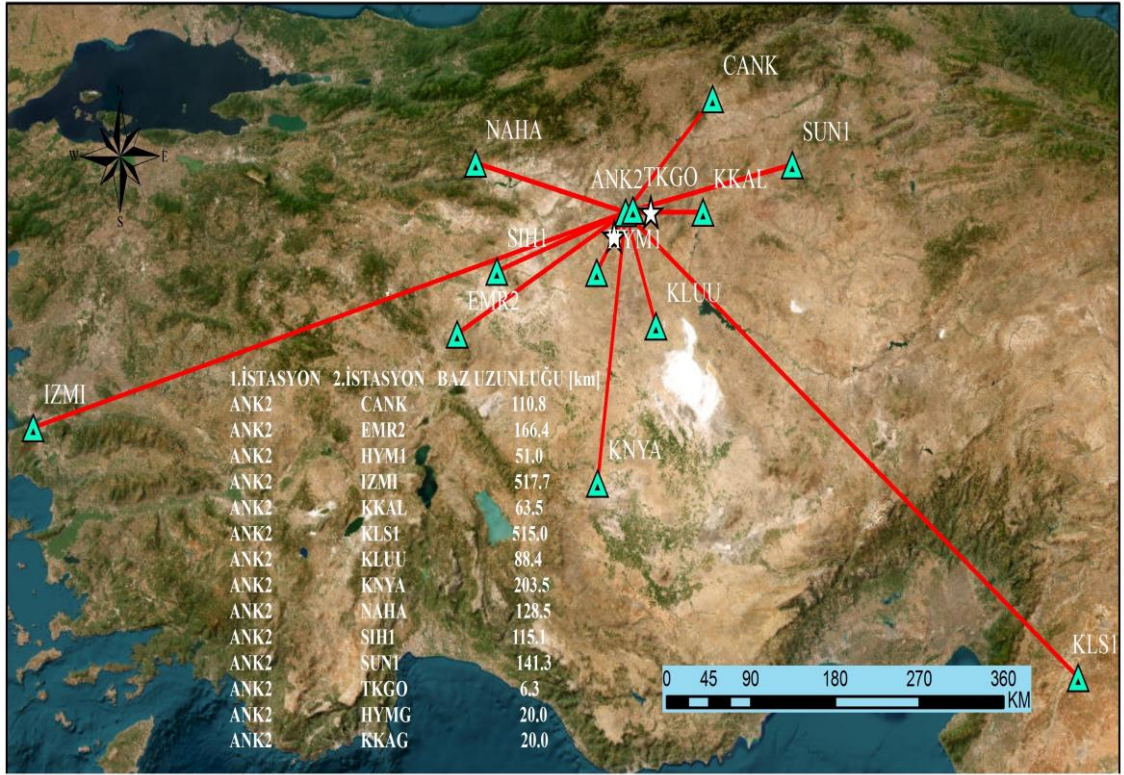
GNSS ile konum belirleme yöntemlerinden birisi olan Ağ-RTK tekniğinde, referans istasyonunun yakınındaki gezen alıcı koordinatının doğruluğu ile referans istasyonuna belirli bir uzaklıktaki gezen alıcı koordinatının doğruluğu birtakım parametrelere bağlı olarak farklı olacaktır. Uzaklığa bağlı bu doğrulukların belirlenebilmesi için bazı ölçütler kullanılmıştır. Tez çalışmasında gezen alıcı koordinatlarının daha yüksek doğrulukta hesaplanabilmesinin referans istasyonu geometrisinin gezen alıcıların koordinatlarına etkisi araştırılmıştır.

Tez çalışması uygulama kapsamında Ankara ilinde bulunan ANK2 TUSAGA-Aktif istasyonu merkez kabul edilerek çevresinde farklı uzaklıklarda ve yönlerde yer alan CANK (Çankırı), EMR2 (Emirdağ), HYM1 (Haymana), IZMI (İzmir), KKAL (Kırıkkale), KLS1(Kilis), KLUU (Kulu), KNYA (Konya), NAHA(Nallıhan), SIH1 (Sivrihisar), SUN1 (Sungurlu) ve TKGO olarak 12 istasyon seçilmiştir (Şekil 3.7). Seçilen istasyonlarının TUSAGA-Aktif koordinat değerleri Çizelge 3.4. de verilmiştir.

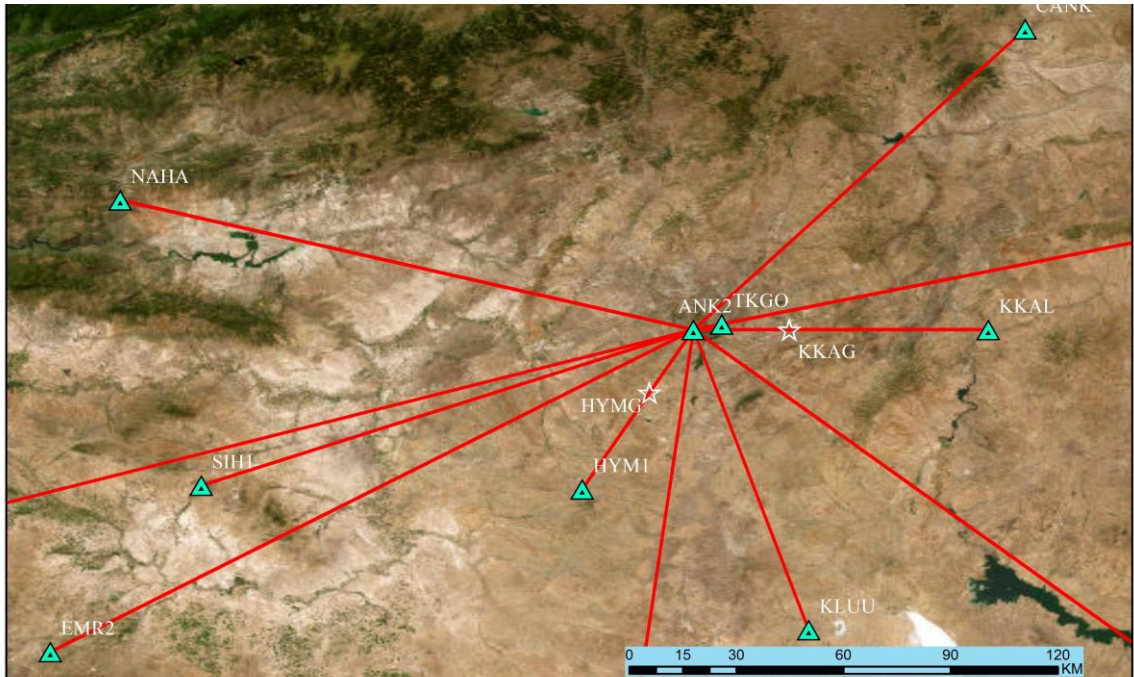
Çizelge 3.4. Tez çalışmasında kullanılan TUSAGA-Aktif nokta koordinatları ITRF96 (2005.0)

NOKTA ADI	X (m)	Y (m)	Z (m)
ANK2	4124040.845	2655252.245	4065430.232
CANK	4038848.253	2684459.218	4130037.965
EMR2	4246665.632	2567471.082	3994976.610
HYM1	4161178.691	2650478.765	4030699.379
IZMI	4456584.258	2278765.518	3939930.866
KKAL	4088935.961	2708243.468	4065148.073
KLS1	4082077.875	3089902.540	3792267.340
KLUU	4155559.186	2705396.636	3999801.173
KNYA	4243584.897	2704006.714	3908123.884
NAHA	4169069.136	2538032.817	4093162.951
SIH1	4204315.383	2580068.093	4031436.411
SUN1	4029019.506	2756319.909	4092400.643
TKGO	4119825.311	2659789.634	4066590.767

TUSAGA-Aktif istasyonları arasındaki farklı uzaklıklar nedeniyle (Şekil 3.7), daha yakın mesafelerdeki etkileri de gözlemleyebilmek amacıyla ANK2 noktasına yaklaşık 20 km mesafede, HYM1 doğrultusunda HYMG noktası; yine ANK2 noktasına yaklaşık 20 km uzaklıkta, KKAL doğrultusunda ise KKAG noktası oluşturulmuştur. Uygulamaya yönelik GNSS ölçü planı ve ölçüm nokta yerleri Şekil 3.8’de görüldüğü gibidir.



Şekil 3.7. Çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif noktaları ve istasyonlar arasındaki baz uzunlukları



Şekil 3.8. GNSS ölçü planı ve nokta yerleri

HYMG noktasında 27 Eylül 2024 (271nci GNSS günü) 13:00-15:00 saatleri arasında 2 saat süreli statik ölçü yapılmıştır. Anten yüksekliği 1 mm doğrulukla ölçülmüş ve aynı noktada Ağ-RTK ölçümleri gerçekleştirilmiştir. RTK ölçüm parametreleri olarak, BÖHHBÜY’ de önerilen değerler kullanılarak Ölçüm noktası; uygun yansıtıcı yüzeylerden, yüksek gerilim hatlarından ve anayol kenarından uzak bir konumda seçilmiş; veri toplama aralığı 1 saniye ve uydu yükseklik açısı 10° olacak şekilde ayarlanmıştır.

KKAG noktasında 28 Eylül 2024 (272nci GNSS günü) 14:40-16:40 saatleri arasında 2 saat süreli statik ölçü yapılmıştır. Anten yüksekliği 1 mm doğrulukla ölçülmüş ve aynı noktada Ağ-RTK ölçümleri gerçekleştirilmiştir. RTK ölçüm parametreleri olarak, BÖHHBÜY’ de önerilen değerler kullanılarak Ölçüm noktası; uygun yansıtıcı yüzeylerden, yüksek gerilim hatlarından ve anayol kenarından uzak bir konumda seçilmiş; veri toplama aralığı 1 saniye ve uydu yükseklik açısı 10° olacak şekilde ayarlanmıştır. Her iki ölçü noktasında statik ve Ağ-RTK ölçülerinde Hi-Target V100 GNSS alıcısı kullanılmıştır. GNSS alıcı görüntü ve donanım özellikleri Çizelge 3.5’te ve Şekil 3.9’ da verilmiştir.

Çizelge 3.5 Hi-Target V100 donanım özellikleri

V100 PERFORMANS ÖZELLİKLERİ	
Eşzamanlı Takip Edilen Uydu sinyalleri	
Kanal Sayısı	220
GPS	L1C/A, L2C, L2E, L5
GLONASS	L1C/A, L1P, L2C/A, L2P
SBAS	L1 C/A, L5
Galileo	E1 BOC, E5A, E5B
BDS	B1, B2
QZSS	L1 C/A, L1 SAIF, L2C, L5
Konumlandırma Performansı	
Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) Ölçüm Ağı RTK	
Yatay	8mm + 1ppm RMS
Düşey	15mm + 1ppm RMS
Başlatma Süresi	Genellikle 2-10 saniye
Başlatma Güvenilirliği	Genellikle > %99,9
Yüksek Hassasiyetli Statik	
Yatay	2.5mm + 0.1 ppm RMS
Düşey	3.5mm + 0.4 ppm RMS



Şekil 3.9. Hi-Target V100 modeli GNSS alıcısı

HYMG noktasında statik ölçüm gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümde düşey anten yüksekliği 2.00 m olarak belirlenmiştir. Ölçüm başlangıcında hava sıcaklığı 26 °C olarak kaydedilmiş, ölçümün ortalarına doğru (saat 14:00) ise 27 °C olarak ölçülmüştür. Statik oturum sırasında her saat PDOP ve GDOP değerleri bilgisi ayrıca not edilmiştir (Çizelge 3.6). Çalışma alanındaki noktada gerçekleştirilen oturumda kullanılan GNSS alıcı türü, anten yüksekliği ve çalışma alanı Şekil 3.10' da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. HYMG noktası statik oturum ve Ağ-RTK ölçümü

Çizelge 3.6. HYMG Statik oturum ölçümü PDOP ve GDOP değerleri

SAAT	PDOP	GDOP
13.00	1.1	1.3
14.00	1.2	1.3
15.00	1.1	1.2

Çizelge 3.7. KKAG Statik oturum ölçümü PDOP ve GDOP değerleri

SAAT	PDOP	GDOP
14.40	1.1	1.3
15.40	1.2	1.3
16.40	1.2	1.4

KKAG noktasında statik ölçüm gerçekleştirilmiş olup, bu ölçümde düşey anten yüksekliği 2.40 m olarak alınmıştır. Ölçüm başlangıç ve bitişinde hava sıcaklığı izlenmiş ve 28 °C olarak kaydedilmiştir. Statik oturum sırasında her saat not edilen PDOP ve GDOP değerleri bilgisi Çizelge 3.7'deki gibidir. Çalışma alanı ait görüntüler Şekil 3.11'de yer almaktadır.

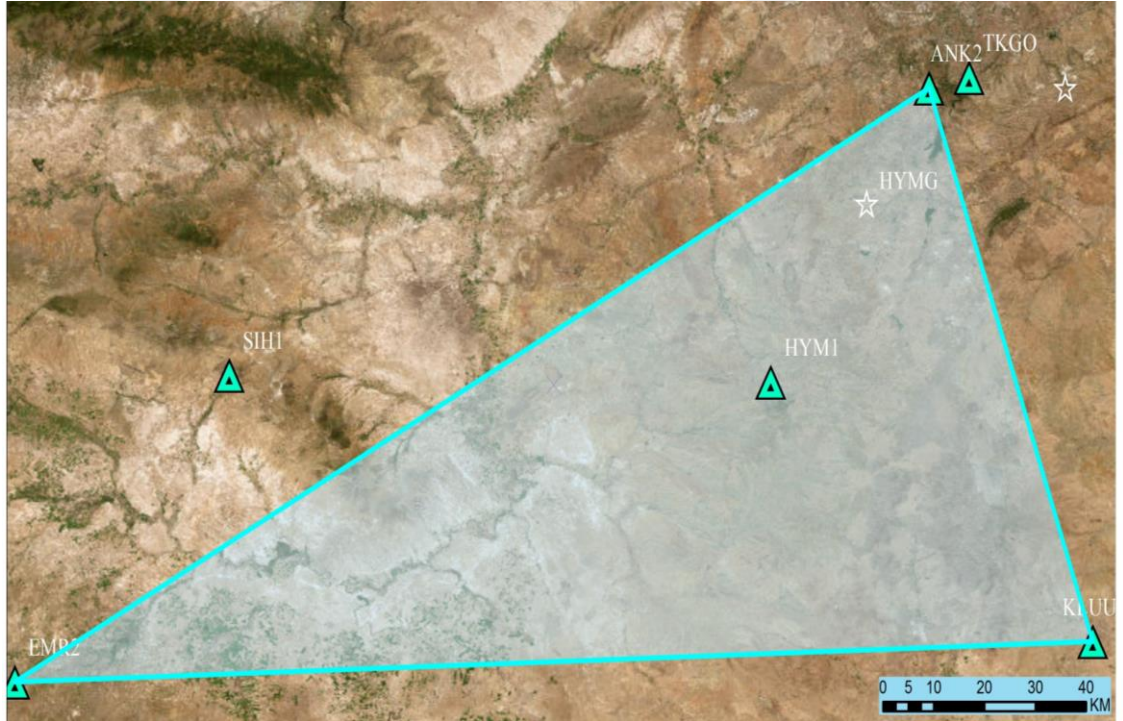


Şekil 3.11. KKAG noktası statik oturum ve Ağ-RTK ölçümü

3.4. Seçilen TUSAGA-Aktif Noktaları ve Gezen Alıcılar (HYMG ve KKAG) İçin IDOP ve RMSD Hesaplamaları

Tez çalışması kapsamında IDOP ve RMSD'nin gerçek zamanlı referans istasyon ağlarında (Ağ-RTK) hesaplanan atmosferik koşulların gezen alıcı konumuna entepole edilerek yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmede dikkate alınması gereken önemli değişkenler olup olmadığı araştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle bu çalışmada IDOP ve RMSD değerleri ülkemizdeki TUSAGA-Aktif istasyonlarında kullanılarak ağ geometrisinin sonuçlar üzerinde etkili olup olmadığı araştırılmaktadır. Böylece bu değişkenlerin uygulamalarda ya da daha kısa süreli ölçümlerde yüksek doğruluklu sonuçlar elde etmede gerçekten faydalı olup olmadığı anlaşılabacaktır. Bu amaçla çalışma alanımızda 13 adet TUSAGA-Aktif noktası ve 2 adet ölçümlerini kendimizin yaptığı nokta (HYMG ve KKAG) kullanılmaktadır.

Şekil 3.12' de kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonları ve 2 adet gezici/alıcı olarak değerlendirilen HYM1 ve HYMG noktaları görülmektedir. Bölüm 3.2'de ifade edilen eşitlikler kullanılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.



Şekil 3.12. 3 TUSAGA-Aktif noktası kullanılarak IDOP ve RMSD (271nci GNSS günü HYMG-HYM1)

Şekil 3.12'de ANK2, KLUU ve EMR2 referans istasyonları kullanılarak HYMG ve HYM1 gezici alıcı noktalarının geometrik durumu gösterilmektedir.

Çizelge 3.8. 271nci GNSS günü 15 dakikalık gözlem için HYMG noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI				HYMG	
	X	Y		X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219		4138547.558	2653357.223
EMR2	4246665.859	2567471.225			
KLUU	4155559.422	2705397.204			
15 DAKİKALIK ÖLÇÜM DEĞERLERİ				IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	1.780	$\alpha(y)=$	6.340	IDOP=	0.81
$\beta(k,d)=$	0.043	$\beta(y)=$	0.129	RMSD=	86.17 km
$\gamma(k,d)=$	0.310	$\gamma(y)=$	1.52		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$			3.99		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$			3.99		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$			12.33		

Çizelge 3.9. 271nci GNSS günü 15 dakikalık gözlem için HYM1 noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI				HYM1	
	X	Y		X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219		4161178.815	2650478.839
EMR2	4246665.859	2567471.225			
KLUU	4155559.422	2705397.204			
15 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN				IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	1.780	$\alpha(y)=$	6.340	IDOP=	0.60
$\beta(k,d)=$	0.043	$\beta(y)=$	0.129	RMSD=	78.84 km
$\gamma(k,d)=$	0.310	$\gamma(y)=$	1.52		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$			3.571		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$			3.571		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$			10.98		

Çizelge 3.8’de verilen değerler gözlem süresinin 15 dakikalık ölçümleri için hesaplanmıştır. Gezicinin HYMG olduğu durumda IDOP değeri 0.81 ve RMSD değeri 86.17 km’dir. Gezicinin HYM1 olduğu durumdaki değerleri ise Çizelge 3.9 da yer aldığı gibidir. Gezicinin HYM1 olduğu durumda IDOP değeri 0.60 ve RMSD değeri 78.84 km’dir. IDOP ve RMSD değerlerinin HYM1 noktasında daha düşük çıkma sebebi gezici ve referans istasyonlarına göre geometrik durumunun HYMG noktasına göre daha iyi olmasıdır. Şekil 3.12 incelendiğinde görsel olarak bu durum görülmektedir.

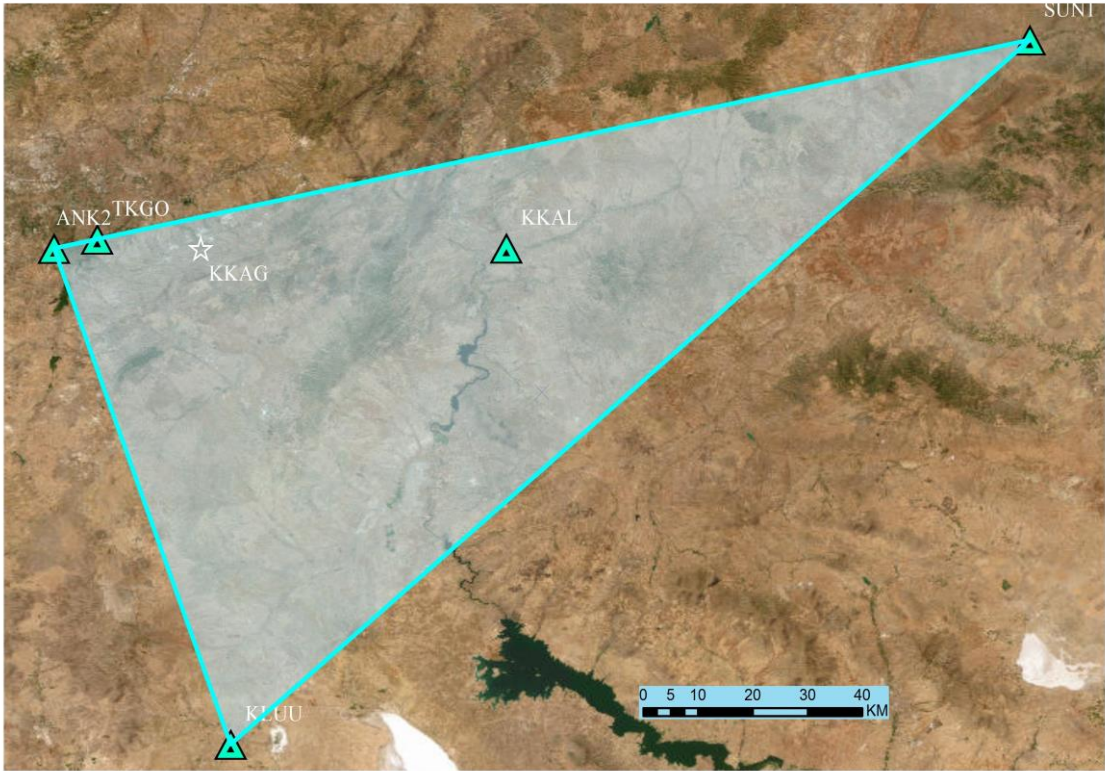
Çizelge 3.10. 271nci GNSS günü 60 dakikalık gözlem için HYMG noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			HYMG	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4138547.027	2653356.823
EMR2	4246665.490	2567471.108		
KLUU	4155559.023	2705396.702		
60 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	0.500	$\alpha(y)=$	2.470	IDOP= 0.81
$\beta(k,d)=$	0.023	$\beta(y)=$	0.115	RMSD= 86.17 km
$\gamma(k,d)=$	0.550	$\gamma(y)=$	1.360	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$	2.10			
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$	2.10			
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$	10.20			

Çizelge 3.11. 271nci GNSS günü 60 dakikalık gözlem için HYM1 noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			HYM1	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4161178.486	2650478.778
EMR2	4246665.490	2567471.108		
KLUU	4155559.023	2705396.702		
60 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	0.500	$\alpha(y)=$	2.470	IDOP= 0.60
$\beta(k,d)=$	0.023	$\beta(y)=$	0.115	RMSD= 78.84 km
$\gamma(k,d)=$	0.550	$\gamma(y)=$	1.360	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$	1.92			
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$	1.92			
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$	9.29			

Çizelge 3.10’da verilen değerler gözlem süresinin 60 dakikalık ölçümleri için hesaplanmıştır. Gezicinin HYMG olduğu durumda IDOP değeri 0.81 ve RMSD değeri 86.17 km’dir. Gezicinin HYM1 olduğu durumdaki değerleri ise Çizelge 3.11’de yer aldığı gibidir. Gezicinin HYM1 olduğu durumda IDOP değeri 0.60 ve RMSD değeri 78.84 km’dir. 15 dakikalık ve 60 dakikalık gözlemlerin IDOP ve RMSD değerleri aynıdır. Çünkü her iki gözlem koordinatları arasında cm ve mm düzeylerinde farklar mevcuttur. σ (IDOP, RMSD) değerinin kuzey, doğu ve yükseklik değerlerinin 15 ve 60 dakikalık gözlemlerde farklı olmasının sebebi α , β ve γ değerlerinin sürelerle göre farklılık göstermesidir.



Şekil 3.13. 3 adet TUSAGA-Aktif noktası kullanılarak IDOP ve RMSD hesabı (272nci GNSS günü KKAG)

Şekil 3.13’ de ANK2, KLUU ve SUN1 referans istasyonları kullanılarak KKAG ve KKAL gezici alıcı noktalarının geometrik durumu gösterilmektedir.

Çizelge 3.12. 272nci GNSS günü 15 dakikalık gözlem için KKAG noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			KKAG	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4113241.003	2672094.044
SUN1	4029019.136	2756319.681		
KLUU	4155558.990	2705396.856		
15 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	1.780	$\alpha(y)=$	6.340	IDOP = 0.81
$\beta(k,d)=$	0.043	$\beta(y)=$	0.129	RMSD = 76.35 km
$\gamma(k,d)=$	0.310	$\gamma(y)=$	1.52	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		3.60		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		3.60		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		11.23		

Çizelge 3.12’de verilen KKAG nokta değerleri gözlem süresinin 15 dakikalık ölçümleri için hesaplanmıştır. Gezicinin KKAG olduğu durumda IDOP değeri 0.81 ve RMSD değeri 76.35 km’dir.

Çizelge 3.13. 272nci GNSS günü 15 dakikalık gözlem için KKAL noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			KKAL	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4088935.753	2708243.315
SUN1	4029019.136	2756319.681		
KLUU	4155558.990	2705396.856		
15 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	1.780	$\alpha(y)=$	6.340	IDOP = 0.61
$\beta(k,d)=$	0.043	$\beta(y)=$	0.129	RMSD = 69.25 km
$\gamma(k,d)=$	0.310	$\gamma(y)=$	1..52	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		3.18		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		3.18		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		9.84		

Çizelge 3.13 de verilen KKAL nokta değerleri gözlem süresinin 15 dakikalık ölçümleri için hesaplanmıştır. Gezicinin KKAL olduğu durumda IDOP değeri 0.61 ve RMSD değeri 69.25 km’dir.

Çizelge 3.14. 272nci GNSS günü 60 dakikalık gözlem için KKAG noktasının IDOP ve RMSD hesabı

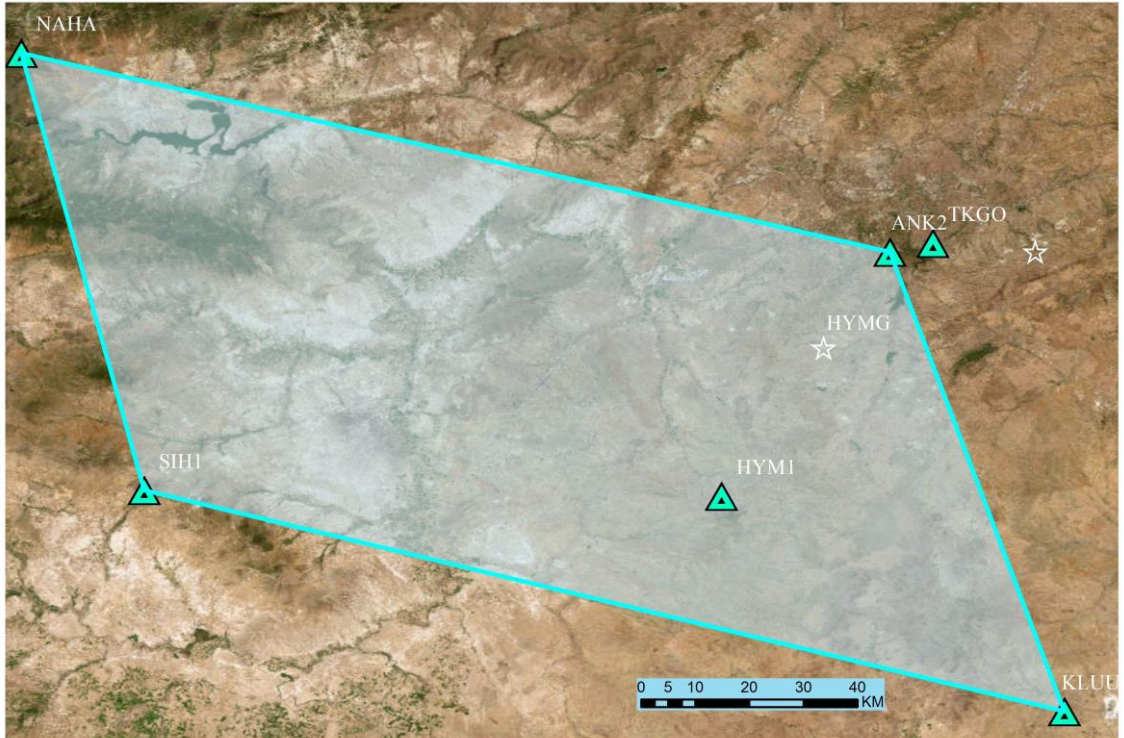
REFERANS İSTASYONLARI			KKAG	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4113240.808	2672093.853
SUN1	4029019.248	2756319.862		
KLUU	4155558.864	2705396.556		
60 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	0.500	$\alpha(y)=$	2.470	IDOP = 0.81
$\beta(k,d)=$	0.023	$\beta(y)=$	0.115	RMSD = 76.35 km
$\gamma(k,d)=$	0.550	$\gamma(y)=$	1.360	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		1.88		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		1.88		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		9.11		

Çizelge 3.14’te verilen KKAG nokta değerleri gözlem süresinin 60 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin KKAG olduğu durumda IDOP değeri 0.81 ve RMSD değeri 76.35 km’dir.

Çizelge 3.15. 272nci GNSS günü 60 dakikalık gözlem için KKAL noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			KKAL	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4088935.716	2708243.426
SUN1	4029019.248	2756319.862		
KLUU	4155558.864	2705396.556		
60 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	0.500	$\alpha(y)=$	2.470	IDOP = 0.61
$\beta(k,d)=$	0.023	$\beta(y)=$	0.115	RMSD = 69.25 km
$\gamma(k,d)=$	0.550	$\gamma(y)=$	1.360	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		1.71		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		1.71		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		8.22		

Çizelge 3.15'te verilen KKAL nokta değerleri gözlem süresinin 60 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin KKAL olduğu durumda IDOP değeri 0.61 ve RMSD değeri 69.25 km'dir.



Şekil 3.14. 4 adet TUSAGA-Aktif noktası kullanılarak IDOP ve RMSD hesabı (271nci GNSS günü HMG)

Şekil 3.14' te ANK2, KLUU, SIH1 ve NAHA referans istasyonları kullanılarak HYMG ve HYM1 gezici alıcı noktalarının geometrik durumu gösterilmektedir.

Çizelge 3.16. 271nci GNSS günü 15 dakikalık gözlem için HYMG noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			HYMG	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4138547.558	2653357.223
SIH1	4204315.430	2580068.221		
KLUU	4155559.422	2705397.204		
NAHA	4169069.232	2538032.871		
15 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	1.780	$\alpha(y)=$	6.340	IDOP = 0.88
$\beta(k,d)=$	0.043	$\beta(y)=$	0.129	RMSD = 82.37 km
$\gamma(k,d)=$	0.310	$\gamma(y)=$	1.52	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		3.88		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		3.88		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		12.09		

Çizelge 3.16'da verilen HYMG nokta değerleri gözlem süresinin 15 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin HYMG olduğu durumda IDOP değeri 0.88 ve RMSD değeri 82.37 km'dir.

Çizelge 3.17. 271nci GNSS günü 15 dakikalık gözlem için HYM1 noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			HYM1	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4161178.815	2650478.839
SIH1	4204315.430	2580068.221		
KLUU	4155559.422	2705397.204		
NAHA	4169069.232	2538032.871		
15 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	1.780	$\alpha(y)=$	6.340	IDOP = 0.69
$\beta(k,d)=$	0.043	$\beta(y)=$	0.129	RMSD = 77.42 km
$\gamma(k,d)=$	0.310	$\gamma(y)=$	1.52	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		3.56		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		3.56		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		11.00		

Çizelge 3.17’de verilen HYM1 nokta değerleri gözlem süresinin 15 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin HYM1 olduğu durumda IDOP değeri 0.69 ve RMSD değeri 77.42 km’dir.

Çizelge 3.18. 271nci GNSS günü 60 dakikalık gözlem için HYMG noktasının IDOP ve RMSD hesabı

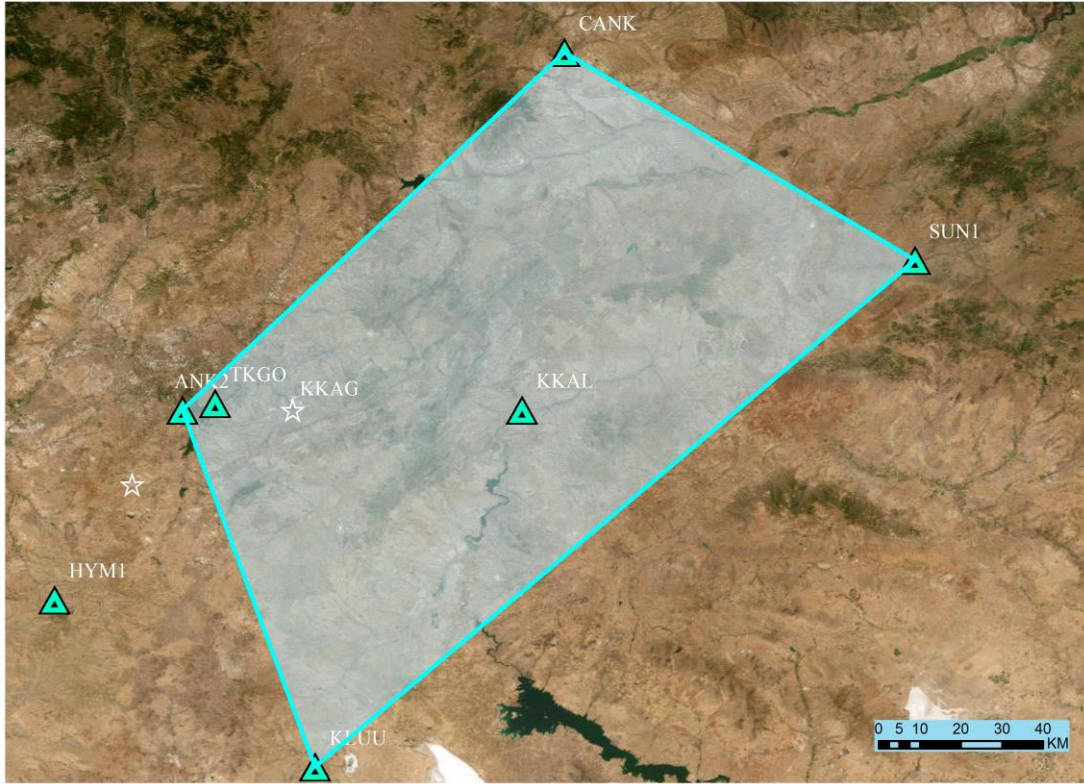
REFERANS İSTASYONLARI				HYMG	
	X	Y		X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219		4138547.027	2653356.823
SIH1	4204315.210	2580068.381			
KLUU	4155559.023	2705396.702			
NAHA	4169069.080	2538033.030			
60 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN				IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	0.500	$\alpha(y)=$	2.470	IDOP =	0.88
$\beta(k,d)=$	0.023	$\beta(y)=$	0.115	RMSD =	87.32 km
$\gamma(k,d)=$	0.550	$\gamma(y)=$	1.360		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$					2.02
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$					2.02
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$					9.81

Çizelge 3.18 de verilen HYMG nokta değerleri gözlem süresinin 60 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin HYMG olduğu durumda IDOP değeri 0.88 ve RMSD değeri 87.32 km’dir.

Çizelge 3.19. 271nci GNSS günü 60 dakikalık gözlem için HYM1 noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI				HYM1	
	X	Y		X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219		4161178.486	2650478.778
SIH1	4204315.210	2580068.381			
KLUU	4155559.023	2705396.702			
NAHA	4169069.080	2538033.030			
60 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN				IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	0.500	$\alpha(y)=$	2.470	IDOP =	0.69
$\beta(k,d)=$	0.023	$\beta(y)=$	0.115	RMSD =	77.42 km
$\gamma(k,d)=$	0.550	$\gamma(y)=$	1.360		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$					1.89
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$					1.89
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$					9.16

Çizelge 3.19’da verilen HYM1 nokta değerleri gözlem süresinin 60 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin HYM1 olduğu durumda IDOP değeri 0.69 ve RMSD değeri 77.42 km’dir.



Şekil 3.15. 4 adet TUSAGA-Aktif noktası kullanılarak IDOP ve RMSD hesabı (272nci GNSS günü KKAG)

Şekil 3.15’ de ANK2, KLUU, SUN1 ve CANK referans istasyonları kullanılarak KKAG ve KKAL gezici alıcı noktalarının geometrik durumu gösterilmektedir.

Çizelge 3.20. 272nci GNSS günü 15 dakikalık gözlem için KKAG noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			KKAG	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.6801	2655252.219	4113241.003	2672094.044
SUN1	4029019.136	2756319.681		
KLUU	4155558.990	2705396.856		
CANK	4038847.700	2684459.008		
15 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	1.780	$\alpha(y)=$	6.340	IDOP = 0.82
$\beta(k,d)=$	0.043	$\beta(y)=$	0.129	RMSD = 76.12 km
$\gamma(k,d)=$	0.310	$\gamma(y)=$	1.52	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		3.60		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		3.60		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		11.21		

Çizelge 3.20’de verilen KKAG nokta değerleri gözlem süresinin 15 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin KKAG olduğu durumda IDOP değeri 0.82 ve RMSD değeri 76.12 km’dir.

Çizelge 3.21. 272nci GNSS günü 15 dakikalık gözlem için KKAL noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			KKAL	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4088935.753	2708243.315
SUN1	4029019.136	2756319.681		
KLUU	4155558.990	2705396.856		
CANK	4038847.700	2684459.008		
15 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	1.780	$\alpha(y)=$	6.340	IDOP = 0.60
$\beta(k,d)=$	0.043	$\beta(y)=$	0.129	RMSD = 66.07 km
$\gamma(k,d)=$	0.310	$\gamma(y)=$	1.52	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		3.05		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		3.05		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		9.47		

Çizelge 3.21’de verilen KKAL nokta değerleri gözlem süresinin 15 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin KKAL olduğu durumda IDOP değeri 0.60 ve RMSD değeri 66.07 km’dir.

Çizelge 3.22. 272nci GNSS günü 60 dakikalık gözlem için KKAG noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			KKAG	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4113240.808	2672093.853
SUN1	4029019.248	2756319.862		
KLUU	4155558.864	2705396.556		
CANK	4038847.999	2684459.206		
60 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	0.500	$\alpha(y)=$	2.470	IDOP = 0.82
$\beta(k,d)=$	0.023	$\beta(y)=$	0.115	RMSD = 76.12 km
$\gamma(k,d)=$	0.550	$\gamma(y)=$	1.360	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		1.88		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		1.88		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		9.09		

Çizelge 3.22’de verilen KKAG nokta değerleri gözlem süresinin 60 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin KKAG olduğu durumda IDOP değeri 0.82 ve RMSD değeri 76.12 km’dir.

Çizelge 3.23. 272nci GNSS günü 60 dakikalık gözlem için KKAL noktasının IDOP ve RMSD hesabı

REFERANS İSTASYONLARI			KKAL	
	X	Y	X	Y
ANK2	4124040.681	2655252.219	4088935.716	2708243.426
SUN1	4029019.248	2756319.862		
KLUU	4155558.864	2705396.556		
CANK	4038847.999	2684459.206		
60 DAKİKALIK ÖLÇÜMLER İÇİN			IDOP, RMSD BİLGİLERİ	
$\alpha(k,d)=$	0.500	$\alpha(y)=$	2.470	IDOP = 0.60
$\beta(k,d)=$	0.023	$\beta(y)=$	0.115	RMSD = 66.07 km
$\gamma(k,d)=$	0.550	$\gamma(y)=$	1.360	
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{KUZEY})=$		1.64		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{DOĞU})=$		1.64		
$\sigma(\text{IDOP, RMSD}) (\text{YÜKSEKLİK})=$		7.86		

Çizelge 3.23'te verilen KKAL nokta değerleri gözlem süresinin 60 dakikalık ölçümler için hesaplanmıştır. Gezicinin KKAL olduğu durumda IDOP değeri 0.60 ve RMSD değeri 66.07 km'dir.

Yukarıda ayrıntılı olarak verilmiş olan hesaplama sonuçları daha iyi görülebilmesi amacıyla toplu olarak Çizelgeler 3.24, 3.25, 3.26 ve 3.27'de verilmiştir.

Çizelge 3.24. 271nci GNSS günü 1. Ölçüm Planı için IDOP ve RMSD hesabı

271nci GNSS Günü 1. Ölçü Planı (ÜÇGEN)					
	IDOP	RMSD (km)	$\sigma(\text{IDOP, RMSD})$ (KUZEY)	$\sigma(\text{IDOP,RMSD})$ (DOĞU)	$\sigma(\text{IDOP,RMSD})$ (YÜKSEKLİK)
HYMG (15 Dakika)	0.81	86.17	3.99	3.99	12.33
HYMG (60 Dakika)	0.81	86.17	2.10	2.10	10.20
HYM1 (15 Dakika)	0.60	78.84	3.57	3.57	10.98
HYM1 (60 Dakika)	0.60	78.84	1.92	1.92	9.29

Çizelge 3.25. 271nci GNSS günü 2. Ölçüm Planı için IDOP ve RMSD hesabı

271nci GNSS Günü 2. Ölçü Planı (DÖRTGEN)					
	IDOP	RMSD (km)	$\sigma(\text{IDOP, RMSD})$ (KUZEY)	$\sigma(\text{IDOP,RMSD})$ (DOĞU)	$\sigma(\text{IDOP,RMSD})$ (YÜKSEKLİK)
HYMG (15 Dakika)	0.88	82.37	3.88	3.88	12.09
HYMG (60 Dakika)	0.88	87.37	2.02	2.02	9.81
HYM1 (15 Dakika)	0.69	77.42	3.56	3.56	11.00
HYM1 (60 Dakika)	0.69	77.42	1.89	1.89	9.16

Çizelge 3.26. 272nci GNSS günü 1. Ölçüm Planı için IDOP ve RMSD hesabı

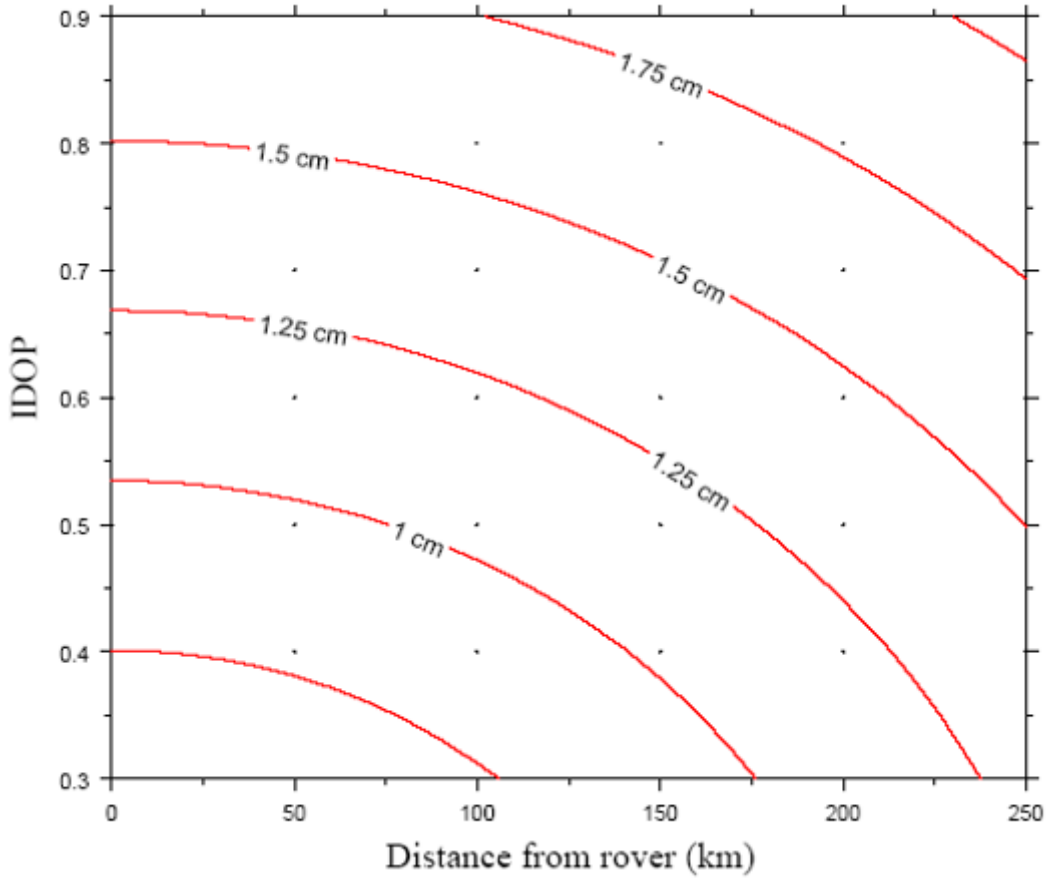
272nci GNSS Günü 1. Ölçü Planı (ÜÇGEN)					
	IDOP	RMSD (km)	$\sigma(\text{IDOP, RMSD})$ (KUZEY)	$\sigma(\text{IDOP,RMSD})$ (DOĞU)	$\sigma(\text{IDOP,RMSD})$ (YÜKSEKLİK)
KKAG (15Dakika)	0.81	76.35	3.60	3.60	11.23
KKAG(60 Dakika)	0.81	76.35	1.88	1.88	9.11
KKAL(15 Dakika)	0.61	69.25	3.18	3.18	9.84
KKAL(60 Dakika)	0.61	69.25	1.71	1.71	8.22

Çizelge 3.27. 272nci GNSS günü 2. Ölçüm Planı için IDOP ve RMSD hesabı

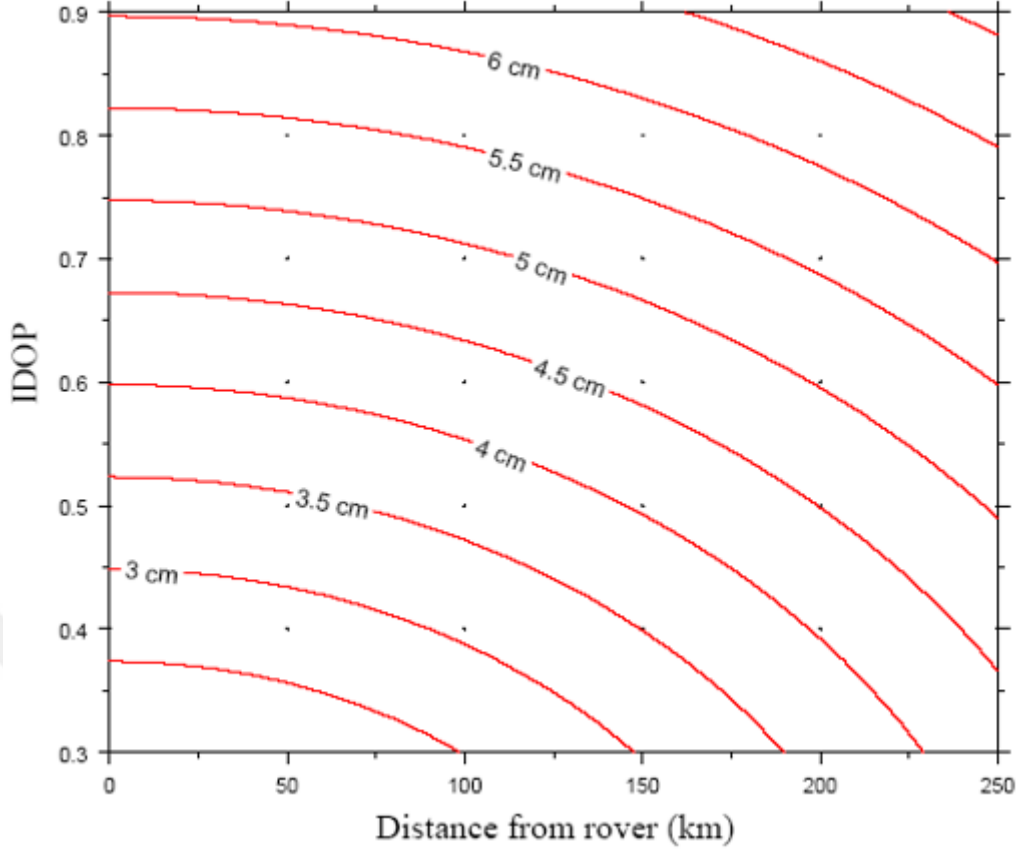
272nci GNSS Günü 2. Ölçü Planı (DÖRTGEN)					
	IDOP	RMSD (km)	$\sigma(\text{IDOP, RMSD})$ (KUZEY)	$\sigma(\text{IDOP,RMSD})$ (DOĞU)	$\sigma(\text{IDOP,RMSD})$ (YÜKSEKLİK)
KKAG(15 Dakika)	0.82	76.12	3.60	3.60	11.21
KKAG(60 Dakika)	0.82	76.12	1.88	1.88	9.09
KKAL(15 Dakika)	0.60	66.07	3.05	3.05	9.47
KKAL(60 Dakika)	0.60	66.07	1.64	1.64	7.86

3.5. IDOP ve RMSD'nin Fonksiyonu Olarak Doğruluğun Gösterimi

Standart hatanın (n,e,u), IDOP ve uzaklığın (RMSD) fonksiyonu olarak koordinat bileşenlerindeki değişiminin gösterilmesi için iki grafik hazırlanmış olup bu grafik Şekil 3.16 ve 3.17'de görülmektedir. Bu şekillerden de görüleceği gibi OPUS-RS çözümlerinin doğruluğu, IDOP ve RMSD değerlerine bağlıdır. Dolayısıyla, IDOP ve RMSD, gezen alıcı konumu ile referans istasyonları arasındaki atmosferik şartların enterpolasyonunda hesaplama sonuçlarının kalitesinin anlaşılması için önemli parametrelerdir.



Şekil 3.16. Yatay (n,e) koordinatlarda, IDOP ve gezen alıcıdan uzaklığın fonksiyonu olarak elde edilecek standart hata (cm) (15 dk.lık gözlemler kullanılmıştır) (Schwarz ve diğ., 2009)



Şekil 3.17. Yukarı (Up) koordinatlarda, IDOP ve gezen alıcıdan uzaklığın fonksiyonu olarak elde edilecek standart hata (cm)

Bu grafiklerin oluşturulmasında 15 dk.lık gözlemler kullanılmış olup, aynı hesaplamaların daha uzun süreli (1-24 saat) statik gözlemler için de yapıp bu süreler için de değerler elde edilmesi oldukça yararlı olacaktır. Diğer bir ifadeyle, gözlem süresi arttıkça standart sapmaların daha da küçüleceği açıktır.

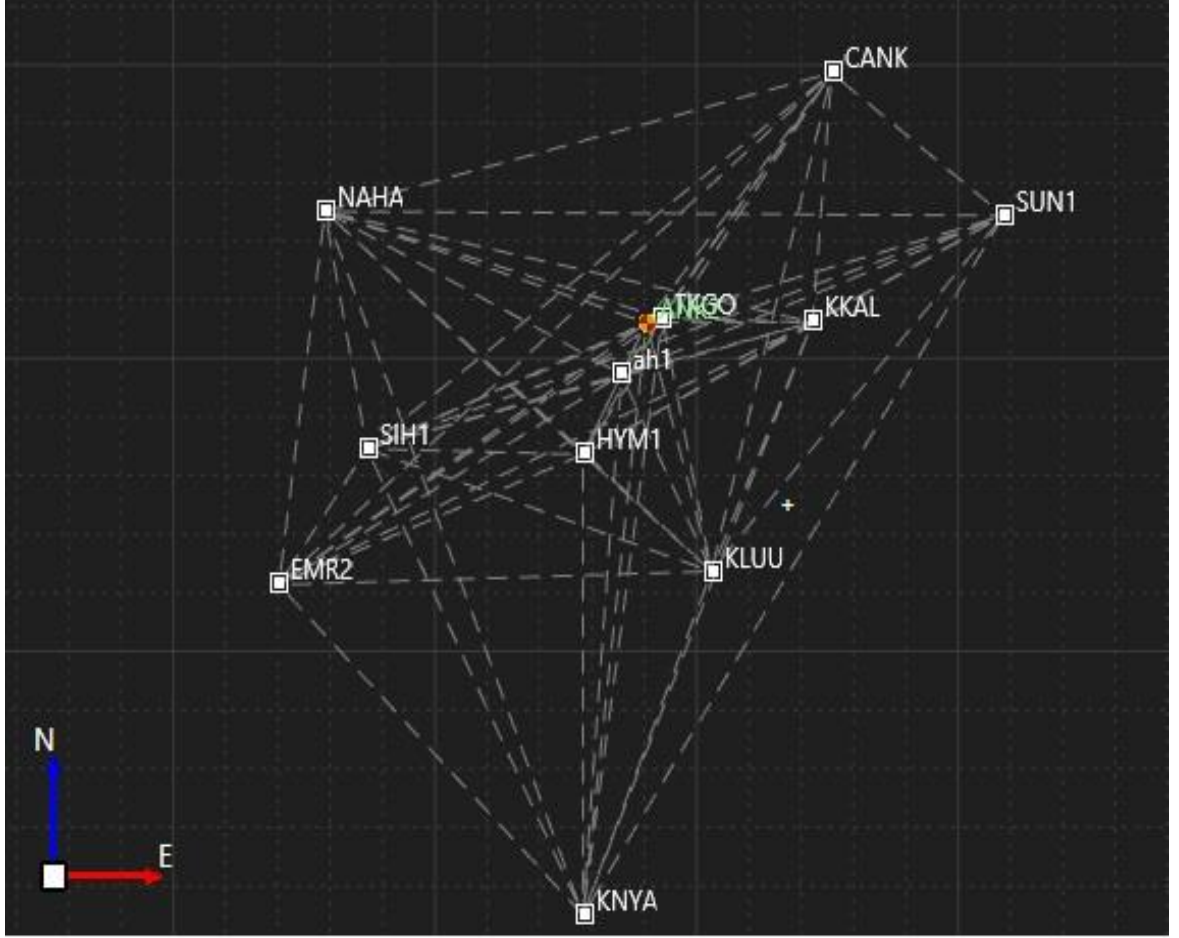
3.6. TUSAGA-Aktif ve Gezen Alıcı Noktalarına Ait Hesaplamalar

GNSS ölçümlerinin analizinde, ticari ve bilimsel amaçlarla kullanılan GNSS yazılımları yaygın olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte, bu yazılımlara sahip olmak için genellikle lisans ücreti ödenmesi gerekmektedir.

Tez kapsamında arazide elde edilen statik ölçme oturumu sonucu toplanan ham veriler bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Başlangıçta Hi-Target alıcısına ait program kullanılarak ham olan ölçüm verileri RINEX formatına dönüştürülmüş ve nokta adları yeniden düzenlenmiştir. Çalışmada Konya Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği

Bölümü envanterinde bulunan arazi ölçüm verilerinin yönetilmesi, işlenmesi ve analizi için tasarlanmış bir ofis yazılımı olan Leica Infinity 4.0 programı kullanılmıştır.

Leica Infinity programının arayüzü ile ilgili ekran görüntüsü Şekil 3.18’ de sunulmuştur.



Şekil 3.18. Infinity View sekmesi ekran görüntüsü

Yazılımda statik ölçülerin değerlendirilmesi için gerekli olan uydu ve yörünge bilgileri temin edilmiştir. 27 Eylül 2024 ve 28 Eylül 2024 ölçüm tarihlerine ait hassas efemeris verilerinin indirilmesi amacıyla GNSS takvim (GNSS Calender) uygulamasından yararlanılmıştır. Burada bulunan Jülyen Günü Numarası, Yılın Günü, GPS Haftası ve GPS Hafta Numarasına ait bilgiler elde edilmiştir (Çizelge 3.28). Sonuç yörünge bilgisi ise Uluslararası GNSS Servisi (IGS) tarafından SP3 formatında, SOPAC internet sitesinden alınmıştır.

Çizelge 3.28. 2024 yılı 27 Eylül ve 28 Eylül günlerine ait GNSS takvimi

27 EYLÜL	
Jülyen Günü Numarası	2460580.5
Yılın Günü	271
GPS Haftası	2333
GPS Hafta Numarası	23335
28 EYLÜL	
Jülyen Günü Numarası	2460581.5
Yılın Günü	272
GPS Haftası	2333
GPS Hafta Numarası	23336

İki ayrı GNSS günü için (271nci ve 272nci gün) ITRF koordinat sistemi ve GRS80 elipsoidi seçilmiştir. Koordinat sistemi tanımlanmasından sonra ANK2, CANK, EMR2, HYM1, IZMI, KKAL, KLS1, KLUU, KNYA, NAHA, SIH1, SUN1, TKGO istasyonlarına ait gözlem verileri RINEX formatında programa yüklenmiştir. Ayrıca ölçümü yapılan noktaya ait gözlem verileri de aynı şekilde projeye dahil edilmiştir.

Değerlendirme kapsamında 27 Eylül 2024 ölçü epoku ITRF96 (2024.271) ve 28 Eylül 2024 ölçü epoku ITRF96 (2024.272) için yalnızca ANK2 istasyonu kontrol noktası seçilerek kaydırılmış epok koordinatları referans alınmıştır. Ölçü sürelerine göre 15 dakika, 60 dakika, 120 dakika ve 24 saat esas alınarak program üzerinde gerekli kategorilere ayırarak düzenlemeler yapılmıştır (Şekil 3.19).

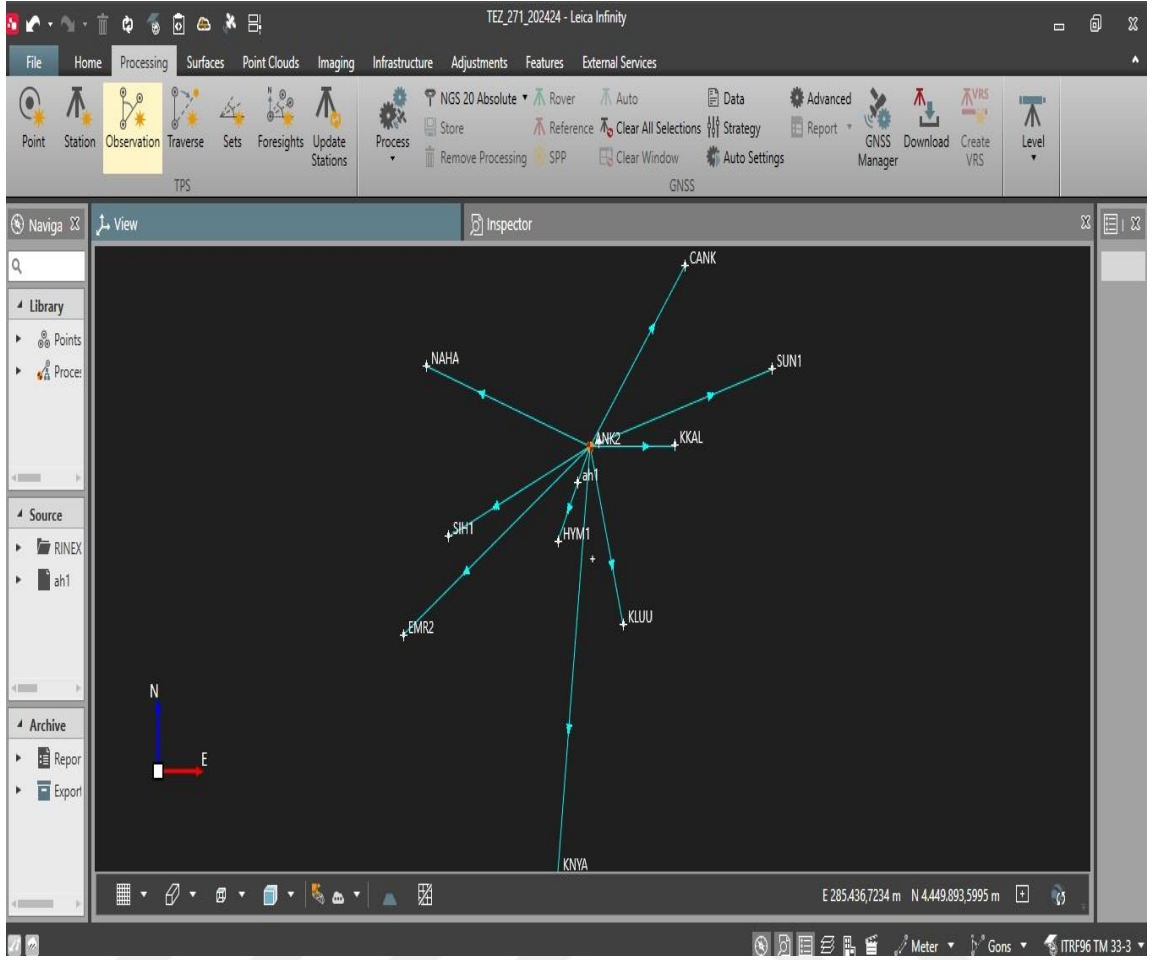
Point Id	Point Role	Source	Start Time
KKAL	Navigated RTK	KKAL2710	27.09.2024 02:59:4
KLS1	Navigated RTK	KLS12710	27.09.2024 02:59:4
KLUU	Navigated RTK	KLUU2710	27.09.2024 02:59:4
KNYA	Navigated RTK	KNYA2710	27.09.2024 02:59:4
NAHA	Navigated RTK	NAHA2710	27.09.2024 02:59:4
SIH1	Navigated RTK	SIH12710	27.09.2024 02:59:4
SUN1	Navigated RTK	SUN12710	27.09.2024 02:59:4

Şekil 3.19. Noktaların projeye yüklenmesi

Point	From	Store	Solution Type	Solution Op...	WGS84 Latitude [°]	WGS84 Longitude [°]	WGS84 Ellip...	WGS84 Cartesian X [m]	WGS84 Cartesian Y [m]	W
CANK	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	40° 36' 30,88" N	33° 36' 37,38" E	794,9277	4.038.848,0427	2.684.459,2548	
EMR2	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	39° 01' 24,58" N	31° 09' 23,53" E	1.005,4964	4.246.665,5090	2.567.471,0824	
HYM1	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	39° 26' 13,52" N	32° 29' 42,92" E	1.240,3247	4.161.178,5300	2.650.478,7629	
IZMI	ANK2	Stored	Float	Iono Minimised	38° 23' 41,31" N	27° 04' 54,56" E	74,7741	4.456.584,1862	2.278.765,5575	
KKAL	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	39° 50' 35,76" N	33° 31' 04,39" E	794,5356	4.088.935,7534	2.708.243,4477	
KLS1	ANK2	Stored	Float	Iono Minimised	36° 42' 45,34" N	37° 07' 25,21" E	660,7647	4.082.077,3916	3.089.902,6437	
KLUU	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	39° 04' 44,78" N	33° 03' 55,31" E	1.052,2979	4.155.559,0020	2.705.396,6720	
KNVA	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	38° 01' 19,75" N	32° 30' 18,85" E	1.205,6708	4.243.584,7080	2.704.006,7544	
NAHA	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	40° 10' 23,90" N	31° 19' 55,52" E	705,5133	4.169.069,0120	2.538.032,8009	
SIH1	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	39° 26' 47,48" N	31° 32' 10,50" E	1.127,2728	4.204.315,2475	2.580.068,0807	
SUN1	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	40° 09' 48,85" N	34° 22' 36,08" E	804,7098	4.029.019,2905	2.756.319,8798	
TKGO	ANK2	Stored	Phase Fixed	None	39° 51' 25,51" N	32° 50' 47,71" E	1.207,2048	4.119.825,1362	2.659.789,6173	
ah1	ANK2	Stored	Phase Fixed	Iono Minimised	39° 41' 02,33" N	32° 39' 54,90" E	1.163,7798	4.138.547,1144	2.653.356,8048	

Şekil 3.20. Hesaplama sonrası sonuç çıktısı

Program içerisinde projeler için ortak parametreler tanımlanmıştır. Bu şekilde uygulamanın diğer faktörlerden etkilenmesi engellenmeye çalışılmıştır. Hesaplamalarda 30 saniye veri aralığı ve sadece GPS uyduları kullanılmıştır. Yükseklik açısı 5° olarak ayarlanmıştır. Anten kalibrasyonu için NGS20 dosyası kullanılmıştır. Çözüm tipi için sadece “Fix” çözüm modu kullanılmıştır. Doğru konum bilgileri elde etmek ve GNSS sinyallerinin atmosferdeki farklı katmanlardan etkilenmesini azaltmak amacıyla atmosferik hataların modellendirilmesini sağlayan troposferik model ‘VMF’ (Vienna Mapping Function), İyonosferik model ise ‘Computed’ olarak seçilmiştir. Değerlendirme sonucunda görüntülenmesi istenilen çözüm tipi, çözüm optimizasyon bilgisi, enlem, boylam, elipsoit yüksekliği, X, Y ve Z kartezyen koordinat bilgileri, baz mesafeleri ve bunlara ait standart sapma değerleri, değerlendirme sonrası istasyonlara ait çözüm görüntüleri (Şekil 3.20) ve ekran çıktıları elde edilmiştir. İşlem sonrasında özet rapor bilgileri sonuçlarıyla kaydedilmiştir (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Hesaplama sonrası View sekmesi ekran görüntüsü

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

TUSAGA-Aktif üzerinden elde edilen RINEX formatındaki ham veriler ve arazide ölçülen HYMG ile KKAG noktaları Leica Infinity 4.0 programı kullanılarak gerekli hesaplamalar yapılmıştır. Gözlem sürelerinin ölçüm doğruluğu üzerindeki etkilerinin mesafeye bağlı olarak değişkenlik gösterdiğini gözlemlemek amacıyla veriler 15 dk, 60 dk, 120 dk ve 24 saat (1440 dk) olacak şekilde ayrı ayrı hesaplanmıştır. 271nci ve 272nci GNSS günlerine ait elde edilen tüm sonuçlar bu bölümde aktarılmıştır.

Çizelge 4.1'deki 271nci GNSS gününde yapılan 15 dakikalık gözlem süresine ait coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin cm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.1. 271nci GNSS günü 15 dakikalık verilerden hesaplanan coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	N	E	YÜKSEKLİK[m]	E(σ)[m]	B(σ)[m]	ELİPSOİD(σ)[m]
CANK	40° 36' 30,87"	33° 36' 37,37"	795.2453	0.0538	0.0542	0.0857
EMR2	39° 01' 24,57"	31° 09' 23,53"	1005.7992	0.0567	0.0634	0.0929
HYM1	39° 26' 13,52"	32° 29' 42,92"	1240.5216	0.0152	0.0081	0.0229
IZMI	38° 23' 41,30"	27° 04' 54,57"	74.9342	0.0462	0.0593	0.0768
KKAL	39° 50' 35,76"	33° 31' 04,39"	794.6430	0.0463	0.0475	0.0753
KLS1	36° 42' 45,32"	37° 07' 25,22"	661.5359	0.1086	0.1018	0.1872
KLUU	39° 04' 44,76"	33° 03' 55,32"	1052.8420	0.0722	0.0745	0.1148
KNYA	38° 01' 19,75"	32° 30' 18,85"	1205.9993	0.0420	0.0462	0.0717
NAHA	40° 10' 23,89"	31° 19' 55,52"	705.6874	0.0516	0.0557	0.0822
SIH1	39° 26' 47,48"	31° 32' 10,50"	1127.5448	0.0472	0.0518	0.0768
SUN1	40° 09' 48,84"	34° 22' 36,08"	804.9085	0.0030	0.0022	0.0067
TKGO	39° 51' 25,52"	32° 50' 47,71"	1206.8800	0.0290	0.0314	0.0536
HYMG	39° 41' 02,32"	32° 39' 54,90"	1164.3242	0.0429	0.0453	0.0700

Çizelge 4.2'deki 271nci GNSS gününde yapılan 15 dakikalık gözlem süresine ait kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde, standart sapmaların genelinin cm hassasiyetinde olduğu görülmektedir. Ölçü sürelerinin kısa (15 dk) olması nedeniyle özellikle uzun bazların hesabında bu normal ve beklenen bir durumdur.

Çizelge 4.2. 271nci GNSS günü 15 dakikalık kartezyen koordinatları ve standart sapmaları

NOKTA	X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
CANK	4038848.3430	2684459.4250	4130038.2101	0.0673	0.0856	0.0362
EMR2	4246665.8585	2567471.2251	3994976.7490	0.0709	0.0973	0.0372
HYM1	4161178.8145	2650478.8386	4030699.4793	0.0205	0.0115	0.0163
IZMI	4456584.3728	2278765.7487	3939930.6512	0.0590	0.0833	0.0338
KKAL	4088935.8336	2708243.5842	4065148.2407	0.0585	0.0754	0.0311
KLS1	4082078.0035	3089903.3757	3792267.7240	0.1316	0.1914	0.0569
KLUU	4155559.4223	2705397.2044	3999801.4394	0.0840	0.1239	0.0391
KNYA	4243585.0293	2704007.0062	3908124.0557	0.0542	0.0729	0.0281
NAHA	4169069.2318	2538032.8705	4093163.0880	0.0638	0.0854	0.0338
SIH1	4204315.4299	2580068.2209	4031436.6923	0.0590	0.0797	0.0312
SUN1	4029019.3991	2756320.1597	4092400.8466	0.0050	0.0038	0.0044
TKGO	4119824.8868	2659789.4888	4066590.7333	0.0548	0.0349	0.0219
HYMG	4138547.5577	2653357.2230	4051787.6371	0.0542	0.0711	0.0284

Çizelge 4.3. 271nci GNSS günü 60 dakikalık coğrafi koordinatları ve standart sapmaları

NOKTA	N	E	YÜKSEKLİK[m]	E(σ)[m]	B(σ)[m]	ELİPSOİD(σ)[m]
CANK	40° 36' 30,87"	33° 36' 37,37"	794.9541	0.0098	0.0072	0.0238
EMR2	39° 01' 24,58"	31° 09' 23,53"	1005.4941	0.0106	0.0108	0.0162
HYM1	39° 26' 13,53"	32° 29' 42,92"	1240.3813	0.0032	0.0024	0.0064
IZMI	38° 23' 41,31"	27° 04' 54,56"	74.7077	0.0159	0.0182	0.0232
KKAL	39° 50' 35,76"	33° 31' 04,39"	794.5480	0.0013	0.0010	0.0030
KLS1	36° 42' 45,33"	37° 07' 25,21"	660.8313	0.0233	0.0187	0.0352
KLUU	39° 04' 44,78"	33° 03' 55,31"	1052.3264	0.0014	0.0011	0.0035
KNYA	38° 01' 19,75"	32° 30' 18,85"	1205.7669	0.0087	0.0087	0.0138
NAHA	40° 10' 23,90"	31° 19' 55,52"	705.7573	0.0239	0.0169	0.0542
SIH1	39° 26' 47,48"	31° 32' 10,51"	1127.4960	0.0157	0.0122	0.0500
SUN1	40° 09' 48,84"	34° 22' 36,07"	804.8058	0.0082	0.0113	0.0233
TKGO	39° 51' 25,51"	32° 50' 47,71"	1207.1761	0.0011	0.0008	0.0030
HYMG	39° 41' 02,33"	32° 39' 54,90"	1163.7179	0.0041	0.0031	0.0096

Çizelge 4.3'teki 271nci GNSS gününde yapılan 60 dakikalık gözlem süresine ait coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin cm-mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir. 15 dakikalık gözlem sürelerine göre standart sapmalar biraz daha küçülmüştür.

Çizelge 4.4. 271nci GNSS günü 60 dakikalık kartezyen koordinatları ve standart sapmaları

NOKTA	X [m]	Y [m]	Z [m]	σ_X [m]	σ_Y [m]	σ_Z [m]
CANK	4038848.2401	2684459.2125	4130037.9998	0.0176	0.0129	0.0154
EMR2	4246665.4902	2567471.1075	3994976.7284	0.0133	0.0164	0.0065
HYM1	4161178.4857	2650478.7780	4030699.6351	0.0048	0.0038	0.0044
IZMI	4456584.1254	2278765.5380	3939930.6854	0.0187	0.0254	0.0111
KKAL	4088935.7640	2708243.4517	4065148.2496	0.0022	0.0017	0.0019
KLS1	4082077.4125	3089902.7501	3792267.6834	0.0268	0.0363	0.0097
KLUU	4155559.0226	2705396.7018	3999801.3717	0.0026	0.0019	0.0022
KNYA	4243584.7709	2704006.8909	3908124.0363	0.0113	0.0136	0.0054
NAHA	4169069.0799	2538033.0295	4093163.2521	0.0428	0.0292	0.0333
SIH1	4204315.2102	2580068.3805	4031436.7415	0.0382	0.0272	0.0264
SUN1	4029019.5671	2756319.8909	4092400.7027	0.0194	0.0127	0.0142
TKGO	4119825.1063	2659789.6233	4066590.8869	0.0022	0.0016	0.0018
HYMG	4138547.0273	2653356.8231	4051787.4861	0.0071	0.0053	0.0062

Çizelge 4.4'teki 271nci GNSS gününde yapılan 60 dakikalık gözlem süresine ait kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin cm-mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir. 15 dakikalık gözlem sürelerine göre standart sapmalar biraz daha küçülmüştür.

Çizelge 4.5. 271nci GNSS günü 120 dakikalık coğrafi koordinatları ve standart sapmaları

NOKTA	N	E	YÜKSEKLİK[m]	E(σ)[m]	B(σ)[m]	ELİPSOİT(σ)[m]
CANK	40° 36' 30,88"	33° 36' 37,37"	794.9354	0.0130	0.0090	0.0233
EMR2	39° 01' 24,59"	31° 09' 23,54"	1005.7641	0.0148	0.0087	0.0203
HYM1	39° 26' 13,52"	32° 29' 42,92"	1240.3160	0.0009	0.0006	0.0015
IZMI	38° 23' 41,31"	27° 04' 54,56"	74.7592	0.0096	0.0105	0.0144
KKAL	39° 50' 35,76"	33° 31' 04,39"	794.5356	0.0011	0.0007	0.0020
KLS1	36° 42' 45,34"	37° 07' 25,21"	660.6064	0.0113	0.0098	0.0177
KLUU	39° 04' 44,78"	33° 03' 55,31"	1052.2982	0.0013	0.0009	0.0026
KNYA	38° 01' 19,76"	32° 30' 18,85"	1205.8543	0.0092	0.0071	0.0179
NAHA	40° 10' 23,90"	31° 19' 55,52"	705.4972	0.0013	0.0009	0.0023
SIH1	39° 26' 47,50"	31° 32' 10,50"	1127.5152	0.0219	0.0128	0.0476
SUN1	40° 09' 48,84"	34° 22' 36,07"	804.5873	0.0079	0.0051	0.0141
TKGO	39° 51' 25,51"	32° 50' 47,71"	1207.1930	0.0008	0.0005	0.0015
HYMG	39° 41' 02,33"	32° 39' 54,90"	1163.7786	0.0020	0.0014	0.0033

Çizelge 4.5'teki 271nci GNSS gününde yapılan 120 dakikalık gözlem süresine ait coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin cm-mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir. 15 dakikalık ve 60 dakikalık gözlem sürelerine göre standart sapmalar kısmen olması gereken seviyelere inmiştir.

Çizelge 4.6. 271nci GNSS günü 120 dakikalık kartezyen koordinatları ve standart sapmaları

NOKTA	X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
CANK	4038848.2097	2684459.0825	4130038.0845	0.0190	0.0149	0.0146
EMR2	4246665.4141	2567471.2831	3994977.1254	0.0147	0.0110	0.0193
HYM1	4161178.5339	2650478.7598	4030699.4948	0.0011	0.0009	0.0012
IZMI	4456584.1795	2278765.5163	3939930.7201	0.0125	0.0144	0.0067
KKAL	4088935.7631	2708243.4415	4065148.2379	0.0015	0.0012	0.0015
KLS1	4082077.2563	3089902.5280	3792267.6540	0.0162	0.0154	0.0060
KLUU	4155559.0000	2705396.6859	3999801.3610	0.0019	0.0014	0.0018
KNYA	4243584.5824	2704006.8574	3908124.4045	0.0145	0.0100	0.0120
NAHA	4169069.0044	2538032.7845	4093163.0762	0.0017	0.0013	0.0017
SIH1	4204315.0137	2580067.8445	4031437.3160	0.0400	0.0235	0.0275
SUN1	4029019.3974	2756319.8407	4092400.5636	0.0108	0.0084	0.0100
TKGO	4119825.1232	2659789.6211	4066590.8978	0.0011	0.0008	0.0011
HYMG	4138547.1137	2653356.8051	4051787.5051	0.0025	0.0019	0.0026

Çizelge 4.6'daki 271nci GNSS gününde yapılan 120 dakikalık gözlem süresine ait kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir. 15 dakikalık ve 60 dakikalık gözlem sürelerine göre standart sapmalar kısmen olması gereken seviyelere inmiştir.

Çizelge 4.7. 271nci GNSS günü 24 saatlik coğrafi koordinatları ve standart sapmaları

NOKTA	N	E	YÜKSEKLİK[m]	E(σ)[m]	B(σ)[m]	ELİPSOİT(σ)[m]
CANK	40° 36' 30,88"	33° 36' 37,38"	794.9277	0.0008	0.0006	0.0015
EMR2	39° 01' 24,58"	31° 09' 23,53"	1005.4964	0.0004	0.0003	0.0009
HYM1	39° 26' 13,52"	32° 29' 42,92"	1240.3247	0.0002	0.0002	0.0004
IZMI	38° 23' 41,31"	27° 04' 54,56"	74.7741	0.0005	0.0012	0.0010
KKAL	39° 50' 35,76"	33° 31' 04,39"	794.5356	0.0003	0.0003	0.0007
KLS1	36° 42' 45,34"	37° 07' 25,21"	660.7647	0.0004	0.0011	0.0010
KLUU	39° 04' 44,78"	33° 03' 55,31"	1052.2979	0.0005	0.0004	0.0010
KNYA	38° 01' 19,75"	32° 30' 18,85"	1205.6708	0.0008	0.0007	0.0017
NAHA	40° 10' 23,90"	31° 19' 55,52"	705.5133	0.0005	0.0004	0.0010
SIH1	39° 26' 47,48"	31° 32' 10,50"	1127.2728	0.0006	0.0005	0.0012
SUN1	40° 09' 48,85"	34° 22' 36,08"	804.7098	0.0005	0.0004	0.0010
TKGO	39° 51' 25,51"	32° 50' 47,71"	1207.2048	0.0001	0.0001	0.0003
HYMG	39° 41' 02,33"	32° 39' 54,90"	1163.7798	0.0020	0.0014	0.0033

Çizelge 4.7'deki 271nci GNSS gününde yapılan 1440 dakikalık gözlem süresine ait coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir. 24 saatlik gözlemler için yapılan hesaplamalarda standart sapmalar tamamen olması gereken sınırlar içinde elde edilmiştir.

Çizelge 4.8. 271nci GNSS günü 24 saatlik kartezyen koordinatları ve standart sapmaları

NOKTA	X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
CANK	4038848.0427	2684459.2548	4130038.1237	0.0011	0.0009	0.0011
EMR2	4246665.5090	2567471.0824	3994976.7281	0.0006	0.0005	0.0006
HYM1	4161178.5300	2650478.7629	4030699.5106	0.0003	0.0002	0.0003
IZMI	4456584.1862	2278765.5575	3939930.7129	0.0010	0.0011	0.0007
KKAL	4088935.7534	2708243.4477	4065148.2435	0.0005	0.0004	0.0005
KLS1	4082077.3916	3089902.6437	3792267.6806	0.0009	0.0011	0.0006
KLUU	4155559.0020	2705396.6720	3999801.3678	0.0007	0.0006	0.0007
KNYA	4243584.7080	2704006.7544	3908124.0419	0.0013	0.0010	0.0012
NAHA	4169069.0120	2538032.8009	4093163.0834	0.0007	0.0005	0.0007
SIH1	4204315.2475	2580068.0807	4031436.5422	0.0009	0.0007	0.0009
SUN1	4029019.2905	2756319.8798	4092400.8319	0.0007	0.0006	0.0007
TKGO	4119825.1362	2659789.6173	4066590.9056	0.0002	0.0002	0.0002
HYMG	4138547.1144	2653356.8048	4051787.5065	0.0025	0.0019	0.0026

Çizelge 4.8'deki 271nci GNSS gününde yapılan 1440 dakikalık gözlem süresine ait kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir. 24 saatlik gözlemler için yapılan hesaplamalarda standart sapmalar tamamen olması gereken sınırlar içinde elde edilmiştir.

Çizelge 4.9. 272nci GNSS günü 15 dakikalık kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	X [m]	Y [m]	Z [m]	σX [m]	σY [m]	σZ [m]
CANK	4038847.7000	2684459.0079	4130038,0097	0,0439	0,0630	0,0264
EMR2	4246665,5575	2567470,9519	3994976,8022	0,0429	0,0512	0,0280
HYM1	4161178,4739	2650478,7412	4030699,4520	0,0461	0,0426	0,0251
IZMI	4456584,3611	2278765,7040	3939930,8939	0,0749	0,0841	0,0497
KKAL	4088935,7526	2708243,3149	4065148,2276	0,0355	0,0408	0,0209
KLS1	4082076,9926	3089902,7523	3792267,5828	0,0837	0,0832	0,0358
KLUU	4155558,9901	2705396,8555	3999801,2002	0,0048	0,0038	0,0057
KNYA	4243584,3201	2704006,8534	3908124,0239	0,0413	0,0481	0,0237
NAHA	4169069,0564	2538032,8177	4093162,9949	0,0376	0,0457	0,0228
SIH1	4204314,7435	2580067,9322	4031436,2126	0,0493	0,0734	0,0301
SUN1	4029019,1355	2756319,6807	4092400,6018	0,0491	0,0524	0,0276
TKGO	4119825,1459	2659789,5989	4066590,9193	0,0013	0,0011	0,0019
KKAG	4113241,0033	2672094,0443	4065583,2368	0,0517	0,0562	0,0364

Çizelge 4.9'daki 272nci GNSS gününde yapılan 15 dakikalık gözlem süresine ait kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin cm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

271nci ölçü günü için elde edilmiş olan standart sapma değerleri 272nci günde de aynı seviyelerde elde edilmiş olup (Çizelgeler 4.10-4.16), bu da doğru yapılmış ölçü ve hesaplamalar sonucunda beklenen bir durumdur.

Çizelge 4.10. 272nci GNSS günü 15 dakikalık ölçüm coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	N	E	YÜKSEKLİK[m]	E(σ)[m]	B(σ)[m]	ELİPSOİT(σ)[m]
CANK	40° 36' 30,89"	33° 36' 37,37"	794,5330	0,0316	0,0530	0,0529
EMR2	39° 01' 24,58"	31° 09' 23,53"	1005,5228	0,0280	0,0471	0,0474
HYM1	39° 26' 13,52"	32° 29' 42,92"	1240,2420	0,0225	0,0443	0,0460
IZMI	38° 23' 41,31"	27° 04' 54,56"	75,0609	0,0470	0,0814	0,0794
KKAL	39° 50' 35,76"	33° 31' 04,38"	794,4686	0,0231	0,0374	0,0379
KLS1	36° 42' 45,34"	37° 07' 25,22"	660,5038	0,0443	0,0704	0,0911
KLUU	39° 04' 44,77"	33° 03' 55,32"	1052,2623	0,0047	0,0028	0,0064
KNYA	38° 01' 19,76"	32° 30' 18,86"	1205,4439	0,0261	0,0436	0,0447
NAHA	40° 10' 23,90"	31° 19' 55,52"	705,4919	0,0258	0,0412	0,0407
SIH1	39° 26' 47,48"	31° 32' 10,51"	1126,6717	0,0346	0,0616	0,0610
SUN1	40° 09' 48,85"	34° 22' 36,07"	804,3778	0,0304	0,0495	0,0504
TKGO	39° 51' 25,52"	32° 50' 47,71"	1207,2122	0,0015	0,0008	0,0020
KKAG	39° 50' 36,30"	33° 00' 32,59"	1453,6273	0,0308	0,0527	0,0585

Çizelge 4.10'daki 272nci GNSS gününde yapılan 15 dakikalık gözlem süresine ait coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin cm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. 272nci GNSS günü 60 dakikalık kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	X [m]	Y [m]	Z [m]	σ X [m]	σ Y [m]	σ Z [m]
CANK	4038847.9992	2684459.2063	4130038,1072	0,0024	0,0016	0,0023
EMR2	4246665,4802	2567471,0625	3994976,7298	0,0049	0,0111	0,0038
HYM1	4161178,4785	2650478,7259	4030699,5178	0,0026	0,0018	0,0027
IZMI	4456584,3244	2278765,5049	3939930,9140	0,0155	0,0198	0,0070
KKAL	4088935.7161	2708243.4264	4065148,2098	0,0022	0,0016	0,0026
KLS1	4082077,3533	3089902,7962	3792267,7523	0,0110	0,0301	0,0101
KLUU	4155558.8640	2705396.5560	3999801,3479	0,0026	0,0018	0,0025
KNYA	4243584,6828	2704006,7292	3908124,0197	0,0051	0,0114	0,0038
NAHA	4169069,2472	2538032,9713	4093162,8543	0,0208	0,0135	0,0217
SIH1	4204314,7294	2580067,5890	4031436,5827	0,0447	0,0503	0,0223
SUN1	4029019.2476	2756319.8620	4092400,7962	0,0015	0,0011	0,0018
TKGO	4119825,1195	2659789,6142	4066590,9160	0,0009	0,0007	0,0012
KKAG	4113240.8083	2672093.8527	4065583,2579	0,0031	0,0021	0,0032

Çizelge 4.11'deki 272nci GNSS gününde yapılan 60 dakikalık gözlem süresine ait kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin cm-mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.12. 272nci GNSS günü 60 dakikalık coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	N	E	YÜKSEKLİK[m]	E(σ)[m]	B(σ)[m]	ELİPSOİT(σ)[m]
CANK	40° 36' 30,88"	33° 36' 37,37"	794,8690	0,0021	0,0011	0,0028
EMR2	39° 01' 24,58"	31° 09' 23,53"	1005,4703	0,0038	0,0095	0,0075
HYM1	39° 26' 13,52"	32° 29' 42,92"	1240,2804	0,0023	0,0013	0,0032
IZMI	38° 23' 41,31"	27° 04' 54,56"	74,9766	0,0096	0,0163	0,0181
KKAL	39° 50' 35,76"	33° 31' 04,39"	794,4811	0,0023	0,0011	0,0027
KLS1	36° 42' 45,34"	37° 07' 25,22"	660,8569	0,0059	0,0253	0,0213
KLUU	39° 04' 44,78"	33° 03' 55,31"	1052,1465	0,0023	0,0012	0,0031
KNYA	38° 01' 19,75"	32° 30' 18,85"	1205,6297	0,0039	0,0097	0,0079
NAHA	40° 10' 23,89"	31° 19' 55,52"	705,5867	0,0206	0,0123	0,0225
SIH1	39° 26' 47,49"	31° 32' 10,50"	1126,7590	0,0496	0,0221	0,0456
SUN1	40° 09' 48,85"	34° 22' 36,08"	804,6521	0,0016	0,0008	0,0019
TKGO	39° 51' 25,52"	32° 50' 47,71"	1207,1994	0,0009	0,0005	0,0013
KKAG	39° 50' 36,31"	33° 00' 32,59"	1453,4351	0,0028	0,0015	0,0037

Çizelge 4.12'deki 272nci GNSS gününde yapılan 60 dakikalık gözlem süresine ait coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin cm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.13. 272nci GNSS günü 120 dakikalık ölçüm kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	X [m]	Y [m]	Z [m]	σ X [m]	σ Y [m]	σ Z [m]
CANK	4038848,0391	2684459,2400	4130038,1406	0,0047	0,0032	0,0036
EMR2	4246665,0290	2567470,7750	3994976,7657	0,0233	0,0167	0,0155
HYM1	4161178,4519	2650478,7017	4030699,4751	0,0024	0,0015	0,0021
IZMI	4456584,3365	2278765,7118	3939930,8223	0,0070	0,0140	0,0028
KKAL	4088935,7530	2708243,4561	4065148,2045	0,0024	0,0017	0,0026
KLS1	4082077,3872	3089902,6436	3792267,6965	0,0042	0,0133	0,0028
KLUU	4155558,9300	2705396,6383	3999801,3182	0,0025	0,0014	0,0019
KNYA	4243584,6524	2704006,7122	3908123,9957	0,0018	0,0072	0,0015
NAHA	4169068,9556	2538032,7808	4093163,0355	0,0014	0,0008	0,0011
SIH1	4204315,1995	2580068,0190	4031436,4961	0,0022	0,0091	0,0019
SUN1	4029019,2862	2756319,8870	4092400,7905	0,0033	0,0024	0,0026
TKGO	4119825,1189	2659789,6122	4066590,9094	0,0008	0,0006	0,0008
KKAG	4113240,8447	2672093,8650	4065583,1750	0,0033	0,0022	0,0032

Çizelge 4.13'teki 272nci GNSS gününde yapılan 120 dakikalık gözlem süresine ait kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların genelinin mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14. 272nci GNSS günü 120 dakikalık ölçüm coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	N	E	YÜKSEKLİK[m]	E(σ)[m]	B(σ)[m]	ELİPSOİT(σ)[m]
CANK	40° 36' 30,88"	33° 36' 37,38"	794,9302	0,0032	0,0020	0,0056
EMR2	39° 01' 24,59"	31° 09' 23,53"	1005,0773	0,0119	0,0121	0,0278
HYM1	39° 26' 13,52"	32° 29' 42,92"	1240,2260	0,0016	0,0011	0,0029
IZMI	38° 23' 41,30"	27° 04' 54,57"	75,0020	0,0058	0,0113	0,0097
KKAL	39° 50' 35,76"	33° 31' 04,39"	794,5139	0,0024	0,0011	0,0030
KLS1	36° 42' 45,34"	37° 07' 25,21"	660,7714	0,0044	0,0101	0,0090
KLUU	39° 04' 44,78"	33° 03' 55,31"	1052,2055	0,0013	0,0011	0,0030
KNYA	38° 01' 19,75"	32° 30' 18,85"	1205,5875	0,0024	0,0058	0,0042
NAHA	40° 10' 23,90"	31° 19' 55,52"	705,4376	0,0008	0,0006	0,0017
SIH1	39° 26' 47,48"	31° 32' 10,50"	1127,1870	0,0031	0,0075	0,0051
SUN1	40° 09' 48,85"	34° 22' 36,08"	804,6835	0,0023	0,0015	0,0040
TKGO	39° 51' 25,52"	32° 50' 47,71"	1207,1939	0,0006	0,0004	0,0011
KKAG	39° 50' 36,30"	33° 00' 32,59"	1453,4106	0,0028	0,0015	0,0040

Çizelge 4.14'teki 272nci GNSS gününde yapılan 120 dakikalık gözlem süresine ait coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların tamamının mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.15. 272nci GNSS günü 24 saatlik ölçüm kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	X [m]	Y [m]	Z [m]	σ X [m]	σ Y [m]	σ Z [m]
CANK	4038848,0748	2684459,2544	4130038,1469	0,0008	0,0006	0,0008
EMR2	4246665,4734	2567471,0408	3994976,7126	0,0014	0,0011	0,0013
HYM1	4161178,5111	2650478,7484	4030699,4945	0,0004	0,0003	0,0003
IZMI	4456584,2728	2278765,6018	3939930,8012	0,0009	0,0009	0,0006
KKAL	4088935,7500	2708243,4412	4065148,2376	0,0004	0,0003	0,0004
KLS1	4082077,3999	3089902,6569	3792267,6991	0,0008	0,0009	0,0005
KLUU	4155558,9698	2705396,6631	3999801,3429	0,0005	0,0004	0,0005
KNYA	4243584,6915	2704006,7835	3908124,0322	0,0011	0,0008	0,0010
NAHA	4169068,9797	2538032,7819	4093163,0566	0,0006	0,0004	0,0006
SIH1	4204315,2287	2580068,0785	4031436,5275	0,0006	0,0005	0,0006
SUN1	4029019,2881	2756319,9051	4092400,8319	0,0009	0,0008	0,0009
TKGO	4119825,1321	2659789,6135	4066590,9063	0,0003	0,0002	0,0003
KKAG	4113240,8401	2672093,8632	4065583,1834	0,0029	0,0020	0,0026

Çizelge 4.15'teki 272nci GNSS gününde yapılan 24 saatlik gözlem süresine ait kartezyen koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların tamamının mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.16. 272nci GNSS günü 24 saatlik ölçüm coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları

NOKTA	N	E	YÜKSEKLİK[m]	E(σ)[m]	B(σ)[m]	ELİPSOİT(σ)[m]
CANK	40° 36' 30,88"	33° 36' 37,37"	794,9629	0,0005	0,0004	0,0011
EMR2	39° 01' 24,58"	31° 09' 23,53"	1005,4462	0,0009	0,0007	0,0019
HYM1	39° 26' 13,52"	32° 29' 42,92"	1240,2962	0,0002	0,0002	0,0005
IZMI	38° 23' 41,31"	27° 04' 54,56"	74,9052	0,0004	0,0010	0,0009
KKAL	39° 50' 35,76"	33° 31' 04,39"	794,5269	0,0003	0,0002	0,0006
KLS1	36° 42' 45,34"	37° 07' 25,21"	660,7875	0,0003	0,0010	0,0009
KLUU	39° 04' 44,78"	33° 03' 55,31"	1052,2575	0,0003	0,0003	0,0007
KNYA	38° 01' 19,75"	32° 30' 18,85"	1205,6662	0,0007	0,0006	0,0014
NAHA	40° 10' 23,90"	31° 19' 55,52"	705,4674	0,0004	0,0003	0,0008
SIH1	39° 26' 47,48"	31° 32' 10,50"	1127,2502	0,0004	0,0003	0,0008
SUN1	40° 09' 48,85"	34° 22' 36,08"	804,7192	0,0006	0,0005	0,0013
TKGO	39° 51' 25,52"	32° 50' 47,71"	1207,2009	0,0001	0,0001	0,0004
KKAG	39° 50' 36,30"	33° 00' 32,59"	1453,4122	0,0020	0,0014	0,0036

Çizelge 4.16'daki 272nci GNSS gününde yapılan 24 saatlik gözlem süresine ait coğrafi koordinatlar ve standart sapmaları incelendiğinde standart sapmaların tamamının mm hassasiyetinde olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20 'de 271nci ve 272nci günlere ait 15, 60, 120 ve 1440 dakikalık (24 saat) gözlemlerden hesaplanan koordinat farkları (dX, dY ve dZ) çizelgeler 4.17-4.20'de, bu çizelgelere ait fark grafikleri ise Şekiller 4.1-4.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 4.17. 271-15 dk koordinatlar- 272-15 dk koordinatlar farkı

NOKTA	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
CANK	0.6430	0.4171	0.2004
EMR2	0.3010	0.2732	-0.0532
HYM1	0.3406	0.0974	0.0273
IZMI	0.0117	0.0447	-0.2427
KKAL	0.0810	0.2693	0.0131
KLS1	1.0109	0.6234	0.1412
KLUU	0.4322	0.3489	0.2392
KNYA	0.7092	0.1528	0.0318
NAHA	0.1754	0.0528	0.0931
SIH1	0.6864	0.2887	0.4797
SUN1	0.2636	0.4790	0.2448
TKGO	-0.2591	-0.1101	-0.1860

Çizelge 4.18. 271-60 dk koordinatları- 272-60 dk koordinatları farkı

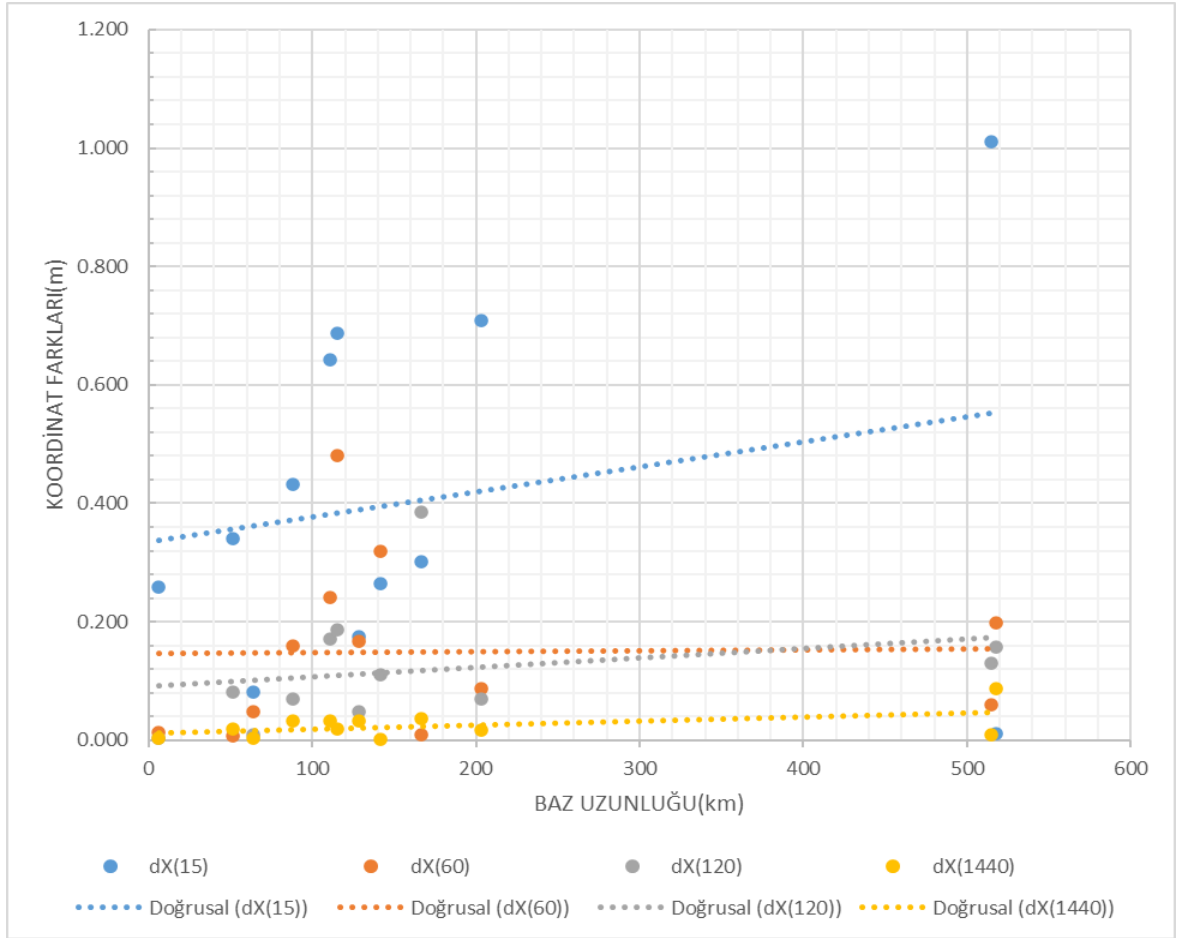
NOKTA ADI	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
CANK	0.2409	0.0062	-0.1074
EMR2	0.0100	0.0450	-0.0014
HYM1	0.0072	0.0521	0.1173
IZMI	-0.1990	0.0331	-0.2286
KKAL	0.0479	0.0253	0.0398
KLS1	0.0592	-0.0461	-0.0689
KLUU	0.1586	0.1458	0.0238
KNYA	0.0881	0.1617	0.0166
NAHA	-0.1673	0.0582	0.3978
SIH1	0.4808	0.7915	0.1588
SUN1	0.3195	0.0289	-0.0935
TKGO	-0.0132	0.0091	-0.0291

Çizelge 4.19. 271-120 dk koordinatları- 272-120 dk koordinatları farkı

NOKTA ADI	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
CANK	0.1706	-0.1575	-0.0561
EMR2	0.3851	0.5081	0.3597
HYM1	0.0820	0.0581	0.0197
IZMI	-0.1570	-0.1955	-0.1022
KKAL	0.0101	-0.0146	0.0334
KLS1	-0.1309	-0.1156	-0.0425
KLUU	0.0700	0.0476	0.0428
KNYA	-0.0700	0.1452	0.4088
NAHA	0.0488	0.0037	0.0407
SIH1	-0.1858	-0.1745	0.8199
SUN1	0.1112	-0.0463	-0.2269
TKGO	0.0043	0.0089	-0.0116

Çizelge 4.20. 271-24 saat koordinatları- 272-24 saat koordinatları farkı

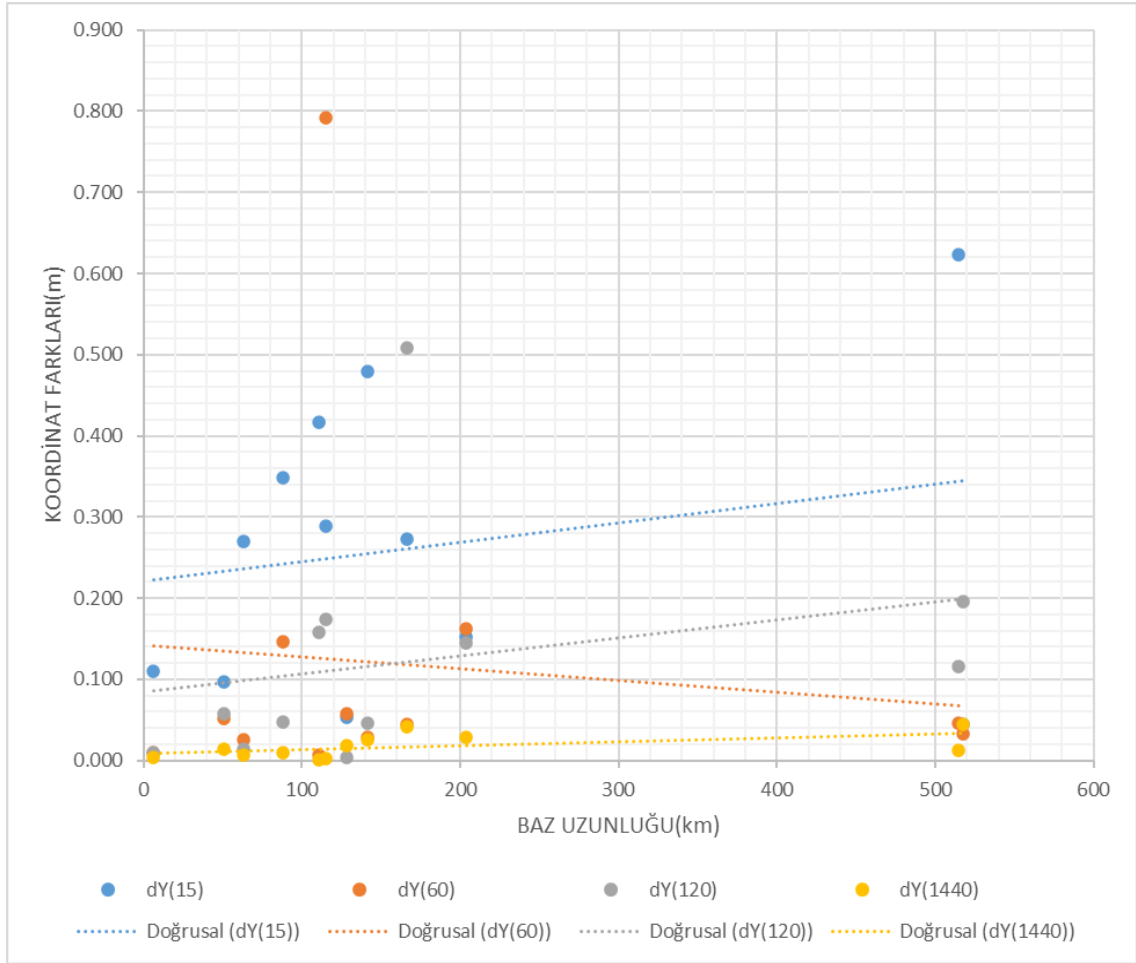
NOKTA ADI	dX(m)	dY(m)	dZ(m)
CANK	-0.0321	0.0004	-0.0232
EMR2	0.0356	0.0416	0.0155
HYM1	0.0189	0.0145	0.0161
IZMI	-0.0866	-0.0443	-0.0883
KKAL	0.0034	0.0065	0.0059
KLS1	-0.0083	-0.0132	-0.0185
KLUU	0.0322	0.0089	0.0249
KNYA	0.0165	-0.0291	0.0097
NAHA	0.0323	0.0190	0.0268
SIH1	0.0188	0.0022	0.0147
SUN1	0.0024	-0.0253	0.0000
TKGO	0.0041	0.0038	-0.0007



Şekil 4.1. 271nci ve 272nci günleri arasında 15, 60, 120 ve 1440 dakikalık süreler için X koordinatları farkı

Şekil 4.1’de 271nci gün ile 272nci günün aynı dakikalarına ait X koordinatlarının farkları gösterilmektedir. dX (15) ifadesi 271nci günün 15 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 15 dakikalık gözleminin X koordinatları farkını ifade ederken, dX (60) ifadesi 271nci günün 60 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 60 dakikalık gözleminin X koordinatları farkını ifade etmektedir. Yine dX (120) ifadesi 271nci günün 120 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 120 dakikalık gözleminin X koordinatlarının farkını ifade ederken, dX (1440) ifadesi 271nci günün 1440 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 1440 dakikalık gözleminin X koordinatlarının farkını ifade etmektedir.

Şekil 4.1 incelendiğinde baz uzunlukları arttıkça farklı günlere ait 15, 60, 120 ve 1440 dakikalık gözlemlerin X koordinatları arasındaki farkın artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 15 dakikalık gözlemlerde baz uzunluğu arttıkça farkların belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenirken, 60, 120 ve 1440 dakikalık gözlemlerde farkların çok daha düşük olduğu görülmektedir.

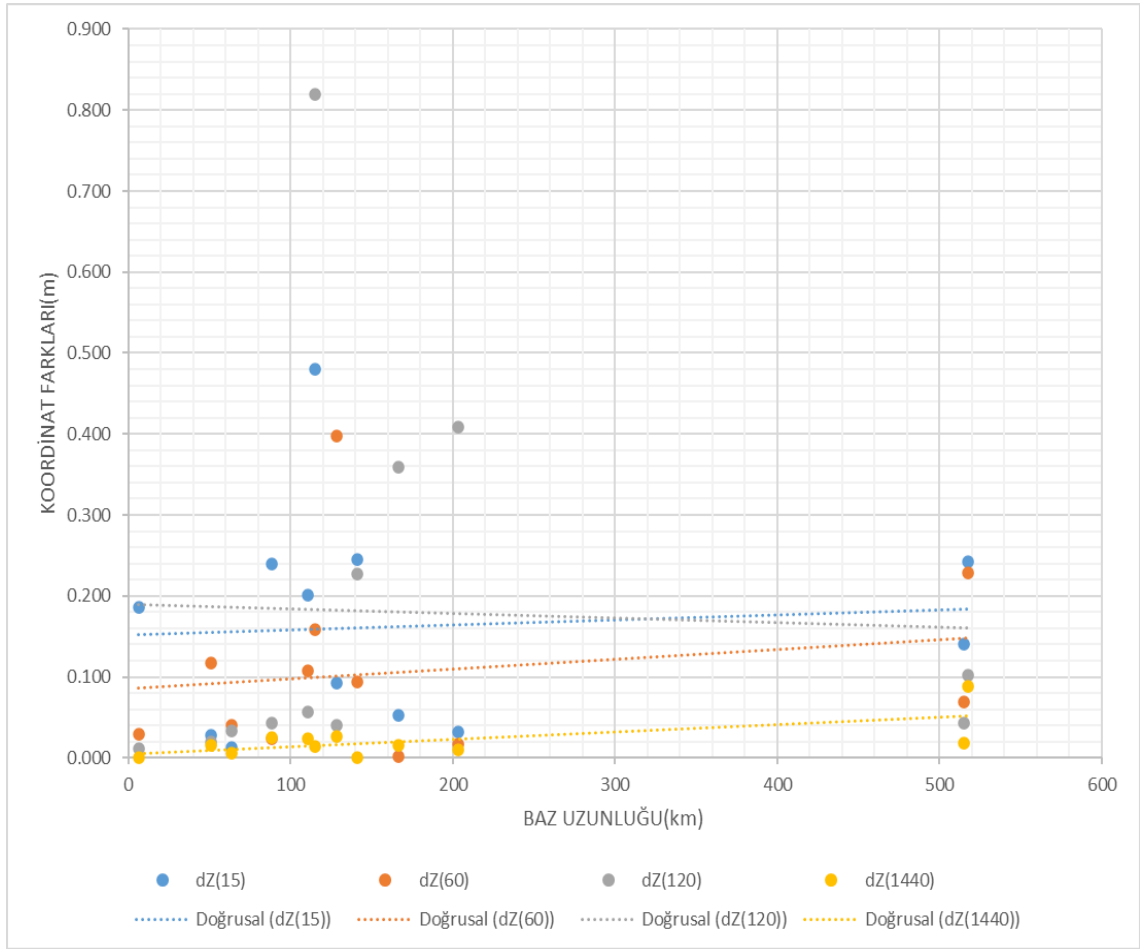


Şekil 4.2. 271nci ve 272nci günleri arasında 15, 60, 120 ve 1440 dakikalık süreler için Y koordinatları farkı

Şekil 4.2.'de 271nci gün ile 272nci günün aynı dakikalarına ait Y koordinatlarının farkları gösterilmektedir. dY (15) ifadesi 271nci günün 15 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 15 dakikalık gözleminin Y koordinatları farkını ifade ederken, dY (60) ifadesi 271nci günün 60 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 60 dakikalık gözleminin Y koordinatları farkını ifade etmektedir. Yine dY (120) ifadesi 271nci günün 120 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 120 dakikalık gözleminin Y koordinatlarının farkını ifade ederken, dY (1440) ifadesi 271nci günün 1440 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 1440 dakikalık gözleminin Y koordinatlarının farkını ifade etmektedir.

Şekil 4.2. incelendiğinde baz uzunlukları arttıkça farklı günlere ait 15, 120 ve 1440 dakikalık gözlemlerin Y koordinatları arasındaki farkın artma eğiliminde olduğu görülmektedir. 15 dakikalık gözlemlerde baz uzunluğu arttıkça farkların belirgin bir

şekilde arttığı gözlemlenirken 120 ve 1440 dakikalık gözlemlerde farkların çok daha küçük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.3. 271nci ve 272nci günleri arasında 15, 60, 120 ve 1440 dakikalık sürelerle ait Z koordinatları farkı

Şekil 4.3.'de 271nci gün ile 272nci günün aynı dakikalarına ait Z koordinatlarının farkları gösterilmektedir. dZ (15) ifadesi 271nci günün 15 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 15 dakikalık gözleminin Z koordinatları farkını ifade ederken, dZ (60) ifadesi 271nci günün 60 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 60 dakikalık gözleminin Z koordinatları farkını ifade etmektedir. Yine dZ (120) ifadesi 271nci günün 120 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 120 dakikalık gözleminin Z koordinatlarının farkını ifade ederken, dZ (1440) ifadesi 271nci günün 1440 dakikalık gözlemi ile 272nci günün 1440 dakikalık gözleminin Z koordinatlarının farkını ifade etmektedir.

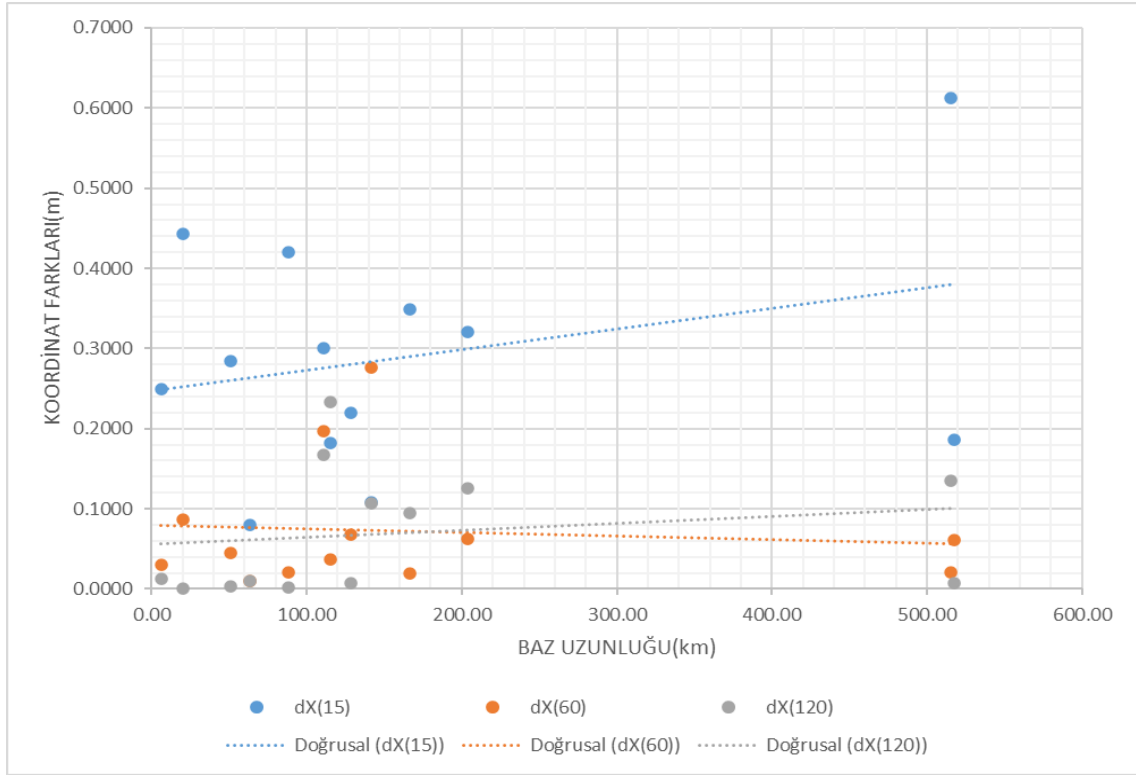
Şekil 4.3. incelendiğinde baz uzunlukları arttıkça farklı günlere ait 15, 120 ve 1440 dakikalık gözlemlerin Z koordinatları arasındaki farkın artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

Şekil 4.1, Şekil 4.2 ve Şekil 4.3 genel olarak incelendiğinde baz uzunlukları arttıkça gözlemlerin hesaplamaları sonucu elde edilen doğruluğun ve hassasiyetin azaldığı ve dolayısıyla 271nci gün ve 272nci günler arası koordinat farklarının arttığı anlaşılmaktadır. Ancak gözlem süresinin artmasıyla 271nci gün ve 272nci günler arası koordinat farklarının azaldığı, doğruluk ve hassasiyetin arttığı anlaşılmaktadır. Buradan ulaşılmaması gereken sonuç baz uzunluğu arttıkça, gözlem süresinin de arttırılması gerektiğidir. Bu sonuç ise GNSS gözlemlerinde hem teorik hem de deneysel olarak bilinen ve hedeflenen bir sonuçtur. Bu durum aşağıda verilen Çizelge 4.21 ile Şekiller 4.4-4.6’da açıkça görülmektedir.

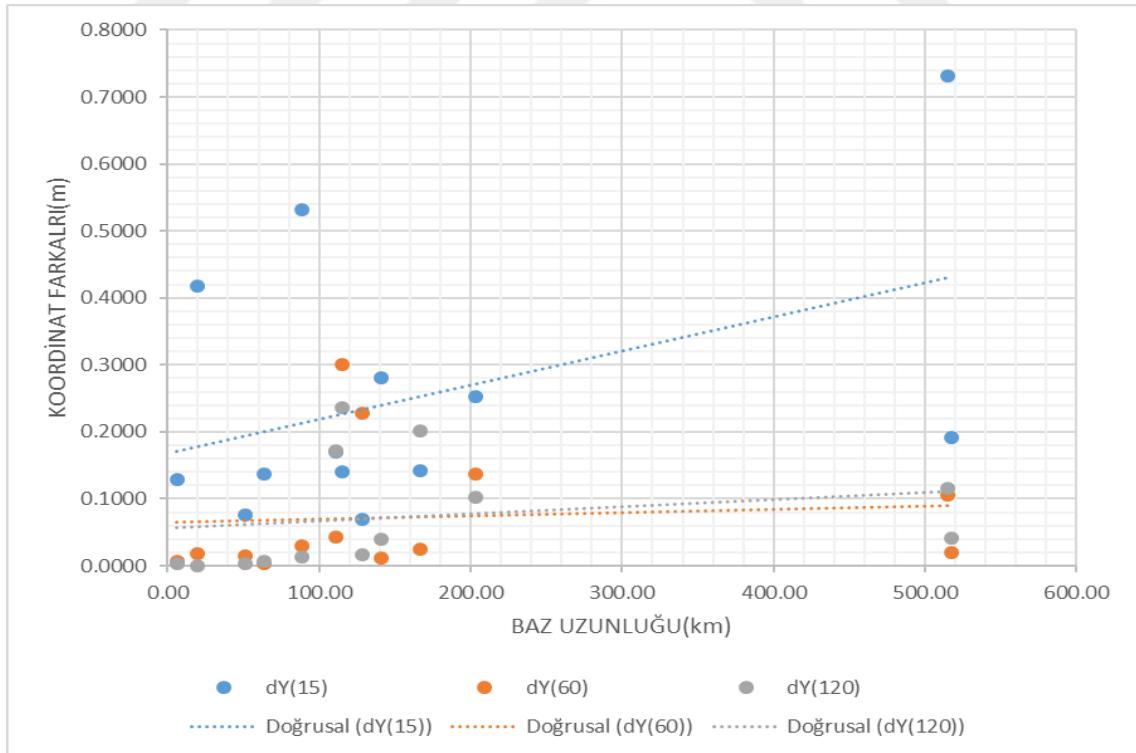
Çizelge 4.21’de 271nci gün 15, 60 ve 120 dakikalık gözlem süreleriyle elde edilen kartezyen koordinatların, aynı güne ait 24 saatlik gözlemler ile olan farkları görülmektedir.

Çizelge 4.21. 271nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle farkı

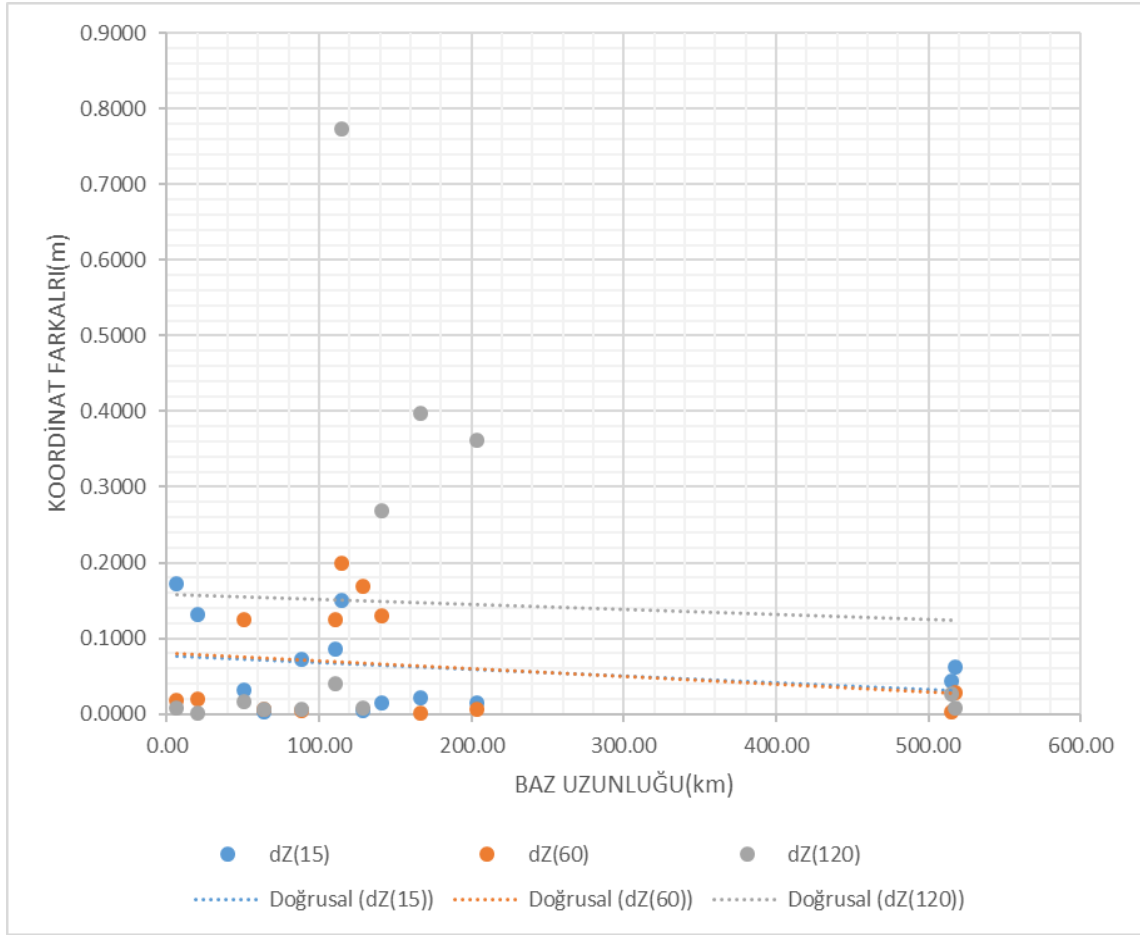
NOKTA	15 DAKİKA			60 DAKİKA			120 DAKİKA		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
CANK	-0.3003	-0.1702	-0.0864	-0.1974	0.0423	0.1239	-0.1670	0.1723	0.0392
EMR2	-0.3495	-0.1427	-0.0209	0.0188	-0.0251	-0.0003	0.0949	-0.2007	-0.3973
HYM1	-0.2845	-0.0757	0.0313	0.0443	-0.0151	-0.1245	-0.0039	0.0031	0.0158
IZMI	-0.1866	-0.1912	0.0617	0.0608	0.0195	0.0275	0.0067	0.0412	-0.0072
KKAL	-0.0802	-0.1365	0.0028	-0.0106	-0.0040	-0.0061	-0.0097	0.0062	0.0056
KLS1	-0.6119	-0.7320	-0.0434	-0.0209	-0.1064	-0.0028	0.1353	0.1157	0.0266
KLUU	-0.4203	-0.5324	-0.0716	-0.0206	-0.0298	-0.0039	0.0020	-0.0139	0.0068
KNYA	-0.3213	-0.2518	-0.0138	-0.0629	-0.1365	0.0056	0.1256	-0.1030	-0.3626
NAHA	-0.2198	-0.0696	-0.0046	-0.0679	-0.2286	-0.1687	0.0076	0.0164	0.0072
SIH1	-0.1824	-0.1402	-0.1501	0.0373	-0.2998	-0.1993	0.2338	0.2362	-0.7738
SUN1	-0.1086	-0.2799	-0.0147	-0.2766	-0.0111	0.1292	-0.1069	0.0391	0.2683
TKGO	0.2494	0.1285	0.1723	0.0299	-0.0060	0.0187	0.0130	-0.0038	0.0078
HYMG	-0.4433	-0.4182	-0.1306	0.0871	-0.0183	0.0204	0.0007	-0.0003	0.0014



Şekil 4.4. 271nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle farkı (X koordinatları)



Şekil 4.5. 271nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle farkı (Y koordinatları)



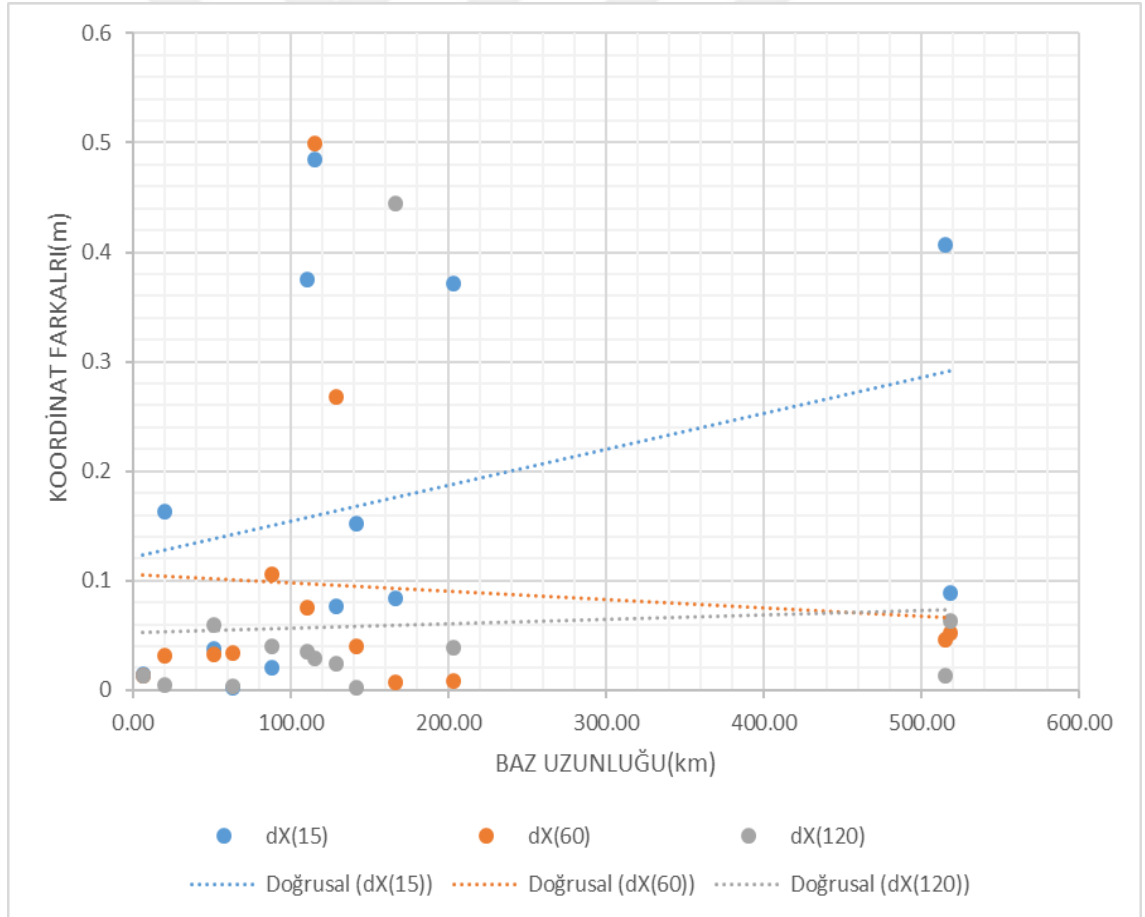
Şekil 4.6. 271nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle farkı (Z koordinatları)

Şekil 4.4’ de 24 saatlik ölçümler ile 15 dakikalık ve 120 dakikalık X, Y ve Z kartezyen koordinatlarının baz uzunluğu arttıkça (ve 15 dk gibi gözlem süresi azaldıkça) farklarının artma eğiliminde olduğu görülmektedir.

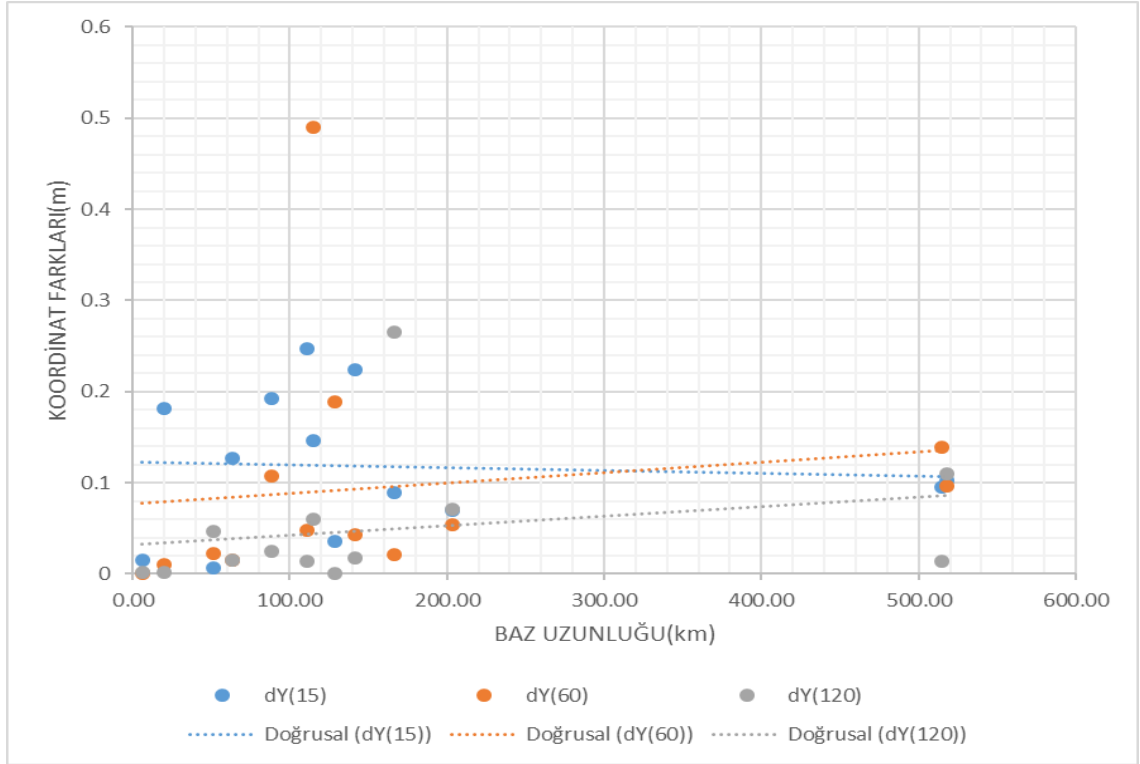
271nci gün için yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen Çizelge 4.22 ve Şekiller (4.7-4.9) aşağıda verilmiş olup, aynı sonuçlara bu çizelge ve şekillere bakarak ulaşmak olanaklıdır.

Çizelge 4.22. 272nci günü 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle farkı

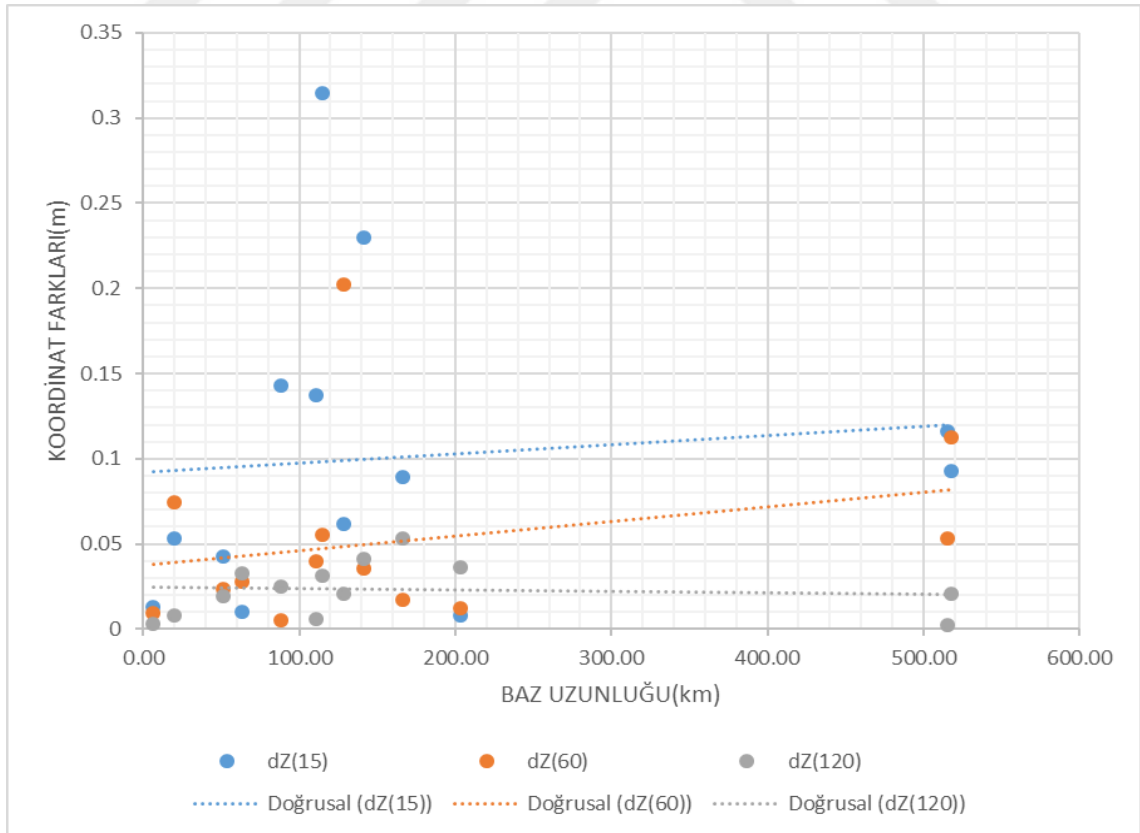
NOKTA	15 DAKİKA			60 DAKİKA			120 DAKİKA		
	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ	dX	dY	dZ
CANK	0.3748	0.2465	0.1372	0.0756	0.0481	0.0397	0.0357	0.0144	0.0063
EMR2	-0.0841	0.0889	-0.0896	-0.0068	-0.0217	-0.0172	0.4444	0.2658	-0.0531
HYM1	0.0372	0.0072	0.0425	0.0326	0.0225	-0.0233	0.0592	0.0467	0.0194
IZMI	-0.0883	-0.1022	-0.0927	-0.0516	0.0969	-0.1128	-0.0637	-0.1100	-0.0211
KKAL	-0.0026	0.1263	0.0100	0.0339	0.0148	0.0278	-0.0030	-0.0149	0.0331
KLS1	0.4073	-0.0954	0.1163	0.0466	-0.1393	-0.0532	0.0127	0.0133	0.0026
KLUU	-0.0203	-0.1924	0.1427	0.1058	0.1071	-0.0050	0.0398	0.0248	0.0247
KNYA	0.3714	-0.0699	0.0083	0.0087	0.0543	0.0125	0.0391	0.0713	0.0365
NAHA	-0.0767	-0.0358	0.0617	-0.2675	-0.1894	0.2023	0.0241	0.0011	0.0211
SIH1	0.4852	0.1463	0.3149	0.4993	0.4895	-0.0552	0.0292	0.0595	0.0314
SUN1	0.1526	0.2244	0.2301	0.0405	0.0431	0.0357	0.0019	0.0181	0.0414
TKGO	-0.0138	0.0146	-0.0130	0.0126	-0.0007	-0.0097	0.0132	0.0013	-0.0031
KKAG	-0.1632	-0.1811	-0.0534	0.0318	0.0105	-0.0745	-0.0046	-0.0018	0.0084



Şekil 4.7. 272nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle farkı (X koordinatları)



Şekil 4.8. 272nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle farkı (Y koordinatları)



Şekil 4.9. 272nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle farkı (Z koordinatları)

Söz konusu çizelge ve şekillerden de görüleceği gibi 24 saatlik ölçümler ile 15 dakikalık ve 120 dakikalık kartezyen koordinatların baz uzunluğu arttıkça farklarının artma eğiliminde olduğu görülmektedir. Çünkü, gözlem süreleri olan 15 dk, 60 dk ve 120 dk özellikle uzun bazlarda (>150 km) yeterli doğruluk ve hassasiyeti sağlayamayacak kadar kısadır.

Koordinatlar için yapılmış olan benzer karşılaştırmalar noktalar arası baz uzunlukları için de yapılmış ilgili çizelge ve şekiller aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.23. 271nci gün 15 dakikalık ölçüm baz uzunlukları ve standart sapması

1.İSTASYON	2.İSTASYON	BAZ UZUNLUĞU [m]	σ [m]
ANK2	CANK	110837.5811	0.0328
ANK2	EMR2	166451.6407	0.0373
ANK2	HYM1	51071.1299	0.0158
ANK2	IZMI	517762.0564	0.0447
ANK2	KKAL	63565.0424	0.0475
ANK2	KLS1	515073.1213	0.1452
ANK2	KLUU	88403.0880	0.0871
ANK2	KNYA	203502.2218	0.0391
ANK2	NAHA	128596.4631	0.0641
ANK2	SIH1	115118.3675	0.0370
ANK2	SUN1	141319.4239	0.0023
ANK2	TKGO	6301.2851	0.0315
ANK2	HYMG	20004.1100	0.0279

Çizelge 4.24. 271nci gün 60 dakikalık ölçüm baz uzunlukları ve standart sapması

1.İSTASYON	2.İSTASYON	BAZ UZUNLUĞU [m]	σ [m]
ANK2	CANK	110837.4816	0.0090
ANK2	EMR2	166451.4402	0.0074
ANK2	HYM1	51070.7906	0.0027
ANK2	IZMI	517762.0425	0.0136
ANK2	KKAL	63564.9703	0.0010
ANK2	KLS1	515072.6631	0.0283
ANK2	KLUU	88402.7107	0.0014
ANK2	KNYA	203502.0574	0.0083
ANK2	NAHA	128596.3004	0.0168
ANK2	SIH1	115118.0956	0.0121
ANK2	SUN1	141319.0913	0.0105
ANK2	TKGO	6301.2634	0.0009
ANK2	HYMG	20003.8662	0.0038

Çizelge 4.25. 271nci gün 120 dakikalık ölçüm baz uzunlukları ve standart sapması

1.İSTASYON	2.İSTASYON	BAZ UZUNLUĞU [m]	σ [m]
ANK2	CANK	110837.5201	0.0097
ANK2	EMR2	166451.1234	0.0083
ANK2	HYM1	51070.9227	0.0007
ANK2	IZMI	517762.0845	0.0086
ANK2	KKAL	63564.9624	0.0007
ANK2	KLS1	515072.5040	0.0117
ANK2	KLUU	88402.7016	0.0013
ANK2	KNYA	203501.6541	0.0091
ANK2	NAHA	128596.4593	0.0011
ANK2	SIH1	115118.1389	0.0167
ANK2	SUN1	141319.1429	0.0051
ANK2	TKGO	6301.2526	0.0005
ANK2	HYMG	20003.9176	0.0017

Çizelge 4.26. 271nci gün 24 saatlik ölçüm baz uzunlukları ve standart sapması

1.İSTASYON	2.İSTASYON	BAZ UZUNLUĞU [m]	σ [m]
ANK2	CANK	110837.7167	0.0007
ANK2	EMR2	166451.4673	0.0004
ANK2	HYM1	51070.9088	0.0002
ANK2	IZMI	517762.0606	0.0012
ANK2	KKAL	63564.9729	0.0003
ANK2	KLS1	515072.5765	0.0008
ANK2	KLUU	88402.6894	0.0005
ANK2	KNYA	203501.9835	0.0009
ANK2	NAHA	128596.4485	0.0004
ANK2	SIH1	115118.3762	0.0005
ANK2	SUN1	141319.2940	0.0004
ANK2	TKGO	6301.2426	0.0001
ANK2	HYMG	20003.9172	0.0017

Çizelge 4.23, Çizelge 4.24, Çizelge 4.25 ve Çizelge 4.26’da 271nci güne ait 15, 60, 120 dakikalık ve 24 saatlik gözlemlere ait hesaplanan baz uzunlukları ve standart sapmaları görülmektedir. Çizelgelerde gözlem süreleri arttıkça gözlem sürelerine ait standart sapmaların cm’den mm’ye doğru azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.27. 272nci gün 15 dakikalık ölçüm baz uzunlukları ve standart sapmaları

1.İSTASYON	2.İSTASYON	BAZ UZUNLUĞU [m]	σ [m]
ANK2	CANK	110837,8485	0,0357
ANK2	EMR2	166451,5403	0,0393
ANK2	HYM1	51070,9103	0,0281
ANK2	IZMI	517762,0222	0,0775
ANK2	KKAL	63564,8633	0,0373
ANK2	KLS1	515072,7535	0,0591
ANK2	KLUU	88402,9145	0,0048
ANK2	KNYA	203501,7939	0,0263
ANK2	NAHA	128596,4289	0,0411
ANK2	SIH1	115118,2188	0,0539
ANK2	SUN1	141319,2123	0,0484
ANK2	TKGO	6301,2258	0,0007
ANK2	KKAG	20007,5858	0,0528

Çizelge 4.28. 272nci gün 60 dakikalık ölçüm baz uzunlukları ve standart sapmaları

1.İSTASYON	2.İSTASYON	BAZ UZUNLUĞU [m]	σ [m]
ANK2	CANK	110837,7276	0,0018
ANK2	EMR2	166451,4557	0,0069
ANK2	HYM1	51070,8703	0,0021
ANK2	IZMI	517762,1385	0,0142
ANK2	KKAL	63564,9765	0,0011
ANK2	KLS1	515072,6712	0,0209
ANK2	KLUU	88402,5900	0,0022
ANK2	KNYA	203501,9804	0,0034
ANK2	NAHA	128596,3254	0,0144
ANK2	SIH1	115118,3237	0,0108
ANK2	SUN1	141319,3036	0,0008
ANK2	TKGO	6301,2538	0,0004
ANK2	KKAG	20007,5300	0,0015

Çizelge 4.29. 272nci gün 120 dakikalık ölçüm baz uzunlukları ve standart sapmaları

1.İSTASYON	2.İSTASYON	BAZ UZUNLUĞU [m]	σ [m]
ANK2	CANK	110837,7253	0,0028
ANK2	EMR2	166451,2598	0,0113
ANK2	HYM1	51070,8822	0,0015
ANK2	IZMI	517762,0181	0,0090
ANK2	KKAL	63564,9810	0,0011
ANK2	KLS1	515072,5693	0,0103
ANK2	KLUU	88402,6823	0,0013
ANK2	KNYA	203501,9770	0,0019
ANK2	NAHA	128596,4360	0,0006
ANK2	SIH1	115118,3963	0,0058
ANK2	SUN1	141319,2945	0,0015
ANK2	TKGO	6301,2515	0,0004
ANK2	KKAG	20007,5200	0,0015

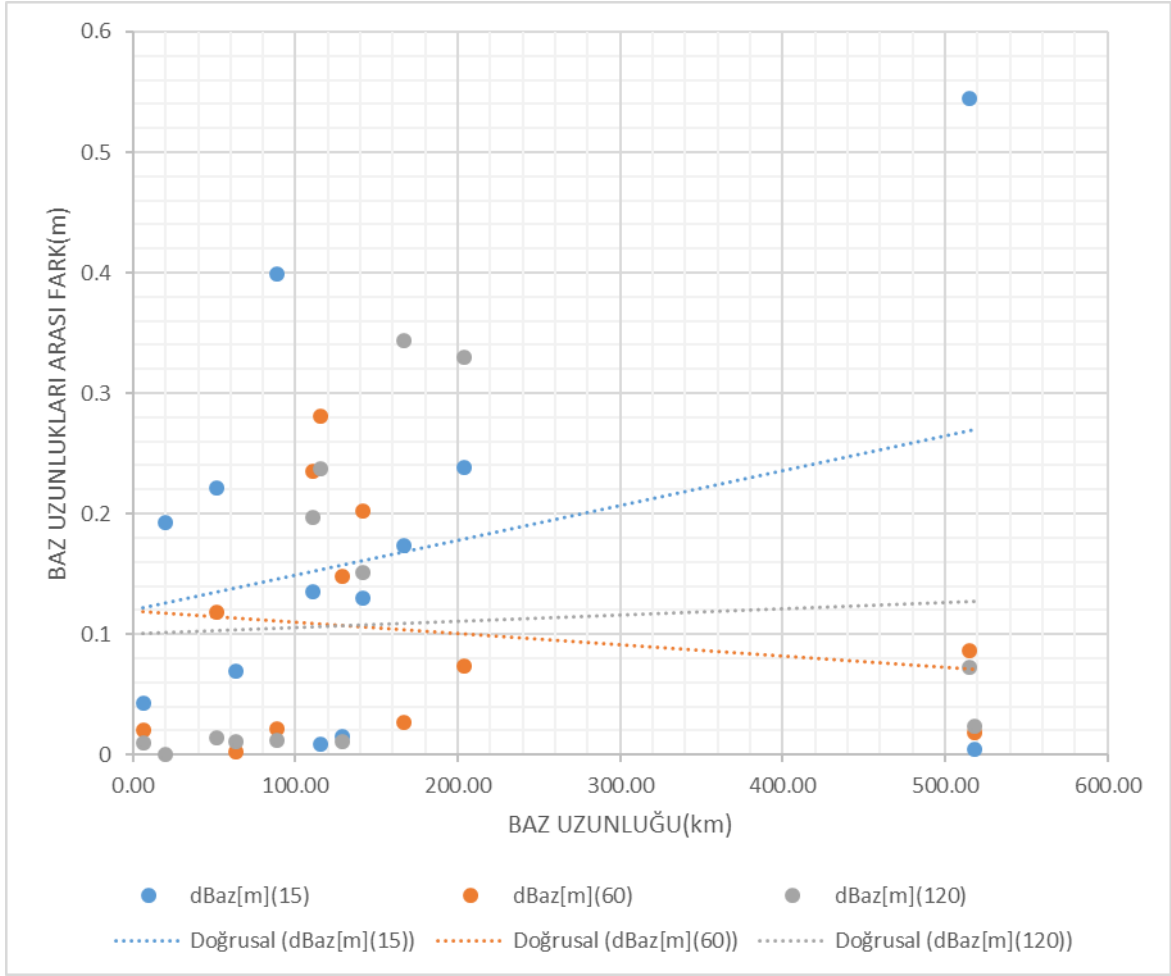
Çizelge 4.30. 272nci gün 24 saatlik ölçüm baz uzunlukları ve standart sapmaları

1.İSTASYON	2.İSTASYON	BAZ UZUNLUĞU [m]	σ [m]
ANK2	CANK	110837,7053	0,0005
ANK2	EMR2	166451,4695	0,0008
ANK2	HYM1	51070,9077	0,0002
ANK2	IZMI	517762,0622	0,0009
ANK2	KKAL	63564,9700	0,0002
ANK2	KLS1	515072,5781	0,0007
ANK2	KLUU	88402,6922	0,0003
ANK2	KNYA	203501,9888	0,0007
ANK2	NAHA	128596,4480	0,0003
ANK2	SIH1	115118,3686	0,0003
ANK2	SUN1	141319,3141	0,0005
ANK2	TKGO	6301,2431	0,0001
ANK2	KKAG	20007,5211	0,0014

Çizelge 4.27, Çizelge 4.28, Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.30’da 272nci gün 15, 60, 120 dakikalık ve 24 saatlik gözlemlere ait hesaplanan baz uzunlukları ve standart sapmaları görülmektedir. Çizelgelerde gözlem süreleri arttıkça gözlem sürelerine ait standart sapmaların cm’den mm’ye doğru azaldığı görülmektedir.

Çizelge 4.31. 271nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle baz uzunlukları ile farkı

1.İSTASYON	2.İSTASYON	15 DAKİKA dBaz[m]	60 DAKİKA dBaz[m]	120 DAKİKA dBaz[m]
ANK2	CANK	0.1356	0.2351	0.1966
ANK2	EMR2	-0.1734	0.0271	0.3439
ANK2	HYM1	-0.2211	0.1182	-0.0139
ANK2	IZMI	0.0042	0.0181	-0.0239
ANK2	KKAL	-0.0695	0.0026	0.0105
ANK2	KLS1	-0.5448	-0.0866	0.0725
ANK2	KLUU	-0.3986	-0.0213	-0.0122
ANK2	KNYA	-0.2383	-0.0739	0.3294
ANK2	NAHA	-0.0146	0.1481	-0.0108
ANK2	SIH1	0.0087	0.2806	0.2373
ANK2	SUN1	-0.1299	0.2027	0.1511
ANK2	TKGO	-0.0425	-0.0208	-0.0100
ANK2	HYMG	-0.1928	0.0510	-0.0004



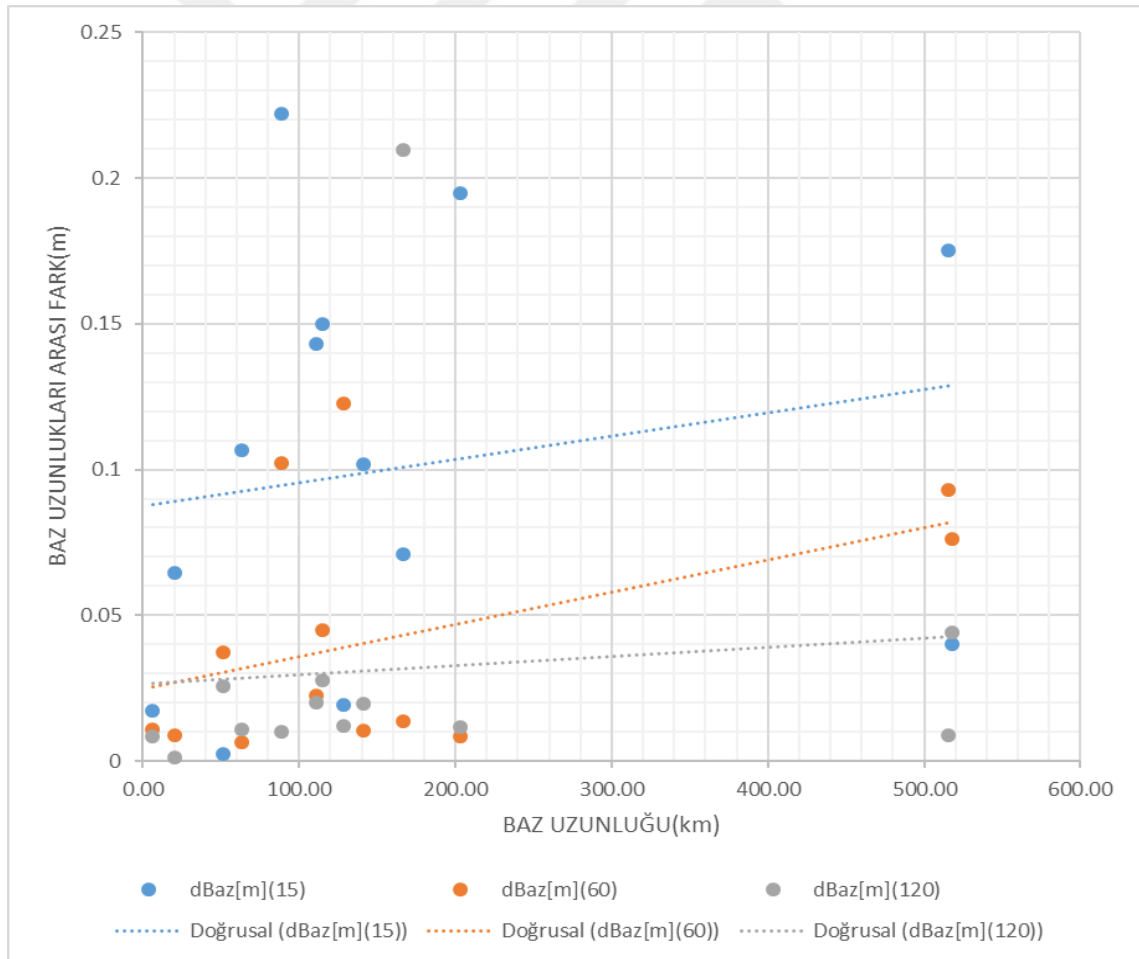
Şekil 4.10. 271nci gün 24 saatlik ölçüm baz uzunluklarının 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle baz uzunlukları ile farkı

Çizelge 4.31.'de 271nci gün 24 saatlik ölçüm baz uzunluklarının 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle baz uzunlukları ile farkı görülmektedir.

Şekil 4.10'da 24 saatlik ölçüm verileri kesin değer olarak kabul edildiğinde baz uzunlukları ve ölçüm sürelerine göre baz uzunlukları farklarının nasıl değiştiği görülmektedir. Gözlem süreleri arttıkça baz uzunluğu farkının azaldığı görülmektedir. Yine baz uzunluğu arttıkça kısa gözlem sürelerine göre baz uzunluğu farkının arttığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.32. 272nci gün 24 saatlik ölçüm verilerinin 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle baz uzunlukları ile farkı

1.İSTASYON	2.İSTASYON	15 DAKİKA dBaz[m]	60 DAKİKA dBaz[m]	120 DAKİKA dBaz[m]
ANK2	CANK	-0.1432	-0.0223	-0.0200
ANK2	EMR2	-0.0708	0.0138	0.2097
ANK2	HYM1	-0.0026	0.0374	0.0255
ANK2	IZMI	0.0400	-0.0763	0.0441
ANK2	KKAL	0.1067	-0.0065	-0.0110
ANK2	KLS1	-0.1754	-0.0931	0.0088
ANK2	KLUU	-0.2223	0.1022	0.0099
ANK2	KNYA	0.1949	0.0084	0.0118
ANK2	NAHA	0.0191	0.1226	0.0120
ANK2	SIH1	0.1498	0.0449	-0.0277
ANK2	SUN1	0.1018	0.0105	0.0196
ANK2	TKGO	0.0173	-0.0107	-0.0084
ANK2	KKAG	-0.0647	-0.0089	0.0011



Şekil 4.11. 272nci gün 24 saatlik ölçüm baz uzunluklarının 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle baz uzunlukları ile farkı

Çizelge 4.32’de 272nci gün 24 saatlik ölçüm baz uzunluklarının 15,60 ve 120 dakikalık ölçümlerle baz uzunlukları ile farkı görülmektedir.

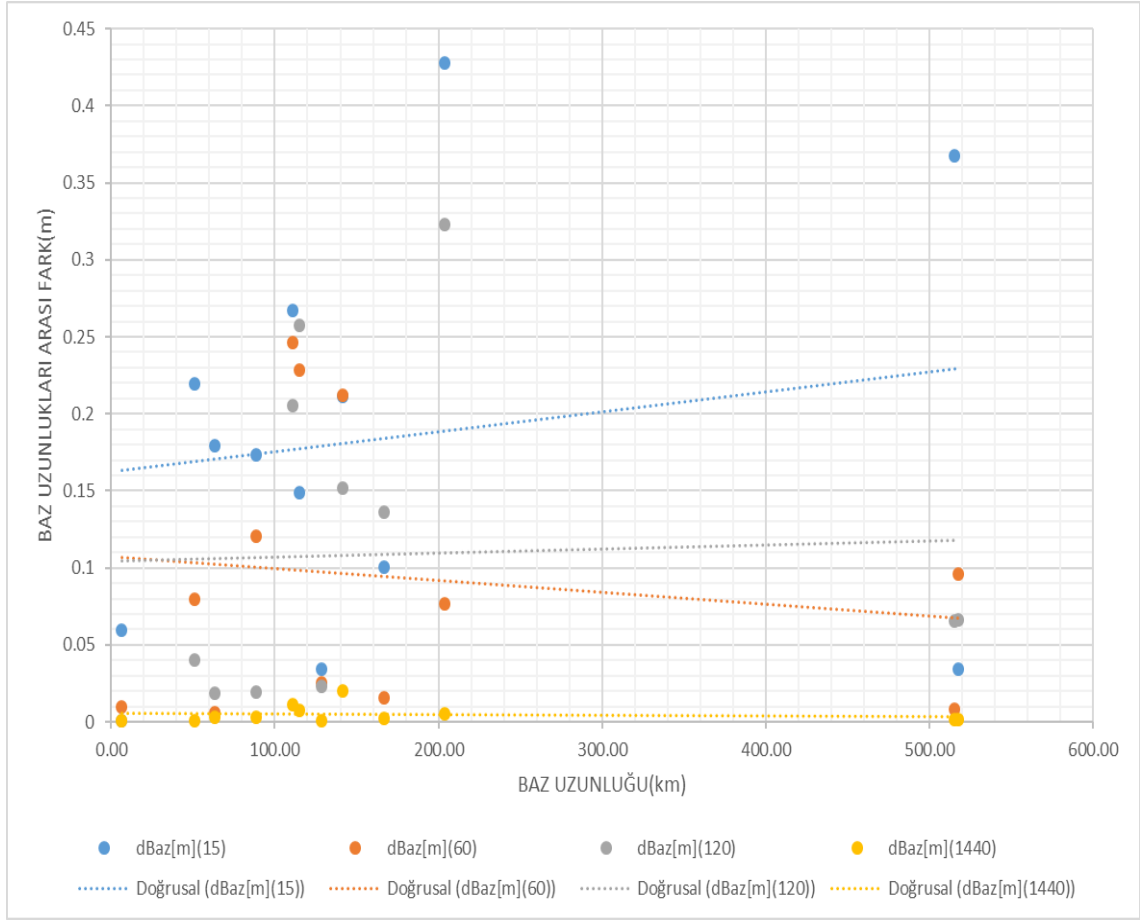
Şekil 4.11’de 24 saatlik ölçüm verileri kesin değer olarak kabul edildiğinde baz uzunlukları ve ölçüm sürelerine göre baz uzunlukları farklarının nasıl değiştiği görülmektedir. Gözlem süreleri arttıkça baz uzunluğu farkının azaldığı görülmektedir. Yine baz uzunluğu arttıkça kısa gözlem sürelerine göre baz uzunluğu farkının arttığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.33. 271nci ve 272nci günler arasında 15,60,120 dakikalık ve 24 saatlik baz uzunlukları farkı

1.İSTASYON	2.İSTASYON	15 DAKİKA dBaz[m]	60 DAKİKA dBaz[m]	120 DAKİKA dBaz[m]	24 SAAT dBaz[m]
ANK2	CANK	-0.2674	-0.246	-0.2052	0.0114
ANK2	EMR2	0.1004	-0.0155	-0.1364	-0.0022
ANK2	HYM1	0.2196	-0.0797	0.0405	0.0011
ANK2	IZMI	0.0342	-0.096	0.0664	-0.0016
ANK2	KKAL	0.1791	-0.0062	-0.0186	0.0029
ANK2	KLS1	0.3678	-0.0081	-0.0653	-0.0016
ANK2	KLUU	0.1735	0.1207	0.0193	-0.0028
ANK2	KNYA	0.4279	0.077	-0.3229	-0.0053
ANK2	NAHA	0.0342	-0.025	0.0233	0.0005
ANK2	SIH1	0.1487	-0.2281	-0.2574	0.0076
ANK2	SUN1	0.2116	-0.2123	-0.1516	-0.0201
ANK2	TKGO	0.0593	0.0096	0.0011	-0.0005

Çizelge 4.33.’de 271nci ve 272nci günler arasında 15,60,120 dakikalık ve 24 saatlik gözlemler arasındaki baz uzunlukları arası farklar metre hassasiyetinde görülmektedir.

Şekil 4.12’de 271nci ve 272nci günler arasında 15 dakikalık gözlem süreleri arasındaki farka bakıldığında baz uzunluğu arttıkça hesaplanan baz uzunlukları arasındaki farkın arttığı görülmektedir. 60 dakikalık gözlem süreleri arasındaki farka bakıldığında baz uzunluğu arttıkça hesaplanan baz uzunlukları arasındaki farkın 15 dk’lık süreye göre azaldığı görülmektedir. 120 dakikalık gözlem süreleri arasındaki farka bakıldığında baz uzunluğu arttıkça hesaplanan baz uzunlukları arasındaki farkın 15 dk ve 60 dk’lık sürelerle daha da azaldığı görülmektedir. 24 saatlik gözlem süreleri arasındaki farka bakıldığında baz uzunluğu arttıkça hesaplanan baz uzunlukları arasındaki farkın olması gereken seviyede azaldığı görülmektedir. Şekil 4.12’de baz uzunluğu arttıkça gözlem süresinin arttırılması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır.



Şekil 4.12. 271nci ve 272nci günler arasındaki 15,60,120 dakikalık ve 24 saatlik baz uzunlukları farkı

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Schwarz ve diğ. (2009)'de yapılmış olan çalışmada; kısa gözlem oturumlarında GNSS nokta koordinatlarını hesaplamak için kullanılan programla (OPUS-RS), referans istasyonlarındaki troposferik ve iyonosferik gecikmelerin tahmin edilmesini ve bu tahminlerden yararlanarak gezen alıcı konumundaki atmosferik etkilerin enterpole ile belirlenmesi incelenmiştir. Bu incelemede, gezen alıcı koordinatlarının daha yüksek doğrulukta hesaplanabilmesinin referans istasyonları ile gezici arasındaki mesafeye ve referans istasyonlarının geometrisine bağlı olup olmadığı araştırılmıştır. Bu bağlamda birimsiz bir ölçüt değeri olan IDOP kavramı tanıtılmıştır. Ayrıca beklenen standart hataları IDOP ve geziciye olan RMSD'nin bir fonksiyonu olarak gösteren istatistikler sunulmuştur. Bu istatistiklerde yatay ve düşey bileşenlerde daha iyi standart hataların elde edildiği gösterilmiştir.

Çalışma sonucunda IDOP ve RMSD'nin, gerçek zamanlı referans istasyon ağları (Ağ-RTK) referans istasyonlarında hesaplanan atmosferik koşulların gezen alıcı konumuna enterpole edilerek dikkate alınması gereken önemli değişkenler olduğu açıkça gösterilmiştir. Diğer bir ifadeyle bu sonuçlar IDOP ve RMSD'nin Ağ-RTK uygulamalarında yüksek doğruluklu sonuçlar elde edilmesinde önemli değişkenler olduğu gerçeğini göstermektedir.

5.2 Öneriler

Türkiye'de mevcut başta TUSAGA-Aktif olmak üzere tüm Ağ-RTK sistemlerinde de belirlenerek bir ölçüt olarak değerlendirilmesinin yararlı olacağı değerlendirilmektedir. Bu amaçla, ülkemizde de deneysel çalışma yapılarak öncelikle α , β ve γ değerleri katsayılarının belirlenip daha sonra da kendi Ağ-RTK sistemimizde kullanılmak üzere Türkiye coğrafyasını temsil eden (3.11) eşitliklerinin oluşturulması gerekmektedir. Böylece, TUSAGA-Aktif referans istasyonlarından yararlanarak hesaplanmakta olan gezen alıcı düzeltmelerinin (veya diğer bir ifadeyle referans noktasına olan uzaklığa bağlı olarak gezen alıcı koordinatlarının) hangi doğrulukta belirlendiği konusunda daha açık ve doğru bilgiler elde edileceği, böylece TUSAGA-

Akif'in doğruluk ve güvenilirliği ile amaca uygun uygulamalara yönelik oldukça kesin istatistik bilgilerin elde edilebileceği açıktır. Daha açık bir ifadeyle, artık TUSAGA-Aktif' ten elde edilen koordinat doğrulukları, örneğin “2-6 cm arasında değişir” gibi genel ifadeler kullanmak yerine uzaklığa bağlı daha kesin ve doğru ifadelerin kullanılması olanaklı olacaktır. Bu konunun uygulanabilmesi için ise halen kullanımda olan ağ-RTK yazılımına müdahale edilmesi gerektiği ancak mevcut koşullarda bunun olanaklı olmadığı açıktır. Bu da özellikle gerçek zamanlı ve yüksek doğrulukta koordinat belirlemede ülkemiz açısından zayıf ve sakıncalı bir durumun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, kendi millî ve yerli bir ağ-RTK yazılımının oluşturulması ve TUSAGA-Aktif ağında kullanılması için gerekli akademik araştırma-geliştirme çalışmalarına yönelik projelerin bir an önce kamu destekli olarak başlatılması gerektiği değerlendirilmektedir.

Bu tez çalışmasından elde edilen bir diğer önemli sonuç ise; bu çalışmada ulaşılmış olan sonuçlara ilave olarak RTK ile koordinat belirleme ile ilgili ihtiyaç duyulacak diğer araştırmaların da yapılarak elde edilecek sonuçların ülkemizde kullanılmakta olan Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) başta olmak üzere TUSAGA-Aktif sisteminin haritacılık amaçlı kullanılmasına ilişkin tüm mevzuatın (yönetmelik, yönerge vb.) istatistik ve dengeleme teorisinin de dikkate alınarak gözden geçirilmesi gerektiği açıktır.

KAYNAKLAR

- Alçay, S., (2010), Küresel Konumlamada GLONASS'ın Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Banerjee, P. 2017, Satellite Communication, Hindistan: Prentice Hall India Pvt, Limited, 132-135.
- Baysal, V.E., (2008), Jeodezik Uygulamalarda Tek Frekanslı Gps Alıcılarının Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Chen, H., Jiang, W., and Li, J., 2019, Multi-GNSS Relative Positioning with Fixed Inter-System Ambiguity, *Remote Sensing*, 11(4), 454.
- Choi, K. and Weston, N., 2013, Reference Station Selection for Improved Geometric Spacing During Baseline Processing in OPUS, *EGU General Assembly Conference Abstracts*, Austria, Vol 15.
- Czerniak, R. J., Reilly, J. P., 1998, Applications of GPS for Surveying and Other Positioning Needs in Departments of Transportation, *National Cooperative Highway Research Program*, National Academy Press, Washington, 9-10.
- Davidovic, M. and Mijic, N., 2017, Analysis of The Influence of Satellites Constellation in GNSS Positioning Accuracy, *Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara*, 15(2), 141-148.
- Doğru, A.D., (2016), Opus-Rs Gps Hızlı Statik Konum Belirleme Doğruluğu, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Dong, Y., 2023, Advances in Mineral Resources, Geotechnology and Geological Exploration, *Proceedings of the 7th International Conference on Mineral Resources, Geotechnology and Geological Exploration (MRGGE 2022)*, China, 132-136.
- ElHattab, A., 2013, Influence of GPS Antenna Phase Center Variation On Precise Positioning, *NRIAG Journal of Astronomy and Geophysics*, 2(2), 272-277.
- El-Mowafy, A., 2012, Precise Real-Time Positioning Using Network RTK, Global navigation satellite systems: signal, theory and applications, Ch 7, 161-188.
- Han, S. C., Kwon, J., Jekeli, C., 2001, Accurate absolute GPS positioning through satellite clock error estimation, *Journal of Geodesy*, 75, 33-43.
- Hastaoğlu, K. O. and Şanlı, D. U., 2011, Monitoring koyulhisar landslide using rapid static GPS: A strategy to remove biases from vertical velocities, *Natural Hazards*, 58(3), 1275-1294.

- Heng, L., Gao, G.X., Walter, T., Enge, P.K., 2010, GPS Ephemeris Error Screening and Results for 2006-2009, *International Technical Meeting 2010*, Stanford University, 9.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H. and Wasle, E., 2008, GNSS–Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more, Springer Science & Business Media, New York.
- İnyurt, S., Mekik, Ç., Yıldırım, Ö., 2020, Deprem Kaynaklı Olabilecek İyonosferik Değişimlerin Belirlenmesi üzerine yeni bir yaklaşım geliştirilmesi, *Geomatik*, 5(2), 127-133.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2021, Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS): Teori ve Uygulama, 11. basım, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Kahveci, M., Karagöz, H. ve Selbesoğlu, MO., 2011, Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması, *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, (104), 3-13.
- Kahveci M., (2017). Kinematik GNSS ve RTK Cors Ağları, 2. Basım, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Karaim, M., Elsheikh, M., Noureldin, A. and Rustamov, R. B., 2018, GNSS Error Sources, *Multifunctional Operation and Application of GPS*, 32, 137-144.
- Kindervatter, T.H. and Teixeira, F.L., 2022, Tropospheric and Ionospheric Effects on Global Navigation Satellite Systems, *2022 John Wiley & Sons, Inc, ABD*, 105-128.
- Kocaman, S. ve Ingensand, H., 2003, GPS and INS Integration with Kalman Filtering for Direct Georeferencing of Airborne Imagery, Geodetic Seminar Report, *Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Honggerberg, Zurich*, 1-37.
- Koivula, H., Kuokkanen, J., Marila, S., Lahtinen, S., Mattila, T., 2018, Assessment of Sparse GNSS Network for Network RTK, *Journal of Geodetic Science*, 8(1), 136-144.
- Kos, T., Markežic, I., Pokrajcic, J., 2010, Effects of multipath reception on GPS positioning performance, *In Proceedings ELMAR*, IEEE, Croatia, 399-402.
- Kurt, O., 2010. Mutlak Konum Belirlemede Matematik Modeller, 5. *Ulusal Mühendislik ölçmeleri sempozyumu*, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik ölçmeleri STB komisyonu, Zonguldak
- Lau, L., 2021, GNSS multipath errors and mitigation techniques, *GPS and GNSS Technology in Geosciences*, Elsevier, 77-98.
- Lee, Y. and Park, B., 2023, A Study on Deployment of Inland Reference Stations for Optimizing Marine and Inland User Performance Using Precise PNT, *Journal of Advanced Navigation Technology*, 27(4), 396-409.
- McElroy, M.B., 2023, ionosphere and magnetosphere, *Encyclopedia Britannica*.

- Mekik, Ç. ve Akçın, H., 1998, GPS’te Tamsayı Belirsizliği Çözüm Yöntemleri, *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası Dergisi*, 84.
- Montello, D. R., 2005, The Cambridge Handbook of Visuospatial Thinking, In: Shah, P., Miyake, A, *Cambridge University Press*, New York, 257-294.
- Mutlu, İ., (2019), Gnss Uydu Dağılımının Statik GNSS Ölçülerinde ve Gerçek Zamanlı Konum Belirlemedeki Önemi, Yüksek Lisans Tezi, *Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya.
- Öğütücü, S., Kalaycı, I., 2016, Investigation of Network-Based RTK Techniques: A Case Study in Urban Area, *Arabian journal of Geosciences*, **9**, 199.
- Petropoulos, G.P. and Srivastava, P.K., 2021, GPS and GNSS Technology in Geosciences, Elsevier, Hollanda,8-10.
- Rabbany, A.E., 2002, Introduction To Gps: The Global Positioning System, Artech House mobile communications series, Norwood,176.
- Rizos, C. and Han, S., 2003, Reference Station Network Based RTK Systems-Concepts and Progress, *Wuhan University journal of Natural Sciences*, **8**, 566–574.
- Santos, M. C., Souza, C.B. and Silvio, R.C., 2000, A Practical Evaluation Of The Gps Rapid Static Method, *Geomatica*, 54(4), 425-432.
- Sayan, R., (2024), “Gnss ve Imu Kullanarak Arm Tabanlı Seyrüsefer Sisteminin Geliştirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Schwarz, C.R., Snay, R.A., Soler, T., 2009, Accuracy assessment of the National Geodetic Survey’s OPUS-RS utility, *GPS Solut*, 13,119-132.
- Snay, R., Choi, K., Mader, G., Schwarz, C., Soler, T., Weston, N., 2011, "How Precise Is Opus, Part 1: Experimental Results. ," *American Survey*, Vol. 8, 1-4.
- Soler, T., Snay, R. A., Schwarz, C.R, Choi, K., 2011, Accuracy of Rapid Static Online Positioning User Service (OPUS-RS) Revisited, *CORS and OPUS for Engineers*, Ch.12,88-99.
- Son, M., Kim, G.H., Lee, E., Heo, M.B., 2012, Network Configuration Design of GNSS Receiving Station for Optimizing Performance of Precise Positioning, *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 20(4), 31-38.
- Souza, E.M., Monico, J.F., Pagamisse, A., 2009, GPS Satellite Kinematic Relative Positioning: Analyzing and Improving the Functional Mathematical Model Using Wavelets, *Mathematical Problems in Engineering*, 18.

- Şentürk, E., 2021, Küresel İyonosfer Haritalarının Türkiye’deki Performansının GNSS Verileriyle İstatistiksel Olarak İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 23(67), 247-255.
- Tsakiri, M., 2011, Evaluation of GPS/Galileo RTK Network Configuration: Case Study in Greece, *Journal Of Surveying Engineering*, 137(4),156-166.
- Uluşık, P., Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., Soycan, M., Akpınar, B., Aykut, N.O., Poyraz, F., 2005, Yüksek Binaların Hareketinin Gps ile İzlenmesi, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. *Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İTÜ-İstanbul.41-50.

