



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**İTERNET TABANLI GNSS
DEĞERLENDİRME SERVİSLERİ İÇİN ÖLÇÜ
SÜRESİNE GÖRE KONUM HATALARININ
OPTİMAL MODELLENMESİ**

İhsan KAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Haziran-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

İhsan KAYA tarafından hazırlanan “İnternet Tabanlı GNSS Değerlendirme Servisleri İçin Ölçü Süresine Göre Konum Hatalarının Optimal Modellenmesi” adlı tez çalışması 18/06/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği /oy çokluğu ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN
(Kocaeli Üniversitesi)

.....

Danışman

Prof. Dr. R. Alpay ABBAK
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 120Y246 nolu proje ile desteklenmiştir.

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İhsan KAYA

Tarih: 18.06.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNTERNET TABANLI GNSS DEĞERLENDİRME SERVİSLERİ İÇİN ÖLÇÜ SÜRESİNE GÖRE KONUM HATALARININ OPTİMAL MODELLENMESİ

İhsan KAYA

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Prof. Dr. R. Alpay ABBAK

2025, 56 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. R. Alpay ABBAK
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN

Bu tez çalışmasında, GNSS (Global Navigation Satellite System) teknolojisinin sunduğu konum belirleme imkânları çevrimiçi veri işleme servisleri üzerinden değerlendirilmiş ve ölçüm süresi ile konum doğruluğu arasındaki ilişki incelenmiştir. AUSPOS ve CSRS-PPP gibi yaygın kullanılan internet tabanlı servisler ile GAMIT-GLOBK bilimsel yazılımı karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. AUSPOS servisi 1 saatten kısa süreli ölçülerde çözüm vermezken, CSRS-PPP 5 dakikadan uzun süreli tüm ölçüler için sonuç vermiştir. Farklı sürelerde ve tekrarlı olarak toplanan toplam 250 adet statik GNSS verisi üzerinden yatay ve düşey bileşenlerde doğruluk, tekrarlanabilirlik ve yazılımlar arası farklar araştırılmıştır.

Çalışma sonucunda, konum doğruluğunun gözlem süresi ile doğrudan ilişkili olduğu ve özellikle yukarı bileşende uzun gözlem sürelerinin daha anlamlı sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yatay bileşenlerde 1–3 saatlik gözlemlerle santimetre düzeyinde doğruluğa ulaşılabilirken, düşey bileşende mm seviyesinde doğruluk için 24 saatlik gözlem gerektiği görülmüştür. Ayrıca yazılımlar arası koordinat farkları analiz edilmiş, özellikle yukarı bileşende sistematik sapmalar tespit edilmiştir.

Elde edilen bulgular, kullanıcıların GNSS gözlem planlaması yaparken ölçüm süresi ve servis seçimi konularında bilinçli kararlar almasına yardımcı olacak hata modellerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: AUSPOS, CSRS-PPPAR, GAMIT/GLOBK, Hata Modeli, Statik GNSS

ABSTRACT

MS THESIS

OPTIMAL MODELLING OF POSITION ERRORS WITH RESPECT TO OBSERVATION DURATION FOR ONLINE GNSS PROCESSING SERVICES

İhsan KAYA

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

Advisor: Prof. Dr. R. Alpay ABBAK

2025, 56 Pages

**Jury
Prof. Dr. R. Alpay ABBAK
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT
Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN**

In this thesis, the positioning capabilities offered by GNSS (Global Navigation Satellite System) technology were evaluated through online data processing services, and the relationship between measurement time and positioning accuracy was examined. Commonly used internet-based services such as AUSPOS and CSRS-PPP were analysed in comparison with the scientific software GAMIT-GLOBK. While the AUSPOS service does not provide solutions for measurements shorter than 1 hour, the CSRS-PPP service provides results for all measurements longer than 5 minutes. Accuracy, repeatability, and differences between software were investigated in the horizontal and vertical components using a total of 250 static GNSS data sets collected at different intervals and repeatedly.

The study concluded that position accuracy is directly related to observation duration, with longer observation periods yielding more meaningful results, particularly in the vertical component. While centimetre-level accuracy can be achieved with 1–3 hour observations in the horizontal component, 24-hour observations are required for millimetre-level accuracy in the vertical component. Additionally, coordinate differences between software were analysed, and systematic deviations were identified, particularly in the vertical component.

The findings contribute to the development of error models that will assist users in making informed decisions regarding measurement duration and service selection when planning GNSS observations.

Keywords: AUSPOS, CSRS-PPPAR, GAMIT/GLOBK, Error Model, Statik GNSS

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca her aşamada bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan sayın Prof. Dr. Ramazan Alpay ABBAK hocama ve diğer tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans eğitimi boyunca karşılaştığım sorunların çözümünde yardımcı olan, değerli bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan ve bana yol gösteren, sayın Prof. Dr. Aydın ÜSTÜN'e teşekkür ederim. 120Y246 nolu proje kapsamında bursiyer olarak maddi destek sağlayan TÜBİTAK kurumuna teşekkür ederim.

Eğitim öğretim ve hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her aşamada yanımda olan ve beni motive eden aileme çok teşekkür ediyorum.

İhsan KAYA
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
2.1. Ölçü Süresine Göre Karşılaştırma	4
2.2. Kullanılan Yazılıma Göre Karşılaştırma	6
3. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ.....	9
3.1. GNSS	9
3.2. Uydularla Konum Belirleme Yöntemleri	10
3.2.1. PPP ve PPP-AR Konum Belirleme Yöntemi.....	10
3.2.2. Statik Ölçü Yöntemi	12
3.3. GNSS de Hata Kaynakları	13
3.3.1. Uydu Yörünge Hataları.....	13
3.3.2. Uydu Saati Hataları.....	14
3.3.3. İyonosferik Etkiler	15
3.3.4. Troposferik Etkiler.....	15
3.3.5. Anten Faz Merkezi Hataları.....	15
3.3.6. Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği	16
3.3.7. Multipath Etkisi	16
3.4. GNSS ile Konum Belirlemede Fark (Gözlem) Denklemleri	17
3.4.1. Sıfır Fark Yöntemi	17
3.4.2. Tekli Fark Yöntemi.....	17
3.4.3. İkili Fark Yöntemi	18
3.4.4. Üçlü Fark Yöntemi	18
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	19
4.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler	19
4.2. Kullanılan Veriler	20
4.3. Yazılımlar	20
4.3.1. AUSPOS	20
4.3.2. CSRS PPP-AR	21
4.3.3. GAMIT-GLOBK	23

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	24
5.1. Ölçü Süresi ve Konum Doğruluğu Arasındaki İlişkinin Modellenmesi.....	24
5.2. Tekrarlanabilirliklerin İncelenmesi.....	29
5.3. Yazılımlar Arasında Koordinat Farklarının İncelenmesi.....	35
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	42
6.1. Sonuçlar	42
6.2. Öneriler	43
KAYNAKLAR	45



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Δ	: Fark
Φ	: Faz
t	: Ölçü Süresi (dk)
A	: Katsayılar matrisi
I	: Ölçü vektörü
x	: Bilinmeyenler vektörü
v	: Düzeltme vektörü

Kısaltmalar

ARP	: Antenna Reference Point
CSRS	: Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning
CODE	: Center for Orbit Determination in Europe
EKK	: En Küçük Kareler
GMF	: Global Mapping Function
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
HGM	: Harita Genel Müdürlüğü
IGS	: International GNSS Service
ITRF	: International Terrestrial Reference System
JPL	: Jet Propulsion Laboratory
KOH	: Karesel Ortalama Hata
MIT	: Massachusetts Institute of Technology
OPUS	: Online Positioning User Service
PPP	: Precise Point Positioning
PPP-AR	: Precise Point Positioning - Ambiguity Resolution
RMS	: Root Mean Square
TUSAGA-Aktif	: Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı- Aktif
VMF	: Vienna Mapping Function

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji ile hayatımıza giren ve sıkça kullanılan GNSS (Global Navigation Satellite System) yöntemi başta jeodezi ve harita mühendisliği olmak üzere birçok alanda işleri kolaylaştıran yöntem haline gelmiştir. GNSS sistemleri farklı veri işleme tekniklerine göre kullanıcılara çeşitli doğruluk seviyelerinde konum bilgisi sağlamaktadır. Elde edilen konum doğruluğu kod ve faz sinyallerine, gözlem süresine, uydu geometrisine, çok yollu sinyallere (multipath) ve kullanılan veri işleme yöntemine (bağıl ve mutlak konum belirleme yöntemleri) bağlı olarak değişmektedir.

Yüksek hassasiyet gerektiren konum elde etmek için genellikle bağıl konum belirleme tekniği kullanılır. Bu yöntemle kuzey-doğu bileşeni santimetre altı hassasiyetle, yukarı bileşende ise birkaç santimetre hassasiyetle elde edilebilmektedir (Akpınar, 2023). Kalıcı istasyonlardan oluşan bir ağın kurulması ve bakımının yüksek maliyet gerektirmesi, IGS (International GNSS Services), CODE (Center for Orbit Determination in Europe), JPL (Jet Propulsion Laboratory) gibi kuruluşlar tarafından son derece hassas şekilde uydu yörünge bilgilerinin, saat düzeltmeleri ve atmosferik bilgilerin kullanıma sunulması son yıllarda PPP (Precise Point Positioning) ile konum belirleme tekniğinin kullanımının artmasına neden olmuştur (Rizos vd., 2012; Alçay vd. 2012). Bu bilgilerin kullanıma sunulmasıyla birlikte tek alıcı kullanılarak yüksek hassasiyet ve doğruluk sağlayan Hassas Nokta Konumlama (PPP: Precise Point Positioning) yöntemleri ile koordinatlar elde edilebilmektedir (Özbulat vd. 2022).

PPP yönteminde en önemli faktörlerden birisi yakınsama süresidir. Yakınsama süresi gözlem yapılan uydu sayısına ve geometrisine, alıcının ortamına, gözlem kalitesi ve süresine bağlı olmaktadır (Bülbül vd., 2022). Bundan dolayı doğruluk düzeyinin en belirleyici unsurlarından biri gözlem süresi olarak ortaya çıkmaktadır. Ancak saha koşullarında uzun gözlem süresi her zaman mümkün olmamaktadır. Özellikle zaman kısıtlı uygulamalarda kısa süreli ölçümlerde de yeterli doğruluk elde etmek büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda PPP yönteminin geliştirilmiş versiyonu olan PPP-AR (Ambiguity Resolution), taşıyıcı faz ölçülerinde tam sayı belirsizliklerini çözerek konum doğruluğunu artırmakta ve yakınsama süresini azaltmaktadır (Banville, 2020). PPP yöntemi, 10 cm'lik yatay doğruluğa ulaşmak için 30 dakikalık bir yakınsama süresi gerektirir (Bezcioglu vd., 2019). Bu sorunu çözmek amacıyla geliştirilen PPP-AR yaklaşımı, taşıyıcı faz belirsizliklerinin çözümünü mümkün kılarak daha kısa sürede daha hassas sonuçlar elde edilmesine olanak sağlar. 4 saatten fazla gözlem süresinde,

yatay bileşenler için 0.5 cm ve düşey bileşenler için 1.5 cm'lik bir doğruluk elde edilebilmektedir (Wang, 2013).

GNSS verilerinin değerlendirilmesi amacıyla bilimsel (GAMIT/GLOBK ve Bernese GNSS Software), ticari (Leica Geo Office ve Trimble Bussines Center) ve internet tabanlı (AUSPOS, CSRS ve OPUS) olarak çeşitli yazılımlar kullanılmaktadır. Son yıllarda gelişen kullanımı artan çevrimiçi GNSS veri değerlendirme yazılımları kullanıcıların karmaşık yazılımlar kurmadan ve ileri seviyede bilgi birikimine gereksinim olmaksızın verilerini ilgili sayfaya yükleyerek hassas konum bilgisine ulaşmasına olanak sağlamaktadır. Bu sayede hem akademik çalışmalarda hem de pratik mühendislik uygulamalarında yaygın olarak tercih edilmektedir (Alçay ve İmren, 2017). Bu çalışmada çevrimiçi değerlendirme imkanı sunan AUSPOS ve CSRS-PPPAR (Kanada Uzaysal Referans Sistemi Hassas Nokta Konumlandırma) ile bilimsel GAMIT/GLOBK yazılımlarından yararlanılmıştır.

Geoscience Australia tarafından yalnızca çift frekanslı GPS faz verilerini işlemek üzere tasarlanmış olan, arka planda Bernese GNSS yazılımını kullanan ve GPS çözümü sunan AUSPOS ile GNSS (GPS+GLONASS+GALILEO) olarak çözüm sunan CSRS-PPP-AR dünya genelindeki kullanıcılar için iyi bilinen internet tabanlı konumlandırma hizmetleridir. Her iki çevrimiçi hizmet de Uluslararası GNSS Hizmeti (IGS) (International GNSS Service) verilerini kullanarak Uluslararası Yersel Referans Çerçevesinde (ITRF) (International Terrestrial Reference System) hassas jeodezik koordinatlar sağlamaktadır. Bu hizmetler aracılığıyla tahmin edilen konum doğruluğu, jeodezik kontrolün temel gereksinimi olan santimetre altı seviyede elde edilebilir. Temel olarak, karesel ortalama hata, gözlem oturumunun süresi ile ters orantılı olarak değişir (Bahadır ve Üstün 2014; Özbulat vd. 2022).

Konum doğruluğunun sağlanmasında en önemli etkenlerden biri olan gözlem süresi, hata kaynaklarının ortalamasını alabilmek ve modelleme doğruluğunu artırabilmek açısından önem taşımaktadır. Ölçü süresi arttıkça elde edilen verilerin güvenilirliği de artmakta ve taşıyıcı faz belirsizliklerinin (ambiguity) çözülme başarısı yükselmektedir. Ancak zaman, saha koşulları ve çevresel etkenler nedeniyle kısa süreli ölçümlere başvurulması gereken durumlarda da, kullanılacak yazılımın bu sürede sağlayacağı doğruluk bilinmelidir. Bu da gözlem süresi ile doğruluk arasındaki ilişkinin modellenmesini gerekli kılar. Bu tür modeller, kullanıcıların hedef doğruluk düzeyine ulaşabilmek için minimum gözlem süresini belirlemesine yardımcı olur.

Bu tez çalışması, TÜBİTAK 120Y246 no'lu proje kapsamında elde edilen 250 statik GNSS verisi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ölçü süresi-konum doğruluğu ilişkisi, yazılımlar arası koordinat farkları, tekrarlanabilirlik analizleri ve hata modellemeleri ayrıntılı şekilde incelenmiş; AUSPOS ve CSRS-PPP servisleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular, GNSS kullanıcılarının gözlem planlaması yaparken uygun süre ve servis seçimi konularında daha bilinçli kararlar almasına yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Aynı zamanda, geliştirilen modeller yardımıyla kullanıcılar belirli bir ölçüm süresine karşılık hangi doğruluk düzeyine ulaşabileceğini öngörebilecektir.

Tezde ilk olarak kaynak araştırması bölümünde bu çalışmaya benzer çalışmaların değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonrasında Küresel Konum Belirleme Sistemleri başlığı altında GNSS sisteminin tanımından, konum belirleme yöntemlerinden, hata kaynaklarından bahsedilmiş ve fark gözlemleri açıklanmıştır. Materyal ve Metot bölümünde çalışma alanı, veriler ve kullanılan yazılımlar ile ilgili bilgi verilmiştir. Sayısal uygulama kısmının birinci bölümünde ölçü süresi ve karesel ortalama hata değerleri arasındaki ilişkinin incelenmesi ve bu doğrultuda elde edilen fonksiyonlar açıklanmıştır. Daha sonra koordinat tekrarlanabilirliklerinin değerlendirmesi yapılmış ve son bölümde yazılımlar arasında koordinat farklarının incelenmesi yapılmıştır. Sonuç bölümünde elde edilen sayısal sonuçlar irdelenmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde literatürdeki çalışmalar incelenmiş, kullanılan yazılımlara ve ölçü süresine göre alt başlıklarda irdelenmiştir.

2.1. Ölçü Süresine Göre Karşılaştırma

Eckl (2001), GNSS gözlemlerinin doğruluğunu ölçüm süresine göre analiz etmiş ve baz mesafesinin 3 saatten fazla ölçüm içeren uygulamalarda etkisini kaybettiğini, uzun ve kısa bazlar için elde edilen doğrulukların birbirine yakın olduğunu belirtmiştir. Ayrıca, ölçüm süresi ve KOH (kareseel ortalama hata) arasında yatay bileşenler için $\frac{1}{\sqrt{T}}$ ve düşey bileşen için $\frac{3.6}{\sqrt{T}}$ fonksiyonlarını önermiştir.

Wang (2013), Heyelan izlemesi yapmak için GIPSY/OASIS yazılımında PPP-SRPA tekniğini kullanmış ve ölçü süresi ile sonucunda elde edilebilecek KOH değeri için analizler yapmış ve model önermiştir. Elde ettiği bulgulara göre 24 saat ölçü süresi sonucunda yatayda 2-3 mm ve düşeyde 8 mm seviyesinde KOH elde edilebileceğini, yatay bileşende 5 mm seviyesinde KOH elde edebilmek için 4 saat ve daha uzun süreli ölçüler yapılması gerektiği sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca Eckl (2001) tarafından önerilen modelden farklı olarak yukarı bileşen için $\frac{3}{\sqrt{T}}$ modelini önermiştir.

Bahadır ve Üstün (2014), internet tabanlı veri işleme yazılımlarının performansını karşılaştırmak amacıyla Konya çevresine dağılmış 9 noktaya ilişkin GNSS gözlemleri kullanılmış ve AUSPOS, OPUS (Online Positioning User Service), TRIMBLE, APPS, CSRS-PPP ve Magic-GNSS sistemlerine göndermiştir. Gözlem verileri 3 noktada 1 saat, 3 noktada 5 saat ve 3 noktada 10 saat süreyle toplanmıştır. Sonuçlar karşılaştırıldığında ölçü süresinin arttıkça konum doğruluğunun iyileştiği görülmüştür. Kullanılan sistemler arasında AUSPOS servisinin daha tutarlı sonuçlar verdiği görülmüştür. Ayrıca internet tabanlı veri işleme sistemlerinin temel düzey GNSS bilgisi olanlar için hesaplama kolaylığı sağladığını belirtmiştir. Bu sistemlerden elde edilen sonuçların doğruluğu, harita mühendisliği ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamalarında yeterli olacağını belirtmiştir.

Alkan vd. (2017), mutlak konum belirleme tekniği ile değerlendirme yapan CSRS-PPP, APPS, GAPS, Magic-GNSS servisleri ve bağıl konum belirleme tekniği ile araştırmıştır. Çalışmada TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif) ağına ait CORU referans istasyonuna ait 29 Aralık 2016 tarihli 24 saatlik veriyi kullanmıştır. Veriyi saat 00:00'dan itibaren 1, 2, 4, 6, 12 saatlik alt oturumlara ayırarak internet tabanlı veri değerlendirme servislerine göndermiştir. Bağıl yöntemle çözüm yapan

servislerin komşu ülkelerdeki IGS noktalarının verilerini de kullanarak uzun baz çözümleri gerçekleştirdiğini ve bu durumun kısa süreli ölçülerin çözümünde problem olacağını belirterek, ülkemizde TUSAGA-Aktif ağına dayalı çözüm yapan servislerin geliştirilmesini önermiştir.

Najmuldeen (2017), çalışmada GPS ve GPS-GLONASS ölçülerinin internet tabanlı CSRS-PPP ve Magic GNSS servislerinde değerlendirilmesi amaçlamıştır. İlk olarak üç IGS noktasına ait 24 saatlik RINEX verilerini 0.5, 1, 2, 4 ve 8 saatlik dilimlere ayırarak her veri seti için değerlendirme yapmıştır. Çalışmanın ikinci kısmında ise dört IGS noktası için Ocak ve Temmuz aylarında 24 saatlik RINEX dosyalardan oluşan bir haftalık veri setlerini kullanmıştır. Uygulamada kullanılan noktaların IGS'in sitesinde yayınlanan kartezyen koordinat değerleri gerçek değerler olarak alınmıştır. Tüm noktalara ait veri setleri PPP yöntemine göre CSRS-PPP ve Magic GNSS servislerinde değerlendirilip gerçek değerlerinden farklarını alarak sonuç değerleri istatistiksel olarak incelemiştir. Ölçü süresinin artmasıyla standart sapma değerlerinde iyileşme olduğunu belirtmiştir. Ayrıca GPS ölçülerine kıyasla GPS+GLONASS uydu ölçülerinden elde edilen standart sapma değerlerini daha küçük olduğunu belirlemiştir. CSRS-PPP ve Magic GNSS web servisi sonuçları karşılaştırıldığında da CSRS-PPP sisteminin daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir.

Gündüz (2019), TUSAGA-Aktif sistemine ait 1 saniyelik ve 30 saniyelik veriler kullanılarak herhangi bir mühendislik yapısındaki ya da yer kabuğundaki hangi büyüklükte deformasyonların belirlenebileceği ve optimal ölçü süresinin ne olacağı tespit etmeye çalışmıştır. Verilerin değerlendirilmesi için Bernese v5.2 yazılımı kullanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde TUSAGA-Aktif noktaları kullanılarak yatay yöndeki deformasyonların belirlenebilmesi için 6 ve 12 saatlik ölçüler yeterli olurken, düşey yöndeki deformasyonların belirlenebilmesi için 24 saatlik ölçülerin kullanılmasının yerinde olacağı kanısına varılmıştır. Ayrıca yüksek doğruluk ve tutarlılık isteyen çalışmalarda post-process uygulamaların halen vazgeçilmez bir işlem olduğu görülmüştür.

Bülbül vd. (2022), TUSAGA-Aktif ağına ait ISTN, KLUU ve SURF noktalarının 1 aylık verilerini 1-2-4-6 ve 24 saatlik gruplara ayırmışlar ve CSRS-PPP, Magic-GNSS ve APPS servislerinde değerlendirmişlerdir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda ölçü süresi arttıkça uydu görüşünün arttığı, tüm ölçü gruplarında değerlendirme servisleri arasında en iyi sonucu CSRS-PPP servisinin verdiği ifade

edilmiştir. Bu sonuçlara ek olarak en iyi sonuçların kent dışı alanda elde edildiği ifade edilmiştir.

Özbulat vd. (2022), TUSAGA-Aktif ağına ait 8 adet nokta seçmişler ve bu noktaların verilerini 24 saatlik 30 s epoklu şekilde temin etmişlerdir. Bu verileri GAMIT/GLOBK yazılımıyla değerlendirmişlerdir. Buradan elde edilen sonuçları referans olarak kabul etmişlerdir. Ayrıca verileri 2, 4, 6, 8 ve 12 saat aralıklara bölmüşlerdir. Sonrasında bu verileri CSRS-PPP servisi yardımıyla değerlendirmişlerdir. Elde edilen sonuçların karesel ortalama hatalarını ölçü sürelerine göre karşılaştırmışlar ve ölçü süresi arttıkça karesel ortalama hatanın düştüğünü görmüşlerdir. Bunun yanında tüm ölçü gruplarında yukarı bileşene ait karesel ortalama hatanın diğer bileşenlere göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır.

Pırtı ve Yazıcı (2022), AUSPOS, CSRS-PPP ve Trimble RTX servislerini kullanarak ölçü süresinin konum doğruluğuna etkisini araştırmışlardır. Bunun için ISTA, IZMI ve TUBI istasyonlarına ait 5 günlük RINEX verilerini indirmiş ve 1, 4, 6, 8, 12, 16, 20, 24 saatlik gözlem dosyaları oluşturmuşlardır. Değerlendirme aşamasında Trimble RTX servisi TUBI istasyonuna ait verileri değerlendirmedeği görülmüştür. Yazılımlardan elde edilen coğrafi koordinatları kullanarak 3 derecelik Gauss-Kruger koordinatlara dönüşüm yapmışlar ve elde edilen sonuçlar incelendiğinde AUSPOS servisinin genel olarak CSRS-PPP ve Trimble RTX servislerinden daha yüksek doğrulukta sonuçlar verdiğini belirlemişlerdir. Ek olarak, ölçü süresi arttıkça standart sapmaların iyileştiği görülmüştür.

2.2. Kullanılan Yazılıma Göre Karşılaştırma

Abdulla (2016), internet tabanlı GNSS servislerinin kullanılabilirliklerini araştırmak amacıyla Irak-Duhok bölgesine tesis edilen 10 noktada 6 ila 8 saat arası değişen GNSS ölçümleri yapmış ve GNSS verilerini hem ticari bir yazılım olan Leica Geo Office ile hem de internet tabanlı değerlendirme yazılımları olan OPUS, AUSPOS, TRIMBLE RTX ve CSRS-PPP servisleri yardımıyla değerlendirmiştir. Elde edilen sonuçları karşılaştırdığında koordinatların standart sapmalarının yaklaşık uyumlu olduğunu görmüştür. Koordinat farklarında, CSRS-PPP sonuçlarının TRIMBLE RTX sonuçları ile uyumlu olduğu, CSRS PPP-OPUS ve CSRS PPP-AUSPOS farklarının da birbirine yakın olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca istatistiksel olarak CSRS PPP-TRIMBLE RTX koordinat farklarının (X , Y ve Z için) $\alpha=0.05$ yanlışma olasılığında anlamsız olduğu da tespit etmiştir.

Yüksel (2016), ticari yazılım olan Leica Geo Office yazılımı ile bilimsel yazılım olan GAMIT/GLOBK yazılımlarını karşılaştırmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda ilgili yazılımlarda kuzey ve doğu yönlü sonuçlarda çok fazla bir fark olmadığı fakat yukarı bileşene ait sonuçlarda farkın fazla olduğu görülmüştür.

Alçay ve İmren (2017), internet tabanlı GNSS değerlendirme yazılımları olan OPUS ve AUSPOS servislerinin performanslarını karşılaştırmıştır. Çalışma için kuzey yarım kürede 5, güney yarım kürede 3 olmak üzere 8 IGS (International GNSS Service) noktası kullanılmıştır. Çalışma sonucunda AUSPOS ile elde edilen sonuçların OPUS'a (Online Positioning User Service) göre özellikle kısa gözlem sürelerinde daha iyi olduğunu göstermiştir.

Berber vd. (2017), PPP çözüm yönteminin uzun süreli statik ölçüler ve kısa süreli kinematik ölçülerdeki performansını araştırmak amacıyla yaptıkları çalışma kapsamında 7 noktada 2-5 saat aralığında değişen sürelerde statik ölçü yapmışlardır. Sonrasında kinematik ölçü yöntemini araştırmak amacıyla faz başlangıç belirsizliğini çözmek için 30 dk'lık başlangıç verisi toplayarak her noktada 2 dk'lık ölçü yapmışlardır. Daha sonra statik verileri GAMIT yazılımında değerlendirmişlerdir. GAMIT yazılımdan elde edilen statik değerlendirme sonuçları ile Track, CSRS-PPP ve GAPS yazılımından elde edilen statik ve kinematik değerlendirme sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Track'in kinematik çözüm yöntemi kullanmasına rağmen statik veriler için iyi sonuçlar verdiğini, CSRS ve GAPS sonuçlarının ise Track'a göre daha kötü sonuç verdiğini belirtmişlerdir. Kinematik yöntemle elde edilen sonuçların statik yöntemle elde edilen sonuçlara göre daha kötü olduğunu ve bunun sebebinin kinematik yöntemde uydulara kilitlenme probleminden kaynaklandığını ifade etmişlerdir.

Arıkan ve Abbak (2019), elipsoid yükseklik değişiminin hassas nokta konumlamaya etkisi çalışmasında yeryuvarına homojen şekilde dağılan 20 IGS noktası seçmiş ve seçilen noktaları her grupta 4 nokta olacak şekilde 0-100 m, 100-500 m, 500-1000 m, 1000-2000 m, 2000-3000 m olarak gruplandırmıştır. Seçilen bu noktaları CSRS ve Bernese v5.2 yazılımları yardımıyla değerlendirmiştir. Sonuç olarak Bernese yazılımından elde edilen sonuçların CSRS'ye göre daha yüksek doğruluklu çıktığını, yatay bileşenlerdeki doğrulukların düşey bileşendeki doğruluklara göre daha iyi olduğunu ve konum doğruluklarının yüksekliğe bağlı olmadığını belirtmiştir.

İnyurt ve Ulukavak (2020), ANRK, ANTL, IZMI, SINP ve VAN1 istasyonlarına ait RINEX gözlemlerini 1, 4, 8, 12, 16, 20 ve 24 saatlik dilimlere ayrılarak CSRS-PPP ve Trimble-RTX servislerine göndermiş ve elde edilen koordinatların doğruluk

araştırması yapmışlardır. Her iki yazılımdan elde edilen X , Y ve Z koordinatları kullanılarak her istasyona ilişkin ortalama koordinatlar üretilmiş, daha sonra ortalama koordinatları ile Harita Genel Müdürlüğü (HGM) tarafından yayınlanan koordinatlar arasındaki mutlak farkları irdelemişlerdir. Gözlem süresinin artmasıyla koordinat farklılıklarının azaldığı görülmüştür. Çalışma sonucunda CSRS-PPP servisinden elde edilen konum verisinin referans veriye daha yakın olduğu anlaşılmıştır.

Özdemir (2022), internet tabanlı çevrimiçi veri değerlendirme servislerinin farklı çözüm yaklaşımlarındaki doğruluk performanslarını mutlak konum çözüm yaklaşımı sunan MAGIC-GNSS ile CSRS-PPP ve bağıl konum çözüm yaklaşımı sunan AUSPOS ile OPUS internet tabanlı değerlendirme servislerinin, farklı gözlem sürelerindeki 1, 2, 3, 6, 12, 24 saat verileri dikkate alarak karşılaştırmıştır. Uygulamalar sonucunda 3 saat ve üstü GNSS verilerinin bu servislerde analizi sonucu mm ve cm seviyelerinde doğrulukla konum ve yükseklik elde edilebileceği anlaşılmıştır. 3 saat ve üstü veri çözümlerinde tüm servislerde mm ve birkaç cm seviyesinde konum doğruluğu elde edilebildiği, servis özelinde incelendiğinde ise özellikle 6 saat ve üstü veri çözümlerinde konum doğrulukları ve tekrar edilebilirliği göz önüne alındığında MAGIC-GNSS ve CSRS-PPP servisi mm hassasiyetinde benzer sonuçlar ürettiği, AUSPOS servisinin de OPUS servisine göre daha başarılı olduğunu belirlemiştir.

Yapılan literatür taraması sonucunda ölçü süresine göre elde edilecek doğruluklar ile ilgili çalışmalar yapıldığı ve bazı çalışmalarda modeller önerildiği görülmüştür. Günümüzde birçok veri değerlendirme servisleri bulunmakta ve servisler çözüm yöntemleri için sürekli güncellemeler yapmaktadır. Önceki çalışmalarda önerilen modellerin güncel koşullarda elde edilen sonuçlarla örtüşüp örtüşmediğinin test edilmesi amacıyla yeni modeller önerilmesi ihtiyacı duyulmuştur. İnternet tabanlı veri değerlendirme servisleri için doğrudan bir model önerisi mevcut değildir. Bilimsel ve ticari yazılımlar için yeterli bilgisi olmayıp internet tabanlı veri değerlendirme servislerinden yararlanacak kullanıcılar için ölçü planlama aşamasında kolaylık sağlaması ve fikir vermesi amacıyla ikili fark yöntemi ile çözüm üreten AUSPOS servisi ile sıfır fark tekniğinden yararlanarak çözüm yapan CSRS-PPP servisleri için model geliştirilmesi düşünülmüştür. Yine yapılan kaynak araştırması sonucunda tekrarlanabilirlik açısından ne kadar süreli ve kaç tekrarlı ölçüler sonucunda ne kadar doğruluk elde edileceği bilgisi de eksiklik olarak görülmüştür. Tüm bunlar sonucunda TÜBİTAK 120Y246 nolu proje kapsamında elde edilen verilerden yararlanarak söz konusu eksiklere cevap vermek için bu tez çalışması yapılmıştır.

3. KÜRESEL KONUM BELİRLEME SİSTEMİ

Bu Bölümde GNSS sisteminin tarihi ve tanımı yapılarak GNSS ile konum belirleme yöntemlerinden, hata kaynaklarından ve tekli fark-ikili fark yöntemlerinden bahsedilecektir.

3.1. GNSS

İnsanlar tarih boyunca bulundukları yeri ve çevresini tanıma ihtiyacı duymuştur. Jeodezik anlamda konum belirleme yöntemleri için uzunluk ve doğrultu gözlemine dayalı yersel (geleneksel) yöntemler 2000’li yılların başına kadar yaygın olarak kullanılmıştır. Gelişen teknoloji ile beraber yersel yöntemler yerini GPS ile konum belirlemeye bırakmıştır.

GPS, Amerika Birleşik devletleri tarafından başta askeri amaçlarla 1970’li yıllarda başlatılan ve 1995 yılında operasyonel olarak tamamlanan, uzay kontrol ve kullanıcı bölümlerinden oluşan ve GNSS uydu koleksiyonundan birisi olan uydu tabanlı konum belirleme sistemidir (Teunissen ve Montenbruck, 2017). GPS sistemi ile birlikte elinde GPS alıcısı olan kullanıcı uydu sinyalleri yardımıyla herhangi bir yer ve zamanda, her türlü hava koşulunda, ortak bir koordinat sisteminde, yüksek duyarlıkta, ekonomik olarak, anında ve sürekli konum, hız ve zaman belirleyebilmektedir (Kahveci, 2017).

Askeri amaçlarla geliştirilen GPS sistemi günümüzde araç navigasyonu, jeodezik amaçlı ölçmeler, kadastral ölçmeler, deformasyon ölçmeleri, hassas tarım uygulamaları, gerçek zamanlı aktif kontrol ağları ve insansız hava araçlarında kullanılmaktadır.

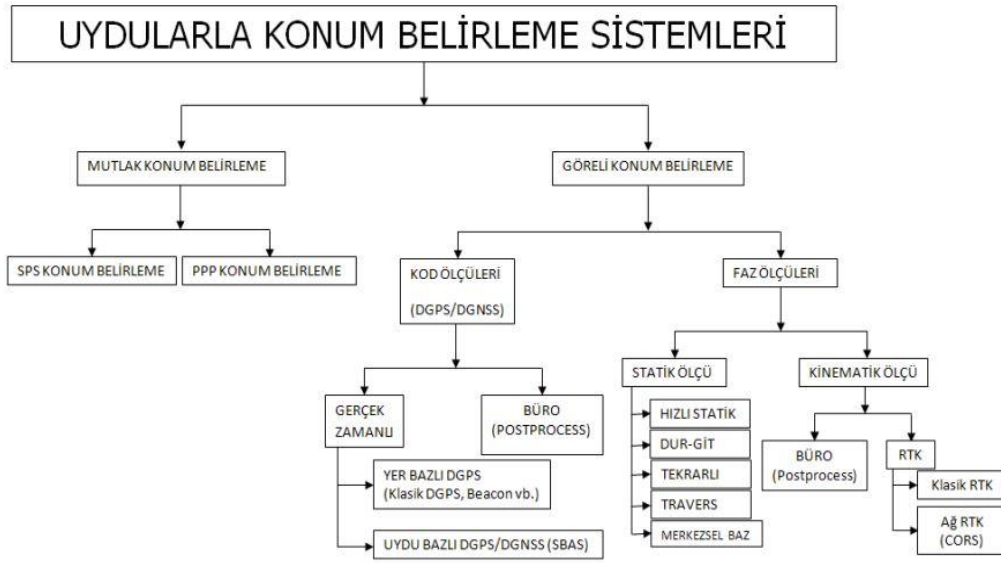
GPS klasik ölçü yöntemlerine göre noktaların yüksek yerlerde olması ve noktalar arası görüş zorunluluğunu ortadan kaldırma, hava koşullarına bağımlılığı azaltma, klasik yöntemlere göre daha duyarlı sonuçlar elde etme, anlık olarak 3 boyutlu konum elde etme gibi faydalar sağlamıştır. Sağladığı yararın yanı sıra kapalı ortamlarda, sık ağaçlı yerlerde çalışamaması yöntemin en zayıf yanıdır. İlerleyen yıllarda destek çözümler sayesinde bu eksikliklerin de giderilmesi beklenmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Amerika’dan sonra Avrupa ülkeleri GALILEO, Rusya GLONASS, Çin BEIDEO, Japonya QZSS, Hindistan IRNSS uydu sistemlerini geliştirmiştir. Tüm bu uydu sistemlerinin birlikte kullanılması GNSS sistemini oluşturmaktadır. GNSS ile kullanılan donanım ve yöntemlere bağlı olarak metre mertebesinde cm-mm

seviyelerine kadar farklı doğruluklarda konum ve beraberinde hız ve zaman belirlenebilmektedir (Uçarlı vd., 2021).

3.2. Uydularla Konum Belirleme Yöntemleri

GNSS ile konum belirlemek, belirlenen konumun doğruluğunu ve duyarlılığını iyileştirmek için mutlak ve bağıl olmak üzere çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Mutlak ve görel konum belirleme sistemleri de kullandıkları ölçülere göre kendi içinde gruplara ayrılmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. GNSS Konum Belirleme sistemleri (Kahveci, 2017)

3.2.1. PPP ve PPP-AR Konum Belirleme Yöntemi

Temelleri Zumberge vd. (1997) tarafından atılan, mutlak konum belirlemenin özel durumu olan ve yörünge ve saat bilgileri kullanılarak belirli bir yaklaşım süresinden sonra cm düzeyinde koordinat belirlenmesine olanak sağlayan PPP, GNSS verilerinden yüksek doğrulukta mutlak konum belirlemeyen bir tekniktir.

PPP tekniğinin matematiksel modelleri Zumberge (1997) tarafından uygulanmıştır. Bu modeller kod ölçüleri için,

$$l_p = \frac{R1 * f_1^2}{f_1^2 - f_2^2}$$

veya

$$l_p = \rho + c(dT - dt) + d_{trop} + \varepsilon_p$$

olarak ifade edilir. Bu eşitlikte,

l_p : L1 ve L2 kod ölçülerinin iyonosfer-bağımsız kombinasyonu (metre cinsinden),

(3.1)

R_1, R_2 : Ölçülen ham uzunlukları (pseudorange),

f_1, f_2 : L1 ve L2 sinyallerinin GPS frekansını,

dT : Uydu saati ile GNSS zamanı arasındaki farkı (saniye cinsinden),

dt : Alıcı saati ile GNSS zamanı arasındaki farkı (saniye cinsinden),

d_{TROP} : Troposferik etki nedeniyle uydu ile ölçü arasındaki sinyal gecikmesini (metre cinsinden),

$\varepsilon_P, \varepsilon_\theta$: Sinyal yansıması dahil olan ilgili ölçme gürültü bileşenlerini (metre cinsinden),

c : boşluktaki ışık hızını (m/s cinsinden),

ρ : hesaplanan geometrik mesafeyi (uydu ile alıcı arasındaki gerçek uzaklık) (metre cinsinden),

temsil etmektedir.

PPP tekniğinin faz ölçülerinin matematiksel modeli ise,

$$l_\theta = \frac{\lambda_1 * \theta_1 * f_1^2}{f_1^2 - f_2^2} - \frac{\lambda_2 * \theta_2 * f_2^2}{f_1^2 - f_2^2}$$

veya

(3.2)

$$l_\theta = \rho + c(dT - dt) + d_{trop} + N\lambda + \varepsilon_0$$

olarak gösterilmektedir. Eşitlikte,

l_θ : L_1 ve L_2 taşıyıcı faz ölçülerinin iyonosfer-bağımsız kombinasyonu (metre cinsinden),

θ_1, θ_2 : Sırasıyla L_1 ve L_2 bandında taşıyıcı fazları (ölçülen),

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda$: Sırasıyla L_1 ve L_2 taşıyıcı ve kombine edilmiş L_3 'ün dalga boyunu (metre/cycle cinsinden),

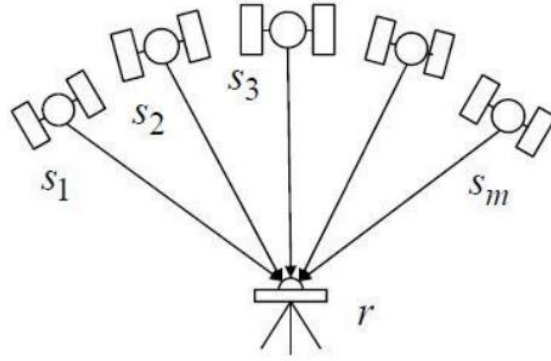
N : İyonosfer bağımsız taşıyıcı fazın tamsayı olmayan bilinmeyenlerini,

temsil etmektedir.

Bağıl yöntemde en az iki alıcı ile konum belirlenirken bu teknik sayesinde tek alıcı ile hassas konum belirlemek olanaklı hale gelmiştir (Şekil 3.2). Böylece çift frekanslı tek bir alıcı ile kod ve taşıyıcı faz gözlemleri kullanılarak, fark almadan (undifferent), iyonosferden bağımsız kombinasyonlarla cm mertebesinde nokta konum doğrulukları elde edilebilmektedir (Gao ve Shen, 2001). PPP yönteminde genel olarak faz başlangıç belirsizliği tam sayı olarak çözülmediğinden dolayı, kısa süreli ölçülerde bağıl konum belirleme tekniği daha iyi sonuç vermektedir (Öğütçü, 2020).

Faz başlangıç belirsizliğinin tam sayı olarak çözülmemesinden dolayı oluşan zayıflık PPP-AR tekniği ile giderilmeye başlanmıştır. PPP-AR tekniği geleneksel PPP

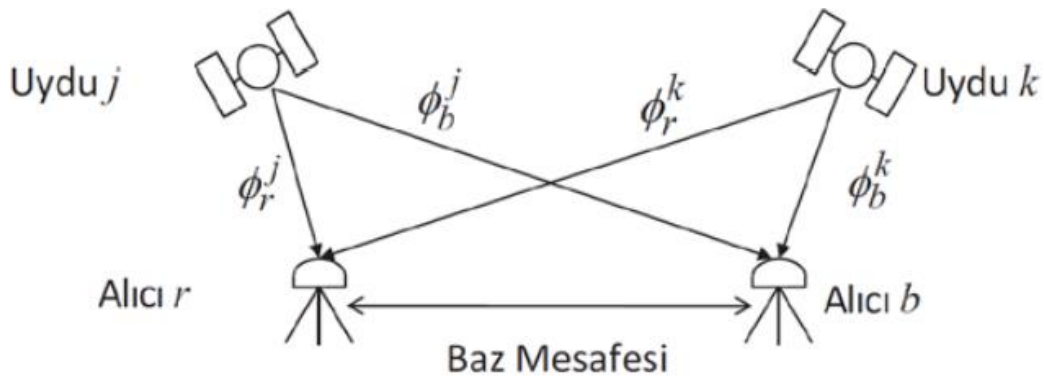
yönteminden farklı olarak daha karmaşık modeller kullanarak faz başlangıç belirsizliğini çözmekte ve konum doğruluğunu artırmaktadır.



Şekil 3.2. Mutlak Konum Belirleme Yöntemi (Takasu, 2013)

3.2.2. Statik Ölçü Yöntemi

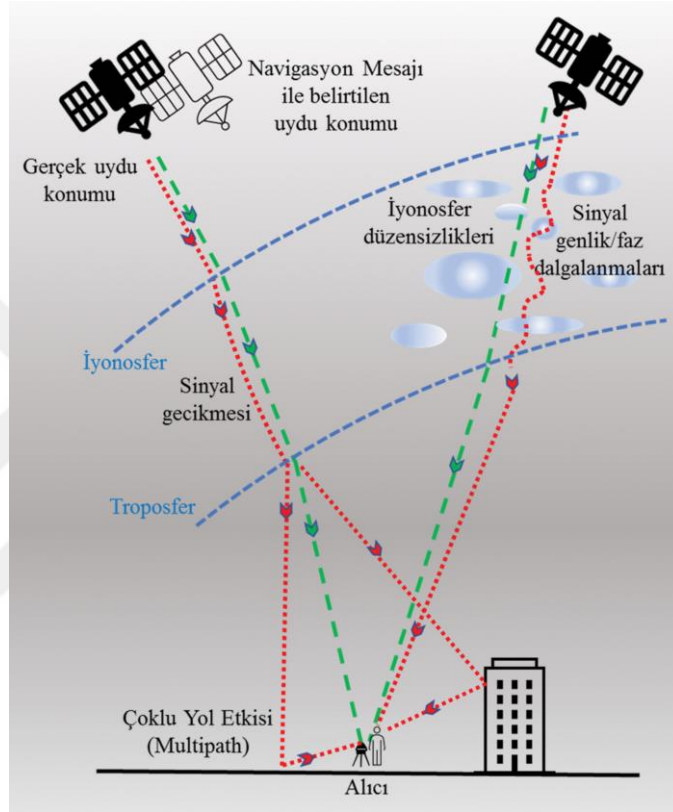
Statik ölçme yöntemi özellikle yüksek duyarlılık gerektiren uzun bazlar söz konusu olduğunda ve sistematik etkilerin dikkate alınması durumunda en uygun ve en iyi yöntemdir. Bu ölçü yönteminde, iki ya da daha fazla alıcı ile bir saat civarında eş zamanlı ölçü yapılmaktadır (Şekil 3.3). Faz belirsizliğini çözebilmek için ölçü süresi daha da arttırılabilmektedir. Yerkabuğu hareketlerinin belirlenmesi gibi bilimsel amaçlı çalışmalarda ve çok uzun bazların söz konusu olduğu yüksek doğruluk gerektiren durumlarda ölçü süresi 24 saate kadar yapılabilmektedir. Bu yöntemle yapılan ölçüler büroda uygun GNSS yazılımları ile (post-process) değerlendirilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).



Şekil 3.3. Göreli Konum Belirleme Yöntemi (Takasu, 2013)

3.3. GNSS de Hata Kaynakları

GNSS sistemi günümüzde konum belirleme ihtiyacını hızlı ve doğru şekilde sağlamaktadır. Fakat her yöntemin olduğu gibi GNSS sisteminde de bazı sistematik ya da rastlantısal hata kaynakları bulunmaktadır (Şekil 3.4). Bu bölümde uydu ve alıcıdan kaynaklı hata kaynakları anlatılacaktır.



Şekil 3.4. GNSS hata kaynakları (Aselsan, 2025)

3.3.1. Uydu Yörünge Hataları

GNSS uyduları yeryuvarı etrafındaki hareketini belli bir yörüngede gerçekleştirmektedir. Fakat uydular hareketleri esnasında yerçekimi ve diğer bozucu etkilere maruz kalarak yörüngelerinden bir miktar sapmaktadır. Uyduların gerçek yörünge bilgileri ile beklenen yörünge değeri arasındaki fark uydu yörünge hatası olarak ifade edilmektedir. Diğer hata kaynakları fark kombinasyonları oluşturmak ya da çift frekanslı alıcı kullanmak yoluyla tamamen ya da önemli ölçüde giderilebilirken yörünge hatalarını bu şekilde gidermek mümkün değildir. Bu hata kaynağı IGS, CODE gibi kuruluşlar tarafından yayınlanan hassas yörünge bilgileri ile önemli oranda giderilmektedir (Çizelge 3.1). Uydu yörünge hatası için temel kural;

$$\frac{\sigma b(m)}{b(km)} = \frac{\sigma r(m)}{\rho_R^{SV}} \quad (3.3)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

Eşitlikte,

σr : Uydu yörünge hatası,

σb : baza etki edecek hata,

ρ : uydu ve alıcı arasındaki uzaklık (yaklaşık 20200 km),

b : Baz uzunluğu,

olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 3.1. IGS servisi tarafından yayınlanan yörünge bilgileri ve doğrulukları (IGS, 2025)

Yörünge	Doğruluk	Elde etme Süresi
Yayın efemerisi (Broadcast)	100 cm / 5ns	Anlık
IGS kestirim (predicted)	5 cm / 3 ns	Anlık
IGS kestirim (observed)	3 cm/ 150 ps	3-9 Saat
IGS hızlı (rapid)	2.5 cm / 75 ps	17-41 Aaat
IGS sonuç (final)	<2.5 cm / 20 ps	1-18 Gün

3.3.2. Uydu Saati Hataları

GNSS ile konum belirlemenin temelinde zaman ölçümü yer almaktadır. Uydudan çıkan GNSS sinyalinin çıkış zamanı ile alıcıya ulaşma zamanı bilindiğinde arada geçen zaman ile ışık hızının çarpılması yoluyla uydu-alıcı arasındaki mesafe belirlenmekte ve geriden kestirme mantığı ile konum belirlenmektedir. Bu sebeple bu hata kaynağının giderilmesi ya da minimize edilmesi önem taşımaktadır. Bu hata türü uydunun yönünden bağımsız olduğu için tüm noktalardaki alıcılarda aynı etkiye sahiptir. Temel olarak uydulardaki saatlerin son derece hassas olması ve alıcı saatlerinin uydu saatleri kadar hassasiyet sağlayamamasından kaynaklı yeterli doğrulukta senkronize edilememesinden kaynaklanmaktadır. Fark alma yöntemleri ile giderilebilmektedir.

3.3.3. İyonosferik Etkiler

Gökyüzü troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer, ekzosfer, iyonosfer ve magnetosfer atmosfer tabakalarından oluşmaktadır. Bu katmanlardan iyonosfer ve troposfer GNSS sinyalleri üzerinde bozucu etkiye neden olmaktadır. İyonosfer hava moleküllerinin ileri derecede yoğunlaşmış halde bulunduğu ve elektrik iletkenliği kazandığı yüksek atmosfer bölgelerinin tümüdür. İyonosfer GNSS ile yapılan kod ölçülerine gecikme etkisi yaparken faz ölçülerinde hızlandırıcı etki yapmaktadır. Bu gecikme ya da hızlanma uydu-alıcı arasındaki mesafenin yanlış belirlenmesine ve sonucunda konumun yanlış belirlenmesine neden olmaktadır. Uydu mesajları ile yayınlanan iyonosferik model katsayıları kullanılarak bu etki bir miktar giderilebilmektedir. Yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda ve uzun mesafeli bazlarda çift frekanslı alıcılar kullanmak yoluyla daha uygun sonuçlar elde edilebilmektedir.

3.3.4. Troposferik Etkiler

İyonosferden geçen sinyaller troposfer tabakasına ulaşmaktadır. Troposfer katmanında elektrik yükü olmadığı için kod ve faz ölçülerine iyonosferin aksine aynı etkiyi yapmakta ve çift frekanslı alıcıların kullanılması ile giderilmesi mümkün olmamaktadır. Bu etki GNSS sinyalinin troposferde katettiği yola bağımlı olduğu için yükseklik açısı 15° ve yukarısı seçilmelidir. Bu etki bilimsel çalışmalarda ve yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda VMF (Vienna Mapping Function), GMF (Global Mapping Function) gibi indirgeme fonksiyonları kullanılarak giderilebilmektedir.

3.3.5. Anten Faz Merkezi Hataları

Anten faz merkezi GNSS sinyallerinin alıcıya ulaştığı nokta olup bu nokta genellikle geometrik faz merkezinden farklıdır. L1 ve L2 sinyalleri için alıcıların faz merkezi birbirinden farklı olmaktadır. Bu farklılık birkaç mm ile birkaç cm arasında değişiklik göstermektedir. Bilimsel çalışmalarda bu etkinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Antenler aynı yöne (kuzey) yönlendirilerek görelî konum belirlemede bu etki en aza indirilmektedir. IGS vb. kuruluşlar tarafından yüksek doğruluklu çalışmalar ile her alıcı için anten faz merkezi bilgileri hesaplanmakta ve kullanıcılarla paylaşılmaktadır.

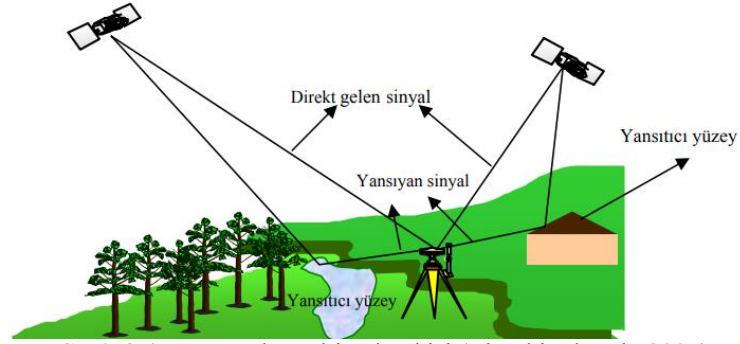
3.3.6. Taşıyıcı Dalga Faz Belirsizliği

GNSS ile konum belirleme yönteminde kod ve faz ölçüleri kullanılmaktadır. Kod ölçüleri için kod birim (chip) uzunluğu ölçülürken faz ölçülerinde sinyallerin dalga boyu sayılmaktadır. Uydu alıcı fazı $0-2\pi$ arası değiştiğinde 1 artmakta ya da eksilmektedir. İlk epok için taşıyıcı dalga fazının kaç adet tam dalga içerdiği bilinmemektedir. Bu belirsizlik faz başlangıç belirsizliği (ambiguity) olarak isimlendirilmektedir. Bu hatanın temel nedenleri yansıma (multipath) hatası, ölçü noktasının çevresinde uydu görüşünü engelleyecek unsurların bulunması ve kötü iyonosferik şartlar olmaktadır. Bu hatanın giderilmesi için modern (QIF, Sigma, Lambda, Fast) gibi yöntemler kullanarak giderilebilmektedir.

Taşıyıcı dalga faz belirsizliği bağıl konum belirleme yönteminde ikili fark kombinasyonları ile giderilebilirken mutlak konum belirleme yönteminde fark kombinasyonları uygulanmadığı için faz başlangıç belirsizliğinin çözümünde ve yakınsama süresinde zorluklar yaşanmaktadır. Bu nedenle, PPP tekniğinde faz başlangıç belirsizliğinin çözülmesi ve yakınsama süresinin kısaltılması için çeşitli çalışmalar yapılmakta ve yöntemler geliştirilmektedir (Öcalan, 2015).

3.3.7. Multipath Etkisi

GNSS uydularından gelen sinyallerin doğrudan alıcı antenine ulaşması beklenmektedir. Fakat uydudan gelen sinyaller alıcı ile birlikte alıcının çevresindeki yansıtıcı nesnelere (cam yüzeyler, su yüzeyleri, bina, direk vb.) de ulaşmakta ve bu nesnelerden yansıtılarak alıcı antenine gelmektedir. Dolayısıyla alıcıya gelen sinyaller uydudan alıcıya doğrudan gelen sinyaller ve yansıtılarak gelen sinyallerin tümünü oluşturmaktadır. Alıcıya yansıtılarak gelen sinyaller multipath hatasını oluşturmaktadır (Teunissen ve Montenbruck, 2017). Sinyallerin birden fazla yol izleyerek alıcıya ulaşması uydu-alıcı arasındaki uzaklığın olması gerekenden farklı belirlenmesine dolaylı olarak konumun yanlış belirlenmesine neden olmaktadır. Bu hatanın etkisini en aza indirmek ya da ortadan kaldırmak için alıcının kurulacağı noktanın özenle seçilmesi gerekmektedir.



Şekil 3.4. GNSS’ de multipath etkisi (Tiryakioğlu vd., 2005)

3.4. GNSS ile Konum Belirlemede Fark (Gözlem) Denklemleri

GNSS ile ölçü yöntemi kod ve faz ölçülerine dayanmaktadır. Bu temel gözlemler sıfır fark olarak isimlendirilmektedir. GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi sürecinde bu gözlemlerin kombinasyonlarının oluşturulması bazı faydalar getirmektedir. Bu kombinasyonlar genel olarak alıcılar, uydular ve ölçü epokları arasında yapılabilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

3.4.1. Sıfır Fark Yöntemi

Sıfır fark yöntemi (un-differenced ya da fark alınmamış gözlemler), GNSS alıcısının her bir uyduya yaptığı gözlemlerin herhangi bir fark kombinasyonuna tabi tutulmadan doğrudan değerlendirilmesini esas alır. Bu yöntemde, uydu ve alıcı saat hataları, iyonosfer ve troposfer gecikmeleri, faz belirsizliği gibi birçok hata bileşeni gözlem denklemlerinde yer alır. Sıfır fark yönteminin en önemli avantajı fark alınan yöntemlerde alıcıların gözlem yaptığı aynı uydular kullanılırken sıfır farkta alıcıların gördüğü tüm uydular kullanılabilmektedir (Teunissen ve Montenbruck, 2017).

Sıfır fark yöntemi, özellikle PPP tekniğinde yaygın olarak kullanılır. PPP yönteminde, GNSS sistemlerine ait uydu saat düzeltmeleri, yörünge bilgileri ve atmosferik modeller gibi bilgiler kullanılarak, bu hata bileşenlerinin önemli bir kısmı düzeltilir ve yüksek hassasiyetli konum çözümleri elde edilebilir.

3.4.2. Tekli Fark Yöntemi

İki farklı alıcıdan aynı uyduya eş zamanlı olarak yapılan faz gözlemleri arasındaki farklardır. Tekli fark yöntemi ile uydu saat hatalarının giderilmesini sağlamaktadır. Uydular arasında aynı alıcı için oluşturulduğunda alıcı saat hataları da giderilmektedir. Özetle tekli farklar 2 alıcı 1 uydu arasında oluşturulduğunda (Şekil

3.5a) uydu saat hatası, 2 uydu 1 alıcı arasında oluşturulduğunda (Şekil 3.5b) alıcı saat hatası giderilmektedir. Yöntemin eşitliği,

$$\Delta\Phi_{R1R2}^{SV1}(t) = \Phi_{R2}^{SV1}(t) - \Phi_{R1}^{SV1}(t) \quad (3.4)$$

olarak ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

3.4.3. İkili Fark Yöntemi

İki tekli farkın farkı olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.5c). Bu yöntem sayesinde uydu ve alıcı saat hatalarının ikisi birlikte giderilmektedir. GNSS değerlendirme yazılımlarında temel gözlem eşitliği olarak kullanılmaktadır. Yöntem sayesinde kısa baz mesafelerinde uydu ve alıcı saat hataları, iyonosferik ve troposferik etkiler giderilmektedir (Takasu, 2013). Yöntemin eşitliği,

$$\Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t) = \Delta_{R1R2}^{SV1SV2} - \Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t) \quad (3.5)$$

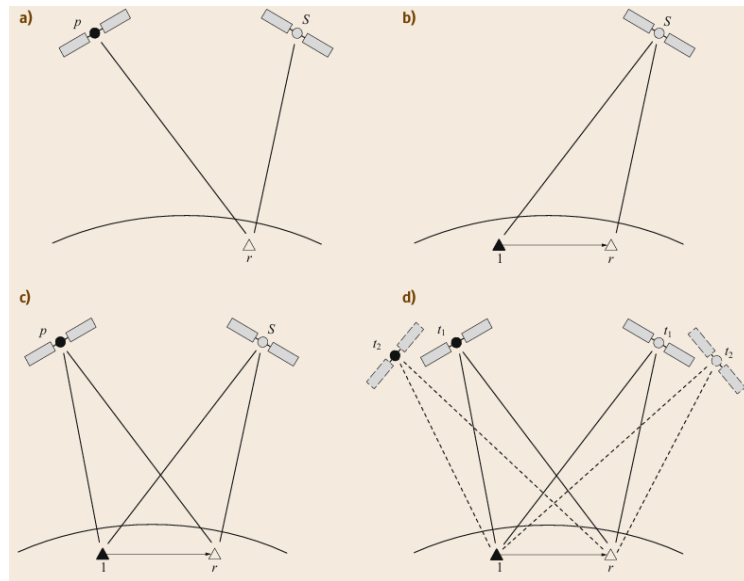
şeklinde ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).

3.4.4. Üçlü Fark Yöntemi

İki farklı epokta oluşturulan iki ikili fark arasındaki farkı ifade etmektedir (Şekil 3.5d). Üçlü fark gözlemleri ile taşıyıcı dalga faz başlangıç belirsizliği gözlem denklemlerinden düşürülebilmektedir. Yöntemin eşitliği,

$$\Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_i, t_{i+1}) = \Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_{i+1}) - \Delta\Delta_{R1R2}^{SV1SV2}(t_i) \quad (3.6)$$

şeklinde ifade edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2018).



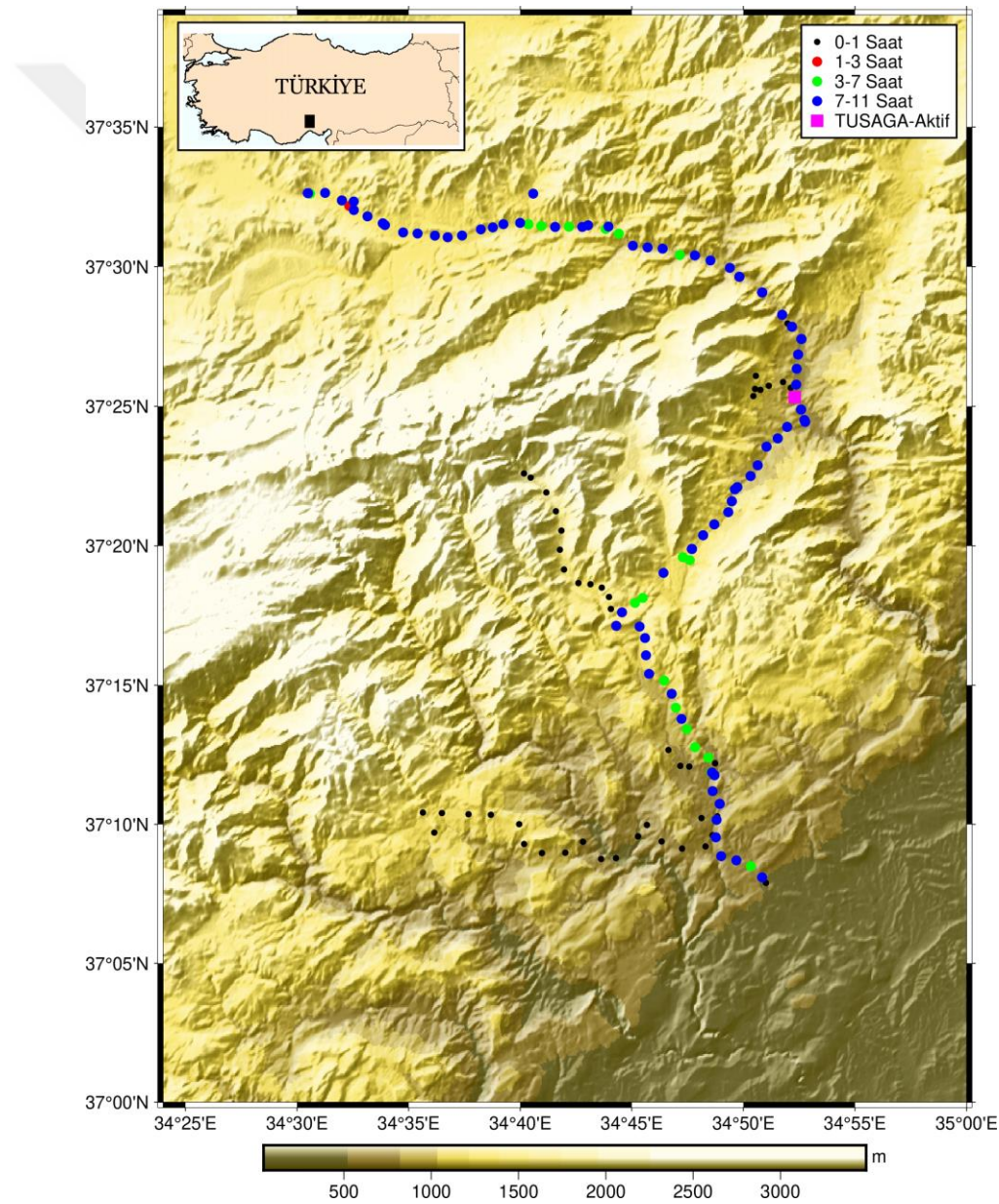
Şekil 3.5. Fark Stratejileri: (a) Uydular arasında tekli fark, (b) alıcılar arasında tekli fark, (c) ikili fark, (d) üçlü fark (Teunissen ve Montenbruck, 2017)

4. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde çalışma alanı ve çalışmada kullanılan yazılımlar ile ilgili bilgilere değinilmiştir.

4.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Çalışma bölgesi Ulukışla-Pozantı-Akçatekir-Çamalan-Damlama güzergahını kapsamaktadır. Çalışma alanının uzunluğu yaklaşık 100 km'dir. Çalışma alanının yüksekliği 570 ile 2057 m arasında değişiklik göstermektedir. Çalışma bölgesinin tercih edilmesindeki neden dağlık bir yapıya ve vadi geçişlerine sahip olmasıdır. Çalışma bölgesi Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Çalışma alanı

4.2. Kullanılan Veriler

Çalışma kapsamında 86 noktada 4 kampanyada toplam 250 adet Statik GNSS ölçüsü toplanmıştır. Elde edilen verilerin ölçü süresi 5 dakika ile 11 saat arasında değişiklik göstermektedir. Ölçü yapılan yerel noktalara ilave olarak çalışma alanının çevresinde yer alan ADN2, HALP, MRSI, NIGD ve POZA isimli 24 saat ölçü süresine sahip TUSAGA-Aktif noktaları kullanılmıştır. Elde edilen veriler 5-10, 10-20, 20-60 dk ile 1-4, 4-7, 7-11 ve 24 sa olarak gruplandırılmıştır.

Arazi çalışmalarında 30 noktada tekrarlı ölçü yapılmıştır. Ölçümler için Topcon TPS_HIPERLITE, TPS_HIPERPLUS, JAVAD_TRIUMPH1_R ve CHC I50 isimli alıcılardan yararlanılmıştır. Alıcıların anten yükseklikleri noktadan eğik şekilde cihazların üzerinde yer alan yükseklik çizgisine kadar ölçülmüş ve

$$\text{anten yüksekliği} = \sqrt{h^2 - r^2} - arp \quad (4.1)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada r değeri alıcının yarıçapını, h değeri noktadan alıcının yükseklik çizgisine kadar olan eğik mesafeyi ve arp alıcının üzerinde yer alan yükseklik çizgisi ile arp (antenna reference point) arasındaki mesafeyi ifade etmekte ve bu değerler NGS anten kalibrasyon bilgilerinin yayınlandığı siteden elde edilmektedir (NGS, 2025).

4.3. Yazılımlar

GNSS ölçülerinin değerlendirilmesi için bilimsel GAMIT/GLOBK yazılımı ile internet tabanlı veri işleme servisleri AUSPOS ve CSRS-PPP'den yararlanılmıştır. Çevrimiçi servislerin kullanımı bilimsel yazılımlara göre daha kolay olmaktadır. Bilimsel yazılımlarda kullanıcı müdahalesinin fazla olması sebebiyle yeterli teknik bilgisi olmayan kullanıcılar internet tabanlı servisler yardımıyla ihtiyaçlarına kolayca çözüm bulabilmektedir. Çalışmada AUSPOS ve CSRS servislerinin kullanılmasındaki sebep çalışmalarda en çok tercih edilen internet tabanlı veri değerlendirme servislerinden olmaları ve AUSPOS servisinin bağıl, CSRS-PPP servisinin mutlak çözüm yapması olmuştur.

4.3.1. AUSPOS

AUSPOS, Avusturalya Yerbilimi (Geoscience Australia) kuruluşu tarafından hizmet veren bir servistir. Bu servis arka planda Bernese bilimsel yazılımını kullanmaktadır. Yazılım değerlendirmelerde GPS verilerini kullanılmakta ve diğer uydu

verilerini göz ardı etmektedir. Servis GNSS gözlemlerinin referans istasyonlarına dayalı olarak dengelenmesi işlemi için noktaya yakın olan yaklaşık 15 IGS ve APREF (Asia-Pacific Reference Frame) noktasını referans olarak kullanmaktadır. Dolayısıyla servis çift fark yöntemi kullanarak bağıl konum belirleme yöntemine göre çözüm yapmaktadır. Koordinat bilgileri ITRF (International Terrestrial Reference Frame) 14 sisteminde elde edilmektedir. AUSPOS servisi işleme için verileri 30 s epoklu olacak şekilde örneklemektedir. Sisteme tek seferde en fazla 20 RINEX verisi gönderilebilmektedir (AUSPOS, 2025). Sistem RINEX verisinden anten bilgisini ve yüksekliğini okuyabilmekte, hata olması durumunda ise bu bilgiler manuel olarak da seçilebilmektedir. Veriler gönderildikten bir süre sonra sonuçlar kullanıcının e-posta adresine pdf olarak gönderilmektedir.

Online GPS Processing Service

System Status: ●

Load RINEX Files* POZA1990.230, NIGD1990.230, ABM Choose File(s)

File Name	Height (m)	Antenna Type
POZA1990.230	0.087	TRM55971.00 NONE x
NIGD1990.230	0.087	TRM55971.00 NONE x
ABMS1990.230	1.0454	TPSHIPER_LITE NONE x
MRAL1990.230	1.4909	TPSHIPER_LITE NONE x
TRSE1990.230	1.2615	TPSHIPER_LITE NONE x
MRSI1990.230	0.087	TRM55971.00 NONE x
HALP1990.230	0.087	TRM55971.00 NONE x
ADN21990.230	0.087	TRM115000.00 NONE x
PZOI1990.230	1.6069	CHC350 NONE x

Email Address* e.g. name@company.com

Submission Checklist

Clear Submit

Şekil 4.2. AUSPOS servisi ekran görüntüsü

4.3.2. CSRS PPP-AR

CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning) servisi 2003 yılında hizmete başlayan bir servistir. Sistem 24 saat ve uzun süreli verilerde mm düzeyinde doğruluk sağlayabileceğini, birkaç cm'lik doğruluğun yaklaşık bir saat içinde elde edilebileceğini belirtmiştir (Banville, 2020). Bu sistemde AUSPOS servisi gibi verileri 30 s epoklu şekilde seyrelterek hesaplama yapmaktadır. CSRS-PPPAR servisi AUSPOS'dan farklı olarak sıfır fark gözlemleri ile çözüm gerçekleştirmektedir. Geliştirdiği ek algoritmalar ile PPP yöntemine ek olarak faz başlangıç belirsizliği çözümünü de gerçekleştirmektedir. Faz başlangıç belirsizliğinin sonuçlara olumlu etkisi olduğu kadar belirsizliklerden bir ya da birkaçının yanlış

çözülmesinin olumsuz sonuçlar getireceği kaçınılmazdır. Bu olumsuzlukları önlemek için 5 dakikadan kısa süreli ölçülerin belirsizliğinin çözülmemesi, GLONASS verileri için belirsizlik çözümünün yapılmaması gibi önlemler alınmıştır (Banville, 2020). CSRS-PPPAR servisi 14.05.2025 tarihinden itibaren 27 Kasım 2022 tarihinden sonra toplanan verilerin çözümlerinde GPS ve GLONASS verilerine ilave olarak GALILEO çözümlerini de dahil etmeye başlamıştır.

CSRS servisine veriler tek tek ya da sıkıştırılmış zip şeklinde gönderilebilmektedir. Veri gönderme sırasında statik ya da kinematik seçeneği seçilebilmektedir. Bu sayede veriler her iki yöntemle de çözdürülebilmektedir. Bu aşamada NAD83 ya da ITRF koordinat sistemi de seçilebilmektedir. Ayrıca, bu servis AUSPOS servisine göre daha hızlı çalışmakta ve kısa süre içinde sonuçlar e-posta olarak göndermektedir. Servisin kullanımı için kullanıcıların e-posta adresleri ile üyelik oluşturmaları gerekmektedir. Servis sonuçlar için gönderdiği pdf dosyasında faz başlangıç belirsizliği (ambiguity) durumları, uydu görüş (skyplot) grafiği gibi görselleri de paylaşmaktadır. Verilerin paylaşılması sırasında RINEX verilerine ek olarak BLQ uzantılı okyanus yüklemesi dosyası da eklenebilmektedir. AUSPOS ve CSRS servislerinin karşılaştırılması Çizelge 4.1’de yapılmıştır.

Processing mode

☐ Static ☒ Kinematic

☒ NAD83 ☐ ITRF

- The epoch will be the same as the GPS data.
- A UTM zone will be calculated from the longitude.

Vertical datum

CGVD2013

Contribute to passive control maintenance? [\(What is this?\)](#)

☐ Authorize the Canadian Geodetic Survey to archive and publish CSRS-PPP submission and solution

Official Canadian federal or provincial geodetic marker number

More options

[OTL File \(Who should use this file?\)](#)

Dosya seçilmedi

RINEX observation file(s), 300 MB max (.zip, .gz, .Z, .tar, .?O)

Note: You may submit multiple RINEX files in a single .zip or .tar archive

Dosya seçilmedi

☐ Remove plots from CSRS-PPP solution PDF report [\(Why?\)](#)

Şekil 4.3. CSRS-PPP servisi ekran görüntüsü

4.3.3. GAMIT-GLOBK

Yazılım MIT (Massachusetts Institute of Technology), Scripps Oşinografi Enstitüsü ve Harvard Üniversitesi tarafından Ulusal Bilim Vakfı'nın desteğiyle geliştirilmiştir. UNIX işletim sistemi üzerinde çalışan GAMIT, atmosferik etkiler, saat hataları ve yörünge parametreleri gibi faktörleri dikkate alarak GNSS verilerini işleyerek yüksek hassasiyetle konum belirlemek için kullanılır. GNSS verilerinin mm düzeyinde doğrulukla analiz edilmesini sağlayarak yer bilimlerinde çok hassas ölçümler yapılmasına olanak tanır. GAMIT yazılımı faz ölçülerini kullanarak ikili farklar yöntemi ile, nokta konumu, uydu yörünge parametreleri, atmosferik gecikme parametreleri, taşıyıcı dalga faz belirsizliği gibi bilgilerin kestirimini yapmaktadır (Herring vd., 2006). Ek olarak GAMIT/GLOBK dünya çapında birçok üniversite ve araştırma enstitüsü tarafından tercih edilmektedir. Bu yazılım, tektonik plaka hareketlerinin incelenmesi, deprem aktivitesi gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 4.1. Çevrimiçi servislerin karşılaştırılması (Bahadır ve Üstün, 2014)

Konumlama Yaklaşımı	Servis	Kuruluş	Kullandığı Yazılım	Desteklediği UyduVerisi	Web Sayfası	Veri Aralığı
Bağıl	AUSPOS	Geoscience Australia	Bernese GNSSv5.2	GPS	https://gnss.ga.gov.au/auspos	30 s
Mutlak	CSRS-PPP	Natural Resources Canada	CSRS-PPP	GPS, GLONASS, GALILEO	https://webapp.csrscs.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php	30 s
Bağıl	GAMIT-GLOBK	MIT	GAMIT	GPS, GLONASS, GALILEO	https://geoweb.mit.edu/gg/	İsteğe Bağlı

5. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

5.1. Ölçü Süresi ve Konum Doğruluğu Arasındaki İlişkinin Modellenmesi

Ölçüm süresi ve KOH değeri arasındaki ilişkilerin incelenmesi amacıyla veriler 0-1, 1-4, 4-7 ve 7-11 saat olarak dört gruba ayrılmıştır. Bu gruplara ek olarak, çalışma alanının yakınında 24 saatlik gözlem süresine sahip 5 CORS-TR noktası bulunmaktadır.

AUSPOS yazılımında 60 dakikadan daha kısa süreli ölçümler için sonuç elde edilememiştir. Bu nedenle AUSPOS için geliştirilen modelde 60 dakikaya kadar sonuçlar elde edilememektedir. Yazılımlardan elde edilen KOH değerleri grafik üzerinde çizilmiş ve genel yapısının,

$$y = \frac{a}{t^b} \quad (5.1)$$

fonksiyonuna uyduğu görülmüştür. Bu denklemde a ve b katsayıları bilinmeyen parametreler olarak yer almaktadır. Fonksiyonun bilinmeyen parametrelerine göre kısmi türevlerinden yola çıkarak katsayılar matrisi,

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a} da & -\ln t db \end{bmatrix} \quad (5.2)$$

şeklinde her ölçü için düzenlenir. Ölçü vektörü her bileşen için;

$$\mathbf{l} = \ln(d, k, y) - \ln(a) + b * \ln(t) \quad (5.3)$$

şeklinde belirlenir. Bilinmeyenler En Küçük Kareler (EKK) yöntemi ile belirlenirse

$$\mathbf{x} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A}^{-1}) \mathbf{A}^T \mathbf{l} \quad (5.4)$$

elde edilir. Bilinmeyenler vektörünün içinde sırası ile a ve b katsayıları yer almaktadır. Ölçülerin düzeltmeleri,

$$\mathbf{v} = \mathbf{Ax} - \mathbf{l} \quad (5.5)$$

ile hesaplanır. Elde edilen katsayılar için karesel ortalama hata,

$$m_0 = \sqrt{\frac{\mathbf{v}^T \mathbf{v}}{n-u}} \quad (5.6)$$

ile belirlenir. Bu ifadede n ölçü sayısını ve u bilinmeyen sayısını ifade etmektedir. Dengeleme işlemleri sırasında a ve b katsayıları için yaklaşık değer kullanılmış ve iteratif olarak çözüm yapılmıştır. Buna göre CSRS yazılımı için;

$$\begin{aligned} \sigma_d &= 2.5946 t^{-1.036}, \\ \sigma_k &= 4.6998 t^{-1.134}, \\ \sigma_y &= 5.4945 t^{-0.927} \end{aligned} \quad (5.7)$$

ve AUSPOS yazılımı için;

$$\begin{aligned}
\sigma_d &= 0.0325 t^{-0.248}, \\
\sigma_k &= 0.0395 t^{-0.306}, \\
\sigma_y &= 0.2249 t^{-0.379}
\end{aligned}
\tag{5.8}$$

fonksiyonları elde edilmiştir (Çizelge 5.1). Modelde t dakika cinsinden ölçüm süresini temsil ederken sonuç metre cinsinden elde edilmektedir. Ayrıca elde edilen model için R^2 regresyon katsayıları hesaplanmıştır (Çizelge 5.2). Bulunan R^2 değerleri incelendiğinde özellikle PPP tekniğinde ölçü süresi ve KOH değerleri arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. CSRS için geliştirilen model,

$$\frac{1}{x} \tag{5.9}$$

ve AUSPOS için geliştirilen model

$$\frac{1}{\sqrt[3]{x}} \tag{5.10}$$

fonksiyonuna uymaktadır.

Çizelge 5.1. Oluşturulan modele ait katsayılar ve standart sapmaları

Yazılım	Bileşen	a katsayısı	b katsayısı
CSRS	D	2.5946 ± 0.3	1.036 ± 0.02
	K	4.6998 ± 0.7	1.134 ± 0.03
	Y	5.4945 ± 0.5	0.927 ± 0.02
AUSPOS	D	0.0325 ± 0.01	0.248 ± 0.05
	K	0.0395 ± 0.01	0.306 ± 0.04
	Y	0.2249 ± 0.05	0.379 ± 0.04

Çizelge 5.2. Oluşturulan modele ait R^2 katsayıları

Yazılım	Bileşen	R^2 Değeri
CSRS	D	0.8992
	K	0.8788
	Y	0.9243
AUSPOS	D	0.1387
	K	0.2900
	Y	0.3985

Elde edilen modeller ve katsayılar kullanılarak,

$$y = a \frac{t}{t^b} \quad (5.11)$$

denklemleri ile ölçü grupları için yeni değerler hesaplanmış ve ölçü grubu için elde edilen değerlerin ortalaması alınarak basitleştirilmiş katsayılar belirlenmiştir (Çizelge 5.3).

Çizelge 5.3. Basitleştirilmiş modele ait katsayılar

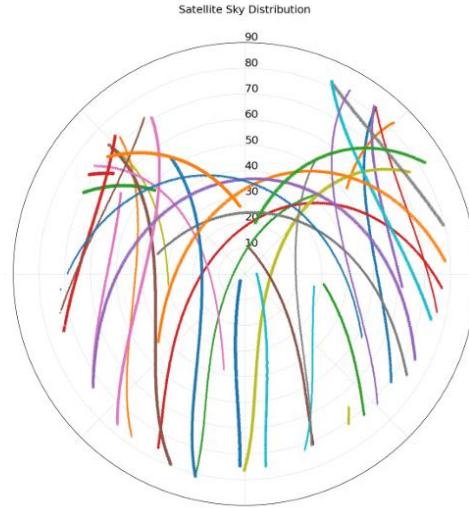
Yazılım	Süre	S model Doğu	S model Kuzey	S model Yukarı
AUSPOS		$\frac{0.05}{\sqrt[3]{t}}$	$\frac{0.05}{\sqrt[3]{t}}$	$\frac{0.05}{\sqrt[3]{t}}$
CSRS-PPPAR	5-100 dk	$\frac{5}{t}$	$\frac{5}{t}$	$\frac{9}{t}$
	100 dk-24 sa	$\frac{2}{t}$	$\frac{2}{t}$	$\frac{9}{t}$

Çizelge 5.4’de CSRS-PPP-AR servisi ile elde edilen KOH değerleri ve modeller kıyaslanmıştır. Buna göre, yukarı bileşende 20 cm seviyesinde konum doğruluğu elde etmek için 20-60 dakika, 1.5 cm seviyesinde konum doğruluğu elde etmek için 7-11 saat, mm seviyesinde konum doğruluğu elde etmek için ise 24 saat ölçüm yapılması gerektiği görülmüştür. Yatay bileşenlerde ise 1-4 saatlik ölçümler sonunda 1 cm seviyesinde doğruluk elde edilirken, 3 saatten uzun süren ölçümlerle mm düzeyinde doğruluğa ulaşılmıştır. Dawidowicz vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada yatay bileşenler için 5 cm, düşey bileşen için 10 cm seviyesinde doğruluğa 30 dakikalık ölçüler sonunda ulaşılabileceği ifade edilmiştir. Çizelge 5.4 incelendiğinde bu sonuçların yaklaşık olarak örtüştüğü görülmektedir.

Çizelge 5.4 Modellerden elde edilen KOH değerlerinin karşılaştırılması (CSRS-PPPAR) (cm)

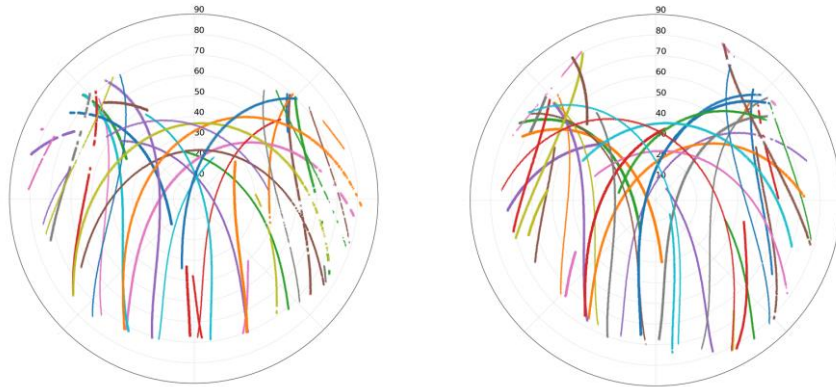
Ölçü Süresi	5-10 dk	10-20 dk	20-60 dk	1-4 sa	4-7 sa	7-11 sa	24 sa
Ortalama Ölçü Süresi	8	15	43	173	353	543	1440
Ölçü Sayısı	16	33	27	21	40	113	195
Gözlem (d, k, y)	55/86/113	21/33/53	7/13/22	0.9/0.8/3.4	0.6/0.5/2.2	0.4/0.4/1.8	0.2/0.2/0.8
Model (d, k, y)	30/44/80	16/22/45	5.0/6.0/17.0	1.2/1.4/4.6	0.6/0.6/2.4	0.4/0.4/1.6	0.1/0.1/0.6
S Model (d, k, y)	31/33/100	17/17/53	5.8/6.0/18.6	1.4/1.5/4.6	0.7/0.7/2.3	0.5/0.5/1.5	0.2/0.2/0.6

CSRS-PPP servisinden elde edilen sonuçlarda kuzey bileşene ait KOH değeri doğu bileşenine göre bir miktar daha yüksek olmaktadır. Bu durumun GNSS uydularının ekvator düzlemi ile 55-60 derecelik bir açıyla kesişmesinden dolayı 60-90 derece enlemlerinde uydu görüşünde bir boşluk oluşmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 5.1).



Şekil 5.1 ACLK noktasına ait örnek skyplot grafiği

Ek olarak ASDK ve DGAK gözlem noktaları sırasıyla 595 ve 590 dakikalık eşit süreli ölçüye sahiptir. Skyplot grafiğinde ASDK noktası için daha fazla boşluk ve kesilme vardır (Şekil 5.2). Her iki nokta yaklaşık olarak aynı sürede ölçüye sahip olmasına rağmen ASDK noktasına ait yukarı bileşeni için 2.6, DGAK noktasına ait yukarı bileşeni için 1.9 cm KOH değeri gözlemlenmiştir. DGAK noktası geliştirilen model ve ortalamaya uygun olurken ASDK noktası ortalamanın üzerinde KOH değerine sahip olmuştur. Bu durum ölçü süresi kadar uydu görünürlüğü'nün de konum belirleme doğruluğunda etkili olduğunu göstermektedir.

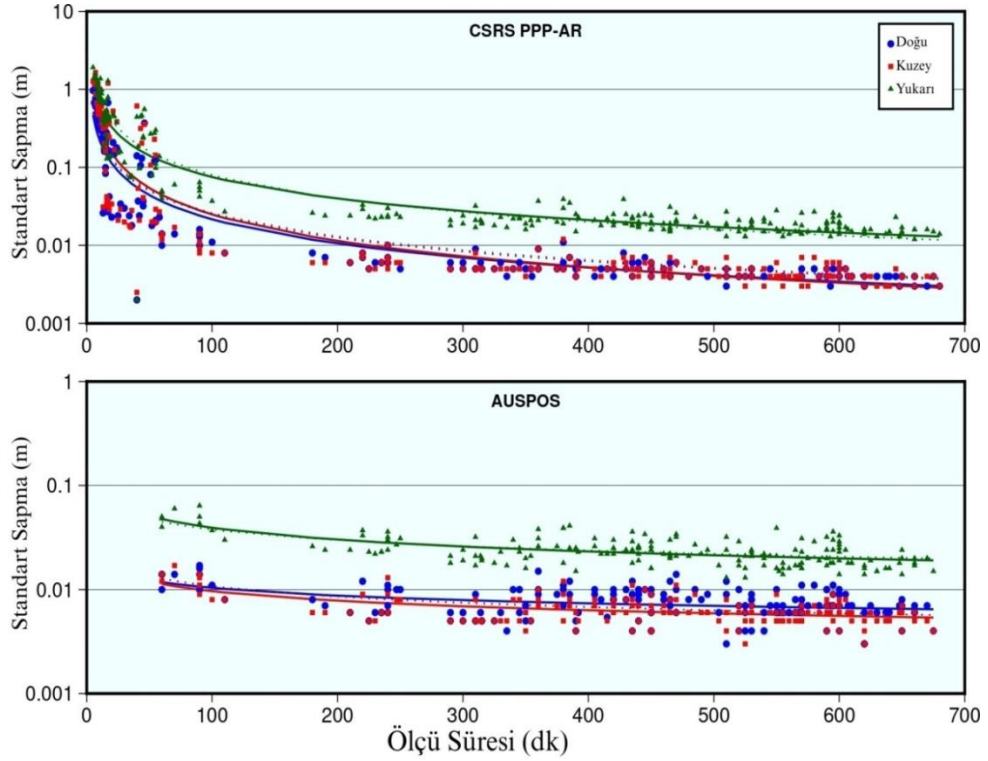


Şekil 5.2 ASDK ve DGAK isimli noktalara ait skyplot grafiği

Eckl (2001) tarafından geliştirilen model bağıl konum belirleme yöntemi için önerildiği için AUSPOS servisi için geliştirdiğimiz model ile kıyaslanmıştır (Çizelge 5.5). Buna göre geliştirilen modelden elde edilen değerler, Eckl tarafından önerilen modelden elde edilen değerlerden yaklaşık 1.5-2 kat daha yüksek olmaktadır. Yukarı bileşene ait KOH değerlerinin yatay bileşene göre 3.65 kat daha yüksek olduğunu ifade edilmektedir (Eckl, 2001). Bu oranın AUSPOS için geliştirilen modelde de yaklaşık olarak sağlandığı görülmektedir. Çizelge 5.2 ve 5.3 kıyaslandığında CSRS-PPP-AR servisinin AUSPOS servisine göre genel anlamda daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Ayrıca her iki servis için ve geliştirilen modeller için en iyi sonuçların 24 saatlik ölçü grubunda elde edildiği görülmüştür. Ölçüler sonucunda elde edilen KOH değerleri ile modeller yardımıyla hesaplanan değerler grafik olarak gösterilmiştir (Şekil 5.3).

Çizelge 5.5 Modellerden Elde Edilen KOH Değerlerinin Karşılaştırılması (AUSPOS) (cm)

Ölçü Süresi	5–10 dk	10–20 dk	20–60 dk	1–4 saat	4–7 saat	7–11 saat	24 saat
Ortalama Ölçü Süresi	8	15	43	173	353	543	1440
Ölçü Sayısı	16	33	27	21	40	113	195
Gözlem (d, k, y)	-	-	-	1.0/0.9/3.4	0.8/0.6/2.5	0.7/0.6/2.1	0.5/0.4/1.1
Model (d, k, y)	-	-	-	0.9/0.8/3.1	0.8/0.7/2.4	0.7/0.6/2.1	0.5/0.4/1.4
S Model (d, k, y)	-	-	-	0.9/0.9/3.1	0.7/0.7/2.8	0.6/0.6/2.5	0.4/0.4/1.8
Eckl (d, k, y)	-	-	-	0.6/0.6/2.1	0.4/0.4/1.5	0.3/0.3/1.2	0.2/0.2/0.7



Şekil 5.3 Ölçü süresi ve KOH değeri arasındaki ilişkiye ait grafikler

5.2. Tekrarlanabilirliklerin İncelenmesi

Arazi çalışmaları kapsamında 23 noktada 2, 6 noktada 3 ve 1 noktada 4 tekrar olmak üzere toplam 30 noktada tekrarlı gözlem yapılmıştır. Veriler AUSPOS, CSRS servisleri ve GAMIT/GLOBK yazılımı kullanılarak analiz edilmiştir. Koordinat tekrarlanabilirliğini karşılaştırmak için, tüm yazılım paketlerinden elde edilen sonuçların ağırlıklı ortalamaları ve standart sapmaları geliştirilen model kullanılarak hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma yapabilmek için 5.1 bölümünde anlatılan modeller ile ölçü için KOH değeri hesaplanmış ve elde edilen değerler ile

$$P = \frac{\sigma_0^2}{\sigma_1^2} \quad (5.9)$$

eşitliğinden yola çıkılarak ağırlıklar belirlenmiştir.

Koordinatların tekrarlı ortalamasını hesaplamak için,

$$\frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot p_i}{\sum_{i=1}^n p_i} \quad (5.10)$$

denklemini kullanılmıştır.

Koordinatların ağırlıklı standart sapmalarını belirlemek için,

$$\frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ort} - x_i)^2 \cdot p_i}{n-1}}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n p_i}} \quad (5.11)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır.

Eşitliklerde,

p_i : ağırlığı,

σ_0^2, σ_1^2 : birim ölçünün standart sapmasını,

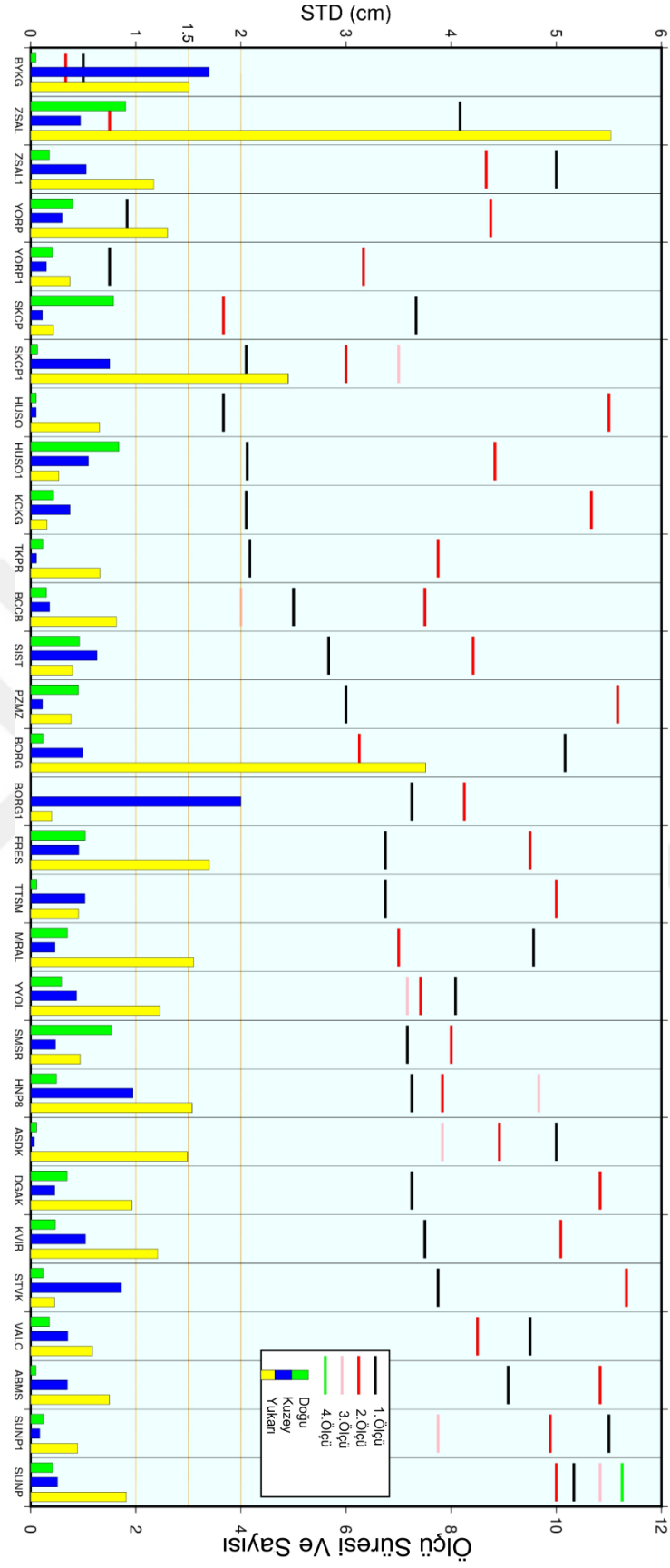
x_i : noktanın koordinatlarını (metre),

n : ölçü sayısını,

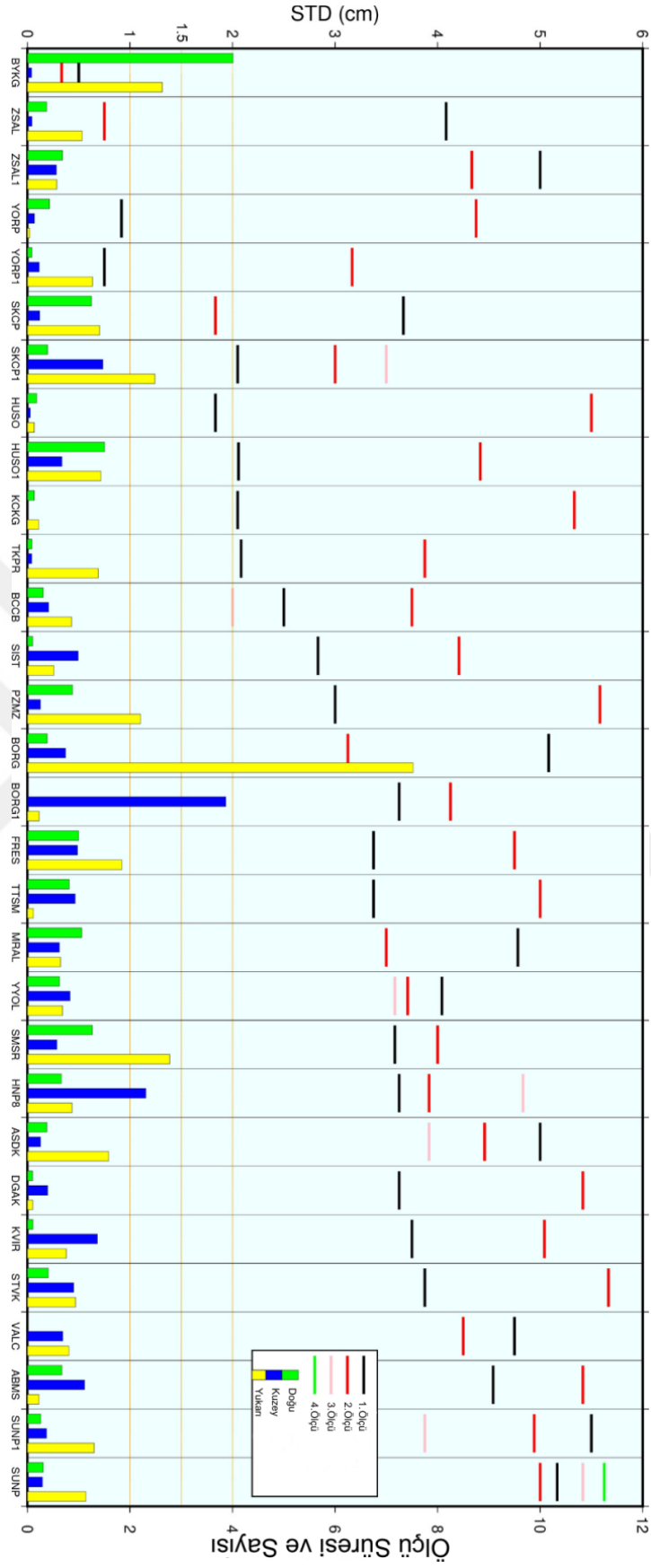
ifade etmektedir.

Standart sapmalar tüm yazılımlar için genellikle 1.5 cm'den küçük olmuştur. Standart sapmalar incelendiğinde, yukarı bileşendeki standart sapmaların diğer bileşenlerden daha yüksek olduğu, ancak bazı noktalarda yatay bileşenlerdeki standart sapmaların yukarı bileşenden daha yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 5.4 ve 5.5). Yatay bileşenin standart sapmasının bazı noktalarda yukarı bileşenden daha yüksek olmasının noktalardaki tekrar sayısının az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca ZSAL ve BYKG noktalarında AUSPOS sonuçları ile hesaplanan standart sapma değerleri diğer yazılımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu noktalardaki ölçü sürelerinin 1-1.5 saat kadar kısa olduğu görülmektedir (Şekil 5.3).

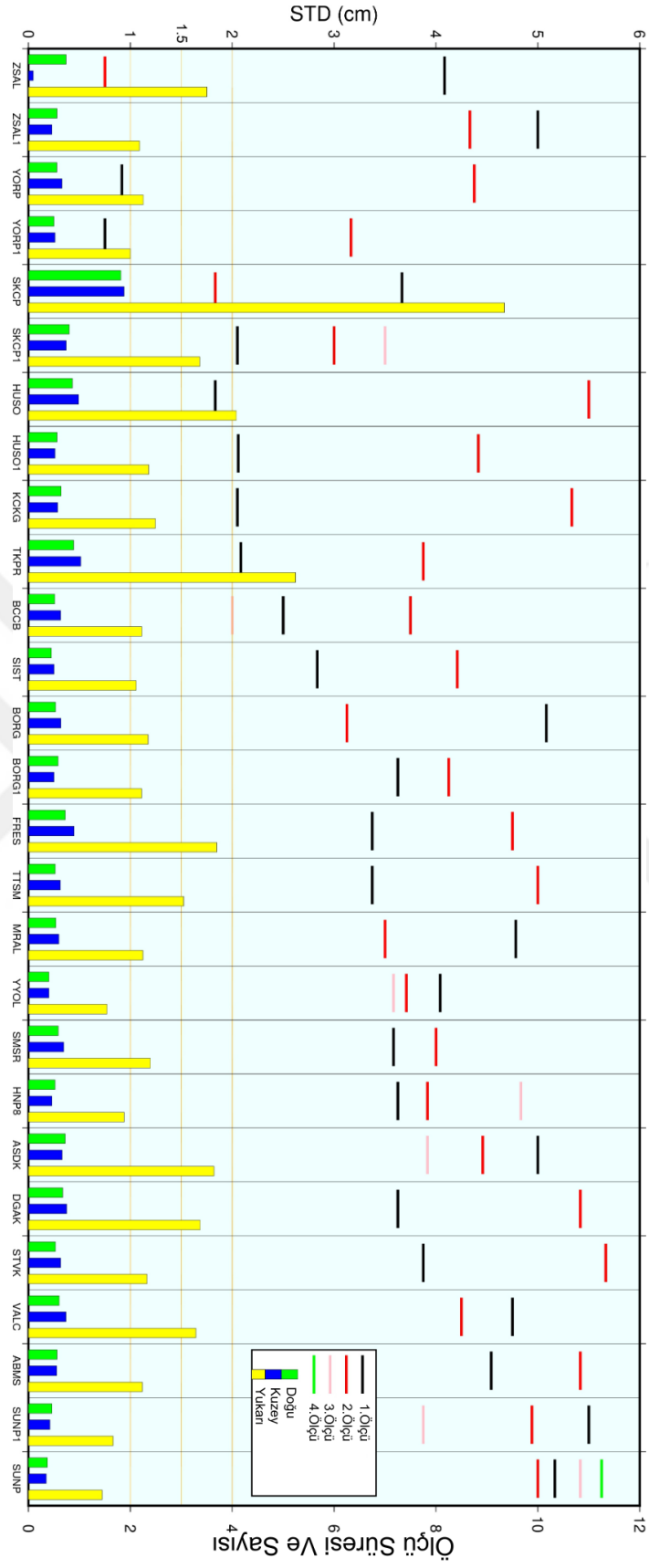
GAMIT yazılımı ile elde edilen sonuçlarda ise tüm noktalarda yukarı bileşene ait standart sapma değerinin yatay bileşenlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. 8 saat ve üzerinde ölçü süresine sahip 3 ve daha fazla tekrarlı ölçüsü bulunan noktalarda standart sapma değerleri 1 cm'nin altında olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.6). Farklı kampanya dönemlerinde yerel noktalara ek olarak TUSAGA-Aktif noktalarına ait veriler de değerlendirilmiştir. Kampanya bazlı olarak TUSAGA-Aktif noktalarının tekrarlanabilirlikleri incelendiğinde tüm dönemlerde standart sapma değerlerinin mm seviyesinde olduğu belirlenmiştir (Şekil 5.7).



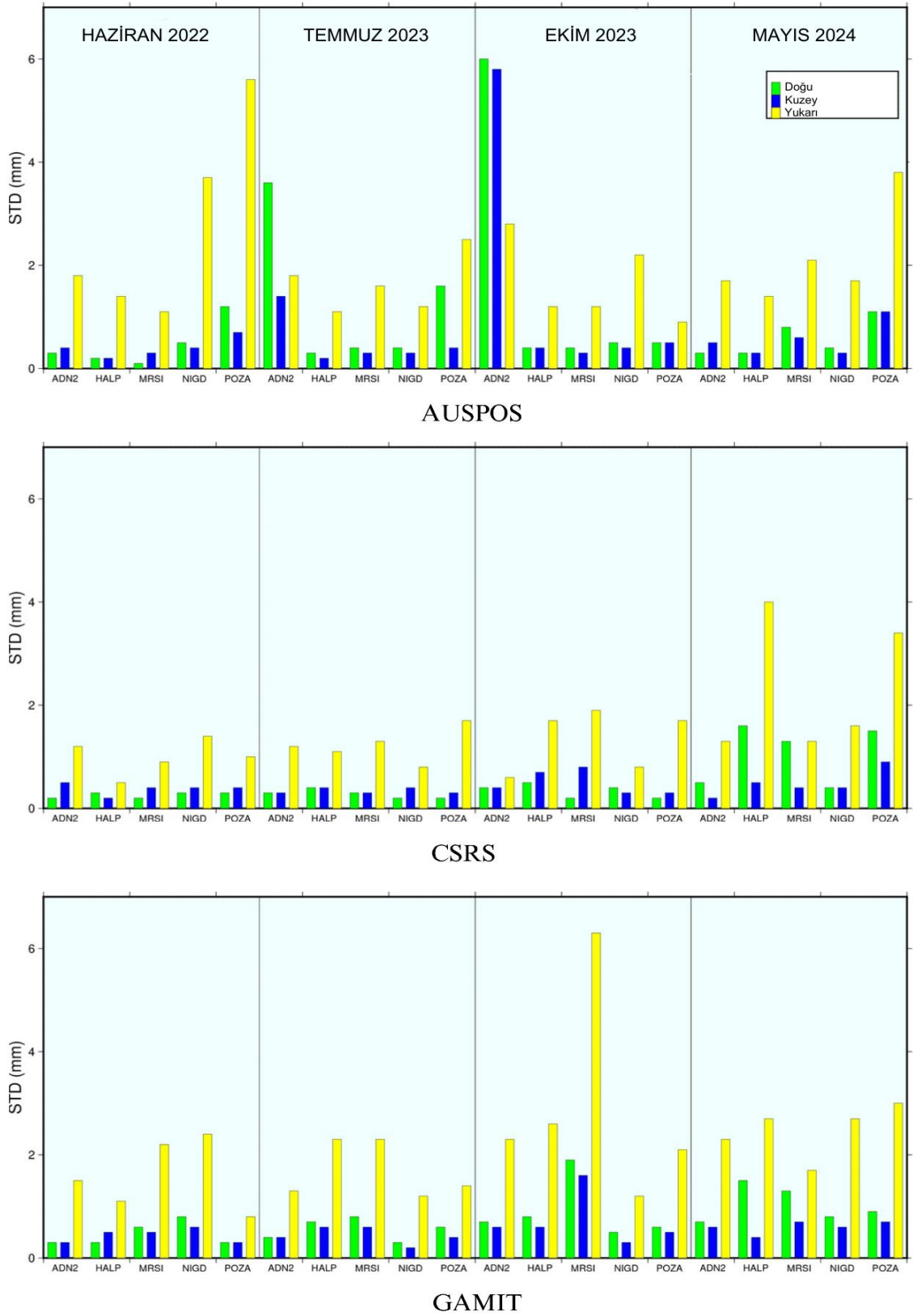
Şekil 5.4 AUSPOS Yazılımından elde edilen sonuçların ağırlıklı standart sapmalarına ait grafik



Şekil 5.5 CSRS Yazılımından elde edilen sonuçların ağırlıklı standart sapmalarına ait grafik



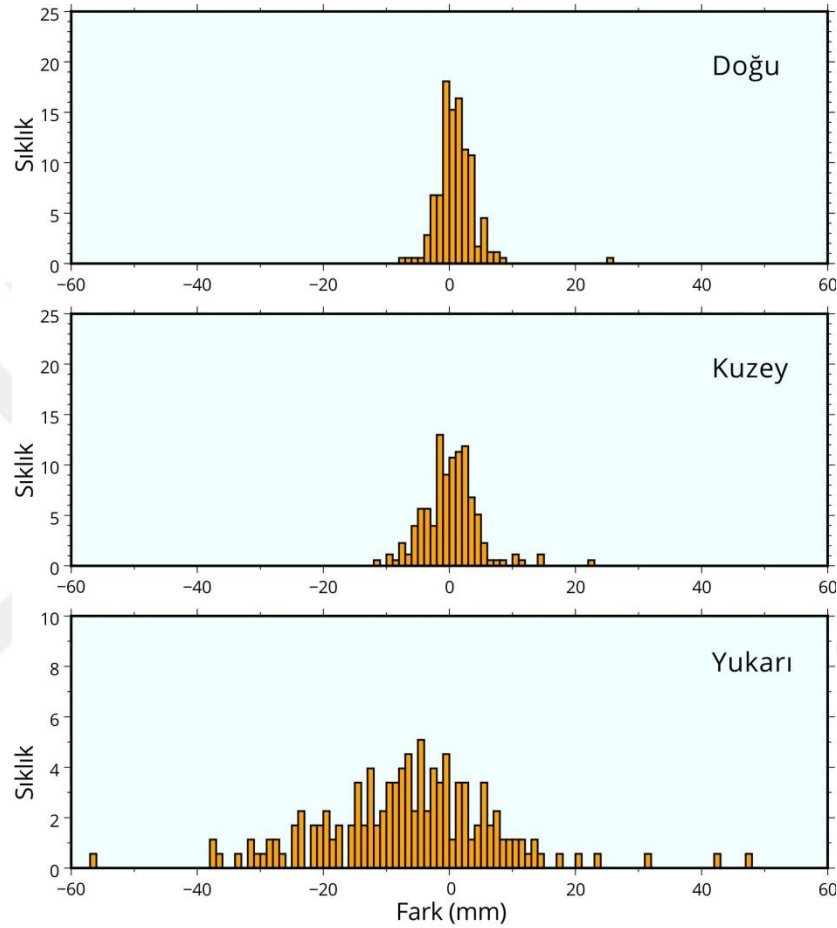
Şekil 5.6 GAMIT Yazılımından elde edilen sonuçların ağırlıklı standart sapmalarına ait grafik



Şekil 5.7 Yazılımlar arasında TUSAGA-Aktif noktalarına ait Tekrarlanabilirliklerin grafiği

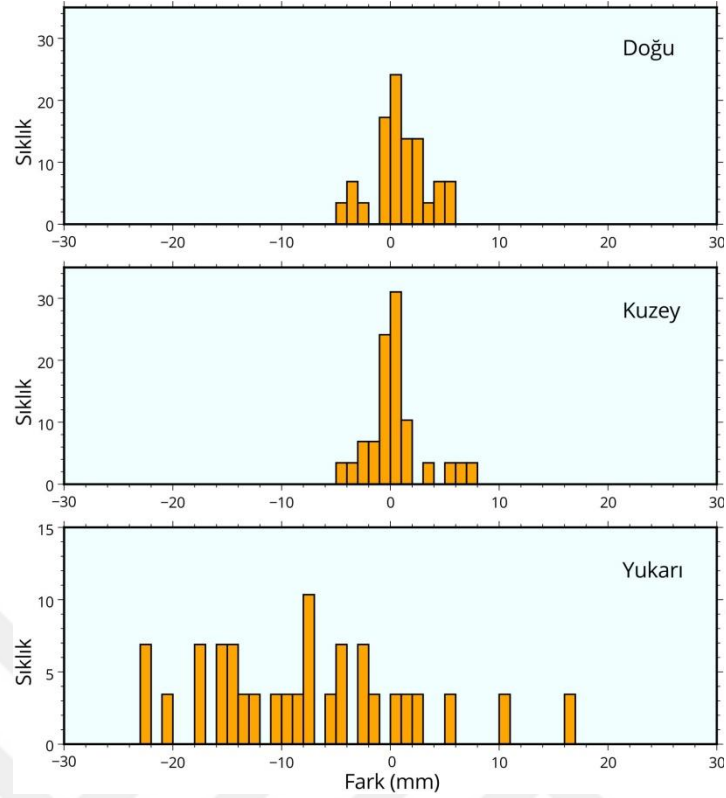
5.3. Yazılımlar Arasında Koordinat Farklarının İncelenmesi

Yazılımlar arasındaki koordinat farklarını belirlemek için AUSPOS-CSRS koordinat farkları hesaplanmıştır. Şekil 5.8’de doğu ve kuzey bileşenlerinin normal dağılımlı olduğu ve çarpıklık olmadığı, ancak yukarı bileşeninde pozitif yönlü çarpıklık olduğu görülmektedir.



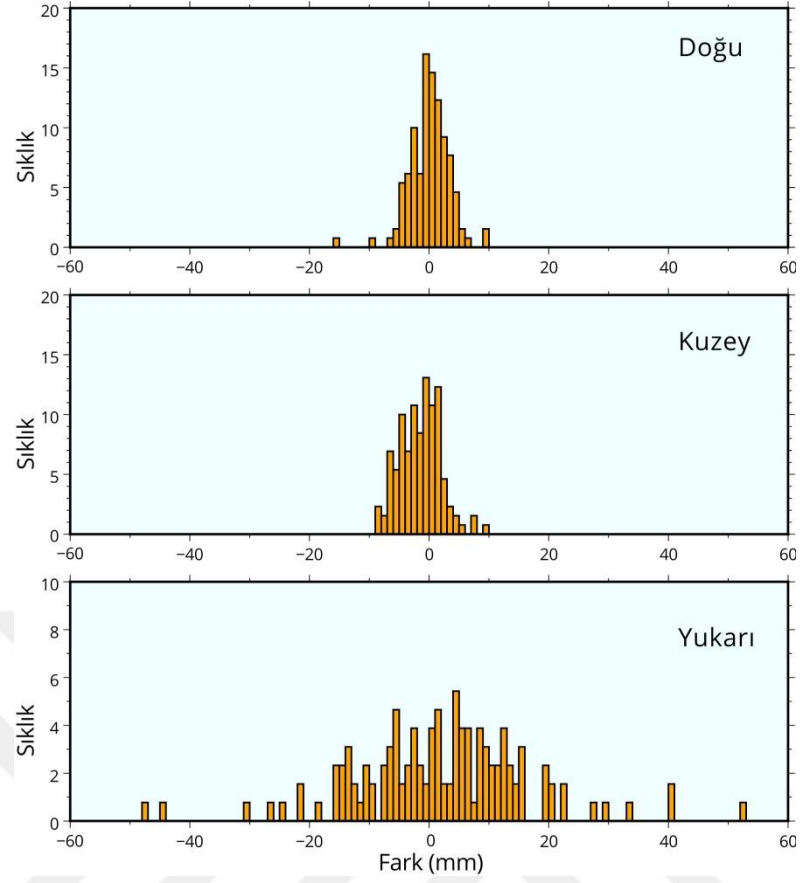
Şekil 5.8 AUSPOS-CSRS yazılımları arasındaki koordinat farklarına ait histogram

Elde edilen model yardımıyla tekrarlanan noktaların ve farkların ağırlıklı ortalaması yeniden hesaplanmış ve ardından yeniden bir histogram oluşturulmuştur. Sonuç olarak Şekil 5.9’da, doğu ve kuzey bileşenlerinin yine normal dağılımlı olduğu, yukarı bileşeninde ise pozitif yönlü kayıklık olduğu görülmüştür. Ayrıca ortalama alınarak elde edilen farkların normal farklara göre minimum ve maksimum değerinin daha düşük olduğu anlaşılmıştır (Çizelge 5.5).

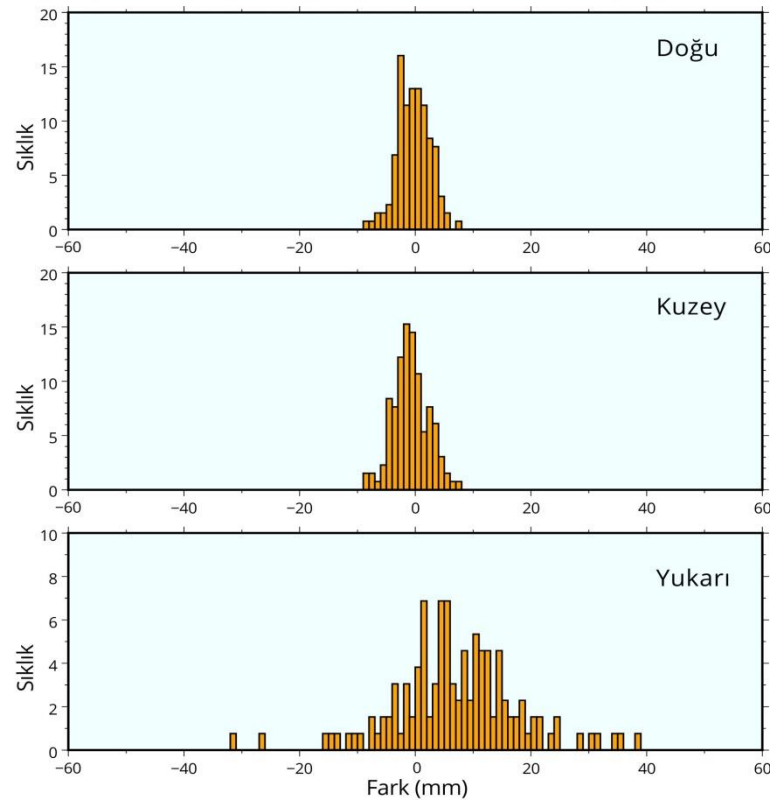


Şekil 5.9 AUSPOS-CSRS yazılımları arasındaki ağırlıklı ortalama ile elde edilen koordinat farklarına ait histogram

Yukarı bileşenindeki bu çarpıklığın nedenini anlamak için GAMIT yazılımından elde edilen çözümlerle AUSPOS ve CSRS-PPPAR arasındaki farklar alınmıştır. Şekil 5.10 ve 5.11’de elde edilen sonuçlar incelendiğinde AUSPOS-GAMIT arasındaki farkların normal dağılımlı olduğu (Şekil 5.10), CSRS-PPPAR ve GAMIT çözümleri arasında CSRS-PPPAR ve AUSPOS farklarına benzer bir durumun olduğu görülmektedir. Dolayısıyla çözümler arasındaki kayıklığın sıfır ve çift fark çözümünden kaynaklandığı düşünülmektedir.

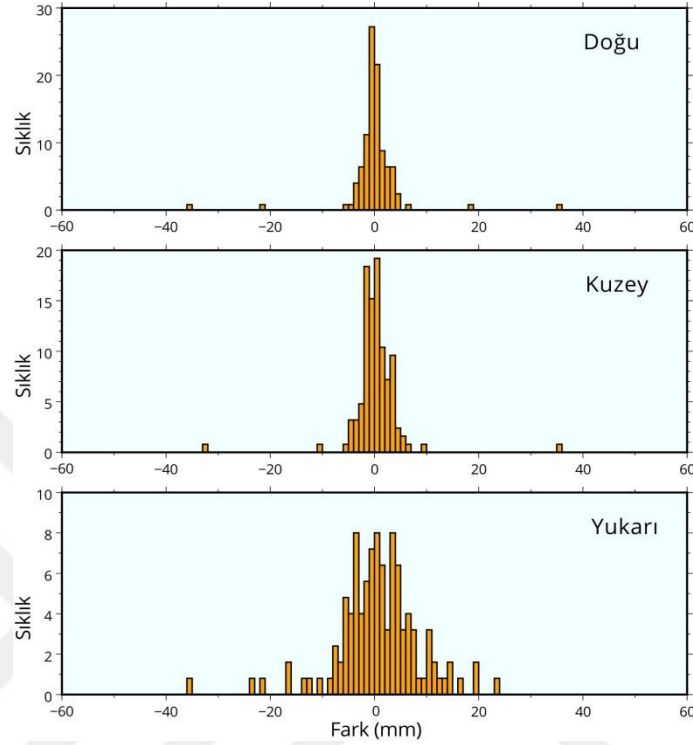


Şekil 5.10 AUSPOS-GAMIT yazılımları arasındaki koordinat farklarına ait histogram



Şekil 5.11 CSRS-GAMIT yazılımları arasındaki koordinat farklarına ait histogram

Bu incelemelere ek olarak GAMIT yazılımında GPS ve GNSS yöntemleri ile yapılan çözümlere ilişkin farklar da Şekil 5.12'deki histogram üzerinde incelenmiş ve farkların normal dağılımlı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.12 GAMIT GNSS - GPS çözümleri arasındaki koordinat farklarına ait histogram

AUSPOS ve CSRS-PPP yazılımlardan elde edilen koordinat farkları için istatistik bilgileri hesaplanmıştır (Çizelge 5.6). Elde edilen değerler incelendiğinde yukarı bileşendeki farkların doğu ve kuzey bileşendeki farklara göre daha geniş aralığa sahip olduğu görülmüştür. Bu durum yukarı bileşenin yatay bileşenlere göre daha değişken olduğunu göstermektedir. Yukarı bileşendeki ortalama ve ortanca değerlerinde 7 mm fark iki yazılım arasında sistematik fark olduğunu ifade etmektedir. Standart sapma ve KOH değerleri arasında farkın olması da sistematik bir hatanın varlığını desteklemektedir. Ağırlıklı ortalamalardan elde edilen farklar için fark aralıklarının dağılımının azaldığı ortalama ve ortancadaki farkın benzer şekilde devam ettiği görülmüştür.

Çizelge 5.6. AUSPOS-CSRS yazılımları arasındaki koordinat farkları (mm)

İstatistik	Fark			Ağırlıklı Ortalama Farkları		
	D	K	Y	D	K	Y
Minimum	-8	-12	-57	-4	-4	-23
Maksimum	25	22	47	6	7	16
Ortalama	1	0	-7	1	0	-8
Ortanca	0	0	-7	1	0	-8
KOH	3	4	16	3	3	12
STD	3	4	14	2	3	10

AUSPOS ve GAMIT ve CSRS-GAMIT yazılımları arasındaki farklar içinde istatistik bilgileri belirlenmiştir (Çizelge 5.7). Her iki veri arasında yukarı bileşene ait farkların yatay bileşene göre daha geniş aralıkta yayıldığı görülmektedir. AUSPOS-GAMIT arasında ortalama ve ortanca değerine bakıldığında 1-2 olduğu ve CSRS-GAMIT arasında ortalama ve ortanca değere bakıldığında 7-6 mm olduğu görülmektedir. Bu durumda CSRS-GAMIT yazılımları arasında yaklaşık 7 mm sistematik kayıklığın olduğu görülmektedir. AUSPOS-CSRS ve CSRS-GAMIT yazılımları arasında benzer şekilde 7 mm fark olması bağıl yöntem ile mutlak yöntem arasında sistematik fark olabileceği sonucuna işaret etmektedir. Yine CSRS-GAMIT yazılımları arasında standart sapma ve KOH değerleri arasında fark olması sistematik farklılığın varlığını göstermektedir.

Çizelge 5.7. AUSPOS-GAMIT ve CSRS-GAMIT yazılımları arasındaki koordinat farkları (mm)

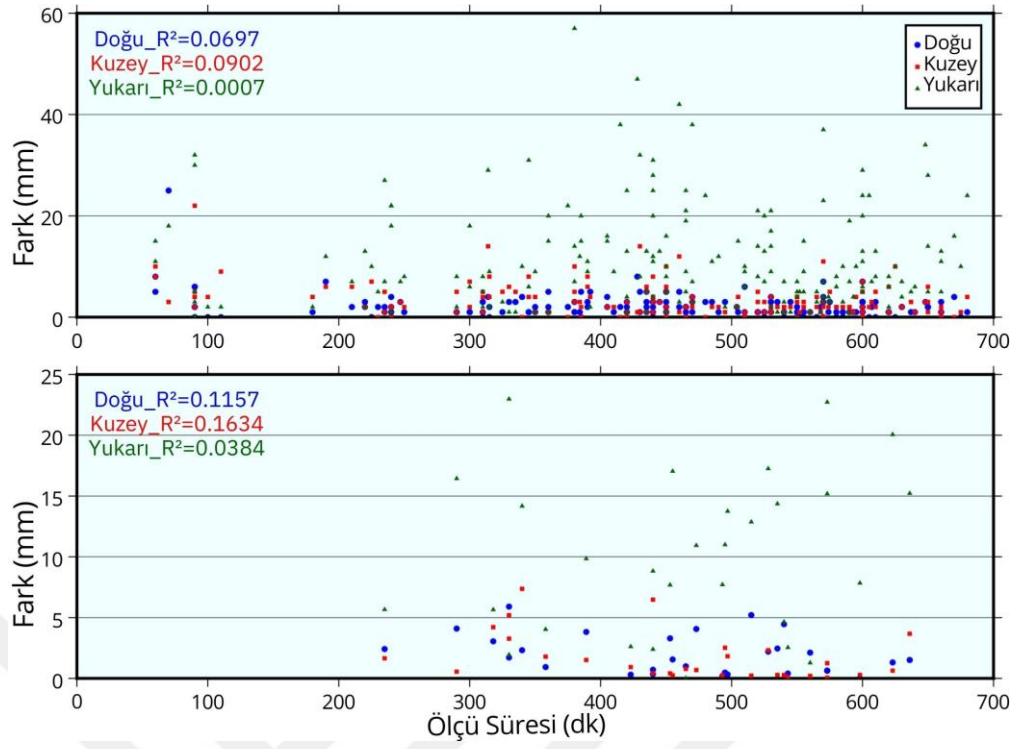
İstatistik	AUSPOS-GAMIT			CSRS-GAMIT		
	D	K	Y	D	K	Y
Minimum	-15	-9	-65	-9	-9	-32
Maksimum	10	10	53	7	7	39
Ortalama	0	2	1	0	0	7
Ortanca	0	-1	2	0	1	6
KOH	3	4	16	3	3	14
STD	3	3	16	3	3	11

Bağıl ve mutlak çözüm yapan yazılımlar arasındaki karşılaştırmaya ek olarak GAMIT yazılımının GNSS ve GPS çözümleri arasında da istatistik karşılaştırılması yapılmıştır (Çizelge 5.8). Buradaki sonuçlar incelendiğinde tüm koordinat bileşenleri arasında koordinat farklarının benzer aralıkta yayıldığı görülmektedir. Ortalama ve ortanca değerlerinin 0 olması çözümler arasında sistematik etkinin olmadığını göstermektedir. KOH ve standart sapma değerlerinin birbirine eşit olması da sistematik etkinin olmadığını ifade etmektedir.

Çizelge 5.8. GAMIT GNSS- GAMIT GPS Sonuçları Arasındaki Koordinat Farkları (mm)

İstatistik	GNSS-GPS		
	D	K	Y
Minimum	-36	-33	-35
Maksimum	36	36	23
Ortalama	0	0	1
Ortanca	0	0	0
KOH	6	5	8
STD	6	5	8

Ayrıca farkların zaman ile ilişkisini incelemek için R^2 değerleri hesaplandığında kuzey, doğu ve yukarı bileşenleri için sırasıyla 0.0697, 0.0902 ve 0.0007 olarak hesaplanmıştır. Tekrarlanan noktalardaki ağırlıklı ortalamaların farkları için R^2 değerleri yeniden hesaplandığında, değerler doğu, kuzey ve yukarı bileşenleri için sırasıyla 0.1157, 0.1634 ve 0.0384 olarak bulunmuştur. Karşılaştırmalar sonucunda farkların zaman ile ilişkili olmadığı görülmüştür. Yapılan incelemeler için ilgili grafik Şekil 5.13'te verilmiştir.



Şekil 5.13 AUSPOS-CSRS çözümleri arasındaki koordinat farklarının zamanla ilişkisine ait grafik

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu bölümde çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve sonraki çalışmalar için tavsiyelerde bulunulmuştur.

6.1. Sonuçlar

Bu tez çalışması, GNSS ölçülerinden faydalanarak farklı gözlem süreleriyle elde edilen konum verilerinin çevrimiçi veri işleme servisleri (AUSPOS ve CSRS-PPP) üzerinden değerlendirilmesi ve bu sonuçların doğruluk, tekrarlanabilirlik ve hata modellemesi açısından karşılaştırılması amacıyla gerçekleştirilmiştir. Çalışmada TÜBİTAK 120Y246 no'lu proje kapsamında 18-30 Haziran 2022, 16-26 Temmuz 2023, 22-28 Ekim 2023 ve 18-26 Mayıs 2024 tarihleri arasında toplanan toplam 250 statik GNSS ölçüsünden yararlanılmış, farklı gözlem süresi grupları, tekrarlı ölçüm noktaları ve çeşitli yazılım platformları karşılaştırılmıştır. Araştırma kapsamında elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda ayrıntılı olarak özetlenmiştir.

Çalışma kapsamında gözlem süresi ile konum doğruluğu arasında güçlü bir ilişki olduğu ortaya konmuştur. Elde edilen bulgular, GNSS ölçü süresinin artmasının hem yatay hem de düşey konum bileşenlerinde hata seviyelerini önemli ölçüde düşürdüğünü göstermiştir. Özellikle yukarı bileşende, kısa süreli ölçümlerle elde edilen sonuçların hatalarının daha yüksek olduğu; ancak uzun süreli gözlemlerle bu farkın kapandığı tespit edilmiştir. CSRS servisi kullanılarak yapılan değerlendirmelerde, 1–3 saatlik verilerle yatay doğruluk için santimetre düzeyine ulaşılabildiği; 3–7 saatlik verilerle ise mm seviyesinde doğruluğa erişilebildiği görülmüştür. Yukarı bileşen için 1.5 cm'lik doğruluğa 7–11 saat aralığında, mm seviyesine ise yalnızca 24 saatlik gözlemlerle ulaşılabilmektedir. AUSPOS servisi ile CSRS-PPP servisinden elde edilen değerler kıyaslandığında CSRS servisi görece biraz daha iyi sonuçlar vermiştir. Tüm bileşenler incelendiğinde en iyi sonuçların 24 saatlik ölçümlerde elde edildiği görülmüştür. Bu sonuç, GNSS kullanıcılarının gözlem süresi planlamasını yaparken dikkat etmeleri gereken kritik bir husus olarak değerlendirilmektedir.

Tekrarlı ölçü yapılan noktalara ait sonuçlar, farklı yazılımlar için incelenmiş ve tekrarlanabilirlik açısından analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, GNSS ölçümlerinin tekrarlı yapıldığında genellikle 1.5 cm'nin altında standart sapmalarla yüksek tekrarlanabilirlik sağladığını göstermiştir. Ancak bazı kısa süreli ve düşük sinyal kalitesine sahip ölçümlerde özellikle yukarı bileşende sapmaların arttığı ve bu durumun

sonuçların güvenilirliğini etkilediği gözlemlenmiştir. 8 saat ve daha uzun süreli 3 tekrar yapılması durumunda noktaya ait standart sapma 1 cm'nin altına düşmektedir.

Yazılımlar arasında koordinat farklarının dağılımı analiz edildiğinde, doğu ve kuzey bileşenlerinde farkların genel olarak normal dağılıma uyduğu, ancak yukarı bileşende pozitif yönde bir çarpıklık olduğu görülmüştür. Yazılımlar arasındaki kayıklıkların bağıl ve mutlak konum çözümlerinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Ağırlıklı ortalamalar alınarak yapılan fark analizlerinde, yukarı bileşende sistematik bir sapma olduğu, ancak farkların zamanla değişmediği, dolayısıyla sistem kaynaklı bir farklılık olduğu belirlenmiştir. AUSPOS-CSRS, AUSPOS-GAMIT ve CSRS-GAMIT yazılımları arasında istatistik bilgileri incelendiğinde AUSPOS-CSRS ve CSRS-GAMIT yazılımları arasında yaklaşık 7 mm kayıklık olduğu görülmüştür. Bu durumun servislerin kullandığı yöntemden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Bu tezde geliştirilen fonksiyonel modeller, ölçü süresine göre GNSS koordinat doğruluğunu öngörebilen matematiksel araçlar sunmaktadır. CSRS ve AUSPOS servisleri için oluşturulan hata fonksiyonları sayesinde, bir kullanıcı planladığı gözlem süresiyle hangi doğruluk seviyelerine ulaşabileceğini önceden tahmin edebilecektir. Bu modeller, özellikle harita mühendisliği, inşaat projeleri, deformasyon takibi ve CBS uygulamaları gibi alanlarda saha planlamasını daha etkin hale getirebilir.

Sonuç olarak bu çalışmada, çevrimiçi GNSS servislerinin performansları ölçü süresine göre değerlendirilmiş ve kullanıcıların daha bilinçli tercihler yapabilmesi için analizler sunulmuştur. Elde edilen bulgular, GNSS teknolojisinin pratik uygulamalarındaki potansiyelini ve sınırlarını göstermekte; aynı zamanda kısa süreli ölçümlerle yapılan çalışmaların dikkatle ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

6.2. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen bulgulara göre düşey bileşenlerde mm seviyesinde doğruluğa ulaşmak için 24 saat süreli ölçüler yapılması gerekmektedir. Yukarı bileşene ait hata değerleri diğer bileşenlere göre daha yüksek olmaktadır. Bu sebeple hassas koordinatlar elde etmek için aynı noktada 8 saatten uzun olacak şekilde 3-4 tekrarlı ölçü yapılmalı ve ağırlıklı ortalama ile standart sapmaları hesaplanmalıdır. Bazı noktalardaki beklenmeyen sapmaların gözlemlenmesi çevresel etkilerden (sinyal etkileyici unsurlar, kalabalık ortamlar) kaynaklanmaktadır. Bunun için nokta yerinin seçiminde açık uydu görüşüne sahip, yansıma etkilerden (multipath) uzak ve sakin yerler tercih edilmelidir. Gelecek çalışmalarda farklı yazılımlardan elde edilecek koordinatlar ile baz farkları

belirlenerek ölçü süresinin baz farklarına etkileri incelenebilir. 14.05.2025 tarihinden itibaren CSRS-PPPAR servisinin GALILEO uydu verilerini de çözümlere dahil etmesinden dolayı GPS+GLONASS VE GALILEO verisine sahip ölçüler ile CSRS servisi için yeni bir ölçü süresi- KOH değeri arasındaki ilişki modeli geliştirilebilir ve GALILEO verilerinin bu ilişkiye etkisi değerlendirilebilir. Bu çalışmada statik GNSS ölçüleri kullanılarak analizler yapılmıştır. Gelecek çalışmalarda kinematik ölçülerden yararlanılarak benzer analizler ve çalışmalar yapılabilir.



KAYNAKLAR

- Abdulla H., 2016, İnternet Tabanlı GNSS Veri Değerlendirme Servislerinin Irak-Duhok Bölgesi İçin Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Akpınar, B. 2023. Positioning Performance of GNSS-PPP and PPP-AR Methods for Determining the Vertical Displacements. *Survey Review*, 55(388), 68-74.
- Alcay, S., Inal, C., & Yigit, C. O., 2012, Contribution of GLONASS Observations on Precise Point Positioning. In FIG working week, 6-10.
- Alçay S., ve İmren H. İ., 2017, OPUS ve AUSPOS Web-Tabanlı GPS Değerlendirme Servislerinin Farklı Gözlem Süreleri İçin Doğruluk Performanslarının İncelenmesi, Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 6, Sayı 2 , 452-466.
- Alkan, R. M., Ozulu, İ., İlçi, V. 2017, Klasik GNSS Veri Değerlendirme Yazılımlarına Alternatif Olarak Web-tabanlı Online Değerlendirme Servisleri. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 17, Sayı 2, 603-619.
- Arıkan D., ve Abbak A., 2019, Elipsoid al Yükseklik Değişiminin Hassas Nokta Konumlamaya Etkisi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 1, Sayı 19, 140-151.
- Aselsan, <https://www.aselsan.com/tr/blog/detay/364/gnss-uydu-tabanli-duzeltme-sistemi>, Erişim tarihi: 13.05.2025
- AUSPOS, <https://gnss.ga.gov.au/auspos>, Erişim tarihi:13.05.2025
- Bahadır B, ve Üstün A., 2014, İnternet Tabanlı GNSS Veri Değerlendirme Servisleri, *Harita Dergisi*, Sayı 152, 40-50.
- Banville S., 2020, CSRS-PPP Version 3: Tutorial, Canadian Geodetic Survey, Surveyor General Branch, Natural Resources Canada.
- Berber M., Üstün A., Yetkin M., 2017, Static and kinematic PPP using online services: a case study in Florida, *Journal of Spatial Science*, Volume 62, Issue 2, 337-352.
- Bezicioğlu, M., Yiğit, C. Ö., & Bodur, M. N. (2019). Kinematik PPP-AR ve Geleneksel PPP Yöntemlerin Performanslarının Değerlendirilmesi: Antarktika Yarımadası Örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19(1), 162-169.
- Bilgen B., İnal C., 2022, GNSS Tekniği ile Düşey Yöndeki Deformasyonların Araştırılması, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 22, Sayı 3, 615-625.
- CSRS-PPPAR, <https://webapp.csrscs.nrcan-rncan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>, Erişim tarihi: 13.05.2025

- Dach, R., Lutz, S., Walser, P. ve Fridez, P., 2015, Bernese GNSS Software Version 5.2, Switzerland, Astronomical Institute, University of Bern.
- Gao, Y. and Shen X., 2001, Improving converge speed of carrier phase based Precise Point Positioning. Proceedings of ION GPS 2001, 12-14 September, Salt Lake City, Utah, pp. 1532- 1539.
- Gündüz A. M., 2019, Tusaga-Aktif Noktalarının Deformasyon Belirlemede Kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Herring, T. A., King, R. W. and Mc. Clusky, S. C., 2006, GAMIT Reference Manual. GPS Analysis at MIT, Release 10.3, Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology.
- IGS, 2025, International GNSS Service. <http://www.igs.org/>, Erişim Tarihi; 01.06.2025
- İnyurt S., Ulukavak M., 2020, Web tabanlı GNSS Yazılımlarının (CSRS-PPP, Trimble-RTX) Performansının Araştırılması, Geomatik Dergisi, Cilt 5, Sayı 2, 120-126
- Kahveci M., 2017, Kinematik GNSS ve CORS Ağları, 2. Basım, Ankara, Nobel Yayınları.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2018, GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, 10. basım, Ankara, Nobel Yayınları.
- Najmuldeen, A., 2017, Web Tabanlı GNSS Değerlendirme Servislerinde Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- NGS, 2025, <https://geodesy.noaa.gov/ANTCAL/#>, Erişim tarihi:19.06.2025
- Öcalan, T. 2015, GNSS Ağlarında GPS Hassas Nokta Konumlama (GPS-PPP) Tekniği Yaklaşımlı Çözümler, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öğütçü, S. 2020, Performance analysis of ambiguity resolution on PPP and relative positioning techniques: consideration of satellite geometry. International Journal of Engineering and Geosciences, 5(2), 73-93.
- Özbulat, Ö., Şafak Yaşar, Ş., Tiryakioğlu, İ. 2022, Hassas Nokta Konumlama Yönteminde GNSS Ölçü Süresi-Konum Doğruluğu İlişkisinin Araştırılması. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, Cilt 22, Sayı 4, 814-823.
- Özdemir, E. G. 2022, Bağıl ve Mutlak (PPP) Konum Çözüm Yaklaşımı Sunan Web-Tabanlı Çevrimiçi Veri Değerlendirme Servislerinin Farklı Gözlem Periyotlarındaki Performanslarının Araştırılması. Geomatik Dergisi, Cilt 7, Sayı 1, 41-51.

- Pırtı, A., Yazıcı, D. 2022, İnternet Tabanlı GNSS Yazılımlarının Doğruluk Açısından Değerlendirilmesi, Geomatik Dergisi, Cilt 7, Sayı 2, 88-105.
- Rizos, C., Janssen, V., Roberts, C., & Grinter, T., 2012, Precise Point Positioning: Is the era of differential GNSS positioning drawing to an end?.
- Seeber, G., 2003, Satellite geodesy: foundations, methods, and applications, Cilt 4, Walter de gruyter, Berlin New York.
- Takasu, T., 2013, RTKLIB ver. 2.4. 2 Manual. RTKLIB: An Open Source Program Package for GNSS Positioning, 29-49.
- Teunissen, P. J., & Montenbruck, O. (Eds.). 2017, Springer Handbook of Global Navigation Satellite Systems (Vol. 10, pp. 978-3). Cham, Switzerland: Springer International Publishing.
- Tiryakioğlu, İ., Güllü, M., Baybura, T., & Erdoğan, S., 2005, Gps Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması, Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu, 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 534-543.
- Uçarlı, A. C., Demir, F., Erol, S., & Alkan, R. M. 2021, Farklı GNSS Uydu Sistemlerinin Hassas Nokta Konumlama (PPP) Tekniğinin Performansına Etkisinin İncelenmesi. Geomatik, 6(3), 247-258.
- Yüksel B., 2016, Farklı Uzunluk Ve Yönlerdeki Bazlarda Bilimsel Ve Ticari GNSS Değerlendirme Yazılımlarının Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Zumberge, J. F., Heflin, M. B., Jefferson, D. C., Watkins, M. M., and Webb, F. H. 1997. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks. Journal of geophysical research: solid earth, 102(B3), 5005-5017.
- Wang, G. Q. 2013, Millimeter-accuracy GPS landslide monitoring using Precise Point Positioning with Single Receiver Phase Ambiguity (PPP-SRPA) resolution: a case study in Puerto Rico. Journal of geodetic science, 3(1), 22-31.