



## GNSS KOD (PSEUDORANGE) ÖLÇÜLERİ İLE TEK NOKTA KONUM BELİRLEME YAZILIMI: KTUN\_SPP

<sup>1</sup>Emre AYSO , <sup>2</sup>Muzaffer KAHVECİ 

*Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya,  
TÜRKİYE*

<sup>1</sup>[eayso@ktun.edu.tr](mailto:eayso@ktun.edu.tr), <sup>2</sup>[mkahveci@ktun.edu.tr](mailto:mkahveci@ktun.edu.tr)

(Geliş/Received: 07.05.2022; Kabul/Accepted in Revised Form: 27.06.2022)

**ÖZ:** Günümüzde tek frekanslı GNSS alıcıları ile konum belirleme uygulaması birçok alanda (savunma sanayi, navigasyon cihazları, akıllı kişisel cihazlar vb.) yoğun şekilde tercih edilmektedir. Diğer taraftan, yüksek doğruluk isteyen mühendislik amaçlı uygulamalarda (haritacılık, deprem tahmini ve deformasyon analizi çalışmaları, sayısal hava tahmini vb.) genel olarak çok frekanslı alıcılar ve faz gözlemleri tercih edilmektedir. Dolayısıyla, günümüzde artık akıllı telefonlar, akıllı saatler ya da konum tabanlı her türlü gerçek zamanlı navigasyon hizmetleri düşük maliyetli alıcılarla donatılmaktadır. Bu bağlamda tek frekanslı GNSS alıcılarıyla yalnızca sivil (C/A:Coarse Acquisition) kod gözlemlerinin kullanıldığı Tek Nokta (Mutlak) Konum Belirleme (SPP: Single Point Positioning) tekniğinden elde edilen doğruluğun iyileştirilmesi gerekliliği söz konusu alanlarda oldukça önemli hale gelmiştir.

Tek frekansta kod ölçüleri ile mutlak konum belirleme uygulamalarının gittikçe artan kullanım alanları nedeniyle, bu makalenin temelini oluşturan ve makale yazarına ait bir yüksek lisans tez çalışması kapsamında KTUN\_SPP (Konya Teknik Üniversitesi\_Tek Nokta Konum Belirleme) isimli GPS+Galileo özellikli bir yazılım hazırlanmıştır. Yazılım kapsamında GPS ve Galileo uydularına ait L1 ve E1 frekanslarındaki C1 kod gözlemleri kullanılarak tek nokta konum belirleme ile elde edilebilecek doğruluklar araştırılmıştır. Ayrıca kullanıcı dostu bir ara yüz tasarlanarak kullanıcıya dilediği hesaplama senaryolarını gerçekleştirebilme olanağı da sunulmaktadır. KTUN\_SPP yazılımının performansını test etmek amacıyla 7 adet IGS istasyonuna ait 24 saatlik veri setleri kullanılarak GPS, Galileo ve GPS+Galileo SPP senaryoları oluşturulmuş, elde edilen sonuçlar global ölçekte gerçek zamanlı konum belirleme için kullanılan "CenterPoint RTX Post-Processing" hizmetinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** GPS, Galileo, KTUN\_SPP

### Single Point Positioning Software with GNSS Code (Pseudorange) Observations: KTUN\_SPP

**ABSTRACT:** Nowadays, positioning application with single-frequency GNSS receivers is heavily preferred in many areas such as defense industry, navigation devices, smart personal devices, etc. On the other hand, multi-frequency receivers and phase observations are generally preferred in engineering applications that require high accuracy such as cartography, earthquake prediction and deformation analysis studies, numerical weather forecasting, etc. Therefore, today, smart phones, smart watches or any location-based real-time navigation services are equipped with low-cost receivers. In this context, it has become very important to improve the accuracy obtained from the Single Point Positioning (SPP) technique, where civilian (C/A: Coarse Acquisition) code observations are used.

Due to the increasing use of single point positioning using single-frequency code observations, a GPS+Galileo-enabled software named KTUN\_SPP (Konya Technical University\_Single Point Positioning) has been prepared within the scope of a master's thesis that forms the basis of this article.

Within the scope of the software, the accuracies that can be obtained by single point positioning were investigated by using C1 code observations at L1 and E1 frequencies of GPS and Galileo satellites. In addition, a user-friendly interface is designed to provide the user with the opportunity to perform any computation scenarios they wish. In order to test the performance of the KTUN\_SPP software, GPS, Galileo and GPS+Galileo SPP scenarios were applied using 24-hour data sets from 7 IGS stations. And the results were compared with the results obtained from the "CenterPoint RTX Post-Processing" service used for real-time location determination on a global scale.

**Keywords:** GPS, Galileo, KTUN\_SPP

## GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yirminci yüzyılın başlarında uzay çalışmalarındaki önemli gelişmeler 1980'li yıllarda Global Konum Belirleme Sistemi'nin (GPS: Global Positioning System) günlük yaşama girmesini sağlamıştır. GPS'in sivil amaçlı kullanıma açıldığı bu ilk yıllarda gerçek zamanlı üç boyutlu konum belirlemede C/A (Coarse Acquisition/ Clear Access) kod gözlemleri ile yaklaşık 150-300 metre, askeri kod olarak nitelendirilen P (Protected/Precise) kod ile ise yaklaşık 15-30 metre doğruluk elde edilebilmekteydi. Bu şekilde kod gözlemleri kullanılarak tek bir noktada eş zamanlı en az dört uyduya yapılan gözlemlerle gerçek zamanlı ve üç boyutlu konum belirleme yöntemine tek nokta (mutlak) konum belirleme adı verilmektedir (Kahveci ve Yıldız 2022). 1980'li yıllarda elde edilen bu doğrulukların günümüz standartlarına göre bu kadar düşük olmasının en önemli nedenleri, kullanılan yörünge bilgisinin (C/A kod için yayın efemerisi ve P kod için NGS hassas efemerisi) doğruluğunun oldukça düşük olması ve atmosferik etkilerin çok genel modellerle giderilmesi veya hiç dikkate alınmaması olarak sayılabilir. Aradan geçen zaman içerisinde, özellikle Avrupalı bilim insanlarının da bu konuda çalışmalara dahil olmasıyla GPS gözlemlerini etkileyen hata kaynakları daha iyi modellenmeye başlamış, yörünge bilgileri ise çok daha yüksek (günümüzde IGS yayın efemerisi ~100 cm ve IGS Final ~2,5 cm (IGS, 2022)) doğruluklarla belirlenmeye başlanmış ve böylece GPS mutlak konum belirleme ile elde edilen gerçek zamanlı doğruluklar 1990'lı yılların sonlarından itibaren kod gözlemleri için 20-30 metrelere yükselmiştir. Başlangıçta navigasyon amaçlı kullanım için geliştirilmiş olan GPS sisteminin konum doğrulukları arttıkça, bilim insanları bu olanağın başta jeodezi olmak üzere diğer yer bilimlerinde de kullanılmasının olanaklarını araştırmaya başlamışlardır. Bu amaçla, yüksek doğruluk isteyen mühendislik çalışmalarında faz gözlemlerinin kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Üç boyutlu konum belirlemede uzun gözlem süreleri ile statik ölçüler yapılarak kaydedilen faz gözlemi ve ölçü sonrası büro hesaplamaları ile elde edilen doğruluklar hata kaynaklarının giderilebilme oranına ve doğruluğuna bağlı olarak 1-10 cm arasında değişmekteydi. Zaman içerisinde teknoloji ve kaynakları yeterli diğer ülkeler tarafından geliştirilmiş konum belirleme sistemleri (Rus GLONASS, AB Galileo, Çin Beidou vb.) ile GNSS genel tanımı kullanılmaya başlamıştır (Kahveci, 2017). Bu ülkelerin konum belirleme ve navigasyon sistemi farklı frekans, dalga boyu ve datuma sahip olduğu için GNSS ile konum belirleme daha da karmaşık ve zorlu bir konu haline gelmiştir.

Mühendislik amaçlı çalışmaların gerektirdiği doğruluklara göreli GNSS teknikleri ile ulaşılırken, bir diğer konum belirleme tekniği olan GNSS ile mutlak konum belirleme doğruluklarında da önemli iyileştirmeler yapılmıştır. Tek frekanslı alıcılara yalnızca kod ölçülerinin kullanıldığı tek nokta konum belirleme (SPP: Single Point Positioning) tekniği ve çift frekanslı alıcılara hem kod hem de faz ölçülerinin birlikte kullanıldığı hassas nokta konum belirleme (PPP: Precise Point Positioning) tekniği, mutlak konum belirleme yönteminin iki farklı uygulamasıdır ve tek nokta konum belirleme tekniği ile üç boyutlu konum belirleme bu makalenin temelini oluşturmaktadır. Bu nedenle, söz konusu iki teknik ile ilgili bilgiler GNSS ile konum belirleme yöntemleri adlı başlık altında verilmiştir.

Bu makale ile, Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümünde gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışması ile oluşturulmuş olan yerli ve millî bir "GNSS Tek Nokta Konum Belirleme (KTUN\_SPP)" yazılımının ilk aşaması hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Söz konusu yazılım uzun süreli GNSS kod gözlemlerinin ölçü sonrası büro hesabı (post-process) tekniği ile çalışmakta olup, MATLAB (R2020a) programlama dilinde (Mathworks, 2022)

hazırlanmıştır. Yazılım, GPS ve Galileo uydularına ait L1 ve E1 frekans bantlarındaki C1 kod gözlemlerini kullanarak üç boyutlu alıcı anteni koordinatlarının hesaplanması esasına dayanmaktadır (Ayso, 2021). KTUN\_SPP yazılımı algoritmasına, belirli atmosferik modeller, yayın ve hassas yörünge verileri de entegre edilerek SPP tekniği ile elde edilebilecek doğruluğunun ne kadar daha iyileşebileceğinin araştırması yapılmıştır. Ayrıca, MATLAB (App Designer) platformunda kullanıcı dostu bir ara yüz tasarlanarak, kullanıcının istediği uydu sistemini (GPS, Galileo, GPS+Galileo) ve dilediği yörünge bilgisini (yayın efemeris, hassas efemeris) seçerek tekli hesap ya da çoklu hesap yöntemleri ile hesaplamalarını yapabileceği olanağı da bulunmaktadır. Kullanıcılar yapılan hesapların çıktılarını ise özet çıktı ya da ayrıntı çıktı olarak (.txt) formatında alabilmektedir. Ayrıca ek paneller olan zaman hesapları ve jeodezik hesaplamaları da kullanabilmektedir.

Bu çalışmada GPS, Galileo ve GPS+Galileo SPP senaryolarında yörünge bilgisi olarak yayın efemerisi ile olan sonuçları incelenmiştir. Yukarıda da ifade edildiği gibi KTUN\_SPP, yörünge bilgisi olarak hassas (IGS) efemeris verileri ile de hesaplamalar yapabilmektedir. Ancak SPP tekniğinin doğası gereği yayın efemerisleri ile kullanımı daha anlamlı olup, konu bütünlüğünü bozmaması adına bu çalışmada hassas efemeris senaryosuna yer verilmemiştir.

## UYDULARLA KONUM BELİRLEME SİSTEMLERİ (GLOBAL NAVIGATION SATELLITE SYSTEMS)

### Global Konum Belirleme Sistemi (GPS: Global Positioning System)

GPS, herhangi bir yer ve zamanda, her türlü hava koşulunda, yüksek doğrulukta, ortak bir koordinat sisteminde ve ekonomik olarak üç boyutlu konum, hız ve zaman belirlenmesine olanak veren uydu tabanlı bir radyo navigasyon sistemidir (Seeber, 2003; Kahveci ve Yıldız, 2022). GPS uyduları, yeryüzünden yaklaşık 20200 km yükseklikte, ekvatora göre 55 derecelik eğim ile 6 tane orta uzaklıklı dünya yörüngesine (MEO: Medium Earth Orbit) yerleştirilmişlerdir. Her GPS uydusunun dünyayı tam bir dolanım süresi 11 saat 58 dk olup, yeryüzündeki bir gözlemci bulunduğu enlemde aynı uyduya bir gün içerisinde iki kez gez gözlem yapabileceği olanağına sahiptir. 12 Nisan 2022 itibarıyla 30 adet GPS uydusu aktif olarak hizmet vermeye devam etmektedir (GPS, 2022).

GPS ile iki temel büyüklük gözlenmekte olup, bunlar kod ve taşıyıcı faz gözlemleridir. Düşük doğruluk isteyen (~ 1-10 metre) ve navigasyon amaçlı gerçek zamanlı uygulamalarda kod ölçüleri tercih edilirken, çok daha yüksek doğruluk isteyen uygulamalarda ve bilimsel amaçlı çalışmalarda ise faz ölçüleri tercih edilmektedir. Diğer taraftan uydulara ait yörünge ve saat bilgileri de doğru ve hassas bir konum belirleme için oldukça önemlidir. Başka bir deyişle, uydu koordinatlarının veya uydu saatlerinin hesaplanmasında yapılacak herhangi bir hata yeryüzündeki noktanın konum doğruluğunu önemli derecede etkileyecektir. Bu bağlamda, gerçek zamanlı konum belirleme uygulamalarında yörünge parametreleri ve saatlerle ilgili veriler navigasyon mesajı aracılığıyla yayın (Broadcast) efemerisi olarak yayınlanırken, GPS verilerinin ölçü sonrası değerlendirilmesi (post-process) işleminde ise çoğunlukla IGS hassas yörünge ve saat bilgileri kullanılmaktadır (Kahveci ve Yıldız, 2022).

### Galileo Uydu Sistemi (Galileo Satellite System)

Galileo; Kamu-Özel sektör (Avrupa Komisyonu, Avrupa Uzay Ajansı ve Avrupalı özel şirketler) iş birliği ile gerçekleştirilmiş bir Avrupa uydu navigasyon sistemi olup diğer uydu sistemleri ile birlikte çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır (Seeber, 2003; Xu ve Xu, 2016). Galileo uyduları, yeryüzünden yaklaşık 23200 km uzaklıkta, orta yükseklikli (MEO) üç ekliptik yörünge düzleminde ve ekvatorla 56 derecelik bir eğim yapacak şekilde konumlandırılmışlardır. Nisan 2022 itibarıyla 22 adet Galileo uydusu aktif olarak hizmet vermeye devam etmektedir (Galileo, 2022). Galileo navigasyon sinyalleri, Galileo sinyallerinin iletimi için geniş bir bant aralığı sağlayan E1, E6, E5 (E5a ve E5b) bantları olmak üzere dört frekans bandından yayınlanmaktadır (Galileo OS SIS ICD, 2021).

Galileo uyduları ile sunulan hizmetler Sınırsız Hizmet (OS: Open Service) ve Şifrelenebilir Yüksek Doğruluklu Kullanım Hizmeti (HAS: High Accuracy Service) olarak belirtilmektedir. Ayrıca, Kamu

Kullanımı Hizmeti (PRS: Public Regulated Service) ve Arama-Kurtarma Hizmeti (SAR: Search and Rescue Service) 'de sunulan hizmetler arasındadır. Galileo sistemi mesaj türleri ve servislere ilişkin ayrıntılı bilgiler (Galileo OS-SIS-ICD, 2021)'de verilmektedir.

### GNSS HATA KAYNAKLARI (GNSS ERROR SOURCES)

Günümüzde her sistemde olduğu gibi GNSS gözlem ve sinyallerini de etkileyen hata kaynakları söz konusudur. Bu hata kaynakları; uydu yörünge bilgisi hatası, atmosferik etkiler, sinyal yansıma etkisi, alıcı anteni faz merkezi hatası, taşıyıcı dalga faz belirsizliği (ambiguity), faz kesiklikleri (cycle-slips), vb. olarak sayılabilir. Bu hata kaynaklarından tek nokta konum belirlemede çok önemli olan atmosferik hata kaynakları troposferik ve iyonosferik etkilerdir.

GNSS uyduları, yeryüzünde ya da diğer uydularda bulunan alıcılara elektromanyetik dalgalar (sinüs dalgaları) halinde sinyaller göndermektedir. Bu elektromanyetik dalgalar iyonosfer ve troposferden geçerek sinyallerin gecikmesine ve kırılmasına neden olmaktadır (Hobiger ve Jakowski, 2017).

İyonosfer, Dünya atmosferinin yaklaşık 70 ile 1000 km arasındaki üst kısmını oluşturmaktadır. Bu katmanda sinyaller serbest yüklü parçacıklardan etkilenmektedir. İyonosfer, dağıtıcı bir ortam görevi gördüğü için iyonosferik gecikme frekansa bağımlıdır. Bu etki, tek frekanslı alıcılarda belirli iyonosferik düzeltme modelleri (Klobuchar, NeQuick) kullanılarak %50 oranında (en doğru modelde bile %80'e kadar) giderilebilirken (Karaim ve diğ., 2018), çift frekanslı alıcılarda iyonosfer bağımsız kombinasyonlar kullanılarak etkinin %99,99'u giderilebilmektedir (Klobuchar, 1987; Nava ve diğ., 2008; Kahveci ve diğ., 2021).

Troposfer, yeryüzünden yaklaşık 40 km'ye kadar ulaşan Dünya atmosferinin alt kısmını oluşturmaktadır. Bu katmanda sinyal yayılımı su buharı içeriğine ve sıcaklığa bağlıdır. Troposfer dağıtıcı bir ortam görevi görmediği için troposferik gecikme frekans bağımlı değildir. Bu etki bilimsel ve ticari yazılımlarda kullanılan belirli troposferik düzeltme modelleri (Saastamoinen, Hopfield, Niell, VMF ve GMF) ile giderilebilmektedir (Hopfield, 1969; Saastamonien, 1972; Niell, 1996; Kırtıl, 2022).

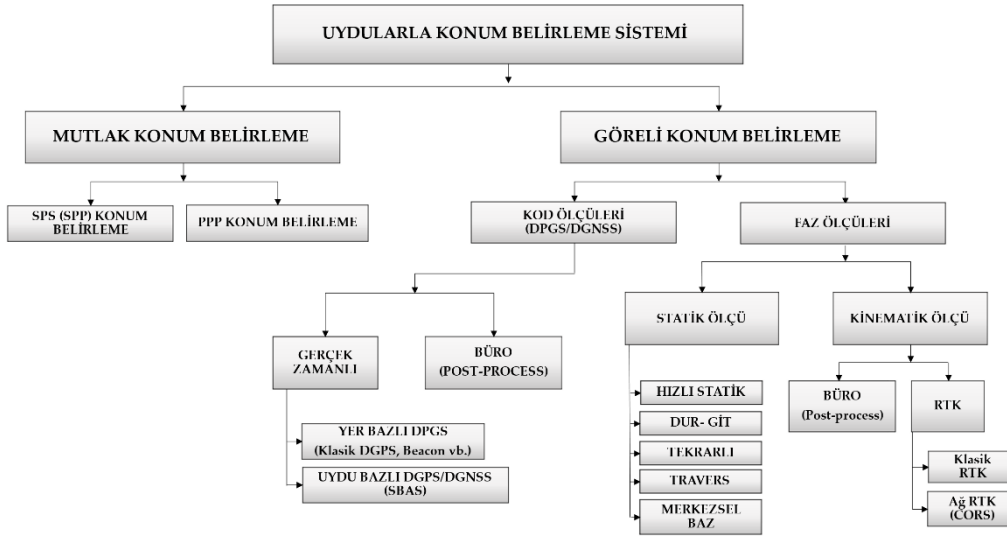
### GNSS İLE KONUM BELİRLEME YÖNTEMLERİ (GNSS POSITIONING TECHNIQUES)

Uydularla konum belirleme yöntemlerini temel olarak iki başlıkta toplamak olanaklıdır. Bu yöntemlerden ilki mutlak konum belirleme diğeri ise görel konum belirleme yöntemidir (Şekil 1).

Mutlak konum belirleme, yeryüzündeki tek bir alıcı ile en az dört uydudan elde edilen uydu alıcı uzaklıkları (kod ve/veya faz) kullanılarak, alıcı anteni koordinatlarının ve alıcı saat hatasının hesaplanması esasına dayanmaktadır (Van Sickle, 2008; Kahveci ve Yıldız, 2022). Bu yöntem kendi içinde Tek Nokta Konum Belirleme (SPP) ve Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) olarak ikiye ayrılmaktadır.

SPP yöntemi ile konum belirlemede tek frekanslı alıcılar ve C/A kod gözlemleri kullanılmaktadır. İyonosferik etki çoklu frekanslı alıcılardaki gibi giderilemediği için elde edilecek olan konum doğrulukları önemli ölçüde düşmektedir. Diğeri bir ifadeyle, günümüzde SPP ile gerçek zamanlı olarak elde edilebilecek doğruluk 1-10 metre arasında olup, yüksek doğruluk isteyen mühendislik amaçlı kullanımlar için uygun değildir. Söz konusu yöntemin kullanıldığı alanlar çok genel olarak araç navigasyon uygulamaları, cep telefonu navigasyon uygulamaları, nokta keşfi vb. olmakla birlikte bu konuda yapılan bilimsel çalışmalar devam etmektedir (Pan ve diğ., 2016; Pan ve diğ., 2021; Guan ve diğ., 2021; Zhang ve Pan, 2022).

PPP yöntemi ise hassas konum belirleme yöntemi olup, bu yöntemde taşıyıcı faz ve kod gözlemleri, hassas yörünge ve saat parametreleri birlikte kullanılmaktadır. Dolayısıyla, PPP ile elde edilen sonuçlar SPP yöntemine göre çok daha yüksek doğruluklu olup, birçok mühendislik amaçlı uygulamada kullanılmaktadır. Ayrıca, PPP'de kullanılacak alıcının çift frekanslı olması sebebiyle oluşturulacak iyonosfer bağımsız kombinasyonlar, büyük bir hata kaynağı olan iyonosferik gecikmeyi büyük oranda ortadan kaldırılmakta ve kullanıcılara cm mertebesinde doğruluklar sağlayabilmektedir (Zumberge ve diğ., 1997)



Şekil 1. Uydularla konum belirleme yöntemleri (Kahveci ve Yıldız, 2022)

Figure 1. Methods of positioning with GNSS (Kahveci and Yıldız, 2022)

Görelî konum belirleme ile mutlak konum belirleme yöntemleri arasındaki en temel fark ise görelî konum belirleme yönteminde koordinatı bilinen bir referans noktasına ihtiyaç duyulmasıdır. Diğer bir ifadeyle bu yöntemde, koordinatı bilinen bir referans noktasına göre koordinatı bilinmeyen noktaların koordinatlarının belirlendiği geleneksel bir konum belirleme yöntemidir (Kahveci ve Yıldız, 2022). Kod ya da faz gözlemlerinin kullanılabilirdiği bu yöntemde hem referans hem de koordinatı aranan noktada eşzamanlı gözlemler yapılması gerekmektedir (Hofmann-Wellenhof ve diğ., 2008).

#### GPS+Galileo ÖZELLİKLİ TEK NOKTA KONUM BELİRLEME YAZILIMI (KTUN\_SPP) (GPS+Galileo ENABLED SINGLE POINT POSITIONING SOFTWARE (KTUN\_SPP))

Bu çalışma kapsamında GPS+Galileo özellikli uzun süreli statik kod gözlemleri kullanılarak konum hesabı yapan tek nokta konum belirleme (SPP) yazılımı hazırlanmış olup yazılıma ilişkin özellikler Çizelge 1’de, yazılıma ait algoritma ise Şekil 2’de verilmiştir.

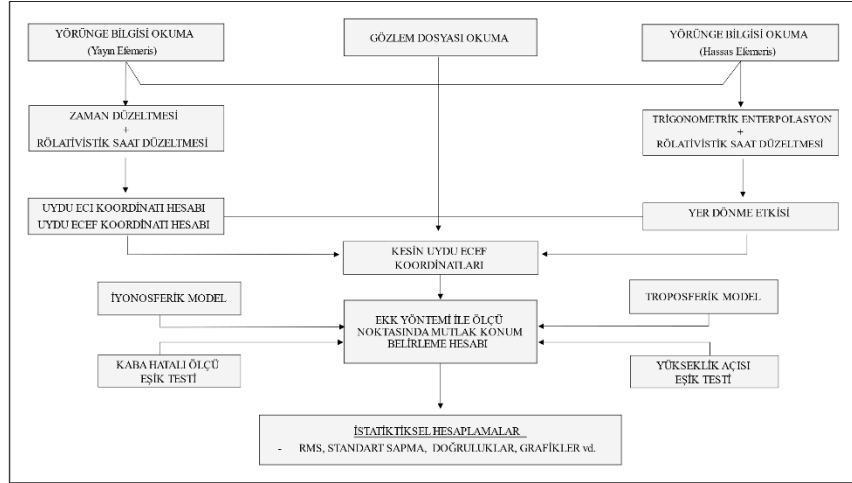
Çizelge 1. Tek nokta konum belirleme yazılımı (KTUN\_SPP) özellikleri

Table 1. Single point positioning software (KTUN\_SPP) properties

<b>Kullanılan Platform</b>	MATLAB (R2020a)
<b>Desteklenen Uydular</b>	GPS ve Galileo
<b>Frekans Bantları ve Gözlem Türü</b>	L1 ve E1 (C1 Kod Gözlemi)
<b>Ölçüm Yöntemi</b>	Tek frekansta SPP
<b>Atmosferik Düzeltmeler</b>	İyonosfer ve Troposfer
<b>Çözüm Yapılan Yörünge Dosyası</b>	Yayın Efemerisi ve Hassas Efemeris
<b>Kullanıcı Arayüzü</b>	MATLAB (R2020a) App Designer
<b>Dosya Seçimi (Hesaplama için)</b>	Tekli Dosya ve Çoklu Dosya
<b>Çıktı Seçimi</b>	Özet Çıktı ve Ayrıntı Çıktı (.txt)
<b>Ek Hesaplar</b>	Zaman Hesapları-Jeodezik Hesaplamalar

Algoritma kapsamında öncelikle, ilgili istasyona ya da ölçüm noktasına ait RINEX (Receiver Independent Exchange Format) gözlem dosyası ile seçilecek efemeris türüne göre yayın efemerisi ya da IGS hassas efemeris dosyalarının okunması işlemi gerçekleştirilmektedir. Seçilen efemeris türü yayın efemerisi olduğunda, uydu koordinatlarının daha hassas elde edilebilmesi için oldukça önemli olan zaman düzeltmesi ve rölativistik saat düzeltmesi getirilmektedir. Söz konusu düzeltmelerin ardından,

ilgili olan her bir epoktaki her bir uydunun yörünge düzlemindeki koordinatları (ECI: Earth Centered Inertial) ve yer merkezli yer sabit koordinatları (ECEF: Earth Centered Earth Fixed) hesaplanmaktadır. Ardından, hesaplanan koordinatlara yer dönme etkisi de getirilerek kesin uydu ECEF koordinatları elde edilmektedir. Seçilen efemeris türü IGS hassas efemeris olduğunda, koordinatlar ve zamanlar için trigonometrik enterpolasyon işlemi yapılmakta ve yayın efemerisi akışında olduğu gibi koordinatlara rölativistik saat düzeltmesi ve yer dönme etkisi getirilerek kesin uydu ECEF koordinatları elde edilmektedir.



Şekil 2. KTUN\_SPP yazılımı algoritması

Figure 2. KTUN\_SPP software algorithm

Uydu-alıcı uzaklığının hassas biçimde hesaplanması için gerekli olan iyonosferik ve troposferik modeller, Konya Teknik Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Harita Mühendisliği bölümünde başka bir yüksek lisans tezi kapsamında hazırlanmış olup, KTUN\_SPP yazılımına entegre edilmiştir (Kahveci ve diğ., 2021; Kırtıl, 2022). Söz konusu modellerden iyonosferik etki hesabı için Klobuchar modeli (Klobuchar, 1987), troposferik etki hesabı için ise Niell troposferik modeli (Niell, 1996) kullanılmıştır. Bu düzeltmelerin ardından elde edilen veriler kaba hatalı ölçü eşik testine, yükseklik açısı eşik testine ve PDOP (Position Dilution of Precision) eşik testine tâbi tutulmaktadır. Test sonucuna göre uyumlu olmayan ölçüler ayıklanmakta ve kalan ölçülerle ölçü noktasında En Küçük Kareler (EKK) yöntemiyle dengeleme hesabı yapılmaktadır.

KTUN\_SPP yazılımı beş ana pencereden oluşacak şekilde tasarlanmıştır. Bunlar; “ZAMAN HESAPLARI”, “KTUN FORMAT”, “MUTLAK KONUM BELİRLEME (SPP)”, “YARDIMCI HESAPLAR”, ve “ÇIKTI İNCELEME” penceresi olarak sıralanabilir. Ancak bu makale kapsamında çalışmanın odak noktası olan “MUTLAK KONUM BELİRLEME (SPP)” penceresi ve bu pencerede yapılan hesaplamaların çıktısının alınacağı “ÇIKTI İNCELEME” penceresi açıklanmıştır. Bu pencerelere ait görüntüler Şekil 3 ve Şekil (4.a. ve 4.b.)’de verilmiştir.

Şekil 3. MUTLAK KONUM BELİRLEME (SPP) penceresi GPS-yayın efemerisi-çoklu dosya (5 adet) ekran görüntüsü

Figure 3. Screenshot of ABSOLUTE POSITIONING (SPP) window GPS-broadcast ephemeris-multi file (5 pcs)

“MUTLAK KONUM BELİRLEME (SPP)” penceresinde uydu sistemi seçimi kısmında GPS, Galileo ya da GPS+Galileo seçenekleri bulunmaktadır. Diğer taraftan efemeris bilgisi seçimi kısmından yayın efemerisi ya da hassas efemeris seçimleri yapılabilmektedir. Gözlem tipi seçimi kısmında, çalışma kapsamında yalnızca C1 kod ölçüleri kullanıldığı için C1 butonu aktif hale getirilmiş, L1+L2 butonunun ise daha sonraki çalışmalarda faz ölçülerinin de dahil edilmesi ile aktif hale getirilmesi planlanmaktadır. Dosya seçimi kısmından tek dosya ya da maksimum 5 adet olacak şekilde çoklu dosya seçimi gerçekleştirilebilmektedir. İstenilen seçimler yapıldıktan sonra ilgili gözlem dosyaları, navigasyon dosyaları, kaba hatalı ölçü eşik değeri ve yükseklik açısı eşik değeri girilerek “HESAPLA” butonu ile hesaplama işlemi yapılmakta “TÜMÜNÜ TEMİZLE” butonu ile de yapılan yükleme işlemleri temizlenebilmektedir.

Sorunsuz bir hesaplama yapılabilmesi için yüklenecek gözlem ve navigasyon dosyaları RINEX standardında, hassas efemeris dosyaları ise (.sp3 ya da .eph) standardında olmalıdır. Diğer taraftan yüklenecek gözlem dosyaları ve yörünge dosyaları birbiri ile uyumlu olmalıdır. Başka bir ifadeyle ölçüm noktasının 4 karakterli nokta adları, yılın günü (day, day of year), oturum numaraları aynı olmalıdır. Aksi halde KTUN\_SPP, ilgili hata mesajlarını vererek kullanıcının doğru bir şekilde yükleme yapabilmesi için kullanıcıyı yönlendirecektir. Örnek olarak yüklenebilecek gözlem dosyası, yayın efemerisi ve hassas efemeris dosyaları Çizelge 2’de verilmiştir.

**Çizelge 2.** KTUN\_SPP için yüklenebilecek örnek dosya türleri (23 Nisan 2021 ANKR istasyonu)*Table 2. Sample file types that can be uploaded for KTUN\_SPP (April 23, 2021 ANKR station)*

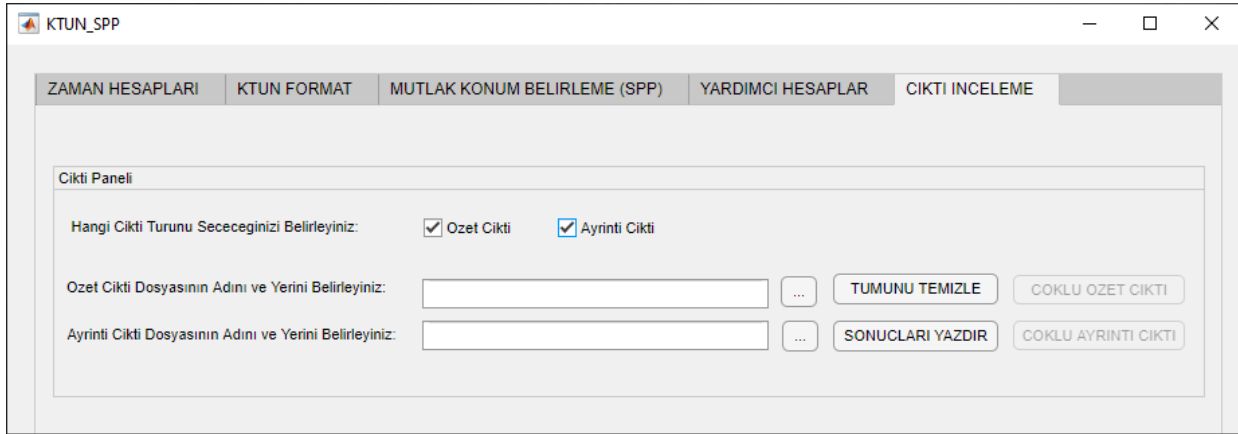
Gözlem Dosyası	Yayın Efemerisi Dosyası	Hassas Efemeris Dosyası
ankr1130.21o	ankr1130.21n	igs21545.sp3
	brdc1130.21n	cod21545.eph
	ankr1130.21l	esa21545.sp3
	ANKR00TUR_R_20211120000_01D_EN.rnx	jpl21545.sp3 vd.

“ÇIKTI İNCELEME” penceresi, daha önce de ifade gibi “MUTLAK KONUM BELİRLEME (SPP)” penceresinde yapılan hesaplamaların sonuç çıktısının (.txt) alınacağı penceredir. Bu pencerede kullanıcıya özet çıktı ve ayrıntı çıktı olmak üzere iki farklı çıktı türü sunulmaktadır. Söz konusu çıktıların içeriği Çizelge 3’de, yazılıma ait ekran görüntüleri ise Şekil (4.a. ve 4.b.)’de verilmektedir.

**Çizelge 3.** KTUN\_SPP “ÇIKTI İNCELEME” penceresi içeriği*Table 3. Contents of the KTUN\_SPP “OUTPUT REVIEW” window*

Özet Çıktı Dosyası İçeriği	Ayrıntı Çıktı Dosyası İçeriği
Seçilen Uydu Tipi (GPS, Galileo, GPS+Galileo)	Ayrıntılı çıktı dosyası içeriğinde özet çıktı dosyası içeriğine ek olarak, seçilen uydu tipine göre 24 saatlik ölçüm süresince (2880 epok) hangi uyduların toplam kaç epokta atıldığı ve hangi epoklardan çıkarıldığı sonuçları yer almaktadır (Şekil 4.b.). Örneğin; 2 numaralı GPS uydusu toplam 108 epoktan atılmıştır ve bu uydunun atıldığı epoklar sırasıyla 1, 2, 303, 304, 305, .... 1527, 1528.... 2860, 2861 şeklinde devam etmektedir. Diğer taraftan 11 numaralı GPS uydusu hiçbir epoktan atılmamıştır. Tüm uydular için ve tüm uydu sistemi seçimleri için bu istatistikler KTUN_SPP (.txt) çıktısında verilmektedir.
Gözlem Dosyası Adı	
Navigasyon Dosyası Adı ya da Yörünge Dosyası Adı	
İyonosferik Düzeltme İçin Yüklenen Navigasyon Dosyası Adı	
Hesaplama Parametreleri	
Datum ve Tarih	
X, Y, Z Kartezyen Koordinatları ve Standart Sapmaları	
Hesaplanan Kartezyen Koordinatlar ve Yaklaşık Koordinatlar Farkı	
Enlem, Boylam, Elipsoidal Yükseklik	
Hesaplanan Coğrafi Koordinatlar ve Yaklaşık Coğrafi Koordinatlar Farkı	
Toplam RMS (Dengeleme Sonrası Karesel Ortalama Hata)	
Referans Uydu Saat Kayıklığı	
Hesaplanan Toplam Epok Sayısı	
Atılan Toplam Epok Sayısı	
Toplam Gözlem Sayısı (GPS, Galileo, GPS+Galileo)	
Toplam Atılan Gözlem Sayısı (GPS, Galileo, GPS+Galileo)	
Atılan Gözlem Oranı	





Şekil 4.a. “ÇIKTI İNCELEME” penceresi ekran görüntüsü

Figure 4.a. Screenshot of “OUTPUT REVIEW” window

```

gps_yayin_tek_ozet - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
1 . RINEX Dosyasının Hesaplanmış Sonuç Koordinatları (Yayın Efemerisi)
-----
Secilen Uydü Türü: Sadece GPS
Gözlem Dosyası Adı: ankr1120.21o
GPS Navigasyon Dosyası Adı: brdc1120.21n

Hesaplama Parametreleri: L1 C1
Datum: WGS84
Tarih(Yıl Ay Gün): 2021 4 22

x= 4121947.482326 metre ± 2.7 metre
y= 2652187.211638 metre ± 2.1 metre
z= 4069023.451620 metre ± 2.9 metre

Hesaplanan Kartezyen Koordinatlar(XH)-Yaklaşık Kartezyen Koordinatlar(XY)=
dX(XH-XY) = 13.222326 metre
dY(XH-XY) = -2.600362 metre
dZ(XH-XY) = -11.459380 metre

Enlem (Derece Dakika Saniye) = 39 53 14.5547
Boylam (Derece Dakika Saniye) = 32 45 30.4908
Elipsoidal Yükseklik = 974.872

Hesaplanan Coğrafi Koordinatlar-Yaklaşık Coğrafi Koordinatlar=
dEnlem = -0.000135 sn
dBoylam = -0.000109 sn
dYükseklik = 0.103671 metre

Toplam RMS (Dengeleme Sonrası Kareysel Ortalama Hata) = ± 2.07 metre
Referans Uydü Saat Kayıklığı= 0.000000062582792 saniye

Hesaplanan Toplam EPOK Sayısı = 2879

Atılan Toplam Epok Sayısı= 1

Toplam GPS Gözlem Sayısı = 26196

Toplam Atılan GPS Gözlem Sayısı = 2403

Atılan Gözlem Oranı = % 9.17
-----
St 1, Stn 1

```

```

gps_yayin_tek_ayrinti - Not Defteri
Dosya Düzen Biçim Görünüm Yardım
1 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 32
1 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 286
2 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 108
2 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 303 304 305 309 310 311 312 313 314 315
3 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 29
3 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 206 207 208 209 210 211 212 213
4 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 43
4 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 342 343 344 345 346 347 348 349 350 351
5 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 86
5 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 228 229 230 231 232 233 234 235 236 237
6 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 76
6 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 279 280 281 282 283 284 287 289 290 291
7 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 53
7 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 657 658 659 660 661 662 663 664 665 666
8 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 109
8 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 256 257 258 259 260 261 262 263 264 265
9 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 35
9 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 528 529 530 543 544 545 546 547 548 549
10 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 59
10 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 2418 2419 2420 2421 2422 2423 2424 2425
11 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 0
11 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 0
12 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 32
12 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 1595 1596 1597 1598 1599 1600 1601 1602
13 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 187
13 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 1026 1027 1028 1029 1030 1031 1032 1033
1910 1911 1912 1913 1914 1916 1917 1918 1919 1920 1921 1922 1924 1925
14 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 76
14 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 234 235 236 237 238 239 242 243 244
15 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 90
15 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 1090 1091 1092 1093 1094 1095 1096 1097
16 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 108
16 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 267 268 269 270 271 272 273 274 275
17 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 90
17 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 498 499 500 501 502 503 504 505 506
18 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 53
18 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 2149 2150 2151 2152 2153 2154 2155 2156
19 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 110
19 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 579 580 581 582 584 585 586 587 588
20 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 90
20 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 746 747 748 749 750 751 752 753 754
21 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 20
21 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 2787 2790 2793 2794 2795 2797 2799
22 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 39
22 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99
23 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 165
23 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 719 720 721 722 723 724 725 726 727
24 Numaralı Uydü: Atılan Toplam EPOK= 0
24 Numaralı Uydü: Atılan EPOKLAR= 0
-----
<

```

Şekil 4.b. GPS yayın efemerisi özet çıktı ve ayrıntı çıktı dosyasının içeriği (.txt)

Figure 4.b. Contents of GPS broadcast ephemeris summary output and detail output file (.txt)

Daha önce de ifade edildiği gibi KTUN\_SPP mevcut durumda GPS ve Galileo uydu sistemlerini desteklemektedir. GPS uydu sisteminin farklı uydu sistemleri ile entegre edilmesi birtakım sorunları da beraberinde getirmektedir. Başka bir ifadeyle farklı GNSS sistemleri farklı zaman ve koordinat sistemlerine sahiptir. Bilindiği üzere GPS, Galileo, GLONASS ve BDS uydu sistemleri sırasıyla “WGS84”, “GTRF”, “PZ90.11”, “CGCS2000” datumlarında yayın yapmaktadır. Bu nedenle farklı sistemlerin birlikte kullanılabilmesi için bu sistemlerin aynı datuma ve aynı zaman ölçeğine dayandırılması oldukça önemlidir. Diğer taraftan, (Montenbruck ve diğ., 2015) yaptığı çalışmada GPS, GLONASS, Galileo ve BDS

koordinat sistemleri arasında sadece santimetre düzeyinde farklılıklar olduğunu göz önüne sermiş ve bu durumun metre düzeyinde doğruluğa sahip SPP yönteminde ihmal edilebileceğini belirtmiştir. Dolayısıyla hesaplanacak uydu koordinatları herhangi bir dönüşüme tâbi tutulmadan doğrudan kullanılabilir.

GPS, Galileo, GLONASS ve BDS uydu sistemlerinde sırasıyla “GPS zamanı”, “Galileo sistem zamanı”, “GLONASS zamanı” ve “BDS zamanı” kullanılmaktadır. Buradan hareketle, farklı zaman ölçeklerine ait GNSS sistemlerinin birlikte kullanılabilmesi için belirlenecek referans zaman sistemine ölçeklendirilmesi gerekmektedir. Ek olarak farklı GNSS sistemlerinden gelen sinyallerin alıcı donanım gecikmesi, tek bir alıcı saat parametresi tarafından absorbe edilemez. Bu nedenle GNSS sistemlerinden gelen farklı alıcı saat parametreleri tahmin edilmelidir. Bunun için alternatif bir yol olarak herhangi bir uydu sistemi referans olarak (örn. GPS) seçilir. Ardından GPS ile diğer uydu sistemleri arasındaki sistemler arası sapma (ISB: inter-system bias) parametreleri tanımlanır. Sonuçta; GPS sistem saatine getirilecek düzeltme (GPS receiver clock offset) ve ISB parametreleri aynı anda bilinmeyen olarak tahmin edilir (Zhang ve Pan, 2022).

KTUN\_SPP hesaplamalarında nokta bağımlı olan ve modellenemeyen hatalar (örn. sinyal gürültüsü, sinyal yansıma etkisi vb.) ölçülere düzeltme olarak getirilmemektedir. Bunun sebebi bu hata kaynaklarının noktadan noktaya değişkenlik göstermesi nedeniyle ayrı bir analiz yapılması gerekliliğidir. Diğer taraftan, hesaplamalarda GNSS ölçüleri birim ağırlıklı olarak ele alınmıştır. Bu konuda bugüne kadar genel kabul görmüş ve referans olarak alınabilecek bir çalışma bulunmasa da stokastik model çerçevesinde yapılan bazı uygulamalarda GPS kod gözlemlerinin duyarlılığının yaklaşık 0,3 metre, Galileo kod gözlemlerinin duyarlılığının ise yaklaşık 0,6 metre olarak ele alındığı görülmektedir (Cai ve diğ., 2014, Montenbruck ve diğ., 2015, Pan ve diğ., 2016).

KTUN\_SPP’de kullanılan kod gözlemi denklemleri (1 ve 2) eşitliğinde verilmektedir.

$$P^G = \rho_0^G + c * (\Delta t_R^G - \Delta t^G) + I_R^G + T_R^G + c * TGD^G + \varepsilon^G \quad (1)$$

$$P^E = \rho_0^E + c * (\Delta t_R^G + ISB_{sys}^{GE} - \Delta t^E) + I_R^E + T_R^E + c * TGD^E + \varepsilon^E \quad (2)$$

Bu eşitliklerde üst indisler olan ( $G, E$ ) sırasıyla GPS ve Galileo uydularını, alt indisler ( $0, R, sys$ ) ise sırasıyla yaklaşık koordinatları, alıcıyı ve uydu sistemleri arasındaki zaman sistemi farklılığını temsil etmektedir.  $P^{G,E}$  ölçülen uydu-alıcı uzaklığını (metre),  $\rho_0^{G,E}$  geometrik uydu-alıcı uzaklığını (metre),  $c$  boşluktaki ışık hızını (metre/sn),  $\Delta t_R^G$  alıcı saat zamanı ile GPS zamanı arasındaki saniye biriminde farkı,  $\Delta t^{G,E}$  uydu saati zamanı ile GPS zamanı arasındaki saniye birimindeki farkı,  $ISB_{sys}^{GE}$  GPS ve Galileo uydu sistemleri arasındaki saniye biriminde zaman sistemi farklılığını (ISB),  $I_R^{G,E}$  uydu ve ölçü noktasındaki iyonosferik etkiyi (metre),  $T_R^{G,E}$  uydu ve ölçü noktasındaki troposferik etkiyi (metre),  $TGD^{G,E}$  toplam/zamanlama grup gecikmesini (sn) ve  $\varepsilon^{G,E}$  ölçüm gürültüsünü ve modellenemeyen diğer hataları ifade etmektedir.

Söz konusu eşitliklerde yer alan  $\rho_0^{G,E}$ , ölçü noktasındaki alıcının yaklaşık koordinatları ve yayın efemerisleri aracılığıyla hesaplanan uydu koordinatlarından elde edilmektedir.  $\Delta t^G$ , yayın efemerisleri içerisinde yayınlanan polinom katsayıları kullanılarak hesaplanıp GPS sistem saatine senkronize edilmektedir.  $I_R^{G,E}$ , Klobuchar iyonosferik modeli kullanılarak giderilmektedir (Klobuchar, 1987).  $T_R^{G,E}$ , Niell troposferik modeli kullanılarak giderilmektedir (Niell, 1996).  $TGD^{G,E}$  ise yayın efemerisi dosyaları aracılığıyla elde edilebilmektedir. Böylece (1 ve 2) eşitliklerinden geriye alıcı koordinatları, alıcı saat hatası ve GPS-Galileo uyduları arasındaki sistem farklılığı olmak üzere beş bilinmeyen kalmaktadır. Dolayısıyla bu beş bilinmeyen çözülmesi için (1 ve 2)’de verilen kod gözlemi denklemlerinin lineerleştirilmesi gerekmektedir. Söz konusu eşitlikler lineerleştirildiğinde (3) genel eşitliği elde edilmektedir.

$$V = A.X - L \quad (3)$$

Eşitlik (3)’te yer alan  $V$  düzeltme vektörünü,  $A$  katsayılar matrisini,  $X$  bilinmeyenler vektörünü ve  $L$  gözlenen-hesaplanan vektörünü ifade etmekte olup bunlar eşitlik (4)’de gösterilmektedir.

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{X^{G1}-X_0}{\rho_0^{G1}} & -\frac{Y^{G1}-Y_0}{\rho_0^{G1}} & -\frac{Z^{G1}-Z_0}{\rho_0^{G1}} & 1 & 0 \\ -\frac{X^{G2}-X_0}{\rho_0^{G2}} & -\frac{Y^{G2}-Y_0}{\rho_0^{G2}} & -\frac{Z^{G2}-Z_0}{\rho_0^{G2}} & 1 & 0 \\ & & \vdots & & \\ -\frac{X^{Gn}-X_0}{\rho_0^{Gn}} & -\frac{Y^{Gn}-Y_0}{\rho_0^{Gn}} & -\frac{Z^{Gn}-Z_0}{\rho_0^{Gn}} & 1 & 0 \\ -\frac{X^{E1}-X_0}{\rho_0^{E1}} & -\frac{Y^{E1}-Y_0}{\rho_0^{E1}} & -\frac{Z^{E1}-Z_0}{\rho_0^{E1}} & 1 & 1 \\ -\frac{X^{E2}-X_0}{\rho_0^{E2}} & -\frac{Y^{E2}-Y_0}{\rho_0^{E2}} & -\frac{Z^{E2}-Z_0}{\rho_0^{E2}} & 1 & 1 \\ & & \vdots & & \\ -\frac{X^{Ek}-X_0}{\rho_0^{Ek}} & -\frac{Y^{Ek}-Y_0}{\rho_0^{Ek}} & -\frac{Z^{Ek}-Z_0}{\rho_0^{Ek}} & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad L = \begin{bmatrix} \rho_R^{G1} - p^{G1} \\ \rho_R^{G2} - p^{G2} \\ \vdots \\ \rho_R^{Gn} - p^{Gn} \\ \rho_R^{E1} - p^{E1} \\ \rho_R^{E2} - p^{E2} \\ \vdots \\ \rho_R^{Ek} - p^{Ek} \end{bmatrix} \quad X = \begin{bmatrix} \Delta_X \\ \Delta_Y \\ \Delta_Z \\ c \cdot \Delta t_R^G \\ c \cdot ISB_{sys}^{GE} \end{bmatrix} \quad (4)$$

↗ katsayılar matrisinde yer alan  $X^{Gn}, Y^{Gn}, Z^{Gn}$  ve  $X^{Ek}, Y^{Ek}, Z^{Ek}$  ifadeleri ( $n$ =GPS uydusu sayısı,  $k$ =Galileo uydusu sayısı) olmak üzere GPS-Galileo uydularının ECEF koordinat sistemindeki kartezyen koordinatlarını,  $X_0, Y_0, Z_0$  ifadesi yeryüzündeki alıcının yaklaşık koordinatlarını,  $\rho_0^{Gn}$  ve  $\rho_0^{Ek}$  GPS-Galileo uyduları ile alıcı arasındaki geometrik uzunluğu ifade etmektedir.  $L$  matrisinde yer alan  $\rho_R^{Gn}$  ve  $\rho_R^{Ek}$  ifadeleri gözlem dosyasından okunan gözlem (pseudorange) değerlerini,  $p^{Gn}$  ve  $p^{Ek}$  ifadeleri düzeltme getirilmiş uyd-u alıcı uzaklıklarını (1 ve 2) ifade etmektedir. Son olarak  $X$  matrisinde yer alan  $\Delta_X, \Delta_Y, \Delta_Z$  ifadeleri sırasıyla alıcının yaklaşık koordinatlarına getirilecek düzeltmeyi,  $c \cdot \Delta t_R^G$  alıcı saat zamanı ile GPS zamanı arasındaki farkı ve  $c \cdot ISB_{sys}^{GE}$  GPS ve Galileo uydusu sistemleri arasındaki zaman sistemi farklılığını ifade etmektedir.

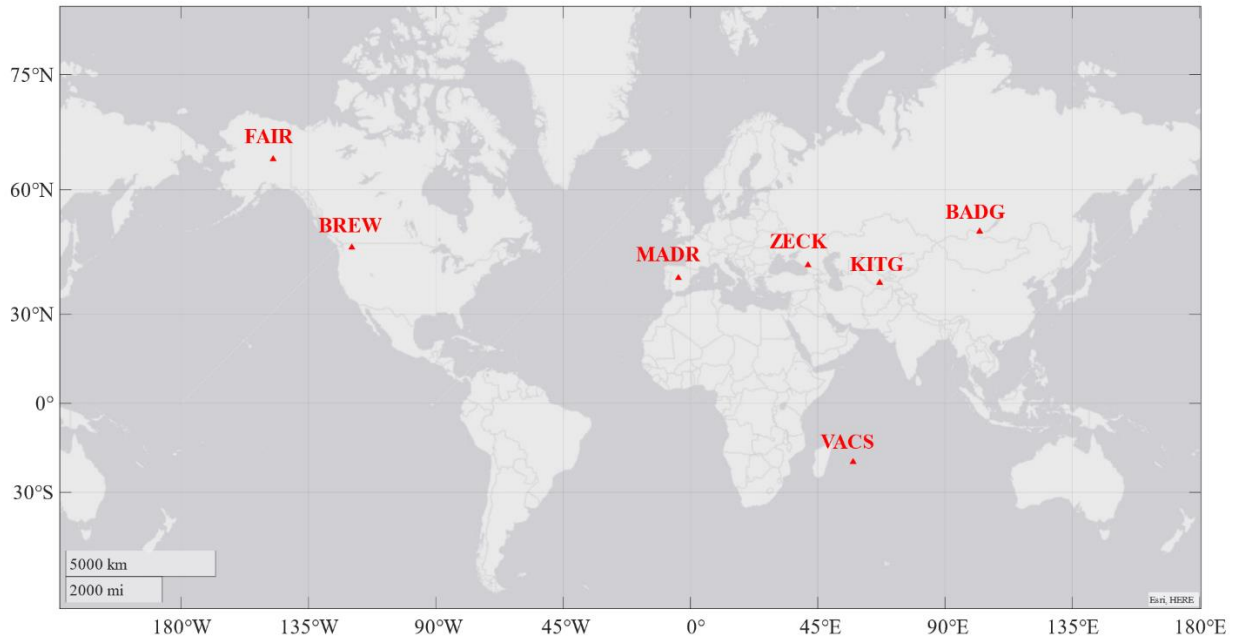
#### SAYISAL UYGULAMA (COMPUTATIONS)

KTUN\_SPP yazılımının performansını test etmek amacıyla çalışma kapsamında 7 adet IGS istasyonuna ait veri setleri kullanılmıştır. Söz konusu istasyonların coğrafi olarak dağılımı Şekil 5'de gösterilmektedir.

Çalışmada; 2022 yılının 31-37'nci günlerinde 30 saniyelik gözlem aralığına sahip 24 saatlik gözlem dosyaları ile yine aynı günlere ait navigasyon dosyaları (yayın efemerisi) kullanılarak hesaplamalar yapılmıştır. Söz konusu istasyonların seçilmesinde bir haftalık periyot boyunca istasyonlara ait gerekli tüm RINEX dosyalarının mevcut olmasına özellikle dikkat edilmiştir. Hesaplamalarda kullanılan parametreler Çizelge 4'de verilmiştir.

**Çizelge 4.** KTUN\_SPP hesaplamalarında kullanılan veri, model ve parametreler*Table 4. Data, models and parameters used in KTUN\_SPP computations*

Adı	Kullanılan veri/model/parametre
<b>Gözlemler</b>	Fark alınmamış (undifferenced) kod gözlemleri
<b>Frekans Bantları</b>	GPS L1 ve Galileo E1
<b>Ölçüm Yöntemi</b>	Tek frekansta SPP
<b>Hesap Senaryosu</b>	GPS, Galileo, GPS+Galileo
<b>Uydu yörünge ve saat bilgisi</b>	Yayın efemerisleri
<b>İyonosferik gecikme</b>	Klobuchar (1987)
<b>Troposferik gecikme</b>	Niell (1996)
<b>Kaba hatalı ölçü eşik değeri</b>	30 metre
<b>Yükseklik açısı eşik değeri</b>	$10^0$
<b>PDOP eşik değeri</b>	4
<b>Gözlem aralığı</b>	30 saniye
<b>ISB</b>	Uygulandı
<b>Dengeleme Yöntemi</b>	En Küçük Kareler (EKK)

**Şekil 5.** Seçilen istasyonların coğrafi dağılımı*Figure 5. Geographical distribution of selected stations*

Diğer taraftan çalışma için seçilen 7 istasyonun hassas koordinatları “CenterPoint RTX Post-Processing” değerlendirme servisi kullanılarak elde edilmiştir (Trimble, 2022).

Bu çalışma kapsamında KTUN\_SPP’den elde edilen sonuçlar ile “CenterPoint RTX Post-Processing” değerlendirme servisinden elde edilen sonuçların yerel jeodezik (toposentrik) koordinat sisteminde karşılaştırması yapılmıştır. Bu karşılaştırmalarda kullanılan eşitlikler (5-9)’da verilmektedir. Burada RMS Root Mean Square,  $\Delta E, \Delta N, \Delta U$  sırasıyla doğu, kuzey, yukarı bileşenlerini,  $n$  ise toplam epok sayısını belirtmektedir.

$$3\text{-D konum hatası (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2 + \Delta U_i^2)} \quad (5)$$

$$2\text{-D yatay bileşenler (doğu ve kuzey) hatası (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\Delta E_i^2 + \Delta N_i^2)} \quad (6)$$

$$\text{Doğu bileşeni hatası (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta E_i^2} \quad (7)$$

$$\text{Kuzey bileşeni hatası (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta N_i^2} \quad (8)$$

$$\text{Yukarı bileşeni hatası (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta U_i^2} \quad (9)$$

KTUN\_SPP, GPS ve Galileo uydularını farklı filtreleme testlerine tâbi tutmakta ve bu testlerden geçemeyen uyduları ya da epokları dengeleme hesabına dahil etmemektedir. Başka bir ifadeyle KTUN\_SPP; sağlıklı uyduları, deneme aşamasında (bazen aktif bazen pasif durumda) olan Galileo uydularını,  $3\sigma$  güven aralığının dışında olan uyduları, belirlenen eşik değerine göre kaba hatalı ölçüleri, sinyal yükseklik açısının belirlenen eşik değerinden yüksek olan uyduları ve PDOP değerinin belirlenen bir eşik değerinden yüksek olan epokları kullanmamaktadır. Bu bağlamda istasyonlara ilişkin bir haftalık süre boyunca kullanılan toplam gözlem sayısı ve söz konusu filtreleme teknikleri ile atılan toplam gözlem sayıları Şekiller (6-8)'de verilmektedir.

## BULGULAR VE SONUÇLARIN İRDELENMESİ (RESULTS AND DISCUSSION)

Yapılan sayısal uygulamaya ilişkin sonuçların Ortalama (Ort.) Maksimum (Maks.) ve Minimum (Min.) değerleri Çizelgeler (5-10)'de verilmektedir.

**Çizelge 5.** Doğu, kuzey ve yukarı bileşenlerindeki GPS SPP sonuçları (metre)

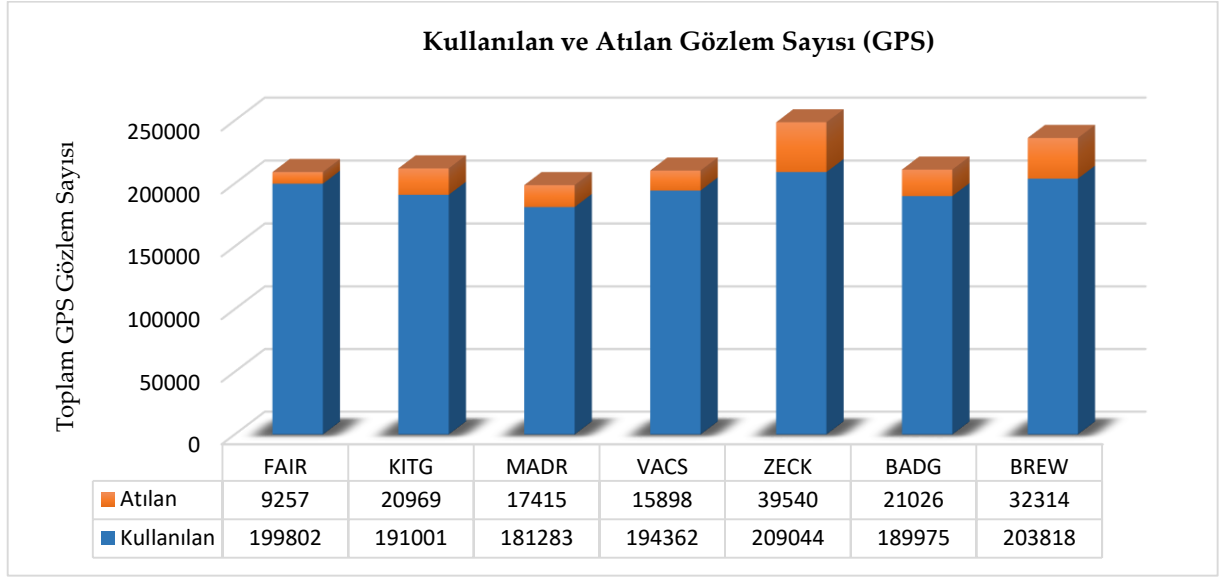
*Table 5. GPS SPP results in the east, north and up components (meters)*

İstasyon Adları	Ort. Doğu	Maks. Doğu	Min. Doğu	Ort. Kuzey	Maks. Kuzey	Min. Kuzey	Ort. Yukarı	Maks. Yukarı	Min. Yukarı
<b>FAIR</b>	0.78	0.99	0.67	0.93	1.04	0.82	2.82	3.08	2.61
<b>KITG</b>	0.56	0.71	0.42	0.78	0.85	0.68	1.85	2.16	1.61
<b>MADR</b>	0.73	0.84	0.66	1.06	1.25	0.93	2.18	2.61	1.65
<b>VACS</b>	0.79	1.16	0.64	1.93	2.39	1.49	2.26	3.39	1.66
<b>ZECK</b>	0.62	0.80	0.50	0.98	1.09	0.90	2.84	3.39	2.19
<b>BADG</b>	0.51	0.62	0.44	1.04	1.20	0.92	2.79	3.13	2.27
<b>BREW</b>	0.72	0.89	0.57	1.20	1.78	0.81	1.92	2.18	1.73

**Çizelge 6.** RMS3D ve RMS2D GPS SPP sonuçları (metre)

*Table 6. RMS3D and RMS2D GPS SPP results (meters)*

İstasyon Adları	Ort. RMS3D	Maks. RMS3D	Min. RMS3D	Ort. RMS2D	Maks. RMS2D	Min. RMS2D
<b>FAIR</b>	3.07	3.40	2.84	1.22	1.44	1.06
<b>KITG</b>	2.09	2.42	1.87	0.96	1.08	0.80
<b>MADR</b>	2.54	2.91	2.14	1.29	1.51	1.14
<b>VACS</b>	3.10	4.24	2.59	2.09	2.55	1.68
<b>ZECK</b>	3.07	3.61	2.45	1.17	1.25	1.09
<b>BADG</b>	3.02	3.35	2.61	1.16	1.30	1.03
<b>BREW</b>	2.39	2.86	2.00	1.40	1.99	0.99



**Şekil 6.** İstasyon bazında kullanılan ve atılan GPS gözlemi sayısı (7 gün)

*Figure 6. Number of GPS observations used and discarded per station (7 days)*

**Çizelge 7.** Doğu, kuzey ve yukarı bileşenlerindeki Galileo SPP sonuçları (metre)

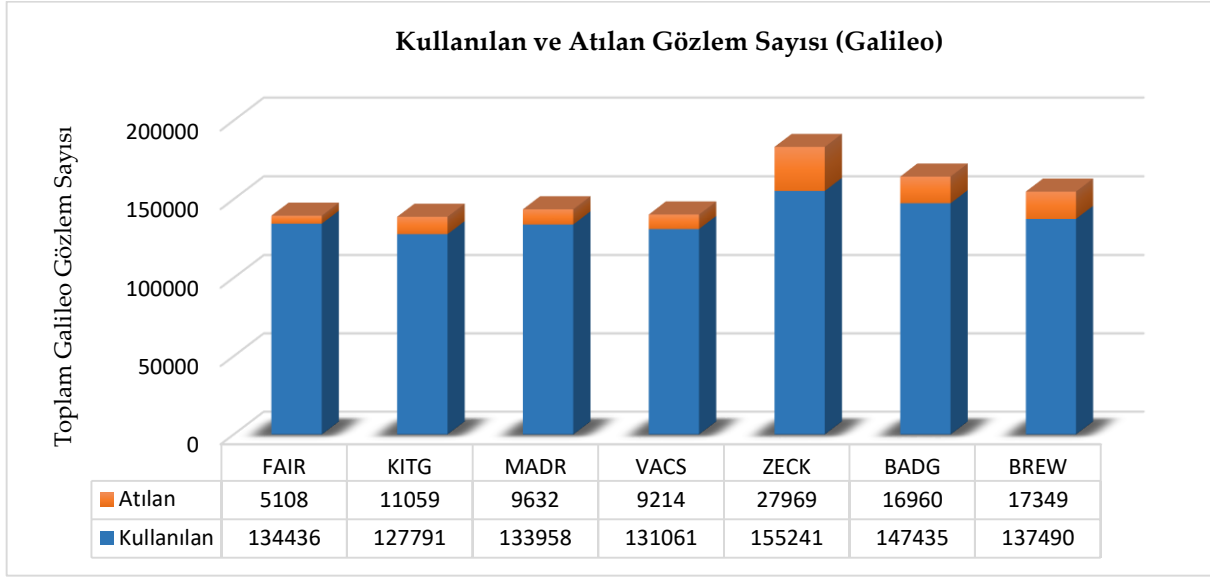
*Table 7. Galileo SPP results in the east, north and up components (meters)*

İstasyon Adları	Ort. Doğu	Maks. Doğu	Min. Doğu	Ort. Kuzey	Maks. Kuzey	Min. Kuzey	Ort. Yukarı	Maks. Yukarı	Min. Yukarı
FAIR	0.77	0.96	0.63	0.71	0.83	0.65	2.64	3.07	2.50
KITG	0.44	0.67	0.35	0.63	0.74	0.47	1.35	1.62	0.98
MADR	0.61	0.68	0.55	1.02	1.32	0.85	2.08	2.55	1.72
VACS	0.84	1.13	0.54	1.79	2.23	1.36	2.50	3.73	1.47
ZECK	0.42	0.48	0.36	0.85	0.93	0.68	2.68	3.16	2.02
BADG	0.47	0.56	0.42	0.77	0.83	0.68	2.51	2.82	1.93
BREW	0.63	1.17	0.43	1.05	1.56	0.68	1.83	2.01	1.54

**Çizelge 8.** RMS3D ve RMS2D Galileo SPP sonuçları (metre)

*Table 8. RMS3D and RMS2D Galileo SPP results (meters)*

İstasyon Adları	Ort. RMS3D	Maks. RMS3D	Min. RMS3D	Ort. RMS2D	Maks. RMS2D	Min. RMS2D
FAIR	2.85	3.29	2.46	1.05	1.20	0.90
KITG	1.56	1.79	1.19	0.77	1.00	0.62
MADR	2.41	2.76	2.20	1.19	1.49	1.02
VACS	3.21	4.48	2.07	1.98	2.48	1.46
ZECK	2.84	3.31	2.26	0.95	1.01	0.81
BADG	2.67	2.97	2.14	0.91	0.97	0.82
BREW	2.23	2.61	1.82	1.24	1.72	0.86



**Şekil 7.** İstasyon bazında kullanılan ve atılan Galileo gözlemi sayısı (7 gün)

*Figure 7. Number of Galileo observations used and discarded per station (7 days)*

**Çizelge 9.** Doğu, kuzey ve yukarı bileşenlerindeki GPS+Galileo SPP sonuçları (metre)

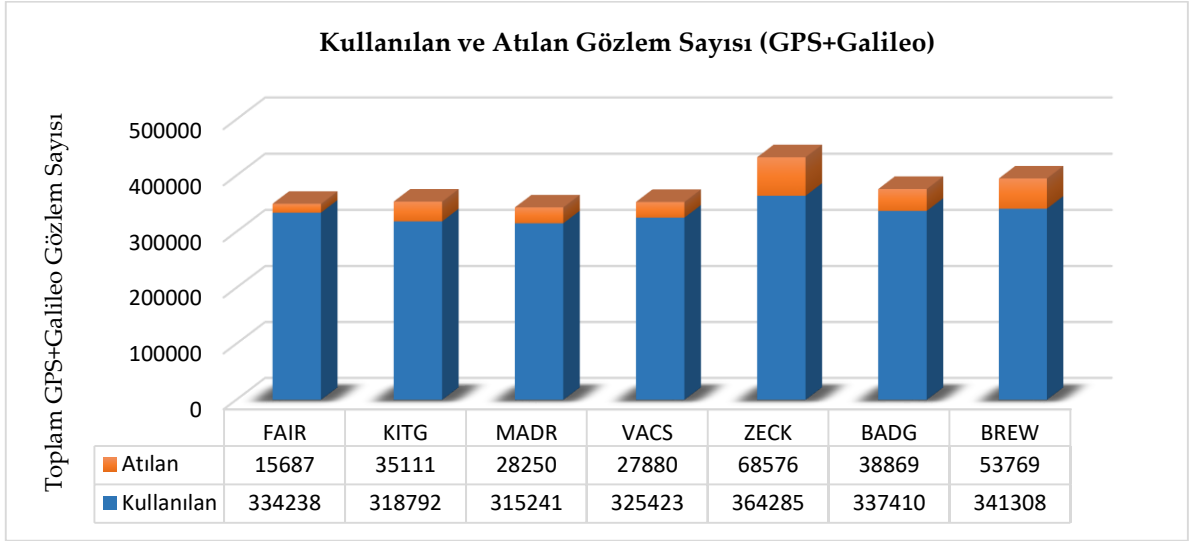
*Table 9. GPS+Galileo SPP results in the east, north and up components (meters)*

İstasyon Adları	Ort. Doğu	Maks. Doğu	Min. Doğu	Ort. Kuzey	Maks. Kuzey	Min. Kuzey	Ort. Yukarı	Maks. Yukarı	Min. Yukarı
FAIR	0.65	0.86	0.57	0.70	0.76	0.63	2.48	2.68	2.18
KITG	0.46	0.56	0.35	0.64	0.75	0.53	1.54	1.82	1.29
MADR	0.54	0.68	0.46	0.95	1.19	0.83	1.87	2.42	1.30
VACS	0.72	1.04	0.52	1.89	2.28	1.48	2.08	3.27	1.41
ZECK	0.47	0.61	0.37	0.85	0.93	0.71	2.73	3.32	2.05
BADG	0.39	0.51	0.32	0.86	0.99	0.75	2.60	2.94	2.00
BREW	0.57	0.71	0.45	1.05	1.60	0.65	1.65	1.91	1.52

**Çizelge 10.** RMS3D ve RMS2D GPS+Galileo SPP sonuçları (metre)

*Table 10. RMS3D and RMS2D GPS+Galileo SPP results (meters)*

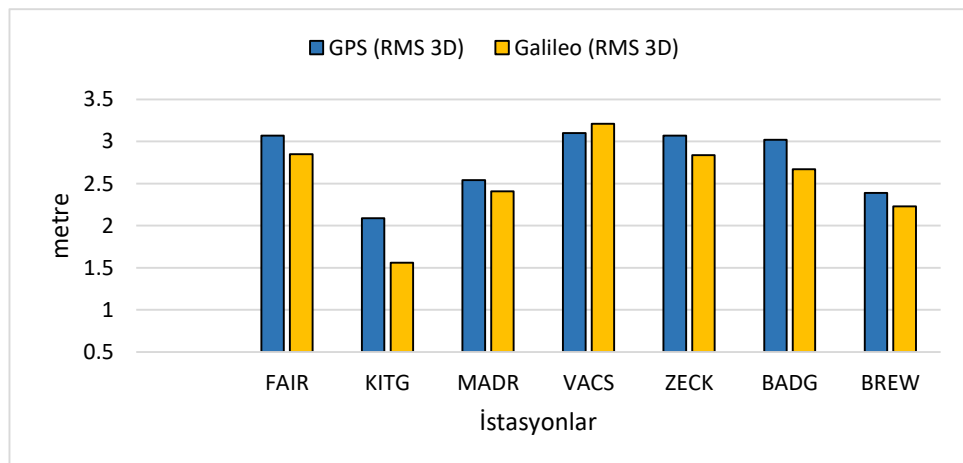
İstasyon Adları	Ort. RMS3D	Maks. RMS3D	Min. RMS3D	Ort. RMS2D	Maks. RMS2D	Min. RMS2D
FAIR	2.66	2.91	2.38	0.95	1.13	0.85
KITG	1.73	2.05	1.52	0.79	0.94	0.64
MADR	2.18	2.63	1.80	1.10	1.37	0.95
VACS	2.94	4.07	2.51	2.03	2.42	1.65
ZECK	2.90	3.48	2.27	0.98	1.05	0.86
BADG	2.77	3.09	2.26	0.95	1.05	0.85
BREW	2.06	2.35	1.72	1.20	1.75	0.81



**Şekil 8.** İstasyon bazında kullanılan ve atılan GPS+Galileo gözlemi sayısı (7 gün)

*Figure 8. Number of GPS+Galileo observations used and discarded per station (7 days)*

Çizelgeler (5-10) incelendiğinde, başka bir ifadeyle 7 günlük süre boyunca her 24 saatin sonunda elde edilen GPS SPP, Galileo SPP ve GPS+Galileo SPP senaryolarından elde edilen sonuçlar tüm istasyonlar göz önüne alınarak karşılaştırıldığında elde edilen sonuçların sivil (C/A) kod ölçülerinden beklenen doğruluk sınırları (1-10 metre) içerisinde kaldığı görülmektedir. Bilindiği üzere tek frekansta kod ölçüsü kullanarak navigasyon mesajı (yayın efemerisi) ile gerçek zamanlı konum belirlemede elde edilecek doğruluklar 1-10 metre arasında değişmektedir. Ancak KTUN\_SPP'nin uzun süreli GNSS kod gözlemlerinin kullanılması, belirli atmosferik düzeltme ve filtreleme tekniklerini de hesaba katmasıyla bu doğrulukları üç boyutlu konum hatası (RMS 3D) cinsinden  $\pm 1-3$  metre seviyesine indirmiş başka bir ifadeyle söz konusu doğrulukları iyileştirmiştir. Bu bağlamda GPS SPP ve Galileo SPP senaryolarından elde edilen Ort. RMS 3D doğrulukları Şekil (9)'da verilmiştir. Şekil (9) incelendiğinde, Galileo SPP senaryosundan elde edilen Ort. RMS 3D değerlerinin GPS SPP senaryosundan elde edilen Ort. RMS 3D değerlerinden (VACS istasyonu hariç) daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir.

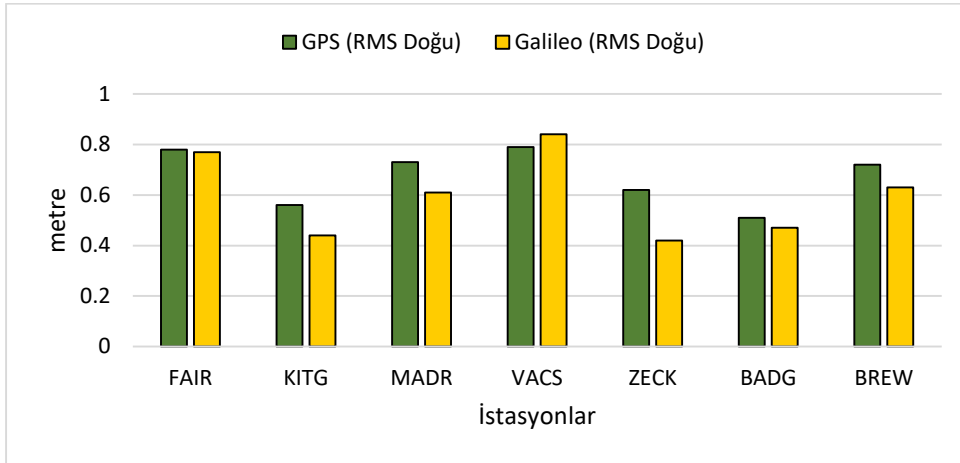


**Şekil 9.** İstasyonlara ilişkin RMS3D grafikleri (GPS-Galileo)

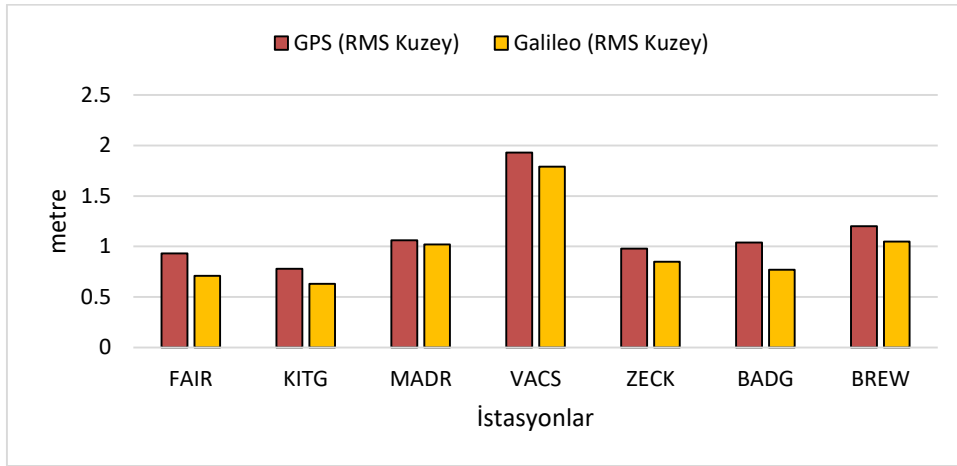
*Figure 9. RMS3D graphics of stations (GPS-Galileo)*

Diğer taraftan Çizelgeler (5-8) göz önüne alındığında Doğu, Kuzey ve Yukarı bileşenlerinin (VACS istasyonu hariç) diğer tüm istasyonlarda Galileo SPP sonuçlarının GPS SPP sonuçlarından daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Söz konusu sonuçlar Şekiller (10-12)'de grafikler şeklinde gösterilebilir.

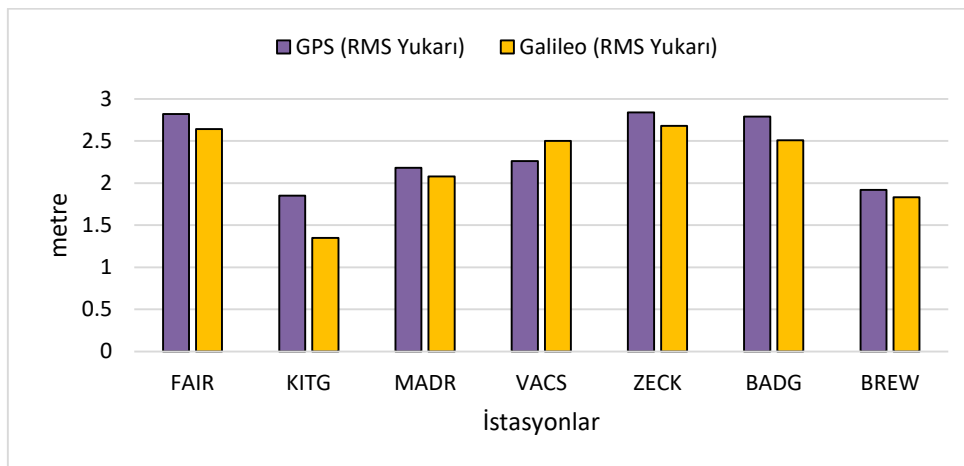




Şekil 10. İstasyonlara ilişkin RMS Doğu bileşeni grafikleri (GPS-Galileo)  
 Figure 10. RMS East component graphics of stations (GPS-Galileo)



Şekil 11. İstasyonlara ilişkin RMS Kuzey bileşeni grafikleri (GPS-Galileo)  
 Figure 11. RMS North component graphics of stations (GPS-Galileo)



Şekil 12. İstasyonlara ilişkin RMS Yukarı bileşeni grafikleri (GPS-Galileo)  
 Figure 12. RMS Up component graphics of stations (GPS-Galileo)

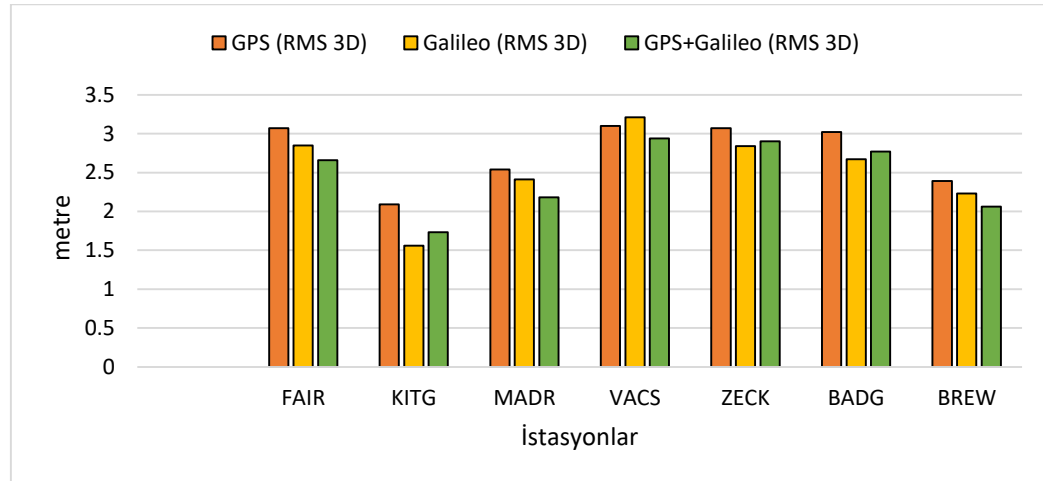
İstasyonlar incelendiğinde tüm bileşenlerde RMS (3D, Doğu, Kuzey ve Yukarı) sadece VACS istasyonunda GPS SPP sonuçlarının Galileo SPP sonuçlarından biraz daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle VACS istasyonunda, GPS ve Galileo SPP senaryoları RMS

(Doğu, Kuzey ve Yukarı) bileşenleri açısından incelendiğinde aralarındaki farkların sırasıyla (+5 cm, -14 cm ve +24 cm) olduğu görülmektedir. Diğer taraftan VACS istasyonuna ait RTX'in ürettiği rapor dosyası çözümleri incelendiğinde RTX'in bu istasyon için yaptığı hesaplama Galileo uydularını dahil etmediği görülmüştür. RTX rapor dosyasında Galileo uydularının neden elimine edildiğine dair herhangi bir bilgi olmasa da yapılan ayrıntılı inceleme sonucunda bunun nedeni VACS istasyonunda gözlenen Galileo uydu sayısının yetersiz olması, buna bağlı olarak uydu geometrisinin bozulması ve yüksek PDOP değerine sahip olması olarak belirlenmiştir.

Diğer taraftan, KTUN\_SPP yazılımının Galileo SPP senaryolarında aynı GPS SPP senaryosunda olduğu gibi Klobuchar iyonosferik modelini kullanması, Galileo SPP'den elde edilen doğruluğu belirli bir seviyede azalttığı düşünülmektedir. Bu konuda yapılmış ve yayınlanmış çalışmalar dikkate alındığında (Oladipo ve Schüler, 2012; Pan ve diğ., 2016), Galileo uyduları için NeQuick iyonosferik düzeltme modelinin kullanılmasının daha uygun olacağı belirtilmektedir.

Yukarıda anlatılan çalışmaya ilave olarak GPS uydularına Galileo uydularının da entegre edilmesiyle GPS+Galileo SPP senaryoları oluşturulmuş ve bununla ilgili sonuçlar aşağıda verilmiştir.

Çizelgeler (5-10)'a göre GPS, Galileo ve GPS+Galileo SPP senaryoları ort. RMS 3D açısından incelenmiş ve Şekil (13)'deki grafik oluşturulmuştur. Şekil (13)'de GPS SPP ve GPS+Galileo SPP üzerinden bir karşılaştırma yapıldığında GPS+Galileo SPP'nin yalnızca GPS SPP'ye göre daha küçük konum hatasına sahip olduğu görülmektedir. Diğer taraftan ZECK ve BADG istasyonlarında ise Galileo SPP ve GPS+Galileo SPP sonuçlarının birbirine hemen hemen yakın sonuçlar (~6-10 cm) verdiği görülmektedir.



Şekil 13. İstasyonlara ilişkin ortalama RMS3D grafikleri

Figure 13. Average RMS3D graphics for stations

Sonuç olarak; Galileo uydularının da katkısıyla GPS+Galileo SPP sonuçlarının sadece GPS SPP veya Galileo SPP sonuçlarına göre iyileşme gösterdiği açıktır. Ancak bazı istasyonlarda Galileo SPP'nin GPS+Galileo SPP sonuçlarına cm mertebesinde yakın olması metre seviyesinde doğruluğa sahip SPP yönteminde detaylı olarak incelenmesi gereken bir konu olarak görülmemektedir. Diğer taraftan KITG istasyonunda Galileo SPP sonuçları hem GPS SPP hem de GPS+Galileo SPP sonuçlarından daha küçük konum hatasına sahiptir. Bu durumun oluşmasında ölçüm yapılan günlerin yanı sıra Galileo uydularının belirli bir coğrafi bölge ve ölçüm anındaki uydu geometrisine bağlı olması etkili olmuştur. Başka bir ifadeyle, Galileo uydularının mevcut durumu bazı istasyonlarda konum doğruluğunu arttırırken bazı istasyonlarda ise düşürmektedir. Söz konusu durumun oluşmasında Galileo uydularının tam operasyonel kapasiteye (FOC: Full Operation Capability) ulaşmamış olması da etkili olmaktadır.

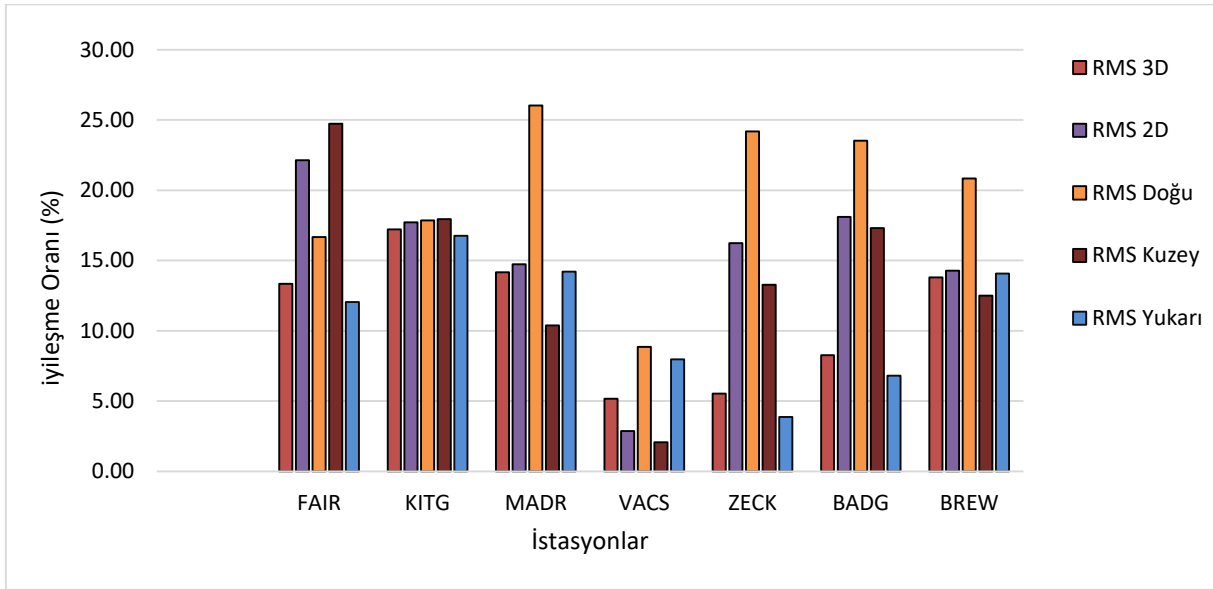
Çizelgeler (5-6 ve 9-10) incelendiğinde; GPS+Galileo SPP sonuçlarının GPS SPP sonuçlarına göre daha düşük konum hatalarına sahip olduğu görülmektedir. Başka bir ifadeyle GPS+Galileo SPP senaryosu ile elde edilen sonuçların sadece GPS SPP senaryosu ile elde edilen sonuçları iyileştirdiği açıktır. Söz konusu

iyileşme oranları (Galileo uydularının sonuçlara katkısı) RMS (3D, 2D, Doğu, Kuzey ve Yukarı) bileşenleri için Çizelge (11) ve Şekil (14)'de verilmektedir.

**Çizelge 11.** Galileo uydularının RMS (3D, 2D, Doğu, Kuzey ve Yukarı) bileşenlerine katkısı

*Table 11. The contribution of the Galileo satellites to the RMS (3D, 2D, East, North and Up) components*

İstasyon	RMS 3D (%)	RMS 2D (%)	RMS Doğu (%)	RMS Kuzey (%)	RMS Yukarı (%)
FAIR	13,36	22,13	16,67	24,73	12,06
KITG	17,22	17,71	17,86	17,95	16,76
MADR	14,17	14,73	26,03	10,38	14,22
VACS	5,16	2,87	8,86	2,07	7,96
ZECK	5,54	16,24	24,19	13,27	3,87
BADG	8,28	18,10	23,53	17,31	6,81
BREW	13,81	14,29	20,83	12,50	14,06



**Şekil 14.** Galileo uydularının RMS (3D, 2D, Doğu, Kuzey ve Yukarı) bileşenlerine katkısı

*Figure 14. The contribution of the Galileo satellites to the RMS (3D, 2D, East, North and Up) components*

Çizelge (11) ve Şekil (14) incelendiğinde örnek olarak FAIR istasyonunda GPS+Galileo SPP'nin yalnızca GPS SPP'ye göre konumlandırma doğruluğunu RMS (3D, 2D, Doğu, Kuzey ve Yukarı) bileşenlerinde sırasıyla %13,36, %22,13, %16,67, %24,73 ve %12,06 oranında arttırdığı şeklinde yorum yapmak olanaklıdır. Kalan istasyonlarla ilgili yorumlar da benzer şekilde yapılabilir.

Diğer taraftan tüm bileşenler göz önüne alındığında, toplam iyileşmenin en yüksek FAIR istasyonunda olduğu, en düşük iyileşmenin ise VACS istasyonunda olduğu görülmüştür. Ayrıca yine tüm bileşenler göz önüne alındığında en yüksek katkı oranı MADR istasyonu Doğu bileşeninde de olup, en düşük katkı oranı VACS istasyonu Kuzey bileşenindedir. Diğer taraftan tüm istasyonlar göz önüne alındığında, Galileo uydularının özellikle Doğu bileşeninde katkısının daha fazla olduğu görülmektedir.

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS)

Tek Nokta Konum Belirleme (SPP) yönteminde tek frekanslı alıcılarla yalnızca kod ölçülerinin kullanılması, iyonosferik etkinin %50-60 oranında giderilebilmesi, alıcı antenin çevre koşullarından kolayca etkilenmesi nedenleriyle gerçek zamanlı konum doğruluğu yaklaşık olarak 1-10 metre arasında değişmektedir. Dolayısıyla bu yöntem yüksek doğruluk isteyen mühendislik amaçlı kullanımlar için uygun değildir. Diğer taraftan yeni uydu sistemlerinin ortaya çıkması, GPS modernizasyonundaki

yenilikler, kod ölçü ve yayın efemerislerinin kalitesinin iyileştirilmesi, atmosferik modellerdeki gelişmeler ile birlikte SPP yönteminden elde edilebilecek güncel doğruluklar da iyileşmiştir. Buradan hareketle, SPP yönteminden elde edilebilecek doğruluk, Konya Teknik Üniversitesinde yüksek lisans tez çalışması kapsamında hazırlanan KTUN\_SPP isimli tek nokta konum belirleme yazılımı ile test edilmiştir. GPS ve Galileo uydularına ait L1 ve E1 frekanslarındaki C1 kod gözlemlerinin kullanıldığı yazılımda GPS SPP, Galileo SPP ve GPS+Galileo SPP senaryolarına göre hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamalardan elde edilen sonuçlar, "CenterPoint RTX Post-Processing" değerlendirme servisinden elde edilen sonuçlar ile yerel jeodezik (toposentrik) koordinat sisteminde RMS (3D, 2D, Doğu, Kuzey ve Yukarı) bileşenleri açısından karşılaştırılmıştır.

Çalışmadan elde edilen sonuçlar incelendiğinde, KTUN\_SPP'de uzun süreli GNSS kod gözlemlerinin, belirli atmosferik düzeltme ve filtreleme tekniklerinin kullanılmasıyla üç boyutlu SPP doğruluğu  $\pm 1-3$  metre seviyesine inmiş başka bir ifadeyle söz konusu doğruluklar iyileşmiştir. Diğer taraftan doğruluklar RMS (3D, Doğu, Kuzey ve Yukarı) bileşenleri için ayrı ayrı incelendiğinde, Galileo SPP sonuçlarının GPS SPP sonuçlarından daha yüksek doğruluğa sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca tüm bileşenler göz önüne alındığında, GPS+Galileo SPP sonuçlarının sadece GPS SPP veya sadece Galileo SPP sonuçlarına göre çoğu istasyonda daha küçük konum hatalarına sahip olduğu görülmüştür.

Diğer bir karşılaştırma ise GPS+Galileo SPP ve GPS SPP arasında olmuştur. Bu bağlamda GPS+Galileo SPP sonuçlarının sadece GPS SPP sonuçlarına kıyasla iyileşme oranları, başka bir deyişle Galileo uydularının "RMS 3D" açısından sonuçlara katkısı; FAIR, KITG, MADR, VACS, ZECK, BADG ve BREW istasyonlarında sırasıyla yaklaşık %13, %17, %14, %5, %8 ve %14 olarak gözlenmiştir. Diğer bileşenler için iyileşme oranları ise Çizelge (11)'de detaylı olarak verilmiştir.

Ayrıca, KTUN\_SPP'nin Galileo SPP senaryosunda Klobuchar iyonosferik düzeltme modelini kullanması Galileo SPP ile elde edilen doğruluğu belirli bir seviyede azalttığı düşünülmektedir. Diğer taraftan, bu konuda yapılan çalışmalar da dikkate alındığında Galileo uyduları için NeQuick iyonosferik düzeltme modelinin kullanılmasının daha uygun olacağı öngörülmektedir. Sonuç olarak çalışma kapsamında hazırlanmış olan KTUN\_SPP yazılımının tek nokta konum belirleme uygulamaları için güvenle kullanılabilir bir yazılım olduğu yapılan deneysel testlerle ortaya konmuştur.

#### TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Yazarlar, çalışma kapsamında kullanılan veri setleri için IGS (International GNSS Service)'e, KTUN\_SPP'nin oluşturulduğu programlama dili "Mathworks-MATLAB" a ve yazılımın performansının test edildiği online değerlendirme servisi "Trimble-CenterPoint RTX Post-Processing" e teşekkür eder.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Ayso, E., 2021, GPS L1-C1 ve Galileo E1-C1 Gözlemleri Kullanılarak Üç Boyutlu Konum Belirlenmesi Üzerine Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Cai, C., Gao, Y., Pan, L. and Dai, W., 2014, "An analysis on combined GPS/COMPASS data quality and its effect on single point positioning accuracy under different observing conditions", *Advances in Space Research*, Cilt 54, Sayı 5, ss. 818–29.
- Galileo OS SIS ICD-2021, "Galileo Open Service, Signal in Space Interface Control Document", European Space Agency.
- Galileo, *Galileo System, Service and Status*, <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>, ziyaret tarihi: 28 Nisan 2022.
- GPS, *GPS Space Segment*, <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>, ziyaret tarihi: 28 Nisan 2022.
- Guan Q., Fan C., Chen G., Chen C., 2021, "Performance Evaluation of BDS/GPS Combined Single Point Positioning with Low-cost Single-Frequency Receiver", *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, Cilt 49, Sayı 11, ss. 2847–2861.

- Hobiger, T., and Jakowski, N., 2017, "Atmospheric signal propagation", *Springer handbook of global navigation satellite systems*, Editör: Teunissen, P.J.G., Montenbruck O., Springer, Cham, 165-193.
- Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., Wasle, E., 2008, *GNSS—Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*, Springer Science & Business Media, New York.
- Hopfield, H., 1969, "Two-quartic tropospheric refractivity profile for correcting satellite data", *Journal of Geophysical research*, Cilt 74, Sayı 18, ss. 4487-4499.
- International GNSS Service (IGS), <https://igs.org/products/>, ziyaret tarihi: 28 Nisan 2022.
- Kahveci, M., 2017, *Kinematik GNSS ve RTK CORS Ağları*, 2.basım, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Kahveci, M., Alioğlu, D., Çetin G., 2021, "Tek Frekanslı GNSS Alıcılarında Kullanılan İyonosferik Etki Düzeltme Modellerinin Karşılaştırılması", *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 9, Sayı 2, ss. 428-441.
- Kahveci, M., Yıldız, F., 2022, *Uydularla Konum Belirleme Sistemleri (GNSS): Teori ve Uygulama*, 11. basım, Nobel Yayıncılık, Ankara.
- Karaim, M., Elsheikh, M., Noureldin, A., Rustamov, R., 2018, "GNSS Error Sources", *Multifunctional Operation and Application of GPS*, Rustamov, R., Hashimov A.M., *IntechOpen*, 69-85.
- Kırtıl, S., 2022, GNSS Konum Belirlemede Troposferik Etki Hesaplama Modelleri Üzerine Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Klobuchar, J.A., 1987, "Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users", *IEEE Transactions on aerospace and electronic systems*, Cilt AES-23, Sayı 3, ss. 325-331.
- Mathworks, *MATLAB R2020a*, <https://www.mathworks.com/>, ziyaret tarihi: 28 Nisan 2022.
- Montenbruck, O., Steigenberger, P., Hauschild, A., 2015, "Broadcast versus precise ephemerides: a multi-GNSS perspective", *GPS Solutions* Cilt 19, Sayı 2, ss. 321–333.
- Nava, B., Coisson, P., Radicella, S., 2008, "A new version of the NeQuick ionosphere electron density model", *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, Cilt 70, Sayı 15, ss. 1856-1862.
- Niell, A.E., 1996, "Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths", *Journal of geophysical research: solid earth*, Cilt 101, Sayı B2, ss. 3227-3246.
- Oladipo, O. A., Schüler, T., 2012, "GNSS single frequency ionospheric range delay corrections: NeQuick data ingestion technique", *Advances in Space Research*, Cilt 50, Sayı 9, ss. 1204–1212.
- Pan, L., Cai, C., Santerre, R., Zhang, X., 2016, "Performance evaluation of single-frequency point positioning with GPS, GLONASS, BeiDou and Galileo" *Survey Review*, Cilt 49, Sayı 354, ss. 197-205.
- Pan, L., Zhang, Z., Yu, W., Dai, W., 2021, "Intersystem Bias in GPS, GLONASS, Galileo, BDS-3, and BDS-2 Integrated SPP: Characteristics and Performance Enhancement as a Priori Constraints" *remote sensing*, Cilt 13, ss. 4650.
- Saastamoinen, J., 1972, "Atmospheric correction for the troposphere and stratosphere in radio ranging satellites", *The use of artificial satellites for geodesy*, Cilt 15, ss. 247-251.
- Seeber, G., 2003, *Satellite geodesy: foundations, methods, and applications*, Cilt 4, Walter de Gruyter, Berlin-New York.
- Trimble, *CenterPoint RTX Post-Processing*, <https://www.trimblertx.com/UploadForm.aspx>, ziyaret tarihi: 14 Nisan 2022.
- Van Sickle, J., 2008, *GPS for land surveyors*, Third Edition, Crc Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York.
- Zhang, Z., Pan, L., 2022, "Current performance of open position service with almost fully deployed multi-GNSS constellations: GPS, GLONASS, Galileo, BDS-2, and BDS-3", *Advances in Space Research*, Cilt 69, Sayı 5, ss. 1994-2019.
- Zumberge, J., Heflin, M., Jefferson, D., Watkins, M., Webb, F., 1997, "Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks", *Journal of geophysical research: solid earth*, Cilt 102, Sayı B3, ss. 5005-5017.
- Xu, G., Xu, Y., 2016, *GPS Theory, Algorithms and Applications*, Third edition, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.