



## Galileo uydu sisteminin nokta konumlamaya etkisi The effect of Galileo satellite system on point positioning

Cevat İnal<sup>1,\*</sup>, Tunahan Gündoğan<sup>2</sup>, Sercan Bülbül<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> Konya Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya, Türkiye

<sup>2</sup> Harita Genel Müdürlüğü, 06590, Ankara, Türkiye

### Öz

Küresel konumlama çalışmalarında GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou, bölgesel olarak ise IRNSS ve QZSS uydu sistemleri kullanılmaktadır. Yakın zamana kadar nokta konumları GPS ve GLONASS, BeiDou uydu sistemleri kullanılarak belirlenmiştir. 2020 yılından itibaren Galileo uydu sistemi de kullanılmaya başlanmıştır. GNSS ile nokta konumlarının belirlenmesindeki doğruluk kullanılan uydu sistemine, değerlendirme yazılımına, veri toplama süresine/kayıt aralığına vb. etkilere bağlı olarak değişmektedir. Bu çalışmada, Galileo uydu sisteminin nokta konumlamaya etkisi, ölçü süresine bağlı olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, 15.10.2020-13.11.2020 tarihleri arasında seçilen 7 adet TUSAGA istasyonun günlük RINEX verileri, 14 adet IGS istasyonuna ait RINEX verilerinden yararlanılarak, 2, 4 ve 12 saatlik dilimlere ayrılmış ve çözümler GAMIT/GLOBK ile GPS (G), GLONASS (R), Galileo (E) ve GPS+GLONASS+Galileo (GRE) ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda sadece GPS ile elde edilen günlük koordinatlar esas alınarak diğer uydu kombinasyonlarının bu koordinatlara yaklaşımı analiz edilmiştir. Yapılan analizlerde, ölçü süresi arttıkça doğruluğun arttığı, GPS koordinatlarına en iyi yaklaşımı sırasıyla, GRE., Galileo ve GLONASS uydu kombinasyonlarının sağladığı sonucuna varılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Galileo, GLONASS, GPS, GAMIT/GLOBK

### 1 Giriş

Günümüzde küresel konumlama çalışmalarında Amerika Birleşik Devletleri'nin Global Positioning System (GPS)'i, Rusya'nın Global Navigation Satellite System (GLONASS)'i, European Space Agency (ESA)'nın Galileo'su (E), Çin'in BeiDou uyduları kullanılmakta ve bu uydu sistemlerinin bütünü GNSS olarak adlandırılmaktadır. Bu uydu sistemlerinin dışında bölgesel kapsama alanı içinde Hindistan'ın Indian Regional Navigational Satellite System (IRNSS) i ve Japonya'nın Quasi-Zenith Satellite System (QZSS)'i kullanılmaktadır.

GNSS uydu tabanlı bir navigasyon ve konum belirleme sistemidir. GNSS alıcısı kullanan herkes konum belirleme uydularından alınan sinyaller yardımıyla istenilen konum bilgisini elde edebilir. Uydu sinyalleri sayesinde konum bilgisi elde edilirken hava koşullarına, zamana ve bulunan yere bağlılık yoktur. Son yıllarda teknolojiye ilerlemeler sayesinde neredeyse herkes elindeki akıllı telefon/saatler

### Abstract

GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou are used in global positioning studies, while IRNSS and QZSS are used regionally. Until recently, point positions were determined using GPS, GLONASS, and BeiDou satellite systems. Since 2020, the Galileo satellite system has also been used. The accuracy of point positioning with GNSS depends on the satellite system used, processing software, data collection time/interval, etc. In this study, the effect of the Galileo satellite system on point positioning was investigated depending on the data logging time. For this purpose, daily RINEX data of 7 selected TUSAGA stations between October 15, 2020, and November 13, 2020, were analyzed in 2, 4, and 12-hour increments using 14 IGS station RINEX data, and the solutions were evaluated with GAMIT/GLOBK according to GPS (G), GLONASS (R), Galileo (E), and GPS+GLONASS+Galileo (GRE). As a result of the evaluations, the approaches of other satellite combinations to the daily coordinates obtained using only GPS were analyzed. In the analyses conducted, it was concluded that the accuracy increases as the measurement time increases and that GRE, Galileo, and GLONASS satellite combinations provide the best approximation to GPS coordinates, respectively.

**Keywords:** Galileo, GLONASS, GPS, GAMIT/GLOBK

sayesinde bir GNSS alıcısı kullanılmaktadır. Bu alıcılar sayesinde kullanıcılar; kara, deniz ve hava ulaşımı, askeri operasyonlar, afet yardımı, çeşitli mühendislik hizmetleri gibi birçok alanda GNSS teknolojilerinden yararlanmaktadır.

Çoklu GNSS uydularının kullanılması ve bu uyduların sayısının artırılması sonucu doğruluk ve güvenilirliğin artması birçok mühendislik hizmetlerinde birden fazla uydu sisteminin kullanılmasına olanak sağlamıştır.

Uluslararası GNSS Servisi (IGS), GPS (G) ve GLONASS (R) uydularının ardından çeşitli ülkelere ait küresel ve bölgesel konum belirleme uydularını da kullanıcılara çoklu GNSS hizmeti sunmak için IGS ağına katmıştır.

Son yıllarda, GNSS ile konum belirlemeye yönelik birçok bilimsel çalışma yapılmıştır. GNSS ölçümleri ve analizleri ile uyduların ve istasyonların hareketleri modellenip, elde edilen sonuç dosyaları zaman serileri ile birleştirilerek hız alanları araştırılmıştır [1]. GPS Analysis at

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: cinal@ktun.edu.tr (C. İnal)

Geliş / Received: 15.02.2023 Kabul / Accepted: 26.04.2023 Yayınlanma / Published: 15.07.2023

doi: 10.28948/ngumuh.1250019

MIT (GAMIT) bilimsel veri değerlendirme yazılımıyla ilgili kampanya çözümleri öncesi yapılması gereken ve kampanya ile ilgili oluşturulacak dosyaların nasıl hazırlandığı, günlük çözümlerin nasıl yapıldığı [1], GLOBK çözümünde, girdi dosyalarının hazırlanması, çalıştırılması gereken komutlar ve elde edilen çıktı dosyaları açıklanmıştır [2]. Galileo Uydu sisteminin Küresel Konum Belirlemede sağladığı faydalar ve görünen uydu sayılarının az olduğu ortamlarda Galileo uyduları sayesinde konum doğruluğunun arttığı ifade edilmiştir [3]. Galileo'nun GPS, GLONASS ve Beidou uydu sistemleriyle birlikte kullanılabilirliği araştırılmış, bu dört uydu sistemi kullanılarak yörünge ve saat çözümleri yapılmıştır [4]. Sıfır farklar (zero differences) yöntemiyle GPS uydularına ait L1, L2, L5 frekansları ve Galileo uydularına ait E1, E5a, E5b, E6 frekanslarıyla performans analizi gerçekleştirilmiştir [5]. GPS, GLONASS, Galileo ve Beidou uydularıyla yapılan araştırmalarda sonuç koordinatlarına ait konum doğruluğu ve çözümleme başarısı araştırılmıştır [6]. GPS, GLONASS, Galileo ve Beidou sistemlerinin her birinin ayrı ayrı kullanılmasıyla elde edilen doğruluk araştırılmış ve elde edilen koordinatlar, GPS ile elde edilen koordinatlarla karşılaştırılmıştır [7]. GNSS sistemindeki GPS, GLONASS ve Galileo küresel konumlama uydularının çeşitli parametrelere göre performansları incelenmiş ve sonuçta çoklu sistemin tekli sisteme göre konum belirlemede daha başarılı olduğu ortaya konulmuştur. [8]. GPS, GLONASS, Galileo ve Beidou uyduları ayrı ayrı incelenmiş ve dünyada hangi bölgede ne kadar uydu görüldüğü açıklanmıştır [9]. Çoklu küresel konum belirleme uydularının (GPS, GLONASS, Galileo, Beidou, QZSS) hassas konum belirleme açısından performansları incelenmiştir [10].

Bu çalışmanın yukarıda bahsedilen çalışmalardan farkı, Galileo uydu sisteminin nokta konumlamaya etkisinin ölçü süresine bağlı olarak araştırılmasıdır. Bu kapsamda, 15.10.2020-13.11.2020 tarihleri arasında seçilen 7 adet TUSAGA istasyonunun (AKHI, BOZU, CINC, ESME, MNTS, SHUT, TVAS) günlük RINEX verileri, 14 adet IGS istasyonuna ait RINEX verilerinden yararlanılarak, 2, 4 ve 12 saatlik dilimlere ayrılmış ve çözümler GAMIT/GLOBK veri değerlendirme yazılımında sadece GPS, sadece GLONASS, sadece Galileo ve GPS+GLONASS+Galileo (GRE) uydu kombinasyonuna göre değerlendirilmiştir.

## 2 Küresel konum belirleme sistemleri

Günümüzde konum belirleme sistemleri denilince aklımıza Küresel Konum Belirleme Sistemleri olan GPS, GLONASS, Galileo, Beidou ve Bölgesel Konumlama Sistemleri olan IRNSS ve QZSS gelmektedir. Uydu tabanlı sistemlerin artmasıyla daha hassas ve doğruluğu yüksek konumlandırma yapılabilmektedir [11].

GPS, 1994 yılında tam faaliyet kapasitesine ulaşan ilk uydu tabanlı navigasyon ve küresel konum belirleme sistemidir. GPS uyduları dünyanın herhangi bir yerinde küresel anlamda kapsama sağlayarak minimum uydu sayısının gözlemlendiği, her türlü hava koşullarında kullanıcılara hizmet veren bir küresel konumlandırma sistemidir. GPS uyduları her bir uydu tarafından iletilen farklı kodlar sayesinde alıcıların uyduları birbirinden

ayırmasını sağlayan CDMA (Code Division Multiple Access) yöntemini kullanır. GPS sinyalleri bir temel frekansın ( $f_0=10.23$  MHz) farklı katsayılarla çarpılarak üretilmesiyle elde edilir. L1 ve L2 taşıyıcı frekansları iki PRN (Pseudo Random Noise) kodu ve navigasyon mesajı verileri ile modüle edilmiştir. Bu kodlar C/A (Coarse/Acquisition) kod ve P (Precision/Protected) kod olarak adlandırılır. GPS L5 sinyali, ulaşım güvenliği ve diğer yüksek performanslı uygulamalar için zorunlu gereksinimleri karşılamak üzere tasarlanmış üçüncü sivil GPS sinyalidir [13]. GPS L5 sinyali, ulaşımın ötesinde, dünya çapındaki kullanıcılara en gelişmiş sivil GPS sinyalini sağlamakta, L1 C/A ve L2C ile birlikte kullanıldığında, oldukça robust bir hizmet sunmaktadır. Trilaning adı verilen bir teknikte, üç GPS frekansının kullanılması metre altı doğruluğa ve çok uzun bazların çözümüne imkân vermektedir [12].

GLONASS, Aralık 1995 yılında tam faaliyet kapasitesine ulaşan ikinci küresel konum belirleme uydu sistemidir. Ancak Sovyetler Birliğindeki mali ve siyasi kriz nedeniyle GLONASS uyduları sayısı azalmış ve 2002 yılındaki uydu sayısı 7 ye kadar düşmüştür. 2003 yılında fırlatılmaya başlanan GLONASS-M uydularının bakımı yapılarak performansları artırılmıştır. Daha sonra ise 2011 yılında fırlatılmaya başlanan daha yeni ve daha küçük GLONASS-K uyduları uydu sistemine dahil edilmiştir. Uydulardaki yapılan yenileme çalışmaları ve ilave uyduların da uzay sistemine dahil edilmesiyle GLONASS uydularının sayısı tekrar 24 uyduya çıkarılmıştır. GLONASS uyduları, 10 Şubat 2023 itibarıyla toplamda 25 uydudan (çalışır durumda 24 ve devreye alınma aşamasında 1) oluşmaktadır [13]. GLONASS-K uydularının ömürleri yaklaşık 10 yıldır. Rusya ileride uydu sayısını 30'a çıkarmayı hedeflemektedir [15]. GLONASS uyduları, Standart Konum Belirleme Hizmeti (SPS: Standard Positioning Service) ve Yüksek Hassasiyetli Konum Belirleme Hizmeti (HPS: High Positioning Service) olmak üzere iki tür sinyal iletir. SPS ve HPS sinyalleri sırasıyla C/A kodunu kullanarak Standart Konumlandırma Hizmeti ve GPS'in P(Y) kodunu kullanarak Kesin Konumlandırma Hizmeti olarak düşünülebilir.

Galileo uydu sistemi, ESA'nın konum belirleme amacıyla geliştirdiği ve 2020 yılında tam faaliyet kapasitesine ulaşan, 10 Şubat 2023 itibarıyla yörüngesinde operasyonel anlamda kullanılabilir toplam 23 uydusu bulunan bir küresel konum belirleme sistemidir [15]. Küresel konum belirleme sisteminin başlangıcı 2005 yılında GIOVE-A ve 2008 yılında GIOVE-B olmak üzere iki uydunun yörüngeye fırlatılmasıyla başlamıştır. Sistemi doğrulamak amacıyla 2 operasyonel uydu 21 Ekim 2011 tarihinde devreye girmiştir. Daha sonra sistem doğruluğunu arttırmak amacıyla 12 Ekim 2012 tarihinde 2 uydu daha yörüngeye dahil edilmiştir. Yörünge Doğrulama Aşaması (IOV: In-Orbit Validation) tamamlandıktan sonra ilave uydularla üç yörüngede onlu uydu takımı olacak şekilde İlk Operasyonel Yeteneğine (IOC: Initial Operational Capability) ulaşmak için çalıştırılmıştır. Galileo uydularının sinyallerinden iki tanesi GPS sinyalleriyle (L1 ve L5) aynı frekans değerine sahiptir. Bu sinyaller birbiriyle karışmaması için farklı isimlendirmeler kullanılmıştır.

- Galileo uydu sisteminden 4 farklı hizmet verilmektedir.
1. Açık Hizmet (OS: Open Service)
  2. Yüksek Doğruluk Hizmeti (HAS: High Accuracy Service)
  3. Kamu Hizmet (PRS: Public Regulated Service)
  4. Can Güvenliği Hizmeti (SoL: Safety of Life)

Sistemdeki uyduların kullanımı herkes için ücretsizdir. Galileo uyduları ile alıcılar tek frekanslı ise yatayda 8 metre, düşeyde 35 metre, çift frekanslı ise yatayda 8 metre, düşeyde 15 metre doğruluklu konum bilgisi elde edilebilmektedir. Üçlü frekans kullanımları da şu anda test edilmektedir. Üçlü hizmeti kullanıldığında konum hassasiyeti daha da iyileşmektedir [14].

Galileo uydu sistemi, Avrupa'nın kuzey ülkeleri için GPS'ten daha iyi bir kapsama alanı sağlamaktadır [16]. HAS yaklaşık 1 santimetre doğruluk sunarken, geliştirilmiş performans ve işletim sistemi aracılığıyla daha fazla güvenilir verilere sahip olmasından dolayı ticari ve diğer yazılımların geliştirilmesine olanak vermektedir. HAS hem ücretsizdir ve hem de herkesin kullanımına açıktır. Galileo HAS, E6 bandındaki ve OS E1 bandındaki sinyallerin birleşimini kullanmaktadır. PRS, devlet tarafından yetkilendirilmiş kullanıcılara (polis, ordu, vb.) sınırlı konum ve zamanlama bilgileri sağlamaktadır. SoL hizmeti, bir bütünlük sağlamak ve konum belirlenmesinde yeterli doğruluk sağlanamadığında kullanıcıların uyarılması anlamına gelmektedir. Galileo uydularının menzili dünya çapında olduğundan uluslararası uydu destekli arama ve kurtarma girişimi olan Cospas-Sarsat'tan gelen arama ve kurtarma (sar: search-and-rescue) işaretlerinin sinyallerini test edip raporlayabilmektedir. Cospas-Sarsat, 1979 yılında Kanada, Fransa, Amerika Birleşik Devletleri ve Sovyetler Birliği (eski) tarafından kurulmuş uluslararası uydu tabanlı bir arama ve kurtarma, tehlike uyarısı tespit ve bilgi dağıtım merkezidir. Bu sayede Galileo uyduları, Cospas-Sarsat sistemine katkı sağlamaktadır ve acil durum işaretçilerinden gelen sinyalleri alıp ulusal kurtarma merkezine iletmektedir. Acil durum işaret sinyalleri bir gemiden, uçaktan, hatta bireylerden iletilir ve sinyalin geldiği yerin kesin

konumunun belirlenmesini sağlamaktadır. SoL hizmeti, E1 ve L6 bantlarını kullanmaktadır.

Galileo, kullanıcıların diğer mevcut sistemler tarafından sunulanlardan daha büyük doğrulukta gerçek konumlarını belirleme imkânı sağlamaktadır [17]. Galileo uydu sistemi navigasyon ve konumlandırma hizmeti sağlarken diğer GNSS sistemleriyle de uyumlu bir şekilde çalışmaktadır.

Beidou uydu sisteminde 6 adet GEO (Geostationary Earth Orbit: Jeostatik Dünya Yörüngesi) uydusu, 10 adet IGSO (Inclined Geosynchronous Satellite Orbit: Eğik Jeosenkron Uydu Yörüngesi) uydusu ve 27 adet MEO (Medium Earth Orbit: Orta Dünya Yörüngesi) uydusu bulunmaktadır. Bu sebeple Beidou sistemi, üç çeşit uydulardan oluşan melez bir küresel konumlama sistemidir. Beidou uyduları kullanıcılara hem bölgesel hem de küresel konumlama hizmeti sunmaktadır. Beidou uydularının sinyalleri frekans bakımından GPS ve Galileo'ya benzerdir. Diğer küresel konum belirleme sistemleri ile karşılaştırıldığında; Beidou, özellikle ekvatora yakın bölgelerde performans açısından gözlemlenebilir olmak ve daha iyi sonuçlar sunmak için yüksek yörüngelerde daha fazla uydu çalıştırmaktadır. Beidou uyduları, çoklu frekansların navigasyon sinyallerini kullanarak birden fazla frekans sinyallerini kullanır ve konum doğruluğunu iyileştirebilir. Ayrıca, küresel konumlandırma ve iletişim işlevini birlikte kullanarak, navigasyon ve zamanlama, konumlandırma, uluslararası arama ve kurtarma, kısa mesaj iletişimi, uydu tabanlı büyütme, yer büyütme ve hassas nokta konumlandırma vb. gibi çoklu hizmet yeteneklerine sahiptir. İzleme istasyonları Beidou uydularını sürekli olarak takip ederek ana kontrol istasyonuna bilgileri aktarır. Ana kontrol istasyonunda bu bilgiler daha sonra uydu yörünge bilgisine ve uydu saati düzeltmelerine eklenir. Ana kontrol istasyonları getirilecek düzeltme verilerini yükleme istasyonlarına iletir. Yüklemeye istasyonları ise bu düzeltme verilerini tüm uydulara en az günde bir kez iletir. Bu sayede uydular yörünge bilgilerini radyo sinyalleri sayesinde GNSS alıcılarına aktarır [14]. Tablo 1'de 20.02.2023 tarihi itibarıyla küresel konum belirleme uydularının genel özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** 20.02.2023 tarihinde küresel konum belirleme uydularının özellikleri

	GPS	GLONASS	Galileo	BeiDou
Uydu Sayısı	31	25	23	27 (MEO)
Yörünge Düzlemi	6	3	3	3
Yörünge Yarıçapı (km)	20200	19100	23222	21528
Yörünge Eğim Açısı	55°	64.8°	56°	55°
Yaklaşık Yörünge Periyodu	11sa 58dk	11sa 16dk	14sa 04dk	12sa 54dk
Sinyal Ayırma Tekniği	CDMA	FDMA, CDMA	CDMA	CDMA
Koordinat Sistemi	WGS-84	PZ-90	GTRF	CGCS
Zaman Ölçeği	GPS Zamanı	GLONASS Zamanı	GST	BDT

### 3 GAMIT/GLOBK yazılımı

GAMIT (GNSS at MIT) / GLOBK (Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program), veri değerlendirme yazılımı Harvard-Smithsonian Center'daki MIT (Massachusetts Institute of Technology)'de geliştirilmiş kapsamlı bir GNSS analiz paketidir. Yazılımın kurulum amacı;

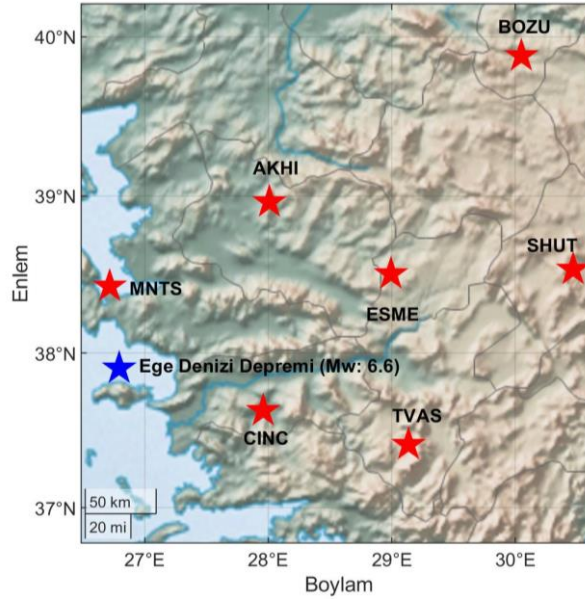
1. İstasyon koordinatlarını ve hızlarını,
2. Deprem sonrası deformasyonun stokastik (değişken) veya işlevsel temsillerini,
3. Atmosferik gecikmeleri,
4. Uydu yörüngelerini,
5. Yer Dönme Parametrelerini (ERP: Earth Rotation Parameters) tahmin etmek için tasarlanmıştır.

GAMIT'in erken gelişmesi için gerekli finansman, Hava Kuvvetleri Jeofizik Laboratuvarı ve NASA (National

Aeronautics and Space Administration) tarafından sağlanmıştır. GAMIT yazılımı, X-Windows destekleyen herhangi bir LINUX işletim sistemi altında çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Değerlendirilecek ağ yapısında en fazla 99 adet istasyon veya noktaya izin vermektedir [18]. GAMIT/GLOBK yazılımındaki iş akış şeması Şekil 3'te verilmiştir.

### 4 Uygulama

Uygulama alanı olarak 30 Ekim 2020 tarihindeki Ege Denizi depreminin olduğu bölgedeki TUSAGA noktaları seçilmiştir (Şekil 1). Bununla hem Galileo uydu sisteminin ölçü süresine bağlı olarak nokta konumlamaya etkisi hem de depremin TUSAGA noktalarında oluşturduğu değişimin belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışmada ise sadece Galileo uydu sisteminin nokta konumlamaya etkisi araştırılmıştır. Uygulamada kullanılan AKHI, TVAS, BOZU istasyonları 28/03/2022 tarihi ile TUSAGA-Aktif olarak faaliyet göstermektedir.



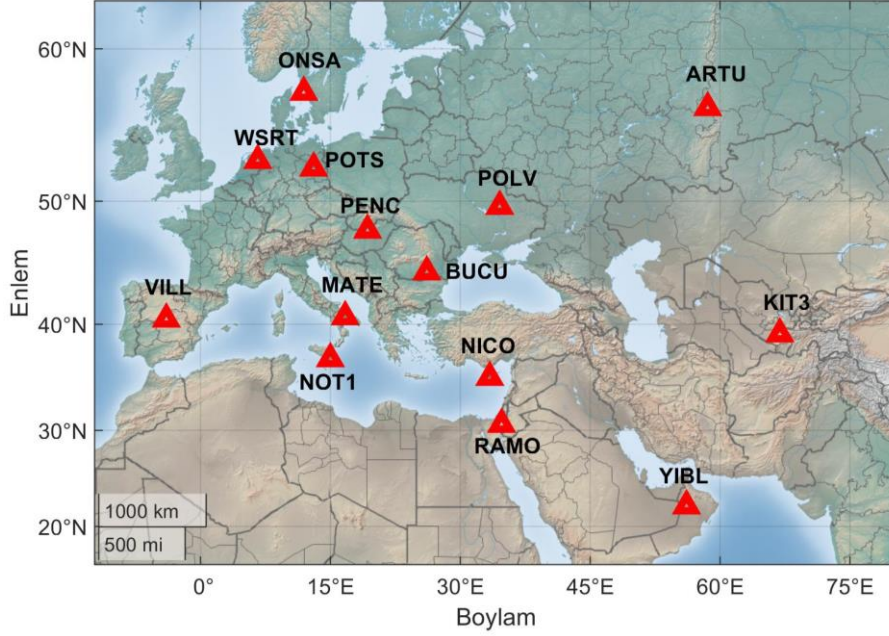
Şekil 1. Ege Denizi Depremi ve uygulamada kullanılan TUSAGA istasyonlarının dağılım haritası

Tablo 2. İstasyonlara ait tanımlayıcı bilgiler [19]

Nokta Adı	Nokta kısaltması	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (h) (m)	Alıcı	Anten
Akhisar	AKHI	38.9620	28.0096	841.757	LEICA GR30	LEIAR10 NONE
Bozüyük	BOZU	39.8809	30.0487	842.528	LEICA GR30	LEIAR10 NONE
Çine	CINC	37.6288	27.9598	227.331	LEICA GR30	LEIAR10 NONE
Eşme	ESME	38.5051	28.9938	884.346	LEICA GR30	LEIAR10 NONE
Menteş	MNTS	38.4265	26.7174	59.195	Trimble NETR9	TRM115000.00 NONE
Şuhut	SHUT	38.5339	30.4676	1337.436	LEICA GR30	LEIAR10 NONE
Tavas	TVAS	37.4099	29.1353	1126.771	Trimble NETR9	TRM115000.00 NONE

Seçilen bölgedeki; Akhisar (AKHI), Bozüyük (BOZU), Çine (CINC), Eşme (ESME), Menteş (MNTS), Şuhut (SHUT) ve Tavas (TVAS) TUSAGA istasyonlarında toplanan 2, 4, 12 saatlik RINEX verileri ile Galileo uydu sisteminin ölçü süresine bağlı olarak nokta konumlamaya etkisinin araştırılmasında kullanılmıştır. Kullanılan TUSAGA istasyonlarına ait tanımlayıcı bilgileri Tablo 2’de verilmiştir.

Seçilen TUSAGA istasyonlarının analizinde; ARTU, BUCU, KIT3, MATE, NICO, NOT1, ONSA, PENC, POLV, POTS, RAMO, VILL, WSRT ve YIBL IGS istasyonları referans olarak kullanılmıştır (Şekil 2). Kullanılan IGS istasyonlarına ait tanımlayıcı bilgiler Tablo 3’te verilmiştir.



Şekil 2. Uygulamada kullanılan IGS istasyonlarının dağılım haritası

Tablo 3. Kullanılan IGS istasyonlarına ait tanımlayıcı bilgiler [20]

Nokta Adı	Nokta Kısaltması	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (h) (m)	Alıcı	Anten
Arti	ARTU	56.430	58.560	248	JAVAD TRE_G3TH DELTA	ASH700936D_M
Bucuresti	BUCU	44.464	26.126	143	LEICA GR50	LEIAR25.R4
Kitab	KIT3	39.135	66.885	623	SEPT ASTERX4	SEPCHOKE_B3E6
Matera	MATE	40.649	16.704	536	LEICA GR30	LEIAR20
Nicosia	NICO	35.141	33.396	192	LEICA GR50	LEIAR25.R4
Noto	NOT1	36.876	14.990	126	LEICA GR30	LEIAR20
Onsala	ONSA	57.395	11.926	46	SEPT POLARX5TR	AOAD/M_B
Penç	PENC	47.790	19.282	292	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG
Poltava	POLV	49.603	34.543	178	LEICA GR50	LEIAR20
Potsdam	POTS	52.379	13.066	144	JAVAD TRE_3	JAVRINGANT_G5T
Mitzpe Ramon	RAMO	30.598	34.763	893	JAVAD TRE_G3TH DELTA	ASH701945B_M
Villafranca	VILL	40.444	-3.952	647	SEPT POLARX5	SEPCHOKE_B3E6
Westerbork	WSRT	52.915	6.604	86	SEPT POLARX5	AOAD/M_T
Yibal	YIBL	22.186	56.112	95	TRIMBLE NETR9	ASH701945C_M

TUSAGA istasyonlarındaki değişimleri ve Galileo uydu sisteminin nokta konumlamaya etkisini araştırmak amacıyla 15/10/2020 (2020 yılının 289. günü) -13/11/2020 (2020 yılının 318. günü) tarihleri arasında deprem saatini esas alarak 2, 4, 12 saatlik RINEX verileri elde edilmiştir. Elde edilen RINEX verileri GPS, GLONASS, Galileo ve GRE uydu kombinasyonlarında günlük olarak GAMIT/GLOBK bilimsel veri değerlendirme yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmelerde izlenen çözüm stratejisi;

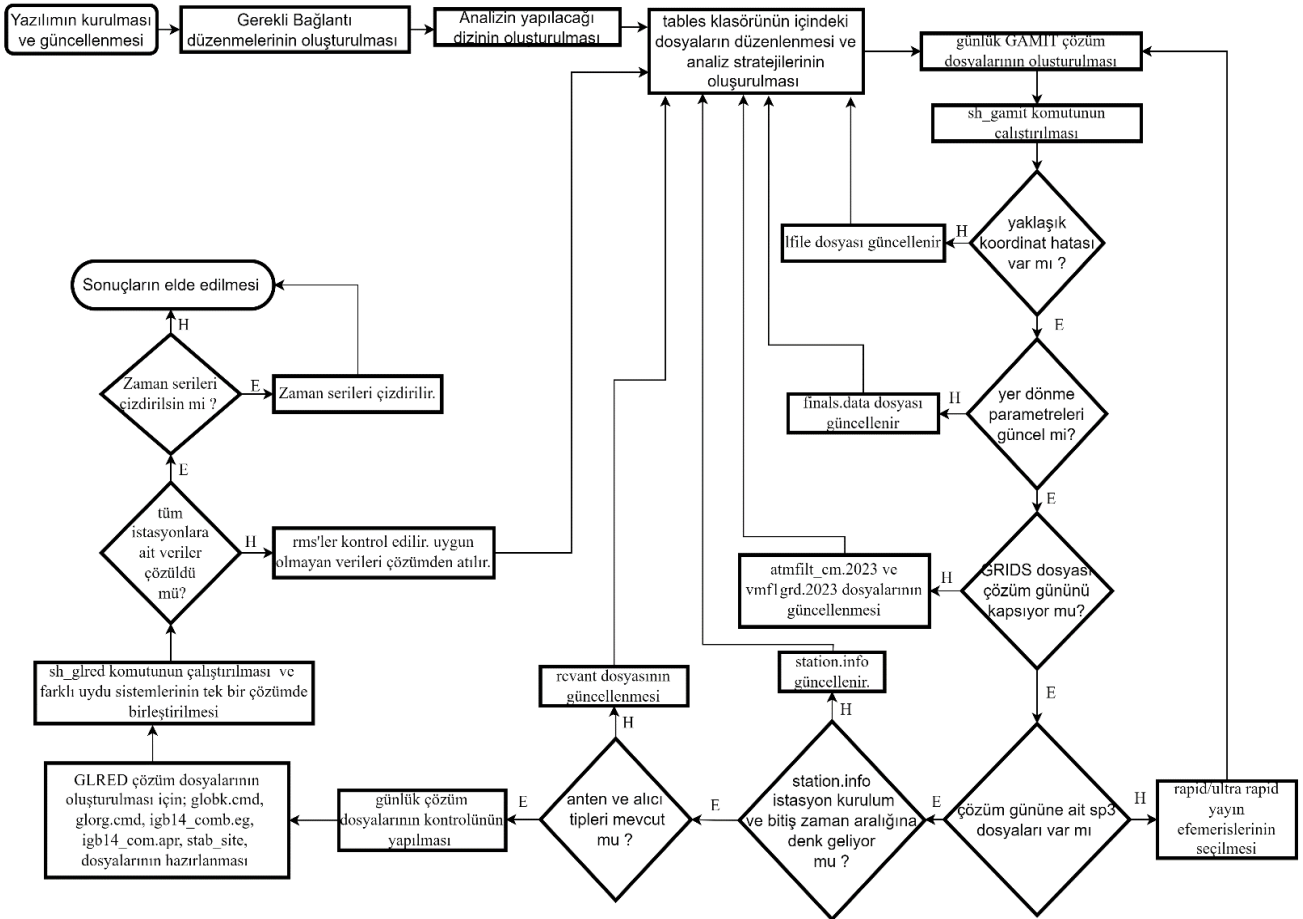
- IGS hassas yörünge (sp3)
- usno\_bull\_b yörünge parametresi,
- 14 adet IGS istasyonu,
- Referans Çerçevesi: ITRF 2014,
- Okyanus yüklemesi etkisi: FES2004,
- Zenit gecikmesi: PWL (piecewise linear),
- Kuru/ ıslak atmosfer için: VMF1 (Vienna Mapping Function 1),
- Öncül Troposfer Modeli: Global Pressure Temperature Model (GPT 50)

olarak seçilmiştir. Toplam 360 değerlendirme yapılmış, her bir değerlendirme ölçü süresine bağlı olarak ~20 dk ile ~60 dk arasında değişmektedir [21].

Çözümlerde GPS uydu sistemlerinden elde edilen günlük koordinatlar esas alınarak diğer uydu sistemleri ile x, y ve h yönündeki farklar;

$$\begin{aligned} dx_{yöntem} &= x_{yöntem} - x_{GPS} \\ dy_{yöntem} &= y_{yöntem} - y_{GPS} \\ dh_{yöntem} &= h_{yöntem} - h_{GPS} \end{aligned} \quad (1)$$

ile hesaplanmıştır. Eşitlikte alt indis yöntem: GRE, GLONASS, Galileo uydu kombinasyonlarını ifade etmektedir. Elde edilen maksimum ve minimum farklar ile, farkların ortalaması ve karesel ortalama hatalar (koh) Tablo 4-6 'da verilmektedir.



Şekil 3. Çözümde kullanılan GAMIT/GLOBK iş akış şeması

**Tablo 4.** 2 saatlik ölçülere ait farklar

Nokta Adı	İstatistik Değerler	GRE-GPS			GLONASS-GPS			GALILEO-GPS		
		dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)
AKHI	Maks.	23.0	30.0	111.8	921.1	419.4	352.8	63.7	71.8	160.4
	Min.	-112.8	-17.4	-28.8	-87.4	-192.3	-105.3	<b>-92.6*</b>	-85.4	-123.8
	Ort.	-8.3	4.1	20.4	57.6	17.0	28.0	7.5	-6.4	9.8
	koh	26.7	13.0	39.0	223.9	89.3	81.0	40.0	33.2	62.5
BOZU	Maks.	23.1	28.2	126.0	817.4	1097.3	<b>1512.1*</b>	68.7	90.0	130.9
	Min.	-114.6	-15.4	-37.1	-754.5	<b>-2785.9*</b>	-155.9	-36.2	-47.8	-120.4
	Ort.	-7.9	3.5	16.9	-0.9	-63.5	123.2	9.5	1.0	-9.4
	koh	26.1	12.3	34.7	215.0	557.6	355.9	29.2	25.5	53.1
CINC	Maks.	25.2	31.8	118.0	427.3	825.3	1151.0	70.4	29.3	96.9
	Min.	-113.5	-14.4	-41.3	-394.2	-1022.1	-876.4	-67.2	-45.0	-143.8
	Ort.	-7.3	3.5	17.5	2.8	2.3	43.0	9.0	1.0	-13.4
	koh	26.2	11.4	38.0	163.8	249.8	353.2	35.3	19.3	61.4
ESME	Maks.	23.8	29.8	82.6	51.2	38.2	87.9	66.4	25.8	72.1
	Min.	-50.3	-13.6	-38.5	-94.9	-23.2	-41.2	-67.4	-48.9	-125.3
	Ort.	-4.8	2.6	10.6	-15.7	8.4	19.3	8.0	-2.1	-5.3
	koh	16.0	10.9	27.3	33.1	17.6	38.7	30.5	19.0	44.4
MNTS	Maks.	27.2	31.8	122.3	54.7	39.9	160.3	67.0	28.3	140.4
	Min.	-109.9	-13.1	-47.1	-129.3	-25.4	-112.2	-63.1	-51.5	-190.8
	Ort.	-9.5	4.1	23.2	-19.9	10.2	31.2	6.1	-0.6	3.4
	koh	26.7	11.8	42.6	40.4	19.7	61.1	34.5	20.8	72.6
SHUT	Maks.	22.8	34.1	<b>134.0*</b>	33.5	49.6	147.8	63.7	39.4	157.1
	Min.	-122.0	-12.3	-38.5	-131.6	-25.3	-66.4	-71.6	-49.1	-99.1
	Ort.	-10.3	4.6	22.0	-23.2	12.2	30.1	5.9	2.1	1.7
	koh	28.4	13.0	41.5	41.4	21.8	57.5	30.1	22.1	63.6
TVAS	Maks.	26.5	31.9	121.5	25.4	38.6	123.7	67.8	38.2	<b>208.1*</b>
	Min.	<b>124.0*</b>	-14.7	-39.1	-134.9	-18.0	-81.4	-74.2	-51.4	-121.3
	Ort.	-9.9	5.4	21.2	-24.0	10.9	27.7	8.3	-1.6	9.9
	koh	29.1	13.4	41.9	41.6	19.7	51.4	33.9	23.1	78.6

2 saatlik ölçülerin analizinde; y ve x koordinat eksenleri yönünde maksimum fark GRE-GPS, GLONASS-GPS ve Galileo-GPS'e göre sırasıyla, 124.0 mm, 2785.9 mm, 92.6

mm, h yönünde maksimum farklar ise sırasıyla, 134.0 mm, 1512.1 mm, 208.1 mm olarak hesaplanmıştır.

**Tablo 5.** 4 saatlik ölçülere ait farklar

Nokta Adı	İstatistik Değerler	GRE-GPS			GLONASS-GPS			GALILEO-GPS		
		dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)
AKHI	Maks.	7.2	<b>26.2*</b>	17.5	858.2	930.3	1214.5	0.3	7.3	41.7
	Min.	-4.4	-3.5	<b>-45.2*</b>	<b>-2125.6*</b>	-919.1	-1238.4	-7.0	-6.6	-27.8
	Ort.	-1.0	2.5	-0.4	-43.8	42.1	26.7	-2.4	1.1	2.6
	KOH	2.4	5.6	12.5	425.5	273.3	382.9	3.1	3.6	14.1
BOZU	Maks.	3.7	6.5	14.1	117.4	94.5	935.3	5.8	9.3	23.7
	Min.	-5.3	-3.5	-12.6	-460.4	-838.4	-176.6	-8.5	-7.7	-25.7
	Ort.	-1.1	0.8	1.7	-34.2	-40.0	62.5	-1.9	0.3	4.0
	KOH	1.9	2.1	6.3	111.4	163.9	213.7	3.4	3.2	12.7
CINC	Maks.	6.7	5.9	15.1	496.5	1641.9	132.6	<b>13.3*</b>	7.5	42.3
	Min.	-4.8	-1.9	-17.7	-237.1	-70.1	<b>-1989.6*</b>	-8.5	-5.4	-43.9
	Ort.	-0.8	0.8	0.6	22.4	66.0	-58.4	-1.5	0.0	1.4
	KOH	2.1	1.9	6.5	113.8	298.9	364.8	3.9	2.9	16.1
ESME	Maks.	4.5	4.6	15.6	9.7	27.3	35.6	7.4	5.4	31.7
	Min.	-3.9	-6.8	-9.0	-23.4	0.0	-14.4	-6.9	-7.6	-6.3
	Ort.	-0.8	1.1	1.3	-6.8	11.6	9.3	-0.6	-0.7	6.8
	KOH	1.7	2.5	5.0	11.2	15.0	15.7	2.8	3.0	11.7
MNTS	Maks.	1.0	4.6	12.3	8.6	27.1	55.5	2.4	9.9	30.7
	Min.	-6.0	-1.7	-7.4	-21.9	-5.3	-30.2	-13.0	-4.8	-18.5
	Ort.	-1.9	1.2	2.6	-7.5	10.9	20.2	-3.6	0.2	7.3
	KOH	2.6	2.0	5.6	10.7	13.0	28.1	5.1	3.5	13.5
SHUT	Maks.	2.3	5.1	14.7	12.1	31.5	53.0	3.1	9.2	<b>54.2*</b>
	Min.	-3.6	-2.2	-17.1	-22.4	-8.0	-12.9	-8.5	-6.7	-42.2
	Ort.	-1.2	1.6	1.6	-7.7	13.3	17.8	-2.3	0.6	5.2
	KOH	2.0	2.4	6.4	11.7	16.0	23.6	3.9	3.6	16.5
TVAS	Maks.	2.2	4.7	13.1	15.6	29.1	68.6	3.5	5.2	30.3
	Min.	-4.4	-2.0	-4.6	-35.3	-6.7	-6.9	-11.2	-6.2	-13.0
	Ort.	-1.3	1.3	2.8	-7.2	10.9	21.1	-2.8	0.5	9.0
	KOH	2.1	2.1	5.1	13.5	14.1	27.5	4.5	3.2	15.6

4 saatlik ölçülerin analizinde; y ve x koordinat eksenleri yönünde maksimum fark GRE-GPS, GLONASS-GPS ve Galileo-GPS'e göre sırasıyla, 26.2 mm, 2125.6 mm, 13.3

mm, h yönünde maksimum farklar ise sırasıyla, 45.2 mm, 1989.6 mm, 54.2 mm olarak hesaplanmıştır.



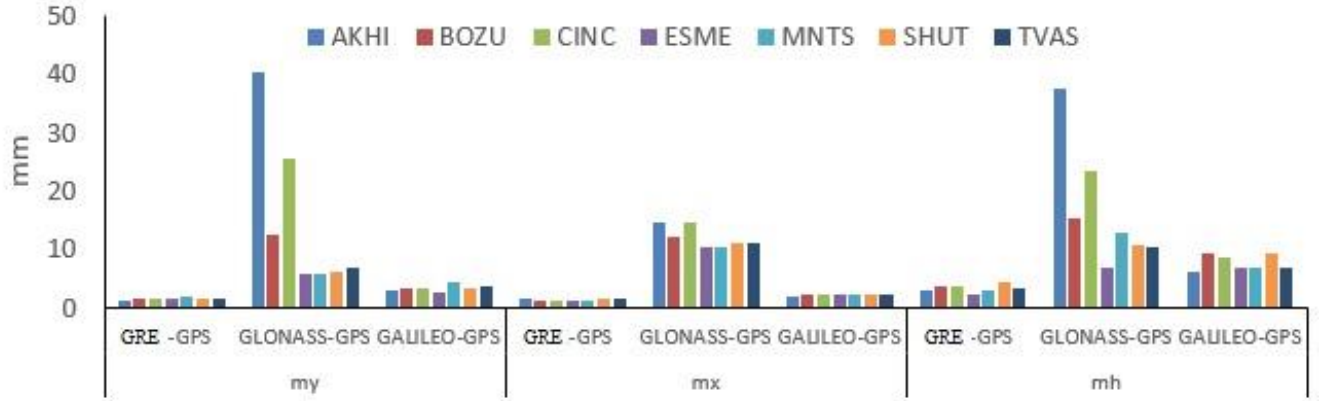
**Tablo 6.** 12 saatlik ölçülere ait farklar

Nokta Adı	İstatistik Değerler	GRE-GPS			GLONASS-GPS			GALILEO-GPS		
		dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)	dy (mm)	dx (mm)	dh (mm)
AKHI	Maks.	1.1	3.3	3.8	28.7	48.0	57.7	1.4	3.0	13.2
	Min.	-2.6	-1.8	-6.7	<b>-193.4*</b>	-13.0	<b>-147.2*</b>	-6.2	-5.7	-15.0
	Ort.	-0.7	1.0	-1.3	-6.9	9.3	-7.9	-2.1	-0.2	-0.9
	KOH	1.2	1.4	3.1	40.3	14.6	37.5	2.8	1.8	6.3
BOZU	Maks.	0.0	2.0	8.7	20.1	35.9	26.1	0.1	2.2	17.5
	Min.	<b>-4.1*</b>	-1.5	-6.4	-53.8	-16.6	-40.1	-6.6	-5.6	-17.1
	Ort.	-1.2	0.5	2.2	-1.0	8.5	2.9	-2.6	-0.9	6.0
	KOH	1.5	1.0	3.8	12.3	12.1	15.4	3.2	2.1	9.3
CINC	Maks.	1.4	1.7	7.6	117.3	62.9	47.9	3.0	0.9	16.0
	Min.	-3.6	-3.2	-6.1	-46.0	-11.4	-80.8	-7.4	-5.2	-17.0
	Ort.	-1.0	-0.1	1.8	2.9	7.9	4.9	-2.3	-1.6	4.2
	KOH	1.6	1.1	3.6	25.6	14.4	23.3	3.1	2.4	8.7
ESME	Maks.	1.2	3.3	4.4	15.8	17.9	16.2	0.8	2.8	16.1
	Min.	-3.5	-2.2	-6.6	-13.9	0.0	-9.5	-6.8	-7.4	-5.4
	Ort.	-0.7	0.8	0.2	0.2	8.9	1.1	-1.7	-1.0	4.8
	KOH	1.4	1.3	2.3	5.7	10.4	6.8	2.5	2.2	7.0
MNTS	Maks.	0.7	2.9	9.9	13.0	15.9	27.1	0.0	3.1	16.4
	Min.	-3.7	-1.4	-3.7	-10.1	0.0	-12.8	<b>-8.7*</b>	-4.1	-4.9
	Ort.	-1.6	0.7	1.2	0.2	9.6	9.4	-3.7	-1.1	4.1
	KOH	1.9	1.2	2.9	5.7	10.3	12.9	4.3	2.2	6.8
SHUT	Maks.	0.7	3.0	<b>16.1*</b>	13.9	17.6	38.2	0.0	3.2	<b>28.6*</b>
	Min.	-3.4	-1.1	-7.2	-12.1	0.0	-7.6	-5.7	-5.8	-11.9
	Ort.	-1.2	1.0	0.6	-0.4	10.1	5.0	-2.9	-0.8	4.6
	KOH	1.6	1.4	4.3	6.0	10.9	10.8	3.3	2.2	9.3
TVAS	Maks.	1.3	4.0	10.3	12.2	16.0	24.3	1.0	6.0	20.7
	Min.	-3.9	-1.3	-5.6	-13.0	0.0	-20.8	-7.2	-4.9	-10.4
	Ort.	-1.2	1.0	-0.3	2.1	10.1	4.4	-3.1	-0.4	2.6
	KOH	1.7	1.5	3.2	6.8	10.9	10.5	3.8	2.2	6.9

12 saatlik ölçülerin analizinde; y ve x koordinat eksenleri yönünde maksimum fark GRE-GPS, GLONASS-GPS ve Galileo-GPS'e göre sırasıyla, 4.1 mm, 193.4 mm, 8.7 mm, h yönünde maksimum farklar ise sırasıyla, 16.1 mm, 147.2 mm, 28.6 mm olarak hesaplanmıştır. **Tablo 4-6** incelendiğinde, ölçü süresi arttıkça farkların ve ortalama

hataların küçüldüğü görülmektedir. Bu nedenle, sadece 12 saatlik ölçülere ait ortalama hatalar **Şekil 4**'te verilmiştir.

**Şekil 4** incelendiğinde, GLONASS-GPS karşılaştırmasındaki ortalama hataların bütün koordinat eksenleri yönünde diğerlerine göre daha büyük olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 12 saatlik ölçülere ait koordinat eksenleri yönündeki ortalama hatalar

## 5 Sonuçlar

Bu çalışmada, Galileo uydu sisteminin nokta konumlamaya etkisi, ölçü süresine bağlı olarak araştırılmıştır. Bu kapsamda, 15.10.2020-13.11.2020 tarihleri arasında seçilen 7 adet TUSAGA istasyonun günlük RINEX verileri, 14 adet IGS istasyonuna ait RINEX verilerinden yararlanılarak, 2, 4 ve 12 saatlik dilimlere ayrılmış ve çözümler GAMIT/GLOBK veri değerlendirme yazılımında sadece GPS, sadece GLONASS, sadece Galileo ve GRE uydu kombinasyonuna göre değerlendirilmiştir. Toplam olarak 360 değerlendirme yapılmıştır. Her bir değerlendirme ölçü süresine bağlı olarak ~20 dakika ile ~60 dakika arasında değişmektedir. Değerlendirme sonuçları kullanılarak oluşturulan Çizelge 4-6 dikkate alındığında;

- 2 saatlik ölçülerin analizinde; y ve x koordinat eksenleri yönünde maksimum fark GRE-GPS, GLONASS-GPS ve Galileo-GPS'e göre sırasıyla, 124.0 mm, 2785.9 mm, 92.6 mm, h yönünde maksimum farklar ise sırasıyla, 134.0 mm, 1512.1 mm, 208.1 mm olduğu,  
- 4 saatlik ölçülerin analizinde; y ve x koordinat eksenleri yönünde maksimum fark GRE-GPS, GLONASS-GPS ve Galileo-GPS'e göre sırasıyla, 26.2 mm, 2125.6 mm, 13.3 mm, h yönünde maksimum farklar ise sırasıyla, 45.2 mm, 1989.6 mm, 54.2 mm olduğu,  
- 12 saatlik ölçülerin analizinde; y ve x koordinat eksenleri yönünde maksimum fark GRE-GPS, GLONASS-GPS ve Galileo-GPS'e göre sırasıyla, 4.1 mm, 193.4 mm, 8.7 mm, h yönünde maksimum farklar ise sırasıyla, 16.1 mm, 147.2 mm, 28.6 mm olduğu görülmektedir. Çizelge 4-6 ve Şekil 4 birlikte değerlendirildiğinde, GPS+GLONASS+Galileo çözüm olarak ifade edilen GRE çözümünün en iyi sonucu verdiği bunu sırasıyla Galileo ve GLONASS çözümlerinin izlediği görülmektedir.

## Teşekkür

Bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalında, Prof. Dr. Cevat İNAL danışmanlığında, Tunahan GÜNDOĞAN tarafından hazırlanan "Galileo Uydu

Sisteminin Nokta Konumlamaya Etkisi" konulu Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

## Çıkar çatışması

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** %4

## Kaynaklar

- [1] T. A. Herring, R. W. King, M. A. Floyd, S. C. McClusky, GAMIT (GPS Analysis at MIT) Reference Manual Release 10.7, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Amerika Birleşik Devletleri, 2018.
- [2] T. A. Herring, M. A. Floyd, R. W. King, S. C. McClusky, GLOBK Reference Manual: Global Kalman filter VLBI and GPS Analysis Program, Release 10.6, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Amerika Birleşik Devletleri, 2015.
- [3] X. Luo., S. Schaufler., M. Branzanti., J. Chen., Assessing the benefits of Galileo to high-precision GNSS positioning – RTK, PPP and post-processing, Advances in Space Research, 68, 4916–4931, 2021.
- [4] W. Zhou, H. Cai, G. Chen, W. Jiao, Q. He, Y. Yang, Multi-GNSS Combined Orbit and Clock Solutions at Sensors, 22, 457, 2022. <https://doi.org/10.3390/s22020457>
- [5] L. Zhao, P. Blunt, L. Yang, 2022, Performance Analysis of Zero-Difference GPS L1/L2/L5 and Galileo E1/E5a/E5b/E6 Point Positioning Using CNES Uncombined Bias Products, Remote Sensing, 14, 650, 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14030650>
- [6] F. Mirmohammadian, J. Asgari, S. Verhagen, A. A. Simkooei, Improvement of Multi-GNSS Precision and Success Rate Using Realistic Stochastic Model of Observations, Remote Sensing, 14(1), 60, 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14010060>
- [7] I. Ashour, M. E. Tokhey, Y. Mogahed, A. Ragheb, erformance of global navigation satellite systems (GNSS) in absence of GPS observations, Ain Shams

- Engineering Journal 13, 2, 101589, 2022.  
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.09.016>
- [8] A. Angrisano, G. Dardanelli, A. Innac, A. Pisciotto, Performance Assessment of PPP Surveys with Open Source Software Using the GNSS GPS–GLONASS–Galileo Constellations, *Appl. Sci.* 10(16), 5420, 2020.  
<https://doi.org/10.3390/app10165420>
- [9] H. Karimi, An analysis of satellite visibility and single point positioning with GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou-2/3, *Applied Geomatics*, 13, 781-791, 2021.  
<https://doi.org/10.1007/s12518-021-00391-2>
- [10] J. Chen, X. Zhao, C. Liu, S. Zhu, Z. Liu, D. Yue, Evaluating the Latest Performance of Precise Point Positioning in Multi-GNSS/RNSS: GPS, GLONASS, BDS, Galileo and QZSS, *The Journal of Navigation*, 74(1), 247-267, 2021. <http://doi:10.1017/S0373463320000508>
- [11] A. Pırtı, R. G. Hoşbaş, B. Şenel, M. Köroğlu, S. Bilim, Galileo Uydu Sistemi ve Sinyal Yapısı. *Geomatik* 6(3), 207-216. 2021. <http://doi:10.29128/geomatik.750469>
- [12] <https://www.gps.gov/systems/gps/modernization/civilsignals/#L5>, Accessed 18 May 2023
- [13] <https://www.glonass-iac.ru/en/sostavOG/>, Accessed 18 May 2023
- [14] B. Bhatta, *Global Navigation Satellite Systems: New Technologies and Applications Second Edition*, Taylor & Francis Group, Boca Raton, London, New York, 2021.
- [15] <https://www.gsc-europa.eu/system-service-status/constellation-information>, Accessed 18 May 2023
- [16] N. Samama, *Global Positioning: Technologies and Performances*, John Wiley ve Sons, Amerika Birleşik Devletleri, 2008.
- [17] <https://www.euspa.europa.eu/european-space/galileo/What-Galileo>, Accessed 18 May 2023
- [18] M.A. Floyd, T.A. Herring, R.W. King, S.C. McClusky, *GAMIT/GLOBK Quick Start Guide*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA, USA, 2022.
- [19] <https://www.harita.gov.tr/public/sunum/>, Accessed 18 May 2023
- [20] <https://igs.org/network>, Accessed 18 May 2023
- [21] T. Gündoğan, *Galileo Uydu sisteminin Nokta Konumlamaya Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi, Konya, 2023.

