



## AN INVESTIGATION OF GALILEO CONTRIBUTION ON THE RELATIVE POINT POSITIONING

Sercan Bulbul<sup>\*1</sup> 

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

### Abstract

*Original scientific papers*

Today, point coordinates are determined by Global Navigation Satellite System (GNSS). Relative positioning methods are widely preferred in applications requiring high accuracy. Different satellite configurations are used to obtain raw measurements and process these measurements with relative positioning methods. While only GPS (G) was used at first, point coordinates have started to be determined with global satellite systems such as GLONASS (R), Galileo (E) and BeiDOU (C) developed by different institutions and organizations over time. In this study, the effect of Galileo on point positioning and positioning accuracies were investigated. In this context, a geodetic network consisting of 6 International GNSS Services-Multi-GNSS Experiment (IGS-MGEX) stations was used. The 31-day (01-31.08.2017) 24-hour RINEX data of the selected stations was processed in the Bernese v5.2 GNSS software with the double differences method in GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) and GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E). In the comparison, the coordinates obtained by shifting the coordinates of ITRF2014 (2010.00 reference epoch) to the measurement epoch with the velocities are taken as true quantity values. Then, the root square errors (KOH) and positioning accuracies in the directions of the coordinate axes were calculated and compared with each other statistically. As a result of the comparison, it was determined that the positioning accuracies obtained with the G, G+R and G+R+E satellite configurations were compatible with each other at the 95% confidence interval.

**Anahtar Kelimeler:** Bernese, bağıl konum belirleme, Galileo, GNSS, karesel ortalama hata.

## GALİLEO UYDU SİSTEMİNİN BAĞIL KONUM BELİRLEMeye KATKISININ ARAŞTIRILMASI

### Özet

*Orijinal bilimsel makale*

Günümüzde nokta koordinatları Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS) tekniğiyle belirlenmektedir. Yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda bağıl konum belirleme yöntemleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Bağıl konum belirleme yöntemleri ile ham ölçülerin elde edilmesinde ve bu ölçülerin değerlendirilmesinde farklı uydu konfigürasyonları kullanılmaktadır. İlk olarak sadece GPS (G) uyduları kullanılırken, zamanla farklı kurum ve kuruluşlar tarafından geliştirilen GLONASS (R), Galileo (E) ve BeiDOU (C) gibi global uydu sistemleri ile nokta koordinatları belirlenmeye başlanmıştır. Bu çalışmada, Galileo uydu sisteminin nokta koordinat ve konum doğruluklarına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda 6 adet Uluslararası GNSS Hizmetleri-Çoklu-GNSS Deneyi (IGS-MGEX) istasyonundan oluşan bir jeodezik ağ oluşturulmuştur. Seçilen ağa ilişkin 31 günlük (01-31.08.2017) 24 saat RINEX verileri Bernese v5.2 GNSS değerlendirme yazılımında ikili farklar yöntemi ile G, G+R ve G+R+E farklı uydu konfigürasyonunda değerlendirilmiştir. Karşılaştırmada ITRF2014 (2010.00 referans epogu) koordinatları hız değerleri ile ölçü epoguna kaydırılarak elde edilen koordinatlar gerçek değerler olarak alınmıştır. Daha sonra koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hatalar (KOH) ve konum doğrulukları hesaplanarak istatistiksel olarak birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ise G, G+R ve G+R+E uydu konfigürasyonları ile elde edilen konum doğruluklarının %95 güven aralığında birbirleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

**Keywords:** Bernese, Galileo, GNSS, relative point positioning, the root mean square.

### 1 Giriş

1980'li yılların sonlarından itibaren GNSS tekniği ile nokta konumlarının belirlenmesine başlanmıştır. İlk olarak askeri amaçlar için ortaya çıkan GNSS tekniği gelişen teknoloji ve ihtiyaçlar doğrultusunda sivil kullanıcılara açılmıştır. GNSS teknolojinin ilk uydu sistemi Global Konumlama Sistemi (GPS)'tir. GPS Amerika Birleşik

Devletleri (ABD) Savunma Bakanlığı'nca geliştirilmiş uydu tabanlı konum belirleme sistemlerinin öncüsüdür[1]. GPS yeryüzünden yaklaşık 20200 km yükseklik ve ekvator ile 55° eğimle 6 yörünge düzlemi üzerine yerleştirilmiştir. Her bir uydu sistemi yaklaşık olarak 11 saat 58 dakika da dünya etrafını dönmektedir [2]. GPS'e alternatif olarak Rusya tarafından GLONASS sistemi geliştirilmiş ve 1983 yılında resmi olarak ilan edilmesine rağmen 1995 yılına 7

\* Corresponding author.

E-mail address: sbulbul@ktun.edu.tr (S. Bulbul)

Received 02 June 2021; Received in revised form 16 August 2021; Accepted 04 October 2021

2587-1943 | © 2021 IJIEA. All rights reserved.

Doi: <https://doi.org/10.46460/ijiea.945756>

adet uydu ile işler hale gelmiştir [3]. GLONASS uydu sistemi GPS'ten sonra işler hale gelmiş ikinci kuşak bir küresel uydu konumlandırma sistemidir. GPS ve GLONASS uydu sistemleri ile aktif olarak konum belirleme çalışmaları gerçekleştirilirken Avrupa Birliği kendi sistemini kurma fikrini ortaya atmıştır. Bu fikir ilk olarak 1999 yılında tasarlanmasına rağmen Galileo uydu sistemi çok daha uzun yıllar sonra faaliyetlerine başlamıştır [4]. Ayrıca, 2000 yılından beri faaliyet gösteren BEIDOU (COMPASS) sistemi de global anlamda konum belirlemeye yardımcı olmuştur. Daha önce bahsedilen sistemlerin aktif olmasıyla beraber GNSS ile ilgili bilimsel çalışmalar farklı bir boyut kazanmış ve global uydu sisteminin etkileri araştırılmaya başlanmıştır. Global olarak veri sağlayan bu sistemlerin dışında NAVIC ve QZSS gibi bölgesel olarak konum belirlemeye imkan sağlayan konum belirleme sistemleride günümüzde kullanılmaktadır. Tüm bu sistemlerin konum belirlemeye katıda Çoklu-GNSS kavramını ortaya çıkartmıştır.

MGEX ile beraber kullanıcılar, çoklu GNSS çözümlerini aynı anda gerçekleştirebilecektir. Çoklu GNSS sistemleri ayrıca kullanıcılara konum belirlemede, yüksek dereceden iyonosferik modellemede, faz başlangıç belirsizliği, taşıyıcı fazlar ile bağıl konum belirlemede ve istasyonların nihai koordinatlarının elde edilmesinde sağladığı fazla veri sayesinde katkılar yapacağı düşünülmektedir [5].

Galileo, 2011 ve 2012 yılları arasında dört yörünge için doğrulama uydusunu yörüngeye fırlatmıştır. Daha sonra, Ağustos 2014'ten Temmuz 2018'e kadar 22 adet tam kapasiteli(FOC) uydusunu yörüngeye fırlatmıştır. Son olarak 26 Temmuz 2018'de dört adet ek FOC uydusu yörüngeye fırlatılmıştır. Gönderilen bu uydularla beraber 2020 yılının sonunda aktif olarak konum belirleme çalışmalarına katkı sağlamaya başlamıştır [6-7]

Galileo uydu sisteminin konum belirleme etkilerini araştıran farklı çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle Galileo uydu sistemi kullanılarak Hassas Nokta Konumlama (PPP) tekniği üzerine gerçekleştirmiştir. Literatürdeki bu çalışmalara [8-12] den erişilebilir. Ayrıca Galileo'nun nokta konumlamaya katkısı ile ilgili bir başka çalışmada da [13] tarafından akıllı telefonlar kullanılarak araştırılmıştır.

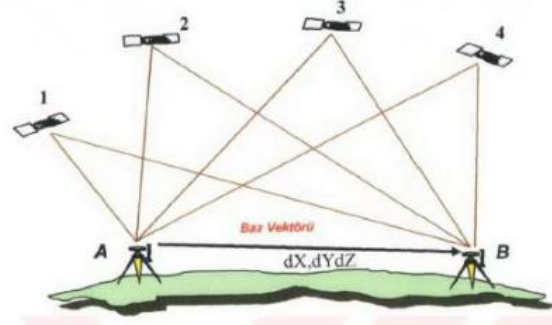
GNSS tekniği ile nokta konumları belirlenirken yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda genellikle statik ölçü yöntemi tercih edilmektedir. Statik ölçü yöntemi ile verilerin toplanmasında uydu konfigürasyonu, uydu yükseklik açısı veri kayıt aralığı vb. birçok değişken kullanıcı tarafından değiştirilebilmekte ve istenilen amaç doğrultusunda veriler elde edilmektedir. Elde edilen statik veriler beklenen doğruluk ve çalışmanın amacına bağlı olarak bilimsel ve ticari GNSS değerlendirme yazılımlarında değerlendirilebilmekte ve sonuçlar elde edilmektedir.

Gerçekleştirilen bu çalışmada, 6 adet IGS-MGEX istasyonundan oluşan bir jeodezik ağda toplanan veriler Bernese v5.2 GNSS değerlendirme yazılımı ile değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sadece GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) ve GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) stratejileri ile değerlendirilmiş ve Galileo'nun nokta konumlamaya katkısı araştırılmıştır. Değerlendirmede, Uluslararası GNSS Hizmetleri (IGS) tarafından yayınlanan ITRF2014 (2010.0 referans

epoğunda yayınlanan) nokta koordinatları, ölçü epoğuna kaydırılmış, bu koordinatlar elde esas alınarak ,ölçü epoğunda hesaplanan nokta koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar ikili varyans testinden yararlanılarak sonuçlar verilmiştir.

## 2 Bağıl Konum Belirleme

Bağıl Konum belirleme yöntemi en az iki istasyonda, en az iki GNSS alıcısı ile eş zamanlı olarak toplanan ham GNSS verileri yardımıyla, istasyonlar arasında oluşturulan baz vektörlerinin elde edilmesiyle koordinatları belirlenecek yeni noktalarının ofis ortamında gerçekleştirilen değerlendirme (post-prosess) ile belirlenmesi olarak tanımlanabilir( Şekil 1). Bağıl konum belirleme yöntemlerinde çoğunlukla tüm frekanslarda kod ve taşıyıcı faz ölçülerinin kombinasyonu kullanılmaktadır [14].



Şekil 1. Statik konum belirleme yöntemi [15]

Statik yöntem yer kabuğu hareketlerinin kestirilmesi, plaka hareketlerinin belirlenmesi, uzun bazlara sahip yüksek duyarlılık gerektiren jeodezik ağların çözümlenmesi gibi jeodezik çalışmalarda ve bilimsel çalışmalarda tercih edilmektedir [16].

## 3 Uygulama

Bu çalışmada farklı uydu konfigürasyonlarının bağıl konum belirleme etkisi ve Galileo uydu sisteminin bağıl konum belirleme katkısı araştırılmıştır. Bu amaçla 6 adet IGS-MGEX istasyonundan oluşan bir jeodezik ağ oluşturulmuştur. Şekil 2'de seçilen istasyonların konumları, Tablo 1'de ise istasyonlara ait genel bilgiler verilmiştir.



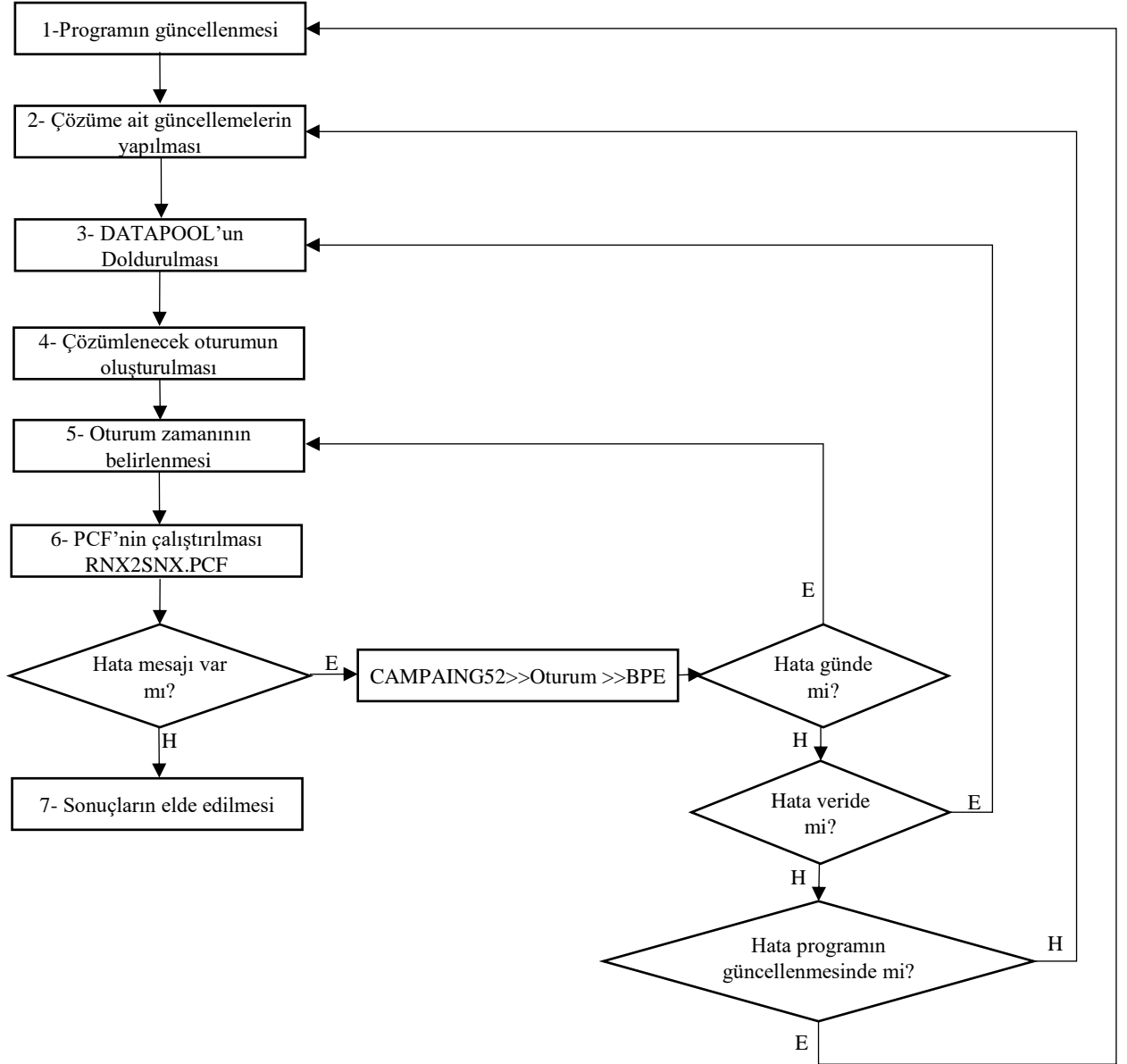
Şekil 2. Kullanılan IGS istasyonları

Seçilen istasyonlara ait 31 günlük (2017 yılının 213-243 günleri) 24 saatlik RINEX verileri ilgili web sayfasından indirilmiştir. Her bir güne ait RINEX verileri Bernese v5.2 GNSS yazılımı kullanılarak ikili farklar

yöntemi ile ( RNX2SNX.PCF) GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) ve GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) kombinasyonunda çözümlenmiştir (Şekil 3).

**Tablo 1.** Seçilen istasyonlara ait genel bilgiler

İstasyon	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)	Alıcı	Anten
GANP	49.035	20.323	746.00	TRIMBLE NETR8	TRM55971.00 NONE
MATE	40.649	16.704	535.60	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAT504GG NONE
TLSE	43.561	1.481	207.18	TRIMBLE NETR5	TRM59800.00 NONE
WTZR	49.144	12.879	666.00	LEICA GRX1200GGPRO	LEIAR25.R3 LEIT
ZIM2	49.887	7.465	956.50	TRIMBLE NETR5	TRM59800.00 NONE
ZIMM	46.877	7.465	956.40	TRIMBLE NETRS	TRM29659.00 NONE



**Şekil 3.** RNX2SNX.PCF iş akış şeması

Gerçekleştirilen tüm çözümlerde iyonosferik model olarak Klobouchar, troposferik model olarak Saastamoinen kullanılmıştır. Çözümlerde uygulama açısından farklı etkilerin önüne geçebilmek amacıyla her seferinde aynı yaklaşımlar kullanılmıştır. Tüm çözümlerde uydu yükseklik açısı  $10^\circ$  ve veri kayıt aralığı ise 30 saniye olarak alınmıştır.

Çözümler gerçekleştirildikten sonra karşılaştırmalarda gerçek değer olarak ölçü epoğuna kaydırılmış ITRF2014 koordinatları gerçek değer olarak alınmıştır. Kullanılan istasyonlara ait referans epoğu koordinatları ve hızları Tablo 2'de verilmiştir.

**Tablo 2.** Kullanılan istasyonlara ait referans epoğu koordinat ve hızları

İstasyon	X (m)	Y (m)	Z (m)	$V_X$ (m)	$V_Y$ (m)	$V_Z$ (m)
GANP 11515M001	3929181.43121	1455236.81192	4793653.94520	-0.01724	0.01563	0.00874
MATE 12734M008	4641949.46346	1393045.51575	4133287.53870	-0.01846	0.01895	0.01479
TLSE 10003M009	4627851.76384	119640.10821	4372993.60383	-0.01148	0.01933	0.01202
WTZR 14201M010	4075580.46294	931853.88145	4801568.17344	-0.01629	0.01714	0.00986
ZIM2 14001M008	4331299.80372	567537.41105	4633133.77012	-0.01393	0.01810	0.01168
ZIMM 14001M004	4331296.99513	567555.96734	4633133.99316	-0.01393	0.01809	0.01169

Her bir uydu konfigürasyonu için koordinat farkları;

$$\begin{aligned}\varepsilon_X &= X_u - X_g \\ \varepsilon_Y &= Y_u - Y_g \\ \varepsilon_Z &= Z_u - Z_g\end{aligned}\quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte; alt indis u; uydu konfigürasyonunu,  $X_g, Y_g, Z_g$  ise gerçek değerleri göstermektedir. Tablo 3, Tablo-4 ve Tablo-5'te maksimum mutlak hatalar her bir uydu konfigürasyonu için verilmiştir. Farklar hesaplandıktan sonra koordinat eksenini yönündeki karesel ortalama hatalar(KOH);

$$\begin{aligned}m_{X_u} &= \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_X \varepsilon_X]}{n}} \\ m_{Y_u} &= \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_Y \varepsilon_Y]}{n}} \\ m_{Z_u} &= \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_Z \varepsilon_Z]}{n}}\end{aligned}\quad (2)$$

eşitliği ile hesaplanmış ve Tablo 3, Tablo-4 ve Tablo-5'te gösterilmiştir. Eşitlikte; alt indis u uydu konfigürasyonunu göstermektedir.

**Tablo 3.** X koordinat bileşeni için maksimum mutlak farklar ve KOH'lar

İstasyon	Maksimum mutlak hatalar (cm)			KOH (cm)		
	G	G+R	G+R+E	G	G+R	G+R+E
GANP	1.82	1.55	1.64	±1.07	±1.03	±1.10
MATE	0.94	0.74	0.85	±0.30	±0.33	±0.39
TLSE	0.82	0.87	1.06	±0.42	±0.47	±0.51
WTZR	0.59	0.64	0.72	±0.26	±0.24	±0.25
ZIM2	0.80	0.65	0.63	±0.32	±0.25	±0.24
ZIMM	0.81	0.67	0.64	±0.36	±0.32	±0.29

Tablo 3 incelendiğinde, maksimum mutlak fark 1.82 cm ile GANP istasyonunda sadece G uydusu için elde edildiği görülmektedir. KOH'lar incelendiğinde ise, maksimum KOH'un ±1.10 cm ile GANP istasyonu

G+R+E uydu konfigürasyonunda elde edildiği belirlenmiştir. Genel olarak Tablo 3 incelendiğinde, X koordinat bileşeni için en iyi KOH'lar G+R uydu konfigürasyonunda hesaplanmıştır.

**Tablo 4.** Y koordinat bileşeni için maksimum mutlak farklar ve KOH'lar

	Maksimum mutlak hatalar (cm)			KOH (cm)		
	G	G+R	G+R+E	G	G+R	G+R+E
GANP	0.23	0.28	0.24	±0.15	±0.13	±0.12
MATE	2.73	0.53	0.54	±0.63	±0.40	±0.38
TLSE	0.40	0.37	0.41	±0.22	±0.20	±0.22
WTZR	0.31	0.28	0.28	±0.17	±0.16	±0.16
ZIM2	0.32	0.29	0.32	±0.19	±0.17	±0.19
ZIMM	0.49	0.47	0.51	±0.31	±0.31	±0.31

Tablo 4 incelendiğinde, maksimum mutlak fark 2.73 cm ile MATE istasyonunda sadece G uydusu için elde edildiği görülmektedir. KOH'lar incelendiğinde ise, maksimum KOH ±0.63 cm ile MATE istasyonunda G

uydu konfigürasyonunda hesaplanmıştır. Genel olarak Tablo 4 incelendiğinde, Y koordinat bileşeni için hesaplanan KOH'ların her 3 uydu konfigürasyonu içinde benzer olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.** Z koordinat bileşeni için maksimum mutlak farklar ve KOH'lar (Birim : cm)

	Maksimum mutlak hatalar (cm)			KOH (cm)		
	G	G+R	G+R+E	G	G+R	G+R+E
GANP	1.97	1.75	1.71	±1.12	±1.13	±1.17
MATE	1.23	1.09	1.26	±0.70	±0.71	±0.80
TLSE	0.66	0.69	0.78	±0.27	±0.31	±0.32
WTZR	0.67	0.78	0.79	±0.32	±0.36	±0.38
ZIM2	0.77	0.62	0.58	±0.23	±0.20	±0.19
ZIMM	1.00	0.88	0.81	±0.43	±0.40	±0.37

Tablo 5 incelendiğinde, maksimum mutlak fark 1.97 cm ile GANP istasyonunda sadece G uydusu için elde edildiği görülmektedir. KOH'lar incelendiğinde ise, maksimum KOH ±1.17 cm ile GANP istasyonunda G+R+E uydu konfigürasyonunda belirlenmiştir. Genel olarak Tablo 5 incelendiğinde, Z koordinat bileşeni için hesaplanan KOH'ların G ve G+R uydu konfigürasyonunda benzer olduğu, G+R+E uydu konfigürasyonunda bunları takip ettiği belirlenmiştir.

Koordinat eksenleri yönünde hesaplanan KOH'ların birbirleri ile uyumlu olup olmadığının araştırılmasında, normal dağılımdaki iki popülasyonun varyanslarının istatistiksel olarak eşit olup olmadığını

belirlemek için kullanılan F-test'den yararlanılmıştır. F-test'in kullanımında test değeri;

$$F_{test} = \frac{m_i^2}{m_j^2} \quad (3)$$

eşitliği ile elde edilmiştir. Eşitlikte  $m_i$ ,  $m_j$  koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hataları ifade etmektedir. Eşitliğin kullanımında dikkat edilen en önemli husus büyük olan koh'un paya yazılmasıdır. Ayrıca  $F_{tablo}$  değeri  $F_{f_1, f_2, 1-\alpha} = F_{31, 31, 0.95} = 1.822$  olarak alınmıştır. Her bir koordinat eksen yönündeki karşılaştırma Tablo 6, Tablo-7 ve Tablo-8'de verilmiştir.

**Tablo 6.** X koordinat bileşeni için F-test değerleri

İstasyon	G ile G+R	G ile G+R+E	G+R ile G+R+E
GANP	1.074	1.054	1.133
MATE	1.203	1.605	1.334
TLSE	1.251	1.461	1.168
WTZR	1.173	1.092	1.074
ZIM2	1.648	1.834*	1.113
ZIMM	1.245	1.521	1.221
* anlamlı farklar			

Tablo 6 incelendiğinde, sadece ZIM2 istasyonunda G ile G+R+E uydu konfigürasyonları arasında anlamlı bir fark olduğu diğer tüm istasyonlar ve uydu

konfigürasyonlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

**Tablo 7.** Y koordinat bileşeni için F-test değerleri

İstasyon	G ile G+R	G ile G+R+E	G+R ile G+R+E
GANP	1.193	1.582	1.326
MATE	2.504*	2.702*	1.079
TLSE	1.110	1.012	1.123
WTZR	1.149	1.130	1.016
ZIM2	1.212	1.033	1.173
ZIMM	1.004	1.034	1.038
* anlamlı farklar			

Tablo 7 incelendiğinde, MATE istasyonu için G ile G+R ve G ile G+R+E uydu konfigürasyonları arasında anlamlı bir fark olduğu diğer tüm istasyonlar ve uydu konfigürasyonlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Tablo 8 incelendiğinde, tüm istasyonlar ve uydu konfigürasyonlarının birbirleri ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Her üç uydu konfigürasyonu için konum doğrulukları;

$$m_{du} = \pm \sqrt{m_{x_u}^2 + m_{y_u}^2 + m_{z_u}^2} \quad (4)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte alt indis u sırasıyla G, G+R, G+R+E uydu konfigürasyonlarını,  $m_X, m_Y, m_Z$  ise sırasıyla X, Y ve Z koordinat bileşenleri yönünde elde

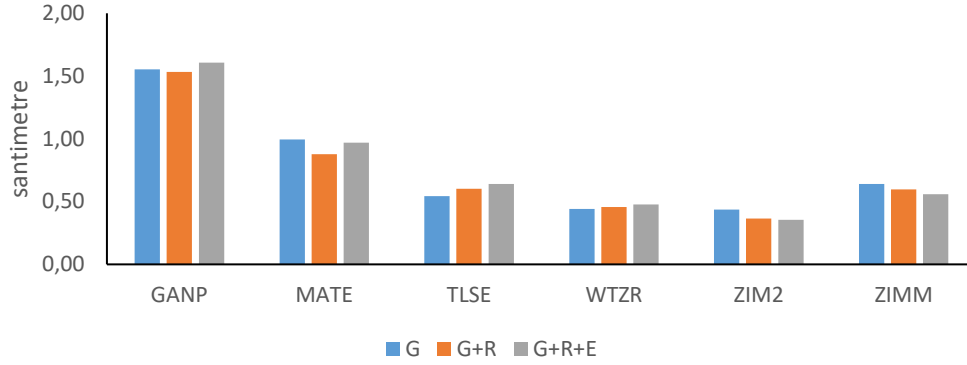
edilen KOH'ları göstermektedir. Elde edilen konum doğrulukları Şekil 4' de gösterilmiştir.

**Tablo 8.** Z koordinat bileşeni için F-test değerleri

İstasyon	G ile G+R	G ile G+R+E	G+R ile G+R+E
GANP	1.016	1.090	1.073
MATE	1.006	1.294	1.287
TLSE	1.395	1.434	1.028
WTZR	1.273	1.419	1.115
ZIM2	1.284	1.468	1.143
ZIMM	1.186	1.401	1.181
* anlamlı farklar			

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlikte alt indis u sırasıyla G, G+R, G+R+E uydu konfigürasyonlarını,  $m_X, m_Y, m_Z$  ise sırasıyla X, Y ve Z koordinat bileşenleri yönünde elde

edilen KOH'ları göstermektedir. Elde edilen konum doğrulukları Şekil 4' de gösterilmiştir



**Şekil 4.** Her bir istasyona ait konum doğrulukları

Şekil 2 incelendiğinde, her bir istasyon için hesaplanan konum doğrulukları görülmektedir. Hesaplanan konum doğruluklarına göre en iyi konum doğruluğu genellikle G+R uydu konfigürasyonunda hesaplandığı belirlenmiştir.

Karşılaştırma sonuçları Tablo 9'da verilmiştir.

Her uydu konfigürasyonu ve istasyonlar için elde edilen konum doğrulukları da F-test ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada eşitlik (2)'den yararlanılmıştır. Tablo değeri de  $F_{f_1, f_2, 1-\alpha} = F_{31, 31, 0.95} = 1.822$  olarak alınmıştır.

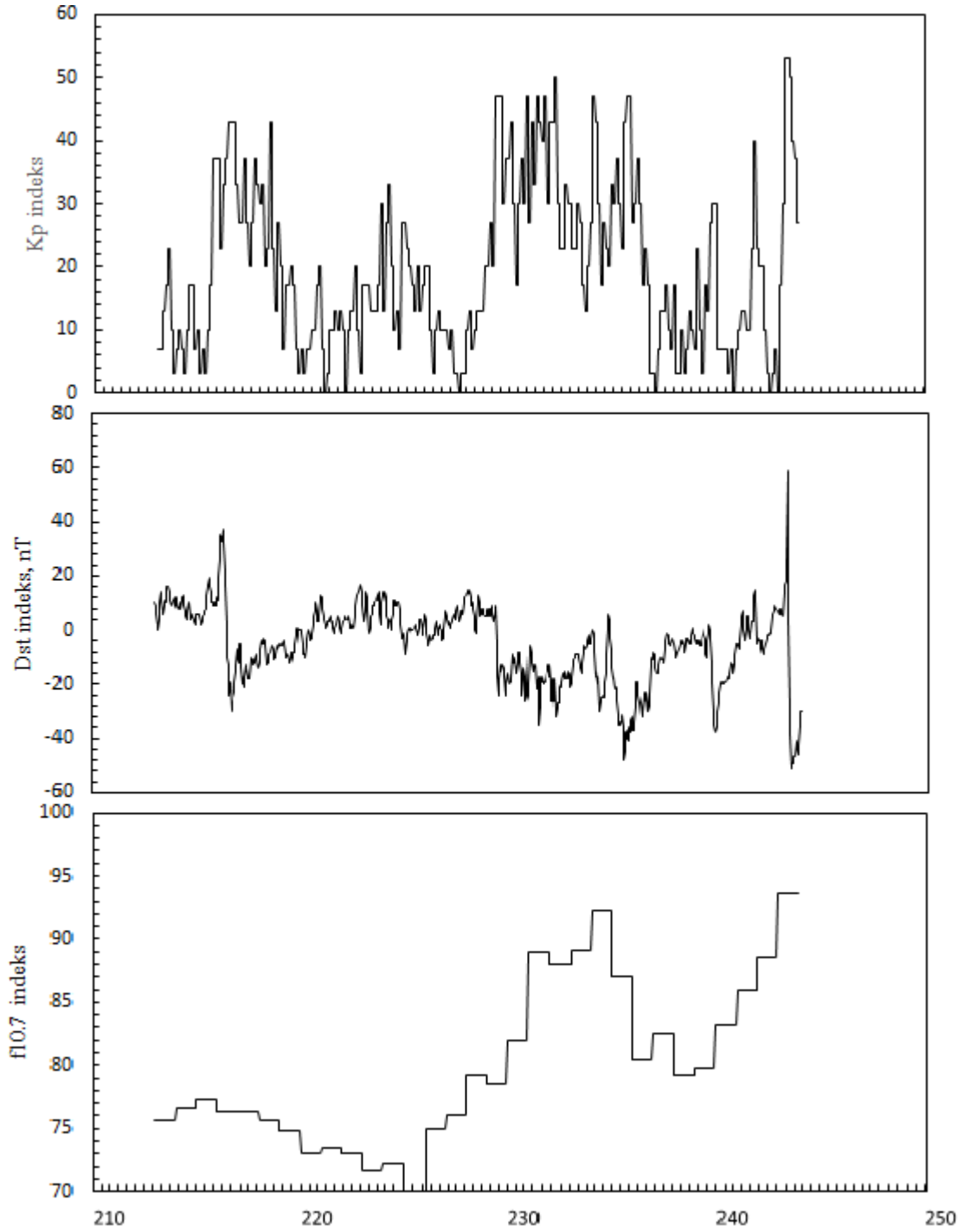
**Tablo 9.** Her bir uydu konfigürasyonu ve istasyon için konum doğruluklarının karşılaştırılması

İstasyon	G ile G+R	G ile G+R+E	G+R ile G+R+E
GANP	1.027	1.069	1.098
MATE	1.283	1.053	1.219
TLSE	1.230	1.384	1.125
WTZR	1.073	1.172	1.092
ZIM2	1.438	1.506	1.048
ZIMM	1.151	1.322	1.149
* anlamlı farklar			

Tablo 9 incelendiğinde, tüm uydu konfigürasyonu ve istasyonlar için hesaplanan konum doğruluklarının birbirleri ile uyumlu olduğu ve birbirlerinin yerine kullanılabilmesi görülmektedir.

Tüm bu karşılaştırmadan sonra GNSS ile hesaplanan konum doğruluklarını etkileyen jeomagnetik aktivite değerleri de incelenmiş ve seçilen günlerde herhangi bir aktivitenin olup olmadığı araştırılmıştır. Seçilen günlere ilişkin jeomagnetik aktivite indisleri

<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> web sayfasından indirilmiş ve Şekil 5'te gösterilmiştir. Şekil 5 incelendiğinde,  $K_p$  indeksinin maksimum 5+ seviyelerine çıktığı,  $Dst$  indeksinin en düşük -50 nT seviyesine indiği ve  $F10.7$  indeksinin ise 70 sfu ile 93.6 sfu arasında değiştiği görülmektedir. Bu değerlere göre seçilen günlerde herhangi bir önemli jeomagnetik aktivitenin meydana gelmediği, yani GNSS ölçülerini sadece seçilen uydu konfigürasyonlarının etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 5. Seçilen günlere ilişkin jeomagnetik aktivite değerleri

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada yapılan değerlendirmeler sonucunda, gerçek değerler ve farklı uydu konfigürasyonlarına ait maksimum mutlak farkları içeren Tablo 3, Tablo-4 ve Tablo-5 incelendiğinde, maksimum mutlak farkların her üç koordinat bileşeni içinde sadece GPS (G) uydu konfigürasyonunda elde edildiği görülmektedir. Bu durumda maksimum koordinat farkların iyileşmesinde GLONASS (R) ve Galileo (E) uydu konfigürasyonunun katkısı ortaya çıktığı görülmektedir. Ancak KOH'lar incelendiğinde ise, her üç uydu konfigürasyonunun içeren GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) uydu konfigürasyon için her zaman en iyi KOH'ların elde edilemediği görülmektedir. Bu durumda, Galileo (E) uydu

konfigürasyonun her zaman KOH'ları iyileştirmede ortalama koymaktadır.

Koordinat eksenleri yönünde hesaplanan KOH'ların istatistiksel olarak karşılaştırılmasında ise genellikle her üç koordinat eksenini ve her üç uydu konfigürasyonu için hesaplanan KOH'ların birbirleri ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır.

Her bir uydu konfigürasyonu ve her bir nokta için hesaplanan konum doğruluklarının incelenmesinde ise farklı uydu konfigürasyonlarının ise konum doğruluklarını çok fazla etkilemediği görülmektedir.

Tüm bu analizlerden sonra, GNSS ölçü sonuçlarının olumsuz olarak etkileyen jeomagnetik aktivite değerleri de incelenmiştir. Şekil 5 incelendiğinde çalışma günlerinde nokta koordinatlarını olumsuz olarak



etkileyebilecek herhangi bir önemli bir jeomanyetik aktiviteye rastlanmadığı görülmektedir. Bu durumda elde edilen nokta koordinat ve konum doğruluklarını sadece seçilen uydu konfigürasyonunun etkilediğini göstermektedir.

Yapılan çalışmanın sonucunda ise, uzun ölçü süresinde ( 24 saat) farklı uydu konfigürasyonlarının konum doğrulukları üzerinde önemli derecede bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu öngörü Tablo 8’de gerçekleştirilen istatistiksel karşılaştırma ile ortaya konulmuştur. Yine bu çalışmanın sonucu olarak, GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) ve GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) uydu konfigürasyonu ile elde edilen konum doğrulukları birbirleri ile uyumlu, aralarındaki farkların ise rastlantısal olduğu söylenebilir. Tüm bunlar neticesinde, Gerçekleştirilen bu çalışmanın sonucunda, GPS (G), GPS+GLONASS (G+R) ve GPS+GLONASS+Galileo (G+R+E) uydu konfigürasyonlarının birbirlerinin yerlerine kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.

### Açıklamalar

Bu çalışmada etik kurul onay belgesine gerek yoktur.

### Kaynaklar

- [1] Duan, B., & Hugentobler, U. (2021). Enhanced solar radiation pressure model for GPS satellites considering various physical effects. *GPS Solutions*, 25(2), 1-14.
- [2] Johnston, G., Riddell, A., & Hausler, G. (2017). The international GNSS service. In *Springer handbook of global navigation satellite systems* (pp. 967-982). Springer, Cham.
- [3] Xie, W., Huang, G., Wang, L., Li, P., Cui, B., Wang, H., & Cao, Y. (2021). Long-term performance detection and evaluation of GLONASS onboard satellite clocks. *Measurement*, 175, 109091.
- [4] Strugarek, D., Sośnica, K., Arnold, D., Jäggi, A., Zajdel, R., & Bury, G. (2021). Determination of SLR station coordinates based on LEO, LARES, LAGEOS, and Galileo satellites. *Earth, Planets and Space*, 73(1), 1-21.
- [5] Montenbruck, O., Steigenberger, P., Khachikyan, R., Weber, G., Langley, R., Mervart, L., & Hugentobler, U. (2014). IGS-MGEX: preparing the ground for multi-constellation GNSS science. *Inside Gnss*, 9(1), 42-49.
- [6] Ogutcu, S. (2020). Assessing the contribution of Galileo to GPS+ GLONASS PPP: Towards full operational capability. *Measurement*, 151, 107143.
- [7] Sośnica, K., Prange, L., Kaźmierski, K., Bury, G., Drożdżewski, M., Zajdel, R., & Hadas, T. (2018). Validation of Galileo orbits using SLR with a focus on satellites launched into incorrect orbital planes. *Journal of geodesy*, 92(2), 131-148.
- [8] Yalvac, S. (2021). Investigating the historical development of accuracy and precision of Galileo by means of relative GNSS analysis technique. *Earth Science Informatics*, 14(1), 193-200.
- [9] Chen, J., Zhao, X., Liu, C., Zhu, S., Liu, Z., & Yue, D. (2021). 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.
- [10] Deng, Y., Guo, F., Ren, X., Ma, F., & Zhang, X. (2021). Estimation and analysis of multi-GNSS observable-specific code biases. *GPS Solutions*, 25(3), 1-13.
- [11] bin Wu, Y., Liu, Y., Yi, W., & bin Ge, H. (2021). Impact of elevation mask on multi-GNSS precise point positioning performance. *Earth Science Informatics*, 1-10.
- [12] Du, Z., Chai, H., Xiao, G., Yin, X., Wang, M., & Xiang, M. (2021). Analyzing the contributions of multi-GNSS and INS to the PPP-AR outage re-fixing. *GPS Solutions*, 25(2), 1-12.
- [13] Paziewski, J., Fortunato, M., Mazzoni, A., & Odolinski, R. (2021). An analysis of multi-GNSS observations tracked by recent Android smartphones and smartphone-only relative positioning results. *Measurement*, 175, 109162.
- [14] Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. (2007). GNSS—global navigation satellite systems: *GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media.
- [15] Tiryakioğlu, İ. (2005). *GPS Sinyal Yansımasının (Multipath) Nokta Konumlarına Etkisinin Araştırılması*. (Master’s dissertation, Afyon Kocatepe University).
- [16] Bilgen, B., (2017). GNSS Tekniği İle Yatay Yöndeki Deformasyonların Araştırılması. (Master’s dissertation, Selçuk University).