



Web tabanlı GNSS yazılımlarının konum doğruluğu üzerine karşılaştırmalı incelemesi

A comparative analysis of positioning accuracy in web-based GNSS software

Cevat İnal¹, Nevriye Gül², Sercan Bülbül^{3,*}, Burhaneddin Bilgen⁴

^{1,2,3} Konya Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya, Türkiye

⁴ Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi, Tapu Kadastro Bölümü, 06560, Ankara, Türkiye

Öz

GNSS alıcıları ile toplanan verilerin bilimsel ve ticari yazılımlar ile değerlendirilmesi için iyi bir program bilgisi ve yazılımların belirli bir ücret karşılığında satın alınması gerekmektedir. Bu durumu aşmak amacıyla bazı kurumlar ve firmalar, ücretsiz ve web tabanlı çevrimiçi GNSS değerlendirme yazılımları geliştirmiştir. Bu çalışmada, söz konusu yazılımların (CSRS-PPP, MagicGNSS, APPS, Trimble-RTX, IBGE-PPP, IGN-PPP, raPPPid, PPPH, AUSPOS, OPUS) performansları, uzay iklim koşulları göz önüne alınarak analiz edilmiştir. Beş farklı IGS istasyonuna (NOT1, SULP, ANK2, BOR1, MIKL) ait veriler mutlak (PPP) ve bağıl konumlandırma yöntemleriyle değerlendirilmiş ve uzay iklim koşullarının GNSS ölçüleri üzerindeki olumsuz etkisinin ortadan kaldırmak amacıyla uzay iklim koşullarının etkisinin minimum olduğu bir gün seçilmiştir. 6, 12 ve 24 saatlik veri bölümleriyle yapılan analizde, elde edilen koordinatlar web tabanlı bağıl konum belirleme ve SNX dosyasından elde edilen koordinatlar ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, yazılımlar arasında doğruluk farkları gözlenmiş, gözlem süresinin doğruluk üzerinde önemli etkisi olduğu belirlenmiş ve özellikle PPPH yazılımının daha yüksek konum farkları ürettiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler: GNSS, Konum belirleme, PPP, Uzay iklim koşulları, Web tabanlı GNSS yazılımlar

1 Giriş

Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS), genel olarak mutlak ve bağıl olmak üzere iki temel yöntemi kullanarak konum bilgisi elde edilmesine olanak tanır. Bu yöntemlerle doğru konum bilgisine ulaşabilmek için arazide toplanan verilerin analiz edilmesi gereklidir. Bu amaçla, bilimsel ve ticari yazılımlara alternatif olarak, son yıllarda web tabanlı ve açık kaynak kodlu yazılımlar da yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. Bağıl konum belirlemede en az iki GNSS alıcısına ihtiyaç duyulurken, mutlak konum belirlemede tek bir GNSS alıcısı yeterli olmaktadır. Bağıl konum belirleme yöntemleri, genellikle daha yüksek doğruluk sağlasa da birden fazla alıcı gereksinimi, maliyet açısından dezavantaj oluşturmaktadır. Web tabanlı ve açık kaynak kodlu yazılımların geliştirilmesiyle bu olumsuz durum büyük ölçüde ortadan kalkmaktadır. Bu servisler

Abstract

The process of GNSS data using scientific and commercial software typically requires advanced programming knowledge and paid licenses. To overcome these limitations, various institutions and companies have developed free, web-based GNSS data processing tools. In this study, the performance of several such tools (CSRS-PPP, MagicGNSS, APPS, Trimble-RTX, IBGE-PPP, IGN-PPP, raPPPid, PPPH, AUSPOS, and OPUS) was analyzed considering space weather conditions. GNSS data from five different IGS stations (NOT1, SULP, ANK2, BOR1, MIKL) were processed using both precise point positioning (PPP) and relative positioning methods. To minimize the negative impact of space weather on GNSS observations, a geomagnetically quiet day was selected. The data were analyzed in 6-, 12-, and 24-hour segments, and the resulting coordinates were compared with those derived from relative positioning and SNX files. Results indicated performance differences among the tools, with observation duration significantly affecting accuracy, and PPPH showing larger coordinate discrepancies than others.

Keywords: GNSS, Positioning, PPP, Space weather conditions, Web-based GNSS services

sayesinde kullanıcılar, ikinci bir alıcıya ve GNSS değerlendirme yazılımına gereksinim duymadan, ücretsiz bir şekilde bağıl konumlama hizmetinden yararlanabilmektedir [1].

Güneş sistemi içinde veya dışında iyonosferde meydana gelen düzensiz ve beklenilmeyen değişimler Uzay İklim Koşullarını meydana getirmektedir. Uzay iklimini daha iyi anlamak, incelemek ve yorumlamak için bazı indisler kullanılmaktadır ve bunlar Uzay İklim Koşulları İndisleri olarak ifade edilmektedir. Uzay İklim Koşulları haberleşme, uydu ve GNSS sistemleri gibi birçok alanı olumsuz anlamda etkilemektedir. Oluşan bu olumsuz etkileri bilmek, en aza indirmek ve planlar geliştirmek için Uzay İklim Koşullarının ve bu koşullara ait indislerin incelenmesi son derece önemlidir [2].

Web tabanlı ve açık kaynak kodlu yazılımlarla konum belirleme ve bu yazılımların performanslarının

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: sbulbul@ktun.edu.tr (S. Bülbül)

Geliş / Received: 06.08.2025 Kabul / Accepted: 22.09.2025 Yayımlanma / Published: 15.10.2025

doi: 10.28948/ngumuh.1759548

değerlendirilmesine yönelik pek çok bilimsel çalışma yapılmıştır. Shehata ve ark. [3] çeşitli web tabanlı servisleri (AUSPOS, IBGE-PPP, MagicGNSS, CSRS-PPP) ve açık kaynaklı yazılımları GPS ve GLONASS gibi sistemlerde karşılaştırmışlardır. Bunun yanı sıra, Wang ve ark. [4] PPP çözümlerinde aykırı değerlerin etkisini azaltmaya yönelik risk-temelli bir durum kestirimi yöntemi geliştirerek, zorlu koşullarda konum doğruluğunu artırmayı başarmıştır. Ayrıca, yeni nesil GNSS sinyal ve konstelasyonları temelinde Zhang ve ark. [5] tarafından yapılan PPP-AR ve PPP-RTK performans analizleri, farklı sistem kombinasyonlarının doğruluğu ve yakınsama süresine etkisini açık şekilde ortaya koymaktadır. Elrewiny ve ark. [6] tarafından gerçekleştirilen kapsamlı kıyaslama da web tabanlı platformların doğruluk performanslarını ortaya koymaya çalışmıştır. Vázquez-Ontiveros ve ark. [7], statik modda çalışan açık kaynaklı PPP yazılımları ile çevrimiçi servislerin doğruluklarını değerlendirmiştir. Başçıftçi ve Bülbül [8] yapmış oldukları çalışmada, yoğun jeomanyetik fırtınaların hem bölgesel ve hem de küresel iyonosfer modelleri üzerindeki etkisini araştırmışlardır. Bilgen ve ark. [9] web tabanlı çevrimiçi PPP hizmetlerinin doğruluklarını istatistiksel olarak karşılaştırmışlardır. Benzer şekilde, Wang ve ark. [10] tarafından gerçekleştirilen çoklu GNSS sistemlerinin anormal iyonosferik koşullar altındaki performansına dair kapsamlı analizler, söz konusu anomalilerin PPP-RTK çözüm doğruluğunu olumsuz yönde etkilediğini göstermiştir. Başçıftçi [11], 23. Güneş Döngüsünün son süper jeomanyetik fırtınasını analiz (15 Mayıs 2005, Dst: -247 nT (nanoTesla)) etmiştir. Erol [12], web tabanlı CSRS-PPP yazılımının farklı uydu sistemleri üzerindeki performansını beş farklı MGEX (Multi-GNSS Experiment) istasyonundan toplanan GNSS verilerini (10 günlük) değerlendirerek analiz etmiş, Herbert ve ark. [13] ise web tabanlı GNSS değerlendirme servisleri ve ticari yazılımların doğruluklarını araştırmıştır. Oluyori ve ark. [14] yaptıkları çalışmada, DGPS (diferansiyel GPS) verilerini OPUS, CSRS-PPP ve MagicGNSS yazılımları ile değerlendirmişlerdir. Alçay ve İmren [1] OPUS ve AUSPOS GPS değerlendirme servislerinin uzun (24 saat) ve kısa (2 saat) gözlem sürelerindeki statik değerlendirme performanslarını test etmişlerdir.

Günümüze kadar yapılan çalışmalarda web tabanlı servislerin analizinde uzay iklim koşulları çoğunlukla göz ardı edilmiş ve sınırlı sayıda web servisi kullanılmıştır. Bu çalışmada, çok sayıda web tabanlı ve bazı açık kaynak kodlu GNSS yazılımlarının performansları uzay iklim koşulları dikkate alınarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında farklı enlemlerde/boylamlarda beş adet IGS istasyonu (NOT1, SULP, ANK2, BOR1 ve MIKL) seçilmiştir. İlk olarak, GNSS ölçüleri üzerine olumsuz etkisi olan Uzay İklim Koşulları indislerinden; Kp (jeomanyetik fırtına indisi), Dst (jeomanyetik aktivite indisi/Disturbance storm time), F10.7 (güneş akısı indisi) ve Bz (GSE, GSM) (manyetik alan değişim indisi)'nin değişimi araştırılmıştır. Daha sonrasında, seçilen IGS noktalarının 24 saatlik RINEX (Receiver Independent Exchange Format) verileri 6 (4 değerlendirme) ve 12 (2 değerlendirme) saatlik dilimlere ayrılarak CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System- Precise Point

Positioning), MagicGNSS, APPS (Automatic Precise Positioning Service), Trimble-RTX (CentrePoint RTX Post-Processing), IBGE- PPP, IGN-PPP (Institut Geographique National-PPP), AUSPOS (Australian Online GPS Processing Service), OPUS (Online Positioning User Service), raPPPid, PPPH (A MATLAB-based Software for Multi-GNSS Precise Point Positioning Analysis) yazılımları ile değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucu elde edilen koordinatlar, referans değerlerle karşılaştırılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Web tabanlı GNSS değerlendirme servisleri

Arazide yapılan çalışmalar sonucu elde edilen GNSS verileri, büroda iki temel yazılım türüyle değerlendirilmektedir. Bunlardan ilki, üniversiteler ve kurumlar tarafından geliştirilmiş bilimsel yazılımlardır. Bu yazılımlar, tektonik hareketlerin izlenmesi, deprem araştırmaları ve yüksek doğruluk gerektiren jeodezik çalışmalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. İkincisi ise, çözüm süreçlerini büyük ölçüde otomatikleştiren ve standart çözüm algoritmaları sunan ticari yazılımlardır. Bazı ticari yazılımlar, modelleme ve algoritmalarını geliştirerek bilimsel amaçlı çalışmalar için de kullanılabilir hale getirilmiştir. Son yıllarda, GNSS verilerinin değerlendirilmesinde kullanılan yazılımların yüksek düzeyde uzmanlık gerektirmesi, maliyetlerinin fazla olması ve kullanımlarının öğrenilmesi için kapsamlı eğitime ihtiyaç duyulması; üniversiteleri, kamu kurumlarını ve özel sektör kuruluşlarını, genellikle ücretsiz ve web tabanlı GNSS değerlendirme servisleri geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu yazılımlar, kullanıcılara daha kolay erişim sağlayarak GNSS verilerinin analizini yapmalarını mümkün kılmıştır.

Web tabanlı GNSS değerlendirme yazılımlarına erişim, kullanıcıların RINEX formatındaki GNSS verilerini internet bağlantısı kullanarak sunucuya yüklemesiyle başlamaktadır. Yazılımlar, değerlendirme işleminde kullanılacak olan verilerin kalitesine ve ölçü süresine bağlı olarak kullanıcılara genelde ücretsiz bir şekilde çözümler sunmaktadır. Yazılımların en büyük avantajları arasında alanında uzman ve tecrübeli personel ihtiyacını ortadan kaldırması, bilimsel ve ticari yazılımlara getirilen güncellemeleri takip etme zorunluluğunun olmaması ve internet bağlantısının bulunduğu her yerden kolayca erişim imkânı sağlaması yer almaktadır [15].

İnternet tarayıcısı, internete bağlı bir bilgisayar ve geçerli e-posta hesabı olan her kullanıcı bu yazılımlardan yararlanabilmektedir. Kullanıcı dostu arayüzlerle tasarlanan bu yazılımlar ile değerlendirme işlemi yapmak oldukça basittir. Arazide toplanan GNSS verilerinin yazılımların arayüzlerinden faydalanarak değerlendirilebilmesi için; e-posta veya FTP yoluyla yüklenmesi, statik ya da kinematik değerlendirme seçeneğinin seçilmesi, anten tipi ve anten yüksekliğinin girilmesi, datum seçimi ve koordinatların hangi sistemde istendiği gibi temel bilgiler yeterli olmaktadır. Kullanıcıların GNSS ve karmaşık yapıya sahip değerlendirme stratejilerini bilmesine gerek duymadan, temel düzeyde teknik bilgiye sahip olması bu yazılımları kolay bir şekilde kullanabilmelerini sağlamaktadır.

Tablo 1. Web tabanlı GNSS veri değerlendirme yazılımları

Servisler	Konumlama Yaklaşımı	Kuruluş	Desteklediği Uydu Verisi
CSRS-PPP	Mutlak	Natural Resources Canada	GPS, GLONASS
MagicGNSS	Mutlak	GMV Innovation Solutions	GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU, QZSS
GAPS	Mutlak	University of New Brunswick	GPS, GALILEO, BEIDOU
APPS	Mutlak	Jet Propulsion Laboratory	GPS
Trimble-RTX	Mutlak	Trimble	GPS, GLONASS, QZSS, BEIDOU, GALILEO
IBGE-PPP	Mutlak	Natural Resources of Canada	GPS, GLONASS
IGN-PPP	Mutlak	National Institute of Geographic and Forest Information	GPS
AUSPOS	Bağıl	Geoscience Australia	GPS
OPUS	Bağıl	ABD National Geodetic Survey (NGS)	GPS
SCOUT	Bağıl	California Spatial Reference Center	GPS

Veri yükleme işlemi tamamlandıktan sonra yazılımlar otomatik olarak değerlendirme sürecine başlamakta ve genellikle birkaç dakika içerisinde sonuçlarla birlikte değerlendirme işlemine ait bilgileri içeren raporu, kullanıcı tarafından belirtilen e-posta adresine göndermektedir. Bu yazılımlardan bazıları sadece GPS verilerini değil diğer uydu sistemlerinin (GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou v.b) verilerini de işleyebilmektedir. Bu sayede kullanıcılar daha esnek ve yüksek doğrulukta konum bilgisi elde edebilmektedir.

Web tabanlı GNSS değerlendirme yazılımlarının; cm/dm doğrulukta konum belirleme imkânı sunması, arazi veya ofis ortamında gerçekleştirilen çalışmalarda kolaylık sağlamaları gibi birçok avantajı dünya genelinde kullanımlarını hızla artırmıştır. Bu yazılımlar, kullanıcı dostu arayüzleri ve erişim kolaylıkları sayesinde farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır [7]. Yaygın olarak kullanılan web tabanlı GNSS değerlendirme yazılımlarının özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

2.2 Uzak iklim koşulları ve indisleri

Uzak iklimi, Güneş ya da Güneş dışı kaynaklı etmenlerle iyonosfer tabakasında meydana gelen düzensiz ve ani değişimleri ifade eder. Bu değişimler; Güneş radyasyon fırtınaları, taçküre kütle atımları, jeomanyetik fırtınalar, koronal delikler, Güneş lekeleri, kutup ışıkları gibi birçok olayla ilişkilidir [16, 17].

Bu koşulların izlenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla çeşitli uzak hava indisleri kullanılmaktadır. Başlıca indisler; güneş aktivite indisleri (F10.7 ve EUV), jeomanyetik fırtına ve aktivite indisleri (Kp ve Dst), gezegenler arası manyetik alan bileşenleri (Bx, By, Bz), AE indisi, proton akısı ve plazma yoğunluğudur [15, 18].

Güneş’ten gelen UV ve X-ışınları, iyonosferdeki iyonlaşmanın temel kaynağıdır. Bu nedenle iyonosferik değişimlerin izlenmesinde güneş aktivite indisleri kritik rol oynamaktadır. Özellikle F10.7 indisi, Güneş’ten yayılan 10.7 cm dalga boyundaki radyasyonu ölçer ve iyonosferdeki toplam elektron içeriği (TEC) üzerinde belirgin etkiler

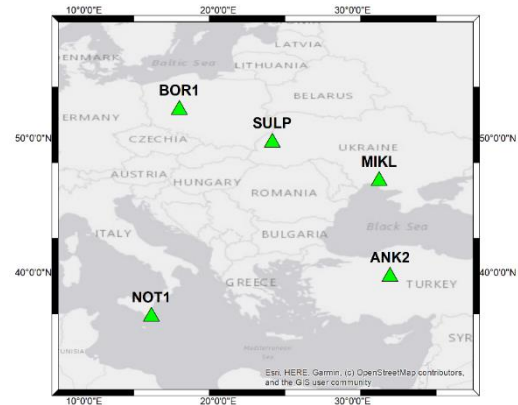
oluşturur [19, 20]. F10.7’nin 150 sfU üzeri değerleri yüksek güneş aktivitesine, dolayısıyla artan TEC değerlerine işaret eder.

Jeomanyetik fırtınalar, Güneş kaynaklı plazmaların Dünya’nın manyetik alanında neden olduğu geçici bozulmalardır. Kp ve Dst indisleri bu etkinin şiddetini belirlemede kullanılır. Kp, 3 saatlik ortalamalarla izlenir ve 0–9 skalasında değerlendirilir; değer arttıkça jeomanyetik aktivite de artar. Dst indisi ise özellikle halkasal akım etkilerini gösterir; -100 nT altındaki değerler şiddetli fırtınalara işaret eder [21, 22].

Gezegenler arası manyetik alan bileşenleri (Bx, By, Bz), Güneş rüzgarlarının yönünü ve Dünya ile olan etkileşim potansiyelini ortaya koyar. Özellikle Bz bileşeni negatif yönlü olduğunda jeomanyetik fırtına olasılığı artar ve TEC değerlerinde ani yükselişler gözlemlenebilir [23, 24].

2.3 Yöntem ve veri işleme

Bu çalışmada web tabanlı GNSS değerlendirme yazılımlarının performanslarının incelenmesi amacıyla, NOT1, SULP, ANK2, BOR1 ve MIKL olmak üzere beş adet IGS istasyonu seçilmiştir (Şekil 1). Bu istasyonların seçiminde ilgili gözlem gününe ait verilerin eksiksiz ve farklı enlem/boylamlarda olmasına dikkat edilmiştir.



Şekil 1. IGS istasyonları

Çalışma kapsamında farklı enlemlerde/boylamlarda seçilen IGS noktalarına ait 24 saatlik RINEX verileri <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/data/daily> web sayfasından temin edilmiştir. ANK2 istasyonu için 300. güne ait (27.10.2023); NOT1, Sulp, BOR1 ve MIKL istasyonları için ise 302. güne ait (29.10.2023) veriler kullanılmıştır. Bu tarih Cumhuriyetimizin kuruluşunun 100. yılı olması sebebiyle özel olarak seçilmiştir (ANK2 istasyonu için 302. güne ait veri bulunmamasından dolayı en yakın gün olan 300. gün seçilmiştir).

Yapılan çalışma kapsamında, GNSS ölçüleri üzerine olumsuz etkisi olan Uzay İklim Koşulları İndislerinden Bz (GSE, GSM) (nT), Kp, Dst (nT) ve F10.7 (sfU) 'nin etkisi araştırılmıştır. Değerlendirmede kullanılacak olan 300. (27.10.2023) ve 302. güne ait (29.10.2023) indis verileri <https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html> web adresinden temin edilmiştir. Seçilen günlerde, Uzay İklim Koşulları İndislerinin GNSS ölçülerine olumsuz etkisi olup olmadığı incelendikten sonra IGS noktalarının her birinde 24 saatlik RINEX verileri 6 ve 12 saatlik dilimlere ayrılarak CSRS-PPP, MagicGNSS, raPPPid, APPS, Trimble-RTX, AUSPOS, OPUS, IBGE-PPP, IGN-PPP ve PPPH yazılımları ile değerlendirilmiştir.

CSRS-PPP, MagicGNSS, raPPPid, APPS, Trimble-RTX, IBGE-PPP, IGN-PPP ve PPPH yazılımları ile elde edilen koordinatlar referans koordinatlardan çıkartılarak farklar hesaplanmıştır. Referans koordinatlar olarak sırasıyla AUSPOS, OPUS ve IGS.SNX'den elde edilen koordinatlar seçilmiştir. Benzer şekilde AUSPOS ve OPUS yazılımı ile elde edilen koordinatlar IGS.SNX dosyasından alınan

koordinatlardan çıkartılarak da farklar (düzeltme değerleri) hesaplanmıştır.

Koordinat farkları;

$$\varepsilon_{X_i} = X_T - X_i, \quad \varepsilon_{Y_i} = Y_T - Y_i, \quad \varepsilon_{Z_i} = Z_T - Z_i \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanmıştır. Eşitlik 1'de; X_T, Y_T, Z_T : Referans koordinatları, X_i, Y_i, Z_i : Web tabanlı ve açık kaynak kodlu GNSS değerlendirme yazılımlarından elde edilen koordinat değerlerini, $\varepsilon_{X_i}, \varepsilon_{Y_i}, \varepsilon_{Z_i}$: hesaplanan farkları göstermektedir. n ölçü süresine bağlı olarak elde edilen koordinat sayısını göstermek üzere koordinat eksenleri yönündeki karesel ortalama hatalar (KOH);

$$m_{X_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{X_i} \varepsilon_{X_i}]}{n}},$$

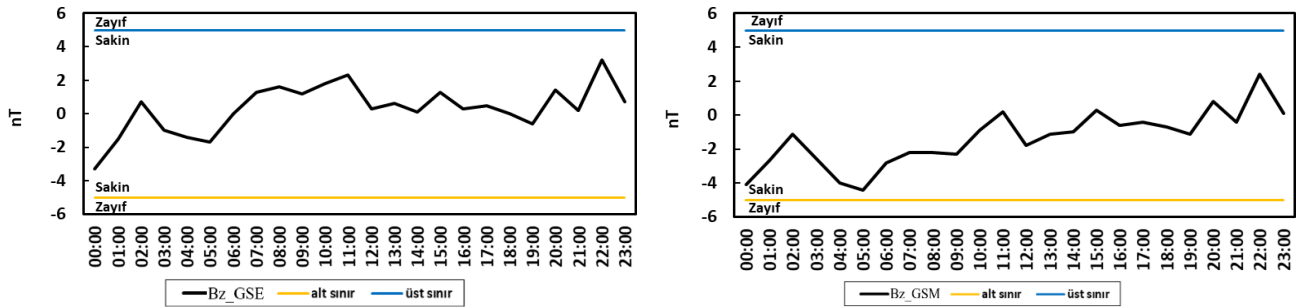
$$m_{Y_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{Y_i} \varepsilon_{Y_i}]}{n}},$$

$$m_{Z_i} = \pm \sqrt{\frac{[\varepsilon_{Z_i} \varepsilon_{Z_i}]}{n}} \quad (2)$$

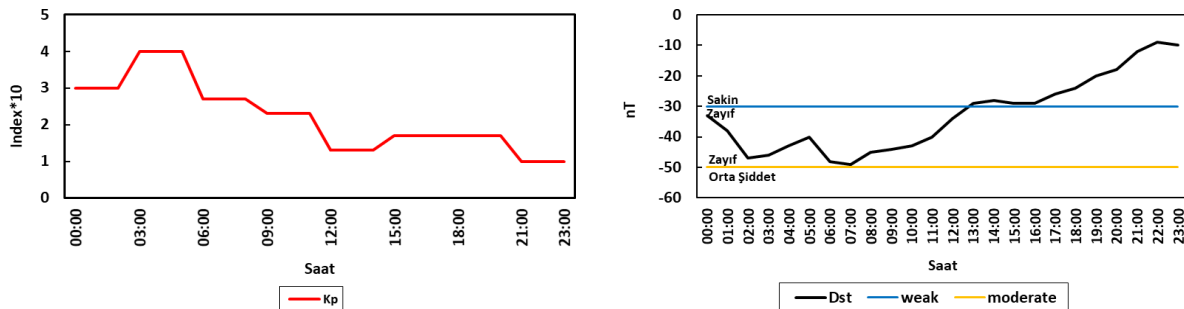
eşitlikleri ile hesaplanmıştır.

3 Bulgular ve tartışma

300. ve 302. güne ait Uzay İklim Koşulları İndis verileri aşağıda gösterilmiş ve yorumlanmıştır (Şekil 2-5).



Şekil 2. 300. Gün Bz bileşenine ait GSE ve GSM indisleri



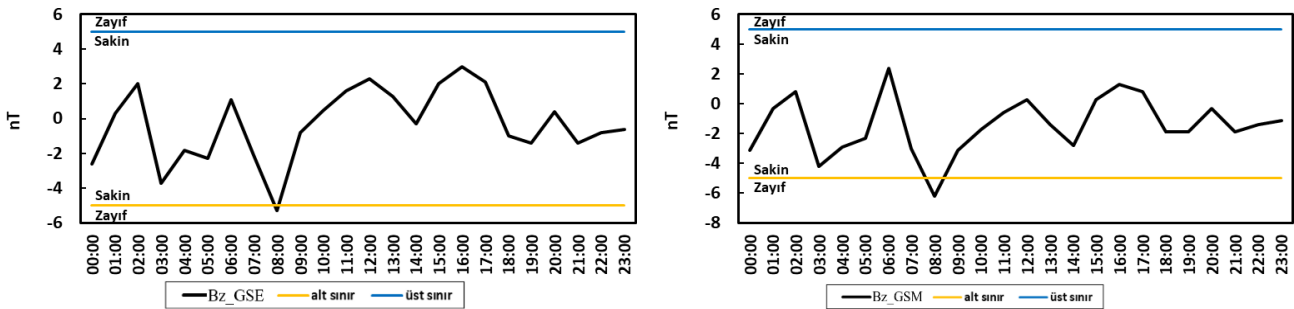
Şekil 3. 300. Gün Kp ve Dst indisleri

300. güne ait (27.10.2023) Uzay İklim Koşulları İndis değerleri incelendiğinde, manyetik alan değişim indislerinden olan Bz_GSE ve Bz_GSM bileşenlerinin (Şekil 2) +5 ve -5 nT sınır değerlerini aşmadığı, Bz_GSE bileşeni için en düşük -3.3 nT, Bz_GSM bileşeni için en düşük -4.4 nT değerlerine ulaştığı ve seçilen günlerde sakin kaldıkları görülmektedir. Jeomanyetik fırtına (Kp) ve jeomanyetik aktivite (Dst) değişimlerine ait indis değerleri incelendiğinde (Şekil 3); Kp indisinin en yüksek 4 değerine ulaştığı ve sınır değerini aşmadığı, Dst indis değerlerinin -50 nT sınır değerini aşmadığı ve en düşük Dst değerinin -49 nT (zayıf fırtına) olduğu görülmektedir. F10.7 indisinin ilgili tarihteki değerinin (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>) 125.9 sfU olduğu, 150 sfU eşik değerini geçmediği görülmektedir. Aynı indisler 302. Gün için de incelenmiş ve Şekil 4-5'te verilmiştir.

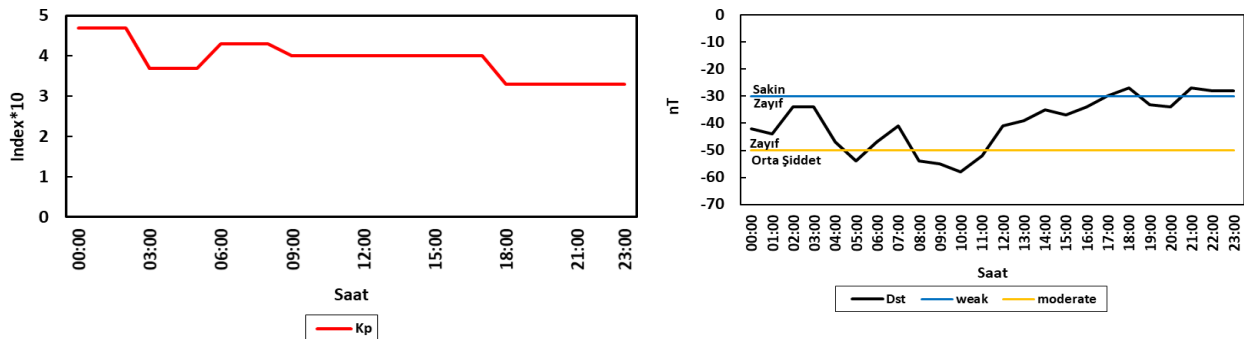
302. güne ait (29.10.2023) Uzay İklim Koşulları İndis değerleri incelendiğinde, manyetik alan değişim indislerinden olan Bz_GSE ve Bz_GSM bileşenlerinin (Şekil 4) +5 ve -5 nT sınır değerlerini aştığı, Bz_GSE bileşeni için en yüksek -5.3 nT (hafif fırtına), Bz_GSM bileşeni için en yüksek -6.2 nT (hafif fırtına) olarak sınır değerinden bir miktar yüksek olduğu görülmektedir. Jeomanyetik fırtına (Kp) ve jeomanyetik aktivite (Dst) değişimlerine ait indis değerleri incelendiğinde (Şekil 5); Kp

indisinin en yüksek 4.7 değerine ulaştığı ve sınır değerini aşmadığı, Dst indis değerlerinin -50 nT sınır değerinden düşük olduğu ve en yüksek Dst değerinin -58 nT (orta şiddetli fırtına) olduğu görülmektedir. F10.7 indisinin ilgili tarihteki değeri (<https://omniweb.gsfc.nasa.gov/form/dx1.html>) 133.3 sfU olduğu, 150 sfU eşik değerini geçmediği görülmektedir. Genel olarak indis değerleri incelendiğinde, seçilen tarihlerde GNSS ölçülerini olumsuz etkileyecek herhangi bir iyonosferik aktivitenin olmadığı ve jeomanyetik olarak iyonosfer tabakasının sakin kaldığı sonucuna varılmıştır.

NOT1, SULP, ANK2, BOR1 ve MIKL IGS istasyonlarına ait bir günlük veri 6 saatlik 4 değerlendirme (birinci 6 saat 00:00:00-05:59:00, ikinci 6 saat 06:00:00-11:59:00, üçüncü 6 saat 12:00:00-17:59:00, dördüncü 6 saat 18:00:00-23:59:00), 12 saatlik 2 değerlendirme (birinci 12 saat 00:00:00-11:59:00, ikinci 12 saat 12:00:00-23:59:00) ve 24 saatlik 1 değerlendirme (00:00:00-23:59:00) olmak üzere, dilimlere ayrılarak web tabanlı ve açık kaynak kodlu yazılımlar ile değerlendirilmiş, elde edilen koordinatlar ile referans koordinatlar arasındaki farkları hesaplanmış ve grafik olarak gösterilmiştir. Tüm saat dilimlerinin grafikleri sayfa sayısının fazlalığından dolayı verilmeyip sadece 24 saatlik farklar Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 4. 302. Gün Bz bileşenine ait GSE ve GSM indisleri



Şekil 5. 302. Gün Kp ve Dst indisleri

AUSPOS yazılımından elde edilen koordinatlarla hesaplanan 24 saatlik dilimdeki farklar incelendiğinde (Şekil 6), MagicGNSS yazılımında X eksen yönünde BOR1 istasyonunun, CSRS-PPP yazılımında Y eksen yönünde ANK2 istasyonunun, Trimble-RTX yazılımında Z eksen yönünde NOT1 istasyonunun referans koordinatlara daha yakın sonuç verdiği, en fazla farkın ise PPPH yazılımında X ve Z eksenleri yönünde BOR1, Y eksen yönünde MIKL istasyonlarında olduğu görülmektedir.

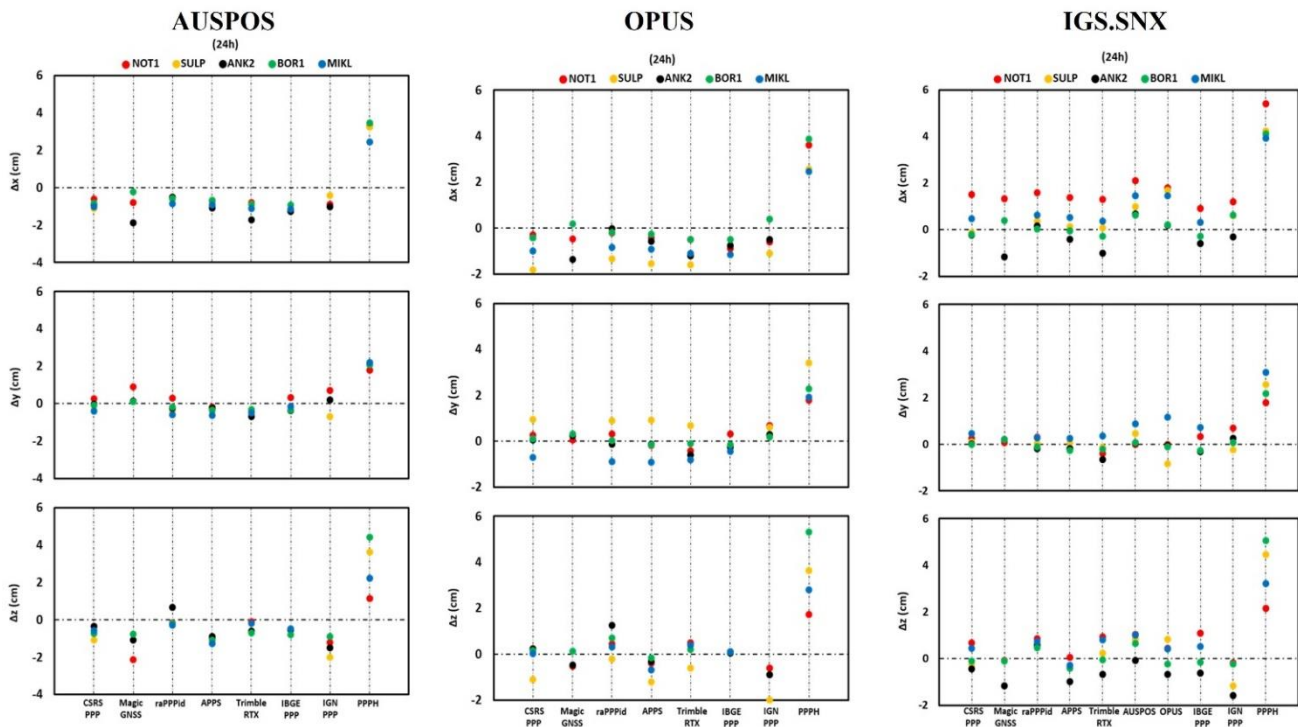
OPUS yazılımından elde edilen koordinatlarla hesaplanan 24 saatlik dilimdeki farklar incelendiğinde (Şekil 6), raPPPid yazılımında X eksen yönünde ANK2 istasyonunun, raPPPid yazılımında Y eksen yönünde BOR1 istasyonunun, CSRS-PPP yazılımında Z eksen yönünde MIKL istasyonunun referans koordinatlara daha yakın sonuç verdiği görülmektedir. Genel olarak PPPH yazılımı ile değerlendirilen koordinatlarda farkın daha yüksek olduğu görülse de diğer istasyonlarla karşılaştırıldığında, X ve Z eksenleri yönünde BOR1 istasyonunda, Y eksen yönünde ise Sulp istasyonunda referans koordinatlar ile arasındaki farkın daha fazla olduğu görülmektedir.

IGS.SNX dosyasından alınan koordinatlarla hesaplanan 24 saatlik dilimdeki farklar incelendiğinde (Şekil 6), raPPPid yazılımında X eksen yönünde BOR1 istasyonunun, CSRS-PPP yazılımında Y eksen yönünde BOR1 istasyonunun, APPS yazılımında Z eksen yönünde NOT1 istasyonunun IGS koordinatlarına daha yakın sonuç verdiği, en fazla farkın ise PPPH yazılımında X eksen yönünde NOT1, Y eksen yönünde MIKL ve Z eksen yönünde BOR1 istasyonlarında olduğu görülmektedir.

NOT1, Sulp, ANK2, BOR1 ve MIKL istasyonlarına ait bir günlük veri, web tabanlı ve açık kaynak kodlu yazılımlarda değerlendirilmiş, Eşitlik (1) ile farklar ve Eşitlik (2) ile KOH hesaplanmıştır (Şekil 7-15).

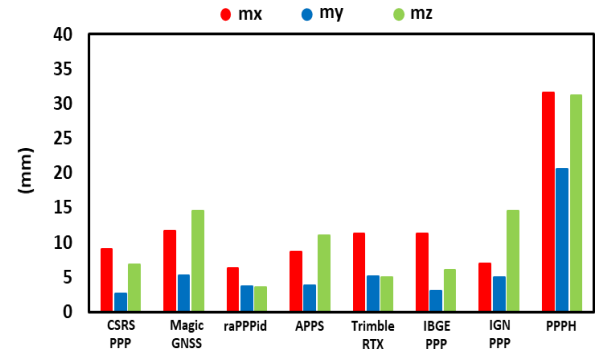
AUSPOS yazılımından hesaplanan KOH incelendiğinde (Şekil 7-9), 24 saatlik dilimdeki değerlerin ± 2.6 mm ile ± 31.6 mm arasında, 12 saatlik dilimdeki değerlerin ± 2.9 mm ile ± 35.5 mm arasında, 6 saatlik dilimdeki değerlerin ise ± 4.2 mm ile ± 44.4 mm arasında değiştiği görülmektedir. 24 saatlik verilerde KOH değerinin raPPPid yazılımı ile değerlendirilen koordinatlarda, 12 ve 6 saatlik verilerde KOH değerinin CSRS-PPP ile değerlendirilen koordinatlarda daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 7-9 incelendiğinde, tüm saatlik dilimde PPPH yazılımı ile değerlendirilen koordinatlardan elde edilen KOH değerinin yüksek olduğu ve gözlem süresi azaldıkça KOH değerlerinin arttığı görülmektedir.

OPUS yazılımından hesaplanan KOH incelendiğinde (Şekil 10-12), 24 saatlik dilimdeki değerlerin ± 0.9 mm ile ± 36.2 mm arasında, 12 saatlik dilimdeki değerlerin ± 4.8 mm ile ± 36.7 mm arasında, 6 saatlik dilimdeki değerlerin ise ± 3.7 mm ile ± 43.1 mm arasında değiştiği görülmektedir. 24 ve 12 saatlik verilerde KOH değerinin IBGE-PPP yazılımı ile değerlendirilen koordinatlarda, 6 saatlik verilerde KOH değerinin Trimble-RTX yazılımı değerlendirilen koordinatlarda daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 10-12 incelendiğinde, tüm saatlik dilimde PPPH yazılımı ile değerlendirilen koordinatlardan elde edilen KOH değerinin diğer yazılımlar ile karşılaştırıldığında yüksek olduğu ve gözlem süresi azaldıkça KOH değerlerinin arttığı görülmektedir.



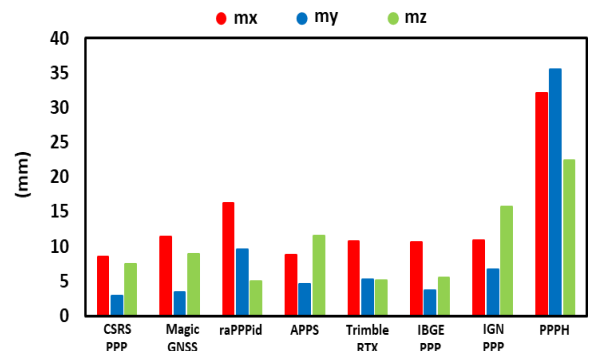
Şekil 6. 24 saatlik dilimdeki koordinat farkları

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
24 Saat	CSRS-PPP	9.1	2.6	6.9
	MagicGNSS	11.7	5.3	14.5
	raPPPid	6.3	3.7	3.5
	APPS	8.6	3.9	11.0
	Trimble-RTX	11.3	5.2	5.0
	IBGE-PPP	11.4	3.1	6.0
	IGN-PPP	7.0	5.1	14.6
	PPPH	31.6	20.5	31.2



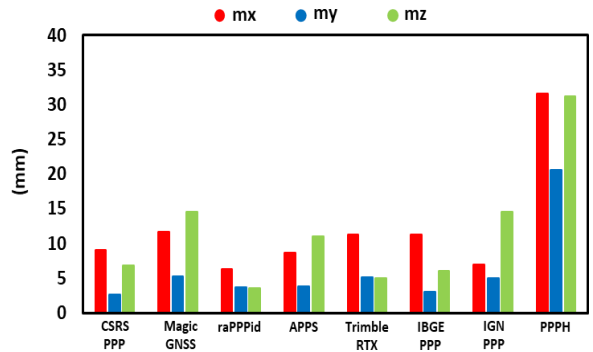
Şekil 7. 24 saatlik dilimde AUSPOS yazılımı referans alındığında elde edilen KOH

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
12 Saat	CSRS-PPP	8.6	2.9	7.5
	MagicGNSS	11.5	3.5	9.0
	raPPPid	16.3	9.6	5.0
	APPS	8.9	4.6	11.6
	Trimble-RTX	10.7	5.3	5.1
	IBGE-PPP	10.6	3.7	5.5
	IGN-PPP	10.9	6.7	15.8
	PPPH	32.1	35.5	22.4



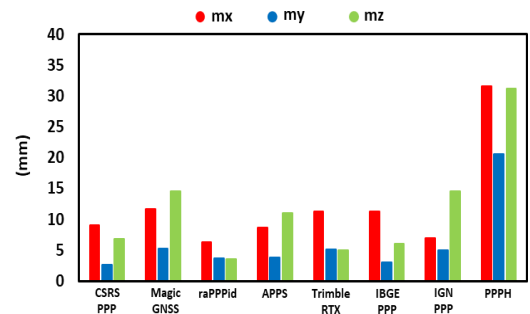
Şekil 8. 12 saatlik dilimde AUSPOS yazılımı referans alındığında elde edilen KOH

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
6 Saat	CSRS-PPP	9.8	4.2	7.8
	MagicGNSS	15.3	7.8	12.0
	raPPPid	17.8	12.5	9.8
	APPS	10.0	4.9	11.7
	Trimble-RTX	12.0	7.5	6.7
	IBGE-PPP	12.5	5.6	10.5
	IGN-PPP	14.0	12.6	21.0
	PPPH	41.5	44.4	37.1



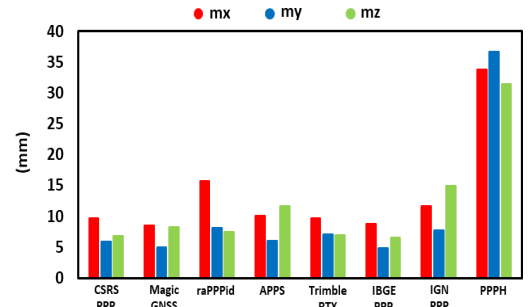
Şekil 9. 6 saatlik dilimde AUSPOS yazılımı referans alındığında elde edilen KOH

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
24 Saat	CSRS-PPP	9.7	5.4	5.2
	MagicGNSS	8.4	2.3	4.2
	raPPPid	7.2	5.8	6.9
	APPS	8.8	5.9	6.6
	Trimble-RTX	10.7	5.8	4.0
	IBGE-PPP	8.6	3.2	0.9
	IGN-PPP	7.0	5.0	11.4
	PPPH	31.9	24.3	36.2



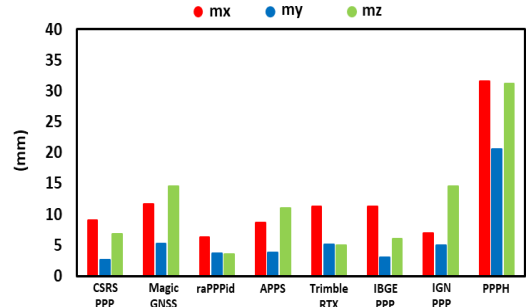
Şekil 10. 24 saatlik dilimde OPUS yazılımı referans alındığında elde edilen KOH

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
12 Saat	CSRS-PPP	9.7	5.9	6.8
	MagicGNSS	8.5	5.1	8.3
	raPPPid	15.7	8.1	7.5
	APPS	10.2	6.0	11.7
	Trimble-RTX	9.8	7.1	7.0
	IBGE-PPP	8.7	4.8	6.6
	IGN-PPP	11.7	7.7	15.0
	PPPH	33.9	36.7	31.4



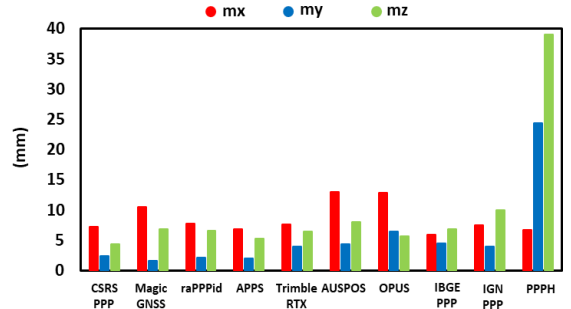
Şekil 11. 12 saatlik dilimde OPUS yazılımı referans alındığında elde edilen KOH

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
6 Saat	CSRS-PPP	11.0	3.7	7.5
	MagicGNSS	9.5	7.0	11.9
	raPPPid	15.0	10.4	10.3
	APPS	10.9	4.3	10.4
	Trimble-RTX	10.7	4.3	6.0
	IBGE-PPP	12.6	5.8	9.5
	IGN-PPP	15.5	12.3	22.4
	PPPH	32.8	43.1	36.8



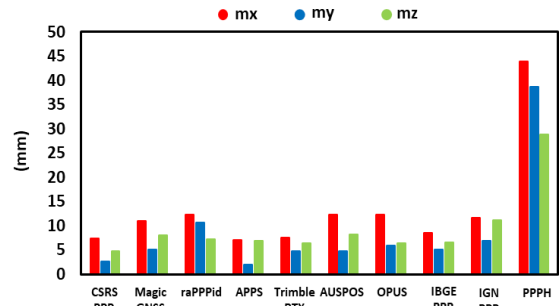
Şekil 12. 6 saatlik dilimde OPUS yazılımı referans alındığında elde edilen KOH

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
24 Saat	CSRS-PPP	7.2	2.4	4.3
	MagicGNSS	10.5	1.6	6.8
	raPPPid	7.8	2.1	6.6
	APPS	6.9	2.0	5.2
	Trimble-RTX	7.7	4.0	6.4
	AUSPOS	12.9	4.4	8.0
	OPUS	12.9	6.5	5.6
	IBGE-PPP	5.9	4.4	6.9
	IGN-PPP	7.5	3.9	9.9
	PPPH	6.7	24.4	39.0



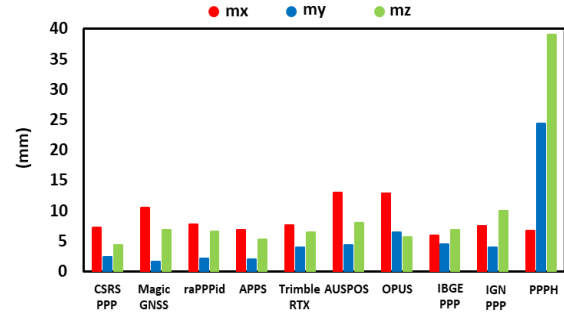
Şekil 13. 24 saatlik dilimde IGS.SNX dosyasından alınan koordinatlarla elde edilen KOH

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
12 Saat	CSRS-PPP	7.5	2.7	4.8
	MagicGNSS	11.0	5.2	8.0
	raPPPid	12.3	10.6	7.2
	APPS	7.0	2.1	7.0
	Trimble-RTX	7.6	4.8	6.4
	AUSPOS	12.3	4.8	8.2
	OPUS	12.3	5.9	6.4
	IBGE-PPP	8.6	5.1	6.5
	IGN-PPP	11.6	7.0	11.2
	PPPH	43.9	38.6	28.9



Şekil 14. 12 saatlik dilimde IGS.SNX dosyasından alınan koordinatlarla elde edilen KOH

Süre	Yazılım	$\pm mx$ (mm)	$\pm my$ (mm)	$\pm mz$ (mm)
6 Saat	CSRS-PPP	7.9	3.2	5.4
	MagicGNSS	9.9	8.4	10.4
	raPPPid	15.8	13.5	8.4
	APPS	7.4	2.7	8.1
	Trimble-RTX	9.3	6.2	7.9
	AUSPOS	12.6	4.9	7.8
	OPUS	12.9	4.2	6.1
	IBGE-PPP	8.9	6.3	10.0
	IGN-PPP	15.9	11.0	20.1
	PPPH	49.5	47.1	40.9



Şekil 15. 6 saatlik dilimde IGS.SNX dosyasından alınan koordinatlarla elde edilen KOH

IGS.SNX dosyasından alınan koordinatlarla hesaplanan KOH incelendiğinde (Şekil 13-15), 24 saatlik dilimdeki değerlerin ± 1.6 mm ile ± 39.0 mm arasında, 12 saatlik dilimdeki değerlerin ± 2.1 mm ile ± 43.9 mm arasında, 6 saatlik dilimdeki değerlerin ise ± 2.7 mm ile ± 49.5 mm arasında değiştiği görülmektedir. 24 saatlik verilerde KOH değerinin APPS yazılımı ile değerlendirilen koordinatlarda, 12 ve 6 saatlik verilerde KOH değerinin CSRS-PPP yazılımı ile değerlendirilen koordinatlarda daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Şekil 13-15 incelendiğinde, tüm saatlik dilimde PPPH yazılımı ile değerlendirilen koordinatlardan elde edilen KOH değerinin diğer yazılımlar ile karşılaştırıldığında yüksek olduğu ve gözlem süresi azaldıkça KOH değerlerinin arttığı görülmektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışmada web tabanlı ve açık kaynak kodlu GNSS yazılımlarından elde edilen koordinatlar referans değerlerle Uzak İklim Koşullarının etkisi de göz önünde bulundurularak karşılaştırılmıştır. 2023 yılının 300. ve 302. günlerine ait Uzak İklim Koşulları İndis verileri grafik olarak analiz edilmiş ve yorumlanmıştır. Elde edilen bulgular, GNSS ölçülerinin seçilen günlerde olumsuz etkilenmediğini ve genel olarak iyonosferik aktivitenin sakin kaldığını göstermektedir. 300. gün için manyetik alan değişim indisleri belirlenen sınır değerlerini aşmamış, 302. gün için ise kısmi olarak bu sınırların üzerine çıkmış ancak yine de orta şiddetli bir fırtına seviyesinde kalmıştır.

GNSS istasyon verileri, hata analizleri ve KOH hesaplamalarıyla birlikte değerlendirilerek, farklı yazılımlarla elde edilen koordinat farkları incelenmiştir. Yapılan analizler, çeşitli yazılımlarla hesaplanan koordinat farklarının değişik eksenlerde farklı sonuçlar verdiğini göstermiştir. Özellikle PPPH yazılımı ile hesaplanan koordinat farklarının diğer yazılımlara göre daha büyük olduğu ve gözlem süreleri azaldıkça KOH değerlerinin arttığı belirlenmiştir.

Gözlem süreleri azaldıkça KOH değerlerinin arttığı gözlemlendiği için, GNSS verilerinin daha sağlıklı analiz edilmesi için daha uzun gözlem sürelerinin tercih edilmesi önerilir. Koordinat belirleme hassasiyetini arttırmak

amacıyla, farklı yazılımların kullanımına devam edilmeli ve hangi yazılımın belirli istasyonlar için daha iyi sonuçlar verdiği detaylı olarak incelenmelidir. GNSS sistemlerinin hassasiyeti üzerinde manyetik alan ve iyonosferik aktivitenin etkili olabileceği göz önünde bulundurularak, bu verilerin düzenli olarak izlenmesi ve GNSS analizleriyle ilişkisinin daha detaylı incelenmesi faydalı olacaktır. Özellikle PPPH yazılımı ile hesaplanan koordinat farklarının diğer yazılımlara göre daha fazla olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, GNSS konum belirleme hassasiyetinin artırılması için farklı veri işleme yaklaşımları üzerinde çalışılmalıdır. GNSS sistemlerinin hassasiyetini arttırmak amacıyla ek veriler (troposferik modeller, iyonosferik modeller vb.) değerlendirilerek, daha kesin konum belirleme sağlanabilir. Bu bulgular ve öneriler ışığında, GNSS konum belirleme hassasiyetinin artırılması ve uzay iklim koşullarının etkilerinin daha detaylı incelenmesi için gelecekte daha kapsamlı çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma, Konya Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Harita Mühendisliği Ana Bilim Dalında, Prof. Dr. Cevat İNAL danışmanlığında, Nevriye GÜL tarafından hazırlanan “Web tabanlı GNSS değerlendirme yazılımlarının performansları” konulu Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir. Çalışmada kullanılan verilerin temin edildiği veri sağlayıcı kurum NASA CCDIS’a teşekkür ederiz.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %12

Kaynaklar

- [1] S. Alçay ve H. İ. İmren, OPUS ve AUSPOS Web Tabanlı GPS Değerlendirme Servislerinin Farklı Gözlem Süreleri İçin Doğruluk Performanslarının İncelenmesi. Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6 (2), 452-466, 2017. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.341282>

- [2] M. Güngör, 2022, Uzay İklim Koşullarının Toplam Elektron Yoğunluğu (Tec) Üzerindeki Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2022.
- [3] A.G. Shehata, F.H. Zarzoura, M. El-Mewafi, Precision Comparison For Different GNSS-PPP Solution Using Online Services and Open-source Software Processing, Universal Journal of Civil Engineering, 2 (1), 2023.
- [4] H. Wang, J.B. Uwineza, & J.A. Farrel, Outlier accommodation for GNSS precise point positioning using risk-averse state estimation. 2024 American Control Conference, Toronto, ON, Canada, pp. 1373-1379, 2024. doi: 10.23919/ACC60939.2024.10644650.
- [5] X. Zhang, Y. Yang, H. Yang, et al. Performance of PPP and PPP-RTK with new-generation GNSS constellations and signals. Satell Navig 6, 17, 2025. <https://doi.org/10.1186/s43020-025-00169-6>
- [6] M.F. Elrewiny, F.H. Zarzoura, & M. El-Mewafi, New Online Approach for Real-Time Precise Point Positioning GNSS Processing. Mansoura Engineering Journal, 49 (3), Art No 7, 2023. <https://doi.org/10.58491/2735-4202.3176>
- [7] J.R. Vázquez-Ontiveros, J. Padilla-Velazco, J.R. Gaxiola-Camacho, & G.E. Vázquez-Becerra, Evaluation and Analysis of the Accuracy of Open-Source Software and Online Services for PPP Processing in Static Mode. Remote Sensing, 15(8), 2034, 2023. <https://doi.org/10.3390/rs15082034>
- [8] F. Başçiftçi, S. Bülbül, Statistical Analysis of the Regional and Global Ionosphere Model on Intense Geomagnetic Storm, Indian J Phys, 97 (12), 3395–3409, 2023.
- [9] B. Bilgen, C. İnal, ve S. Bülbül, Point Positioning Performance of Trimble-RTX in Different Satellite Combinations, Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi, 10 (4), 941-949, 2022.
- [10] Z. Wang, G. Yang, R. Huang, M. Li, & M. Zhu, Multi-GNSS Large Areas PPP-RTK Performance During Ionosphere Anomaly Periods. Sensors, 25(7), 2200, 2025. <https://doi.org/10.3390/s25072200>
- [11] F. Başçiftçi, An Analysis of the Latest Super Geomagnetic Storm of the 23RD Solar Cycle (May 15, 2005, Dst: -247 nT). Geomagn. Aeron. 61 (Suppl 1), S156–S166, 2021. <https://doi.org/10.1134/S001679322010029>
- [12] T. Erol, Web Tabanlı CSRS-PPP Uygulamasının Farklı Uydu Sistemleri Üzerindeki Performansı, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 8 (1), 41-56, 2021.
- [13] T. Herbert, N.I. Ugochukwu ve R.I. Olatunji, Assessing the Accuracy of Online GNSS Processing Services and Commercial Software on Short Baselines, South African Journal of Geomatics 9 (2), 321–332, 2020.
- [14] P.D. Oluyori, M.N. Ono, S.O. Eteje, Comparison of OPUS, CSRS-PPP and MagicGNSS Online Post-processing Software of DGPS Observations for Geometric Geoid Modelling in FCT, Abuja, FIG Working Week, 1 (1), 2019.
- [15] E.G. Özdemir, Bağlı ve Mutlak (PPP) Konum Çözüm Yaklaşımı Sunan Web- Tabanlı Çevrimiçi Veri Değerlendirme Servislerinin Farklı Gözlem Periyotlarındaki Performanslarının Araştırılması, Geomatik Dergisi, 7 (1), 41-51, 2022.
- [16] S. Alçay, M. Güngör, Investigation of ionospheric TEC anomalies caused by space weather conditions. Astrophys Space Sci 365, 150, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10509-020-03862-x>
- [17] A.K. Singh, A. Bhargawa, D. Siingh, & R.P. Singh, Physics of Space Weather Phenomena: A Review. Geosciences, 11(7), 286, 2021. <https://doi.org/10.3390/geosciences11070286>
- [18] J. Matzka, C. Stolle, Y. Yamazaki, O. Bronkalla & A. Morschhauser, The geomagnetic Kp index and derived indices of geomagnetic activity. Space Weather, 19(5), e2020SW002641, 2021. <https://doi.org/10.1029/2020SW002641>
- [19] G. Jerse, & A. Marcucci, Deep Learning LSTM-based approaches for 10.7 cm solar radio flux forecasting up to 45-days. Astronomy and Computing, 46, Art No. 100786, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ascom.2024.100786>
- [20] M. Ulukavak, M.Yaçinkaya, Uzay İklim Koşullarının İyonosferik Toplam Elektron İçeriği (Tec) Değişimlerine Etkisinin Araştırılması, 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 19-21 Ekim 2016.
- [21] M. Menvielle, and A. Berthelier, The K-Derived Planetary Indices: Description Availability, Reviews of Geophysics, 29, 415-432, 1991.
- [22] İ. Köz, İyonosferik Anomalilerin GNSS ile Belirlenmesi ve Deprem Öncülü Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkiye, 2022.
- [23] M. Ulukavak, Ekvatorial ve Orta Kuşak Depremleri ile İyonosferik Tec Anomalileri Arasındaki İlişkinin Araştırılması, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2016.
- [24] N.B. Xiang, Z.J. Ning, & F.Y. Li, Temporal Evolution of the Rotation of the Interplanetary Magnetic Field Bx, By, and Bz Components. The Astrophysical Journal, 896, (1), 2020. doi 10.3847/1538-4357/ab91bc

