

GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou GNSS Sistemlerinin 1. ve 2. Temel Frekanslarının Doluluk Analizi

Sermet ÖĞÜTCÜ¹  Behlül Numan ÖZDEMİR²  Salih ALÇAY³  İlky BUĞDAYCI⁴ 

¹ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

² Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

³ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye, salcay@erbakan.edu.tr (Sorumlu Yazar/ Corresponding Author)

⁴ Necmettin Erbakan Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye

Makale Bilgileri

ÖZ

Makale Geçmişi

Geliş: 30.05.2023

Kabul: 21.06.2023

Yayın: 30.06.2023

Anahtar Kelimeler:

Beidou, Galileo, GLONASS, GPS.

Günümüzde tam kapasite ile konum belirleme hizmeti sunan dört Küresel Konum Belirleme Sistemi (GNSS) bulunmaktadır. Bunlar GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou' dur. GPS ve GLONASS uzun yıllardır hizmet verirken, Galileo ve BeiDou son yıllarda dahil olmuştur. Bu çalışmada bu dört GNSS sisteminin 1. ve 2. temel frekanslarının doluluk durumu incelenmiştir. Bu amaçla 05.06.2023 tarihine ait 322 IGS-MGEX istasyonlarına ait (bu tarih için igs.ign.fr adresindeki bütün IGS istasyonları) veriler dikkate alınmıştır. Elde edilen sonuçlara göre GPS frekans doluluk oranlarının diğer uydu sistemlerine göre bir miktar daha iyi olduğu, doluluk oranlarının %96'nın üzerinde olduğu görülmüştür. Diğer uydu sistemlerinde de doluluk oranları GLONASS ikinci frekans hariç %94'ün üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Availability Analysis of 1st and 2nd Fundamental Frequencies of GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou GNSS Systems

Article Info

ABSTRACT

Article History

Received: 30.05.2023

Accepted: 21.06.2023

Published: 30.06.2023

Keywords: Beidou, Galileo, GLONASS, GPS.

Today, there are four global positioning systems (GNSS) that provide positioning with full capacity. These are GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou. While GPS and GLONASS provide positioning for many years, Galileo and BeiDou have been involved in recent years. In this study, the availability status of the 1st and 2nd fundamental frequencies of these four GNSS systems was investigated. For this purpose, the data of 322 IGS stations dated 05.06.2023 (all IGS stations for this date at igs.ign.fr) were taken into account. According to the results, it was seen that the GPS frequency availability rates were slightly better than other satellite systems, and the availability rates were above 96%. It has been determined that the availability rates in other satellite systems are above 94% except for the GLONASS second frequency.

Atıf/Citation: Öğütçü, S.; Özdemir, B.N.; Alçay, S. & Buğdaycı, İ. (2023). GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou GNSS Sistemlerinin 1. ve 2. Temel Frekanslarının Doluluk Analizi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(1), 14-22.



"This article is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0)"

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Küresel Konum Belirleme Sistemleri (GNSS) son yıllarda yüksek doğruluk gerektiren birçok konum belirleme uygulamasında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunlar arasında haritacılık faaliyetleri açısından deformasyon izleme [1], kadastral ölçmeler [2,3], imar uygulamaları, sayısal arazi modellerinin oluşturulması sayılabilir. Haritacılık uygulamalarında son yıllarda insansız hava araçları [4] ve uzaktan algılama teknikleri [5] daha aktif olarak kullanılsa da GNSS tekniği de yaygın olarak tercih edilmektedir.

GNSS ifadesi Global Positioning System (GPS) ve Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) ile ortaya çıkmış ve bu iki sistemin performans analizi üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir [6-12]. 2018 yılında Galileo'nun [13] ve 2020 yılında ise BeiDou'nun [14] tam kapasiteye ulaşması ile birlikte dört uydu sistemi küresel konumlama hizmeti vermektedir. Sistemlerin performans analizi üzerine çok sayıda çalışma gerçekleştirilmiştir [15-23].

Küresel uydu sistemlerinin sayısının artması ile birlikte kullanılan sinyal frekansları da artmıştır. GPS L1C/A, L1C, L2C, L2P ve L5; GLONASS L1C/A, L2C, L2P ve L3OC sinyallerini kullanırken, Galileo E1, E5a, E5b, E5AltBOC ve E6; BeiDou ise B1I, B2I, B3I, B1C, B2a ve B2b sinyallerini kullanmaktadır. Tüm bu sinyaller ilgili uydulardan yayınlanmasına rağmen GNSS alıcılarının da tüm bu sinyalleri alabilecek özellikte olması International GNSS Service-Multi-GNSS Experiment (IGS-MGEX) ile yapılacak çözümleme açısından önemlidir. Ayrıca GNSS alıcıları bu sinyalleri alabilme özelliğine sahip olsa bile hangi seviyede alabildikleri önemlidir. Bu durum özellikle çift frekans faz ve kod ölçümleri kullanılarak yapılan hassas nokta konum belirleme (PPP) ve hassas görelî konum belirleme değerlendirme işlemlerinde önem kazanmaktadır. Çift frekans kullanılarak yapılan jeodezik amaçlı konum belirleme işlemlerinde, ilgili epoka ait her iki frekanstaki faz ve kod ölçümlerine ihtiyaç vardır. GNSS alıcılarına ait bazı donanımsal ve yazılımsal kısıtlamalar nedeni ile faz ve kod verileri bazı epoklar için boş gelebilmektedir [24]. Bu durum, ilgili epokta çözüm yapılamamasına veya dengeleminin serbestlik derecesinin düşmesine yol açabilir, çünkü kullanılan uydu sayısı düşmektedir. Bu durum, özellikle kısıtlı uydu görünürlüğünde yapılan ölçümleri daha kötü şekilde etkilemektedir. Görelî konum belirleme işlemlerinde sabit ve gezici için ortak epoklardaki veriler işlendiği için, her iki alıcı için de bu durum önem arz etmektedir.

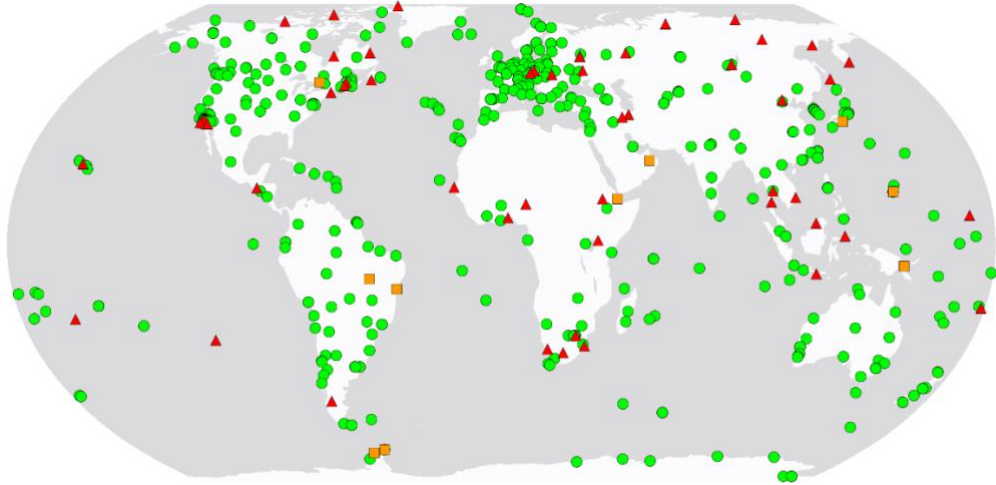
Bu çalışma kapsamında multi-GNSS istasyonlarında yaygın olarak kullanılan sinyal frekansları dikkate alınmıştır: GPS (C1C C2W L1C L2W), GLONASS (C1C L1C C2P L2P), Galileo (C1C L1C C5Q L5Q) ve Beidou (C2I L2I C6I L6I). Bu sinyal kanallarının seçilmesindeki en önemli durum, analiz merkezlerinin birçoğunun uydu yörünge ve saat ürünlerini üretmek için kullandığı sinyal kanalları olması [25-27] ve çoğu IGS-MGEX alıcılarında bu sinyallerin mevcut olmasıdır. Bunun haricinde PPP tekniği ile faz başlangıç belirsizliği çözünürlüğü için, analiz merkezlerinin üretmiş olduğu BIAS SINEX [28] dosyalarının genellikle bu sinyal kanalları için üretiliyor olması (GLONASS hariç) da bu sinyal kanallarının tercih edilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

IGS'in ağına dahil olan istasyonların RINEX verileri için belirli frekanstaki faz ve kod ölçümlerinin doluluk analizi ile ilgili herhangi bir bilgi verilmemektedir. Ancak, epok doluluk oranı hakkında bilgi Scripps Orbit and Permanent Array Center (SOPAC) servisinin yayınlamış olduğu istasyon bazındaki verilere <http://sopac-old.ucsd.edu/dataBrowser.shtml> bu adresten ulaşılabilir. Burada, seçilen istasyona ait olması gereken epok sayısı ile alıcının kaydetmiş olduğu epok sayıları oranlanarak kullanıcılara % olarak verilmektedir. IGS'in sitesinde ise (<https://network.igs.org/>) seçilen istasyonların faz ve kod frekanslarındaki olması gereken sayı ile alıcının kaydetmiş olduğu frekans sayıları ayrı ayrı görüntülenebilmektedir (örneğin ABPO istasyonu için 05/06/2023 tarihinde GPS uyduları için beklenen 35818, alıcının kaydettiği 31285). Ancak bu sitelerdeki bilgilerden, frekans bazında bir tarama yapılamamaktadır.

MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHODS)

İstasyonların RINEX 3.xx verileri igs.ign.fr adresinden 2023/06/05 tarihi için indirilmiştir. Bu tarih

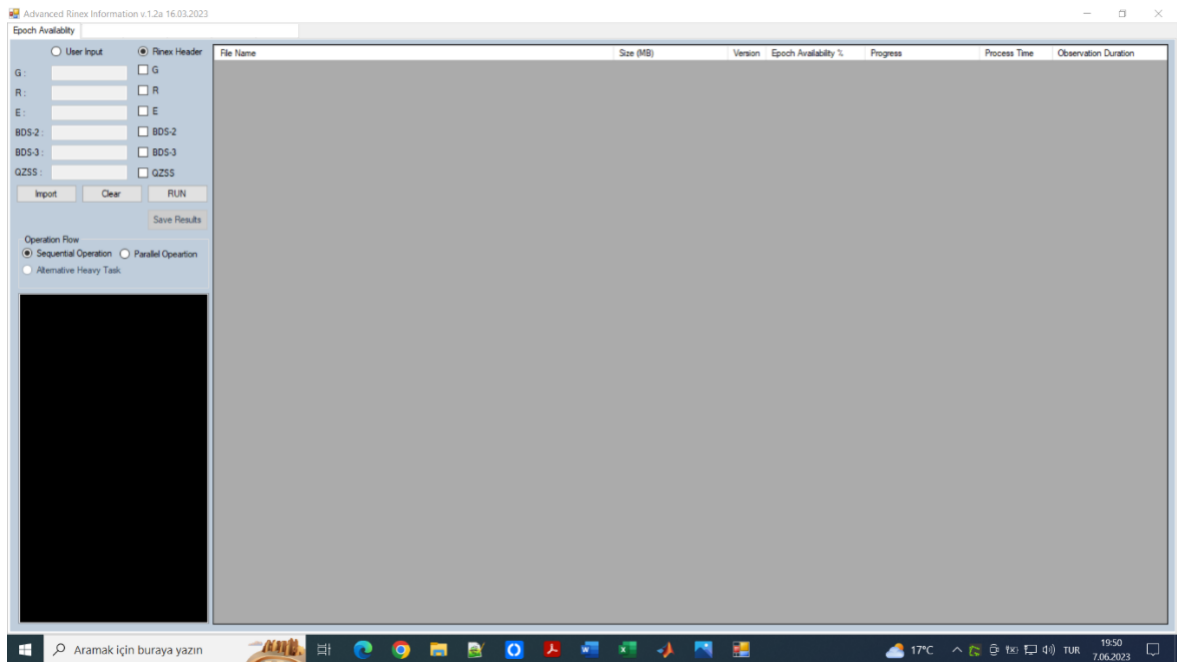
için igs.ign.fr adresinde bulunan 322 adet istasyona ait RINEX verisi indirilmiştir. İndirilen RINEX verilerinin hepsi 24 saatlik olup 30-s gözlem aralığındadır. Bu istasyonların haritası Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Seçilen IGS-MGEX istasyonlarının yeri

Kırmızı üçgen ve turuncu kare ile gösterilen istasyonların RINEX verileri 2023/06/05 tarihi için ve bundan önceki tarihler için mevcut değildir, dolayısı ile bu istasyonlar çalışma kapsamında hariç tutulmak zorunda kalmıştır. Ayrıca yeşil olarak gösterilen istasyonların bazılarının da RINEX verileri IGS ağının ftp adresinde (igs.ign.fr) mevcut değildir, dolayısı ile bu istasyonlar da hariç tutulmuştur.

Seçilen IGS-MGEX istasyonlarının RINEX verisi C# yazılımı kullanılarak üretilen bir yazılım aracılığı ile okutulup 1. ve 2. temel kod ve faz frekanslarının (GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou için sırasıyla, C1C/C2W/L1C/L2W, C1C/C2P/L1C/L2P, C1C/C5Q/L1C/L5Q, ve C2I/C6I/L2I/L6I) doluluk oranları GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uyduları için hesaplanmıştır. BeiDou uyduları için seçilen C2I L2I C6I L6I faz ve kod sinyal kanalları hem BDS-2 hem de BDS-3 uyduları için ortak sinyal kanallarıdır. Frekans isimlendirmesinde C kod ölçümlerini, L faz ölçümlerini ifade etmektedir. Frekans isimlendirmesinin detayı hakkında okuyucular [29] ilgili referansı inceleyebilirler. Yazılımın arayüzü Şekil 2'de verilmektedir.



Şekil 2. Yazılımın arayüzü

Yazılımın arayüzü oldukça sade tutulmuştur. Kullanıcı için iki opsiyon geçerlidir. Birinci opsiyon seçilen RINEX dosyalarındaki header kısmındaki bütün sinyal kodlarının seçilip bunların doluluk analizlerinin yapılmasıdır. İkinci opsiyon ise, kullanıcının kendi girdiği sinyal kodlarına göre yazılım RINEX dosyalarının içinden bu sinyal kodlarına ait doluluk analizi yapmasıdır. Bu çalışmada yukarıda belirtilen sinyal kodları yazılıma girilerek, seçilen sinyal kodlarının doluluk analizi yapılmıştır. Yüksek örneklem aralığında olan RINEX dosyaları için (1Hz veya daha yüksek) ve/veya çok sayıda seçilen RINEX dosyalarının işlem hızını artırmak için yazılıma multi-threading özelliği dahil edilmiştir. Kullanıcı tek çekirdek (Sequential) veya multi-threading (parallel) seçeneklerinden birini seçerek işlemini gerçekleştirmektedir.

GNSS uydu frekans doluluk oranları yazılım tarafından şu şekilde hesaplanmaktadır. Öncelikle, GPS, GLONASS, Galileo, ve BeiDou uyduları için tüm epoklarda alıcının kayıt etmesi gereken faz ve kod ölçümlerinin toplam sayısı ilgili frekanslar için belirlenmektedir. Daha sonra, bu ölçümler içinde verisi olmayan (RINEX dosyası içinde 0 veya boşluk gelen) kısımların toplam sayısı ilgili frekanslar için belirlenmektedir. Bunların oranı alınarak ilgili frekanstaki ve GNSS uydu sistemi için doluluk yüzdesi hesaplanmaktadır. Veri kaybının olmadığı durumlarda bu oran her bir frekans için %100 gelmesi gerekmektedir, ancak GNSS alıcına ve GNSS uydularına ait yazılımsal ve donanımsal sorunlar nedeni ile faz ve kod frekanslarına ait veri boşlukları RINEX dosyasının içinde oluşabilmektedir. Örnek olarak aşağıda ABMF istasyonunun 2023 06 05 08 56 30.0000000 epoğundaki ilgili satırın ilk dört kısmına ait veri kısmı verilmektedir.

```
R 20 C1C L1C D1C S1C C1P L1P D1P S1P C2P L2P D2P S2P C2C SYS / # / OBS TYPES
    L2C D2C S2C C3Q L3Q D3Q S3Q                SYS / # / OBS TYPES
> 2023 06 05 08 56 30.0000000
R06 24521416.666 3          2622.705 3      20.905
```

RINEX dosyasının header kısmında GLONASS uydularına ait 20 adet frekans belirtilmiştir. Veri kısmında L1C (faz ölçüsünün 1. frekansı) frekansına ait veri boş olarak gözükmemektedir.

Sonuçlar kısmında GPS, GLONASS, Galileo, ve BeiDou uyduları için bu frekansların doluluk oranları verilmiştir.

BULGULAR (RESULTS)

Yazılım aracılığı ile okutulan 322 adet istasyona ait RINEX verileri sonucu GPS, GLONASS, Galileo, ve BeiDou uyduları için 1. ve 2. frekanslardaki kod ve faz ölçülerinin ortalama doluluk oranları Tablo 1’de verilmiştir.

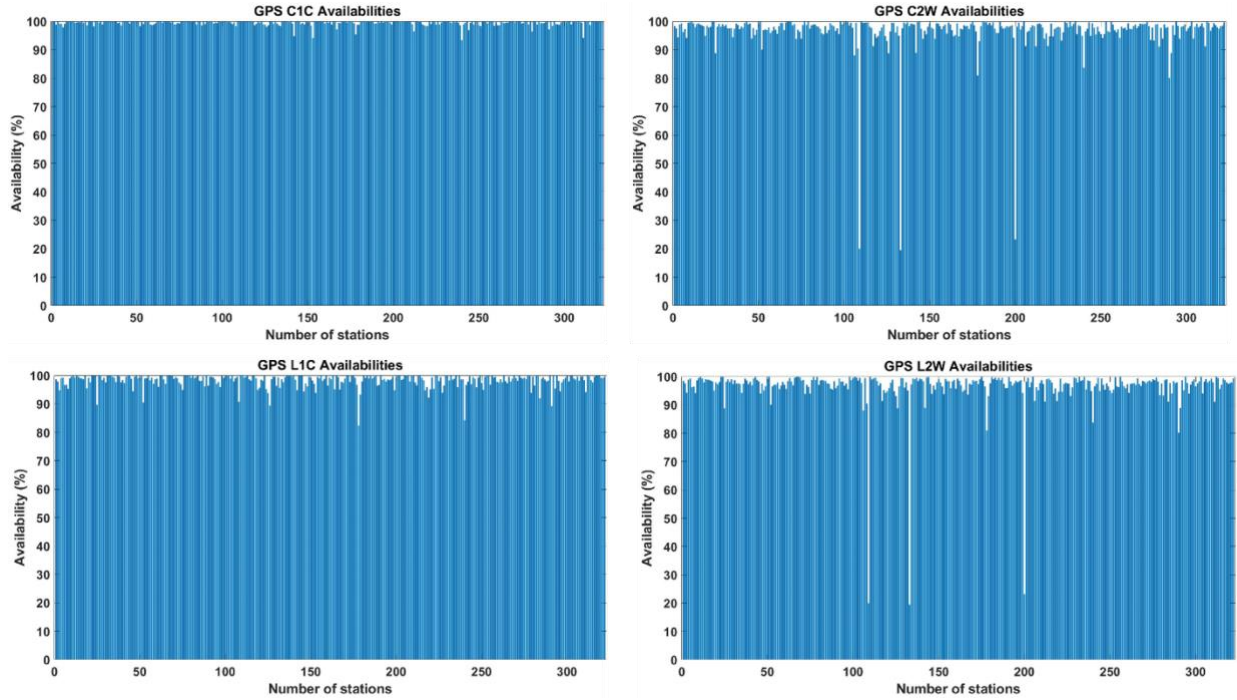
Tablo 1. Uydu sistemlerinin ortalama frekans doluluk oranları

UYDU SİSTEMİ	FREKANS TÜRÜ			
GPS	C1C	L1C	C2W	L2W
	99.5	98.3	96.6	96.5
GLONASS	C1C	L1C	C2P	L2P
	99.5	98.6	86.1	85.8
Galileo	C1C	L1C	C5Q	L5Q
	98.3	96.7	95.4	94.0
BeiDou	C2I	L2I	C6I	L6I
	98.6	97.3	96.2	94.8

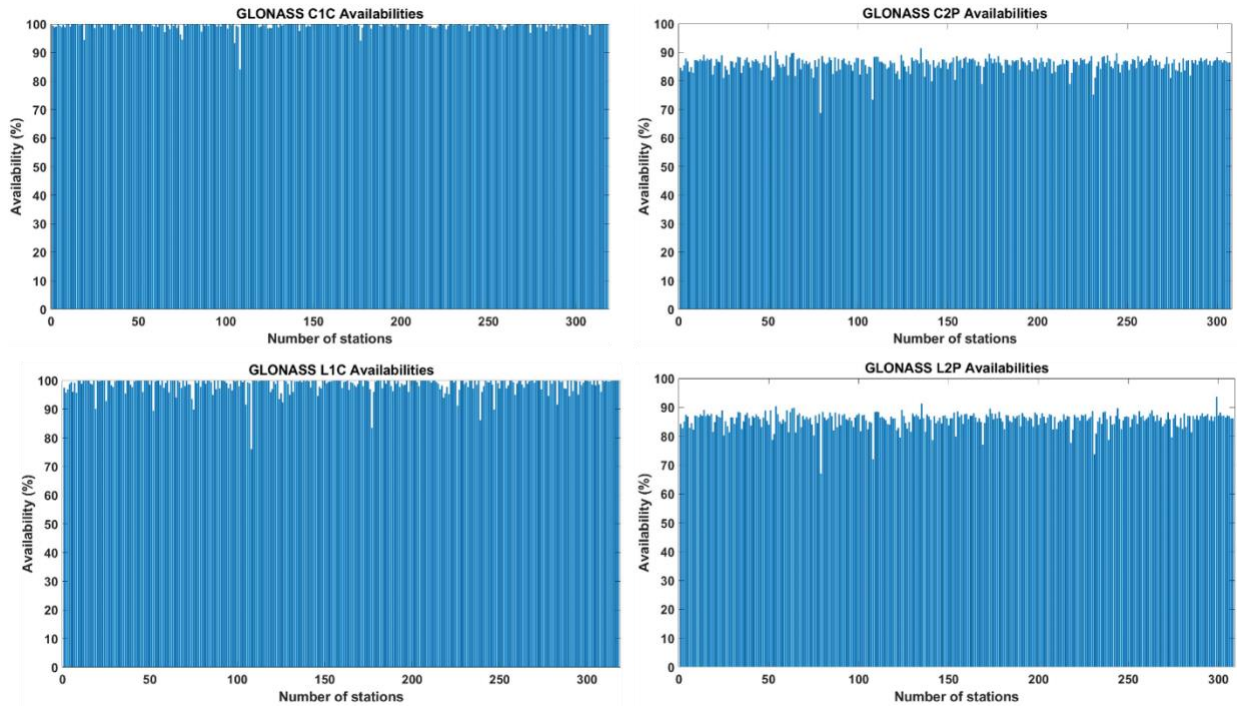
Tablo 1’de görüldüğü gibi GPS 1. kod ve faz doluluk oranları sırası ile %99.5 ve %98.3 olarak hesaplanmıştır. GPS 2. kod ve faz doluluk oranları ise %96’nın üzerindedir. Diğer uydu sistemlerinde ise 1. temel frekansta %96’nın üzerinde bir doluluk oranı söz konusudur. Tablo 1 detaylı olarak incelendiğinde, tüm uydu sistemlerinde 2. frekans doluluk oranları 1. frekansa göre daha düşüktür. Bu durum GLONASS

verilerinde daha net görülmektedir. Bunun temel sebebi GLONASS R06 ve R23 uydularının 2. frekansta yayın yapmaması kaynaklıdır. Bu durum yaklaşık %14'lük 2. frekansta veri kaybına yol açmaktadır. Bu uydulara ait 2. frekans boşluğu sadece bu çalışma için seçilen gün de değil, önceki tarihler için de geçerlidir. Bu durumun temel sebebi bilinmemekle beraber bu çalışmanın kapsamı dahilinde değildir. Ayrıca, tüm uydu sistemleri göz önüne alındığında doluluk oranları sistemler arasında oldukça tutarlı olup önemli bir fark görülmemektedir.

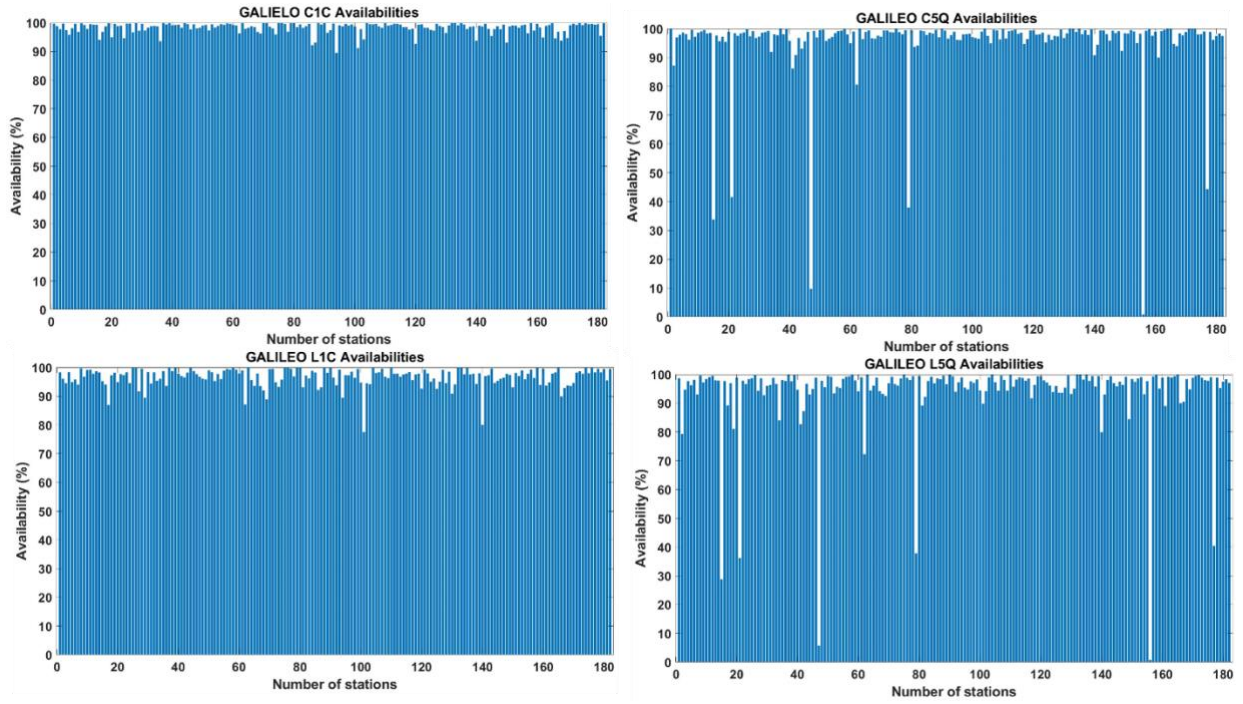
Şekil 3-4-5-6 sırası ile GPS, GLONASS, Galileo ve BeiDou uyduları için her bir istasyon için frekans doluluk oranlarını göstermektedir.



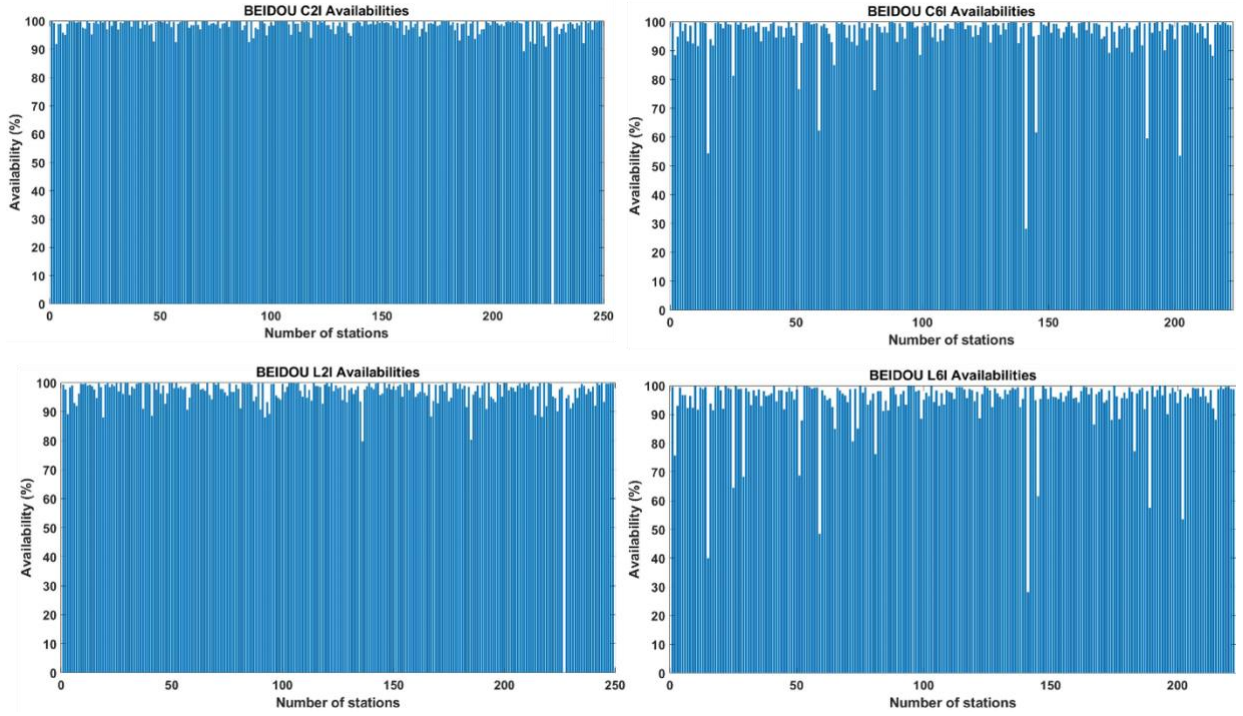
Şekil 3. İstasyon bazlı GPS 1. ve 2. temel frekans doluluk oranları



Şekil 4. İstasyon bazlı GLONASS 1. ve 2. temel frekans doluluk oranları



Şekil 5. İstasyon bazlı GALILEO 1. ve 2. temel frekans doluluk oranları



Şekil 6. İstasyon bazlı BeiDou 1. ve 2. temel frekans doluluk oranları

Şekil 3-4-5-6 incelendiğinde ikinci frekans faz ve kod doluluk oranlarının genellikle 1. frekans'a göre daha düşük olduğu görülmektedir. Ayrıca bazı istasyonların 1. ve 2. frekanstaki faz ve kod ölçümlerinde ciddi seviyelerde veri kaybı olduğu gözükmektedir. Bu durum daha çok Galileo ve BeiDou sistemleri için gözlenmektedir.

Örneğin ARUC istasyonunda Galileo C5Q ve L5Q sinyallerinin doluluk oranları sırası ile %33.8 ve %28.8 olarak hesaplanmıştır. GLPS istasyonunda BeiDou C6I ve L6I sinyallerinin doluluk oranları sırası ile %62.3 ve %48.5 olarak bulunmuştur. Bu durum, istasyonların farklı tarihteki RINEX verileri için de geçerlidir. Dolayısı ile alıcıdan kaynaklı donanımsal veya yazılımsal bir sorun olduğu büyük bir ihtimalle ön görülmektedir. GLONASS R06 ve R23 uydularının 2. frekansta yayın yapmaması nedeni ile tüm istasyonlar için 2. frekanstaki faz ve kod ölçümleri %90 doluluk oranının altında kalmıştır (yaklaşık %86).

IGS ağına dahil olan IGS-MGEX istasyonları içinde Galileo ve BeiDou uydu sistemlerini destekleyen alıcıların sayısı GPS ve GLONASS uydu sistemlerini destekleyen alıcılara göre daha düşük olduğu için her bir istasyona ait frekans doluluk oranlarında istasyon sayıları Galileo ve BeiDou uyduları için GPS ve GLONASS'a göre daha azdır.

Frekans boşlukları boşluk miktarına bağlı olarak Hassas Nokta Konum Belirleme (PPP) veya hassas görelî konum belirleme işlemlerinin yapılamamasına yol açabilmektedir. Örneğin, INEG istasyonunun GPS'e ait C2W ve L2W frekansları 05/06/2023 tarihi için %80 boş gelmiştir. Geleneksel kod ve faz ölçümleri kullanılarak yapılacak olan PPP veya görelî konum belirleme işlemlerinde (bu istasyonun sabit veya gezici olması durumunda) statik veya kinematik değerlendirmede sonuç alınmamaktadır.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR (DISCUSSION AND CONCLUSIONS)

Bu çalışma kapsamında 2023/06/05 tarihi için 322 adet IGS-MGEX istasyonunun 24 saatlik RINEX verileri, özel olarak geliştirilmiş yazılım aracılığı ile okutulup, GPS, GLONASS, Galileo, ve BeiDou uyduları için seçilen 1. ve 2. frekanslardaki kod ve faz ölçülerinin doluluk oranları hesaplanmıştır. Frekans seçiminde uydu yörünge ve IGS-MGEX istasyonlarının konumunun hesabında en çok tercih edilen C1C/C2W/L1C/L2W (GPS), C1C/C2P/L1C/L2P (GLONASS), C1C/C5Q/L1C/L5Q (Galileo), ve C2I/C6I/L2I/L6I (BeiDou) frekanslar seçilmiştir.

Sonuçlar analiz edildiğinde en yüksek frekans doluluk oranlarının GPS uydusu için olduğu görülmekle beraber diğer sistemlere göre farkların (GLONASS 2. Frekanslar hariç) genellikle %1 seviyelerinde olduğu görülmektedir. GLONASS R06 ve R23 uydularının 2. frekansta yayın yapmaması, GLONASS uydularının 2. frekanstaki doluluk oranlarını yaklaşık %14 olarak düşürmektedir. Sayıları tüm IGS-MGEX istasyonlarına göre kıyasla az da olsa bazı IGS-MGEX istasyonlarında ciddi veri kayıpları söz konusudur. Bu durum, GPS ve GLONASS'a göre daha yeni olan Galileo ve BeiDou uyduları için daha belirgindir. Bu tür istasyonlarda yazılımsal ve/veya donanımsal güncelleme yapılması gerekmektedir. Uydu sistemleri kendi içinde 1. ve 2. frekanslar bakımından incelendiğinde, 1. frekanstaki veri doluluğunun 2. frekansa göre daha yüksek olduğu ortaya çıkmıştır. GNSS sistemleri kendi arasında karşılaştırıldığında (GLONASS hariç) en düşük faz ve kod frekans oranlarının BeiDou sistemi için olduğu ortaya çıkmıştır (C2I L2I C6I L6I frekansları için sırası ile %98.6 %97.3 %96.2 %94.8).

Görelî hassas konum belirleme amaçlı değerlendirme işlemlerinde sıklıkla sabit noktalar için IGS istasyonları seçilmektedir (Koordinat zaman serisi analizleri ve ülkelerin ulusal datumlarının belirlenmesi gibi). Bu durumlarda, gezici olarak belirlenen alıcının frekans verilerinin dışında kontrol noktası olarak alınan IGS istasyonlarının da frekans verileri önem arz etmektedir. Sonradan değerlendirme işlemlerinde (post process) önce GNSS alıcısının topladığı kod ve faz ölçülerinin doluluk oranı analizlerinin, daha hassas ve doğru sonuçlara ulaşmak için, hem gezici hem de sabit alıcılar için yapılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA (REFERENCES)

- [1] M. Reguzzoni, L. Rossi, C.I. De Gaetani, S. Caldera, R. Barzaghi, GNSS-Based Dam Monitoring: The Application of a Statistical Approach for Time Series Analysis to a Case Study, *Applied Science*. 12 (2022), 9981. <https://doi.org/10.3390/app12199981>
- [2] S.S. Durduran, İ. Kalaycı, M. Şen, Kadastral Ölçmelerde Motorize GPSSİT (GPS Sanal İstasyon Tekniği) Yönteminin Kullanılabilirliği ve Coğrafi Bilgi Sistemine Entegrasyonu, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultay.*, 11-15 Mayıs (2009), Ankara
- [3] E. Jonuzi, S.S. Durduran, T. Alkan, North Macedonian Cadastre Towards Cadastre 2034, *Necmettin Erbakan University Journal of Science and Engineering*. 4(2) (2022), 26-44, <https://dergipark.org.tr/en/pub/neufmbd/issue/74887/1205803>
- [4] A. Varlık, M. Erdönmez, Yapılaşmış Alanlarda İnsansız Hava Araçları ile Eğik Resim Fotogrametrisi Uygulaması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2(2) (2020), 1-11, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/neufmbd/issue/59145/819853>

- [5] B. Keleş, S.S. Durduran, Osmaniye İlinin Arazi Örtüsü ve Kullanımındaki Zamansal Değişimin Uzaktan Algılama Teknikleri ile Araştırılması, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 1(1) (2019), 32-52, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/neufmbd/issue/44699/539863>
- [6] C. Cai, Y. Gao, Precise Point Positioning Using Combined GPS and GLONASS Observations, *Journal of Global Positioning Systems*. 6(1) (2007), 13–22.
- [7] S. Alçay, C. Inal, C.O. Yigit, M. Yetkin, Comparing GLONASS-only with GPS-only and Hybrid Positioning in Various Length of Baselines, *Acta Geodaetica et Geophysica Hungarica*. 47(1) (2012), 1-12, <https://doi.org/10.1556/AGeod.47.2012.1.1>
- [8] C. Cai, Y. Gao, GLONASS-Based Precise Point Positioning and Performance Analysis, *Advances in Space Researc..* 51(3) (2013), 514-524, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2012.08.004>
- [9] A. Angrisano, S. Gaglione, C. Gioia, Performance Assessment of GPS/GLONASS Single Point Positioning in an Urban Environment, *Acta Geodaetica et Geophysica*. 48 (2013), 149–161, [https://doi.org/10.1007/s40328-012-0010-4doi:10.1016/S0169-4332\(02\)00614-1](https://doi.org/10.1007/s40328-012-0010-4doi:10.1016/S0169-4332(02)00614-1)
- [10] C.O. Yigit, V. Gikas, S. Alçay, A. Ceylan, Performance Evaluation of Short to Long Term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS Post-Processed PPP, *Survey Review*, 46(3) (2014), 155-166, <https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000068>
- [11] R.M. Alkan, V. Ilci, I.M. Ozulu, M.H. Saka, A Comparative Study for Accuracy Assessment of PPP Technique Using GPS and GLONASS in Urban Areas, *Measurement*. 69 (2015), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.03.012>
- [12] Ö. Yurdakul, İ. Kalaycı, GLONASS’ın Kısa Bir Bazda (5 Km) Ağ Bazlı RTK Tekniklerine (VRS, FKP, MAC) Etkisi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 2(2) (2020), 38 - 51, <https://dergipark.org.tr/tr/pub/neufmbd/issue/59145/825596>
- [13] F. Xia, S. Ye, P. Xia, L. Zhao, N. Jiang, D. Chen, G. Hu, Assessing the Latest Performance of Galileo-Only PPP and the Contribution of Galileo to Multi-GNSS PPP, *Advances in Space Research*. 63(9) (2019), 2784–2795. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.06.008>
- [14] W. Liu, M. Wu, X. Zhang, W. Wang, W. Ke, Z. Zhu, Single-epoch RTK Performance Assessment of Tightly Combined BDS-2 and Newly Complete BDS-3, *Satellite Navigation*. 2(6) (2021), 1–17, <https://doi.org/10.1186/s43020-021-00038-y>
- [15] G. Jiao, S. Song, Y. Ge, K. Su, Y. Liu, Assessment of BeiDou-3 and Multi-GNSS Precise Point Positioning Performance, *Sensors*. 19 (2019), 2496. <https://doi.org/10.3390/s19112496>
- [16] K. Su, S. Jin, & Y. Ge, Rapid Displacement Determination with a Stand-Alone Multi-GNSS Receiver: GPS, Beidou, GLONASS, and Galileo, *GPS Solutions*. 23, 54 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0840-4>
- [17] S. Erol, Comparative Study for Performance Analysis of Kinematic Multi-Constellation GNSS PPP in Dynamic Environment, *Journal of Marine Science and Engineering*. 8 (2020), 514. <https://doi.org/10.3390/jmse8070514>
- [18] H. Karimi, An Analysis of Satellite Visibility and Single Point Positioning with GPS, GLONASS, Galileo, and BeiDou-2/3, *Applied Geomatics*. 13 (2021), 781–791, <https://doi.org/10.1007/s12518-021-00391-2>
- [19] S. Oğutcu, A. Shakor, H. Farhan, Investigating the Effect of Observation Interval on GPS, GLONASS, Galileo and BeiDou static PPP, *International Journal of Engineering and Geosciences*. 7(3) (2022), 294-301, <https://doi.org/10.26833/ijeg.980148>
- [20] Z. Hou, F. Zhou, Assessing the Performance of Precise Point Positioning (PPP) with the Fully Serviceable Multi-GNSS Constellations: GPS, BDS-3, and Galileo, *Remote Sensing*. 15 (2023), 807. <https://doi.org/10.3390/rs15030807>
- [21] P. Liu, K.V. Ling, H. Qin, T. Liu, Performance Analysis of Real-Time Precise Point Positioning with GPS and BDS State Space Representation, *Measurement*. 215 (2023), 112880, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112880>
- [22] X. Yan, C. Liu, M. Jiang, M. Yang, W. Feng, M. Zhong, I. Peng, Performance Analysis of Oceanographic Research Vessel Precise Point Positioning Based on BDS/GNSS RTK Receivers,

- Measurement*. 211 (2023), 112637, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2023.112637>
- [23] L. Zhao, P. Blunt, L. Yang, S. Ince, Performance Analysis of Real-Time GPS/Galileo Precise Point Positioning Integrated with Inertial Navigation System, *Sensors*. 23 (2023), 2396. <https://doi.org/10.3390/s23052396>
- [24] 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) (2020), 247–267. <https://doi.org/10.1017/S0373463320000508>
- [25] B. Duan, U. Hugentobler, O. Montenbruck, P. Steigenberger, Performance of Galileo Satellite Products Determined from Multi-Frequency Measurements, *Journal of Geodesy*. 97(4) (2023), 32, <https://doi.org/10.1007/s00190-023-01723-3>
- [26] P. Steigenberger, Z. Deng, J. Guo, L. Prange, S. Song, O. Montenbruck, BeiDou-3 Orbit and Clock Quality of the IGS Multi-GNSS Pilot Project, *Advances in space research*. 71(1) (2023), 355-368, <https://doi.org/10.1016/j.asr.2022.08.058>
- [27] F. Guo, X. Li, X. Zhang, J. Wang, Assessment of Precise Orbit and Clock Products for Galileo, BeiDou, and QZSS from IGS Multi-GNSS Experiment (MGEX), *GPS Solutions*, 21 (2017), 279-290, <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0523-3>
- [28] S. Schaer, SINEX BIAS—Solution (Software/technique) INdependent EXchange Format for GNSS BIASes Version 1.00, (2011). http://ftp.aiub.unibe.ch/bcwg/format/draft/sinex_bias_100_feb07.pdf (Erişim 8 Haziran 2023)
- [29] W. Gurtner, & L. Estey, Rinex-the Receiver Independent Exchange Format-Version 3.00. Astronomical Institute, University of Bern and UNAVCO, (2007), Bolulder, Colorado.