

Araştırma Makalesi / Research Article

23.11.2022 (Mw5.9) Gölyaka-Düzce depremde TUSAGA-Aktif İstasyonlarının davranışlarının incelenmesiŞeyma ŞAFK YAŞAR^{1*}, Eda Esmâ EYÜBAGİL², Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK²,¹Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar.²Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar e-posta*: ssafak@aku.edu.tr

edaeyubagil@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-7616-5915>ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4790-0543>ece-bengunaz.cakansimsek@usr.aku.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9926-0264>

Geliş Tarihi: 07.01.2023

Kabul Tarihi: 08.06.2023

Öz**Anahtar kelimeler**

Gölyaka-Düzce depremi; Kinematik PPP; CSRS-PPP; PRIDE PPP-AR; GAMIT/TRACK.

Bu çalışmada, 23.11.2022 tarihinde meydana gelen (Mw:5.9) Gölyaka-Düzce depreminin 12 adet TUSAGA-Aktif istasyonu üzerindeki etkisi CSRS-PPP, PRIDE PPP-AR ve GAMIT/TRACK yazılımları ile incelenmiştir. İstasyonlara ait deprem anını içeren 2 saatlik 1-Hz veriler değerlendirmede kullanılmıştır. Depremin neden olduğu deformasyonun araştırılması için 20.11.2022-27.11.2022 tarihlerine ait kesintisiz veriler GAMIT/GLOBK yazılım takımında işlenmiştir. 12 istasyonun farklı yazılımlarla değerlendirilmesine göre deprem dalgasının istasyonlara ulaşma süresi belirlenmiştir. Ulaşma süreleri ve istasyonların depremin merkez üssüne olan yaklaşık uzaklıklarından yararlanarak deprem dalgasının istasyonlara ulaşma hızı hesaplanmıştır.

Investigation of the behavior of TUSAGA-Active Stations in the 23.11.2022 (Mw5.9) Gölyaka-Düzce Earthquake**Abstract****Keywords**

Golyaka-Duzce earthquake; Kinematic PPP; CSRS-PPP; PRIDE PPP-AR; GAMIT/TRACK.

In this study, the impact of the 23.11.2022 Gölyaka-Düzce earthquake (Mw5.9) on 12 TUSAGA-Aktif stations was examined using the software CSRS-PPP, PRIDE PPP-AR, and GAMIT/TRACK2 hours and 1-Hz data including the during the earthquake of the stations were used during the evaluation. In order to investigate the deformation caused by the earthquake, continuous data from the 20.11.2022 to the 27.11.2022 were used. These data were processed in the GAMIT/GLOBK software. According to the evaluation of 12 stations with different software, the arrival time of the earthquake wave to the stations was determined. The velocity of the earthquake wave reaching the stations was calculated by using the arrival times and the approximate distances of the stations from the epicenter of the earthquake.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Günümüzde küresel uydularla konumlandırma sistemleri (Global Navigation Satellite Systems GNSS) aracılığıyla uzun süreli yapılan gözlemler ve bağıl konumlandırma teknikleri kullanılarak yer kabuğunun deprem öncesi (pre-sismik) depremler anı (inter-sismik) ve deprem sonrası (post-sismik) dönemlerindeki hareketleri izlenebilmektedir. Bu teknoloji özellikle kısa bir süre içerisinde güvenilir sonuçlara ulaşmayı mümkün kılmaktadır. Ayrıca

GNSS teknolojisi, sismo-jeodezi çalışmalarında deprem anı dönemdeki (kosismik) yer değiştirmelerin belirlenmesinde ve bu yer değiştirmelerin ters çözümleriyle depreme neden olan aktif yapıların modellenmesinde etkin olarak kullanılmaktadır (Yavaşoğlu vd. 2011, Güllal vd. 2013, Uzel vd. 2013, Tiryakioğlu 2015, Tiryakioğlu vd. 2017a, Tiryakioğlu vd. 2017b, Tiryakioğlu vd. 2017c, Doğan vd. 2021, Aktuğ vd. 2021).

GNSS teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak çeşitli kuruluşlar tarafından bilimsel veya ticari

amaçlarla GNSS veri değerlendirme yazılımları ve Web tabanlı, çevrimiçi veri değerlendirme servisleri geliştirilmiştir. Bu yazılım ve servisler kullanıcılara ücretsiz olarak hassas efemeris ve saat bilgilerinin erişimini sağlamaktadır. Ek olarak, statik veya kinematik değerlendirme ve gerçek zamanlı şekilde veya sonradan değerlendirme (post-process) seçenekleri bulunmaktadır. Veri değerlendirmede gelinen bu nokta sayesinde düşük maliyete sahip hassas nokta konumlama (Precise Point Positioning PPP) tekniğinin konum performansı artarak yüksek doğruluk gerektiren çalışmalarda uygulanabilir hale gelmiştir (Bezcioglu vd. 2018, Karadeniz vd. 2021, Yigit vd. 2021, Özbulat vd. 2022). 1 Hertz (Hz) ve daha yüksek frekanslı GNSS verileri ve kinematik PPP tekniği son yıllarda sismo-jeodezi çalışmalarında sıklıkla kullanılmaktadır. Bu teknikle gerçekleştirilen çalışmalar, özellikle depremlerin neden olduğu sismik dalgaların alıcılardaki anlık davranışlarının belirlenmesi için tamamlayıcı nitelik taşımaktadır (Kouba 2003, Larson vd. 2003, Bock vd. 2004, Larson 2009, Fang vd. 2014, Yigit 2016, Tiryakioğlu vd. 2017a, Bezcioglu vd. 2021).

23.11.2022 tarihinde, Türkiye saati ile 04:08:15'de Gölyaka-Düzce merkez üssünde Mw5.9 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. Düzce ili ve çevresi başta olmak üzere Türkiye'nin farklı birçok bölgesinde hissedilen depremin büyüklüğü çeşitli sismoloji kurumları tarafından Mw5.9 (T.C. İç İşleri Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı AFAD), Mw6.0 (Kandilli Observatory and Earthquake Institute KOERI), Mw6.1 (The United States Geological Survey USGS) olarak açıklanmıştır (Int Kyn. 1, Int Kyn. 2, Int Kyn. 3).

Bu çalışmada 23.11.2022 tarihinde meydana gelen Gölyaka-Düzce depreminin neden olduğu anlık koordinat değişimlerinin ve deprem sonrası meydana gelen yer değiştirmelerin belirlenmesi için Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) sistemine ait 19 istasyon seçilmiştir. Bu istasyonlardan koordinat deformasyon görülmeyenler değerlendirmeye alınmamıştır. Deprem anındaki anlık davranışlar için 12 TUSAGA-Aktif istasyonundan alınan 1-Hz veriler Web tabanlı çevrimiçi bir veri değerlendirme servisi olan The

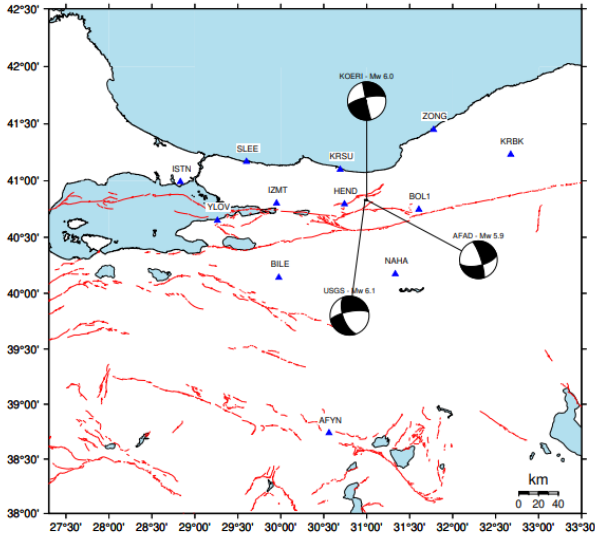
Canadian Geodetic Survey of Natural Resources Canada (CSRS) PPP ile kinematik olarak ve Wuhan Üniversitesi GNSS Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen bilimsel değerlendirme yazılımı PRIDE-PPP AR ile kinematik olarak değerlendirilmiştir. 1-Hz veriler ayrıca bağıl konumlandırma teknikleri kullanarak değerlendirme gerçekleştiren GAMIT-TRACK yazılımında işlenmiştir. Verilerin üç farklı yazılımla değerlendirilmesi sonucunda deprem dalgasının istasyonlarda oluşturduğu koordinat değişimlerinin grafikleri elde edilmiştir. Deprem dalgasının istasyonlara ulaşma sürelerinden yararlanılarak depremin istasyonlara ulaşma hızları hesaplanmıştır. Ayrıca 12 istasyona ait 24 saatlik veriler depremin neden olduğu deformasyonun araştırılması amacıyla GAMIT/GLOBK bilimsel yazılım takımında da işlenmiştir. Her istasyon için farklı yazılımlar kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Gölyaka-Düzce depremi, 23.11.2022 tarihinde AFAD değerlendirmelerine göre yerel saat ile 04:08:15'de (UTC saatiyle 01:08:15) 5.9 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü farklı ulusal ve uluslararası sismoloji kurumları tarafından Mw6.0 (Kandilli Observatory and Earthquake Institute KOERI), Mw6.0 (KOERI), Mw6.1 (USGS) olarak açıklanmıştır. Depremin odak derinliği ise 6.8 km (AFAD), 10.6 km (KOERI), 11 km (USGS) olarak verilmiştir. Depremin sismik kaynağı, yapılan odak mekanizma çözümlerine göre doğrultu atım fay mekanizmasına sahip Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) içerisinde yer alan K71°D doğrultulu Karadere segmenti olarak belirlenmiştir. Karadere segmenti, yaklaşık 35-40 km uzunluğa sahiptir. Deprem segmentin kuzeydoğu ucunda meydana gelmiştir. Bu kısım, 1999 yılında meydana gelen İzmit (Mw7.6) ve Düzce (Mw7.1) depremlerinde kırılmayan kısımdır. AFAD ve Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) tarafından hazırlanan deprem raporlarına göre 23.11.2022 tarihinde meydana gelen bu depremin daha önce 1999 depreminde kırılmamasından kaynaklı meydana geldiği düşünülmektedir (Int Kyn. 1, Int Kyn. 2, Int Kyn. 3, Int Kyn. 4).

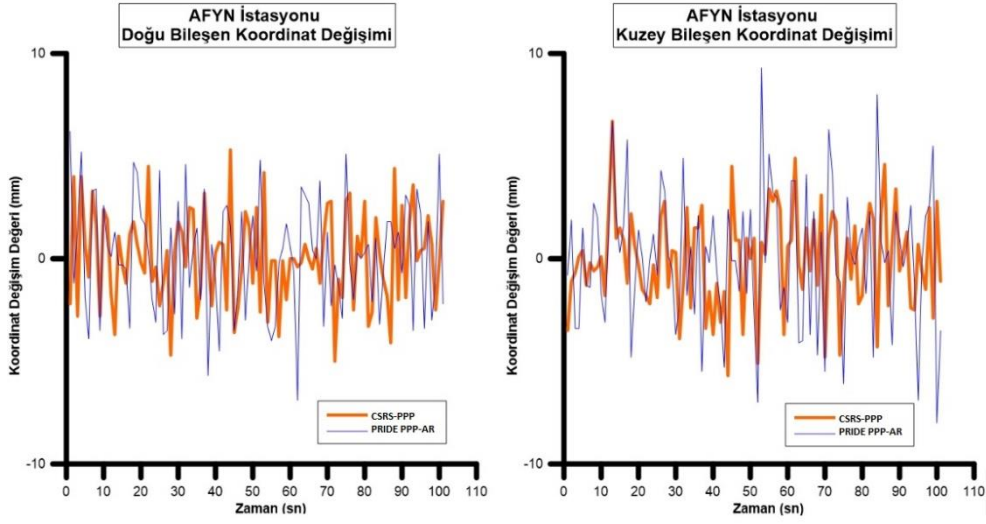
Gölyaka-Düzce depreminin neden olduğu anlık davranışların ve deprem sonrası meydana gelen anlık koordinat değişimlerinin belirlenmesi amacıyla 12 TUSAGA-Aktif GNSS istasyonu seçilmiştir. TUSAGA-Aktif istasyonlarına ait GNSS verileri Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) internet sitesinden 1-Hz olarak RINEX formatında elde edilmiştir (Int Kyn. 5). Verileri elde edilen istasyonlar deprem merkez üssünden olan yaklaşık uzaklıklarına göre sırası ile; HEND, KRSU, BOL1, NAHA, IZMT, ZONG, BILE, SLEE, YLOV, KRBK, ISTN, AFYN istasyonlarıdır. Çalışmada kullanılan 12 adet istasyon ile KOERİ, USGS ve AFAD tarafından elde edilen deprem çözümleri Şekil 1'de verilmiştir.

değerlendirme servisi olan CSRS-PPP'de, kinematik yöntemle değerlendirilmiştir. Bu veriler aynı zamanda Wuhan Üniversitesi GNSS Araştırma Merkezi tarafından üretilen bilimsel yazılım PRIDE-PPP AR ile kinematik olarak değerlendirilmiştir. Bu veriler GAMIT/TRACK yazılım takımı ile de değerlendirilmiştir. Değerlendirmeye alınan istasyonlar arasında deprem merkez üssüne en uzak AFYN istasyonudur. CSRS-PPP ve PPP-AR değerlendirme sonuçlarına göre bu istasyonda deprem anında koordinat değişimi görülmemiş olup GAMIT/TRACK yazılım takımında AFYN istasyonu sabit alınarak değerlendirme yapılmıştır. (Şekil 2).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan 12 adet TUSAGA-Aktif istasyonu ve farklı ulusal ve uluslararası sismoloji kurumlarına ait deprem odak mekanizma çözümleri.

Çözümlenen 1-Hz veriler, üç farklı yazılım ile değerlendirilerek GNSS istasyonlarında meydana gelen koordinat değişimleri incelenmiştir. Her bir epokta elde edilen koordinatların birbirleri arasındaki (epoklar arasındaki) farklar elde edilmiştir. Deprem anını kapsayacak şekilde 2 saatlik veriler değerlendirilmiştir. Değerlendirme aşamasında yalnızca GPS uyduları kullanılmıştır. Bu veriler, öncelikle web tabanlı çevrimiçi bir veri

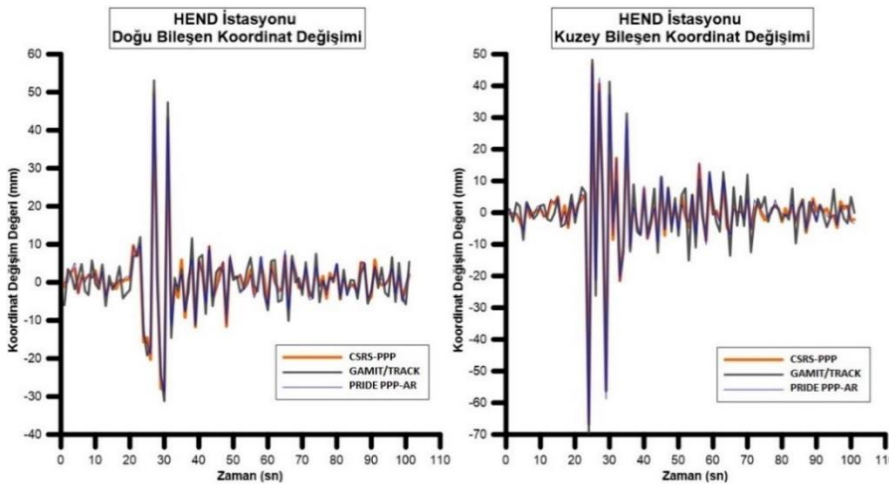


Şekil 2. AFYN istasyonu kinematik-PPP ve PPP-AR yazılımlarına göre doğu ve kuzey bileşen koordinat değişimi grafikleri.

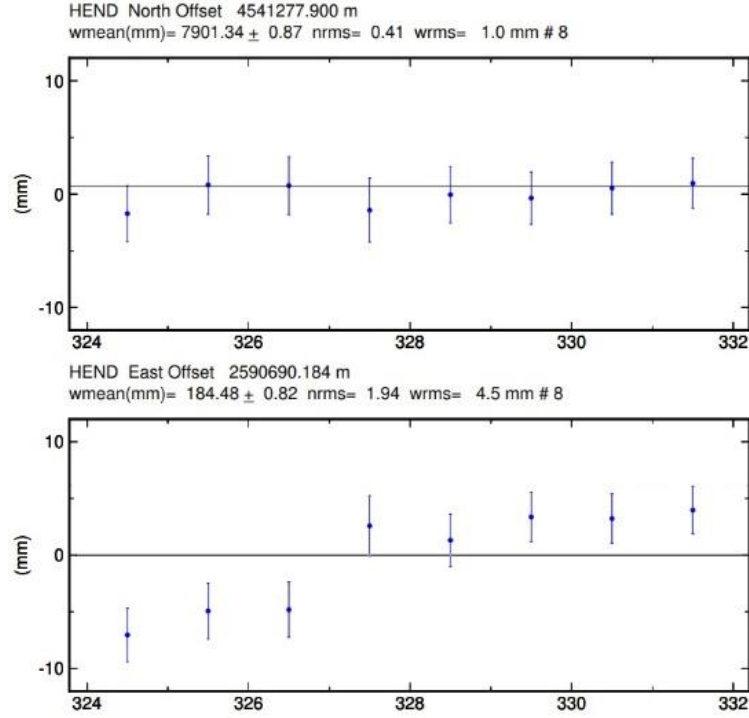
Ayrıca TKGM' den bu istasyonların 20.11.2022-27.11.2022 tarihleri arasındaki 24 saatlik 30 s RINEX verileri de temin edilmiştir. Bu veriler ise GAMIT/GLOBK yazılım takımında istasyonlarda depremin neden olduğu kalıcı deformasyonun araştırılması için statik olarak değerlendirilmiştir. Verilerin değerlendirilmesi aşamasında tüm yazılımlarda IGS hassas uydu yörünge ve saat hatası ürünleri kullanılmıştır. Bu değerlendirme sonuçlarına göre her istasyonun her üç koordinat bileşeni için zaman serileri elde edilmiştir. Deprem UTC saatine göre 01:08:15'de meydana gelmiştir. GPS ile UTC saati arasında 18 saniye fark bulunmaktadır. Her iki zaman dilimini eşitlemek için 18 saniyelik artık saniye (leap sec.) hatası giderilmiştir. Tüm istasyonlara ait değerlendirilen 2 saatlik verilerden GPS saatine göre deprem anını

içeren 01:08:21-01:09:53 zaman aralığı belirlenmiştir.

Deprem merkez üssüne en yakın olan (yaklaşık 11 km uzaklıkta bulunan) HEND istasyonu CSRS-PPP, GAMIT/TRACK ve PRIDE-PPP AR yazılımları ile değerlendirilmiştir. Bu istasyonun doğu ve kuzey bileşenlerinde ardışık iki epok arasındaki en fazla koordinat değişimi depremin oluş saatinden 9 s. sonra olmuştur. Değişimler HEND istasyonunun doğu bileşeni için 55 mm, kuzey bileşen için ise 70 mm civarında elde edilmiştir (Şekil 3). Bu istasyonun GAMIT/GLOBK ile elde edilen kısa dönem zaman serisi incelendiğinde; depremin doğu bileşende 7-8 mm civarında yer değiştirmeye neden olduğu belirlenmiştir (Şekil 4).



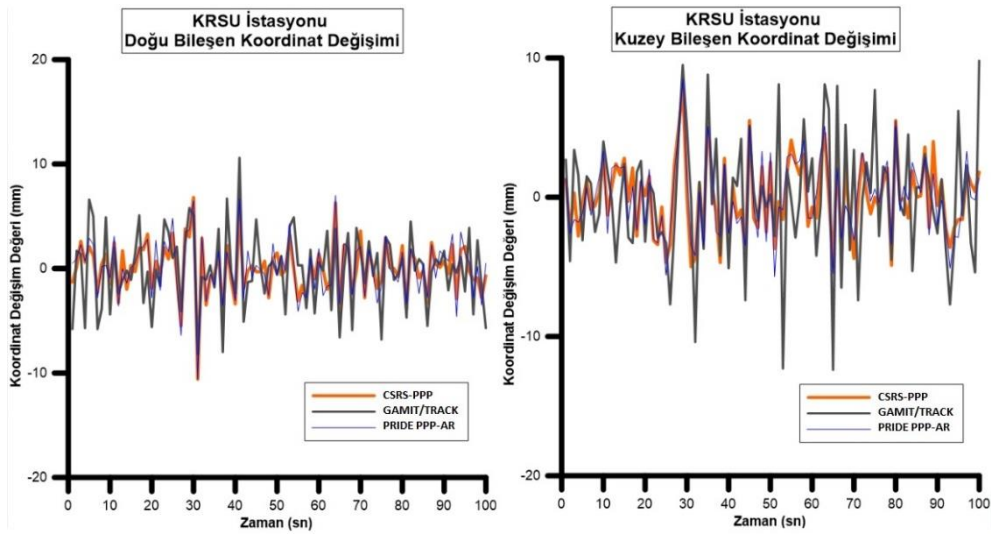
Şekil 3. HEND istasyonu doğu ve kuzey bileşen koordinat değişim değerleri.



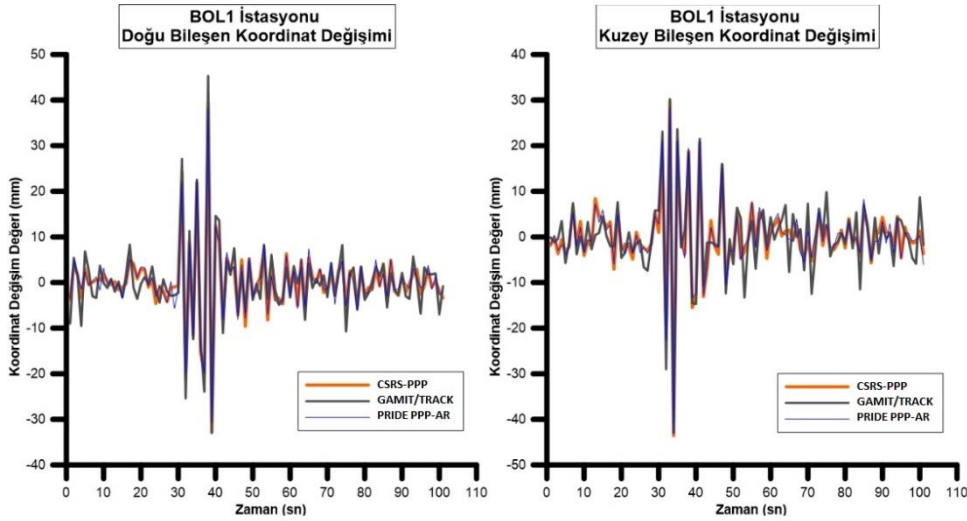
Şekil 4. HEND istasyonu GAMIT/GLOBK ile elde edilen kısa dönem zaman serisi.

Deprem merkez üssünden yaklaşık 41 km uzaklıkta bulunan KRSU istasyonunda maksimum koordinat değişimi depremin oluş saatinden 15 s sonra görülmüştür. KRSU istasyonunda Kuzey ve Doğu bileşenler incelendiğinde gürültünün fazla olduğu görülmüştür. Doğu bileşende koordinat değişimi 11 mm, kuzey bileşende 10 mm

civarında elde edilmiştir (Şekil 5). Yaklaşık 53 km uzaklıkta bulunan BOL1 istasyonunun doğu ve kuzey bileşenleri için koordinatları arasındaki en fazla değişim depremin oluş saatinden 15 s sonra olmuştur. Doğu bileşeni için koordinat değişimi 46 mm, kuzey bileşeni için ise 44 mm civarında elde edilmiştir (Şekil 6).



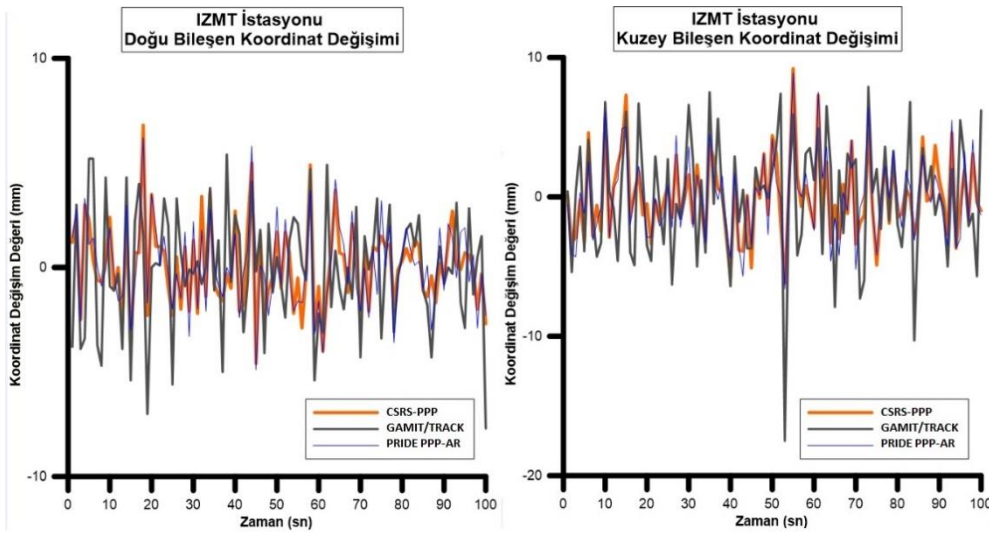
Şekil 5. KRSU istasyonu doğu ve kuzey bileşen koordinat değişim değerleri.



Şekil 6. BOL1 istasyonu doğu ve kuzey bileşen koordinat değişim değerleri.

Yaklaşık 72 km uzaklıkta bulunan NAHA istasyonunun değerlendirmelere göre doğu bileşeninde koordinatlar arasındaki en fazla fark 12 mm civarında ve depremin meydana geliş saatinden 27 saniye sonra görülmüştür. Kuzey bileşen için ise her üç değerlendirme sonucunda gürültünün fazla olduğu görülmüştür. Bu nedenle kuzey bileşende anlamlı bir koordinat değişimi

belirlenememiştir. IZMT istasyonunun doğu bileşeninde gürültü fazla olduğu için bu bileşende anlamlı bir koordinat değişimi belirlenememiştir. Kuzey bileşende ise yalnızca GAMIT/TRACK değerlendirmesinde koordinat değişimi depremin oluş saatinden 38 saniye sonra 18 mm civarında elde edilmiştir (Şekil 7).



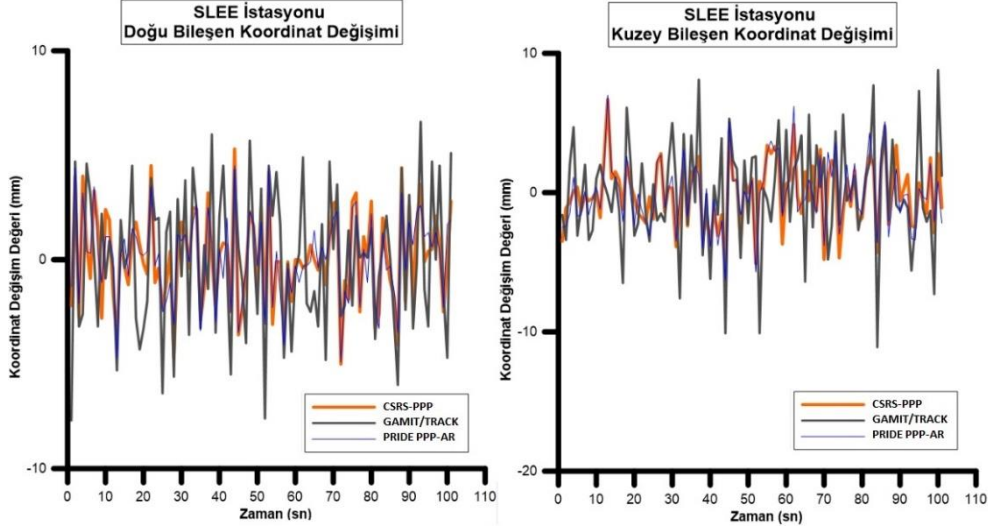
Şekil 7. IZMT istasyonu doğu ve kuzey bileşen koordinat değişim değerleri.

Deprem merkez üssünden sırasıyla 90 km ve 110 km uzaklıkta olan ZONG, BILE ve KRBK istasyonlarının doğu bileşenlerinde gürültünün fazla olduğu görülmüştür. Kuzey bileşenler için ise yalnızca GAMIT/TRACK değerlendirmesi sonucunda

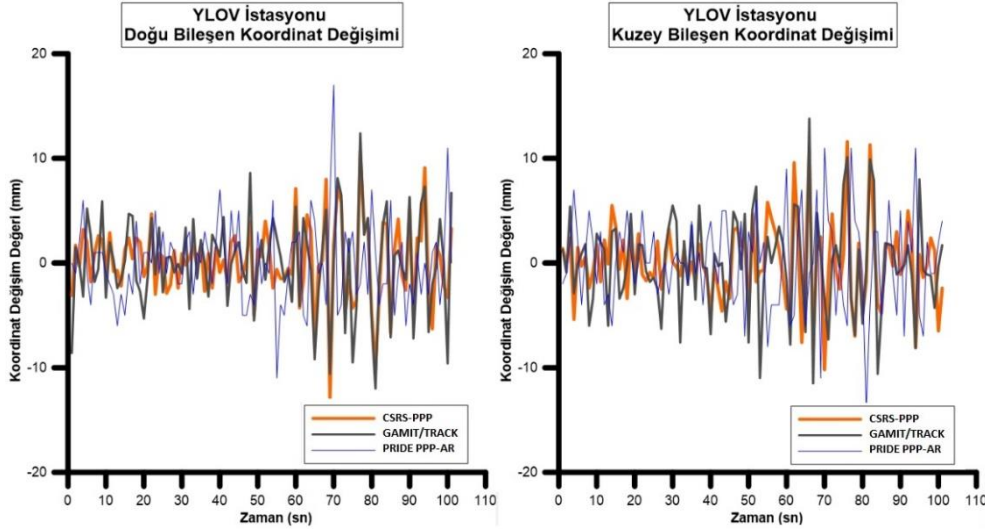
koordinat değişimi 13 -20 mm civarında; 37 s ve 38 s olarak belirlenmiştir.

SLEE istasyonunda her iki bileşende gürültünün fazla olduğu görülmüştür. Bu sebeple koordinat değişimi belirlenememiştir (Şekil 8). YLOV istasyonunda en fazla koordinat değişimi değerlendirmelere göre

depremin oluş süresinden 52 s sonra görülmüştür. Doğu bileşende en fazla koordinat değişimi PRIDE-PPPAR değerlendirmesi sonucunda 17 mm civarında elde edilmiştir. Kuzey bileşen için ise CSRS-PPP ve GAMIT/TRACK değerlendirmeleri sonucu 14 mm civarında elde edilmiştir (Şekil 9).



Şekil 8. SLEE istasyonu doğu ve kuzey bileşen koordinat değişim değerleri.



Şekil 9. YLOV istasyonu doğu ve kuzey bileşen koordinat değişim değerleri.

ISTN istasyonunun her iki bileşeninde koordinatlar arasındaki değişim depremin oluş saatinden 57 s. sonra 20 mm civarında elde edilmiştir.

Seçilen 12 adet istasyondan AFYN istasyonu GAMIT/TRACK değerlendirmesinde sabit alınmıştır. 11 adet istasyonun deprem merkez üssüne olan uzaklıkları ve en fazla koordinat değişiminin görüldüğü saniyelerden yararlanarak hesaplanan deprem dalgasının yayılma hızları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Deprem dalgasının tüm istasyonlara deprem merkez üssünden yaklaşık uzaklıklarına göre ilk ulaşma saniyesi ve hesaplanan hızları.

Deprem Dalgasının Ulaşma Saniyesi					
Nokta Adı	Merkez Üssüne Olan Yaklaşık Mesafe (km)	CSRS-PPP	PRIDE PPP-AR	GAMIT/TRACK	Hız (km/s)
HEND	21	9	9	9	2.3
KRSU	41	15	15	15	2.7
BOL1	53	16	16	16	3.3
NAHA	72	27	27	27	2.6
IZMT	88	38	38	38	2.3
ZONG	98	-	-	39	2.5
BILE	110	-	-	38	2.8
SLEE	125	-	-	-	-
YLOV	145	-	52	-	2.7
KRBK	150	-	-	38	3.9
ISTN	182	57	57	57	3.1

3. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, 23.11.2022 tarihinde meydana gelen Gölyaka-Düzce depreminde sonra merkez üssüne farklı konumlarda bulunan 12 tane TUSAGA-Aktif istasyonunun 2 saatlik verileri CSRS-PPP, PRIDE-PPP AR, GAMIT/TRACK yazılımları ile ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda istasyonların deprem anını içeren 100 saniyelik zaman dilimine bağlı kuzey ve doğu bileşenleri için koordinat değişimlerinin grafikleri elde edilmiştir. 12 istasyon içerisinde deprem anında her iki bileşen için en fazla koordinat değişimi HEND ve BOL1 istasyonlarında görülmüştür (Şekil 3, Şekil 6). Deprem dalgasının HEND istasyonuna ulaşma saniyesi üç yazılımda da uyumlu olarak elde edilmiştir. BOL1 istasyonu için ise HEND istasyonuna benzer şekilde üç yazılımda elde edilen sonuçların birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür. Ayrıca GAMIT/GLOBK ile HEND istasyonuna ait kısa dönem zaman serisi incelendiğinde, depremin kalıcı olarak yer değiştirmeye neden olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4).

KRSU ve ISTN istasyonlarının doğu ve kuzey bileşenleri incelendiğinde üç yazılımın birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür (Şekil 5). NAHA istasyonunun doğu bileşeni için deprem anındaki koordinat değişimi üç yazılımda uyumlu şekilde elde edilmiştir. Ancak kuzey bileşende gürültü fazla olduğu için anlamlı bir değişim görülmemiştir. Şekil 7 incelendiğinde, IZMT istasyonunun kuzey

bileşeninde sadece GAMIT/TRACK değerlendirmesi sonucunda koordinat değişimi görülmüştür. Fakat doğu bileşende bu değişim üç yazılım değerlendirmesinde de gürültü nedeniyle belirlenememiştir. YLOV istasyonunda ise doğu bileşende yalnızca PRIDE PPP-AR değerlendirmesi sonucunda koordinat değişimi belirlenmiştir. Kuzey bileşendeki koordinat değişimi CSRS-PPP ve GAMIT/TRACK yazılımları ile uyumlu olarak elde edilmiştir (Şekil 9).

CSRS-PPP, PRIDE PPP-AR ve GAMIT/TRACK yazılımlarıyla elde edilen sonuçlar incelendiğinde deprem anında ZONG, BILE ve KRBK istasyonlarının doğu ve kuzey bileşenlerinde benzer davranışlar yakalanmıştır. Her üç istasyonun kuzey bileşeninde gürültü fazla olduğundan deprem dalgasının ulaşma süresi ve koordinat değişimi belirlenememiştir. Üç istasyonun doğu bileşeninde de deprem dalgalarının ulaşma süreleri ve koordinat değişimleri GAMIT/TRACK yazılımı ile elde edilmiştir.

SLEE istasyonunda her üç yazılımın sonuçları incelendiğinde doğu ve kuzey bileşenlerde gürültü fazla olduğundan deprem dalgasının ulaşma süresi ve koordinat değişimi belirlenememiştir (Şekil 8). Deprem merkez üssüne en yakın istasyon olan HEND istasyonuna deprem dalgasının ulaşma hızı 2.3 km/s olarak hesaplanmıştır. Aynı hız değeri deprem merkez üssünden yaklaşık 88 km uzaklıkta bulunan IZMT istasyonu için elde edilmiştir. Bu iki istasyon için hesaplanan hız değeri tüm hesaplanan hız

değerleri arasında en küçük değer olmuştur. Bu istasyonlar arasında deprem dalgasının en büyük hız değeri 3.9 km/s olarak KRBK istasyonunda hesaplanmıştır. En uzak istasyon olan ISTN istasyonuna ise 3.1 km/s hızda ulaştığı belirlenmiştir. Çizelge 1’de deprem dalgasının yayılma hızlarının farklı olmasının nedenleri olarak; tesislerin farklı jeolojik formasyonlar üzerinde, bina üstünde ya da zeminde bulunması ve veri örneklem aralığının 1-Hz olabileceği düşünülmektedir.

5. Kaynaklar

- Aktug, B., Tiryakioğlu, I., Sözbilir, H., Özener, H., Özkaymak, Ç., Yiğit, C.O., Solak, H. İ., Eyübagil, E. E., Gelin, B., Tatar O., Softa M., 2021. GPS derived finite source mechanism of the 30 October 2020 Samos earthquake, Mw = 6.9, in the Aegean extensional region, *Turkish Journal of Earth Sciences*, **30**: 718-737
- Bezicioğlu, M., Yiğit, C.Ö., Bodur, M. N., 2018. Kinematik PPP-AR ve geleneksel PPP yöntemlerin performanslarının değerlendirilmesi: Antarktika Yarımadası örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*. 162-169.
- Bezicioğlu, M., Karadeniz, B., Yiğit, C.Ö., Dindar, A. A., Tiryakioğlu, I., Aktug, B., Real-time precise point positioning (RT-PPP) for capturing seismic waveform and coseismic displacement, October 2021. Conference: 6th International Conference on Earthquake Engineering and SeismologyAt: Gebze/Turkey
- Bock, Y., Prawirodirdjo, L., Melbourne, T. I., 2004. Detection of arbitrarily large dynamic ground motions with a dense high rate GPS network. *Geophysical Research Letters*, **31**, L06604.
- Doğan, O., Solak, H. İ., Eyübagil, E. E., Özkaymak, Ç., Tiryakioğlu, İ., 2021. Bozkurt (Denizli) depremi sonrası (Mw=6.0, 08.08.2019) GNSS ölçüleri ile kosismik deformasyonların belirlenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 362-373.
- Fang, R. X., Shi, C., Wang, G. X., Liu, J. N., 2014. Epicenter and magnitude of large earthquake determined from high rate GPS observations: a case study of the 2008 M8.0 Wenchuan earthquake. *Science China Earth Science*, **57**, 1645-1652.
- Gülal, E., Tiryakioğlu, I., Erdogan, S., Aykut, N. O., Baybura, T., Akpınar, B., Telli, A. K., Ata, E., Gumus, K., Taktak, F., Yılmaz, I., Öcalan, T., Kalyoncuoğlu, U. Y., Dolmaz, M. N., Elitok, Ö., Erdoğan, H., Soycan, M., 2013. Tectonic activity inferred from velocity field of GNSS measurements in southwest of Turkey. *Acta Geodaetica et Geophysica*, **48**, 1945–1957.
- Karadeniz, B., Bezicioğlu, M., Bilgen, Ö. F., Yiğit, C.Ö. , 2021. GPS/Galileo PPP-AR ve PPP yöntemlerinin doğruluklarının gözlem süresi ve uydu kombinasyonları açısından incelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 1377-1392.
- Kouba, J., 2003. Measuring seismic waves induced by large earthquakes with GPS. *Studia Geophysica et Geodaetica*, **47(4)**, 741-755.
- Larson, K. M., Bodin, P., Gombert, J., 2003. Using 1Hz GPS data to measure deformations caused by the Denali fault earthquake. *Science*, **300**, 1421-1424.
- Larson, K. M., 2009. GPS seismology. *Journal of Geodesy*, **83**, 227-233.
- Özbulat, Ö., Şafak Yaşar, Ş., Tiryakioğlu, İ., 2022. Hassas nokta konumlama yönteminde GNSS ölçü süresi-konum doğruluğu ilişkisinin araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 814-823.
- Tiryakioğlu, I., 2015. Geodetic aspects of the 19 May 2011 Simav earthquake in Turkey. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. **6 (1)**, 76-89.
- Tiryakioğlu, I., Yiğit, C.O., Yavaşoğlu, H., Saka, M.H., Alkan, R.M., 2017a. The Determination of interseismic, coseismic and postseismic deformations caused by the Gökçeada-Samothraki earthquake (2014, Mw: 6.9) Based On GNSS Data. *Journal of African Earth Sciences* **133**, 86-94
- Tiryakioğlu, I., Yavaşoğlu, H., Uğur, M.A., Özkaymak, Ç., Yılmaz, M., Kocaoğlu, H., Turgut, B., 2017b. Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van earthquakes using long-term GNSS time series.. *Earth Science Research Journal*, **21(3)**, 147-156.
- Tiryakioğlu, I., Aktug, B., Yiğit, C.O., Yavaşoğlu, H. H., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Poyraz, F., Taneli, E., Bulut,

F., Dogru, A., Özener, H., 2017c. Slip distribution and source parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos earthquake (Mw6.6) from GPS observations. *Geodinamica Acta*, **30(1)**, 1-14.

Uzel, T., Eren, K., Gülal, E., Tiryakioğlu, I., Dindar, A. A., Yilmaz, H., 2013. Monitoring the tectonic plate movements in Turkey based on the national continuous GNSS network. *Arabian Journal of Geosciences*, **9**, 3573-3580.

Yavasoglu, H., Tari, E., Tuysuz, O., Cakir, Z., Ergintav, S., 2011. Determining and modeling tectonic movements along the central part of the North Anatolian Fault (Turkey) using geodetic measurements. *Journal of Geodynamics*, **51(5)**, 339-343.

Yigit, C.O., 2016. Experimental assessment of postprocessed kinematic Precise Point Positioning method for structural health monitoring. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, **7(1)**, 360-383.

Yigit, C.O., El-Mowafy, A. , Dindar, A. A., Bezcioglu, M., Tiryakioğlu, İ., 2021. Investigating Performance of High-Rate GNSS-PPP and PPP-AR for Structural Health Monitoring – Dynamic Tests on Shaking table. *Journal of Surveying Engineering*, **147(1)**, 360-383.

İnternet kaynakları

1-<https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/23kasim2022GolyakaDuzceMW59.pdf>, (17.12.2022)

2-<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/23-kasim-2022-saridere-golyaka-duzce-depremi-mw6-0/>(17.12.2022)

3-<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000irp8/executive>(17.12.2022)

4-https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/deprem/pdf/23.11.2022_Duzce_Golyaka.pdf, (17.12.2022)

5-<https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Web/DepremVerileri.aspx> (10.12.2022)