



Türkiye'de 6 Şubat 2023'te meydana gelen depremlerin farklı gün ve saatlerdeki konumsal etkilerinin internet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri ile istatistiksel analizi

Statistical analysis of the positional effects of earthquakes in Türkiye on February 6, 2023 on different days and times with web-based GNSS evaluation services

Selim Şaşa¹ , Kutalmış Gümüş² , Münevver Gizem Gümüş^{3,*} 

¹ Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı, 44280, Malatya, Türkiye

^{2,3} Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 51240, Niğde, Türkiye

Öz

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş merkezli depremlerin konumsal etkilerini, internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servisleriyle istatistiksel olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. TUSAGA-Aktif ağına ait 14 sabit istasyonun gözlemleri, CSRS-PPP, MagicGNSS ve Trimble RTX yazılımlarıyla incelenmiştir. Ayrıca, depremden en çok etkilenen EKZ1 istasyonunun 06/02/2023 tarihli farklı saat aralıklarındaki verileri de bu yazılımlar kullanılarak değerlendirilmiştir. Deprem istasyonların X, Y ve Z koordinat eksenleri üzerindeki etkisi, hem ANOVA hem de Kruskal-Wallis testleri ile istatistiksel olarak incelenmiştir. Analizler, deprem öncesi, deprem günü ve sonrası farklı günler ile deprem gününe ait farklı saat aralıklarına göre GNSS servislerinden elde edilen koordinat değerlerinin istatistiksel farklılıklarını incelemeyi kapsamaktadır. Deprem öncesi ve sonrası koordinat farklılıklarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu özellikle Y koordinat ekseninde büyük yer değişimlerinin yaşandığı, Z koordinat eksenindeki değişimlerin ise diğer eksenlere göre daha az olduğu belirlenmiştir. EKZ1 istasyonu için yapılan saatlik analizler, konumsal değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı bir şekilde farklılaştığını ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: ANOVA, Deprem, Doğruluk, GNSS, Kruskal-Wallis, İnternet tabanlı GNSS yazılımları.

1 Giriş

İnternet tabanlı GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) yazılımları, kullanıcıların yüksek doğrulukta koordinat değerlerini kolaylıkla elde etmesini sağlayarak, geçmişten bugüne hızla gelişim göstermiştir. Başlangıçta GNSS verilerinin işlenmesi, yalnızca uzmanlık gerektiren ve ileri düzey cihazlarla erişilebilen bir süreçken, günümüzde internet tabanlı çözümlerle her düzeyde kullanıcı tarafından kullanılabilir hale gelmiştir. Bu yazılımlar, internet üzerinden erişim sağladıkları için, hem saha hem de ofis ortamında hızlı ve verimli sonuç elde etme imkânı sunar [1]. Geçmişte, GNSS verilerinin değerlendirilmesi zorlu ve

Abstract

This study aims to statistically analyze the spatial effects of the Kahramanmaraş-centered earthquakes that occurred on February 6, 2023, using internet-based GNSS data evaluation services. The observations of 14 fixed stations of the TUSAGA-Active network were analyzed with CSRS-PPP, MagicGNSS, and Trimble RTX software. In addition, the data of the EKZ1 station, which was most affected by the earthquake, dated 06/02/2023 at different time intervals, were also evaluated using these software. The effects of the earthquake on the stations' X, Y, and Z coordinate axes were statistically analyzed with both ANOVA and Kruskal-Wallis tests. The analyses include statistical analysis of the statistical differences of coordinate values obtained from GNSS services according to different days before, during, and after the earthquake and other time intervals of the earthquake day. It was determined that the coordinate differences before and after the earthquake were statistically significant, especially in the Y coordinate axis. In contrast, the changes in the Z coordinate axis were less than in the other axes. Hourly analyses for the EKZ1 station revealed that the spatial changes were statistically significant.

Keywords: ANOVA, Earthquake, Accuracy, GNSS, Kruskal-Wallis, Web-based GNSS software.

zaman alıcı bir süreçti; veriler, genellikle profesyonel işleme yazılımlarına ve cihazlara bağlı olarak işlenirdi [2]. Ancak, teknolojik gelişmelerle birlikte internet tabanlı çözümler yaygınlaşarak veri değerlendirme hizmetleri ile değerlendirme sonuçlarını daha geniş kitlelere sunmaya başladı. Kanada Ulusal Kaynaklar Kurumu (Natural Resources Canada) tarafından sunulan CSRS-PPP gibi sistemler, çevrimiçi işleme çözümleriyle GNSS verilerinin hızlı bir şekilde değerlendirilmesini sağlar [3]. Günümüzde CSRS-PPP, MagicGNSS ve Trimble RTX vb. internet tabanlı GNSS yazılımları, özellikle akademik araştırmalar, jeodezi, tarım, inşaat ve mühendislik alanlarında konumlama

* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: gizemkisaaga@ohu.edu.tr (M. G. Gümüş)
Geliş / Received: 26.11.2024 Kabul / Accepted: 25.12.2024 Yayınlanma / Published: 15.01.2025
doi: 10.28948/ngumuh.1591690

doğruluğunu artırmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yazılımlar, kullanıcı dostu arayüzleri ve gelişmiş veri işleme algoritmaları sayesinde GNSS verilerini çevrimiçi olarak işleyebilmekte, metreden milimetre seviyesine kadar yüksek doğruluk sağlamaktadır [4,5]. Gelecekte ise, GNSS yazılımlarının daha da gelişerek gerçek zamanlı veri işleme, çoklu uydu sistemi entegrasyonu ve yapay zeka destekli veri analizleri gibi özellikleri barındırması beklenmektedir. Özellikle, artan uydu sayısı ve yeni nesil uydu sistemlerinin devreye girmesiyle, bu yazılımlar kullanıcılara daha fazla hassasiyet ve doğruluk sağlayacaktır [6].

Türkiye'de ve dünyada internet tabanlı veri değerlendirme servisleri kullanılarak çeşitli akademik çalışmalar, yüksek doğruluk gerektiren literatürde önemli katkılar sağlamıştır. Bu çalışmalar arasında, Diouf, Ndiaye ve Morel [7] çalışmasında, çevrimiçi GNSS hesaplama araçları ve RTKLIB kullanarak yapılan hassas nokta konumlandırma (PPP) ve diferansiyel çözümler karşılaştırılmıştır. Çalışma, CSRS-PPP, CenterPoint RTX Post-Processing (veri değerlendirme) (RTX), Magic/GNSS, Institut Geographique National-PPP (IGN-PPP) ve RTKLIB araçlarının, 24 saatlik veya 6 saatlik gözlem sürelerinde Uluslararası Kara Referans Çerçevesi (ITRF) çözümleriyle karşılaştırıldığında benzer performans seviyeleri sergilediğini göstermektedir. Elrewiny, Zarzoura ve El-Mewafi [8] çalışmasında, gerçek zamanlı PPP tekniği incelenmiş ve bu yöntemin yüksek doğruluk, hızlı karar alma ve çevrimiçi GNSS işleme servisleriyle kolay etkileşim gibi avantajları vurgulanmıştır. Çalışma, çeşitli platformların (CSRS-PPP, AUSPOS, Magic-GNSS, Trimble ve PPP-MANS) gerçek zamanlı PPP performansını artırma potansiyelini ele alırken, PPP-MANS yazılımının %30 oranında bir konumlandırma iyileşmesi sağladığını ortaya koymuştur El Shouny ve Miky [9] çalışmasında, çevrimiçi GNSS işleme servislerinin doğruluk değerlendirmesi yapılmış ve AUSPOS, OPUS, APPS, GAPS, Trimble RTX ve CSRS-PPP gibi popüler servisler karşılaştırılmıştır. Çalışma, bu servislerin geleneksel relatif konumlandırma yöntemine kıyasla daha basit, maliyet etkin ve zaman tasarrufu sağladığını göstermiştir. Sonuçlar, bu servislerin, geleneksel yöntemle kıyaslandığında yaklaşık %75 zaman tasarrufu sağladığını ve genellikle santimetre veya desimetre seviyesinde doğruluk elde ettiğini ortaya koymuştur. En düşük sapma CSRS-PPP servisi ile elde edilirken, en yüksek sapma APPS servisi ile gözlemlenmiştir. İnyurt ve Ulukavak [10] çalışmalarında CSRS-PPP ve Trimble RTX servislerini Türkiye'deki ANKR, ANTL, IZMI, SINP ve VAN1 istasyonlarından elde edilen verilerle test etmiş, CSRS-PPP'nin yüksek doğruluk sağladığını göstermiştir. Alçay ve İmren [11] ise OPUS ve AUSPOS servislerinin farklı gözlem süreleri için doğruluk performansını inceleyerek 24 saatlik gözlemlerde yüksek doğruluk elde edildiğini belirtmiştir. Yaşar ve Eyübagil [12], Gölyaka-Düzce depreminin TUSAGA-Aktif istasyonlarına etkisini inceleyerek CSRS-PPP, PRIDE PPP-AR ve GAMIT/TRACK yazılımları kullanmış ve deprem sonrası yer değiştirme analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışmada, Düzce (DUZC) istasyonunda 8.2 cm yatay, 6.5 cm düşey yer değiştirme gözlemlenirken, Bolu (BOLU) istasyonunda 4.7 cm yatay, 3.2 cm düşey yer

değiştirme tespit edilmiştir. Uçarlı ve Bilgen [13], farklı uydu sistemlerinin otonom araçlardaki konum doğruluğuna etkisini değerlendirmiş, özellikle GALILEO sisteminin çözüme olumlu katkısı olduğunu bulmuştur. Başkan [14] ise Karakoçan ve Halepçe depremlerinin etkilerini AUSPOS servisini kullanarak analiz etmiş, deprem sonrası yer değişimlerini incelemiştir. Alçay ve Atiz [15], BKG Ntrip Client ve RTKLIB yazılımlarını kullanarak gerçek zamanlı PPP yönteminin konum doğruluğunu değerlendirip yatay bileşende ± 10 cm, düşey bileşende ± 20 cm doğruluğa ulaşmıştır. Bülbül vd. [16], mevsimsel değişimlerin PPP konum doğruluğuna etkisini CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS servisleri kullanılarak incelemiş ve en iyi sonuçların MagicGNSS servisi ile elde edildiğini bulmuştur. Özdemir [17] ise CSRS-PPP ve MagicGNSS internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servislerinin farklı gözlem periyotları üzerindeki performansını analiz ederek, 3 saatten uzun sürelerde CSRS-PPP servisinin milimetre seviyesinde doğruluk sağladığını ortaya koymuştur.

Alçay ve Yiğit [18] ise CSRS-PPP, MagicGNSS ve APPS servislerinin statik PPP modüllerini karşılaştırmış ve tüm yazılımların cm seviyesinde doğruluğa ulaştığını, ancak MagicGNSS'in daha hızlı bir çözüm sunduğunu belirtmiştir. Alkan vd. [19] ise GPS ve GLONASS uydularının birlikte kullanıldığında PPP yöntemine göre elde edilen konum doğruluğunu arttırdığını ve özellikle kentsel alanlarda CSRS-PPP servisinin güvenilir bir çözüm sunduğunu vurgulamıştır. Denizcilik uygulamaları kapsamında yapılan çalışmalarda da GNSS servislerinin etkisi ele alınmıştır. Alkan vd. [20] çalışmalarında, Obruk Baraj Gölü'nde yapılan denizcilik ölçümlerinde CSRS-PPP ve MagicGNSS veri değerlendirme servislerini kullanılarak 1-2 dm seviyesinde doğruluk elde etmiştir. Gümüş vd [21] ise, Magic GNSS yazılımı kullanılarak farklı yükseklik açıları ve GNSS günlerinde GPS, GLONASS ve GPS/GLONASS gözlemlerinin etkilerini incelemişlerdir. Farklı yükseklik açıları ve ölçüm günlerine bağlı olarak uydu sayısındaki değişimin ölçüm doğruluğu üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Pırtı ve Yazıcı [22] çalışmalarında, AUSPOS, CSRS-PPP ve Trimble RTX servislerini Türkiye'deki ISTA, IZMI ve TUBI istasyonları ile test etmişler ve AUSPOS servisinin genel olarak daha yüksek doğruluk sağladığını belirtmişlerdir. Çalışmalarında gözlem süresinin doğruluğa etkisini de vurgulayarak 24 saatlik gözlemlerde en yüksek doğruluğa ulaştıklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca, Türkiye'de internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servisleri, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi ve afet analizlerinde yüksek doğruluk sunarak önemli katkılar sağlamaktadır. Örneğin, Şimşek vd. [23] çalışmasında 2011 Van depremi sırasında meydana gelen yatay deformasyonları AUSPOS, OPUS ve CSRS-PPP servislerini kullanarak analiz etmiş ve bu verilerin GAMIT/GLOBK sonuçları ile uyumlu olduğunu göstermiştir. Konakoğlu ve Akar [24], Sivrice-Elazığ depreminde TUSAGA-Aktif istasyonlarının hareketlerini OPUS ve AUSPOS ile analiz ederek bu istasyonlarda anlamlı deformasyonlar tespit etmiştir. Baş ve Abbak [25], Ege Denizi'nde 2020 yılında meydana gelen deprem sonrası kabuk deformasyonlarını CSRS-PPP ve OPUS servisleri ile

incelemiş ve İzmir’de kuzey yönünde 57.39 mm’lik bir deformasyon gözlemlenmiştir. Eyübagil vd. [26] ise 2023 Kahramanmaraş depremlerinin jeodezik etkilerini GAMIT/GLOBK ve CSRS-PPP kullanarak değerlendirmiş, deprem anında 440.4 cm’ye varan yer değiştirmeler rapor etmiştir. Demir [27], Trimble RTX kullanarak uydu kombinasyonlarının hız kestirimine olan etkisini incelemiş ve GPS, GLONASS ve Galileo kombinasyonlarının doğruluğu artırdığını ortaya koymuştur. Ek olarak, Demir ve Güneş [28], Alaska’daki deprem sonrası AUSPOS ve OPUS verilerini karşılaştırarak koordinat bileşenlerinde 5-7 cm’lik farkların anlamlı olmadığını bulmuşlardır. Bu çalışmalar, Türkiye’de GNSS yazılımlarının özellikle deprem gibi doğal afetlerde veri doğruluğunu artırarak önemli katkılar sağladığını göstermektedir.

Bu makale, 6 Şubat 2023’te gerçekleşen Kahramanmaraş depremlerinin yer kabuğu hareketleri üzerindeki etkilerini internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servislerini kullanarak analiz etmeyi hedeflemiştir. TUSAGA-Aktif ağdaki 14 sabit istasyon ve depremden en fazla etkilenen EKZ1 istasyonundan elde edilen veriler, CSRS-PPP, MagicGNSS ve Trimble RTX servisleri kullanılarak değerlendirilmiştir. X, Y ve Z koordinatlarına yönelik analizlerde parametrik (ANOVA) ve nonparametrik (Kruskal-Wallis) yöntemler kullanılmıştır. Deprem öncesi, sırası ve sonrası dönemlerdeki koordinat değişimleri arasında istatistiksel anlamda farklar tespit edilmiştir. Özellikle Y koordinat ekseninde belirgin yer değişimleri gözlemlenirken, Z koordinat ekseninde boyunca değişiklikler daha sınırlı kalmıştır. EKZ1 istasyonunda saatlik yapılan incelemeler, depremler öncesi, anı ve sonrası dönemdeki hareketlerin farklılık gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu çalışma, internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servislerinin afet sonrası yer hareketlerinin izlenmesinde kullanılabilecek sunduğunu ve etkili bir değerlendirme aracı olduğunu göstermektedir.

2 Materyal ve metod

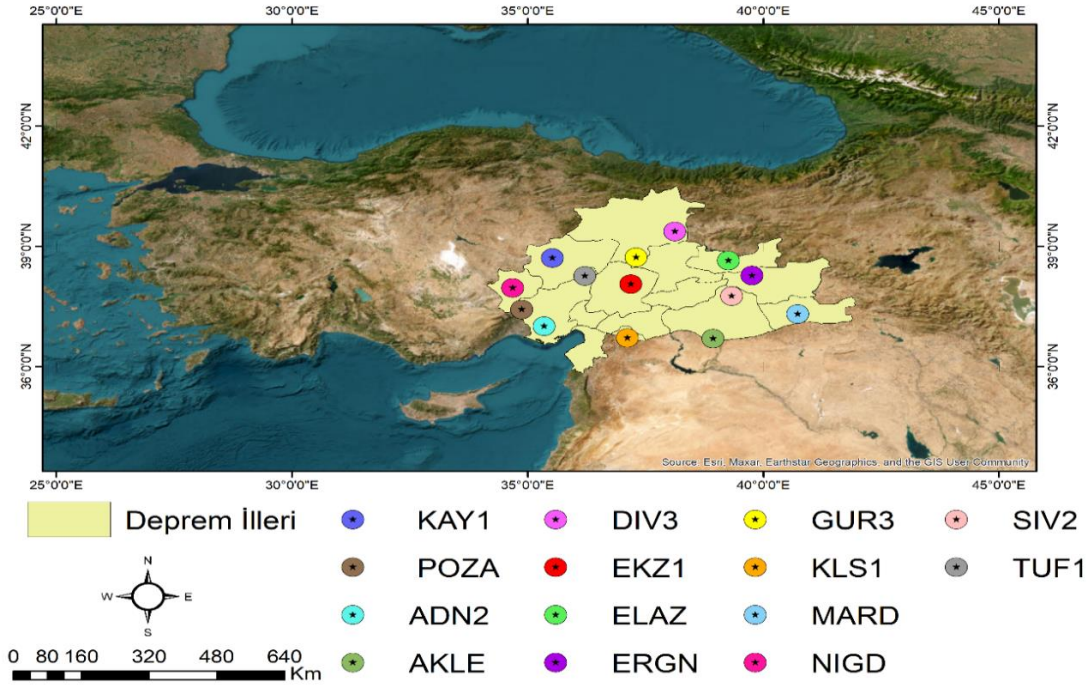
İnternet tabanlı GNSS veri değerlendirme servisleri, yer kabuğu hareketlerinin izlenmesi, deprem vb. afet sonrası veri değerlendirmelerinde yüksek doğruluk sağlayarak bilimsel araştırmalara ve uygulamalara önemli katkılar sunmaktadır. Ayrıca internet üzerinden gerçek zamanlı veri paylaşımı ve analiz imkanı sağlayarak, hem ulusal hem de uluslararası ölçekte yer bilimci araştırmalarına entegre edilebilmekte ve afet sonrası değerlendirme çalışmalarında hızlı ve güvenilir sonuçlar sunmaktadır. Bu internet tabanlı GNSS verilerini değerlendirme servislerinden CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System - Precise Point Positioning), Kanada’nın doğal kaynaklar alanında faaliyet gösteren resmi kuruluşu tarafından geliştirilmiş olup, yüksek doğrulukta konum bilgisi sağlamak için çift frekanslı GNSS verilerini kullanır. Kullanıcılar bu sistemle, veri değerlendirme yöntemiyle GNSS verilerini işleyerek milimetre seviyesinde doğruluk elde edebilirler [3]. MagicGNSS ise, yüksek doğruluklu uydu verileri ile çok sayıda uygulamada kullanılabilen bir servis olup, özellikle GNSS ağ çözümleri ve yörünge belirleme işlemlerinde tercih edilmektedir [21]. Bu servis, çeşitli hata kaynaklarını minimize ederek konum

doğruluğunu artırır ve internet tabanlı olması sayesinde kullanıcılara geniş bir erişim sağlar [4]. Trimble RTX (Real-Time eXtended), Trimble Inc. tarafından geliştirilen ve yüksek hassasiyetli gerçek zamanlı konumlama imkanı sunan bir yazılımdır. Trimble RTX, çok frekanslı GNSS uydularını kullanarak dünya çapında geniş bir kapsama alanı, daha fazla hassasiyet ve doğruluk sunmaktadır. Bu teknoloji, özellikle zaman ve konum doğruluğunun kritik olduğu tarım, jeodezi ve inşaat vb. sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır [5]. CSRS-PPP servisi, GPS ve GLONASS uydu sistemlerinin gözlemlerini kullanırken, MagicGNSS yazılımı bu sistemlere ek olarak Galileo ve BeiDou uydu verilerini de işleyebilmektedir. Trimble RTX ise GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU ve QZSS gibi çok frekanslı GNSS uydularını destekleyerek dünya çapında kapsamlı bir uydu sistemi analizi sağlamaktadır. Bu üç servisin sağladığı doğruluk, işlem hızları ve erişim kolaylıkları, araştırmalarda GNSS verilerinin değerlendirilmesinde önemli avantajlar sağlamaktadır.

6 Şubat 2023 tarihinde, Türkiye’nin güneydoğusunda, Kahramanmaraş ve Elbistan merkezli 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde iki büyük deprem meydana geldi. İlk deprem sabaha karşı 04:17’de gerçekleşmiş ve Doğu Anadolu Fay Hattı üzerinde ciddi bir enerji boşalmasına yol açmıştır. Bu büyük depremin ardından yalnızca 11 dakika sonra, çok yakın bir bölgede 6.7 büyüklüğünde bir başka deprem daha meydana gelmiştir. İlk gün, özellikle bu iki büyük sarsıntının etkisiyle, bölgedeki yıkım büyük ölçüde artmıştır. Daha sonra ise daha düşük büyüklükte birçok artçı deprem kaydedilmiştir. İkinci büyük deprem saat 13:24’te, 10 kilometre derinlikte ve 7.5 büyüklüğünde meydana gelmiştir. Bu depremden yalnızca iki dakika sonra Malatya merkezli 6.0 büyüklüğünde bir başka sarsıntı yaşanmış, yine aynı gün içinde bu bölgeye yakın yerlerde, 25 dakika içinde 5.8 ve 5.7 büyüklüğünde iki deprem daha olmuştur. Günün son büyük depremi ise saat 15:02’de Maraş-Göksun’da 6.0 büyüklüğünde gerçekleşmiştir. Bu ardışık ve yüksek şiddetteki depremler, bölgedeki hasarın yoğunluğunu daha da artırarak ciddi etkiler bırakmıştır. Tablo 1’de belirtilen depremler, Adıyaman, Hatay, Gaziantep, Kahramanmaraş, Malatya ve Şanlıurfa başta olmak üzere çevredeki birçok ili kapsayan geniş bir bölgede büyük bir yıkıma neden olmuştur. Binlerce bina tamamen yıkılmış veya ağır hasar görmüştür. Depremler sonucunda resmi kayıtlara göre on binlerce kişi yaşamını yitirirken, yüz binden fazla kişi yaralanmış, milyonlarca insan evsiz kalmıştır. Bu felaket, Türkiye’nin yakın tarihindeki en yıkıcı depremlerinden biri olarak kayıtlara geçmiş ve hem ulusal hem de uluslararası düzeyde büyük bir yardım seferberliğine yol açmıştır.

Tablo 1. Türkiye’deki 6 Şubat 2023’te gerçekleşen şiddetli depremler [29]

Merkez Üssü (İl)	Büyüklüğü (MW)	Derinliği (km)	Saati
Kahramanmaraş	7.8	10.0	04.17
Gaziantep	6.7	9.8	04.28
Kahramanmaraş	7.5	7.4	13.24
Malatya	6.0	10.0	13.26
Malatya	5.8	10.0	13.35
Malatya	5.7	10.0	13.51
Kahramanmaraş	6.0	8.5	15.02



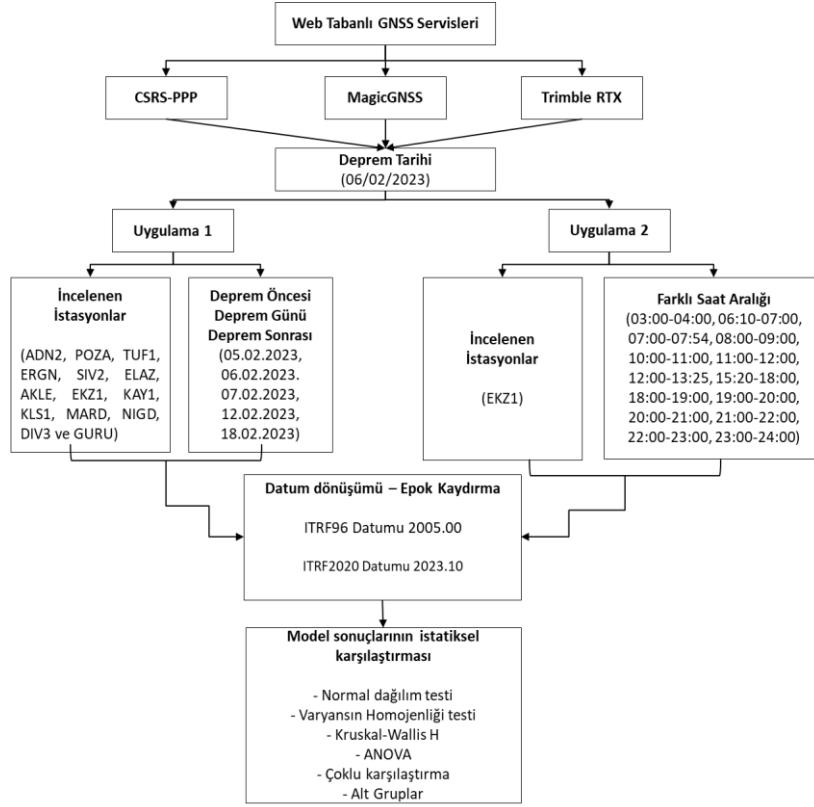
Bu çalışma, internet tabanlı GNSS değerlendirme servislerini kullanarak, 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye’de meydana gelen deprem felaketinin konumsal etkilerini istatistiksel olarak analiz etmeyi amaçlamaktadır. GNSS gözlem verilerinin işlenmesinde internet tabanlı CSRS-PPP, MagicGNSS ve Trimble RTX GNSS değerlendirme servisleri kullanılarak 2 farklı uygulama gerçekleştirilmiştir. Birinci uygulama olarak 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye’de yaşanan deprem bölgesinde yer alan TUSAGA-Aktif ağına ait 14 sabit istasyondan (ADN2, POZA, TUF1, ERGN, SIV1, ELAZ, ANTE, EKZ1, KAY1, KLS1, MARD, NIGD, DIV2 ve GURU) farklı günlerde (05.02.2023, 06.02.2023, 07.02.2023, 12.02.2023 ve 18.02.2023) yani deprem öncesi, deprem günü ve deprem sonrası kapsayan günlerde elde edilen GNSS verileri, İnternet tabanlı CSRS-PPP, MagicGNSS ve Trimble RTX GNSS yazılımları ile analiz edilmiştir (Şekil 1).

Bunun yanı sıra, ikinci uygulama olarak depremden en fazla etkilenen istasyonlardan biri olan Türkiye’deki TUSAGA-Aktif ağına ait EKZ1 sabit istasyonundan elde edilen gözlem verileri, 6 Şubat 2023 gününü kapsayan farklı saat aralıklarında (03:00-04:00, 06:10-07:00, 07:00-07:54, 08:00-09:00, 10:00-11:00, 11:00-12:00, 12:00-13:25, 15:20-18:00, 18:00-19:00, 19:00-20:00, 20:00-21:00, 21:00-22:00, 22:00-23:00, 23:00-24:00) analiz edilmiştir. Bu saat aralıkları, 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen ve büyüklüğü 5.5 şiddetinden büyük olan depremlerin gerçekleştiği saatlere göre belirlenmiştir (Tablo 1’de belirtilmiştir). Bu analizlerde, internet tabanlı GNSS değerlendirme yazılımlarının performansı karşılaştırmalı olarak incelenmiş ve farklı zamanlarda meydana gelen depremlerin farklı saat aralıklarında EKZ1 istasyonunun konumu üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde

değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, gerçekleştirilen her iki uygulama için bir iş akışı Şekil 2’de verilmiştir.

Bu çalışmada, TUSAGA-Aktif ağındaki istasyonların ITRF96 Datumu 2005.00 referans epoğu Kartezyen koordinatları ve hız vektörleri internet sayfasından alınmıştır [30]. Bu istasyonların kartezyen koordinatları ITRF2014 Datumu ve 2023.10 ölçü epoğuna dönüştürülmüştür. Bu çalışmada dönüştürülen koordinatlar gerçek değer olarak kabul edilmiştir. Bu koordinatlar, internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servisleri ile elde edilen kartezyen koordinatlara ile karşılaştırılarak her bir istasyon için koordinat farkları bulunmuştur. Bu sayede analizler, aynı datum ve ölçü epoğu dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu datum ve epok kaydırma işlemleri EUREF internet sayfası kullanılarak gerçekleştirilmiştir [31].

Bu makale kapsamında yapılan uygulamalarda, farklı GNSS değerlendirme servislerine, farklı gün ve saat aralıklarına göre X, Y ve Z koordinatları göre elde edilen konumsal farklılıkları istatistiksel olarak analiz etmek için hem parametrik hem de nonparametrik yöntemler uygulanmıştır. Verilerin normal dağılım varsayımını sağladığı durumlarda, gruplar arasındaki varyansların anlamlı olup olmadığını test etmek amacıyla Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) yöntemi kullanılmıştır. ANOVA, veriler normal dağılım gösterdiğinde ve grup varyanslarının homojen olduğu varsayımı altında, farklı grup ortalamalarının karşılaştırılmasına imkan tanır [32]. Bu yöntem, özellikle iki veya daha fazla grubun ortalamaları arasında anlamlı fark olup olmadığını test etmek için yaygın olarak tercih edilmektedir [33]. Verilerin normal dağılım göstermediği veya varyansların eşit olmadığı durumlarda ise Kruskal-Wallis H testi uygulanmıştır. Kruskal-Wallis testi, parametrik test varsayımlarını sağlamayan durumlarda



Şekil 2. Uygulama iş akışı

kullanılan nonparametrik bir yöntem olup, sıralı veriler üzerinden gruplar arasındaki farklılıkları analiz eder [34]. Özellikle, çok sayıda grubun ortancalarını karşılaştırmak için uygun bir yöntem olarak öne çıkan Kruskal-Wallis testi, verilerin sıralanması ve sıralı veriler üzerinden gruplar arası farkların anlamlı olup olmadığının değerlendirilmesini sağlar [35]. Parametrik ve parametrik olmayan testlerin birlikte kullanılması, sonuçların yorumlanabilirliğini artırır. Eğer ANOVA anlamlı bir fark bulur ve Kruskal-Wallis bu sonucu doğrularsa, analiz güvenilir bir temele dayanır. Ancak, ANOVA anlamlı sonuç verirken Kruskal-Wallis anlamlı sonuç vermezse, bu durum verilerin parametrik varsayımları ihlal ettiğini gösterebilir. Kruskal-Wallis ve ANOVA testlerinin birlikte kullanılması, istatistiksel analizlerde sağlamlık ve geçerlilik sağlamak için mantıklı bir yaklaşımdır. Bu çalışmada bu yüzden Kruskal-Wallis ve ANOVA testi sonuçları birlikte değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, veriler üzerinde hem ANOVA hem de Kruskal-Wallis testi uygulanarak elde edilen ve verilerin dağılımına uygun olarak en doğru sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Analizlerde, X, Y ve Z koordinat eksenlerindeki farklar bağımlı değişken olarak ele alınmıştır. Farklı günler, farklı saat aralıkları ve farklı internet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri bağımsız değişken olarak kullanılmıştır. Bu değişkenler ve alt gruplar temel alınarak yapılan analizlerle, farklı gün, saat aralığı ve farklı GNSS servislerine göre bulunan koordinat farkları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı belirlenmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

Bu çalışmada, ilk olarak CSRS-PPP, MagicGNSS ve Trimble RTX servisleri kullanılarak TUSAGA-Aktif ağına ait 14 sabit istasyonundan (ADN2, POZA, TUF1, ERGN, SIV1, ELAZ, ANTE, EKZ1, KAY1, KLS1, MARD, NIGD, DIV2 ve GURU) elde edilen farklı günlere (05.02.2023, 06.02.2023, 07.02.2023, 12.02.2023 ve 18.02.2023) ait X, Y ve Z koordinat farkları arasında istatistiksel anlamda belirgin bir fark olup olmadığı hem parametrik hem de nonparametrik yöntemler kullanılarak değerlendirilmiştir. İkinci olarak 06.02.2023 tarihinde meydana gelen depremden en çok etkilenen TUSAGA-Aktif ağına bağlı sabit EKZ1 İstasyonu'ndan, farklı saat dilimlerinde (03:00-04:00, 06:10-07:00, 07:00-07:54, 08:00-09:00, 10:00-11:00, 11:00-12:00, 12:00-13:25, 17:20-18:00, 18:00-19:00, 19:00-20:00, 20:00-21:00, 21:00-22:00, 22:00-23:00, 23:00-24:00) GNSS gözlem verileri yine bu internet tabanlı GNSS servisleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Böylece, farklı zaman aralıklarına göre internet tabanlı GNSS değerlendirme servislerinin performansı incelenmiş ve depremin EKZ1 İstasyonu'nun konumundaki etkisi ortaya konmaya çalışılmıştır. Bu makalede bu iki uygulamada bulunan konumsal farklılıklar arasında eğer istatistiksel anlamda belirgin bir fark tespit edilmişse, bu farkın hangi parametreler arasında olduğu detaylı bir şekilde istatistiksel olarak açıklanmıştır.

Bu çalışmada, standart sapma verilerin genel dağılımını ve varyansını daha kapsamlı bir şekilde temsil etmesi, farklı internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servisleri ile elde

edilen sonuçların karşılaştırılmasını kolaylaştırması ve istatistiksel analiz tutarlılığını artırması nedeniyle tercih edilmiştir. İlk uygulama için internet tabanlı GNSS servislerine, deprem öncesi ve sonrasında kapsayan farklı günlere ve deprem bölgesinde yer alan 14 sabit TUSAGA-Aktif GNSS istasyonuna göre elde edilen X, Y ve Z koordinat farklarından standart sapma değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3). Ayrıca farklı değişkenlere ait elde edilen X, Y ve Z koordinat farklarının normal dağılıma sahip olup olmadığı ve grup varyanslarının homojenliği sağlayıp sağlamadığı istatistiksel olarak değerlendirilerek Tablo 2 ve 3'te verilmiştir.

Şekil 3'e göre, farklı GNSS değerlendirme servislerinin performansı X, Y ve Z koordinat bileşenleri için konumsal farkların standart sapma değerleri üzerinden incelenmiştir (Sol Üst). Trimble RTX, özellikle Y koordinat eksen bileşenlerinde diğer GNSS servislerine kıyasla daha yüksek standart sapma değerleri göstermiştir. Bu durum, Trimble RTX'in X ve Y koordinat eksenleri boyunca hareketlerin değerlendirilmesi açısından diğer servislerle karşılaştırıldığında daha düşük doğrulukta sonuçlar ürettiğini göstermektedir. CSRS-PPP servisi ise özellikle X koordinat eksen bileşeninde en düşük standart sapma değerlerine sahip olarak, daha stabil ve güvenilir sonuçlar sunduğunu göstermiştir. Z koordinat eksen bileşeni açısından ise tüm servislerin düşük standart sapma değerleri sağladığı, dolayısıyla servisler arasında daha tutarlı olduğu tespit edilmiştir. Deprem öncesi, deprem günü ve deprem sonrasında kapsayan farklı tarihlerde elde edilen standart sapma değerleri, deprem etkilerinin zaman içerisindeki

değişimini ortaya koymaktadır (Sağ Üst). 12 Şubat 2023'te Y koordinat eksen bileşeninde en yüksek standart sapma değerleri tespit edilmiştir. Bu durum, Y koordinat eksen boyunca meydana gelen yer hareketlerinin depremlerin etkisiyle önemli ölçüde değiştiğini göstermektedir. 7 Şubat 2023'te Z koordinat eksen bileşeninde kaydedilen yüksek standart sapma değerleri ise bu eksen üzerindeki hareketlerin bu dönemde daha belirgin hale geldiğine işaret etmektedir. Bu durum, artçı sarsıntılar ya da bölgesel yerleşme süreçleriyle ilişkilendirilebilir. 18 Şubat 2023 itibarıyla bütün koordinat eksenleri yönünde standart sapma değerlerinde bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu da depremin etkilerinin azaldığını ya da istasyonların konumsal olarak daha kararlı hale geldiğini göstermektedir. Genel olarak, Y koordinat eksen bileşeninde diğer bileşenlere kıyasla daha yüksek standart sapma değerleri görülmesi, yer değiştirmelerin deprem sırasında daha belirgin olduğunu ortaya koymaktadır. TUSAGA-Aktif ağına ait 14 sabit istasyonundan elde edilen standart sapma değerleri, depremin coğrafi dağılımı ve şiddeti hakkında önemli bilgiler sağlamıştır (Alt Orta). EKZ1 istasyonu, özellikle Y koordinat eksen bileşeninde 1.5 metreyi aşan standart sapma ile en çok etkilenen istasyon olarak öne çıkmıştır ve bölgede Y koordinat eksen boyunca büyük hareketler yaşandığını göstermektedir. ANTE, ELAZ ve SIVL istasyonlarında daha düşük ancak belirgin etkiler gözlemlenirken, deprem bölgesinden uzak olan NIGD, DIV2 ve GURU istasyonlarında standart sapma değerleri oldukça düşük kalmıştır. Bu durum, depremin etkisinin mesafeye bağlı olarak azaldığını ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Farklı GNSS değerlendirme servisleri (sol üst), farklı günler (sağ üst) ve farklı istasyonlara (alt orta) göre elde edilen standart sapma değerleri (m).

Tablolarda farklı değişkenlere göre elde edilen değerlerinin varyans homojenliği ve normal dağılım testlerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, X, Y ve Z koordinat eksenleri boyunca bulunan değerlerin bu tablonun Sig. Sütunundaki değerlerin 0.05'ten küçük olması nedeni ile normal dağılımlı olmadığı belirlenmiştir. Yine X, Y ve Z koordinat eksenleri boyunca bulunan değerlerin GNSS servisleri hariç varyansların homojen olmadığı belirlenmiştir. Bu çalışmada, normal dağılım ve varyans

homojenliği durumlarına bağlı olarak istatistiksel karşılaştırmaların Kruskal-Wallis H Testi ile yapılması gerekir. Ancak, veri analizinde normal dağılım ve varyans homojenliğinin olası yanıltıcı etkileri göz önünde bulundurularak, bu çalışmada farklı GNSS değerlendirme yazılımlarına ve farklı günlere (deprem öncesi, deprem günü ve deprem sonrası) hem Kruskal-Wallis H Testi hem de ANOVA uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar **Tablo 4** ve **5**'te verilmiştir.

Tablo 2. Bütün istasyonlardaki farklı değişkenlere göre elde edilen Normal Dağılım Testi

Değişkenler	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
X	.394	528	.000	.427	528	.000
Y	.421	528	.000	.396	528	.000
Z	.265	528	.000	.640	528	.000

a: Lilliefors Anlamlılık Düzeltmesi, df: serbestlik derecesi, Sig.: olasılık değeridir (p-değeri).

Tablo 3. Bütün istasyonlardaki farklı değişkenlere göre elde edilen Varyans Homojenliği Testi

Değişkenler	GNSS Servisleri				Günler				İstasyonlar			
	Levene İstatistik	df1	df2	Sig.	Levene İstatistik	df1	df2	Sig.	Levene İstatistik	df1	df2	Sig.
X	0.306	2	525	.736	7.868	4	523	.000	18.196	13	514	.000
Y	0.319	2	525	.727	7.928	4	523	.000	19.248	13	514	.000
Z	0.398	2	525	.672	17.632	4	523	.000	4.834	13	514	.000

Tablo 4. Farklı GNSS değerlendirme servisleri ve farklı günlere göre gerçekleştirilen ANOVA değerleri

Değişkenler		GNSS Servisleri				Günler					
		Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Sig.	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Sig.
X	Gruplar Arası	0.309	2	0.154	0.140	0.869	33.177	4	8.294	107.490	.000
	Gruplar İçi	35.183	32	1.099			2.315	30	0.077		
	Toplam	35.492	34				35.492	34			
Y	Gruplar Arası	1.392	2	0.696	0.252	0.778	81.899	4	20.475	79.977	.000
	Gruplar İçi	88.188	32	2.756			7.680	30	0.256		
	Toplam	89.580	34				89.580	34			
Z	Gruplar Arası	0.012	2	0.006	0.214	0.809	0.694	4	0.174	28.979	.000
	Gruplar İçi	0.862	32	0.027			0.180	30	0.006		
	Toplam	0.874	34				0.874	34			

Tablo 5. Farklı GNSS değerlendirme servisleri ve farklı günlere göre gerçekleştirilen KRUSKAL-WALLİS değerleri

Değişkenler		GNSS Servisleri				Günler			
		N	Chi-Square	df	Sig.	N	Chi-Square	df	Sig.
X	Gruplar Arası	35	0.074	2	0.964	35	26.318	4	0.000
Y	Gruplar Arası	35	0.387	2	0.824	35	26.377	4	0.000
Z	Gruplar Arası	35	1.019	2	0.601	35	27.418	4	0.000

Tablo 6. X koordinat eksenleri boyunca elde edilen farklı günlere göre elde edilen ikili karşılaştırmalar.

Bağımlı Değişken: X		Günler - Çoklu Karşılaştırmalar (Tamhane)				
(I) Günler	(J) Günler	Ortalama Fark(I-J)	Std. Sapma	Sig.	95% Güven Aralığı	
					Alt Sınır	Üst Sınır
05.02.2023	06.02.2023	1.513968*	0.235	0.007	0.506	2.522
	07.02.2023	2.488934*	0.006	0	2.467	2.511
	12.02.2023	2.486891*	0.006	0	2.466	2.508
	18.02.2023	2.486564*	0.006	0	2.466	2.507
06.02.2023	05.02.2023	-1.513968*	0.235	0.007	-2.522	-0.506
07.02.2023	05.02.2023	-2.488934*	0.006	0	-2.511	-2.467
12.02.2023	05.02.2023	-2.486891*	0.006	0	-2.508	-2.466
18.02.2023	05.02.2023	-2.486564*	0.006	0	-2.507	-2.466

Tablo 4 ve 5 incelendiğinde, internet tabanlı GNSS servislerin değerlendirmelerinden ve deprem öncesi ve sonrasında kapsayan farklı günlere göre elde edilen koordinat farklarının Kruskal-Wallis H Testi veya ANOVA testi sonuçları görülmektedir. Bu değişken gruplarına ait ortalamalar birlikte değerlendirildiğinde tablolardaki Sig. sütunundaki değer 0.05'ten küçük olduğu değerler görülmektedir. Kruskal-Wallis H Testi ve ANOVA testi sonuçlarına göre GNSS değerlendirme servisleri ve deprem öncesi ve sonrasında kapsayan günlerin, X, Y ve Z değişkenleri üzerindeki etkileri farklılık göstermektedir. Her iki test sonuçları GNSS servisleri açısından incelendiğinde, X, Y ve Z koordinat değişkenlerinde anlamlı bir fark bulunmamaktadır. Bu durum, İnternet tabanlı GNSS servislerinden farklı konfigürasyonlara göre elde edilen X, Y ve Z koordinatları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Farklı GNSS servisleri kullanılarak yapılan çözümlerin, bu uygulamadaki GNSS istasyonlarının koordinat değerlerini önemli ölçüde değiştirmediği sonucuna ulaşılabilir. Deprem öncesi ve sonrasında kapsayan farklı günlerin X, Y ve Z değişkenleri üzerindeki etkisi belirlemek üzere yapılan Kruskal-Wallis H Testi veya ANOVA testi sonuçlarına göre istatistiksel olarak anlamlı sonuçlar bulunmuştur. Özellikle X ve Y koordinat eksenleri boyunca bu etki oldukça güçlüdür. Bu sonuçlar, 06 Şubat 2023 Günü yaşanan depremin, konumsal farklılıklar üzerinde önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, bu sonucun potansiyel nedenlerinin detaylı bir şekilde istatistiksel bir inceleme yapılmaya çalışılmıştır. Bunun için 6 Şubat 2023 gününde olan depremlerin etkilerini incelemek için EKZ1 istasyonunda (en fazla değişim olduğu nokta) o günü kapsayan farklı saat aralıklarını kapsayan konumsal karşılaştırmalar yapılmıştır.

Fakat, Kruskal-Wallis H Testi veya ANOVA testi sonuçları bu farklılıkların deprem öncesi ve sonrasında kapsayan hangi günler arasında olduğuna ilişkin bilgi içermez. Bunun için konumsal farklılıkların hangi günler arasında olduğunun belirlenmesi için çoklu karşılaştırmalar

(Post Hoc Test) yapılmıştır. Bunun için analiz yaptığımız veriler normal dağılım gösteriyor ve varyanslar homojen ise Tukey testi, bu koşullar sağlanmadığında ise Tamhane's T2 testi tercih edilmesi gerekir. GNSS değerlendirme servisleri ile elde edilen koordinatlar arasında anlamlı bir fark olmadığı için ikili karşılaştırma sonuçları verilmemiştir. Bu çalışmada, ikili karşılaştırma sonuçları çok uzun olduğu için örnek olarak sadece deprem öncesi (5.2.2023) ve deprem sonrasında kapsayan günler için X koordinat eksenini boyunca elde edilen Tamhane's T2 testine göre bulunan ikili karşılaştırma sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6 incelendiğinde, X koordinat eksenleri boyunca farklı günlerde elde edilen sonuçlar arasında istatistiksel olarak anlamlı farklar tespit edilmiştir. X koordinat eksenleri yönünde deprem öncesini kapsayan 05.02.2023 tarihi, deprem günü ve deprem sonrası diğer günlerden belirgin bir şekilde farklılaşmaktadır. Özellikle deprem öncesi ile deprem sonrasında kapsayan 07.02.2023, 12.02.2023 ve 18.02.2023 tarihleri ile yapılan karşılaştırmalarda ortalama farklar oldukça yüksek (yaklaşık 2.48) ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Yine deprem öncesi (05.02.2023) ve deprem günü (06.02.2023) tarihleri arasındaki karşılaştırmalarda ortalama farklar (yaklaşık 1.51) diğer günlere göre daha azdır. X koordinat eksenine göre elde edilen koordinat farklarının zaman içinde anlamlı bir değişim gösterdiğini ve bu değişimin özellikle 5.2.2023 tarihi ile diğer günler arasında yoğunlaştığını ortaya koymaktadır. Deprem öncesi, deprem günü ve deprem sonrası tarihlerde elde edilen farklılıkların 6 Şubat 2023 tarihinde olan ve sonrasında devam eden artçı depremlerin konumsal etkileri bu analizlerde görülmüştür.

Ayrıca, farklı GNSS değerlendirme servisleri ile deprem öncesi, deprem günü ve deprem sonrasında kapsayan çeşitli günlerde elde edilen X, Y ve Z koordinatlarına yönelik analizler gerçekleştirilmiştir. Tablo 7 ve 8'de, GNSS değerlendirme servisleri ve farklı günlere göre elde edilen sonuçlar arasındaki benzerlikleri belirlemek ve istatistiksel karşılaştırmalar yapmak için alt gruplar oluşturulmuştur.

Tablo 7. Farklı GNSS değerlendirme servislerine göre oluşturulan alt gruplar

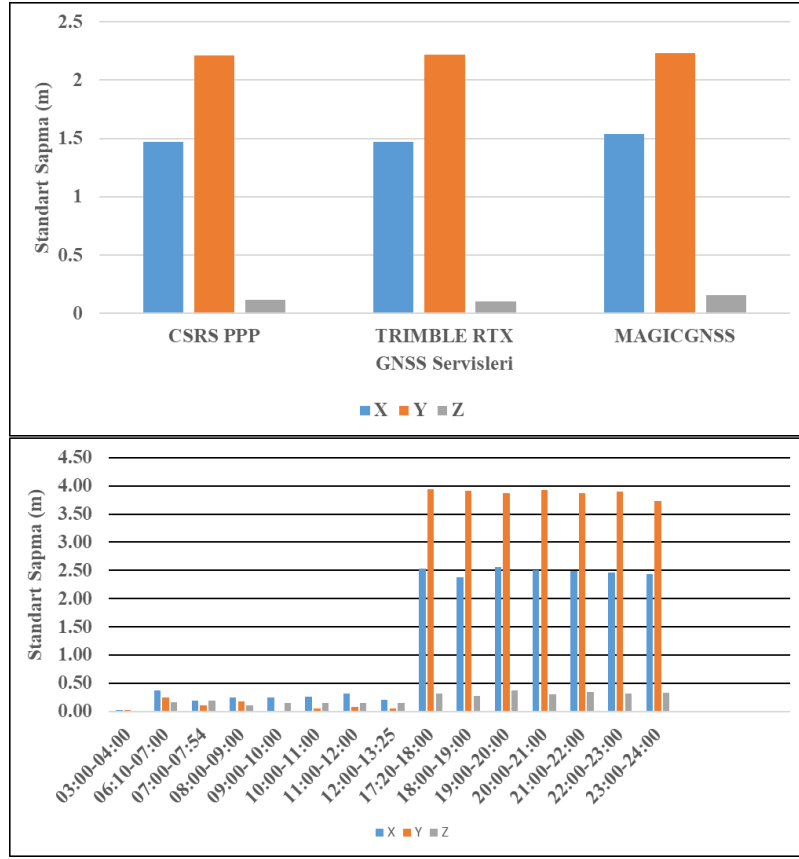
GNSS Servisleri – Alt küme için ($\alpha = 0.05$)						
GNSS SERVİSİ	X		Y		Z	
	N	1	N	1	N	1
TRİMBLE RTX	5	-1.859	5	2.918	5	-0.228
MAGİCGNSS	25	-1.832	25	2.994	25	-0.189
CSRS-PPP	5	-1.569	5	2.416	5	-0.160
Sig.		0.867		0.798		0.731

Tablo 8. Farklı günlere göre oluşturulan alt gruplar.

GÜNLER	X			GÜNLER	Y			GÜNLER	Z				
	N	1	2		3	N	1		2	N	1	2	
07.02.2023	7	-2.492			05.02.2023	7	-0.023			07.02.2023	7	-0.316	
12.02.2023	7	-2.490			06.02.2023	7		2.756		12.02.2023	7	-0.305	
18.02.2023	7	-2.490			07.02.2023	7			3.920	18.02.2023	7	-0.295	
06.02.2023	7		-1.517		18.02.2023	7			3.923	06.02.2023	7	-0.031	
05.02.2023	7			-0.003	12.02.2023	7			3.925	05.02.2023	7	-0.006	
Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig.		1.000	1.000	1.000	Sig.		0.988	0.972

Tablo 7 incelendiğinde farklı GNSS değerlendirme servislerine bağlı olarak oluşturulan alt gruplarda istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmamıştır. Trimble RTX, MagicGNSS ve CSRS-PPP servisleri kullanılarak yapılan değerlendirmeler sonucu bulunan X, Y ve Z koordinatlarında tek alt grup oluşturulduğu için benzer sonuçlar sergilediği görülmektedir. Koordinat değerleri arasında küçük farklılıklar olmasına rağmen, bu farklılıklar istatistiksel olarak anlamlı değildir. Dolayısıyla, GNSS servisleri arasında değerlendirme sonuçlarının genel olarak uyumlu olduğu söylenebilir. Özellikle Y koordinatındaki değerlerin diğer eksenlere kıyasla daha yüksek olduğu, ancak bu artışın da GNSS servisleri arasında anlamlı bir farklılık yaratmadığı görülmektedir. Tablo 8 incelendiğinde ise X ve Y koordinat eksenleri boyunca elde edilen ortalama farklılıklara göre elde edilen sonuçlar 3 alt gruba ayrılmıştır. Bu alt gruplar incelendiğinde deprem öncesi, deprem günü ve deprem sonrası elde edilen değerlerin istatistiksel olarak farklılaştığı sonucuna ulaşılmıştır. Z koordinat eksenini yönünde elde edilen ortalama farklılıkların 2 alt gruba ayrıldığı görülmektedir. Tarihler incelendiğinde deprem öncesi ve deprem sonrası olarak elde edilen sonuçların farklılaştığı görülmektedir. Ayrıca Z koordinat eksenini boyunca olan konumsal değişimlerin diğer X ve Y koordinat eksenlerine göre bulunan sonuçlara göre daha az ortalama sahip olduğu görülmektedir.

İkinci uygulama olarak TUSAGA-Aktif ağında bulunan ve depremden en çok etkilenen sabit EKZ1 İstasyonundan farklı veri saat aralığında (03:00-04:00, 06:10-07:00, 07:00-07:54, 08:00-09:00, 10:00-11:00, 11:00-12:00, 12:00-13:25, 17:20-18:00, 18:00-19:00, 19:00-20:00, 20:00-21:00, 21:00-22:00, 22:00-23:00, 23:00-24:00) elde edilen gözlem verileri internet tabanlı GNSS veri değerlendirme hizmetlerinden CSRS-PPP, MagicGNSS ve Trimble RTX yazılımları ile test edilmiştir. Fakat, bu değerlendirmelerde 13:25-17:20 aralığında gözlem verisi olmadığı için değerlendirme yapılamamıştır. Böylelikle internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servislerinin performansı analiz edilerek veri saat aralığına göre depremin EKZ1 İstasyonunun konumu üzerinde yaratmış olduğu etki ortaya konmaya çalışılmıştır. EKZ1 İstasyonunun ITRF96 Datumu 2005.00 referans epöğü koordinatları ve hız vektörleri gerçek değer olarak kullanılmıştır. EKZ1 İstasyonunun kartezyen koordinatları ITRF2020 Datumu 2023.10 ölçü epöğuna dönüştürülmüştür. Bu şekilde, internet tabanlı yazılımlardan elde edilen sonuçlar ile yapılan karşılaştırmalar aynı datum ve epöğ göre yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucu elde edilen farklı GNSS değerlendirme servisleri ve farklı veri saat aralığına göre elde edilen standart sapma değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Farklı GNSS değerlendirme servisleri, farklı günler ve farklı istasyonlara göre elde edilen standart sapma değerleri (m).

Ayrıca, farklı veri saat aralığına göre farklı internet tabanlı GNSS değerlendirme servislerine dayalı olarak bulunan koordinatlar ile gerçek değerler arasındaki farkların, parametrik ve nonparametrik yöntemlerle istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığı araştırılmıştır. Bu analizlerde, X, Y ve Z koordinat eksenlerindeki farklar bağımlı değişken olarak ele alınmış, farklı veri saat periyotları ve farklı yazılımlar ise bağımsız değişkenler olarak incelenmiştir. Bu bağımlı ve bağımsız parametreler ve alt gruplara göre analizler yapılarak, çeşitli saat aralıklarına ve farklı yazılımlara bağlı olarak bulunan koordinat farkları arasında istatistiksel anlamda önemli bir fark olup olmadığı tespit edilmiştir. Her bir test edilecek grubun normal dağılıma sahip olup olmadığı ve grup varyanslarının homojen olup olmadığını gösteren istatistiksel sonuçlar Tablo 9 ve 10'da verilmiştir.

Tablo 9. Farklı değişkenlere göre elde edilen Normal Dağılım Testi

Değişkenler	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	İstatistik	df	Sig.	İstatistik	df	Sig.
X	0.329	45	0.000	0.683	45	0.000
Y	0.341	45	0.000	0.671	45	0.000
Z	0.257	45	0.000	0.774	45	0.000

a: Lilliefors Anlamlılık Düzeltmesi, df: serbestlik derecesi, Sig.: olasılık değeridir (p-değeri).

Tablo 10. Farklı değişkenlere göre elde edilen Varyans Homojenliği Testi

Değişkenler	GNSS Servisleri				Veri Saat Aralığı			
	Levene İstatistik	df1	df2	Sig.	Levene İstatistik	df1	df2	Sig.
X	0.074	2	42	0.929	4.052	14	30	0.001
Y	0.028	2	42	0.972	7.362	14	30	0.000
Z	0.055	2	42	0.947	4.073	14	30	0.001

Yukarıda tablolardaki Sig. değerleri, 0.05'ten küçük olduğu durumlarda, verilerin normal dağılım göstermediği ve varyans homojenliğini sağlamadığı anlamı taşımaktadır. Farklı GNSS değerlendirme servislerine göre verilerin varyans homojenliği sağlansa da bu durum tek başına parametrik testlerin uygulanması için yeterli değildir. Bu durumda, değişkenler arasında istatistiksel karşılaştırmalar nonparametrik test olan Kruskal-Wallis testine göre yapılması gerekirken bu çalışmada parametrik test olan ANOVA testi de yapılarak parametrik ve nonparametrik testler arasındaki sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. EKZ1 İstasyonu için aşağıda sunulan Tablo 11 ve 12 ANOVA ve Kruskal-Wallis testleri ile farklı GNSS değerlendirme servisleri ve veri saat aralığına göre bulunan koordinat farkları arasında belirgin bir fark olup olmadığı incelenmiştir.

Tablo 11. Farklı GNSS değerlendirme servisleri ve farklı veri saat aralığına göre gerçekleştirilen ANOVA değerleri.

Değişkenler	GNSS Servisleri					Veri Saat Aralığı				
	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Sig.	Kareler Toplamı	df	Kareler Ortalaması	F	Sig.
X	Gruplar Arası	0.000	2	0.000	0.000	58.072	14	4.148	3877.441	0.000
	Gruplar İçi	58.104	42	1.383		0.032	30	0.001		
	Toplam	58.104	44			58.104	44			
Y	Gruplar Arası	0.037	2	0.019	0.005	166.584	14	11.899	1424.883	0.000
	Gruplar İçi	166.797	42	3.971		0.251	30	0.008		
	Toplam	166.834	44			166.834	44			
Z	Gruplar Arası	0.001	2	0.001	0.010	2.333	14	0.167	165.946	0.000
	Gruplar İçi	2.362	42	0.056		0.030	30	0.001		
	Toplam	2.363	44			2.363	44			

Tablo 12. Farklı GNSS değerlendirme servisleri ve veri saat aralığına göre gerçekleştirilen Kruskal-Wallis değerleri.

Değişkenler	GNSS Servisleri			Veri Saat Aralığı		
	Chi-Square	df	Sig.	Chi-Square	df	Sig.
X Gruplar Arası	0.126	2	0.939	40.000	14	0.000
Y Gruplar Arası	1.733	2	0.420	36.535	14	0.001
Z Gruplar Arası	1.258	2	0.533	36.825	14	0.001

Yukarıda tablolardaki Sig. değerlerine göre farklı veri saat aralığına göre bulunan ANOVA ve KRUSKAL-WALLİS çizelgeleri gözden geçirildiğinde, yapılan değerlendirmeler sonucunda sadece veri saat aralığındaki değişkenler arasında istatistiksel anlamda önemli farkların bulunduğu saptanmıştır. GNSS değerlendirme servisleri için hem ANOVA sonuçları hem de KRUSKAL-WALLİS sonuçlarına göre istatistiksel anlamda belirgin farklar bulunmamıştır. Bu farkların hangi veri saat aralığında olduğunu belirlemek için ikili karşılaştırmalar yapılmıştır. İstatistiksel olarak bir fark olmamasına rağmen GNSS servislerine göre yapılan ikili karşılaştırma sonuçları da verilmiştir. Bu çalışmada farklı veri saat aralığına göre elde edilen koordinat farkları, normal dağılım ve varyans homojenliği sağlamadığı için Tamhane testi uygulanmıştır. Fakat farklı parametrelere göre yapılan ikili değerlendirme çizelgeleri çok geniş olduğundan, bu çalışmada farklı veri saat aralığına göre analiz edilen değişkenlerin ikili karşılaştırmalarında yalnızca X koordinat eksenini yönünde (03:00-04:00, 09:00-10:00, 12:00-13:25, 17:20-18:00) bulunan sonuçlar Tablo 13'te örnek olarak sunulmuştur. Farklı GNSS değerlendirme servislerine göre bulunan sonuçlar ise X, Y ve Z koordinat eksenlerine göre Tablo 14'te sunulmuştur.

Tablo 13'te Farklı veri saat aralığına göre elde edilen ikili karşılaştırmalarda bulunan koyu renk ile gösterilen saatler arasında farklılıklar bulunmuştur. EKZ1 İstasyonu için 04:17

saatinde yaşanan deprem öncesi veri setleri değerlendirildiğinde 03:00-04:00 saat aralığında bulunan koordinatlar ile iki büyük deprem sonrası bulunan koordinatlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu görülmektedir. Yine birinci deprem sonrasında 2. Deprem öncesine kadar geçen saatlerde (06:10-07:00, 07:00-07:54, 08:00-09:00, 09:00-10:00, 10:00-11:00, 11:00-12:00 ve 12:00-13:25) benzer koordinatlar bulunmuştur. Diğer zaman aralıklarında istatistiksel farklılıklar bulunmuştur. İkinci depremden sonra elde edilen sonuçlar ile ikinci depremden önce elde edilen sonuçlar arasında anlamlı farklılıklar görülmüştür. Sonuçları özetlemek gerekirse deprem öncesi elde edilen sonuçlar kendi aralarında, ilk depremden ikinci depreme kadar elde edilen sonuçlar kendi aralarında, ikinci depremden sonra elde edilen sonuçlar da kendi aralarında benzer özellik göstermiştir.

Tablo 14 incelendiğinde farklı internet tabanlı GNSS değerlendirme servislerinden elde edilen koordinatların, parametrik ve nonparametrik yöntemler ile elde edilen sonuçlara göre benzer özellik gösterdiği belirlenmiştir. Yani bu yazılımlardan elde edilen koordinatlar arasında farklı zaman aralığında da olsa istatistiksel olarak anlamlı bir fark yoktur. Ayrıca, X, Y ve Z koordinat eksenlerinde çeşitli GNSS değerlendirme hizmetlerine ve farklı veri saat aralıklarına göre yapılan değerlendirmelerin sonuçlarını inceleyerek, benzerlikleri ve farklılıkları test etmek için Tablo 15 ve 16'da alt gruplar oluşturulmuştur.

Tablo 13. Farklı veri saat aralığına göre elde edilen ikili karşılaştırmalar

Bağımlı Değişken: X		Veri Saat Aralığı – Çoklu Karşılaştırmalar (Tamhane)					
Veri Saat Aralığı (I)	Veri Saat Aralığı (J)	Ortalama Fark (I-J)	Sig.	Veri Saat Aralığı (I)	Veri Saat Aralığı (J)	Ortalama Fark (I-J)	Sig.
03:00-04:00	06:10-07:00	0.219	0.000	12:00-13:25	03:00-04:00	-0.211	0.000
	07:00-07:54	0.170	0.000		06:10-07:00	0.008	1.000
	08:00-09:00	0.211	0.000		07:00-08:00	-0.042	0.954
	09:00-10:00	0.221	0.000		08:00-09:00	0.000	1.000
	10:00-11:00	0.235	0.000		09:00-10:00	0.009	1.000
	11:00-12:00	0.307	0.000		10:00-11:00	0.023	1.000
	12:00-13:25	0.211	0.000		11:00-12:00	0.096	0.062
	15:20-18:00	2.484	0.000		15:20-18:00	2.273	0.000
	18:00-19:00	2.444	0.000		18:00-19:00	2.232	0.000
	19:00-20:00	2.488	0.000		19:00-20:00	2.277	0.000
	20:00-21:00	2.501	0.000		20:00-21:00	2.289	0.000
	21:00-22:00	2.477	0.000		21:00-22:00	2.265	0.000
	22:00-23:00	2.465	0.000		22:00-23:00	2.254	0.000
23:00-24:00	2.434	0.000	23:00-24:00	2.223	0.000		
09:00-10:00	03:00-04:00	-0.221	0.000	15:20-18:00	03:00-04:00	-2.484	0.000
	06:10-07:00	-0.002	1.000		06:10-07:00	-2.265	0.000
	07:00-07:54	-0.051	0.830		07:00-07:54	-2.314	0.000
	08:00-09:00	-0.009	1.000		08:00-09:00	-2.273	0.000
	10:00-11:00	0.014	1.000		09:00-10:00	-2.263	0.000
	11:00-12:00	0.087	0.131		10:00-11:00	-2.249	0.000
	12:00-13:25	-0.009	1.000		11:00-12:00	-2.177	0.000
	15:20-18:00	2.263	0.000		12:00-13:25	-2.273	0.000
	18:00-19:00	2.223	0.000		18:00-19:00	-0.040	0.966
	19:00-20:00	2.268	0.000		19:00-20:00	0.004	1.000
	20:00-21:00	2.280	0.000		20:00-21:00	0.017	1.000
	21:00-22:00	2.256	0.000		21:00-22:00	-0.007	1.000
	22:00-23:00	2.244	0.000		22:00-23:00	-0.019	1.000
23:00-24:00	2.213	0.000	23:00-24:00	-0.050	0.850		

Farklı saatlerde elde edilen koordinatlarda istatistiksel olarak anlamlı var

Tablo 14. Farklı GNSS değerlendirme servislerine göre elde edilen ikili karşılaştırmalar

GNSS yazılımları – Çoklu Karşılaştırmalar (Tamhane)							
Veri Saat Aralığı (I)	Veri Saat Aralığı (J)	X		Y		Z	
		Ortalama Fark (I-J)	Sig.	Ortalama Fark (I-J)	Sig.	Ortalama Fark (I-J)	Sig.
CSRS PPP	TRIMBLE RTX PPP	-0.002	1.000	-0.005	1.000	-0.012	0.999
	MAGIC GNSS	0.001	1.000	0.059	1.000	-0.003	1.000
TRIMBLE RTX PPP	CSRS PPP	0.002	1.000	0.005	1.000	0.012	0.999
	MAGIC GNSS	0.003	1.000	0.063	1.000	0.009	0.999
MAGIC GNSS	CSRS PPP	-0.001	1.000	-0.059	1.000	0.003	1.000
	TRIMBLE RTX PPP	-0.003	1.000	-0.063	1.000	-0.009	0.999

Tablo 15. Farklı GNSS değerlendirme servislerine göre oluşturulan alt gruplar

Yazılım	N	X		Y		Z	
		1	Sig.	1	Sig.	1	Sig.
MAGİCGNSS	15	-1.272	1.000	1.811	0.996	-0.073	0.989
CSRS-PPP	15	-1.270	1.000	1.870	0.996	-0.076	0.989
TRİMBLE RTX PPP	15	-1.268	1.000	1.874	0.996	-0.064	0.989
Sig.		1.000		0.996		0.989	

Tablo 16. Farklı veri saat aralığına göre oluşturulan alt gruplar.

Veri Saat Aralığı	X			Veri Saat Aralığı	Y		Veri Saat Aralığı	Z		
	1	2	3		1	2		1	2	3
20:00-21:00	-2.51			03:00-04:00	-0.03		21:00-22:00	-0.33		
19:00-20:00	-2.50			08:00-09:00	-0.01		23:00-24:00	-0.32		
17:20-18:00	-2.50			09:00-10:00	0.05		19:00-20:00	-0.31		
21:00-22:00	-2.49			12:00-13:25	0.05		22:00-23:00	-0.31		
22:00-23:00	-2.48			10:00-11:00	0.07		17:20-18:00	-0.30		
18:00-19:00	-2.46			06:10-07:00	0.08		20:00-21:00	-0.30		
23:00-24:00	-2.45			11:00-12:00	0.09		18:00-19:00	-0.30		
11:00-12:00		-0.32		07:00-08:00	0.12		03:00-04:00		0.00	
10:00-11:00		-0.25		23:00-24:00		3.79	11:00-12:00			0.13
09:00-10:00		-0.23		21:00-22:00		3.88	12:00-13:25			0.15
06:10-07:00		-0.23		20:00-21:00		3.91	08:00-09:00			0.15
12:00-13:25		-0.22		19:00-20:00		3.91	10:00-11:00			0.15
08:00-09:00		-0.22		22:00-23:00		3.92	09:00-10:00			0.15
07:00-08:00		-0.18		17:20-18:00		3.95	06:10-07:00			0.18
03:00-04:00			-0.01	18:00-19:00		3.99	07:00-08:00			0.20
Sig.	0.47	0.51	1.00	Sig.	0.80	0.42	Sig.	0.98	1.00	0.57

Tablolar incelendiğinde, farklı GNSS değerlendirme hizmetlerine dayalı olarak oluşturulan alt gruplarda, tüm koordinat eksenleri boyunca koordinatlar benzer özellik göstermektedir. Farklı veri saat aralığına göre oluşturulan alt gruplarda X ve Z koordinat eksenleri boyunca bulunan sonuçlar, ilk deprem öncesi, ilk ve ikinci depremler arası ve ikinci deprem sonrası olarak farklılık göstermektedir. Y koordinat eksenleri boyunca bulunan sonuçlar ise ikinci deprem öncesi ve ikinci deprem sonrası olarak birbirinden farklı özellik göstermektedir.

4 Sonuçlar

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'nin Kahramanmaraş merkezli meydana gelen büyük depremlerinin yer kabuğu hareketleri üzerindeki etkilerini, internet tabanlı GNSS değerlendirme servisleri aracılığıyla detaylı bir şekilde analiz etmeyi amaçlamıştır. Araştırmada, Deprem bölgesindeki TUSAGA-Aktif ağına bağlı 14 sabit istasyondan elde edilen veriler, CSRS-PPP, MagicGNSS ve Trimble RTX yazılımlarıyla analiz edilmiştir. Bunun yanı sıra, depremden en fazla etkilenen EKZ1 istasyonuna ait 06/02/2023 tarihindeki deprem günü verileri, farklı saat aralıklarında bu yazılımlar kullanılarak incelenmiştir. X, Y ve Z koordinatlarına yönelik yapılan analizlerde, hem parametrik (ANOVA) hem de nonparametrik (Kruskal-Wallis) yöntemler uygulanmış; bu yöntemler ile deprem öncesi, sırası ve sonrası dönemlerde meydana gelen konumsal değişiklikler istatistiksel olarak incelenmiştir.

Analiz sonuçları, özellikle Y koordinat eksenini boyunca belirgin yer değişimlerinin meydana geldiğini, Z koordinat eksenindeki değişimlerin ise görece sınırlı kaldığını göstermiştir. Saatlik bazda yapılan incelemeler EKZ1 istasyonunda deprem öncesi, iki deprem arası ve depremler sonrası dönemde meydana gelen konumsal değişikliklerin istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar içerdiğini ortaya koymuştur. Bu durum, büyük depremlerin yer kabuğu hareketleri üzerindeki etkilerini anlık olarak izlemek ve değerlendirmek için GNSS değerlendirme servislerinin denli etkili olduğunu göstermektedir.

Çalışmada kullanılan internet tabanlı GNSS yazılımları arasında yapılan karşılaştırmalarda, sonuçların genel olarak uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, CSRS-

PPP'in diğer servislere göre daha stabil ve güvenilir sonuçlar sunduğu gözlemlenmiştir. Trimble RTX' ve MagicGNSS'in X ve Y koordinat eksenleri boyunca hareketlerin değerlendirilmesinde daha az kararlı sonuçlar ürettiği görülmüş, ancak Z koordinat eksenini ölçümlerinde tüm yazılımların benzer doğruluklar sunduğu ve bir tutarlılık sağladığı tespit edilmiştir.

Farklı veri saat aralıklarında yapılan analizler, iki büyük deprem öncesi ve sonrası dönemlerde konumsal farklılıkların istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle deprem öncesi, iki deprem arası ve ikinci deprem sonrası dönemlerde elde edilen koordinat değerleri, farklı özellikler sergilemiştir. Bu çalışma ile bulunan sonuçlar, GNSS değerlendirme servislerinin afet sonrası yer kabuğu hareketlerinin detaylı analizinde yüksek doğruluk sağladığını ve bu teknolojinin deprem gibi büyük ölçekli doğal afetlerin etkilerinin hızlı ve etkili bir şekilde izlenmesi için vazgeçilmez bir araç olduğunu göstermektedir. GNSS teknikleri, afet yönetimi, yeniden yapılandırma süreçleri ve bilimsel araştırmalar için kritik öneme sahiptir. Bu sonuçlar, deprem sonrası yer kabuğu hareketlerinin dinamik yapısını anlamada GNSS teknolojilerinin değerini açıkça ortaya koymaktadır.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %10

Kaynaklar

- [1] B. Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger and E. WasleD, GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more, Springer Science & Business Media, 2007.
- [2] E. D. Kaplan and C. J. Hegarty, Understanding GPS: Principles and Application, Londra: Artech House, 2006.
- [3] Natural Resources Canada, CSRS-PPP Service, <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>, Accessed 23 March 2023.
- [4] GMV, MagicGNSS Software, <https://magicgnss.gmv.com/>, Accessed 13 March 2023.

- [5] Trimble Inc., Trimble RTX Technology, <https://positioningservices.trimble.com/> , Accessed 03 March 2023.
- [6] P. Misra and P. Enge, Global positioning system: signals, measurements & performance, IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine, 17(10), 36-37, 2002.
- [7] D. Diouf, M. Ndiaye and L. Morel, Precise point positioning and differential solutions by online GNSS calculation tools and RTKLIB: a comparative study. International Journal of Geosciences, 14(2), 226-237 2023. <https://doi.org/10.4236/ijg.2023.142011>
- [8] M. F. Elrewiny, F. H. Zarzoura, and M. El-Mewafi. New Online Approach for Real-Time Precise Point Positioning GNSS Processing. Mansoura Engineering Journal, 49(3), 7, 2023.
- [9] A. El Shouny and Miky, Y. (2019). Accuracy assessment of relative and precise point positioning online GPS processing services. Journal of Applied Geodesy, 13(3), 215-227. <https://doi.org/10.1515/jag-2018-0046>
- [10] S. İnyurt ve M. Ulukavak, Web tabanlı GNSS Yazılımlarının (CSRS-PPP, Trimble-RTX) Performansının Araştırılması, Geomatik, 5(2), 120-126, 2020. <https://doi.org/10.29128/geomatik.586990>
- [11] S. Alçay ve H. İ. İmren, OPUS ve AUSPOS web-tabanlı GPS değerlendirme servislerinin farklı gözlem süreleri için doğruluk performanslarının incelenmesi, Omer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences, 6(2), 452-466, 2017. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.341282>
- [12] Ş. Ş. Yaşar ve E. E. Eyübagil, 23.11.2022 Gölyaka-Düzce Depreminde TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Davranışlarının İncelenmesi, Afyon Kocatepe University Journal of Science and Engineering, 23, 712-721, 2023. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.12>
- [13] A. C. Uçarlı ve B. Bilgen, Otonom araçlarda çoklu GNSS uydusu sistemleri kullanımının konum doğruluğuna etkisinin araştırılması, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 11(1), 109-115, 2022. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1082124>
- [14] G. Başkan, Karakoçan ve Halepçe depremlerinin TUSAGA-Aktif istasyonlarına etkilerinin web tabanlı GNSS servisiyle incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2018. <https://acikerisim.selcuk.edu.tr/items/1705f5a4-b157-49df-8392-78b0de0db287>
- [15] S. Alçay ve Ö. F. Atiz, Farklı yazılımlar kullanılarak gerçek zamanlı hassas nokta konum belirleme (RT-PPP) yönteminin performansının incelenmesi, Geomatik, 8(1), 77-83, 2021. <https://doi.org/10.29128/geomatik.687709>
- [16] S. Bülbül, C. İnal ve B. Bilgen, Mevsimsel değişimlerin hassas nokta konumlamaya etkisi, Konya Journal of Engineering Sciences, 10(2), 274-286, 2022. <https://doi.org/10.36306/konjes.1024445>
- [17] 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. <https://doi.org/10.29128/geomatik.809826>
- [18] S. Alçay ve C. Ö. Yiğit, CSRS-PPP, MagicGNSS and APPS Web Tabanlı Yazılımların Statik PPP Modüllerinin Karşılaştırılması, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 5(1), 1-12, 2013.
- [19] R. M. Alkan, İ. M. Ozulu ve V. İlçi, Deniz Uygulamalarında Hassas Nokta Konumlama Tekniğinin (PPP) Kullanılabilirliği Üzerine Bir Araştırma, Harita Dergisi, 154, 1-10, 2015.
- [20] R. M. Alkan, V. İlçi ve İ. M. Ozulu, PPP Yönteminde GPS ve GLONASS Uydularının Kullanımının Nokta Konum Doğruluğuna Etkisinin Araştırılması, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(2), 27-34, 2014.
- [21] K. Gümüş, C. T. Çelik ve M. G. Gümüş, A statistical investigation on the effects of different GNSS systems, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12(2), 432-442, 2023. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1198208>
- [22] A. Pırtı ve D. Yazıcı, İnternet tabanlı GNSS yazılımlarının doğruluk açısından değerlendirilmesi, Geomatik Dergisi, 7(2), 88-105, 2022. <https://doi.org/10.29128/geomatik.882843>
- [23] M. Şimşek, S. Özarpacı ve U. Doğan, Yer Kabuğu Hareketlerinin Belirlenmesinde Web Tabanlı Çevrimiçi GNSS Servislerinin Performans Analizi, Geomatik Dergisi, 4(2), 147-159, 2019. <https://doi.org/10.29128/geomatik.511758>
- [24] B. Konakoğlu ve A. Akar, Sivrice-Elazığ Depreminin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Olan Etkisinin Web Tabanlı GPS Yazılımları İle İrdelenmesi, Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13(2), 693-718, 2020. <https://doi.org/10.18185/erzifbed.710158>
- [25] İ. Ç. Baş ve R. A. Abbak, 30 Ekim 2020 Ege Denizi depreminin kabuk deformasyonuna etkisinin TUSAGA-Aktif verileri ile incelenmesi, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 14(2), 450-463, 2024. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1366028>
- [26] E. E. Eyübagil, Ş. Ş. Yaşar, E. B. Çakanşimşek, H. Duman, H. İ. Solak, A. Özkan, C. Gezgin, H. H. Yavaşoğlu, İ. Tiryakioğlu, F. Poyraz, B. Aktuğ, C. Ö. Yiğit, Ç. Özkaymak ve H. Özener, 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23, 160-176, 2023. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1251601>
- [27] D. Ö. Demir, Trimble RTX servisi kullanılarak uydusu kombinasyonlarının hız kestirimine etkisinin incelenmesi, Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi, 11(1), 68-79, 2024. <https://doi.org/10.9733/JGG.2024R0006.T>
- [28] D. Ö. Demir ve Ö. Güneş, 29 Temmuz 2021 Mw= 8.2 Chignik, Alaska Peninsula depremi

- deformasyonlarının bağıl konum belirleme servis sonuçları ile incelenmesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 13(2), 575-581, 2024. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1387411>
- [29] United States Geological Survey (USGS), Magnitude 2.5+ Earthquakes, Past Day, , <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/>, Accessed 10 November 2023.
- [30] Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı - Aktif, Tusaga Aktif, <https://www.tusaga-aktif.gov.tr> , Accessed 20 January 2024.
- [31] EUREF Permanent GNSS Network, Royal Observatory Of Belgium, https://www.epncb.oma.be/_productservices/coord_trans/ , Accessed 13 February 2024.
- [32] B. G. Tabachnick, L. S. Fidell and J. B. Ullman, Using multivariate statistics, Boston, MA: Pearson, 2013.
- [33] A. Field, Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics (4. baskı), Sage Publications, 2013.
- [34] D. J. Sheskin, Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures (4. baskı), Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 2007. <https://doi.org/10.1201/9781420036268>
- [35] W. J. Conover, Practical Nonparametric Statistics (3. baskı), New York: John Wiley & Sons, 1999.

