



## 29 Temmuz 2021 Mw=8.2 Chignik, Alaska Peninsula depremi deformasyonlarının bağıl konum belirleme servis sonuçları ile incelenmesi

### Investigating the results of relative GNSS services with the July 29, 2021 Mw 8.2 Chignik, Alaska Peninsula earthquake

Deniz Öz Demir<sup>1,\*</sup>, Özge Güneş<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, Türkiye

#### Öz

Bu çalışmada internet tabanlı bağıl konumlama GNSS veri değerlendirme servislerinin kullanımının IGS ağında koordinat değerleri açısından istatistiksel olarak karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, 29 Temmuz 2021'de Alaska'da Mw=8.2 büyüklüğünde gerçekleşen deprem ele alınmıştır. Depremin meydana geldiği Alaska-Aleut bölgesinde yer alan 8 IGS istasyonu seçilmiştir. Bu istasyonların deprem gününü de içeren 15 günlük zaman serileri AUSPOS ve OPUS internet tabanlı GNSS veri değerlendirme servislerinden elde edilen koordinatlar kullanılarak elde edilmiştir. Depremin gerçekleştiği noktaya yakın olan istasyonlarda yatayda 40 cm'ye; düşeyde ise 10 cm'ye varan deformasyon büyüklükleri elde edilmiştir. Her iki servisten elde edilen toposentrik koordinat bileşenlerindeki farkların dağılımı sıfır etrafında toplanırken; en büyük farklar kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik bileşenleri için sırasıyla yaklaşık 5 cm; 7 cm ve 2.5 cm'dir. Söz konusu bu farkların istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için istatistiksel test uygulanmıştır. Test sonucunda, internet tabanlı servislerden elde edilen toposentrik koordinat bileşenleri arasındaki farkların anlamsız olduğu bulunmuştur.

**Anahtar kelimeler:** GNSS, Deprem, Bağıl konum belirleme, Doğruluk, Anlamlılık testi

#### 1 Giriş

İnternet tabanlı Global Navigation Satellite System (GNSS) konum belirleme servisleri günümüzde klasik haritacılık çalışmalarından akademik çalışmalara kadar pek çok farklı alanda aktif olarak tercih edilmektedir. Pek çok üniversite ve organizasyon tarafından bağıl veya hassas nokta konum belirleme (Precise Point Positioning, PPP) çözüm yöntemlerini benimseyen internet tabanlı servisler kullanıma sunulmuştur. Kullanıcı dostu arayüze sahip olması, ücretsiz erişimli olarak sunulması ve güncel gelişmelere göre iyileştirilmelerin sağlanması bu servislerin avantajlarından bazılarıdır. Literatürde bahsedilen bu servisler kullanılarak yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Bunlardan en eski ve bilinenlerinin başında Ghoddousi-Fard ve Dare [1] gelmektedir. Ghoddousi-Fard ve Dare [1] seçtikleri GNSS istasyonlarının veri setlerini, bağıl konum belirleme yapan Australian Online Global

#### Abstract

In this study, we aimed to perform a statistical comparison of web-based relative positioning GNSS data processing services concerning coordinate values within the IGS network. To achieve this goal, we focused on the earthquake that struck Alaska on July 29, 2021, with a magnitude of Mw=8.2. We selected 8 IGS stations located in the Alaska-Aleut region, where the earthquake occurred. We used the AUSPOS and OPUS web-based GNSS data processing services to obtain 15-day time series, including the day of the earthquake. At stations near the earthquake's epicenter, we observed horizontal deformations of up to 40 cm and vertical deformations of 10 cm. The distribution of differences in the topocentric coordinate components obtained from both services predominantly centered around zero. However, the substantial differences were approximately 5 cm for the north-south component, 7 cm for the east-west component, and 2.5 cm for the height component. To assess the statistical significance of these differences, we conducted a statistical test. The test results indicate that the differences in the topocentric coordinate components obtained from web-based services are not statistically significant.

**Keywords:** GNSS, Earthquake, Relative point positioning, Accuracy, Significance test

Positioning System Processing Service (AUSPOS), Scripps Coordinate Update Tool (SCOUT), Online Positioning User Service (OPUS) ile PPP çözümü yapan Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning (CSRS-PPP) ve Auto-GIPSY servisleri ile analiz etmişlerdir. Çift frekanslı alıcıdan elde edilmiş 10 saatten daha uzun veri seti ile kullandıkları tüm servislerden benzer sonuçlar elde ettiklerini ifade etmişlerdir. Ebner ve Featherstone [2] Güneybatı Avustralya'da bulunan 40'tan fazla GNSS noktasından oluşan veri setini, PPP çözümü yapan CSRS-PPP servisinden ve bağıl çözüm yapan Bernese akademik bir yazılımından elde ettiği sonuçları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Tsakiri [3]'de hem bağıl hem de PPP yöntemine göre çözüm yapan servislerin doğruluğu gözlem süresine göre karşılaştırılmıştır. Devam eden yıllardan günümüze kadar pek çok çalışma literatürde yer almıştır. Bu çalışmaların bir kısmı El-Mowafy [4], Wang ve Soler [5],

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: denizoz@yildiz.edu.tr (D. Öz Demir)

Geliş / Received: 07.11.2023 Kabul / Accepted: 06.02.2024 Yayımlanma / Published: 15.04.2024

doi: 10.28948/ngumuh.1387411

Öcalan vd. [6], EL-Hattab [7], Dawidowicz ve Krzan [8], Guo [9], Alkan vd. [10], Yiğit vd. [11], Alçay ve İmren [12], Jamieson ve Gillins [13], Aydın vd. [14], Şimşek vd. [15], Gökdaş ve Özlüdemir [16], İnal vd. [17], Güneş ve Demir [18] ve Gümüş vd. [19] olarak sıralanabilmektedir.

Çalışmalarda çoğunlukla en uygun koşullarda elde edilen GNSS verileri analiz edilmiş ve servislerden elde edilen koordinat farkları karşılaştırılmıştır. Burada en uygun koşul ile iyonosferik etkinin en az olduğu, tektonik hareketliliğin olmadığı dolayısıyla sonuçların dış faktörlerden çok fazla etkilenmeyeceği durumlar ifade edilmek istenmektedir [18]. Bu çalışmada ise ideal olmayan koşul olarak tanımlanabilecek bir deprem örneği üzerinde, bağıl konum belirleme servislerinin kullanımının karşılaştırılması amaçlanmıştır. Alaska'da bulunan 8 International GNSS Service (IGS) istasyonundan oluşan ağda, 2021 yılında Mw=8.2 büyüklüğünde meydana gelen depremi de kapsayan 15 günlük veri seti AUSPOS ve OPUS servisleri kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar arasındaki farkların anlamlılığı istatistiksel açıdan ele alınmıştır. Çalışma, veri setinin ve kullanılan internet tabanlı servislerin tanıtıldığı Materyal ve Metot; analizlerin gerçekleştirildiği ve bulguların tartışıldığı Bulgular ve tartışma ile devam etmekte ve Sonuçlar başlığı ile tamamlanmaktadır.

## 2 Materyal ve metot

GNSS gözlemleri ile konum belirleme çalışmalarında uygulanan klasik yöntemlerden biri bağıl konum belirlemedir. Bağıl konum belirleme, akademik yazılımlarla ile yapılabildiği gibi internet tabanlı yazılımlar ile de kolayca gerçekleştirilebilmektedir (AUSPOS, OPUS ve SCOUT bu amaçla kullanılan en bilinen servislerdendir). Bağıl konum belirlemede çözümün yapılabilmesi için öncelikli olarak yeterli referans nokta kümesine ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca iyonosferik ve atmosferik modellemeler, hassas yörünge bilgileri ve saat hataları gibi farklı hata kaynaklarını elimine etmek için çeşitli modeller kullanılmalıdır. Akademik yazılımlar ile analizler gerçekleştirilirken bahsedilen bu aşamaların tümü kullanıcı tarafından belirlenebilirken; internet tabanlı servisler ile yapılan analizlerde genellikle sadece gözlem dosyasının sisteme yüklenmesi yeterli olmaktadır. Servisler kendi algoritmalarına göre hata kaynaklarını elimine etmek için farklı modeller uygulamakta ve referans nokta kümesini de analiz edilecek noktaya göre seçmektedir. Aşağıda bu çalışma kapsamında kullanılan AUSPOS ve OPUS servislerinin çalışma prensibi hakkında bilgi verilmektedir.

### • AUSPOS

AUSPOS, Geoscience Australia tarafından sağlanan ücretsiz bir internet tabanlı Global Positioning System (GPS) veri işleme servsidir [20]. Analizler arka planda Bernese v5.2 [21] akademik yazılımında gerçekleştirilmekte, IGS istasyonlarından ve ürünlerinden faydalanılmaktadır. Kullanıcılardan sadece çift frekanslı alıcılar tarafından statik olarak toplanan GPS gözlemlerinin Receiver Independent Exchange Format (RINEX) dosya formatında sisteme yüklenmesi istenmektedir. Ağ çözümünde referans olarak kullanılacak istasyonların seçimi servis tarafından otomatik olarak yapılmakta, kullanıcıya seçim hakkı

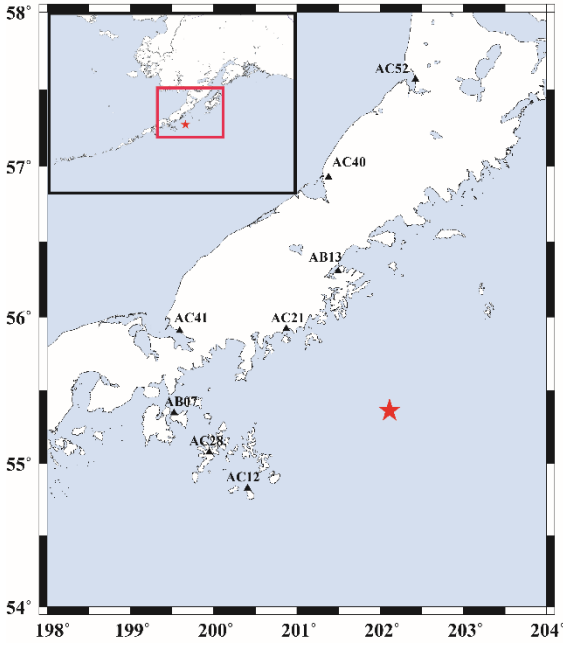
sunulmamaktadır. Referans nokta kümesinin seçilmesinde, analizi yapılacak noktaya en yakın 15 IGS ve Asia-Pacific Reference Frame (APREF) noktası seçilmekte ve veri setleri Geoscience Australia GNSS veri arşivinden temin edilmektedir. Daha sonra bu istasyonlar kullanılarak ikili fark alma tekniği kullanılarak bağıl çözüm, Bernese v5.2 yazılımında tamamlanmaktadır.

Verilerin değerlendirilmesinde hassas IGS14 yörünge bilgilerinin yanı sıra, iyonosferik modellemede L1 ve L2 frekanslarının iyonosfer içermeyen lineer kombinasyonu oluşturularak birinci dereceden etki ortadan kaldırılmaktadır. İkinci ve üçüncü dereceden iyonosferik düzeltmeler de uygulanmaktadır. Islak ve kuru troposferik düzeltmeler için de Global Mapping Function (GMF) fonksiyonu kullanılmaktadır. Değerlendirme sonuçları kullanıcılara e-posta aracılığıyla iletilmektedir. İletilen sonuç raporunda, referans olarak kullanılan istasyon bilgileri ve analiz sonuçları International Terrestrial Reference Frame 2014 (ITRF14) referans sisteminde kartezyen, coğrafi ve Universal Transverse Mercator (UTM) koordinatlar ile sağlanmaktadır. Sonuçların güvenilirliği %95 olasılık ile sadece coğrafi koordinatlar için verilmektedir.

### • OPUS

OPUS, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)'ya bağlı National Geodetic Survey (NGS) tarafından yürütülen ücretsiz internet tabanlı GPS veri değerlendirme servsidir [22]. Sadece çift frekanslı alıcılardan toplanan GPS gözlemlerinin işlendiği serviste kullanıcılara hem statik hem de hızlı-statik analiz yapma seçeneği sunulmaktadır. Statik değerlendirmeler için arka planda Program for Adjustment of GPS Ephemerides (PAGES) yazılımı kullanılmaktadır [23]. İkili fark yöntemine göre yapılan bağıl değerlendirmede L1 ve L2'nin iyonosfer içermeyen lineer kombinasyonu oluşturularak birinci dereceden etki ortadan kaldırılmaktadır. Islak ve kuru troposferik düzeltmeler için Niell Mapping Function (NMF) [24] fonksiyonu kullanılmaktadır. Referans nokta seçimi analizi yapılacak noktaya en yakın IGS istasyonlarından (genellikle 3 istasyon) seçilmektedir. Değerlendirmelerin yapılabilmesi için kullanıcılar tarafından RINEX formatında dosyaları sisteme yüklemesi, anten tipi ve yüksekliği bilgisinin girilmesi yeterlidir. Sadece, Amerika'da bulunan noktaların analizinde referans nokta seçiminde kullanılacak ya da kullanılmayacak IGS noktası bilgi girişi kullanıcı seçimine de sunulmaktadır. Sonuç koordinatlar, üç bağımsız baz çözümünün ortalaması olarak elde edilmekte ve e-posta aracılığıyla kullanıcılara gönderilmektedir. Sonuç dosyasında North American Datum of 1983 (NAD83) ve ITRF14 referans sisteminde kartezyen ve coğrafi koordinatlar standart sapma bilgileri ile yer almaktadır. Bunların dışında UTM koordinatları ile referans olarak seçilen noktaların bilgisi de gönderilmektedir.

Bu çalışmada AUSPOS ve OPUS servisleri kullanılarak 2021-07-29 06:15:49 (UTC) tarihinde 35.0 km derinlikte, Mw=8.2 büyüklüğünde Alaska'da (55.364°N 157.888°W ) [25] meydana gelen depreme ait 8 adet GPS istasyonunun verileri kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışmada alanı (Kırmızı yıldız depremin odak noktasını göstermektedir.)

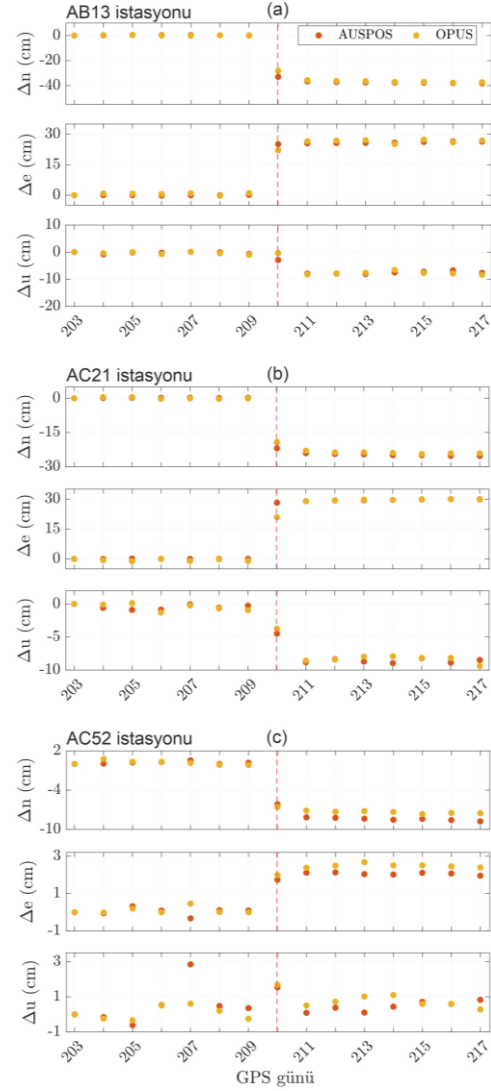
United States Geological Survey (USGS) internet sitesinden alınan bilgiye göre, Alaska yarımadasının güneyinde meydana gelen deprem Pasifik ve Kuzey Amerika levhası arasındaki dalma zonu arayüzünde veya yakınında bindirme bir faylanmanın sonucu olarak meydana gelmiştir. 1900'lerden günümüze 29 Temmuz 2021 depreminin 250 km yakınındaki Alaska-Aleut dalma bölgesinde büyüklüğü ( $M_w$ ) 7'den fazla 8 farklı deprem daha meydana gelmiştir. Bunlardan en yakın tarihli olan iki deprem, 22 Temmuz ve 19 Ekim 2020'de gerçekleşen  $M_w=7.8$  ve  $M_w=7.6$  büyüklüğünde meydana gelenlerdir. 29 Temmuz 2021 depreminin 62 km ve 145 km batısında gerçekleşen 2020 depremleri 2021 depremin habercisi olarak görülmüştür. 10 Kasım 1938'de de 29 Temmuz 2021 depreminin 40 km yakınlarında  $M_w=8.2$  büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir [25]. 29 Temmuz 2021 depreminin, 1938 depreminin kırık bölgesini kısmen veya tamamen kırıştılabileceği de yer alan bilgiler arasındadır [25-26].

Şekil 1'de görüldüğü üzere, seçilen istasyonlar depremin meydana geldiği bölgede yer almaktadır. Deprem sonucu meydana gelen deformasyonun net bir şekilde belirlenebilmesi için deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası zaman dilimlerini de içeren 22.07.2021-05.08.2021 tarihleri arasında 15 günlük bir veri seti seçilmiştir. Buna göre, istasyonlara ait zaman serileri oluşturulmuştur. Her bir IGS istasyonu verisi hem AUSPOS hem de OPUS servislerinde tüm günler için değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Bulgular ve tartışma bölümünde verilmiştir.

### 3 Bulgular ve tartışma

AUSPOS ve OPUS servisleri aracılığıyla yapılan değerlendirmeler, sadece GPS uydularının dikkate alındığı ITRF14 referans sisteminde ve ölçü epöğünde gerçekleştirilmiştir. AUSPOS, 14 farklı istasyonu geniş bir

alanda seçerken, OPUS en yakındaki 3 istasyonu referans olarak seçmiştir. İnternet tabanlı servislerden elde edilen kartezyen koordinatlar, depremden kaynaklı meydana gelen deformasyonların daha iyi gözlenebilmesi için toposentrik ( $\Delta n$ /kuzey-güney;  $\Delta e$ /doğu-batı ve  $\Delta u$ /yükseklik) koordinat sistemine dönüştürülmüştür. AUSPOS ve OPUS zaman serilerinin tüm koordinat bileşenlerinde benzer özellikte olduğu görülmüştür. Şekil 2'de, AB13, AC21 ve AC52 IGS istasyonlarının zaman serileri örnek olarak verilmektedir.



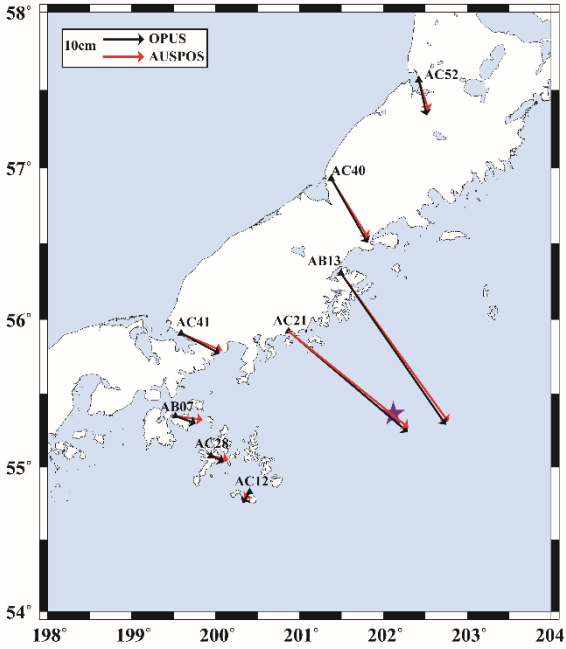
Şekil 2. AUSPOS ve OPUS servislerinden elde edilen yerel koordinatlar zaman serisi (a) AB13, (b) AC21 ve (c) AC52 IGS istasyonları (Kırmızı kesikli çizgi depremi göstermektedir.)

AB13 ve AC21 depremin odak noktasına en yakın istasyonlardan ikisidir. Şekil 2a'da AB13'ün zaman serisi incelendiğinde AUSPOS ve OPUS servislerinin depremin meydana geldiği gün, koordinat bileşenlerinde meydana gelen sıçramaları yakaladığı görülmektedir. AB13 istasyonunda servislerden elde edilen koordinat bileşenleri arasındaki en büyük fark kuzey-güney bileşeninde yaklaşık 5 cm olarak elde edilmiştir. Yatay koordinat bileşenlerinde,

düşey bileşene göre daha fazla değişimin olduğu belirlenmiştir.

Şekil 2b’de AC21 noktasının zaman serisine bakıldığında, yatay koordinat bileşenlerdeki yer değiştirmenin düşey bileşene göre daha büyük olduğu görülmektedir. Doğu-batı koordinat bileşeninde, kullanılan veri değerlendirme servislerinden elde edilen koordinat değerleri arasında yaklaşık 7 cm’lik bir fark olduğu görülmektedir. Depreme en uzak istasyonlardan biri olan AC52’de ise diğer noktalara göre daha az deformasyon meydana geldiği ve servislerden elde edilen sonuçlar arasındaki farkların en fazla yaklaşık 2 cm ile düşey bileşende olduğu elde edilmiştir.

İnternet tabanlı servisler ile yapılan değerlendirmeler sonucunda elde edilen yerel koordinatlar ile toplam deformasyon büyüklükleri hesaplanmıştır. En büyük yer değiştirmenin AB13 istasyonunda meydana geldiği ve yatay bileşende 40 cm’ye düşeyde ise 10 cm’ye varan deformasyon büyüklüklerinin olduğu görülmüştür (Şekil 3).

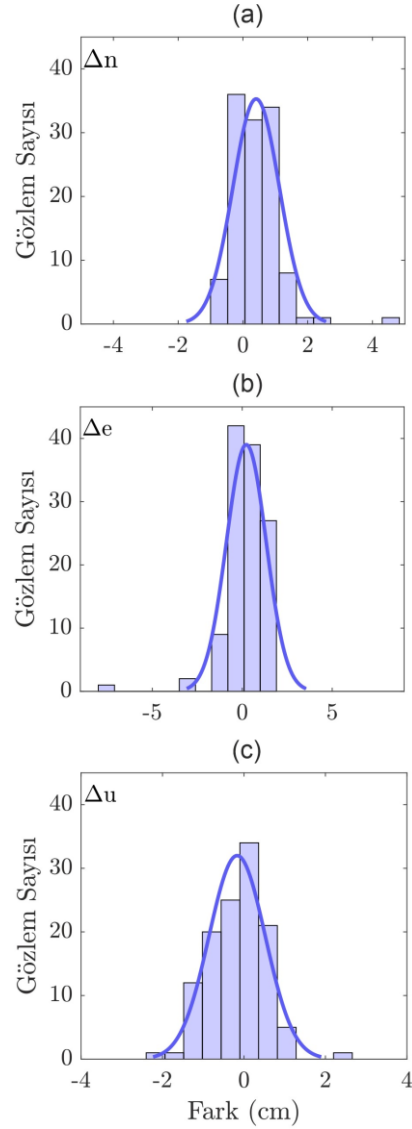


Şekil 3. OPUS ve AUSPOS servislerinden elde edilen deformasyon büyüklükleri

Liu vd. [27] içerisinde AB13 IGS istasyonunun da bulunduğu bir ağ ile analizler gerçekleştirmiştir. GNSS değerlendirmelerinin CSRS-PPP ile yapıldığı çalışma ile deformasyon büyüklüklerinin uyumlu olduğu söylenebilmektedir. AB13 istasyonundan sonra en büyük deformasyon, AC21’de meydana gelmiştir. Yatayda 30 cm, düşeyde ise yine 10 cm’ye varan yer değiştirmeler burada da gerçekleşmiştir. Depremi odak noktasından uzaklaştıkça ise deformasyonların azaldığı görülmektedir.

İnternet tabanlı servislerden elde edilen yerel koordinat bileşenleri arasındaki farklar, tüm istasyonlardaki zaman serileri için birlikte ele alınmış ve 120 gözlem (8 istasyon için 15’er günlük verileri) oluşmuştur. Elde edilen farkların dağılımı Şekil 4a, 4b ve 4c’de sırasıyla kuzey-güney, doğu-batı ve yükseklik bileşenleri için verilmektedir. Tüm

koordinat bileşenlerinde internet tabanlı servisler arasındaki farklar sıfır değeri etrafında toplanmaktadır ve normal dağılımla uyumludur. Yatay koordinat bileşeninde görülen en büyük farklılıklar AB13 ve AC21 istasyonlarında deprem gününde meydana gelen sızramalardan dolayı meydana gelmektedir.



Şekil 4. AUSPOS ve OPUS servislerinden elde edilen yerel koordinatlar arasındaki farkların dağılımı (a, b ve c sırasıyla  $\Delta n$ ,  $\Delta e$  ve  $\Delta u$  bileşenlerine ait fark grafiklerini göstermektedir.)

Histogramlardan elde edilen normal dağılım, servisler arasında meydana gelen farklılıkların anlamsız olduğunu ifade etmektedir. Ancak AUSPOS ve OPUS servislerinden elde edilen sonuçlar, ortalama değerleri ve varyansları farklı olan iki bağımsız popülasyonu temsil etmektedir. Servisler arasındaki en önemli ayırım Materyal ve Yöntem bölümünde açıklandığı üzere, AUSPOS servisinden gelen sonuçlarda kartezyen koordinatlara ait standart sapma bilgisinin olmamasıdır. Bu nedenle, servisler arasındaki farkların istatistiksel olarak da açıklanabilmesi için varyansların



bilinmediği ve eşit olmadığı duruma uygun olan bir istatistiksel test yapılmıştır. İlk olarak, iki farklı popülasyona ait  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  değerlerinin eşit olmadığını savunan  $H_0 : \mu_1 - \mu_2 = d_0$  hipotezi kurulmuştur. Burada  $\mu_1$  ve  $\mu_2$  sırasıyla OPUS ve AUSPOS servislerinden her bir IGS istasyonu için elde edilen sonuçların beklenen ortalama değerlerini gösterirken,  $d_0$  bu iki değer arasında beklenen farkı temsil etmektedir. Bu durumda, t-dağılımının serbestlik derecesine yaklaşır ve aşağıdaki denklemler elde edilir [28]:

$$T' = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{\sqrt{(s_1^2 / n_1) + (s_2^2 / n_2)}} \quad (1)$$

$$\nu = \frac{(s_1^2 / n_1 + s_2^2 / n_2)^2}{[(s_1^2 / n_1)^2 / (n_1 - 1)] + [(s_2^2 / n_2)^2 / (n_2 - 1)]} \quad (2)$$

Burada  $\nu$ , Satterthwaite yaklaşımına göre serbestlik derecesi olarak ifade edilmektedir [29].

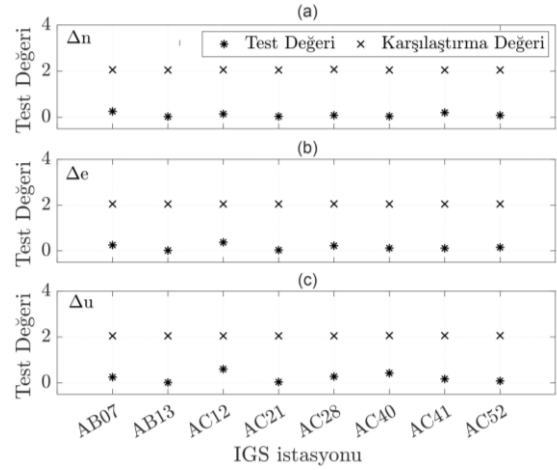
Yukarıda verilen denklemlerde  $\bar{X}_1$  ve  $\bar{X}_2$  iki popülasyonun ortalama değerlerini temsil ederken,  $s_1^2$  ve  $s_2^2$  popülasyonlardaki varyansları,  $n_1$  ve  $n_2$  ise popülasyonlar için ölçüm sayısını göstermektedir.

$T'$  istatistiği kullanılarak hesaplanan test değeri aşağıdaki dağılıma göre değerlendirilir:

$$P(-t_{\alpha/2} < T' < t_{\alpha/2}) \approx 1 - \alpha \quad (3)$$

Burada  $t_{\alpha/2}$ ,  $\nu$  serbestlik derecesi ile t-dağılımını göstermektedir [28]. Eşitliklere göre elde edilen test değerleri ilgili güven sınırı ile karşılaştırıldığında  $|T'| < t_{\nu, 1-\alpha/2}$  ise yani test değeri ( $T'$ ) karşılaştırma değerinden ( $t_{\nu, 1-\alpha/2}$ ) küçük ise değerler arasındaki fark anlamsızdır olarak yorumlanmaktadır [30].

$H_0 : \mu_1 - \mu_2 = d_0$  hipotezi servislerden beklenen değerlerin eşit olduğu yani  $H_0 : d_0 = 0$  olduğu durum için kurulmuştur. Buna göre, her bir IGS istasyonu için  $\bar{X}_1$  ve  $\bar{X}_2$  ile ifade edilen OPUS ve AUSPOS yerel koordinat bileşenlerine ait ortalamalar ile bunların  $s_1^2$  ve  $s_2^2$  ile temsil edilen varyansları hesaplanmıştır. Gözlem sayısını belirten  $n_1$  ve  $n_2$  ise zaman serisinin uzunluğuna eşit olup 15 olarak alınmıştır. Sonuçlar,  $\alpha = \%5$  yanılma olasılığı ile tüm IGS istasyonları için elde edilmiştir. Şekil 5'teki grafikte "x" karşılaştırma değerini ( $t_{\nu, 0.05/2}$ ), "\*" ise test değerini ( $T'$ ) temsil etmektedir. Tüm IGS istasyonlarında her bir yerel koordinat bileşeni için sonuçlar incelendiğinde, test değerlerinin karşılaştırma değerlerinden küçük olduğu elde edilmekte ve  $H_0 : d_0 = 0$  hipotezi  $\%95$  güven düzeyi ile kabul edilmektedir. Bu durum, OPUS ve AUSPOS servis değerlendirmelerinin özdeş olduğunu ve istatistiki açıdan bir farklılık olmadığını ifade etmektedir.



Şekil 5. Toposentrik koordinatlar ile istatistiksel test (a, b ve c sırasıyla  $\Delta n$ ,  $\Delta e$  ve  $\Delta u$  bileşenlerine ait olmak üzere x : t dağılımının  $\%95$  olasılıklı güven sınırı değeri; \* : test değerini göstermektedir.)

Analiz sonuçlarının sayısal değerleri daha ayrıntılı olarak Tablo 1'de gösterilmektedir. Karşılaştırma değerlerinin ortalaması 2,05 olarak elde edilirken, test değerleri 0,02 ile 0,60 arasında değişmektedir.  $\Delta n$  ve  $\Delta e$  yatay koordinat bileşenleri için test değerlerinin ortalaması sırasıyla 0,11 ve 0,16'dır. En büyük test değerleri ise 0,25 ve 0,37 olmak üzere sırasıyla AB07 ve AC12 istasyonlarından gelmektedir.  $\Delta u$  düşey koordinat bileşeni ise, tüm test değerleri arasında en büyük değere (0,60) sahiptir. Ortalama olarak bakıldığında ise 0,23 ile düşey bileşen yine diğer koordinat bileşenlerinin ortalamasından daha büyük bir değere sahiptir.

Tablo 1. Test değerleri (Parantez içindeki değerler, ilgili test değerlerinin karşılaştırma değeridir.)

	$ T'_{\Delta n} $	$ T'_{\Delta e} $	$ T'_{\Delta u} $
Minimum	0,02 (2,05)	0,02 (2,05)	0,01 (2,05)
Maksimum	0,25 (2,08)	0,37 (2,06)	0,60 (2,06)
Ortalama	0,11 (2,05)	0,16 (2,05)	0,23 (2,05)

#### 4 Sonuçlar

Bu çalışmada bağıl konum belirleme yöntemine göre değerlendirme yapan AUSPOS ve OPUS internet tabanlı veri değerlendirme servislerinin karşılaştırılması ideal olmayan koşullar içinde yer alan Mw=8.2 büyüklüğünde meydana gelen bir deprem örneği için ele alınmıştır. Alaska'da seçilen 8 IGS istasyonundan oluşan 15 günlük veri seti 2021 yılının 203-217. GPS günlerini kapsamaktadır.

İnternet tabanlı değerlendirme servislerinden elde edilen 3 boyutlu kartezyen koordinatlar, yerel koordinat sistemine dönüştürülerek yatay ve düşey bileşenler ile analizler gerçekleştirilmiştir. Öncelikli olarak depremin meydana getirdiği deformasyonlar incelenmiştir. AUSPOS ve OPUS servislerinin deprem gününde koordinat bileşenlerinde meydana gelen sıçramaları yakaladığı görülmektedir. En büyük yer değiştirme, depremin gerçekleştiği noktaya en

yakın AB13 ve AC21 istasyonlarında görülmüştür. Tüm istasyonlardaki zaman serileri birlikte ele alındığında internet tabanlı servislerden elde edilen yerel koordinat bileşenleri arasındaki en büyük farklar kuzey-güney bileşeninde yaklaşık 5 cm; doğu-batı bileşeninde yaklaşık 7 cm; yükseklik bileşeninde ise yaklaşık 2,5 cm olarak elde edilmektedir. Farkların dağılımı genel olarak sıfır etrafında toplanmaktadır ve normal dağılımla uyumludur.

İnternet tabanlı servisler arasındaki farkların istatistiksel olarak da araştırılabilmesi amacıyla Walpole vd. 'de [28] verilen ve Satterthwaite yaklaşımına göre [29] elde edilen serbestlik derecesi ile t-dağılımının %95 güven düzeyi için test uygulanmıştır. OPUS ve AUSPOS yerel koordinat bileşenlerine ait ortalamalar ile bunların varyansları hesaplanmış ve servisler arasındaki koordinat farklarının 0 kabul edildiği sıfır hipotezi kurulmuştur. Her bir IGS istasyonu için gerçekleştirilen testte, tüm test değerleri karşılaştırma değerinden küçük çıkmıştır ve %95 güven düzeyi ile sıfır hipotezi kabul edilmiştir. Yani, OPUS ve AUSPOS internet tabanlı servis değerlendirmelerinin özdeş olduğu ve istatistiki açıdan bir farklılık olmadığı gösterilmiştir. Sonuç olarak, internet tabanlı bağlı değerlendirme servislerin 29 Temmuz 2021 Alaska depremi üzerinden yapılan analizlerde ideal olmayan koşullarda da uyumlu sonuçlar verdiği elde edilmiştir.

#### Teşekkür

Yazarlar veri setinin sağlandığı UNAVCO servisine ve MATLAB lisansını sağlayan Yıldız Teknik Üniversitesi Rektörlüğü'ne teşekkür eder. Çizimler Generic Mapping Tools (GMT) yazılımı [31] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

#### Benzerlik oranı (iThenticate): %8

#### Kaynaklar

- [1] R. Ghoddousi-Fard and P. Dare, Online GPS processing services: An initial study. *GPS Solutions*, 10(1), 12-10, 2006. <https://doi.org/10.1007/s10291-005-0147-5>.
- [2] R. Ebner and W.E. Featherstone, How well can online GPS PPP post-processing services be used to establish geodetic survey control networks. *Journal of Applied Geodesy*, 2(3), 149-157, 2008. <https://doi.org/10.1515/JAG.2008.017>.
- [3] M. Tsakiri, GPS Processing Using Online Services. *Journal of Surveying Engineering*, 134(4), 115-125, 2008. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9453\(2008\)134:4\(115\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9453(2008)134:4(115))
- [4] A. El-Mowafy, Analysis of web-based GNSS post-processing services for static and kinematic positioning using short data spans. *Survey Review*, 43(322), 535-549, 2011. <https://doi.org/10.1179/003962611X13117748892074>
- [5] G. Wang and T. Soler, OPUS for Horizontal Subcentimeter-Accuracy Landslide Monitoring: Case Study in the Puerto Rico and Virgin Islands Region. *Journal of Surveying Engineering*, 138(3), 143-153, 2012. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)su.1943-5428.0000079](https://doi.org/10.1061/(asce)su.1943-5428.0000079).
- [6] T. Öcalan, B. Erdogan and N. Tunalioglu, Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques. *Boletim de ciencias geodesicas*, 19(2), 191-207, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702013000200003>.
- [7] A.I. El-Hattab, Assessment of PPP for establishment of CORS network for municipal surveying in Middle East. *Survey Review*, 46(335), 97-103, 2014. <https://doi.org/10.1179/1752270613Y.0000000064>.
- [8] K. Dawidowicz and G. Krzan, Coordinate estimation accuracy of static precise point positioning using online PPP service, a case study. *Acta Geodaetica et Geophysica*, 49(1), 37-55, 2014. <https://doi.org/10.1007/s40328-013-0038-0>.
- [9] Q. Guo, Precision comparison and analysis of four online free PPP services in static positioning and tropospheric delay estimation. *GPS Solutions*, 19(4), 537-544, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10291-014-0413-5>.
- [10] R.M. Alkan, V. İlçi, I.M. Ozulu and M.H. Saka, A comparative study for accuracy assessment of PPP technique using GPS and GLONASS in urban areas. *Measurement*, 69, 1-8, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2015.03.012>.
- [11] C.O. Yigit, M.Z. Coskun, H. Yavasoglu, A. Arslan and Y. Kalkan, The potential of GPS Precise Point Positioning method for point displacement monitoring: A case study. *Measurement*, 91, 398-404, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.05.074>.
- [12] S. Alçay ve H.I. Imren, OPUS ve AUSPOS web-tabanlı GPS değerlendirme servislerinin farklı gözlem süreleri için doğruluk performanslarının incelenmesi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 6(2), 452-466, 2017.
- [13] M. Jamieson and D.T. Gillins, Comparative Analysis of Online Static GNSS Postprocessing Services. *Journal of Surveying Engineering*, 144(4), 2018. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)su.1943-5428.0000256](https://doi.org/10.1061/(asce)su.1943-5428.0000256)
- [14] C. Aydin, S.Ö. Uygur, S. Çetin, A. Özdemir and U. Dogan, Ability of GPS PPP in 2D deformation analysis with respect to GPS network solution. *Survey Review*, 51(366), 199-212, 2019. <https://doi.org/10.1080/00396265.2017.1415664>.
- [15] M. Şimşek, S. Özarpaç ve U. Doğan, Tektonik çalışmalarda web tabanlı online GNSS servislerinin performans analizi. *Geomatik*, 4(2), 147-159, 2019. <https://doi.org/10.29128/geomatik.511758>.
- [16] Ö. Gökdaş and M.T. Özlüdemir, Velocity estimation performance of GNSS online services (APPS and AUSPOS). *Survey Review*, 53(378), 280-288, 2021. <https://doi.org/10.1080/00396265.2020.1809233>.
- [17] C. İnal, B. Bilgen, S. Bülbül, ve M. Başbük, Farklı uydu sistemi kombinasyonlarının gerçek zamanlı hassas nokta konumlamaya etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(1), 109-115, 2022.

- [18] Ö. Güneş and D.Ö. Demir, Comparing results of online GNSS services: A case study from Turkey. *Survey Review*, 54(383), 163–171, 2022. <https://doi.org/10.1080/00396265.2021.1893470>.
- [19] K. Gümüş, C.T. Çelik and 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.
- [20] AUSPOS Online GPS Processing Service. <https://www.ga.gov.au/scientific-topics/positioning-navigation/geodesy/auspos>, Accessed 19 February 2023.
- [21] R. Dach, S. Lutz, P. Walser and P. Fridez, Bernese GNSS Software Version 5.2. User manual. Bern: Astronomical Institute, University of Bern, 2015. <https://doi.org/10.7892/boris.72297>.
- [22] OPUS: Online Positioning User Service. <https://geodesy.noaa.gov/OPUS/about.jsp>, Accessed 21 February 2023.
- [23] Pages: Program for Adjustment of GPS Ephemerides. <https://geodesy.noaa.gov/GRD/GPS/DOC/pages/pages.html>, Accessed 5 March 2023.
- [24] A.E. Niell, Global mapping functions for the atmosphere delay at radio wavelengths. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 101(2), 3227–3246, 1996. <https://doi.org/10.1029/95jb03048>.
- [25] USGS Earthquake Hazards Program. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/ak0219neiszm/executive>, Accessed 12 April 2023.
- [26] L. Ye, Y. Bai, D. Si, T. Lay, K.F. Cheung and H. Kanamori, Rupture Model for the 29 July 2021 MW 8.2 Chignik, Alaska earthquake constrained by seismic, geodetic, and tsunami observations. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 127(7), 2022. <https://doi.org/10.1029/2021JB023676>.
- [27] C. Liu, T. Lay and X. Xiong, The 29 July 2021 MW 8.2 Chignik, Alaska Peninsula earthquake rupture inferred from seismic and geodetic observations: re-rupture of the western 2/3 of the 1938 rupture zone. *Geophysical Research Letters*, 49(4), 2022. <https://doi.org/10.1029/2021GL096004>.
- [28] R.E. Walpole, R.H. Myers, S.L. Myers and K. Ye, Probability and statistics for engineers and scientists. 9th ed., Pearson Education, USA, 2012.
- [29] F.E. Satterthwaite, An Approximate Distribution of Estimates of Variance Components. *Biometrics bulletin*, 2(6), 110-114, 1946. <https://doi.org/10.2307/3002019>.
- [30] K.R. Koch, Parameter estimation and hypothesis testing in linear models. Springer, Berlin, 1999.
- [31] P. Wessel and W.H. Smith, New, improved version of Generic Mapping Tools released. *Eos, transactions American geophysical union*, 79(47), 579-579, 1998. <https://doi.org/10.1029/98EO00426>.

