

30 Ekim 2020 Ege denizi depreminin kabuk deformasyonuna etkisinin TUSAGA-Aktif verileri ile incelenmesi

Investigation of the effect of 30 October 2020 Aegean sea earthquake on crustal deformation by TUSAGA-Active data

İbrahim Çağdaş BAŞ*¹ , Ramazan Alpay ABBAK¹ 

¹Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42250, Konya

• Geliş tarihi / Received: 25.09.2023

• Kabul tarihi / Accepted: 05.02.2024

Öz

TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı) sistemi, 168 adet sabit GNSS (Küresel Konum Belirleme Sistemleri) istasyonu ile ticari ve akademik çalışmalar için kullanıma sunulmuştur. Sistemden yüksek doğrulukta veri elde edilebilmesi, yer kabuğu hareketleri nedeniyle mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonların izlenmesini kolaylaştırmıştır. 30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi'nde (Sisam Adası açıklarında) yerel saat ile 14.51'de aletsel büyüklüğü $M_l=6.6$ ($M_w=6.9$) olan bir deprem meydana gelmiştir. Çalışmanın amacı deprem etki alanında seçilen TUSAGA-Aktif istasyonlarında, bu deprem kaynaklı herhangi bir kabuk deformasyonu olup olmadığının incelenmesidir. Bu kapsamda AYD1, CESM, DIDI, IZMI, KIKA ve SALH istasyonlarının deformasyon yönleri ve büyüklükleri belirlenmiştir. Deprem tarihinden 15 gün önce ve 11 gün sonrasında ait RINEX (Alıcı Bağımsız Değişim Biçimi) gözlem verileri internet tabanlı GNSS servislerinden CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning Service) ve OPUS'da (Online Positioning User Service) değerlendirilmiş, sonuçlar analiz edilmiştir. CSRS-PPP servisi sonuçlarına göre, kuzey yönde 57.39 mm anlamlı deformasyon miktarı ile depremden en çok CESM istasyonu etkilendiği görülmüştür. OPUS analiz servisi verilerinden de benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar kelimeler: Deprem, İzmir, Kabuk deformasyonu, PPP, Sisam, TUSAGA-Aktif

Abstract

The TUSAGA-Active (Turkish National Continuous Operating Reference System) is available for commercial and academic studies with 168 fixed GNSS (Global Navigational Satellite Systems) stations. Its capability to provide high-accuracy data facilitate to monitor deformations in engineering structures resulting from crustal movements. On October 30, 2020, an earthquake with a magnitude of $M_L = 6.6$ ($M_W = 6.9$) struck the Aegean Sea at 14.51 local time. The aim of the study is that TUSAGA-Active stations located within the earthquake-affected area are thoroughly examined to detect any crustal deformations caused by this seismic event. As part of this analysis, deformation directions and magnitudes were determined for stations AYD1, CESM, DIDI, IZMI, KIKA, and SALH. RINEX data from 15 days before the earthquake date and 11 days after were processed using CSRS-PPP (Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning Service) and OPUS (Online Positioning User Service), which are internet-based GNSS services. The results of this analysis revealed that the CESM station experienced the most significant displacement, averaging 57.39 mm in the north direction according to the CSRS-PPP service. Similar results were obtained from the OPUS service data.

Keywords: Earthquake, Izmir, Crust deformation, PPP, Samos, TUSAGA - Active

*İbrahim Çağdaş BAŞ; cagdasbas42@gmail.com

1. Giriş

1. Introduction

Yeryuvarının oluşumundan bugüne, yer kabuğu çeşitli yön ve büyüklüklerde sürekli olarak hareket etmektedir. Bu hareket doğrusal tektonik etkiler eşliğinde olabileceği gibi, depremler sebebiyle ani kırılmalar şeklinde de gerçekleşebilmektedir. Depremler sonuçları itibari ile doğada yaşayan birçok canlıyı ve özellikle insanlığı etkilemesi nedeniyle çeşitli bilim dallarının araştırma konusudur. Bu bakımdan gerek mühendislik yapılarının güvenliği gerekse depremlerin önceden tahmin edilebileceği fikri bugün olduğu gibi bu amaca ulaşılincaya kadar gelecekte de bilim dünyasının çalışma konusu olacaktır.

Depremler, evrimi henüz devam etmekte olan genç Anadolu plakasında da oldukça yoğun bir şekilde sürmektedir. Bu nedenle ülkemizde konumlanan birçok diri fay sistemi bulunmaktadır. Bu yönüyle ele alındığında ülkemiz deprem kuşağında yer almaktadır. Anadolu plakası üzerinde etkin fay sistemlerinden biri olan Ege Graben Sistemi de yüksek büyüklüklerde depremler üretmektedir. Bu sistem içerisinde nüfus yoğunluğu en fazla olan yerleşim yeri İzmir “Batı Anadolu genişleme bölgesi” olarak isimlendirilen kuzey-güney doğrultusunda genişleyerek şekil değiştiren bir bölgede yer alır ([Şengör vd., 1985](#)).

Günümüzde, gelişen teknoloji ile uydu ve uzay teknikleri, derin fayların davranışı hakkında bilgi veren ve deformasyon ölçümlerine imkân sağlayan bir yöntemdir ([Konakoğlu & Akar, 2021](#)). Türkiye’de de 2009 yılından itibaren kullanıma sunulan TUSAGA-Aktif istasyonları, yüksek doğrulukta konum belirleme özelliği ve 7 gün 24 saat veri toplama sayesinde yüksek doğruluk sunarak deprem olaylarının hassasiyetle izlenmesine imkân vermektedir. Bu ağların sürekli gözlem yapması, deprem deformasyonlarının belirlenmesinde, fay hattı çevresinde kurulan yerel GNSS ağı çalışmalarına göre daha etkin ve hızlı sonuçlar vermektedir.

Literatür incelendiğinde, [Pamukçu vd. \(2013\)](#) tarafından, İzmir’in sismik aktivitesi üzerine yapılan çalışmalar yardımı ile yatay hareketler ve hız değişimleri izlenmiştir. Karaburun yarım adasının güneyinde Kuşadası körfezi Seferihisar açıklarını kapsayan alanda yüksek sismik aktivite gözlemleyerek bu bölgeyi potansiyel deprem alanı olarak işaret etmişlerdir. Diğer yandan kabukta oluşan deprem sonuçlarını gözlemek amacıyla [Şanlıoğlu vd. \(2018\)](#) Elâzığ-Karakoçan depreminin TUSAGA-Aktif istasyonlarına etkisini incelemiş, geniş alanlardaki etkileri mm duyarlılıkla noktasal olarak belirlemiştir. Ardından, [Şimşek vd. \(2019\)](#) yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde internet tabanlı GNSS servislerinin performans analizini gerçekleştirmiş, CSRS-PPP servisinin güvenilir sonuçlar verdiğini belirlemiştir. Ardından, [Yalvaç \(2020a\)](#) hassas nokta konum belirleme (HNK) yönteminin kabuk deformasyonlarında kullanılabilirliğini internet tabanlı GNSS değerlendirme servisi CSRS-PPP ve akademik GNSS analiz yazılımı GAMIT/GLOBK V10.7 ile araştırmıştır. Araştırma sonucunda HNK yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabileceğini bildirmiştir. [Yalvaç \(2020b\)](#) ve [Konakoğlu & Akar \(2021\)](#) Elâzığ ve çevresindeki illerde tektonik hareketlerin TUSAGA-Aktif istasyonlarının konumlarına etkisini ele almış, statik deformasyon modelleri ile analiz etmiştir.

30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi’nde yerel saat ile 14.51’de aletsel büyüklüğü $M_l=6.6$ ($M_w=6.9$) olan yüksek şiddette bir deprem meydana gelmiştir. İzmir ve çevre iller dahil geniş bir alanda hissedilmiştir ([BDTİM, 2020](#)). Söz konusu depremin yer kabuğunda kayda değer kalıcı etkiler ürettiği bilinmektedir. Ancak, söz konusu depremin oluşturduğu yer değiştirmeleri izlemek amacıyla Türkçe literatürde GNSS’ye dayalı henüz bir değerlendirme yapılmamıştır. Ayrıca bu çalışmada internet tabanlı GNSS servislerinin deformasyon çalışmalarında tekrarlanan deprem öncesi ve sonrası ölçü sayısının artırılarak, sonuçların bölgenin bilinen tektonik davranışlarıyla uyumluluğu test edilmesi amaçlanmıştır.

Bu çalışmada söz konusu Ege Denizi Depreminin bölgedeki kabuk deformasyonlarına etkisi, TUSAGA-Aktif istasyonları verileri kullanarak internet tabanlı GNSS servisleri yardımıyla belirlenmiştir. Araştırmada 7 gün 24 saat sürekli gözlem yapan istasyonlar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan istasyonların verileri TUSAGA-aktif internet sitesinden ([TUSAGA, 2023](#)) indirilmiş, konum bilgileri CSRS-PPP ve OPUS internet tabanlı GNSS servislerinden elde edilmiştir. Sonuçta, bazı istasyonlarda yatay yönlü anlamlı deformasyonlar belirlenmiş ve Batı Anadolu Açılma Rejimiiyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

İkinci bölüm, deformasyon analizinde kullanılacak yersel veriler, verilerin değerlendirilmesinde esas alınacak GNSS servisleri ve çalışma alanı hakkındaki temel bilgiler ile başlamaktadır. Üçüncü bölümde kullanılan

matematiksel yaklaşım hakkında genel bilgiler verilmektedir. Daha sonra sayısal uygulama kısmının işlem adımlarının anlatıldığı dördüncü bölüm ile devam etmektedir. Son olarak, sayısal sonuçların tartışıldığı ve elde edilen bulguların paylaşıldığı beşinci bölümde sonuçlanmaktadır.

2. Materyal

2.1. Materyal

Bu çalışmada Ege Graben Sistemi üzerinde 30 Ekim 2020 tarihinde meydana gelen Ege Denizi Depremi analiz edilmiştir. Ege bölgesindeki TUSAGA- Aktif İstasyonlarının 30 saniyelik verileri kullanılmış olup, OPUS ve CSRS-PPP internet tabanlı GNSS servisleri yardımıyla nokta koordinatları ağ çözümleriyle elde edilmiştir. Web tabanlı GNSS yazılımları seçilirken bir mutlak (CSRS-PPP) ve bir bağıl (OPUS) değerlendirme yapan ve literatürde deformasyon çalışmalarında kullanılabilirliği kanıtlanmış servisler seçilmiştir ([Şimşek vd., 2019](#); [Yalvaç, 2020](#)).

2.1.1. Türkiye ulusal sabit GNSS istasyonları ağı (TUSAGA-Aktif)

2.1.1. Turkish national continous GNSS stations network (TUSAGA-Active)

TUSAGA-Aktif istasyonları Türkiye ve KKTC de dahil olmak üzere 168 adettir. 2009 yılından itibaren kesintisiz hizmet vermektedir. İstasyonlar, yaklaşık homojenlikte ülke geneline dağılım göstermektedir.

TUSAGA-Aktif projesi, İstanbul Kültür Üniversitesi (İKÜ) yürütücülüğünde, Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) müşterek müşteri olmak üzere, 8 Mayıs 2006 tarihinde proje çalışmaları başlamış, 2008 itibariyle tam kapasiteyle faaliyete geçmiştir. TUSAGA-Aktif sisteminin işletilmesi ve düzeltme parametrelerinin hesaplanması kontrol ve analiz merkezlerinde yapılmaktadır. Tüm istasyonlardan toplanan veriler ADSL ile veri merkezlerine aktarılmakta ve burada düzeltme parametreleri hesaplanarak tüm kullanıcılara sunulmaktadır ([Yıldırım vd., 2011](#)).

TKGM – Harita Dairesi Başkanlığı sürekli kaydedilen GNSS istasyonlarının verilerini RINEX formatında depolayıp günlük dosyalar halinde TUSAGA-aktif internet sitesinden ([TUSAGA, 2023](#)) dağıtmaktadır. Siteye ulaşım abonelik gerektirmektedir.

2.2. CSRS-PPP

2.2. CSRS-PPP

2003 yılında kurulan servisten üye olmak şartı ile ücretsiz olarak yararlanılmaktadır. CSRS, çevrimiçi bir GNSS servisi olarak, veri işlemede NRCAN-PPP yazılımını kullanmaktadır. Verinin toplandığı güne ait en uygun hassas uydu yörünge efemeris (Ultra-rapid, Rapid veya Final) ve saat bilgisini kullanmaktadır. Servis kullanılırken statik ya da kinematik modda NAD83 ve ITRF datumlarından biri tercih edilebilmektedir ([Arıkan & Abbak, 2019](#)). En fazla 300 MB (.zip, .gz, .Z, .tar, .?O), bir adet sıkıştırılmış dosya ile birden fazla RINEX gözlem dosyası gönderilebilmektedir.

2.3. OPUS

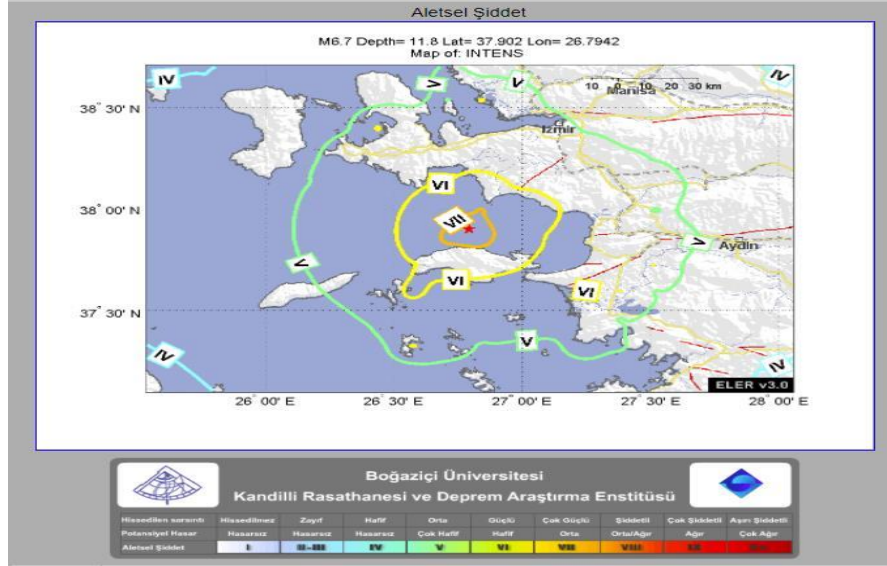
2.3. OPUS

OPUS, Amerika Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) tarafından kurulmuş ücretsiz bir GNSS verisi işleme servisi. OPUS, arka planda veri işlemede PAGES yazılımını kullanmaktadır. Öncelikle yüklenen verilerden başlangıç koordinat grubu hesaplayarak işe başlar. Yakın bölgeden en iyi 5 istasyonu seçerek devam eder. Sonrasında kontrol testlerini arşivlenmiş verilerden yapmaktadır. Bu kontrol testlerinde; veri durumu, ortak zaman aralıkları, mesafe, geometrik durum ve multipath etkisi gibi durumlar göz önüne alınarak en iyi 3 istasyon seçilir. Bu 3 istasyon sayesinde bağımsız baz vektörlerinden yararlanarak ortalama konum hesaplanır ([Şimşek, 2019](#)). Servisin web adresine ücretsiz bir şekilde üye olup RINEX verileri yüklenerek değerlendirme sonuçları e-posta adresinden alınabilmektedir ([Şimşek vd., 2019](#)).

2.4. Çalışma sahası

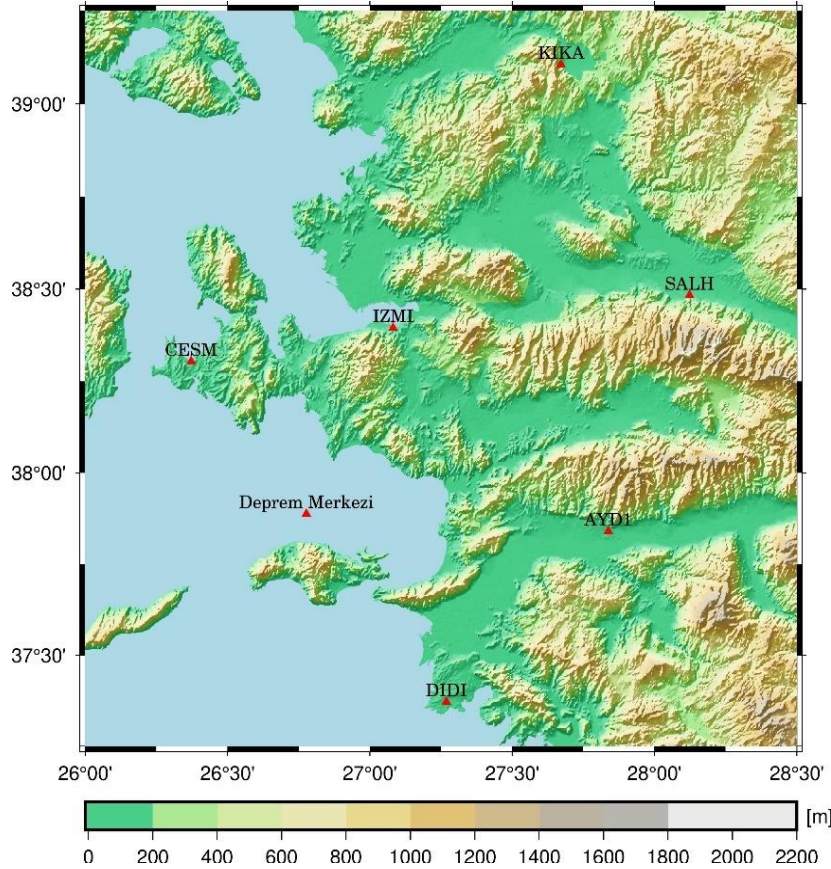
2.4. Study area

B. Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE. Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi tarafından deprem sonrası yayımlanan tahmini şiddet haritasında (Şekil 1) depremin aletsel büyüklüğü IV ile VII arası yayılım gösteren bölgedeki AYD1, CESH, DIDI, IZMI, KIKA ve SALH adlı TUSAGA Aktif istasyonları seçilmiştir (Şekil 2).



Şekil 1. Deprem sonrası tahmini şiddet haritası (BDTİM, 2020)

Figure 1. Post-seismic magnitude map (BDTİM, 2020)



Şekil 2. Çalışmada kullanılan TUSAGA Aktif istasyonları ve bölgenin topoğrafyası

Figure 2. TUSAGA-Active stations used in the study and topography of the area

2.5. Bölgenin tektonik yapısı

2.5. Tectonic structure of the region

Anadolu Alp-Himalaya dağ kuşağında yer almaktadır. Afrika-Arabistan ve Hindistan Levhalarının kuzeye doğru itirmesiyle, Avrasya Levhası ile çarpışmaktadır. Bu levhasal çarpışma oldukça geniş bir bölgede deformasyon alanı oluşturmaktadır. Bu deformasyon türü son yılların en çok ilgi gören çalışma konularından biri haline gelmiştir. Jeolojik sürecin Doğu Akdeniz bölümünde Anadolu-Ege bloğu saat yönünün tersi bir hareketle Girit'i merkeze alan Helen yayına doğru yanal kaçış hareketi yapmaktadır. Hareketin kuzey sınırını Kuzey Anadolu fayı, güney sınırını ise doğuda Doğu Anadolu Fayı, Güney Anadolu'da ise Kıbrıs ve Helen yayları oluşturmaktadır (Özel vd., 2005). Kuzey-güney genişlemeli hareketlerin baskın olduğu Ege bölgesinde, Arap ve Avrasya levhalarının Güneydoğu Anadolu bölgesinde Bitlis-Zagros boyunca çarpışması ile tetiklenen Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Faylarının gelişmesi ve Anadolu levhasının batıya kaçışı ile gelişen Batı Anadolu'da doğu-batı doğrultulu grabenler, kuzey-güney genişlemeli tektonik rejim ile sonuçlanan bir süreci tanımlar (Dewey & Şengör, 1979; Şengör, 1982; Şengör vd., 1985).

30 Ekim 2020 tarihinde Ege Denizi'nde Sisam adasının kuzeyinde (37.9020 Kuzey, 26.7942 Doğu), saat 14.51'de aletsel büyüklüğü $M_I=6,6$ ($M_w=6,9$) olan şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. 12 km derinlikte sığ odaklı bir depremdir. Sığ odaklı depremler daha dar bir alanda, daha şiddetli olarak hissedilmektedir ve yıkıcılığı artmaktadır. Deprem İzmir ve çevresi de dahil Marmara Bölgesine kadar büyük bir alanda hissedilmiştir (BDTİM, 2020).

Bu depreme Sisam (Samos) Adası'nın kuzeyinden geçen Kuzey Sisam Fayı kaynaklık etmiştir. Bölgedeki deformasyonun nedeni Ege ve Anadolu üst kabuğunun kuzey-güney yönlü gerilmesidir. Doğu Akdeniz okyanusal litosferi (Afrika levhası) kuzeye doğru Avrasya (Ege ve Batı Anadolu) levhası altına dalıp batmaktadır. Anadolu mikro levhası Kuzey Anadolu Fay Zonu boyunca batıya doğru hareketi Batı Anadolu'da güneybatıya doğru dönmekte, bu durum dalan Afrika levhasının güneybatıya doğru geriye çekilmesine (roll-back) neden olmaktadır (Aksoy, 2023).

İzmir ili Batı Anadolu Açılma Rejiminin etkisi altında Gediz graben sisteminin batı ucunda yer almaktadır. MTA'nın hazırladığı Türkiye Diri Fay Haritasında da görüleceği üzere Gediz grabeni dışında bölgenin deprenselliğine kaynak oluşturabilecek aktif faylar Tuzla, Seferihisar, Gülbahçe, Mordağan, Gümüldür, İzmir, Menemen, Güzelhisar, Yeni Foça ve Kiraz faylarıdır (BDTİM, 2020).

Aletsel dönemde il sınırları içerisinde meydana gelen önemli depremlerin büyüklükleri $M=7.0-7.9$ arasındadır. Depremlerin fay düzlemi çözümü bölgenin kuzey-güney açılma rejiminin etkisi altında Batı Anadolu'nun güncel tektonik evrimini sürdürdüğünü ortaya koymaktadır (BDTİM, 2020). İzmir iline en yakın yıkıcı deprem, 1992 yılında merkeze 32 km uzaklıktaki, 5.5 büyüklüğünde meydana gelen 1992 Orhanlı-Seferihisar (İzmir) depremidir (BDTİM, 2020).

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi derin tektonik işlevlerle üst kabuksal deformasyon ve jeolojik tehlikeler arasındaki uzun süredir var olan sessizliği bozmuştur. Bu deprem aynı zamanda gelecekte de büyük depremlerin ve volkanik patlamaların habercisidir (Aksoy, 2023).

3. Metot

3. Method

Deformasyon analizleri, koordinatların standart sapmaları üzerinden yapılmaktadır. Bu işlem için deprem öncesi toposentrik (yerel kartezyen koordinatlar: kuzey, doğu, düşey) koordinatların standart sapmaları,

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{[VV]}{n}} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır (Abbak, 2020).

Deformasyonları belirlemek için güven aralığı kavramını kullanmak gerekir. Buna göre, μ değeri istasyonların her bir gün için hesaplanan kuzey, doğu ve düşey yöndeki beklenen değerleri olmak üzere,

$$P(\mu-3\sigma < X < \mu+3\sigma) = \%99 \quad (2)$$

eşitliği kabul edilebilir en büyük hatayı ifade eder (Abbak, 2020). Bu kapsamda kesin değerler güven aralığının dışına çıkarsa şüpheli ölçü kabul edilir. Böylece istasyon noktasının hareket ettiği yani deformasyona uğradığı anlamına gelir (Şanlıoğlu vd., 2019).

4. Tartışma

4. Discussion

Bu bölümde TUSAGA-aktif istasyonlarının tekrarlı konum hesaplamaları ve deformasyon belirleme çalışmalarının işlem adımları anlatılacaktır. Sayısal sonuçlara göre elde edilen şekil ve grafikler yardımıyla deformasyon büyüklüklerinin anlamlılık testleri gerçekleştirilecektir.

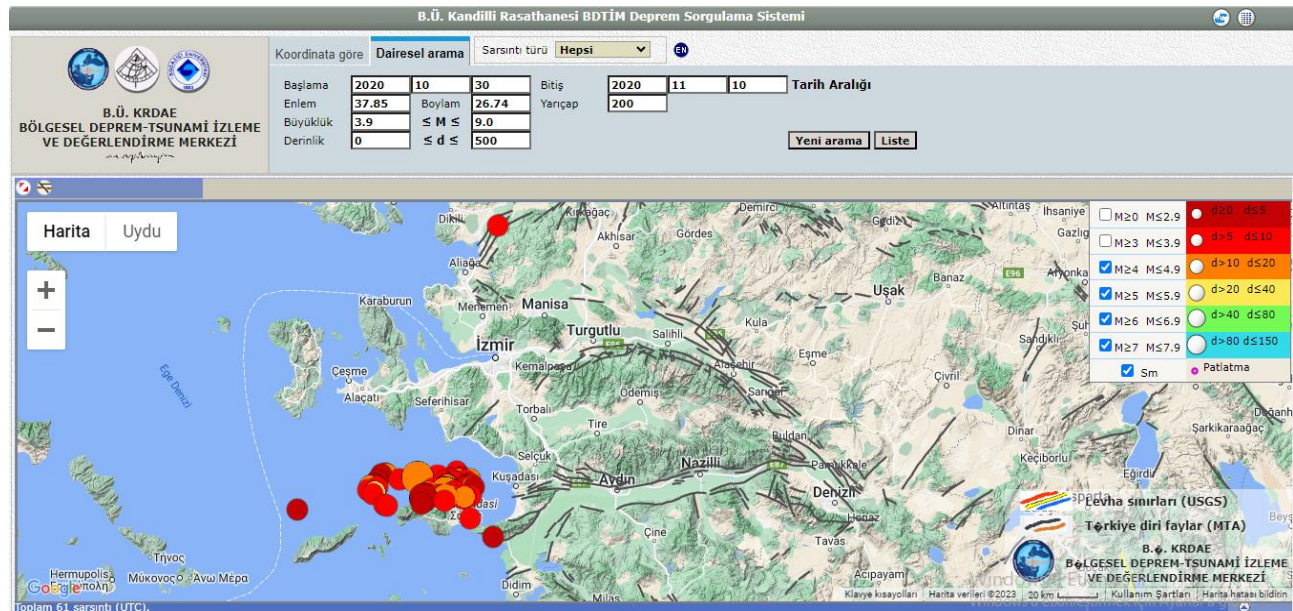
4.1. Nokta konum hesaplamaları

4.1. Point position computations

Sisam Adası açıklarında meydana gelen Ege Denizi Depremi merkez üssüne yakın 6 adet TUSAGA- Aktif istasyonun (AYD1, CESH, DIDI, IZMI, KIKA ve SALH) verileri kullanılmıştır. Deprem gününün 15 gün öncesinden başlayıp, 11 gün sonrasına kadar olan veriler ele alınmıştır. Bu tarihler yılın 289. ve 315. günleri arasına denk gelmektedir.

Deprem günü olan 30 Ekim 2020 RINEX verileri “teç” yazılımı yardımıyla iki gruba bölünmüştür (304A ve 304B). Bölme işlemi yapılırken deprem saati olan 14.51 referans alınmış olup, öncesi 0.00 ile 14.30 (304A), sonrası 15.30 ile 23.59 (304B) zaman aralığı seçilmiştir. 304B zaman aralığı seçilirken 14.51 den itibaren denemeler yapılmış, anlamlı sonuçlar görülene kadar gidilerek 15.30 ve sonrası kullanılmıştır. 15.30’a kadar olan zaman aralığında görülen istenmeyen sonuçlara istasyon antenlerinde oluşan salınım hareketinin belli bir süre devam etmesinin neden olduğu düşünülmektedir.

Deprem sonrası deformasyonları için incelemeye alınan gün sayısı seçilirken (Şekil 3), Kandilli Rasathanesi Deprem Sorgulama Sistemi (KRDAE, 2023) üzerinden, merkez üssüne 200 km yarıçapında bölge ile M 4.0-9.0 büyüklükleri filtrelenmiştir. Genellikle 4.0 ve altında büyüklüklerde depremler zayıf zeminlerde dahil deformasyona neden olmamaktadır (Burada deformasyonlar zemin yapısına göre değişiklik göstermektedir).



Şekil 3. B.Ü. Kandilli Rasathanesi BDTİM Deprem Sorgulama Sistemi filtrelemesi

Figure 3. B.U. Kandilli Observatory BDTIM Earthquake Inquiry System filtering

4.2. CSRS-PPP servisi ile yapılan uygulama

4.2. Application with CSRS-PPP service

TUSAGA Aktif internet sitesinden indirilen istasyonlara ait RINEX verileri öncelikle CSRS-PPP internet adresine (CSRS-PPP, 2023) yüklenmiş, sonuçlar e-posta olarak alınmıştır. Sonuçlar, noktaların coğrafi koordinatlarını ve doğruluklarını içerir.

CSRS-PPP servsinden alınan coğrafi koordinatlar, yazarlar tarafından C dilinde geliştirilen bir yazılım yardımıyla toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm yapılırken deprem saati öncesi veriler referans kabul edilmiştir. Buna göre hesaplanan tüm istasyonların konumlarının zaman serileri Şekil 4 ve Şekil 5'te gösterilmiştir.

Grafiklerdeki (Şekil 4 ve Şekil 5) ilk satır yılın 289-315. günlerini, 304A ve 304B ise deprem günü olan 30 Ekim 2020'yi göstermektedir. 2. 3. ve 4. satırlar sırasıyla kuzey, doğu ve dikey yöndeki yer değiştirmeleri göstermektedir. Diğer yandan, birçok denemeye rağmen CESM istasyonunda 289. gün için sonuçlar alınamamıştır. Deprem öncesi toposentrik koordinatların standart sapmaları eşitlik (1) ile hesaplanmış ve 'n' gün sayısı '16' alınmıştır.



Şekil 4. CSRS-PPP servisine dayalı (a) Aydın, (b) Çeşme ve (c) Didim istasyonlarının yer değiştirme grafikleri
Figure 4. Displacements graphs of (a) Aydın, (b) Çeşme and (c) Didim stations based on CSRS-PPP service



Şekil 5. CSRS-PPP servisine dayalı (a) İzmir, (b) Kırkağaç ve (c) Salihli istasyonlarının yer değiştirme grafikleri

Figure 5. Displacements graphs of (a) İzmir, (b) Kırkağaç and (c) Salihli stations based on CSRS-PPP service

Tablo 1’de istasyonların her biri için standart sapma değerlerinin 3 katı alınıp, yer değiştirme miktarlarından mutlak değerce en büyük olanları seçilip, maksimum fark olarak gösterilmiştir. Maksimum farkları, standart sapmasının 3 katından büyük olan istasyonlar: CESM, DIDI, İZMI, KİKA, SALH istasyonları olarak tespit edilmiş ve koyu renk ile gösterilmiştir. Buna göre CESM istasyonu kuzey, doğu ve düşey yönde, DIDI istasyonu kuzey yönde, İZMI istasyonu kuzey, doğu ve düşey yönde, KİKA istasyonu kuzey ve düşey yönde, SALH istasyonu kuzey yönde deformasyona uğramıştır.

Tablo 1. TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmaları ile deprem sonrası yer değiştirmelerinin maksimum farklarının karşılaştırılması [mm]

Table 1. Comparison of the standard deviations of the pre-earthquake displacements and the maximum differences of the post-earthquake displacements of TUSAGA-Aktif stations [mm]

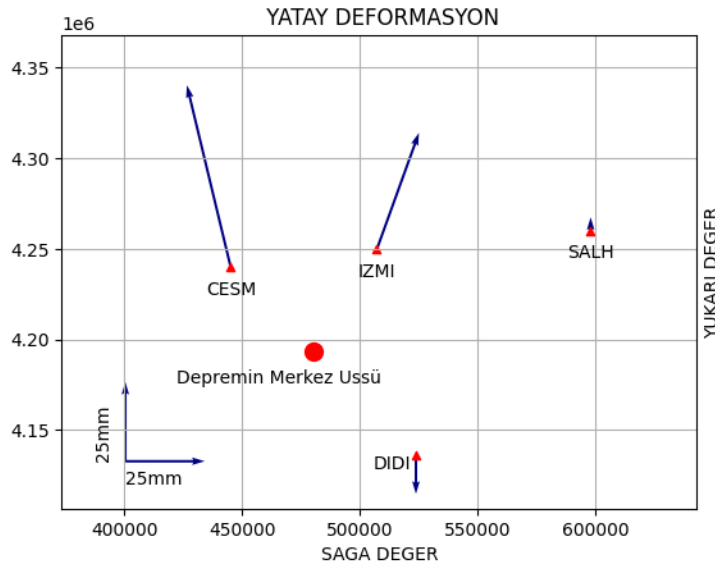
İstasyon kodu	3*Standart sapma σ			Maksimum farklar			Uzaklıklar (km)
	Kuzey	Doğu	Düsey	Kuzey	Doğu	Düsey	
AYDI	4.03	3.15	11.03	2.77	2.73	7.3	95
CESM	5.61	2.38	7.65	57.39	13.82	8.48	59
DIDI	3.22	2.82	14.54	12.21	1.77	6.07	71
IZMI	5.24	9.63	10.34	36.74	13.28	10.39	65
KIKA	4.53	4.68	11.67	10.33	3.63	19.59	159
SALH	2.77	2.43	13.84	4.22	2.09	7.48	138

İstasyonlardaki hareketin anlamlı kabul edilebilmesi için, her bir istasyon özelinde deprem sonrası için belli bir yönde; işaretlerinin aynı, büyüklüklerinin yakın değerlerde olması gerekir (Şanlıoğlu vd. 2019). Buna göre CESM istasyonunun kuzey ve doğu yönde sırasıyla yer değiştirmeleri 57.39 mm ve -13.82 mm olarak anlamlıdır. DIDI istasyonu kuzey yönde -12.21 mm deformasyon miktarı anlamlıdır. IZMI istasyonunda kuzey yönde 36.74 mm ve doğu yönde 13.28 mm deformasyon miktarı anlamlıdır. KIKA istasyonunda kuzey yöndeki deformasyon miktarları işaretçe aynı yönlü olsa da kendi içerisinde büyüklük olarak tutarlı olmadığından, düşey yönde ise hem işaret hem de büyüklük bakımından tutarlı olmadığından anlamlı kabul edilmemiştir. SALH istasyonu kuzey yöndeki 4.22 mm deformasyon miktarı anlamlıdır (Tablo 2). Anlamlı yatay deformasyon vektörleri Şekil 6'da gösterilmiştir.

Tablo 2. TUSAGA- Aktif istasyonlarının anlamlı deformasyon miktarları (CSRS-PPP servisi) [mm]

Table 2. Significant deformation amounts of TUSAGA-Active stations (CSRS-PPP service) [mm]

İstasyon kodu	Kuzey	Doğu	Düsey
AYDI	2.77	-2.73	-7.3
CESM	57.39	-13.82	8.48
DIDI	-12.21	1.77	6.07
IZMI	36.74	13.28	10.39
KIKA	10.33	3.63	-19.59
SALH	4.22	2.09	-7.48



Şekil 6. TUSAGA Aktif istasyonlarının yatay yönde anlamlı deformasyon vektörleri
Figure 6. Significant horizontal deformation vectors of TUSAGA Active stations

4.3. OPUS servisi ile yapılan uygulama

4.3. Application with OPUS service

TUSAGA Aktif internet sitesinden indirilen istasyonlara ait RINEX verileri OPUS internet adresine (OPUS, 2023) yüklenmiş, sonuçlar e-posta olarak alınmıştır. OPUS servisi, koordinatlarını sabit olarak değerlendirdiği Türkiye ve çevresindeki; ISTA, TUBI, ANKR, SOFI, NICO, ORID olmak üzere 6 adet IGS istasyonunun verilerini kullanmıştır. Sonuçlar, noktaların kartezyen koordinatlarını ve doğruluklarını içerir.

OPUS servisinden alınan kartezyen koordinatlar yazarlar tarafından C dilinde geliştirilen bir başka yazılım yardımıyla toposentrik koordinatlara dönüştürülmüştür. Bu dönüşüm yapılırken deprem saati öncesi veriler referans kabul edilmiştir. Buna göre hesaplanan tüm istasyonların konumlarının zaman serileri Şekil 7 ve Şekil 8’de gösterilmiştir.

Diğer yandan, çeşitli denemelere rağmen DIDI istasyonunda 314. ve 315. günlerde OPUS servisinden sonuçlar alınamamıştır. Deprem öncesi toposentrik koordinatların standart sapmaları eşitlik (1) ile hesaplanmış ve ‘n’ gün sayısı ‘16’ alınmıştır.



Şekil 7. OPUS servisine dayalı (a) Aydın, (b) Çeşme ve (c) Didim istasyonlarının yer değiştirme grafikleri
Figure 7. Displacement graphs of (a) Aydın, (b) Çeşme and (c) Didim stations based on OPUS service



Şekil 8. OPUS servisine dayalı (a) İzmir, (b) Kırkağaç ve (c) Salihli istasyonlarının yer değiştirme grafikleri
Figure 8. Displacement graphs of (a) İzmir, (b) Kırkağaç and (c) Salihli stations based on OPUS service

Tablo 3. TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmaları ile deprem sonrası yer değiştirmelerinin maksimum farklarının karşılaştırılması [mm]
Table 3. Comparison of the standard deviations of the pre-earthquake displacements and the maximum differences of the post-earthquake displacements of TUSAGA-Aktif stations [mm]

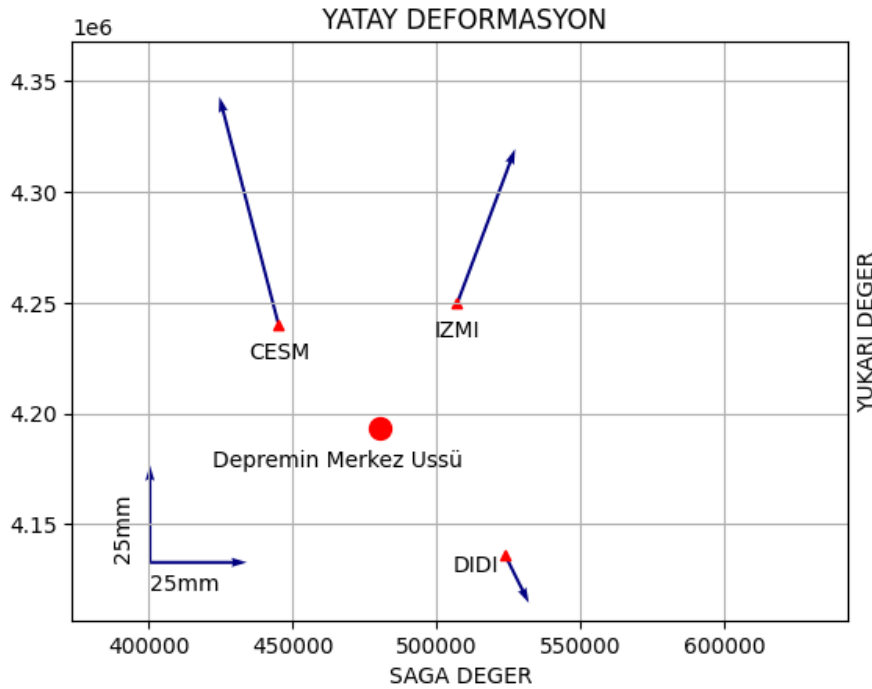
İstasyon kodu	(Standart sapma σ)*3			Maksimum farklar			Uzaklıklar (km)
	Kuzey	Doğu	Düsey	Kuzey	Doğu	Düsey	
AYD1	6.19	4.11	18.34	4.91	2.33	9.01	95
CESM	4.15	4.44	14.82	58.89	15.29	9.96	59
DIDI	8.44	4.92	13.30	12.38	6.14	9.59	71
İZMI	8.41	4.66	16.29	39.82	14.94	10.81	65
KİKA	5.01	5.41	19.12	10.55	4.47	21.10	159
SALH	4.41	4.09	23.44	6.36	3.24	11.05	138

Tablo 3'te istasyonların her biri için standart sapma değerlerinin 3 katı alınıp, yer değiştirme miktarlarından mutlak değerce en büyük olanları seçilip, maksimum fark olarak gösterilmiştir. Maksimum farkları, standart sapmasının 3 katından büyük olan istasyonlar: CESH, DIDI, IZMI, KİKA, SALH olarak tespit edilmiştir. Buna göre CESH istasyonu kuzey ve doğu yönde, DIDI istasyonu kuzey ve doğu yönde, IZMI istasyonu kuzey ve doğu yönde, KİKA istasyonu kuzey ve düşey yönde, SALH istasyonu kuzey yönde deformasyona uğramıştır.

İstasyonlardaki hareketin anlamlı kabul edilebilmesi için, yine önceden belirtilen kurala uygun olarak, her bir istasyonda deprem sonrası için belli bir yönde; işaretlerinin aynı, büyüklüklerinin yakın değerlerde olması gerekir (Şanlıoğlu vd. 2019). Buna göre CESH istasyonunun deformasyon miktarı kuzey yönde 58.89 mm, doğu yönde -15.29 mm olarak anlamlıdır. DIDI istasyonunda kuzey yönde -12.38 mm, doğu yönde 6.14 mm deformasyon miktarı anlamlıdır. IZMI istasyonunda kuzey yönde 39.82 mm, doğu yönde 14.94 mm deformasyon miktarı anlamlıdır. KİKA istasyonunda kuzeyde büyüklükler yakın değerde olmadığından ve doğu yönde işaretler aynı olmadığından deformasyon anlamlı değildir. SALH istasyonu kuzey yöndeki deformasyon miktarı kendi içerisinde işaretleri aynı fakat büyüklükleri yakın olmadığından anlamlı kabul edilmemiştir (Tablo 4). Anlamlı yatay deformasyon vektörleri Şekil 9'da gösterilmiştir.

Tablo 4. TUSAGA- Aktif istasyonlarının anlamlı deformasyon miktarları (OPUS servisi) [mm]
Table 4. Significant deformation amounts of TUSAGA-Active stations (OPUS service) [mm]

İstasyon kodu	Kuzey	Doğu	Düşey
AYDI	4.91	-2.33	-9.01
CESM	58.89	-15.29	9.96
DIDI	-12.38	6.14	9.59
IZMI	39.82	14.94	10.81
KİKA	10.55	4.47	-21.10
SALH	6.36	3.24	-11.05



Şekil 9. TUSAGA Aktif istasyonlarının yatay yönde anlamlı deformasyon vektörleri
Figure 9. Significant horizontal deformation vectors of TUSAGA Active stations

5. Sonuçlar

5. Conclusions

İnternet tabanlı GNSS servisleri jeodezik çalışmalar ve birçok disiplinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kısa sürede, güvenilir, hassasiyeti yüksek sonuçlar vermeleri yer kabuğu hareketleri sonucu ortaya çıkan deformasyonların belirlenmesinde de oldukça kullanışlıdır.

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi'nin, bölgede bulunan deprem merkez üssüne yakın TUSAGA Aktif istasyonlarına etkisi incelenmiştir. İstasyonların deprem öncesi 15 gün, deprem günü (ikiye ayrılmış), deprem sonrası 11 gün olmak üzere RINEX verileri CSRS-PPP ve OPUS servislerinde değerlendirilmiştir.

CSRS-PPP servisi sonuçlarına göre, kuzey yönde 57.39 mm anlamlı deformasyon miktarı ile depremden en çok CESH istasyonu etkilenmiştir. OPUS servisi sonuçlarına göre, kuzey yönde ortalama 58.89 mm anlamlı deformasyon miktarı ile depremden yine en çok CESH istasyonu etkilenmiştir. Dengeleme sonuçları kullanılan iki serviste de görüldüğü üzere depremin merkez üssüne en yakın konumda bulunan CESH istasyonu en çok etkilenen istasyon olmuştur. Benzer sonuçlar diğer bir çalışma kapsamında da elde edilmiştir (Bulut vd., 2021).

30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremine, Sisam (Samos) Adası'nın kuzeyinden geçen Kuzey Sisam Fayı kaynaklık etmiştir. Bölgedeki deformasyonun nedeni Ege ve Anadolu üst kabuğunun KG yönlü gerilmesidir. Yer değiştirme vektörleri de incelendiğinde, Batı Anadolu Açılma Rejimi ile deformasyonların uyumlu olduğu görülmektedir (Dewey & Şengör, 1979; Şengör, 1982; Şengör vd., 1985).

Yazar katkısı

Author contribution

Bu çalışmaya tüm yazarlar tarafından eşit şekilde katkı verilmiştir.

Etik beyanı

Declaration of ethical code

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Çıkar çatışması beyanı

Conflicts of interest

Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Kaynaklar

References

- Abbak, R. A. (2020). *Hata kuramı ve parametre kestirimi* (Genişletilmiş 2. Baskı). Atlas Akademi Yayıncılık, Konya.
- Aksoy, R. (2023). Levha tektoniği ders notları. Konya Teknik Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Konya.
- Arıkan, D., & Abbak, R. A. (2019). Elipsoidal yükseklik değişiminin hassas nokta konumlamaya etkisi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 2019(1), 140-151.
- BDTİM, (2020). *30 Ekim 2020 Ege Denizi Depremi*. B. Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi.
- Bulut, F., Doğru, A., Yaltrak, C., Yalvaç, S., & Elge, M. (2021). Anatomy of October 30, 2020, Samos (Sisam)-Kuşadası earthquake (MW 6.92) and its influence on Aegean earthquake hazard, *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30(4), 425-435.
- CSRS-PPP-Canadian Spatial Reference System-Precise Point Positioning Service. (2023, 10 Haziran). <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-outils/ppp.php>

- Dewey, J. F., & Şengör, A.M.C. (1979). Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone. *Geological Society of America Bulletin*, 90(1), 84-92.
- KRDAE-Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü. (2023, 20 Ocak). <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>
- Konakoğlu, B., & Akar. A. (2021). Elâzığ ve çevresindeki illerde meydana gelen tektonik hareketlerin TUSAGA-Aktif istasyonlarının konumlarına etkisinin statik deformasyon modeller kullanılarak incelenmesi. *Geomatik Dergisi*, 6(2), 165-178.
- OPUS-Online Positioning User Service. (2023, 10 Haziran). <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/index.jsp>
- Özel, E., Çifçi, G., Uluğ, A., Duman, M., Sözbilir, H., İlhan, T., Pekçetinöz, B., & Kaşer N. (2005). *İzmir Körfezi'nin aktif faylarının araştırılması amacıyla derin (48 kanal – sayısal) ve yüksek ayrımlılıklı sismik çalışmalar ve çok kanallı derinlik ölçümleri (multibeam) ve değerlendirilmesi*. Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği (TUJJB) TUJJB-UDP-02-06, İzmir.
- Pamukçu, O., Gönenç, T., Yurdakul, A., & Kahveci M. (2013). Sismik riski yüksek olan İzmir Karaburun'un güneyinde yapılmış mikrogravite ve GPS çalışmaları. *Jeofizik*, 2013(18), 59-66.
- Şanlıoğlu, İ., Başkan, G., & Zeybek, M. (2019). Elâzığ-Karakoçan depreminin TUSAGA-Aktif istasyonlarına etkisi. *Selçuk-Teknik Dergisi*, 18(2), 45-67.
- Şengör, A. M. C., (1982). Ege'nin neotektonik evrimini yöneten etkenler. Batı Anadolu'nun Genç Tektoniği ve Volkanizması Paneli, *Türkiye Jeoloji Kurultayı*, 59-71.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., & Şaroğlu, F., (1985). Strikeslip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publication, 227-264.
- Şimşek, M. (2019a). *Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde internet tabanlı GPS servislerinin doğruluk analizi* [Yüksek Lisans Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü].
- Şimşek, M., Özarpacı, S., & Doğan, U. (2019b). Yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesinde web tabanlı çevrimiçi GNSS servislerinin performans analizi. *Geomatik Dergisi*, 4(2), 147-159.
- TUSAGA-Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı. (2023, 9 Haziran). <https://www.tusaga-aktif.gov.tr>
- Yalvaç, S. (2020a). Hassas nokta konumlama yönteminin kabuk deformasyonu belirleme çalışmalarında kullanılabilirliğinin araştırılması. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 10(3), 695-701.
- Yalvaç, S. (2020b). Determining the Effects of the 2020 Elâzığ-Sivrice/Turkey (Mw 6.7) Earthquake from the Surrounding CORS-TR GNSS Stations. *Turkish Journal of Geosciences*, 1(1), 15-21.
- Yıldırım, Ö., Mekik, Ç., & Bakıcı, S. (2011). TUSAGA-AKTİF (CORS-TR) sisteminin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü'ne katkıları. *Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 2011/2 Özel Sayı, 134-139.