

Sivrice-Elazığ Depreminin TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Konumlarına Olan Etkisinin Web Tabanlı GPS Yazılımları İle İrdelenmesi

Berkant KONAKOĞLU^{1*}, Alper AKAR²

¹ Amasya Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulu, Harita ve Kadastro Programı, Amasya

² Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Meslek Yüksek Okulu, Harita ve Kadastro Programı, Erzincan

Geliş / Received: 27/03/2020, Kabul / Accepted: 30/08/2020

Öz

TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı-Aktif) sistemi, Türkiye Cumhuriyeti ve KKTC' ye yerleştirilen 158 adet sabit GNSS (Global Navigation Satellite System) istasyonu ile, ticari ve akademik çalışmalar için kullanıma sunulmuştur. 24 Ocak 2020 tarihinde Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerinde Sivrice-Elazığ merkezli saat 20:55' de (lokal zaman) aletsel büyüklüğü MI=6.6 (Mw=6.5) olan şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. Deprem, Doğu Anadolu, Güneydoğu Anadolu, Orta Anadolu ve Karadeniz bölgelerinde hissedilmiştir. Sismik olarak oldukça aktif bir bölgede meydana gelen Sivrice-Elazığ depreminin etki alanındaki 24 saat sürekli hizmet veren TUSAGA-Aktif istasyonlarında herhangi bir hareket olup olmadığının incelenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda, ELAZ, ERGN, MALY ve SIV1 TUSAGA-Aktif istasyonlarının hareketlerinin büyüklükleri ve yönleri belirlenmiştir. Deprem tarihinden 7 gün önce ve 7 gün sonraki günlere ait 24 saatlik veriler Online Positioning User Service (OPUS) ve Australian Online GPS Processing Service (AUSPOS) web tabanlı veri işleme servislerinde değerlendirilmiş ve günlük kesin koordinat veri setleri elde edilmiştir. Her iki değerlendirme servisi sonuçları birbirlerine benzer ya da yakın sonuçlar vermiştir. Değerlendirme sonucunda ELAZ, ERGN, MALY ve SIV1 istasyonlarında tespit edilen deformasyonlar anlamlı olarak belirlenmiştir.

Keywords: TUSAGA-Aktif, GPS, Doğu Anadolu Fay Zonu, OPUS, AUSPOS

Investigation of the Effect of Elazig-Sivrice Earthquake on the Locations of TUSAGA-Active Stations with Web Based GPS Software

Abstract

TNPGN-Active (Turkey National Permanent GNSS Network-Active) system, which placed the Republic of Turkey and KKTC with 158 fixed GNSS (Global Navigation Satellite System) station is available for commercial and academic studies. On January 24, 2020, a severe earthquake with an instrumental magnitude MI = 6.6 (Mw = 6.5) occurred on the Eastern Anatolian Fault Zone in Sivrice-Elazığ center at 20:55 (local Time). The earthquake was felt in Eastern Anatolia, Southeastern Anatolia, Central Anatolia and Black Sea regions. In the study, it was investigated whether there is any change in the locations of TNPGN-Active stations in the impact area of Sivrice-Elazığ earthquake. In this context, the magnitudes and directions of the movements of ELAZ, ERGN, MALY and SIV1 TNPGN-Active stations were determined. 24-hour data 7 days before and 7 days after the earthquake was evaluated in Online Positioning User Service (OPUS) and Australian Online GPS Processing Service (AUSPOS) web-based data processing services, and daily exact coordinate data sets were obtained. The results of both assessment services gave similar or close results. As a result of the evaluation, the deformations detected at ELAZ, ERGN, MALY and SIV1 TNPGN-Active stations were determined significantly.

Anahtar Kelimeler: TNPGN-Active, GPS, East Anatolian Fault Zone, OPUS, AUSPOS

1. Giriş

Türkiye, Dünya' nın sismik olarak en aktif bölgelerinden birini temsil etmektedir (Khalifa, 2018). Ülkemiz Kuzey Anadolu, Doğu Anadolu ve Batı Anadolu fay zonları üzerinde yer almaktadır. Bunlardan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) aktif olup, son yıllarda oluşan depremler bu fay zonları üzerindeki yerleşim yerlerinde meydana gelmiştir. Bu durum da bize nüfusumuzun yarısından fazlasının etkin fay hatları üzerinde bulunan yerleşim alanlarında yaşadığını göstermektedir (Kutlu Ünal, 2019). Bu fay sistemlerinden KAFZ, geçen yüzyılın en büyük deprem kırılmalarını üretmiştir (1939 Erzincan depremi $M_s > 7.9$, 1999 Kocaeli ve Düzce depremi $M_s > 7.8$) (Menekşe, 2016).

DAFZ ülkemizin tektoniğini kontrol eden ana unsurlardan birisi olup Kuzeydoğuda Karlıova' dan başlayıp Güneybatıda Anadolu-Arap-Afrika üçlü eklemine şekillendiği Kahramanmaraş bölgesinde Ölü Deniz Fayı ile birleşir (Altınöglü, 2019). DAFZ üzerinde en son 24.01.2020 Elazığ Sivrice depreminin yaşandığı tarihe kadar bu bölgede meydana gelen depremler hakkındaki bilgi Tablo 1' de verilmiştir (BDTİM, 2020).

Oluşan depremlerin can kayıpları ile sonuçlanmasının en büyük nedeni mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyonlardır. Deformasyon, mühendislik yapılarında ve yer kabuğunda kalıcı/geçici etkilerle oluşan şekil değişikliği olarak adlandırılır.

Tablo 1. DAFZ üzerinde meydana gelen büyük depremler

Tarih	Saat	Yer	Şiddet	Mag (Ms)	Can Kaybı	Hasarlı Bina
17.08.1949	20:44	Karlıova (BİNGÖL)	IX	6.7	450	3500
14.06.1964	15:15	MALATYA	VIII	6	8	847
22.05.1971	18:43	BİNGÖL	VIII	6.8	878	9111
5.05.1986	06:35	Doğanşehir(MALATYA)	VIII	5.9	7	824
6.06.1986	13:39	Doğanşehir(MALATYA)	VIII	5.6	1	1174
13.04.1998	18:14	Karlıova (BİNGÖL)	VI	5	-	148
1.05.2003	03:27	BİNGÖL	VIII	6.4	176	6000
11.08.2004	18:48	Sivrice (ELAZIĞ)	VII	5.9	-	-
12.03.2005	09:36	Karlıova (BİNGÖL)	VI	5.7	-	-
14.03.2005	03:55	Karlıova (BİNGÖL)	VII	5.9	-	-
23.03.2005	23:44	Karlıova (BİNGÖL)	VI	5.7	-	-
6.06.2005	10:41	Karlıova (BİNGÖL)	VI	5.7	-	-
9.02.2007	04:22	Sivrice (ELAZIĞ)	VI	5.5	-	-
21.02.2007	13:05	Sivrice (ELAZIĞ)	VII	5.9	-	-
8.03.2010	04:32	Başyurt-Karakoçan	VII	6.1	42	-
8.03.2010	09:47	Başyurt-Karakoçan	VI	5.6	-	-

Mühendislik yapılarında meydana gelen deformasyona depremler, heyelanlar ve plaka hareketleri gibi etkenler neden olur. Bu yüzden bu hareketlerin belirlenerek gerekli tedbirlerin alınması açısından deformasyon izleme çalışmaları önemli bir yere sahiptir (Gelişkan, 2019). Uzay jeodezisi, derin fayların davranışı hakkında bilgi veren ve deformasyonunun ölçümlerine imkân sağlayan bir yöntemdir. Bu anlamda GNSS günümüzde en çok kullanılan deformasyon belirleme ve izleme tekniğidir.

1980' li yılların başından beri GNSS tekniği kullanılarak yeryüzünde meydana gelen heyelan, yüzey hareketleri ve deformasyonların tespiti ile alakalı çalışmalar yapılmaktadır (Şanlıoğlu vd., 2019, Hartinger ve Brunner, 2000). Ülkemizde GNSS tekniği kullanılarak yapılan çalışmalarda, genellikle fay hattı çevresinde bölgesel ya da jeodezik GNSS ağı kurularak, bu ağ üzerindeki GNSS noktalarının deformasyonları, hızları ve olası sismik kayma oranları tespit edilmiştir (Aktuğ vd., 2013, Aktuğ vd., 2016).

GNSS tekniği tek boyutlu, iki boyutlu ve üç boyutlu deformasyonların belirlemede sıklıkla kullanılmaktadır (Gelişkan, 2019). Artık günümüzde ülke çapında oluşturulmuş 24 saat kesintisiz ölçüm yapan GNSS ağına var olması yapılan çalışmalarda ileriye dönük tahmin yapabilmek için imkânını da sağlayacaktır.

Günümüzde pek çok ülke sürekli gözlem yapan sabit GNSS ağlarını kullanmaktadır. Ülkemizde de TUSAGA-Aktif sistemi 2009 yılından beri kullanıcılara hizmet vermektedir. Bu tür ağlar, kampanya türü ölçü yapılan jeodezik ağlara göre, sürekli ölçüm yapması nedeni ile depremler neticesinde oluşan deformasyonları belirlemede daha etkin sonuçlar vermektedir. Sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonlarından yüksek

doğrulukla veri elde edilebilmesi fay hatlarının izlenmesini kolaylaştırmıştır (Yıldırım vd., 2014, Bülbül vd., 2017, Ansari vd., 2017). Yapılan bu çalışmada TUSAGA-Aktif verileri kullanılarak Elazığ ili Sivrice ilçesinde meydana gelen depremin ELAZ, ERGN, MALY ve SIV1 TUSAGA-Aktif istasyonlarının konumlarına olan etkisi incelenmiştir. 24 Ocak 2020 tarihinde Sivrice-Elazığ merkez üstünde yerel saat ile 20:55' de aletsel büyüklüğü $M_l=6.6$ ($M_w=6.5$), olan çok şiddetli bir deprem meydana gelmiş ve deprem sonrası hazırlanan tahmini şiddet haritası Şekil 1'de verilmiştir (BDTİM, 2020).

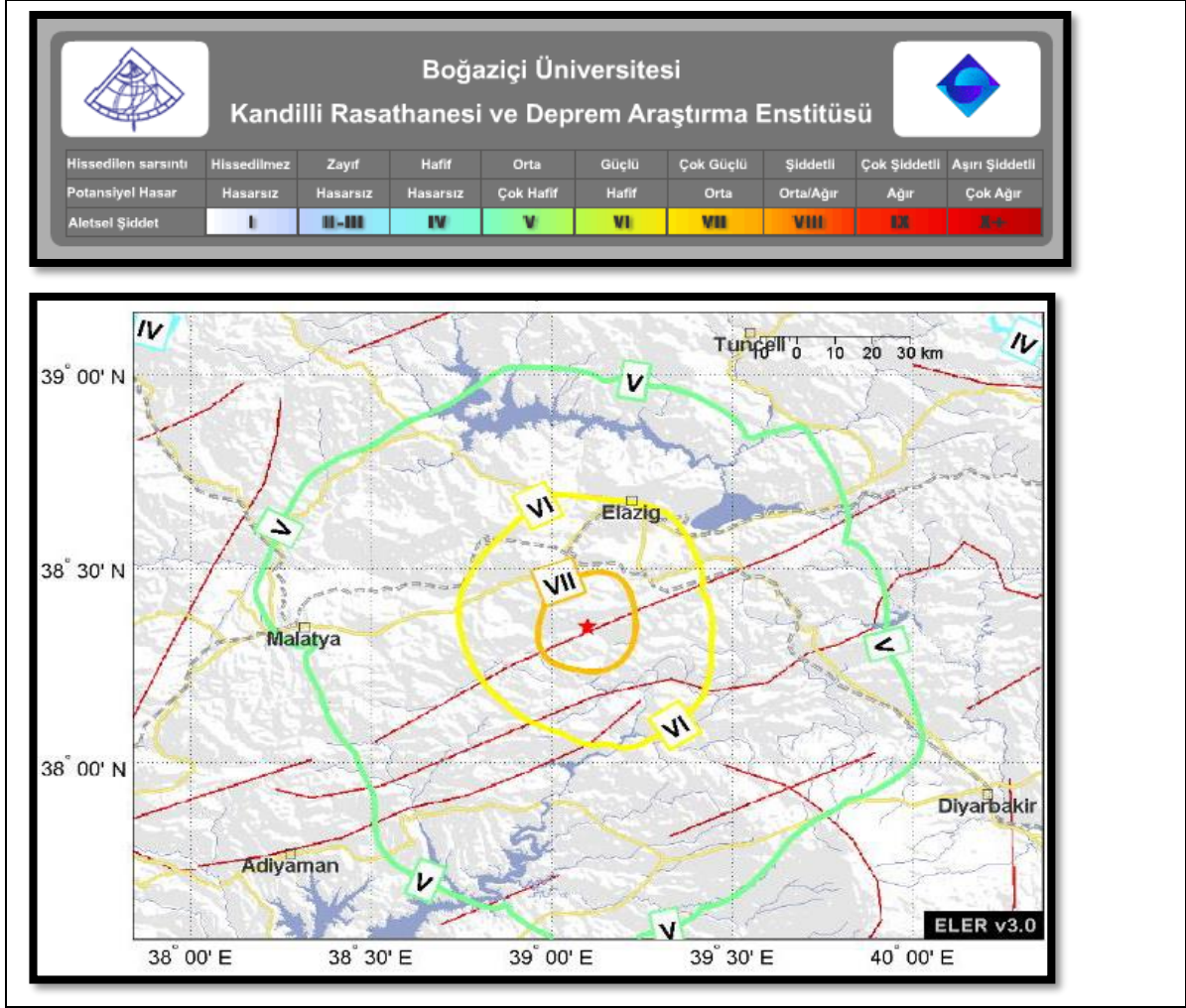
Çalışmada, deformasyon araştırması yapılan istasyonlar Sivrice-Elazığ depreminin olduğu bölgenin çevresinde bulunan TUSAGA-Aktif istasyonlarıdır. Araştırmada 7 gün 24 saat sürekli GNSS ölçüsü kaydı yapan bu istasyonların gözlemleri kullanılmıştır. Veriler OPUS ve AUSPOS web tabanlı veri değerlendirme servislerinde değerlendirilmiştir. Seçilen her bir TUSAGA-Aktif istasyonuna ait koordinatlar dengelenerek kesin koordinatlar elde edilmiştir.

1.1.Sivrice Deprem Bölgesinin Fay Zonu Yapısı

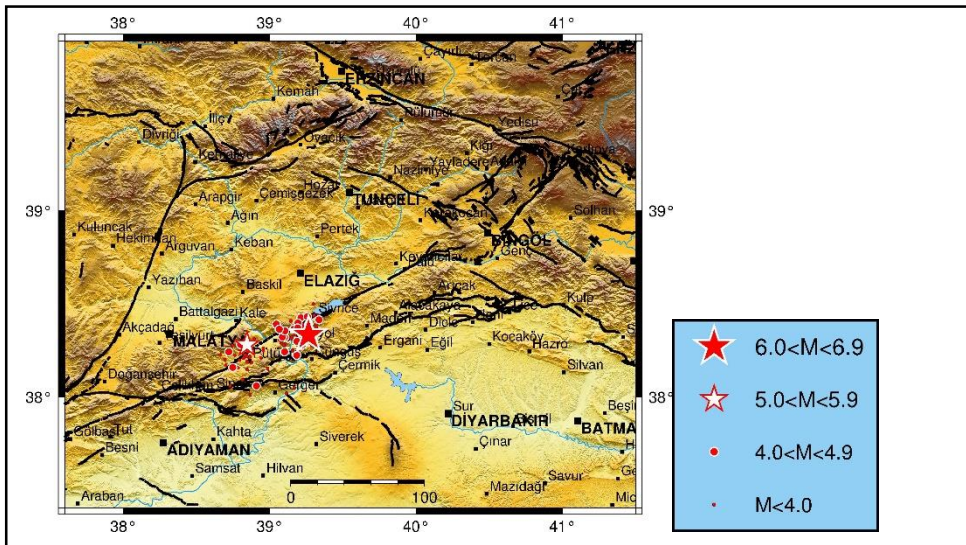
24 Ocak 2020 tarihinde Sivrice (Elazığ) merkezli depremin odak derinliği yaklaşık 5 km civarında olup sığ odaklı bir depremdir. Depremin hızlı fay düzlemi çözümü doğrultu-atımlı fay olup, Doğu Anadolu Fay Zonu içerisinde meydana gelmiş bir depremdir (BDTİM, 2020).

Şekil 1'de deprem sonrası hazırlanan tahmini şiddet haritası görülürken (BDTİM, 2020), Şekil 2'de 17 Ocak 2020-2 Şubat 2020 tarihleri arasında Sivrice-Elazığ bölgesinde

meydana gelen büyük deprem ve artçı şok aktivitesi görülmektedir.



Şekil 1. Deprem sonrası hazırlanan tahmini şiddet haritası



Şekil 2. 17 Ocak 20 Şekil 2. 17 Ocak Şekil 2. 17 Ocak 2020-2 Şubat 2020 tarihleri arasında Sivrice-Elazığ depremi ve artçı şok aktivitesi M>4

Deprem özellikle dış merkeze yakın Uyruk-Mollaali-Hacılar-Gümüşsu-Günaşlı-Akça-Gökçeli-Gözeli-Alıncık-Sivrice’ de geleneksel yapı tarzı olan yığma kerpiç-kâğır yapılarda hasar meydana getirmiş olup depremde 41 kişi hayatını kaybetmiştir (BDTİM, 2020).

Türkiye’ nin en büyük ikinci fay zonu olan DAFZ, Avrasya ve Arap levhalarının çarpışmalarının sonucu oluşmuştur. DAFZ, Türkiye’ nin Güneydoğusundaki Arap / Anadolu levha sınırını oluşturan, morfolojik olarak ayrı ve sismik olarak aktif bir sol yanal doğrultu atımlı faydır. KAFZ ile birlikte, Arap ve Afrika plakaları ile Anadolu Bloğu arasındaki etkileşimi, yanal bir hareketle karşılamaktadır. DAFZ, farklı doğrultu eğim ve hareket bileşenlerine sahip olan farklı fay kollarının oluşturduğu birbirlerinden bağımsız geometrilerde zonal bir yapıdan oluşmaktadır (Tan ve Eyidoğan, 2019; Khalifa, 2018; Khalifa vd., 2018; Köküm, 2019; Yönlü vd., 2017; Kayın, 2019).

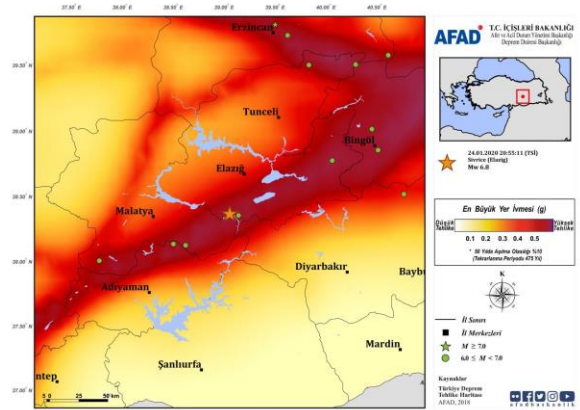
DAFZ, Karlıova üçlü eklem noktasından başlar ve Bingöl, Palu, Hazar Gölü, Pötürge, Sincik, Narlı, Türkoğlu yörelerinden geçerek İskenderun Körfezine kadar uzanan geniş bir alanda konumlanır. Kuzeydoğu-Güneybatı doğrultusunda uzanan bu kuşak yaklaşık 700 km uzunluğunda olup, ortalama 30 km genişliktedir. Bu kuşak içerisinde çok sayıda paralel veya yarı paralel sol yanal atımlı faylar bulunmaktadır. Bu faylarda sıçrama (stepover), ayrılma, bükülme (bending) ve yön değiştirmelere rastlanmaktadır (Bayramoğlu, 2020).

Kuzey Anadolu Fayı’ nın (KAF) Doğu kısmının büyük depremler ürettiği ve 0 ila 15 km derinlikte birleştiği düşünülmektedir. Öte yandan, basit geri kayma modelleri DAFZ’ nin zayıf bir şekilde bağlandığını ve sadece üst

kabuğun ilk kilometrelerinde, 0 ila 5 km arasında olduğunu göstermektedir. Bu gözlem yirminci yüzyılda kaydedilen düşük sismisite oranına uygundur (Menekşe, 2016).

Çalışma alanının bulunduğu Elazığ ili ve çevresi birbirinden farklı iki ayrı deprem bölgesinden oluşmaktadır. Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre Elazığ kent merkezinin bulunduğu alan ile Kuzey bölümü tümüyle 2. derece deprem bölgesi içinde yer alırken, Palu İlçesinin de üzerinde yer aldığı Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde kalan, Elazığ güneyindeki bölge ise 1. Derece deprem bölgesi içindedir (Bayramoğlu, 2020).

Şekil 3’de depremin yaşandığı bölgenin Türkiye deprem tehlike haritasındaki durumu gösterilmiştir (AFAD, 2020).



Şekil 3. Türkiye Deprem Tehlike Haritasına göre bölgenin deprem tehlikesi

2. Materyal ve Metot

2.1. Online Positioning User Service (OPUS)

OPUS, Amerikan Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresinin kurmuş olduğu bir değerlendirme servisedir. Kullanımı oldukça kolay olan bu değerlendirme sisteminde, kullanıcı gözlem dosyasını sisteme yükleyip, anten tipini, yükseklik bilgisini ve sonuçların

gönderileceği e-mail adresini sisteme tanımlar. Son aşama olarak ölçülerin hızlı-statik (15 dakika ile 2 saat arası) veya statik (2 saat ile 48 saat arası) ölçü yöntemlerinden birini seçerek değerlendirme işlemine başlamış olur. Değerlendirme aşamasında referans olarak çalışma bölgesine en yakın 3 CORS (Continuously Operating Reference Station) veya IGS (International GNSS Service) istasyonu seçilir. Bu istasyonlar kullanıcı tarafından değiştirilebilmektedir. Servis statik değerlendirmede PAGES yazılımını kullanmaktadır. Desteklediği uydu sistemi sadece GPS (Global Positioning System)' dir. Sonuçları ITRF2014 (International Terrestrial Reference Frame 2014) ölçü epogunda verirken, kartezyen koordinat sisteminin yanında UTM (Universal Transverse Mercator) koordinat değerlerini de vermektedir. Değerlendirme servisinin ara yüzüne <https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/> adresinden ulaşılabilir.

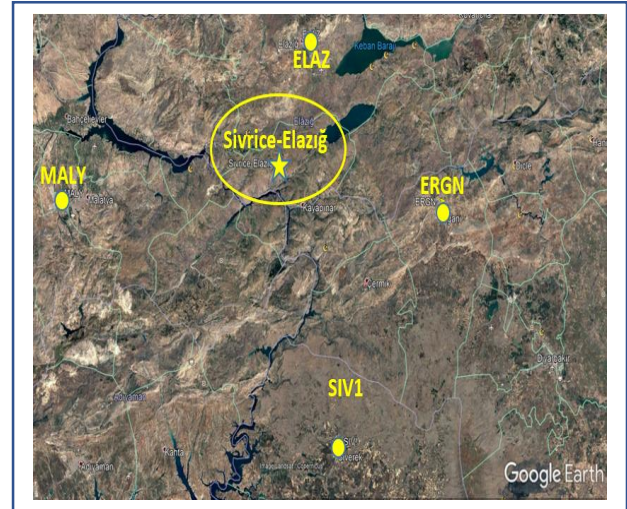
2.2. Australian Online GPS Processing Service (AUSPOS)

GeoScience Australia tarafından işletilen bir değerlendirme servisi. Bu değerlendirme sisteminde, OPUS servisinde olduğu gibi kullanıcı gözlem dosyasını sistem üzerinden yüklemektedir. Ayrıca ftp üzerinden de veri yüklenebilmektedir. Sistem üzerine kullanıcı tarafından anten tipi, yükseklik bilgisi ve sonuçların gönderileceği e-mail adresi tanımlanır. OPUS değerlendirme servisinde olduğu gibi bu serviste de yalnızca GPS verileri değerlendirilmektedir. Sistemin veriyi değerlendirmesi için en az 1 saatlik gözlem toplanmış olmalıdır. Değerlendirme, çalışma bölgesine yakın 12-15 IGS istasyonu referans seçilerek yapılır. Statik değerlendirmede Bernese akademik yazılımını kullanmaktadır. Sonuçlar ITRF2014 sisteminde verilirken, kartezyen koordinat sisteminin yanında

coğrafi koordinatlar ve UTM koordinat değerleri de verilmektedir. Değerlendirme servisinin ara yüzüne <http://www.ga.gov.au/cgi-perl/auspos/gps.pl> adresinden ulaşılabilir.

2.3. Uygulama

Çalışmanın bu kısmında, 24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen Sivrice-Elazığ (M_l=6.6) depremi tahmini şiddet haritası sınırları içerisinde kalan ELAZ (Elazığ), ERGN (Ergani), MALY (Malatya) ve SIV1 (Siverek) TUSAGA-Aktif istasyonlarının verileri kullanılmış ve istasyonların dağılımı şekil 4'te gösterilmiştir. Deprem merkezinin TUSAGA-Aktif istasyonlarından ELAZ istasyonuna uzaklığı yaklaşık 32 km, ERGN istasyonuna uzaklığı yaklaşık 58 km, MALY yaklaşık 77 km ve SIV1 istasyonuna uzaklığı yaklaşık 72 km'dir.



Şekil 4. Çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif İstasyonları

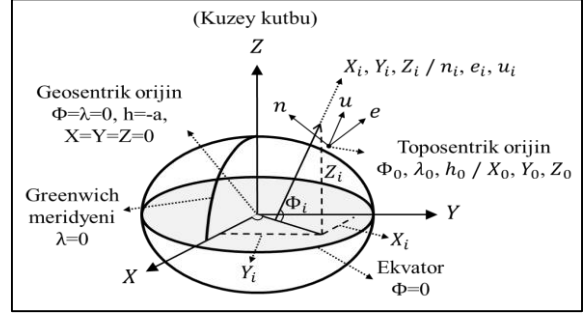
24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen M_l=6.6 şiddetindeki Sivrice-Elazığ depreminden bir sonraki haftaya kadar meydana gelen deprem sayısında azalma olduğu görülmüştür. Yapılan bu tespite göre deprem yoğunluğu ilk yedi gün içerisinde olduğu için 24 Ocak 2020 tarihli Sivrice-

Elazığ depremi için 17 Ocak 2020-2 Şubat 2020 tarihleri arasındaki veriler değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan bu veri setleri Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Sayfalar/Rinex/30snRinex.aspx> adresinden sağlanmıştır. Yukarıda verilen tarihler arasında 24 saat süreli ve 30 saniye periyotlu verilerin her biri OPUS ve AUSPOS rölatif değerlendirme servislerine gönderilmiştir. Kayıt aralığı 1 saniyelik veri yerine 30 saniyelik verilerin kullanılmasının nedeni AUSPOS değerlendirme sisteminin 30 saniyelik verileri kullanmasıdır. 30 saniyelik verilerin kullanılması ile iki farklı web tabanlı değerlendirme servisinin karşılaştırmasının aynı koşullara göre yapılması amaçlanmıştır. Statik olarak değerlendirilen verilerde GPS uydularına ait tüm veriler kullanılmıştır. Değerlendirme işlemi tamamlandıktan sonra değerlendirme raporları önceden sisteme tanımlanan adrese servis tarafından mail olarak gönderilmiştir. Statik verilerin değerlendirme aşamasında OPUS ve AUSPOS servislerinde "IGS Final" hassas efemeris dosyası kullanılmıştır. 17-23 Ocak 2020 tarihleri arası ölçü epoğundaki ITRF14 sistemindeki kartezyen koordinatların aritmetik ortalama değerleri TUSAGA- Aktif istasyonunun sabit koordinatı olarak alınmış ve deformasyon belirleme aşamasında referans olarak kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, TUSAGA-Aktif istasyonlarında oluşan yer değişimlerini yorumlamak için, web servisleri ile hesaplanan kesin kartezyen koordinatlar (X, Y, Z) , lokal toposentrik kartezyen koordinatlara (n, e, u) aşağıdaki bağıntılar kullanılarak dönüştürülmüştür.

Burada X_0, Y_0, Z_0 referans noktasının yer merkezli kartezyen koordinatlarını; Φ_0, λ_0 referans noktasının X_0, Y_0, Z_0 yer merkezli kartezyen koordinatları ile hesaplanan coğrafi

koordinatlarını; X_i, Y_i, Z_i , i . noktanın yer merkezli kartezyen koordinatlarını; n_i, e_i, u_i ise i . noktanın lokal toposentrik kartezyen koordinatlarını göstermektedir.

$$R(\varphi_0, \lambda_0) = \begin{bmatrix} -\sin \lambda_0 & \cos \lambda_0 & 0 \\ -\sin \varphi_0 \cos \lambda_0 & -\sin \varphi_0 \sin \lambda_0 & \cos \varphi_0 \\ \cos \varphi_0 \cos \lambda_0 & \cos \varphi_0 \sin \lambda_0 & \sin \varphi_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$



Şekil 5. Jeosentrik ve toposentrik koordinat sistemleri (Yiğit, 2016).

Sivrice-Elazığ depreminden önceki ilk 7 güne ait toposentrik koordinatların standart sapma (σ) değerleri, aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{VV}{n}} \quad (3)$$

Eşitlikte n değeri gün sayısını göstermekte olup bu çalışmada duruma göre 2 ve 7 alınmıştır.

μ değeri, TUSAGA-Aktif istasyonlarının her gün için hesaplanan toposentrik koordinatların tüm yönlerinde beklenen değer olmak üzere,

$$P(\mu - 3\sigma < X < \mu + 3\sigma) = \%99 \quad (4)$$

eşitliği kabul edilebilir en büyük hata değerini ifade eder. Bulunan kesin değerlerin güven aralığının dışına çıkması durumunda TUSAGA-Aktif istasyonunun deformasyona uğradığı söylenebilir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. OPUS ile yapılan değerlendirme sonuçları

OPUS değerlendirme servisi ile ilk yedi güne ait elde edilen kartezyen koordinatların aritmetik ortalama koordinat değerleri Tablo 2' de verilmektedir. ERGN istasyonunda, referans olarak kullanılacak ilk 7 gün içerisinde yalnızca 18 Ocak ve 19 Ocak 2020 tarihleri için bu değerlendirme servisi ile değerlendirme sonuçları elde edilebilmiştir. Diğer günler referans koordinat hesabına dâhil edilmemiştir. OPUS değerlendirme servisinde kullanılan 3 adet sabit IGS noktasına ait detaylar Tablo 3' de verilmektedir.

OPUS değerlendirme servisi ile elde edilen ELAZ, ERGN, MALY ve SIV1 kodlu TUSAGA-Aktif istasyonlarının günlük toposentrik koordinatlarının referans olarak alınan koordinat ile arasındaki farklar sırasıyla Tablo 5, 6, 7 ve 8' de, yer değişim grafikleri de şekil 5, 6, 7 ve 8' de ayrı ayrı verilmiştir.

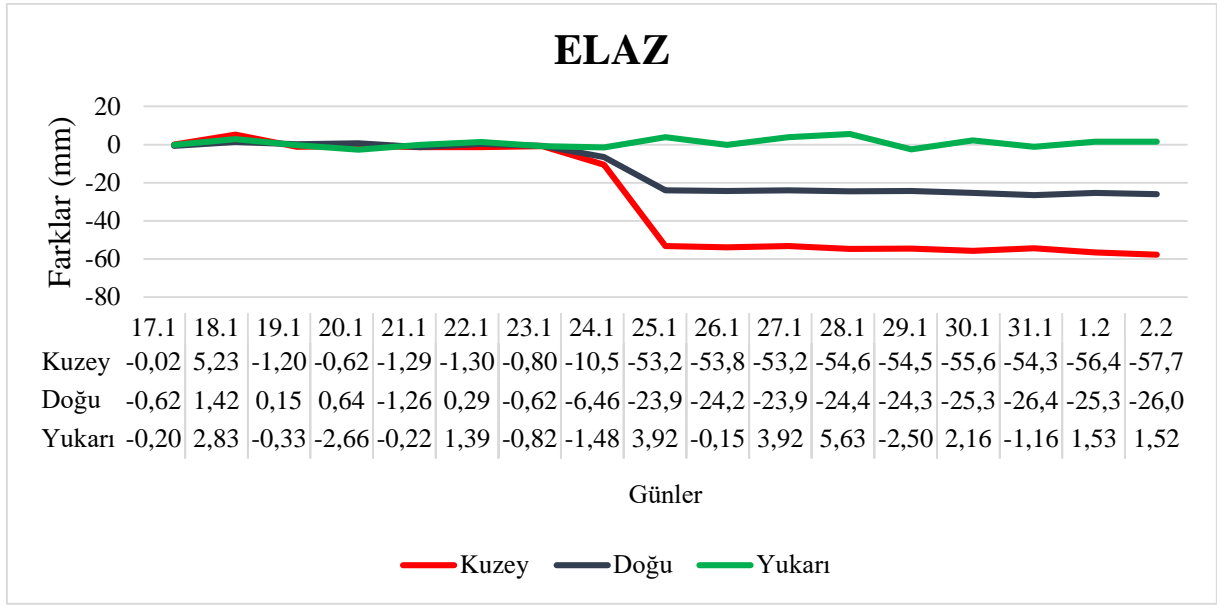
Sivrice-Elazığ depreminden kaynaklanan deformasyonları belirlemek için deprem tarihinden sonraki 7 gün için, OPUS servisi ile değerlendirilmiş tüm yönlere ait standart sapma değerlerinin 3 katını geçen deformasyon miktarları Tablo 4' de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışma kapsamında deformasyon araştırması için kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarının OPUS değerlendirme servisi ile elde edilen koordinatlarının aritmetik ortalama değerleri

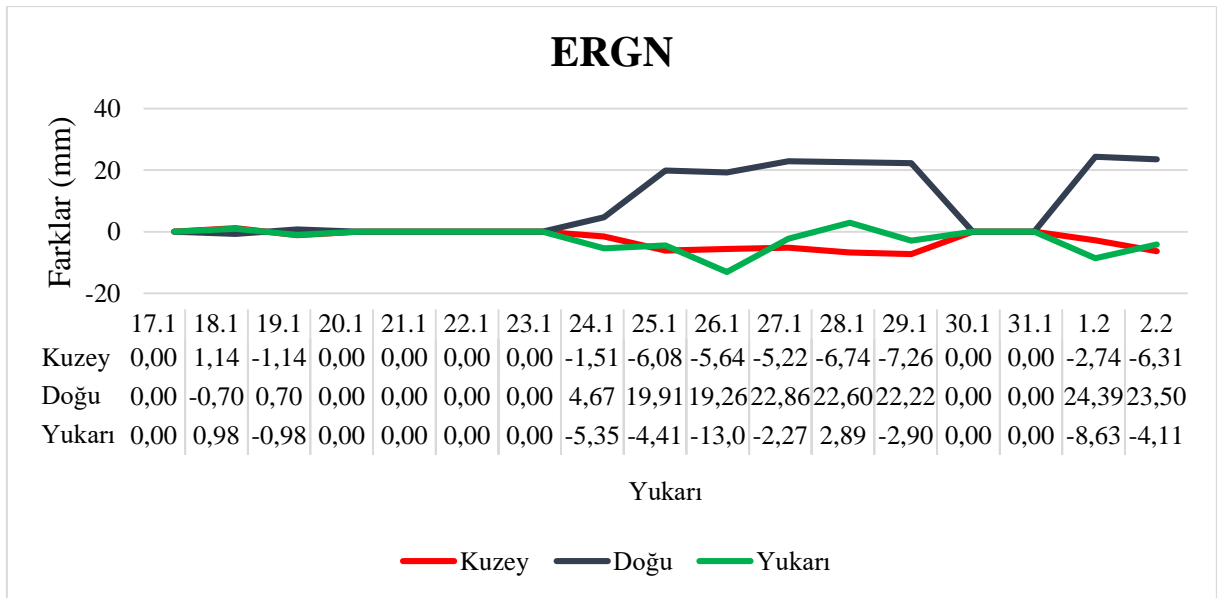
TUSAGA-Aktif İstasyon Kodu	X (m)	Y (m)	Z (m)
ELAZ	3862978.8287	3156913.2586	3962227.0911
ERGN	3855071.663	3207162.247	3929594.538
MALY	3936259.3414	3099410.1646	3935525.4066
SIV1	3906623.5203	3200003.0214	3884299.1766

Tablo 3. OPUS servisinde seçilen 3 adet IGS istasyonuna ait bilgiler

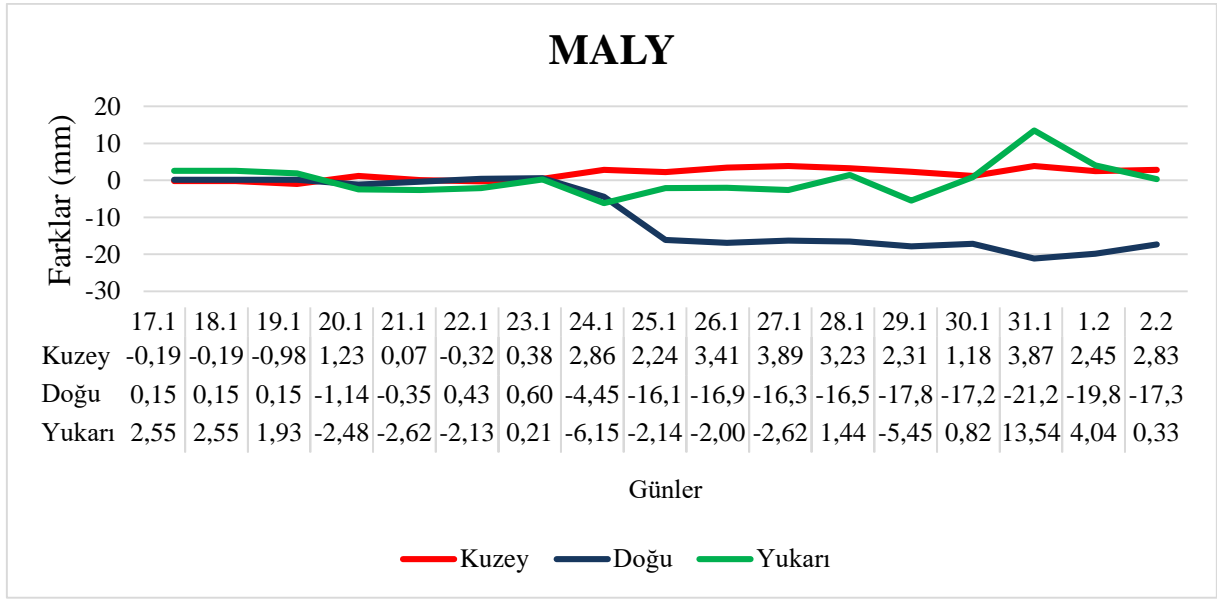
Nokta	Ülke	Şehir	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)
BSHM	İsrail	Haifa	35.0200000	32.7788889	225.1
NICO	Nicosia	Kıbrıs	33.3963889	35.1408333	155.0
ZECK	Zelenchukskaya	Rusya	43.7883908	41.5650674	1166.8



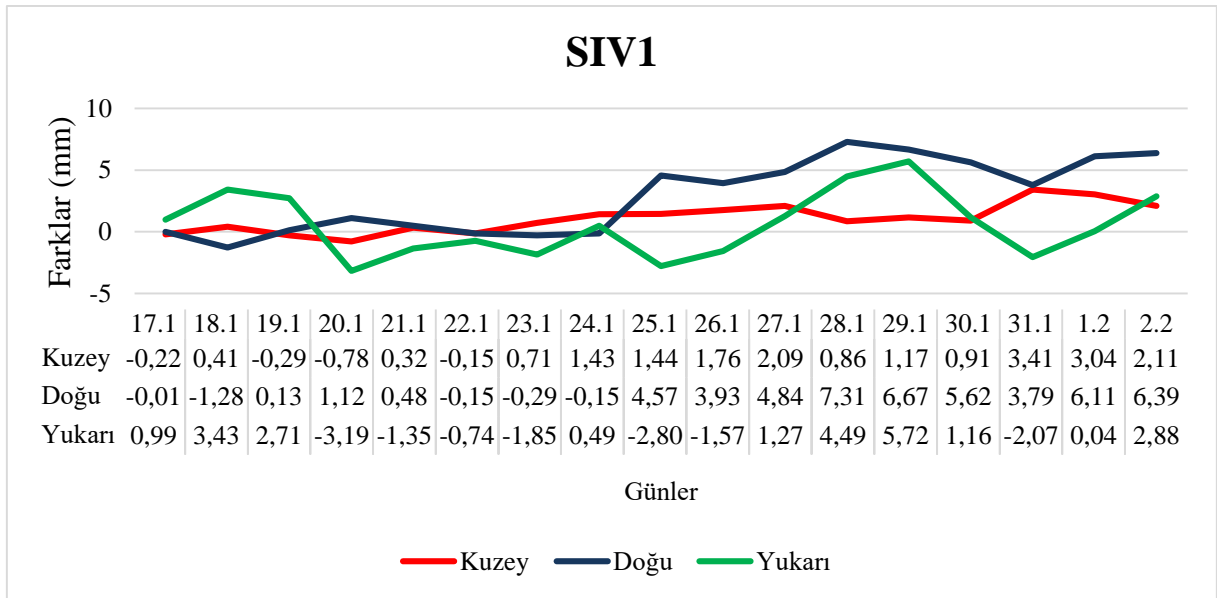
Şekil 6. OPUS servisi ile değerlendirilen ELAZ istasyonu için hesaplanan yer değişim grafiği



Şekil 7. OPUS servisi ile değerlendirilen ERGN istasyonu için hesaplanan yer değişim grafiği



Şekil 8. OPUS servisi ile değerlendirilen MALY istasyonu için hesaplanan yer değişim grafiği



Şekil 9. OPUS servisi ile değerlendirilen SIV1 istasyonu için hesaplanan yer değişim grafiği

Tablo 4. ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmasına göre deprem sonrası deformasyonların miktarları (OPUS)

Tarih	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Karar Kuzey (mm)	Karar Doğu (mm)	Karar Yukarı (mm)
24.01.2020	-10.53	-6.46	-1.48	+	+	-
25.01.2020	-53.25	-23.96	3.92	+	+	-
26.01.2020	-53.84	-24.24	-0.15	+	+	-
27.01.2020	-53.25	-23.96	3.92	+	+	-
28.01.2020	-54.62	-24.45	5.63	+	+	+
29.01.2020	-54.52	-24.39	-2.50	+	+	-
30.01.2020	-55.68	-25.37	2.16	+	+	-
31.01.2020	-54.31	-26.43	-1.16	++	+	-
01.02.2020	-56.47	-25.37	1.53	+	+	-
02.02.2020	-57.73	26.00	1.52	+	+	-

Tablo 4' e göre ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonunda deprem sonrası tüm günlerde Kuzey ve Doğu yönlerinde hareketler anlamlı çıkmıştır. Kuzey yöndeki hareket miktarının yaklaşık -58 mm ile -53 mm arasında, Doğu yönündeki hareket miktarının ise yaklaşık -27 mm ile -23 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Bu istasyonda Kuzey ve Doğu yönlerinde ilk hareket, deprem günü 24 Ocakta başlamış, 2 Şubat gününe kadar devam etmiştir. Kuzey ve Doğu yönündeki hareketlerin yönü aynı ve deformasyon büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yukarı yönde yalnızca Ocak ayının 28. gününde yaklaşık 5 mm' lik bir hareket anlamlı çıkmıştır. Yukarı yönlü hareketlerin genel olarak kendi içinde tutarsız olduğu, yönlerinin ve büyüklüklerinin farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 5' e göre ERGN TUSAGA-Aktif istasyonunda deprem sonrası bazı günlerde Kuzey ve Doğu yönlerinde hareketler

anlamlı çıkmıştır. Kuzey yöndeki hareket miktarının yaklaşık -5 mm ile -7 mm, Doğu yönündeki hareket miktarının ise yaklaşık 20 mm ile 25 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Bu istasyonda Kuzey ve Doğu yönündeki ilk atım 24 Ocak günü başlamış, 2 Şubat gününe kadar devam etmiştir. Hareketlerin yönünün aynı ve deformasyon büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yukarı yönde ise belirlenen hareket miktarları yaklaşık -4 mm ile -13 mm arasında ve anlamlı olarak tespit edilmiştir. Ocak ayının 29. günündeki anlamsız çıkan hareketin yönünün diğer günlere göre ters yönlü olduğu görülmektedir.

Tablo 6' ya göre MALY TUSAGA-Aktif istasyonunda deprem sonrası tüm günlerde Kuzey ve Doğu yönündeki hareketler anlamlı çıkmıştır. Kuzey yöndeki hareket miktarı yaklaşık 1 mm ile 4 mm arasında, Doğu yönündeki hareket miktarı ise yaklaşık -4 ile -21 mm arasında değişmektedir. Bu istasyonda Kuzey ve

Doğu yönündeki ilk atım 24 Ocak günü başlamış, 2 Şubat gününe kadar devam etmiştir. Hareketlerin yönünün aynı ve deformasyon büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Doğu yönündeki hareketlerin deprem gününden

itibaren 31 Ocak gününe kadar sistematik bir biçimde arttığı görülmektedir. Yukarı yönde yalnızca Ocak ayının 31. gününde yaklaşık 13.5 mm' lik bir hareket anlamlı olarak belirlenmiştir.

Tablo 5. ERGN TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmasına göre deprem sonrası deformasyonlarının miktarları (OPUS)

Tarih	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Karar Kuzey (mm)	Karar Doğu (mm)	Karar Yukarı (mm)
24.01.2020	-1.51	4.67	-5.35	-	+	+
25.01.2020	-6.08	19.91	-4.41	+	+	+
26.01.2020	-5.64	19.26	-13.03	+	+	+
27.01.2020	-5.22	22.86	-2.27	+	+	-
28.01.2020	-6.74	22.60	2.89	+	+	-
29.01.2020	-7.26	22.22	-2.90	+	+	-
30.01.2020						
31.01.2020						
01.02.2020	-2.74	24.39	-8.63	-	+	+
02.02.2020	-6.31	23.50	-4.11	+	+	+

Tablo 6. MALY TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmasına göre deprem sonrası deformasyonlarının miktarları (OPUS)

Tarih	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Karar Kuzey (mm)	Karar Doğu (mm)	Karar Yukarı (mm)
24.01.2020	2.86	-4.45	-6.15	+	+	-
25.01.2020	2.24	-16.13	-2.14	+	+	-
26.01.2020	3.41	-16.92	-2.00	+	+	-
27.01.2020	3.89	-16.30	-2.62	+	+	-
28.01.2020	3.23	-16.58	1.44	+	+	-
29.01.2020	2.31	-17.87	-5.45	+	+	-
30.01.2020	1.18	-17.20	0.82	+	+	-
31.01.2020	3.87	-21.20	13.54	+	+	+
01.02.2020	2.45	-19.84	4.04	+	+	-
02.02.2020	2.83	-17.37	-0.33	+	+	-

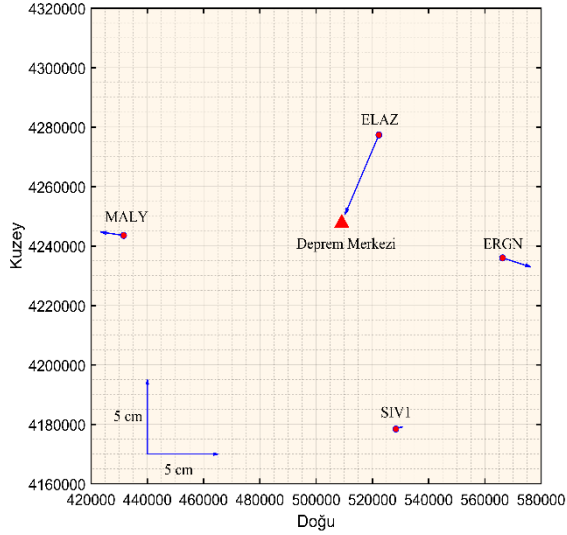
Tablo 7' ye göre SIV1 TUSAGA-Aktif istasyonunda deprem sonrası bazı günlerde Kuzey ve Doğu yönlerindeki hareketler anlamlı çıkmıştır. Doğu yönünde 24 Ocak günü hariç diğer tüm günlerdeki hareketler anlamlı çıkmıştır. Kuzey yöndeki hareket miktarı yaklaşık 1.7 mm ile 3.4 mm arasında, Doğu yönündeki hareket miktarı ise yaklaşık 3.8 mm ile 7.3 mm arasında değişmektedir. Bu istasyonda Doğu yönündeki ilk atım 25 Ocak günü başlamış, 2 Şubat gününe kadar devam etmiştir. Hareketlerin yönü aynı ve deformasyon büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu

görülmektedir. Yukarı yönde yalnızca Ocak ayının 29. gününde yaklaşık 6 mm' lik hareket belirlenmesine rağmen, bu gün dâhil diğer tüm günlerde meydana gelen hareketler anlamlı olarak tespit edilememiştir. 25 Ocak günü için hesaplanan TUSAGA-Aktif istasyonların toposentrik koordinatlarına göre yatay ve yukarı yönlü hareketleri sırasıyla Şekil 10 ve Şekil 11' de çizilmiştir. Yatay deformasyon vektörleri aşağıdaki eşitlikten hesaplanmıştır.

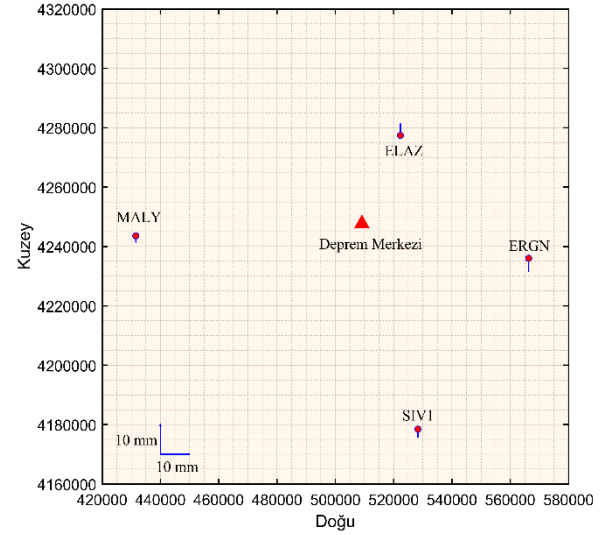
$$Y.D.V. = \sqrt{\Delta Kuzey^2 + \Delta Doğu^2} \quad (5)$$

Tablo 7. SIV1 TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmasına göre deprem sonrası deformasyonlarının miktarları (OPUS)

Tarih	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Karar Kuzey (mm)	Karar Doğu (mm)	Karar Yukarı (mm)
24.01.2020	1.43	-0.15	0.49	-	-	-
25.01.2020	1.44	4.57	-2.80	-	+	-
26.01.2020	1.76	3.93	-1.57	+	+	-
27.01.2020	2.09	4.84	1.27	+	+	-
28.01.2020	0.86	7.31	4.49	-	+	-
29.01.2020	1.17	6.67	5.72	-	+	-
30.01.2020	0.91	5.62	1.16	-	+	-
31.01.2020	3.41	3.79	-2.07	+	+	-
01.02.2020	3.04	6.11	0.04	+	+	-
02.02.2020	2.11	6.39	2.88	+	+	-



Şekil 10. TUSAGA-Aktif istasyonlarının OPUS ile belirlenmiş 25 Ocak 2020 tarihli yatay hareketleri



Şekil 11. TUSAGA-Aktif istasyonlarının OPUS ile belirlenmiş 25 Ocak 2020 tarihli yukarı yönlü hareketler

3.1.AUSPOS ile yapılan değerlendirme sonuçları

AUSPOS değerlendirme servisi ile ilk yedi güne ait elde edilen kartezyen koordinatların aritmetik ortalama koordinat değerleri Tablo 8’ de verilmektedir. Bu

serviste ERGN istasyonunda, referans olarak kullanılacak ilk 7 günün tümü için değerlendirme sonuçları elde edilebilmiştir.

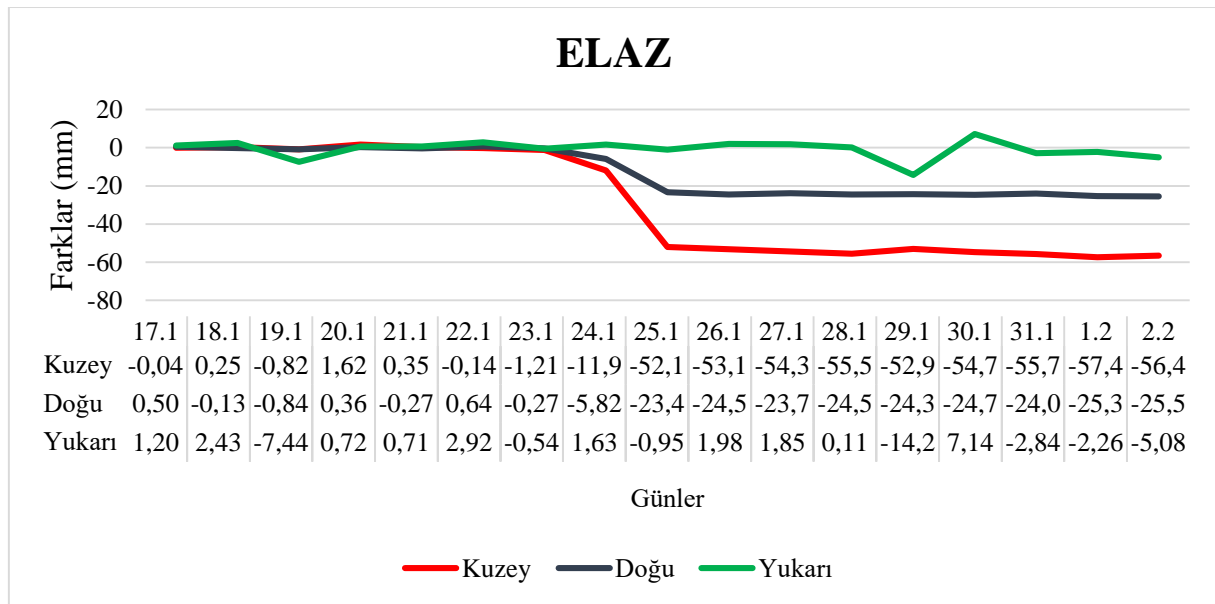
AUSPOS değerlendirme servisinde kullanılan 12 adet sabit IGS noktasına ait detaylar Tablo 9’ da verilmektedir

Tablo 8. Çalışma kapsamında deformasyon araştırması için kullanılan TUSAGA-Aktif istasyonlarının AUSPOS değerlendirme servisi ile elde edilen koordinatlarının aritmetik ortalama değerleri

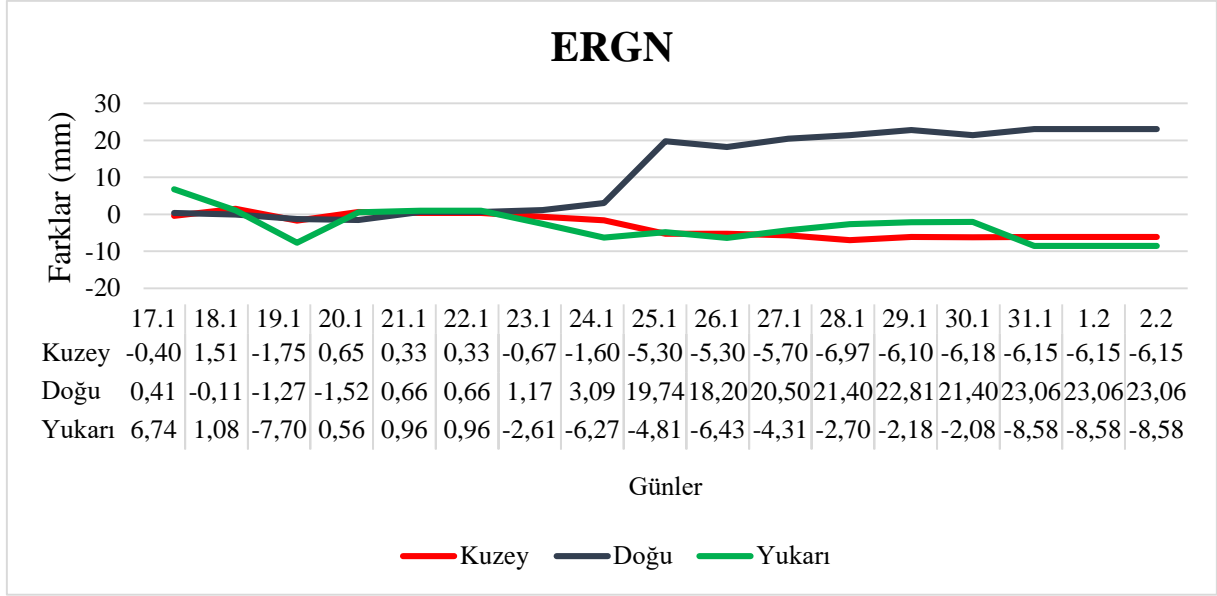
TUSAGA-Aktif İstasyon Kodu	X (m)	Y (m)	Z (m)
ELAZ	3862978.8276	3156913.2560	3962227.0913
ERGN	3855071.6570	3207162.2411	3929594.5341
MALY	3936259.3387	3099410.1609	3935525.4053
SIV1	3906623.5204	3200003.0177	3884299.1754

Tablo 9. AUSPOS servisinde seçilen 12 adet IGS istasyonuna ait bilgiler

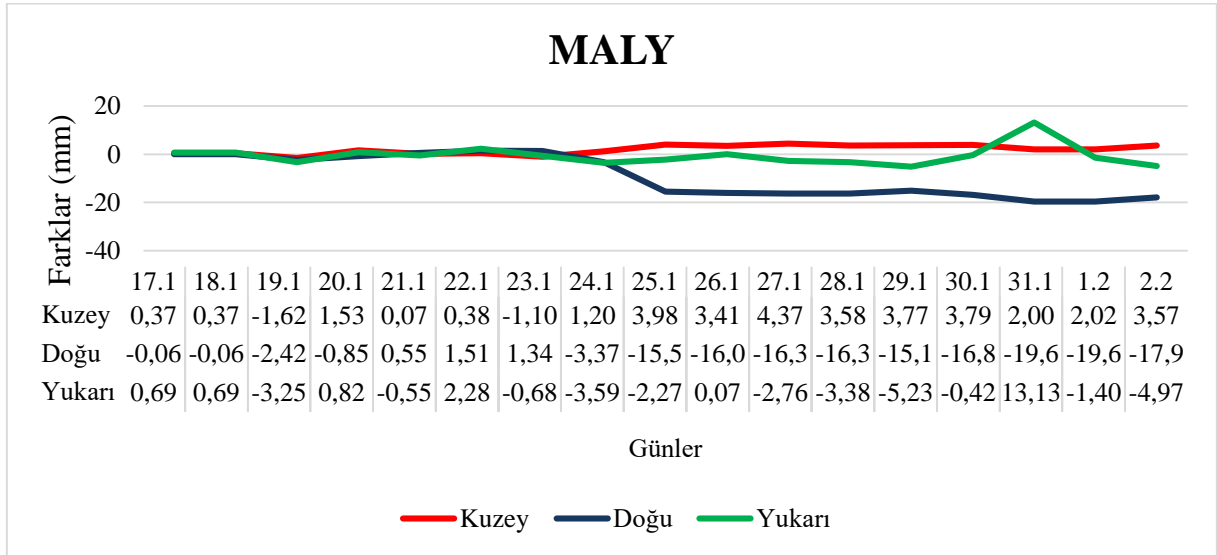
Nokta	Ülke	Şehir	Enlem(°)	Boylam (°)	Yükseklik
ANKR	Türkiye	Ankara	39.8875116	32.7585789	974.8
BHR4	Bahreyn	Manama	26.2091413	50.6081455	-13.9
BUCU	Romanya	Bükreş	44.4639438	26.1257383	143.2
DRAG	İsrail	Metzoki	31.5932005	35.3920703	31.8
GLSV	Ukrayna	Kiev	50.3641784	30.4967393	226.8
ISER	Irak	Erbil	36.1598537	44.0109389	431.3
ISNA	Irak	Bağdat	33.3414143	44.4384019	72.4
MAT1	İtalya	Matera	40.6490615	16.7045454	534.5
POLV	Ukrayna	Poltava	49.6026131	34.5429288	178.1
RAMO	İsrail	Mitzpe Ramon	30.5977596	34.7631400	893.1
SOFI	Bulgaristan	Sofya	42.5560925	23.3947288	1119.6
TEHN	İran	Tahran	35.6972813	51.3340918	1194.6



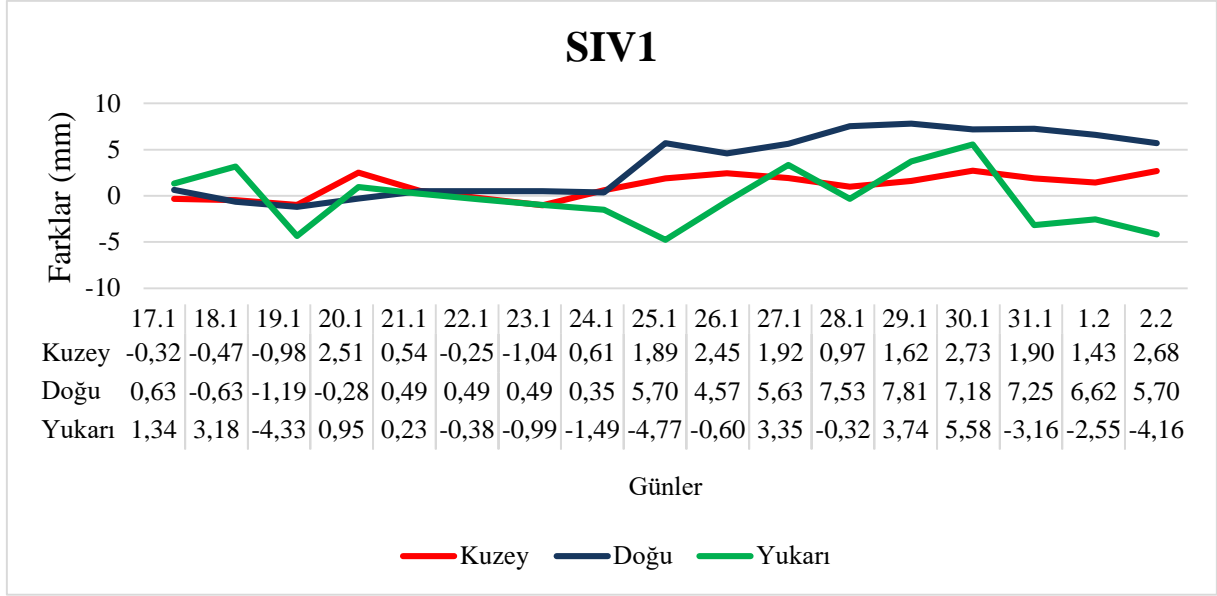
Şekil 12. AUSPOS servisi ile değerlendirilen ELAZ istasyonu için hesaplanan yer değişim grafiği



Şekil 13. AUSPOS servisi ile değerlendirilen ERGN istasyonu için hesaplanan yer değişim grafiği



Şekil 14. AUSPOS servisi ile değerlendirilen MALY istasyonu için hesaplanan yer değişim grafiği



Şekil 15. AUSPOS servisi ile değerlendirilen SIV1 istasyonu için hesaplanan yer değişim grafiği

AUSPOS değerlendirme servisi ile elde edilen ELAZ, ERGN, MALY ve SIV1 kodlu TUSAGA-Aktif istasyonlarının yer değişim grafikleri şekil 12, 13, 14 ve 15’ de ayrı ayrı verilmiştir.

Sivrice-Elazığ depreminden kaynaklanan deformasyonları belirlemek için deprem tarihinden sonraki 7 gün için, AUSPOS servisi ile değerlendirilmiş tüm yönlerde ait standart sapma değerlerinin 3 katını geçen deformasyon miktarları Tablo 10’ da verilmiştir. Tablo 10’ a göre ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonunda deprem sonrası tüm günlerde Kuzey ve Doğu yönlerinde hareketler anlamlı çıkmıştır. Kuzey yöndeki hareket miktarı yaklaşık -52 mm ile 58 mm, Doğu yönündeki hareket miktarı yaklaşık -23 mm ile -26 mm arasında belirlenmiştir. Bu istasyonda Kuzey ve Doğu yönlerinde ilk hareket deprem günü 24 Ocakta başlamış, 2 Şubat gününe kadar devam etmiştir. Kuzey ve Doğu yönündeki hareketlerin yönü aynı ve deformasyon büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yukarı yönde

yalnızca Ocak ayının 28. gününde yaklaşık -14 mm’ lik bir hareket anlamlı olarak tespit edilmiştir. Yukarı yönlü hareketlerin genel olarak kendi içinde tutarsız olduğu ve aynı zamanda yönleri ile büyüklüklerinin farklı olduğu görülmektedir.

Tablo 11’ e göre ERGN TUSAGA-Aktif istasyonunda deprem sonrası 24 Ocak günü hariç diğer tüm günlerde Kuzey ve Doğu yönündeki hareketleri anlamlı çıkmıştır. Kuzey yöndeki hareket miktarının yaklaşık -7 mm ile -5.3 mm arasında, Doğu yönündeki hareket miktarı ise yaklaşık 18 mm ile 23 mm arasında olduğu belirlenmiştir. Bu istasyonda Kuzey ve Doğu yönündeki ilk atım 24 Ocak günü başlamış, 2 Şubat gününe kadar devam etmiştir. Hareketlerin yönü aynı ve deformasyon büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Doğu yönlü hareketlerin deprem gününden itibaren sistematik bir biçimde arttığı görülmektedir. Yukarı yönlü hareketlerin 30 Ocak gününe kadar azaldığı, 31 Ocak gününden sonrada yaklaşık 6 mm’ lik bir

atım yaptığı belirlenmiştir. Yukarı yönde ise hareket miktarlarının yaklaşık 8 mm' ye kadar çıkmasının anlamsız olduğu belirlenmiştir.

Tablo 10. ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmasına göre deprem sonrası deformasyonların miktarları (AUSPOS)

Tarih	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Karar Kuzey (mm)	Karar Doğu (mm)	Karar Yukarı (mm)
24.01.2020	-11.91	-5.82	1.63	+	+	-
25.01.2020	-52.10	-23.40	-0.95	+	+	-
26.01.2020	-53.17	-24.53	1.98	+	+	-
27.01.2020	-54.34	-23.75	1.85	+	+	-
28.01.2020	-55.51	-24.53	0.11	+	+	-
29.01.2020	-52.98	-24.39	-14.26	+	+	+
30.01.2020	-54.72	-24.73	7.14	+	+	-
31.01.2020	-55.71	-24.03	-2.84	+	+	-
01.02.2020	-57.46	-25.30	-2.26	+	+	-
02.02.2020	-56.48	-25.58	-5.08	+	+	-

Tablo 11. ERGN TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmasına göre deprem sonrası deformasyonlarının miktarları (AUSPOS)

Tarih	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Karar Kuzey (mm)	Karar Doğu (mm)	Karar Yukarı (mm)
24.01.2020	-1.60	3.09	-6.27	-	+	-
25.01.2020	-5.30	19.74	-4.81	+	+	-
26.01.2020	-5.30	18.20	-6.43	+	+	-
27.01.2020	-5.70	20.50	-4.31	+	+	-
28.01.2020	-6.97	21.40	-2.70	+	+	-
29.01.2020	-6.10	22.81	-2.18	+	+	-
30.01.2020	-6.18	21.40	-2.08	+	+	-
31.01.2020	-6.15	23.06	-8.58	+	+	-
01.02.2020	-6.15	23.06	-8.58	+	+	-
02.02.2020	-6.15	23.06	-8.58	+	+	-

Tablo 12' e göre MALY TUSAGA-Aktif istasyonunda deprem sonrası çoğu günlerde Kuzey ve Doğu yönlerindeki hareketler anlamlı çıkmıştır. Kuzey yöndeki hareket miktarı yaklaşık 3.5 mm ile 4.5 mm arasında, Doğu yönündeki hareket miktarı ise yaklaşık -20 mm ile -15 mm arasında değişmektedir. Bu istasyonda Kuzey ve Doğu yönündeki ilk atım 24 Ocak günü başlamış, 2 Şubat gününe kadar devam etmiştir. Hareketlerin yönü aynı ve

deformasyon büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Doğu yönlü hareketlerin deprem gününden itibaren 1 Şubat gününe kadar sistematik bir biçimde arttığı görülmektedir. Yukarı yönde yalnızca Ocak ayının 29. gününde yaklaşık -5 mm' lik, 31. gününde yaklaşık 13 mm' lik ve Şubat ayının 2. gününde yaklaşık -5 mm' lik oluşan hareketlerin anlamlı olduğu belirlenmiştir.

Tablo 12. MALY TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmasına göre deprem sonrası deformasyonlarının miktarları (AUSPOS)

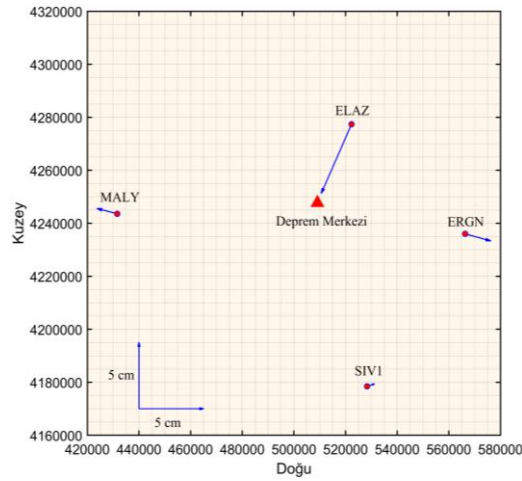
Tarih	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Karar Kuzey (mm)	Karar Doğu (mm)	Karar Yukarı (mm)
24.01.2020	1.20	-3.37	-3.59	-	-	-
25.01.2020	3.98	-15.56	-2.27	+	+	-
26.01.2020	3.41	-16.01	0.07	+	+	-
27.01.2020	4.37	-16.35	-2.76	+	+	-
28.01.2020	3.58	-16.35	-3.38	+	+	-
29.01.2020	3.77	-15.11	-5.23	+	+	+
30.01.2020	3.79	-16.80	-0.42	+	+	-
31.01.2020	2.00	-19.68	13.13	-	+	+
01.02.2020	2.02	-19.61	-1.40	-	+	-
02.02.2020	3.57	-17.92	-4.97	+	+	+

Tablo 13' e göre SIV1 TUSAGA-Aktif istasyonunda deprem sonrası hiçbir günde Kuzey yöndeki hareket anlamlı çıkmamıştır. Doğu yönünde ise 24 Ocak günü hariç diğer tüm günlerdeki hareketler anlamlı çıkmıştır. Doğu yönündeki hareket miktarları yaklaşık 4-8 mm arasında değişmektedir. Bu istasyonda Kuzey ve Doğu yönündeki ilk atım 24 Ocak günü başlamış, 2 Şubat gününe kadar devam etmiştir. Hareketlerin yönü aynı ve deformasyon büyüklüklerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Yukarı yönde

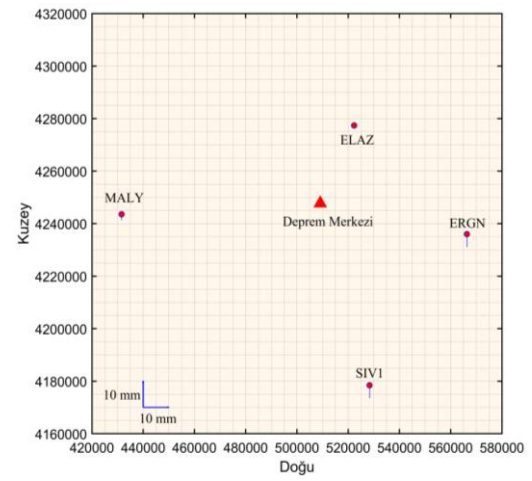
yalnızca Ocak ayının 30. gününde yaklaşık 5 mm' lik hareket belirlenmesine rağmen, bu gün dâhil diğer tüm günlerde meydana gelen hareketler anlamlı olarak tespit edilememiştir. 25 Ocak günü için hesaplanan TUSAGA-Aktif istasyonların toposentrik koordinatlarına göre yatay ve yukarı yönlü hareketleri sırasıyla Şekil 16 ve Şekil 17' de çizilmiştir. Yatay deformasyon vektörleri 5eşitliğinden hesaplanmıştır.

Tablo 13. SIV1 TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmasına göre deprem sonrası deformasyonlarının miktarları (AUSPOS)

Tarih	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Yukarı (mm)	Karar Kuzey (mm)	Karar Doğu (mm)	Karar Yukarı (mm)
24.01.2020	0.61	0.35	-1.49	-	-	-
25.01.2020	1.89	5.70	-4.77	-	+	-
26.01.2020	2.45	4.57	-0.60	-	+	-
27.01.2020	1.92	5.63	3.35	-	+	-
28.01.2020	0.97	7.53	-0.32	-	+	-
29.01.2020	1.62	7.81	3.74	-	+	-
30.01.2020	2.73	7.18	5.58	-	+	-
31.01.2020	1.90	7.25	-3.16	-	+	-
01.02.2020	1.43	6.62	-2.55	-	+	-
02.02.2020	2.68	5.70	-4.16	-	+	-



Şekil16. TUSAGA-Aktif istasyonlarının AUSPOS ile belirlenmiş 25 Ocak 2020 tarihli yatay hareketleri



Şekil17. TUSAGA-Aktif istasyonlarının AUSPOS ile belirlenmiş 25 Ocak 2020 tarihli yukarı yönlü hareketler

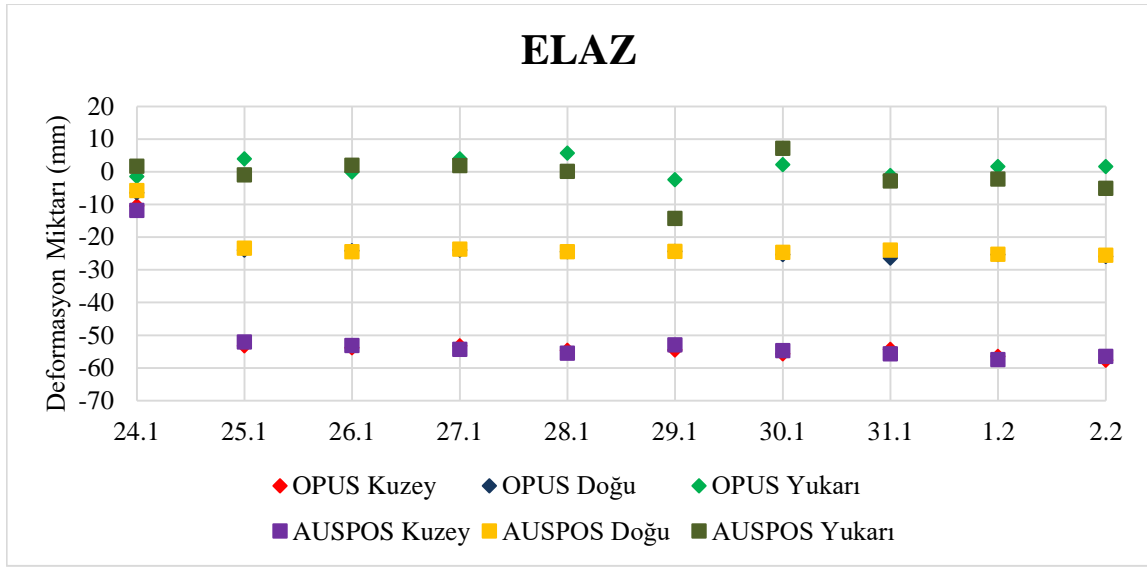
3.1.OPUS ve AUSPOS servis sonuçlarının karşılaştırılması

OPUS ve AUSPOS web tabanlı servislerin ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonu için belirlenen deformasyon

miktarları Şekil 18' de gösterilmiştir. Her iki servisten elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında Kuzey ve Doğu yönlerinde birbirleriyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. İki servisin ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonunda tespit edilen en büyük deformasyon değeri 29 Ocak 2020

tarihinde OPUS servisinde -1.5 cm civarında olurken, AUSPOS servisi aynı hareketi 2.5 mm olarak tespit etmiştir. OPUS servisinin verdiği hareket miktarı bir sonraki gün ile ters yönde 7 mm olması durumu OPUS servisinin değerlendirme hatasından kaynaklandığı şeklinde söylenebilir. Genel olarak

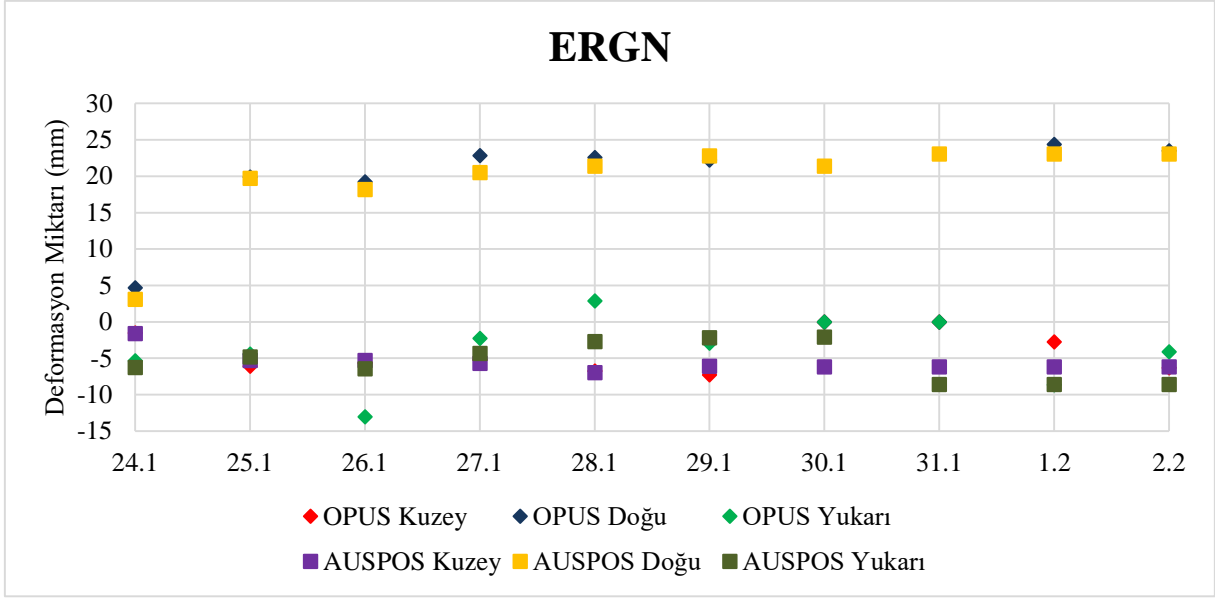
değerlendirildiğinde her iki web tabanlı değerlendirme servisi tüm ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonu için birbirlerine benzer ya da yakın sonuçlar vermiştir. Tespit edilen deformasyon yönünün Doğu Anadolu Fay Zonunun sol yanal doğrultulu fay olması ile uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 18. TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem günü sonrası günler için deformasyon miktarları

OPUS ve AUSPOS web tabanlı servislerin ERGN TUSAGA-Aktif istasyonu için belirlenen deformasyon miktarları Şekil 19' da gösterilmiştir. Her iki servisten elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında Kuzey ve Doğu yönlerinde birbirleriyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. İki servisin ERGN TUSAGA-Aktif istasyonunda tespit edilen en büyük konum farkı 26 Ocak 2020 tarihinde OPUS servisinde -6 mm' ye yakın olurken, AUSPOS servisi bu farkı -1.3 cm olarak tespit etmiştir. Devam eden günler

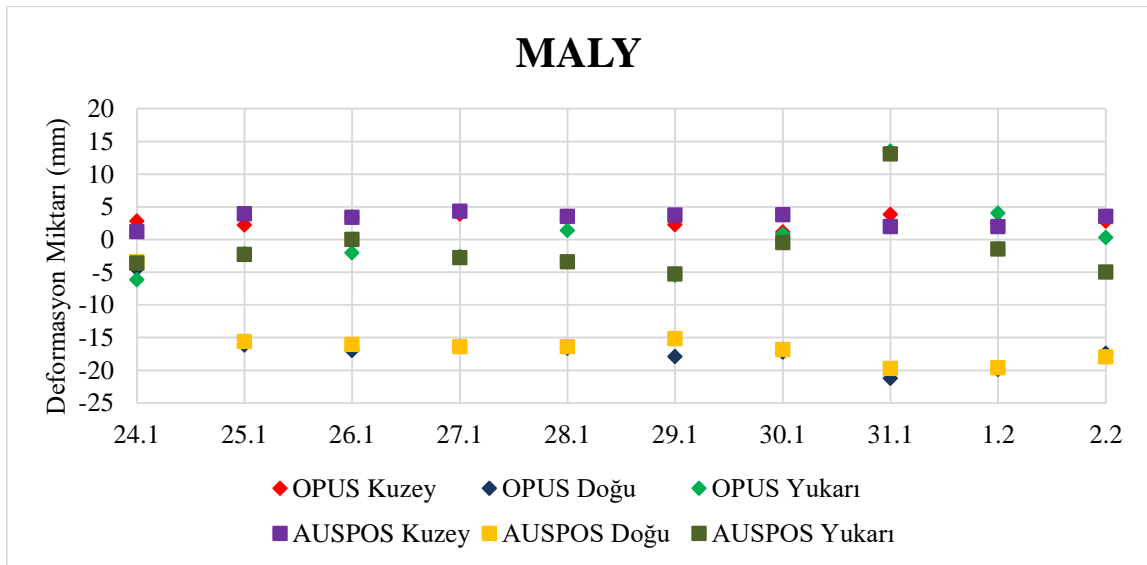
incelendiğinde OPUS servisinin verdiği sonuçların daha tutarlı olduğu görülmektedir. Çünkü 13' mm' lik hareketin ardından ertesi günde yaklaşık 2' mm lik bir hareket tespit edilmiştir. Ertesi gün ile arasında 1 cm' ye yakın fark olmasından dolayı AUSPOS servisinin vermiş olduğu sonuç hatalı olarak değerlendirilebilir. Bu durum değerlendirme servisi hatası olarak kabul edilebilir.



Şekil 19. ERGN TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem günü sonrası günler için deformasyon miktarları

OPUS ve AUSPOS web tabanlı servislerin MALY TUSAGA-Aktif istasyonu için belirlenen deformasyon miktarları Şekil 20’de gösterilmiştir. Her iki servisten elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında tüm yönlerde birbirleriyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. AUSPOS servisi sonuçları kullanılarak yapılan deformasyon miktarları hemen hemen her gün için OPUS servisi sonuçları kullanılarak hesaplanan deformasyon miktarlarından az da olsa

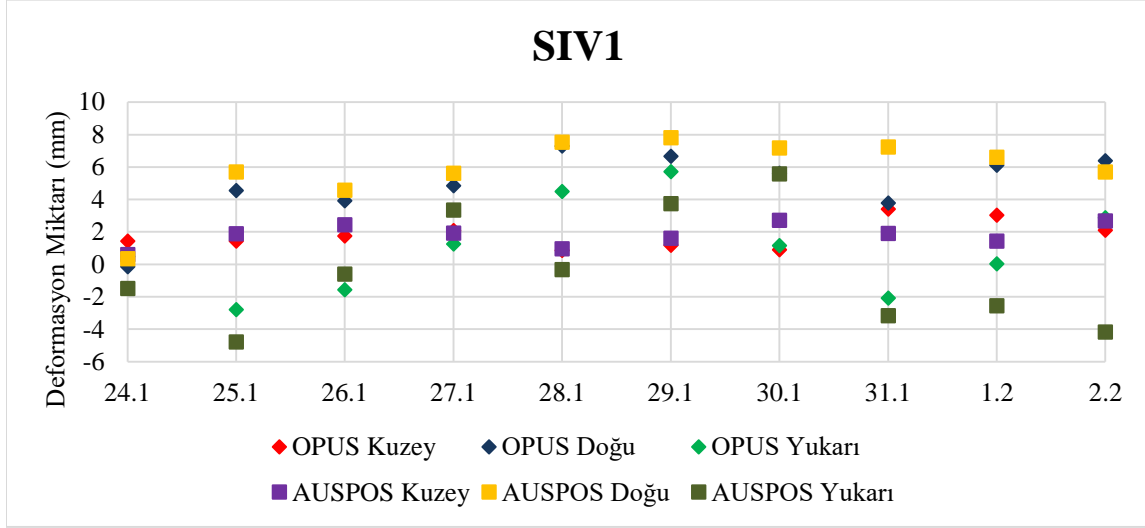
büyük çıkmıştır. Burada dikkat çekici olan durum ise 31 Ocak 2020 tarihinde her iki web tabanlı değerlendirme servisinin Doğu ve yukarı yönlü hareketin sırasıyla yaklaşık -2 cm ve 1.3 cm olmasıdır. Bu duruma Sivrice-Elazığ merkezli 31 Ocak 2020 tarihinde yerel saate göre 23:32’de meydana gelen 4.8 büyüklüğündeki deprem neden olmuş olabilir. Çünkü bu gündeki depremin kuvveti diğer günlere göre fazladır.



Şekil 20. TUSAGA-Aktif istasyonunun deprem günü sonrası günler için deformasyon miktarları

OPUS ve AUSPOS web tabanlı servislerin SIV1 TUSAGA-Aktif istasyonu için belirlenen deformasyon miktarları Şekil 21’ de gösterilmiştir. Her iki servisten elde

edilen sonuçlar karşılaştırıldığında tüm yönlerde birbirleriyle uyumlu sonuçlar elde edilmiştir. Çalışmada kullanılan diğer TUSAGA-Aktif



Şekil 21. TUSAGA-Aktif istasyonun deprem günü sonrası günler için deformasyon miktarları

4. Sonuçlar

24 Ocak 2020 tarihinde Doğu Anadolu Fayı üzerinde Sivrice-Elazığ merkezli saat 20:55’ de aletsel büyüklüğü $M_I=6.6$ ($M_w=6.5$) olan şiddetli bir deprem meydana gelmiştir. Bu sebepten dolayı kullanıcılar tarafından aktif olarak kullanılan TUSAGA-Aktif sistemini oluşturan istasyonların konumlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında rölatif konumlama yapabilen Online Positioning User Service (OPUS) ve Online GPS Processing Service (AUSPOS) değerlendirme servisleri kullanılmıştır. Bu servisler sayesinde farklı istasyonlara göre konum belirlenebilmektedir. Web tabanlı sistemlere günlük GNSS verileri yüklenmiş ve sonuç raporları e-mail yoluyla elde edilmiştir.

Sonuçlara göre, ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonunda yatay yönde yaklaşık 6 cm’ lik deformasyon; ERGN istasyonunda yatay yönde yaklaşık 2 cm’ lik deformasyon; MALY istasyonunda yatay yönde yaklaşık 1.7 cm’ lik deformasyon; SIV1 istasyonunda yatay yönde yaklaşık 7 mm’ lik deformasyon meydana gelmiştir. Yukarı yönde ise ELAZ, ERGN, MALY ve SIV1 TUSAGA-Aktif istasyonlarında çoğunlukla anlamlı bir hareket gözlemlenmemiştir. Fakat ELAZ TUSAGA-Aktif istasyonunda her iki web tabanlı değerlendirme servislerine göre 28 Ocak 2020 tarihinde 1 cm’ lik hareket gözlemlenmiştir. Yukarı yönde diğer bir farklı sonuç, ERGN istasyonunda OPUS değerlendirme servisinin AUSPOS değerlendirme servisine göre bazı günlerde anlamlı hareket sonucu vermesidir.

Hareketi anlamlı çıkan günlerden 26 Ocak 2020 tarihinde -1.3 cm' lik yukarı yönde hareket bulunmasına rağmen bu durum OPUS servisinin hatası olarak düşünülmektedir. Bu durumun tersi durum ise MALY istasyonunda AUSPOS servisinin 31 Ocak 2020 tarihinde 1.3 cm' lik yukarı yönlü hareketin anlamlı olmasıdır. Bu da diğer durum gibi AUSPOS servisinin değerlendirme hatası olarak kabul edilebilir. SIV1 istasyonu için yukarı yönlü hareketlerin hiç biri anlamlı çıkmamıştır.

Genel olarak belirlenen yatay yönlü hareketler deprem sonrası günlerde devamlılık arz etmektedir. Bu durum diğer koşullar göz ardı edilmiş bir biçimde istasyonların depremden etkilendiği anlamına gelebilir. Her iki web tabanlı değerlendirme servisinin sonuçları rölatif olarak belirlenmiş farklı noktaların koordinat sonuçları ile karşılaştırılabilir. Bu sayede değerlendirme servislerinin deprem hareketlerini ne derecede belirleyebildiği açıkça görülebilecektir. Bu anlamda bir sonraki çalışmanın bu konu üzerinden yapılması düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar bu çalışmada kullanılan TUSAGA-Aktif ağına ilişkin GNSS verilerinin sağlanmasında Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü ile Harita Genel Müdürlüğü' ne ve elde edilen değerlendirme sonuçları için OPUS ve AUSPOS web tabanlı GPS veri değerlendirme servislerine teşekkür ederler.

Kaynaklar

Aktuğ, B., Dikmen, U., Doğru, A., Özener, H. 2013. "Seismicity and strain accumulation around Karlioiva Triple

Junction (Turkey)", *Journal of Geodynamics*, 67, 21-29.

Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., Yılmaz, O., Havazlı, E. 2016. "Slip Rates and Seismic Potential on the East Anatolian Fault System Using an Improved GPS Velocity Field", *Journal of Geodynamics*, 94-95, 1-12.

Altinoğlu, F.F. 2019. "Elazığ ili ve çevresinin çizgisel yapılarının gravite verisine sınır analizi teknikleri uygulanarak belirlenmesi", *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 25(6), 785-793.

Ansari K., Çorumluoğlu Ö, Sharma S.K. 2017. "Numerical Simulation of Crustal Strain in Turkey from Continuous GNSS Measurements in the Interval 2009–2017", *Journal of Geodetic Science*, 7(1), 113-129.

B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi (BDTİM). " 24 Ocak Sivrice-Elazığ Depremi Basın Bülteni", <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/24-ocak-sivrice-elazig-depremi-2/>, son erişim tarihi:16.03.2020

B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi. "Deprem bilgileri - Büyük depremler", <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>, son erişim tarihi:16.03.2020

Bayramoğlu, B. 2020. "Doğu Anadolu Fay Zonu'nun, Palu Segmentinin, Üçdeğirmenler-Karşıbahçeler (Palu-Elazığ)

Arasında, Paleosismolojik ve Morfotektonik Özellikleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas, 1-49.

Bülbül, S., İnal, C., Yıldırım, O., Başçiftçi, F. 2017. “Velocity Estimation of Turkish National Permanent GNSS Network-Active Points Located at Central Anatolia Region”, *Bilge International Journal of Science and Technology Research*, 1, 18-25.

Gelişkan, Ş. 2019, “Hassas Nokta Konumlama İle Deformasyonların Belirlenmesi” Yüksek Lisans Tezi, *Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 1-43.

Hartinger, H., Brunner, F. K., 2000. “Development of a monitoring system of landslide motions using GPS”, *9th FIG Symposium on Deformation Measurements*, Olsztyn, 29-38.

Kayın, S. 2019 “Van Gölü Civarının (Doğu Anadolu) Tektonik Gelişiminin Ve Deformasyonunun Paleomanyetik Çalışmalar İle İncelenmesi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 8-9.

Khalifa, A. 2018 “Morphotectonic Analysis Of The East Anatolian Fault Zone (E. Turkey) Using Remote Sensing Techniques”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 1-25.

Khalifa, A., Çakır, Z., Lewis, A., OWEN, L.A., Kaya, Ş. 2018. “Morphotectonic Analysis Of The East Anatolian Fault”, *Turkish Journal of Earth Science*, 27, 110-126.

Köküm, M. 2019. “Landsat TM Görüntüleri Üzerinden Doğu Anadolu Fay Sistemi'nin Palu (Elazığ)-Pütürge (Malatya) Arasındaki Bölümünün Çizgisellik Analizi”, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9(1), 119-127.

Köküm, M., Özçelik, F. 2020. “A Case Study On Reassessment Of Historical Earthquakes: 1789 Palu (Elazığ) Earthquake, Eastern Anatolia, Turkey”, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 161(161), 1-10.

Kutlu Ünal, S. 2019 “Deprem Kavramı Algısı Ve Depreme İlişkin Değerlendirmeler; 8 Mart 2010 Okçular-Kovancılar Depremi Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Çanakkale, 1.

Menekşe, A. 2016 “Probabilistic Seismic Hazard Assessment For East Anatolian Fault Zone Using Planar Source Models”, Doktora Tezi, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 1-12.

Şanlıoğlu, İ., Başkan, G., Zeybek, M. 2019. “Elazığ-Karakoçan Depreminin Tusaga-Aktif İstasyonlarına Etkisi” *Selçuk-Teknik Dergisi*, 18(2), 46-67.

Tan, A., Eyidoğan, H. 2019. “The Kinematics of the East Anatolian Fault Zone, Eastern Turkey and Seismotectonic Implications”, *International Journal of Engineering & Applied Sciences*, 11(4), 494-506.

T.C. İçişleri Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). “24 Ocak 2020 Sivrice (Elazığ) Mw 6.8 Depreminin İlişkin Ön Değerlendirme Raporu”,

<https://deprem.afad.gov.tr/downloadDocument?id=1825>, son erişim tarihi:16.03.2020

Yıldırım, O., Yaprak, S., İnal C. 2014. “Determination of 2011 Van/Turkey earthquake (M=7.2) effects from measurements of CORS-TR network”, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 5 (2), 132-144.

Yigit, C.Ö. 2016. “Experimental assessment of post-processed Precise Point Positioning for Structural Health Monitoring. *Geomatics*”, *Natural Hazards and Risk*, 7(1), 360-383.

Yönlü, Ö., Altunel, E., Karabacak, V. 2017. “Geological And Geomorphological Evidence For The Southwestern Extension Of The East Anatolian Fault Zone, Turkey”, *Earth and Planetary Science Letters*, 469, 1–14.