

## **ELAZIĞ-KARAKOÇAN DEPREMİNİN TUSAGA-AKTİF İSTASYONLARINA ETKİSİ**

İsmail ŞANLIOĞLU<sup>1</sup>, Gökhan BAŞKAN<sup>2</sup>, Mustafa ZEYBEK<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Konya Türkiye

<sup>2</sup>Kahramanmaraş Kadastro Müdürlüğü, Kahramanmaraş Türkiye

<sup>3</sup>Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Artvin Türkiye

isanlioglu@ktun.edu.tr, gokhanbaskan@yandex.com, mzeybek@artvin.edu.tr

### **Özet**

Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) Türkiye’de çok sayıda büyük depremlere neden olan aktif fay zonlarından birisidir. Türkiye’de 2009 yılından beri çalışan Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) bulunmaktadır. Bu ağ depremler neticesinde oluşan deformasyonları belirlemede etkin rol oynamaktadır. DAFZ yakınında, Elazığ-Karakoçan da 8 Mart 2010 tarihinde 6.0 Mw büyüklüğünde Karakoçan depremi meydana gelmiştir. Bu çalışmanın amacı, TUSAGA–Aktif istasyonlarının verileri yardımıyla Karakoçan deprem merkezine yakın istasyonların yer değiştirmelerin büyüklüğünü ve yönünü belirlemektir. İstasyon verilerinin dengelenmesinde AUSPOS (Australian Online GPS Processing Service) internet tabanlı veri işleme servisi kullanılmıştır. Çalışmada Karakoçan depreminden etkilendiği tahmin edilen DAFZ yakınında TUSAGA - Aktif istasyonlarının deprem tarihinden 5 gün önce ve 5 gün sonraki günlere ait dengeleme sonuçları analiz edilmiştir. Karakoçan depremi öncesi ve sonrası 5 günlük sonuçlara göre BİNGÖL (BING) istasyonunda atım tespit edilmiştir. Sonuçlara göre bu istasyonda maksimum kuzey yönünde -8.8 mm, doğu yönünde hareket +9.5 mm, düşey yönde -19.6 mm tespit edilmiştir. Diğer istasyonlarda belirlenen kuzey, doğu ve düşey yöndeki yer değiştirme miktarları, deprem öncesi hesaplanan standart sapmaların üç katından küçük olduğu için anlamlı bir yer değiştirme olmadığı kanaatine varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Karakoçan Depremi, GNSS, AUSPOS, TUSAGA-Aktif

## **THE EFFECT OF ELAZIĞ-KARAKOÇAN EARTHQUAKE ON TNPGN- ACTIVE STATIONS**

### **Abstract**

The East Anatolian Fault Zone (EAFZ) is one of the active fault zone causing a number of large earthquakes in Turkey. Turkish National Permanent GNSS Network-Active (TNPGN-Active) has been available in Turkey since 2009. The network plays an effective role in determining the deformations caused by earthquakes. Near the EAFZ, on March 8, 2010, the Elazığ-Karakoçan earthquake of 6.0 Mw had been occurred. The aim of this study is to determine the magnitude and direction of displacement of Karakoçan earthquake by means of TNPGN-Active stations data. AUSPOS (Australian Online GPS Processing Service) that is web based data processing system was used to adjust the data of stations. Adjustment results of 5 days before and 5 days after the earthquake date of TNPGN-Active stations near EAFZ, which are estimated to be affected by Karakoçan earthquake had been analyzed. According to the results of 5 days before and after Karakoçan earthquake, displacement was determined at Bingöl (BING) station, e.g. the maximum displacements of -8.8, +9,5 and -19,6 mm, are in the north, east and up directions, respectively. It is concluded that the displacement levels in the north, east and vertical direction determined at the other stations are not significant since they were three times smaller than the calculated standard deviations before the earthquake.

**Keywords:** Karakoçan Earthquake, GNSS, AUSPOS, TNPGN-Active

### **1. Giriş**

Mühendislik projelerinin kalitesini sürdürmek ve güvenli hizmet etmek için depremlerin büyüklüğünü ve etkilerini belirlemek önemlidir. Bu hedefle, kabuksal hareketlerin, yapısal deformasyonların ve depremlerin etkilerinin belirlenmesine yönelik çalışmalar her geçen gün artmaktadır.

Türkiye’de aktif fay hatları bulunmaktadır. Bu fay hatları büyük depremlere neden olmaktadır. Bingöl ili Karlıova ilçesinden başlayarak Antakya Asi nehri arasına kadar devam ettiği varsayılan Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) bu önemli fay sistemlerinden

birisidir. Bu fay zonu Kuzey Anadolu Fay Zonundan (KAFZ) sonra deprem üretme potansiyeline sahip Türkiye'deki ikinci önemli fay zonudur.

Bilim adamları 1980'lerden beri jeodezik ölçü yöntemlerinden biri olan, Küresel Navigasyon Amaçlı Uydu Sistemleri (GNSS: Global Navigation Satellite Systems) tekniğiyle yeryüzündeki yüzey hareketlerini ve deformasyonları doğrudan tahmin ve tespit edebilmektedir. Kıta plakaları ve fayların belirlenmesinde, kabuk hareketleri ve depremlerin izlenmesinde son otuz yılda GNSS tekniği önemli ölçüde kullanılmaktadır. Bu dönemde DAFZ üzerinde GNSS ölçüleri kullanılarak pek çok çalışma yapılmıştır. McClusky ve diğer bilim adamları Kafkas dağlarından Adriyetik denizine kadar Avrasya plakasının güney doğu kısmının 10 yıllık Küresel Konumlama Sistemi (GPS) kampanya ölçüleri ile 189 istasyonda kıtasal hareketlerini sunmuş ve yorumlamışlardır. Buna göre DAFZ' nin sol yanal atımlı güncel yer değiştirme hızı  $9 \pm 1$  mm/yıl olarak belirlenmiştir [1].

Reilinger ve diğer bilim adamları, 15 yıllık GPS kampanya ölçmeleriyle Arabistan-Kuzey Afrika-Güney Avrasya bölgesinde plaka etkileşimi sahalarının şematik haritasını çıkarmış, plaka hızları ve model parametreleriyle plakaların hareketlerini izah etmişlerdir [2].

Diğer Türkiye içi Anadolu plakasında yapılan çalışmalarda, fay hattı çevresinde gerek mikro gerekse genel jeodezik GNSS ağı kurularak, bu ağ üzerinde GNSS istasyonlarının deformasyonları, hızları ve olası sismik kayma oranları tespit edilmiştir [3, 4, 5, 6].

Günümüzde pek çok ülke sürekli gözlem yapan sabit GNSS ağlarını tesis edip ve çalıştırmaktadır. Ülkemizde de 2009 yılından beri çalışan Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı-Aktif (TUSAGA-Aktif) bulunmaktadır. Dünyada tesis edilen bu tür ağlar, yukarıda örneklerde bahsedilen kampanya türü ölçü yapılan jeodezik ağlara göre depremler neticesinde oluşan deformasyonları belirlemede daha etkin rol oynamaktadırlar. Sürekli gözlem yapan sabit GNSS istasyonlarından yüksek doğrulukla veri elde edilebilmesi fay hatlarının izlenmesini kolaylaştırmıştır [7, 8, 9].

DAFZ yakınında, 8 Mart 2010 tarihinde yerel saatte 04:32'de 6.0 Mw büyüklüğünde, ve 09:47'de 5.6 Mw büyüklüğünde iki defa Elazığ – Karakoçan'da ana deprem ve 4 Mw -5 Mw büyüklüğünde pek çok artçı depremler meydana gelmiştir. Bu

depremler çevre illerde de hissedilmiştir. Kırk iki kişi hayatını kaybetmiş olup depremin merkez üssü olan Kovancılar ilçesinde pek çok ev de hasar görmüştür [10].

DAFZ'nin bu kısmında Karakoçan Depreminin olduğu tarihe kadar, 17.08.1949 Bingöl Karlıova, 22.05.1971 Bingöl, 13.04.1998 Bingöl, 01.05.2003 Bingöl, 11.08.2004 Elazığ Sivrice, 12.03.2005, 14.03.2005, 23.03.2005 ve 06.06.2005 tarihlerinde Bingöl Karlıova, 09.02.2007 ile 21.02.2007 tarihlerinde Elazığ Sivrice'de 5.0 Mw'den büyük depremler meydana gelmiştir [11].

Daha önce yapılan çalışmalar incelendiğinde, DAFZ'nin Elazığ-Karakoçan fayı üzerinde TUSAGA-Aktif istasyonları kullanılarak bu fayın, istasyonların konumlarına etkisinin araştırılmadığı görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmada Karakoçan depreminin çevresinde bulunan TUSAGA-Aktif istasyonları seçilmiştir. Araştırmada yedi gün yirmi dört saat sürekli GNSS ölçülerinin kaydını yapan bu istasyonların gözlemleri kullanılmıştır. Verilerin hesabında Avustralya hükümetince işletilen AUSPOS (Australian Online GPS Processing Service) internet tabanlı veri işleme servisinden yararlanılmıştır [12].

## **2. Karakoçan Deprem Bölgesinin Sismik Yapısı**

Elazığ ili Kovancılar ilçesinin 30-35 km doğusunda meydana gelen depremin merkez üssü Karakoçan olup, enlemi 38°.807, boylamı 40°.100, derinliği 5 km ve deprem büyüklüğü 6.0 Mw tespit edilmiştir [10]. Şekil 1' de verilen Maden Teknik Arama Enstitüsü (MTA)'nın diri fay haritasında deprem merkezi ve merkez etrafındaki fay hatları görülmektedir [13].

DAFZ Arap - Afrika plakası ile Avrasya plakası arasındaki iki kıtanın çarpışması sonucu meydana gelmiş bir transform faydır. Bingöl (Karlıova) – Hatay (Antakya) arasında kuzey doğu -güney batı doğrultusunda, toplam 580 km uzunluğunda, 6 parçadan oluşan (kuzeydoğudan güney-batıya doğru Karlıova-Bingöl, Palu-Hazar Gölü, Hazar Gölü Sincik, Çelikhane-Erkenek, Gölbaşı-Türkoğlu ve Türkoğlu-Antakya bölümleri) ve sol yanal atımlı fay zonudur [14, 15].

Karakoçan fay hattı, DAFZ' e çapraz ve ikincil bir faydır [13]. Bu hat 6–10 km genişliğinde, 50 km uzunluğunda, kuzey batı– güney doğu doğrultusunda, morfolojik verilere bağlı olarak fayın sağ yanal doğru atımlı levha içi yeni ve kuvaterner yaşlı çökelleri kesmeleri nedeniyle de diri faydır [16, 17, 18].

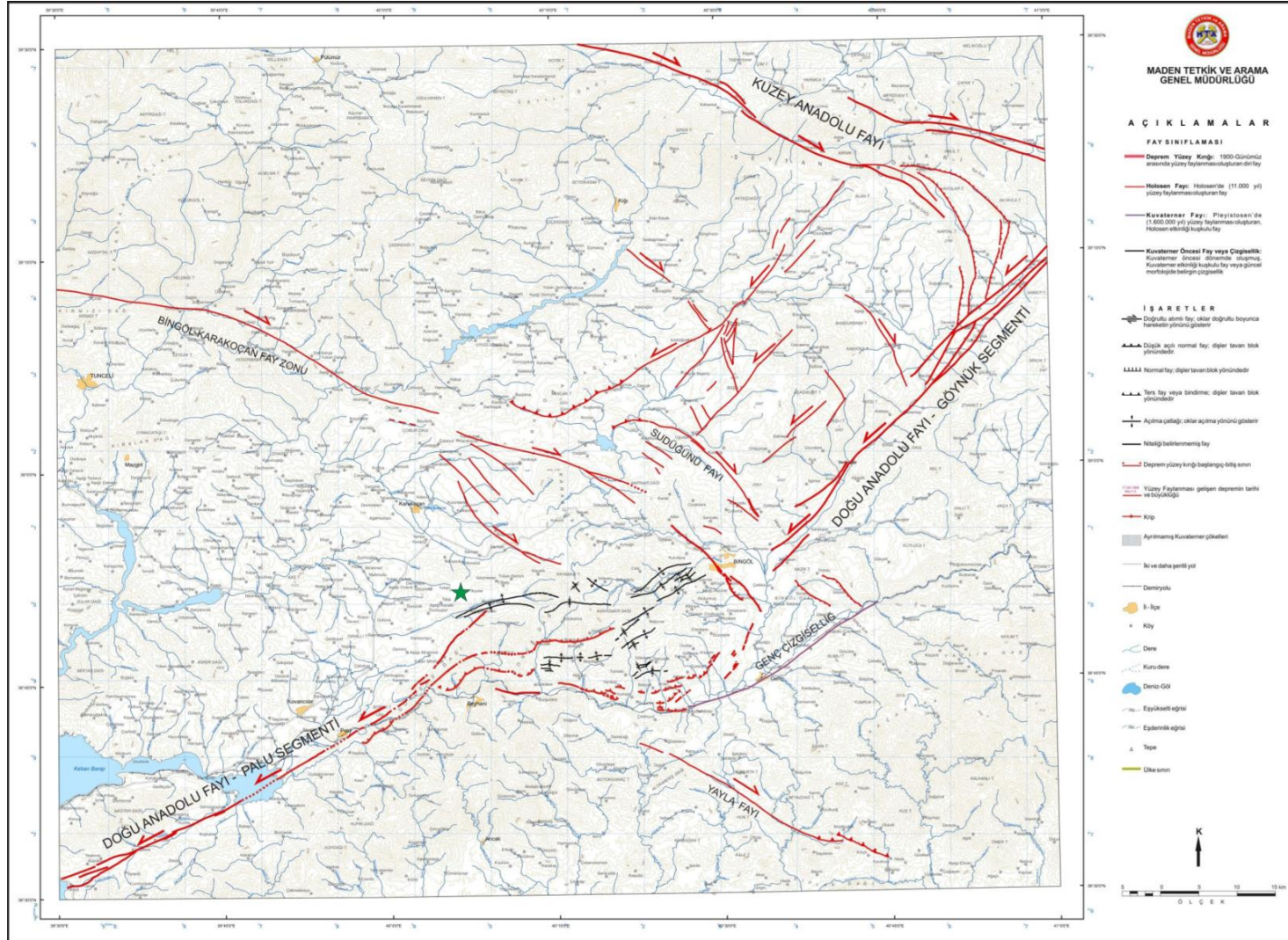
Bölge genelinde 30 binden fazla nüfusu etkileyen bu depremde ana şok Karakoçan Fayı ile DAFZ' nin kesişme sahasında olduğundan bilim adamları depremin hangi fay üzerinde olduğu konusunda hem fikir değillerdir.

Deprem meydana geldiği Başyurt-Kovancılar-Gökdere bölgesi, genel anlamda DAFZ içerisinde kalmakta olup, deprem bölgeleri haritasında 1. ve 2. derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Bölge önemli bir deformasyon alanı içerisindedir. Kuzeyde KAFZ ve DAFZ arasında kalan bölge çok parçalı ve aktif fay sistemleri nedeni ile yoğun depremselliğe neden olmaktadır. Ana şok ve daha sonra meydana gelen depremler DAFZ ile ilişkili olup, Palu-Hazar Gölü fay parçasında meydana gelmiştir [10].

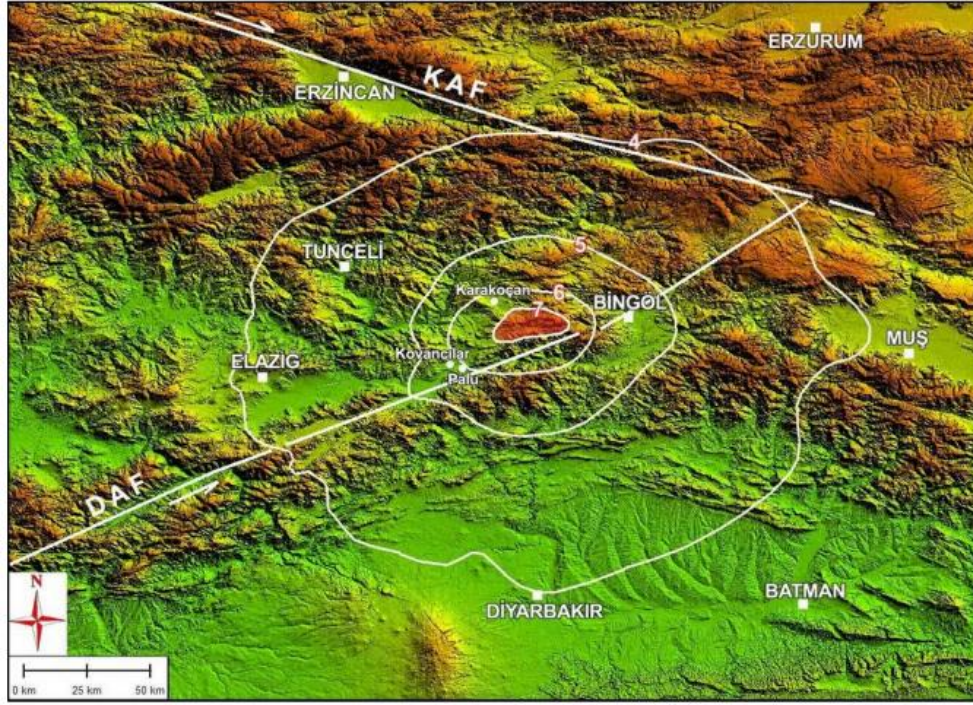
Deprem Karakoçan Fayı, artçı şoklar ise DAFZ üzerinde görülmüştür. Bu depremde ortaya çıkan yüzey kırıkları, kütle hareketleri, yüksek maddi hasar ve can kayıpları DAFZ dışında Karakoçan Fayı üzerinde kalmaktadır [13].

Deprem DAFZ'de, Palu segmenti ile Gökdere yükseliminin birbirine bağlandığı karmaşık fay geometrisi sergileyen bir alanda gerçekleşmiştir (Şekil 1). Artçı depremlerin kümelenmesi kırılmanın kuzey doğu – güney batı yönlü bir fayda gerçekleştiğini göstermektedir. Sahada bu yapılan gözlemlerde depremde gelişmiş yüzey faylanmasına yorumlanabilecek herhangi bir bulguya rastlanmamıştır. Bu nedenle yüzey verisine göre depremin kaynak fayı hakkında bir değerlendirme yapılamamaktadır [19].

Deprem şiddet haritası Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) 'nün depremden hemen sonra hazırlanmış ve KRDAE internet sitesinde yayınlanmıştır. Bu haritanın yeniden düzenlenmiş ve fay hatlarını da gösterir hali Şekil 2'de verilmiştir [13]. Şekil 2'den de görüleceği üzere deprem merkez bölgesinde şiddet 7 olarak tahmin edilmiş, yapılan arazi çalışmaları ile de bu teyit edilmiştir [10].



Şekil 1. Doğu Anadolu Fay Zonu, Elazığ-Palu-Bingöl-Göynük Kesimleri ve Bingöl Karakoçan Fay Zonundaki diri faylar. Yeşil yıldız deprem merkezini göstermektedir [19].



Şekil 2. Elazığ-Karakoçan Depreminin Şiddet Haritası [13]

### 3. İstasyon Konumlarının Hesaplanması

Türkiye ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti'nde, TUSAGA-Aktif üzerinde 146 sabit istasyon bulunmaktadır (Şekil 3). Ağ iki merkez tarafından kontrol edilmektedir. Birinci Kontrol Merkezi Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü Harita Dairesi'nde (TKGM), ikinci kontrol merkezi ise Harita Genel Müdürlüğü'nde (HGM) olup, her ikisi de Ankara'dadır. Tüm referans istasyonları, yalnızca dört karakter içeren Uluslararası GPS Servisi (IGS) düzenlemelerine uygun olarak adlandırılmıştır. (Örneğin Bingöl - BING). Kontrol merkezleri tüm istasyonlardan gelen verileri bir saniye aralıklarla GSM veya ADSL vasıtasıyla, 24 saat boyunca toplar. Sistem 2009'dan beri aktif olarak çalışmaktadır. İstasyonların ortalama aralıkları 80-100 km'dir [20].





kombinasyonu seçilmiş, ikinci ve üçüncü etki modeli uygulanmıştır. Atmosferik yükleme modeli dikkate alınırken, okyanus dalgası yüklemesi uygulanmamıştır. Uluslararası Yer Dönme Servisi (IERS) 2010 sözleşmelerine göre türdeş yer küre gelgitleri türetilmiştir.

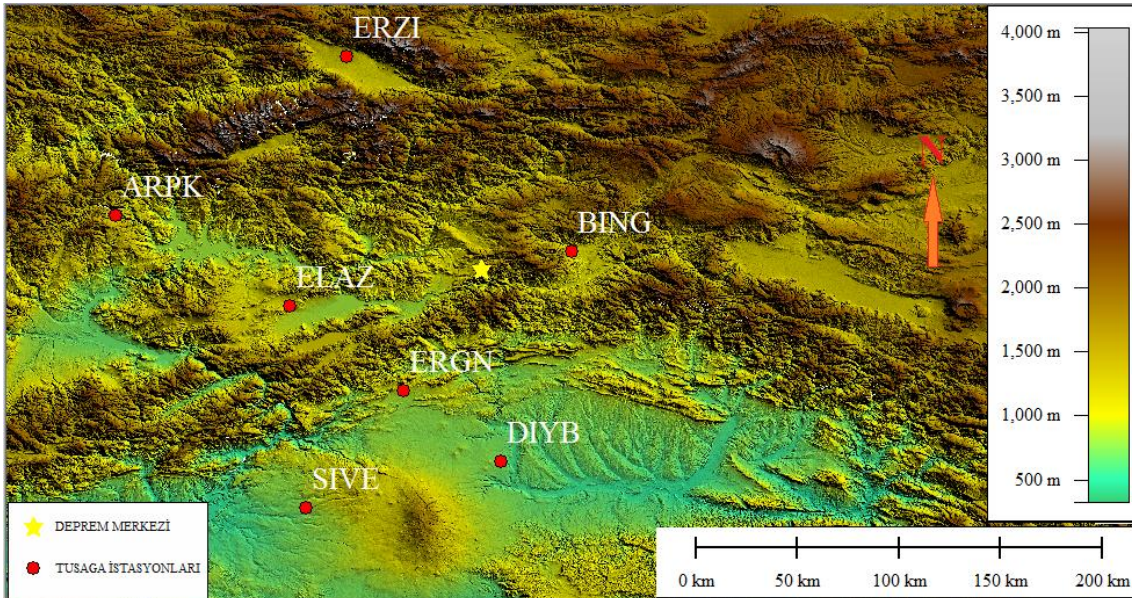
AUSPOS gibi pek çok internet tabanlı veri işleme servisleri geniş çapta kullanılmaktadır. Araştırmacılar ve bilim adamları, hem deformasyon çalışmaları için hem de hizmet kabiliyetlerini karşılaştırmak için bu servislerden yararlanmaktadırlar [22, 23, 24, 25].

Karakoçan depremi merkez üssünün yakınındaki TUSAGA – Aktif istasyonlarındaki hareketleri analiz etmek için, koordinatlarının sabit olarak değerlendirildiği Türkiye yakınlarında AUSPOS servisinin seçtiği 9 IGS istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bunlar Irak sınırları içinde Basra (ISBS), Erbil (ISER), Kut (ISKU), Necef (ISNA), Tikrit (ISSD), Güney Kıbrıs Rum Yönetimi'nde Nicosia (NICO), Ermenistan'da Erivan (NSSP), Ukrayna'da Poltava (POLV), İsrail'de Mitzpe Ramon (RAMO) istasyonlarıdır (Şekil 4). Şekil 2'ye göre deprem merkezinden itibaren 150 km'lik çaplı dairenin dışı deprem şiddetinin 4'ten küçük olduğu alanı göstermektedir. Bu nedenle analizde bu daire için giren TUSAGA-Aktif istasyonları seçilmiştir (Şekil 5).

Bu çalışmada analiz edilen TUSAGA – Aktif istasyonları Arapkir (ARPK), Bingöl (BING), Diyarbakır (DIYB), Elazığ (ELAZ), Ergani (ERGN), Erzincan (ERZI), Siverek (SIVE) istasyonları olup, Karakoçan depreminden etkilendiği düşünülen istasyonlardır. Tunceli (TNCE) ve Muş (MUUS) istasyonları deprem bölgesine yakın olmalarına rağmen analiz için seçilen tarihlerde ölçülerine ulaşılammıştır.



Şekil 4. AUSPOS servisinin seçtiği sabit IGS istasyonları



Şekil 5. Deprem bölgesinde etkilendiği tahmin edilen TUSAGA istasyonları, sarı yıldız deprem merkezi

Deprem bölgesinde artçı depremlerin özellikle ilk hafta çok yoğun olarak meydana geldiği gözlemlenmiştir [10]. Deprem anından itibaren üç haftalık periyot içerisinde son hafta deprem sayısında olağan bir azalma görülmüş ve ana şoktan sonraki zaman diliminde kümülatif olarak deprem sayısının ve moment enerjisinin çok büyük

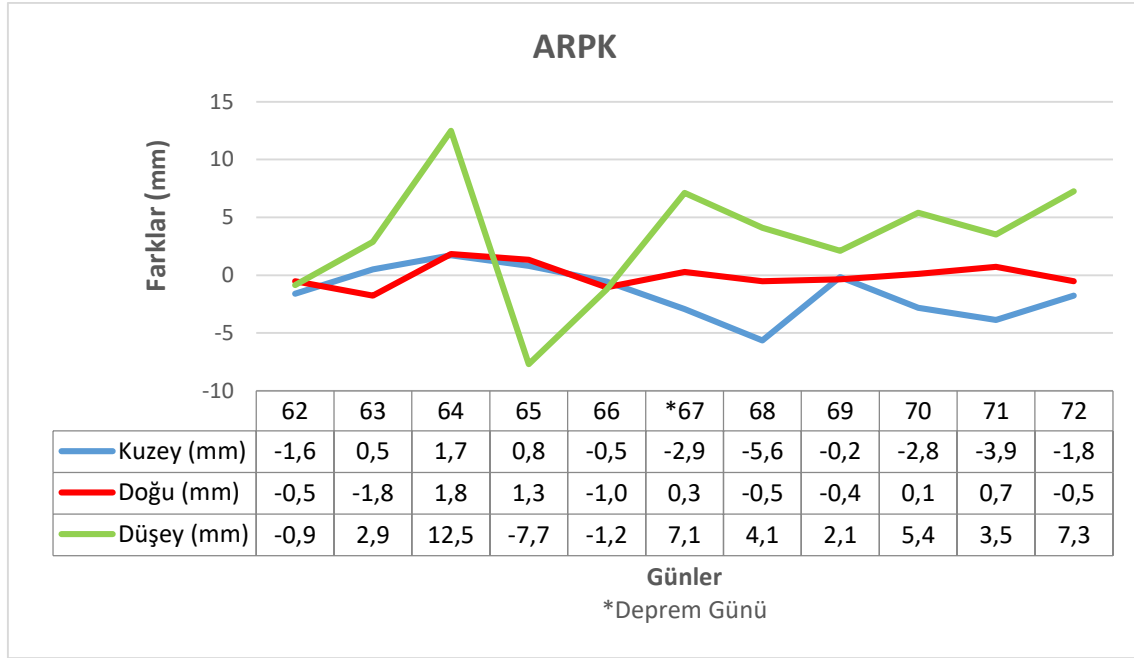
kısımının ilk günlerde boşaldığı tespit edilmiştir. Bu tespitlere göre deprem yoğunluğu ilk hafta içinde olduğundan, 08 Mart 2010 günü oluşan Karakoçan Depremi için deprem öncesi 5 gün ve deprem sonrası 5 gün olmak üzere 03 ila 13 Mart 2010 tarihleri arasında seçilen istasyonların RINEX verileri analiz edilmiştir. Bu amaçla veriler TUSAGA – Aktif internet sunucularından indirilmiş, AUSPOS servisine yüklenerek sonuçlar e-posta üzerinden alınmıştır. Sonuçlar derlenip, depremden önceki ilk beş günün ortalamasıyla (03 Mart 2010-07 Mart 2010) elde edilen ölçü epeğündeki ITRF14 koordinatları değişmez kabul edilmiştir (Çizelge 1).

Çizelge 1. TUSAGA-Aktif istasyonlarının depremden önceki ilk beş günün ortalama koordinatları

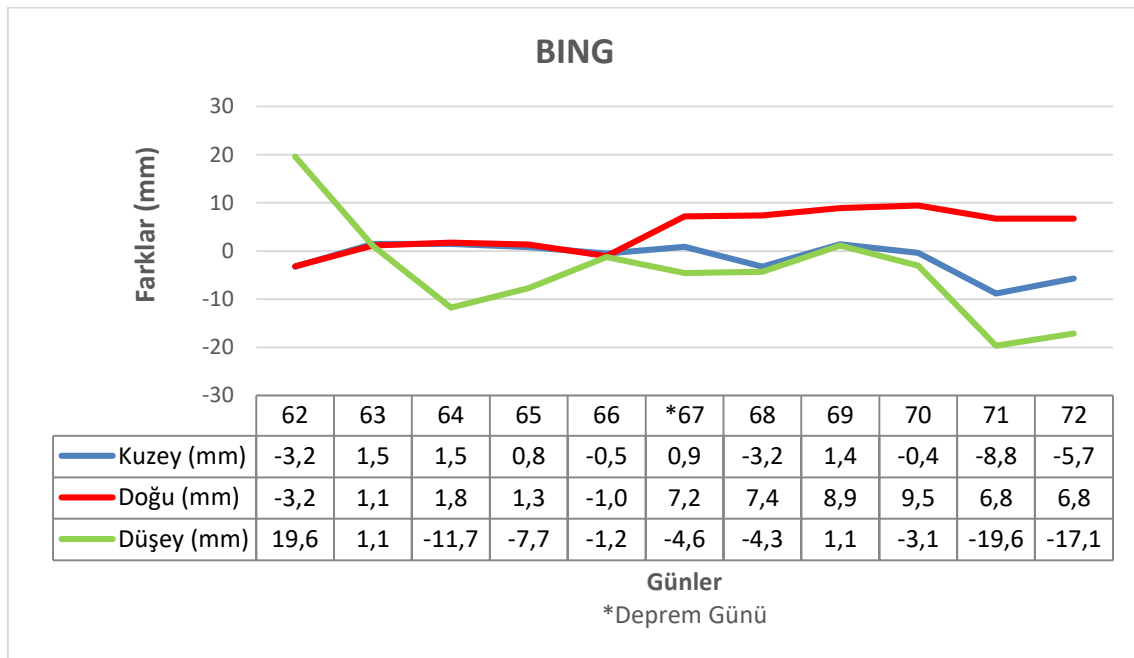
İSTASYON KODU	X(m)	Y(m)	Z(m)
ARPK	3883559.1834	3087719.5242	3996601.5658
BING	3780877.7848	3229264.1662	3983169.6292
DIYB	3847301.5706	3249782.6942	3901930.5166
ELAZ	3862979.0162	3156913.2766	3962226.9456
ERGN	3855071.8906	3207162.2014	3929594.3370
ERZI	3789706.0978	3124667.1684	4057105.1232
SIVE	3906226.9134	3200543.8470	3884259.5726

#### 4. Karakoçan Depremi Bulguları

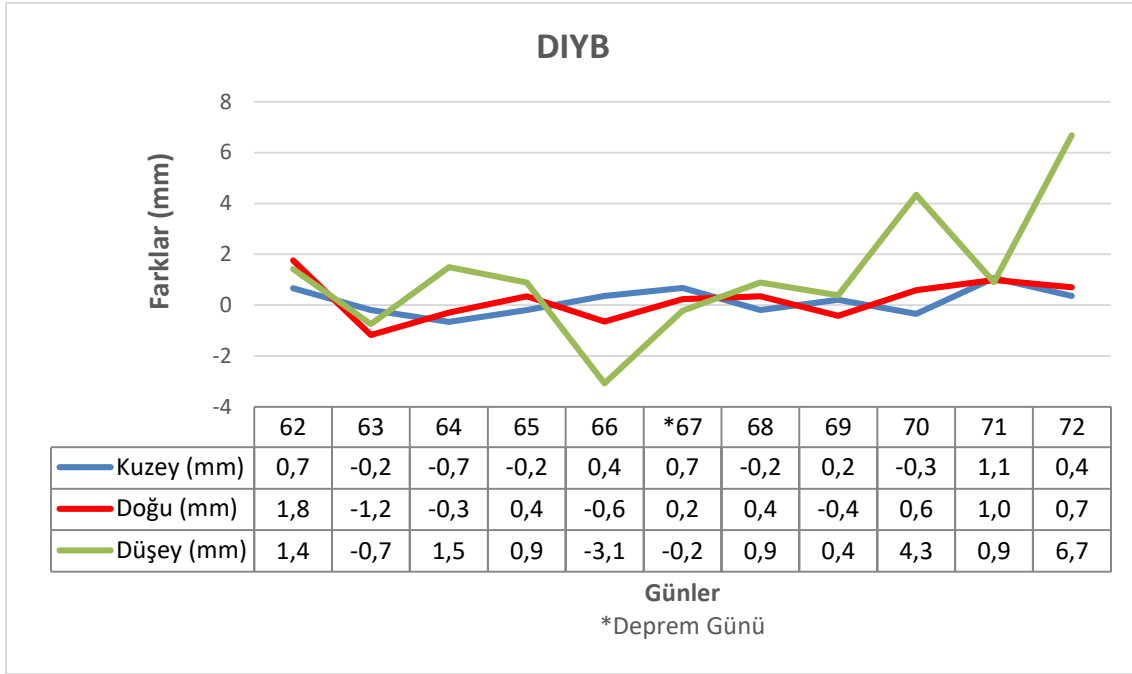
Çizelge 1’de verilen ortalama koordinatlar ile diğer günlere ait koordinatlar arasında (dx, dy, dz) kartezyen koordinat farkları belirlenmiştir. Bu kartezyen koordinat farkları toposentrik koordinatlara (kuzey, doğu, düşey yöndeki yer değiştirme değerleri) çevrilerek sonuçlar Şekil 5, 6, 7, 8, 9 ,10 ve 11’de gösterilmiştir. Şekillerdeki çizelgenin ilk satırı 2010 yılının başlangıcından (1 Ocaktan) itibaren yılın 62., 63., 64., ... ve 72. günleri, diğer satırlar sırasıyla kuzey, doğu ve düşey yöndeki yer değiştirmeleri göstermektedir. Şekillerde verilen çizelgelerin ortasındaki 67. gün, 8 mart 2010 deprem gününü göstermektedir.



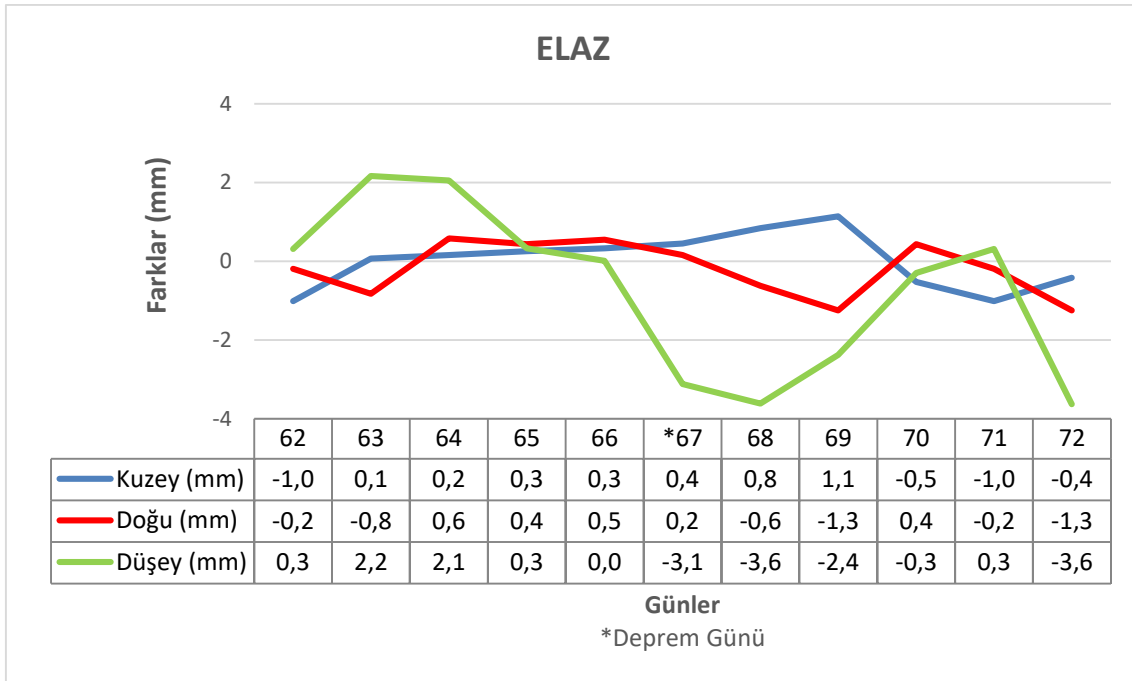
Şekil 5. ARPK istasyonu yer değiştirme grafiği



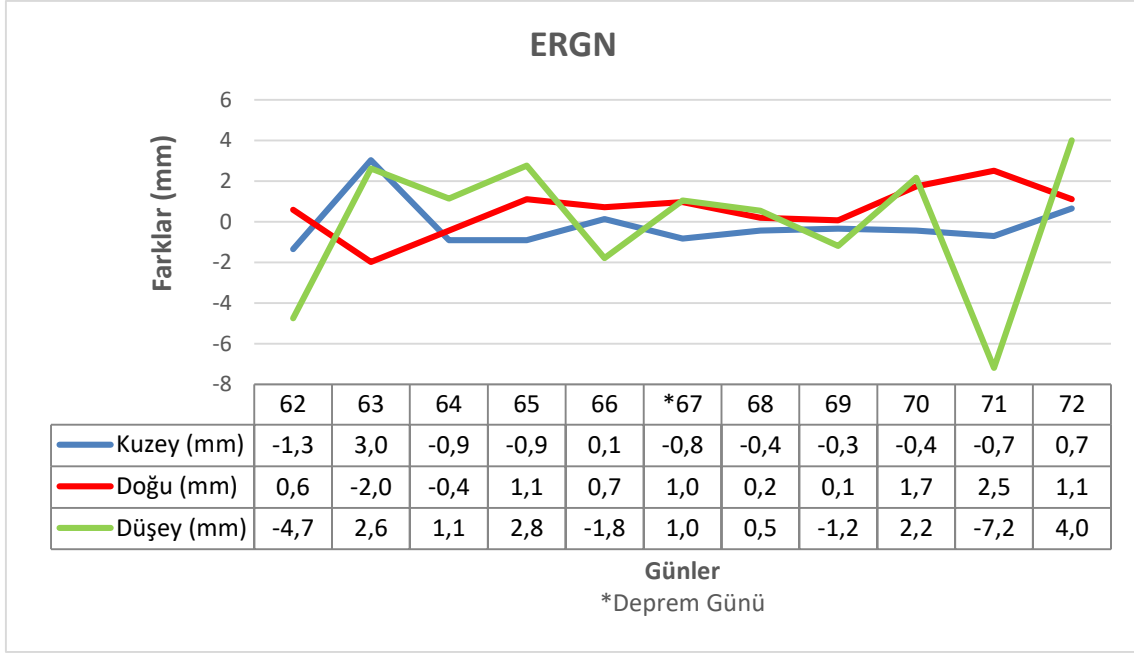
Şekil 6. BING istasyonu yer değiştirme grafiği



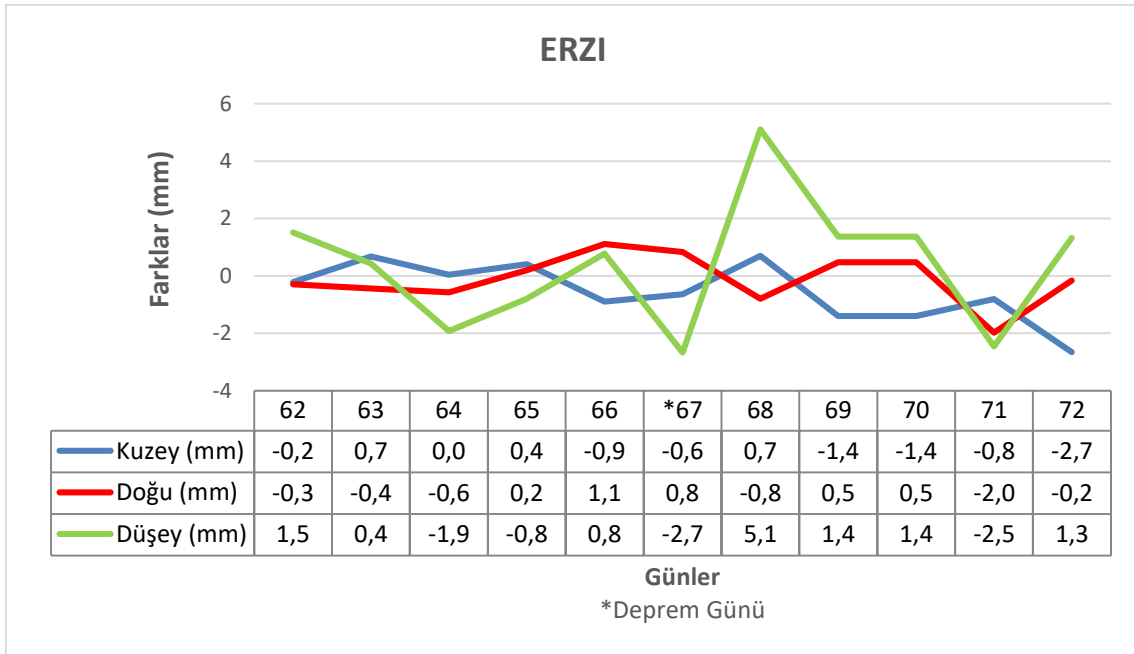
Şekil 7. DIYB istasyonu yer değiştirme grafiği



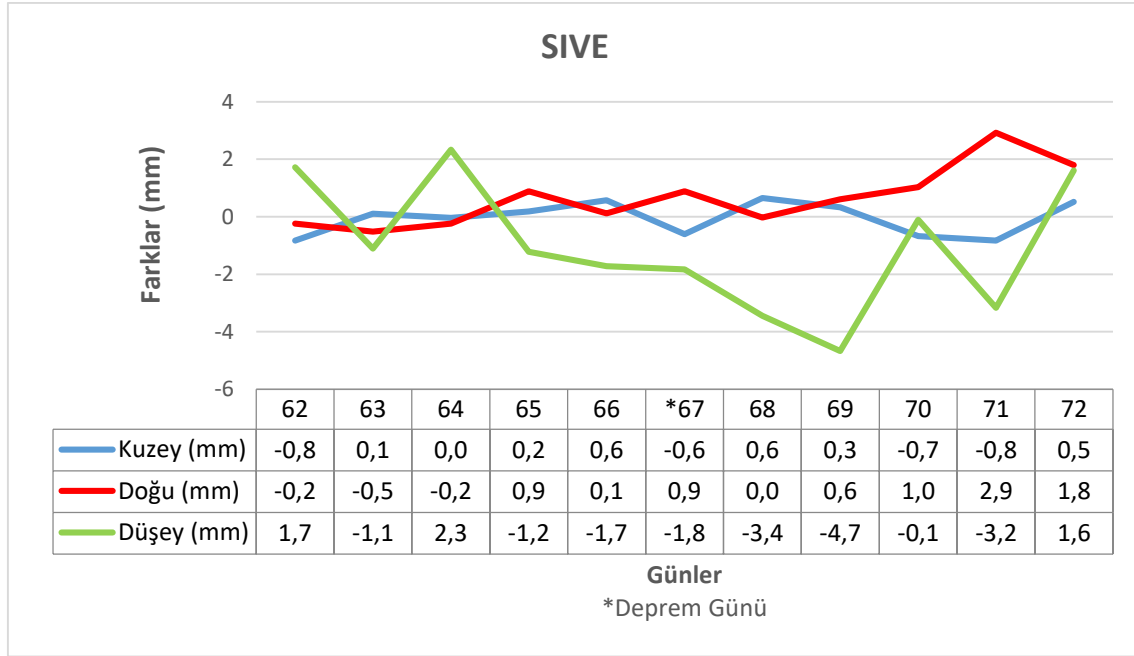
Şekil 8. ELAZ istasyonu yer değiştirme grafiği



Şekil 9. ERGN istasyonu yer değiştirme grafiği



Şekil 10. ERZI istasyonu yer değiştirme grafiği



Şekil 11. SIVE istasyonu yer değiştirme grafiği

Depremden önceki ilk 5 güne göre toposentrik koordinatların standart sapma ( $\sigma$ ) değerleri, aşağıdaki eşitlik (1) de hesaplanmış olup, sonuçlar Çizelge 2’ de gösterilmiştir. Eşitlik 1’de “ $n$ ” değeri 5 alınmıştır.

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

$\mu$  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. Bu kapsamda kesin değerler güven aralığının dışına çıkarsa şüpheli ölçü kabul edilir. Böylece istasyon noktasının hareket ettiği yani deformasyona uğradığı söylenebilir. Depremden kaynaklanan deformasyonları tespit edebilmek için Çizelge 2’de kuzey, doğu, düşey yöndeki yer değiştirme değerlerinin standart sapmalarının 3 katı geçen istasyonlar ve bunların deprem merkezine uzaklıkları verilmiştir. Çizelgede kalın ve italik yazılı rakamlar, standart sapmanın 3 katı eşğine göre istatistiksel olarak deprem sonrası yer değiştirmeleri göstermektedir.

Çizelge 2. TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi yer değiştirmelerinin standart sapmaları, deprem sonrası yer değiştirmelerin maksimum farkları, istasyonların deprem merkezine uzaklıkları

İstasyon Kodu	Standart Sapma $\sigma$			Maksimum Farklar			Uzaklıklar (km)
	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Düşey (mm)	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Düşey (mm)	
ARPK	1.2	1.4	6.7	-5.6	0.7	7.3	142
BING	1.8	1.9	10.8	-8.8	9.5	-19.6	36
DIYB	0.5	1.0	1.7	1.1	1	6.7	95
ELAZ	0.5	0.6	1.3	1.1	-1.3	-3.6	75
ERGN	1.6	1.1	2.9	-0.8	2.5	-7.2	67
ERZI	0.5	0.6	1.2	-2.7	-2	5.1	116
SIVE	0.5	0.5	1.7	-0.8	2.9	-4.7	135

Çizelge 2 incelendiğinde yer değiştirme değerlerinin maksimum farkları; standart sapmanın üç katından büyük olan istasyonlar ARPK, BING, DIYB ve ERZI istasyonlarıdır. Diğer TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi beş gün ve sonraki beş gün arasında hareket ettiğini düşündürebilecek bir fark tespit edilememiştir.

İstasyonlarda bir atımdan söz edilebilmesi için depremden kaynaklı depremden sonraki örneğin kuzey yöndeki yer değiştirmelerin işaretlerinin aynı yönlü ve büyüklüklerinin birbirlerine yakın değerlerin olması, doğu ve düşey yönlerde de kendi içinde benzerlik göstermesi beklenir. Tiryakioğlu ve diğer bilim adamlarının yaptığı çalışmada YALI ve ORTA istasyonlarına ait gözlemlenen deprem sonrası yer değiştirme değerleri buna bir örnektir [26].

Yukarıdaki değerlendirmeye göre bu çalışmada sadece ARPK ve BING istasyonlarının yer değiştirmeleri anlamlıdır. ARPK istasyonunun kuzey yöndeki ortalama yer değiştirme -2.9 mm ve BING istasyonunun doğu yönündeki ortalama yer değiştirme +7.8 mm'dir. [27] nolu kaynakta TUSAGA-Aktif istasyonlarının zaman serilerinin incelenmesi sonucunda, Elazığ-Karakoçan depreminden BING istasyonunun etkilendiği ve zaman serilerinde atımlara sebep olduğu tespit edilmiştir. Depremden sonra BING istasyonunun yeni koordinatları ilgili kaynakta BING\_1PS istasyon kodu ile hesaplanmıştır. Buna göre bu istasyondaki kuzey yöndeki -5.8 mm, doğu yönünde +10.3 mm ve düşey yönde -17.6 mm yer değiştirme değerleri elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen maksimum değerler [27] nolu kaynak sonuçlarıyla tutarlıdır.



GNSS statik ölçme tekniği kullanılarak ölçü süresine göre hangi büyüklükteki yer değiştirmelerin deformasyon olarak belirlenebileceği konusu araştırılmıştır. Bilgin ve diğer bilim adamları yaptıkları çalışmada, obje noktasının referanstan uzaklıklar 1.6 km'den küçük olduğu mikro jeodezik bir ağda en az 2 saatlik GNSS statik ölçü tekniği ile ticari bir yazılım kullanarak, her durumda 5 mm ve üzeri değişikliklerin %95 ihtimalle deformasyon olarak tespit edilebileceğini bildirmişlerdir [28]. Buna göre ARPK istasyonunun ortalama yer değiştirme değerinin (-2.9 mm) deformasyon olarak değerlendirilemeyeceği söylenebilir. Çizelge 2'deki verilere göre çalışmada kullanılan diğer istasyonların Elazığ – Karakoçan depremi ve artçı şoklarından etkilenmediği söylenebilir. Diğer istasyonlardaki işaretçe ters yönlü ve büyük yer değiştirme değerlerini, AUSPOS servisinin dengeleme hatalarında ya da istasyon verilerindeki ölçü hataları ve sinyal boşluklarında aramak gerekir.

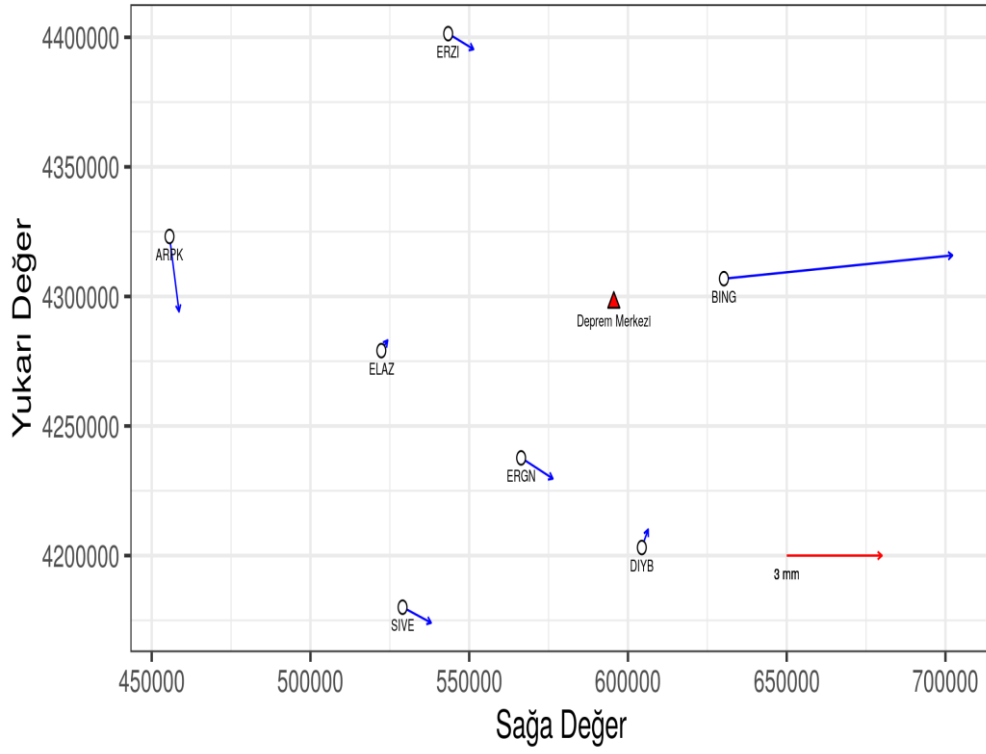
Deprem günü için hesaplanan istasyonların toposentrik koordinatlarına göre yatay ve düşey hareketleri çizilmiştir (Şekil 12 ve 13). Çizim için bu çalışmada istasyon konumları 3° lik dilimde, 39° dilim orta meridyeninde ve Transversal Mercator projeksiyon sisteminde hesaplanmıştır. Çizelge 3'te deprem gününe ait konum farkları liste halinde verilmiştir. Çizelgedeki “p” değeri (3) nolu eşitlikle hesaplanmıştır. Şekil 12'deki istasyonları hareket oklarının büyüklüğü, bu “p” değeridir.

$$p = \sqrt{\Delta n^2 + \Delta e^2} \quad (3)$$

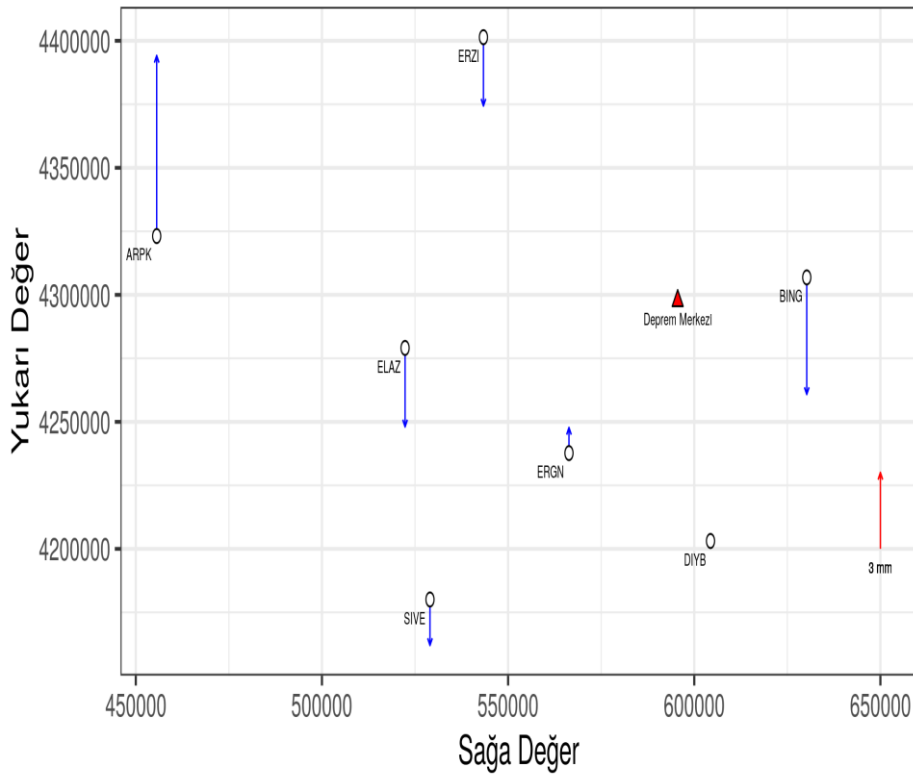
Eşitlikteki  $\Delta n$ , kuzey yönündeki değişimi,  $\Delta e$  doğu yönündeki değişimi ifade eder.

Çizelge 3. TUSAGA - Aktif istasyonlarının deprem günü konum farkları

İstasyon Kodu	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	P (mm)	Düşey (mm)
ARPK	-2.9	0.3	2.9	7.1
BING	0.9	7.2	7.3	-4.6
DIYB	0.7	0.2	0.7	-0.2
ELAZ	0.4	0.2	0.5	-3.1
ERGN	-0.8	1.0	1.3	1.0
ERZI	-0.6	0.8	1.0	-2.7
SIVE	-0.6	0.9	1.1	-1.8



Şekil 12. TUSAGA - Aktif istasyonlarının deprem günü yatay hareketleri



Şekil 13. TUSAGA - Aktif istasyonlarının deprem günü düşey hareketleri

## 5. Sonuçlar ve Tartışma

İnternet tabanlı veri işleme servisleri dünya çapında yaygın halde kullanılmaktadır. Bu servisler sayesinde GNSS verileri hızlı, güvenilir, hassas olarak dengelenebilir ve bu sayede yer kabuğu hareketleri rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Çalışmada Avustralya hükümetinin kontrolünde işletilen AUSPOS servisi kullanılmıştır.

Bu çalışmada sunulan bulgulara göre, Elazığ – Karakoçan depremi sonrası 5 günlük sonuçlara göre maksimum kuzey, doğu ve düşey yönündeki yer değiştirme sırasıyla -8.8 mm, +9.5 mm ve -19.6 mm ile BING istasyonunda tespit edilmiştir. Elazığ Karakoçan’da 6.0 Mw büyüklüğünde ve 5 km derinliğinde oluşan bu depremin en yakın (36 km) BING istasyonuna etkisi doğu yönünde görülmüştür.

AUSPOS servisinin akademik yazılım kullandığı ve hesaplamalarda global parametreler tercih ettiğinden, istasyonların deprem anı ve sonrası için aykırı konumlarını daha duyarlı tespit etmesi beklenir. Ancak bu çalışmada kullanılan istasyon verilerine göre AUSPOS servisinde hesaplanan istasyon koordinatlarının duyarlı hesaplanabildiği söylenemez. Çünkü servisin yazılımı Bernese 5.2’de tüm istasyonların jeodezik koordinatları, %95 güven aralığında, enlemde  $\pm 5-6$  mm, boylamda  $\pm 6-7$  mm, elipsoidal yükseklikte  $\pm 11-13$  mm standart sapma ile hesaplanmıştır. Eckl ve diğer bilim adamları baz çözümlerine ait standart sapmaların zamana bağlı bir fonksiyonla değişimini belirlemişlerdir. Buna göre yirmi dört saatlik veri çözümlerinde istasyonların konumlarına ait standart sapma yatayda  $\pm 2$  mm, düşeyde  $\pm 7.5$  mm olması gerekmektedir [29].

Depremin aletsel büyüklüğü 5.8 Mw’den büyük olan depremlerde deprem merkezine 10 km mesafede istasyonların yer değiştirmeleri GNSS tekniği ile tespit edilebilmektedir [30]. Bu nedenlerle anlamlı bir yer değiştirme belirlenebilmesi; depremin büyüklüğüne, odak noktasının derinliğine, depremi oluşturan fay ile ortamın jeolojik özelliklerine ve istasyonun deprem merkezine uzaklığına bağlı olduğu söylenebilir.

Daha iyi bir analiz için TUSAGA istasyonlarının bir saniyelik verileri kullanılabilir. TKGM bir saniyelik verileri belirli süreler için örneğin ölçü tarihinden itibaren üç ay süreyle sistemde tutmaktadır. Daha sonra sistemden silmektedir. Çalışmada bu deprem zamanı için bir saniyelik verilere ulaşılamamıştır. Ayrıca

AUSPOS sistemi dengelemede sabit IGS istasyonlarının 30 saniyelik verilerini kullanmaktadır. Buna ilaveten deprem anından itibaren deprem dalgasının istasyonlara kaçır saniye ara ile ulaştığı tespit edilse bu zaman dilimlerine göre istasyon verileri bölünerek AUSPOS siteminde dengeleme yapılmasıyla daha doğru ve anlamlı sonuçlar elde edilebilir.

Deprem çalışmalarında AUSPOS servisinin kullanılıp kullanılmayacağı sonucuna ulaşabilmek için, bu çalışmaların daha büyük yer değişikliklerinin olduğu başka ölçme yöntemleri ile tespit edilmiş deprem günlerine ait gözlem verileri kullanılarak AUSPOS üzerinde çalışmalar yapılmalı ve çalışma sonucunda AUSPOS servisi ile elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak, servisin deprem hareketlerinin belirlenmesi konusundaki doğrulukları belirlenmelidir.

**Teşekkür:** Bu çalışma, Gökhan BAŞKAN tarafından hazırlanan “Karakoçan ve Halepçe Depremlerinin Tusaga-Aktif İstasyonlarına Etkilerinin Web Tabanlı GNSS Servisiyle İncelenmesi” isimli yüksek lisans tezinden üretilmiştir. Yazarlar değerli katkılarından dolayı hakemlere teşekkür eder.

### **Kaynaklar**

- [1] McClusky, S., Balassanian. S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev,I., Gürkan, Hamburger, O., Hurst, K., Kahle, H, Kastens, K., Kekelidze, G., King,R., V. Kotzev, V., Lenk, O. 4, Mahmoud, S., Mishin, A., Nadariya, M., Ouzounis, A., Paradissis, D., Peter, Y., Prilepin, M., Reilinger, R., Sanli, I., Seeger, H., Tealeb, A., Toksöz, M.N., Veiss, G., Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus, Journal of Geophysical Research, vol. 105, no. B3, pages 5695-5719, March 10, 2000
- [2] Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrotsa, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G., GPS constraints on continental deformation in the Africa–Arabia–Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, Journal of Geophysical Research 111, 2006, B05411,

- [3] Ozener, H., Arpat, E., Ergintav, S., Dogru, A., Cakmak, R., Turgut, B., Dogan, U., Kinematics of the Eastern Part of the North Anatolian Fault Zone, *Journal of Geodynamics* 49 (3–4), 2010, 141–150.
- [4] Dogru, A., Deformation of Eastern Turkey From Seismic And Geodetic Strain Rates, *Scientific Research and Essays* 5 (9), 2010, 911–916.
- [5] Aktuğ, B., Dikmen, U., Doğru, A., Özener, H., Seismicity and strain accumulation around Karliova Triple Junction (Turkey), *Journal of Geodynamics*, 67, 2013, 21-29
- [6] Aktuğ, B., Özener, H., Doğru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halıcıoğlu, K., Yılmaz, O., Havazlı, E., Slip Rates and Seismic Potential on the East Anatolian Fault System Using an Improved GPS Velocity Field, *Journal of Geodynamics*, 94-95, 2016, 1-12,
- [7] Yıldırım, O., Yaprak, S. ve Inal C., Determination of 2011 Van/Turkey earthquake (M=7.2) effects from measurements of CORS-TR network, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 5 (2), 2014, 132-144.
- [8] Bülbül, S., İnal, C., Yıldırım, O. ve Başçiftçi, F., Velocity Estimation of Turkish National Permanent GNSS Network-Active Points Located at Central Anatolia Region, *Bilge International Journal of Science and Technology Research, Speacial Issue*, 2017, 18-25
- [9] Ansari K., Çorumluoğlu Ö, Sharma S.K., Numerical Simulation of Crustal Strain in Turkey from Continuous GNSS Measurements in the Interval 2009–2017, *Journal of Geodetic Science*, volume 7, Issue 1, 2017, 113-129
- [10] Kalafat, D., Zülfikar, C., Vuran, E. ve Kamer, Y., 2010, 08Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) Depremi, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Rapor, 65 sayfa.
- [11] Url 1, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma enstitüsü, bölgesel Deprem-Tsunami İzleme ve Değerlendirme Merkezi, 30 Temmuz 018  
<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/buyuk-depremler/>
- [12] Url 2, AUSPOS Online GPS Processing Service <http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl>  
30 temmuz 2018
- [13] Sunkar, M., 8 Mart 2010 Kovancılar-Okçular (Elazığ) Depremi; Yapı Malzemesi ve Yapı Tarzının Can ve Mal Kayıpları Üzerindeki Etkisi, *Türk Coğrafya Dergisi* sayı 56, 2011, 23-37.

- [14] Arpat, E. ve Şaroğlu, F., Doğu Anadolu Fayı İle İlgili Bazı Gözlemler Ve Düşünceler, Maden Tetkik Arama Enstitüsü Dergisi, Sayı 78, 1972, 44-50
- [15] Şengör, A.M.C. , Görür, N. ve Şaroğlu, F., Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation kitabında bölüm, 1985, 227-264.
- [16] Şaroğlu, F. 1986, Doğu Anadolu'nun neotektonik dönemde jeolojik ve yapısal evrimi, Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Rapor No: 7857, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, 1985
- [17] Şaroğlu, F., Emre, Ö., Boray, A., Türkiye'nin diri fayları ve depremsellikleri. Maden Tetkik Arama Enstitüsü, Rapor No: 8174, 1987
- [18] Koçyiğit, A., Karakoçan Fay Zonu: Atımı, Yaşı, Etkin Stres Sistemi ve Depremselliği, *ATAG-7 Aktif Tektonik Araştırma Grubu 7. Toplantısı Bildiri Özleri* Kitabı, Yüzcüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Van 01-03 Ekim 2003, 15-16
- [19] Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Elmacı, H. 8 MART 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) Depremi Değerlendirme Raporu, .MTA Jeoloji Etütler Dairesi, Mart 2010, Ankara
- [20] Mekik, C., Yıldırım Ö., Bakıcı S., The Turkish real time kinematic GPS network (TUSAGA-Aktif) infrastructure." Scientific Research and Essays Volume 6, Issue 19, 2011, 3986-3999
- [21] Jia, M., Dawson, J., Moore, M., AUSPOS: Geoscience Australia's on-line GPS Positioning Service, *Proceedings of the 27th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2014)*, September 8 - 12, 2014, Florida, USA
- [22] El-Mowafy, A., Analysis of Web-Based GNSS Post-Processing Services for Static and Kinematic Positioning Using Short Data Spans, Survey Review, Volume 43, Issue 323, 2011, 535-549
- [23] Ocalan, T., Erdogan, B. ve Tunalioglu, N., Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques, Boletim de ciencias geodesicas, 19 (2), 2013, 191-207.

- [24] Yigit, C.O. , Gikas, V., Alcay, S. ve Ceylan, A., Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP, Survey Review, 46 (336), 2014, 155-166.
- [25] Şanlıoğlu, İ., Zeybek, M. ve Yiğit, C. Ö., Landslide Monitoring with GNSS-PPP on Steep-Slope and Forestry Area: Taşkent Landslide, *International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS)* 12-16 June 2016.Sarajeova, Bosnia Herzegovina
- [26] Tiryakioğlu, İ. Aktuğ, B., Yiğit, C. Ö., Yavaşoğlu, H. H., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Poyraz, F., Taneli, E., Bulut, F., Doğru A. & Özener, H., Slip distribution and source parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos earthquake (Mw6.6) from GPS observations, *Geodinamica Acta*, 30:1, 2018, 1-14
- [27] Özdemir, S., TUSAGA ve TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Hassas Koordinat ve Hızlarının Hesaplanması Üzerine, *Harita Dergisi*, Sayı 155, 2016, 53-81.
- [28] Bilgen, B., İnal C., Bülbül S., GNSS Tekniği İle Yatay Yöndeki Deformasyonların Araştırılması, *HKMO-Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu* 19-21 Ekim 2016, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul
- [29] Eckl, M.C., Snay, R. A., Soler, T., Cline, M. W., Mader, G. L.i Accuracy of GPS-Derived Relative As A Funtion of İnterstation Distance And Observing- Session Duration, *Journal of Geodesy*, volume 75, issue 12, 2001, 633-640.
- [30] Michel, C. Kelevitz, K., Houlié, N., Edwards, B., Psimoulis, P. Su, Z., Clinton, J. and Giardini, D. , The Potential of High-Rate GPS for Strong Ground Motion Assessment, *Bulletin of the Seismological Society of America*, Vol. 107, No. 4, 2017, 1849-1859