T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KARAKOÇAN VE HALEPÇE DEPREMLERİNİN TUSAGA-AKTİF İSTASYONLARINA ETKİLERİNİN WEB TABANLI GNSS SERVİSİYLE İNCELENMESİ

Gökhan BAŞKAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Ağustos - 2018
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KARAKOÇAN VE HALEPÇE DEPREMLERİNİN TUSAGA-AKTİF İSTASYONLARINA ETKİLERİNİN WEB TABANLI GNSS SERVİSİYLE İNCELENMESİ

Gökhan BAŞKAN

Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU

2018, 46 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU
Prof. Dr. Adnan ÖZDEMİR
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

Mühendislik projelerinin kalitesini sürdürmek ve güvenli hizmet etmek için depremlerin büyüklüğünü ve etkilerini belirlemek önemlidir. GNSS tekniğiyle Sürekli Gözlem Yapan Referans İstasyonlarından (CORS) yüksek doğrulukla veri elde edilebilmesi fay hatlarının izlenmesini kolaylaştırmıştır.

Türkiye'nin tektonik yapısı, şiddeti ve hasarı büyük depremlere neden olmaktadır. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)'ndan sonra deprem üretme potansiyeline sahip Türkiye'deki ikinci önemli fay sistemidir, DAFZ, yakınında, Elazığ – Karakoçan depremi (8 Mart 2010) ve Halepçe depremi (12 Kasım 2017) meydana geldi. Halepçe, Irak'ın Bağdat ilinin 220 km kuzeydoğusunda, İran-Irak sınırında bulunuyor.

Bu çalışmanın amacı, TUSAGA – Aktif istasyonlarının verileri yardımıyla bahsi geçen depremlere bağlı yer değiştirmelerin büyüklüğünü ve yönünü belirlemektir. GNSS verilerinin dengelenmesinde AUSPOS web tabanlı veri işleme sistemi kullanılmıştır. Halepçe ve Elazığ – Karakoçan depremlerinden etkilendiği tahmin edilen DAFZ yakınında TUSAGA - Aktif istasyonlarının deprem tarihinden 5 gün önce ve 5 gün sonraki günlere ait dengeleme sonuçları analiz edilmiştir.

Halepçe depremi öncesi ve sonrası 5 günlük sonuçlara göre maksimum yatay yöndeki hareket 6.6 mm ile TVA2 istasyonunda, maksimum düşey yöndeki hareket 13.8 mm ile SEMD istasyonunda tespit edilmiştir. Elazığ – Karakoçan depremi öncesi ve sonrası 5 günlük sonuçlara göre maksimum yatay yöndeki hareket 16.7mm ile SSEH istasyonunda, maksimum düşey yöndeki hareket 39.2 mm ile BING istasyonunda tespit edilmiştir. Sonuç olarak belirlenen kuzey, doğu ve düşey yöndeki yer değiştirme miktarları, her istasyon için hesaplanan yer değiştirme karesel ortalama hatalarının üç katından küçük olduğu için anlamlı bir yer değiştirme olmadığı kanaatine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu Fayı, Elazığ Karakoçan Depremi, GNSS, Halepçe Depremi, TUSAGA – Aktif, AUSPOS

ABSTRACT

MS THESIS

THE INVESTIGATION OF KARAKOÇAN AND HALABJAH EARTHQUAKES' EFFECTS ON CORS-TR STATIONS WITH THE WEB BASED GNSS SERVICE

Gökhan BAŞKAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF SELÇUK UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN GEOMATICS ENGINEERING

Advisor: Assoc.Prof.Dr. İsmail ŞANLIOĞLU

2018, 46 Pages

Jury
Assoc. Prof. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU
Prof. Dr. Adnan ÖZDEMİR
Prof. Dr. Ekrem TUŞAT

It is an important issue to determine the magnitudes and effects of earthquakes in order to continue the quality of engineering projects and to service safely. To obtain the data from the Continuous Observing Reference Stations (CORS), facilitates monitoring faults.

Tectonic structure of Turkey produces earthquakes whose magnitude and effect are large. The East Anatolian Fault Zone (EAFZ) is the second significant fault system in Turkey, afterwards the North Anatolian Fault Zone (NAFZ). The EAFZ has the potential to produce large earthquakes. Near the EAFS, Elazığ – Karakoçan earthquake (8 March 2010) and Halabjah earthquake (12 November 2017) occurred. The Halabjah is near the Iran-Iraq border and far away from 220 km northeast of Baghdad, Iraq.

The purpose of this study is to determine the magnitude and direction of earthquake-induced displacements by the Turkish National Permanent GNSS Network (TNPGN) rinex data. The AUSPOS web based processing system was used for adjustment of GNSS data. The pre and post 5 days data of the TNPGN - Active stations, which were expected to be affected by Halabjah and Elazığ-Karakoçan earthquakes, were analyzed.

According to the data from pre and post 5 days Halabjah earthquake, maximum horizontal displacement was detected as 6.6mm at TVA2 station while maximum vertical displacement was detected as 13.8mm at SEMD station. On the other hand, according to the data pre and post 5 days Elazig-Karakoçan earthquake, maximum horizontal displacement was detected as 16.7 mm at SSEH station while maximum vertical displacement was detected as 39.2 mm vertically at BING station. As a result, there were no meaningful displacement in the north, east and vertical direction since their magnitudes are three times smaller than the calculated root mean squares for each station.

Keywords: CORS-TR, East Anatolian Fault, GNSS, Halabjah Earthquakes, Elazığ Karakoçan Earthquakes, AUSPOS

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması süresince bilimsel tecrübelerini aktaran, yol gösteren, her türlü kolaylığı sağlayarak yardımlarını esirgemeyen çok kıymetli danışmanım sayın Doç. Dr. İsmail ŞANLIOĞLU 'na, lisans ve yüksek lisans öğrenimim boyunca bilgilerini aktaran ve üzerimde emeği olan tüm saygıdeğer hocalarıma, dönüşüm programı için MATLAB kodlarını yazan ve bilgisayarla ilgili her türlü sıkıntılarımda yanımda olan Dr. Öğretim Üyesi Mustafa ZEYBEK 'e, TUSAGA-Aktif verilerini elde etmede bizden yardımlarını esirgemeyen TKGM – Harita Dairesi Başkanlığı - Jeodezi Şube Müdürü Ömer SALGIN ve Jeodezi Şube personellerine teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarım sırasında maddi manevi desteğini esirgemeyen sevgili eşim Şeyma BAŞKAN 'a, kız kardeşim Harita Mühendisi Gökçe BAŞKAN 'a, manevi desteklerini hep hissettiğim ve haklarını hiçbir zaman ödeyemeyeceğim anne ve babama teşekkür ederim.

Gökhan BAŞKAN
KONYA-2018

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

SİMGELER VE KISALTMALAR ..... **ix**

1. GİRİŞ **1**

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI **3**

2.1. Deprem Araştırmalarında GNSS Tekniğinin Kullanımına Örnek Çalışmalar 3
2.2. Web Tabanlı Hassas Konum Belirleme (PPP - GNSS) Tekniğinin Kullanımına Örnek Çalışmalar 4
2.3. Türkiye'nin Tektonik Yapısının Anlatıldığı Çalışmalar 5

3. TÜRKİYE'NİN DEPREMSELLİĞİ **6**

3.1. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) 7
3.2. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) 7
3.3. Ege Graben Sistemi (EGS) 7
3.4. Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi 8
3.4.1. Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF) 8
3.4.2. Karlıova-Muradiye Bölgesi Fayları 8
3.4.3. Bitlis Bindirme Kuşağı (BBK) 9

4. DEPREM BÖLGELERİNİN TEKTONİK YAPISI **10**

4.1. Irak – Halepçe Deprem Bölgesi Tektonik Yapısı 10
4.2. Elazığ – Karakoçan Deprem Bölgesi Tektonik Yapısı 11

5. MATERYAL VE YÖNTEM **13**

5.1. Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı (TUSAGA-Aktif/CORS-TR) 13
5.2. TUSAGA - Aktif İstasyonlarının Yer Değiştirme Miktarlarının Hesaplanması 14

6. UYGULAMA, ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA **16**

6.1. Irak – Halepçe Depremi için Nokta Konum Hesaplamaları 16
6.2. Irak – Halepçe Depremi Bulguları 17
6.3. Elazığ – Karakoçan Depremi için Nokta Konum Hesaplamaları 28
6.4. Elazığ – Karakoçan Depremi Bulguları 28

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **43**

KAYNAKLAR 44

ÖZGEÇMİŞ.....47

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

n: Ölçüm Sayısı
KOH: Karesel Ortalama Hata
V: Hata Miktarı

Kısaltmalar

ADSL: Asymmetric Digital Subscriber Line (Asimetrik Sayısal Abone Hattı)
APPS: Automatic Precise Positioning Service (Otomatik Hassas Konumlama Hizmeti)
AUSPOS: Australian Online Positioning Service (Avusturalya Online Konum Belirleme Servisi)
BBK: Bitlis Bindirme Kuşağı
BÖHHBÜY: Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği
CSRS – PPP: Canadian Spatial Reference System – Precise Point Positioning (Kanada Mekansal Referans Sistemi – Hassas Nokta Konumlama)
CAD: Computer Aided Design (Bilgisayar Destekli Tasarım)
CORS: Continuously Operating Reference Stations (Sürekli Ölçü Yapan Referans İstasyonları)
DAF: Doğu Anadolu Fayı
DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu
DOM: Dilim Orta Meridyeni
ERP: Earth Rotation Parameter
GLONASS: Russian Global Navigation Satellite System
GMF: Global Mapping Functions (Global Haritalama İşlevleri)
GNSS: Küresel Navigasyon Amaçlı Uydu Sistemleri (Global Navigation Satellite Systems)
GPS: Küresel Konumlama Sistemi (Global Positioning System)
GSM: Mobil İletişim için Küresel Sistem (Global System for Mobile Communications)
HGK: Harita Genel Komutanlığı
IGS: International GPS Service for Geodynamics (Uluslararası GPS Servisi)
INSAR: Interferometric Synthetic Aperture Radar (Interferometik Yapay Açıklıklı Radar)
ITRF: International Terrestrial Reference Frame (Uluslararası Yersel Referans Sistemi)
KAF: Kuzey Anadolu Fayı
KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu
NGS: National Geodetic Survey (Ulusal Jeodezik Ölçme)
PPP: Precise Point Positioning (Hassas Konum Belirleme)
RINEX: Receiver Independent Exchange Format (Alıcı Bağımsız Değişim Biçimi)
RMS: Root Mean Square (Karesel Ortalama Hata)
TKGM : Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü
TUSAGA – Aktif : Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı (CORS-TR)
WGS-84 : World Geodetic System 1984 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984)

1. GİRİŞ

Dünyanın yaratıldığı günden bugüne, tektonik olarak aktif olan bölgelerde depremlerin ardışıklı olarak oluştuğu ve sonuçlarından da binlerce insanın ve yapıların yok olduğu bilinmektedir.

Dünyanın en etkin deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunan Türkiye, geçmişte birçok yıkıcı depremler yaşamıştır. Geçmişte olduğu gibi, gelecekte de oluşacak depremlerle büyük can ve mal kaybına uğranacağı bir gerçektir.

Kaliteli mühendislik projeleri üretmek, sürdürmek, sürdürebilir ve güvenli mühendislik hizmetleri için depremlerin büyüklüklerinin ve etkilerinin hesaplanması önemli bir konudur. Bu sebeple, kabuksal hareketlerin ve yapısal deformasyonların belirlenmesine yönelik çalışmalar her geçen gün artmaktadır. Özellikle büyük mühendislik çalışmalarından önce yapılacak çalışmalar çok önem arz etmektedir. Jeodezik ölçü yöntemlerinden biri olan, GNSS (Küresel Navigasyon Amaçlı Uydu Sistemleri) ile konum belirleme tekniği sayesinde fay hatlarının izlenmesi kolay hale gelmiştir. Sürekli Gözlem Yapan GNSS Referans İstasyonlarından (CORS-TR) yüksek doğrulukta veri üretiliyor olması bu istasyonların kullanımını artırmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında Türkiye Anadolu plakasında yer alan ve önem bakımından ikinci sırada olan Doğu Anadolu Fay Hattı (DAF) üzerinde ve yakınlarında oluşan Elazığ Karakoçan Depremi ile İran/Irak sınırında gerçekleşen Halepçe Depremi çalışma konusu edilmiştir. Bu çalışmada bahsedilen depremlerin ülkemiz topraklarında tesis edilmiş sabit GNSS istasyonları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Araştırmada yedi gün yirmidört saat sürekli GNSS kaydı yapan TUSAGA-Aktif (Türkiye Ulusal Sabit GNSS Ağı) istasyonlarının gözlemleri kullanılmıştır. Verilerin hesabında Avustralya hükümetince işletilen AUSPOS web tabanlı veri işleme sisteminden yararlanılmıştır.

Çalışma sırasında bölge ile ilgili eski proje ve çalışmalar incelenmiş, deprem katalogları araştırılmış ve internet üzerinden, Kandilli Rasathanesi ve TÜBİTAK'ın bu konudaki sitelerinden yararlanılmıştır.

Tez yapı itibariyle yedi bölümden oluşmaktadır. İkinci bölümünde kaynak araştırmaları literatür halinde verilmiş olup, üçüncü bölümde Türkiye'nin depremselliği ve jeolojik yapısı ele alınmıştır. Dördüncü bölümde araştırmaya konu olan Halepçe ve Elazığ-Karakoçan deprem bölgelerinin tektonik yapısı irdelenmiştir. Tezde kullanılan materyal ve yöntem beşinci ve altıncı bölümde ele alınmıştır. Bu bölümde TUSAGA-Aktif sistemi ve GNSS gözlemleri, AUSPOS web tabanlı veri işleme sistemi ve analiz

yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Altıncı bölümde Halepçe ve Karakoçan depremi uygulama çalışmaları ile analizleri yapılmış olup, yedinci bölümde çalışmanın sonuçlarından yararlanılarak ulaşılan bulgular ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, bu çalışma konusuyla ilgili daha önce yapılmış araştırmalar 3 ana başlık altında verilmiştir.

2.1. Deprem Araştırmalarında GNSS Tekniğinin Kullanımına Örnek Çalışmalar

Türkiye'de özellikle nüfusun daha fazla yer aldığı "İstanbul ve çevresini ilgilendirdiği için" Kuzey Anadolu Fay (KAF) hattı üzerinde deprem öncesi ve deprem sonrası yer değiştirmeleri konu edinen ve jeodezicilerin de içinde bulunduğu pek çok çalışma vardır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

Reilinger ve ark. (2000)' de yaptıkları makalede 17 Ağustos 1999 İzmit Depremi ele alınmış ve GPS, Insar (Interferometric Synthetic Aperture Radar) teknikleri kullanılarak depremin etkileri tartışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre büyük sismik kaymanın 5.7 metreye ulaştığı, depremden sonraki ilk 75 günde yüzey deformasyonunun 0.43 metre olduğu tespit edilmiştir. INSAR ve GPS gözlemleri arasındaki farklar radar görüş hattı boyunca 30 mm ve 42 mm'dir. InSAR ve GPS tarafından tahmin edilen aralık değişimleri arasındaki tutarsızlıklar, topografik yükseklik ile belirgin bir korelasyon göstermemektedir.

Meade ve ark. (2002)'de yaptığı çalışmada Marmara denizinde GPS gözlemlerinden yararlanarak deprem hız vektörleri ve hız alanının tespiti yapılmış, ortalama yıllık 25 mm hız ve 6-15 km derinliğinde değişen depremin hareketi sismik yöntemlerle belirlenmiştir.

Van deprem bölgesinde yapılan çalışmalardan biri de Yildirim ve ark. (2014)'te yaptığı çalışmadır. Bu çalışmada Van Bölgesi etrafında tesis edilmiş sürekli gözlem yapan istasyonların (TUSAGA – Aktif) depremden önce 10 gün ve depremden sonraki 5 güne ait GNSS verileri Bernese 5.0 akademik yazılım ile dengelenmiş, yer değiştirme miktarları hesaplanmış ve grafikleri çizdirilerek Van depreminin TUSAGA – Aktif istasyonları üzerindeki etkileri analiz edilmiştir. Çalışma sonucunda en fazla varyasyon Muradiye (MURA) istasyonunda tespit edilmiştir. Bu istasyondaki varyasyon düşey yönde -42.7 mm, kuzey yönünde -60.3 mm ve doğu yönünde -18.7 mm olduğu tespit edilerek diğer istasyonlara ait yer değişim sonuçları çizelge halinde sunulmuştur.

Aktug ve ark. (2016)' da yaptığı makalede Doğu Anadolu Fay Hattı'nda ve Ölü Deniz Fay hattının devamı olan Türkiye kısmında ki bölgelerde GPS ile yapılan çalışmalardan bahsedilmiş ve Doğu Anadolu Fay Hattı'nda GPS hız vektörleriyle hattın depremselliği gösterilmiştir. Sonuç olarak DAFS'nin kayma oranının Türkoğlu'nun kuzeyinde yaklaşık sabit (~10 mm / yıl) iken güneyde 4.5 mm / yıl'a düştüğünü, Ölü Deniz Fay Sistemi'nin (ÖDFS) kuzey kesimindeki kayma oranı da önceki çalışmalarla tutarlı olarak 4.2 ± 1.3 mm / yıl olarak bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, EAFS, Palu-Sincik ve Çelikhan-Türkoğlu kesimlerinde iyi bilinen iki sismik boşluğun 1.5 m ve 5.2 m'lik kayma açıkları olduğunu ve Mw7.4 ve Mw7.7 büyüklüğünde deprem üretme potansiyeline sahip olduğu sonucuna varılmıştır.

Bülbül ve ark. (2017)'de yaptıkları bu çalışmada Orta Anadolu'da tesis edilmiş TUSAGA – Aktif noktalarının TKGM tarafından yayınlanmış mevcut koordinat ve hızları ile IGS istasyonlarının referans alınarak Bernese akademik yazılımında hesaplanması sonucu çıkan değerlerin karşılaştırması yapılmıştır. Çalışmada farkların milimetre mertebesinin altında olmasından dolayı her iki sonucunda kullanılabilir olduğu, farklılıkların hesaplamada tercih edilen IGS istasyonlarının farklı olmasından kaynaklanmış olabileceği sonucuna varılmıştır.

2.2. Web Tabanlı Hassas Konum Belirleme (PPP - GNSS) Tekniğinin Kullanımına Örnek Çalışmalar

Tsakiri (2008)'de web tabanlı CSRS-PPP, Auto-GIPSY, SCOUT, AUSPOS ve OPUS online değerlendirme servislerinde GNSS verilerininin analizini yaparak karşılaştırmalı olarak sonuçları incelenmiştir. Online değerlendirme servislerinin 5-10 cm seviyesinde çözümler üretebileceği sonucuna varılmıştır.

Farisoğulları (2013) tezinde 19 adet TUSAGA – Aktif istasyonundan 6 ayrı zaman diliminde veri alınmış ve bu veriler GAMIT-GLOBK akademik yazılımı kullanılarak değerlendirilmiş ve hız değerleri elde edilmiştir. Elde edilen hız değerleri 3.77 mm / yıl ± 0.52 mm / yıl ile 24.94 mm / yıl ± 5.34 mm / yıl arasında değişmektedir. Elde edilen sonuçların bölgenin güncel tektonik yapısı ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Özdemir (2016) tezinde PPP tekniği olarak bilinen hassas konum belirleme tekniğinin doğruluklarını sürekli ölçü kaydeden sabit GNSS istasyonlarının verilerini farklı internet tabanlı programlar kullanarak irdelemiştir. Çalışma sonucunda 2 saat ve daha fazla gözlem süreli verilerle yatay konumda 3 cm'den, yükseklikte 5 cm'den

düşük konum doğrulukları elde edilebildiği görülmüştür. Ayrıca AUSPOS sistemi kullanılarak kısa süreli örneğin 2-3 saatlik veriler ile yapılan hesaplamalarda testte X ve Y bileşeninde ortalama genişletilmiş ölçüm belirsizliği ±27-32 mm, düşeyde ±40-44 mm olarak belirlenmiştir.

Yiğit ve ark. (2016) hassas konum belirleme yöntemini hem GPS ölçüleri hem de GLONASS ölçüleri ayrı ve birleşik olarak online CSRS-PPP servisinde değerlendirilmiş, ölçü süresine bağlı olarak karşılaştırmalı sonuçları yorumlanmıştır. Yer kabuğu, deprem v.b. nedenlerden kaynaklanan yatay ve düşey hareketlerin GNSS yöntemiyle izlenmesinde GPS-PPP yerine GPS/GLONASS-PPP yönteminin tercih edilmesi daha yüksek duyarlı sonuçlar üretilmesi açısından doğru olduğu sonucuna varılmıştır.

Alkan ve ark. (2017)'de Klasik GNSS veri değerlendirme yazılımlarına alternatif olarak web tabanlı online GNSS değerlendirme servisleri incelenmiştir. Çalışmada web tabanlı GNSS değerlendirme servisleri tanıtılarak statik uygulamalarda doğruluk performansları araştırılmıştır. Çalışmada online web tabanlı GNSS değerlendirme servisleri ile yatay konumda cm'ler mertebesinde, yükseklikte dm ve altı mertebesinde doğrulukta, pratik ve ucuz olarak ölçme uygulamalarında konum belirlemenin mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

2.3. Türkiye'nin Tektonik Yapısının Anlatıldığı Çalışmalar

Bozkurt (2001)'de başta Doğu Anadolu olmak üzere Türkiye'nin neotektonik yapısı hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

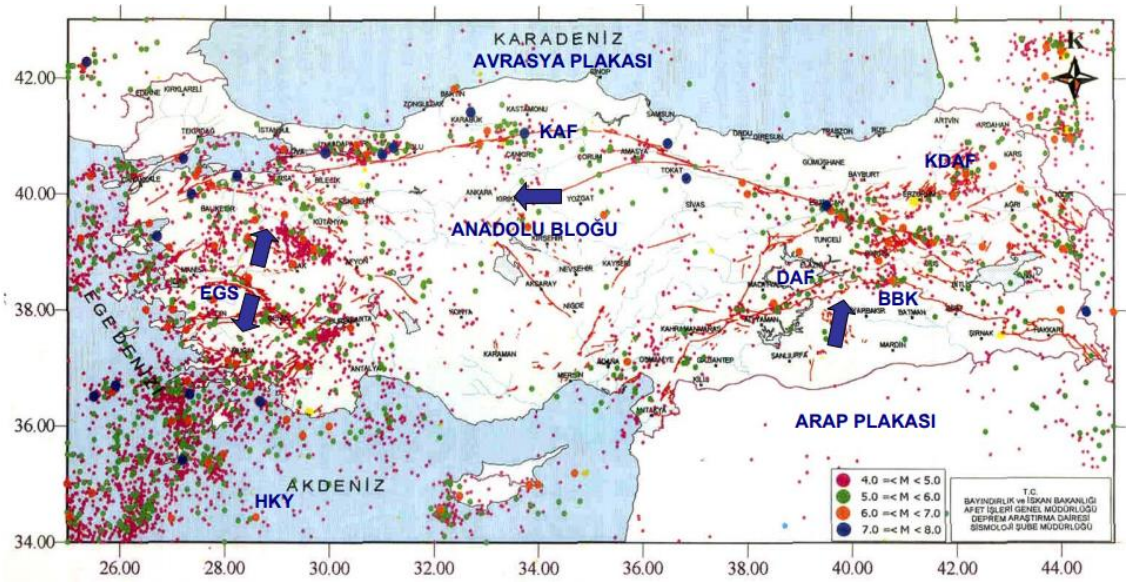
Karakoçan Fay Zonu hakkında detaylı bilgilerin verildiği Koçyiğit (2003)'de özellikle fayın atımı, yaşı, etkin stres sistemi ve depremselliği ile ilgili olarak tektonik çıkarımlar yapılmıştır.

Irak, Suriye, Türkiye gibi ülkelerin üzerinde bulunduğu levhaların hareketleri ve bu levhaların kabuksal tektonik yapılarını Stern ve Johnson (2010) makalesinde ele almışlar ve Arap plakasının jeolojik, petrolojik ve jeofiziksel özelliklerini ortaya koymuşlardır.

Avcı ve Sunkar (2018)'de yaptıkları çalışmada Elazığ – Karakoçan Fay Zonu ve Doğu Anadolu Fay Zonunda üzerinde yer alan heyelanların litolojik birimler ve fay hatları ile olan ilişkisi değerlendirilmiştir.

3. TÜRKİYE'NİN DEPREMSELLİĞİ

Türkiye, tektonik yapı bakımından topraklarının % 98'i deprem riski altında bulunan bir ülkedir. Bu durum, Türkiye'nin üzerinde bulunduğu bölgenin tektonik yapısıyla ve bu tektonik yapı içerisindeki coğrafi konumundan kaynaklanmaktadır. Türkiye, Alp-Himalaya orojenik sisteminin Akdeniz kısmında yer alır ve bu sistem Akdeniz'den batı-doğu yönünde Asya'ya doğru hareket etmektedir. Bu Anadolu plakasının kuzeyi Avrasya Plakası, güneyi Afrika ve Arap plakaları, doğusu Doğu Anadolu Bloğu ve batısı Ege Bloğu ile çevrilidir. Yeryüzünün en büyük plakası Avrasya Plakası olup, Afrika ile Arabistan plakalarına göre daha yavaş hareket etmektedir. Jeodezik araştırmalar göstermiştir ki, Avrasya yılda 5 mm, Arabistan 18 mm ve Afrika plakası 6 mm hızla kuzeye doğru hareket etmektedir. Bahsi geçen plakalar arasında yer alan Anadolu Plakasının. sıkışması sonucunda Anadolu Plakası yılda ortalama 23 mm hızla batıya doğru hareket etmektedir. Böylelikle, Ege Bloğu, Afrika Plakasının üstüne doğru yıllık 3–4 cm'lik bir hareketle binmekte, Kars-Erzincan-Van-Hakkari arasında kalan Doğu Anadolu Bloğu ise, kuzey yönünde yıllık 1–1.5 cm'lik bir hareketle Kafkaslar'a doğru ilerlemektedir (Öztürk, 2009). Türkiye'nin tektonik bir özeti gösteren plakalar ve fay hatları Şekil 4.1 'de verilmektedir. Bu şekilde; KAF; Kuzey Anadolu Fay hattını, DAF; Doğu Anadolu Fay hattını, EGS; Ege Graben Sistemi, BBK; Bitlik Bindirme Kuşağı, KDAF; Kuzey Doğu Anadolu Fay hattını göstermektedir.



Şekil 4.1. Türkiye Fay Sistemleri (Demirtaş ve Erkmen, 2000),

3.1. Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ)

Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) çok sayıda doğrultu atımlı fay içerir ve bu yapılar Karadeniz'in okyanusal litosferine itilen Batı Pontidlerin, KAFZ'ye kıyısı olan yeni başlamış oluşumları işaret eder. KAFZ doğuya doğru, Kuzey Anadolu ile Doğu Anadolu arasında bir sınır oluşturur ve aşırı iyi gelişmiş yüzey yapısı, gözle görülür sismik aktivitesinden dolayı dünyadaki en iyi bilinen sağ yönlü doğrultu atımlı fay zonlarından biridir. Kuzey Anadolu fayı, çok aktif bir zon olup jeodezik verilere göre 24-30mm/yıllık sağ yönlü bir hareket sergiler (Reilinger, McClusky et al. 1997).

3.2. Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)

Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), kuzeydoğuda Karlıova (Bingöl) birleşim noktasından başlar ve güneybatıda Türkoğlu (Kahramanmaraş) kavşağına kadar devam eder. Türkoğlu kavşağında üç veya dört kola ayrılır. Kuzeydeki kollar Helenik - Kıbrıs yayı ile birleşirken güneyde kalan kolu ise Ölü Deniz Fayına doğru uzanır. Doğu Anadolu fayı, sismik olarak suskun olduğu zamanlarda, birleşik fayı olan Kuzey Anadolu fayı tarafından kuzeydoğu ucunun ötelenmesiyle, Karlıova birleşim noktasının güneybatısında birkaç küçük kol gelişmiştir. Güneydoğuda yer olan kol, kuzeybatıda olana göre daha gençtir (Tirifonov, 1995). Diğer taraftan Doğu Anadolu fayı, Karlıova birleşim noktasının kuzeydoğusundan Ermenistan'a doğru uzanır. Doğu Anadolu fayının Karlıova'dan güneybatı doğru olan ana kısımın uzunluğu 400 km olup, bu ana kısımdaki kayma hızı yıllık 5 mm civarındadır (Arıoğlu ve Girgin, 2002).

3.3. Ege Graben Sistemi (EGS)

Ege Graben sisteminde Anadolu levhası, Karlıova birleşim noktasından batıya doğru kaymaya zorlanır, bu hareketin batıda Ege Levhasınca durdurulmaya çalışılması sonucunda bölgede, kuzey kuzey doğu-güney güney batı yönlü bir çekme (genişleme) rejiminin hakim olduğu, doğu-batı doğrultulu normal (düşey atımlı) faylar ile sınırlandırılmış Ege grabenleri (çöküntü-genişleme alanları) meydana gelmiştir. Bu sistem batıda Edremit körfezinden Toros Dağ zincirinin başladığı Akdeniz'e kadar uzanan bölgeyi kapsamaktadır (Arıoğlu ve Girgin, 2002). EGS içindeki çöküntü alanları 2002'de aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

i) Edremit körfezi,
ii) Bakırçay çöküntü havzası (10-20 km genişlik, 80 km uzunluktadır),
iii) Simav çöküntü havzası (Simav çayı boyunca yaklaşık 100 km uzanır),
iv) Gediz çöküntü havzası (10 - 20 km genişlik ve 140 km uzunlukta batı kuzey batı-doğu güney doğu doğrultulu),
v) Küçük Menderes çöküntü havzası (5-20 km genişlik ve 100 km uzunluktadır),
vi) Büyük Menderes çöküntü havzası (10-25 km genişlikte, 200 km uzunluktadır)
vii) Gökova körfezi

3.4. Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesi

Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesinde 1900-1995 yılları arasında yıkıcı ve yüzey çatlaması oluşturan şiddeti 5.5 Mw'den büyük 22 deprem meydana gelmiştir. Bunlardan 5'i Kuzeydoğu Anadolu Fayı, 9'u Karlıova-Muradiye Bölgesinde, 1'i Bitlis Bindirme Kuşağı üzerinde oluşmuştur (Demirtaş ve Yılmaz, 1996).

3.4.1. Kuzeydoğu Anadolu Fayı (KDAF)

Doğu Anadolu Sıkışma Bölgesinin Karlıova ile Ermenistan arasında kalan bölümüdür. Geniş bir kesme zonu olup, birbirine paralel gelişmiş kuzeydoğu-güneybatı doğrultulu, sol yönlü ve ters bileşenli bir çok kısa fay segmentinden (Kelkit, 150 km uzunlukta Akdağ fayı, Aşkale, Dumlu, Çobandere fayları) oluşmaktadır (Arıoğlu ve Girgin, 2002).

3.4.2. Karlıova-Muradiye Bölgesi Fayları

Karlıova – Muradiye arasındaki bölgede kuzey batı-güney doğu doğrultulu kısa uzunluklu, sağ yönlü doğrultu atımlı faylar yer alır. Bunlar; 100 km uzunluğunda Balıklıgöl fayı, 85 km'lik Karayazı fayı, 55 km'lik Çaldıran fayı, 50 km'lik Doğubeyazıt ve Tutak fayları'dır (Arıoğlu ve Girgin, 2002).

3.4.3. Bitlis Bindirme Kuşağı (BBK)

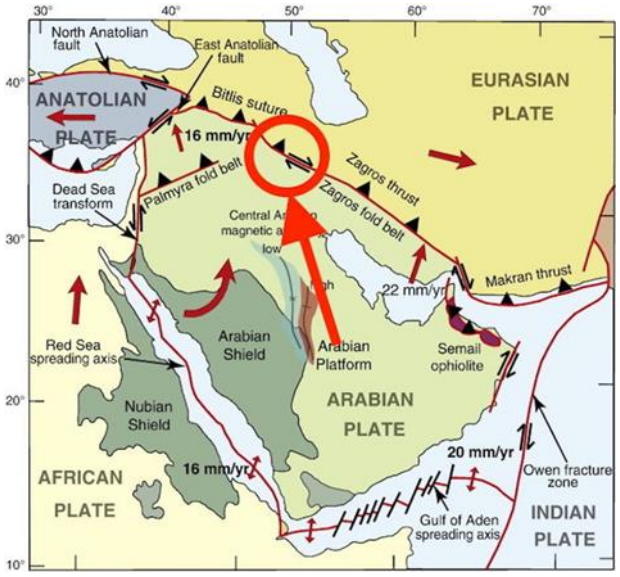
Arap plakası ile Anadolu plakasının çarpışma yeri olan Bitlis Bindirme Kuşağı Toridler ve Kenar Kıvrımları olarak isimlendirilen tektonik boşlukların sınırını oluşturmaktadır (Şekil 4.1). Kahramanmaraş ile Yüksekova arasında, güneye yönelmiş ters faylardan oluşur. 1500 km uzunluğunda ve 60 km genişliğinde bir bölgeyi kapsar. Kahramanmaraş ve Adıyaman çevresinden başlayan kuşak Çüngüş-Ergani-Lice-Kulp-Sason-Kozluk ve Pervari'den geçerek İran'da Zagros kuşağı ile birleşir (Arıoğlu ve Girgin, 2002). Tarihte pek çok yıkıcı deprem üretmiştir. Bu çalışmaya konu edilen Irak – Halepçe depremi bu bölgede oluşmuştur.

4. DEPREM BÖLGELERİNİN TEKTONİK YAPISI

4.1. Irak – Halepçe Deprem Bölgesi Tektonik Yapısı

Halepçe, Irak'ın kuzeyinde, İran sınırının 15 km batısında, Süleymaniye'nin 61 km güneydoğusunda, başkent Bağdat'ın 220 km kuzeydoğusunda yer alıyor. 12 kasım 2017 saat 21:18:18 'de enlemi 34º.8122, boylamı 45º.4803, derinliği 11.7 km ve deprem büyüklüğü 7.3 Mw olan bir deprem meydana gelmiştir (K.R.D.A.E., 2018).

Halepçe Depremi, Arap levhası ve Avrasya plakasının çarpışmasının bir sonucu olarak meydana gelmiştir. Depremin meydana geldiği bölgede, iki kabuklu levha birbirine karşı kaymaktadır. Arap levhası Avrasya plakasına göre kuzeye 2-3 cm / yıl hızla ilerlemektedir. Plaka, Avrasya plakasına çarparak Zagros Dağları'nın yükselişini hızlandırmaktadır (Reilinger ve ark., 2006). İki kıtasal plaka arasındaki bu çarpışma, partiküler konumlanmaya bağlı olarak bir yitim hareketinden bir dalma-kayma düzenine doğru değişim gösterir. Deprem yeri ve yüzeyi, fokal mekanik çözümü, kuzeydoğu dalma yüzeyi, bu bölgedeki bir plaka sınırına bağlı yapının kopması ile bağıntılıdır (Reilinger ve ark., 2006; Stern ve Johnson, 2010; Survey, 2017).



Şekil 5.1. Deprem Bölgesindeki kabuksal levhaların hareketleri (Stern ve Johnson, 2010)

Halepçe Depremi uzakta oluşmasına rağmen Güneydoğu Anadolu'da oldukça hissedildi. Bu deprem Zagros Dağlarını oluşturan katlanma ve itme kuşağı ile bir ters fay etkisiydi. Sıkışan kuvvetler ve iki plakanın birbirine karşı kayması, birkaç önemli

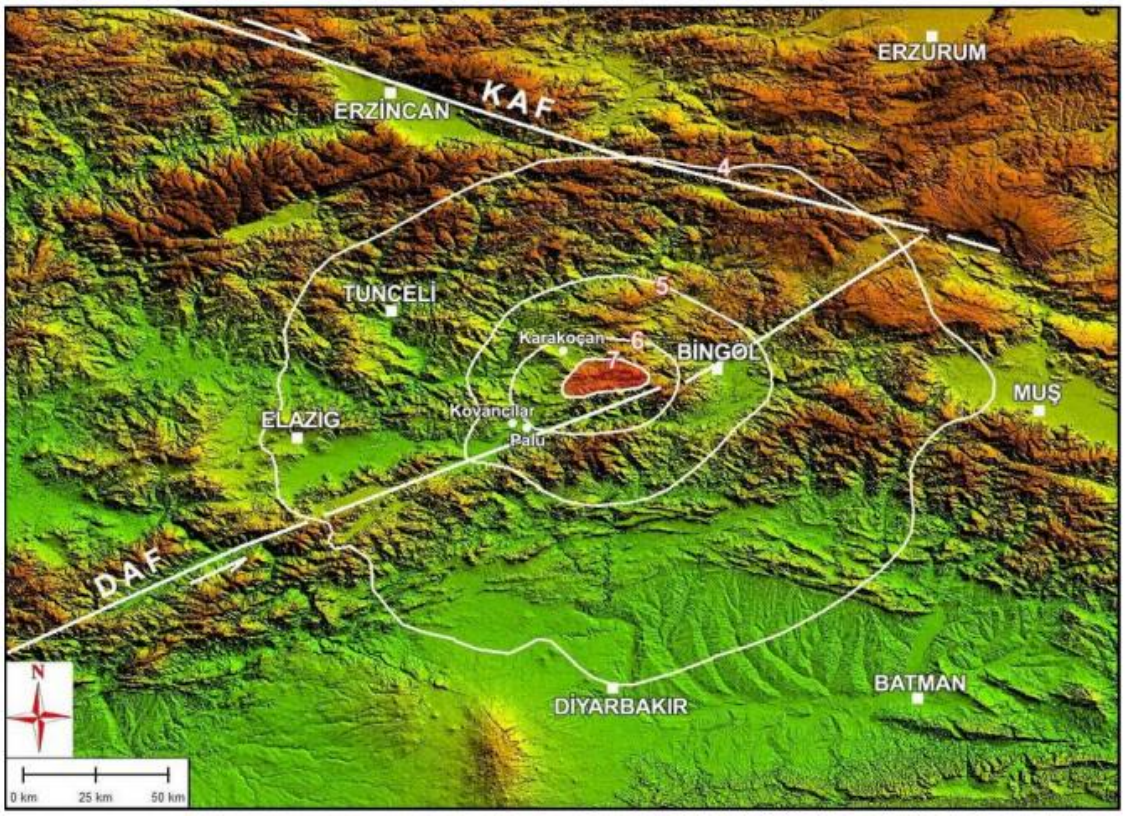
artçı depremine neden olmuştur (3 <Mw <6). Geçmişte Halepçe'nin güneydoğusundaki yaklaşık 200 km'lik plaka sınırı boyunca Mw 6.0-6.7 büyüklüğünde deprem kümelenmesi tespit edilmiştir. Örneğin, 1978'de Tabas depremi meydana geldi (Mw 7.8). Ölü sayısı 15–25 bin arasındaydı. Daha sonrasında Manjil-Rudbar depremi 21 Haziran 1990'da meydana geldi. Yaşamını kaybedenlerin sayısı 35–50 bin arasındaydı.

Türkiye, tektonik olarak Ortadoğu'nun en aktif bölgelerinden biridir. Son yıllarda meydana gelen depremlere göre tarihsel depremsellik, bu bölgenin aktif tektonik özelliklerini ortaya koymaktadır. Van depremleri son zamanlarda yaşanan depremlere bir örnek olabilir. Van depremleri Türkiye'nin doğusunda Doğu Anadolu Fay Zonunda, Van şehrinde meydana geldi. Oluşan deprem 604 Türk vatandaşının ölmesine neden oldu.

4.2. Elazığ – Karakoçan Deprem Bölgesi Tektonik Yapısı

08 Mart 2010 tarihinde saat 04:32:31'de Elazığ ili Kovancılar ilçesinin 30-35 km doğusunda meydana gelen deprem merkezüssü Karakoçan olup, enlemi 38º.8070, boylamı 40º.0998, derinliği 5 km ve deprem büyüklüğü 6.0 Mw'dır (K.R.D.A.E., 2018). Bölge genelinde 30 binden fazla nüfusu etkileyen ve 42 kişinin ölümüne neden olan bu depremde ana şok Karakoçan Fayı, artçı şoklar ise Doğu Anadolu Fayı (DAF) üzerinde görülmüştür. Deprem Karakoçan Fayı ile DAF'nın kesişme sahasında oluşmuş, oldukça karmaşık bir yapı göstermektedir. Bu depremde ortaya çıkan yüzey kırıkları, kütle hareketleri, yüksek maddi hasar ve can kayıpları DAF dışında Karakoçan Fayı üzerinde kalmaktadır (Sunkar, 2011).

Elazığ – Karakoçan Deprem bölgesi Kovancılar, Karakoçan, Palu ve Bingöl arasında kalan alanda kalmaktadır. Doğu Anadolu Bölgesi'nin Yukarı Fırat Bölümü'nde kalan deprem bölgesi sismik açıdan Doğu Anadolu Fayı (DAF) ile Karakoçan Fayı'nın kesişme noktasında yer almaktadır. Doğu Anadolu Fayı (DAF), Arap - Afrika plakası ile Avrasya plakası arasındaki iki kıtanın çarpışması sonucu meydana gelmiş bir transform faydır. Bingöl (Karlıova) – Hatay (Antakya) arasında KuzeyDoğu (KD) – GüneyBatı (GB) doğrultusunda, toplam 580 km uzunluğunda ve sol yanal atımlıdır (Arpat ve Saroglu, 1972; Şengör ve ark., 1985). GNSS ölçümleri sonucunda fayın güncel yer değiştirme hızının Türkoğlu - Karlıova arasında 9±0.2 mm/yıl olduğu tespit edilmiştir (Reilinger ve ark., 2006; Sunkar, 2011).



Şekil 5.2. Karakoçan – Kovancılar Depreminin Şiddet Haritası (Kalafat ve ark., 2010; Sunkar, 2011)

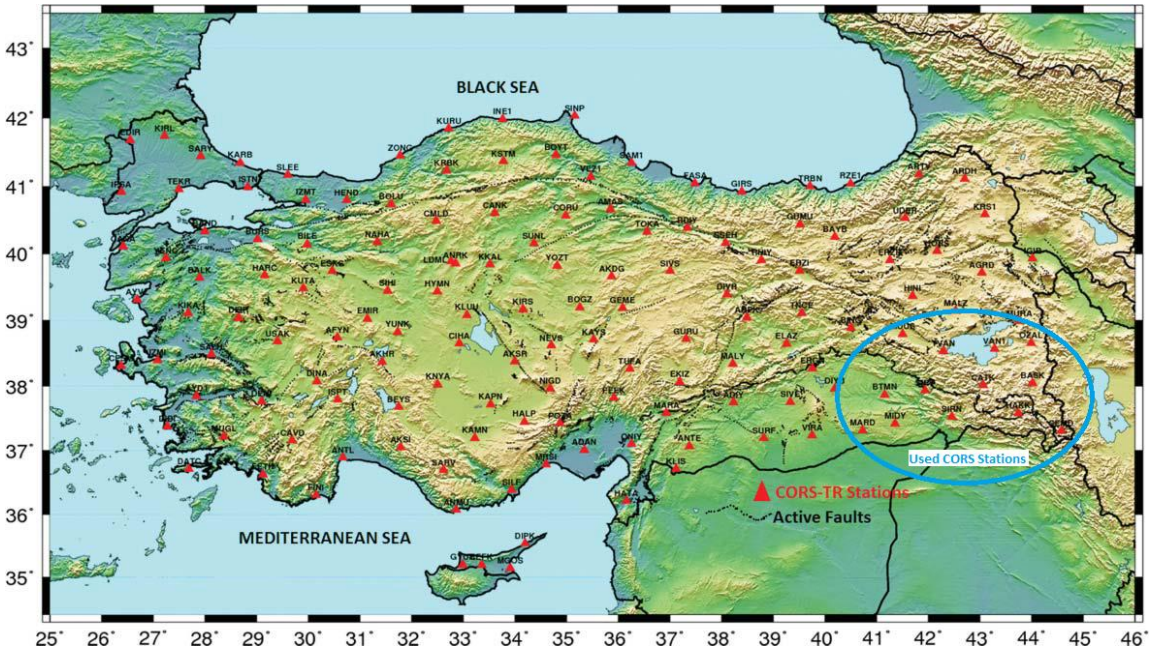
8 Mart 2010 saat 04:32 ’de oluşmuş Elazığ Karakoçan-Kovancılar depreminden sonra hazırlanan raporların neredeyse tamamında bu depremin Doğu Anadolu Fay Hattına (DAF) bağlı olduğu sonucuna varılmıştır (Sunkar, 2011).

Palu-Gökdere bölgesinin kuzey tarafında yer alan Karakoçan Fayı bölgedeki artçı depremlerin gözlemlendiği önemli bir diğer fay hattıdır. Karakoçan Fay Zonu 6–10 km genişliğinde, 50 km uzunluğunda, KuzeyBatı doğrultusunda, sağ yanal doğrultu atımlı levha içi yeni ve aktif bir yapıdır. Bu fayın uzunlukları 0.5–17 km arasında değişen, birbirine koşut-yarı koşut uzanımlı, yer yer sık aralıklı (100 m) çok sayıda yapısal fay segmentlerinden oluşmaktadır. Karakoçan Fay Zonu içerisinde gelişen en önemli yapı, üzerinde Karakoçan ilçesi ve çok sayıda beldenin yer aldığı Karakoçan çek-ayır havzasıdır. Karakoçan Fayı’nın denetiminde gelişimini sürdüren en yaşlı havza dolgusu Geç Pliyosen yaşlı Kızılca travertenidir. Bu nedenle fayın adı PliyoKuvaterner’dir (Koçyiğit, 2003; Sunkar, 2011).

5. MATERYAL VE YÖNTEM

5.1. Türkiye Ulusal Sabit GNSS İstasyonları Ağı (TUSAGA-Aktif/CORS-TR)

TUSAGA – Aktif projesi İstanbul Kültür Üniversitesi (IKU), Harita Genel Komutanlığı (HGK) ve Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM) birlikteliğinde kurulmuştur. Bu proje TÜBİTAK desteği ile resmen Mayıs 2006 tarihinde başlamış olup, istasyon tesis ve veri kontrol merkezlerinin kurulum çalışmalarının tamamlanması Mayıs 2009 tarihinde gerçekleşmiştir. Mayıs 2009 tarihinden itibaren sürekli yedi gün yirmi dört saat kesintisiz olarak ülkemiz ve Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti vatandaşlarına hizmet vermektedir. Bu projenin amacı GNSS alıcılarının konumlarını hızlı, ekonomik ve duyarlı biçimde belirlemek, atmosferimizi (iyonosfer ve troposfer) modellemek, datumlar arasındaki dönüşüm parametrelerinin belirlenmesini kolaylaştırmak, Türkiye'deki tektonik(plaka) hareketlerinin hassas ve sürekli olarak izlenmesini sağlamak, deformasyon miktarlarının duyarlı şekilde belirlenebilmesini sağlayarak depremlerin önceden belirlenmesi noktasında erken uyarı çalışmalarına katkıda bulunmaktır. (Yıldırım ve ark., 2011)



Şekil 3.1. TUSAGA – Aktif (CORS-TR) İstasyonlarının dağılımı (Yildirim ve ark., 2014)

TUSAGA – Aktif projesinde aralarında ortalama 80 ila 100 km mesafe olan toplam 146 adet (K.K.T.C. Dahil) Sabit GNSS istasyonu tesis edilmiştir. İstasyonların

geneli 3-4 metrelik beton pilye üzerindedir. Proje kapsamında 2 adet kontrol merkezi kurulmuştur. Bunlardan birinci merkez TKGM – Harita Dairesi Başkanlığında bulunmakta olup, ikinci kontrol merkezi yardımcı ve yedek kontrol merkezi olarak çalışmakta ve Harita Genel Komutanlığı (HGK) içerisindedir. Tüm istasyon verileri, otomatik olarak ADSL (Asimetrik Sayısal Abone Hattı) ve GSM (Mobil İletişim İçin Küresel Sistem) yolu ile internet üzerinden bu merkezlere iletilmekte ve burada yapılan TUSAGA - Aktif ağ hesapları ve düzeltmeler buradan yine internet sistemi üzerinden kullanıcılara ulaştırılmaktadır.



Şekil 3.2. Viranşehir TUSAGA – Aktif istasyonu tesisi (Yıldırım ve ark., 2011)

TKGM – Harita Dairesi Başkanlığı sürekli kaydedilen GNSS istasyonlarının verilerini RINEX formatında depolayıp gün gün dosyalar halinde http://tusaga-aktif.tkgm.gov.tr/ adresinden web sunucusu yardımıyla dağıtmaktadır. Tez kapsamında analizi yapılan veriler bu servisten elde edilmiştir.

5.2. TUSAGA - Aktif İstasyonlarının Yer Değiştirme Miktarlarının Hesaplanması

Bu çalışmada DAFZ üzerinde meydana gelmiş iki büyük deprem analiz edildi. Bunlardan birincisi Elazığ – Karakoçan depremi diğeri ise ülkemiz sınırları dışında oluşmuş İran/Irak – Halepçe depremidir. İki deprem analizlerinde de TUSAGA – Aktif istasyonlarının gözlemleri kullanılmış olup, dengeleme işlemi AUSPOS web tabanlı veri işleme servisinde yapılmıştır.

AUSPOS nokta konum hesaplamalarında Uluslararası Yersel Referans Sistemi 2014 (ITRF14) kullanılmaktadır. AUSPOS Servisi veri işlemede Uluslararası GPS

Servisi (IGS) global istasyonlarının gözlem ve navigasyon rinex ürünlerini kullanır. Hesaplamaların duyarlı biçimde yapılması için servis; GNSS uydularının hassas efemeris bilgilerini (sp3, ultra-rapid, rapid, final), yerküre dönüklük parametrelerini (erp, final and rapid), global istasyonların koordinatlarını ve hızlarını, meta data ağını, IGS14 mutlak anten faz merkezi değişimlerini kullanır. Sadece çift frekanslı GPS fazı verileri, Glonass verileri hariç, AUSPOS tarafından işlenmiştir. Tüm veriler en küçük kareler algoritması yöntemiyle dengelenmiştir. AUSPOS Online Process hizmeti web tabanlı bir dengeleme servisi olup, Bernese v5.2 GNSS akademik yazılımı ile kullanıcıların yüklediği RINEX verilerini IGS istasyonlarının verileri ile dengelemesi sonucunda nokta koordinatlarını hesaplamaktadır. Bu çalışmada IGS istasyonları referans kabul edilmiş olup, TUSAGA istasyonları hareketli kabul edilmiştir. AUSPOS dengeleme yaparken genel olarak en yakın 5-15 civarında istasyonu referans olarak seçmektedir (O'Sullivan, 2014).

AUSPOS Hizmetinde, veri işleme L1 / L2 ve L5 / L3 gibi L1 ve L2 taşıyıcı faz kombinasyonlarını, baz mesafesine göre yarı-iyonosfer içermeyen ikili fark alma ve üçlü fark alma yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Proses işleminde uydu yükseklik açısı 7^0 alınmış olup, örnekleme oranı 30 saniyedir. Troposferik model için Global Mapping Functions (GMF) kullanılmıştır. Birinci dereceden iyonosferik etkinin ortadan kaldırılması için L3 kombinasyonu da seçilmiş, ikinci ve üçüncü etki modeli uygulanmıştır. Atmosferik yükleme modeli dikkate alınırken, okyanus dalgası yüklemesi uygulanmamıştır. IERS 2010 Kongresine göre türdeş yer küre gelgitlerden türetilmiştir. Web tabanlı online proses hizmetleri geniş çapta kullanılmaktadır. Araştırmacılar ve bilim adamları, hem deformasyon çalışmaları için hem de hizmet kabiliyetlerini karşılaştırmak için bu hizmetten yararlanırlar. Tez çalışmamızda TUSAGA – Aktif servisinden oldukça faydalanılmıştır (El-Mowafy, 2011), (Ocalan ve ark., 2013), (Yigit ve ark., 2014), (Şanlıoğlu ve ark., 2016).

6. UYGULAMA, ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

6.1. Irak – Halepçe Depremi için Nokta Konum Hesaplamaları

Halepçe depremi merkez üssünün yakınındaki TUSAGA - Aktif istasyonlarındaki yer değiştirme miktarlarını belirlemek için, koordinatlarının sabit olarak değerlendirildiği Türkiye yakınlarında 14 IGS istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bunlar ANKR, ARTU, BHR3, BUCU, CRAO, GLSV, ISER, ISNA, JOZ2, MAT1, MDVJ, NOT1, POLV ve SOFI istasyonlarıdır.



Şekil 6.1. IGS Referans İstasyonlarının Dağılışı

Bu çalışmada analiz edilen TUSAGA – Aktif istasyonları BASK (Başkale, BTMN (Batman), CATK (Çatak), HAK1 (Hakkari), MARD (Mardin), MUR1 (Muradiye), OZAL (Özalp), SEMD (Şemdinli), SIR1 (Şırnak), TVA2 (Tatvan) istasyonları olup, Halepçe depreminden etkilendiği düşünülen istasyonlardır.

12 Kasım 2017 günü oluşan Halepçe Depremi için deprem öncesi 5 gün ve deprem sonrası 5 gün olmak üzere 07 ila 17 Kasım 2017 verileri TUSAGA – Aktif web sunucularından indirilmiştir. TUSAGA – Aktif web sitesinden indirilen istasyonların RINEX dataları AUSPOS "http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl" adresine yüklenerek sonuçlar mail üzerinden alınmıştır. Alınan sonuçlar excel programında derlenip, 07

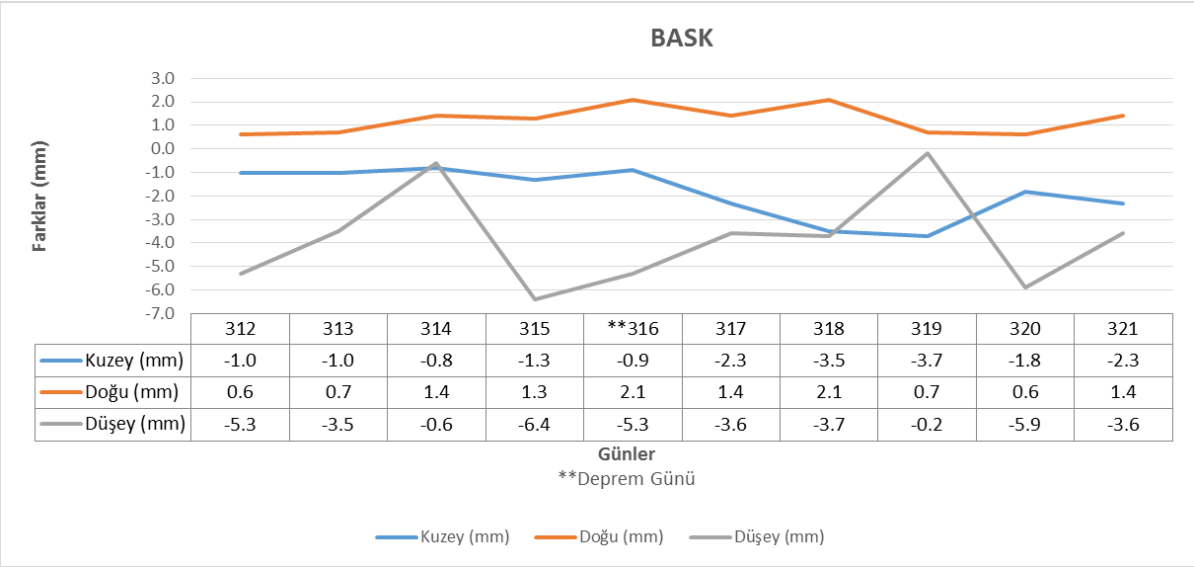
Kasım 2017 günü elde edilen GNSS verileri değişmez kabul edilmiştir. Deprem tarihi yılın 312. günüdür. İlk gün koordinatları ile diğer günlere ait koordinat farkları(G313-G312, G314-G312, ... G321-G312) hesaplanmış ve kartezyen yer değiştirme miktarları (dx, dy, dz) belirlenmiştir. Daha sonra kartezyen koordinat farkları her istasyon için toposentrik koordinatlara (Kuzey, Doğu, Düşey) çevrilmiştir. TUSAGA – Aktif istasyonlarının yer değiştirme grafiği çizdirilmiştir. Sonuçlar Şekil 6.2 - 6.9 de gösterilmiştir. Karesel Ortalama Hata (KOH) değerleri, aşağıdaki (6.1) de gösterilen eşitlik ile hesaplanmış olup, sonuçlar çizelge 6.1 de gösterilmiştir. Eşitlik 6.1'de "*n*" değeri 10 alınmıştır.

$$KOH = \pm\sqrt{\frac{[VV]}{n}} \tag{6.1}$$

Bu çalışmada istasyon konumları 3°'lik dilimde, 42° Dilim Orta Meridyeninde (DOM), Transversal Mercator (TM) projeksiyon sisteminde hesaplanmıştır.

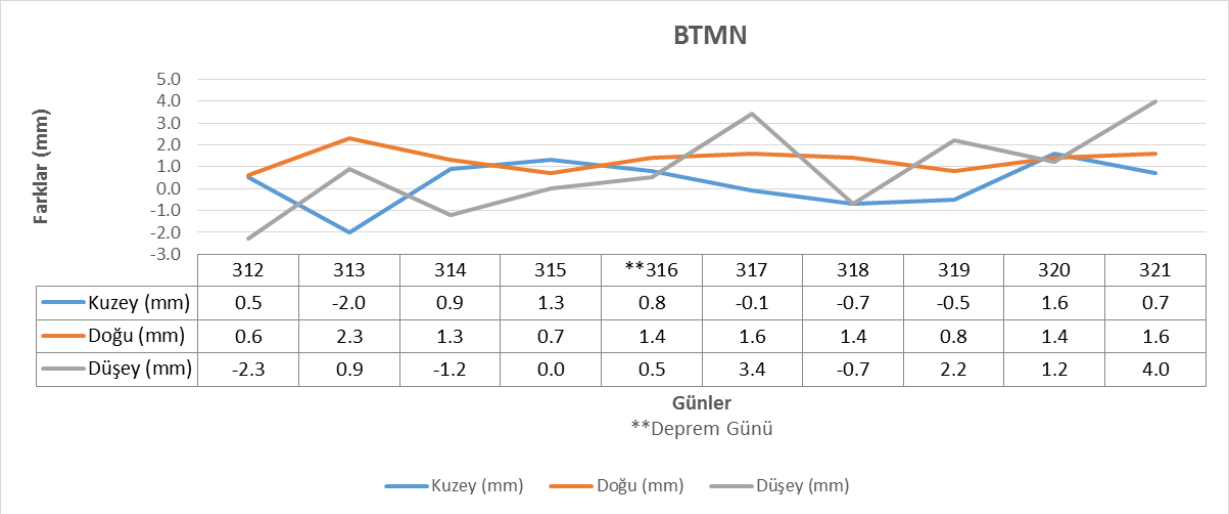
6.2. Irak – Halepçe Depremi Bulguları

Halepçe Depremi Güneydoğu Anadolu'da şu şehirlerde hissedildi: Diyarbakır, Van, Hakkari, Batman, Adıyaman, Bitlis, Siirt, Şırnak ve Kahramanmaraş. Bu kentlerden deprem merkezüssüne en yakın olanı 293 km uzaklıkla Hakkari ilinin Şemdinli ilçesidir. Veri grafiklerinden beş gün önce ve beş gün sonra yapılan değerlendirmede görülmektedir (Şekil 6.2 - 6.11).



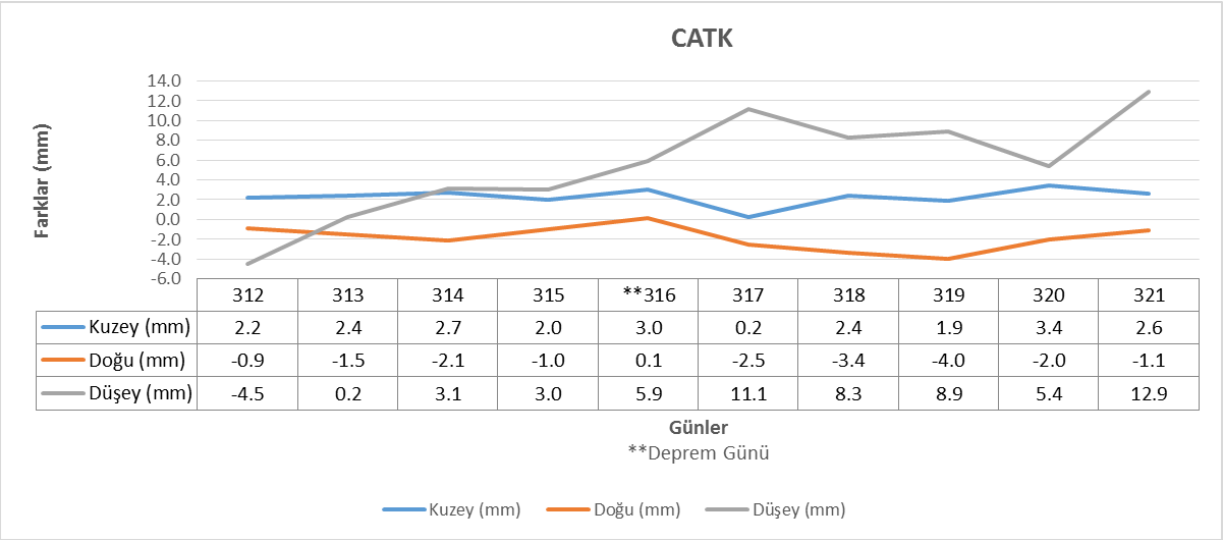
	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	-1.0	-1.0	-0.8	-1.3	-0.9	-2.3	-3.5	-3.7	-1.8	-2.3
Doğu (mm)	0.6	0.7	1.4	1.3	2.1	1.4	2.1	0.7	0.6	1.4
Düşey (mm)	-5.3	-3.5	-0.6	-6.4	-5.3	-3.6	-3.7	-0.2	-5.9	-3.6

Şekil 6.2. Başkale istasyonu yer değiştirme grafiği



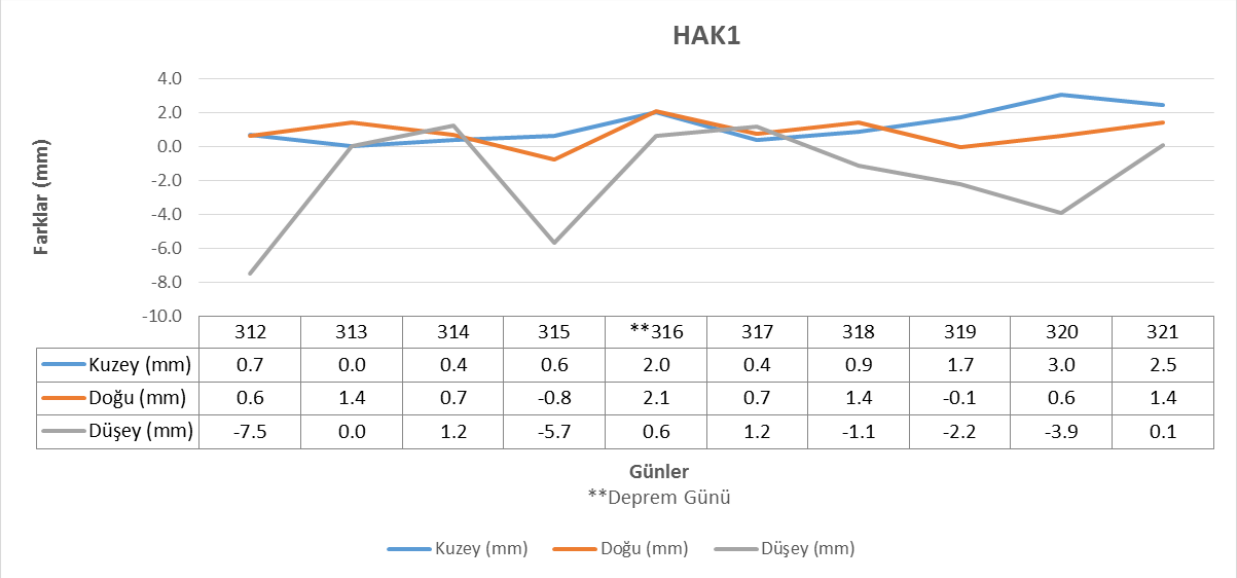
	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	0.5	-2.0	0.9	1.3	0.8	-0.1	-0.7	-0.5	1.6	0.7
Doğu (mm)	0.6	2.3	1.3	0.7	1.4	1.6	1.4	0.8	1.4	1.6
Düşey (mm)	-2.3	0.9	-1.2	0.0	0.5	3.4	-0.7	2.2	1.2	4.0

Şekil 6.3. Batman istasyonu yer değiştirme grafiği



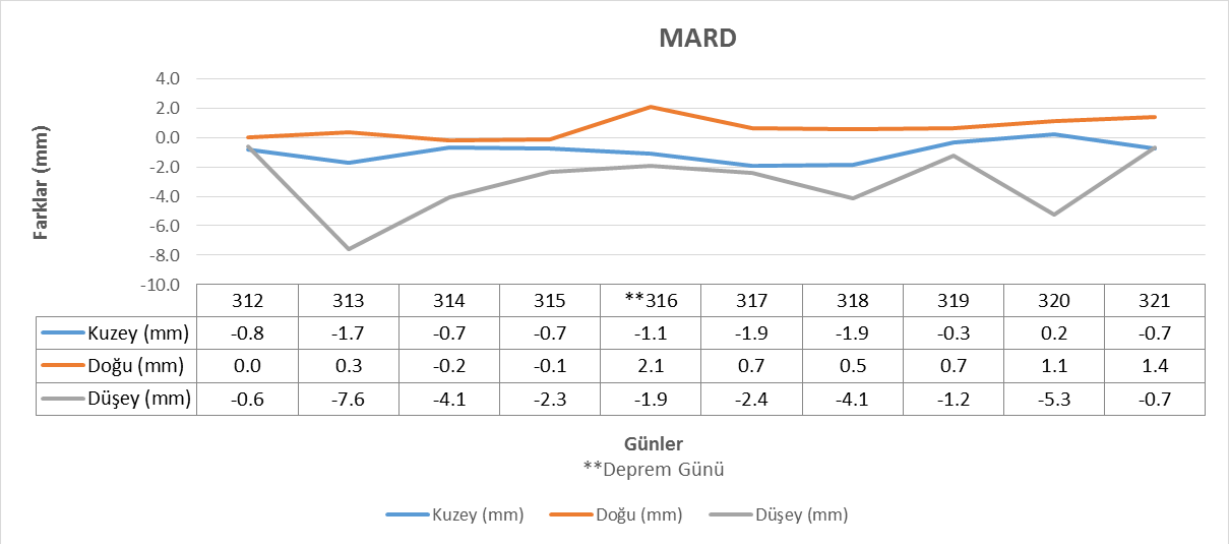
	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	2.2	2.4	2.7	2.0	3.0	0.2	2.4	1.9	3.4	2.6
Doğu (mm)	-0.9	-1.5	-2.1	-1.0	0.1	-2.5	-3.4	-4.0	-2.0	-1.1
Düşey (mm)	-4.5	0.2	3.1	3.0	5.9	11.1	8.3	8.9	5.4	12.9

Şekil 6.4. Çatak istasyonu yer değiştirme grafiği



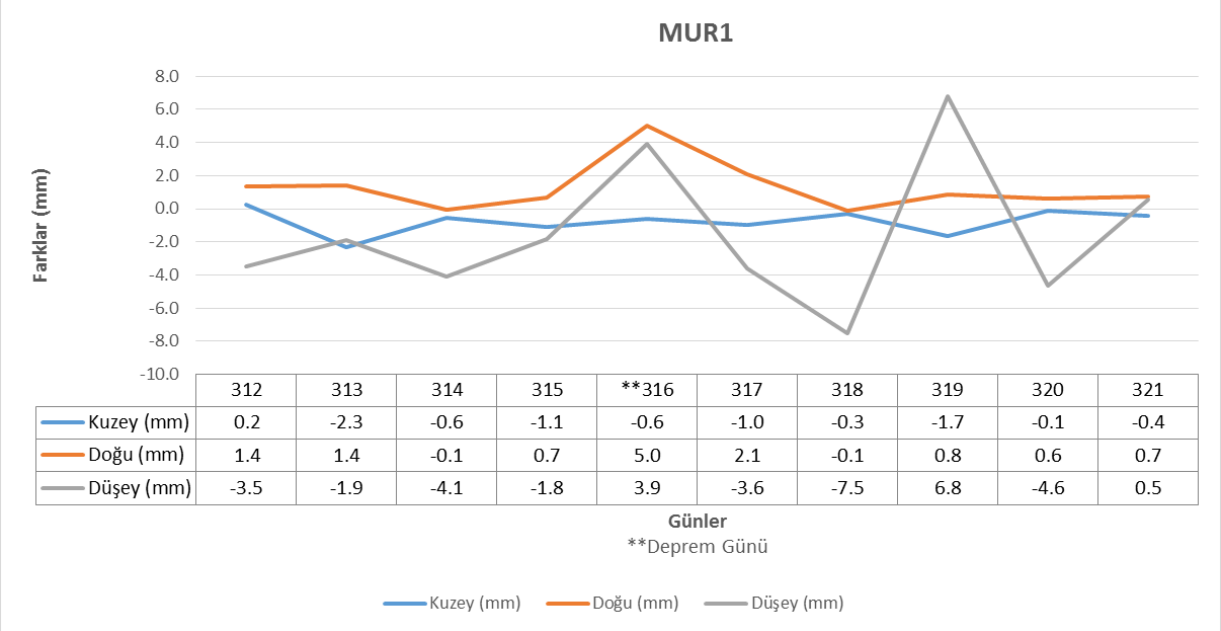
	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	0.7	0.0	0.4	0.6	2.0	0.4	0.9	1.7	3.0	2.5
Doğu (mm)	0.6	1.4	0.7	-0.8	2.1	0.7	1.4	-0.1	0.6	1.4
Düşey (mm)	-7.5	0.0	1.2	-5.7	0.6	1.2	-1.1	-2.2	-3.9	0.1

Şekil 6.5. Hakkari istasyonu yer değiştirme grafiği



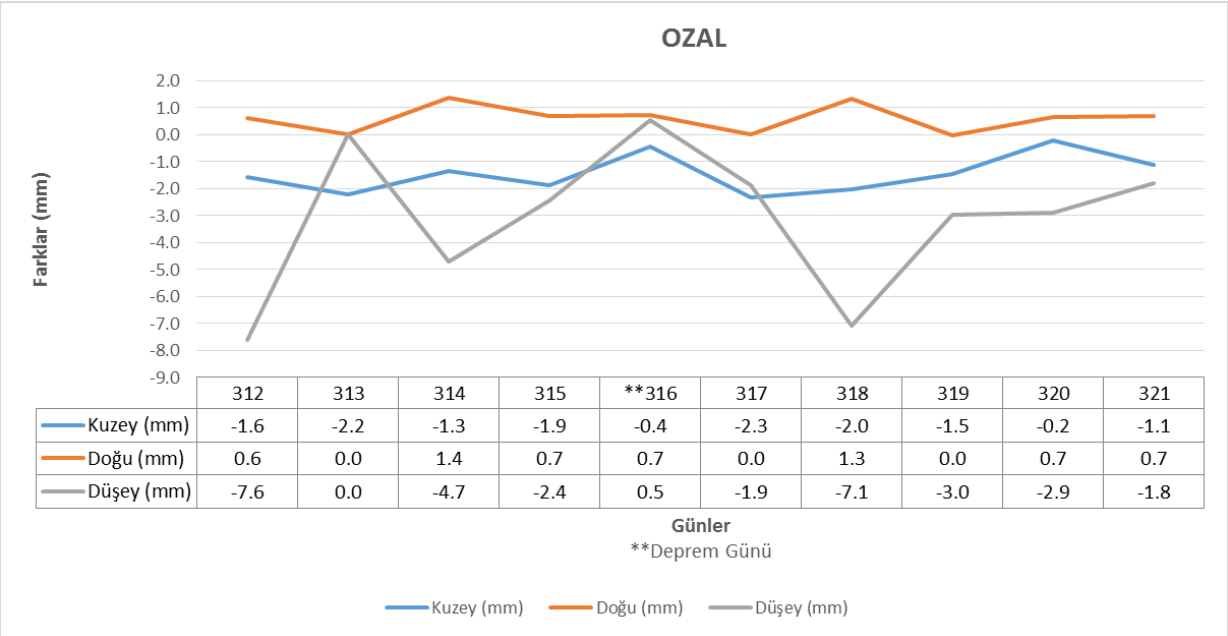
	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	-0.8	-1.7	-0.7	-0.7	-1.1	-1.9	-1.9	-0.3	0.2	-0.7
Doğu (mm)	0.0	0.3	-0.2	-0.1	2.1	0.7	0.5	0.7	1.1	1.4
Düşey (mm)	-0.6	-7.6	-4.1	-2.3	-1.9	-2.4	-4.1	-1.2	-5.3	-0.7

Şekil 6.6. Mardin istasyonu yer değiştirme grafiği



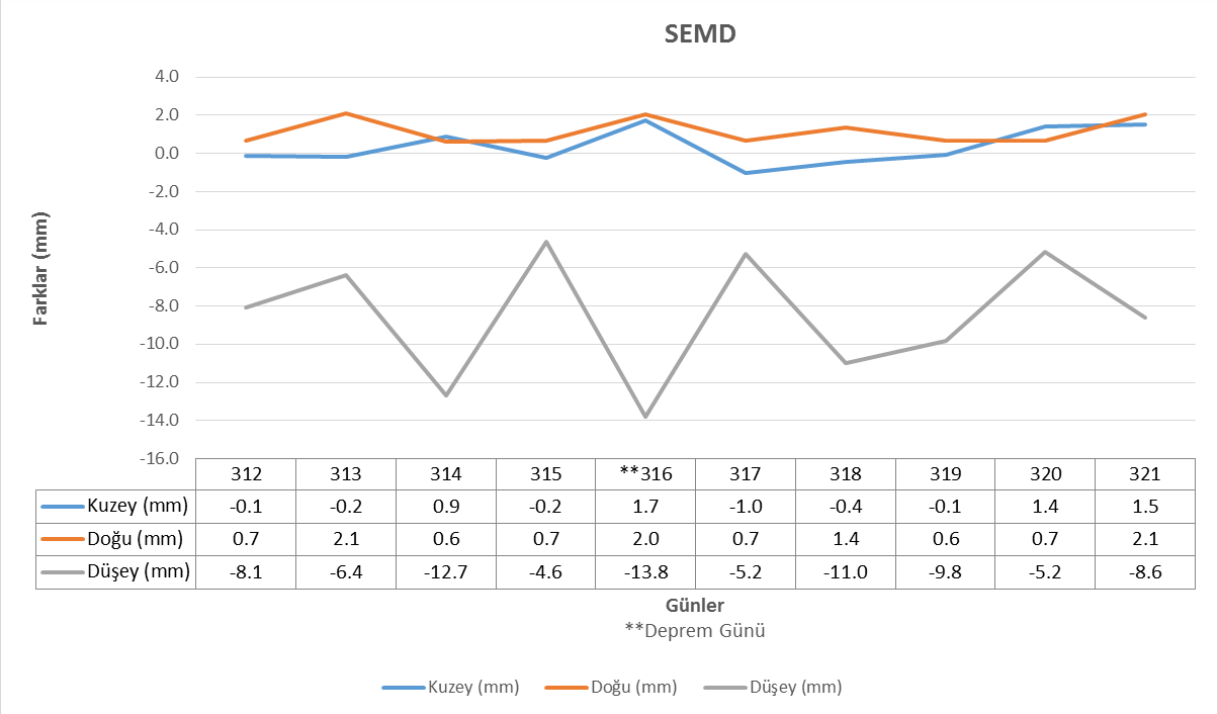
	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	0.2	-2.3	-0.6	-1.1	-0.6	-1.0	-0.3	-1.7	-0.1	-0.4
Doğu (mm)	1.4	1.4	-0.1	0.7	5.0	2.1	-0.1	0.8	0.6	0.7
Düşey (mm)	-3.5	-1.9	-4.1	-1.8	3.9	-3.6	-7.5	6.8	-4.6	0.5

Şekil 6.7. Muradiye istasyonu yer değiştirme grafiği



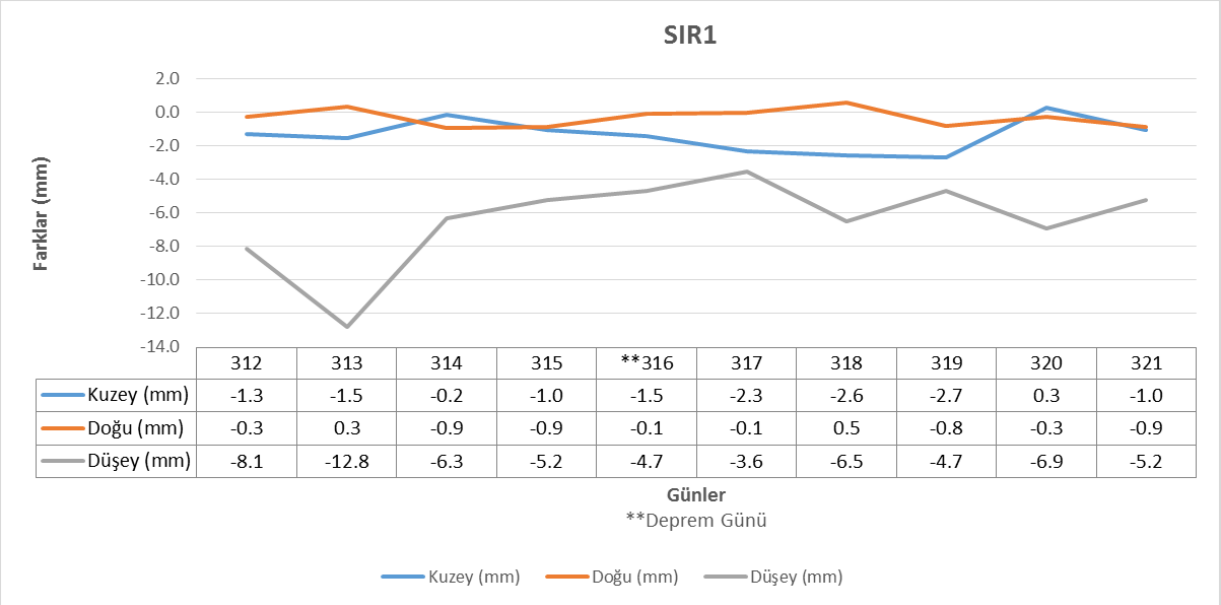
	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	-1.6	-2.2	-1.3	-1.9	-0.4	-2.3	-2.0	-1.5	-0.2	-1.1
Doğu (mm)	0.6	0.0	1.4	0.7	0.7	0.0	1.3	0.0	0.7	0.7
Düşey (mm)	-7.6	0.0	-4.7	-2.4	0.5	-1.9	-7.1	-3.0	-2.9	-1.8

Şekil 6.8. Özalp istasyonu yer değiştirme grafiği



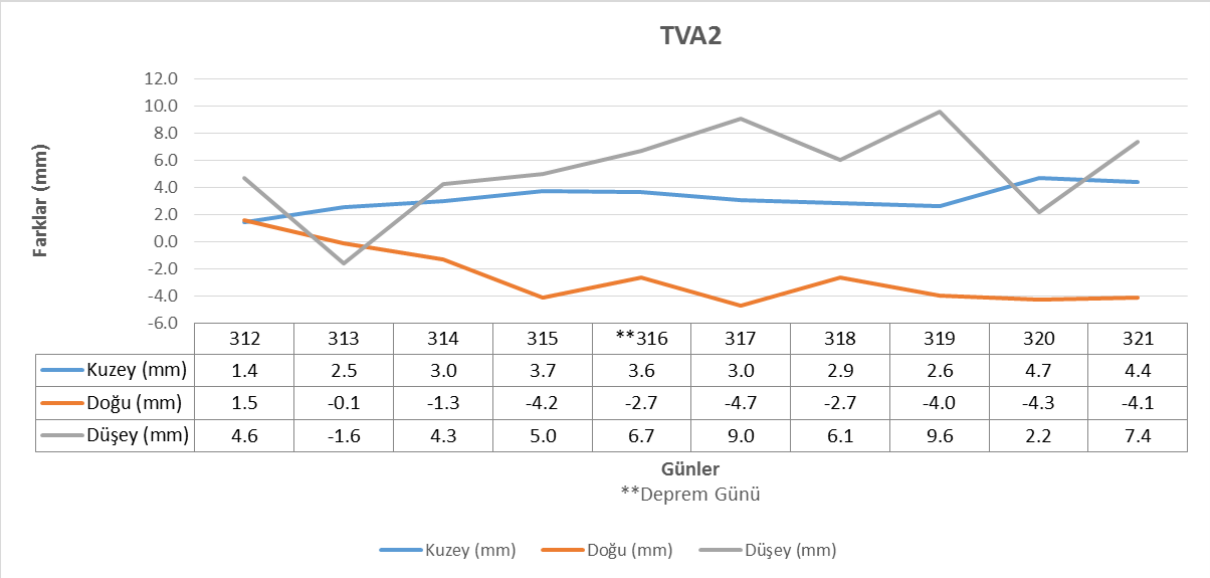
	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	-0.1	-0.2	0.9	-0.2	1.7	-1.0	-0.4	-0.1	1.4	1.5
Doğu (mm)	0.7	2.1	0.6	0.7	2.0	0.7	1.4	0.6	0.7	2.1
Düşey (mm)	-8.1	-6.4	-12.7	-4.6	-13.8	-5.2	-11.0	-9.8	-5.2	-8.6

Şekil 6.9. Şemdinli istasyonu yer değiştirme grafiği



	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	-1.3	-1.5	-0.2	-1.0	-1.5	-2.3	-2.6	-2.7	0.3	-1.0
Doğu (mm)	-0.3	0.3	-0.9	-0.9	-0.1	-0.1	0.5	-0.8	-0.3	-0.9
Düşey (mm)	-8.1	-12.8	-6.3	-5.2	-4.7	-3.6	-6.5	-4.7	-6.9	-5.2

Şekil 6.10. Şırnak istasyonu yer değiştirme grafiği



	312	313	314	315	**316	317	318	319	320	321
Kuzey (mm)	1.4	2.5	3.0	3.7	3.6	3.0	2.9	2.6	4.7	4.4
Doğu (mm)	1.5	-0.1	-1.3	-4.2	-2.7	-4.7	-2.7	-4.0	-4.3	-4.1
Düşey (mm)	4.6	-1.6	4.3	5.0	6.7	9.0	6.1	9.6	2.2	7.4

Şekil 6.11. Tatvan istasyonu yer değiştirme grafiği

Çizelge 6.1. TUSAGA-Aktif istasyonlarının yer değiştirmelerinin KOH değerleri

İstasyon Kodu	Karesel Ortalama Hata (KOH)			Deprem Merkezinden Uzaklık (km)
	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Düşey (mm)	
BASK	2.1	1.3	4.3	389
BTMN	1.1	1.4	2.1	541
CATK	2.4	2.2	7.4	431
HAK1	1.6	1.1	3.4	357
MARD	1.2	0.9	3.7	541
MUR1	1.1	1.9	4.3	493
OZAL	1.6	0.8	4	451
SEMD	1	1.3	9.1	293
SIR1	1.7	0.6	6.9	428
TVA2	3.3	3.3	6.2	518

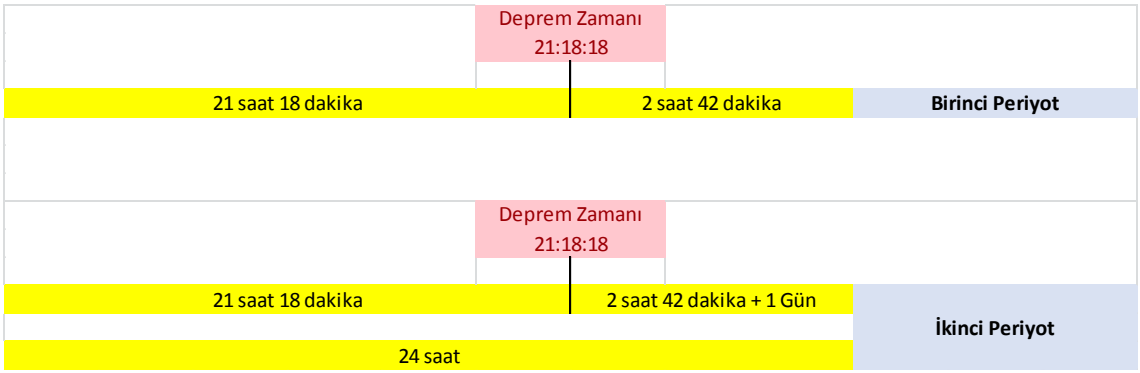
Çizelge 6.2. TUSAGA-Aktif istasyonlarının maksimum yer değiştirmeleri ile KOH değerlerinin karşılaştırılması (Halepçe)

İstasyon Kodu	3 * (KOH)			İstasyonların Maksimum Yer Değiştirmeleri		
	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Düşey (mm)	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Düşey (mm)
BASK	6.3	3.9	12.9	-3.7	2.1	-6.4
BTMN	3.3	4.2	6.3	-2	2.3	3.4
CATK	7.2	6.6	22.2	3.4	-4	12.9
HAK1	4.8	3.3	10.2	3	2.1	-7.5
MARD	3.6	2.7	11.1	-1.9	2.1	-7.6
MUR1	3.3	5.7	12.9	-2.3	5	-7.5
OZAL	4.8	2.4	12	-2.3	1.4	-7.6
SEMD	3	3.9	27.3	1.7	2.1	-13.8
SIR1	5.1	1.8	20.7	-2.7	-0.9	-12.8
TVA2	9.9	9.9	18.6	4.7	-4.7	9.6

Çizelge 6.2'de görüldüğü üzere istasyonların karesel ortalama hatalarının üç katı hesaplanmış, istasyonların yer değiştirmeleri arasında mutlak değer olarak en büyük olanları seçilerek çizelge 6.2'nin sağ tarafında gösterilmiştir. Halepçe depreminden elde edilen yer değiştirme miktarları en fazla kuzey ve doğu bileşeninde 4.7 mm ile TVA2 istasyonunda ve düşey bileşende 13.8 mm. SEMD istasyonunda hesaplanmıştır.

Çizelge 6.2 incelendiğinde yer değiştirme değerleri, karesel ortalama hata değerlerinin üç katından daha küçük olduğu görülmektedir. Bu nedenle, deprem öncesi beş gün ve sonraki beş gün arasında istasyonların hareket ettiğini düşündürebilecek bir fark yoktur. Yukarıdaki yer değiştirme çizelgeleri incelendiğinde, konumsal yer

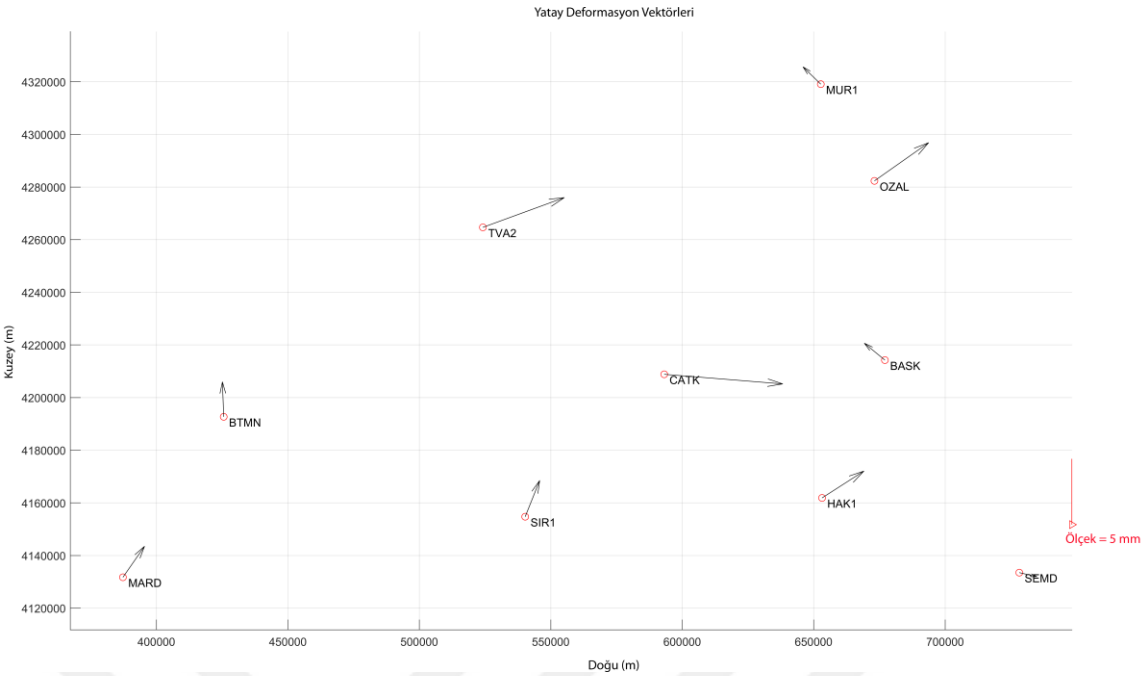
değiştirme miktarları sınır değerleri aşmamaktadır. TUSAGA-Aktif istasyonlarının yer değiştirme grafikleri, deprem öncesi ve sonrası varyasyonların aynı olduğu söylenebilir.



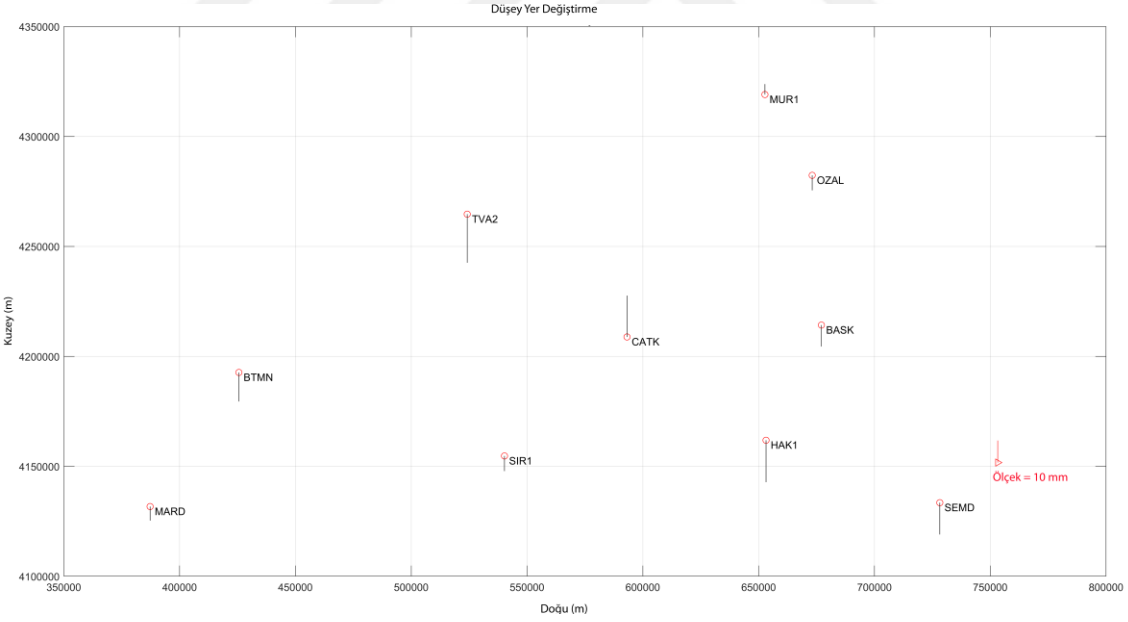
Şekil 6.12. RINEX verilerinin parçalanması sonucu oluşan durum (1. ve 2. Periyotlar)

Bu çalışmaya ek olarak deprem günü için ayrı bir analiz daha yapıldı. Yukarıdaki Şekil 6.12 'de gösterildiği gibi iki periyotta yapılan bu ek analizlerin birincisinde; deprem günü 12 Kasım 2017 için RINEX verileri aşağıda görüldüğü gibi 21:18:18 öncesi ve sonrası olmak üzere ikiye bölünmüştür. Bu veriler proses edildikten sonra farklar toposentrik koordinatlara çevirilmiş daha sonra MATLAB programında yatay ve düşey hareketleri çizdirilmiştir (Şekil 6.13 ve 6.14). Çizelge 6.3 ve 6.4 deki P sütunu yani yatay hareketlerin büyüklüğü eşitlik 6.2 ile hesaplanmıştır.

$$P = \pm\sqrt{(Kuzey)^2 + (Doğu)^2} \tag{6.2}$$



Şekil 6.13. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 1. Periyottaki Yatay Hareketleri



Şekil 6.14. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 1. periyottaki düşey hareketleri

Çizelge 6.3. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 1. periyottaki hareketleri (Halepçe Deprem Günü)

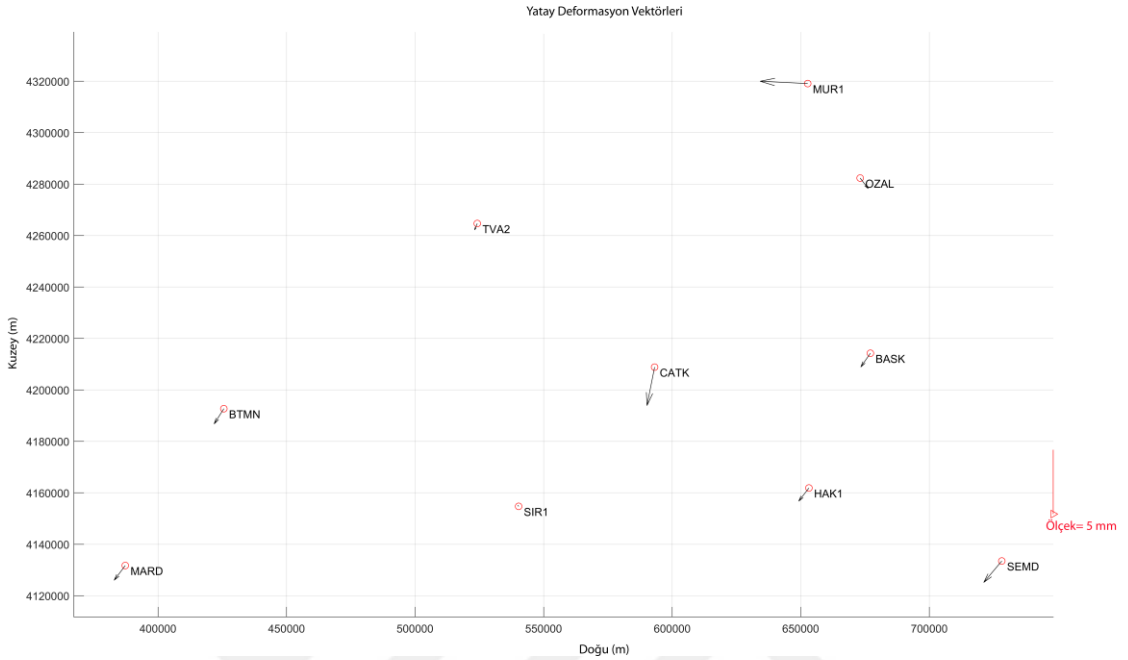
Halepçe Depremi Deprem Sonrası - Öncesi Arasındaki Farklar				
	Kuzey (mm)	**Doğu (mm)**	**P (mm)**	**Düşey (mm)**
BASK	1.28	-1.56	2.01	-9.74
BTMN	2.65	-0.10	2.66	-13.19
CATK	-0.73	9.01	9.04	18.80
HAK1	2.04	3.18	3.77	-19.05
MARD	2.35	1.64	2.87	-6.39
MUR1	1.31	-1.35	1.88	4.74
OZAL	2.90	4.12	5.04	-6.83
SEMD	-0.30	1.33	1.36	-14.46
SIR1	2.75	1.10	2.97	-6.87
TVA2	2.26	6.19	6.59	-22.10

Çizelge 6.4. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 1. periyottaki hareketleri (Halepçe Deprem Günü)

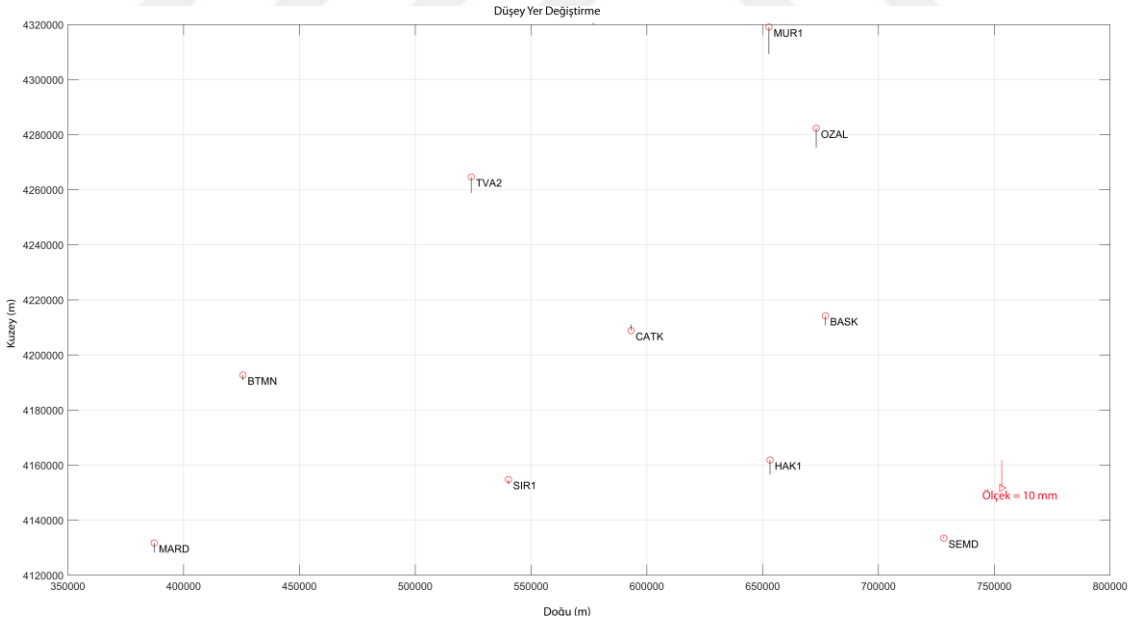
Halepçe Depremi (Deprem Sonrası+1 gün) - Öncesi Arasındaki Farklar				
	Kuzey (mm)	**Doğu (mm)**	**P (mm)**	**Düşey (mm)**
BASK	-1.06	-0.74	-3.51	-3.51
BTMN	-1.18	-0.75	-1.75	-1.75
CATK	-2.98	-0.59	2.19	2.19
HAK1	-1.02	-0.79	-5.23	-5.23
MARD	-1.14	-0.86	-3.46	-3.46
MUR1	0.18	-3.70	-9.76	-9.76
OZAL	-0.81	0.62	-7.00	-7.00
SEMD	-1.66	-1.40	0.53	0.53
SIR1	0.07	-0.06	-1.73	-1.73
TVA2	-0.49	-0.20	-5.81	-5.81

İkinci periyotta ise; TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi RINEX verileri, deprem sonrası verilerine denk olsun diye ikinci bir parçalama / ekleme daha yapılarak, deprem sonrası 1 günlük veri, 2 saat 42 dakikalık verinin üzerine eklenerek yeni RINEX dosyaları oluşturulmuştur. Bu dosyalar AUSPOS Online Proses servisinde dengelenerek kartezyen koordinatlar elde edilmiştir. Bu koordinatlar arasındaki farklar hesaplanmış, sonrasında toposentrik (Kuzey, Doğu, Düşey) koordinatlara

dönüştürülmüştür. Birinci peryotta olduğu gibi ikinci peryot verileri de MATLAB programında yatay ve düşey hareketleri çizdirilmiştir.



Şekil 6.15. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2. Periyottaki Yatay Hareketleri



Şekil 6.16. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2. Periyottaki Düşey Hareketleri

6.3. Elazığ – Karakoçan Depremi için Nokta Konum Hesaplamaları

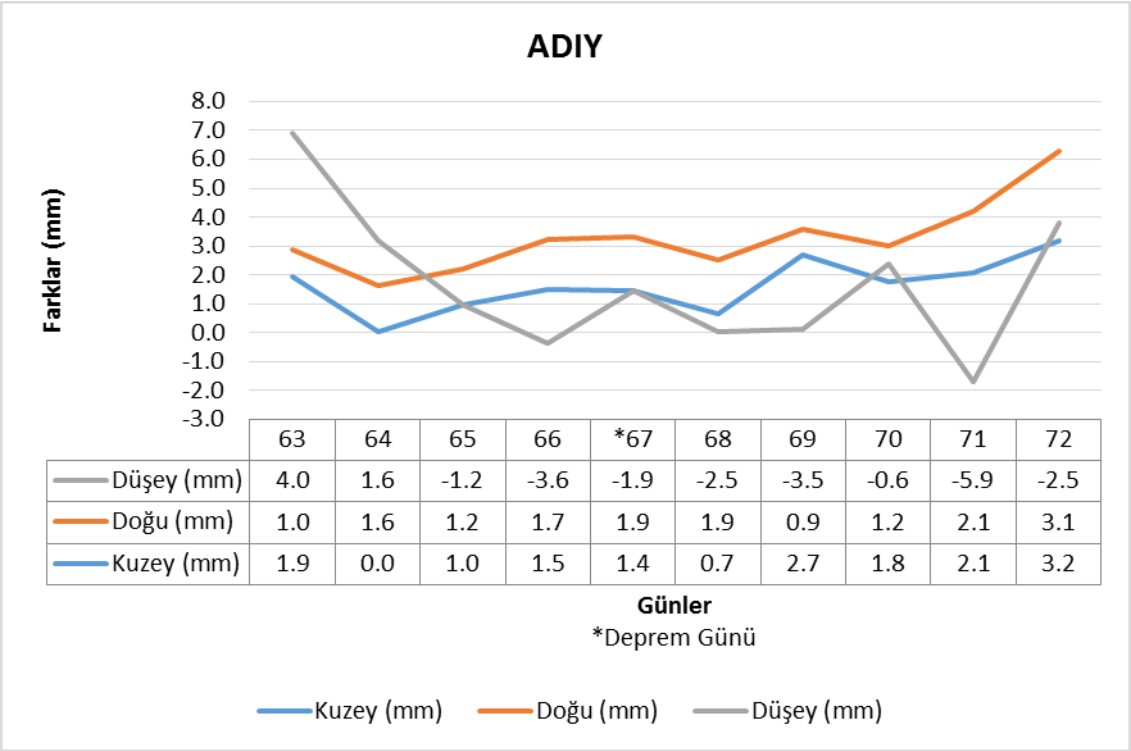
Karakoçan depremi merkez üssünün yakınındaki TUSAGA – Aktif istasyonlarındaki hareketleri analiz etmek için, koordinatlarının sabit olarak değerlendirildiği Türkiye yakınlarında 9 IGS istasyonunun verileri kullanılmıştır. Bunlar ISBS, ISER, ISKU, ISNA, ISSD, NICO, NSSP, POLV, RAMO istasyonlarıdır.

Bu çalışmada analiz edilen TUSAGA – Aktif istasyonları ADIY (Adıyaman), ARPK (Arapgir), BAYB (Bayburt), BING (Bingöl), DIYB (Diyarbakır), ELAZ (Elazığ), ERGN (Ergani), ERZI (Erzincan), ERZR (Erzurum), GURU (Gürün), MALY (Malatya), MALZ (Malazgirt), RHIY (Refahiye), SIRT (Siirt), SIVE (Siverek), SSEH (Suşehri) istasyonları olup, Karakoçan depreminden etkilendiği düşünülen istasyonlardır.

08 Mart 2010 günü oluşan Karakoçan Depremi için deprem öncesi 5 gün ve deprem sonrası 5 gün olmak üzere 03 ila 13 Mart 2010 verileri TUSAGA – Aktif web sunucularından indirilmiştir. TUSAGA – Aktif web sitesinden indirilen istasyonların RINEX dataları AUSPOS "http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl" adresine yüklenerek sonuçlar mail üzerinden alınmıştır. Alınan sonuçlar excel programında derlenip, 07 Kasım 2017 günü elde edilen GNSS verileri değişmez kabul edilmiştir. İlk gün koordinatları ile diğer günlere ait koordinat farkları (G63-G62, G64-G62, ..., G72-G62) hesaplanmış ve yer değiştirme miktarları belirlenmiştir. Bu çalışmada istasyon konumları 3° lik dilimde, 39° Dilim Orta Meridyeninde (DOM) ve Transversal Mercator (TM) projeksiyon sisteminde hesaplanmıştır. Daha sonra kartezyen koordinat farkları toposentrik koordinatlara (Kuzey, Doğu, Düşey) çevrilmiştir. TUSAGA – Aktif istasyonlarının yer değiştirme grafiği çizdirilmiştir. Sonuçlar Şekil 6.17 ve 6.32'de gösterilmiştir. Karesel Ortalama Hata (KOH) değerleri, Eşitlik (6.1)'de gösterilen denklem ile hesaplanmış olup, sonuçlar Çizelge 6.5 ve 6.6'da gösterilmiştir.

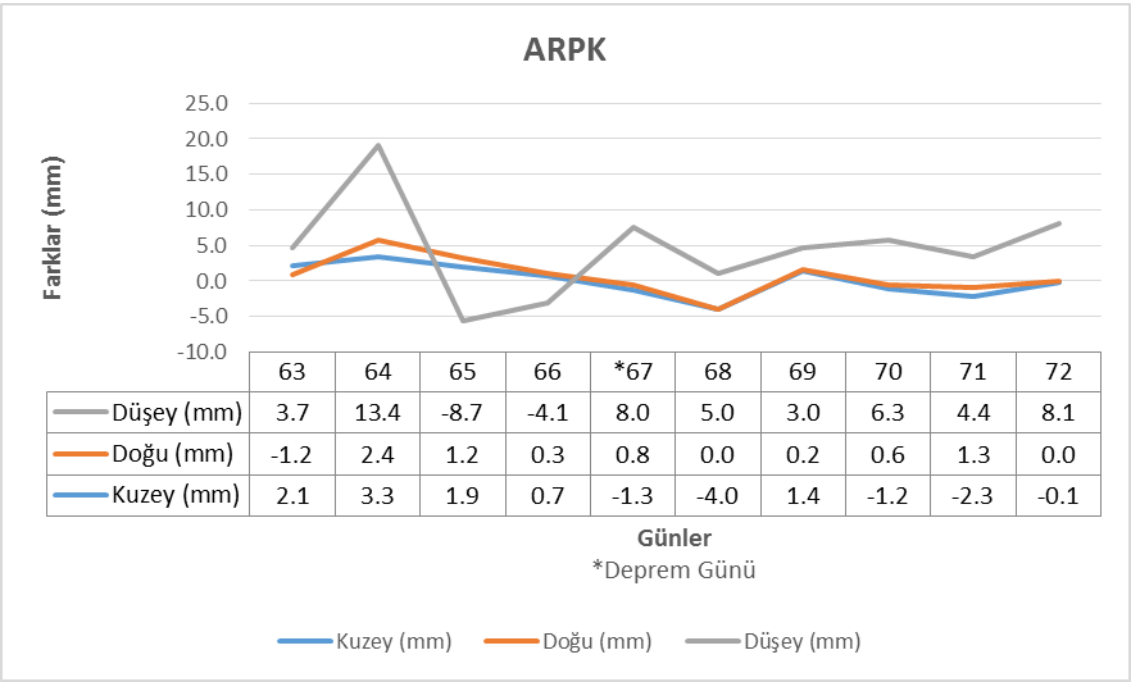
6.4. Elazığ – Karakoçan Depremi Bulguları

Deprem ülkemizde şu şehirlerde hissedildi: Diyarbakır, Erzurum, Erzincan, Batman, Adıyaman, Bitlis, Siirt, Şırnak ve Kahramanmaraş. Elazığ – Karakoçan depremi bulguları aşağıdaki grafiklerde görüldüğü gibidir.



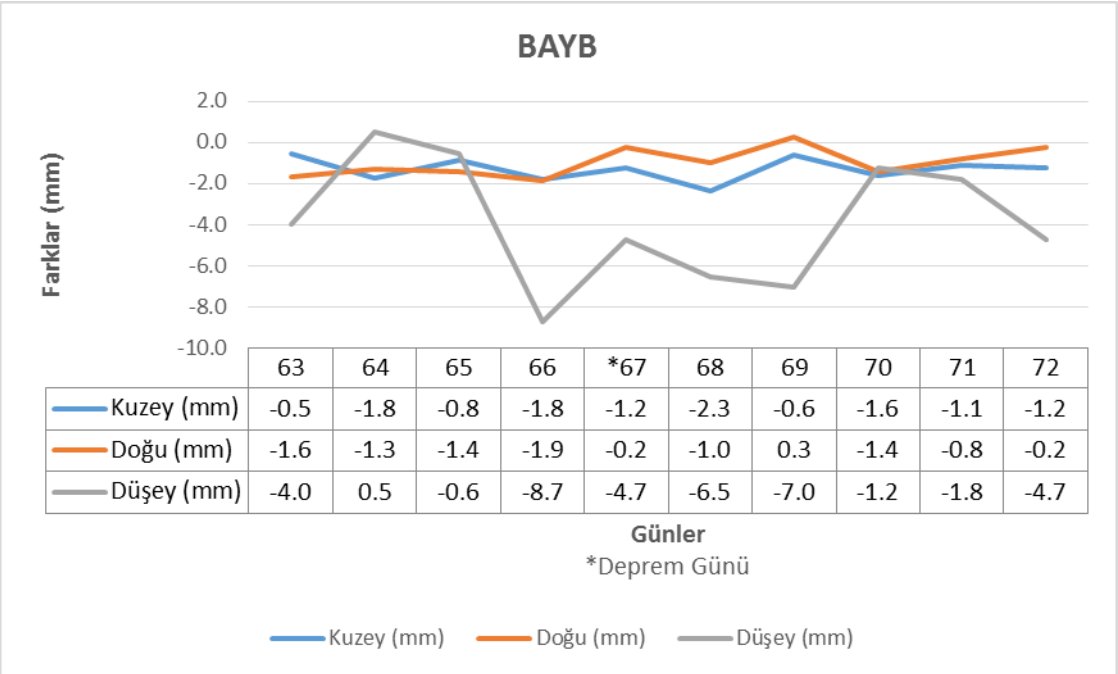
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Düşey (mm)	4.0	1.6	-1.2	-3.6	-1.9	-2.5	-3.5	-0.6	-5.9	-2.5
Doğu (mm)	1.0	1.6	1.2	1.7	1.9	1.9	0.9	1.2	2.1	3.1
Kuzey (mm)	1.9	0.0	1.0	1.5	1.4	0.7	2.7	1.8	2.1	3.2

Şekil 6.17. Adıyaman istasyonu yer değiştirme grafiği



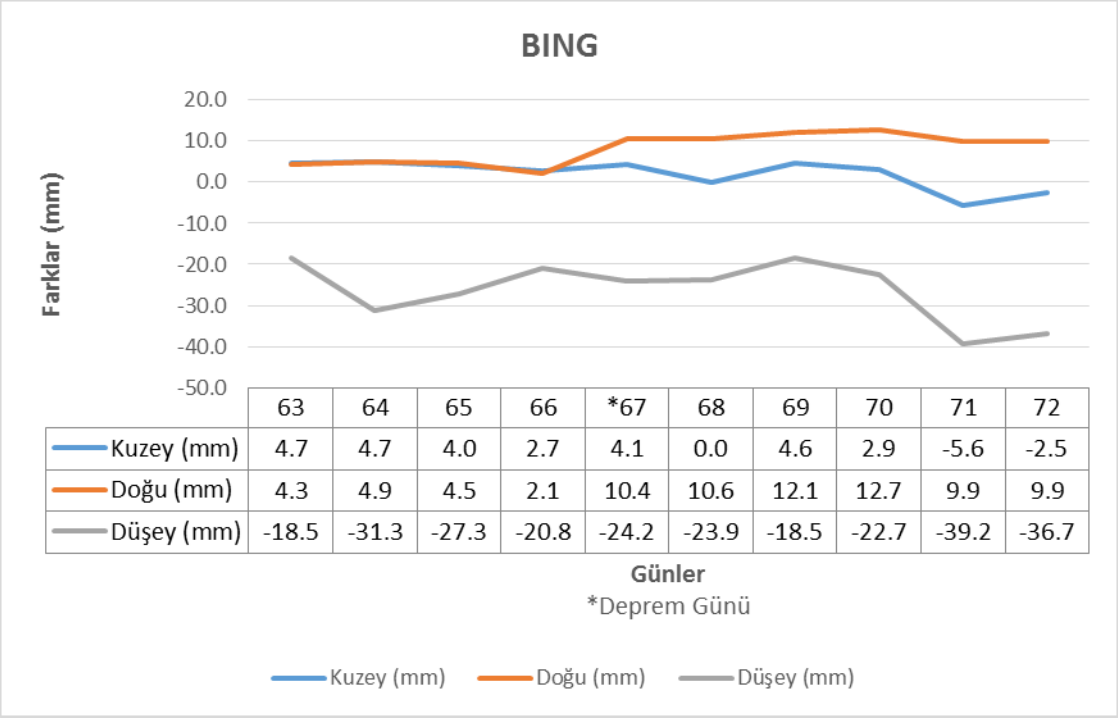
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Düşey (mm)	3.7	13.4	-8.7	-4.1	8.0	5.0	3.0	6.3	4.4	8.1
Doğu (mm)	-1.2	2.4	1.2	0.3	0.8	0.0	0.2	0.6	1.3	0.0
Kuzey (mm)	2.1	3.3	1.9	0.7	-1.3	-4.0	1.4	-1.2	-2.3	-0.1

Şekil 6.18. Arapkir istasyonu yer değiştirme grafiği



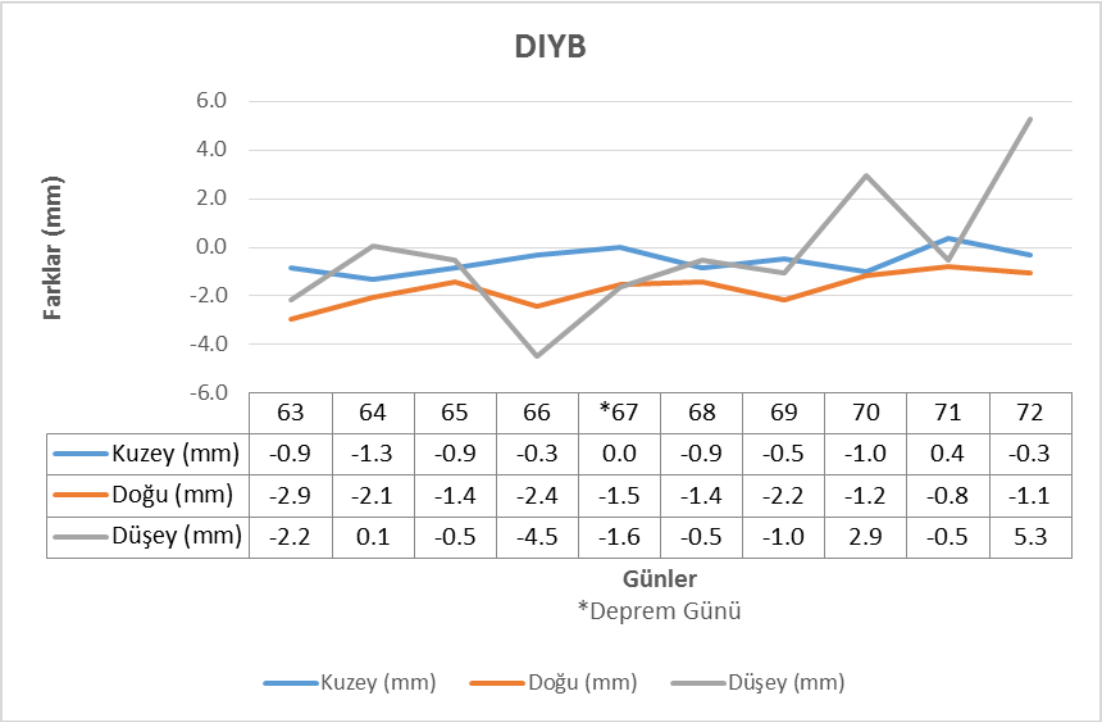
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	-0.5	-1.8	-0.8	-1.8	-1.2	-2.3	-0.6	-1.6	-1.1	-1.2
Doğu (mm)	-1.6	-1.3	-1.4	-1.9	-0.2	-1.0	0.3	-1.4	-0.8	-0.2
Düşey (mm)	-4.0	0.5	-0.6	-8.7	-4.7	-6.5	-7.0	-1.2	-1.8	-4.7

Şekil 6.19. Bayburt istasyonu yer değiştirme grafiği



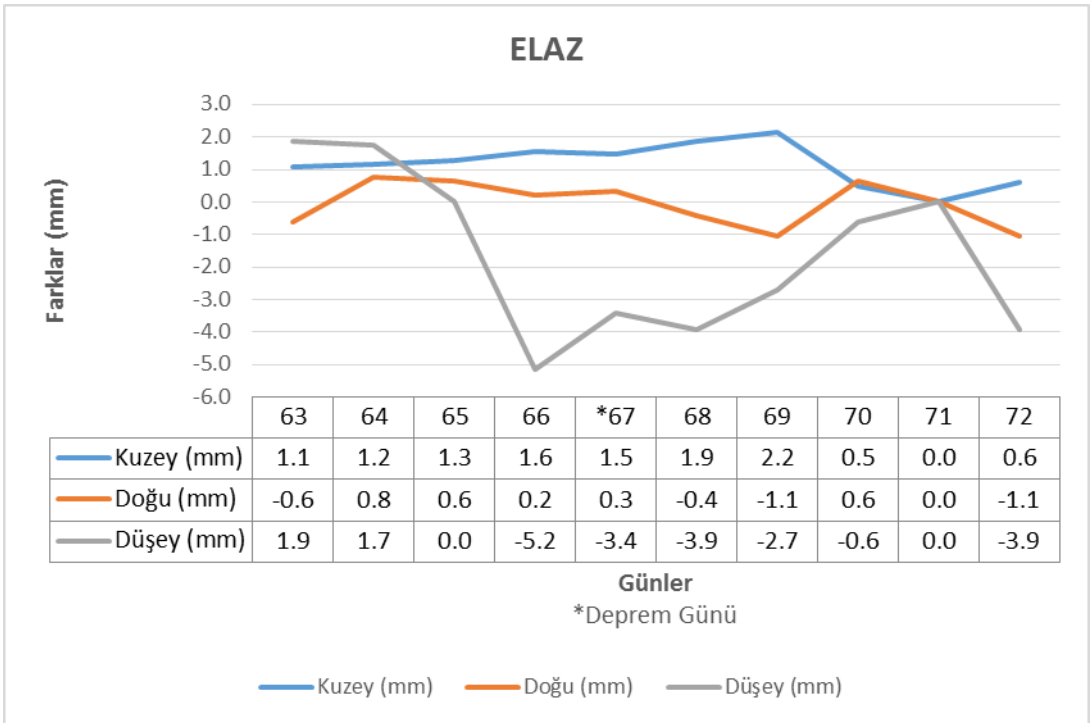
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	4.7	4.7	4.0	2.7	4.1	0.0	4.6	2.9	-5.6	-2.5
Doğu (mm)	4.3	4.9	4.5	2.1	10.4	10.6	12.1	12.7	9.9	9.9
Düşey (mm)	-18.5	-31.3	-27.3	-20.8	-24.2	-23.9	-18.5	-22.7	-39.2	-36.7

Şekil 6.20. Bingöl istasyonu yer değiştirme grafiği



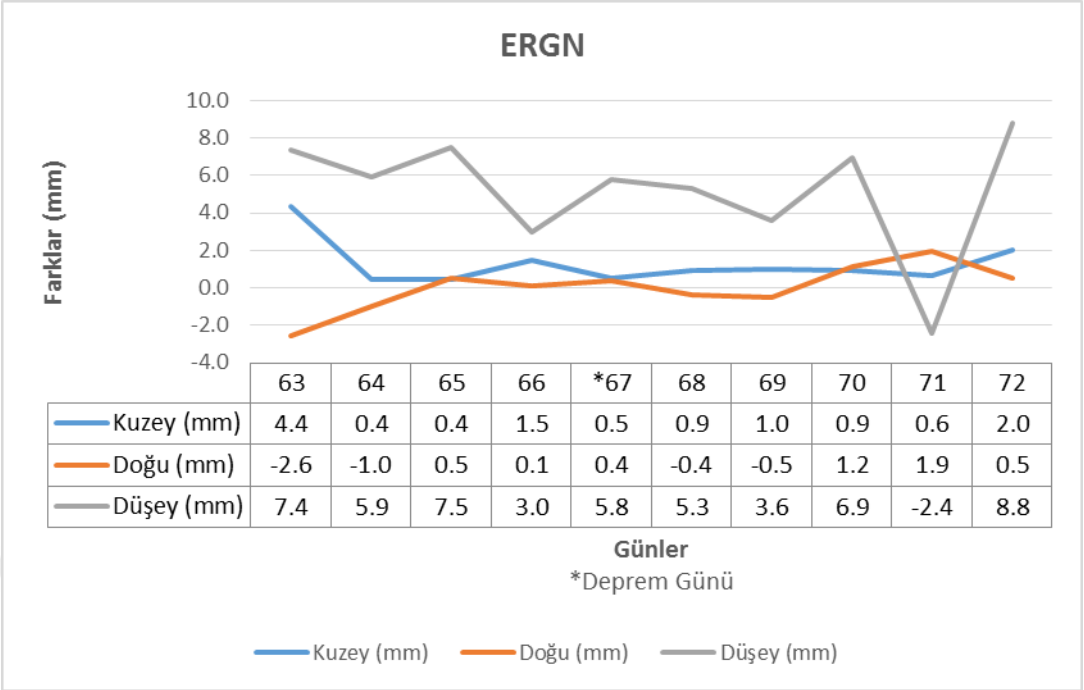
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	-0.9	-1.3	-0.9	-0.3	0.0	-0.9	-0.5	-1.0	0.4	-0.3
Doğu (mm)	-2.9	-2.1	-1.4	-2.4	-1.5	-1.4	-2.2	-1.2	-0.8	-1.1
Düşey (mm)	-2.2	0.1	-0.5	-4.5	-1.6	-0.5	-1.0	2.9	-0.5	5.3

Şekil 6.21. Diyarbakır istasyonu yer değiştirme grafiği



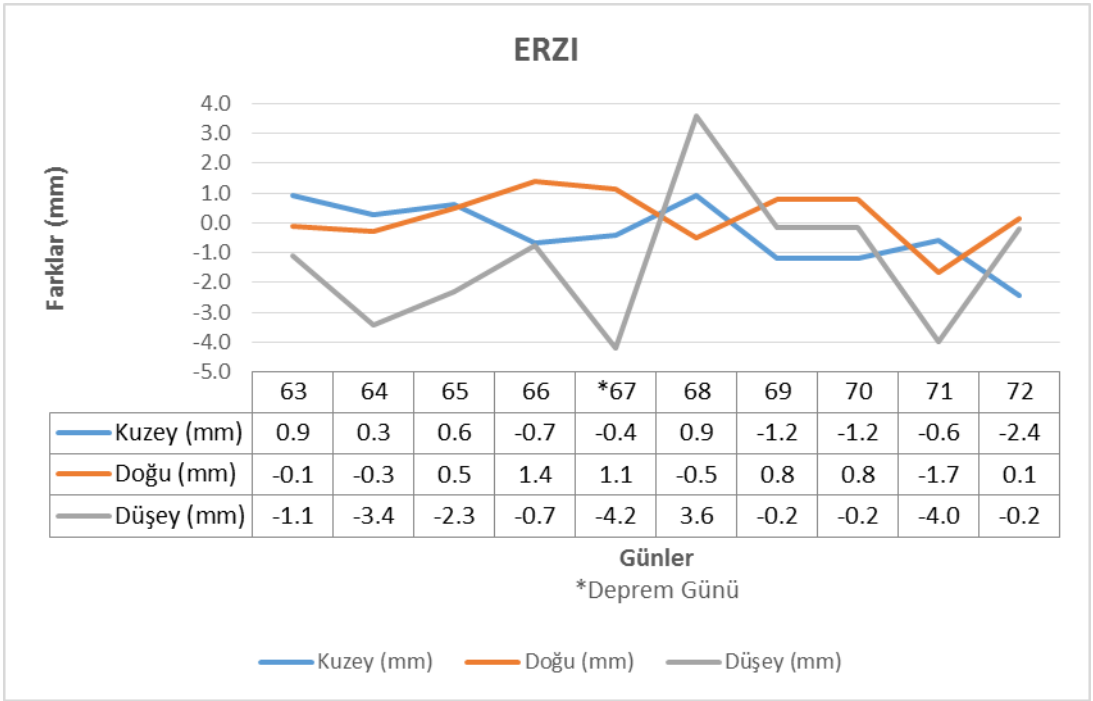
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	1.1	1.2	1.3	1.6	1.5	1.9	2.2	0.5	0.0	0.6
Doğu (mm)	-0.6	0.8	0.6	0.2	0.3	-0.4	-1.1	0.6	0.0	-1.1
Düşey (mm)	1.9	1.7	0.0	-5.2	-3.4	-3.9	-2.7	-0.6	0.0	-3.9

Şekil 6.22. Elazığ istasyonu yer değiştirme grafiği



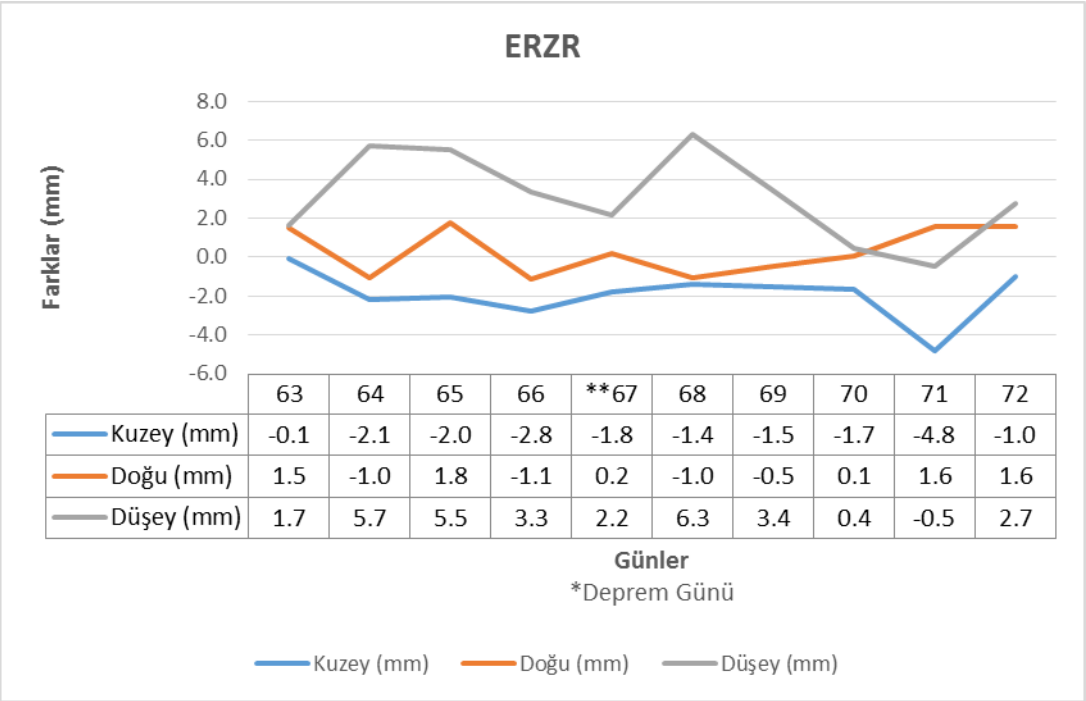
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	4.4	0.4	0.4	1.5	0.5	0.9	1.0	0.9	0.6	2.0
Doğu (mm)	-2.6	-1.0	0.5	0.1	0.4	-0.4	-0.5	1.2	1.9	0.5
Düşey (mm)	7.4	5.9	7.5	3.0	5.8	5.3	3.6	6.9	-2.4	8.8

Şekil 6.23. Ergani istasyonu yer değiştirme grafiği



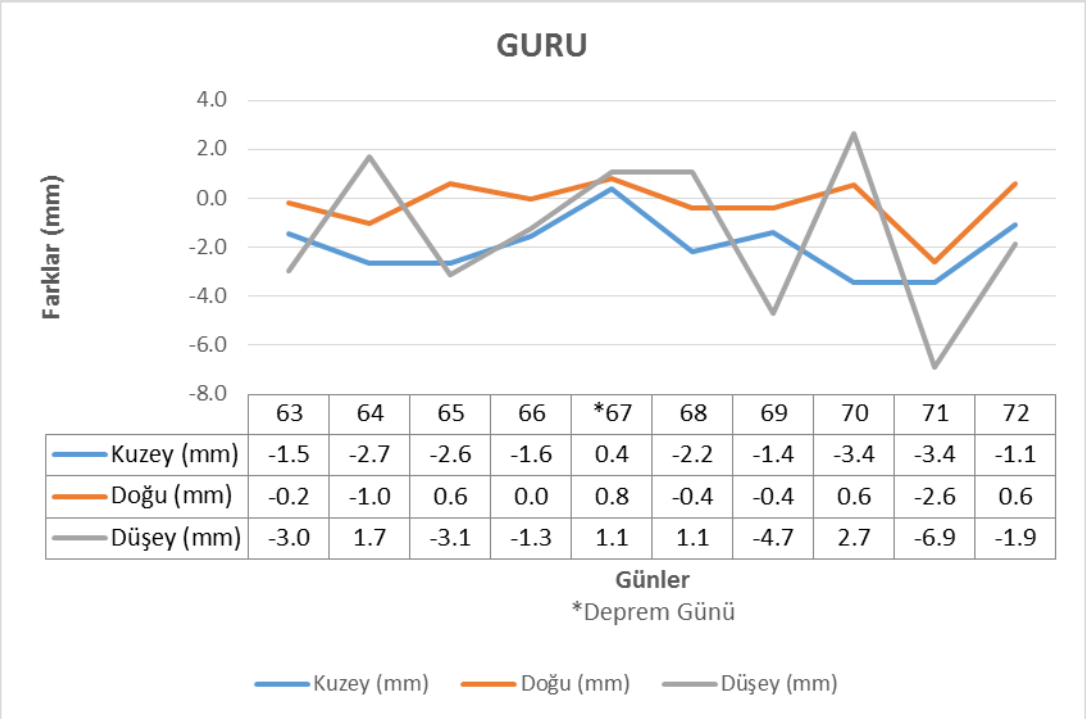
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	0.9	0.3	0.6	-0.7	-0.4	0.9	-1.2	-1.2	-0.6	-2.4
Doğu (mm)	-0.1	-0.3	0.5	1.4	1.1	-0.5	0.8	0.8	-1.7	0.1
Düşey (mm)	-1.1	-3.4	-2.3	-0.7	-4.2	3.6	-0.2	-0.2	-4.0	-0.2

Şekil 6.24. Erzincan istasyonu yer değiştirme grafiği



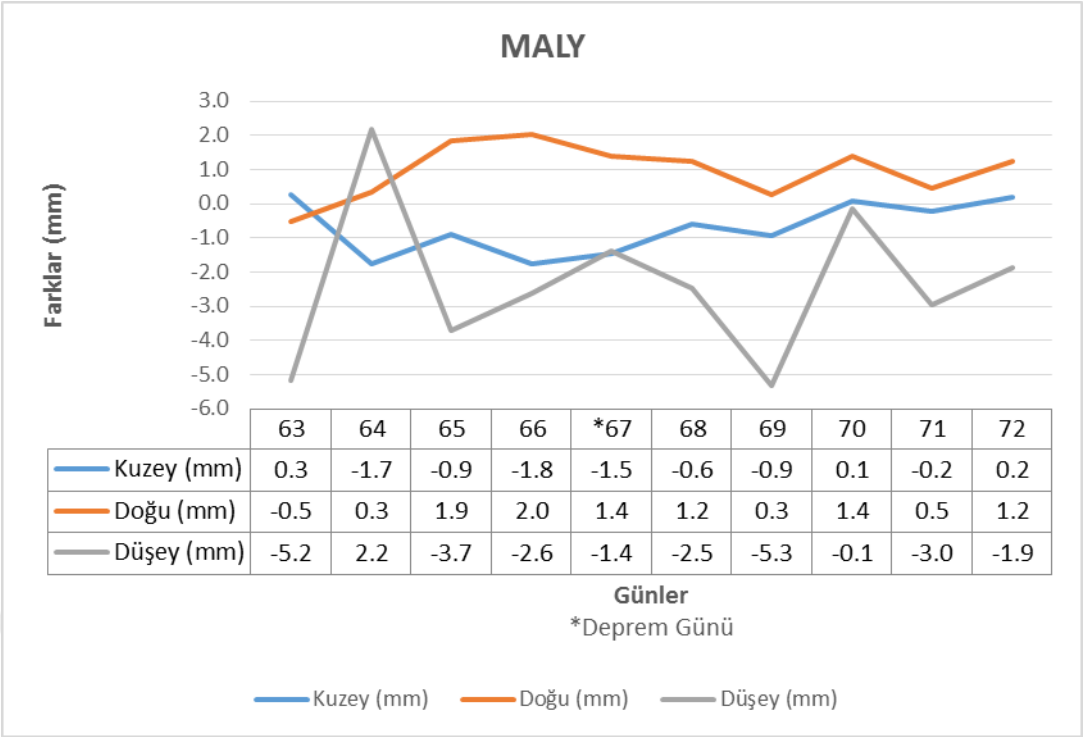
	63	64	65	66	**67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	-0.1	-2.1	-2.0	-2.8	-1.8	-1.4	-1.5	-1.7	-4.8	-1.0
Doğu (mm)	1.5	-1.0	1.8	-1.1	0.2	-1.0	-0.5	0.1	1.6	1.6
Düşey (mm)	1.7	5.7	5.5	3.3	2.2	6.3	3.4	0.4	-0.5	2.7

Şekil 6.25. Erzurum istasyonu yer değiştirme grafiği



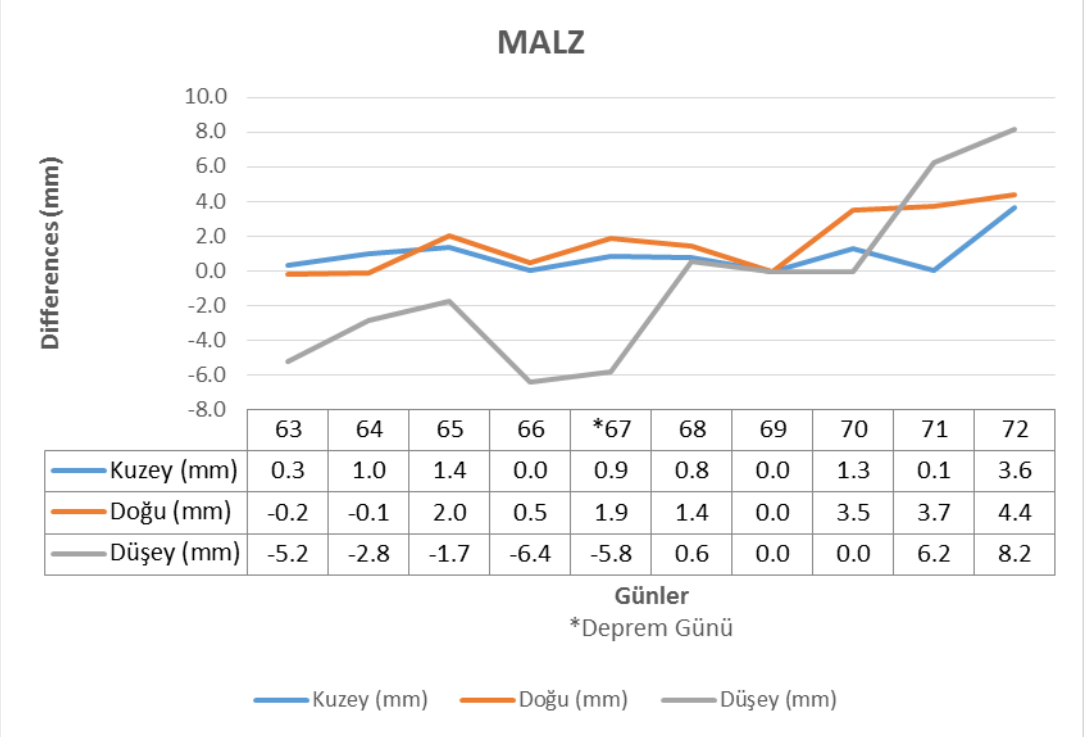
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	-1.5	-2.7	-2.6	-1.6	0.4	-2.2	-1.4	-3.4	-3.4	-1.1
Doğu (mm)	-0.2	-1.0	0.6	0.0	0.8	-0.4	-0.4	0.6	-2.6	0.6
Düşey (mm)	-3.0	1.7	-3.1	-1.3	1.1	1.1	-4.7	2.7	-6.9	-1.9

Şekil 6.26. Gürün istasyonu yer değiştirme grafiği



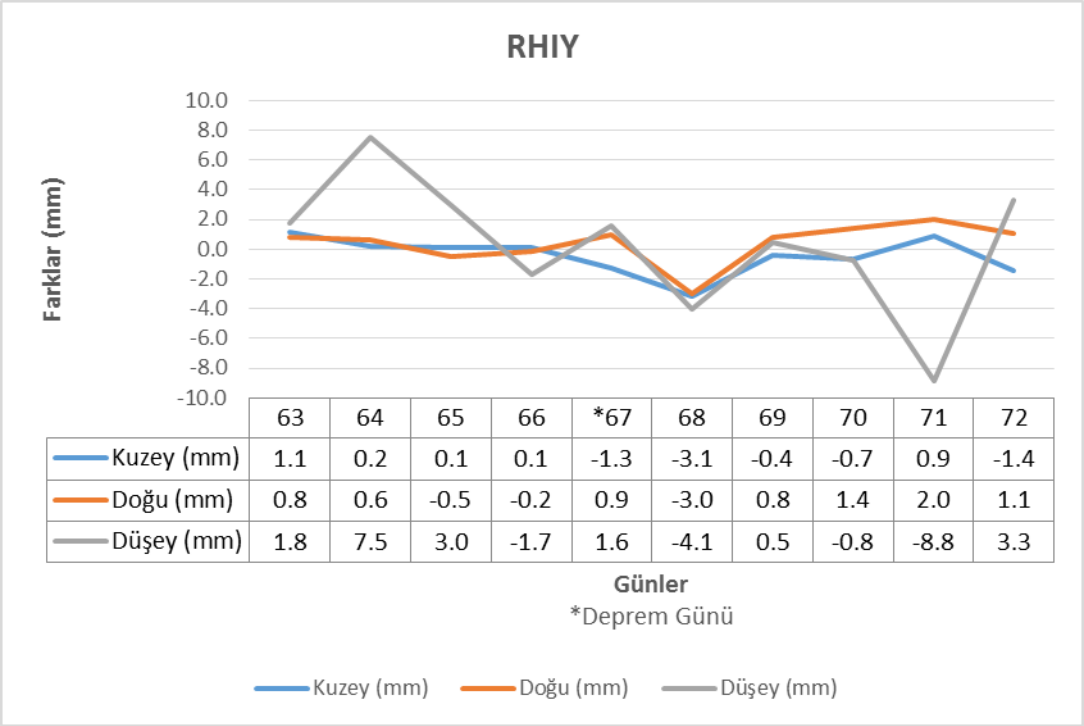
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	0.3	-1.7	-0.9	-1.8	-1.5	-0.6	-0.9	0.1	-0.2	0.2
Doğu (mm)	-0.5	0.3	1.9	2.0	1.4	1.2	0.3	1.4	0.5	1.2
Düşey (mm)	-5.2	2.2	-3.7	-2.6	-1.4	-2.5	-5.3	-0.1	-3.0	-1.9

Şekil 6.27. Malatya istasyonu yer değiştirme grafiği



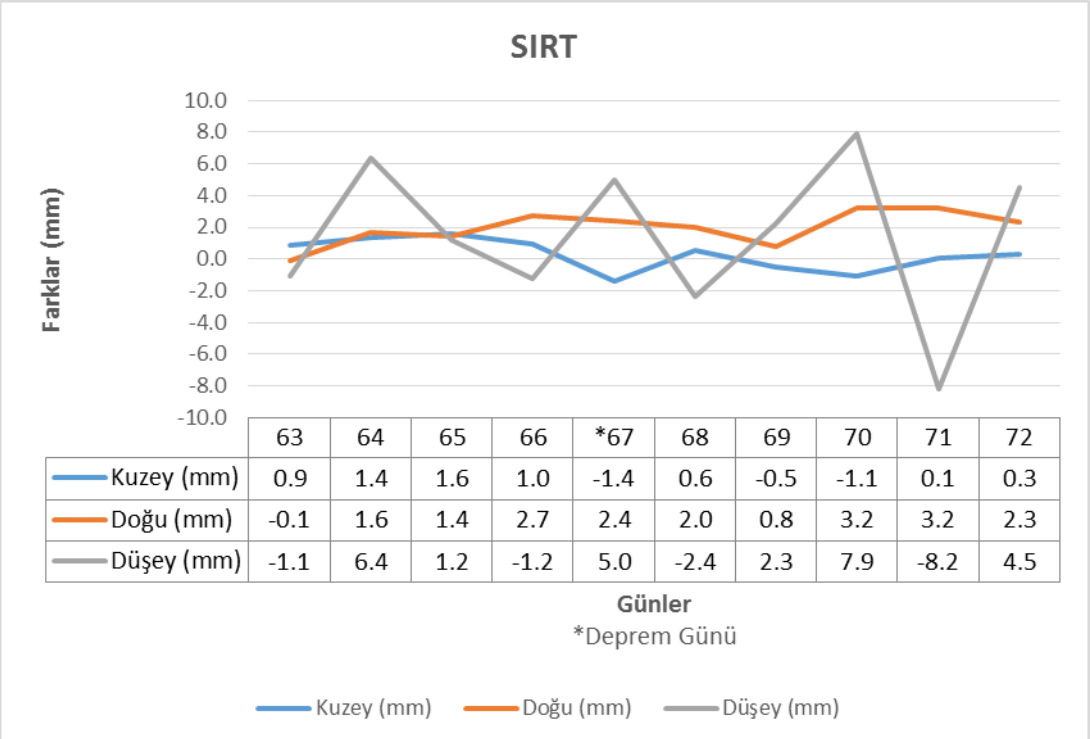
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	0.3	1.0	1.4	0.0	0.9	0.8	0.0	1.3	0.1	3.6
Doğu (mm)	-0.2	-0.1	2.0	0.5	1.9	1.4	0.0	3.5	3.7	4.4
Düşey (mm)	-5.2	-2.8	-1.7	-6.4	-5.8	0.6	0.0	0.0	6.2	8.2

Şekil 6.28. Malazgirt istasyonu yer değiştirme grafiği



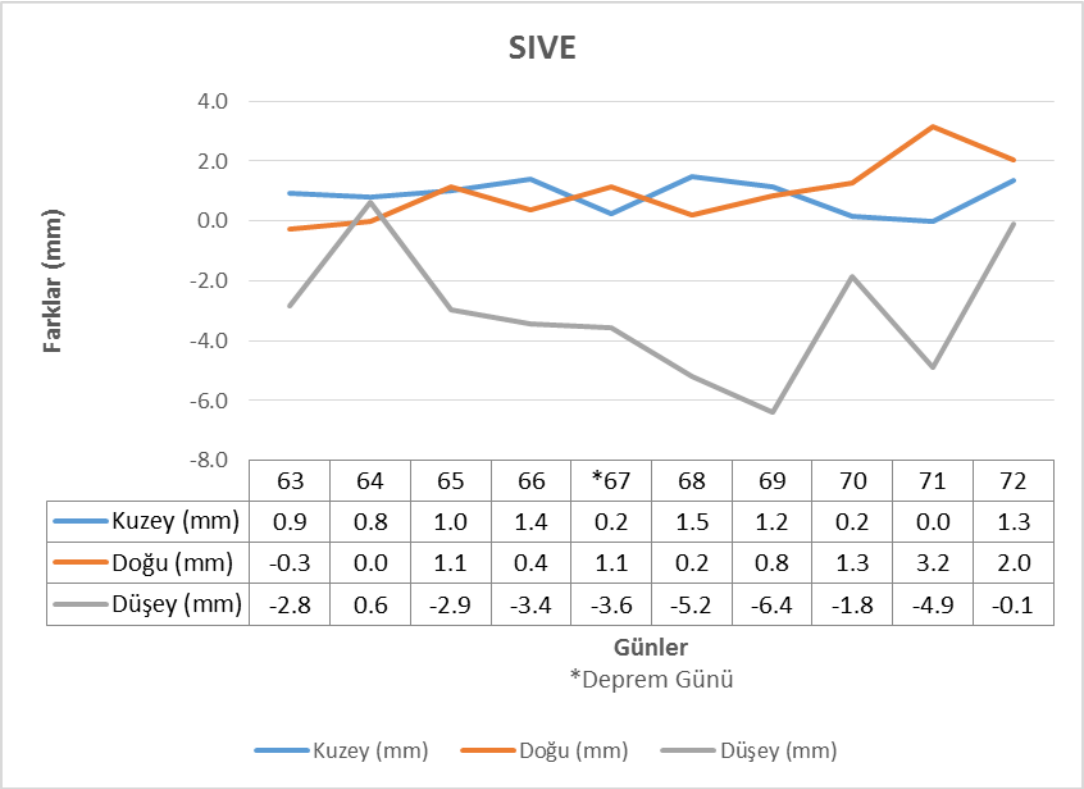
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	1.1	0.2	0.1	0.1	-1.3	-3.1	-0.4	-0.7	0.9	-1.4
Doğu (mm)	0.8	0.6	-0.5	-0.2	0.9	-3.0	0.8	1.4	2.0	1.1
Düşey (mm)	1.8	7.5	3.0	-1.7	1.6	-4.1	0.5	-0.8	-8.8	3.3

Şekil 6.29. Refahiye istasyonu yer değiştirme grafiği



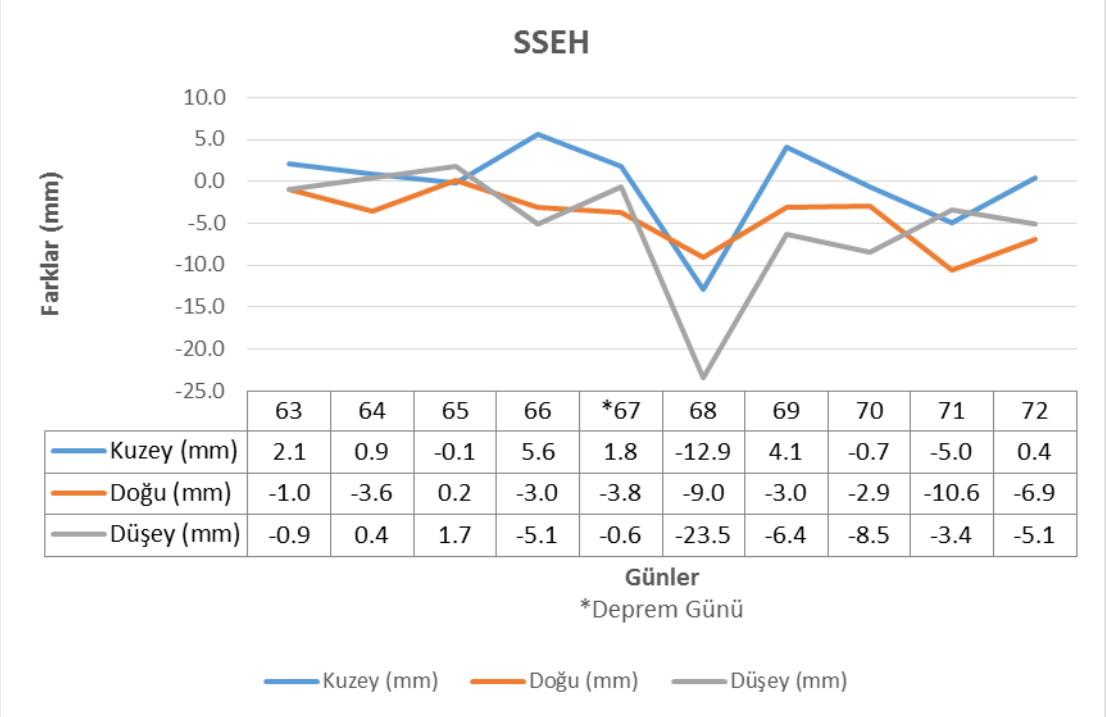
	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	0.9	1.4	1.6	1.0	-1.4	0.6	-0.5	-1.1	0.1	0.3
Doğu (mm)	-0.1	1.6	1.4	2.7	2.4	2.0	0.8	3.2	3.2	2.3
Düşey (mm)	-1.1	6.4	1.2	-1.2	5.0	-2.4	2.3	7.9	-8.2	4.5

Şekil 6.30. Siirt istasyonu yer değiştirme grafiği



	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	0.9	0.8	1.0	1.4	0.2	1.5	1.2	0.2	0.0	1.3
Doğu (mm)	-0.3	0.0	1.1	0.4	1.1	0.2	0.8	1.3	3.2	2.0
Düşey (mm)	-2.8	0.6	-2.9	-3.4	-3.6	-5.2	-6.4	-1.8	-4.9	-0.1

Şekil 6.31. Siverek istasyonu yer değiştirme grafiği



	63	64	65	66	*67	68	69	70	71	72
Kuzey (mm)	2.1	0.9	-0.1	5.6	1.8	-12.9	4.1	-0.7	-5.0	0.4
Doğu (mm)	-1.0	-3.6	0.2	-3.0	-3.8	-9.0	-3.0	-2.9	-10.6	-6.9
Düşey (mm)	-0.9	0.4	1.7	-5.1	-0.6	-23.5	-6.4	-8.5	-3.4	-5.1

Şekil 6.32. Suşehri istasyonu yer değiştirme grafiği

Çizelge 6.5. Karakoçan çevresindeki istasyonlarının yer değiştirmelerinin karesel ortalama hataları

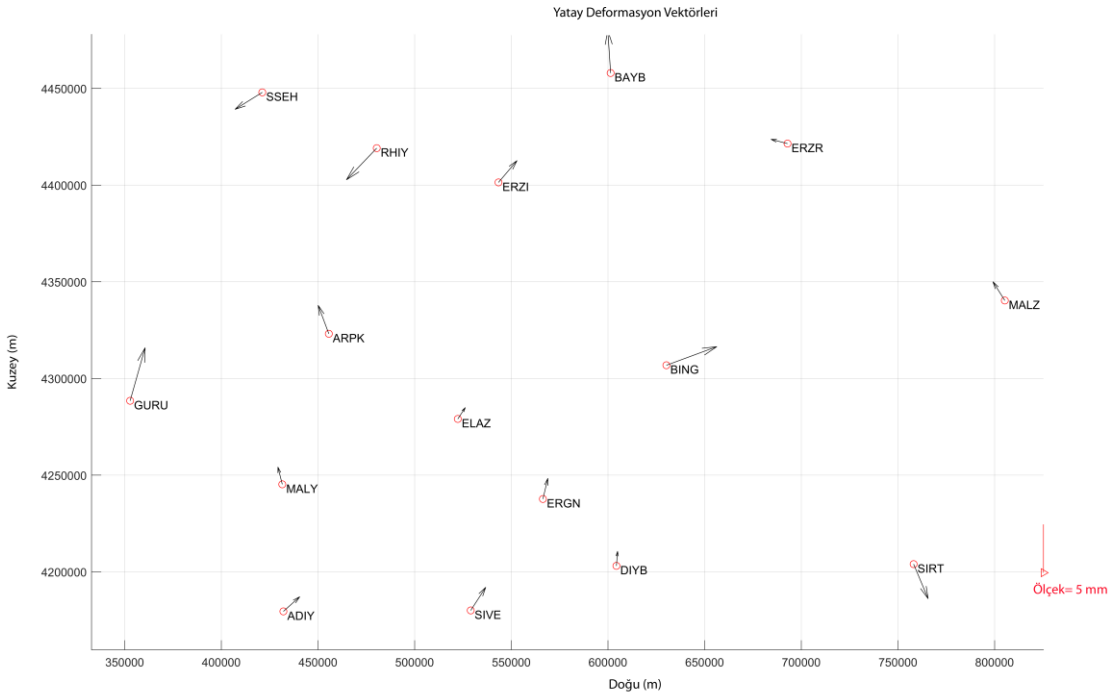
İstasyon Adı	Karesel Ortalama Hatalar			Deprem Merkezine Uzaklıklar (km)
	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Düşey (mm)	
ADIY	1.85	1.77	3.11	201
ARPK	2.16	1.07	7.11	142
BAYB	1.41	1.17	4.84	160
BING	3.89	8.90	27.21	36
DIYB	0.75	1.81	2.56	95
ELAZ	1.32	0.66	2.89	75
ERGN	1.71	1.17	5.99	67
ERZI	1.09	0.89	2.56	116
ERZR	2.26	1.19	3.75	157
GURU	2.23	0.99	3.25	243
MALY	1.02	1.23	3.17	172
MALZ	1.40	2.36	4.68	214
RHIY	1.28	1.37	4.24	167
SIRT	1.00	2.20	4.81	188
SIVE	1.00	1.39	3.70	135
SSEH	4.98	5.44	8.55	230

Çizelge 6.6. Karakoçan çevresindeki istasyonlarının yer değiştirmelerinin karesel ortalama hataları

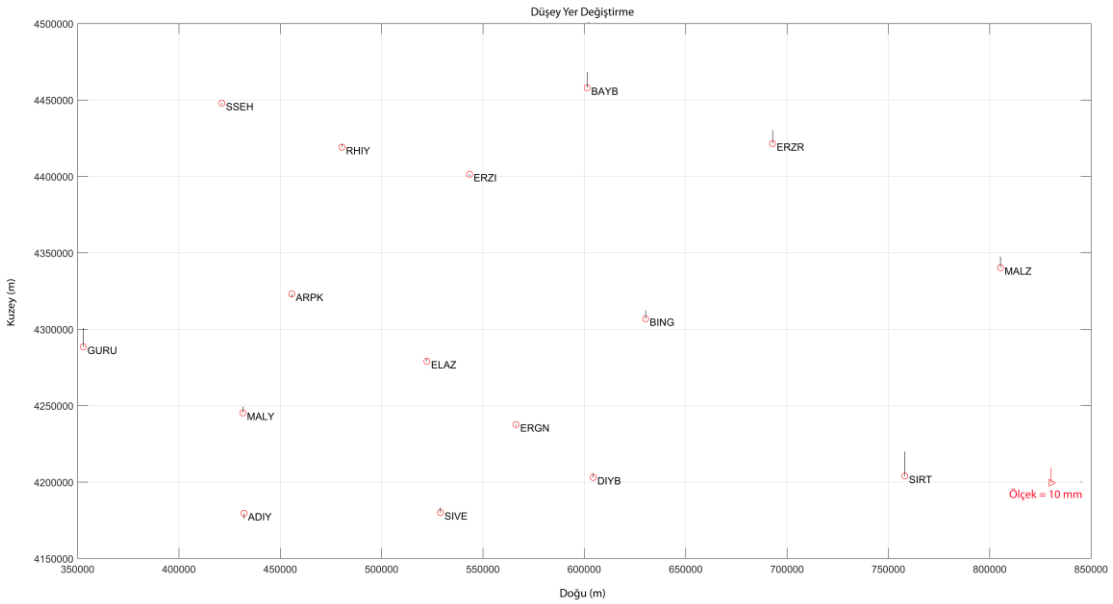
İstasyon Kodu	3 * (KOH)			İstasyonların Maksimum Yer Değiştirmeleri		
	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Düşey (mm)	Kuzey (mm)	Doğu (mm)	Düşey (mm)
ADIY	5.54	5.30	9.33	3.20	3.10	-5.90
ARPK	6.47	3.21	21.34	-4.00	2.40	13.40
BAYB	4.23	3.51	14.53	-2.30	-1.90	-8.70
BING	11.66	26.70	81.62	-5.60	12.70	-39.20
DIYB	2.24	5.43	7.69	-1.30	-2.90	5.30
ELAZ	3.95	1.99	8.66	2.20	-1.10	-5.20
ERGN	5.12	3.51	17.98	4.40	-2.60	8.80
ERZI	3.26	2.67	7.67	-2.40	-1.70	-4.20
ERZR	6.77	3.58	11.26	-4.80	1.80	6.30
GURU	6.70	2.96	9.74	-3.40	-2.60	-6.90
MALY	3.06	3.70	9.51	-1.80	2.00	-5.30
MALZ	4.19	7.09	14.03	3.60	4.40	8.20
RHIY	3.83	4.12	12.72	-3.10	-3.00	-8.80
SIRT	3.00	6.60	14.44	1.60	3.20	-8.20
SIVE	2.99	4.17	11.09	1.50	3.20	-6.40
SSEH	14.95	16.33	25.64	-12.90	-10.60	-23.50

Çizelge 6.6'da görüldüğü üzere istasyonların karesel ortalama hatalarının üç katı hesaplanmış, istasyonların yer değiştirmeleri arasında mutlak değer olarak en büyük olanları seçilerek Çizelge 6.6'nın sağ tarafında gösterilmiştir. Çizelge 6.6 incelendiğinde yer değiştirme değerleri, karesel ortalama hatalarının üç katından daha küçük olduğu görülmektedir. Tüm TUSAGA-Aktif istasyonlarının yer değiştirme grafikleri, deprem öncesi ve sonrası varyasyonların aynı olduğunu göstermektedir. Yani, deprem öncesi beş gün ve sonraki beş gün arasında istasyonların hareket ettiğini düşündürebilecek bir fark yoktur. Yukarıdaki yer değiştirme çizelgeleri incelendiğinde, konumsal yer değiştirme miktarları sınır değerleri aşmamaktadır. Veri grafiklerinden 5 gün önce ve 5 gün sonra yapılan değerlendirmede görülmektedir (Şekil 6.17 - 6.32). Çizelge 6.6'deki verilere göre çalışmada kullanılan istasyonların Elazığ – Karakoçan depremi ve artçı şoklarından etkilenmediği söylenebilir. Karakoçan depreminden elde edilen yer değiştirme miktarları en fazla kuzey bileşeninde 12.9 mm ile SSEH istasyonunda ve doğu bileşeninde 12.7 mm ile BING istasyonunda ve düşey bileşende 39.2 mm ile BING istasyonunda yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

Elazığ – Karakoçan çalışmasına ek olarak istasyonların deprem günü içerisindeki hareketlerini görmek amacıyla ayrıca bir analiz çalışması daha yapıldı. Halepçe Depremi çalışmasında olduğu gibi yine iki periyotta yapılan bu ek analizlerin birincisinde; deprem günü 08 Mart 2010 için RINEX verileri 04:32:31 öncesi ve sonrası olmak üzere ikiye bölünmüştür. Yaklaşık 4.5 saatlik deprem öncesi toplanmış veri ile 19.5 saatlik deprem sonrası toplanmış veri herbir TUSAGA – Aktif istasyonu için ayrı ayrı dosya haline getirilerek AUSPOS servisine yüklenmiştir. Bu veriler AUSPOS servisinde işlendikten sonra kartezyen koordinatların farkları toposentrik koordinatlara çevrilmiş sonra MATLAB programında yatay ve düşey hareketleri aşağıda çizdirilmiştir. (Şekil 6.33 – 6.34)



Şekil 6.33. TUSAGA - Aktif istasyonlarının 1. Periyottaki Yatay Hareketleri (08 Mart 2010)



Şekil 6.34. TUSAGA - Aktif istasyonlarının 1. Periyottaki Dikey Hareketleri (08 Mart 2010)

İkinci periyotta ise; TUSAGA - Aktif istasyonlarının deprem öncesi RINEX verileri, deprem sonrası verilerine denk olsun diye ikinci bir parçalama / ekleme daha yapılarak, deprem öncesi 07 Mart 2010 gününe ait 1 günlük veriler, 4 saat 30 dakikalık verinin üzerine eklenerek yeni RINEX dosyaları oluşturulmuştur. Bu dosyalar AUSPOS Online Proses servisinde dengelenerek kartezyen koordinatlar elde edilmiştir. Bu

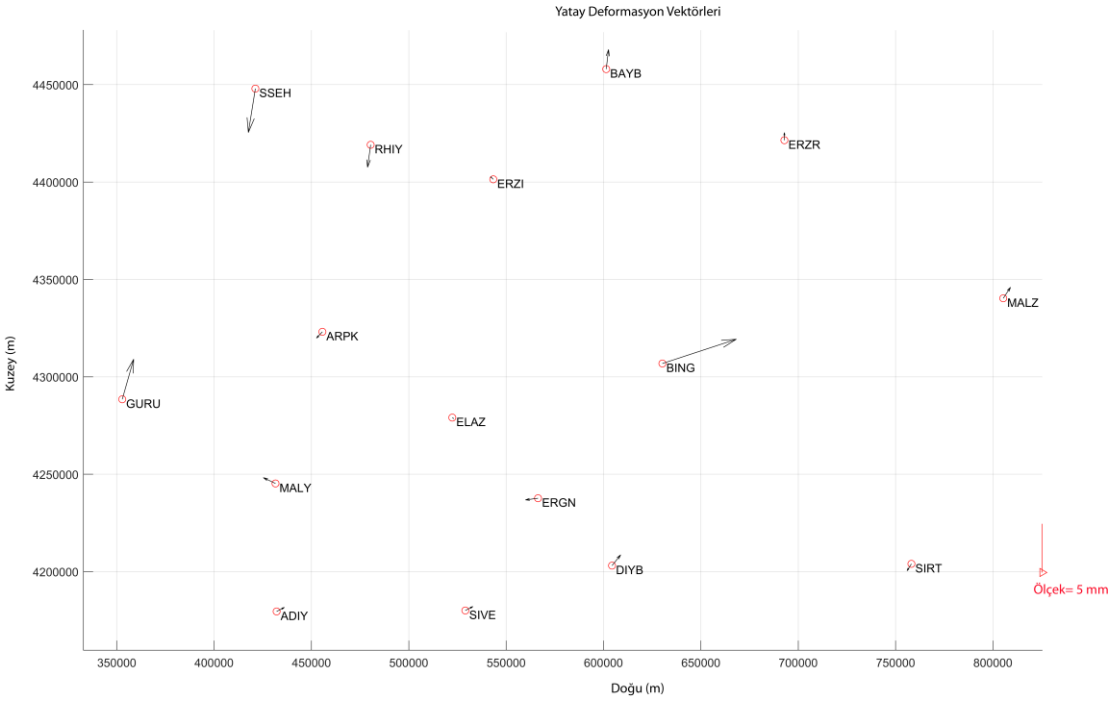
koordinatlar ile TUSAGA – Aktif istasyonlarının deprem sonrası gece 00.00'a kadar olan 19.5 saatlik RINEX verileri kullanılarak elde edilmiş koordinatları arasındaki farklar hesaplanmış, sonrasında toposentrik (Kuzey, Doğu, Düşey) koordinatlara dönüştürülmüştür. Birinci peryotta olduğu gibi ikinci peryot sonuçları da MATLAB programında yatay ve düşey olarak ayrı ayrı çizdirilmiştir (Şekil 6.35 – 6.36). Çizelge 6.5 ve 6.6 daki P sütunu yani yatay hareketlerin büyüklüğü eşitlik 6.2 ile hesaplanmıştır.

Çizelge 6.5. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 1. periyottaki hareketleri

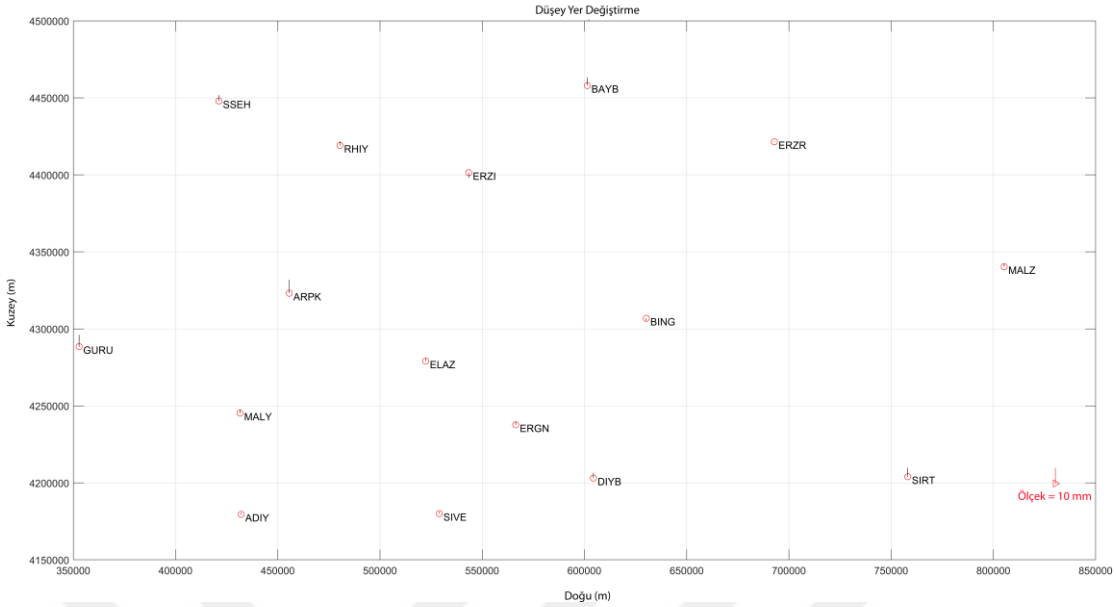
Karakoçan Deprem Günü Deprem Öncesi - Deprem Sonrası Arasındaki Farklar				
	Kuzey (mm)	**Doğu (mm)**	**P (mm)**	**Düşey (mm)**
ADIY	1.51	1.69	2.27	-3.59
ARPK	2.94	-1.10	3.14	-2.04
BAYB	4.41	-0.29	4.42	10.27
BING	1.92	5.21	5.56	5.58
DIYB	1.50	0.12	1.50	2.96
ELAZ	1.17	0.77	1.40	1.74
ERGN	2.13	0.51	2.19	-1.09
ERZI	2.25	1.91	2.95	-1.14
ERZR	0.44	-1.70	1.76	8.83
GURU	5.48	1.55	5.69	12.35
MALY	1.78	-0.45	1.84	4.20
MALZ	1.94	-1.23	2.30	7.12
RHIY	-3.27	-3.13	4.53	2.35
SIRT	-3.57	1.50	3.87	15.97
SIVE	2.39	1.55	2.84	3.45
SSEH	-1.75	-2.81	3.31	-1.03

Çizelge 6.6. TUSAGA-Aktif istasyonlarının 2. periyottaki hareketleri

Karakoçan Deprem Günü (Deprem Öncesi+1 Gün) - Deprem Sonrası Arasındaki Farklar				
	Kuzey (mm)	**Doğu (mm)**	**P (mm)**	**Düşey (mm)**
ADIY	0.41	0.79	0.89	1.10
ARPK	-0.64	-0.60	0.88	8.73
BAYB	2.00	0.24	2.01	5.38
BING	2.49	7.59	7.99	-1.49
DIYB	1.10	0.88	1.41	3.47
ELAZ	-0.10	0.14	0.17	1.72
ERGN	-0.17	-1.28	1.29	1.83
ERZI	0.26	-0.27	0.38	-3.44
ERZR	0.77	0.00	0.77	0.64
GURU	4.11	1.17	4.27	7.66
MALY	0.59	-1.24	1.37	2.47
MALZ	1.12	0.74	1.34	1.79
RHIY	-2.30	-0.32	2.33	2.75
SIRT	-0.70	-0.44	0.82	5.77
SIVE	0.40	0.77	0.87	1.11
SSEH	-4.50	-0.72	4.55	3.78



Şekil 6.35. TUSAGA - Aktif istasyonlarının 2. Periyottaki Yatay Hareketleri (08 Mart 2010)



Şekil 6.36. TUSAGA - Aktif istasyonlarının 2. Periyottaki Dikey Hareketleri (08 Mart 2010)

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Online proses web servisleri dünya çapında yaygın halde kullanılmaktadır. Bu servisler sayesinde GNSS verileri hızlı, güvenilir ve hassas olarak dengelenebilir bu sayede yer kabuğu hareketleri rahatlıkla gözlemlenebilmektedir. Tezde bu sistemlerden Avustralya hükümetinin kontrolünde işletilen AUSPOS servisi kullanılmıştır.

Bu çalışmada sunulan bulgulara göre, Halepçe depremi öncesi ve sonrası 5 günlük sonuçlara göre maksimum yatay yöndeki hareket (kuzey ve doğunun bileşkesi) 6.6 mm ile TVA2 istasyonunda, maksimum düşey yöndeki hareket 13.8 mm ile SEMD istasyonunda tespit edilmiştir. Elazığ – Karakoçan depremi öncesi ve sonrası 5 günlük sonuçlara göre maksimum yatay yöndeki hareket 16.7mm ile SSEH istasyonunda, maksimum düşey yöndeki hareket 39.2 mm ile BING istasyonunda tespit edilmiştir. Belirlenen kuzey, doğu ve düşey yöndeki yer değiştirme miktarları, her istasyon için hesaplanan yer değiştirme Karesel Ortalama Hata değerlerinin 3 katından küçük olduğu için anlamlı bir yer değiştirme olmadığı söylenebilir.

Elazığ Karakoçan'da 6.0 Mv büyüklüğünde ve 5 km derinliğinde oluşan bu depremin en yakın (36 km) Bingöl istasyonuna etkisi tespit edilememiştir. Deprem bölgelerinde kısa süreli 2-3 saatlik verilerin AUSPOS sisteminde hesaplanıp anlamlı bir yer değiştirme belirlenebilmesi depremin büyüklüğüne ve odak noktasının derinliğine ve depremi oluşturan fay ile ortamın jeolojik özelliklerine bağlıdır.

Deprem çalışmalarında AUSPOS servisinin kullanılıp kullanılamayacağı 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.

KAYNAKLAR

Aktug, B., Ozener, H., Dogru, A., Sabuncu, A., Turgut, B., Halicioglu, K., Yilmaz, O. ve Havazli, E., 2016, Slip rates and seismic potential on the East Anatolian Fault System using an improved GPS velocity field, *Journal of Geodynamics*, 94, 1-12.

Alkan, R. M., Ozulu, İ. M. ve İlçi, V., 2017, Klasik GNSS Veri Değerlendirme Yazılımlarına Alternatif Olarak Web-tabanlı Online Değerlendirme Servisleri, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi* (17), 603-619.

Arıoğlu, D. E. ve Girgin, D. C., 2002, Türkiye'nin Sismotektonik Yapısı Ve Depremlerin Manevi / Ekonomik Boyutunun Değerlendirilmesi, *Yapı Merkezi A.Ş. Ar-Ge Yayınları*, YM / AR-GE / 2002-5, 1-63.

Arpat, E. ve Saroglu, F., 1972, The East Anatolian fault system: thoughts on its development, *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey*, 78, 33-39.

Avcı, V. ve Sunkar, M., 2018, Palu (Elazığ)-Bingöl Arasında Doğu Anadolu Fay Zonu Üzerinde Görülen Heyelanların Litolojik Birimler Ve Fay Hatlarıyla İlişkisi, *Maden Tetkik ve Arama Dergisi* (157), 10-20.

Bozkurt, E., 2001, Neotectonics of Turkey–a synthesis, *Geodinamica Acta*, 14 (1-3), 3-30.

Bülbül, S., İnal, C., Yıldırım, O. ve Başçiftçi, F., 2017, Velocity Estimation of Turkish National Permanent GNSS Network-Active Points Located at Central Anatolia Region, *International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies ISMSIT 2017 Bildiri Özetleri Kitabı*, 235.

Demirtaş, R. ve Yılmaz, R., 1996, Türkiye'nin sismotektoniği, *Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Yayınları, Ankara* (1996), 37.

Demirtaş, R. ve Erkmen, C., 2000, Deprem ve Jeoloji, *TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları*, 52.

El-Mowafy, A., 2011, Analysis of web-based GNSS post-processing services for static and kinematic positioning using short data spans, *Survey Review*, 43 (323), 535-549.

Farisoğulları, Ö., 2013, Recent velocity field in Eastern Anatolia from a combination of continuous and campaign type GPS observation / Sürekli ve kampanya tipi GPS gözlemlerinin birleştirilmesi ile Doğu Anadolu'nun güncel hız alanının belirlenmesi, Master of Science, *Boğaziçi University*, Boğaziçi Üniversitesi / Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü / Jeodezi Anabilim Dalı, 100.

K.R.D.A.E., K. R. v. D. A. E., 2018, Bölgesel Deprem-Tsunami İzleme Ve Değerlendirme Merkezi, http://www.koeri.boun.edu.tr/:

Kalafat, D., Zülfikar, C., Vuran, E. ve Kamer, Y., 2010, Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) Depremi, *İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü*, 65.

Koçyiğit, A., 2003, Karakoçan Fay Zonu: Atımı, Yaşı, Etkin Stres Sistemi Ve Depremselliği, *ATAG-7 Aktif Tektonik Araştırma Grubu 7. Toplantısı 01-03 Ekim 2003*, 9-10.

Meade, B. J., Hager, B. H., McClusky, S. C., Reilinger, R. E., Ergintav, S., Lenk, O., Barka, A. ve Özener, H., 2002, Estimates of seismic potential in the Marmara

Sea region from block models of secular deformation constrained by Global Positioning System measurements, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 92 (1), 208-215.

O'Sullivan, D., 2014, Evaluation of precise point positioning services.

Ocalan, T., Erdogan, B. ve Tunalioglu, N., 2013, Analysis of web-based online services for GPS relative and precise point positioning techniques, *Boletim de ciencias geodesicas*, 19 (2), 191-207.

Özdemir, E. G., 2016, İnternet tabanlı hassas nokta konum belirleme (PPP) yazılımlarının irdelenmesi ve belirsizlik analizi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi*, 115.

Öztürk, S., 2009, Deprem tehlikesi ve artçı şok olasılığı değerlendirme yöntemlerinin Türkiye'deki depremlere bir uygulaması, Doktora Tezi, *KTU Fen Bilimleri Enstitüsü*, 373.

Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Ozener, H., Kadirov, F., Guliev, I. ve Stepanyan, R., 2006, 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: Solid Earth*, 111 (B5).

Reilinger, R. E., Ergintav, S., Burgmann, R., McClusky, S., Lenk, O., Barka, A., Gurkan, O., Hearn, L., Feigl, K. L., Cakmak, R., Aktug, B., Ozener, H. ve Toksoz, M. N., 2000, Coseismic and postseismic fault slip for the 17 August 1999, M=7.5, Izmit, Turkey earthquake, *Science*, 289 (5484), 1519-+.

Stern, R. J. ve Johnson, P., 2010, Continental lithosphere of the Arabian Plate: a geologic, petrologic, and geophysical synthesis, *Earth-Science Reviews*, 101 (1-2), 29-67.

Sunkar, M., 2011, 8 Mart 2010 Kovancılar-Okçular (Elazığ) depremi; yapı malzemesi ve yapı tarzının can ve mal kayıpları üzerindeki etkisi, *Türk Coğrafya Dergisi* (56).

Survey, U. S. G., 2017, M=7.3 Western Iran Earthquake of November 12, 2017. United States Geological Survey

Şanlıoğlu, İ., Zeybek, M. ve Yiğit, C. Ö., 2016, Landslide Monitoring with GNSS-PPP on Steep-Slope and Forestry Area: Taşkent Landslide, *International Conference on Engineering and Natural Science (ICENS) 2016*.

Şengör, A., Görür, N. ve Şaroğlu, F., 1985, Strike-slip faulting and related basin formation in zones of tectonic escape: Turkey as a case study, *Strike-Slip Deformation, Basin Formation, and Sedimentation* (January 1985), 227-264.

Tirifonov, V., 1995, World map of active faults (preliminary results of studies), *Quaternary International*, 25, 3-12.

Tsakiri, M., 2008, GPS processing using online services, *Journal of Surveying Engineering*, 134 (4), 115-125.

Yigit, C., Gikas, V., Alcay, S. ve Ceylan, A., 2014, Performance evaluation of short to long term GPS, GLONASS and GPS/GLONASS post-processed PPP, *Survey Review*, 46 (336), 155-166.

Yiğit, C. Ö., Kızılarslan, M. ve Çalışkan, E., 2016, GPS-PPP ve GPS/GLONASS-PPP Yöntemlerinin Konum Belirleme Performanslarının Ölçü Süresine Bağlı Olarak Değerlendirilmesi, *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 8 (1), 22-39.

Yildirim, O., Yaprak, S. ve Inal, 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.

Yıldırım, Ö., Bakıcı, S. ve Mekik, Ç., 2011, TUSAGA-Aktif (CORS-TR) Sisteminin Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğüne Katkıları, *HKMO Yayınları*, 9.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	**:**	Gökhan BAŞKAN
Uyruğu	**:**	Türkiye Cumhuriyeti
Doğum Yeri ve Tarihi	**:**	Kahramanmaraş – 01/01/1988
Telefon	**:**	+90 532 446 34 04
Faks	**:**	-
e-mail	**:**	gokhanbaskan@yandex.com

EĞİTİM

Derece		**Adı, İlçe, İl**	**Bitirme Yılı**
Lise	*:*	Kahramanmaraş İ.Çalık Lisesi	2005
Üniversite	*:*	Konya Selçuk Üniversitesi – Harita Mühendisliği	2010
Yüksek Lisans	*:*	Konya Selçuk Üniversitesi – Harita Mühendisliği	2018
Doktora	*:*		

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	**Kurum**	**Görevi**
2010-2011	Ada Mühendislik Müş. İnş. Taah. San. Ve Tic. Ltd. Şti.	Harita Mühendisi
2011-2012	Tekirdağ Kadastro Müdürlüğü	Mühendis
2012-2016	Hatay Tapu ve Kadastro XII. Bölge Müdürlüğü	Kontrol Mühendisi
2016-2018	Kahramanmaraş Kadastro Müdürlüğü	Kontrol Mühendisi
2018-…	Kahramanmaraş Kadastro Müdürlüğü	Kadastro Müdürü

UZMANLIK ALANI

Statik GNSS Hesabı, Harita ve Kadastro Bilgisi, Yazılım

YABANCI DİLLER

İngilizce

BELİRTMEK İSTEĞİNİZ DİĞER ÖZELLİKLER

YAYINLAR

Başkan, G., Zeybek, M., Şanlıoğlu, İ., 2018. "The Investigation of Halabjah / Iraq Earthquakes Effects from Turkish National Permanent GNSS Network Data", Embracing Our Smart World Where The Continents Connect: Enhancing The Geospatial Maturity Of Societies (FIG Congress 2018), 06-11 Mayıs 2018, Istanbul Congress Center, Harbiye, İstanbul.