

6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri Sonrasında Ecemiş Fayı'nda Meydana Gelen Kabuksal Deformasyonların GNSS Yöntemiyle Belirlenmesi

İbrahim TIRYAKIOĞLU^{1*}, Fikret KOÇBULUT², Cemil GEZGİN³, Halil İbrahim SOLAK⁴, Eda Esmâ EYÜBAGİL⁵, Ece Bengünaz ÇAKANŞİMŞEK⁶, Kayhan ALADOĞAN⁷, Ergin DÖNMEZ⁸, Fatih POYRAZ⁹

Öz

Bu çalışmada, Ecemiş Fayı ve çevresindeki kabuksal deformasyonun belirlenmesi amacıyla kurulan 28 noktalı GNSS ağına 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sonrası meydana gelen kosismik deformasyon incelenmiştir. TÜBİTAK 121Y409 numaralı proje kapsamında kurulan GNSS ağı, bölgede yer alan TUTGA noktaları ve TUSAGA-Aktif istasyonları ile genişletilerek 64 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Proje ağına kampanya tipi 25 noktada, 2022 Temmuz ayında bir kampanya GNSS ölçümü yapılmıştır. 6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinden sonra ise 2023 Temmuz ayında bir kampanya daha ölçüm yapılmıştır. Ayrıca ağda yer alan TUTGA noktalarının ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi (presismik) dönemde en az 3 farklı yıla ait GNSS verileri temin edilmiştir. Tüm GNSS verileri GAMIT/GLOBK yazılımı ile değerlendirilmiştir. Ağda yer alan TUTGA ve TUSAGA noktalarının deprem öncesi verileri ile bu noktalara ait Avrasya sabit (ITRF14) hızları elde edilmiştir. Ayrıca TUSAGA Aktif istasyonlarının deprem sonrası (postsismik) 10 aylık verilerinin değerlendirilmesiyle deprem sonrası hızlar elde edilmiştir. Deprem öncesi ve sonrası hızlar kullanılarak kampanya tipi noktaların hızları enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktalarda depremin neden olduğu atım miktarları, enterpolasyon ile elde edilen hızlar kullanılarak deprem öncesi ve sonrası koordinatların deprem anı epöğuna kaydırılmasıyla hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktalarda atım miktarlarının doğu bileşende 10 mm ile 410 mm ve kuzey bileşende ise 18 mm ile 316 mm arasında değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: GNSS, Kosismik Deformasyon, 6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri, Ecemiş Fayı.

Determination of Crustal Deformations on the Ecemiş Fault After the February 6 Kahramanmaraş Earthquakes Using the GNSS Method

Abstract

In this study, to determine the crustal deformation of the Ecemiş Fault and its surroundings, the coseismic deformations occurred in the region after the February 6 Kahramanmaraş earthquake were investigated using the 28-site GNSS network established in 2022 in TUBITAK 121Y409 project. The GNSS network was expanded with TUTGA sites and TUSAGA-Active stations in the region and 64 sites covering Ecemiş Fault were reached. One campaign GNSS measurement was carried out at 25 sites in the network in July 2022 (before earthquake) and 2023 (after the earthquake), respectively. In addition, GNSS data of TUTGA sites and TUSAGA-Active stations in the network were obtained from at least 3 different years in the pre-seismic period. All GNSS data were evaluated with GAMIT/GLOBK software. Using the pre-earthquake data of the TUTGA and TUSAGA sites in the network, the Eurasian-fixed (ITRF14) velocities of these sites were calculated. In addition, post-earthquake velocities were calculated by evaluating the 10-month post-seismic data of TUSAGA Active stations. The velocities of the campaign type sites were calculated by interpolation method using the pre- and post-earthquake velocities. The offsets caused by the earthquake at the campaign type sites were calculated by shifting the pre- and post-earthquake coordinates to the epoch of the earthquake using the velocities obtained by interpolation. It was determined that the offsets at campaign type sites varied between 10 mm and 410 mm in the eastern component and between 18 mm and 316 mm in the northern component.

Keywords: GNSS, Coseismic Deformation, February 6th Kahramanmaraş Earthquakes, Ecemiş Fault.

^{1,5,6}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar, Türkiye, itiryakioğlu@aku.edu.tr, edaeyubagil@gmail.com, ece-bengunaz.cakansimsek@usr.aku.edu.tr

^{1,4}Afyon Kocatepe Üniversitesi, Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar, Türkiye

²Cumhuriyet Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, fbulut@cumhuriyet.edu.tr

³Aksaray Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Aksaray, Türkiye, cemilgezgin@aksaray.edu.tr

⁴Afyon Kocatepe, Uzaktan Eğitim M.Y.O, Afyonkarahisar, Türkiye, hisolak@aku.edu.tr

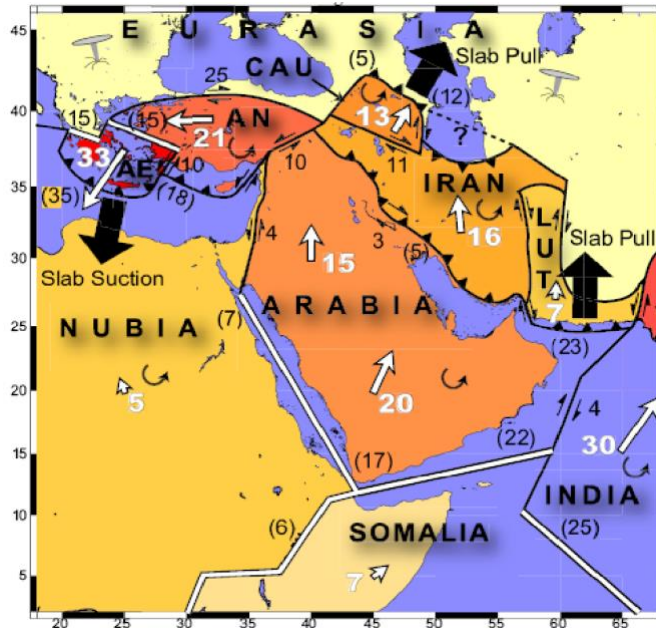
⁷Hitit Üniversitesi, Osmaniye Ömer Derindere M.Y.O, Çorum, Türkiye, kayhanaladogan@gmail.com

⁸Pamukkale Üniversitesi, Çivril Atasay Kamer M.Y.O, Denizli, Türkiye, ergindonmez@gmail.com

⁹Cumhuriyet Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas, Türkiye, fpoyraz@cumhuriyet.edu.tr

1. Giriş

Anadolu levhası jeolojik olarak sıkışmalı tektonik yapı denetiminde gelişen “Alp-Himalaya Kuşağı” içerisinde yer almaktadır. Kuzeyinde rijit olarak kabul edilen Avrasya, güneydoğu ve doğusunda yer alan Afrika ile Arap levhaları arasında kalan Anadolu Levhası mevcut levha etkileşimleri kaynaklı B-GB yönlü yılda yaklaşık olarak 25-30 milimetrelük rotasyonel bir hareket sergilemektedir. Tektonik kaçış modeli olarak isimlendirilen bu hareket neticesinde bölge karmaşık yapıda hızlı biçimde deformasyona uğramaktadır (Şengör, 1979, 1980, Şengör ve ark., 1985). GNSS (Global Navigation Satellite System) ölçümlerine dayalı Avrasya levhası sabit alınarak Anadolu levhasının hareketi göreceli olarak incelendiğinde; yılda 5 mm hızla Afrika plakası tarafından kuzeye doğru, yılda 19 mm hızla Arap plakası tarafından kuzey-kuzeydoğu yönlü sıkışmaya maruz kalmaktadır (McClusky ve ark., 2000). Yıllar içerisinde gerçekleştirilen multidisipliner çalışmalar sonucunda Anadolu Levhası'nın neotektonik gelişimi mevcut sıkışmalı rejim ve tektonik kaçış modeline dayalı rotasyonel hareket açısından yorumlandığında önemli iki ana fay zonuna odaklanılmıştır (Şengör ve ark., 1985; Barka ve Reilinger, 1997; Koçyiğit ve Özacar, 2003, Emre ve ark., 2016). Bu iki transform fay zonu, Avrasya ve Anadolu levhalarının kesiştiği sınırda bulunan sağ yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ile Arap ve Anadolu levhalarının kesiştiği sınırda bulunan KAFZ ile eşlenik yapıya sahip sol yanal atımlı Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ)'dur. Bu iki ana fay zonu özelinde gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar sonucunda kayma hızları KAFZ'de ortalama 24 mm/yıl, DAFZ'de ise ortalama 9 mm/yıl olarak belirlenmiştir (Reilinger ve ark., 2006).



Şekil 1. Türkiye ve çevresinin aktif tektonik haritası (Reilinger ve ark., 2006)

Bingöl Karlıova civarında birleşen iki ana fay zonu arasında kalan bölgenin Tuz Gölü Fay zonunun (TGFZ) doğusunda kalan kesiminde KAFZ ve DAFZ'a koştuk şekilde gelişen Anadolu levhasının iç kısımlarına doğru uzanan birçok diri fay bulunmaktadır. Orta Anadolu'da yer alan diri faylar genelde KD-GB doğrultusunda uzanım gösteren sol yanal atımlı faylarla karakterize edilmektedir (Duman ve ark.,2017). Orta Anadolu Bölgesi'ndeki depremselliği denetleyen yanal atımlı faylar arasında Ecemiş Fayı, Deliler Fayı, Doğanşehir Fay Zonu, Cihanbeyli Fayı, Sungurlu Fayı, Orta Fayı, Malatya Fayı, Çatalçam Fayı, Ovacık fayı ve Sarız Fayı yer almaktadır (Şekil 2).

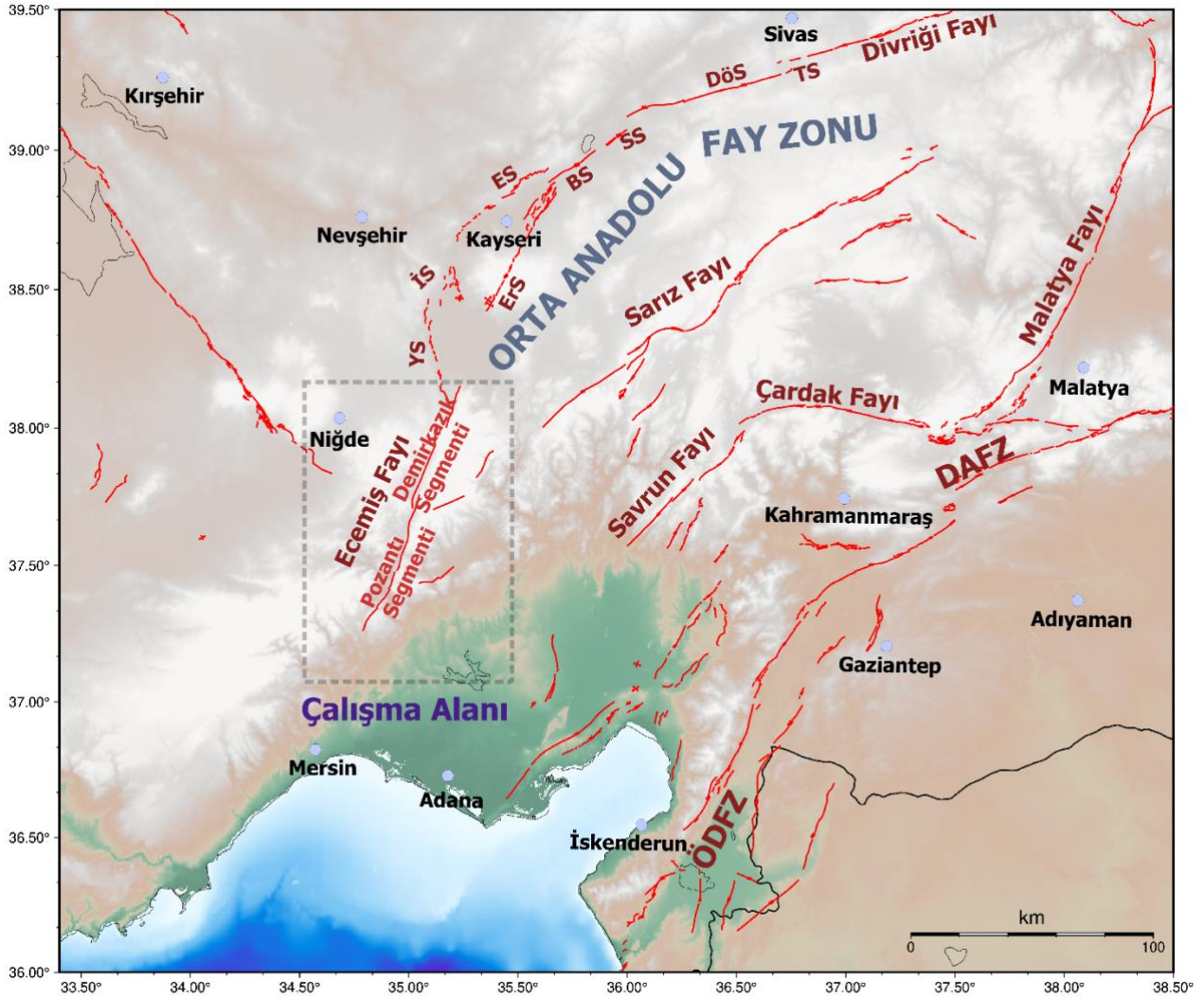
Günümüzde GNSS teknolojisiyle faylar üzerindeki deprem öncesi, deprem anı ve deprem sonrası hareketlerin belirlenmesi mümkündür. Tektonik hareketlerin izlenebilmesi amacıyla kurulan GNSS ağlarında periyodik olarak gerçekleştirilen ölçülerin değerlendirilmesiyle yüksek doğruluk ve hassasiyete sahip nokta koordinatları ile birlikte noktasal hızlar elde edilmektedir. Bu hızlar yardımıyla aktif faylar denetiminde deformasyona uğrayan bölgeye ilişkin yorumlar yapılabilmektedir. Sismik tehlike analizi, fayların kinematik yapıları ve meydana gelen depremler sonrasında kabuksal deformasyonun belirlenmesine ilişkin önemli parametreler GNSS ölçülerinin değerlendirilmesiyle elde edilen noktasal hızlara dayalı olarak geliştirilen bağıntılarla hesaplanabilmektedir. Jeodezik olarak hesaplanabilen önemli parametreler arasında yer alan bir depremin neden olduğu kalıcı yer değiştirme miktarı (atım), yanal atımlı faylarda blokların birbirine göre yanal hareketlerini izlemek amacı fay hattına dik kesitler olacak şekilde tasarlanan GNSS ağlarında gerçekleştirilen periyodik ölçüler ile hassas bir şekilde belirlenebilir. Özellikle deprem sonrası dönemde kabuksal deformasyonun ve yer değiştirme miktarının belirlenmesinde GNSS verilerinin statik ve kinematik yöntemlerle değerlendirildiği birçok çalışma dikkat çekmektedir (Tiryakioğlu ve ark., 2017a, Tiryakioğlu ve ark., 2017b, Tiryakioğlu ve ark., 2018, Aktuğ ve ark.,2021, Eyübagil ve ark.,2021, Şafak ve ark.,2023, Yenice ve ark., 2023).

Bu çalışmada 121Y409 numaralı TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu) projesi kapsamında 2022 yılının Nisan-Mayıs aylarında Ecemiş Fayı çevresinde kurulan ve Temmuz ayında ilk kampanya ölçüleri gerçekleştirilen GNSS ağında, 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sonrasında meydana gelen deformasyonlar incelenmiştir. 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri öncesi ve sonrası birer kampanya ölçüsü bulunan GNSS ağında nokta bazında atım miktarlarının belirlenmesi için proje kapsamında kurulan ağ genişletilmiştir. Güncellenen ağda yer alan TUTGA (Türkiye Ulusal Temel GPS Ağı) ile TUSAGA- Aktif (Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı-Aktif) istasyonlarının deprem öncesi hızları ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem sonrası hızları kullanılarak ağda yer alan kampanya tipi noktalar için enterpolasyon yöntemiyle hız kestirimi yapılmıştır. Enterpolasyon ile elde edilen hızlar kullanılarak noktaların deprem öncesi ve sonrası koordinatlarının deprem anı epöğuna kaydırılmasıyla kampanya tipi gözlenen noktalarda depremin neden olduğu atım miktarları elde edilmiştir.

2. Bölgenin Tektonik Yapısı ve Depremselliği

Anadolu bölgesi, dünya üzerinde sismik aktivitelerin en yoğun şekilde gözlemlendiği bölgeler içerisinde yer almaktadır (McKenzie, 1972). Anadolu'nun güncel tektonik kinematığında ana rol oynayan iki temel yapı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) olarak bilinmektedir. Kuzey Ege Denizi ile Karlıova arasında yaklaşık 1400 km uzunluğunda doğu-batı uzanımlı sağ yanal atımlı KAFZ zonu, Karlıova havzasında DAFZ zonu ile kesişmektedir. DAFZ KD-GB doğrultusunda Karlıova-Antakya arasında yaklaşık 600km boyunca uzanım göstermektedir. Anadolu bölgesinin orta kesimlerine doğru gözlemlenen bu iki ana fay zonuna paralel olarak gelişen ikincil fay sistemlerine ek olarak bölgede yer alan karmaşık fay kinematığı birçok jeolojik ve jeodezik araştırmaya konu olmuştur (Toprak ve Göncüoğlu 1993, Tatar ve ark., 1996, 2002, Reilinger ve ark., 1997, Koçyiğit ve Beyhan 1998, Platzman ve ark., 1998, McClusky ve ark., 2000, Koçyiğit ve Erol 2001, Ayhan ve ark., 2003, Koçyiğit 2003, Aktuğ ve ark., 2009, Çiner ve ark., 2011, Aktuğ ve ark., 2013, Yıldırım 2014, Simao ve ark., 2016, Gezgin ve ark., 2020, Gezgin ve ark., 2022) Anadolu'nun orta kesimlerinde yer alan ikincil fay sistemlerine örnek olarak sol yanal Orta Anadolu fay zonu, sağ yanal doğrultu atımlı bileşene sahip normal bir fay zonu olan TGFZ, İnönü-Eskişehir fay sistemi ve Akşehir fay zonu verilebilir (Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Koçyiğit ve Beyhan, 1998; Dirik, 2001; Koçyiğit, 2003; Koçyiğit ve Özacar, 2003).

Koçyiğit ve Beyhan (1998), kuzeydoğuda Düzyayla ile güneybatıda Anamur ilçesi arasında, yaklaşık 730 km uzunluğunda 2-80 km genişliğindeki KD doğrultulu aktif sol yönlü doğrultu atımlı fay zonunu Orta Anadolu Fay Zonu olarak adlandırmışlardır (Şekil 2). Yazarlara göre bu zonun orta kesimini, Orta ve Doğu Toroslar'ı birbirinden ayıran, K25D gidişli, sol yönlü doğrultu atımlı Ecemiş Fay Zonu oluşturur. Bu zonun Erciyes (Kayseri) ile Taşucu (Mersin) arasındaki uzunluğu yaklaşık 300 km, genişliği yaklaşık 7-8 km ve toplam atımı da yaklaşık 80 km'dir (Yetiş, 1978). Emre ve ark., (2013) Türkiye Diri Fay Haritası Adana paftasında fayı Ecemiş Fayı olarak adlandırmıştır. Türkiye Sismotektonik Haritası Diri Fay Parametreleri ekinde ise Ecemiş Fayı Orta Anadolu Fay Sistemi içinde değerlendirilmiş, Demirkazık ve Pozantı segmentleri adı ile iki ayrı segmente ayrılmıştır (Duman ve ark., 2017). Ecemiş Fayı ilk kez Blumenthal (1952) tarafından adlandırılmış olup, belirgin bir düşey atıma sahip aktif sol yanal doğrultu atımlı fay olarak değerlendirilmiştir. Fay değişik araştırmacılarca, Orta Anadolu Fay Zonu'nun önemli bir neotektonik yapısı olarak kabul edilmektedir (Blumenthal, 1952; Metz, 1956; Ketin, 1960; Pavoni, 1961; Dirik ve Göncüoğlu, 1996; Koçyiğit ve Beyhan, 1998).



Şekil 2. Orta Anadolu Fay Zonu ve bu zon içinde yer alan fay segmentleri ile inceleme alanının harita üzerinde gösterimi.

(Kısaltmalar: TS: Tecer segmenti, Dös: Dökmetaş segmenti, SS: Sarioğlan segmenti, BS: Bünyan segmenti, ErS: Erciyes segmenti, ES: Erkiilet segmenti, İS: İncesu segmenti, YS: Yeşilhisar segmenti, EÇH: Erciyes Çek-Ayır Havzası, EF: Ecemiş Fayı, DS: Demirkazık Segmenti ve PS: Pozantı segmenti. Faylar ve adlandırmaları Emre ve ark., 2013'den alınmıştır.)

Ecemiş Fayı içindeki segmentler üzerinde sınırlı sayıda jeolojik ve paleosismolojik çalışmalar vardır. Çetin (2000) tarafından yapılan çalışmalarda Ecemiş Fayı'nın son 35.000 yılda hareket ettiği öngörülmekte ve Amerikan Nükleer Reaktörler Komisyonu'nun (NRC) tanımlamasına göre aktif olduğu düşünülmektedir. Bu çalışmada tarihsel dönemde fay üzerinde 6.5 ve üzeri büyüklükte en azından üç ayrı depremin olduğu gösterilmiş ve benzer büyüklükte depremlerin yaklaşık olarak son 10.000 yılda meydana gelmediğini belirtmiştir.

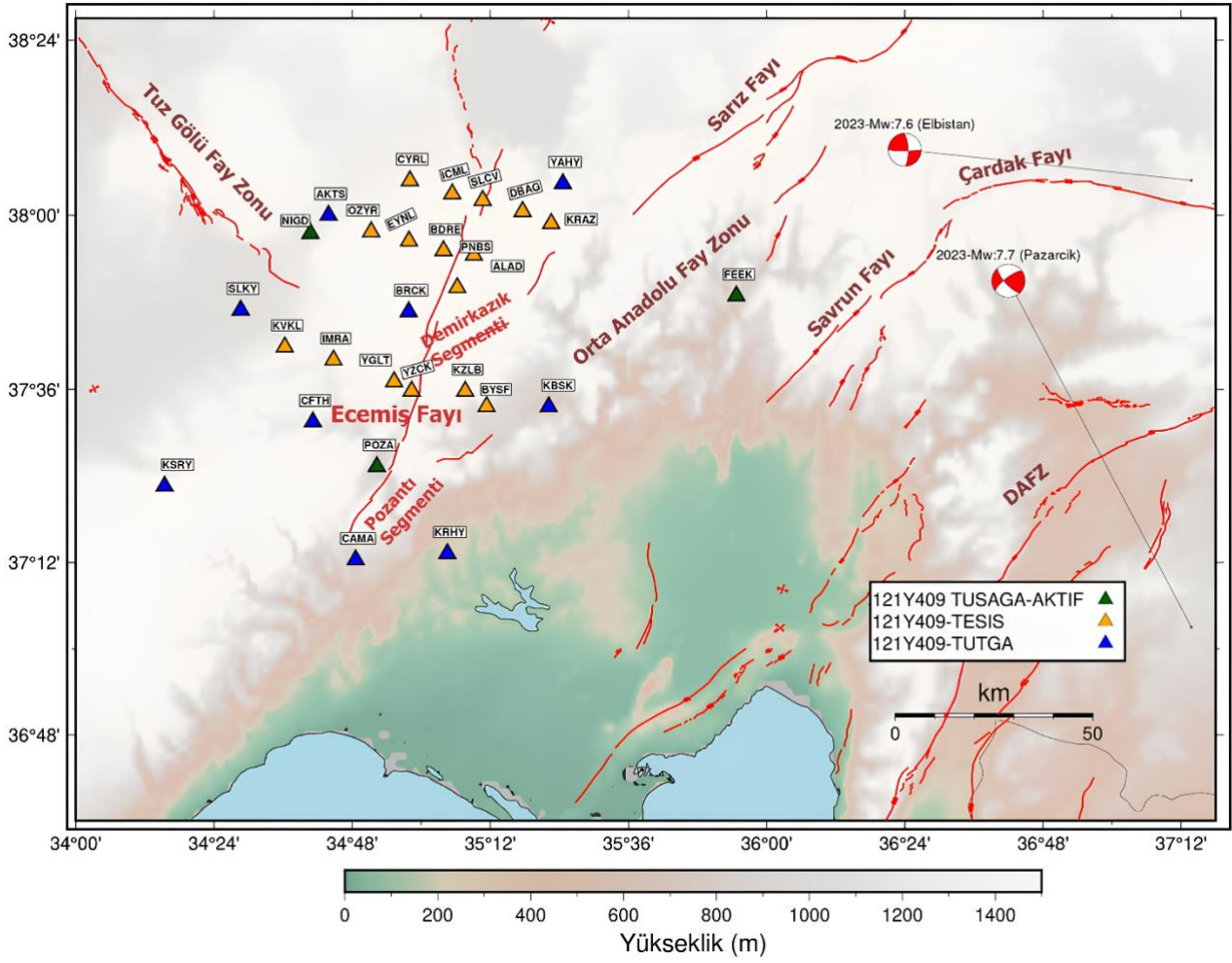
Sarıkaya ve ark., (2015a) tarafından yapılan Orta-Geç Pleyistosen'den bu yana yüzey faylanması oluşturmuş herhangi bir deprem meydana gelmediğini belirtmiştir. Bununla birlikte tarihsel dönemde Ecemiş Fayı çevresindeki Kayseri-Adana-Nevşehir yerleşimlerini etkileyen yıkıcı depremler olmuş, aletsel dönemde ise mikro deprem aktivitesi devam etmiştir.

Ecemiş Fayının kayma hızı ile ilgili yapılmış jeolojik çalışmalar da bulunmaktadır. Higgins ve ark., (2015) yaptıkları çalışmada Ecemiş Fayı'nın Geç Kuvaterner dönemindeki yıllık minimum kayma hızını 1.1 ± 0.4 mm olarak önermiş ve bunun daha önce önerilen kayma hızı değerlerinden daha düşük olduğunu belirtmişlerdir.

Türkiye genelinde birçok faya ait kayma hızlarına yönelik sayısal veriler sunan Reilinger ve ark., (1997), McClusky ve ark., (2000) ve Reilinger ve ark., (2006) çalışmalarında Ecemiş Fayı'nın bulunduğu bölgede GPS noktası bulunmamaktadır. Bölgede, GPS ölçülerinin kullanıldığı tek çalışma olan Aktuğ ve ark., (2013)'nde Ecemiş fayı ve çevresi için yeni bir jeodezik GPS ağı kurulmamış, çalışma Orta Anadolu ölçeğinde ele alınmıştır ve Ecemiş fayı sadece 4 adet GPS noktası ile temsil edilmiştir. Bu sebeple bu çalışmada kullanılan ağıdaki nokta yoğunluğu Ecemiş Fayı üzerindeki deformasyon birikiminin belirlenmesi için yeterli değildir. Aktuğ ve ark., (2013) Ecemiş Fayı üzerindeki nokta hızlarını en büyük 21.2 mm/yıl en küçük ise 13.2 mm/yıl olarak elde etmiştir. Bu durum çalışma bölgesinde hızların kuzeyden güneye doğru azaldığını göstermektedir. Bu çalışmadaki jeodezik verilerden elde edilen kayma hızları, bölgede daha önce gerçekleştirilen farklı jeolojik çalışmalarda önerilenin aksine Ecemiş Fayı'nın tektonik olarak daha yüksek hızla hareket ettiğini işaret etmektedir.

3. Materyal Metot

Ecemiş Fayı ve çevresindeki kabuksal deformasyonunu jeodezik yöntemlerle incelenmesi amacıyla 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında faya dik profiller oluşturulacak şekilde bir GNSS ağı tasarlanmıştır.



Şekil 3. 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan 28 noktalı GNSS ağı

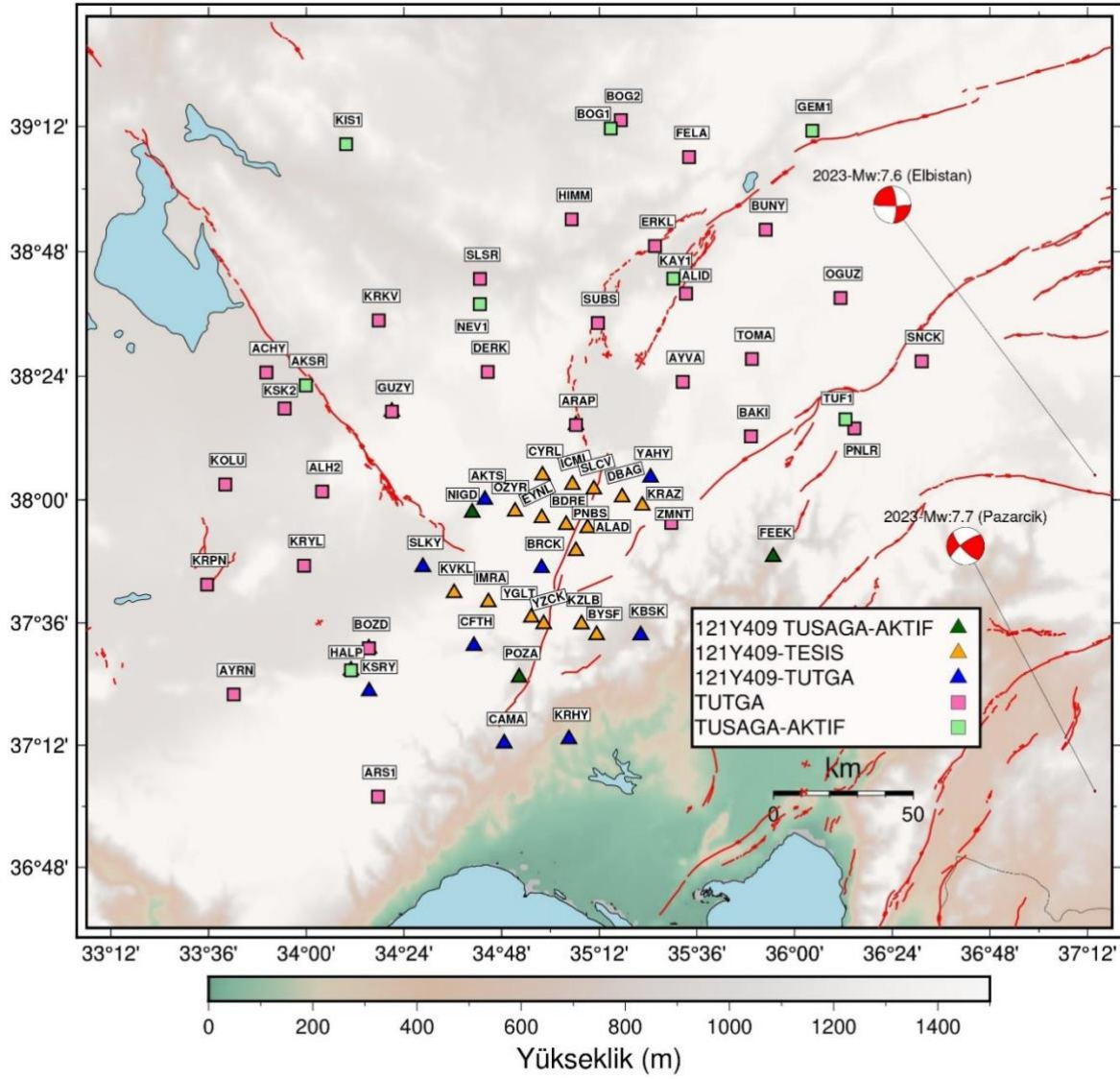
Çalışma bölgesinin sismojenik zon derinliğinin, bölgede meydana gelen depremlerin derinlik dağılımı göz önünde bulundurulduğunda yaklaşık 10 km olduğu bilinmektedir (URL-1). Oluşturulan profiller içerisindeki nokta sayısı, bu noktaların faya olan uzaklığı ve dağılımı sismojenik zon kalınlığı baz alınarak belirlenmiştir. Ecemiş Fayı'nın kabuksal deformasyonunu belirlemek amacıyla fayın her iki tarafında sırası ile 1-2 km, 10 km, 15 km, 25 km ve yaklaşık 50 km olmak üzere 16 yeni GNSS noktası tesis edilmiştir. 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında çalışma bölgesi içerisinde yer alan Ecemiş fayına yakın 9 adet TUTGA noktası ve 3 adet TUSAGA-Aktif istasyonu ağa dahil edilerek 28 noktalı Ecemiş fayı GNSS ağı oluşturulmuştur. Zorunlu merkezlendirme ve anten yükseklik hatalarının en aza indirgenmesinin yanı sıra tesis edilecek noktaların tahrip olma riskinden kaçınmak amacıyla tesisi planlanan noktalarda pilye tipi tesis tercih edilmiştir (Şekil 3). Tiryakioğlu ve ark., (2010) ve Şafak ve ark., (2020)'de belirtilen hususlar dikkate alınarak; tüm kampanya ölçüleri iki gün tekrarlı ve minimum 8 saat şeklinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 4. 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında gerçekleştirilen kampanya ölçüleri (a)ALAD, b) YZCK, c) DBAG, d) ULUP)

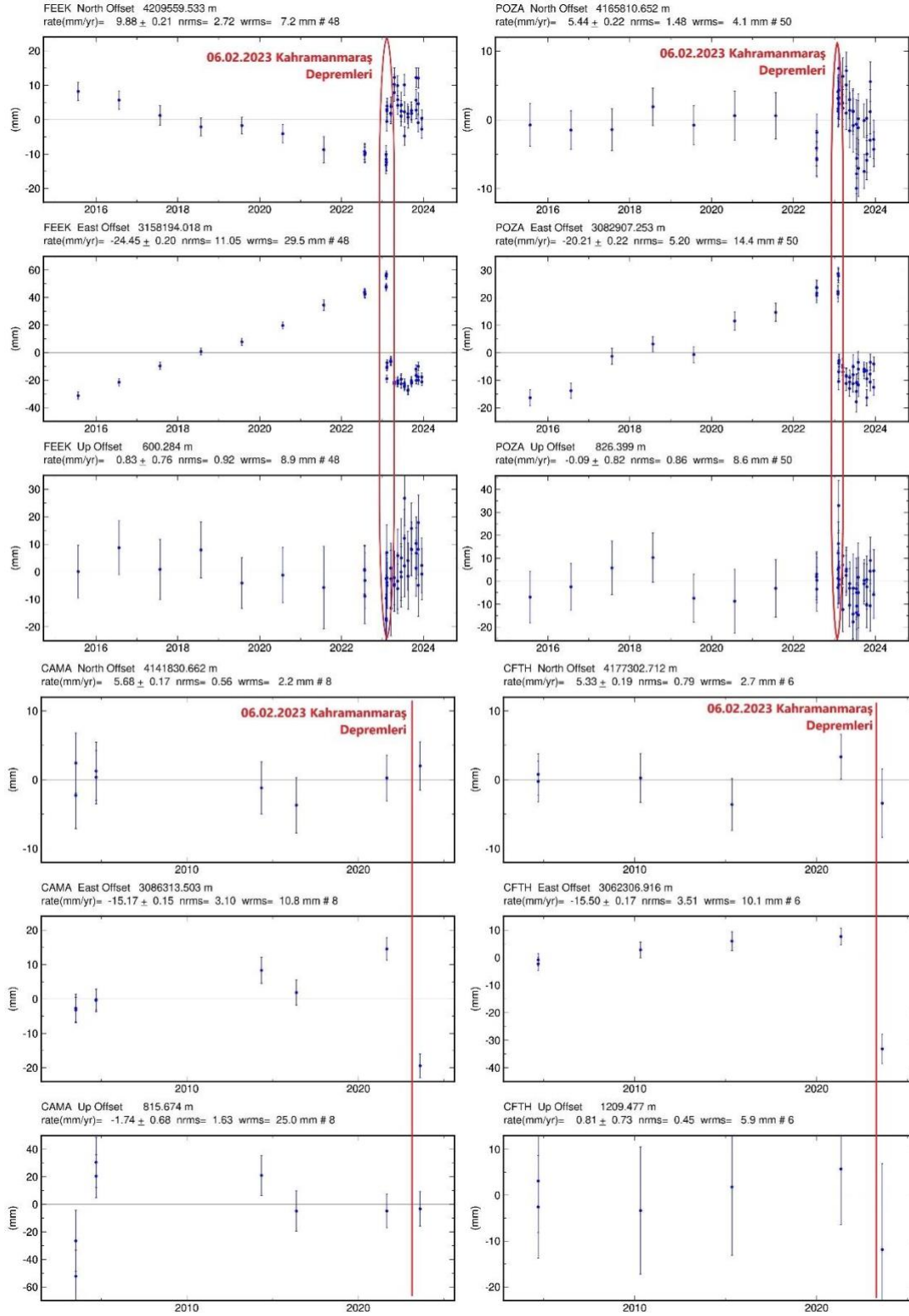
Oluşturulan GNSS ağına 2022 yılı Temmuz ayında gerçekleştirilen 1. kampanya ölçülerinin ardından 7 ay sonra Kahramanmaraş depremleri meydana gelmiştir (URL-2). İkinci kampanya ölçüleri 2023 Temmuz ayında gerçekleştirilmiştir (Şekil 3).

6 Şubat Kahramanmaraş depremleri öncesi ve sonrası birer kampanya ölçüsü bulunan GNSS ağına nokta bazında yer değiştirme miktarlarının belirlenmesi için proje kapsamında kurulan ağ genişletilmiştir. Meydana gelen depremlerin ağ dışında etkisini görmek için bölgede bulunan 28 adet TUTGA noktası ve 8 adet TUSAGA-Aktif istasyonu ağına dahil edilmiş ve değerlendirilen nokta sayısı 64 adete ulaşmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma kapsamında güncellenen 64 noktalı GNSS ağı

Kosmik deformasyonun belirlenebilmesi için deprem öncesi yapılan 1. Kampanya GNSS ölçümlerinin ve deprem sonrası yapılan 2. Kampanya GNSS ölçümlerinin deprem anı epoklarına taşınması gerekmektedir. Bu nedenle birinci kampanya ve ikinci kampanya arasında meydana gelen Kahramanmaraş depremleri sonrası Ecemiş fayı ve çevresindeki kosmik deformasyonun belirlenmesi için güncellenen GNSS ağındaki noktalara ilişkin deprem öncesi ve sonrası hızlarının bilinmesi gerekmektedir. Kampanya tipi noktalarda hız kestirimi, genişletilen ağda yer alan TUTGA ve TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi ve sonrası hızları yardımıyla ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemiyle yapılmıştır. Öncelikli olarak TUTGA noktaları ile TUSAGA Aktif istasyonlarına ait GNSS verilerinin temini sağlanmıştır. Güncellenen ağda yer alan tüm TUTGA noktalarının deprem öncesi ve deprem sonrası verileri Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.



Şekil 6. FEEK ile POZA isimli TUSAGA Aktif İstasyonları ve CAMA ile CFTH isimli TUTGA noktalarına ait uzun dönem zaman serisi

Ağa dahil edilen TUSAGA-Aktif istasyonlarının deprem öncesi ve deprem sonrası verileri ise TUSAGA Aktif Sistemi Web Portalı üzerinden elde edilmiştir (URL-3). Temin edilen GNSS verileri ile birlikte kampanya tipi noktalara ait GNSS verilerinin tamamı GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilmiştir. Bu değerlendirmeler sonucunda elde edilen CAMA ve CFTH isimli TUTGA

noktaları ile POZA ve FEEK isimli TUSAGA Aktif istasyonlarına ait zaman serileri Şekil 6'da verilmiştir

GAMIT/GLOBK değerlendirme stratejisi olarak iyonosferden bağımsız çözüm seçilmiştir, troposfer modeli olarak saastamoinen, yörünge bilgisi Scripps Orbit ve Permanent Array Center (SOPAC) veri tabanından elde edilen hassas uydu yörünge bilgileri (IGS_FINAL) kullanılmıştır. International GNSS Service (IGS) ağında bulunan ve zaman serileri tutarlı 25 adet IGS istasyonu değerlendirmeye dahil edilmiştir. Her iki kampanya ölçüsüne ait verilerin değerlendirilmesi ile noktaların GNSS ölçümü gerçekleştirilen kampanya ölçü epoğunda ITRF14 koordinatları elde edilmiştir.

TUTGA noktaları ve TUSAGA Aktif istasyonlarının deprem öncesi döneme ait minimum 3 kampanya GNSS verisi GAMIT/GLOBK yazılım takımıyla değerlendirilerek bu noktalara ilişkin deprem öncesi hızlar (ITRF14_Eura) elde edilmiştir. Benzer şekilde Maraş depremlerinden 6 ay sonra yapılan 2. Kampanya GNSS ölçümlerinden kosismik etkiyi gidermek için 11 adet TUSAGA Aktif istasyonunun deprem sonrası dönemini kapsayan (07.02.2023-07.12-2023 arası) 10 aylık verisi değerlendirilmiştir. Veriler deprem sonrası için her aydan 3 gün olarak seçilmiştir. Gerçekleştirilen değerlendirmeler ile bu istasyonlara ait deprem sonrası hızlar (ITRF14_Eura) elde edilmiştir.

Kampanya tipi noktalarda hız kestirimi, hızları bilinen en yakın 3 noktanın hız ortalaması alınarak ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon yöntemiyle yapılmıştır. Bu yöntemde öncelikle üç boyutlu uzayda koordinat ve hızları bilinen noktaların P noktasına olan uzaklıkları bulunur. Bunun için aşağıdaki eşitlik kullanılır (Baykal ve ark., 2009).

$$S_1 = \sqrt{(X_1 - X_p)^2 + (Y_1 - Y_p)^2 + (Z_1 - Z_p)^2} \quad (1)$$

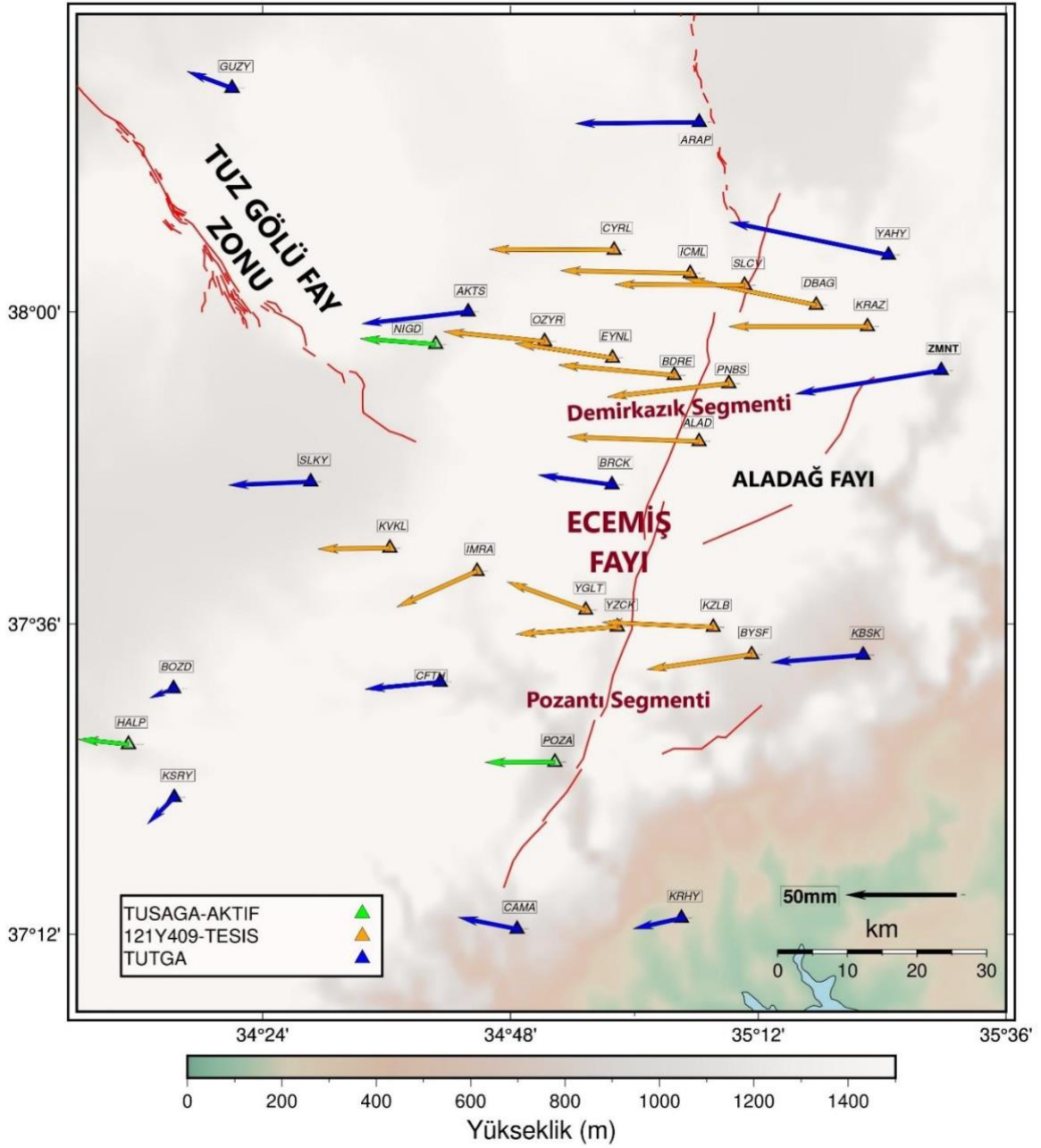
Her üç noktanın P noktasına olan uzaklıkları bulunduktan sonra aşağıdaki eşitlikler yardımıyla P noktasının hızı enterpolasyon yöntemiyle bulunur.

$$V_{Xp} = \frac{\left((v_{X\frac{1}{S_1}}) + (v_{X\frac{2}{S_2}}) + (v_{X\frac{3}{S_3}}) \right)}{\left(\left(\frac{1}{S_1} \right) + \left(\frac{1}{S_2} \right) + \left(\frac{1}{S_3} \right) \right)} \quad (2)$$

$$V_{Yp} = \frac{\left((v_{Y\frac{1}{S_1}}) + (v_{Y\frac{2}{S_2}}) + (v_{Y\frac{3}{S_3}}) \right)}{\left(\left(\frac{1}{S_1} \right) + \left(\frac{1}{S_2} \right) + \left(\frac{1}{S_3} \right) \right)} \quad (3)$$

$$V_{zP} = \frac{\left((V_{zS_1}^{-1}) + (V_{zS_2}^{-2}) + (V_{zS_3}^{-3}) \right)}{\left(\left(\frac{1}{S_1} \right) + \left(\frac{1}{S_2} \right) + \left(\frac{1}{S_3} \right) \right)} \quad (4)$$

Burada hesaplanan V_x , V_y ve V_z P noktasının enterpolasyon yöntemiyle hesaplanan hızlarıdır. Formül 1-4 kullanılarak ağda yer alan kampanya tipi noktalara ait deprem öncesi hızların hesaplanmasında yapılan değerlendirmeler sonucunda TUSAGA-Aktif istasyonları ve TUTGA noktalarının deprem öncesi hızları kullanılarak elde edilmiştir. Bu hızlar kullanılarak kampanya tipi noktaların koordinatları depremin meydana gelmeden bir gün öncesine ait ölçü epoğuna (2023.1) kaydırılmıştır. Benzer şekilde belirtilen bağıntı (Formül 1-4) yardımıyla TUSAGA-Aktif istasyonların deprem sonrası döneme ait verilerinin değerlendirilmesi ile elde edilen hızlar kullanılarak kampanya tipi noktalar ve TUTGA noktalarının deprem sonrası hızları hesaplanmıştır. Hesaplanan bu hızlar yardımıyla kampanya tipi noktalar ve TUTGA noktalarının son ölçü epoğuna ait koordinatları depremden bir gün sonraki ölçü epoğuna kaydırılmıştır.



Şekil 8. 121Y409 numaralı proje kapsamında oluşturulan GNSS ağı ve çevresinde yer alan noktalara ilişkin hesaplanan atımlar

4. Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, Ecemiş Fayı ve çevresindeki kabuksal deformasyonun belirlenmesini amaçlayan 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan GNSS ağına 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sonrası meydana gelen kosismik deformasyon incelenmiştir. Proje kapsamında oluşturulan 28 noktalı GNSS ağı, çalışma bölgesi çevresinde yer alan TUTGA noktaları ve TUSAGA-Aktif İstasyonları eklenerek 64 noktalı güncel bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Proje kapsamında oluşturulan GNSS ağına deprem öncesi ve deprem sonrası birer kampanya GNSS ölçümü gerçekleştirilmiştir. Kampanya tipi noktalarda deprem öncesi ve deprem sonrası hızlar bir

kampanya GNSS ölçümü ile belirlenemeyeceğinden deprem öncesi minimum 3 kampanya ölçümü değerlendirilerek hızı elde edilen noktalar yardımıyla kampanya tipi noktaların deprem öncesi hızı enterpolasyon yöntemi ile hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktaların deprem sonrası hızları ise 11 adet TUSAGA Aktif istasyonunun deprem sonrası döneme ait hızları kullanılarak enterpolasyon yöntemiyle hesaplanmıştır. Kampanya tipi noktalarda atım miktarının belirlenebilmesi için enterpolasyon ile elde edilen deprem öncesi ve deprem sonrası hızlar kullanılarak deprem anı epöğuna kaydırılan koordinatlar arası fark alınmıştır. Çalışma kapsamında genişletilen GNSS ağındaki TUSAGA Aktif istasyonlarına ait hesaplanan atımlar, Eyübagil ve ark., (2023) çalışmasında Elbistan (Mw:7.6) depremi için hesaplanan atımlar ile doğrultu ve büyüklük yönünden benzerlik göstermektedir. 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan GNSS ağında yer alan tüm noktalar ile birlikte ağı çalışma kapsamında güncellenmesi ile ağı eklenen TUTGA noktalarının nokta bazında hesaplanan atım değerleri incelenmiştir. Proje GNSS ağında yer alan TUSAGA Aktif istasyonları içerisinde en yüksek atım, Pazarcık (Mw:7.7) ve Elbistan (Mw:7.6) depremlerinin merkez üssüne en yakın mesafede bulunan (kuş uçuşu 116 km ve 119 km) FEEK isimli istasyonda 66 mm olarak hesaplanmıştır. B Çalışma kapsamında oluşturulan güncel GNSS ağı içerisinde yer alan TUTGA noktalarının atım değerleri incelendiğinde genel olarak bölgenin kuzey kesiminde benzer çizgisellik gösteren Savrun-Çardak fayları ile Sarız fayı arasında kalan bölgede yüksek atım değerleri görülmektedir (Şekil 8.). Bu bölgede hesaplanan KB-GD doğrultulu atımlar içerisinde en yüksek atım miktarı SNCK isimli TUTGA noktasında vektörel olarak 518 mm hesaplanmıştır. Güney kesime doğru inildikçe Aladağ Fayı ile Ecemiş Fayı'nın Demirkazık Segmenti arasında kalan bölgede yer alan TUTGA noktalarında hesaplanan en yüksek atım değeri YAHY noktasında elde edilmiştir. Bu nokta için hesaplanan değer 73 mm'dir. Bu bölgede TUTGA noktalarında hesaplanan atım değerleri vektörel olarak 56 mm - 73 mm arasında değişkenlik göstermektedir (Şekil 8.).

Çalışma bölgesinde yer alan TUTGA noktalarının, bölgenin doğusundan batısına doğru Pazarcık (Mw:7.7) ve Elbistan (Mw:7.6) depremlerinin merkez üslerinden uzaklaştıkça atım değerlerinin küçüldüğü belirlenmiştir (Şekil 7). Ecemiş fayı ve çevresinde yer alan proje kapsamında tesis edilen noktalarda D-B doğrultuya sahip atım değerleri incelendiğinde en yüksek KRAZ noktasında 62 mm , en düşük KVKL noktasında 32 mm olarak hesaplanmıştır. Bölgede Maraş depremleri sonrası en kapsamlı jeodezik çalışma olan Özkan ve ark. (2023)'de de depremlerin meydana getirdiği atım değerlerinin batıya doğru azaldığı görülmektedir. Özkan ve ark. (2023)'de Ecemiş Fayı civarındaki TUSAGA-Aktif istasyonlarında hesaplanan atım değerlerinin bu çalışma ile uyum içerisinde olduğu görülmektedir.

Proje kapsamında oluşturulan GNSS ağında toplamda 3 kampanya GNSS ölçümü gerçekleştirilmesi hedeflenmiş ve 2 kampanya GNSS ölçümü tamamlanmıştır. 6 Şubat 2023 tarihinde

meydana gelen depremlerin etkisiyle, Ecemiş Fayı ve çevresinde 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında oluşturulan 28 noktalı GNSS ağıyla birlikte bu çalışma kapsamında bölge çevresinde yer alan TUTGA noktalarının da kosmik deformasyona maruz kaldığı tespit edilmiştir.

121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi kapsamında Ecemiş Fayı ve çevresindeki aktif tektonik ve bölgenin depremselliğine ilişkin jeolojik ve jeodezik yöntemler ile multidisipliner bir çalışma yürütülmektedir. Ecemiş fayının Demirkazık ve Pozantı segmentleri üzerinde gerçekleştirilmekte olan paleosismoloji çalışmaları ile geçmişte meydana gelmiş tarihsel/tarih öncesi depremlerin yöntemlerle belirlenmesi; tarihsel/tarih öncesi deprem aktivitesi, eski depremlerdeki büyüklük, kayma miktarı ve hızları, deprem tekrarlanma aralığı, son depremden sonra geçen sürenin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Bu doğrultuda Demirkazık ve Pozantı segmentleri üzerinde hendek tabanlı paleosismoloji çalışmalarına ilişkin stratigrafik ve yaş tayin analizleri devam etmektedir.

Teşekkür

Bu çalışma “Ecemiş Fayı’Nın Kabuksal Deformasyonunun Jeodezik ve Paleosismolojik Yöntemlerle İncelenmesi” isimli 121Y409 numaralı TÜBİTAK projesi tarafından desteklenmektedir. Desteklerinden dolayı TUBİTAK ve GNSS ağında yer alan noktalara ilişkin veri teminin sağlanmasında çalışmayı destekleyen Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü ve Harita Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederiz.

Yazarların Katkısı

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduğunu beyan eder.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Aktug, B., Lenk, O., Gürdal, M.A., and Kilicoglu, A., (2009). Establishment of regional reference frames for detecting active deformation areas in Anatolia. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 2 (53), 169–183. <http://doi.org/10.1007/s11200-009-0011-0>
- Aktug, B., Parmaksız, E., Kurt, M., Lenk, O., Kılıçoğlu, A., Gürdal, M. A., and Özdemir, S., (2013). Deformation of Central Anatolia: GPS implications. *Journal of Geodynamics*, 67: 78-96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jog.2012.05.008>
- Aktuğ, B., Tiryakioğlu, İ., Sözbilir, H., Özener, H., Özkaymak, Ç., Yiğit, C. O., Solak, H. İ., Eyübagil, E. E., Gelin, B., Tatar, O., and Softa, M. (2021). GPS Derived Finite Source Mechanism of the 30 October 2020 Samos Earthquake, Mw=6.9 in Aegean Extensional Region. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30, 718-737. <https://doi.org/10.3906/yer-2101-18>
- Ayhan, M.E., Aktug, B., Acıkgöz, M., Demir, C., Lenk, O., and Reilinger, R., (2003, September). Contemporary Crustal Deformation in Turkey Constrained by Global Positioning System Measurements between 1992 and 2002. In: *International Workshop on the North Anatolian, East Anatolian, and Dead Sea Fault Systems: Recent Progress in Tectonics and Paleoseismology, and Field Training Course in Paleoseismology*, Ankara, The Cultural and Convention Center of the Middle East Technical University (METU).
- Barka, A., and Reilinger, R., (1997). Active Tectonics of the Eastern Mediterranean Region: Deduced from GPS, Neotectonic and Seismicity Data. *Annali Di Geofisica*, 40(3). <https://doi.org/10.4401/ag-3892>
- Baykal, O., Tari, E., ve Coşkun, Z., (2009). *Mühendislik Ölçmeleri: 2 Birsen Yayınevi, İstanbul.*
- Blumenthal, M. M., (1952). *New study about tectonic and stratigraphy, geography of high Aladag Mountain on Taurus*. Mineral Research and Exploration Institution, Ankara.
- Çiner, A. Aydar, E. Dirik, K. Rojay, B. Özsayın, E. Ersoy, O. Çubukçu, E. Kutluay, A. and Yıldırım, C. (2011). Vertical Anatolian Movement Project (VAMP), TÜBİTAK Project No: 107Y333. Retrieved from Researchgate [PDF Document] Online Web site: https://www.researchgate.net/publication/253408242_Vertical_Anatolian_Movements_Project_VAMP_a_collaborative_research_project_of_the_TopoEurope_initiative_of_ESF
- Dirik, K., and Göncüoğlu, M. C., (1996). Neotectonic Characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review*, 38: 807-817. <http://dx.doi.org/10.1080/00206819709465363>
- Çetin, H., (2000, Kasım). Ecemiş Fayı Üzerinde Paleosismolojik Kazı Çalışmaları. *Aktif Tektonik Araştırma Grubu 4. Toplantısı*(p.39), Eskişehir, Turkey.
- Dirik, K., Göncüoğlu, M. C. (1996). Neotectonic Characteristics of Central Anatolia. *International Geology Review*, 38, 807-817. <http://dx.doi.org/10.1080/00206819709465363>
- Dirik, K., (2001). Neotectonic Evolution of the Northwestward Arched Segment of the Central Anatolian Fault Zone, Central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 147-158. [http://dx.doi.org/10.1016/S0985-3111\(00\)01056-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0985-3111(00)01056-1)
- Duman, T. Y., Emre, Ö., Özalp, S., Çan, T., Olgun, Ş., Elmacı, H., and Şaroğlu, F., (2017). *Türkiye ve yakın çevresindeki diri faylar ve özellikleri, Türkiye Sismotektonik Haritası Açıklama Kitabı (Ed. T.Y. Duman)*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Özel Yayınlar Serisi, Ankara-Türkiye.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H., and Çan, T., (2016). Active Fault Database of Turkey. *Bull Earthquake Engineering*.16, 3229-3275. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- Gezgin, C., Tiryakioğlu, İ., Ekercin, S., and Gürbüz, E., (2020). Monitoring of Tectonic Movements of Southern Part of the Tuz Gölü Fault Zone (TGFZ) with GNSS Observations. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20 (3),456-464 (in Turkish with English abstract). <https://doi.org/10.35414/akufemubid.690886>
- Gezgin, C., Ekercin, S., Tiryakioğlu, İ., Aktuğ, B., Erdoğan, H., Gürbüz, E., Orhan, O., Bilgilioğlu, S. S., Torun, A. T., Gündüz, H. İ., Oktar, O., Türkmen, C., and Kaya, E., (2022). Determination of recent tectonic deformations along the Tuz Gölü Fault Zone in CentralAnatolia (Turkey) with GNSS observations. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 31(1),20-33. <https://doi.org/10.3906/yer-2108-10>
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Özalp, S., Elmacı, H., and Olgun Ş (2013). *Açıklamalı Türkiye Diri Fay Haritası, Ölçek 1:1.250.000*. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara,Türkiye.
- Eyübagil, E. E., Solak, H. İ., Kavak, U. S. Tiryakioğlu, I., Sozbilir, H.,Aktuğ, B., and Özkaymak, Ç., (2021). Present-day strike-slip deformation within the southern part of the Izmir-Balikesir Transfer Zone Based

- on GNSS Data and Implications for Seismic Hazard Assessment in western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 30 (2), 143-160. <https://doi.org/10.3906/yer-2005-26>
- Eyübagil, E. E., Şafak Yaşar, Ş., Çakanşimşek, E. B., Duman, H., Solak, H. İ., Özkan, A., Gezgin, C., Yavaşoğlu, H. H., Tiryakioğlu, İ., Poyraz, F., Aktuğ, B., Yiğit, C. Ö., Özkaymak, Ç., and Özener, H., (2023). 6 Şubat 2023 Sofalaca-Şehitkamil Gaziantep (Mw:7.7) ve Ekinözü Kahramanmaraş (Mw:7.6) Depremlerinin GNSS Gözlemlerine Bağlı Öncül Sonuçları. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23, 160-176. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1251601>
- Ketin, İ., (1960). 1/2500000 Ölçekli Türkiye Tektonik Haritası Hakkında Açıklama (Notice Ekplivative). *Bulletin of the Mineral Research and Exploration*, 54(54), 1-7.
- Koçyiğit, A., and Beyhan, A., (1998). A New Intracontinental Transcurrent Structure: the Central Anatolian Fault Zone. *Tectonophysics*, 284, 317–336. [http://doi.org/10.1016/s0040-1951\(97\)00176-5](http://doi.org/10.1016/s0040-1951(97)00176-5)
- Koçyiğit, A., (2003). Orta Anadolu'nun genel neotektonik özellikleri ve depremselliği, *Türkiye Petrol Jeologları Derneği (TPJD) Bülteni*, 5, 1-26.
- Koçyiğit, A., and Erol, O., (2001). A Tectonic Escape Structure: Erciyes Pull-Apart Basin, Kayseri, Central Anatolia, Turkey. *Geodinamica Acta*, 14, 133–145. <https://doi.org/10.1080/09853111.2001.11432439>
- Koçyiğit, A., and Özacar, A., A., (2003). Extensional Neotectonic Regime Through the NE Edge of the Outer Isparta Angle, SW Turkey: New Field and Seismic Data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 12 (1), 67-90.
- McClusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., and Ergintav S., (2000). Global Positioning System Constraints on Plate Kinematics and Dynamics in the Eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research*, 105, 5695-5719. <https://doi.org/10.1029/1996JB900351>
- McKenzie, D., (1972). Active tectonics of the Mediterranean Region. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30:109–185. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1972.tb02351.x>
- Metz, K., 1956, Ein Beitrag zur Kenntniss des Gebirgsbaues von Aladağ and Karanfil Dağı und ihres Westrandes (Kilikische Taurus): *MTA Bülteni*, 48, 68-78.
- Özkan, A., Solak, H. İ., Tiryakioğlu, İ., Şentürk, M. D., Aktuğ, B., and Yavaşoğlu, H. H. (2023). Characterization of the co-seismic pattern and slip distribution of the February 06, 2023, Kahramanmaraş (Turkey) earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) with a dense GNSS network. *Tectonophysics*, 866, 230041. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230041>
- Pavoni, N., (1961). *Die Nordanatolische Horizontalverschiebung*. Geologischen Rundschau, 51, Rundschau, Band.
- Platzman, E.S., Tapirdamaz, C., and Sanver, M., (1998). Neogene Anticlockwise Rotation of Central Anatolia (Turkey): Preliminary Palaeomagnetic and Geochronological Results. *Tectonophysics*, 299, 175–189. [http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951\(98\)00204-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0040-1951(98)00204-2)
- Reilinger, R., McClusky, S., Oral, M., King, R., Toksoz, M., Barka, A., Kinik, I., Lenk, O., Sanli I., (1997). Global Positioning System Measurements of Present-day Crustal Movements in the Arabia–Africa–Eurasia Plate Collision Zone. *Journal of Geophysical Research*, 102, 9983–9999. <https://doi.org/10.1029/96JB03736>
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Çakmak, R., Özener, 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., and Evren, E., (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*, 111.
- Sarıkaya, M. A., Yıldırım, C., Çiner, A., (2015). No Surface Breaking on the Ecemiş Fault, Central Turkey, Since Late Pleistocene (~ 64.5 ka); New Geomorphic and Geochronologic Data from Cosmogenic Dating of Offset Alluvial Fans. *Tectonophysics*, 649, 33-46. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2015.02.022>
- Simão, N. M., Nalbant, S. S., Sunbul, F., and Mutlu, A. K., (2016). Central and Eastern Anatolian Crustal Deformation Rate and Velocity Fields Derived From GPS and Earthquake Data. *Earth and Planetary Science Letters*, 433, 89-98. <http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2015.10.041>
- Şafak, Ş., Tiryakioğlu, İ., Erdoğan, H., Solak, H. İ., and Aktuğ, B. (2020). Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities. *Measurement*, 164, 108003. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.108003>
- Şafak Yaşar, Ş., Eyübagil, E. E., and Çakanşimşek, E. B., (2023). 23.11. 2022 (Mw: 5.9) Gölyaka- Düzce Depreminde TUSAGA-Aktif İstasyonlarının Davranışlarının İncelenmesi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23 (3), 712-721. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1230545>
- Şengör, A. M. C., (1979). The North Anatolian Transform Fault: its Age, Offset, and Tectonic Significance. *Journal of the Geological Society*, 136 (3), 269–282. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.136.3.0269>

- Şengör, A. M. C., (1980). *Türkiye'nin neotektoniğinin esasları*. Ankara, Türkiye: Türkiye Jeoloji Kurumu.
- Şengör, A. M. C., Görür, N., and Şaroğlu F., (1985). Strike-slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case Study. *The Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, Special Publication 37, 227-264. <https://doi.org/10.2110/pec.85.37.0211>
- Tatar, O., Piper, J.D.A., Gürsoy, H., and Temiz, H., (1996). Regional Significance of in Central Turkey. *International Geology Review*, 38, 692-700. <https://doi.org/10.1080/00206819709465353>
- Tatar, O., Gürsoy, H., and Piper, J.D.A., (2002). Differential Neotectonic Rotations in Anatolia and the Tauride Arc: Palaeomagnetic Investigation of the Erenlerdag Volcanic Complex and Isparta volcanic district, South-Central Turkey. *Journal of the Geological Society*, 159, 281-294. <https://doi.org/10.1144/0016-7649>
- Tiryakioğlu, İ., Dereli, M. A., Erdoğan, S., ve Gülal, E. (2010). Tektonik hareketlerin belirlenmesine yönelik ölçü kampanyalarında GNSS gözlem sayı ve sürelerinin konum doğruluğuna olan etkilerinin araştırılması. *Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2(2), 32-38.
- Tiryakioğlu, I., Yiğit, C.O., Yavaşoğlu, H., Saka, M.H., and Alkan, R.M., (2017a). The Determination Of Interseismic, Coseismic And Postseismic Deformations Caused By The Gökçeada-Samothraki Earthquake (2014, Mw: 6.9) Based On GNSS Data. *Journal of African Earth Sciences*, 133, 86-94. <http://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2017.05.012>
- Tiryakioğlu, I., Yavasoglu, H., Ugur, M. A., Özkaymak, Ç., Yilmaz, M., Kocaoglu, H., and Turgut, B. (2017b). Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van earthquakes using long-term GNSS time series. *Earth Sciences Research Journal*, 21(3), 147-156. <http://dx.doi.org/10.15446/esrj.v21n3.62812>
- Tiryakioğlu, I., Aktuğ, B., Yiğit, C.Ö., Yavaşoğlu, H.H., Sözbilir, H., Özkaymak, Ç., Poyraz, F., Taneli, E., Bulut, F., Doğru, A., and Özener, H. (2018). Slip Distribution and Source Parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos Earthquake (Mw6.6) From GPS Observations, *Geodinamica Acta*, 30, 1-14. <https://doi.org/10.1080/09853111.2017.1408264>
- Toprak, V., and Göncüoğlu, M. C., (1993). Tectonic Control on the Development of the Neogene-Quaternary Central Anatolian Volcanic Province, Turkey. *Geological Journal*, 28 (3-4): 357-369.
- Yenice, E., Tiryakioğlu, İ., Yilmaz, M., ve Solak, H. İ., (2023). Büyük Depremler Sonrası Kadastral Noktalardaki Değişimlerin İzlenmesi: 30.10.2020 Sisam Depremi (Mw:6.9) Örneği. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 12 (3), 810-815. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1268589>
- Yetiş, C., (1978). *Çamardı (Niğde) Yakın ve Uzak Dolayının Jeoloji İncelemesi ve Ecemiş Yarılım Kuşağı'nın Maden Boğazı-Kamuşlu Arasındaki Özellikleri*, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldırım, C., (2014). Relative Tectonic Activity Assessment of the Tuz Gölü fault zone; Central Anatolia, Turkey. *Tectonophysics*, 630, 183-192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2014.05.023>
- URL-1: <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>, (Erişim Tarihi: 03.02.2024).
- URL-2: <https://www.afad.gov.tr/kahramanmarasta-meydana-gelen-depremler-hk-34>, (Erişim Tarihi: 10.02.2024).
- URL-3: <https://www.tusaga-aktif.gov.tr/Sayfalar/Giris.aspx>, (Erişim Tarihi: 12.01.2024).