

PAPER DETAILS

TITLE: Jeodezik ölçülerle Banaz Fayi'nin güncel tektonik deformasyonu, Aksehir-Simav Fay Sistemi, Bati Anadolu

AUTHORS: Ibrahim Tiryakioglu,Çaglar Özkaymak, Halil Ibrahim Solak, Mehmet Öztürk, Burak Erdem Akyar, Eda Esmâ Eyübagil, Ece Bengünaz Çakansimsek

PAGES: 873-881

ORIGINAL PDF URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3779468>



Jeodezik ölçülerle Banaz Fayı'nın güncel tektonik deformasyonu, Akşehir-Simav Fay Sistemi, Batı Anadolu

Current tectonic deformation of Banaz Fault with geodetic measurements, Akşehir Simav Fault System, Western Anatolia

İbrahim Tiryakioğlu^{1,*} , Çağlar Özkaymak² , Halil İbrahim Solak³ , Mehmet Öztürk⁴
Burak Erdem Akyar⁵ , Eda Esma Eyübagil⁶ , Ece Bengünaz Çakanşimşek⁷

^{1,4,5,6,7} Afyon Kocatepe Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar Türkiye
^{2,3} Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, 03200, Afyonkarahisar Türkiye
² Afyon Kocatepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 03200, Afyonkarahisar Türkiye
³ Afyon Kocatepe Üniversitesi Uzaktan Eğitim Meslek Yüksek Okulu, 03200, Afyonkarahisar Türkiye

Öz

Batı Anadolu'nun en önemli sismik kaynaklarından biri olan Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS), batıda Sındırgı ile doğuda Akşehir arasında KB-GD gidişli ve yaklaşık toplam 400 km uzunluğunda bir dizi fay segmentinden oluşan neotektonik bir yapıdır. Bu segmentlerden biri olan Banaz Segmenti 32 km uzunluğundadır ve ASFS'nin orta kesiminde Banaz ile Simav arasındaki Comburt Vadisi boyunca fay dikliğine sahip bir topografik görünüm sunmaktadır. Bu çalışmada Banaz Fayı'nın geometrisi esas alınarak 27 adet GNSS noktası kurulmuştur. 2016-2023 yılları arasında yıllık periyotlarla 6 adet kampanya ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında elde edilen GNSS ölçümlerine dayalı olarak; öncelikle bölgenin hız alanları hesaplanmıştır. Elde edilen hız vektörleri kullanılarak bölgede yer alan faylar üzerindeki gerilmelerin miktarları ve yönleri belirlenmiştir. Ağda yapılan GNSS gözlemleri bölgenin güneybatı yönünde 20-30 mm/yıl hızlarla hareket ettiğini göstermektedir. Jeodezik hızlar kullanılarak yapılan gerilme analizleri bölgenin yıllık 40-50 nanostrain (ns) civarında deforme olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Banaz Fayı, GNSS, Tektonik, GAMIT/GLOBK, Batı Anadolu

1 Giriş

Günümüzde, jeodezik ölçülerin kabuk hareketlerinin belirlenmesi amacıyla yönelik olarak kullanımı çok yaygınlaşmıştır [1-8]. Özellikle GNSS (Global Navigation Satellite System) teknolojilerinin gelişmesi ve kullanım kolaylığı tektonik hareketlerin izlenmesini kolaylaştırmıştır [9-13]. Genel olarak tektonik hareketlerin modellenmesinde, plakaları temsil eden GNSS istasyonlarının oluşturduğu ağlar kullanılmaktadır. Bu ağlardaki noktaların hareketlerinin belirlenmesinde, koordinatları uzun süren gözlemlere dayalı olarak elde edilmiş IGS (International GNSS Service) noktalarından yararlanılmaktadır.

Batı Anadolu'nun en önemli sismik kaynaklarından birisi olan Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) yaklaşık 400 km

Abstract

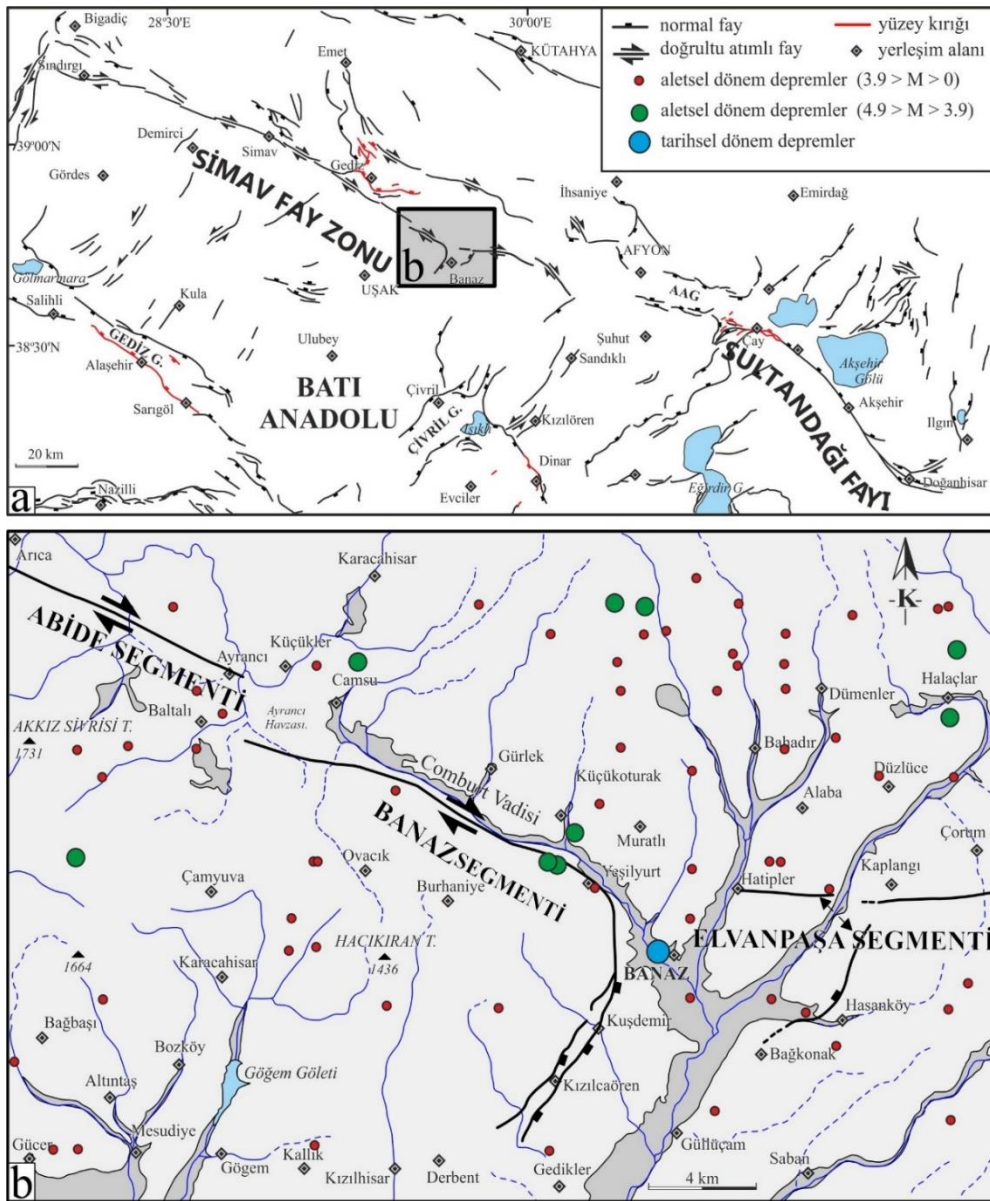
The Akşehir-Simav Fault System (ASFS), which is one of the most important seismic sources of Western Anatolia, is a neotectonic structure consisting of several fault segments that are in NW-SE trending and approximately a total of 400-km in length between Sındırgı in the west and Akşehir in the east. Banaz Segment, which is one of these segments, is 32-km in length and presents a topographic appearance of fault steepness along the Comburt Valley between Banaz and Simav in the middle part of ASFS. In this study, 27 GNSS benchmarks were installed based on the geometry of the Banaz Fault. In the years of 2016, between 2023, six campaign surveys were carried out in yearly periods. Based on the GNSS measurements obtained within the scope of the project; firstly, the velocity fields of the region were calculated. Using the velocity vectors, the amounts and directions of the strains on the faults located in the region were determined. GNSS observations made in the network shows the region is moving in the southwest direction at velocities of 20-30 mm/yr. Strain analyzes performed using geodetic velocities show that the region deforms around 40-50 ns annually.

Keywords: Banaz Fault, GNSS, Tectonic, GAMIT/GLOBK, Western Anatolia

uzunluğunda çok sayıda fay segmentinden oluşan neotektonik bir yapıdır. 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'na göre, ASFS'nin kuzeybatı bölümü 7 farklı segmentten oluşan Simav Fay Zonu ile temsil edilir [14]. Bu segmentlerden birisi olan Banaz Fay Segmenti civarında 30 Eylül 1887 tarihli yıkıcı bir deprem kaydı olmasına rağmen, bu depremin kaynağı ve bölgenin aktif tektonik özellikleri, fay geometrisi ve kinematığı üzerine günümüze değin yapılan çalışmalar oldukça kısıtlıdır [15]. Bölgede ilk jeodezik çalışma 115Y246 nolu TUBİTAK Projesi kapsamında yapılmıştır. Bu çalışmada bölgeye kurulan 21 noktalı GNSS ağıda 3 kampanya GNSS ölçüsü yapılmış ve daha sonraki dönemde yapılacak çalışmalara jeodezik altlık sağlanmıştır.

Simav Fay Zonu, ASFS'nin kuzeybatı bölümünü oluşturan; batıdan doğuya doğru, Sındırgı, Çaysimav, Şaphane, Abide, Banaz, Elvanpaşa ve Sinanpaşa Fay segmentlerinden oluşan, yaklaşık 200 km uzunluğunda ve KB-GD uzanımlı aktif tektonik bir yapıdır. Simav Fay Zonu üzerinde ve yakınlarında aletsel dönemde meydana gelen 25 Haziran 1944 Abide depremi (Ms: 6.0), 28 Mart 1970 Gediz depremi (Ms: 7.2), 25 Mart 1969 Demirci depremi (Ms: 6.0) ile 19 Mayıs 2011 Simav depremi (Mw: 6.0) bölgenin sismik olarak aktif yapısını belgeleyen önemli depremlerdir. Bununla beraber, 15 Aralık 2000 yılında meydana gelen Sultandağı depremi (Mw: 6.0) ve 03 Şubat 2002 tarihli Çay depremleri (Mw: 6.3 ve 6.0) ASFS'nin doğu bölümünü oluşturan Sultandağı Fayı üzerinde meydana gelen önemli depremlerdir. ASFS boyunca mikrosismik hareketlilik günümüzde de kuvvetli bir şekilde devam etmektedir. Ancak

Afyon ile Uşak arasındaki bölge birçok çalışmada sismik boşluk olarak tanımlanmıştır [16-18]. Banaz Fayı da bu sismik boşluk üzerinde yer almaktadır. İlk defa Koçyiğit vd. [19] tarafından Gürlek Fayı ve Kızılcaören Fayı olarak iki ayrı fay şeklinde haritalanan Banaz Fayı, oblik atımlı normal fay olarak tanımlanmıştır. Emre vd. [14] tarafından yayınlanan Türkiye Diri Fay Haritası'nda Banaz Fayı adı ile tek bir segment olarak tanımlanmıştır. Simav Fay Zonu'nun Abide Segmenti, güneydoğusunda Ayrancı köyü civarında sağa sıçrayarak Banaz Fay Segmentine geçiş yapar. Banaz Fay Segmenti, Baltalı köyü doğusundan, Comburt vadisini takip eder ve Batıda Yeşilyurt köyüne kadar KB – GD doğrultusunda uzanır. Yeşilyurt köyünden sonra KD – GB yönüne dönüş yaparak Kuşdemir, Kızılcaören, Derbent köyleri istikametinde Kızılcaören Derbent köylerine kadar uzanmaktadır (Şekil 1).



Şekil 1. a) Akşehir Simav Fay Sistemi'nin Simav Fay Zonu ve Sultandağı Fayı'ndan oluşan fay geometrisi, b) Banaz ilçesi ve yakın çevresinin sismotektonik haritası (Faylar Emre ve. [14]'den, Banaz ve yakın çevresinde 1970 yılı ve sonrası depremler [23]'den alınmıştır).

Banaz fayının yaklaşık 25 km uzunluğundaki, Baltalı Evrendede Mevkii arasındaki bölümünün sağ yanal, Evrendede–Derbent bölümünün ise eğim atımlı normal fay karakterinde çalıştığı belirtilmiştir [14, 20]. Önceki çalışmalarda Banaz Fayı'nın üretebileceği maksimum deprem büyüklüğü 6.71 olarak verilmiştir [20-21]. Banaz Fayı doğusunda, fayın KB-GD uzanımlı koluna yaklaşık paralel doğrultuda uzanan Elvanpaşa Segmenti, Hatipler köyünden başlayarak Kaplangı, Çorum köylerine doğru devamlılık göstermektedir. Banaz Fayı civarında en son 30 Eylül 1887 yılında VIII şiddetinde yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir [15, 22]. Depremin etki alanları incelendiğinde, depremin merkezinin Banaz nahiyesine ait köyler olduğu görülmektedir. Depremde 32 kişi hayatını kaybetmiş ve 1000'den fazla bina tamamen yıkılmıştır. Bu depremde Banaz civarında bulunan on sekiz köyde büyük tahribat olurken, diğer köyler de orta miktarda hasar görmüştür. Depremdeki en büyük hasar Banaz nahiye merkezi ve eski adı İslâmköy olan Susuz köyünde meydana gelmiştir [15].

Bu çalışmada daha önce kurulan GNSS ağı AKUBAPK tarafından 21.TEMATİK.02 nolu proje desteğiyle genişletilerek 27 noktaya çıkarılmıştır. 2016-2023 yılları arasında 7 kampanya GNSS ölçüsü değerlendirilmiş, GNSS ağı ile bölge güncel hız alanı hesaplanmış ve bölgede yamulma alanları belirlenmiştir.

2 Materyal ve metot

Banaz Fayı ve çevresinde 115Y246 No'lu TUBİTAK projesi kapsamında 3 tanesi sabit GNSS istasyonu 18 kampanya şeklinde ölçülen GNSS noktaları olmak üzere toplamda 21 noktalı GNSS ağı tesis edilmiştir. Bu ağda 2016–2020 yılları arasında 5 kampanya ölçüm gerçekleştirilmiştir [24, 25]. Daha sonra AKU AKUBAPK tarafından 21.TEMATİK.02 nolu proje kapsamında ağ genişletilerek 5 kampanya tipi 1 adet sabit GNSS noktası tesis edilip ağa eklenerek 27 noktalı bir GNSS ağı oluşturulmuştur. Eklenen GNSS noktaları daha önce farklı kurumlar tarafından tesis edilmiş noktalar olup geçmiş 8 saat ölçülmüş noktalardır. Bu ağda 2021-2022 yılları arasında ilave 2 kampanya daha yapılarak 21 noktada 7, 5 noktada ise 3 kampanya veri

toplanmıştır. GNSS ölçüleri minimum 8 saatlik oturumlar olmak üzere iki gün tekrarlı şekilde gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte bir adet Sabit GNSS istasyonu ise 25 Kasım 2021 tarihinde Banaz/Bahadır köyüne kurulmuş ve BAHD ismi verilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Banaz Bahadır köyüne kurulan BAHD sabit GNSS istasyonu.

Ağda tesis edilen GNSS ölçü noktalarının yer seçiminde bölgenin jeolojik yapısı ve GNSS ölçü tekniğine uygun olması kriterleri dikkate alınmıştır. Ölçüler 15 sn'lik epoklar ile 5 derecelik uydu yükseklik açısı altında yapılmıştır. GNSS ağında kampanya ölçülerinin görüntüleri Şekil 3'te, konumları Şekil 4'te ve tesis bilgileri Tablo 1'de verilmiştir.

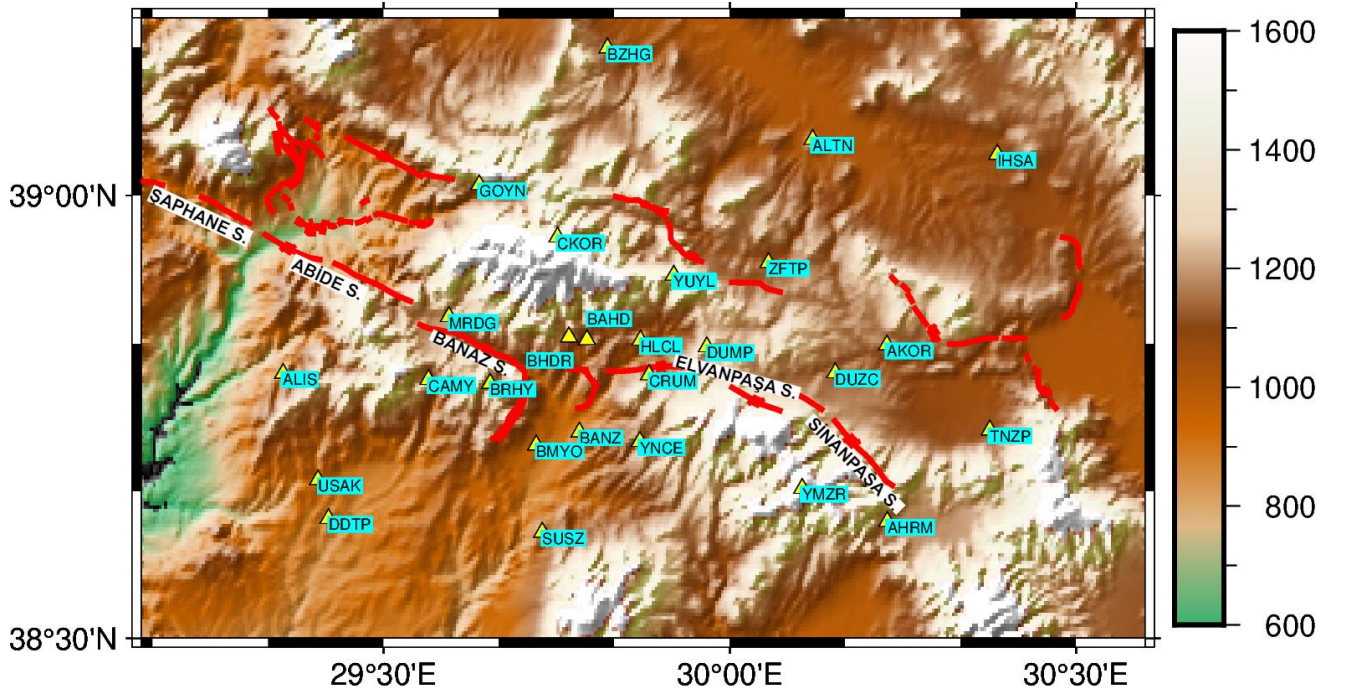


(a)



(b)

Şekil 3. a) DUMP b) GRLK GNSS ölçü noktaları



Şekil 4. Banaz Fayı GNSS Ağı, kırmızı renk fayları göstermektedir [14].

Tablo 1. Ölçü noktaları ve konumları

Nokta Adı	İl	İlçe	Boylam (°)	Enlem (°)	Tesis Türü	Nokta Adı	İl	İlçe	Boylam (°)	Enlem (°)	Tesis Türü
AFYN	Afyon	Merkez	30.561	38.738	Pilye	DUMP	Kütahya	Dumlupınar	29.966	38.829	Pilye
AHRM	Afyon	Sinanpaşa	30.227	38.632	Pilye	DUZC	Afyon	Sinanpaşa	30.152	38.800	Pilye
AKOR	Afyon	Sinanpaşa	30.226	38.831	Pilye	GOYN	Uşak	Banaz	29.638	39.011	Pilye
ALIS	Uşak	Merkez	29.354	38.799	Pilye	GRLK	Uşak	Banaz	29.673	38.832	Bronz
ALTN	Kütahya	Altıntaş	30.119	39.062	Pilye	HLCL	Uşak	Banaz	29.870	38.837	Pilye
BAHD	Uşak	Banaz	29.793	38.837	Sabit	IHSA	Afyon	İhsaniye	30.386	39.046	Pilye
BANZ	Uşak	Banaz	29.782	38.733	Bronz	MRDG	Uşak	Banaz	29.594	38.863	Pilye
BHDR	Uşak	Banaz	29.767	38.840	Pilye	SUSZ	Uşak	Banaz	29.729	38.620	Pilye
BMYO	Uşak	Banaz	29.720	38.718	Sabit	TNZP	Afyon	Sinanpaşa	30.375	38.735	Pilye
BRHY	Uşak	Banaz	29.653	38.788	Bronz	USAK	Uşak	Merkez	29.405	38.679	Pilye
BZHG	Kütahya	Aslanapa	29.823	39.165	Pilye	YMZR	Afyon	Sinanpaşa	30.104	38.669	Pilye
CAMY	Uşak	Merkez	29.564	38.792	Bronz	YNCE	Uşak	Banaz	29.870	38.722	Bronz
CKOR	Kütahya	Gediz	29.751	38.953	Pilye	YUYL	Kütahya	Dumlupınar	29.919	38.910	Pilye
CRUM	Uşak	Banaz	29.883	38.797	Bronz	ZFTP	Kütahya	Altıntaş	30.055	38.924	Pilye
DDTP	Uşak	Merkez	29.420	38.635	Pilye						

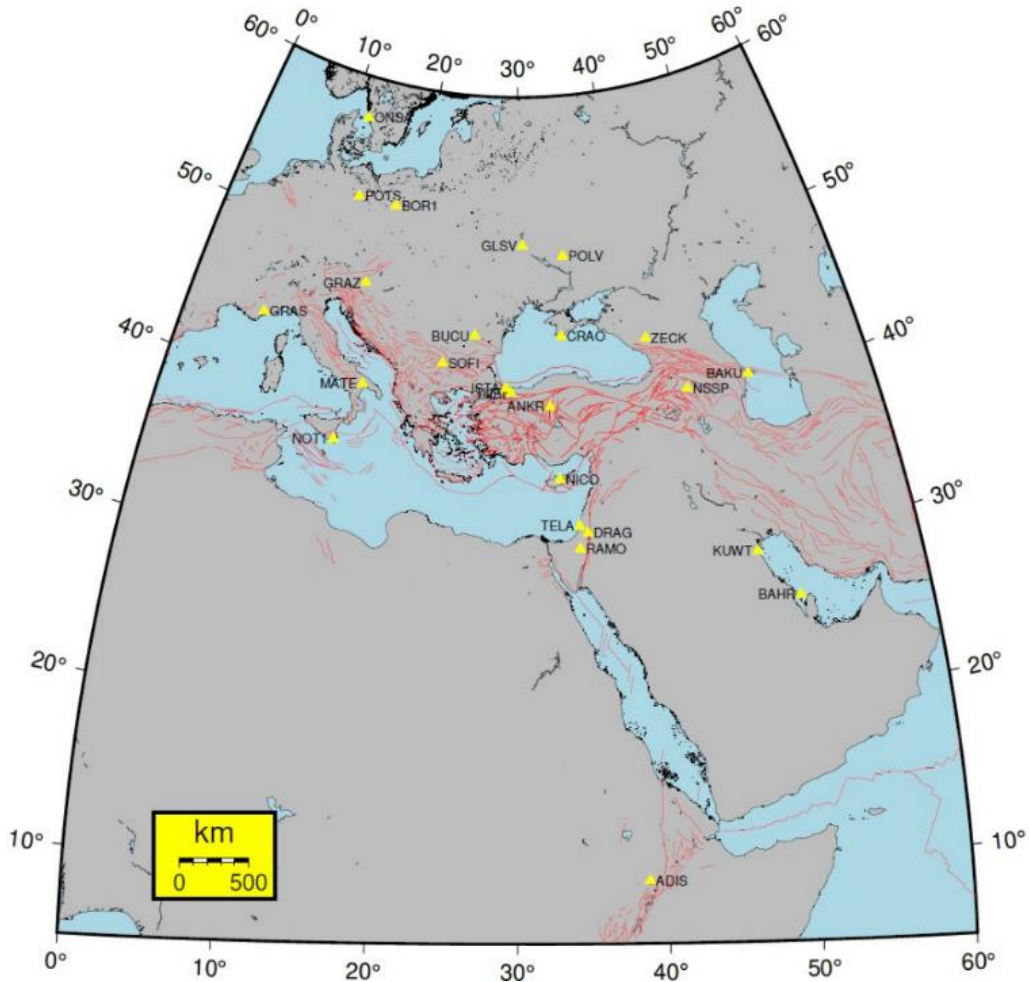
GNSS verilerinin değerlendirilmesi Massachusetts Teknoloji Enstitüsü, (MIT) tarafından geliştirilmiş GAMIT/GLOBK programlarında yapılmıştır [26]. Bu yazılım GNSS verilerinin değerlendirilmesinde, alıcıdan bağımsız veri formatı olan RINEX' i (Receiver INdependent Exchange) kullanmaktadır. Değerlendirme stratejisinde International GNSS Service Final (IGS-F) yörünge bilgileri ile The United States Naval Observatory (USNO-B) katalogları kullanılmıştır. Troposfer model olarak Sastamonien öncül standart modelden 2 saatlik kestirimler yapılarak elde edilen değerler kullanılmıştır. Değerlendirme kullanılan IGS noktaları Şekil 5'te verilmiştir.

3 Bulgular ve tartışma

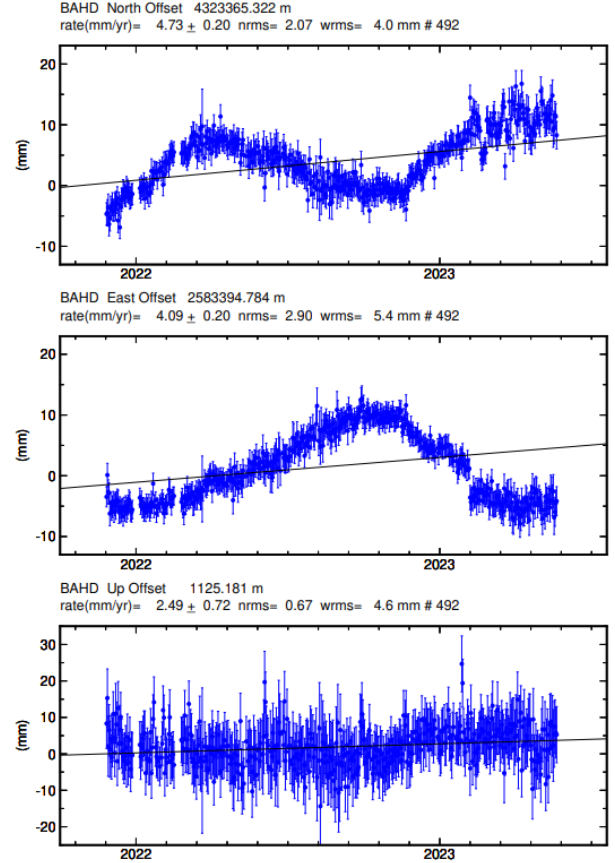
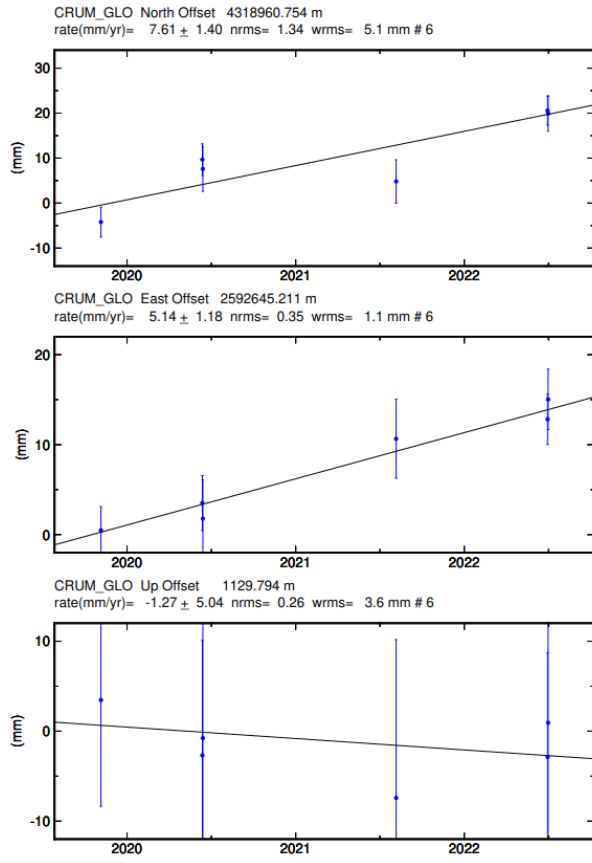
Değerlendirme işlemlerinde yıllık zaman serileri üretilmiş olup CRUM ve BAHD noktasına ait yıllık tekrarlılık grafikleri Şekil 6'da verilmiştir. Şekil 5'te verilen IGS noktaları stabilizasyon işleminde kullanılmıştır. Stabilizasyon çalışmaları sonucunda Avrasya Plakası'na göre elde edilmiş hızlar Şekil 7'de verilmiştir.

Tekrarlı GNSS ölçüleri sonucu elde edilen Avrasya Plakası sabit hızlar kullanılarak, bölgede meydana gelen deformasyon sonucu ortaya çıkan yamulma alanları

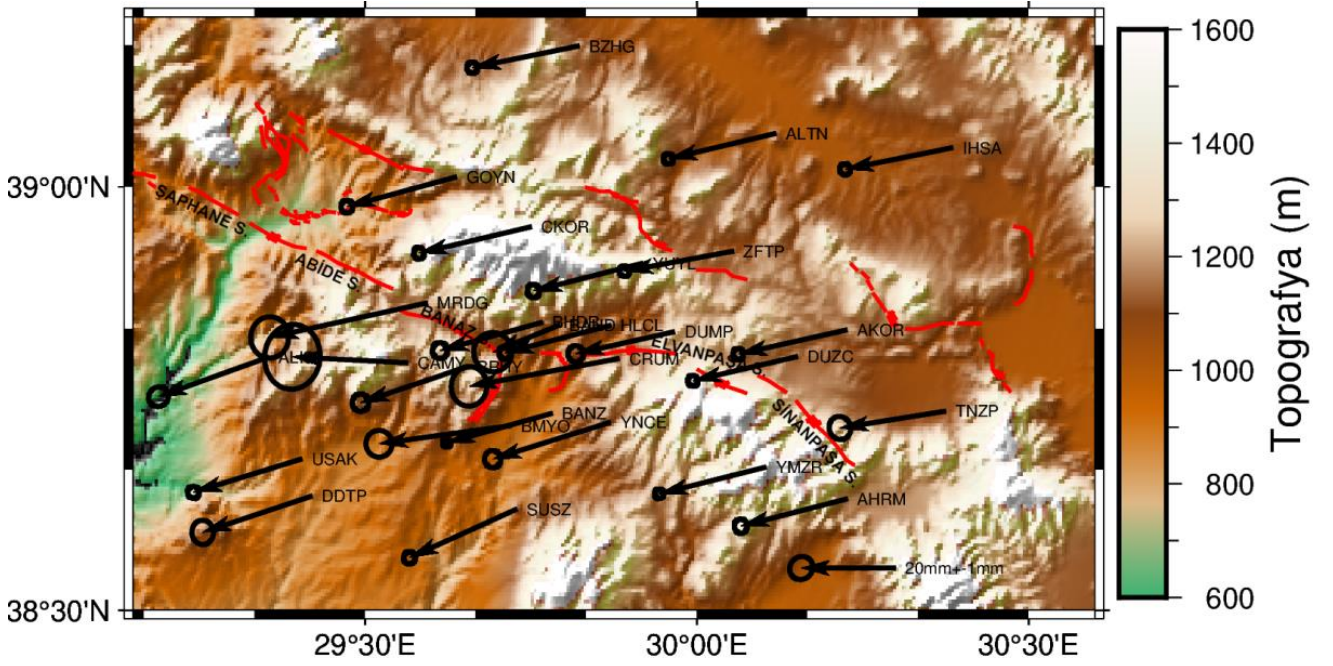
(gerinimler-strainler), yani cismin boyutlarında meydana gelen geometrik değişimlerde hesaplanabilmektedir. Çalışma bölgesindeki yamulma alanları GeodSuit v3.2 programı kullanılarak yapılmıştır [27]. Programa girdi verisi olarak GLOBK yazılımı sonucu elde edilen noktasal hızlar ve bu hızların standart sapmaları kullanılmıştır. Bazı noktaların doğrulukları düşük olması ve noktalarda lokal deformasyonların meydana gelmesi nedeniyle yamulma analizinde kullanılmamıştır (CAMY, BMYO, CRUM, MRDG). Bu noktalar hız alanından çıkarılmış ve yamulma analizi yapılmıştır. Çalışma alanı yaklaşık 10*10 km lik gridlere ayrılarak her grid köşesine ait yamulma değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan yamulma alanları Şekil 8'de verilmiştir. Şekil 8'de yer alan yamulma alanı bölgede KKD-GGB yönlü açılma rejimini işaret etmektedir. Çalışma alanı genelinde 50 ns/yıla varan yamulma değerleri elde edilmiştir. Bölgede genel olarak KKD-GGB açılma rejimi hakim olmakla beraber bu durum bölgedeki normal faylanma yapısını temsil etmektedir. Bununla birlikte Banaz segmentinin Gürele yerleşim yeri etrafında (GRLK) bulunan yaklaşık 10 ns/yıla varan sıkışma bileşenleri ise bölgede küçük yanıl atım bileşeninin varlığını göstermektedir.



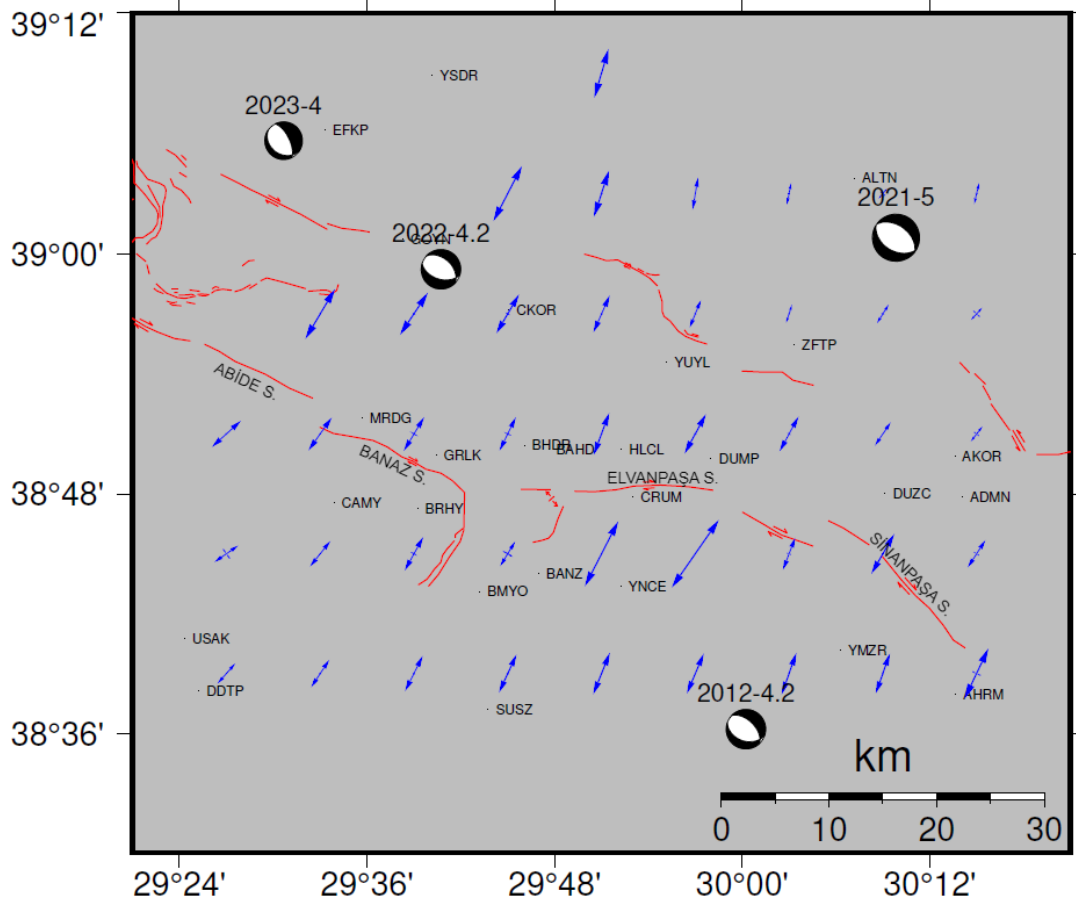
Şekil 5. Değerlendirmede kullanılan IGS istasyonları



(a) (b)
Şekil. 6. a) CRUM b) BAHD noktası yıllık tekrarlılık grafikleri.



Şekil 7. Avrasya plakası sabit hız alanı



Şekil 8. Yamulma alanları ve bölgede 2012 yılı ve sonrasında meydana gelen (Mw>4) depremlerin odak mekanizma çözümleri.

4 Sonuçlar

Banaz Fayı, 2011 yılında güncellenen Türkiye Diri Fay Haritası'nda diri fay olarak tanımlanmıştır [14]. Tarihsel dönem kayıtlarında bu fayın 30.09.1887 (I:VIII) yılında meydana gelen deprem ile kırıldığı ifade edilmiştir [15]. Bölgede Yapılan GPS ölçüleri ile bölgenin güncel hız alanı ve yamulma alanı elde edilmiştir. Bölgede yer alan CORS istasyonlarına ilave olarak bir adet daha sabit GPS istasyonu kurularak bölgedeki güncel tektonik hareketler takip edilmeye başlamıştır.

Jeodezik sonuçlar incelendiğinde Simav Fay Zonu'nun orta ve güneydoğu bölümünde Avrasya plakası sabit hız değerleri (ITRF2014-EURA) 22-28 mm/yıl olarak BGB yönünde gözlenmektedir. Bu çalışmada elde edilen bulgular, bölgede yapılan diğer lokal çalışmalarda hız alanları ile uyumlu sonuçlar göstermiştir [24, 25]. Ancak bu çalışmada kullanılan hız alanı verisi, diğer iki çalışmayı kapsamakla beraber zamansal çözünürlüğü (7 yıllık ölçü) daha fazladır. Özellikle bu ağda yapılan 2 kampanya ölçü ile nokta hızlarının standart sapmalarında iyileşmeler görülmüştür. 7 kampanya ölçü yapılan noktalar için 03-0.5 mm/yıl standart sapmalar elde edilmiştir. Yeni tesis edilen noktalarda ise 1-1.5 mm/yıl standart sapmalar hesaplanmıştır. Bu noktalarda gelecek yıllarda yapılacak bir kampanya ölçü ile bu noktalarda da standart sapmaların 1 mm altında elde edileceği öngörülmektedir.

Çalışma bölgesine ait yamulma değerleri Geodsoft v3.2 yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Şekil 8'de sunulan yamulma alanları incelendiğinde; Banaz Segmenti ve yakın civarında KKD-GGB yönlü açılmalar görülmektedir. Bu veriler, bölgede 2012 yılı ve sonrasında meydana gelen (Mw>4) depremlerin odak mekanizma çözümleri ile oldukça uyumludur. Bununla birlikte, bölgedeki yamulmalar 40-50 ns/yıl arasında hesaplanmıştır. Önceki jeolojik çalışmalarda Banaz Fayı Geometrik ve kinematik özellikleri üzerine yapılan çalışmalar sınırlıdır. Emre vd. [14] Banaz Fayı'nı Comburt Vadisi (Şekil 1b) boyunca yaklaşık BKB-DGD uzanımlı, çizgisel gidişli ve sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olarak tanımlamaktadır. Koçyiğit [19] ise, aynı alanda D-B uzanımlı fayı, Gürlek Fayı adı ile oblik atımlı normal fay olarak tanımlamıştır. Ancak, bu çalışmada elde edilen jeodezik bulgular, Comburt Vadisi boyunca devam eden bu fayın günümüzde yaklaşık KKD-GGB yönlü genişleme kuvvetleri etkisi altında eğim atımlı normal fay karakterinde çalışabileceğine işaret etmektedir. Bölgede 2012 yılı ve sonrasında meydana gelen (Mw>4) depremlerin odak mekanizma çözümleri de bu çalışmada elde edilen bulguları destekler niteliktedir.

Banaz Fayı ve yakın çevresinde yapılan çalışmalarda bölgede uzun yıllardır kırılmayan diri fayların ve sismik boşluğun olabileceğinden bahsedilmektedir [16-18]. Bu nedenle Banaz Fayı'nda deprem tehlike analizlerine yönelik çalışmaların yapılması daha da önem kazanmaktadır. Banaz

Fayı'nda daha doğru sonuçlara ulaşabilmek için, fayın paleosismolojik, geometrik ve kinematik özelliklerine yönelik jeolojik çalışmalar ile uzun dönem GPS gözlemleri, fayların aktivitesi ve biriken gerinim miktarlarına yönelik jeodezik çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Teşekkür

Bu Çalışma Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 115Y246 numaralı proje, AKUBAPK 16.KARIYER.177 ve 21.TEMATİK.02 nolu projeler tarafından desteklenmiştir. Projeye verdiği destekten ötürü TÜBİTAK ve AKUBAPK'na teşekkürlerimizi sunarız.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %14

Kaynaklar

- [1] I. Tiryakioğlu, H. H. Yavaşoğlu, M. A. Uğur, Ç. Özkaymak, M. Yılmaz, H. Kocaoğlu and B. Turgut, Analysis of October 23 (Mw 7.2) and November 9 (Mw 5.6), 2011 Van Earthquakes using long-term GNSS time series, Earth Science Research Journal, 21, (3), 147-156, 2017. <https://doi.org/10.15446/esrj.v21n3.62812>
- [2] I. Tiryakioğlu, B. Aktuğ, C. Ö. Yiğit, H. H. Yavaşoğlu, H. Sözbilir, Ç. Özkaymak, F. Poyraz, E. Taneli, F. Bulut, A. Doğru and H. Özener, Slip distribution and source parameters of the 20 July 2017 Bodrum-Kos earthquake (Mw6.6) from GPS observations, Geodinamica Acta, 30, 1-14, 2018. <https://doi.org/10.1080/09853111.2017.1408264>
- [3] İ. Tiryakioğlu, C. O. Yiğit, Ç. Özkaymak, T. Baybura, M. Yılmaz, M. A. Uğur, M. A. Yalçın, F. Poyraz, H. Sözbilir and E. Güllal, Active surface deformations detected by precise levelling surveys in the Afyon-Akşehir Graben, Western Anatolia, Turkey GEOFİZİKA, Vol. 36, No. 1, 33–52, 2019. <https://doi.org/10.15233/gfz.2019.36.4>
- [4] F. Poyraz, K. O. Hastaoğlu, F. Koçbulut, İ. Tiryakioğlu, O. Tatar, M. Demirel, H. Duman, C. Aydın, A. F. Cığer, O. Gursoy, T. Turk and R. Sıgırcı, Determination of the block movements in the Eastern section of the Gediz Graben (Turkey) from GNSS measurements, Journal of Geodynamics, 123, 38–48, 2019. doi.org/10.1016/j.jo.2018.11.001
- [5] S.S. Yıldız, A. Özkan, H. H. Yavaşoğlu, F. Masson, İ. Tiryakioğlu, M. N. Alkan and S. Bilgi, Determination of recent tectonic deformations in the vicinity of Adana-Osmaniye-Hatay-Gaziantep triple junction region by half-space modeling, Comptes Rendus Geoscience, 35(3): 225-234, 2020. doi.org/10.5802/crgeos.39
- [6] E. Yenice, İ. Tiryakioğlu, M. Yılmaz, ve H. İ. Solak, Büyük depremler sonrası kadastral noktalardaki değişimlerin izlenmesi: 30.10.2020 Sisam depremi (Mw:6.9) örneği . Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 12 (3), 2023. [doi:10.28948/ngumuh.1268589](https://doi.org/10.28948/ngumuh.1268589)
- [7] A. Özkan, H. I. Solak, I. Tiryakioğlu, M. D. Şentürk, B. Aktuğ, C. Gezgin, F. Poyraz, H. Duman, F. Masson, G. Uslular, C. O. Yiğit and H. H. Yavaşoğlu, 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, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230041>
- [8] H. İ. Solak, İ. Tiryakioğlu, Ç. Özkaymak, H. Sözbilir, B. Aktuğ, H. H. Yavaşoğlu, and A. Özkan, Recent tectonic features of Western Anatolia based on half-space modeling of GNSS Data. Tectonophysics, 230194, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2023.230194>
- [9] C. Gezgin, S. Ekercin, İ. Tiryakioğlu, B. Aktuğ, H. Erdoğan, E. Gürbüz, O. Orhan, S. S. Bilgilioglu, A.T. Torun, H. İ. Gündüz, O. Oktar, C. Türkmen and E. Kaya, Determination of Recent Tectonic Deformations Along The Tuz Gölü Fault Zone In Central Anatolia (Turkey) With Gns Observations, Turkish J Earth Sci, 31, (2022), 20-33, 2022. <https://doi.org/10.3906/yer-2108-10>
- [10] H. H. Yavasoglu, I. Tiryakioğlu, M. F. Karabulut, E. E. Eyübagil, A. Ozkan, F. Masson, E. Klein, V. E. Gulal, R. M. Alkan, M. N. Alkan, M. Isiler, and A. E. Arslan, New geodetic constraints to reveal seismic potential of Central Marmara Region, Turkey, Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata, Vol. 62, n. 3, pp. 513-526, 2021. <https://doi.org/10.4430/bgta0351>
- [11] E.E. Eyübagil, H.İ. Solak, U.S. Kavak, İ. Tiryakioğlu, H. Sözbilir, B. Aktuğ and Ç. Özkaymak, Present-Day Strike-Slip Deformation Within The Southern part of the İzmir-Balıkesir Transfer Zone based on GNSS data and implications for seismic hazard assessment inwestern Anatolia." Turkish Journal of Earth Sciences 30.2 (2021): 143-160, 2021. <https://doi.org/10.3906/yer-2005-26>
- [12] B. Aktuğ, I. Tiryakioğlu, H. Sözbilir, H. Özener, Ç. Özkaymak, C. O. Yiğit, H. İ. Solak, E. E. Eyübagil, B. Gelin, O. Tatar and M. Softa, GPS derived finite source mechanism of the 30 October 2020 Samos Earthquake, Mw=6.9 in Aegean extensional region, Turkish J Earth Sci. (2021) 30: 718-737, 2021. <https://doi.org/10.3906/yer-2101-18>
- [13] E. E. Eyübagil, İ. Tiryakioğlu, H. İ. Solak, H. H. Yavaşoğlu, C. Ö. Yiğit, B. Aktuğ, Ç. Özkaymak, M. A. Uğur, E. B. Çakanşimşek, ve E. Demirelli, Havran-Balıkesir Fay Zonu üzerinde jeodezik çalışmalar: ilk sonuçlar. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 23 (2), 402-416. 2023. <https://doi.org/10.35414/akufemubid.1203930>
- [14] Ö. Emre, Özalp, S., T Y. Duman, 1: 250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi, Uşak NJ 35-8 paftası, Seri No:11, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Ankara/Türkiye, 2011.

- [15] S. Satılmış 30 Eylül 1887 Banaz Depremi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 38, 79-96, 2016.
- [16] A. Koçyigit E, Bozkurt N, Kaymakci ve F, Saroglu 2002, Subat 2002 Cay (Afyon) Depreminin kaynağı ve ağır hasarın nedenleri: Akşehir Fay Zonu, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Tektonik Araştırma Birimi Jeolojik Ön Raporu.
- [17] T. Yürür, O. Köse, H. Demirbağ, Ç. Özkaymak, and L. Selçuk, Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism?:(Afyon earthquakes of 2 March 2002, Central Anatolia, Turkey). Geodinamica Acta, 16(2-6), 83-87, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0985-3111\(03\)00003-2](https://doi.org/10.1016/S0985-3111(03)00003-2)
- [18] R. Ulusay, E. Tuncay, H. Sonmez, and C Gokceoglu,. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. Engineering Geology, 74(3-4), 265-291, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2004.04.002>
- [19] A, Koçyigit Çukurören – Çobanlar (AFYON) arasındaki Deprem kaynaklarının (Aktif Fayların) Belirlenmesi, TÜBİTAK Final Raporu (ÇAYDAĞ-106 Y 209), 77, 2007.
- [20] Ö. Emre, T Y. Duman, S. Özalp, F Şaroğlu, Ş. Olgun, H. Elmacı and T. Çan Active fault database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering, 16, 8, 3229-3275, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-0041-2>
- [21] T Y. Duman, T. Çan, Ö. Emre, F T. Kadirioğlu, Baştürk N Başarır ...and A.İ. Kurt, Seismotectonic database of Turkey, Bulletin of Earthquake Engineering 16, 8, 3277-3316, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10518-016-9965-9>
- [22] N. N., Ambraseys, Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900, Cambridge University Press. 2009.
- [23] Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, 2024, Son depremler, <http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/1st1.asp> 10 Mart 2024.
- [24] M. Öztürk, Banaz Fayının tektonik hareketlerinin GNSS yöntemiyle belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye, 2019.
- [25] B.E. Akyar, Deprem tekrarlama periyotlarının jeodezik verilerle belirlenmesi: Banaz ve Elvanpaşa segmenti, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Türkiye, 2020.
- [26] T.A. Herring, R.W. King and S. C. McClusky, Introduction to gamit/globk. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts. 2010.
- [27] GeodSuit, GeodSuit Kullanım kılavuzu. Ankara, 2017.

