

Afyon Akşehir Grabeninde Jeodezik Yamulma Alanları ile b Parametresi Arasındaki İlişkilerin Belirlenmesi

Tolga TOYDEMİR^{1,2}, İbrahim TIRYAKIOĞLU^{2,4*}, Tamer BAYBURA², Mehmet Ali UĞUR², Halil İbrahim SOLAK⁴

¹ Afyon AKSA doğalgaz Afyonkarahisar.

² Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar.

³ Afyon Kocatepe Üniversitesi Deprem Uygulama ve Araştırma Merkezi, Afyonkarahisar.

⁴ Afyon Kocatepe Üniversitesi, Uzaktan Eğitim Meslek Yüksekokulu, Afyonkarahisar.

Sorumlu yazar e-posta: itiryakioglu@aku.edu.tr

tolgatoydemir03@gmail.com

tbaybura@aku.edu.tr

maliugur@aku.edu.tr

hibsolak@aku.edu.tr

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4954-7109>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-8164-534X>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-9067-2964>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-2741-900X>

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-5286-0369>

Geliş Tarihi: 27.09.2021

Kabul Tarihi: 29.11.2021

Öz

Anahtar kelimeler

Afyon Akşehir Grabeni;
GNSS; GAMIT/GLOBK;
B parametre; Yamulma
alanı

Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS) Batı Anadolu genişleme bölgesinde yer almakta olup en önemli sismojenik kuşaklardan biridir. Sistem içerisinde yer alan oblik/eğim atımlı normal fay segmentlerinden dolayı çok sayıda horst ve graben türü yapılar bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında ASFS'nin Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) kısmında 27 noktalık bir GNSS ağı kurulmuş ve 2012-2018 yılları arasında 5 kampanya GNSS ölçüsü gerçekleştirilmiştir. Elde edilen veriler GAMIT/GLOBK yazılımı değerlendirilmiş ve tüm noktaların Avrasya plakası sabit hızları hesaplanmıştır. Hız alanı kullanılarak, GEODSUIT yazılımı bölge yamulma alanları (strain) hesaplanmış ve sonuçlar deprem verileri yardımıyla hesaplanan b parametreleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular 2002 Çay-Eber depremlerinden sonra bölgenin batısına doğru jeodezik yamulmaların arttığını göstermektedir.

The Determination of Relations between Geodetic Strain Field and b Parameter in Afyon Akşehir Graben

Abstract

Keywords

Afyon Akşehir Graben;
GNSS; GAMIT/GLOBK;
B parameter; Strain
Field

Akşehir-Simav Fault System (ASFS) is one of the most important seismojenic zones in the Western Anatolia Extensional Zone. Because of oblique-slip normal fault segments, it contains many parallel horst and graben type structures. This study was carried out with GNSS measurements obtained from 27 GNSS points established in the Afyon-Akşehir Graben (AAG) part of ASFS. GNSS measurements were carried out as 5 campaigns between 2012 and 2018. As a result of the evaluation of the GNSS data using GAMIT/GLOBK software, the velocity vectors fixed to Eurasian plate of the sites were calculated. The strain rates computed with GEODSUIT software, and the b parameters calculated using earthquake data. Based on the comparisons of the strain rates and b parameters, the study results show that after the 2002 Çay Eber earthquakes, the geodetic strains increased towards the west of the region.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. Giriş

Batı Anadolu Genişleme Bölgesi içerisindeki önemli sismojenik zonlardan birisi Akşehir-Simav Fay Sistemi (ASFS)'dir. ASFS Kuzeybatı-Güneydoğu (KB-GD) gidişli olup birçok sayıda aktif normal fay zonları içermektedir. Bu fay zonları, güneydoğudan kuzeybatıya doğru Konya, Afyon-Akşehir, Sinanpaşa (Sincanlı), Altıntaş, Ağaçoş, Gediz, Simav ve Sındırgı grabenlerinin oluşumlarına neden olmuşlardır

(Koçyiğit ve Deveci, 2007). Tarihsel ve aletsel dönemde deprem kayıtları incelendiğinde bölgede yüzey kırığı oluşturmuş depremlerin olduğu görülmüştür. ASFS'nin güneydoğu bölümünde yer alan Afyon-Akşehir Grabeni (AAG) içinde son olarak 03 Şubat 2002 tarihinde Bolvadin ve Eber Gölü güneyinde Moment Büyüklüğü (Mw) 6.5 ve 6.2 olan iki deprem meydana gelmiştir (Url 2). Bu depremlerden sonra bölgede jeolojik çalışmaların

yoğunlaştığı görülmüştür (Emre vd. 2003, Özden vd. 2003, Yürür vd. 2003, Ulusay vd. 2004, Akyüz vd. 2006). Akyüz vd. 2006 da Maltepe ve Çay bölgelerinde deprem yüzünden oluşan kırıkların haritalanması ve 2002 depremlerini üreten fayların segmentlerinin deprenselliği tartışılmıştır. Bölgede yapılan paleosismoloji çalışmaları kapsamında Maltepe ve Çay segmentleri üzerinde açılan hendeklerde 2002 depremine benzer düşey tımlara sahip deprem izleri gözlemlenmiştir (Akyüz vd. 2006). Demirtaş vd. (2002) ve Koçyiğit vd. (2002)'de yaptıkları çalışmada Akşehir Sultandağı fay zonunda kuzeybatıya doğru olan deprem göçünün, Afyonkarahisar ili ve yakın çevresindeki sismik boşluğa doğru ilerleyebileceğini belirtmişlerdir. Koçyiğit vd. (2002) ve Aktuğ vd. (2010)'da 03.02.2002 Sultandağı depreminin merkez üssünün Eber ve Akşehir Gölleri arasında olduğunu göstermişlerdir.

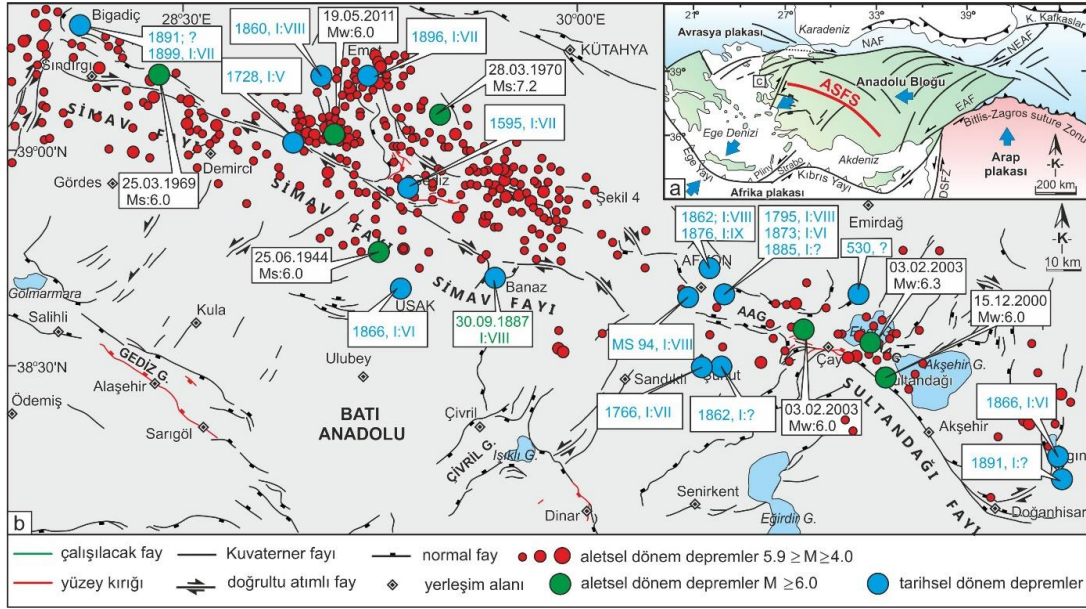
Jeodezik anlamda deformasyon çalışmaları genellikle köprü, baraj ve mühendislik yapıları üzerinde yoğunlaşsa da, 1990 yıllarında başlarında GNSS teknolojilerinin deformasyon çalışmalarında kullanılmaya başlanması yerbilimleri için bir dönüm noktası olmuştur (Erdoğan 2007, Erdoğan ve Güral 2009, 2013, Erdoğan 2012, Yiğit vd. 2016). 2000'li yılların başları ile birlikte tektonik hareketlerin modellenmesi çalışmalarında GNSS ve Sabit GNSS teknolojileri yaygın biçimde kullanılmaya başlamıştır (Erdoğan vd. 2008, Güral vd. 2013a,2013b, Tiryakioğlu vd. 2015, Güral vd. 2015, Tiryakioğlu vd. 2017, Poyraz 2015, Poyraz vd.2019). Bölgede yapılan jeodezik çalışmalarda AAG üzerinde bulunan fayların kayma hızlarını yıllık 2.9 mm (genişleme/açılma) hesaplamışlardır (Aktuğ vd. 2009, Duman vd. 2018). Tiryakioğlu vd. (2018)'de AAG çevresinde yapılan GNSS ölçülerinden hesapladıkları yamulma değerleri ile paleostres verilerini karşılaştırmış ve yamulma yönlerinde büyük oranda benzerlik görülmüştür.

Bu çalışmada AAG üzerinde Afyon Kocatepe Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Koordinatörlüğü (BAPK) (14.FEN.BIL.22) tarafından desteklenen araştırma projesi kapsamında bölgede 2012 yılında kampanya tipi 15 nokta içeren bir GNSS

ağı kurulmuştur. Daha sonra 2016 yılında TUBİTAK 115Y246 No'lu proje kapsamında ağ genişletilerek 27 noktada 2012-2018 yılları arasında 5 kampanya GNSS ölçüleri yapılmıştır. GNSS ölçüleri yardımıyla hesaplanan yamulma alanları ile b parametreleri karşılaştırılmış ve düşük b parametresi olan yerlerde genel olarak büyük yamulma değerleri hesaplanmıştır.

2. Çalışma Bölgesinin Deprenselliği ve Sismik Tehlike

ASFS'nin güneydoğu bölümünde yer alan Afyon-Akşehir grabeni (AAG), kuzeydoğusunda Orta Anadolu ile güneybatısında Isparta açısını birbirinden ayıran sınırlara sahiptir (Blumenthal 1963, Tiryakioğlu vd. 2013). KB-GD uzanımlı, olan AAG yaklaşık 20 km genişliğinde, 130 km. uzunluğundadır (Koçyiğit, 1984, Koçyiğit vd. 2000, Koçyiğit ve Özacar 2003). AAG'nin güney kenarında 90 km uzunluğunda Sultandağı fayı bulunmaktadır. Eğim atımlı normal fay olan Sultandağı fayı Çay ile Doğanhisar arasında takip edilebilir (Şekil 1). Tarihsel ve aletsel dönem boyunca, ASFS içerisinde çok sayıda yıkıcı deprem meydana geldiği bilinmektedir (Şekil 1) (Ergin vd. 1967, Soysal vd. 1981, Ambraseys ve Finkel 1995, Tan vd. 2008, Int.Kyn.2). Bölgede tarihsel dönemde depremlerin M.S. 94 ASFS boyunca meydana geldiğine görülmüştür (Şekil 1). Aletsel dönemde meydana gelen depremler ve Wells and Coppersmith (1994)'in yüzey kırılma uzunluğu ile deprem büyüklüğü arasındaki bağıntıya göre Sultandağı fayı 6.73 büyüklüğüne sahip deprem üretme potansiyeline sahiptir (Duman vd. 2018). AAG içerisinde aletsel dönemde son olarak Sultandağı depremi (Mw: 6.0), ve 03.02.2002 Çay depremleri (Mw: 6.3 ve 6.0) sistemin günümüzde de aktif olduğunu göstermiştir. Bununla beraber, deprem çözümleri incelendiğinde bu depremlerin eğim atımlı normal faylar üzerinde meydana geldikleri görülmüştür. (Taymaz ve Tan 2001, Koçyiğit ve Devci 2007, Özkaymak vd. 2019, Kalafat ve Görgün 2017). AAG içerisinde aletsel dönemde bir deprem göçünün olduğu görülmüştür. Bu göçün güneydoğudan kuzeybatıya doğru ve Sultandağı Fayı üzerinde olduğu belirtilmiştir (Demirtaş vd. 2002, Emre vd. 2003, Tiryakioğlu vd. 2019).



Şekil 1. ASFS'nin a) Türkiye'nin neotektonik haritası içerisindeki yeri ve b) sistem üzerinde meydana gelen aletsel ve tarihsel dönem depremleri gösteren sismotektonik harita (Özkaymak vd. 2019, Emre vd. 2018 ve Duman vd. 2018'den düzenlenmiştir)

Depremsellik ile ilgili ilk çalışmaların Thomas Oldham ve Montessus de Ballore tarafından yapıldığı düşünülmektedir (Purcaru 1975, Richter 1958). Bu çalışmalardan sonra Richter Magnitüd Ölçeğinin ortaya çıkmasıyla birlikte depremselliğin matematiksel modelleri kurulmuştur. Ayrıca depremlerin magnitüd-frekans bağıntılarının Gutenberg ve Richter tarafından incelenmesi yeni yaklaşımlara yön vermiştir (Gutenberg and Richter 1944).

Depremsellik, depremler ve bunların etkilerinin görüldüğü sismik alanın tamamı şeklinde tanımlanmaktadır. Depremsellik analizlerinde sismik alanın tanımlanmasında kullanılan parametrelerin değişkenliğinden dolayı deprem katalogların seçimi önemlidir. Bir bölgenin depremselliği, konumuyla zamanı arasındaki doğrudan ilişki ile açıklanabilir. Bu nedenle geçmiş yıllara ait deprem verilerinin zaman ve konum doğruluğu istatistiksel hesaplamaları etkilemektedir.

2.1. Frekans – Magnitüd Bağıntısı

Frekans–magnitüd bağıntıları depremselliğin tanımlanmasında kullanılmaktadır (Mogi 1962). Depremsellik çalışmalarının ilk matematiksel modeli

Gutenberg-Richter tarafından 1944 yılında ortaya konulmuştur (1).

$$\text{Log}N(M)=a-bM \quad (1)$$

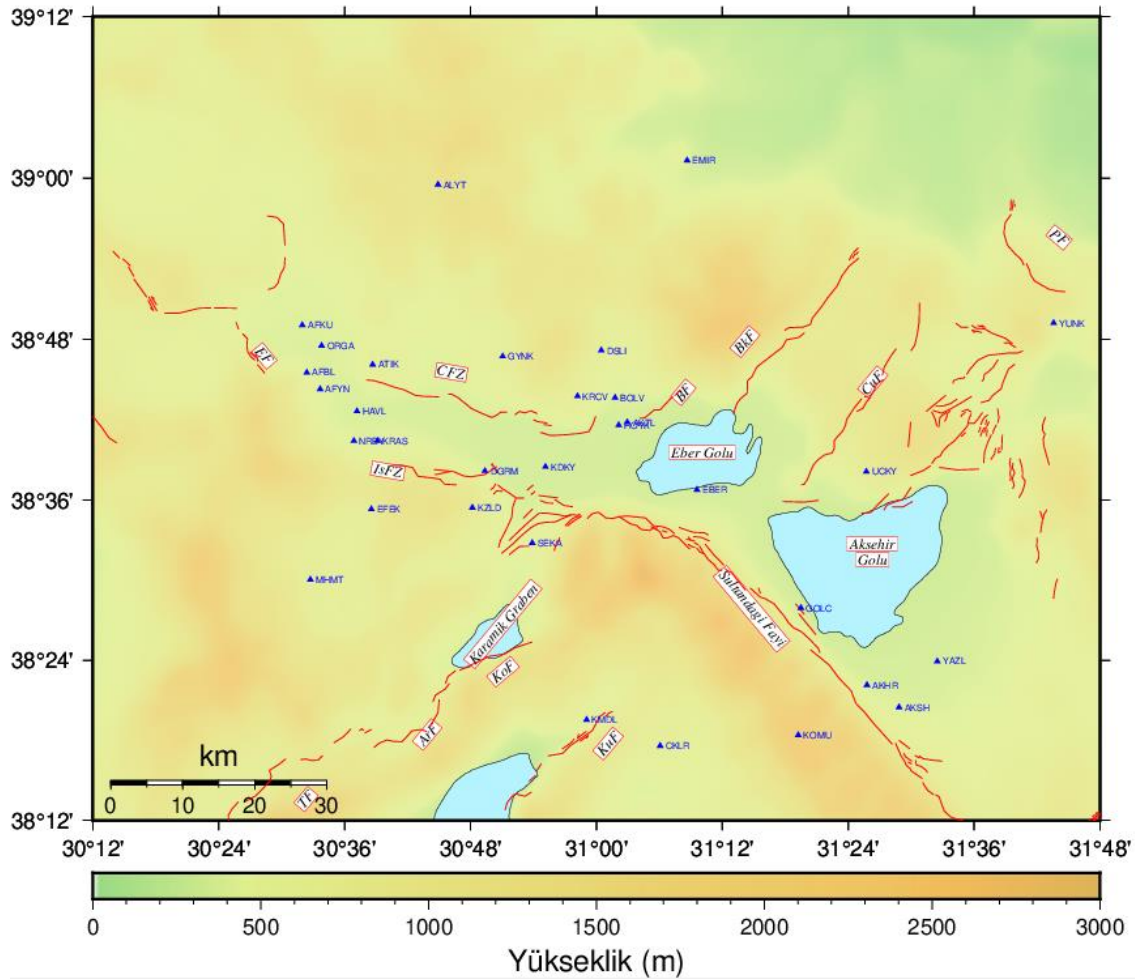
Burada bulunan N; bir yıl içinde meydana gelen M veya daha büyük magnitüdü olan deprem sayısını belirtmektedir. M; magnitüd, a ve b matematiksel değerleri göstermektedir. a değeri inceleme bölgesinin büyüklüğü, izlenen dönem ile bu dönemdeki depremlere bağlıdır (Bayrak 2012). b parametre ise, inceleme bölgesinin tektonik yapısına göre değişmektedir. Bu durum deprem oluşumunun fiziği ile doğrudan bağlantılıdır (Mogi 1962, Scholz 1968). b değerlerinin bölgeye ve zamana göre değişimleri, sismotektonik bölgelendirme için kullanılmaktadır. Bununla birlikte depremlerin önceden kestirimi içinde b değeri kullanılmaktadır b değeri büyüdükçe deprem tehlikesinin düşük olduğunu göstermektedir. Bunun terside söz konusu olup b değeri küçüldükçe deprem riski artmaktadır (Lomnitz and Singh 1976). (1) bağıntısındaki a ve b parametrelerinin belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmakla beraber yaygın olarak Maximum likelihood yöntemi kullanılmaktadır.

3. GNSS Ölçüleri ve b Parametre hesabı

Bu çalışma kapsamında AAG içerisinde tesis edilen 27 GNSS noktasında 5 kampanya GNSS ölçüsü yapılmıştır (Şekil 2). Ölçüler 2012-2018 yılları arasında yapılmıştır. Afyon Kocatepe Üniversitesi BAPK tarafından desteklenen (12.TEMATİK.02-14.FEN.BIL.22) projeler ile ilk 3 kampanya GNSS ölçüleri yapılmıştır. 2016-2018 yılları arasında TÜBİTAK desteği (ÇAYDAG-115Y246) ile 2 kampanya daha GNSS ölçüsü yapılmıştır. Ölçülerde 6 Adet Thales-Zmax ve 3 adet Ashtech-Zxtreme GNSS alıcıları kullanılmıştır. Bu alıcılar Sadece GPS uyduları ile konumlama yapmakta olup diğer uydu sistemlerinin verileri toplanamamıştır. İlk ölçüler

tüm noktalarda eş zamanlı olarak minimum 8 saat ve 3 gün tekrarlı olarak gerçekleştirilirken son iki kampanyada Şafak vd. 2020 de belirtilen hız doğrulukları dikkate alınarak 8 saat 2 gün tekrarlı ölçüler yapılmıştır (Şafak vd. 2020). GNSS alıcılarına veri kayıt aralıkları 15 sn. yükseklik açısı ise 5 derece olarak girilmiştir. Ölçülerin değerlendirilmesi ve analizinde GAMIT/GLOBK yazılım kullanılmıştır (Herring *et al.* 2018). Bu çalışmada bölgede bulunan IGS istasyonlarından yıllık tekrarlılıkları istikrarlı olan 20 tanesi stabilizasyon çalışması için kullanılmıştır.

Global stabilizasyon sonrasında Avrasya plakası sabit hızlar için karesel ortalama hata 0.30 mm/yıl, olarak hesaplanmıştır. GNSS noktalarının hızları Şekil 3'de verilmiştir.

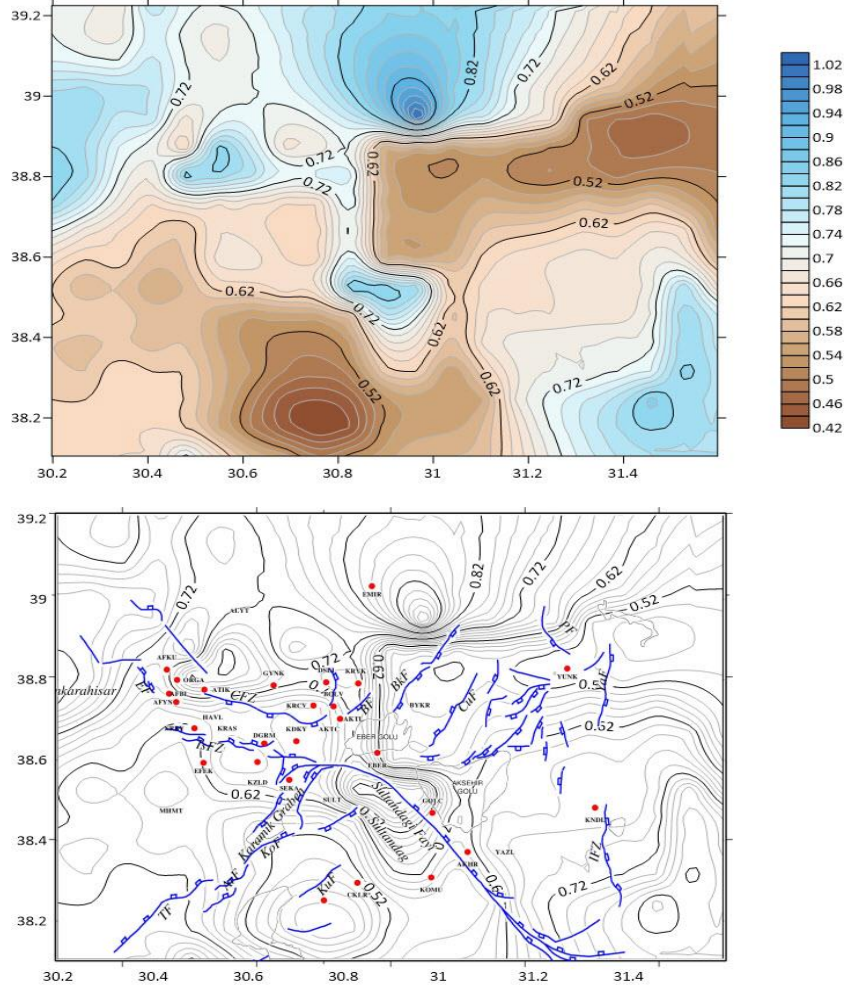


Şekil 2. Gözlem yapılan noktalar haritası (CFZ: Çobanlar Fay Zonu, IsFZ: Işıklar Fay Zonu, BF: Bolvadin Fayı, BkF: Büyükkarabağ Fayı, ÇuF: Çukurcak Fayı, KuF: Kumdalı Fayı, KoF: Koçbeyli Fayı, ArF: Arızlı Fayı, TF: Tatarlı Fayı; EF: Erkmen Fayı).

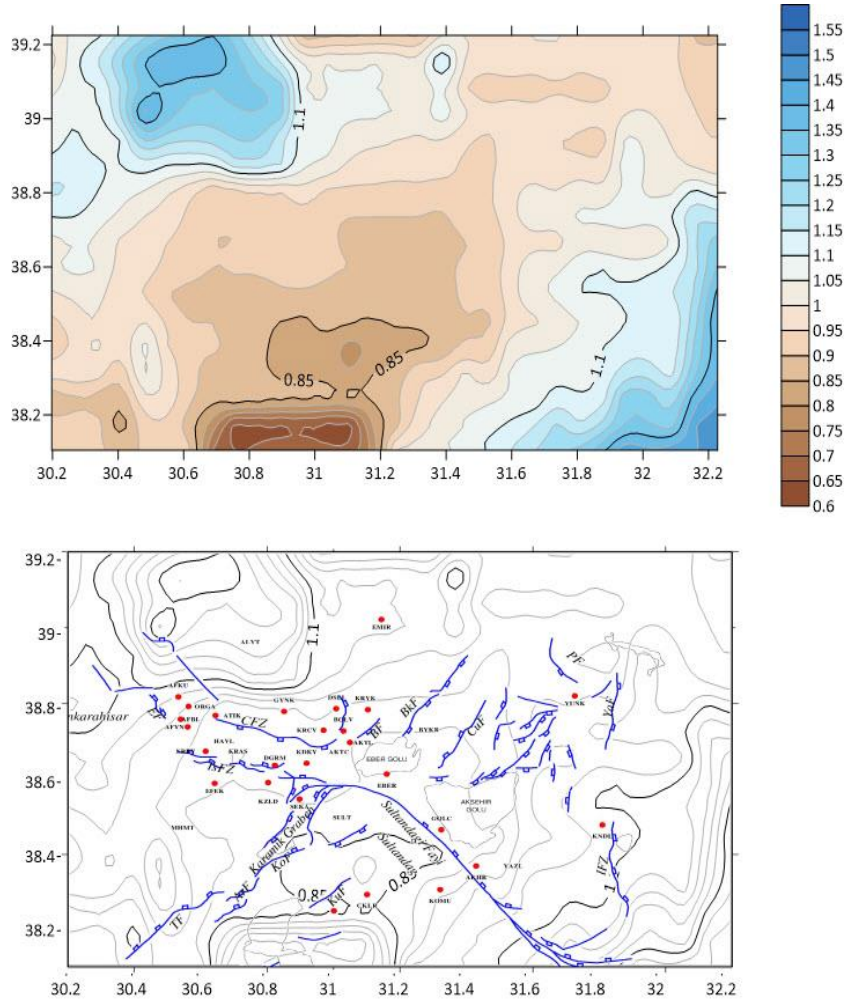
3.2. b Parametrelerinin Hesaplanması

Bu çalışmada b parametresi "maximum likelihood" yaklaşımı ile hesaplanmıştır. Çalışma alanı yamulma alanı gibi 0.1x0.1 derecelik gridlere bölünmüştür. Her bir gridin içerisinde b değeri hesaplanmıştır. Bu gridlerde büyüklüğü M:2.5 üzerinde depremlerden en az 30 adet olması durumunda b parametresi hesaplanmıştır. Aletsel dönemde içerisinde 1980 yılından önce meydana gelen depremlere ait kayıtların büyüklük ve konum doğruluğunun düşük olması nedeniyle hesaplamalarda kullanılmamıştır. Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi deprem

katalogunda 1980-2019 yılları arasını kapsayan depremler seçilmiştir. Katalogdan büyüklükleri M:2.5-6.5 arasında değişen 2859 adet deprem belirlenmiştir (Şekil 1). b parametreleri 2 dönem olarak Maximum likelihood yöntemine göre belirlenmiştir. 2002 yılındaki Sultandağı-Çay depremleri (Mw:6.2 ve 6.3) nedeniyle ilk dönem olarak 1980-2002, ikinci dönem 2003-2019 olarak seçilmiştir (Şekil5, Şekil 6). Bununla birlikte ana depremlerden sonra meydana gelen artçı depremlerin b parametresine etkisini minimuma indirmek için 2002 yılı depremleri katalogdan çıkarılmıştır.



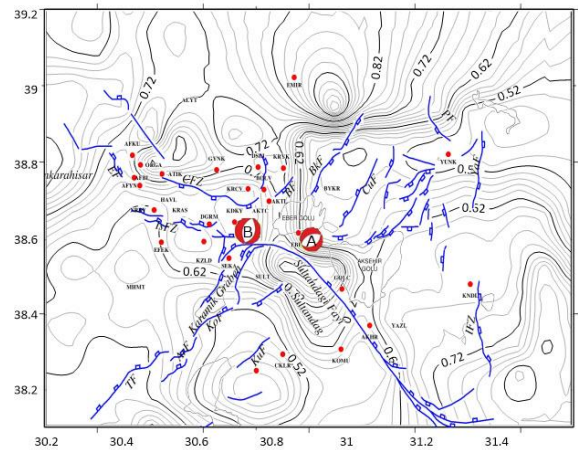
Şekil 5. 1980-2002 arası hesaplanan b parametresi (ilk dönem)



Şekil 6. 2003-2019 arası hesaplanan b parametresi (ikinci dönem)

Yamulma alanları ile b parametre verileri birleştirilerek 150 grid noktasında tek bir haritada gösterilmiştir (Şekil 8). 1980-2002 yılları arası için ortalama b değeri 0.65 olarak hesaplanmıştır. 2003-2019 yılları için ise b değeri 0.93 olarak belirlenmiştir. 03.02.2002 Mw:6.3 büyüklüğündeki deprem A ile, Mw:6.0 depremi ise B ile gösterilmiştir (Şekil 7). Bu iki depremde 1980-2002 yılları arası için hesaplanan ortalama b değeri olan 0.65 değerinden küçük değere sahip bölgede meydana gelmiştir.

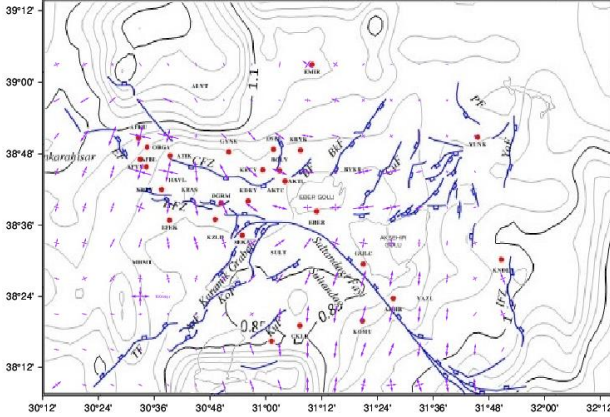
Her depremde olduğu gibi 2002 depremlerinden sonra bölgede bir enerji boşaldığı düşünülmektedir. Çalışmada ilk GNSS ölçüleri 2012 yılında yapılmıştır. Hesaplanan yamulma alanı 2002 depreminden sonraki dönem olmakla beraber güncel yamulmaları göstermektedir. Deprem sonrası dönemlere ait b parametreleri ile yamulma değerleri Şekil 8'de birleştirilmiştir.



Şekil 7. 1980-2002 yılları arasındaki b parametre.

Çalışma bölgesinde büyük yamulma alanları ile ortalama b değerinden küçük bölgelerin uyum içinde olduğu görülmüştür (Şekil 8). Deprem sonrası dönemde b parametrelerinin özellikle AAG'nin Sultandağı fayı bölümünün 0.93 olan ortalama değerinden küçük bölgelerde yamulma alanlarının

büyüklüğü dikkat çekmektedir. 2002 depreminin olduğu bölgelerde (Eber Bolvadin civarı) ise yamulma alanlarının çok küçük olduğu görülmektedir. Yine bu bölgelerde b değerlerinin ortalama b değerinden yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 8).



Şekil 8. 2003-2019 yılları arasındaki b parametresi ve yamulma.

4. Tartışma ve Sonuç

ASFZ üzerinde AAG de hız alanı belirlemek için 27 noktalı bir GNSS ağı kurulmuştur. Bu ağda 2012-2018 yılları arasında yapılan GNSS ölçüleri ile Avrasya plakası sabit olarak hız alanı hesaplanarak yamulma analizi yapılmıştır.

Sultandağı Fayı üzerinde kuzey güney yönlü yamulma değerlerinin maksimum olduğu görülmüştür. Bu açılmalar bölgenin normal fayların denetiminde olduğunu göstermektedir. Geçmiş deprem çözümleri ve paleostres sonuçları da bu sonuçları destekler niteliktedir (Tiryakioğlu Vd. 2018). 2002 yılı depremlerinin merkez üslerinin olduğu alanlarda (Eber, Bolvadin civarında) ise yamulmaların küçük miktarlarda yaklaşık doğu batı açılmaların olduğu görülmüştür. Bu bölgede yamulmanın küçük olmasının nedeninin Sultandağı-Çay depremleri ile enerji boşalımının gerçekleşmiş olduğu düşünülmektedir (Akyüz vd. 2006).

AAG'nin batı tarafında (Çobanlar Fayı - Afyon arası) kuzey güney yönlü açılmalar ile yamulma değerlerinin arttığı görülmüştür. Yapılan jeolojik çalışmalarda bölgede 1921 de başlayan depremlerin

batıya doğru devam edeceğini belirtilmiştir (Demirtas vd. 2002, Akyüz vd. 2006). Bu çalışmada AAG üzerinde yamulma değerlerinin batıya doğru büyümesi bu çalışmaları destekler niteliktedir.

Hesaplanan ortalama b değerinden düşük alanlar ile yüksek yamulma değerleri uyum içinde olması bölgedeki sismik tehlikenin büyük olduğu göstermektedir. b parametrelerinin doğruluğunu etkileyen en önemli unsur grid çevrelerinde meydana gelen depremlerin sayılarının azlığıdır. b parametrelerinin doğru sonuç vermesi için deprem kataloglarının uzun dönemleri kapsamı gerekmektedir. Kısa dönemleri kapsayan kataloglardan hesaplanan b parametre değerleri bölgede az deprem olması durumunda hatalara neden olabilir. Bununla birlikte sismik suskunluk olan bölgelerde b değeri hesaplanması mümkün olmamaktadır. Çalışma bölgesinde yamulma alanları ile b parametreleri arasında fark olan yerlerin temel sebeplerinin bu parametreler olduğu düşünülmektedir.

Çalışma sonucunda yamulma alanlarının büyüklüğü, b parametre değerlerinin küçüklüğü dışında diğer çalışmalardan elde edilen sismik boşluk, deprem göçü vb. sonuçlar dikkate alındığında AAG içinde kalan bölgede, Sultandağı Fayının batı kesiminde gelecek yıllarda 2002 yılında meydana gelen deprem büyüklüklerine benzer büyüklükte bir deprem olma ihtimali bulunduğu görülmüştür. Günümüzde depremlerin oluş zamanlarının tam olarak bilinmemesine rağmen bilimsel çalışmalarla deprem riski olan bölgeler yaklaşık olarak belirlenebilmektedir. Bu nedenle çalışma alanında deprem riskinin belirlenmesine yönelik çok disiplinli çalışmalar yapılmaya devam edilmelidir.

Teşekkür

Bu çalışma AKU BAPK (Proje No:12.TEMATİK.02, 14.FEN.BİL.22) ve TÜBİTAK (115Y246) nolu projeler tarafından desteklenmiştir. b parametre analizlerinde yardımlarını esirgemeyen Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Jeodezi Anabilim Dalı Öğretim Üyesi Doç.Dr. Fatih BULUT'a teşekkür ederiz.

5. Kaynaklar

Aktuğ, B., Nocquet, J.M., Cingöz, A., Parsons, A., Erkan, Y., England, P., Lenk, O., Gürdal, M.A., Kılıçoğlu, A., Akdeniz, H. and Tekgöl, A., 2009. Deformation of

- western Turkey from a combination of permanent and campaign GPS data: limits to block-like behaviour. *Journal of Geophysical Research*. **114**, B10404.
- Akyüz, S., Uçarkuş, G., Şatır, D., Dikbaş, A. ve Kozacı, Ö., 2006. 3 Şubat 2002 Çay depreminde meydana gelen yüzey kırığı üzerinde paleosismolojik araştırmalar. *Yerbilimleri*, **27(1)**, 41-52.
- Ambraseys, N.N. and Finkel, C.F., 1995. The Seismicity of Turkey and Adjacent Areas: A Historical Review, 1500–1800. Eren Yayıncılık ve Kitapçılık Ltd. Şti., İstanbul.
- Bayrak, E., 2012. Batı Anadolu Bölgesinin Deprem Tehlikesinin Farklı Yöntemler Kullanılarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 137.
- Blumenthal, M.M., 1963. Le systeme structural du Taurus sud Anatolien, in Livre a'memoire du Professeur Paul Fallot. *Societe Geologique de France*, **2**, 611–622.
- Demirtaş, R., İravul, Y. ve Yaman M., 2002. 3 Şubat 2002 Eber ve Çay depremleri ön raporu. *Jeoloji Mühendisliği Haber Bülteni*, **1**, 58 – 63.
- Duman, T.Y., Çan, T., Emre, Ö., Kadirioglu, F.T., Başarır, Baştürk, N., Kılıç, T., Arslan, S., Özalp, S., Kartal, R.F., Kalafat, D., Karakaya, F., Eroğlu, Azak, T., Özel, N.M., Ergintav, S., Akkar, S., Altınok, Y., Tekin, S., Cingöz, A. and Kurt, A.İ., 2018. Seismotectonics database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16(8)**, 3277-3316.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Doğan, A., Özalp, S., Tokay, F. and Kuşcu, İ. (2003). Surface Faulting Associated with the Sultandağı Earthquake (Mw 6.5) of 3 February 2002, Southwestern Turkey. *Seismological Research Letters*, **74(4)**, 382-392.
- Emre, Ö., Duman, T.Y., Özalp, S., Şaroğlu, F., Olgun, Ş., Elmacı, H. and Çan, T., 2018. Active fault database of Turkey. *Bulletin of Earthquake Engineering*, **16(8)**, 3229-3275.
- Erdoğan, H., Akpınar, B., Gülal, E., and Ata, E.: Monitoring the dynamic behaviors of the Bosphorus Bridge by GPS during Eurasia Marathon, *Nonlin. Processes Geophys.*, **14**, 513–523, 2007.
- Erdoğan, S., Şahin, M., Yavaşoğlu, H., Tiryakioğlu, I., Erden, T., Karaman, H., Tari, E., Bilgi, S., Okan, Tüysüz O., Baybura, T., Güllü, M., Taktak, F., Telli, A.K., Yılmaz, İ. and Boz, Y., 2008. Monitoring of Deformations Along Burdur Fethiye Fault Zone With GPS. *Journal of Earthquake Engineering*, **12**, 109-118.
- Erdoğan, H., and Güüal, E. 2009, The application of time series analysis to describe the dynamic movements of suspension bridges. *Nonlinear Analysis: Real World Applications*, **10**, 910–927.
- Erdoğan, H. 2012, The effects of additive outliers on time series components and robust estimation: a case study on the Oymapınar Dam, Turkey. *Exp Tech* 2012; **36(3)**: 39–52.
- Erdoğan, H. and Gülal, E. 2013., Ambient Vibration Measurements of the Bosphorus Suspension Bridge by Total Station and GPS. *Exp Techniques*, **37**, 16-23.
- Ergin, K., Güçlü, U. ve Uz, Z., 1967. Türkiye ve Civarının Deprem Kataloğu (MS. 11-1964). *İstanbul Teknik Üniversitesi Maden Fakültesi Arz Fiziği Enstitüsü Yayınları*, **28**.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F., 1944. Seismicity of the Earth. 2, Princeton University Press, NJ.
- Gülal, E., Tiryakioğlu, I., Erdoğan, S., Baybura, T., Erdoğan H., Soyacan, M., Yılmaz, İ., Kalyoncuoğlu, Ü.Y., Dolmaz, M.N., Elitok, Ö., Taktak, F., Telli, A.K., Öcalan, T., Gümüş, K., Kalyoncuoğlu, Ü. Y. Dolmaz, M. N., Elitok, Ö. Erdoğan H. & Soyacan M. 2013, Tectonic Activity Inferred From Velocity Field of GNSS Measurements in Southwest of Turkey, *Acta Geodaetica et Geophysica*, **48 (2)**, 109–121.
- Gülal, E., Erdoğan, H., Tiryakioğlu, I., 2013, Research on the Stability Analysis of GNSS Reference Stations Network by Time Series Analysis. *Digital Signal Processing*, **23**, 1945–1957, 2013.,
- Gülal, E., Dindar, A.A., Akpınar, B., Tiryakioğlu, I., Aykut, N.O., Erdoğan, H., Analysis And Management Of Gns Reference Station Data, *Technical Gazette* **2(2015)**, 407-414
- Herring, T. A., King, R. W., Floyd, M. A. and McClusky S. C., 2018. Introduction to GAMIT/GLOBK. Release 10.7. Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences, 10-42.

- Kalafat, D. and Görgün E., 2017. An Example Of Triggered Earthquakes İn Western Turkey: 2000–2015 Afyon-Akşehir Graben Earthquake Sequences. *Journal of Asian Earth Sciences*, **146**, 103-113.
- Koçyiğit, A., 1984. Güneybatı Türkiye ve yakın dolayında levha içi yeni tektonik gelişim. *Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni*, **27(1)**, 1- 15.
- Koçyiğit, A., Ünay, E. and Saraç, G., 2000. Episodic graben formation and extensional neotectonic regime in west central Anatolia and the Isparta Angle: a case study in the Akşehir-Afyon graben, Turkey. *Geological Society, London, Special Publications*, **173**, 405-421.
- Koçyiğit, A., Bozkurt, E., Kaymakçı, N. ve Şaroğlu, F., 2002. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) depreminin kaynağı ve ağır hasarın nedenleri: Akşehir fay zonu, (Ön jeolojik rapor), Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 3-19.
- Koçyiğit, A. and Özacar, A., 2003. Extensional neotectonic regime through the NE edge of outer Isparta Angle, SW Turkey: new field and seismic data. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **12**, 67–90.
- Koçyiğit, A. and Deveci, Ş., 2007. A NS-trending Active Extensional Structure, the Şuhut (Afyon) Graben: Commencement Age of the Extensional Neotectonic Period in the Isparta Angle, SW Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **16**, 391-416.
- Lomnitz, C. and Singh, S.K., 1976. Earthquakes and Earthquake Prediction; in Seismic Risk and Engineering Decisions, 15, Lomnitz, C. and Rosenblueth, E., Elsevier Scientific Publishing Company, 3-30.
- Mogi, K., 1962. Magnitude-frequency Relationship for Elastic Shocks Accompanying Fractures of Various Materials and Some Related Problems in Earthquakes. *Bulletin of the Earthquake Research Institute The University of Tokyo*, **40**, 831-883.
- Özden, S., Kavak, K.Ş., Koçbulut, F., Över, S. ve Temiz, H., 2003. 3 Şubat 2002 Çay (Afyon) Depremleri. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, **45(2)**, 49-56.
- Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Geçievi, M.O. and Tiryakioğlu, İ., 2019. Late Holocene coseismic rupture and aseismic creep on the Bolvadin Fault, Afyon Akşehir Graben, Western Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **28**, 787-804.
- Poyraz, F., Hastaoğlu, K.O., Koçbulut, F., Tiryakioğlu, İ., Tatar, O., Demirel, M., Duman, H., Aydın, C., Ciğer, A.F., Gursoy, O., Turk, T. and Sıgırcı, R., 2019. Determination Of The Block Movements In The Eastern Section Of The Gediz Graben (Turkey) From Gns Measurements, *Journal of Geodynamics*, **123**, 38–48.
- Poyraz, F. 2015. Determining the strain upon the eastern section of the North Anatolian fault zone (NAFZ). *Arabian Journal of Geosciences*, **8(3)**, 1787-1799.
- Purcaru G., 1975. A new quantitative measure of seismicity and some related problems. *Veröffentlichungen des Zentralinstitut Für Physik Der Erde*, **31(1)**, 185-204.
- Richter, C. F., 1958. *Elementary Seismology*, WH Freeman and Company, San Francisco, 136-139.
- Scholz, C. H., 1968. The Frequency–magnitude Relation of Microfracturing in Rock and its Relation to Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **58**, 399 – 415.
- Soysal H., Sipahioğlu S., Kolçak D. and Altınok Y., 1981. A catalogue of earthquakes for Turkey and surrounding area (BC 2100-AD 1900). Final report, The Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBİTAK), Ankara.
- Şafak, Ş., Tiryakioğlu, İ., Erdoğan, H., Solak, H.İ., Aktuğ, B., 2020, Determination of parameters affecting the accuracy of GNSS station velocities. *Measurement*, **164** (2020) 108003
- Tan O., Tapirdamaz M.C. and Yörük A., 2008. The earthquakes catalogues for Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, **17**, 405-418.
- Taymaz T. and Tan, O., 2001. Source parameters of June 6, 2000 OrtaÇankırı (Mw = 6.0) and December 15, 2000 Sultandağı-Akşehir (Mw = 6.0) earthquakes obtained from inversion of teleseismic Pand SH- body-waveforms. *Scientific Activities 2001 Symposia, İstanbul, Turkey*. 96-107.
- Tiryakioğlu, İ., Floyd, M., Erdoğan, S., Gülal, E., Ergintav, S., McClusky, S. and Reilinger, R., 2013. GPS Constraints on Active Deformation in the Isparta

Angle Region of SW Turkey. *Geophysical Journal International*, **195**, 1455–1463.

2-<http://www.koeri.boun.edu.tr/scripts/Ist5.asp>
(07.01.2021)

Tiryakioğlu, İ., Baybura, T., Özkaymak, Ç., Sözbilir, H., Sandıkçioğlu, A., Erdoğan, S., Yılmaz, İ., Uysal, M., Yılmaz, M., Yıldız, A., Dereli, M.A. Yalçın, M., Dumlupınar, İ., Yalın, H.A., Ertuğrul. O. 2015. Sultandağı Fayı Batı Kısmı Fay Aktivitelerinin Multidisipliner Çalışmalarla Belirlenmesi, Harita Teknolojileri Elektronik Dergisi 2015, 7(1) 7-16

Tiryakioğlu, İ., Yavaşoğlu, H., Uğur, M.A., Özkaymak, Ç., Yılmaz, M., Kocaoğlu, H., Turgut, B. 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.

Tiryakioğlu, İ., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Sözbilir, H. and Uysal, M., 2018. Comparison of Palaeostress Analysis, Geodetic Strain Rates and Seismic Data in the Western Part of The Sultandağı Fault in Turkey. *Annals of Geophysics*, **61(3)**, 1-14.

Tiryakioğlu, İ., Yiğit C.O., Özkaymak, Ç., Baybura, T., Yılmaz, M., Uğur, M.A., Yalçın, M., Poyraz, F., Sözbilir, H. and Gülal, E., 2019. Active Surface Deformations Detected By Precise Levelling Surveys In The Afyon-Akşehir Graben, Western Anatolia, Turkey. *Geofizika*, **36(1)**, 33–52.

Ulusay, R., Aydan, Ö., Erken, A., Tuncay, E., Kumsar, H. and Kaya, Z., 2004. An overview of geotechnical aspects of the C ay-Eber (Turkey) earthquake. *Engineering Geology*, **73**, 51–70.

Yigit, C. O., Alcay, S., & Ceylan, A. 2016, Displacement response of a concrete arch dam to seasonal temperature fluctuations and reservoir level rise during the first filling period: evidence from geodetic data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(4), 1489-1505.

Yürür, T., Köse, O., Demirbağ, H., Özkaymak, Ç. and Selçuk, L., 2003. Could the coseismic fractures of a lake ice reflect the earthquake mechanism. *Geodynamica Acta*, **16**, 83-87.

İnternet kaynakları

1-http://www.mdsoft.com.tr/Pages/Product_Geodsoft,
(07.01.2021)