

23 Ekim 2011 Van depreminin (Mw=7.1) oluşturduğu Coulomb gerilme değişimi

Türkan Ersular^{*1}, Ayşe Güneş², Yusuf Sarı³, Ertuğrul Gürbüz⁴, Hatice Durmuş⁵, Levent Gülen⁶

08.04.2014 Geliş/Received, 27.07.2014 Kabul/Accepted

ÖZ

23 Ekim 2011 tarihinde moment magnitüdü Mw=7.1 olan bir deprem Türkiye'nin doğusunda Van ilinde meydana gelmiştir. Deprem Van şehir merkezinde ve Erciş kasabasında yoğun hasar yaratmış ve 600'den fazla insanın hayatını kaybetmesine sebep olmuştur. Bu çalışmada, 2011 Van depreminin neden olduğu Coulomb gerilme değişimi hesaplanmış ve gerilmenin Van Gölünün güney sahilinin ortasından itibaren kuzeydoğu yönünde Muradiye'ye doğru uzanan bir zon boyunca 5 bara kadar arttığı saptanmıştır. Bu zon artçı deprem dağılımlarının da yoğun olarak gözlemlendiği bir zondur. 9 Kasım 2011 tarihinde zarara ve can kaybına neden olan Mw=5.6 büyüklüğündeki Edremit depremi Van depreminin bir artçı şoku olmayıp, Van depremi ile tetiklenen bağımsız bir depremdir.

Anahtar Kelimeler: 23 Ekim 2011 Van depremi, 9 Kasım 2011 Edremit depremi, coulomb gerilme değişimi, deprem, fay, aktif tektonik

Coulomb static stress changes after the 23 October 2011, Van earthquake

ABSTRACT

On October 23, 2011, a Mw=7.1 earthquake occurred in the province of Van in eastern Turkey. The earthquake caused extensive damage in the city centers of Van and Erciş, and it caused more than 640 fatalities. In the present study, we calculated Coulomb stress failure changes caused by the 2011 Van earthquake. The stress increases up to 5 bars in a zone that extends northeastwards from the midpoint of the southern shore of Lake Van towards Muradiye. The density of aftershock distributions are high in the stress zone. The November 9, 2011 Edremit earthquake (Mw=5.6), which caused further loss of lives and damage in the earthquake struck area, is not an aftershock, but an independent earthquake triggered by the October 23, 2011 Van earthquake.

Keywords: October 23, 2011 Van earthquake, November 9, 2011 Edremit earthquake, Coulomb stress change, earthquake, fault, active tectonic

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, Sakarya - turkanersular@hotmail.com

2 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, Sakarya - aysegunes_54@hotmail.com

3 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, Sakarya - says.muhendislik@gmail.com

4 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, Sakarya - egurbuz@sakarya.edu.tr

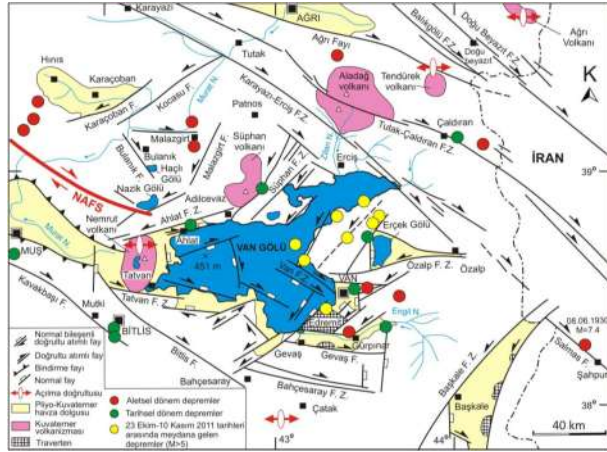
5 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, Sakarya - herguven@sakarya.edu.tr

6 Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği, Sakarya - lgulen@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğu Anadolu Bölgesi, Arap ve Avrasya levhaları arasında meydana gelen yakınsamalı levha hareketleri sonucu K-G yönlü sıkışmalı tektonik süreçlerin etkisindedir. Söz konusu tektonik süreçler altında bölgede birbirine çapraz uzanan doğrultu atımlı faylar, bindirme ve ters faylar ile normal fay veya açılma çatlaklarından oluşan karmaşık bir kabuk yapısı gelişmiştir [1]. Bu karmaşık yapı içinde KD-GB uzanımlı faylar sol yönlü doğrultu atımlı, KB-GD uzanımlı faylar ise sağ yönlü doğrultu atımlıdır [2]. K-G yönlü tektonik yapılar normal fay veya açılma çatlakları şeklinde gelişirken, D-B uzanımlı güncel tektonik yapılar ise kıvrım, ters ve bindirmelerle temsil edilmektedir (Şekil 1)[2].

Şehir merkezinin kuzeyinde Van gölü ile Erçek gölü arasında yer alan ve Van şehir merkezinin kuzeyinde hemen hemen D-B doğrultulu uzanan Van fayı kırığı depreme sebep olmuştur. Türkiye sınırları içindeki ters faylardan kaynaklanan ve büyüklüğü 7 ve üzerinde olan bir deprem tarihsel dönemlerden bilinmediği gibi, son yüzyılı kapsayan atesletsel dönemde de kaydedilmemiştir [3]. Bu özelliği ile $M_w=7.1$ büyüklüğündeki 23 Ekim 2011 Van depremi ters faylardan kaynaklanmış en büyük yıkıcı deprem özelliğine sahiptir [4].



Şekil 1. Van Gölü Havzası ve yakın çevresinin sismotektonik haritası [5] (Seismotectonic map of Lake Van Basin and vicinity [5])

9 Kasım 2011 de zarara ve can kaybına neden olan $M_w=5.6$ büyüklüğündeki Edremit depremi ise Van depreminin bir artçı şoku olmayıp, Van depremi ile tetiklenen bağımsız bir depremdir. Çünkü Edremit depreminin merkez üssü kuzeye dalımlı bir ters fay olan Van fayının güneyinde yer almakta ve Edremit depremi de kendi artçı şoklarını üretmiş olup bunlar doğu-batı uzanımlıdır. Bunun yanı sıra Van ve Edremit depremlerinin faylanma mekanizmaları da çok farklı

olup, Van depremi ters faylanma, Edremit depremi ise sağ-yanal doğrultu atımlı faylanma özelliğine sahiptir.

1.1. 23 Ekim 2011 Van depremi (23 October 2011 Van earthquake)

23 Ekim 2011 Van depremi ($M_w=7.1$) Van fayı boyunca meydana gelmiştir [1, 3, 4]. Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından depremin episantrı Van şehir merkezinin yaklaşık 25 km kuzeydoğusu olarak verilmiştir. En ağır hasarın Van şehir merkezi ve Erciş ilçesinde meydana geldiği depremde, 600'den fazla insan hayatını kaybetmiş, 2608 insan yaralanmış ve birçok insan evsiz kalmıştır [6, 7, 8].

23 Ekim 2011 Van depremi Türkiye'nin doğusunda Van ilinde meydana gelmiştir. Şehir merkezinin kuzeyinde Van gölü ile Erçek gölü arasında yer alan ve Van şehir merkezinin kuzeyinde hemen hemen D-B doğrultulu uzanan Van fayı kırığı depreme sebep olmuştur. Depremin merkez üssü KRDAE tarafından 38.75° D ve 43.36° K olarak belirlenmiştir. 23 Ekim 2011 Van depreminin episantrı Van şehir merkezinin yaklaşık 30 km kuzey batısında yer almaktadır [9]. Depremin, çeşitli sismoloji enstitü ve kuruluşlarının bulunan odak ve kaynak parametreleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. 23 Ekim 2011 Van depreminin kaynak parametreleri. D1 ve D2: 1. ve 2. düğüm düzlemleri (Source parameters of the 23 October 2011 Van earthquake. D1 and D2: 1. and 2. node planes)

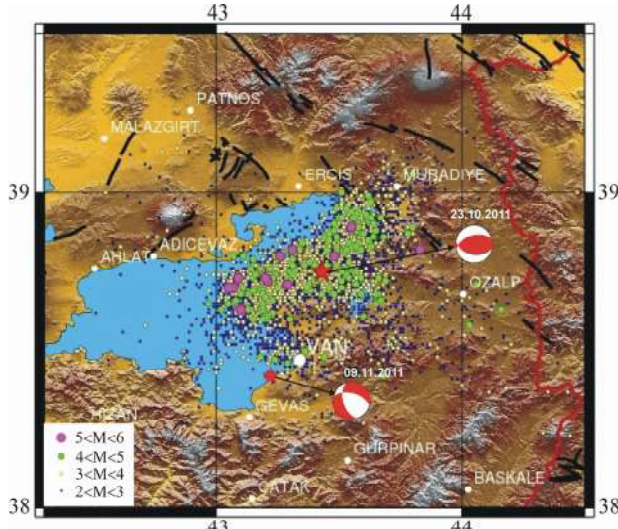
KRDAE: Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü,

	KRDAE	USGS	GFZ	EMSC	GCMT				
Saat	13:41:21	10:41:22	10:41:22	10:41:22	10:41:30				
Enlem ($^{\circ}$)	38.758	38.710	38.72	38.86	38.67				
Boylam ($^{\circ}$)	43.360	43.446	43.55	43.48	43.42				
Derinlik (km)	5	16	10	10	15				
Büyüklük	6.6 Ml	7.3 Mw	7.1 Mw	7.3 Mw	7.1 Mw				
$M_0 \times 10^{19} \text{Nm}$	-	9.9	4.7	6.86	6.4				
Strike ($^{\circ}$)	-	D1	D1	D1	D1				
		D2	D2	D2	D2				
Dip ($^{\circ}$)	-	71	19	54	36	44	53	36	60
Rake ($^{\circ}$)	-	86	101	94	85	120	64	60	110

USGS: United States Geological Survey, GFZ: Geoforschungszentrum, EMSC: European-Mediterranean Seismological Centre, GCMT: Global Centroid Moment Tensor Catalog.

23 Ekim 2011 Van depreminin ardından 10 Nisan 2012 tarihine kadar yaklaşık beş aylık süre içinde bölgede meydana gelen büyüklüğü $M \geq 2$ olan toplam artçı sarsıntı sayısı 6000'den fazladır ve oluşan artçı depremler fayın kuzey kısmında yoğunlaşmıştır (Şekil 2). Artçı sarsıntılardan en büyüğü ana depremin olduğu gün 23 Ekimde yerel saat ile 23:45'te M_w 6.0 olarak kaydedilmiştir ve artçı şokların ilk modelleme sonuçları hemen hemen D-B doğrultulu bir kırılma gösterir [10].

Artçı deprem konumları yaklaşık 50 km x 25 km boyutlarında bir kırılmayı işaret etmektedir [11]. Bu fay düzlemi üzerinde yaklaşık 10-15 km derinlikteki ortalama yer değiştirme 2 m ve fayın doğrultusu yaklaşık 250°dir [3]. GPS ve InSar verileri kullanılarak yapılan bir modelleme çalışmasında Van gölü ile Erçek gölü arasında 45° kuzeye eğimli bir fay üzerinde 2.5 metreye varan yer değiştirme bulunmuştur ve faylanma türü ters faylanmadır [10].



Şekil 2. 23 Ekim 2011 Van depremi sonrası 7 aylık zaman dilimi içindeki artçı deprem aktivitesi. Artçı depremler ve 2011 Van ve Edremit depremlerinin odak çözümleri sırasıyla KOERİ ve USGS'den alınmıştır. Kırmızı yıldızlar 2011 Van ve Edremit depremlerinin episantr yerlerini göstermektedir (The aftershocks activity in the seven months period after the 23 October 2011 Van Earthquake. Focal mechanisms of the 2011 Van and Edremit earthquakes and their aftershocks are taken from KOERİ and USGS. Red stars represent epicenter locations of the 2011 Van and Edremit earthquakes)

2. METOD (METHOD)

Bu çalışmada [12] tarafından geliştirilen ve parametrelerin hassasiyetinin [13] tarafından test edildiği Coulomb Gerilme Değişim Metodu kullanılmıştır. Gerilme şartları altındaki kayaların yenilmesini açıklamak için literatürde kullanılan çok sayıda yenilme kriteri vardır. Coulomb kriteri laboratuvar şartları altında kayaların yenilmesini ifade ettiği gibi yeryüzündeki faylanmayı da açıklar [15]. Coulomb yenilme gerilmesindeki değişim,

$$\Delta\sigma_f = \Delta\tau + \mu' \Delta\sigma_n \quad (1)$$

ile tanımlanır. Burada $\Delta\sigma_n$ ve $\Delta\tau$, sırasıyla hedef fay düzlemi üzerindeki normal (pozitif) ve kesme gerilme değişimleri, μ' ise boşluk suyu basıncının bilinmeyen etkisini içeren uygun sürtünme katsayısıdır [13]. μ' , 0.2-0.8 aralığında değişir ve bu çalışmada incelenen bölge için 0.4 alınmıştır.

Coulomb gerilmesi, kayaların doğal kesme gerilmesi σ_f 'e eşit veya daha fazla olursa yenilme meydana gelir. Gözenek sıvı basıncı normal gerilmeyi azaltıcı yönde rol oynar. $\Delta\tau$ 'in değeri sadece kaymanın yönünü etkilediğinden dolayı değeri uygun seçilmelidir.

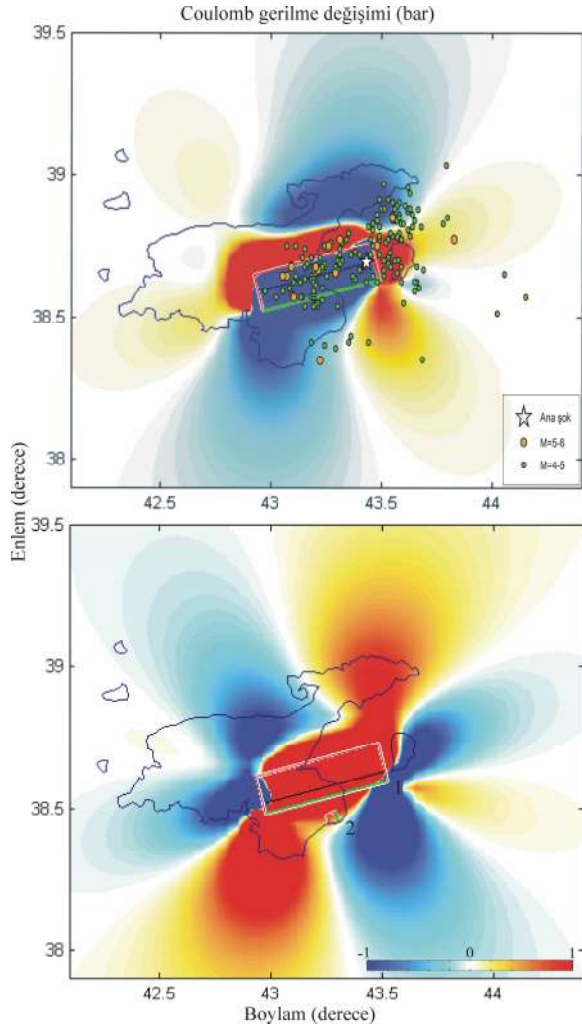
Coulomb yenilme gerilmesindeki maksimum değişimler yenilmenin optimum olarak yönlendiği düzlemler üzerinde meydana gelir ve bu nedenle artçıların çoğunun kaymanın optimum olarak yönlendiği ana fay çevresindeki küçük faylar üzerinde oluşması beklenir [12]. Optimum yenilme düzlemlerinin yönelimi hem depremin gerilme değişimi hem de önceden var olan bölgesel gerilme ile kontrol edilir [12, 13]. Ayrıca bölgesel gerilmenin yönü ana fay çevresindeki yenilme stresinin dağılımını da etkiler.

3. COULOMB GERİLME DEĞİŞİMİ MODELİ VE SONUÇLAR (COULOMB STRESS CHANGES AND RESULTS)

Bu çalışmada, hem 23 Ekim 2011 Van depreminden kaynaklanan Coulomb gerilme değişim modeli ile bölgedeki artçı deprem aktivitesi arasındaki ilişki hem de 09 Kasım 2011 Edremit depremi fay düzlemi üzerindeki gerilme değişimi incelenmiştir. Coulomb yenilme gerilmesindeki maksimum değişimler yenilmenin optimum olarak yönlendiği düzlemler üzerinde meydana gelir ve bu nedenle artçıların çoğunun kaymanın optimum olarak yönlendiği ana fay çevresindeki küçük faylar üzerinde oluşması beklenir [13]. Optimum yönlendirilmiş fay üzerinde gerilme değişim hesapları öncelikle asal gerilme eksenleri yönelimleri ile bölgesel gerilme alanının tanımlanmasını gerektirir. Buna göre, bu çalışmada [16] tarafından verilen bölgesel gerilme alanı (σ_1 için, azimuth=335°, plunge=16°; σ_2 için, azimuth=255°, plunge=32° ve σ_3 için, azimuth=42°, plunge=53°), kullanılarak ana şok ve artçıların çoğu ters fay mekanizmasıyla geliştiği için optimum ters faylar üzerinde gerilme değişimi hesaplanmıştır.

Coulomb gerilme değişimi modelinde kaynak fay olarak tanımlanan 2011 Van depremi fay düzlemi için fay boyutları KOERİ tarafından kayıt edilen artçı deprem dağılımlarından yararlanarak belirlenmiştir (fay uzunluğu =51km, genişliği=25 km) (Şekil 2). Kaynak fayın doğrultusu, eğimi ve rake açısı sırasıyla 255°, 50° ve 73° olarak alınmıştır (USGS cisim dalgası moment tensör çözümü). Artçı deprem dağılımının doğrultusu ile belirlediğimiz kaynak fayın doğrultusu USGS tarafından verilen fay düzlemi doğrultusu ile aynıdır. Üst kenarı yer yüzeyine yerleştiren 2011 Van depremi kaynak fay düzlemi için kayma miktarı, [17]'nin magnitüde bağlı olarak tanımladığı ampirik bağıntılarından yararlanarak 2.30 m'lik tek bir kayma değeri ile tanımlanmıştır. Şekil 3a ve b'de verilen Coulomb gerilme değişim modelleri

sırasıyla 10 km ve 5 km derinliklerde hesaplanmış olup kırmızı renkler gerilme artışlarını, mavi renkler gerilme düşümünü temsil etmektedir.



Şekil 3. 23 Ekim 2011 Van depreminden dolayı hesaplanan Coulomb gerilme değişim modelleri. (a) 2011 Van depreminden dolayı 10 km derinlikte hesaplanan Coulomb gerilme değişim modeli ile artçı deprem aktivitesi dağılımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Artçı depremlerin episantr yerleri KRDAE'den alınmıştır. (b) 2011 Van depreminden dolayı 2011 Edremit depremi fay düzlemi üzerinde 5 km derinlikte hesaplanan Coulomb gerilme değişim modelini göstermektedir. 1: 23 Ekim 2011 Van depremi fay düzlemi, 2: 09 Kasım 2011 Edremit depremi fay düzlemini göstermektedir (The Coulomb stress change models of the 23 October 2011 Van earthquake. (a) shows relation between Coulomb stress change model and aftershock distribution at 10 km depth. Aftershock locations are obtained from KOERI. (b) shows the calculated Coulomb stress change model for the 2011 Van earthquake on the 2011 Edremit earthquake fault plane. 1: fault plane of 23 October 2011 Van earthquake, 2: fault plane of 09 November 2011 Edremit earthquake)

Şekil 3a, 2011 Van depreminden sonra meydana gelen artçı depremlerin ($M \geq 4.0$) episantr dağılımları ile optimum ters faylar üzerinde 2011 Van depreminden dolayı hesaplanan Coulomb gerilme değişimleri arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Gerilme değişim modeli artçı depremlerin ortalama derinliği olan 10 km

derinlik için yapılmıştır. Buna göre artçı depremlerin birçoğunun gerilmenin 1 bar'a kadar artış gösterdiği kuzeydoğu kısımda yerleştiği görülmektedir.

Şekil 3b ise doğrultusu 163° , eğimi 52° ve rake açısı -44° olan Edremit depremi fay düzlemi üzerinde 2011 Van depreminden dolayı hesaplanan Coulomb gerilme değişim modelini göstermektedir. 2011 Edremit depreminin, 2011 Van depremi ana şoku ve artçılarından farklı bir odak mekanizmasına sahip olması ve 2011 Van depreminin oluşturduğu artçı deprem aktivitesi dışında bir bölgede meydana gelmesi bu depremin farklı bir kaynak zonu üzerinde meydana geldiği düşüncesini ortaya koyabileceği gibi 2011 Van depreminin tetiklediği bölgedeki diğer fay sistemlerinin aktivitesine bağlı gelişen artçı deprem olması da söz konusudur [10]. Şekil 3b'deki 5 km derinlikte (2011 Edremit depreminin odak derinliği) hesaplanan Coulomb gerilme değişim modeli harita görüntüsü incelendiğinde 2011 Edremit depremi fay düzleminin tamamının 2011 Van depreminden dolayı en az 1 bar'lık bir gerilme yüklediği görülmektedir. Buda 2011 Edremit depreminin Van depreminden dolayı tetiklendiği görüşünü açıkça desteklemektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENT)

Bu makale Jeofizik Semineri 2 dersine katılan yüksek lisans ve doktora öğrencileri tarafından, dersi veren Prof.Dr. Levent Gülen'in yönetiminde hazırlanmış olup bu seminer dersinde tartışmaları ile makaleye katkıda bulunan herkese teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Gülen, L., Utkucu, M., Budakoğlu, E., Yalçın, H., Güneş, Y., Kalafat, D. (2012) 'Seismotectonics of the Lake Van Region and the October 23, 2011 Van Earthquake ($M_w=7.1$)', Seismological Research Letters, 83(2), 438.
- [2] Şaroğlu, F. ve Yılmaz, Y. (1984) 'Doğu Anadolu'nun Neotektoniği ve ilgili Magmatizması', Türkiye Jeol. Kur. İhsan Ketin Sempozyumu, Özel Sayısı, 149-162.
- [3] Emre Ö., Duman T.Y., Özalp S. ve Elmacı H. (2011) '23 Ekim 2011 Van Depremi Saha Gözlemleri ve Kaynak Faya İlişkin Ön Değerlendirmeler', MTA Raporu, 22s.
- [4] Koçyiğit A., Deveci, Ş. ve Kaplan M. (2011) 'Van Depremleri Raporu', ODTÜ, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Aktif Tektonik ve Deprem Araştırma Laboratuvarı, 29p.
- [5] Koçyiğit, A. (2002) 'Neotectonics and seismicity of East Anatolian', Workshop-2002 on the Geology of East Anatolian, Van, Turkey.

- [6] Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) (2011) ‘Van Depremi (23 Ekim 2011) Raporu’, Aralık 2011, pp 100.
- [7] Çelebi, M., Holzer, T.L. and Scharer, K.M. (2011) ‘Van, Turkey, M7.1 Earthquake of October 23, 2011’, Report to USAID/OFDA, USGS, Dec., 2011.
- [8] Erdik, M., Kamer, Y., Demircioğlu, M., Şeşetyan, K. (2012) ‘23 October 2011 Van (Turkey) earthquake’, *Nat. Hazards*, 64:651–665, DOI 10.1007/s11069-012-0263-9.
- [9] Utkucu M., Budakoğlu E., Yalçın H., Durmuş H., Kalkan H. ve Gülen L. (2011) ‘23 Ekim 2011 Van Depremi Hakkında Ön Rapor’, Sakarya Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 9s.
- [10] Akoğlu, A. M., Jonsson, S., Çakır, Z., Ergintav, S., Doğan, U., Feng, G. ve Zabcı C. (2012) ‘The Surface Deformation and Source Parameters of the October 23rd, 2011, Mw 7.1 Van (Turkey) Earthquake from InSAR, GPS and Field Observations’, *Geophysical Research Abstracts* Vol. 14, 2012 EGU General Assembly.
- [11] Koeri, (2011) ‘Van Earthquake Evaluation Report as of 27 October 2011’, Boğaziçi Üniversitesi, 3p.
- [12] Stein R. S., King, G.C.P. and J. Lin (1992) ‘Change in failure stress on the southern San Andreas fault system caused by the 1992 Magnitude = 7.4 Landers earthquake’, *Science*, 258, 1328-1332.
- [13] King G.C.P., R.S. Stein and, J. Lin (1994) ‘Static stress changes and the triggering of earthquakes’, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 84, 935-953.
- [14] Stein, R.S. (1999) ‘The Role of Stress in the Earthquake Occurrence’, *Nature*, 402, 605-609.
- [15] Jaeger, J. C. and Cook, N.G.W. (1971) ‘Fundamentals of rock mechanics’, Chapman and Hall, London, 76s.
- [16] Pınar, A., Honkura, Y., Kuge, K., Matsushima, M., Sezgin, N., Yılmaz, M. and Oğütçü, Z. (2007) ‘Source mechanism of the 2000 November 15 Lake Van earthquake ($M_w = 5.6$) in eastern Turkey and its seismotectonic implications’, *Geophys. J. Int.*, 170, 749–763, doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03445.x.
- [17] Wells, D. L. and Coppersmith, K. J. (1994) ‘New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement’, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84, 974–1002.

