

19 Mayıs 2011 M_w 6.0 Simav-Kütahya Depreminin Kaynak Parametreleri ve Coulomb Gerilim Değişimleri

E. Görgün¹

¹ Doçent, Jeofizik Müh. Bölümü, Sismoloji Anabilim Dalı, İstanbul Üniversitesi, Avcılar

E-mail: ethem.gorgun@istanbul.edu.tr

ÖZET:

19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya'nın Simav ilçesinde moment büyüklüğü (M_w) 6.0 olan orta büyüklükte bir deprem meydana geldi. Bu çalışmada bu depreme ait moment büyüklükleri 3.5 ile 6.0 arasında değişen 41 depremin moment tensörleri hesaplandı. Bu moment tensörleri, dalga formu ters çözümlemesi yöntemi kullanılarak, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü verilerinden elde edilmiştir. Verilerin tarih aralığı 19 Mayıs – 22 Ağustos 2011 arasını kapsamaktadır. Ana odak, odak derinliği 10 km olan sırt bir depremdir. Artçı depremlerin odak derinlikleri 5 ile 20 km arasında değişmektedir. Ana okun sismik momenti (M_0) 1.15×10^{18} Nm olarak hesaplanmıştır. Simav ana okunun kırılma süresi 30 saniyedir. Artçı depremlerin odak mekanizmaları ayrı ayrı olarak normal faylanmadır. Ancak çeşitli ekillerde doğrultu atım bileşenleri de görülmektedir. Odak mekanizmalarının geometrisinin T-eksenleri KD-GB uzanımlı normal faylanma rejimini işaret etmektedir. Odak mekanizmalarının gerilim tensör ters çözümüyle analizi sonucu, Simav depreminin gerilim alanı daha iyi resmedilmiştir. Gerilim tensör ters çözümlemesi sonucunda bölgede bulunan maksimum birincil sıkılaşma gerilimi KB-GD yönlüdür ve normal gerilim rejimini göstermektedir. Yüksek çözünürlüklü hiposantr çözümlerine göre, Simav depremi dizisinde iki ana deprem kümesi tanımlanmıştır. 19 Mayıs – 22 Ağustos tarihleri arasındaki artçı deprem aktivitesi ana ok kümesinin KD yönüne doğru geliştini göstermektedir. Sismik derinlik kesitleri birbirine paralel iki fayın aktive olduğu karmaşık bir hiposantr dağılımına işaret etmektedir. Kuzeydeki deprem kümesi, eksen açısının GD yönelimli olduğu, KB-GD uzanımlı bir fay düzlemini göstermektedir. Bulunan deprem odak derinlikleri artçı deprem aktivitesinin en fazla 25 km derinliğe kadar görüldüğü ve özellikle 2 ile 24 km arasındaki derinliklerde yoğunluğu göstermektedir. Sonuç olarak, Coulomb gerilim analizi yapılarak bölgedeki gerilim transferi incelenmiştir. Pozitif kısımlar gerilimin 3 bardan fazla olduğu göstermektedir. Bu değerler de Coulomb gerilim artışının KB-GD yönlü olduğu ve deprem sonrası süreçte bu yönde bir kırılma olacağına işaret etmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Artçı Deprem, Coulomb Gerilim Değişimi, Ege Bölgesi, Gerilim Tensör Ters Çözümü, Moment Tensör Ters Çözümü, Odak Mekanizması.

1. GİRİŞ

Simav depremi 19 Mayıs 2011 GMT zamanına göre 20:15:23.4 saatinde meydana gelmiştir. Ana okun moment büyüklüğü (M_w) 6.0 olup, derinliği 10 km'dir (Görgün, 2014). Bu deprem Simav Fay Zonu (SFZ) içinde meydana gelmiştir (Etil 1). Depremden sonra yapılan arazi gözlemlerinde ana okun yapısal karakteristiği KD-GB uzanımlı normal faylanma olarak yorumlanmıştır (Emre vd., 2012). Bölge daha önce de büyüklüğü 7.0'dan büyük olan depremlere ev sahipliği yapmıştır. Bu depremlerden en büyüğü 28 Mart 1970 tarihinde kaydedilen yüzey dalgası büyüklüğü (M_s) 7.2 olan Gediz depremidir. Bu deprem SFZ'nin doğusunda olmuştur. Burada incelenen depremle aynı odak mekanizması özelliğini taşımaktadır.

Bu çalışmada, Simav depreminin gerilim tensör dağılımı 41 tane artçısının odak mekanizması kullanılarak bulunmuştur. Bu odak mekanizmalarının büyüklükleri 3.5 ile 6.0 arasında değişmektedir. Odak mekanizmaları Nakano vd. (2008) tarafından geliştirilen bir moment tensör algoritması kullanılarak hesaplanmıştır. Bunlara ilaveten depremin artçıları ile ilgili hassas lokasyon teknikleri uygulanarak artçı depremlerin dağılımını da

bakılmıştır. Son olarak Coulomb gerilim dağılımı hesaplanarak en büyük ve en küçük gerilim değerlerinin nerede olduğu hesaplanmıştır.

2. Veri ve dalga formu ters çözümü

Çalışmada kullanılan veriler Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) geni band istasyonlarından alınmıştır. Burada kullanılan istasyon sayısı 14'dür. Bu istasyonlar öncelikli olarak internet üzerinden alınmış ve moment tensörleri hesaplanmadan bazı gereksizlere maruz bırakılmıştır. Bu gereksizler sırasıyla verinin pole-zero'larından arındırılması, yerdeki titreşim kaydına çevrilmesi ve 50 ile 100 s arasında filtrelenmesidir. Daha sonra örnekleme frekansları 0.5 Hz olarak değiştirilmiştir. Kullanılan toplam veri boyu 512 s'dir. Green Fonksiyonları her 10 km için 1500 km'ye kadar hesaplanmıştır. Derinlik içinde her 5 km için 100 km'ye kadar hesaplanmıştır. Green Fonksiyonları'nı hesaplamak için kullanılan kabuk modeli Akyol vd. (2006) 'dan alınmıştır. Tablo 1'de 1-D kabuk modeli görülmektedir. Moment tensör sonuçlarını bulmak için yatayda 0.1° ve dikeyde 5 km grid tarama yöntemi kullanılmıştır (Nakano vd., 2008).

Tablo 1. 1-D hız modeli

Vp (km s ⁻¹)	H (km)
4.73	0.0-1.5
5.06	1.5-3.0
5.84	3.0-5.0
6.00	5.0-15.0
6.25	15.0-21.0
6.43	21.0-29.0
7.80	29.0-

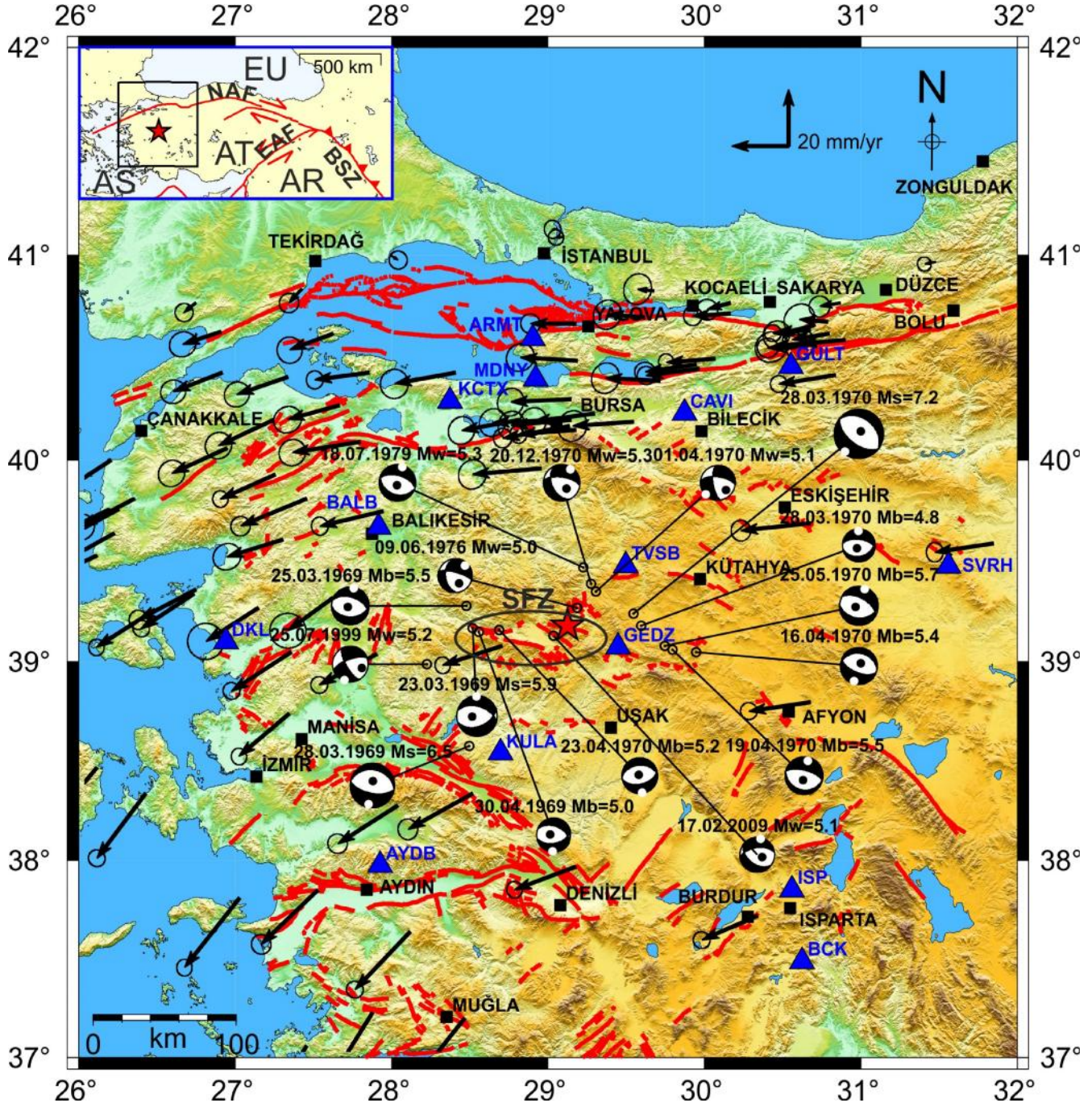
Bu yöntem kullanılarak bulunan mekanizmalar ekil 2'de gösterilmektedir. Bu ekilde, çalışmada moment tensörleri hesaplanan depremlerin hem harita hem de derinlik kesitlerinin görüntüleri görülmektedir.

3. Gerilim tensör ters çözümü

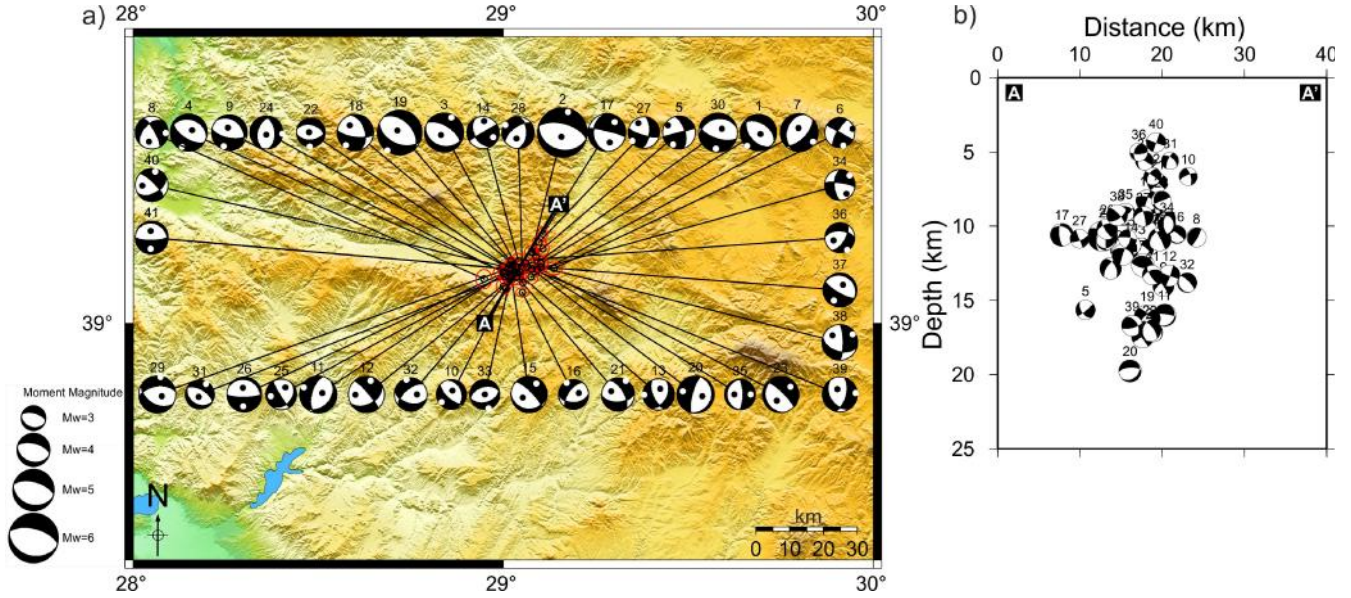
Bu çalışmada Michael (1984, 1987) algoritması kullanılmıştır. Bu algoritmada hata değerlerini hesaplamak için bootstrap tekniği kullanılmıştır. Bu yöntemde σ_1 , σ_2 , σ_3 değerleri sırasıyla maksimum, orta ve minimum sıkı ma gerilimleri hesaplanmıştır.

$$\sigma_1 = (\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3) \quad (1)$$

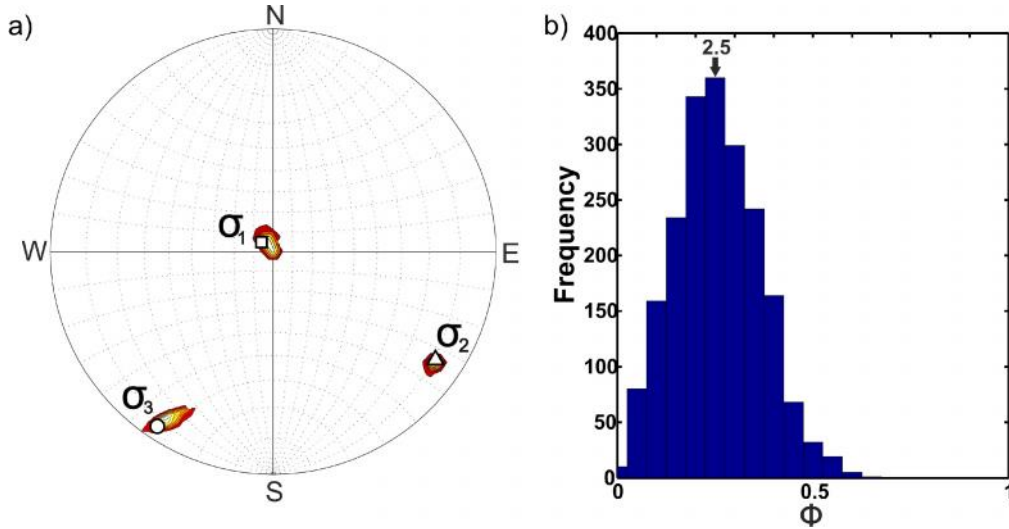
Hesaplamalarda 1 no'lu denklem kullanılmaktadır (Bott, 1959). Burada göreceli gerilim büyüklüğü gösterilmektedir. Bu değer 0.5'den büyük olursa açılma, 0.5'den küçük olursa ise sıkı ma gerilim rejimi olarak isim verilmektedir. Bu çalışmada 41 deprem için bölgenin gerilim tensörleri hesaplanmış ve ekil 3'te gösterilmiştir.



ekil 1. Simav deprem bölgesinin sismotektonik haritası



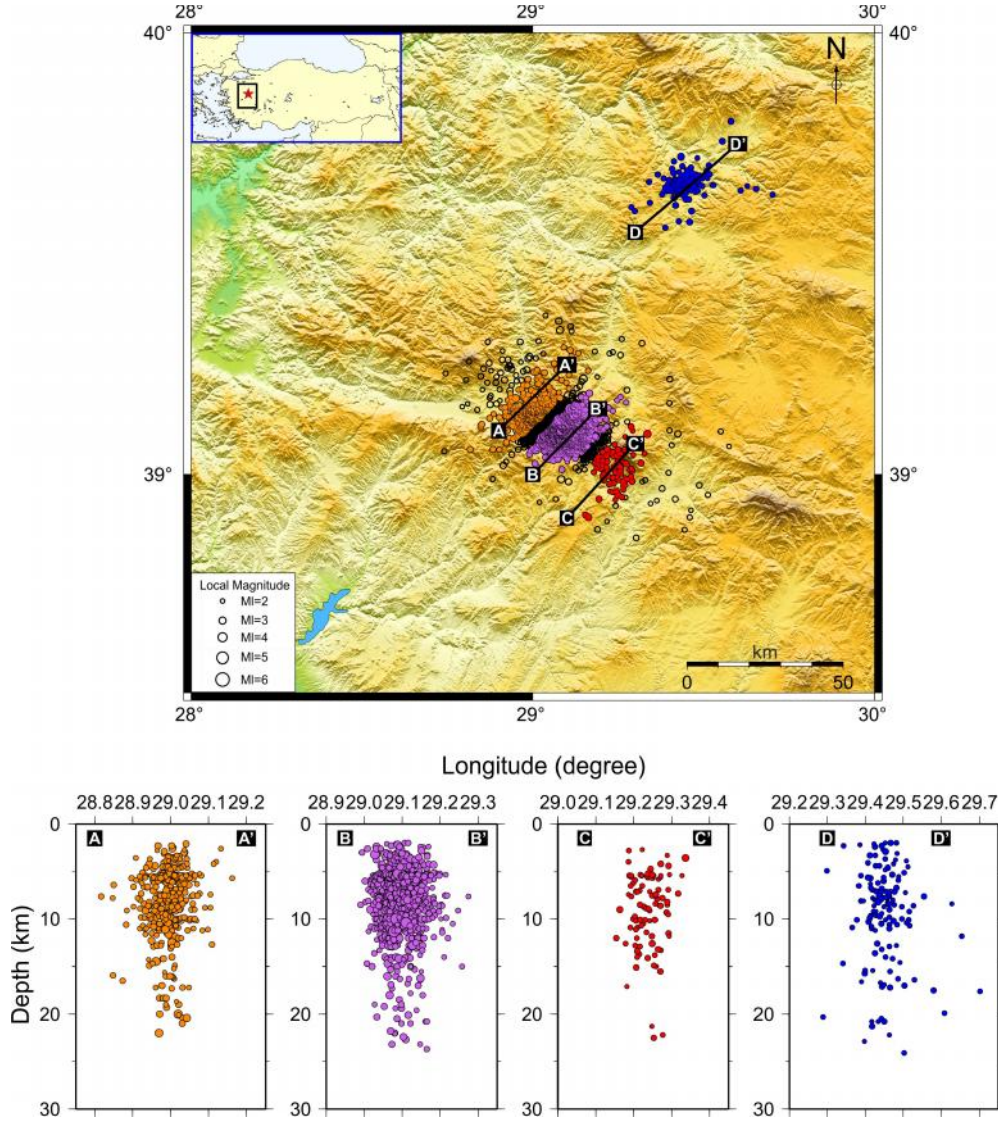
ekil 2. Moment tensörleri hesaplanan 41 depremin harita görüntüsü (a) ve derinlik kesiti görüntüsü (b)



ekil 3. 41 odak mekanizmasının gerilim tensörlerinin görüntüsü (a) ve göreceli gerilim büyüklüğünün görüntüsü (b)

4. Deprem iç merkezlerinin hassas lokasyonu

Bu çalışmada 3208 depremin ana oktan sonra 3 aylık zaman dilimi için lokasyonları bulunmuştur. Bu lokasyonlar genel lokasyonlardır. Bu lokasyonlar lokal büyüklüğü (MI) 2.0'dan büyük depremler için yapılmıştır. Genel lokasyonların hata aralıkları yatayda ve dikeyde 3 ile 4 km'dir. Bu hataları düzeltmek için Waldhauser ve Ellsworth (2000) tarafından geliştirilen HypoDD hassas lokasyon yazılımı kullanılmıştır. Bu yöntemin kullanılmasıyla 2515 adet depremin yatay ve dikey hataları 1 km'nin altında bulunmuştur ve bu lokasyonlar ekil 4'te çizdirilmiştir.



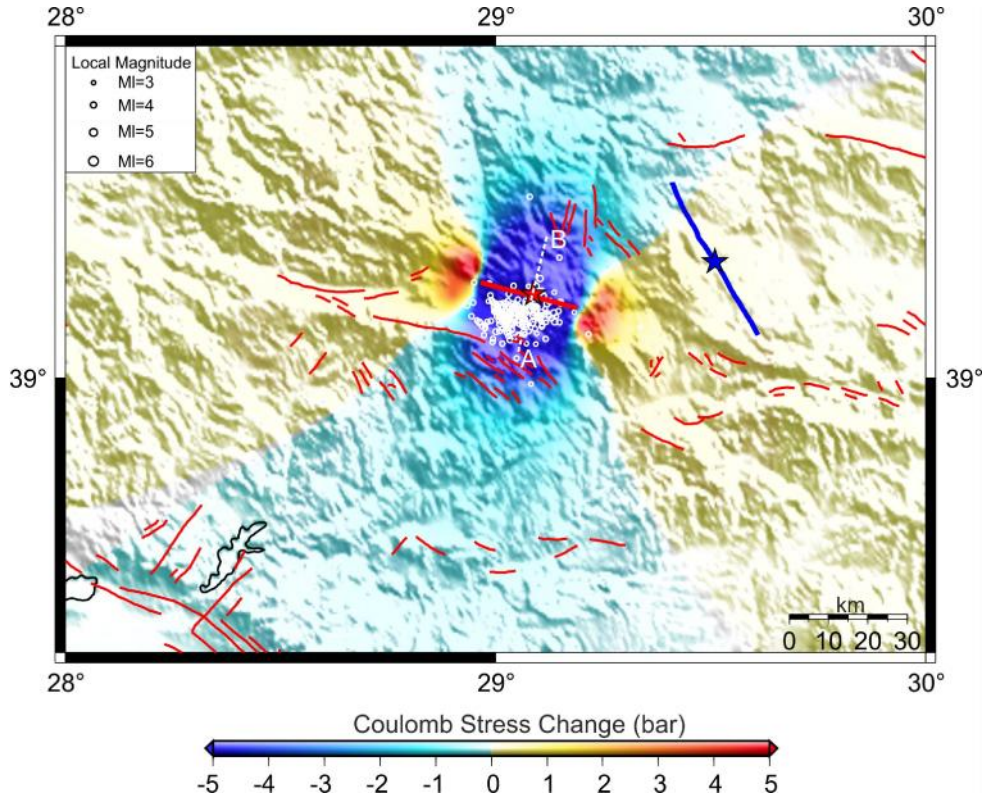
ekil 4. Hassas lokasyonları yapılan 2515 adet depremin harita ve alınan kesitlere göre derinlik görüntüleri

5. Coulomb gerilim de i imi

Simav depremi sonrası Coulomb gerilim de i imi 2 no'lu denklem kullanılarak hesaplanmıştır (Toda vd., 2011).

$$CFF = \tau + \mu \quad (2)$$

Bu denklemde τ fayın üzerindeki kesme gerilmesini, σ_n normal gerilmeyi ve μ ise görünür sürtünme katsayısını göstermektedir. Bu çalışmada United States Geological Survey (USGS) tarafından geliştirilen Coulomb 3.3 yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılımda kullanılmak üzere giriş verileri, ana okun atım/eğim/kayma açıları sırasıyla $285^\circ/60^\circ/-90^\circ$, derinliği 10 km ve görünür sürtünme katsayısı ise 0.4 alınmıştır. Bu veriler 11'de hesaplanan Coulomb gerilim de i imleri ekil 5'te görülmektedir.



ekil 5. Simav depreminin ana oku için hesaplanan Coulomb gerilim değişimleri. Kalın kırmızı çizgi kırılan fayı, ince kırmızı çizgiler bölgedeki aktif fayları (Aroğlu vd., 1992), mavi çizgi ise 1971 Gediz depreminin yüzey kırılımını göstermektedir (Tademiroğlu, 1971). Beyaz çemberler ise MI 3.0 artçı depremlerini göstermektedir.

6. Sonuçlar

- Simav depreminin 41 adet artçı oku için moment tensör ters çözümü kullanılarak odak mekanizmaları hesaplanmıştır.
- Bu bulgular ışığında odak mekanizmaları bölgede normal fay rejiminin baskın olduğunu göstermektedir.
- Bulunan odak mekanizmaları kullanılarak bölgenin gerilim tensörleri hesaplanmıştır ve sıkı ma gerilim rejiminin varlığı gözlenmiştir.
- Ayrıca bölgedeki 2515 adet depremin hassas lokasyonları yapılmıştır ve artçıların dağılımına bakılmıştır.
- Coulomb gerilim değişimi ana oku uygulanmıştır ve bölge için gerilim değişimlerinin dağılımı hesaplanmıştır.

KAYNAKLAR

Akyol, N., Zhu, L., Mitchell, B.J., Sözbilir, H., Kekovalı, K. (2006). Crustal structure and local seismicity in western Anatolia. *Geophysical Journal International* 166, 1259–1269, <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-246X.2006.03053.x>.

Bott, M.H.P. (1959). The mechanics of oblique slip faulting. *Geological Magazine* 96, 109-117.

Emre, Ö., Duman, Y.T., Özalp, S., Doğan, A. (2012). Simav Fault and 19 May 2011 Simav earthquake (Mw = 5.8), 65th Geological Congress of Turkey, 2-6 April 2012. *Congress Center of General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Ankara*.

- Görgün, E. (2014). Source characteristics and Coulomb stress change of the 19 May 2011 Mw 6.0 Simav–Kütahya earthquake, Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences* 87 (2014) 79–88.
- Michael, A.J. (1984). Determination of stress from slip data: faults and folds. *Journal of Geophysical Research* 89, 11,517–11,526.
- Michael, A.J. (1987). Use of focal mechanisms to determine stress: a control study. *Journal of Geophysical Research* 92, 357–368.
- Nakano, M., Kumagai, H. and Inoue, H. (2008). Waveform inversion in the frequency domain for the simultaneous determination of earthquake source mechanism and moment function. *Geophysical Journal International* 173, 1000-1011.
- Arslan, F., Emre, Ö., Küçük, . (1992). Active Fault Map of Turkey, General Directorate of Mineral Research and Exploration (MTA), Eskisehir Yolu, 06520, Ankara, Turkey.
- Tademiroğlu, M. (1971). The 1970 Gediz earthquake in western Anatolia, Turkey. *Bulletin of the Seismological Society of America* 61, 1507-1527.
- Toda, S., Stein, R.S. and Lin, J. (2011). Widespread seismicity excitation throughout central Japan following the 2011 M = 9.0 Tohoku earthquake and its interpretation by Coulomb stress transfer. *Geophysical Research Letters* 38, L00G03, doi:10.1029/2011GL047834.
- Waldhauser, F., Ellsworth, W.L. (2000). A double-difference earthquake location algorithm: method and application to the Northern Hayward fault, California. *Bulletin of the Seismological Society of America* 90, 1353-1368.