

2011-2012 Simav Depremleri (MI=5.7, MI=5.0, MI=5.4) ve Bölgenin Tektonik Yapısı ile İlişkisi

2011-2012 Simav Earthquakes (MI=5.7, MI=5.0, MI=5.4) and Relationship with the Tectonic Structure of the Region

RECAİ FEYİZ KARTAL^{1*}, FİLİZ TUBA KADİRİOĞLU¹

¹Başbakanlık, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi, Kızılırmak Mah. Ufuk Üniv. Cad. No:12, Söğütözü, 06510, Çankaya-Ankara, Türkiye

Geliş (received) : 06 Mayıs (May) 2013

Kabul (accepted) : 11 Kasım (November) 2014

ÖZ

19 Mayıs 2011 tarihinde Kütahya ili Simav ilçesinde aletsel büyüklüğü MI=5.7 olan bir deprem meydana gelmiştir. Söz konusu depremden yaklaşık 1 ay sonra aynı bölgede aletsel büyüklüğü MI=5.0 olan ikinci bir deprem ve hemen hemen 1 yıl sonra 3 Mayıs 2012'de yine aynı bölgede aletsel büyüklüğü MI=5.4 olan üçüncü bir deprem daha meydana gelmiştir. 19 Mayıs tarihinde meydana gelen depremden itibaren yaklaşık 1 yıl içerisinde 7000 civarında artçı deprem Ulusal Sismolojik Gözlem Ağı istasyonları tarafından kaydedilmiştir. Sismik aktivite bakımından oldukça yoğun olan bu bölgedeki ana tektonik yapı, KB-GD uzanımlı yaklaşık 220 km uzunluğundaki Simav Fay Zonu (SFZ) 'dur. Literatürde çoğu araştırmacı söz konusu fayı sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olarak tanımlarken, bazı araştırmacılar fayın normal fay karakterinde olduğunu öne sürmüşlerdir. Bu çalışma ile bölgede 19 Mayıs 2011 depremi ile başlayan sismik aktivite değerlendirilmiştir. Bu kapsamda aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremlerin dışmerkez dağılımları ile P dalgası ilk hareketine göre yapılan odak mekanizması çözümleri birlikte değerlendirildiğinde; depremlere kaynaklık eden yapının KKD eğimli normal fay karakterli Simav Fay Zonu olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Simav depremleri, tektonik yapı, artçı depremler, odak mekanizması.

ABSTRACT

An earthquake with magnitude MI=5.7 occurred on May, 19, 2011 at Simav District of Kütahya Province. After nearly one month from the earthquake another earthquake with magnitude MI=5.0 and after almost one year, a third earthquake with magnitude MI=5.4 occurred on May, 3, 2012. After the earthquake that occurred on May, 19, around 7000 aftershocks have been recorded by National Seismological Observation Network in approximately one year. The main active tectonic element of the region is NW-SE trending 220 km long Simav Fault Zone having intense seismic activity. One group of researchers describes the fault zone as a strike-slip in nature but the other group have suggested that the fault zone has character of normal faulting. With this study, seismic activity was evaluated in the region which beginning with the May, 19, 2011 earthquake. Within this scope, epicenters coordinates of the earthquakes which is magnitude greater than 4.0 and focal mechanism solutions (according to P wave first motion) belongs to mentioned earthquakes was evaluated together. As a result; source fault which caused the earthquakes is a Simav Fault Zone that show a normal fault character with NNE dip direction.

Keywords: Simav earthquakes, tectonic structure, aftershocks, focal mechanism.

* R.F. Kartal
e-posta: recai.kartal@afad.gov.tr

GİRİŞ

Ege Graben Sistemi içerisinde yer alan Kütahya ili ve yakın çevresi, tarihsel ve aletsel dönemde yıkıcı depremlerin etkisi altında kalmıştır. Özellikle 1944 Şaphane ($M_s=6.0$) ve 1970 Gediz ($M_s=7.2$) depremleri bölgede can ve mal kaybına neden olmuş önemli depremlerdendir (Ambraseys ve Tchalenko, 1972). Sismik aktivite bakımından oldukça yoğun olan bölge bilim adamları tarafından da her zaman ilgi odağı olmuş ve bölgedeki mevcut tektonizma konusunda farklı görüşlerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Seyitoğlu (1997) Simav Fayı'nın, ihmal edilebilir düzeyde doğrultu atım bileşeni olan normal fay karakterinde olduğunu ileri sürmüş ve fayın yüzeydeki izinin ortalama $45^\circ-50^\circ$ kuzeydoğuya eğimli olduğunu belirtmiştir. Bekler vd., (2011) Simav Fayı ile Kütahya Fayı arasında kalan (Emet Orta Batı Anadolu) bölgede oluşan depremlerin optimum kaynak parametrelerinin analizi sonucu bölgede KKD-GGB doğrultulu bir açılma rejiminin hakim olduğunu tespit etmişlerdir. Emre ve Duman (2011), 19 Mayıs 2011 Simav-Kütahya depremlerinin, Simav Fayının kuzeyinde bulunan KB-GD uzanımlı normal fay karakterindeki Naşa Fay Zonundan kaynaklandığı görüşünü ileri sürmüşlerdir. Duman vd., (2013) Simav Fay Zonu üzerinde yaptıkları Paleosismoloji çalışmalarında fayın Holosen aktivitesini ve doğrultu atım mekanizmasının açıkça görüldüğünü ileri sürmüşlerdir.

Bu çalışma ile 19 Mayıs 2011 depremi, arkasından meydana gelen artçı depremlerin lokasyonları ve meydana geldikleri derinlikler, bölgedeki mevcut fayların doğrultu ve eğimleri ile birlikte değerlendirilmiş, odak mekanizması çözümleri ile birlikte bölgedeki tektonizma ve fayların karakterleri yeniden yorumlanmıştır.

Çalışmada 01.01.1900-31.08.2012 tarihleri arasında, Simav ve çevresinde meydana gelen depremler kullanılmıştır. 01.01.1900-31.12.1980 tarih aralığı için Ayhan vd., (1981) tarafından hazırlanan Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu 1881-1980; 01.01.1981-31.12.2006 tarih aralığı için International Seismological Centre (ISC) kataloğu; 01.01.2007 ve sonrası için Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi kataloğu kullanılmıştır.

BÖLGENİN JEOLJİSİ VE TEKTONİĞİ

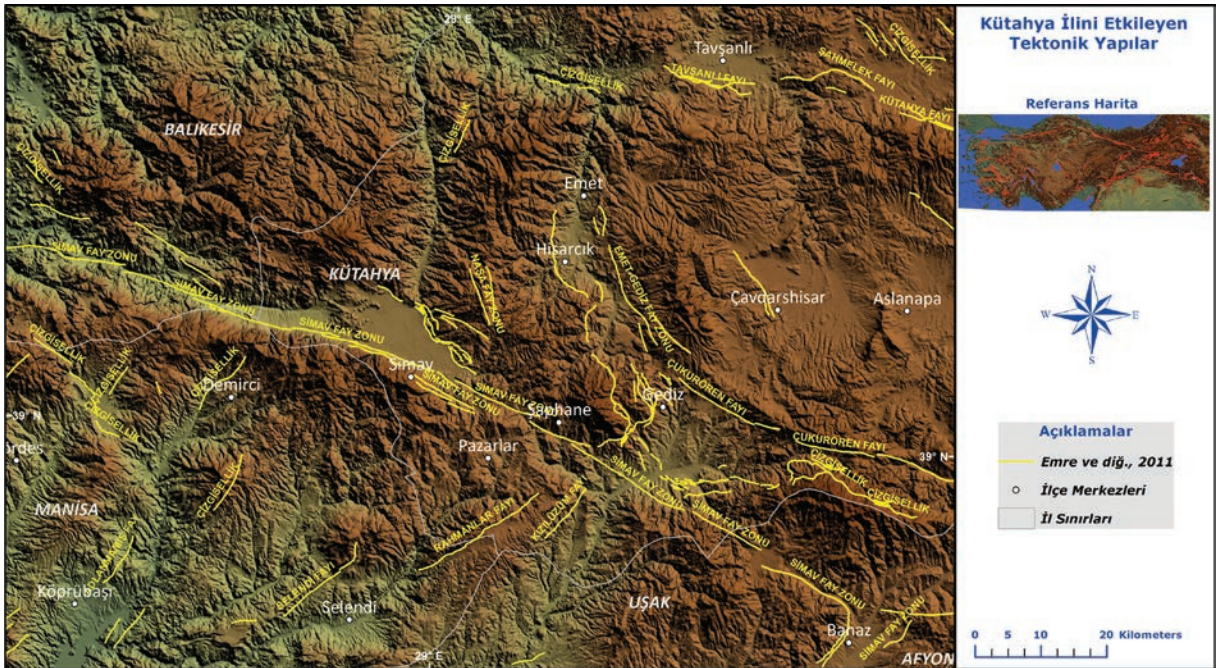
Çalışma alanının da içinde bulunduğu Türkiye'nin ana tektonik yapılarından biri olan Ege Graben Sistemi, kuzeyden güneye doğru birçok çöküntü alanlarından oluşmaktadır. Bu alanlar, Edremit Körfezi, Bakırçay-Simav, Gediz-Küçük Menderes, Büyük Menderes ve Gökova Körfezi olarak sayılabilir (Demirtaş ve Erkmen, 2000). Genellikle D-B uzanımlı normal fayların hüküm sürdüğü Ege Graben Sistemi içerisinde yer alan Kütahya ve yakın çevresinin jeoloji haritası incelendiğinde, bölgenin en yaşlı birimi Prekambriyen yaşlı metamorfikler olarak görülür. Bunların üzerinde Triyas yaşlı granitoidler, Orta Miyosen-Miyosen yaşlı piroklastik kayalar ve ayrılmamış volkanitler, karasal kırıntılılar ve karbonatlar, en üstte ise özellikle Simav civarında Kuvaterner yaşlı birimler gözlenmektedir (Şekil 1) (Şenel vd., 2001). Emre ve Duman (2011)'a göre, KKD-GGB yönlü bir açılma sistemi içerisinde bulunan Kütahya ili kuzeydoğudan Tavşanlı, Şahmelek ve Kütahya Fayları, güneybatıdan ise Simav Fay Zonu ile sınırlanmıştır. İlin güneyinde Emet-Gediz Fay Zonu ve Çukurören Fayı yer almaktadır (Şekil 2). Simav havzası, fay sistemi içerisinde gelişmiş en büyük yapısal çöküntüdür ve Simav-Şaphane segmentleri arasında sağa sıçramalı büklümde gelişmiş açılmalı bir havzadır. Bu havza güneyden, sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay olan Simav Fayı, kuzeyden ise normal fayların oluşturduğu Naşa Fay Zonu ile sınırlandırılmıştır. Naşa Fay Zonu genişliği 5 km'yi bulan KB-GD yönünde birbirine paralel uzanan bir seri normal faydan oluşur. Fay zonu toplam 20 km uzunlukta olup alt fayların uzunlukları 2 ile 8 km arasında değişir. Zondaki faylar $55^\circ-65^\circ$ güneybatıya eğimlidir (Emre ve Duman, 2011).

BÖLGENİN ALETSEL DÖNEM SİSMİK AKTİVİTESİ

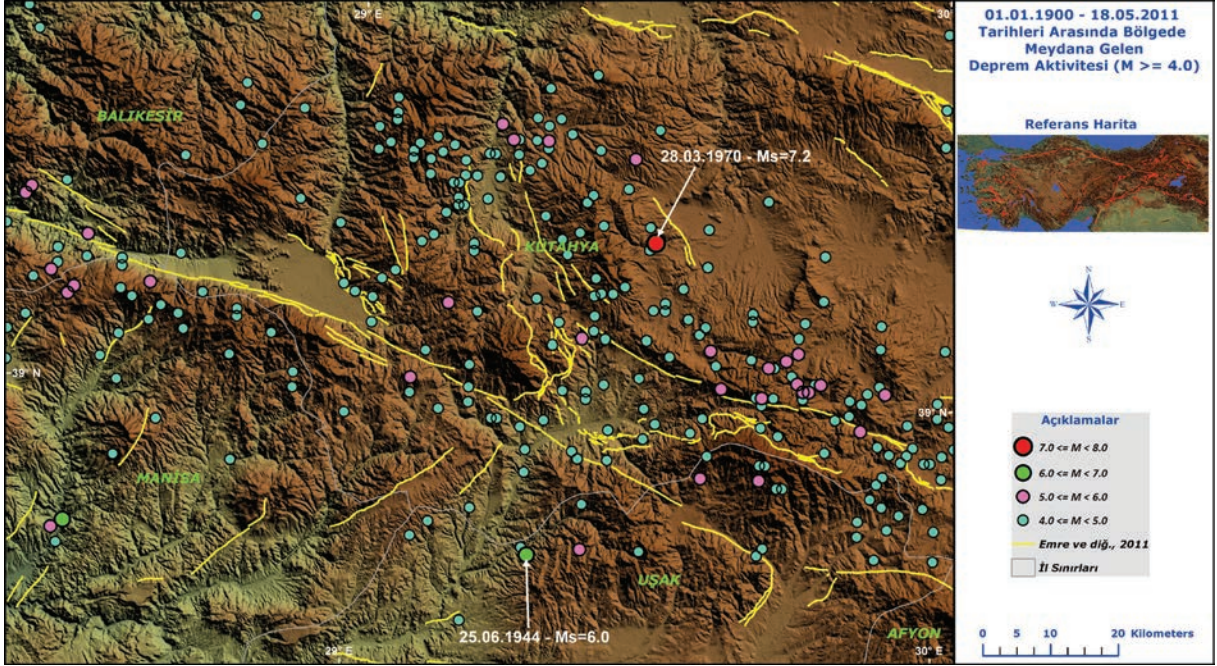
Aletsel dönemde bölgede meydana gelen en önemli depremler 1944 Şaphane ($M_s=6.0$) ve 1970 Gediz depremleridir ($M_s=7.2$) (Ayhan vd., 1981). Bu depremlerin yanı sıra 19 Mayıs 2011 depremi öncesinde bölgede aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük çok sayıda deprem gözlenmiştir (Şekil 3).



Şekil 1. Simav ve çevresinin jeolojisi (MTA, 2001).
Figure 1. Geology of Simav and surrounding region.



Şekil 2. Kütahya ilini etkileyen tektonik yapılar.
Figure 2. Faults affecting the Kütahya province.



Şekil 3. 01.01.1900-18.05.2011 tarihleri arasında bölgede meydana gelen ve aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremlerin dağılımı (Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Kataloğu, 2007-2012, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani/DDA.aspx?param=1>).

Figure 3. Distribution of earthquakes that occurred in the region with magnitude 4.0 and greater between 01.01.1900 and 18.05.2011 (Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Kataloğu, 2007-2012, <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani/DDA.aspx?param=1>).

Artçı Deprem Çalışmaları

19 Mayıs 2011 günü yerel saat ile 23:15'te Simav-Kütahya merkezli aletsel büyüklüğü $M_I=5.7$ olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremden yaklaşık 1 ay sonra yine Simav-Kütahya merkezli aletsel büyüklüğü $M_I=5.0$ olan bir deprem daha meydana gelmiştir.

Bu ikinci depremin dışmerkez koordinatları, 19 Mayıs depreminin dışmerkez koordinatlarının güneybatısında yer almıştır. 19 Mayıs 2011 depreminden yaklaşık 1 yıl sonra 3 Mayıs 2012 tarihinde yine Simav-Kütahya merkezli aletsel büyüklüğü $M_I=5.4$ olan bir deprem daha meydana gelmiştir. 3 Mayıs depreminin dışmerkez koordinatları, 19 Mayıs depreminin güneydoğusunda yer almıştır (Şekil 4).

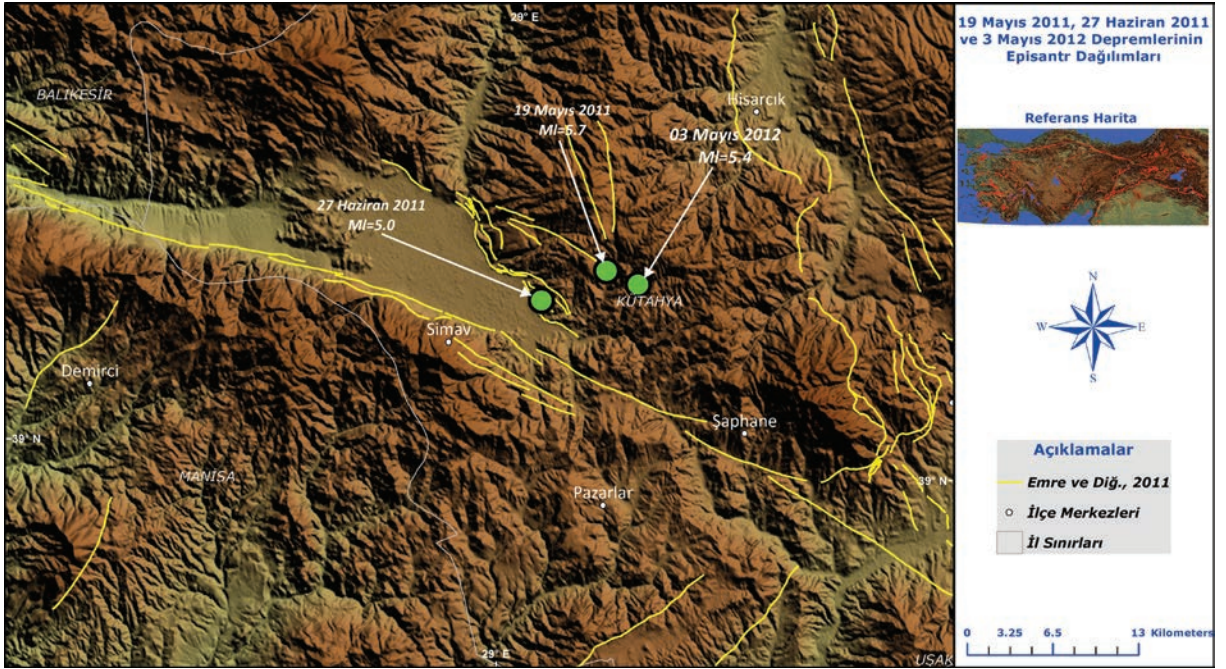
Sismik aktivite bakımından suskun sayılabilecek bir bölgede meydana gelen ana şoktan sonra, bölgedeki sismik etkinlik artıyorsa ve bu sismik etkinlik ana şokun dış merkez koordinatları etrafında yoğunlaşıyorsa, ana şoktan

sonra bölgede meydana gelen depremler, ana şokun artçı depremleri olarak değerlendirilebilir. Hatta ana şoktan 100-150 gün sonra aynı bölgede meydana gelen depremler ana şokun artçı depremleri olarak düşünülebilir (Tsapanos, 1995). Tajima ve Kanamori (1985), büyük depremlerden sonraki artçı depremlerin bir yıl kadar sürebileceğini belirtmişlerdir.

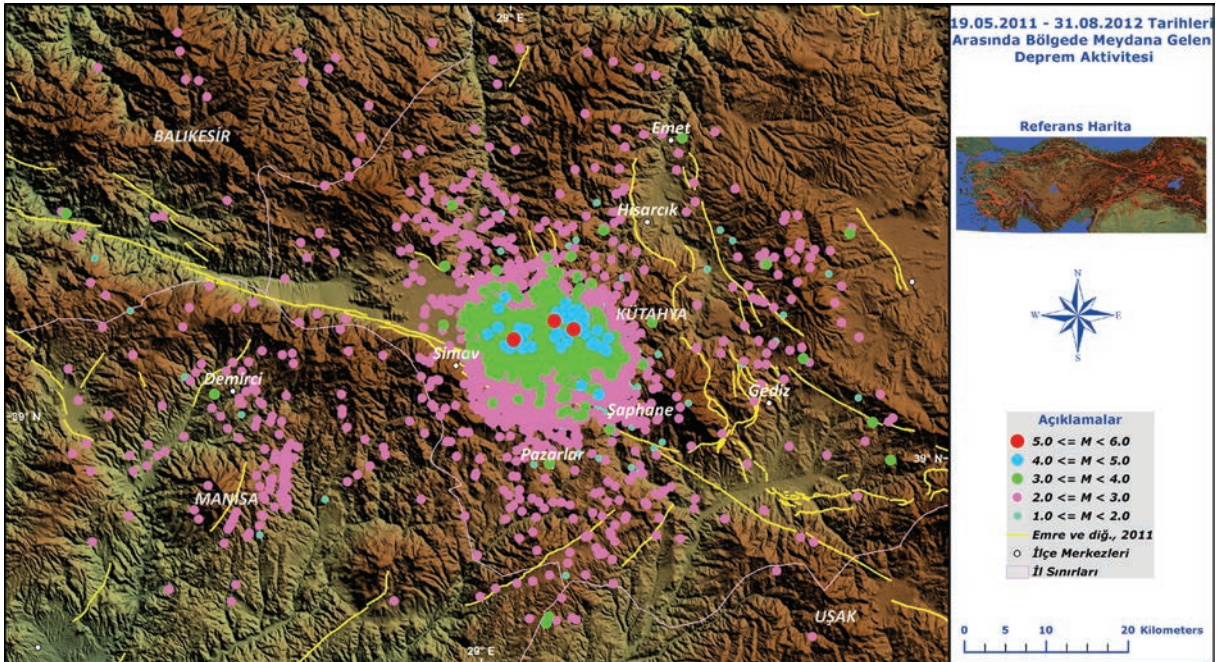
19 Mayıs 2011 tarihinde meydana gelen ve aletsel büyüklüğü $M_I=5.7$ olan depremden sonra (31.08.2012 tarihine kadar) bölgede 6897 artçı deprem meydana gelmiştir.

Depremlerin dışmerkez dağılımları belirli bir çizgisellik göstermeyip ana şok etrafında dairesel bir alanda toplanmıştır (Şekil 5).

Ana şokun meydana geldiği tarihten 31.08.2012 tarihine kadar olan zaman diliminde depremlerin aylık değişimleri incelendiğinde; ilk iki aylık sürede artçı deprem aktivitesinde hızlı bir artış gözlenirken (yaklaşık 4000 deprem), ikinci aydan



Şekil 4. 19 Mayıs 2011, 27 Haziran 2011 ve 03 Mayıs 2011 depremlerinin dışmerkez koordinatları.
Figure 4. Epicentral coordinates of May 19, 2011 June 27, 2011 and May 3, 2011 earthquakes.



Şekil 5. 19.05.2011-31.08.2012 tarihleri arasında bölgede meydana gelen deprem aktivitesi.
Figure 5. Earthquake activity which occurred in the region between 19.05.2011-31.08.2012.

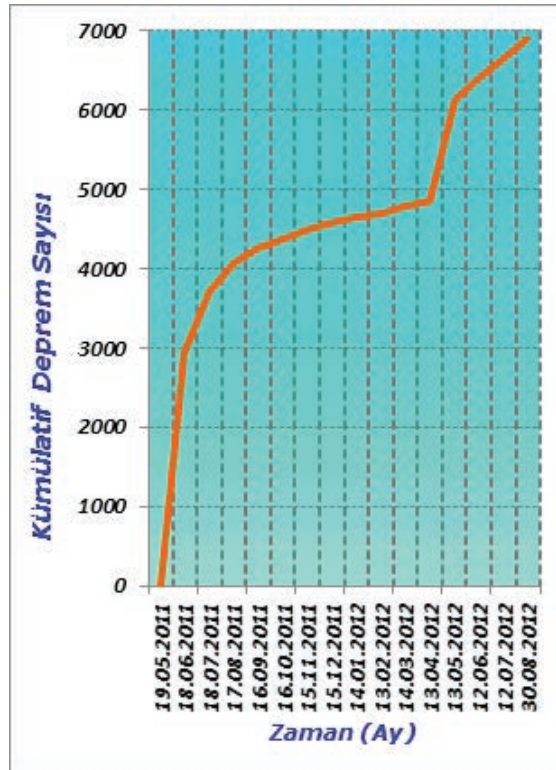
onüçüncü aya kadar, aktivitenin bir azalım sürecine girdiği görülmüştür. 3 Mayıs 2012 tarihinde meydana gelen $M=5.4$ büyüklüğündeki depremden sonra bölgedeki aktivite yeniden artış göstermiştir (Şekil 6). Artçı depremlerin aletsel büyüklükleri 0.8-5.4 aralığında değişirken, aletsel büyüklüğü 2.0-3.0 aralığında olan depremlerde yığılma gözlenmiştir (Şekil 7).

Depremlerin derinlik değişimini incelemek amacıyla ana tektonik yapının doğrultusuna yaklaşık dik olacak şekilde alınan derinlik kesitinde, derinliklerin 1.2-35.58 km arasında saçıldığı, 7-18 km aralığında yoğunlaştığı gözlenmiştir (Şekil 8a, b). GB-KD (AA') yönünde alınan derinlik kesiti incelendiğinde, artçı depremlerin derinlikle dağılımında kuzeydoğu yönünde bir eğimin varlığı göze çarpmaktadır.

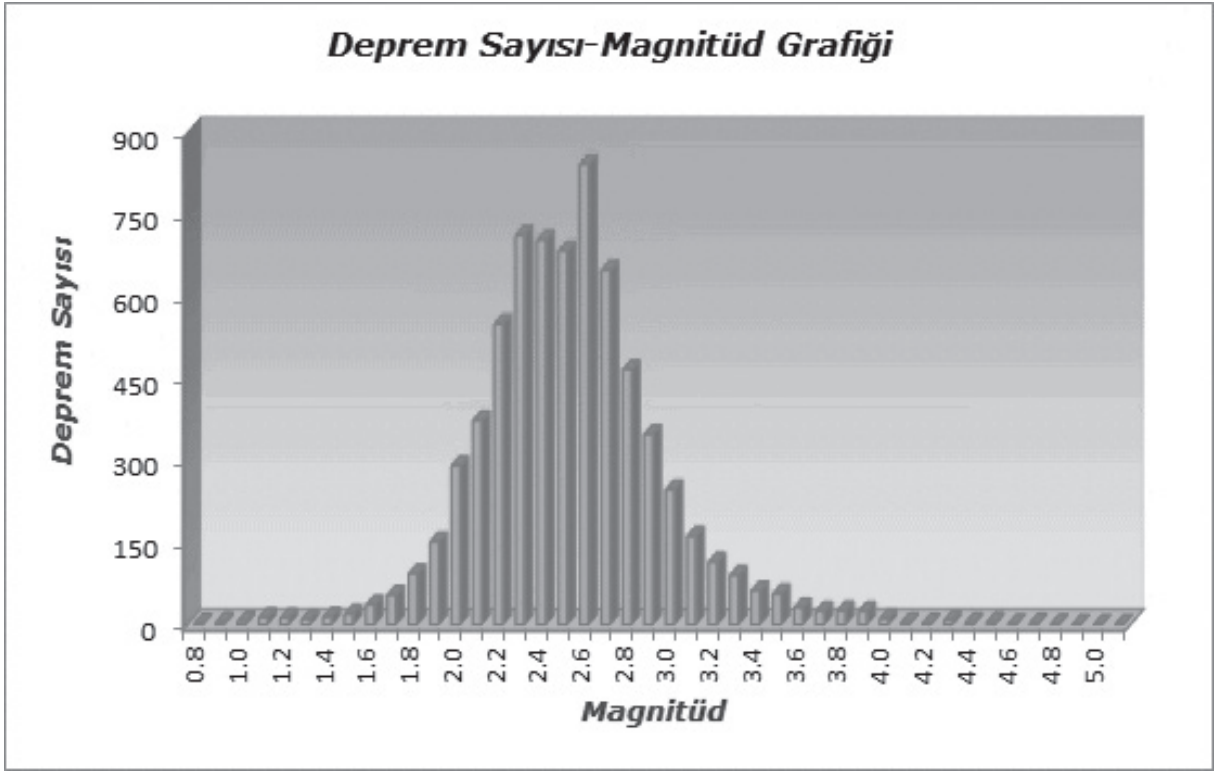
Fay Düzlemi Çözümleri

19 Mayıs 2011, 27 Haziran 2011 ve 3 Mayıs 2012 depremlerinin dışmerkez dağılımları Simav havzasının doğusunda yer alır. Söz konusu

depremlerin P dalgası ilk hareket yönüne göre yapılan fay düzlemi çözümleri çok küçük sağ yönlü doğrultu atım bileşeni olan normal faylanmayı işaret etmektedir (Şekil 9). 19 Mayıs 2011 depreminden sonra (31.08.2012 tarihine kadar) Simav Havzası ve çevresinde meydana gelen ve aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremlerin dışmerkez dağılımları, Naşa Fay Zonu'nun kuzeydoğusunda (9, 1, 15, 26, 18, 30, 35, 2, 28, 6, 36, 12, 32, 5, 33, 27, 31, 39, 29, 38, 37, 17, 7, 25, 24 numaralı depremler) ve güneybatısında (26, 8, 23, 4, 14, 21, 19, 22, 11, 34, 3, 10, 13, 20 numaralı depremler) kümelenmiştir (Şekil 10). Söz konusu kümeleleri oluşturan depremler; "kuzeydoğu kümesini oluşturan depremler" ve "güneybatı kümesini oluşturan depremler" olarak adlandırılabilir. Adı geçen kümeleri oluşturan 39 depremin P dalgası ilk hareketine göre yapılan fay düzlemi çözümleri de baskın olarak normal faylanmayı işaret etmektedir (Şekil 10). Bu durum bölgenin genel tektonik yapısı ile örtüşse bile Simav-Kütahya depremlerine kaynaklık eden fayın kimliği



Şekil 6. Artçı depremlerin kümülatif sayısının zamanla değişimi.
Figure 6. Change with time the cumulative number of aftershocks.



Şekil 7. Deprem sayısı-magnitüd grafiği.

Figure 7. Number of earthquakes-magnitude graph.

hakkında kesin ifadeler kullanmak için erken bir bulgudur. Çünkü Naşa Fayı'nın güneybatıya, Simav Fayı'nın kuzeydoğuya eğimli olduğu bilinmektedir. Depremlere kaynaklık eden fayın yapısal karakterini anlamak için, kümelerin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerekmektedir. Kümeleri oluşturan depremlere ait parametrelerin (derinlik, doğrultu, eğim, kayma açısı) ayrı ayrı irdelenmesi amacı ile kümeler mercek altına alınmıştır.

Kuzeydoğu kümesi: Kümeyi oluşturan depremlere ait odak mekanizması çözümlerinden GGB'ye eğimli olanlar birinci düzlem (Doğrultu1, Eğim1, Kayma Açısı1), KKD'ye eğimli olanlar ikinci düzlem (Doğrultu2, Eğim2, Kayma Açısı2) olarak seçilmiştir (Tablo 1). Kuzeydoğu kümesini oluşturan 24 depreme ait birinci düzlem eğim açılarının ortalaması 39.8° , ikinci düzlem eğim açılarının ortalaması ise 55.5° olarak hesaplanmıştır.

Güneybatı kümesi: Kümeyi oluşturan depremlere ait odak mekanizması çözümlerinden GGB'ye eğimli olanlar birinci düzlem (Doğrultu1, Eğim1, Kayma Açısı1), KKD'ye eğimli olanlar ikinci düzlem (Doğrultu2, Eğim2, Kayma Açısı2) olarak

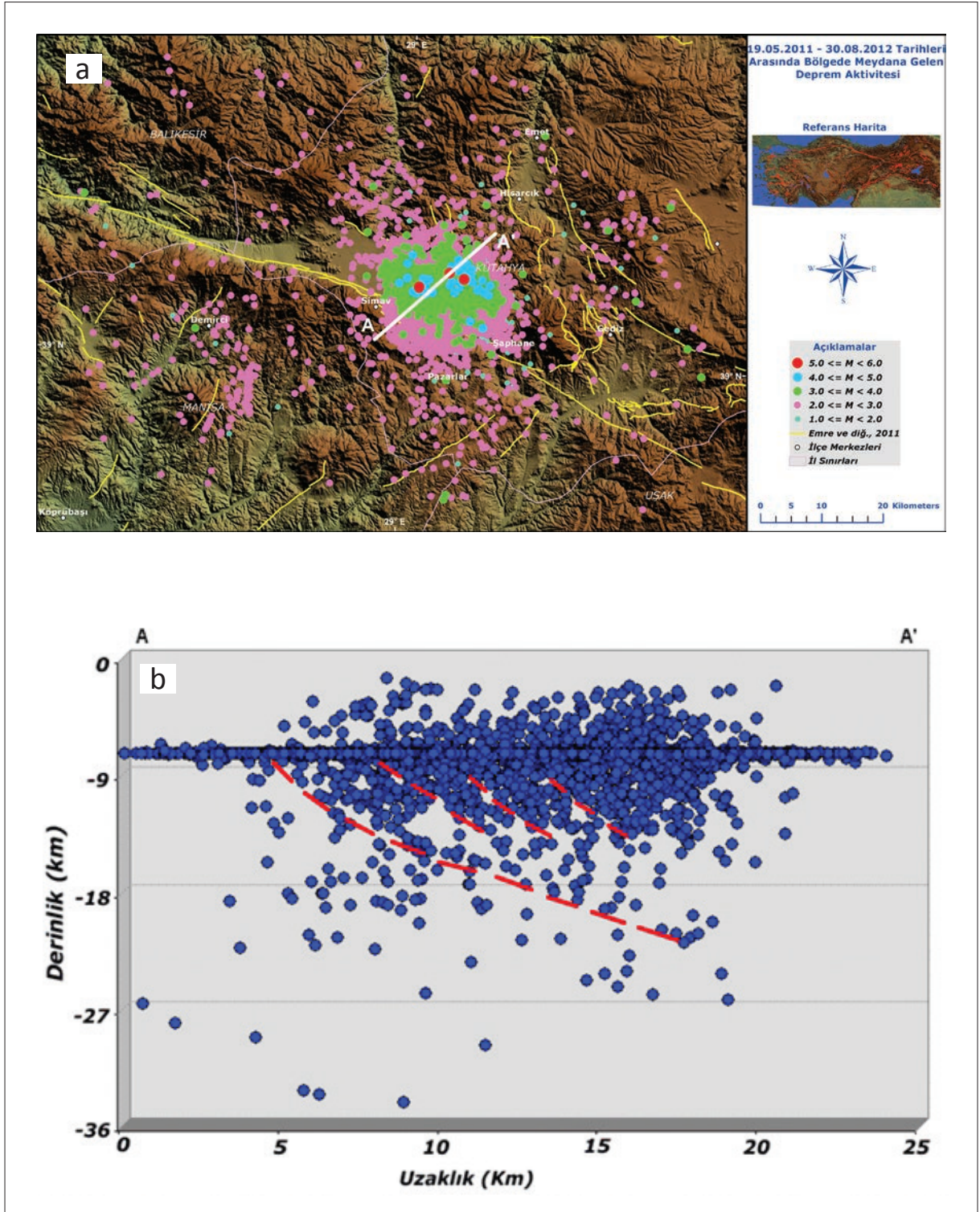
seçilmiştir (Tablo 2). Güneybatı kümesini oluşturan 12 depreme ait birinci düzlem eğim açılarının ortalaması 43.3° , ikinci düzlem eğim açılarının ortalaması ise 51.2° olarak hesaplanmıştır. Odak mekanizması çözümü doğrultu atıma işaret eden (30, 16, 21, numaralı) depremlerin fay düzlemi değerleri hesaplamalara dahil edilmemiştir.

Bu hesaplamalar sonucunda aşağıdaki tablo oluşmuştur.

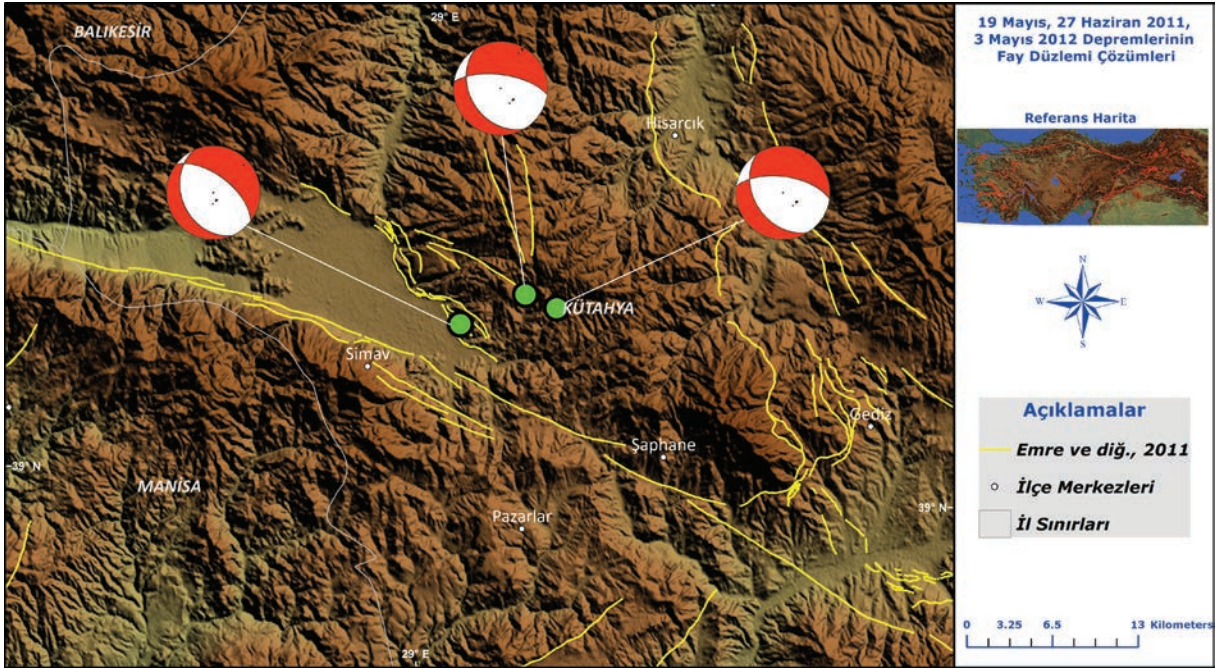
Tablo 3'e göre her bir küme için GGB'ye eğimli olan fay düzlemlerinin ortalama eğimleri 45° den küçük, buna karşılık KKD'ye eğimli olan fay düzlemlerinin ortalama eğimleri 50° den büyüktür. Bu bilgiler ışığında Şekil 11'deki geometrik model oluşturulabilir.

Şekil 11'deki modele göre Simav-Kütahya depremlerine kaynaklık eden fay için şu öngörülerde bulunulabilir:

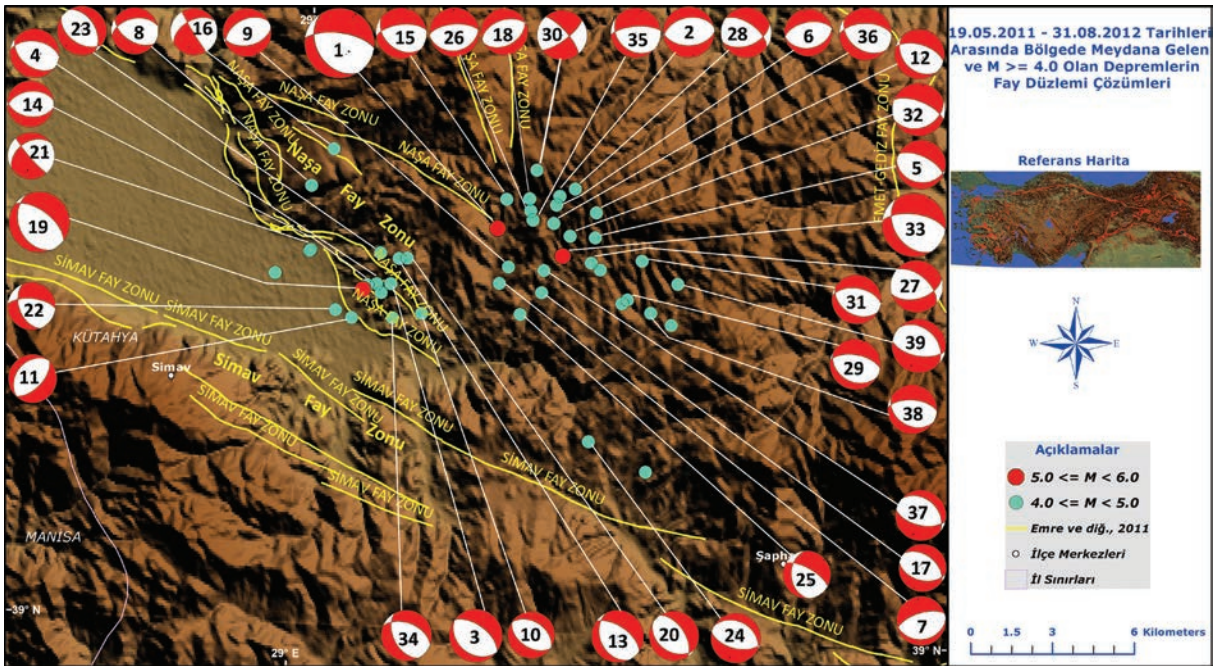
- Depremlere kaynaklık eden fay Naşa Fayı ise kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin odak derinlikleri güneybatı kümesini oluşturan depremlerin odak derinliklerinden daha küçük olmalıdır.



Şekil 8 (a). Derinlik profili. (b). Derinlik kesiti.
 Figure 8 (a). Profile of depth. (b). Crossection of depth.



Şekil 9. 19 Mayıs, 27 Haziran 2011 ve 3 Mayıs 2012 depremlerinin fay düzlemi çözümleri.
Figure 9. Focal mechanism solutions of May 19, 2011 June 27, 2011 and May 3, 2012 earthquakes.



Şekil 10. 19 Mayıs 2011 depremi ve sonrasında bölgede meydana gelen ve $M \geq 4.0$ olan depremlerden bazılarının ait fay düzlemi çözümleri.
Figure 10. Some fault plane solutions that occurred in the region with magnitude $M \geq 4.0$ on 2011, May, 19 earthquake and after.

- Depremlere kaynaklık eden fay Simav Fayı ise güneybatı kümesini oluşturan depremlerin odak derinlikleri kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin odak derinliklerinden küçük olmalıdır.

Kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin (Tablo 1) derinlik ortalaması 15.3 km olarak hesaplanırken, güneybatı kümesini oluşturan

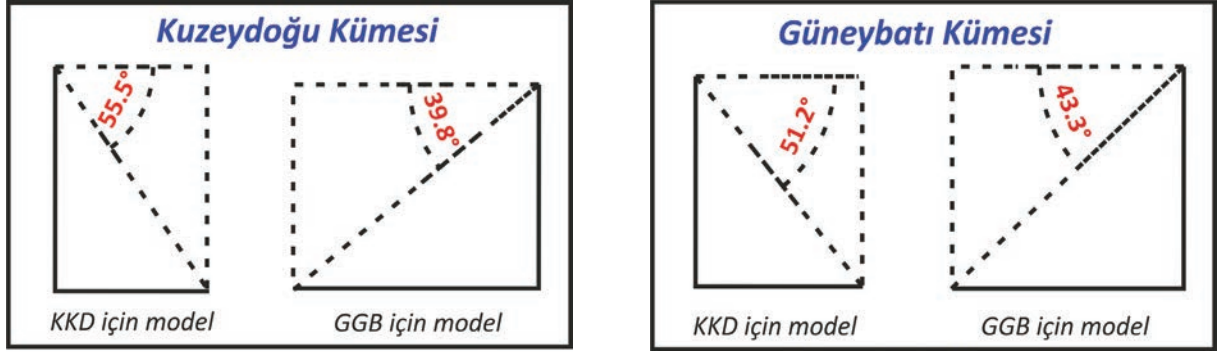
depremlerin (Tablo 2) derinlik ortalaması 13.8 km olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular yukarıdaki öngörülerini doğrulamaktadır.

Öte yandan kaynağı normal fay olan bir depremin dışmerkez koordinatının graben üzerinde, kaynağı ters fay olan bir depremin dışmerkez koordinatının ise horst üzerinde olması beklendir. Bu beklenti ışığında, depremlere kaynaklık

Tablo 1. Kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerden bazılarının ait fay düzlemi çözümlerinin doğrultu, eğim ve kayma açısı değerleri.

Table 1. Strike, dip and rake angle values of some fault plane solutions that refer to Northeast cluster.

No	Tarih	Zaman(GMT)	Enlem	Boylam	Derinlik	Ml	Doğ.1	Eğim1	Kay. Açı.1	Doğ.2	Eğim2	Kay. Açı.2
01	19.05.2011	20:15:22.79	39.1328	29.0820	24.46	5.7	149	35	-45	278	66	-117
02	19.05.2011	20:25:32.37	39.1442	29.1078	07.00	4.6	89	47	-83	259	44	-98
05	19.05.2011	21:33:10.49	39.1310	29.1235	20.83	4.3	98	28	-106	296	63	-82
06	20.05.2011	00:13:07.69	39.1413	29.1065	16.92	4.1	81	35	-89	259	55	-91
07	20.05.2011	00:58:33.05	39.1147	29.0837	17.38	4.3	84	26	-80	252	64	-95
09	20.05.2011	05:00:36.19	39.1202	29.0872	07.09	4.2	79	46	-79	243	45	-101
12	27.05.2011	07:43:37.07	39.1393	29.1235	19.42	4.4	136	34	-66	287	59	-106
15	29.05.2011	01:31:39.16	39.1425	29.0853	05.04	4.5	129	37	-50	263	63	-116
17	04.06.2011	13:51:06.09	39.1122	29.1018	15.63	4.1	104	47	-106	307	45	-73
18	05.06.2011	21:29:12.39	39.1430	29.0950	06.98	4.0	60	42	-99	252	49	-82
24	17.07.2011	19:51:49.76	39.0638	29.1243	13.84	4.0	105	57	-97	298	34	-79
25	19.07.2011	21:16:52.73	39.1048	29.0930	17.77	4.1	176	36	-39	299	69	-119
26	25.08.2011	04:19:23.12	39.1390	29.0957	22.54	4.3	77	26	-98	266	64	-86
27	16.04.2012	10:10:47.04	39.1227	29.1222	06.90	4.7	73	51	-134	310	56	-49
28	17.04.2012	20:45:16.67	39.1468	29.1142	06.99	4.5	68	47	-136	305	59	-52
29	19.04.2012	19:52:41.28	39.1110	29.1382	07.49	4.5	120	32	-73	280	60	-100
31	23.04.2012	16:14:37.00	39.1240	29.1438	06.31	4.3	121	39	-73	279	53	-104
32	26.04.2012	22:05:33.60	39.1312	29.1128	25.54	4.8	68	32	-129	292	66	-68
33	03.05.2012	15:20:25.33	39.1245	29.1100	10.59	5.4	147	39	-48	278	62	-119
35	03.05.2012	17:10:09.61	39.1360	29.0968	23.70	4.4	131	28	-48	265	70	-110
36	03.05.2012	21:45:17.13	39.1352	29.1057	14.22	4.7	127	40	-60	270	57	-113
37	04.05.2012	02:00:36.07	39.1195	29.1023	23.94	4.5	103	58	-106	311	35	-66
38	13.06.2012	06:40:31.60	39.1070	29.1483	21.58	4.3	122	34	-66	274	59	-105
39	19.06.2012	01:46:13.13	39.1168	29.1593	25.91	4.9	100	60	-108	313	35	-62



Şekil 11. Ortalama eğim açlarına göre oluşturulan geometrik model.

Figure 11. Geometric model that was created according to average dip angle.

Tablo 2. Güneybatı kümesini oluşturan depremlerden bazılarının ait fay düzlemi çözümlerinin doğrultu, eğim ve kayma açısı değerleri.

Table 2. Strike, dip and rake angle values of some fault plane solutions that refer to Southwest cluster.

No	Tarih	Zaman(GMT)	Enlem	Boylam	Derinlik	Ml	Doğ.1	Eğim1	Kay. Açı.1	Doğ.2	Eğim2	Kay. Açı.2
03	19.05.2011	21:12:50.66	39.1130	29.0377	07.74	4.8	129	32	-88	306	58	-91
04	19.05.2011	21:21:29.45	39.1128	29.0317	06.99	4.3	127	44	-68	278	50	-110
08	20.05.2011	04:00:35.42	39.1443	29.0023	06.97	4.0	123	53	-59	258	47	-124
10	21.05.2011	21:43:08.56	39.1037	29.0513	07.00	4.0	302	43	-92	124	47	-89
11	24.05.2011	02:55:28.91	39.1013	29.0217	16.80	4.2	44	58	-87	219	32	-94
13	28.05.2011	05:47:16.74	39.1215	29.0408	23.02	4.7	155	34	-65	305	59	-106
14	28.05.2011	18:06:47.50	39.1123	29.0278	16.62	4.0	99	45	-78	262	46	-101
19	27.06.2011	21:13:58.53	39.1108	29.0260	18.27	5.0	156	33	-65	307	60	-105
20	27.06.2011	21:28:50.68	39.1217	29.0443	12.15	4.4	123	36	-109	326	56	-76
22	03.07.2011	14:16:28.51	39.1037	29.0147	10.78	4.1	159	47	-36	275	64	-131
23	13.07.2011	01:31:48.74	39.1230	29.0328	14.70	4.3	124	47	-107	329	45	-72
34	03.05.2012	16:16:04.27	39.1018	29.0390	25.41	4.6	153	48	-60	292	50	-119

Tablo 3. Her bir küme için hesaplanan ortalama eğim değerleri.

Table 3. Average dip values that was calculated for each cluster.

Kuzeydoğu Kümesi		Güneybatı Kümesi	
GGB	KKD	GGB	KKD
39.8°	55.5°	43.3°	51.2°

eden fayın Naşa Fayı olduğu tezi göz önüne alındığında, 19 Mayıs 2011 ve 3 Mayıs 2012 depremlerinin dışmerkez koordinatlarının Si-mav havzasında olması gerekirdi. Ancak söz konusu depremlerin dışmerkez dağılımları Naşa Fay Zonu'nun kuzeydoğusunda yer almıştır.

Ayrıca aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan ve yukarıda kuzeydoğu kümesini oluşturan depremler olarak adlandırılan depremlerin dışmerkez dağılımları da yine Naşa Fay Zonu'nun kuzeydoğusunda bulunmaktadır (Şekil 10).

Güneybatı kümesini oluşturan depremlerin derinlik ortalaması 13.8 km olarak hesaplanmıştı. Söz konusu depremlerin dışmerkez dağılımları Simav havzası ile Naşa Fay Zonu arasına saçılmıştır. İlk bakışta depremlere kaynaklık eden fayın Naşa Fayı olduğu düşünülse de depremlerin dışmerkez koordinatlarının Naşa Fayı'na olan uzaklığı trigonometrik bağıntılar yardımı ile hesaplandığında, Naşa Fayı için verilen eğim açısı değerleri ile hesaplama sonucunda elde edilen uzaklık örtüşmemektedir. Şöyle ki: Naşa Fay Zonu 55°-65° güneybatıya eğimli ise ve depremlerin ortalama derinliği de 13.8 km olarak hesaplanmış ise; deprem dışmerkezlerinin faya olan uzaklığına x dersek;

$$x = \frac{13.8}{\tan(55^\circ)} \quad (1)$$

bağıntısından $x=9.7$ km olarak elde edilir (Eşitlik 1). Aynı bağıntıda açı değeri 65° olarak alınırsa $x=6.4$ km bulunur. Elde edilen iki uzaklık değeri de deprem dışmerkezlerinin Naşa Fayı'na olan ortalama uzaklığından büyüktür. Depremlerin kaynağı olarak Naşa Fay Zonu'nu oluşturan faylardan en kuzeydoğuda olanı kabul edilse bile, bu faydan en uzaktaki deprem dışmerkezine olan uzaklık yaklaşık 5 km'dir. Bu hesaplamalar 19 Mayıs 2011 Simav-Kütahya depremlerine kaynaklık eden fayın Naşa Fayı olmadığına başka bir göstergesidir.

TARTIŞMA VE SONUÇLAR

2011 yılında ve devamında Simav-Kütahya'da meydana gelen depremlerin hangi faydan kaynaklandığı ve fayların karakteristiği konusunda farklı araştırmacılar farklı görüşler öne sürmüşlerdir. Yapılan bu çalışma ile mevcut tektonik ve jeolojik veriler, sismolojik verilerle birlikte değerlendirilmiştir. Bu verilerden elde edilen sonuçlara göre;

Aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremlerin P dalgası ilk hareketine göre yapılan odak mekanizması çözümleri baskın olarak normal faylanmayı işaret etmektedir.

Ana tektonik yapıya (Simav Fayı'na) yaklaşık dik olacak şekilde alınan derinlik kesitinde, kuzeydoğu yönünde bir eğim olduğu görülmüştür. Bu bilgi, depremlere kaynaklık eden fayın 55°-65°

GB'ye eğimli olan Naşa Fayı olduğu bilgisi ile örtüşmemektedir.

19 Mayıs 2011 Simav-Kütahya depremi ve sonrasında bölgede meydana gelen ve aletsel büyüklüğü 4.0 ve daha büyük olan depremler, dışmerkez dağılımlarına göre kuzeydoğu kümesi ve güneybatı kümesi olarak adlandırılmıştır.

Kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin dışmerkez koordinatları, depremlere kaynaklık ettiği düşünülen Naşa Fay Zonu'nun kuzeyinde kalmaktadır. Naşa Fayı'nın GB'ye eğimli olduğu bilgisi göz önünde bulundurulduğunda sadece sismolojik verilerle bile söz konusu depremlerin Naşa Fayı'ndan kaynaklanmış olma ihtimali ortadan kalkmaktadır.

Kuzeydoğu ve güneybatı kümesini oluşturan depremlere ait odak mekanizması çözümleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Odak mekanizması çözümlerinden fay düzlemi olarak hem GGB'ye eğimli olanlar hem de KKD'ye eğimli olanlar ayrı ayrı ele alınmıştır. Kuzeydoğu kümesini oluşturan ve GGB'ye eğimli olan fay düzlemlerinin eğim açılarının ortalaması 39.8°, KKD'ye eğimli olan fay düzlemlerinin eğim açılarının ortalaması 55.5° olarak hesaplanmıştır. Aynı şekilde güneybatı kümesini oluşturan ve GGB'ye eğimli olan fay düzlemlerinin eğim açılarının ortalaması 43.3°, KKD'ye eğimli olan fay düzlemlerinin eğim açılarının ortalaması 51.2° olarak bulunmuştur. GGB'ye eğimli olan fay düzlemleri için elde edilen ortalama eğim açısı değerlerinin, Naşa Fayı için verilen eğim açısı değerleri ile uyumsuz olduğu görülmüştür. Buna karşılık Simav Fayı'nın yüzeydeki izi için verilen 45°-50° ortalama eğim açısı (Seyitoğlu, 1997) değerleri ile KKD'ye eğimli olan fay düzlemleri için elde edilen eğim açısı değerlerinde bir uyum olduğu görülmüştür.

KKD'ye eğimli olan fay düzleminin Simav Fayı'nı, GGB'ye eğimli olan fay düzleminin de Naşa Fayı'nı temsil ettiğini düşünüp depremlerin derinlikleri ile ilgili olarak şu öngörülerde bulunulmuştur:

- Depremlere kaynaklık eden fay Naşa Fayı ise kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin odak derinlikleri güneybatı kümesini oluşturan depremlerin odak derinliklerinden daha küçük olmalıdır.

- Depremlere kaynaklık eden fay Simav Fayı ise güneybatı kümesini oluşturan depremlerin odak derinlikleri kuzeydoğu kümesini oluşturan depremlerin odak derinliklerinden küçük olmalıdır.

Bu öngörülerini aydınlatmak amacı ile yapılan hesaplamalar neticesinde ortalama odak derinlikleri kuzeydoğu kümesi için 15.3 km, güneybatı kümesi için 13.8 km olarak bulunmuştur. Bu bilgi, Simav-Kütahya depremlerine kaynaklık eden fayın Naşa Fayı olmadığına başka bir göstergesidir.

Güneybatı kümesini oluşturan depremlerin kaynağının Naşa Fayı olduğu varsayıldığında; Naşa Fayı'nın eğim değerleri (55°-65° GB) dikkate alınarak söz konusu kümeyi oluşturan depremlerin dışmerkez koordinatlarının Naşa Fayı'na olması gereken uzaklıkları hesaplanmış ve gerçek uzaklıklar ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda da yine bir uyum elde edilememiştir.

Tüm bu sonuçlar, 19 Mayıs 2011 depremi ve devamında bölgede meydana gelen depremlere kaynaklık eden fayın KD'ye eğimli olduğu bilinen Simav Fayı olduğunu göstermektedir. Simav Fayı, baskın olarak normal fay karakterindedir.

KATKI BELİRTME

Yazarlar değerli görüş ve katkılarından dolayı, ismi belli olmayan hakemlere; Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı Ulusal Sismolojik Gözlem Ağı çalışanlarına katkılarından dolayı teşekkür ederler.

KAYNAKLAR

- Ambraseys, N. N., and Tchalenko, J., 1972. Seismotectonic aspects of the Gediz, Turkey, earthquake of March 1970. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 30, 229-252.
- Ayhan, E., Alsan, E., Sancaklı, N., ve Üçer, S. B., 1981. Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu 1881-1980. Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.

- Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Kataloğu, 2007-2012. <http://www.deprem.gov.tr/sarbis/Veritabani/DDA.aspx?param=1>
- Bekler, T., Demirci, A., Özden, S., ve Kalafat, D., 2011. Simav ve Emet Fay Zonlarındaki Depremlerin Optimum Kaynak Parametrelerinin Analizi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı. http://www.tdmd.org.tr/TR/Genel/6.Oturum/1.TDMSK_066.pdf 11-14 Ekim 2011 ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi. Ankara.
- Demirtaş, R., ve Erkmen, C., 2000. Deprem ve Jeoloji. Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları: 52. Ankara.
- Duman, T. Y., Elmacı, H., Özalp, S., Olgun, Ş., ve Emre, Ö., 2013. Simav Fay Zonunda İlk Paleosismolojik Bulgular. 66. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı. 01-05 Nisan 2013 ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, 28-29.
- Emre, Ö., ve Duman, T. Y., 2011. 19 Mayıs 2011 Simav (Kütahya) Depremi (Mw=5.8) Ön Değerlendirmesi. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Jeoloji Etütleri Dairesi. Yer Dinamikleri Araştırma ve Değerlendirme Koordinatörlüğü Aktif Tektonik Araştırma Birimi. Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., ve Özalp, S., 2011a. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi Kütahya (NJ 35-4) Paftası. Seri No:10, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.
- Emre, Ö., Duman, T. Y., Doğan, A., ve Özalp, S., 2011b. 1:250.000 Ölçekli Türkiye Diri Fay Haritası Serisi Eskişehir (NJ 36-1) Paftası. Seri No:15. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.
- International Seismological Centre (ISC) Event Catalog, 1960-2010. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>.
- MTA, 2001. Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü.
- Seyitoğlu, G., 1997. The Simav Graben: An Example of Young E-W Trending Structures in the Late Cenozoic Extensional System of Western Turkey. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 6, 135-141.

Şenel, M., Akdeniz, N., Konak, N., Ulu, Ü., Türkecan, A., Aksay, A., Uğuz, M. F., Hakyemez, Y., Bilgiç, T., Tarhan, N., ve Günay, Y., 2001. Türkiye Jeoloji Haritası. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü. Ankara.

Tajima, F., and Kanamori, H., 1985. Global Survey of Aftershock Area Expansion

Patterns. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 40, 77-134. Amsterdam-Printed in the Netherlands.

Tsapanos, T., 1995. The Temporal Distribution of Aftershock Sequences in the Subduction Zones of the Pasific. Geophysical Journal International, 123, 633-636.