SİMAV VE EMET FAY ZONLARINDAKİ DEPREMLERİN OPTIMUM KAYNAK PARAMETRELERİNİN ANALİZİ

Tolga BEKLER[1], Alper DEMİRCİ[1], Süha ÖZDEN[2] ve Doğan KALAFAT[3]

[1] *Yard. Doç. Dr., Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale*
[1] *Araştırma Görevlisi ,Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale*
[2] *Prof. Dr., Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Çanakkale*
[3] *Dr., Ulusal Deprem İzleme Merkezi, KRDAE, Boğaziçi, İstanbul*

Email: tbekler@comu.edu.tr

ÖZET:

Bu çalışmanın temeli, Simav Fayı ile Kütahya Fayı arasında kalan (Emet Orta Batı Anadolu) bölgede oluşan depremlerin optimum kaynak parametrelerinin analizi sonucu bölgenin fay sistemlerinin sismotektonik karakterinin ortaya çıkarılmasına sismolojik bir yaklaşım sunmaktadır. Saha gözlemlerinden bu fayların çoğunlukla KB-GD ve D-B gidişli oldukları anlaşılmaktadır. Fayların oblik atımlı bir karaktere sahip oldukları ve baskın olarak normal faylanmaya yakın bir davranış gösterdikleri izlenmiştir. Bu veriler bölgede günümüzde KKD-GGB doğrultulu bir açılım rejiminin hakim olduğunu göstermektedir. Çalışma alanında alt-kabuk (kırılgan) üst-kabuk (sünek) sınırı yaklaşık 15 km derinlikte olup, depremler üst kabukta yoğunlaşmaktadır. Üst kabukta olan bu depremler genel itibariyle küçük ve sık bir oluşum aralığına sahip sismojenik zonda yoğunluk göstermektedir. Bunun nedenleri açıklanamamış olmakla birlikte zayıf birer öneriden öteye geçemeyen çeşitli görüşler vardır. Bu amaçla yürütülmekte olan proje (ÇAYDAG, 109Y103) kapsamında toplanan mevcut 3B sayısal geniş peryod veri kullanılarak farklı kabuk modelleri karşısında zaman ortamı moment tensor analizi yaklaşımı ile Green's fonksiyonları üretilmiş ve en uygun ortam tepkisi verebilecek model hesaplanarak özellikle çalışma alanındaki fay sistemlerinin ürettiği düşünülen depremlerin kaynak parametrelerinin çözümüne gidilmiştir. Bu çalışma kapsamında meydana gelen Simav (19 Mayıs 2011) depremine ait toplam sismik moment değeri $7.01X10^{24}$ dyne-cm, Mw=5.83 ve derinlik 11 km olarak hesaplanmıştır.

ANAHTAR KELİMELER : Simav depremi, Faylanma mekanizması, Ters Çözüm

1. GİRİŞ

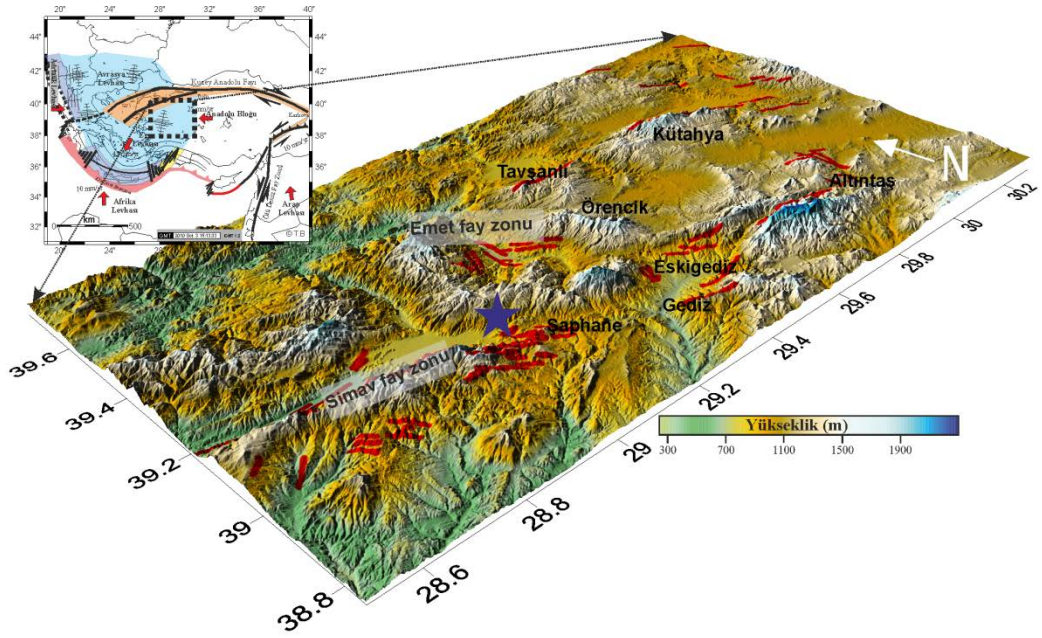
Orta batı Anadolu'da Akdağ, Eğrigöz, Şaphane ve Simav Dağı yükseltileri arasında kalan Simav, bir çöküntü alanını oluşturmaktadır. Denizden yüksekliği 800 m olan bu çöküntü havzasında kalan alan Simav Grabeni olarak bilinmektedir. Simav'ın güneyinde yer alan Simav Dağı doğu-batı uzanımlı olup, doğuda Gediz Vadisi'nden başlayarak, batıda Sındırgı'ya kadar uzanmaktadır. Dağın kuzey yamaçları Simav ilçesi, güney yamaçları ise Selendi ve Demirci ilçe sınırları içindedir Simav Fayı; doğrultu atımlı Kuzey Anadolu Fay Zonu ile normal faylarla temsil edilen Ege açılma bölgesi arasında yer alan Eskişehir Fayı'nın ve yine yakın civarında önemli bir tektonik unsur olan Kütahya Fayı'nın GB'sında yer alır. Ege'de genellikle normal faylarla temsil edilen açılma bölgesinin ise; KD'sunda yer alır. İnceleme alanının en önemli tektonik unsuru olan Simav fayı, Sındırgı (Balıkesir)-Sincanlı (Afyon) arasında KB-GD genel doğrultulu sağ yönlü doğrultu atımlı ve yaklaşık

205 km uzunluğunda diri bir fay sistemidir (Konak, 1982; Şaroğlu ve diğ., 1987, 1992; Doğan ve Emre, 2006; Emre ve diğ., 2009). Bölgenin en önemli tektonik göstergesi olan ve baskın olarak normal faylanma karakterine sahip Simav fayı son yıllarda aktivitesi ile incelenmesi ayrıca önem taşıyan bir unsurdur. Bu fay ile adlandırılan Simav depremi, 19 Mayıs 2011tarihinde oluş zamanı 20:15:23.5 olan ve episantrı (39.14^{o}K-29.10^{o}D) Kütahya-Simav'ın yaklışık 12 km kuzeydoğusunda odak derinliği (8 km, KRDAE - Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü ; 24 km, AFAD – Başbakanlık Afet ve Acil Durum Yn. Bşk.) kabuk içerisinde bir depremdir (Şekil 1).

Sismotektonik çalışmaları için literatüre bakıldığında, bölgede moment tensör ters çözümü ile kaynak parametrelerinin belirlenmesine güncel ve güvenilibilir bir sismik ağa ile çözüme yönelik herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu sebeple yerel depremler kullanarak yapılacak moment tensör ters çözüm tekniği, bölgede bulunan fay zonlarının dinamik özelliklerinin ortaya konmasında çok önemli katkılar sağlayacaktır. Önerilen bu proje çalışmasının sismotektonik kısmında Dreger (2002), Yılmazer (2003) ve İchinose (2009) tarafından geliştirilen moment tensör ters çözüm yaklaşımları kullanılmıştır.

2. TEKTONİK ÇERÇEVE

Orta batı Anadolu civarında yer alan çalışma alanı, aletsel dönemdeki depremler açısından oldukça aktif bir bölgedir. Türkiye Diri Fay Haritası'nda (Şaroğlu ve diğ., 1992) aktif fay olarak gösterilen Simav ve Kütahya Fayları arasında kalan bu alan, proje sahası olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Anadolu'nun genel teknonik görünümü (sol üst) ve çalışma alanının morfolojik harita üzerindeki yeri. Yıldız işareti Mayıs 19, 2011 Simav depremi episantrını vermektedir. Sürekli çizgiler bölgede hakim yüzey kırıklarını göstermektedir (Şaroğlu, 2002).

Yakın zaman aletsel kayıtlara bakıldığında (KRDAE) bölgenin tektonik rejimi ile de uyumlu depremselliği olduğu görülmektedir. Bunlardan bazıları; 1928 (Ms=6.1,KRDAE) Emet, 1944 (Ms=6.0, KRDAE) Şaphane,

1970 Mw=(6.9, Pınar -kişisel görüşme-, 2011) Gediz, 1970 (M= 5.9) Çavdarhisar ve güncel olan 2011 (Mw=5.87) Simav depremleri son yüzyılda bölgede hasara neden olmuş depremlerdir. Çalışma alanın basitleştirilmiş teknonik görünümü ve 2011 Simav depremi (Mw=5.85) yeri şekil-1 'de gösterilmektedir.

Bu bölgenin büyük bölümü, geçmişte olduğu gibi günümüzde de deprem riski altında bulunmaktadır. Çalışma alanı olarak seçilen bölge, aktif Kütahya ve Simav fayları arasında kalırken aktivitesi günümüzde tartışma konusudur. Bu çalışmada, kuzeyde Tavşanlı, güneyde Banaz, batıda Simav ve doğuda Kütahya ile sınırlandırılan, aynı zamanda Simav Fayı ile Kütahya Fayı arasında kalan bölgede fay topluluklarının kinematik analiz çalışmaları, uzaktan algılama tekniği kullanılarak çizgiselliklerin belirlenmesi ve deprem odak mekanizmalarının ters çözümü çalışmaları sürdürülmektedir. Ayrıca bu aktif faylar arasında belirlenecek sismik zonlarda, bölgede kurulu dinamik aralığı yüksek geniş peryodlu sismometreye sahip kayıtçılar aracılığıyla fayların karakteristik özelliklerinin belirlenmesinde moment tensör ters çözüm tekniğinin uygulanmasıyla, bu fayların aktivitelerinin türleri dinamik ve kinematik kaynak parametrelerinin ortaya çıkarılması, varsa literatürde bulunmayan yeni fayların belirlenmesi ve kaynak parametreleriyle beraber sıkışma ve genişleme alanlarının ortaya konması bölgenin teknotik hikayesinin çıkarılmasında önemli katkı sağlayacaktır.

3. YÖNTEM

Çalışmada, Ichinose (2009) tarafından geliştirilen temeli Jost ve Herman (1989) çalışmasına dayalı moment tensor ters çözüm yöntemi kullanılmıştır. Yüksek mertebeden kaynağa yönelik çözümlerde zaman ortamı çözümler son yıllarda üç boyutlu yer modeli için de uygulanagelmektedir. Bölgesel geniş band üç bileşen dalga formları azimut açısına ve uzaklığa bağlı olarak 70-100 sn aralığında farklı bandlarda süzgeçlenmiştir. Kaynak tanımlanmasında nokta kaynak yaklaşımı yapılmıştır. Bu yaklaşım ile kaynağın sonlu olması ve dalga yayınım etkilerinden kaynaklanan karmaşıklık modellenmemiş olur. Green fonksiyonları, gerek deneme yanılma gerekse alıcı fonskiyonu analizi (receiver function) ve referans yeriçi modelleri kullanılarak hesaplanmıştır. Geniş aralıklı geciş bandları ve istasyon uzaklığı ele alındığında, ters çözüm, yakın alan istasyonlarından daha yüksek frekanslara ve daha büyük genliklere doğru büyük ölçüde ağırlıklandırılmış olur.

Tüm dalga formu ters çözümleri soğurulma nedeniyle genlik farklılıkalarından dolayı cisim dalgarından ziyade daha çok yüzey dalgalarına doğru ağırlıklandırılır (Ichinose, 2009). Simav depremi ana ve artçı olayları için faylanma mekanizmasının çıkarılmasında Dreger (2002) ve Icninose (2009) tarafından geliştirilen zaman ortamı sismik moment tensor analizleri kullanılmıştır. Her iki yaklaşımda da nokta kaynak varsayımından yola kalkarak verilen bir kaynak derinliğden başlayarak doğrusal en küçük kareler çözümü yapılırken Ichinose(2009) tarafından önerilen yaklaşımda her istasyon için ayrı ayrı dalga yayınım doğrultusu ele alınarak bağımsız parametre girişi yapılabilmesidir. Bu sayede her istasyon-olay ikilisi ayrı olarak parametreleştirilirken çözüme katılan her istasyon birleşik çözüme toplam katkı vermektedir.

4. VERİ SETİ ve ANALİZ

Gerek Simav depremi ana şoku gerekse bu deprem öncesinde Simav ve Emet fay zonları boyunca oluşan Mw≥3.5 olan depremlerin çözümünde KRDAE ve KÜSAP (Kütahya Sismotektonik Araştırma Projesi, ÇAYDAG 109Y103) ulusal ve yerel ağa ait 3 bileşen geniş band istasyonlara ait sayısal kayıtlar kullanılmıştır. Green fonksiyonlarının hesaplanmasında 142-312 km aralığında istasyonlar kullanılmıştır. Derinlik artışı 1 km alınmıştır. Deprem kaynağı derinliği 20 km'den daha az olan kabuk içi depremlerin çalışılması nedeniyle daha kısa sürede çözümün elde edildiği grid arama düzeni kullanılarak yinelemeli olarak elde edilir ve daha sonra moment tensor ve deviatoric moment tensor için çözüme gidilir. Simav depremi ana şoku için kullanılan dalga formu girdi parametreleri tablo-2'de verilmiştir. Çözüm güvenirliği için gözlemsel ve hesaplanan dalga formları uyum indeksi çakışma ölçütü (variance reduction) değerinin %50den fazla olmasına dikkat edilmiştir.

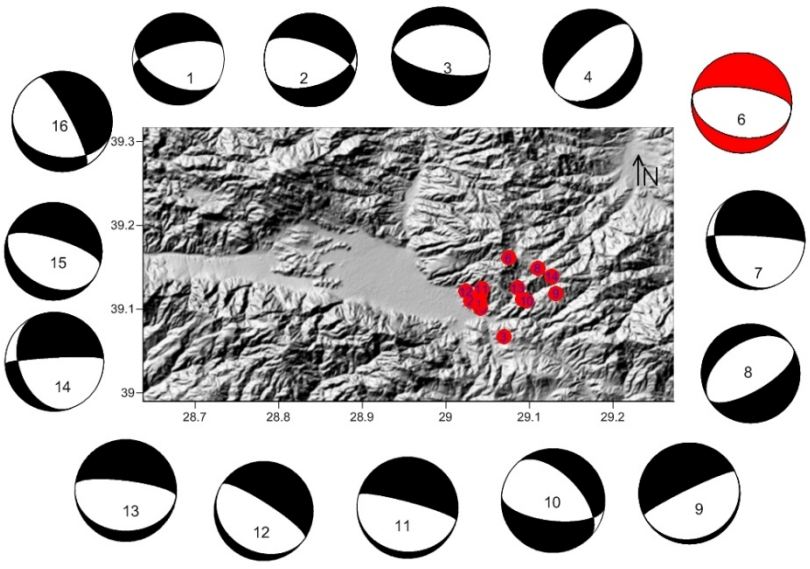
2009-2011 yılları arasında oluşan oluşan depremler ve analiz sonuçları olarak verilmiştir (tablo1). Bu depremlerin basitleştirilmiş tektonik harita üzerindeki fay düzlemi çözüm diagramları şekil-2'de gösterilmektedir.

Tablo-1. Simav fay zonunda 2009-2011 tarihleri arasında oluşan Mw≥3.5 olan depremlerin kaynak parametrelerinin zaman ortamı moment tensör ters çözüm yaklaşımı ile çözümü. 1. ve 2. düzlemdeki değerler sırası ile doğrultu, eğim ve kayma açıdır. Simav depremi çözümü 6. Sırada verilmiştir.

Tarih	Oluş Zamanı	Mw	Derinlik (km)	Enlem	Boylam	1. Düzlem	2. Düzlem	Ölçüt. (%)	İst. Sayısı.
1 17.02.2009	05:28:18	4.79	9	39.107	29.04	257/62/-112	116/37/-58	64.6	7
2 03.02.2010	00:36.10	3.5	6	39.11	29.03	290/57/-67	73/39/-120	36.22	4
3 03.02.2010	00:59.43	4.1	14	39.067	29.069	268/32/-102	103/57/-81	55.35	9
4 21.03.2010	03:50.49	3.6	16	39.112	29.092	228/61/-88	44/28./-92	70.59	4
5 20.04.2010	05:00.18	3.9	14	39.033	29.474	301/33/-76	105/57/-98	52.95	6
6 19.05.2011	**20:15:23**	**5.83**	**11**	**39.161**	**29.075**	**277 /62 /-92**	**101/28/-87**	**68.8**	**10**
7 19.05.2011	21:12:50	4.21	5	39.118	29.041	273 /82 /-106	158/17/-26	79.4	7
8 19.05.2011	21:33:11	3.8	8	39.149	29.11	236 /33 /-93	60/57/-87	36	8
9 20.05.2011	00:13:07	3.81	2.5	39.119	29.132	244/82 /-91	71/8/-83	50.8	7
10 20.05.2011	05:00:35	3.78	3	39.11	29.097	316/43/-59	97/54/-115	53.2	6
11 27.05.2011	07:43:35	4.26	6	39.124	29.043	285/79/-88	95/11/-100	60.1	8
12 28.05.2011	05:47:16	4.73	7	39.121	29.024	303 /75 /-89	120/15/-95	56.4	6
13 29.05.2011	01:31:37	4.37	7	39.125	29.086	277/72/-88	92/18/-95	62.9	9
14 03.06.2011	16:38:15	3.64	5	39.139	29.127	267 /82/-114	160/25/-18	76.4	4
15 27.06.2011	21:13:57	4.82	9	39.107	29.04	287 /66 /-95	119/24/-80	68.3	7
16 27.06.2011	21:28:49	4.28	7	39.101	29.041	332 /74 /-70	99/25/-140	54.5	7

Tablo 2. Simav depremi ana şoku için ,moment tensor ters çözümüne katılan her istasyon temel girdi parametreleri. Lf ve Hf, alçak ve yüksek band geçiş değerleri, Nt örnek sayısı, dt örnekleme aralığı değerleridir.

İstasyon	Kabuk Modeli	Lf (hz)	Hf(hz)	Nt (örnek)	dt (sn)	Uzaklık (km)	Azimut^{o}
GEMT	Kalafat ve dig (1987)	0.02	0.15	1536	0.05	R=141.9	Az=4
SPNC	Kalafat ve dig (1987)	0.02	0.09	512	0.2	R=199.4	Az=31
ISK	Kalafat ve dig (1987)	0.02	0.09	512	0.2	R=211.7	Az=360
SVRH	Kalafat ve dig (1987)	0.02	0.09	512	0.2	R=212.8	Az=81
BCK	Kalafat ve dig (1987)	0.02	0.09	512	0.2	R=230.3	Az=145
YER	Kalafat ve dig (1987)	0.02	0.08	256	0.4	R=235.3	Az=197
RKY	Kalafat ve dig (1987)	0.01	0.08	512	0.2	R=243.3	Az=315
GELI	Kalafat ve dig (1987)	0.01	0.08	512	0.22	R=261.2	Az=303
CTYL	Kalafat ve dig (1987)	0.01	0.08	512	0.24	R=265.7	Az=346
KDZE	Kalafat ve dig (1987)	0.01	0.07	512	0.24	R=312.3	Az=39



Şekil 2. Simav fay zonu ve yakın çevresinde oluşan ve tablo-1 de verilen depremlerin moment tensör ters çözümleri. Kırmızı ile gösterilen plaj topu 19 Mayıs 2011 Simav depremine (Mw=5.83) aittir. Basınç alanları siyah olarak ifade edilmiştir.

Ichinose (2009) çalışması ve önerilen bilgisayar kaynakları koşturularak Simav depremi ana şokuna ait çözüm sonuçları şekil 3'de ifade edilmiştir.

Şekil 3. 19 Mayıs 2011 Simav depremi moment tensör çözümü için dalga formları uyumu. Tüm sismogramlar yer değiştirme sismogramları olup her istayon için ayrı band geçişli süzgeç uygulanmıştır. Sismogramlar oluş zamanına göre düzenlenmiştir. Faylanma parametreleri, baskın kaynak türü, Mo, Mw ve karşılaştırma ölçütü (variance reduction) bilgileri sol üstte verilmiştir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

KRDAE ağırlıklı olmak üzere KÜSAP geniş band 3 bileşen sayısal kayıtçılar kullanılarak orta batı Anadolu'nun genel tektonik penceresine şekil veren depremlerin kaynak parametrelerinin ortaya çıkarılmasında zaman ortamı moment tensör ters çözüm yaklaşımında faylanılmıştır. Depremlerin çoğunun Simav fay zonu ve yakın çevresinde olması nedeniyle bu bölgeye odaklanılmıştır.

Bölgenin güncel tektonik yapısı ile son derece uyumlu olan normal faylanma ve aynı zamanda az da olsa doğrultu atımlı bileşene sahip bir faylanmayı gösteren sonuçlar elde edilmiştir. Çözümlerde çakışma ölçütü (variance reduction) ortalama %55 hesaplanmıştır. Green fonskyionlarının üretilmesinde başlangıç modelleri çözüm çıktılarına ve çakışma ölçütüne bağlı olarak değiştirilerek optimum çözüm uzayı aranmıştır. Ağırlıklı olarak (%99) çift kuvvet sisteminin yarattığı normal faylanma karakteri baskındır. Moment tensör çözümlerininde katkısı gözönünde bulundurularak; episantr alanı, Simav Fayı ve kuzeyinde kalan alanları temsil etmekte olup, kuzeye eğimli olan Simav Fayı ve buna paralel-yarı paralel uzanımlara sahip fay ve fay setlerinden oluştuğu arazi gözlemleriyle de desteklenmektedir. Oluşan bu depremlerin kinematik analizleri, bu bölgede

KKD-GGB doğrultulu açılma ile ilişkilendirilen, BKB-DGD doğrultulu ve çok küçük bir doğrultu atım bileşenine sahip, normal fayların üzerinde meydana geldiği gözlenmiştir. Simav Fayı'nın K-D'sunda Emet bölgesinde yer alan ve yaklaşık K-G doğrultulu Emet Fay zonu daha düşük bir aktiviteye sahip olmakla beraber bölgenin tektonik rejimi ile uyumluluk sergilemektedir. Orta batı Anadolu'da sismolojik veri toplanması ve bölgedeki aktif faylar ile ilişkilendirilmesi ile ilgili çalışmalarımız devam etmektedir. Ayrıca bölgenin aktif tektonizmasını da yansıtan çok sayıda deprem bu çalışmada kurulan istasyonlar tarafından yüksek çözünürlükte kaydedilmiş ve analizleri devam etmektedir.

KAYNAKLAR

Dreger, D., (2002). Manual of the Time-Domain Moment Tensor Inverse Code (TDMT_INVC), Release 1.1, *Berkeley Seismological Laboratory, pp.* ***18****.*

Kalafat, D., Gürbüz, C., Üçer, S.B., 1987. Batı Türkiye' de Kabuk ve Üst Manto Yapısının Araştırılması, *Deprem Araştırma Bülteni, Sayı* ***59, 43-64****.*

Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Boray, A. (1992). 1: 1 000 000 Türkiye diri fay haritası. MTA, Ankara.

Yılmazer, M. (2003). Deprem Kaynak Parametrelerinin On-Line Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Üniversitesi.