

## TÜRKİYE’DE SON YILLARDA MEYDANA GELEN ÖNEMLİ DEPREMLERE TOPLU BİR BAKIŞ

Doğan KALAFAT (\*), Ethem GÖRGÜN (\*), Kıvanç KEKOVALI (\*), Yavuz GÜNEŞ (\*)

(\*) B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE., Ulusal Deprem İzleme Merkezi 34684 Çengelköy/İSTANBUL  
e-mail: kalafato@boun.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada özellikle son yıllarda meydana gelen önemli depremlerin sismolojik açıdan kısa bir değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışma kapsamında incelenen depremler;

- 2005-2007 Afşar-Bala (Ankara) Depremleri
- 2005 Kızılcubuk-Karlıova (Bingöl) Depremleri
- 2005 Sığacık Körfezi -Seferihisar (İzmir) Depremleri
- 2006 Güney Marmara (Manyas-Gemlik Körfezi) Depremleri
- 2007-2010 Elazığ (Sivrice-Başyurt) Depremleri
- 2011 Bulanık (Muş) ve 2009-2011 Simav (Kütahya) Depremleri

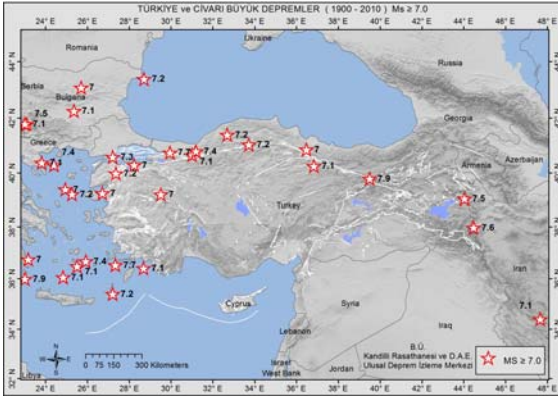
Çalışma kapsamında farklı bölgelerde meydana gelen depremlerin artçı depremlerinin dağılımı, faylanma mekanizması çözümleri, gerilme analizleri yapılarak her bölgenin sismolojik özelliklerinin ortaya konulmasına çalışılmıştır. Örneğin 2005-2007 yılları arası Afşar-Bala’da meydana gelen yoğun deprem etkinliği, bölgedeki fayların bir kesişme ve eklem noktası olduğunu göstermiştir. Çözümü yapılan faylanma mekanizmaları dikkate alındığında, TGFZ ile ilişkilendirilebilecek bu deprem etkinliğinin, genel anlamda sağ yanal doğrultu atım bileşenli KB-GD gidişli normal fayların etkisi ile meydana geldiğini göstermektedir. 2005 Kızılcubuk-Karlıova (Bingöl) Depremleri ise KAFZ ile DAFZ’nun kesişim noktası olan Karlıova ilçesi ve çevresinde etkili olmuştur. Karlıova, bölgenin depremsellik bakımından en hareketli bölümünü oluşturmaktadır. 2005 Kızılcubuk-Karlıova (Bingöl) Depremleri genel anlamda KAFZ’nun ana fayı sistemi içinde değerlendirilmiştir ve bu diri fay parçalarının doğrultusu kuzeybatı-güneydoğu gidişlidir ve yaklaşık olarak Karlıova ilçesinin yakınlarının kuzey batısına kadar uzanmaktadır. 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) depremi DAFZ içinde değerlendirilen bir deprem olup, yapılan faylanma mekanizması çözümleri bölgede hakim olan gerilme eksenlerinin doğrultusunun (P-sıkışma) genel anlamda **K-KB/G-GD** yönünde, ve (T-açılma) **D-KD/B-GB** yönünde olduğunu göstermiştir. Depremin Bingöl-Palu arasındaki fay sistemi içerisindeki ana doğrultusu KD-GB doğrultulu uzanan sol yönlü doğrultu atımlı bir faylanma ile meydana geldiği, artçı depremlerin KD-GB yönünde ve kırılan fay parçasının doğrultusunda yoğunlaştığı gözlenmiştir. Başyurt-Karakoçan (Elazığ) depremi bölgenin doğrultu atımlı rejimin etkisinde deprem etkinliğini sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. 2011 Bulanık (Muş) Depremleri daha önce çok fazla deprem üretmeyen bir bölgede olması nedeni ile dikkat çekmiş ve ard arda meydana gelen büyüklüğü  $M \geq 4.0$  olan depremler yörede tedirginlik yaratmıştır.  $M \geq 4.0$  olan depremler genel olarak Haçlı Gölü’nün güneyinde meydana gelmiş olup, yapılan faylanma ve gerilme analizi sonuçları depremlerin ağırlıklı olarak doğrultu atımlı faylanma mekanizması ile meydana geldiğini ortaya koymuştur. Hakim olan gerilme kuvvetleri (P) **K-KB/G-GD** ve (T) **D-KD/B-GB** yönlü olup, önemli artçı depremlerin hakim dağılımlarının ise ağırlıklı olarak K-G/KB-GD yönlü olarak sıralandıkları gözlenmiştir.

Türkiye’de son yıllarda farklı tektonik birimlerde ve fay parçalarında meydana gelen deprem etkinlikleri, her bölgenin ve tektonik yapının kendine has bir deprem oluş düzeninin olduğunu bir kez daha ortaya koymuştur.

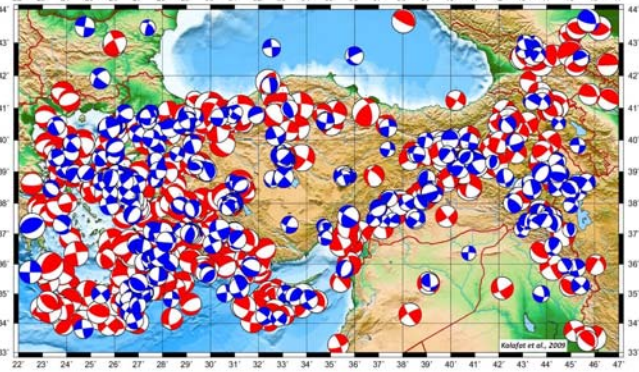
**Anahtar kelimeler :** depremsellik, gerilme eksenleri, artçı deprem, faylanma mekanizması

## 1. Giriş

Türkiye deprem aktivitesinin en yoğun görüldüğü bir coğrafyada yer almaktadır. Arap, Avrasya ve Afrika tektonik levhaları arasında kalan Anadolu levhası günümüzde de süregelen yoğun tektonik deformasyon sonucu özellikle Anadolu levhasının sınırları boyunca önemli bir sismik etkinliğe neden olmaktadır. Bu tektonik hareket zaman zaman blok sınırlarında ve blok içinde yaygın depremselliğe neden olmaktadır bu ise ülkemizin tektonik evrimin halen sürdüğünün en büyük kanıtı oluşturmaktadır (Şekil 1). Türkiye topraklarının büyük bir kısmının deprem tehlikesi altında olduğu bilinen bir gerçektir. Bu bağlamda yapılması gerekenlerin başında ülkemizde deprem etkinliğinin hassas olarak ortaya koyulabilmesini sağlamak, eş-zamanlı gözlem yapabilecek yaygın ve yüksek teknolojiye sahip bir deprem izleme ağının ülke çapında hizmet vermesidir. Bu sayede elde edilecek verinin niteliği ve kalitesi doğrultusunda deprem üreten kaynakların fiziksel ve sismotektonik özellikleri belirlenebilir, kırılma ve gerilme analizleri yapılabilir, her yöre için deprem oluş düzenleri ortaya konulabilir, depremlerin ne tür bir faylanma ile meydana geldikleri, öncü ve artçı şok aktivitelerinin izlenmeleri, sismik boşlukların ve mikro-kırılmaların takibi yapılabilir, gerilme yüklenmesi-tetikleme analizleri mümkün kılınabilir.

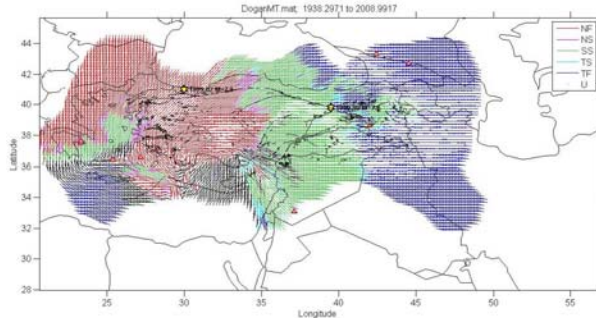


Şekil 1. Son yüzyılda ülkemiz ve yakın çevresinde meydana gelen büyük depremler (1900-2010; Ms≥7.0; Kalafat ve diğ., 2011)



Şekil 2. Türkiye ve Çevresi MT Kataloğu (Kalafat ve diğ., 2009)

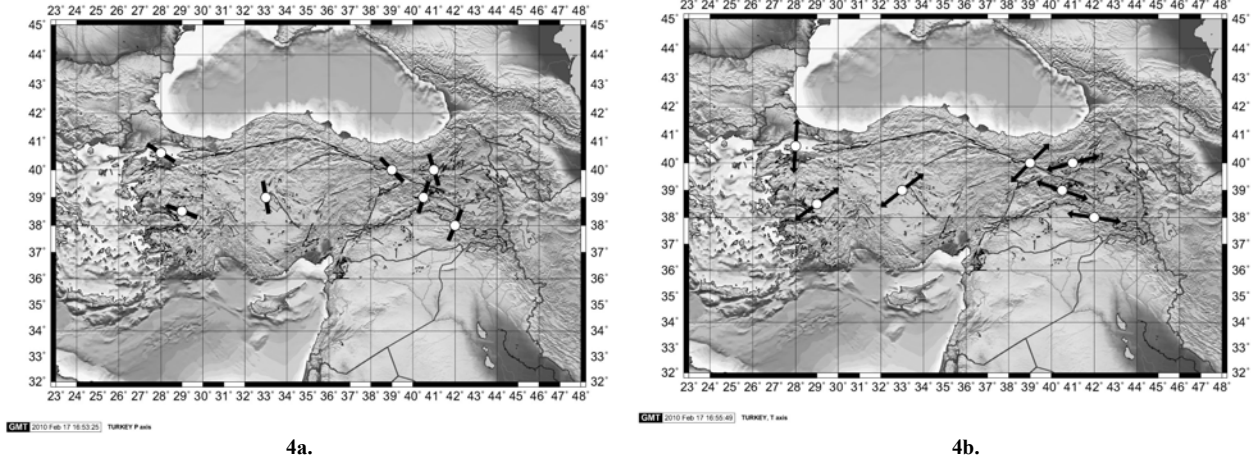
Son yıllarda ülke sismik ağının hızlı gelişimi sismolojik birikim açısından da birçok bilginin de ortaya konulmasına ve bunların yeni veriler ve gelişmelerle desteklenmesine olanak vermiştir. Örneğin Kalafat ve diğ., 2009 tarafından hazırlanan Türkiye ve Çevresi Faylanma Mekanizması Kataloğu (Şekil 2) kullanılarak bölgesel faylanma tipi haritası verilebilmektedir (Şekil 3; Kalafat, 2010). Hazırlanan harita genel anlamda Türkiye’de çok farklı tektonik rejimlerin günümüzde de etkili olarak devam ettiğini net olarak ortaya koymaktadır.



Şekil 3. Türkiye'nin faylanma tipi haritası ve etkili olan faylanma tipleri (Kalafat, 2010)

NF – Normal Faylanma; NS Normal - Doğrultu Atımlı (Oblik); SS - Doğrultu Atımlı Faylanma; TS - Doğrultu Atımlı (Oblik); TF Ters Faylanma; U tanımlanamamış faylanmaları göstermektedir.

Ayrıca mevcut katalog verileri kullanılarak daha önce belirlenen 7 ana tektonik çatı dikkate alınarak her bölge için genel stress analizi (Michael, 1987) kullanılarak yapılmıştır. Ayrıca 7 ana tektonik çatı için hakim gerilme eksenleri haritası oluşturulmuştur (Kalafat, 2010).



Şekil 4a/b . 7 farklı tektonik bölgedeki hakim gerilme eksenlerinin (P ve T) yönleri ( $\alpha_1, \alpha_3$ )

Sonuçta her bölge için bulunan faylanma tipi, ve b-değerleri arasında bir ilişki olup olmadığına bakılarak ülkemizde günümüzde de halen süregelen açılma, sıkışma ve doğrultu-atımlı faylanma rejimlerinin b-değeri ile ilişkisi test edilmiştir. Normal faylanma veren olaylarda (örneğin Batı Anadolu ve Marmara Bölgesi) yüksek b-değerleri, doğrultu-atımlı olaylarda orta (KAFZ, DAFZ) ve ters faylanma veren olaylarda (GD Türkiye) düşük b-değerleri bulunmuştur (Tablo 1). Ayrıca her bölge için sismik ağıın deprem algılama eşığı ( $M_c$ ) hesaplanmış, her ana tektonik çatı için hakim olan genel fay tipi belirlenebilmiştir. Tüm bu çalışmalar yeterli ve sağlıklı veri birikimi sonucu daha da hassasiyetle ortaya koyulabilir.

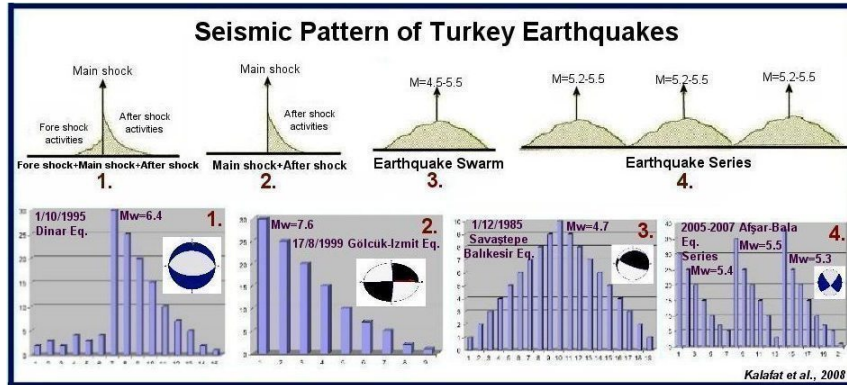
Tablo 1. Türkiye’de belirli periyodlar arası ve her bölge için mevcut sismik ağıın deprem algılama hassasiyeti (büyüklük eşığı; Magnitude of completeness  $M_c$ ) ile bu zaman periyodları arasındaki b-değerleri, a-değerleri ve onların ana tektonik çatılar ile ilişkisi (ayıklanmış katalog;  $h=0-50$  km.)

Zone Code	Zone Name	General Fault Types	Time Period	Number of Earthquakes	$M_c$	b-value	a-value
1	Marmara	Normal-Oblik	1975-2009	10691	2.7	1.26±0.02	7.24
2	NAFZ	Strike-Slip	1992-2009	12384	2.7	1.17±0.01	7.14
3	Western Turkey	Normal	1990-2009	19960	2.9	1.31±0.01	7.91
4	EAFZ	Strike-Slip	1992-2009	3422	2.9	1.02±0.02	6.33
5	Central Turkey	Normal	1976-2009	2989	2.9	1.23±0.03	6.83
6	NE Turkey	Strike-Slip	1984-2009	971	3.0	0.997±0.04	5.77
7	SE Turkey	Trust	1986-2009	5210	2.9	0.943±0.01	6.29
8	Overall Turkey	Mix	1975-2009	55143	2.9	0.862±0.003	6.97

Kaynak: Kalafat, 2010

## 2. Amaç

Bu çalışmada amaç son yıllarda ülkemizde meydana gelen önemli depremleri genel olarak sismolojik ve sismotektonik açıdan değerlendirmektir. Depremlerin sismolojik açıdan incelenmesi bir çok bilgiyi de beraberinde getirmektedir. Bunlar çok genel anlamda depremin parametrelerinin sağlıklı ve belirli hata payları içerisinde hızlı verilebilmesi ve deprem yöresine sağlık, kurtarma ve ilgili birimlerin çok hızlı olarak intikallerinin sağlanması, depreme neden olan sismolojik zonun özellikleri, deprem öncesi ve sonrası sürecin eş-zamanlı tabiki, artçı depremlerin dağılımının izlenmesi, kaynağın ve depreme neden olan fayın özelliklerinin ortaya konulması, gerilmenin bölgedeki değişimi ve dağılımının izlenmesi, deprem oluş düzenlerinin ortaya çıkarılması vb. konulardır. Sismolojik çalışmanın amaçlarından birisi de depreme neden olan tektonik yapının deprem oluş düzeninin ortaya çıkarılmasıdır. Ülkemizin depremselliğinin ortaya çıkarılmasında, her yörenin karakteristik tektonik özelliklerinin bir yerde özelliğini yansıtan deprem oluş düzenlerinin bilinmesi, meydana gelen depremler hakkında ve gelecekte oluşabilecek süreçlerin takibinde çok önemli katkıları bulunmaktadır. Bunlara örnek olarak Batı Anadolu’da özellikle Savaştepe, Akhisar-Sındırgı civarındaki depremlerin oluş düzenini verebiliriz. Şavaştepe bölgesi deprem oluş düzeni açısından değerlendirildiğinde depremlerin karakteristiği yığın “Fırtına-Earthquake Swarm ”şeklinde olmaktadır (Şekil 5). Şavaştepe bölgesi volkanik kökenli kayaç birimlerini barındıran bir yöremizdir ve kabuk çok kırılğan (*brittle*) bir yapıya sahiptir. Genel olarak deprem fırtınaları Batı Anadolu-Savaştepe gibi volkanik kökenli kayaç topluluklarını içinde barındıran çok kırılğan kabuk yapısına sahip fay parçalarının bulunduğu yörelerde meydana gelir, bu yapıların özelliği enerjilerini biriktirmeden çok sık olarak boşaltmakta ve deprem üretmektedirler. Örneğin bir deprem fırtınası çok yoğun deprem etkinliği ile başlar, birkaç gün içinde ortalama  $M=4.5-5.5$  büyüklüğünde bir deprem olur ve deprem etkinliği kısa bir zaman diliminde azalarak biter. Yani yaklaşık bir haftalık bir peryotta tüm enerji boşalır. Deprem fırtınaları örnek vermek gerekirse Savaştepe’de sıkça görülür ancak bu tür oluş düzeninde çok büyük bir deprem meydana gelmez. Şekil 5’de ülkemizin farklı tektonik yapılarında görülen deprem oluş düzenleri ve bunlara verilen örnekler görülmektedir (Kalafat ve diğ., 2008).



Şekil 5. Türkiye Depremlerinde Oluş Düzeni Örnekleri (Kalafat ve diğ., 2008)

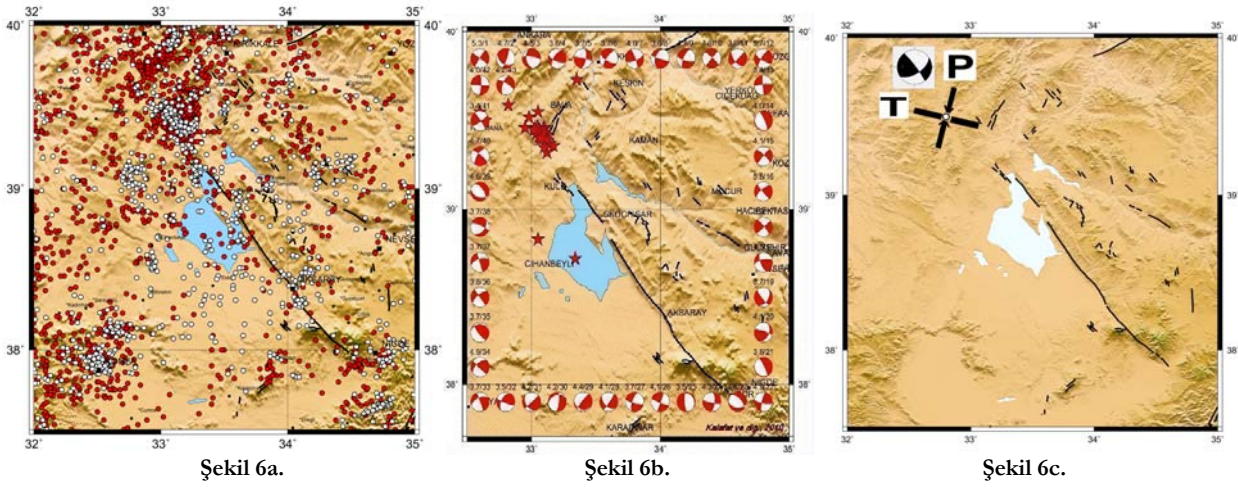
## 3. Uygulama/Yöntem

Bu çalışmada alt başlıklar altında aşağıda verilen sismolojik çalışmalar yapılmıştır;

- Deprem etkinliğinin takibi-Artçı depremlerin dağılımı
- Fay Düzlemi çözümleri /Deprem Kaynak Parametrelerinin Belirlenmesi
- Gerilme Analizi Sonuçları

## 2005-2007 Afşar-Bala (Ankara) Depremleri

2005 ve 2007 yılları arasında meydana gelen Afşar-Bala deprem etkinliği bölgenin daha önce tanımlanan “*düşük sismik etkinlik bölgesi*” kavramını ve Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ)’nin bilinen sismotektonik özelliklerini tekrar bilimsel olarak tartışılmasına sebep olmuştur. Bölgede ard arda meydana gelen orta büyüklükteki depremler uzun süre devam etmiş ve toplumda tedirginliğe neden olmuştur. Kalafat ve diğ.2009, 2010 ‘da yapılan çalışma ile bu bölgedeki deprem oluş düzeninin *Deprem Dizileri–Earthquake Series* şeklinde olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca bölgede depremlerden hemen sonra yoğun bir yerel deprem ağı kurulmuş ve meydana gelen etkinlik hassas olarak izlenebilmiştir. Meydana gelen önemli 43 depremin ( $M>4.0$ ) faylanma mekanizmaları, sayısal genişbantlı deprem istasyonlarının verileri kullanılarak Moment Tensör Çözüm tekniği (Dreger, 2003) ile saptanmıştır. Faylanma mekanizmaları çözümleri özellikle  $M>4.5$  olan depremlerde ilk hareket yönleri çözüm tekniği de kullanılarak çözüm sonuçları test edilmiştir. Faylanma mekanizmaları dikkate alındığında TGFZ ile ilişkilendirilebilecek deprem etkinliğinin, genel anlamda sağ yanal doğrultu atım bileşeni olan KB-GD gidişli normal fayların etkisi ile meydana geldiğini göstermektedir. Meydana gelen artçı depremlerin dağılımı da bu sonucu desteklemektedir.



**Şekil 6. a)** Bölgedeki meydana gelen deprem aktivitesi (Kırmızı semboller 1900- Haziran 2009 tarihleri arasındaki depremleri, Beyaz semboller Temmuz 2009-Şubat 2011 tarihleri arasındaki depremleri göstermektedir)

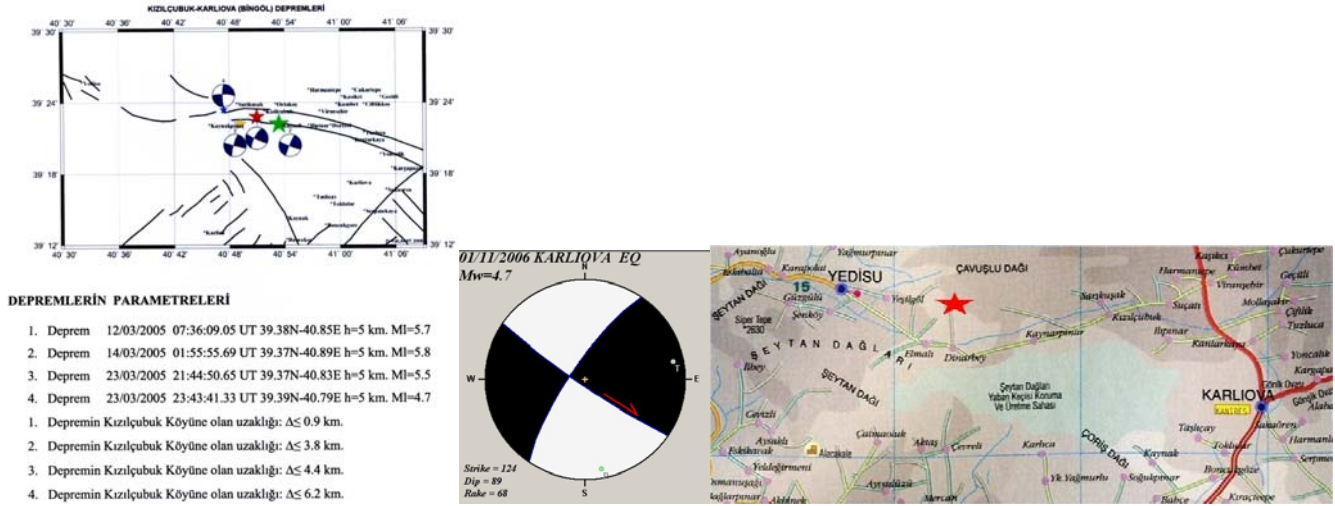
**b)** Önemli depremlerin mekanizma çözümleri;

**c)** bölgesel gerilme analizi (hakim P ve T eksenlerinin doğrultusu ve genel faylanma örneği)

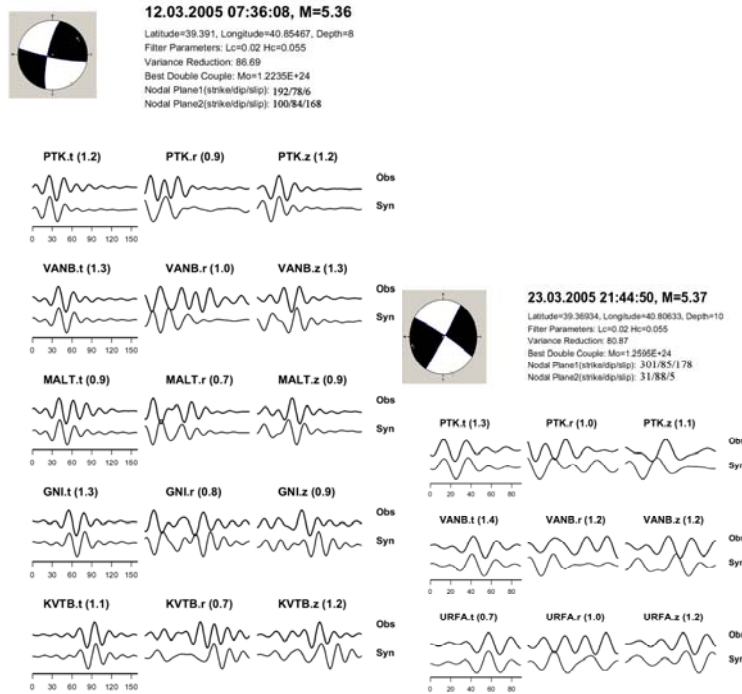
## 2005 Kızılçubuk-Karlıova (Bingöl) Depremleri

12-14-23 Mart ( $M_w=5.4$ ,  $M_w=5.9$ ,  $M_w=5.4$ ), 6 Haziran 2005 ( $M_w=5.7$ ) ve 2 Temmuz 2006 ( $M_w=4.9$ )’da Doğu Anadolu’da bir dizi deprem meydana gelmiştir (Şekil 7). Depremler özellikle Kızılçubuk Köyü –Karlıova’da etkili olmuştur. Depremlerin episantır dağılımı Kızılçubuk depremlerinin, Çatak-İlıpınar fay parçasının kuzeybatı bölümünün aktif hale gelmesiyle oluştuğunu ortaya koymaktadır (Koçyiğit, 2005). Çatak-İlıpınar fay parçası  $110^\circ$  doğrultusunda güneydoğuya doğru Varto ilçesinin 8 km kuzey-kuzeybatısına kadar uzanmaktadır. Toplam 52 km uzunluğundaki sağ yanal doğrultu atımlı fay niteliğinde olan Çatak-İlıpınar parçasının 15 km uzunluğundaki güneydoğu bölümü 1946 ve 1966 depremleri sırasında aktif hale gelmiş ve enerji boşaltmıştır. Buna karşın, bu segmentin Kızılçukur-Beşikkaya arasında kalan yaklaşık 37 km uzunluğundaki bölümü henüz aktif hale gelmemiş ve en azından 1784 yılından beri (221 yıl) de enerji biriktirmektedir. Enerji birikiminin en

fazla olduğu yer doğal olarak, gerek 1949 depreminden eklenen enerji, gerekse yapısal bir kilitleme alanı olması nedeniyle Kızılçubuk köyü ve yakın çevresidir. Nitekim 12 Mart 2005, 14 Mart 2005 ve 23 Mart 2005 tarihli orta büyüklükteki depremlerin ve onları izleyen küçük depremlerin bu alanda yoğunlaşmış olması, ilk hareketin ve enerji boşalımının niçin buradan başladığının önemli bir kanıtıdır.

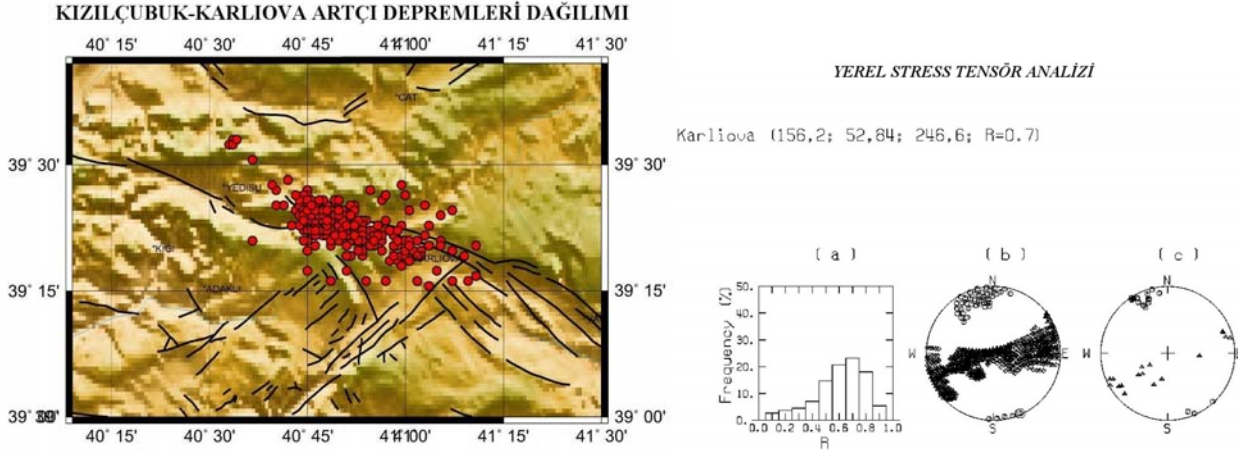


Şekil 7. Kızılçubuk Depremlerinin episantrları ve genel olarak faylanma mekanizmaları (Faylar Kocyiğit, 2005'den alınmıştır).



Şekil 8. Kızılçubuk-Karlıova Depremleri Kaynak Parametreleri çözümleri ile ilgili örnekler

Meydana gelen depremlerin yapılan faylanma mekanizmaları sonuçları sağ yanal doğrultu atımlı tektonik rejimin bölgede etkili olduğunu göstermektedir (Şekil 8). Bu ise kaçış tektoniğinin bir ifadesi olarak yorumlanmalıdır. Yapılan gerilme analizi sonuçları maksimum genişleme (T) yönünün **DKD-BGB**, sıkışma (P) yönünün **KKB-GGD** olarak vermektedir (Şekil 9). Kızılçubuk depremleri deprem oluş düzeni açısından deprem dizisi karakterini taşımaktadır. Bölgede çapraz fay sistemlerinin egemen olduğu yoğun deformasyon alanıdır.



Şekil 9. Kızılçubuk deprem etkinliği ve bölgede yapılan gerilme analizi sonuçları

Son yüzyıldaki veri kullanılarak yapılan çalışmada bölgenin deprem riskinin çok yüksek olduğu gözlenmiştir; Bölgede büyüklüğü M=5.0-5.4 olan depremlerin tekrarlama periyodu yılda 1  
M=5.5-5.9 olan depremlerin tekrarlama periyodu 3 yılda 1  
M=6.0-6.4 olan depremlerin tekrarlama periyodu 6 yılda 1  
M=6.5-6.9 olan depremlerin tekrarlama periyodu 15 yılda 1  
M=7.0-7.4 olan depremlerin tekrarlama periyodu 35 yılda 1  
M=7.5-7.9 olan depremlerin tekrarlama periyodu 81 yılda 1 olarak verilmektedir. Aşağıda ise yıllara göre deprem olma olasılıkları % olarak verilmektedir.

#### YILLAR

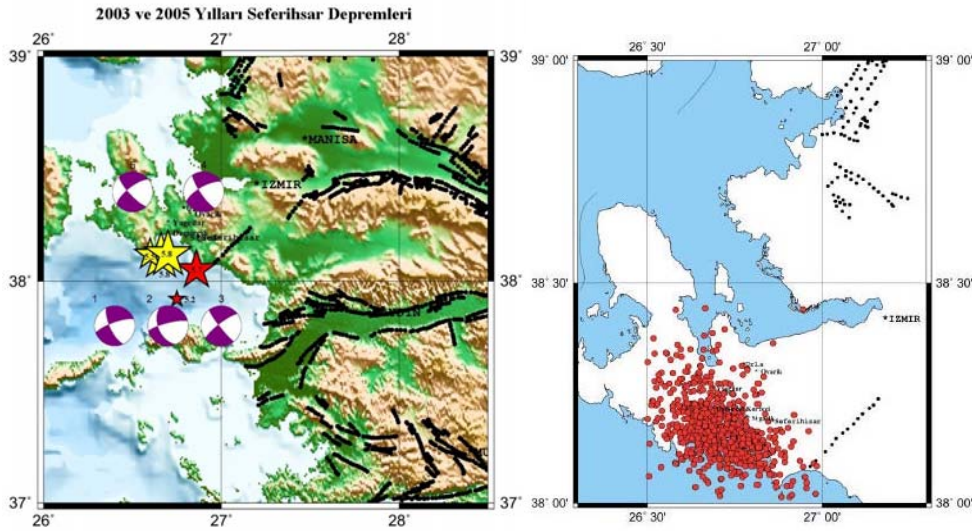
MAG	10 YIL	20 YIL	40 YIL	70 YIL	90 YIL	YP
5.0	99	100	100	100	100	1
5.5	97	99	99	100	100	3
6.0	78	95	99	99	99	6
6.5	48	73	93	99	99	15
7.0	24	43	68	86	92	35
7.5	11	21	38	57	67	81

#### 17-21 Ekim 2005 Sığacık Körfezi-Seferihisar Deprem Etkinliği (Ml= 5.7-Ml= 5.9- Ml= 5.9)

Bölgede 17 Ekim 2005 tarihinde büyüklüğü Ml=5.7 olan depremle başlayan etkinlik aynı gün büyüklüğü Ml=5.9 ile devam etmiş ve bu zaman diliminde yüzlerce hafif ve çok hafif şiddette deprem meydana gelmiştir. Depremlerin dış merkezi Sığacık Körfezi olup kara ile denizin birleştiği bölge, depremlerin dış merkezi olarak

tespit edilmiştir. Depremler Seferihisar ilçesi ve Uzunkuyu ilçesine hemen hemen aynı mesafededir, ve dış merkezlere en yakın ve en büyük yerleşim yeri Seferihisar ilçesidir.

17 Ekim 2005 Depremlerinin olduğu bölgede genel karakteri **KKD-GGB** ve **KB-GD** gidişli eğim atım bileşeni olan doğrultu atımlı faylar mevcuttur. Fayların genel karakteri eğim atım bileşenlerinin olmasıdır. Bölgenin yakın tarihinde de benzer büyüklükte depremler bulunmaktadır. Buna örnek olarak 6 Kasım 1992 Doğanbey Körfezi-Seferihisar Açıkları Depremi ve 10 Nisan 2003 Urla Depremleri verilebilir. Artçı depremlerin dağılımı bölgedeki bilinen fay parçalarının genel doğrultusu yönünde olmuştur (Şekil 10). Büyüklükleri  $M=5.7-5.9$  olan her 3 depremin faylanma mekanizmaları bölgede genel anlamda eğim atım bileşeni olan doğrultu atımlı faylanma (oblik) karakteri vermektedir. Aşağıda Moment Tensor Çözüm Tekniği ile hesaplanmış her 3 depreme ait fay mekanizmaları verilmiştir (Şekil 10).



Şekil 10a/b. a) 17-21 Ekim 2005 Sığacık Körfezi-Seferihisar (İzmir) Depremleri Faylanma Mekanizması Çözümleri  
b) Meydana gelen artçı depremlerin dağılımı

Bölgedeki depremlerin oluş düzeni *Deprem Dizileri* şeklinde olup, deprem dizileri genellikle içlerinde birçok diri fay parçasını barındıran ikincil diri fay zonlarında görülen bir deprem oluş düzenidir ve ülkemizde son yıllarda değişik yörelerde bu tür deprem oluş düzenleri görülmektedir.

### 20 Ekim 2006 Kuş Gölü-Manyas (Balıkesir) Depremi

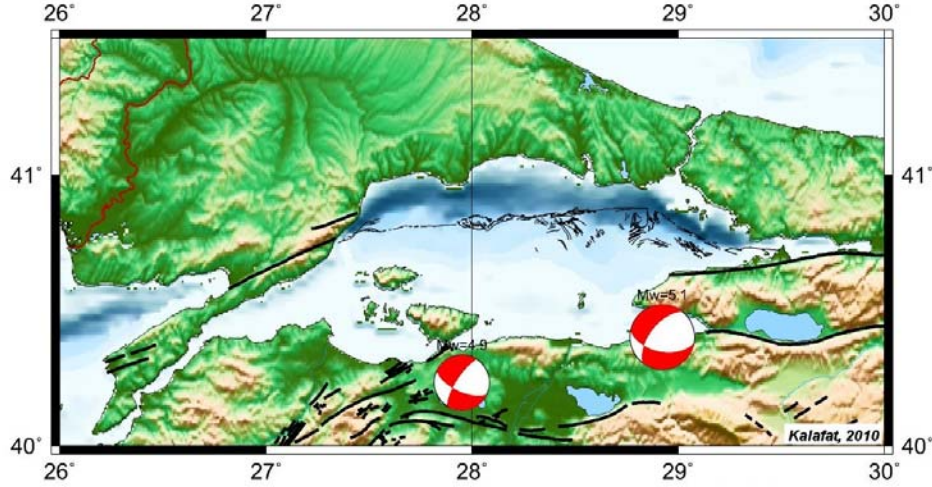
Kuş kuzeyinde  $M=5.2$  büyüklüğündeki deprem tüm Marmara bölgesinde kuvvetlice hissedilmiştir. Bölgede yakın tarihte meydana gelen son deprem 09 Haziran 2003 Bandırma-Kuş Gölü ( $M=5.1$ ) depremidir. Depremin faylanma mekanizması normal faylanma bileşeni olan doğrultu atımlı özellik taşımaktadır ve hakim ana gerilme eksenleri **KKB-GGD** yönlü açılmayı (T), **DKD -BGB** yönlü sıkışmayı (P) işaret etmektedir (Şekil 11).

### 24 Ekim 2006 Gemlik Körfezi Depremi

Gemlik Körfezinde meydana gelen deprem geniş bir alanda İstanbul, Bursa, Kocaeli, Sakarya, Yalova, Bilecik, Kütahya, Eskişehir, Balıkesir ve Çanakkale'den hissedilmiştir. Depremin meydana geldiği yer yoğun deprem



etkinliği görüldüğü KAFZ'nun güney koludur. Faylanma mekanizması doğrultu atım bileşeni olan normal faylanma özelliği taşımaktadır ve hakim ana gerilme eksenleri KKB-GGD yönlü açılmayı (T), DKD- BGB yönlü sıkışmayı (P) işaret etmektedir (Şekil 11).

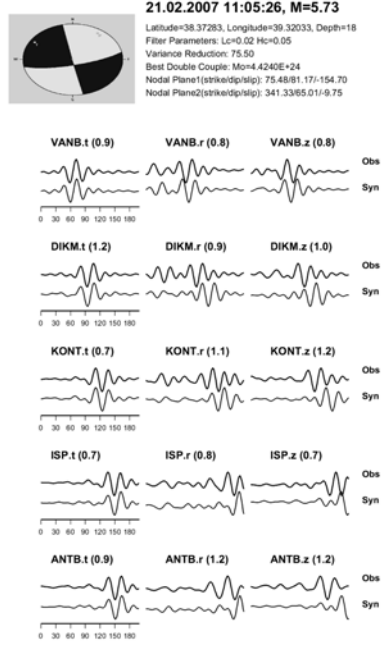


Şekil 11. 2006 Kuş Gölü –Manyas ve Gemlik Körfezi Depremleri

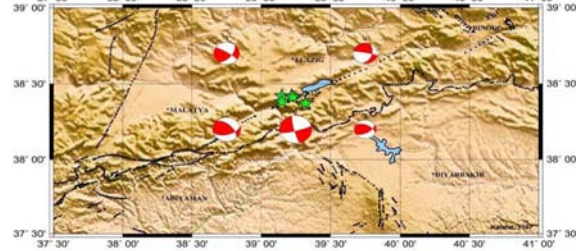
### 2007-2010 Elazığ (Sivrice-Başyurt) Depremleri

Elazığ bölgesi genel anlamda Doğu Anadolu Fay Sistemi içerisinde yer almaktadır. Elazığ-Sivrice bölgesinde çok fazla miktarda aktif fay mevcut olup bir zon karakterini taşır. Depremlerin olduğu Sivrice bölgesinde son yüzyılda çok büyük bir deprem meydana gelmemiştir. Yakın tarihte olan en önemli depremler; 11 Ağustos 2004  $M_I=5.4$  ve 9 Şubat 2007  $M_I=5.3$  depremleridir. 9 Şubat 2007 tarihinde meydana gelen depremin dış merkezi Güzeli-Sivrice yakınlarında olup Güzeli'nin yaklaşık olarak 4 km güneybatısındadır. 21 Şubat 2007 depreminin büyüklüğü  $M_I=5.9$  olup depremin dış merkezi Sivrice'ye yaklaşık 7 km. uzaklıktadır.

Ana fay üzerinde olmayan ikincil tali kırıklar üzerindeki meydana gelen deprem etkinlikleri *Deprem Dizileri* şeklinde olmakta ve büyüklükleri ortalama  $M=5.0-5.5$  arasındaki depremleri kısa periyotlarla üretebilmektedirler. Deprem Dizileri, bir zon içerisindeki irili ufaklı diri fay parçalarının kısa zaman aralıklarında ard arda kırılması şeklinde meydana gelen deprem etkinliği olarak tanımlanmakta ve bu etkinlik, zonun özelliğine, içindeki diri fay parçalarının miktarı ve uzunluğuna bağlı olarak ortalama olarak 3-6 adet orta büyüklükteki ana depremi ve onların artçıları içerisinde barındırmaktadır (Kalafat, 2008). Bölgede son yıllarda meydana gelen depremlerin faylanma mekanizmaları genel olarak sol yönlü doğrultu atımlı faylanma karakteri yanında normal ve ters bilenlerini de ihtiva ettiklerini göstermektedir (Şekil 12).



**SON YILLARDA BÖLGEDE MEYDANA GELEN ÖNEMLİ DEPREMLERİN FAYLANMA MEKANİZMALARINI**

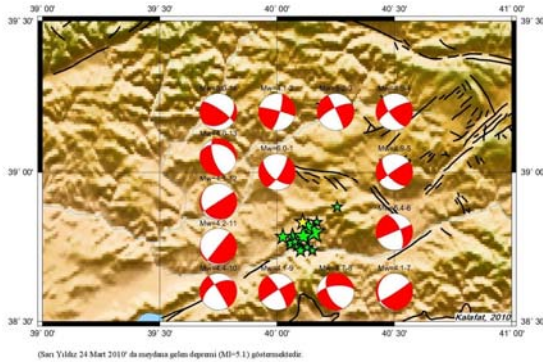


Şekil 12a.

Şekil 12a/b. a) Bölgede meydana gelen depremin MT çözümü b) 21/2/2007 depreminin artçılarının dağılımı

### 08 Mart 2010 Başyurt-Karakoçan (Elazığ) Depremi

8 Mart 2010 Başyurt- Karakoçan depremi bölgenin günümüzde doğrultu atımlı rejimin etkisinde deprem etkinliğini sürdürdüğünü ortaya koymuştur. Başyurt- Karakoçan depremi DAFZ içerisinde bölgedeki fay yapısı dikkate alındığında Doğu Anadolu Fayı'nın Bingöl-Palu arasındaki fay sistemi içerisinde ana doğrultusu KD-GB doğrultulu uzanan fay parçasının kırılması sonucu meydana gelmiştir (Şekil 13).



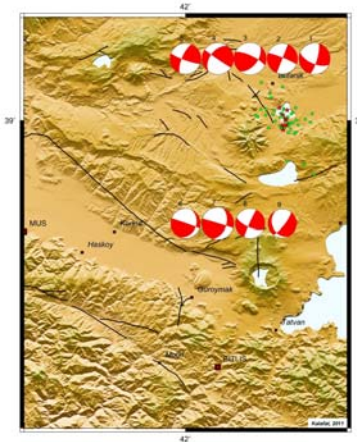
Source Parameters of the important Başyurt-Karakoçan (Elazığ-Eastern Turkey) Earthquakes												
Eq No	Date d/m/y	O Time hrs/m/s U.T.C	Lat deg	Lon deg	Deep km	Sismic Moment Mo dln.cm	Moment Mag Mw	Fault Plane Parameters NP1 strike/dip/rake	NP2 strike/dip/rake	P axis Az./Plg	T axis Az./Plg	Location ELAZIĞ
1	08.03.2010	02:32:31	38.798	40.156	4	1.30E+25	6.0	337/41-30	132/61-161	4.9/46.0	264.6/9.8	Başyurt-Karakoçan (ELAZIĞ)
2	08.03.2010	03:20:24	38.832	40.171	12	1.85E+22	4.1	283/83/167	167/7/6	331.2/5.2	240.0/13.1	Gökdere-Palu (ELAZIĞ)
3	08.03.2010	07:47:38	38.781	40.056	6	7.27E+23	5.2	335/86/-182	243/7/-5	200.7/15.5	108.0/9.7	Başyurt-Karakoçan (ELAZIĞ)
4	08.03.2010	09:00:46	38.761	40.062	6	2.20E+23	4.9	238/74/20	143/71/163	10.7/2.1	101.1/25.3	Başyurt-Karakoçan (ELAZIĞ)
5	08.03.2010	10:14:23	38.818	40.133	8	2.88E+23	4.9	235/83/31	141/59/172	4.1/16.0	102.3/26.6	Başyurt-Karakoçan (ELAZIĞ)
6	08.03.2010	11:12:30	38.785	40.112	6	1.20E+24	5.4	247/90/-28	337/62/-180	198.4/19.4	64.4/19.4	Gökdere-Palu (ELAZIĞ)
7	08.03.2010	14:17:35	38.737	40.150	4	1.50E+22	4.1	578/5/-78	172/13/-155	340.8/48.6	137.1/38.8	Gökdere-Palu (ELAZIĞ)
8	08.03.2010	15:04:51	38.783	40.025	14	1.11E+23	4.7	264/84/-142	159/56/-32	122.7/45.2	27.5/5.2	Başyurt-Karakoçan (ELAZIĞ)
9	09.03.2010	00:09:18	38.753	40.086	20	1.66E+22	4.1	238/85/-11	329/79/-175	193.0/12.0	-76.0/4.9	Gökdere-Palu (ELAZIĞ)
10	09.03.2010	06:14:56	38.737	40.100	6	4.18E+22	4.4	328/71/-144	259/54/-4	198.1/26.9	96.2/22.2	Gökdere-Palu (ELAZIĞ)
11	09.03.2010	07:21:23	38.883	40.257	4	2.12E+22	4.2	219/83/81	117/8/188	317.8/42.3	119.3/46.3	Gökdere-Palu (ELAZIĞ)
12	09.03.2010	07:34:36	38.748	40.128	4	1.73E+22	4.1	237/89/79	143/11/176	337.6/43.0	136.0/44.9	Gökdere-Palu (ELAZIĞ)
13	12.03.2010	22:50:44	38.768	40.078	10	9.45E+21	4.0	161/69/-64	288/33/-138	106.6/57.9	-128.2/19.9	Başyurt-Karakoçan (ELAZIĞ)
14	24.03.2010	14:11:30	38.832	40.109	6	3.87E+23	5.0	304/78/122	53/34/23	9.3/26.1	247.5/47.2	Gökdere-Palu (ELAZIĞ)

Şekil 13 a/b. a) 2010 Başyurt-Karakoçan Depremleri Mekanizmaları b) Kaynak Parametreleri

Artçı depremlerin toplam dağılım alanı yaklaşık olarak **31 km.** olarak verilebilir. Yapılan saha gözlemlerinde arazi üzerinde net olarak bir fay gözlenmemiştir. Ancak deformasyonlar, çökmeler, yer yer heyelan ve küçük çaplı sıvılaşmalar gözlenmiştir. Yüzeysel Dalgası (Ms) ile fay boyu (L-km) arasındaki bağıntıya dayanarak fay boyu aşağıdaki şekilde verilebilir:  $\log L = 0.58xM_s - 2.19$  (Ezen, 1981) ;  $M_s = 1.72x\log_{10}(L) + 3.7775$  ;  $M_s = 5.9$  için  $L \approx 17$  km. Büyüklük ile şiddet arasındaki bağıntıdan faydalanarak da şiddet değeri ortaya konulabilir. Bu şiddet değeri arazi gözlemleri ile ortaya konulmuş şiddet değeri ( $I_0 = VII$ ) ile oldukça uyumlu olduğu görülmüştür.  $I_0 = 1.69 M - 2.76$  (İpek ve diğ.; 1965)  $M = 6.0$  için  $I_0 = VII$  bulunmuştur. Artçı depremlerin dağılımı da bu deprem ile yaklaşık 17 km. bir kırılmanın meydana geldiğini desteklemektedir. Artçı depremlerin dağılımı **K-KD'**ya doğru olup, genelde oluşan depremler sığ odaklıdır. Mevcut veriler deprem sonucu açığa çıkan enerjinin hakim olarak **KKD-GGB** ve **KD-GB** şeklinde yayıldığını desteklemektedir.

## 22 Şubat 2011 Bulanık (Muş) Depremleri

22 Şubat 2011 tarihinde büyüklükleri  $M=4.1$ ,  $M=4.4$ ,  $M=4.5$  ve  $M=4.3$  olan olan hafif şiddette depremler meydana gelmiştir. Depremler özellikle Muş'un Bulanık ilçesi ve yakın çevresinde, Bitlis'te kuvvetlice hissedilmiş, halk arasında tedirginliğe sebep olmuştur. Depremleri takip eden süreç içerisinde artçı depremler meydana gelmiştir. Aletsel dönemde özellikle Varto, Hınıs ve Çaldıran kaynaklı önemli depremler bölge çevresinde etkili olmuş, ancak Bulanık kaynaklı önemli büyüklükte bir deprem meydana gelmemiştir. Meydana gelen depremlerin faylanma mekanizmaları bölgenin doğrultu atımlı rejim etkisinde sismik etkinliğini sürdürdüğünü ortaya koymaktadır. Yapılan gerilme analizi sonuçları bölgedeki hakim olan en büyük gerilme eksenlerinin genel doğrultusunun (P-şıkışma) K-G yönünde, ve (T-açılma) D- B yönünde olduğunu göstermektedir. Meydana gelen önemli depremlerin dağılımı ve artçı depremler KD-GB gidişli doğrultu atımlı fay parçalarının deprem etkinliğine sebep olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 14).



Moment Tensor Solutions for Bulanık-MUŞ Earthquakes																					
Source Parameters																					
EQ NUMBER	DATE	TIME	LATITUDE	LONGITUDE	DEPTH	MAGNITUDE	S. MOMENT	FAULT PARAMETERS												REGION	SOURCE
								Nº1			Nº2			P axis			T axis				
	DIRMY	UTC	Degrees	Degrees	km	Ml	Mw	Dyn*cm	Strike	Dip	Slip	Strike	Dip	Slip	Asimuth	Plung	Asimuth	Plung			
1	22.02.2011	08:36	39.00	42.31	5	4.1	4.3	3.0207E+22	16	79.9	-27.9	112.9	82.9	-165.3	331.6	28.9	66.7	9.5	Bulanık-Muş	This Study	
2	22.02.2011	08:14	39.02	42.31	4	3.5	3.7	3.7859E+21	201.7	89.7	-6.8	291.7	84.2	-179.7	156.8	4.2	-112.8	4.2	--	--	
3	22.02.2011	09:08	38.99	42.30	2	4.4	4.7	1.4337E+23	295.1	73.7	140.7	38	52.5	20.7	350.9	13.6	249.6	38.5	--	--	
4	22.02.2011	09:11	39.99	42.31	5	4.6	4.4	4.6252E+22	124.5	87.7	139.1	216.5	49.2	3	178.8	26	72.7	29.2	--	--	
5	22.02.2011	09:16	39.00	42.31	3	4.1	4.2	2.2303E+22	169.9	92	189.9	202.5	71.1	8.5	157.8	7.4	66	16	--	--	
6	22.02.2011	09:45	38.99	42.31	6	3.2	3.6	2.5688E+21	289.3	88.1	118.1	22.9	28.1	-4.4	354.5	39.8	224.9	40.4	--	--	
7	22.02.2011	11:12	39.01	42.30	5	3.3	3.7	4.7307E+21	289.8	88.8	135.2	18	45.2	1.8	342.4	28.4	233.0	31.5	--	--	
8	22.02.2011	18:15	39.00	42.32	5	4.5	4.6	8.5958E+22	204.5	86.9	21.7	113.3	68.3	176.7	336.3	13.2	70.6	17.5	--	--	
9	28.02.2011	01:13	38.98	42.30	5	3.3	3.4	1.3767E+21	38.2	76.4	-84.7	154.7	28.5	-150.4	337.4	52.4	108.4	28.8	--	--	

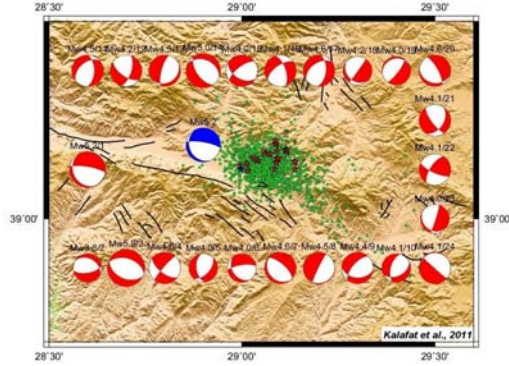
Kalafat, 2011

Şekil 14 a/b. a) 2011 Bulanık (Muş) Depremleri faylanma mekanizmaları sonuçları b) kaynak parametreleri

## 2009 ve 2011 Simav (Kütahya) Depremleri

Simav ovasının tamamı aktif faylarla çevrilmiş bir çöküntü alanı olup, kuzeyini çeviren birbirine paralel basamaklı normal faylar genel olarak D-B gidişlidir ve bölgede farklı doğrultularda irili ufaklı birçok fay parçası bulunmaktadır. 17 Şubat 2009 tarihinde meydana gelen  $M=5.0$  büyüklüğündeki depremin yapılan faylanma mekanizması çözümü normal faylanma olup ve artçı depremlerin dağılımı kuzeye dalımlı normal faylanma

karakterini desteklemektedir. 19 Mayıs 2011 tarihinde Simav ilçesinin KD'sunda meydana gelen orta büyüklükteki deprem ( $M_I=5.9$ ) ilçede yapısal hasara neden olmuştur. Sismotektonik açıdan incelendiğinde Simav depremi sık odaklı bir deprem olup, eğim atımlı bir fay karakterini taşımaktadır. Fay düzleminin hakim doğrultusu **B-KB/D-GD** olup, G-GB'ya eğimi bir normal faylanma özelliği taşımaktadır. Artçı depremlerin dağılımı da bu sonucu desteklemektedir (Şekil 15). Simav Depremleri, Batı Anadolu'da günümüzdeki hakim açılma (extension) tektoniğinin ve bunun sonucu meydana gelen normal faylanmaların güzel örneklerini oluşturmuştur.



**Şekil 15 . 2009 ve 2011 Simav Depremleri faylanma mekanizmaları ve bölgedeki deprem etkinliği**

#### **4. Sonuçlar**

Son yıllarda Afşar-Bala Mevkiinde meydana gelen yoğun deprem etkinliği, bölgedeki fayların bir kesişme ve eklem noktası olduğunu göstermiştir. Genel olarak bölgede gözlenen deprem aktivitesi Tuz Gölü'nün KB'sı (Ankara'nın GD'su ve Bala-Kulu arası), Tuz Gölü'nün GD 'su (Niğde'nin B-GB'sı) ve Konya civarıdır. Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ)'nin doğu ve güneydoğu bölümü aktiftir. İlk defa Tuz Gölü'nün iç kısmında KB-GD yönlü ana faya paralel deprem aktivitesi görülmüştür. Ayrıca Kapodokya volkanitlerinin olduğu bölümde (TGFZ'nun GD ucunda) dikkat çekici düşük ve yaygın bir depremsellik gözlenmiştir. Daha önceki bilimsel çalışmalarda ise bu bölgede kesinlikle deprem aktivitesinin olmadığı yönünde olup, sismolojik bulgular bu görüşün tam tersini ortaya koymuştur. Daha önce yapılan önemli bilimsel çalışmalarda Tuz Gölü Fay Zonu (TGFZ) genel olarak ters fay bileşeni olan doğrultu atımlı bir fay olarak tanımlanmakta ise de, elde edilen ve işlenen veriler ile TGFZ'nun büyük doğrultu atım bileşeni olan normal faylanma karakterini taşıdığını ortaya koymuştur. Ayrıca TGFZ'nun KB ucunda yer alan ve 2005-2007 yılları arası bir seri deprem etkinliğine neden olan KB-GD yönlü faylar ile ilişkide olduğu ve Tuz Gölü Fay Zonu'nun bilinen uzantısının daha da KB'ya doğru uzandığı meydana gelen depremlerin dış merkez dağılımlarından, faylanma mekanizması çözümlerinden ve elde edilen gerilme dağılımlarından ortaya konulmuştur. Bölge Batı Anadolu'nun açılma rejiminin, KAFZ ve DAFZ'nin doğrultu atımlı rejimlerinin direk olarak hakimiyetinde olmamakla birlikte her iki büyük tektonik rejimden kısmen de olsa etkilenmekte, ancak yerel kaynaklı oblik faylanmaların (doğrultu atım+eğim atım (normal ağırlıklı)) etkisinde tektonik evrimini sürdürmektedir.

Bingöl ve civarı, Türkiye'nin en aktif tektonik kuşaklarından birisi olan Kuzey Anadolu Fay Zonu ile Doğu Anadolu Fay Zonu'nun kesim noktasıdır. Dolayısı ile Karlıova ve yakın çevresi, deprem etkinliğinin en yoğun görüldüğü yerdir. Bölgede orta ve şiddetli büyüklükte deprem üretecek diri fay vardır. Bölgede gelecekte de olabilecek depremler göz önünde tutularak depreme dayanıklı, bölgenin coğrafi şartları ve yöre halkının kültürel dokusu göz önünde tutularak yeni konutlar ve ağiller yapılmalıdır.

Ekim 2006 Kuş Gölü-Manyas (Balıkesir) ve Gemlik Körfezi Depremleri, KAFZ'nun batıya uzanan güney kolu ve Marmara'nın güneyinde Batı Anadolu'nun açılma rejiminin de etkili olduğunu ve bu büyük tektonik rejimin etkisinin bölgedeki gücünün güncel bir örneğini oluşturmuştur.

Sivrice-Başyurt- Karakoçan (Elazığ) depremlerinin yakın bir gelecekte bölgedeki yakın komşu fay parçalarını ve diğer fay sistemlerini özellikle Erzincan-Bingöl-Tunceli-Elazığ arasında tetikleyici yönde etkisi olması olasıdır. Bölgede bulunan fay sistemlerinin deprem riski yüksektir. Bu bakımdan bölgedeki hakim olan gerilme rejiminin ve birikiminin  $M=5.7-6.0$  büyüklükte depremleri kısa periyotlarda üretebileceği göz ardı edilmemelidir. Yapılan gerilme analizi sonuçları bölgedeki hakim olan en büyük gerilme eksenlerinin genel doğrultusunun (P-şıkışma) **K-G** yönünde, ve (T-açılma) **D- B** yönünde olduğunu göstermektedir.

2009-2011 Simav Depremleri, Batı Anadolu'da K-G genişleme rejiminin günümüzde de etkili olduğunun göstergesidir ve graben sisteminin evriminin en son ürünlerinden birisi olarak değerlendirilmelidir.

**Katkı Belirtme :** Bu çalışma Boğaziçi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Fonu tarafından 6040 kodlu proje kapsamında desteklenmektedir. Bu vesile BAP Komisyonu Başkanı Sayın Prof. Dr. Gülay Barbarosoğlu ve değerli üyelerine teşekkür ederiz. Ayrıca desteklerinden dolayı KRDAE Müdürü Sayın Prof. Dr. Mustafa Erdik'e, UDİM çalışanı değerli mesai arkadaşlarıma çok teşekkürler ederiz.

### **Yararlanılan Kaynaklar**

Dreger, D.S. (2003). TDMT\_INV: *Time Domain Seismic Moment Tensor INVersion*, International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Volume 81B, p 1627.

Ezen, Ü. (1981). Kuzey Anadolu Fay Zonunda Deprem Kaynak parametrelerinin manyitütle ilişkisi, Deprem Araştırma Bülteni, Vol. 32, p. 53-77.

İpek, M. Z. Uz ve U. Güçlü (1965). Sismolojik donelere göre Türkiye'de deprem bölgeleri, Ankara.

Kalafat, D. (2008). Dünden bugüne Elazığ ve yakın çevresinin depremlerine toplu bir bakış , B.Ü. Kandilli Rasathanesi ve DAE, UDİM Teknik Rapor (yayınlanmamış).

Kalafat, D., Z. Ögütçü, Y. Güneş, K. Kekovalı, M. Yılmaz, E. görgün, M: Kara, K. Kılıç, P. Deniz, M. Çomoğlu, M. Berberoğlu, A. Berberoğlu, S. A. Poyraz, F. N. Bekler, A. Küsmezer, H. Gümüş, D. Kepekçi, M. Gül, R. Polat, Ö. Çok, M. F. Öcal (2009). İç Anadolu Bölgesi, Tuz Gölü ve civarının Sismisitesi ve Sismotektonik Özelliklerinin İncelenmesi- Investigation of Seismicity and Sismotectonic features of Salt Lake and surroundings, Central Anatolia Region, International Earthquake Symposium, Abstracts Book p. 63, 17-19 August 2009, Kocaeli-Turkey.

Kalafat, D., S.A. Poyraz, D. Samut, A. Kürçer, Y. E. Gökten, K. Kekovalı, Z. Ögütçü, Y. Güneş, M. Yılmaz, K. Kılıç, M. Kara, M. Çomoğlu, E. Görgün, P. Deniz, M.F. Öcal, A. Küsmezer, M. Suvarıklı, M. Gül ve Ö. Çok (2010). Tuz Gölü (İç Anadolu) Bölgesinin Mikro-Depremselliğinin İzlenmesi, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 14. Çalışmayı Bildiri Özleri Kitabı s.28, Adıyaman.

Kalafat, D. (2010). Türkiye Deprem Kataloğunun İstatistik Açısından Değerlendirilmesi: Örnek Çalışma- Statistical Evaluation of Turkey Earthquake Catalog: Case Study, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 1039, 87s., Bebek-İstanbul.

Kalafat, D., Y. Güneş, K. Kekovalı, M. Kara, P.Deniz, M. Yılmaz (2011). Bütünleştirilmiş Homojen Türkiye Deprem Kataloğu (1900-2010;  $M \geq 4.0$ ): A revised and extended earthquake catalogue for Turkey since 1900 ( $M \geq 4.0$ ), Boğaziçi Üniversitesi Yayınları No=, 643p., Bebek-İstanbul.

Koçyiğit, A. (2005). Kızılcubuk Depremleri Hakkında kişisel görüşme.

Michael, A. J. (1987) Use of Focal Mechanism to Determine Stress: A control Study, Journal of Geophysical Reserach, 92, p. 357-368.