

07-25 Haziran 2003 Sındırıgi-Bigadiç Depremleri Deprem Fırtınası mı?

07-25 Haziran 2003 tarihleri arasında Sındırıgi-Bigadiç yöresinde büyüklükleri $M=2.0$ ile $M=5.5$ arasında değişen 70 deprem olmuştur. Benzer şekilde, 5 Şubat-3 Mart 1965 tarihleri arasında Salihli yöresinde toplam 337; 24 Şubat - 5 Ekim 2000 tarihleri arasında Denizli yöresinde toplam 219 ve Savaştepe (Balıkesir) civarında 24-31 Temmuz 1999 tarihleri arasında toplam 176, 04 Mayıs-28 Haziran 2001 tarihleri arasında toplam 164 deprem olmuştur.

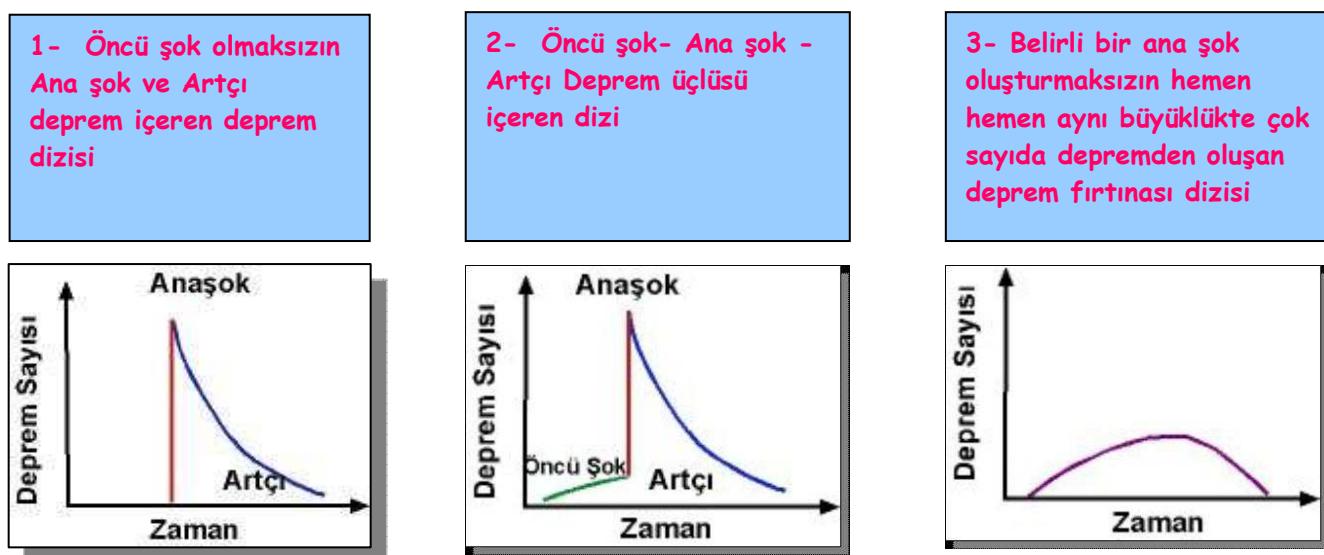
Bu çalışmada, sözkonusu deprem dizilerine neden olan fay ya da faylar ve bu depremlerin deprem fırtınası mı yoksa yerel faylanma karakterleriyle mi ilgili olduğu araştırılmıştır.

DEPREM FİRTINASI

A-TANIM

Bilindiği gibi belirli sınırlı bir bölgede bir hafta ya da birkaç aylık süre içinde oluşan çok sayıda mikrodeprem deprem fırtınası olarak isimlendirilir. Deprem fırtınası, bir çeşit enerji boşalımıdır. Deprem fırtınasında ana şok olabilecek bir deprem sözkonusu değildir. Depremlerin sayısı, sürekli artmaya devam eder ve sonra yavaş yavaş azalır. Örneğin Norveç'in Meloy kentinde 1978 Kasımında bir deprem fırtınası başlamış ve 1979 Ocak sonuna kadar devam etmiştir. Bu sürede yakın istasyonlarda büyülüklüğü 3.2 ve daha küçük 10.000 deprem kaydedilmiştir. En fazla olduğu gün 800 deprem kaydedilmiştir.

Mogi deprem dizilerini üç ana sınıf altında toplamıştır.



Şekil. Deprem Dizileri (Mogi 1963).

Deprem fırtınalarının oluşumuyla ilgili beş görüş ortaya atılmıştır.

MOGI ve SCHOLZ (1968): Fırtınalar ve küçük deprem yoğunluğu, stresin yoğun olduğu, yapı ve malzeme açısından heterojen olan bölgelerde oluşur. Volkanlar, stres yoğunlaşmasının olduğu kaynak bölgelerinin başında gelmektedir. Örneğin 15-18 Mayıs 1970 Kilauea Volkanı (Hawaii) deprem fırtınası ile volkanik püskürmeler ve magmanın yer altındaki

göçü arasındaki yakın ilişki çok iyi belgelenmiştir. Buradaki deprem fırtınalarının oluşum nedeninin artan magma basıncı olduğu görülmüştür.

NAKAMURA (1969): Yüksek sıvı basınç kaynakları, efektif kuvveti azaltır ve stres yoğunlaşmasında önemli rol oynarlar. Magma ya da hidrotermal süreçler, volkanik bölgeler yakınında yüksek sıvı basıncının olduğu kaynaklardır. Örneğin Denver Deprem serisi, 1965-1966 Matsushiro Deprem Fırtınası volkanik kökenli, yüksek sıvı basıncından ileri gelmiştir.

FRANCIS ve SCHOLZ (1968): Sırt zirvelerinde olan deprem fırtınaları, egemen olarak yüksek deprem yoğunluğuna sahiptir. Buna karşılık kırıklar boyunca olan depremler, düşük deprem yoğunluğu içermektedir. Sırt zirveleri altında litosfer tabakası çok ince olduğundan yüksek derecede kırıktır. Bu durum deprem fırtınaları oluşumunu sağlar. Örneğin 1972 yılında, Reykjanes Yarımadası'nda (İzlanda) deprem fırtınası tipik olarak gözlenmiştir. Ada, Reykjanes Sırtı ile Orta İzlanda'nın ana volkanik zonu arasında sağ yönlü ötelenmenin gözlendiği geçiş bölgesinde yer almaktadır. Eylül 1972 deprem fırtınasını oluşturan ve bu depremlerin fay düzlemi çözümlerini içermektedir. Buna göre derinliği, 3 km. üstündeki depremler doğrultu atımlı, 3 km. altındaki depremler ise normal fay mekanizmalarına sahiptir.

TSAI (1969): Sırt zirvelerinde oluşan fırtınaların odak derinlikleri, kırık zonlarındaki şokların derinliklerinden daha derindir.

SYKES (1970): Deprem fırtınaları, elastik enerji boşalımı olan genç volkanlar, magmatik sokulumlar ve jeotermal aktivitenin yaygın olduğu yerlerde olmaktadır. Ana şok olmaksızın depremler dereceli artış ve zamanla azalış göstermektedir. Örneğin, 1973 ve 1975 yıllarında Imperial Valley'de (Kaliforniya) iki ayrı deprem fırtınası, sağ yanal doğrultu atımlı Brawley Fayı ile Imperial Fayının sağa basamak yaptığı bölgede meydana gelmiştir. Bölgenin kuzey ucuna doğru Brawley Jeotermal alanı bulunmaktadır. Fırtınadaki depremlerin çizgisel dağılımları fayların daha dar olduğu bölgelerde yoğunlaşmaktadır. Fayların transform kesimleri bir dizi kademeli dayklardan oluşmakta ve yüzeydeki normal fay sarılıkları, faylar arasında magma sokulumunun olduğu dayklara karşılık gelmektedir.

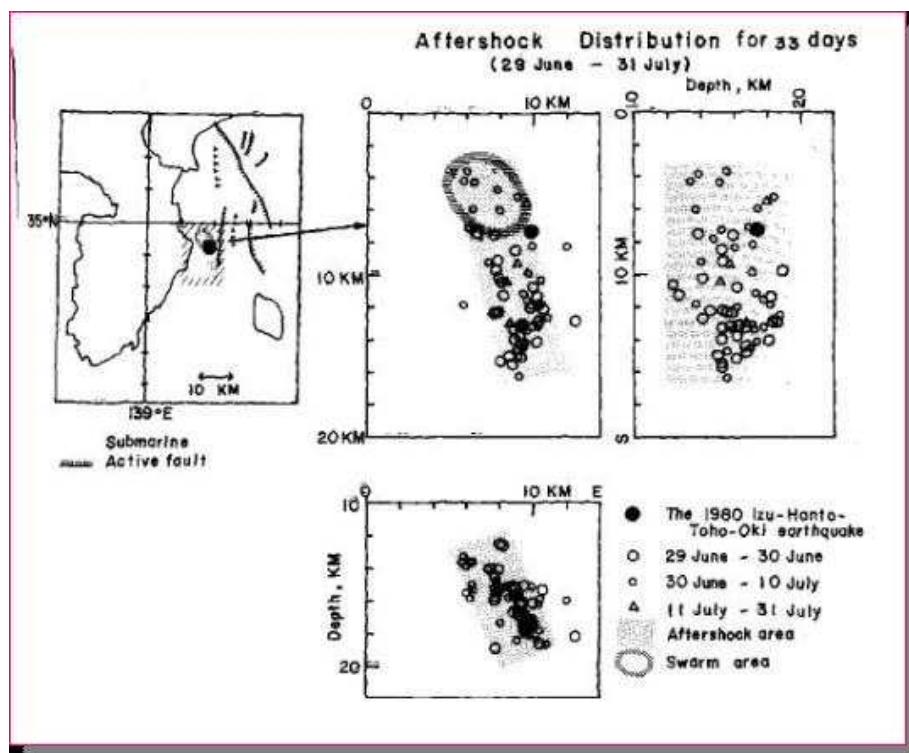
B-DÜNYA ve TÜRKİYE'DEN TİPİK ÖRNEKLER

Izu Yarımadası, Japonya

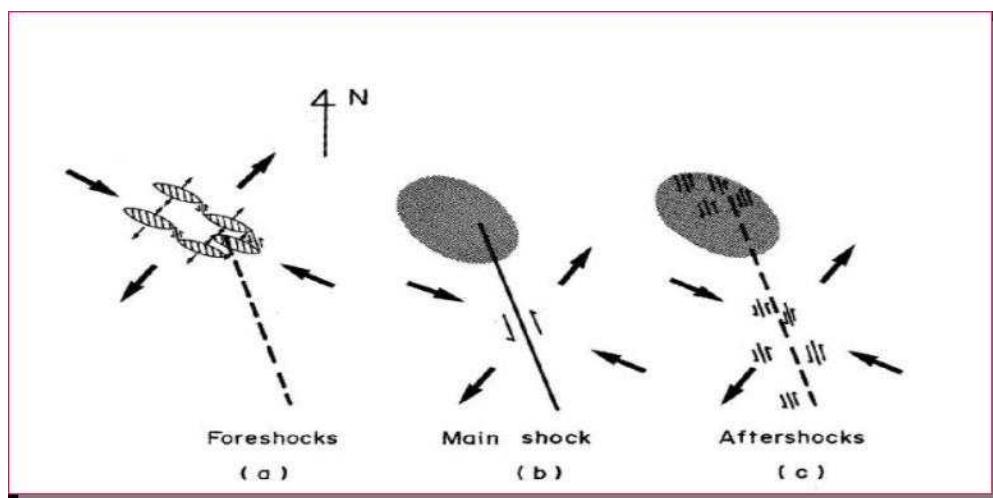
Izu Yarımadasında, Kasım-Aralık 1978, ve Mart-Mayıs 1979 olmak üzere 2 ayrı deprem fırtınası meydana gelmiştir. Bu iki dönem içerisinde büyülüüğü 5.4'ü bulan depremler de olmuştur. Fırtına, Haziran 1979'dan itibaren giderek azalış göstermiş, 22 Haziran 1980'de tekrar küçük depremlerle başlamış, izleyen aylarda depremler hem büyüklik hem de sayı olarak artmıştır. 1980 yılında 6.7 büyüklüğündeki Izu-Hanto-Toho - Oki Depremi olmuştur. Mogi'ye göre 1980 'de bu bölgede meydana gelen deprem fırtınaları büyük bir depremin habercisi olmuşlardır. 1930 yılındaki Kita-Izu Depremi ($M=7.0$) de benzer bir aktivite göstermiştir.

Şekilde de görüldüğü gibi, ana şok, fırtınanın meydana geldiği bölgenin komşu bir bölgesinde meydana gelmiştir. Bu serinin bir deprem fırtınası mı?, deprem dizisi mi? Ya da deprem fırtınası büyük bir depremin habercisi olarak yorumlanabilir mi? Sorularına yanıt aramak amacıyla, birçok araştırmacı tarafından bölgenin merkezinde ve çevresinde

gözlemler yapılmış, gözlem sonuçları ayrıntılı olarak analiz edilmiş dalga formları, spectral analizleri ve odak mekanizması çözümleri yapılmıştır. Sözkonusu çalışmalarдан elde edilen önemli sonuçlardan biri de deprem firtınası dalga frekansının, artçı depremlerin frekansından büyük olduğunu söylemektedir. Mogi, 1978 ve 1979 yıllarında olan iki ayrı firtınanın 1980 Izu-Hanto-Toho -Oki Depremi depreminin habercisi olduğunu ileri sürmüştür.



Şekil. Deprem firtınası, ana şok, artçı depremlerinin zaman içindeki dağılımı (Ishida 1984).



Şekil. 1980 deprem firtınası oluşum mekanizması için geliştirilmiş model (Ishida 1984).

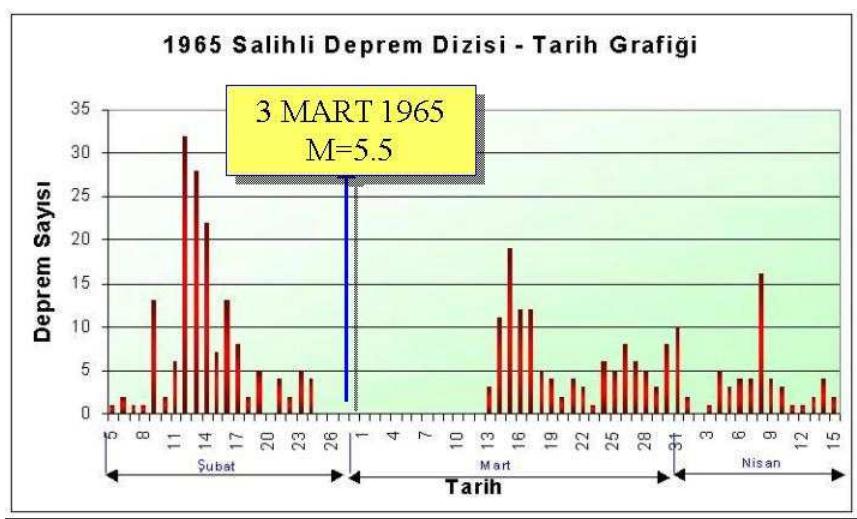
- a-)Ana şok öncesi: Ana sıkışma eksenile aynı yönde meydana gelmiş dayklar ve kesme kırıkları,
- b-)Ana şok: Deprem firtınası olan bölgenin güneyinde yer almaktadır,
- c-)Artçılar: Ana şok ile aynı yerde olmuş artçı depremler.

Ülkemizde ise birçok deprem dizisi, deprem firtınası olarak değerlendirilmiştir. Ancak her bir deprem firtınasını izleyen ay ya da yıllarda komşu bölgelerde hasar yapıcı

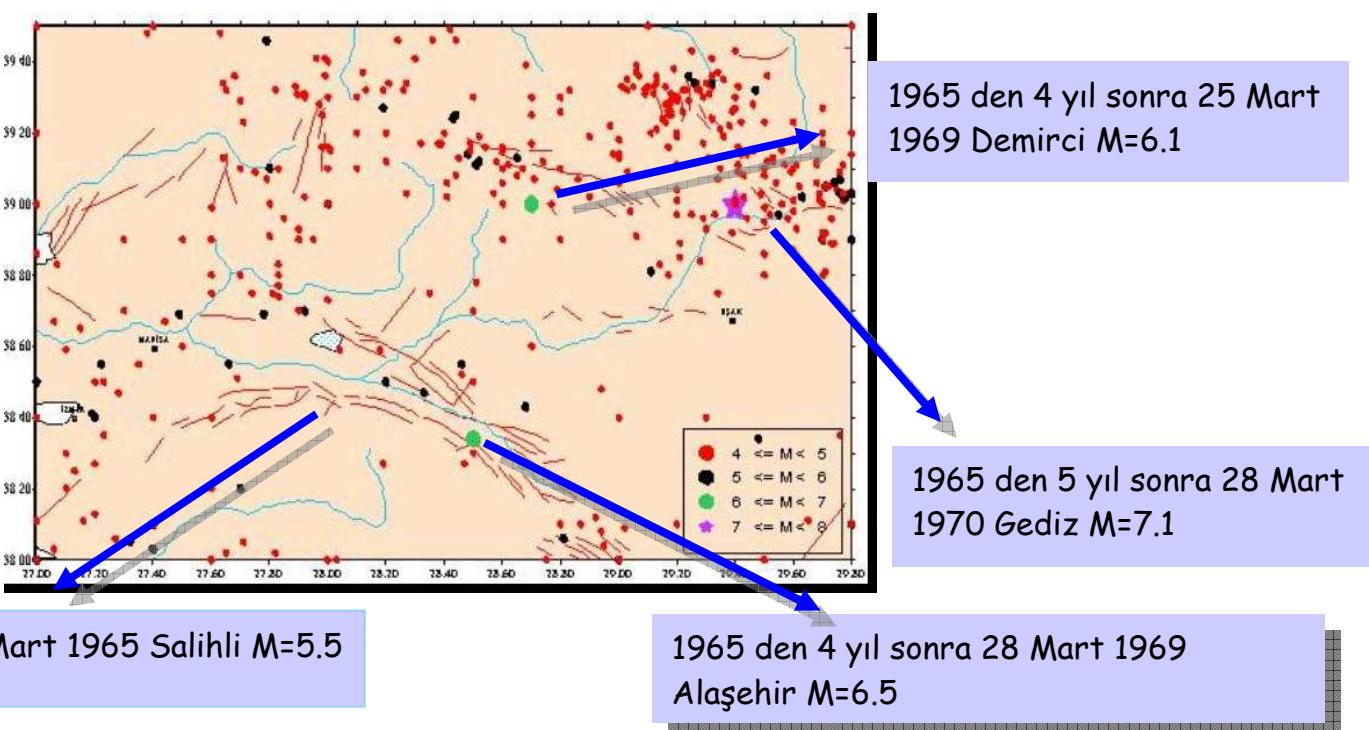
büyük depremler meydana gelmiştir. Bu çalışmada bu tür bir dizi depremler için, Deprem Fırtınası yerine Deprem Dizisi kavramı kullanılmıştır. Aşağıda ülkemizde tipik olarak gözlenen Salihli 1965, 2000 Denizli, 1999-2001 Savaştepe ve Haziran 2003 Sındırıgi-Bigadiç deprem dizileri konusunda kısa bilgiler verilecektir.

Salihli Deprem Dizisi

1965 Salihli Deprem dizisi, 5 Şubat 1965'te bir dizi depremlerle başlamış ve iki ay süreyle aralıksız devam etmiştir. 3 Mart 1965 günü, $M=5.5$ büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiştir. 5 Şubat - 15 Nisan 1965 tarihleri arasında toplam 337 deprem kaydedilmiştir.



Şekil. 1965 Salihli deprem dizisi.



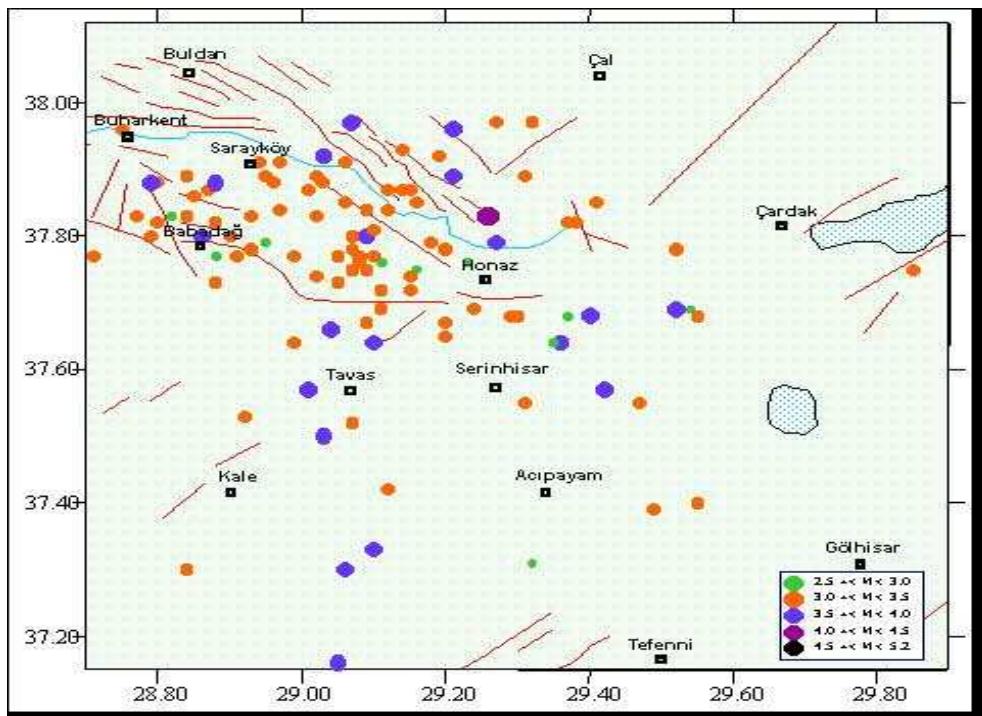
Şekil. 1965 Deprem dizilerinden sonra olmuş hasar yapıcı büyük depremler (Diri faylar Şaroğlu vd. 1987).

1965 Salihli deprem dizilerinden sonra komşu bölgelerdeki fay sistemlerinde 4 yıl sonra 6.1 büyüklüğünde 25 Mart 1969 Demirci, 28 Mart 1969 Alaşehir ve 5 yıl sonra 28 Mart 1970 Gediz depremleri meydana gelmiştir. Salihli örneği, Mogi tarafından İzu Yarımadası için önerilen modele çok iyi bir uyumluluk sergilemektedir. Bir başka anlatımla, İzu Yarımadası ve Salihli örnekleri, deprem fırtınası olan bir bölgenin komşu bölgesindeki fay sistemleri üzerinde çok yakın zamanlarda büyük depremlerin habercisi olabileceğini göstermektedir.

DENİZLİ DEPREM DİZİSİ

Denizli deprem dizisi, 24 Şubat 2000'de küçük depremlerle başlamış, 21 Nisan 2000 günü $M=5.2$ büyüklüğünde bir deprem olmuştur. 24 Şubat - 5 Ekim 2000 tarihleri arasında Denizli yöresinde toplam 219 deprem meydana gelmiştir. Denizli ve yakın civarında olan depremler, Denizli Havzasının KD'sundan geçen Kaleköy Fayı, Karakova Fayı ve Pamukkale Fayı üzerinde meydana gelmiştir.

24 Şubat 2000'de küçük depremlerle başlamış ve 21 Nisan 2000 günü $M=5.2$ büyüklüğünde bir deprem olmuştur. Denizli ve yakın civarında olan depremler, Denizli Havzasının KD'sundan geçen Kaleköy Fayı, Karakova Fayı ve Pamukkale Fayı üzerinde meydana gelmiştir. Bu depremden sonra, biraz uzak bir bölgede 15 Aralık 2000 Akşehir ($M=5.8$), 03 Şubat 2002 Eber-Çay ($M=6.1$) depremleri olmuştur.



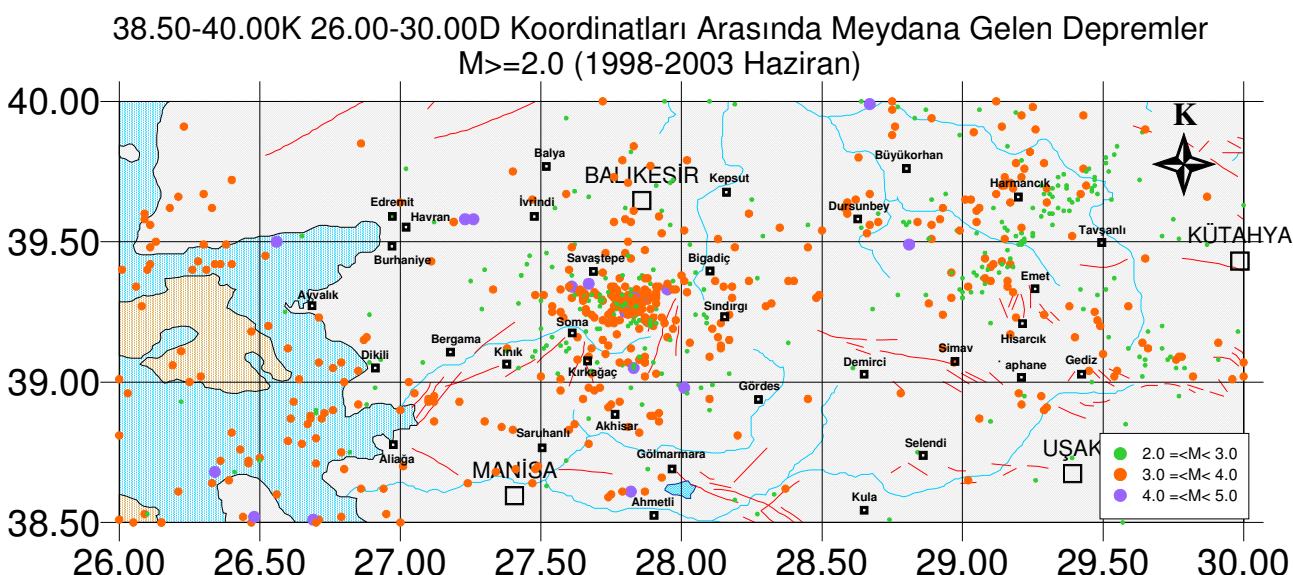
Şekil. Şubat-Nisan 2000 Denizli deprem dizisi (Diri faylar Şaroğlu vd. 1987).

SAVAŞTEPE DEPREM DİZİSİ

Savaştepe (Balıkesir) civarında, 24-31 Temmuz 1999 tarihleri arasında yaklaşık 176 adet deprem meydana gelmiş olup bu dizinin en büyük magnitüdü $M=4.5$ olmuştur. 04 Mayıs - 28 Haziran 2001 tarihleri arasında yaklaşık 164 adet deprem meydana gelmiş olup bu dizinin en büyük magnitüdü de $M=5.0$ 'dır.

Temmuz 1999'da Savaştepe'de meydana gelen depremler Kozderegüvem Fayı üzerinde meydana gelmiştir. Bu fay, sol yanal atım bileşenli eğim atımlı normal fay olup yaklaşık 5-10 km. uzunluktadır. Fayın genel doğrultusu KD-GB 'dir. Uzunluğu dikkate alındığında Kozderegüvem Fayı en büyük (M_{max}) 5.5 büyüklüğünde depremler üretebilir. Mayıs-Haziran 2001 depremleri Yazören Fayı üzerinde meydana gelmiştir. Fay sağ yanal atım bileşenli eğim atımlı normal fay olup yaklaşık 5km. uzunluktadır. Fayın genel doğrultusu KB-GD 'dur. Uzunluğu dikkate alındığında Yazören Fayı, en büyük (M_{lmax}) 5.0 büyüklüğünde depremler üretebilir.

Balıkesir civarında, Kozderegüvem ve Yazören Fayı'na benzer çok sayıda küçük yanal atım bileşenli eğim atımlı normal faylar yer almaktadır. Tarihsel dönem içerisinde Savaştepe merkezli büyülüğu $M=5.5$ 'i geçen bir deprem olmaması, bu son depremlerin yerel ölçekte küçük faylanmalarla ilgili olduklarını doğrulamaktadır. Uzunluk-büyüklük ilişkisine göre Yazören ve Kozderegüvem Fayı 1999 ve 2001 yıllarında her iki fay üzerinde de en büyük magnitüdü depremler ve artçıları olmuştur. Bu nedenle bu depremlerin arkasından daha büyük deprem olma olasılıkları bahsedilen bölgeler için çok düşüktür.

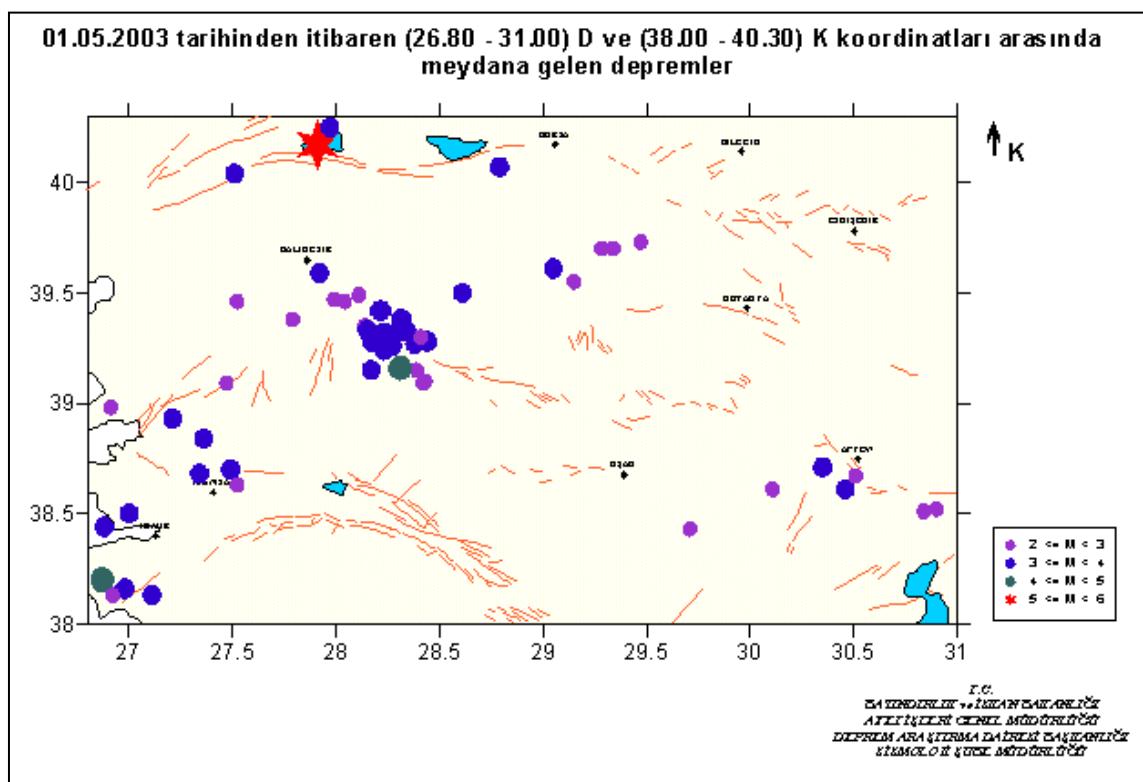


Şekil. 1999-2001 yılları arasında olan Savaştepe'de olmuş deprem dizilerinin dış-merkez dağılım haritası (Diri faylar Şaroğlu vd. 1987).

SINDIRGI-BİGADİÇ DEPREM DİZİSİ

07-25 Haziran 2003 tarihleri arasında Sındırgı-Bigadiç yöresinde büyüklükleri $M=2.0$ ile $M=5.5$ arasında değişen 70 deprem olmuştur. Yazılı basında, bu depremler deprem fırçası olarak nitelendirilerek, bir çeşit enerji boşalımı olduğu ve çok yakın bir zamanda biteceği belirtilmiştir. Ayrıca bu tür enerji boşalımının bu bölgedeki gerilmeyi azaltacağını ve fayların parçalı olması nedeniyle de büyük bir depremin olamayacağı ileri sürülmüştür.

07-18 Haziran 2003 tarihleri arasında meydana gelen depremlerin dış-merkez dağılımları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Deprem fırçası olarak isimlendirilen bu depremlerin, özellikle Simav Fayının batı ucunda yoğunlaşması çok dikkat çekicidir. Öte yandan 1999-2001 yılları arasında olan Savaştepe deprem fırçası olarak isimlendirilen depremler ise Bergama-Zeytindağ fayının kuzey ucunda yoğunlaşmaktadır. Bir başka anlatımla, gerek Savaştepe, gerekse Sındırgı-Bigadiç depremleri, Bergama-Zeytindağ fayı ile Simav fayının birbirine yaklaşığı bölgede yoğunlaşmaktadır.



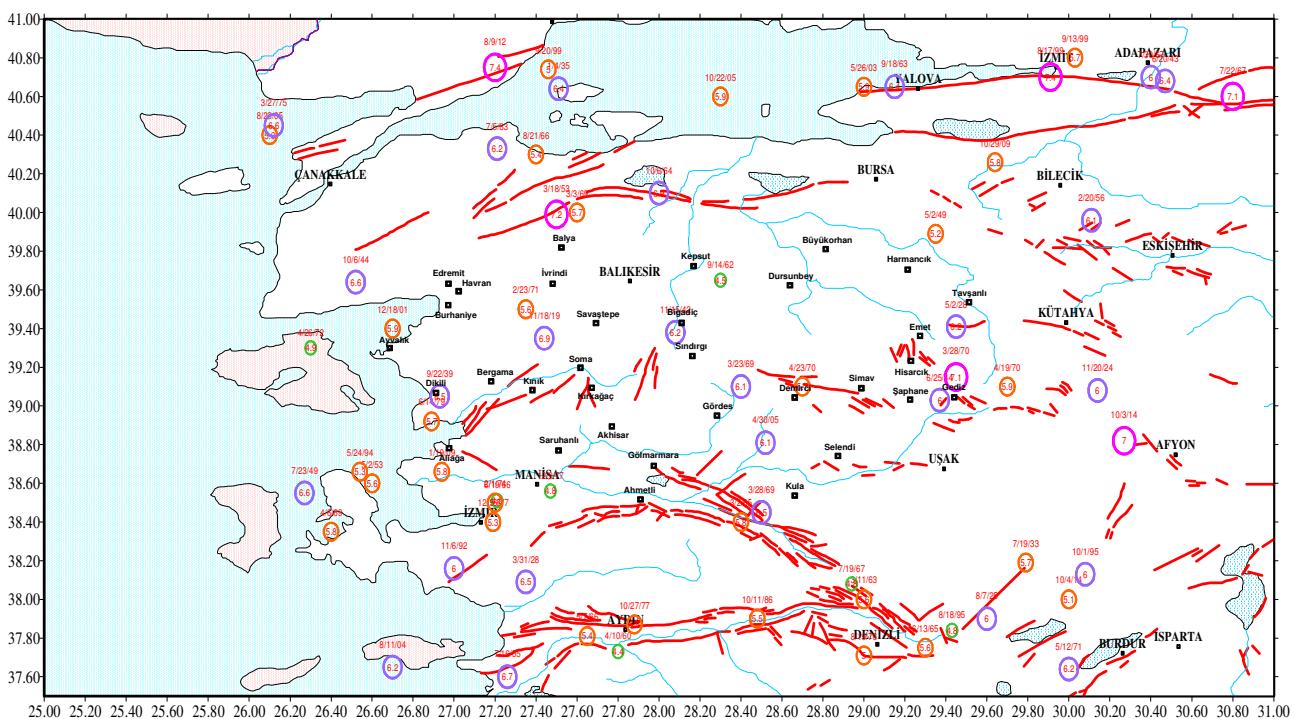
Şekil. 07-18 Haziran 2003 tarihleri arasında Sındırgı-Bigadiç yöresinde olmuş depremlerin dış-merkez dağılımları (Diri faylar Saroğlu vd. 1987).

Sındırgı-Bigadiç depremlerinin hemen doğusundan uzanan Simav Fayı ve sürekli olarak birbirinin devamı gibi gözüken aynı doğrultudaki Gediz, Emet ve Sultandağı Fayı üzerinde son yüzyıl içerisinde olmuş hasar yapıcı depremleri tarih sırasına göre irdeyelim: 26 Eylül 1921 İlgın ($M=5.9$), 20 Kasım 1924 Altıntaş ($M=6.0$), 2 Nisan 1928 Emet ($M=6.2$), 25 Haziran 1944 Şaphane ($M=6.0$), 25 Mart 1969 Demirci ($M=6.1$), 28 Mart 1970 Gediz ($M=7.0$), 15 Aralık 2000 Akşehir, 03 Şubat 2002 Eber-Çay depremleri olmuştur (Şekil 18). Bergama Zeytindağ Fayı boyunca 18 Kasım 1919 Soma ($M=6.9$) ve 15 Kasım 1942 Bigadiç

(M=6.2) depremleri meydana gelmiştir. Diğer yandan 09 Haziran 2003 Bandırma'da olan 5.2 büyüklüğünde bir deprem olmuştur.

Sındırgı-Bigadiç yörensi gerek tarihsel dönem ve gerekse aletsel dönemde içerisinde büyük hasar yapıcı depremlerin olduğu bölgede yer almaktadır. 07 Haziran 2003 günü başlayan ve 18 Haziran 2003 gününe kadar devam eden depremleri deprem firtınası olarak kabul etmek, bir anlamda olabilecek bir depremi kabul etmek ve sonuçlarını katlanmak anlamına gelmektedir. Sındırgı-Bigadiç deprem dizilerinin yoğunlaştığı bölgenin hemen güneydoğusunda uzanan Simav Fayı'nın batı parçasının uzun süredir suskun olduğu göz ardı edilmemelidir. Öte yandan Savaştepe deprem dizilerinin hemen güneybatısında uzanan Bergama-Zeytindağ fayı boyunca 1919 Soma depremi dışında herhangi bir hasar yapıcı depremin olmadığı da göz önüne alınmalıdır.

37.50-41.00 K 25.00-31.00D KOORDİNATLARI ARASINDA
MEYDANA GELMİŞ HASAR YAPICI DEPREMLER (1900-2003)



Şekil. Son yüz yıl içerisinde Balıkesir ve yakın çevresinde olmuş hasar yapıcı depremler (Diri faylar Şaroğlu vd. 1987).

SONUÇLAR

- Deprem firtınaları, açılma rejiminin olduğu yani gerilimin yoğunlaştığı, yapı ve malzeme açısından heterojen olan bölgelerde oluşmaktadır. Elastik enerji boşalımının olduğu genç volkanlar, magmatik sokulumlar ve jeotermal aktivitelerin yoğun olduğu kaynak bölgeleri bunların başında gelmektedir.
- Mogi'nin deprem dizileri modeline göre, deprem (firtınaları) dizilerini izleyen dönemlerde, deprem firtinasının olduğu bölgeden ziyade komşu bölgelerde büyük

deprem olma olasılıklarının çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Buna göre, deprem fırtınaları bir öncü niteliği de taşımaktadır.

- Bu tür depremleri deprem fırtınası olarak nitelendirebilmek için dalga formlarının ayrıntılı olarak analiz edilmesi, spectral analizleri ve odak mekanizması çözümleri yapılması gerekmektedir.
- Salihli, Denizli, Savaştepe ve Sındırgı-Bigadiç'te olan deprem dizileri bir deprem fırtınası değil, bölgeye özgü yerel ölçekli faylanmalarla ilgili olabilir.
- Gerek Savaştepe gerekse Sındırgı-Bigadiç deprem dizilerinin de Simav Fayı ya da Bergama-Zeytindağı Fayı üzerinde gelişebilecek hasar yapıcı bir depremin habercisi niteliği taşıyabileceğinin unutulmamalıdır.
- Verdiğimiz örneklerde olduğu gibi yurtdışında yapılan hassas ve ayrıntılı çalışmalar sonucunda ilgili yörelerde meydana gelen depremlerin nasıl bir karakter taşıdığını, öncü, deprem fırtınası veya artçı olduğu açıklanmaktadır. Maalesef ülkemizde ise çok kısa (birkaç dakikalık) bir zamanda bunlara karar verilmektedir. Böyle önemli konularda açıklama yapılırken daha dikkatli olunması gerekmektedir.

Not. Bu yazı konusunda ayrıntılı bilgiler, <http://sismo.deprem.gov.tr> web adresinden, "1965 Salihli, 2000 Denizli ve 1999-2001 Savaştepe (Balıkesir) deprem dizileri, deprem fırtınası mı? "(Demirtaş, R., Tepeugur, E., Eravci, B., Yaman, M., ve Yanık, K. 2002.) adlı yayından elde edilebilir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- Demirtaş, R., Tepeugur, E., Eravci, B., Yaman, M., ve Yanık, K. 2002. 1965 Salihli, 2000 Denizli ve 1999-2001 Savaştepe (Balıkesir) deprem dizileri, deprem fırtınası mı? 55. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri.
- Hill, D.P. 1977. A model for earthquake swarms, Journal of Geophysical Research, 82, 8, 1347-1352.
- Ishida, M. 1984. Spatial-temporal variation of seismicity and spectrum of the 1980 earthquake swarm near the Izu Peninsula, Japan, Bull. Seis.Soc.of America, 74,1, 199-221.
- Mogi, K. 1963. Some discussion on aftershocks, foreshocks and earthquake swarms-the fracture of a semi-infinitebody caused by an inner stress origin and its relation to the earthquake phenomena, 3, Bull. Earth. Res.Inst. Tokyo Univ., 41, 615-658.
- Sykes, R.L. 1970. Earthquake Swarma and Sea-Floor Spreading, Journal of Geophysical Research 75, 32, 6598-6611.
- Şaroğlu, F., Emre, Ö. ve Kuşcu, İ. 1987. Türkiye'nin Diri Fay Haritası, MTA yayınları.

Dr. Ramazan DEMİRTAŞ, Eren TEPEUĞUR, Bengi ERAVCI, Cenk ERKMEN, Müjdat YAMAN, Kenan YANIK, Belgin BARAN, Zahide ÇOLAKOĞLU

Afet İşleri Genel Müdürlüğü,
Deprem Araştırma Dairesi Başkanlığı
Sismoloji Şube Müdürlüğü
ANKARA