



Türkiye’de Deprem Oluş Düzenleri

Earthquake patterns in Türkiye

DOĞAN KALAFAT^{1*} 

¹ Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, İstanbul, Türkiye

Geliş (*received*): 06 Eylül (*September*) 2023 Kabul (*accepted*): 15 Kasım (*November*) 2023

ÖZ

Depremler doğal olaylardır. Bu doğa olayını felakete dönüştüren ise toplumlardır. Depremleri tanımak, nasıl oluştukları ve oluş düzenleri hakkında bilgi sahibi olmak deprem tehlikesinin belirlenmesinde önemli parametrelerden birini oluşturmaktadır. Depremlerin düzeni (*pattern-örüntü*) hakkında bilgi sahibi olmak, deprem riskini azaltmaya yönelik çalışmalara önemli katkı sağlamaktadır. Her kırık zonunun veya parçasının deprem oluş şekli farklıdır ancak bu çok detaylı bir analiz ve sismolojik kayıtların yorumlanmasıyla mümkün olabilir. Bu bağlamda depremlerin oluş düzenleri hakkında bilgi sahibi olmak bize tektonik yapıların olası davranışları hakkında bir yol haritası sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Oluş düzeni, öncü şok, ana şok, artçı şok, deprem fırtınası, deprem dizisi

ABSTRACT

Earthquakes are natural events. It is the societies that turn this natural phenomenon into a disaster. Recognizing earthquakes, and having information about how they occur and their occurrence patterns constitute one of the important parameters in determining the earthquake hazard. Knowing the pattern of earthquakes makes an important contribution to the studies aimed at reducing earthquake risk. The earthquake occurrence pattern of each fracture zone or fragment is different, but this can only be possible with a very detailed analysis and interpretation of seismological records. In this context, knowing the occurrence patterns of earthquakes gives us a roadmap about the possible behavior of tectonic structures.

Keywords: Occurrence pattern, foreshock, mainshock, aftershock, earthquake swarm, earthquake series

<https://doi.org/10.17824/yerbilimleri.1356144>

*Sorumlu Yazar/ Corresponding Author: kalafato@boun.edu.tr

GİRİŞ

Deprem oluş düzenlerini belirlemeye yönelik çalışmalar, büyük ve tahripkâr depremlerden önce, yer ve zaman boyutunda deprem aktivitesinin ne tür ve nasıl bir gelişme

gösterdiğini konu alır. Bu yöndeki çalışmalar için çok uzun yıllardan beri veri birikimini kaynak olarak aldığından ya çok uzun süreli bir tarihsel deprem geçmişi olan Türkiye,

Japonya, Endonezya, Şili, Çin Halk Cumhuriyeti gibi ülkelerde, ya da yeterince deprem veri arşivi sağlayabilmiş ülkelerde daha kolaylıkla gerçekleştirilebilir. Burada önemle vurgulanması gereken bir nokta, deprem oluş düzenleri ile bunların meydana geldiği yerlerin tektonik yapısı ve rejimi arasındaki ilişkidir. Genelde deprem oluş düzenlerinin küresel anlamda bugüne kadar izleri Kanamori (1981) ve Rikitake (1982) tarafından sınıflandırılmaya çalışılmıştır. Büyük sığ odaklı depremlerin, zaman boyutunda oluş düzenleri Mogi (1968) tarafından, Shimazaki ve Nakata (1980)' dan hareketle modellemeye ve örneklerle göstermeye çalışılmıştır. Aynı şekilde ülkemizde Kalafat (2014, 2017) tarafından yapılan çalışmalar da konuya dikkat çekilmiştir.

DEPREM OLUŞ DÜZENLERİ

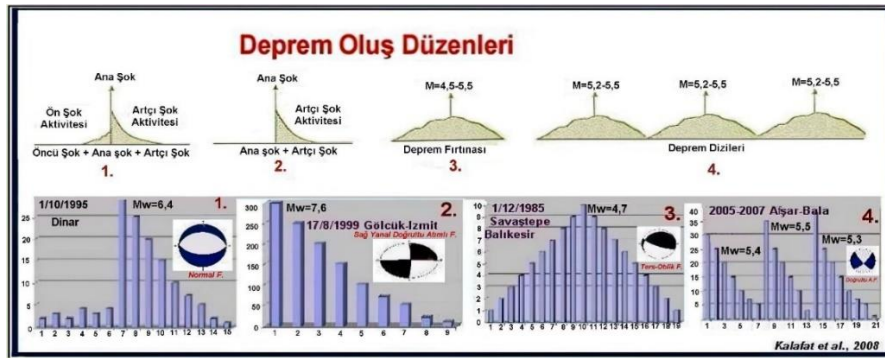
“Deprem Oluş Düzenleri (Earthquake Occurrence Patterns)” her bölgenin mevcut kabuk, kırık ve tektonik yapısına göre değişmektedir. Buna örnek olarak küresel çapta Japonya'nın Hokkaido adasının yakınlarında meydana gelen depremler, yine Japonya'da

meydana gelen 1965-1967 Matsushiro deprem fırtınası ve Portekiz'e bağlı Azor Takım adalarında Sao Jorge Adası 1964 Rosais Deprem serisi verilebilir. Özellikle ülkemizde 2000 yılından sonra aletsel donanım bakımından sismik ağların gelişmesine paralel olarak farklı tektonik yapılarda kaydedilen depremlerin özelliklerinin daha sağlıklı belirlenmesi ile her yörenin deprem oluş düzenleri hakkında değerli bilgiler edinilmeye başlanmıştır.

Ülkemizde 4 farklı deprem oluş düzeni vardır (Şekil 1).

Bunlar sırası ile;

1. Öncü şok (Foreshocks) + Ana şok (Mainshocks) + Artçı şok (Aftershocks)
2. Ana şok + Artçı şok (Mainshocks) + Artçı şok (Aftershocks)
3. Deprem Fırtınası (Earthquake Swarm)
4. Deprem Dizileri (Earthquake Sequences- Earthquake Series)



Şekil 1. Ülkemizdeki deprem oluş düzenleri (Kalafat ve diğ., 2008)

Figure 1. Earthquake occurrence patterns in our country (Kalafat et al., 2008)

Öncü şok, Ana şok, Artçı şok tanımları

Öncü Şok: Büyük bir deprem öncesi meydana gelen küçük ve ya orta büyüklükteki deprem serisidir.

Ana Şok: Kırık parçasının enerjisinin büyük ölçüde boşaldığı ve büyüklüğü genellikle $M_l > 5,0$

olan depremlerdir. Ülkemizde yaşanan ana şoklar genellikle $M_l > 6,0$ olup, deprem sonrası açığa çıkan enerjinin büyük çoğunluğu ana şok ile boşalır.

Artçı Şok: Ana şok sonrası enerjisini tam olarak boşaltamayan kırık parçasının, artçı şoklarla

kalan kısmın enerjisini tamamen boşalması sağlanır. Artçı şoklar genel olarak kırılan parçanın boyuna ve miktarına göre devam eder. Her ana şoktan sonra artçı şoklar meydana gelir. Ana şok sonrası meydana gelen en büyük artçı şok, genelde ana şoktan 1 birim aşağı olacak şekilde gerçekleşir. Ana şok sonrası gerçekleşen artçı şoklar günler, haftalar, aylar hatta yıllarca sürebilir, bu kırık parçasında kalan ve ana şok ile boşalmayan enerji, artçı şoklar ile süreci tamamlar, artçı şoklar ana şok ile yırtılan kırık parçalarının miktarına ve kırılan alanın tektonik yapısıyla ilgilidir. Büyük depremlerde ($M_w > 7,0$) genelde artçı şoklar bir yıldan fazla sürebilir. Artçı şoklar zamana bağlı olarak hem sıklıkları, hem de büyüklükleri azalarak uzun bir süre devam eder.

1. Öncü Şok+Ana Şok+Artçı Şok Oluş Düzeni

Bu tür deprem oluş düzeni genellikle Batı Anadolu'da kabuğun daha kırılğan olduğu, sığ odaklı ve normal kırılmaların bulunduğu tektonik yapılarda görülmektedir. Bu tür oluş düzeninde 1 hafta veya daha uzun süren önemli miktarda büyüklüğü $M_l > 4,0$ ve üzeri yoğun bir deprem etkinliği gözlenir. Ana şok öncesi kısa bir sakinlik süreci (kitlenme) oluşur ve bunun ardından Anaşok meydana gelir (Şekil 1).

Buna en güzel örnek ülkemizde 1 Ekim 1995 yılında meydana gelen Dinar Depremi ($M_w = 6,3$) verilebilir. Dinar depremi öncesi 26 Eylül tarihinde başlayan ön şok aktivitesi 30 Eylül tarihine kadar devam etmiş ve bu depremler halk arasında büyük paniğe ve huzursuzluğa neden olmuştur. Dolayısı ile bu depremler halkın büyük çoğunluğunun evlerine girmemesine neden olmuş ve 1 Ekim'de meydana gelen ana şokta can kaybının fazla olmamasını sağlamıştır. Kısaca ana şok öncesi önemli miktarda öncü şok meydana gelmiş ve kısa bir sakinlik (suskunluk) dönemi sonrası ana şok ve ardından artçı şoklar meydana gelmiştir. Bu deprem genişleme (extensional) tektoniği ile ilgilidir ve normal kırılma ile meydana gelmiştir (Kalafat, 1997).

Diğer bir benzer örnek ise, 6 Nisan 2009 tarihinde İtalya'da meydana gelen L'Aquila Depremi ($M_w = 6,2$) örnek olarak verilebilir (L'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2009, <http://www.ingv.it>). Ön şok aktivitesi Aralık 2008'de başlamıştır ve uzun süre devam etmiştir. Son önemli öncü şok 30 Mart 2009 tarihinde meydana gelmiş ve 6 Nisan'da da ana şok meydana gelmiştir. Deprem doğu-batı genişleme tektoniği ile ilgilidir ve normal kırılma ile meydana gelmiştir (INGV, 2009 ; Kalafat ve diğ., 2011).

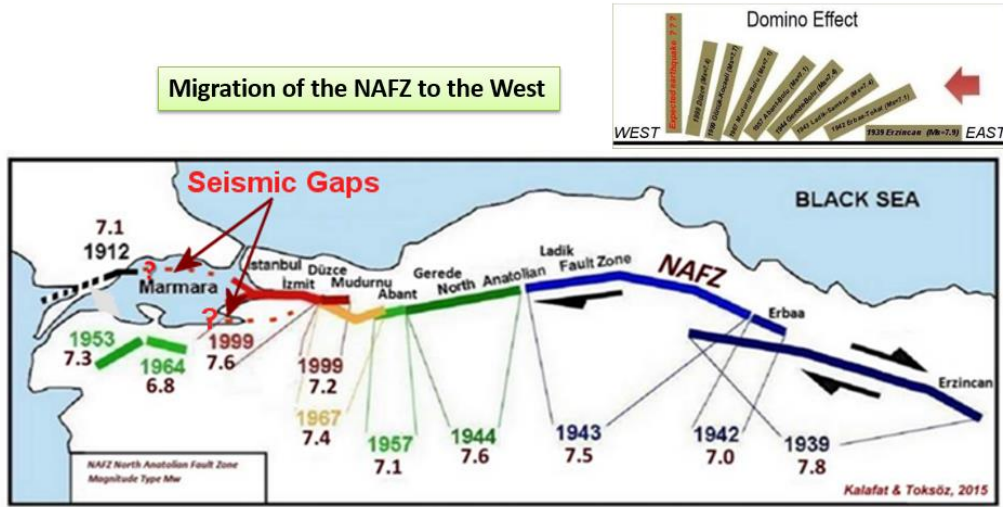
2. Ana Şok+Artçı Şok Oluş Düzeni

Bu oluş düzeni genelde ana kırık zonları üzerindeki kırık parçalarında (segment) meydana gelen bir oluş düzenidir (Şekil 1). Bunlara örnek olarak Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ: Kırık Kuşağı) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) üzerindeki ana kırık parçalarında meydana gelen büyük depremler verilebilir. Yakın tarihimizden bir örnek olarak da 1999 Gölcük-Doğu Marmara, Düzce depremleri ve 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş-GD Anadolu Depremleri verilebilir (Şekil 2). Bu tür deprem oluş düzeninde, ana kırık parçaları uzun yıllar enerji (strain energy) biriktirir ve büyük depremler (ana şok) ile enerji boşalımı gerçekleşir.

Bunu takip eden zaman diliminde ise artçı şoklar meydana gelir. Artçı depremler ana depremin büyüklüğüne ve kırılan alanın boyutuna bağlı olarak günlerce, aylarca, hatta yıllarca sürebilir. Artçı depremler zamana bağlı olarak hem büyüklükleri, hem de sıklıkları azalarak devam eder (Şekil 3-4). Ana kırık zonlarında görülen bu tür deprem oluş düzeninde ilgili kırık zonunda uzun süre haberci veya öncül yığılmalar (hazırlık safhası) meydana gelir. Yani ana şok meydana gelmeden kırık zonunda uzun sürecek olan bir deprem etkinliği kısaca büyük deprem öncesi hazırlık safhası olur. Yani ana şoktan önce yaklaşık 10-15 yıl ilgili kırık parçasında önemli bir deprem aktivitesi gözlenir. Ve kırık parçası ana şok ile enerjisinin çok büyük bir kısmını boşaltır.

Ayrıca bu tür kırık zonları içinde kırılmayan parçalar olabilir ki bunlar sismik boşluk (seismic gap) veya sismik gedik olarak tanımlanırlar. Sismik boşluk bir seri büyük ve yıkıcı depremin oluşturduğu yırtılma zonları arasında kalan ve diğer bir büyük deprem tarafından doldurulabilen boşluklar olarak tanımlanırlar. Buna en iyi örnek ülkemizdeki iki büyük kırık zonu olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) verilebilir. Her iki kırık zonunda da bir büyük deprem sonrası zon içerisinde bulunan kırık parçalarının birbirlerini tetiklemesi ve kırması söz konusu olur. Örneğin 1939 Erzincan Depremi sonrası KAFZ'nun bir domino taşı gibi zon içerisindeki parçaları kırarak (tetikleyerek) yarı sistematik olarak batıya göçü ve son olarak 1999 depremleri ile Marmara Denizi'ne kadar ulaşması tetiklenmiş depremlere (triggered earthquakes) güzel bir örnek oluşturmuştur

(Şekil 2). Şu an KAFZ'nun Marmara Denizi içinden geçen kuzey kolunda kırılmayan ve sismik boşluk olarak tanımlanan bir parçası (segment) olup, istatistiksel olarak 2090 yılına kadar %95 olasılıkla bu boşluğun kırılarak deprem serisinin (sequence) tamamlanacağını ifade edilmektedir (Kalafat, 2007; 2010; 2011; Kalafat ve diğ., 2007). Yine 1967 Adapazarı-Mudurnusuyu Vadisi Depremi sonrasında KAFZ'nun İznik Gölü'nün güneyinden Gemlik körfezine bağlanan güney kolu da sismik boşluk olarak tanımlanmıştır. Her iki kol da gelecekte büyük bir deprem üreterek sismik boşluğu dolduracaktır. Ancak hangi kolun önce kırılacağı bilinmemektedir. Aynı şekilde 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri de (1. Deprem Mw=7,7 ve 9 saatlik bir aradan sonra 2. Deprem Mw=7,6) tetiklenmiş depremlere güzel bir örnek olarak verilebilir.



Şekil 2. 1939'dan beri Kuzey Anadolu Fayı boyunca depremlerin batıya doğru göçü (Kalafat ve Toksöz, 2015; 2017)

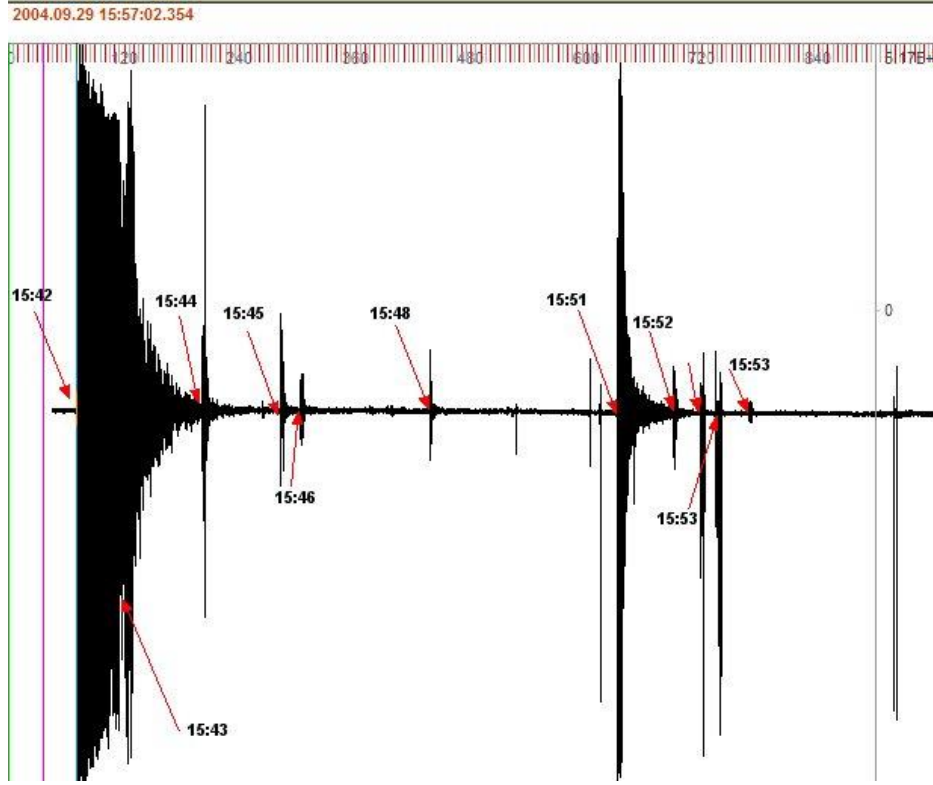
Figure 2. Westward migration of earthquakes since 1939 along the North Anatolian Fault (Kalafat and Toksöz, 2015; 2017)

Diğer bir konu ise bazı depremlerin farklı bir şekilde medyada yorumlanmasıdır. Örneğin 23 Kasım 2022 Sarıdere-Gölyaka (Düzce) Depremini bazı yerbilimciler 1999 Düzce

depreminin artçısı olarak yorumlamışlardır. Halbuki 23 Kasım 2022 Depremi Anaşok + Artçı şok düzeninde meydana gelmiş bir depremdir ve 12 Kasım 1999 Düzce Depremi'nin kesinlikle

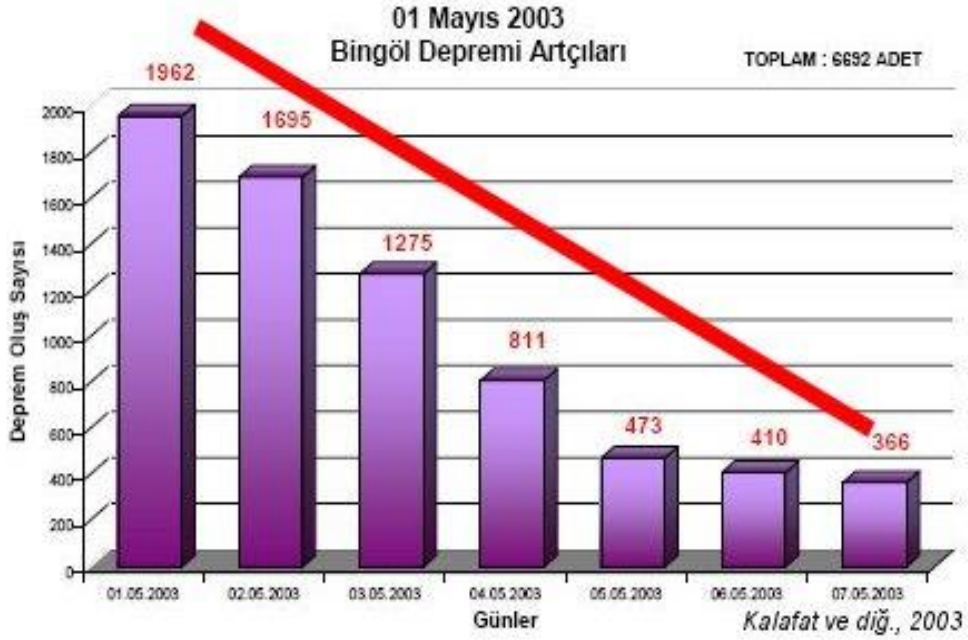
artçısı değildir. Deprem, bölgedeki ikincil aktif tali bir kırık zonunda meydana gelmiştir ve ana şoku takip eden süreç içerisinde kendi artçı depremleri ile zamana bağlı olarak hem sıklıkları hem de büyüklükleri azalarak devam etmiştir ve tek bir kırılma örneğini taşımaktadır (Şekil 5). Genel olarak çalışmada nitelendirilen kavramların yer bilimciler tam olarak bilinmemesi farklı yorumlara neden olmaktadır. Yaklaşık 23 yıl sonra bir artçı depremin olması söz konusu

olmadığı gibi, depremin dış merkezi bölgede çok fazla miktarda bulunan ikincil (tali) aktif fay zonlarının birinde meydana gelmiştir. Genel olarak ana artçılar Omori kanununa göre ve bugüne kadar meydana gelen Türkiye depremlerinde gözlemlendiği gibi ilk 1-2 gün içinde gerçekleşmektedir. Dolayısıyla bu deprem bir artçı deprem olarak nitelendirilemez. Yaklaşık bir haftalık süreç içerisinde çözümü yapılan artçı deprem sayısı 485'i bulmuştur.



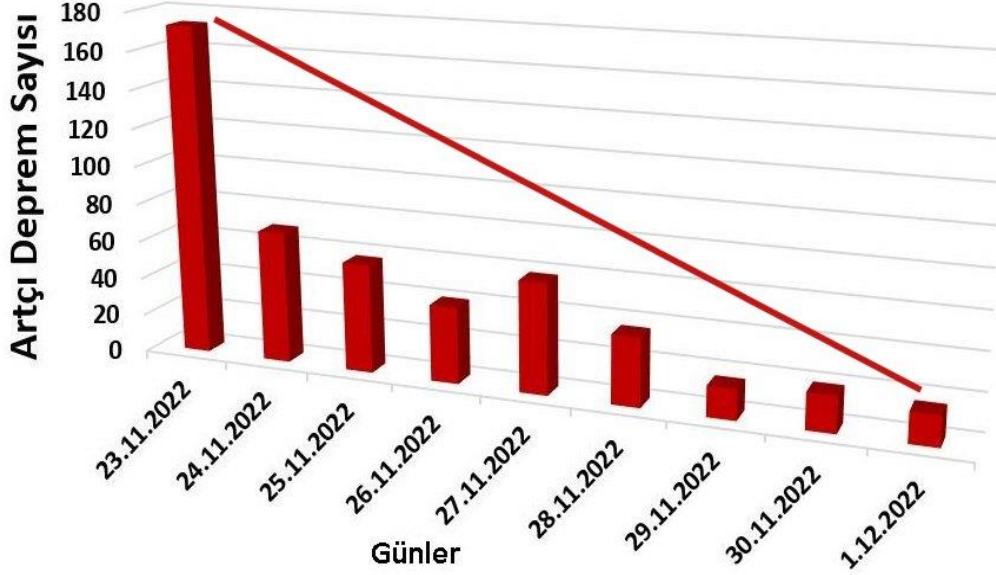
Şekil 3. Tek kırılma örneği (Anaşok + Artçı şoklar; Kalafat, 2000)

Figure 3. Example of a single rupture (Mainshock + Aftershocks; Kalafat, 2000)



Şekil 4. Artçı depremlerin zamana bağlı olarak azalımı (Kalafat ve diğ., 2003; Kalafat, 2019)

Figure 4. Time-dependent reduction of aftershocks (Kalafat et al., 2003; Kalafat, 2019)



Şekil 5. 23 Kasım 2022 Gölyaka-Düzce depreminin artçılarının zamana bağlı olarak dağılımı (Kalafat, 2023)

Figure 5. Distribution of aftershocks of the 23 November 2022 Gölyaka-Düzce earthquake according to time (Kalafat, 2023)

3- Deprem Fırtınası Oluş Düzeni

Deprem fırtınaları özellikle Batı Anadolu'da görülen bir deprem oluş düzenidir. Deprem Fırtınaları, Batı Anadolu'da kabuğun ince, çok kırılğan, ısı akısının yüksek olduğu, sığ odaklı depremlerin meydana geldiği ve çok parçalı kırıkların yoğun olduğu tektonik yapılarda meydana gelen bir deprem oluş düzenidir. Buna en güzel örnek ise Savaştepe-Balıkesir ve Kırkağaç Manisa depremleri verilebilir. Savaştepe depremleri bir fırtına karakterinde başlar, örneğin hafta başı günde 30-50 mikro deprem meydana gelir, bu depremlerden yalnızca birkaçı (büyüklüğü $M \geq 3,5$) yerel halk tarafından hissedilir, hafta ortası büyüklüğü genelde $M > 4,5$ ve üzeri orta büyüklükte bir deprem meydana gelir ve etkinlik hafta sonuna kadar azalarak devam eder. 2001 yılı Haziran ayında Savaştepe'de başlayan deprem etkinliği fırtına şeklinde devam etmiş, en yüksek magnitudü (büyüklüklü) deprem 22 Haziran'da ($M=5,0$) olmuştur. Ekim ayı sonuna kadar bölgede 300 adet deprem meydana gelmiştir (Kalafat ve diğ., 2003). Deprem fırtınalarında zaman zaman gün içerisinde meydana gelen deprem sayısı 100-150 sayısını bulur, ancak bunların çok azı insanlar tarafından hafif bir şekilde hissedilir. Bu yüzden Savaştepe'de yaşayan yöre halkı çok fazla panik yapmaz ve günlük yaşantılarına devam eder. Yaklaşık 7-10 günlük bir süreden sonra ise etkinlik biter. Dolayısı ile Deprem Fırtınaları birkaç gün, bazen günlerce sürebilmektedir (Şekil 1). Diğer bir örnek ise Termal-Yalova Deprem fırtınasıdır. 2 Ağustos 2014 tarihinde Yalova-Termal ilçesinde büyüklüğü $M=1,8$ olan depremlerle başlayan deprem fırtınası, 3 Ağustos 2014 tarihinde büyüklükleri $M=1,3-3,1$ olan meydana gelen 18 deprem ile yoğun olarak devam etmiştir (Kalafat, 2014). Deprem fırtınası 4 Ağustos 2014 tarihinde gece yarısı büyüklüğü $M=4,0$ deprem ile devam etmiştir. Deprem, Termal yerleşimi ve yakın çevresinde hissedilmiş ve vatandaşlar arasında paniğe neden olmuştur. Gün içerisinde 28 deprem meydana gelmiştir. Bölge genel olarak Batı Anadolu'nun genişleme rejiminin etkisi

altında bulunduğundan birçok irili-ufaklı diri kırık parçasını barındırmaktadır. Bu düzen içerisinde birçok mikro-deprem birkaç gün boyunca meydana gelebilmekte kırık parçalarının boyları, miktarları ve özelliklerine göre yaklaşık olarak $M > 4,0$ büyüklüğünde depremler üretebilmektedir. Bu özellikleri nedeniyle bu depremlerin kendi aralarında artçı – öncü olarak sınıflandırmak doğru değildir. Üçüncü bir örnek 2019'da meydana gelen Kocaiskan-Kırkağaç Deprem fırtınasıdır. 12 Mayıs tarihinde başlayan mikro-deprem etkinliği en büyüğü $M=4,5$ olan orta büyüklükte bir deprem ile devam etmiş ve deprem fırtınası ay sonuna kadar sürmüştür.

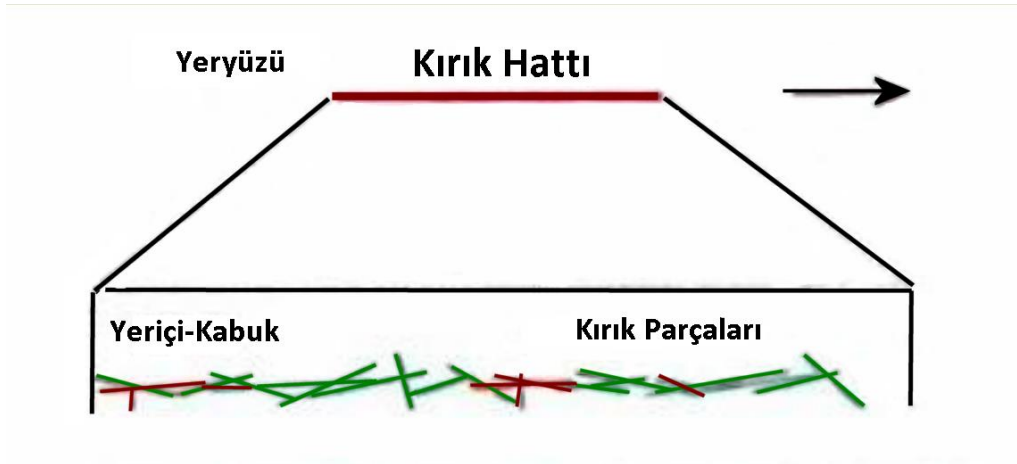
4- Deprem Dizileri (Earthquake Series-Sequences) Oluş Düzeni

Deprem dizileri genellikle içlerinde birçok diri kırık parçası barındıran ikincil (tali) kırık zonlarında görülen bir deprem oluş düzenidir ve ülkemizde son yıllarda değişik yörelerde bu tür deprem oluş düzeni görülmektedir. Genelde Deprem Dizileri içlerinde birden fazla deprem fırtınası barındıran bir oluş düzenidir ve özellikle ikincil aktif kırık zonlarında görülmektedir (Şekil 1). Bu tür kırık zonlarında çok fazla kırık parçası bulunmaktadır. Dolayısı ile deprem dizileri bu tür kırık zonlarında bulunan kırık parçalarının uzunluklarına ve miktarlarına bağlı olarak uzun süre devam edebilir. Bunlara en güzel örnek Batı Anadolu ve Orta Anadolu'daki ikincil aktif kırık zonları verilebilir. Deprem dizilerinin yoğun görüldüğü yerlere örnek olarak özellikle güney batı kıyılarımız, Denizli civarları, Midilli-Edremit-Karaburun açıkları, Oniki Adalar bölgesi ve Marmaris civarları verilebilir.

Bu tip oluş düzeninde meydana gelen depremler genelde sığ odaklı depremlerdir. İkincil aktif kırık zonlarında ve kabuk içerisindeki kırık parçaları birbirleri ile ilişki içerisinde. Zon içerisinde bir kırık parçasında meydana gelen bir ana şok sonrası, enerjinin bir kısmı yandaki komşu kırık parçasına transfer olur, böylece o parçaya enerji yüklenmesinden dolayı yeni bir kırılma kısa bir süre içerisinde meydana gelir, bu ardışık olarak zon içerisinde ne kadar parça varsa, zaman içerisinde tüm parçalar ard arada kırılarak

deprem dizisini (serisini) tamamlar (Şekil 1; Şekil 6). Deprem dizilerinde kırılan parçaların miktarı ve uzunluklarına bağlı olarak birçok ana şok ve onları takip eden her parçanın kırılmasından sonra onların artçı şokları meydana gelir. Ancak burada önemli olan bir parçanın artçı şokları devam ederken, yeni bir parça kırılır ve onun artçıları da devreye girer, bu o kırık zonu içinde ne kadar parça varsa bir domino taşı etkisi gibi art arda her biri kırılarak ana şokları ve onların artçı şoklarını içerir. Genel olarak ülkemizde meydana gelen Deprem dizilerinde (serilerinde) kırılan parça sayısı 4-6 arasında değişmektedir (Şekil 1).

Deprem dizilerine örnek olarak; 17-21 Ekim 2005 Sığacık Körfezi-Seferihisar (İzmir) deprem etkinliği verilebilir. Bölgede 17 Ekim 2005 tarihinde $M=5,7$ depremle başlayan etkinlik aynı gün büyüklüğü $M=5,9$ ile devam etmiş ve bu zaman diliminde yüzlerce hafif ve çok hafif şiddette depremler meydana gelmiştir. 21 Ekim günü büyüklüğü $M=5,9$ olan bir deprem daha olmuştur. 31 Ekim 2005 itibari ile bölgede toplam 3500 adet deprem meydana gelmiştir. Özellikle Karaburun civarındaki depremlerde deprem oluş düzeni "Deprem Dizileri" şeklinde meydana gelmektedir (Kalafat, 2005).



Şekil 6. Deprem dizilerine neden olan kırık parçalarının iki boyutlu görünümü (Kalafat, 2000)

Figure 6. Two-dimensional view of fracture segments that cause earthquake sequences (Kalafat, 2000)

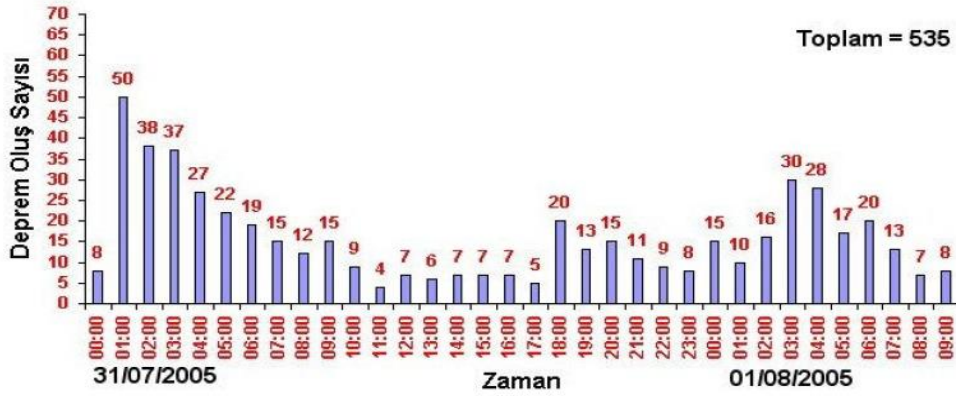
Diğer bir örnek 2005-2007 yılları arası meydana gelen Bala-Ankara Deprem Dizisi'dir. 31 Temmuz 2005'de $M=5,3$ ilk deprem meydana gelmiş, 20 Aralık 2007 tarihinde büyüklüğü $M=5,7$ olan depremle etkinlik devam etmiştir (Kalafat ve diğ., 2008). Bölge genel anlamda Anadolu Blok'unun iç deformasyon alanıdır ve aktif tali kırıklar mevcuttur. Ve bu kırıklar orta büyüklükte depremler üretmişlerdir. Bölgedeki deprem oluş düzeni Deprem Dizileri şeklindedir.

Deprem dizileri bölgede bulunan aktif kırıkların uzunluklarına ve miktarlarına bağlı olarak büyüklükleri genel olarak $M=4,7-5,7$ arasında depremler üretirler. Histogramdaki en küçük deprem $M=2,4$ olarak verilmiştir (Şekil 7). Çiftlikköy (Muğla) – Gökova Körfezi depremleri dizisi, 2004 yılı Temmuz ayı başlarında başlamıştır. Ancak depremlerdeki yoğun artış 2 Ağustos 2004 tarihinden itibaren görülmüştür. Bu süreç içerisinde depremlerin büyüklükleri

genelde $M=3,0 - 4,0$ arasında değişmiştir. 3 – 4 Ağustos 2004 tarihlerinde yerel saat ile 16:11 ($M=5,0$), 06:01 ($M=5,4$) ve 07:19'da ($M=5,0$) meydana gelen depremler bölgedeki deprem oluş düzeninin karakteristiği içerisinde meydana gelmiş bir aktivite olarak değerlendirilmiştir. 8 Ağustos 2004'e kadar bölgede kaydedilen deprem sayısı 1308'e ulaşmıştır. Depremin kaynağının bulunduğu bölge, Gökova Körfezi'ni

oluşturan ve genel uzanımı körfeze paralel olan normal kırıklar tarafından denetlenmektedir. Körfezin kuzey kolunu oluşturan doğu-batı gidişli normal kırıklar ile ilişkide bulunan ve kara içine doğru genel olarak KD-GB ve KB-GD gidişli normal, doğrultu atım bileşeni olan kırıklar mevcuttur. 3 – 4 Ağustos depremlerine neden olan bu kırık parçalarıdır.

Temmuz-Ağustos 2005 Afşar-Bala Deprem Dizisi



Şekil 7. 2005 Afşar-Bala (Ankara) Deprem Dizisinde depremlerin zamana göre dağılımı (Kalafat ve diğ., 2008)

Figure 7. Distribution of earthquakes by time in 2005 Afşar-Bala (Ankara) Earthquake Series (Kalafat et al., 2008)

Deprem Dizilerine Diğer Örnekler

1987 yılı Rodos-Marmaris Açıkları Deprem Dizisi: 1 Ocak'ta başlayan deprem etkinliği, uzun bir süre bölgede devam etmiş, yalnızca 1 ay içinde büyüklüğü $M=4,0 - 4,4$ arası 10 adet deprem meydana gelmiş olup, 4 Nisan'da $M=4,6$ ve 19 Haziran'da $M=5,0$ büyüklüğünde olan depremler Marmaris-Köyceğiz'de etkili olmuştur. Etkinlik, Kasım ayının sonlarına kadar devam etmiştir. Datça-Rodos-Marmaris üçgeninde, deprem etkinliği yıl sonuna kadar devam etmiş, bölgede yalnızca $M=4,0 - 5,1$ arası depremlerin sayısı 25'i bulmuştur (Kalafat ve diğ., 2003).

2003 yılı Denizli-Buldan Deprem Dizisi: 23 Temmuz'daki deprem ($M=5,2$) ile 26 Temmuz'daki depremler ($M=5,0$ ve $M=5,6$)

dizinin en önemli depremlerini oluşturmuştur. Yaklaşık 1 haftalık dönemde meydana gelen deprem sayısı 833 adettir. Yalnızca 23-29 Temmuz arası büyüklüğü $M \geq 4,0-4,9$ arası 8 adet deprem meydana gelmiştir (Kalafat, 2021).

Bunun dışında özellikle (2009-2012) Simav-Kütahya'da ve 2017 yılında Ayvacık-Çanakkale'de meydana gelen depremler ülkemizde görülen "Deprem Dizileri"nin önemli örneklerini oluşturur. Bu depremler ile ilgili karşılaştırma Tablo 1'de verilmiştir. Her iki deprem dizisinde de ana şok sayısı 10-11 civarı olup, toplam artçı sayısı 4804-4860 arası olmuştur. Kırık parçalarının mekanizmaları KB-GD gidişli olup, normal kırılma karakteri taşıdıkları gözlenmiştir (Kalafat, 2017).

Tablo 1: Simav-Kütahya (2009-2012) ve Ayvacık-Çanakale (2017) Deprem Dizileri (Kalafat, 2017)**Table 1:** Simav-Kütahya (2009-2012) and Ayvacık-Çanakale (2017) Earthquake Sequences (Kalafat, 2017)

Bölge	Zaman Aralığı	Dizideki Ana Deprem Sayısı	Toplam Deprem Sayısı	Büyüklik Aralığı (M)	Odak Derinliği (km)	Fay Parçalarının Ana Doğrultusu	Artçı Depremlerin Ana Doğrultusu	Fay Parçalarının Mekanizması	Hâkim Gerilme Yönleri
Simav	2009 Şubat-2012 Mayıs	3 Adet Mw=5,1-5,8 4 Adet Mw=4,8-4,9	4804	1.0-5.9	8-9	KB-GD	KB-GD	Normal	K-G
Ayvacık	2017 Ocak-Nisan	4 Adet Mw=5,0-5,2 3 Adet Mw=4,8-4,9	4860	0.8-5.4	8-9	KB-GD	KB-GD	Normal	K-G

SONUÇLAR

Ulusal ölçekte deprem verilerinin artması ile birlikte ülkemizdeki tektonik yapıların deprem oluş düzenleri hakkında da değerli bilgiler edinilmeye başlanılmıştır. Deprem oluş düzenleri her bölgenin mevcut kabuk, kırık ve tektonik yapısına göre değişmektedir. Bu bağlamda ülkemizde 4 farklı deprem oluş düzeni gözlenmiştir. Bu bilgiler ışığında belirli bir yörede meydana gelen deprem süreçlerinin takibi,

yorumlanması bilimsel anlamda mümkün olmakta, topluma daha sağlıklı ve yanıltıcı olmayan bilgilerin verilmesine olanak sağlamaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışma, Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından (SRP/BAP projesi No.19846) desteklenmiştir. Boğaziçi Üniversitesi Araştırma Fonu Komisyonuna ve üyelerine teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Kanamori, H., 1981. The Nature of Seismicity Patterns before Large Earthquakes, Earthquake Prediction I.R., Maurice Ewing Series 4, A.G.U., P. 1-19. Kalafat, D., 1997. 1 Ekim 1995 Dinar Depremi ve Saha gözlemleri, Deprem Araştırma Bülteni, Sayı 74, 95-113 (in Turkish).

Kalafat, D., 2000. Marmara Denizi ve Çevresinin Depremselliğine Bir Bakış, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası Ulusal Jeofizik Toplantısı 2000,

Genişletilmiş Özetler Kitapçığı s. 128-132, 23-25 Kasım 2000, Ankara (in Turkish).

Kalafat, D., Öz, G., Kara, M., Kekovalı, K., Püskülcü, S., Güneş, Y., 2003. Türkiye ve Dolayları Deprem Kataloğu (1998-2002; M_z 4.0) An Earthquake Catalogue for Turkey and Surrounding Area, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları, Yayın No: 802, 135 s. (in Turkish).

Kalafat, D, Güneş, Y., Kekovalı, K., 2003. 27 Ocak Pülümür (Tunceli) ve 1 Mayıs 2003 Sancak (Bingöl) Depremleri (January 27, 2003 Pülümür-Tunceli and May 01, 2003 Sancak-Bingöl Earthquakes), TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası (UCEAT- The Geophysical Engineers of Turkey) Türkiye 15. Jeofizik Kurultayı ve Sergisi Bildiri

- Özetleri Kitabı (15th Geophysical Congress and Exhibition of Turkey Abstract Book) p.24-25, Dokuz Eylül Üniversitesi S.E. Merkezi Salonları (DESEM Congress Center), 20-24 Ekim 2003 (October 20-24, 2003, in Turkish).
- Kalafat, D., 2005. 17_21 Ekim 2005 Sigacık Seferihisar Depremleri, http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/Depremler/17_21Ekim2005_Sigacik_Seferihisar_Depremleri.pdf
- Kalafat, D., 2007. Doğa Marmara'yı depremlerle sınavacak mı?, Tekirdağ ve Çevresinin depremlerine toplu bir bakış, Namık Kemal Üniversitesi Ziraat Fakültesi TYSB ve TMMOB Jeofizik Müh. Odası Panel Kitapçığı s. 58-68, 17 Mayıs 2007, Tekirdağ.
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Güneş, Y., Kara, M., 2007. İzlenen Marmara Denizi ve beklenen Marmara depremi, ATAG-11 Aktif Tektonik Araştırma Gurubu 11. Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı, s. 50, 8-9 Kasım 2007 TUBİTAK MAM Gebze, İstanbul.
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Pınar, A., 2008. The 30 July 2005 (Mw=5.4), and the 20 – 26 December 2007 (Mw=5.5; Mw=5.3) Afşar-Bala (Ankara) Earthquakes Series in Central Turkey, Geophysical Research Abstracts, Vol. 10, EGU2008-A-09923, 2008, EGU General Assembly 2008, 13-18 April 2008, Vienna, Austria.
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Deniz, P., Güneş, Y., Pınar, A., Horasan, G., 2008. 31 Temmuz 2005-1 Ağustos 2005 ve 20-27 Aralık 2007 Afşar-Bala (ANKARA) Deprem Dizisi : July 31, 2005 - August 1, 2005 and December 2007, 2007 Afşar-Bala (ANKARA) Earthquake Sequence, İstanbul Yerbilimleri Dergisi, C. 21, S. 2, SS. 47-60, Y. 2008, İstanbul.
- Kalafat, D., Kekovalı, K., Deniz, P., Güneş, Y., Pınar, A., Horasan, G., 2008. 31 Temmuz-1 Ağustos 2005 ve 20-27 Aralık 2007 Afşar-Bala (Ankara) Deprem Dizisi, DAYK2008, T.C. Sakarya Üniversitesi Doğal Afetler ve Yerbilimleri Kulübü, 1. Ulusal Doğal Afetler ve Yerbilimleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı (in Turkish), s. 21-30, 19-22 Mart 2008, Adapazarı.
- Kalafat, D., 2010. Kuzey Anadolu Fayı (KAF)"nın Marmara'daki Ayak İzleri, İstanbul'un Afetlerden Zarar Görebilirliği Sempozyumu (İZAS), Bildiri Özetleri Kitapçığı, s. 19, 04-05 Ekim 2010, İstanbul Üniversitesi.
- Kalafat, D., 2011. Marmara Bölgesi'nin Depremselliği ve Deprem Ağının Önemi, 1.Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (TDMSK), 11s., 1-14 Ekim 2011, ODTÜ-Ankara.
- Kalafat, D., Polat, R., Poyraz, S.A., Kekovalı, K., 2011. Birbirini Etkileyen (Tetikleyen) Depremlere Batı Anadolu'dan bir örnek : 19 Mayıs 2011 Simav Deprem Etkinliği, Aktif Tektonik Araştırma Grubu 15. Çalıştayı Bildiri Özleri Kitabı, s.54-55., 19-22 Ekim 2011, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Kalafat, D., 2014. Türkiye'de deprem oluş düzenlerine güncel 2 Örnek: 2-4 Ağustos 2014 Termal -Yalova ve 24 Ağustos 2014 Ağlasun-Burdur Deprem Etkinliği, Aktif Tektonik Araştırma Grubu ATAG 18. Toplantısı Bildiri Özleri Kitapçığı s.34, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi 5-7 Kasım 2014, Muğla.
- Kalafat, D., Toksöz, M.N., 2015. A Catalogue of Source Parameters of Moderate and Strong Earthquakes for Turkey and its Surrounding Area (1938-2015), 2015 AGU Fall Meeting, Abstract ID: 65134, S11A-2736.
- Kalafat D, Toksöz, M.N., 2017. An overview of the seismic activity and gaps in the Marmara Sea Area, JpGU AGU Joint Meeting 2017 Japan Geoscience Union, Presentation Number: SSS13-P12, 20-25 Mayıs 2017 Makuhari Messe International Conference Hall, Makuhari-Tokyo, Japan.
- Kalafat, D., 2017. Son yıllarda ülkemizde görülen deprem etkinliklerine örnekler: Simav-Kütahya (2009-2012) ve Ayvacık-Çanakkale (2017) deprem diziler (Examples

of earthquake events in our country in recent years: Simav-Kütahya (2009-2012) and Ayvacık-Çanakkale (2017) earthquake sequences), 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı 11-13 Ekim 2017 Anadolu Üniversitesi-Eskişehir.

Kalafat, D., 2019. 22 Mayıs 1971 ve 1 Mayıs 2003 Bingöl Depremleri - 22 May 1971 and 1 May 2003 Bingöl Earthquakes, Uluslararası katılımlı 72. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri ve Tam Metin Bildiriler Kitabı, with international participations 72nd Geological Congress of Turkey, The Proceedings and Abstract Book, s.597-599, 28 Ocak-1 Şubat 2019, ODTÜ, Ankara.

Kalafat, D., 2021. Current Seismotectonic Properties of Denizli and Its Near-Region (Western Turkey), FEB-Fresenius Environmental Bulletin, Volume 30-No.

04A/2021 pages 4457-4476, ISSN 1018-4619.

Kalafat, D., 2023. 23 Kasım 2023 Gölyaka-Düzce Depremi, Teknik Rapor (Yayınlanmamış).

Mogi, K., 1968. Sequential Occurrence of recent great earthquakes, J. Phys.Earth., 16, p. 30-36. INGV Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2009. The L'Aquila seismic sequence - April 2009, <http://portale.ingv.it/primo-piano-1/news-archive/2009-news/april-6-earthquake>.

Rikitake, T., 1982. Current Research in earthquake Prediction, DEPS 03, Capt., Reidel Pub. Co., Tokyo.

Shimazaki, K and Nakata, T., 1980. Time-predictable recurrence model for large earthquakes, Geophys., Res.Lett., 7, p.279-282.