



## 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi ( $M_W=6.4$ ) kuvvetli hareket kayıtlarının incelenmesi

*Investigation of strong motion records of the May 1, 2003 Bingöl earthquake ( $M_W=6.4$ )*

**Eşref YALÇINKAYA**

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar, İSTANBUL

### ÖZ

1 Mayıs 2003'te yerel saatle 03:27'de meydana gelen Bingöl depremi ( $M_W=6.4$ ), 177 kişinin yaşamını yitirmesine, 530 kişinin yaralanmasına, 308 binanın çökmesine ve 2000'in üzerinde binanın ise ağır hasar görmesine neden olmuştur. Depreme neden olan fay, Doğu Anadolu Fay Zonu'na yaklaşık dik, sağ yönlü doğrultu atım karakterine sahip ikincil bir faydır. Deprem, bölgede yer alan 4 ivme ölçer istasyonunda kaydedilmiştir. Bingöl (BNG) istasyonunu KB-GD uzanımlı fay düzlemine yaklaşık 8 km uzaklıktadır ve en büyük ivme KG bileşende  $546 \text{ cm/s}^2$ 'dir. Uzak istasyonlarda ivmelerin empirik eşitliklerden tahmin edilenin altında kalması, bölgedeki soğurmanın yüksek olduğunu göstermektedir. BNG istasyonunun fayın güneydoğu ucuna yakın olması ve KG bileşeninde görülen yüksek ivmeler, bu istasyon kayıtlarının ileri yönlendirme etkisi taşıdığını gösteriyor olabilir. Zaman kayıtlarında S dalgalarının 0.5 s kadar kesilmesi, kırık cephesinin istasyona erişmesi ile ilgili olduğu düşünülmektedir. Hesaplanan kırılma hızı yaklaşık  $2.5 \text{ km/s}$ 'dir. BNG istasyonunda hesaplanan spektral ivme değerleri sadece düşük periyotlarda (0.1-0.2 s) yönetmeliğin öngördüğü değerlerin üzerindedir.

**Anahtar kelimeler:** Bingöl depremi, ivme, kırılma hızı, kuvvetli hareket kayıtları, süre, yönlendirme etkisi.

### ABSTRACT

The Bingöl earthquake of May 1, 2003 ( $M_W=6.4$ ) occurred at 03:27 local time, with the epicenter about 15 km north of the city center of Bingöl. The earthquake resulted in 177 deaths, 530 injuries, collapse to 308 buildings, and damage to more than 2000 buildings. The Bingöl earthquake was caused by the right-lateral strike slip faulting, lying in the NW-SE direction approximately normal to the East Anatolian Fault Zone. The earthquake was recorded by 4 strong motion instruments located in the region. The nearest station to the epicenter is Bingöl (BNG) station which is located 8 km far away from the KB-GD fault plane. The maximum acceleration was measured  $546 \text{ cm/sec}^2$  on the NS component of the BNG station. The peak accelerations recorded at the distance stations are below the empirical predictions, because of probably high attenuation at the region. Records of the BNG station located at southeastern tip of the fault indicate the forward directivity effects. On the time records, S waves clipped during 0.5 sec may be point out to the passing of rupture front from the station. The estimated rupture velocity is  $2.5 \text{ km/sec}$ . The spectral accelerations are only higher at low periods than the amplitudes of design spectra in the current Turkish code.

**Key words:** Bingöl earthquake, acceleration, rupture velocity, strong motion records, duration, directivity.

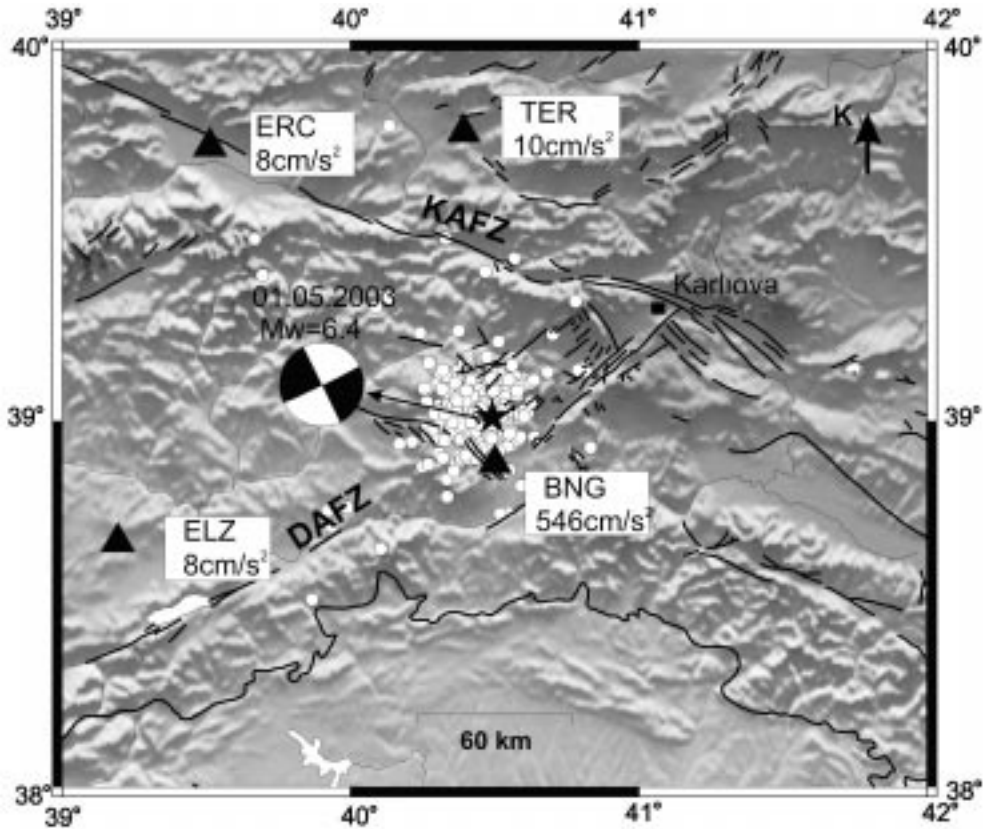
### GİRİŞ

1 Mayıs 2003 Bingöl depremi, yerel saatle 03:27'de meydana gelmiş ve ilk belirlemelere

göre 177 kişinin yaşamını yitirmesine, 530 kişinin yaralanmasına, 308 yapının çökmesine ve 2000'in üzerinde binanın ise ağır hasar görmesine neden olmuştur (EERI, 2003). Depremin

büyüklüğü, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü (KRDAE) tarafından 6.4 ( $M_w$ ) olarak belirlenmiştir. Depremi odak derinliği 10 km'dir. Dalga analizi çalışmalarından elde edilen fay düzlemi çözümlerine göre, depreme neden olan fayın doğrultusu için iki olasılık vardır. Bunlardan birincisi kuzeydoğu-güneybatı uzanımlı (K66D), ikincisi ise kuzeybatı-güneydoğu uzanımlı (K24B) olası faylardır (Şekil 1). Deprem, açık bir yüzey kırığı oluşturmadığı için, başlangıçta faylanma doğrultusu hakkında farklı görüşler ortaya çıkmıştır. Depremden sonra yüzlerce artçı sarsıntı meydana gelmiştir ve halen olmaya da devam etmektedir. Şekil 1'de KRDAE tarafından rapor edilen ve 04.08.2003 tarihine kadar meydana gelmiş artçı sarsıntıların dış merkezleri gösterilmektedir. Bu tarihe kadar oluşan en büyük artçı sarsıntı 4.6 büyüklü-

ğündedir. Şekilden görüldüğü gibi, artçı sarsıntı dağılımından da bir faylanma doğrultusu belirlemek oldukça zordur. Artçı sarsıntı dış merkezleri, genelde ana şok etrafında gelişmiş güzel dağılmış şekildedir. Deprem sonrası çevredeki küçük fayların tetiklendiği ve artçı sarsıntıların dağılmış bir görüntü vermesine neden olduğu düşünülebilir. Ancak,  $M > 4.0$  olan artçı sarsıntılar için KB-GD yönünde bir dizilim görmek mümkündür (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/bin-gol.htm>). Bunun yanı sıra, TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM; [www.ydbae.mam.gov.tr](http://www.ydbae.mam.gov.tr)) tarafından bölgede kurulan 6 adet istasyonda yapılan art sarsıntı kayıt çalışmasında, 2-5 Mayıs 2003 arasında kaydedilen artçı sarsıntı dış merkezleri KB-GD yönelimli bir fay düzlemini açıkça desteklemektedir (Şekil 2). Benzer bulgulara, Koçyiğit vd.



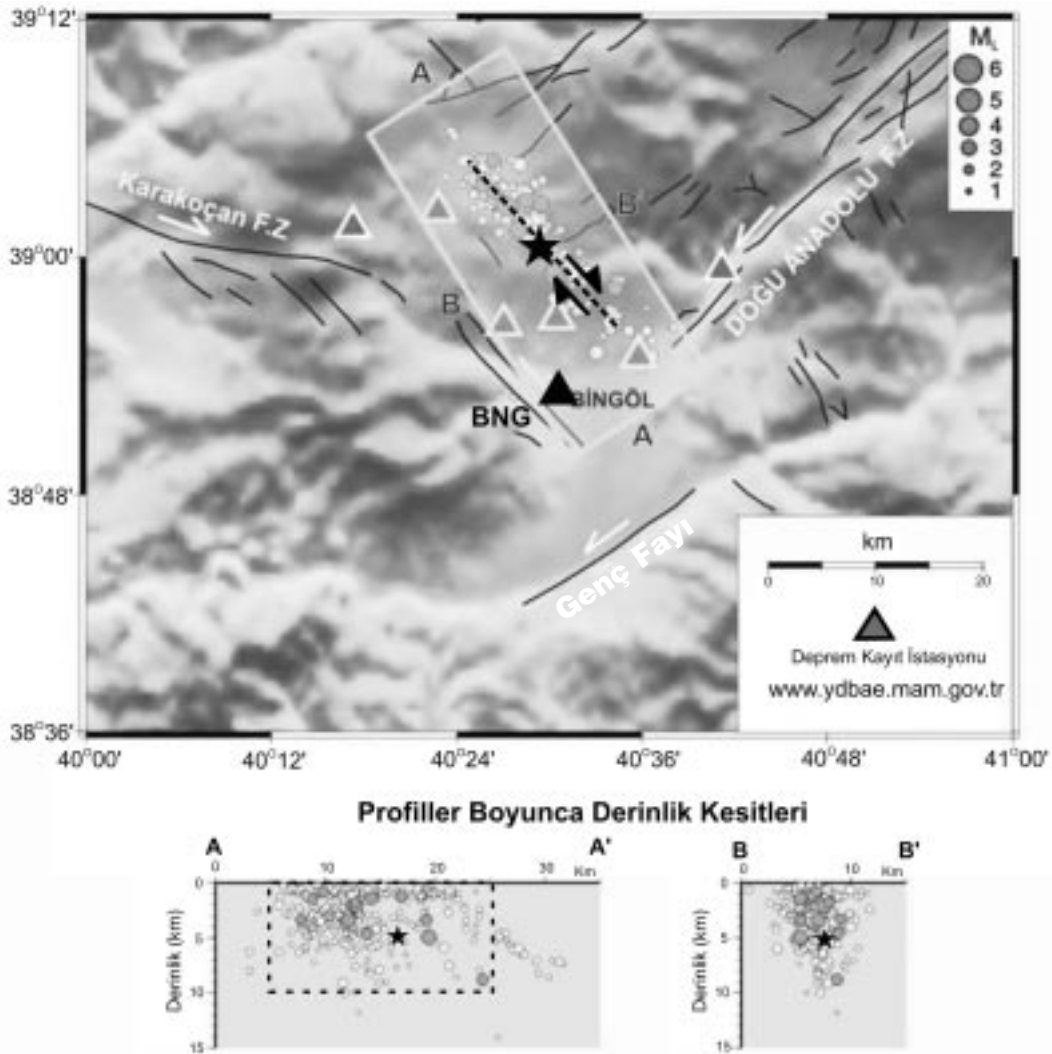
Şekil 1. Bingöl ve çevresinde yer alan başlıca faylar (KAFZ: Kuzey Anadolu Fay Zonu, DAFZ: Doğu Anadolu Fay Zonu). 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi (yıldız) ve 4 Ağustos 2003 tarihine kadar KRDAE tarafından rapor edilen artçı sarsıntı yerleri (daireler). Bingöl depremini kaydeden ivme ölçerler (üçgenler) ve okunan en büyük ivme değerleri (BNG: Bingöl; TER: Tercan; ERC: Erzincan; ELZ: Elazığ).

Figure 1. The main faults located in Bingöl and vicinity (KAFZ: North Anatolian Fault Zone, DAFZ: East Anatolian Fault Zone). Locations of the May 1, 2003 Bingöl earthquake (star) and the aftershocks (circles) reported by KOERI up to August 4, 2003. The accelerometers (triangles) recorded the Bingöl earthquake and the peak ground accelerations (BNG: Bingöl; TER: Tercan; ERC: Erzincan; ELZ: Elazığ).

(2003) ve Pınar vd. (2003)'nin raporlarında da rastlanılmaktadır. Her ne kadar dalga kayıtlarının ters çözümü ile elde edilen fay düzlemi çözümlerinde fay doğrultusu K24-26B şeklinde bulunsa da (KRDAE; www.koeri.boun.edu.tr ve Amerika Jeolojik Araştırmalar Merkezi-USGS; www.usgs.gov), artçı sarsıntı dizilimi yaklaşık K42B yönünde bir fay doğrultusuna işaret etmektedir (bkz. Şekil 2). Koçyiğit vd. (2003) ise, depreme neden olan fay doğrultusunu K65B olarak vermişlerdir. Her bir durumda, depreme

neden olan fay, sağ yönlü doğrultu atımlı olup, eğimi düşeye çok yakındır.

Bölge sismotektonik açıdan, sağ yönlü doğrultu atım faylanma karakterine sahip Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) ve sol yönlü doğrultu atım faylanma karakterine sahip Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) kesiştiği Karlıova'ya çok yakın bir bölgede yer alır (bkz. Şekil 1). Bu nedenle her iki sistemin doğurduğu kuvvetlerin etkisi altındadır. Bölgede meydana gelen en son yıkıcı



Şekil 2. TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi tarafından 2-5 Mayıs 2003 tarihleri arasında 6 istasyonda (beyaz üçgenler) kaydedilen artçı sarsıntıların yerleri (daireler). Bingöl (BNG) ivme ölçer istasyonu (siyah üçgen), ve artçı sarsıntı yerlerine bağlı olarak 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi (yıldız) için tahmin edilen fay düzlemi (kesikli çizgiler).

Figure 2. Locations of the aftershocks (circles) recorded between 2-5 May 2003 at 6 stations (open triangles) deployed by TÜBİTAK Marmara Research Center. Bingöl (BNG) accelerometer station (black triangle), and the fault plane (dashed lines) of the May 1, 2003 Bingöl earthquake (star) predicted from the locations of the aftershocks.

deprem 22 Mayıs 1971 Bingöl ( $M_w=6.7$ ) depremidir (Utkucu vd., 2003). Ana fayların yanı sıra bölgede farklı doğrultularda irili ufaklı birçok fay yer alır. KRDAE tarafından belirlenen ana şokun dış merkezi (40.49D-39.01K) ana fay sistemleri üzerine düşmemektedir (bkz. Şekil 1 ve 2). DAFZ'na göre yaklaşık 15-20 km kuzeyde, Koçyiğit vd. (2003) tarafından belirtilen K65B doğrultulu Büyükyurt Fay Zonu'nun yakınında yer alır. Bu nedenle, DAFZ ile yaklaşık 90 derecelik açı yapan ikincil bir fayın depreme neden olduğu açıktır.

Muhtemelen bölgenin aşırı heterojen ve kırıklı yapısı, faylanma ile ilgili açık gözlemlerin elde edilmesini engellemektedir. 6.4 büyüklüğündeki sığ odaklı bir deprem için belirgin bir yüzey kırığının oluşmaması dikkat çekicidir. Koçyiğit vd. (2003); uzunlukları bir kaç metre ile 40 m arasında değişen, süreksiz, 50-500 m genişlikte bir zon içinde dağılmış, toplam uzunluğu 17 km, genel gidişi ise K60-70B arasında değişen bir seri yüzey kırığı belirlemişlerdir. Wells ve Coppersmith (1994) tarafından önerilen ampirik bağıntıya göre, 6.4 büyüklüğünde doğrultu atımlı bir deprem için beklenen yüzey kırığı yaklaşık 15 km'dir. Bölge, 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depreminin meydana geldiği Çukurova bölgesi gibi kırığı örtebilecek yumuşak alüvyon bir dolguya da sahip değildir. Depreme neden olduğu düşünülen Büyükyurt Fay Zonu, hemen hemen tümüyle Erken Miyosen-Pliyosen yaşlı andezitik ve dasitik volkanitler (Solhan Volkanitleri) içinde gelişmiştir (Koçyiğit vd., 2003). Zon içinde bulunan volkanik kayalar aşırı derecede ezilip parçalanmış ve ayrışmaya uğramıştır. Yüzeye yakın bu bloklu, oldukça ayrışmış ve parçalanmış yapı, kırılma enerjisinin bir çok yöne dağılmasına ve bu nedenle kırığın yüzeye erişmemesine neden olmuş olabilir. Bir başka neden, deprem kaynağının düşünüldenden daha derinde olmasıdır.

Depremin oluşturduğu hasarın ve can kaybının büyük bir bölümü Bingöl ilinde toplanmış olup, eski tip yapıların (kerpiç-yığıma) yanında modern sayılabilecek betonarme yapılarda görülen ağır hasar dikkat çekicidir. Özellikle 85 kişinin yaşamını yitirdiği Çeltiksuyu Yatılı İlköğretim Bölge Okul binası 1975 deprem yönetmeliğine göre 1998 yılında tamamlanmış 4 katlı bir bina-dır (EERI, 2003). Bölgede yapılan incelemeler sonucunda ağır hasarın nedeni olarak yapıım hataları ve yerleşime uygun olmayan yumuşak zemin gösterilmektedir (Koçyiğit vd., 2003; Pınar vd., 2003; EERI, 2003).

Bu çalışmada, 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi ana şok kuvvetli hareket (ivme) kayıtları incelenmiş ve özellikleri yorumlanmıştır. Çalışma depremden hemen sonra yapıldığından, bir ilk inceleme olarak değerlendirilmelidir. Deprem, Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından işletilen bölgedeki 4 kuvvetli hareket kayıtçısı (Bingöl-BNG, Tercan-TER, Elazığ-ELZ, Erzincan-ERC) tarafından kaydedilmiştir (bkz. Şekil 1). İstasyonların ana şok dış merkezine uzaklıkları en fazla yaklaşık 119 km olup, ölçülen en yüksek ivmeler Çizelge 1'de verilmiştir. Depremi kaydeden en yakın istasyon, depremin dış merkezine yaklaşık 14 km, KB-GD uzanımlı fay düzlemine ise yaklaşık 8 km uzaklıktaki ve çevresinde ağır hasarın meydana geldiği Bingöl (BNG) istasyonudur (bkz. Şekil 2).

## İVME KAYITLARI

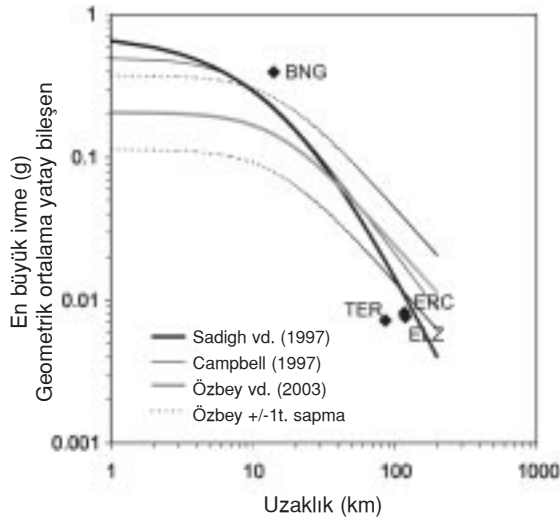
Bir depremde hasarı kontrol eden en önemli faktörlerden birisi en büyük ivme değeridir. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremini kaydeden 4 ivme ölçer istasyonunda bileşen farkı gözetmeksizin ölçülen en büyük ivmeler Şekil 1'deki harita üzerinde gösterilmiş, her bir bileşende ölçülen en büyük ivmeler ise Çizelge 1'de verilmiştir. En bü-

Çizelge 1. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremiyle ilgili kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarına ait parametreler ve en büyük ivme değerleri.

Table 1. Parameters of the stations and maximum accelerations for each component of the May 1, 2003 Bingöl earthquake.

İstasyon	Enlem	Boylam	KG (cm/s <sup>2</sup> )	DB (cm/s <sup>2</sup> )	Düşey (cm/s <sup>2</sup> )	Uzaklık (km)
Bingöl (BNG)	38.886	40.501	546	277	472	14
Tercan (TER)	39.780	40.394	5	10	4	86
Erzincan (ERC)	39.743	39.512	8	8	4	117
Elazığ (ELZ)	38.672	39.193	8	7	5	119

yük ivmelerin uzaklıkla azalımı Şekil 3'te Sadigh vd. (1997), Campbell (1997) ve Özbey vd. (2003) tarafından önerilen ampirik azalım eğrileri ile birlikte gösterilmiştir. Grafikte en büyük ivmeler, KG ve DB bileşenlerin geometrik ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Ampirik eğriler, doğrultu atımlı faylanmalar için Sadigh vd. (1997) eğrisinde, zemin türü olarak yumuşak kaya (Türkiye 1998 deprem yönetmeliğinde yaklaşık Z2 sınıfı) alınarak, Campbell (1997)'nin önerdiği eğride ise, sıkı zemin (Z3 zemin sınıfı) koşulu kabul edilerek hesaplanmıştır. Özbey vd. (2003)'nin Türkiye depremleri için önerdikleri ampirik eğrilerde ise, yaklaşık Z3 tipi zemin sınıfı ( $180 \text{ m/s} \leq V_{S30} \leq 360 \text{ m/s}$ ) kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 4 istasyon yeri için ayrıntılı bir zemin araştırması olmamasına karşın, benzer jeolojik birimlerle karşılaştırılırsa genel olarak orta sıkı (Z3) zeminler olarak kabul edilebilirler (<http://www.deprem.gov.tr>). İstasyonlar için kullanılan uzaklıklar (bkz. Çizelge 1), ampirik bağıntılarda kabul edilen değerlerden (Abrahamson ve Shedlock, 1997) biraz farklıdır. Bu çalışmada kullanılan uzaklıklar, istasyon-dep-



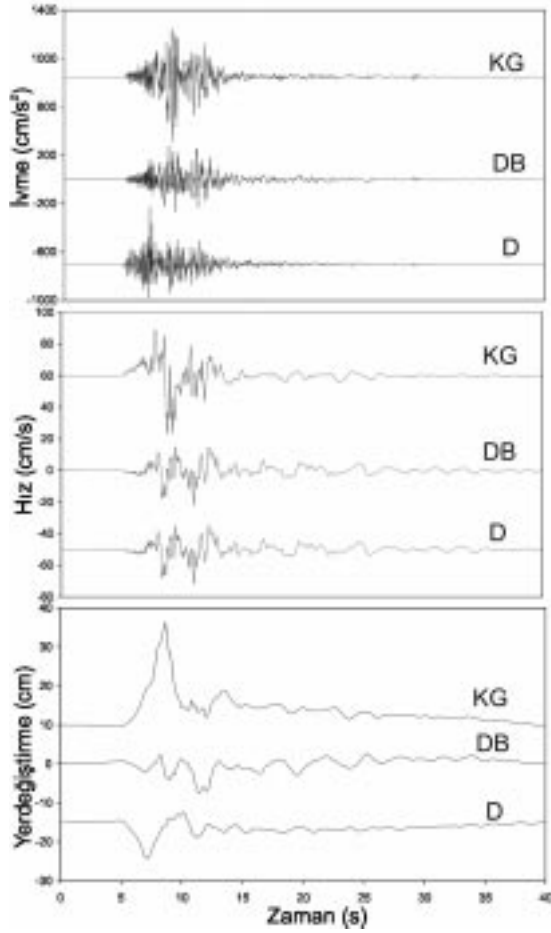
Şekil 3. En büyük ortalama yatay bileşen ivmeler ve Campbell (1997), Sadigh vd. (1997) ve Özbey vd. (2003) tarafından önerilen uzaklık-azalım ilişkileri (Kesikli eğriler Özbey vd. (2003) eğrisi +/-1 standart sapmaları göstermektedir).

Figure 3. Recorded maximum horizontal accelerations and attenuation relationships proposed by Campbell (1997), Sadigh et al. (1997), and Özbey et al. (2003) (Dotted lines represent plus and minus standard deviation for Özbey et al. (2003) curve).

rem dış merkezi arasındaki mesafelerdir. Deprem kırığının uzunluğunun yaklaşık 15 km olabileceği düşünülürse, kullanılan dış merkez uzaklıklarının özellikle uzak istasyonlar için sonuçları pek fazla etkileyeceği düşünülmemektedir. Şekil 3'te görüldüğü gibi, Bingöl (BNG) istasyonunda kaydedilen en büyük ivme, ampirik eğrilerin biraz üstünde iken, uzak istasyonlardaki ivmeler tahmin edilen değerlerin altındadır. Uzak istasyonlardaki ivmelerin düşük kalmasının nedeni, bölgedeki aşırı kırıklı kabuk yapısından dolayı dalgaların tahmin edilenin üzerinde soğurulması olabilir. BNG istasyonundaki ivmenin tahmin edilenden yüksek olmasının nedeni ise, ilerleyen bölümlerde değinileceği gibi, bir ileri yönlendirme etkisi veya kötü zemin koşulları, ya da topoğrafya etkisi nedeniyle oluşan büyütmeler olabilir (EERI, 2003; Koçyiğit vd., 2003). BNG istasyonu, şehri ikiye bölen Çapakçur ve Gayt derelerinin getirdiği yamaç molozlarından oluşan bir sırt üzerinde kuruludur.

Son zamanlarda yapılan çalışmalar; büyük yüzey kırığı oluşturan depremlerin genliklerinin, yüzey kırığı üretmeyen yani gömülü kırığa sahip depremlerin genliklerine göre sistematik olarak daha küçük olduğunu göstermiştir (Somerville, 2003). Bunun en son örnekleri 17 Ağustos 1999 İzmit-Gölcük ve 20 Eylül 1999 Tayvan depremleridir. Her iki deprem de büyük yüzey kırıklarına sahip olmalarına karşın, kısa ve orta periyotlarda ampirik değerlerin %40 altında genliklere sahiptirler (Somerville, 2003). Bingöl depremi de gömülü bir kırığa sahiptir ve BNG istasyonunda ürettiği genlikler ampirik değerlerden yüksektir. Özellikle Türkiye için önerilen ampirik eğride (Özbey vd., 2003) 17 Ağustos 1999 İzmit-Gölcük depremi önemli bir etkiye sahiptir.

Şekil 4'te 1 Mayıs 2003 Bingöl (Mw=6.4) depreminin BNG istasyonu üç bileşen ivme kaydı ve bunlardan integrasyon yolu ile elde edilen hız ve yerdeğiştirme kayıtları gösterilmiştir. İntegrasyon sırasında veriye sadece temel çizgisi (baseline) düzeltilmesi uygulanmıştır. Şekil 4'te görüldüğü gibi, KG bileşendeki en yüksek ivme ( $546 \text{ cm/s}^2$ ), DB bileşenin ( $277 \text{ cm/s}^2$ ) yaklaşık 2 katıdır. BNG istasyonu, Şekil 2'de gösterilen artçı sarsıntılarının merkezlerinden yararlanılarak belirlenen fay düzlemine en az 8 km uzaklıktadır. İstasyon, fayın tam önünde yer almamakla birlikte, GD ucunda ve KB'ya doğru hareket eden blok üzerindedir. Bu konumu nedeniyle yönlendir-



Şekil 4. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi BNG istasyonu üç bileşen ivme (a), hız (b) ve yerdeğiştirme (c) kayıtları.

Figure 4. Three components acceleration (a), velocity (b), and displacement (c) time histories of the May 1, 2003 Bingöl earthquake recorded at the BNG station.

me etkisi (directivity) (Somerville vd., 1997) taşıyor olması olasıdır. Yakın istasyonlarda ileri yönlenme etkisi (forward directivity), yani kırığın istasyona doğru ilerlemesi, faya dik bileşende uzun periyodlu enerjinin çoğalmasına, genliğin paralel bileşenden büyük olmasına ve daha kısa deprem süresine neden olur (Somerville vd., 1997). Bingöl depremi dış merkezinin tahmin edilen fay düzleminin yaklaşık ortasında yer alması kırığın her iki yöne ilerlediğinin göstergesi olabilir. BNG istasyonu KG bileşen hız ve yerdeğiştirme kayıtlarında gözlenen doruk (puls) şeklindeki hareket bir ileri yönlenme etkisini göstermektedir. Ancak, KG bileşen faya dik değil, yaklaşık 24 derecelik bir açıya sahiptir. KG bileşen yerdeğiştirme kayıtlarında kuzeye doğru (pozitif

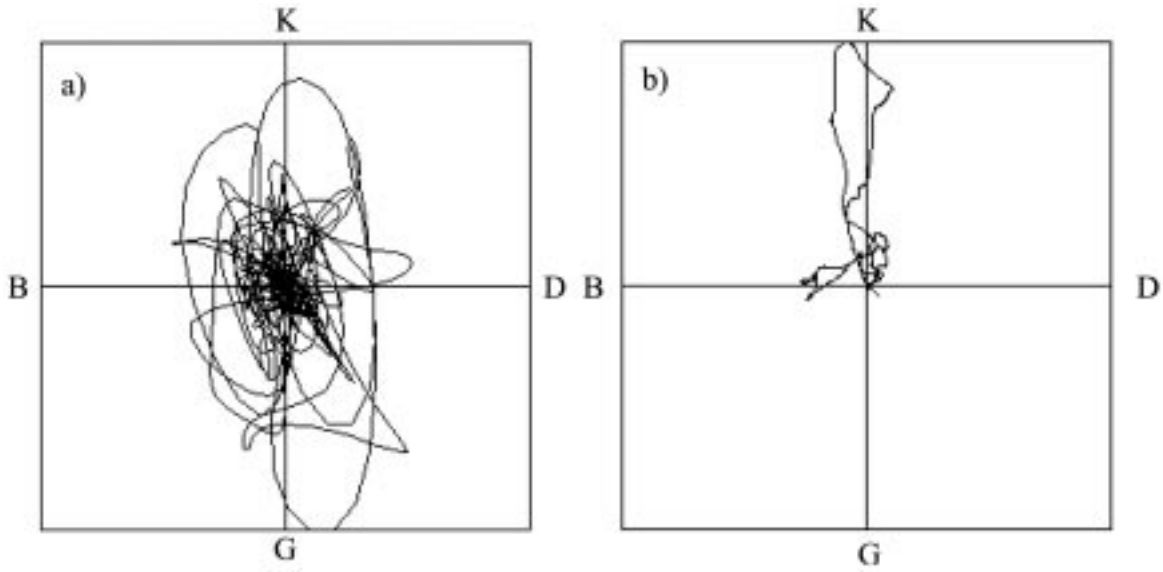
yön) 24 cm'lik yerdeğiştirme, fay üzerindeki hareket ile uyumludur.

Şekil 5'te BNG istasyonunun ivme ve yerdeğiştirme kayıtları için çizdirilen yatay düzlem parçacık hareketleri görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi, hareketin önemli bir bölümü kuzey-güney yönündedir ve KG bileşendeki yüksek ivmelerden dolayı parçacık hareketi saat yönünde bir dönme yapmaktadır. Yatay düzlemdeki yerdeğiştirmeler ise, parçacığın kuzeye gitmesi ve geri gelmesi şeklindedir.

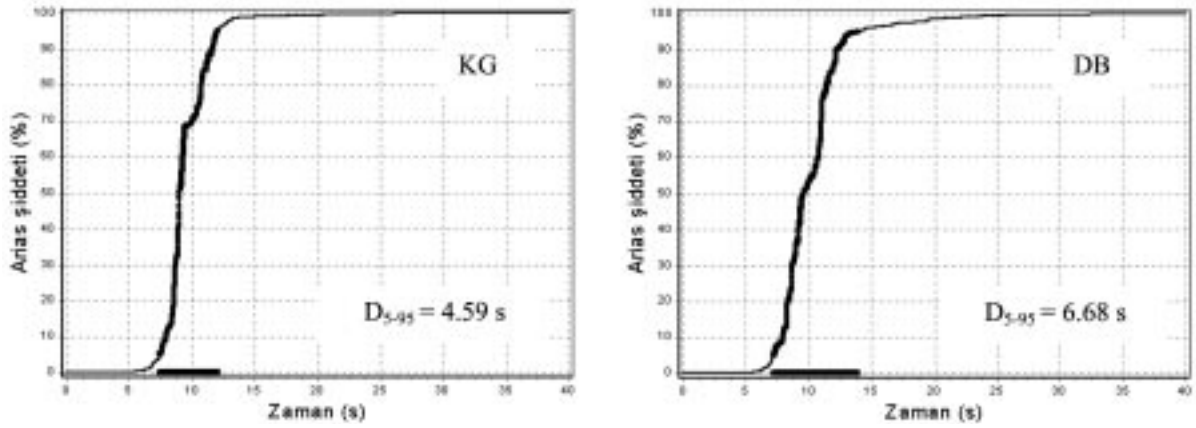
Deprem-hasar ilişkisinde ivmenin yanında önemli bir diğer parametre kırılma boyu ile ilişkili olan depremin süresidir. Şekil 6'da her iki yatay bileşen için Arias şiddetleri (Arias, 1970) ve Arias şiddetinin %5 ile %95'i arasındaki zaman farkından hesaplanan etkili süreler ( $D_{5-95}$ ) gösterilmektedir. KG bileşen için etkili süre  $D_{5-95} = 4.59$  s, DB bileşen için  $D_{5-95} = 6.68$  s'dir. KG bileşendeki etkili sürenin kısalığı, yukarıda da değinildiği gibi, bir ileri yönlenme etkisinden kaynaklanıyor olabilir.

Hasar oluşumuna etki eden önemli faktörlerden birisi de deprem dalgalarının frekans içeriğidir. Şekil 7'de BNG istasyonu üç bileşen ivme kaydının zamana bağlı frekans içeriğinin değişimini gösteren grafikler yer almaktadır. Genelde kayıtlar, yakın istasyon ve nispeten sıkı zemin olması nedeniyle yüksek frekanslardan oluşmaktadır. Enerjinin büyük bölümü yatay bileşenlerde 2 ve 6 Hz civarında, düşey bileşende ise çoğunlukla 2 Hz'in üzerinde taşınmaktadır. S dalgalarının frekans içeriği yatay bileşenler arasında küçük farklılıklar gösterir. KG bileşende 1 ve 6 Hz civarında görülen yüksek enerjiler, DB bileşende nispeten düşüktür.

Zaman kayıtlarında 5. s'de S dalgalarının aniden kesilmesi ve yaklaşık 0.5 s bu durum devam ettikten sonra 5.5 s civarında ikinci bir dalga grubunun istasyona vardığı açıkça görülmektedir (Şekil 8). Spektrumlarda bu kesilme ve ikinci grup dalga daha açık görülebilir (bkz. Şekil 7). Her iki dalga grubu da benzer frekans içeriklerine sahiptirler (2 Hz civarı) ve özellikle DB bileşende ikinci grup dalganın enerjisi S dalgası enerjisiyle hemen hemen aynıdır. İlk düşünülen bu ikinci grup dalganın, bir basen kenarından yansıyan yüzey dalgası olduğudur (Field, 1996; Yalçinkaya ve Alptekin, 2003). Ancak, S dalga-



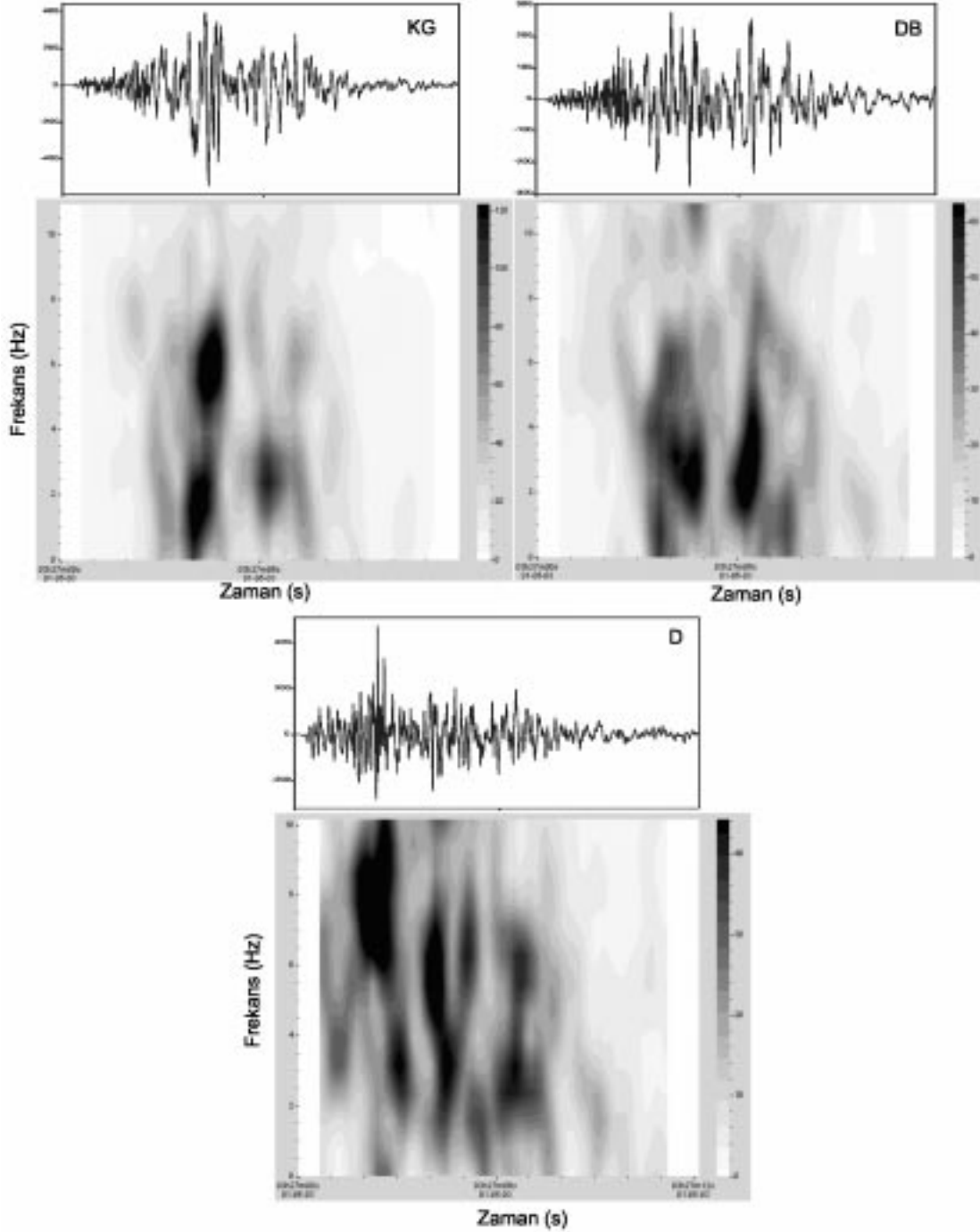
Şekil 5. Yatay düzlem parçacık hareketleri; a) ivme ve b) yerdeğiştirme.  
Figure 5. Horizontal plane particle motion; a) acceleration, and b) displacement.



Şekil 6. Yatay bileşenler için zamana bağlı Arias şiddeti yüzdeleri ve %5-95 arasında hesaplanan etkili süreler ( $D_{5-95}$ ).  
Figure 6. Arias intensity percent for the horizontal components and the significant durations ( $D_{5-95}$ ) buildup of 5% and 95% of the Arias intensity.

ların aniden kesilmesi ve ikinci grubun frekans içeriklerinin S dalgaları ile benzer olması, bu ikinci grup dalganın S dalgasının bir devamı olabileceğini düşündürmektedir. Çift şoklu bir kırılma etkisi için ise, S dalgalarının en büyük genlikleri sırasında aniden kesilmesini açıklamak zordur. Bu durumda, S dalgalarının yaklaşık 0.5 s kesilmesine neden olabilecek bir fiziki olay, GD'ya doğru ilerleyen fay kırığı cephesinin istasyona ulaşması olabilir. Kayıtlardan okunan S-P zaman farkı yaklaşık 2.3 s'dir ve kaba bir hesapla odak uzaklığının yaklaşık 19 km olduğu

bulunabilir (Şekil 8). İlk S varışı ile S dalga enerjisinin aniden kesildiği an arasında yaklaşık 2.2 s zaman farkı vardır. Bu durumda, kırık cephesi istasyona P dalgasından yaklaşık 4.5 s sonra varmaktadır ve hesaplanan kırılma hızı 2.5 km/s'dir. Bu değer, çoğu depremde rastlanabilen tipik bir değerdir (Andrews, 1976; Das ve Aki, 1977). Kırılma cephesi istasyona ulaştığında, kayıtlarda yaklaşık 0.5 s süreyle S dalgasının kesilmesine neden olmakta ve sonra istasyonu geçmesi ile birlikte S dalgaları kaydedilmeye devam etmektedir.

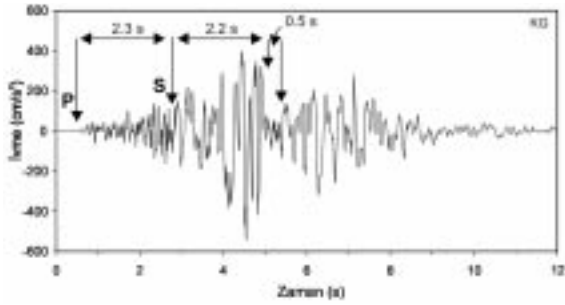


Şekil 7. Üç bileşen ivme kaydının zamana bağlı spektrumları.  
 Figure 7. Moving window spectra for the three component acceleration records.

Deprem kayıtlarının hasar ile ilişkisini gösterebilecek en önemli araçlardan birisi kayıtların tepki spektrumlarıdır. Şekil 9'da, BNG istasyonu üç bileşen ivme tepki spektrumları (%5 sönüm için) çizdirilmiştir. Görüldüğü gibi, yüksek spektral ivme değerleri özellikle KG ve düşey bileşenlerde

çok küçük periyotlarda, yaklaşık 0.1-0.2 s civarındadır. Bu da, çok rijit ve küçük periyotlu binalar için bir tehlike oluşturabilir. Diğer periyotlardaki ivme değerleri, Türkiye 1998 Deprem Yönetmeliği (<http://www.koeri.boun.edu.tr/deprem-muh/FINAL999.pdf>)'nde yer alan 1. derece





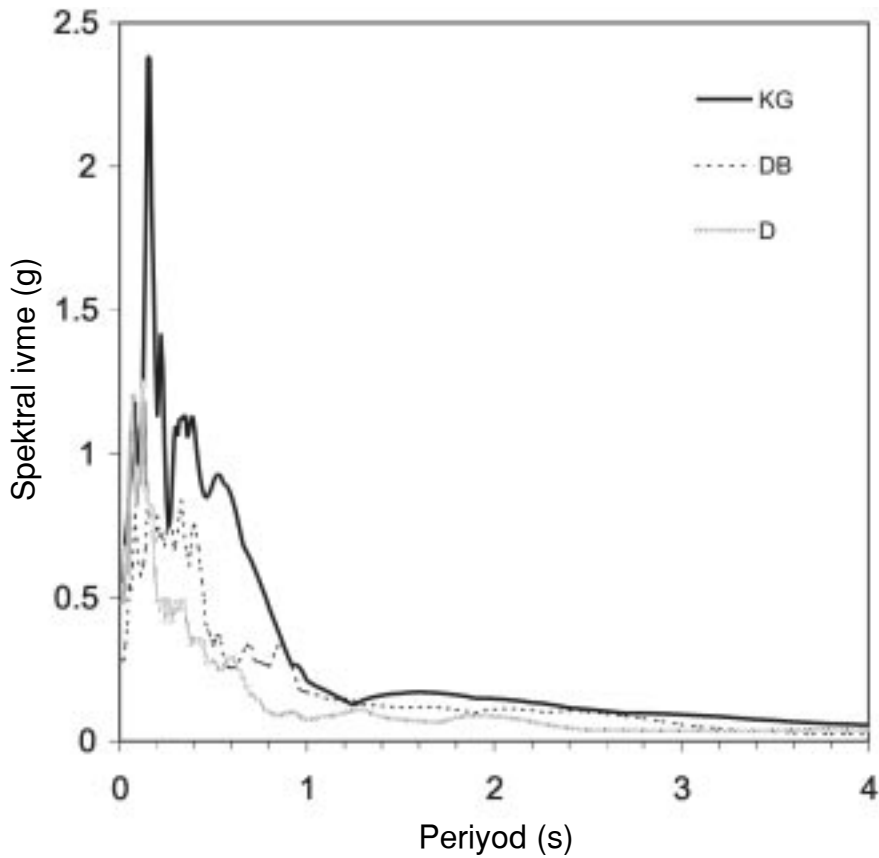
Şekil 8. BNG (Bingöl) istasyonu KG bileşen ivme kaydı (P, S dalgası varışları ve S dalgasının kesildiği zaman aralığı oklarla işaretlenmiştir).

Figure 8. The NS component acceleration record at BNG (Bingöl) station (Arrivals of the P, S waves and the time interval clipped of the S waves are marked by arrows).

deprem bölgesi için tasarlanan ivme değerlerinin altındadır. Bu durumda, yıkılan binaların çoğunun deprem yönetmeliğinin gerektirdiği koşulları sağlamadığı düşünülmektedir.

## SONUÇLAR

1 Mayıs 2003 Bingöl depremi, ülkemizde yaklaşık 1.5 yılda bir yaşanan ve ne yazık ki ağır sonuçlarıyla karşılaşılan depremlerden biridir. Oluştugu jeolojik ortam ve büyüklük açısından yüzey kırığı üretmemesi dikkat çekicidir. Yakın alan Bingöl (BNG) istasyonu en büyük yatay ivme değeri, ampirik olarak tahmin edilen değerlerin biraz üstündedir. Buna karşın, uzak istasyonlarda ölçülen ivme değerlerinin ampirik değerlerin altında kalması, bölgedeki kırıklı kabuk yapısı nedeniyle soğurmanın yüksek olduğunu gösteriyor olabilir. BNG istasyonunun fayın güneydoğu ucuna yakın olması, özellikle KG bileşende görülen yüksek ivme değeri, hız ve yer değiştirme kayıtlarında görülen doruk (puls) şeklindeki hareket bir ileri yönelme etkisi taşıyor olabileceğini göstermektedir. Ayrıca, deprem enerjisi ile ilgili olan etkili süre; KG bileşende 4.59 s iken, DB bileşende 6.68 s'dir. Ancak, BNG istasyonu KG bileşeni, bir ileri yönelme



Şekil 9. BNG istasyonu üç bileşen ivme kaydı tepki spektrumları (%5 sönümlü).

Figure 9. Three components acceleration response spectra (damping 5%) at the BNG station.

etkisinde düşünül­düğü gibi faya dik olmayıp, fayla yaklaşık 24 derecelik bir açı yapmaktadır. BNG istasyonu yerdeğiştirme ve yatay düzlem parçacık hareketi fay üzerindeki hareket ile uyumludur. BNG istasyonu ivme kayıtlarında S dalga varışından yaklaşık 2.2 s sonra ikinci bir dalga grubunun istasyona vardığı görülmektedir. Önce, havza kenarı dalgaları olarak düşünülen, ancak S dalgaları ile benzer frekans içeriğine sahip olmaları ve bu fazın öncesinde S dalgalarının yaklaşık 0.5 s süreyle aniden kesilmesi, GD'ya ilerleyen kırık cephesinin istasyona eriştiğine işaret ediyor olabilir. Bu durumda hesaplanan kırılma hızı yaklaşık 2.5 km/s'dir. BNG istasyonunun deprem merkezine oldukça yakın olması nedeniyle, kayıtlarda enerjinin büyük bir bölümü yüksek frekanslı dalgalar tarafından taşınmaktadır. Spektral ivme değerleri sadece düşük periyotlarda yönetmeliğin öngördüğü değerlerin üzerindedir. Bingöl depremi, gömülü fay özelliğine sahip depremlerin büyük yüzey kırığı üreten depremlere göre daha yüksek ivme değerlerine sahip olduğu görüşünü desteklemektedir. Sonuçların daha iyi değerlendirilmesi açısından yumuşak zemin ve topoğrafya etkileri konusunda çalışılma yapılmasına ihtiyaç vardır.

## KATKI BELİRTME

Yazar, değerli görüş ve katkılarından dolayı, dergi editörü Prof. Dr. Reşat Ulusay'a, Prof. Dr. Haluk Eyidoğan'a ve adı belirtilmemiş olan diğer hakeme teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

- Abrahamson, N.A., and Shedlock, K.M., 1997. Overview. *Seismological Research Letters*, 68, 9-23.
- Andrews, D.J., 1976. Rupture velocity of plane-strain shear cracks. *Journal Geophysical Research*, 81, 5679-5687.
- Arias, A., 1970. A measure of earthquake intensity. *Seismic Design for Nuclear Power Plants*. Editor: R.J. Hansen, MIT Press. Cambridge, Massachusetts, 438-483.
- Campbell, K.W., 1997. Empirical near-source attenuation relationships for horizontal and vertical components of peak ground acceleration, peak ground velocity, and pseudo-absolute acceleration response spectra. *Seismological Research Letters*, 68, 154-179.
- Das, S., and Aki, K., 1977. A numerical study of two dimensional spontaneous rupture propagation. *Geophysical Journal Royal Astrological Society*, 50, 643-668.
- EEERI, 2003. Preliminary observations on the May 1, 2003, Bingöl, Turkey, earthquake. *EEERI Special Earthquake Report*, July 2003, 12 pp.
- Field, E.H., 1996. Spectral amplification in a sediment-filled valley exhibiting clear basin-edge-induced waves. *Bulletin Seismological Society of America*, 86, 991-1005.
- Koçyiğit, A., Kaymakçı, N., Gülkan, P., Akkar, S. ve Yazgan, U., 2003. 1 Mayıs 2003 Sudüğünü (Sancak-Bingöl) depremi raporu. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Rapor No:14, 36 s (yayımlanmamış).
- Özbey, C., Sarı, A., Lance, M., Erdik, M., and Fahjan, Y., 2003. Empirical strong ground motion attenuation relations for northwestern Turkey. Fifth National Conference on Earthquake Engineering, 26-30 May 2003, İstanbul, Paper No: AE-040, 10 pp (in CD).
- Pınar, A., Yüksel, F.A., Kanlı, A.İ., Yılmaz, H., Alptekin, Ö., Yıldırım, A., Özçelik, S. ve Haspolat, Z., 2003. 1 Mayıs 2003 Bingöl depremi (M=6.4) yerbilimleri ön raporu. İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, 40 s (yayımlanmamış).
- Sadigh, K., Chang, C.Y., Egan, J.A., Makdisi, F., and Youngs, R.R., 1997. Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological Research Letters*, 68, 180-189.
- Somerville, P.G., 2003. Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 137, 201-212.
- Somerville, P.G., Smith, N.F., Graves, R.W., and Abrahamson, N.A., 1997. Modification of empirical strong ground motion attenuation relations to include the amplitude and duration effects of rupture directivity. *Seismological Research Letters*, 68, 199-222.
- Utkucu, M., Pınar, A. ve Alptekin, Ö., 2003. Uzak alan P dalga şekillerinin sonlu-fay ters çözümünden 22 Mayıs 1971 Bingöl depremi kırılma sürecinin incelenmesi. *Yerbilimleri*, 28, 65-79.
- Wells, D.L., and Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 84, 974-1002.
- Yalçınkaya, E. ve Alptekin, Ö., 2003. Basen içi yüzey dalgalarının zemin büyütmesine etkisi. Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 26-30 Mayıs 2003, İstanbul, Bildiri No: AT-073, 10 s (CD'de).