

# 13 MART 1992 ERZİNCAN DEPREMİ ART SARSINTILARINA AİT KAYNAK PARAMETRELERİ

## Source Parameters of the Aftershocks of 13 March 1992 Erzincan Earthquake

Bülent KAYPAK\* ve Haluk EYİDOĞAN\*

### ÖZET

13 Mart 1992 Erzincan depremi ( $M=6.9$ , NEIC) sonrası, İTÜ ve Fransa Strasbourg Louis Pasteur Yer Fiziği Enstitüsü (IPGS)' nün birlikte yaptıkları saha çalışması sonucu, 26 Mart - 4 Mayıs 1992 tarihleri arasında artsarsıntı kaydı yapmışlardır. Bu çalışmada, 4-10 Nisan 1992 tarihleri arasında, 9 adet telsiz bağlantılı düşey bileşen sayısal hız kayıtcısı tarafından kaydedilmiş artsarsıntılardan 80 tanesinin P-dalgası spektrumlarından kaynak parametreleri saptanmıştır. Süreden hesaplanan büyüklükleri  $M_D \leq 3.2$  olan bu artsarsıntılann odak derinlikleri 0-14 km arasında, odak-istasyon arası uzaklıkları ise 3-50 km arasında değişmektedir.

Herbir artsarsıntı için sismik moment, Brune gerilme düşümü ve kaynak yarıçapı değerleri, P- dalgası genlik spektrumlarından hesaplanmıştır. Buna göre sismik moment  $2.51 \times 10^{18}$ - $2.45 \times 10^{20}$  dyn.cm, gerilme düşümü ise 0.1-6.9 bar arasında değişmektedir. Sismik moment ile kaynak yarıçapları arasındaki ilişki yaklaşık doğrusaldır. Kaynak yarıçapları 110-490 m arasında değişmektedir. Sismik momenti  $10^{19}$  dyn.cm'den büyük olan artsarsıntılann, daha büyük gerilme düşümlerine sahip oldukları bulunmuştur.

### ABSTRACT

İTÜ and Institute of the Physics of the Earth, Strasbourg carried out a field study to record the aftershocks of 13 March 1992 Erzincan Earthquake during the time period between 26 March 1992 and 4 May 1993. In this study, P- wave spectral parameters were determined for 80 aftershocks which were recorded digitally by a telemetered network consisting 9 vertical component velocity seismometers. The duration magnitude of aftershocks are  $M_D \leq 3.2$ . The focal depths and epicentral distances range from 0 to 14 km and from 3 to 50 km respectively.

Estimates of the seismic moment, Brune stress-drop and fault radius for each aftershock were calculated from P- wave amplitude spectra. The seismic moment range from  $2.51 \times 10^{18}$  to  $2.45 \times 10^{20}$  dyn.cm. The stress-drop range from 0.1 to 6.9 bars. The relationship between log seismic moment and log radii is approximately linear. The fault radii range from 110 to 490 m. It is found that the aftershocks with seismic moment greater than  $10^{19}$  dyn.cm have larger stressdrops

### GİRİŞ

Deprem kaynağının modellenmesine yönelik, günümüze kadar yapılmış birçok kuramsal ve gözlemsel çalışma vardır. Bu çalışmalarda amaç, çoğunlukla kaynağa ait kinematik ve dinamik parametrelerin saptanması ve kaynaktaki kırılma mekanizması sisteminin bu parametreler yardımıyla açıklanmasıdır. Arazi gözlemleri ile, genellikle depremin yeryüzündeki izlerinden yararlanarak kaynağın kinematik parametreleri, aletsel çalışmalarla ise sismogramların analizleri sonucu kaynağın dinamik parametreleri saptanır. Kuramsal çalışmalarla kaynak parametre hesabı yapılırken genellikle deprem sismogramlarındaki P- ya da S- dalga fazlarının yerdeğiştirme spektrumlarından yararlanır. Bu tür çalışmalar yakın ve uzak-alan yerdeğiştirme

spektrumlarını, kaynaktaki gerilme ya da yerdeğiştirmenin bir fonksiyonu olarak vermektedirler.

Deprem verilerine dayalı kaynak parametre çalışmalarını sonuca tamamıyla kaynağa ait parametreler elde edilemez. Çünkü kaynaktan çıkan elastik dalga, istasyona gelene kadar yansıma, kırılma, soğurma, saçılma, faz dönüşümü, kayıt aygıtları gibi birçok etkinin altındadır. Bu tür etkiler, dalga şeklini bozarak kaynağa ait parametrelerin doğru bir şekilde saptanmasını engelliyecektir. Bu sebepten dolayı, verilerin işlenmesi sırasında bu tür etkilerin kayıtlar üzerinden bir şekilde giderilmesi ya da birtakım varsayımlar sonucu gözardı edilmesi gereklidir.

13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası kaydedilmiş ve incelemeye alınmış artsarsıntılar için de böyle bir yak-

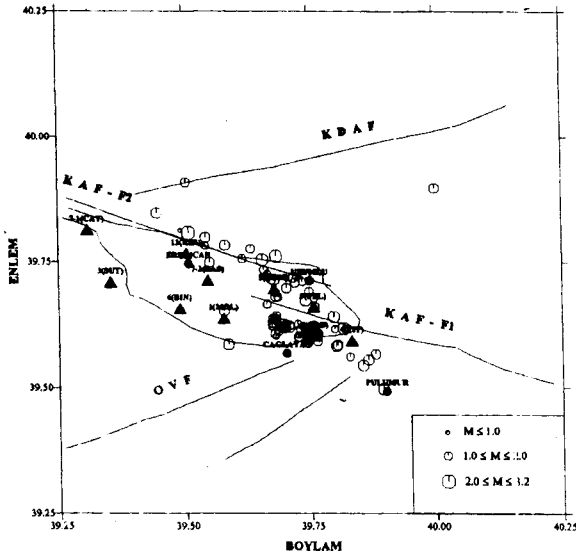
\* İTÜ Maden Fak. Jeofizik Müh. Bölümü, 80626 Maslak-İST

laşımla dinamik kaynak parametre hesabı yapılmaya çalışılmış ve daha sonra bu kaynak parametreleri arasında birtakım ilişkiler bulunmuştur.

### ARTSARSINTI DAğILIMI VE KAYIT ÖZELLİKLERİ

13 Mart 1992 Erzincan depreminden 13 gün sonra, bölgeye yerleştirilen 25 adet çeşitli türde deprem kayıtcı ile artsarsıntı kayıtları alınmaya başlanmış ve 26 Mart - 4 Mayıs 1992 tarihleri arasında 2000'e yakın artsarsıntı kaydı yapılmıştır (Eyidoğan ve Cisternas, 1992; Cisternas ve diğ., 1992).

Bu alışmada; Erzincan havzası sınırlarına kurulmuş, 9 adet telsiz bağlantılı düsey bileşen sayısal deprem kayıtcısı tarafından kaydedilmiş ve yerleri duyarlı olarak saptanmış 4-10 Nisan 1992 tarihleri arasındaki 362 artsarsıntından 80 tanesi seçilerek incelenmiştir (şekil 1). Artsarsıntılarının yerleri HYPOINVERSE adlı bir yazılım programı ile bulunmuş ve gerekli hız modeli için katman kalınlık ve hız değerleri sırasıyla  $d_1=4$  km,  $\alpha_1=5.3$  km/sn;  $d_2=35$  km,  $\alpha_2=6.0$  km/sn;  $d_3=\infty$   $\alpha_3=8$  km/sn olarak alınmıştır. Yer bulma işlemi bölgeye yerleştirilen tüm sismografların varış zamanları kullanılarak yapılmıştır.



**Bekil 1:** 13 Mart 1992 Erzincan depremi sonrası kaydedilmiş artsarsıntılardan, 4-10 Nisan 1992 tarihleri arasında olup ve bu çalışmada incelemeye alınana 80 artsarsıntıının episantyr naritası. Telemetrik istasyonlar igenlerle gösterilmiştir.

**Figure 1:** Epicenter map of the 80 aftershocks which were occurred between 4-10 April 1992 after 13 March 1992 Erzincan earthquake and studied in this study. the solid triangles show the location of telemetric stations.

İncelenen bu artsarsıntılarının seçiminde birtakım sınırlamalar yapılmıştır. Bu sınırlamalarda birinci faktör olarak episantr yerleri, ikinci faktör olarak ise kayıt özellikleri önemli rol oynamıştır. Episantr yerlerine göre artsarsıntı seçiminde, telemetrik istasyonların kurulu bulunduğu alanın fazla dışına taşmayan ve 39.6°K enleminin kuzeyinde kalanlar incelemeye alınmış olup, bu sarsıntılarının çoğunun Kuzey Anadolu Fay Kuşağı'nın bölgedeki iki ana kırığı üzerine ve yakınına düştüğü görülmektedir (şekil 1). Ancak bunlardan 10 tanesi büyüklükleri nedeniyle 39.5° ile 39.6°K enlemleri arasından alınmıştır.

Kayıt zelliklerine göre artsarsıntı seçiminde ise sarsıntılarının en az 3 yada 4 istasyonda kaydedilmiş olması, kayıtlardaki genliklerin kesilmemiş olması ve kayıtların az gürültülü olması gözönüne alınan önemli faktörler olmuştur.

Seçilen artsarsıntılarının sreden hesaplanan büyüklükleri genellikle  $M_D \leq 3.2$ 'dir. Bunlardan 60 tanesi  $M_D \leq 2.18$  tanesinin  $2 \leq M_D \leq 3$  ve 2 tanesi de  $M_D \geq 3$  büyüklüklere sahiptir. Yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen odak derinlikleri ise 0-14 km arasında değişmektedir.

İncelenen artsarsıntı kayıtlarında tetikleme zamanı ile genliklerin gürültü seviyesine ininceye kadar geçen süre, başka bir deyişe kayıt süresi, yaklaşık 60 sn civarındadır ve kayıtlar 92.308 Hz rnekleme aralığı ile alınmıştır. Kayıtların genlikleri ise büyüklüğe bağlı olarak değişmektedir. Büyüklüğü  $M_D \geq 3$  olan sarsıntılarının yakın istasyonlardaki kayıtlarında, genlikler genellikle kesilmiş bir durumdadır ve bu tür kayıtlar incelemeye alınmamıştır.

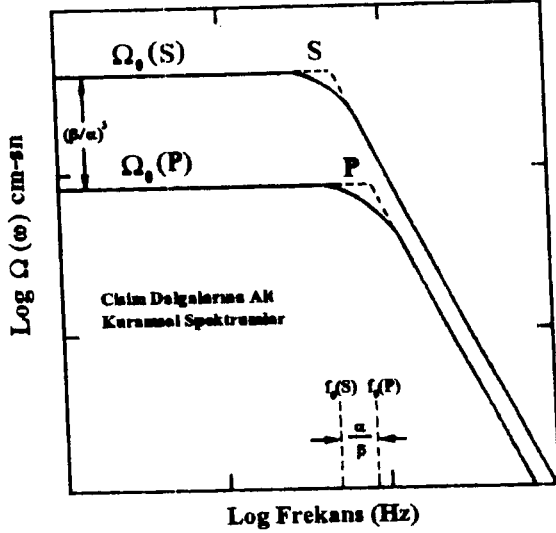
### ARTSARSINTILARA AİT KAYNAK PARAMETRELERİNİN SAPTANMASI

#### Yöntem

Artsarsıntılara ait kaynak parametrelerinin hesaplanmasında Brune (1970, 1971)'un dairesel kaynak modeli bağlantıları kullanılmıştır. Bu modele göre, uzak-alan yerdeğiştirme spektrumlarındaki spektral parametreler olan düşük frekans seviyesi  $\Omega_0$  ve köşe frekansı  $f_0$  (şekil 2) ile kaynak parametreleri olan sismik moment  $M_0$ , kaynak yarıçapı  $r$  ve gerilme düşümü  $\Delta\sigma$  arasında birtakım ilişkiler olabileceğini göstermiştir. Brune (1970, 1971), bu ilişkiyi kurarken S-dalgalarından yararlanmış ve ilgili bağlantılarda S-dalgası hızını kullanmıştır. Brune (1970,1971)'un modeli, daha sonra Hanks ve Wyss (1972) tarafından, P-dalgaları için geliştirilmiştir (Fletcher, 1980).

Brune (1970), kaynak yarıçapı ile kuramsal P-dalga spektrumu arasında bir ilişki aramasına rağmen; Hanks ve Wyss (1972), kaynak parametrelerinin P-dalga yayılımından da bulunabileceğini ve spektral analizlerde P-dalgasının S-dalgasına oranla daha çok tercih

edildiğini göstermişlerdir (Şekil 2).



Şekil 2: Brune(1970) baz alınarak hesaplanmış kuramsal P- ve S- dalgası spektrumları ve bunlar arasındaki parametrik ilişkiler (Hank ve Wyss, 1972).

Figure 2: Calculated theoretical P- and S- wave spectra according to Brune (1970) and their parametric relationship (Hanks and Wyss, 1972).

Düşük frekans seviyesi  $\Omega_0$  sismik moment  $M_0$ , köşe frekansı  $f_0$  ise dairesel olarak düşünülen kaynağın yarıçapı  $r$  ile ilişkilidir. Yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen diğer bir spektral parametre ise yüksek frekanslara doğru ( $f > f_0$ ) genliklerdeki azalmayı kontrol eden spektral eğim  $\gamma$ 'dır (Hanks ve Thatcher, 1972).

Uygulamada düşük frekans seviyesi  $f$  ile yüksek frekanslardaki spektral eğimi karakterize edebilecek iki doğru, görsel olarak spektrum üzerine uygun bir şekilde oturtulmaktadır. Bu iki doğrunun kesişim noktasının yatay eksenindeki izdüşümü, köşe frekansını vermektedir (Şekil 2). Buna göre bu üç parametre kaynağı karakterize etmektedir ve kaynak parametreleri ile aralarındaki ilişki aşağıdaki bağıntılarla verilmektedir;

Sismik moment (Keilis ve Borok, 1960);

$$M_0(V_{P,S}) = 4\pi\rho V_{P,S}R \cdot \frac{\Omega_0(P,S)}{kR_{\theta\theta}} \quad (1)$$

Kaynak Yarıçapı (Brune, 1970, 1971; Hank ve Wyss, 1972)

$$r = \frac{2.34 V_{P,S}}{2\pi f_0} \quad (2)$$

Gerilme düşümü (Brune, 1970, 1971);

$$\Delta\sigma = \frac{7}{16} \cdot \frac{M_0}{r^3} \quad (3)$$

Bağıntılarda geçen parametreler:

$M_0(V_{F,S})$  : P- veya S-dalgası spektrumlarından hesaplanan sismik moment (dyn.cm)

$\rho$  : Ortamın yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>),

$V_{P,S}$  : P ve S dalgası hızı (cm/sn),

$R$  : Odak - İstasyon arası uzaklık (cm.sn),

$\Omega_0(P,S)$  : Düşük frekans seviyesi (cm.sn),

$R_{\theta\theta}(P,S)$  : P veya S dalgaları için yayılım örüntüsü,

$k$  : Serbest yüzey düzeltmesi,

$r$  : Kaynak yarıçapı (km),

$f_0$  : Köşe frekansı (Hz),

$\Delta\sigma$  : Gerilme düşümü (bar).

### Uygulama

Kaynak parametresahesabı yapmadan önce, veri-işlem tekniklerinin artsarsıntılar üzerinde kolayca uygulanabilmesi için, araziden "BINARY (ikili)" sistemde toplanmış artsarsıntı kayıtları "ASCII" sisteme dönüştürülmüştür. Bu dönüştürme işleminden sonra IASPEI (1992) (International Association of Seismology and Physics of the Earth Interior)' nin yayınlanmış olduğu PITSA (Programmable Interactive Toolbox for Seismological Analysis) adlı yazılım programı kullanılarak veri analizi yapılmıştır. S- dalgası fazla kolayca belirlenemediği için tüm analizler P- fazı üzerine yapılmış ve ilgili bağıntılarda P- dalgası hızı kullanılmıştır.

Bir artsarsıntının hız kaydından yerdeğiştirme spektrumunu elde etmek için öncelikle 1sn' lik bir pencere boyu ile P- fazı belirlenmiş, daha sonra bunun alet etkisi giderildikten sonra integrali alınarak yerdeğiştirme kaydına geçilmiştir. Bu geçiş esnasında veri üzerinde meydana gelen trendler 1 sn' lik kayan ortalama penceresi uygulanarak giderilmiştir. Bu işlemden sonra elde edilen veriye %12.5 oranında bir kosinüs penceresi uygulanarak törpüleme (tapering) yapılmış ve daha sonra Hızlı Fourier Dönüşümü (FFT) alınarak yerdeğiştirme spektrumu elde edilmiştir.

Bir artsarsıntının her bir istasyondaki yerdeğiştirme spektrumları hesaplandıktan sonra spektral parametreleri saptanmış, daha sonra ilgili sarsıntıya ait tek bir ortalama  $\Omega_0$  ve  $f_0$  değeri elde etmek için, bu spektral parametrelerin aşağıdaki bağıntılarda verildiği gibi logaritmik ortalamaları alınmıştır (Archuleta ve diğ., 1982).

$$\langle \Omega_0 \rangle = \text{anti log} \left\{ \frac{1}{NS} \sum_{i=1}^{NS} \log(\Omega_{0i} R_i / 10) \right\} \quad (4)$$

$$\langle f_0 \rangle = \text{antilog} \left\{ \frac{1}{NS} \sum_{i=1}^{NS} \log f_{0i} \right\} \quad (5)$$

Bağıntılarda geçen parametreler:

$\langle \Omega_0 \rangle$  : Ortalama düşük frekans seviyesi (cm.sn),

NS : İstasyon sayısı,

$\Omega_{0i}$  : Herbir istasyondaki düşük frekans seviyesi (cm.sn),

$R_i$  : Her bir istasyonun odağa (hiposantr) olan uzaklığı (cm),

$\langle f_0 \rangle$  : Ortalama köşe frekansı (Hz),

$f_0$  : Herbir istasyondaki köşe frekansı (Hz)

değerlerini göstermektedir.  $\langle \Omega_0 \rangle$  'ı hesaplarken, herbir odak-istasyon arası uzaklık 10 km' ye göre normalize edilmiştir. Bunun nedeni, odak-istasyon arası mesafeler de gözönüne alınarak, uzaklık etkisini (geometrik yayılma) herbir istasyon için ağırlandırarak belirli bir seviyeye indirgemektir.

Spektral parametrelerde olduğu gibi kaynak parametreleri için de benzer yolla logaritmik ortalamaların bulunması gereklidir. Ortalama sismik moment değeri bulunurken, öncelikle herbir istasyondaki sismik moment ( $M_0$ ) değerleri, düşük frekans seviyesinin ortalaması ( $\langle \Omega_0 \rangle$ ) değerini kullanarak (1) bağıntısıyla hesaplanır.

Bu çalışmada Erzincan bölgesindeki yerkaşığı yapısı için,

$$\rho = 2.7 \text{ gr/cm}^3,$$

$$V_p = 6.0 \text{ km/sn},$$

$$R_{00} = 0.4 \text{ (P-dalgası için)},$$

$$k = 2$$

olarak alınmıştır. Daha sonra, Archuleta ve diğ. (1982)'e göre,

$$\langle M_0 \rangle = \text{anti log} \left\{ \frac{1}{NS} \sum_{i=1}^{NS} \log M_{0i} \right\} \quad (6)$$

bağıntılarından, herbir artsarsıntını için ortalama sismik moment değerleri hesap edilmiştir. Aynı şekilde ortalama kaynak yarıçapını bulmak için ise her bir istasyon için okunan  $f_0$  değerlerini kullanarak (2) bağıntısıyla kaynak yarıçapları hesaplanır. Bunun ortalaması ise iki yöntemle bulunabilir. Birinci yöntem olarak, her bir istasyondaki kaynak yarıçapları toplamının istasyon sayısına bölünmesi ile yani aritmetik ortalaması alınarak (7a), ikinci yöntemde ise (5) bağıntısından bulunan ortalama köşe frekansı değerlerinin (2) bağıntısında yerine

konmasıyla o sarsıntıya ait ortalama kaynak yarıçapı elde edilir (7b).

$$\langle r \rangle = \frac{1}{NS} \sum_{i=1}^{NS} r_i \quad (7a)$$

$$\langle r \rangle = \frac{2.34 V_{p,S}}{2\pi \langle f_0 \rangle} \quad (7b)$$

Bu çalışmada, (7a) bağıntısı kullanılarak ortalama kaynak yarıçapı hesap edilmiştir. (6) ve (7a) bağıntılarının, (3) bağıntısında yerine konmasıyla ilgili artsarsıntıya ait ortalama gerilme düşümü;

$$\langle \Delta \sigma \rangle = \frac{7 \langle M_0 \rangle}{16 \langle r \rangle^3} \quad (8)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

Birden fazla istasyondaki yerdeğiştirme spektrumlarından, ortalama sismik moment  $\langle M_0 \rangle$ , ortalama kaynak yarıçapı  $\langle r \rangle$  ve ortalama gerilme düşümü  $\langle \Delta \sigma \rangle$  hesap edilirken, herbir gözleme ağırlık kazandırılmak isteniyorsa, yukarıdaki işlem tanımı izlemek gerekmektedir. Çünkü, sismik momentin, köşe frekansının ve gerilme düşümünün basit aritmetik ortalaması alınırca, ortalamalarda büyük değerlere doğru bir sapma görülür. Böyle bir işlem tanımı kullanmanın diğer bir nedeni ise, düşük frekans seviyeleri ile kaynak yarıçaplarındaki, okuma veya hesaplama hatalarının lognormal olarak dağıtılmasıdır (Archuleta ve diğ., 1982).

## SONUÇLAR

İncelenen artsarsıntılarının yerdeğiştirme spektrumlarından elde edilen spektral parametrelerden köşe frekansı  $\langle f_0 \rangle$  4.72-20.64 Hz, düşük frekans seviyeleri ise  $\langle \Omega_0 \rangle$   $2.51 \times 10^{-7}$ - $1.03 \times 10^{-5}$  cm.sn arasında yer almaktadır. Yüksek frekanslardaki asimtotik azalım parametresi  $\gamma$ 'nın tüm artsarsıntılar için genelde 3' den büyük olduğu ve 12-20 Hz arasındaki köşe frekansları için 4-5 arasında yer aldığı gözlenmiştir.

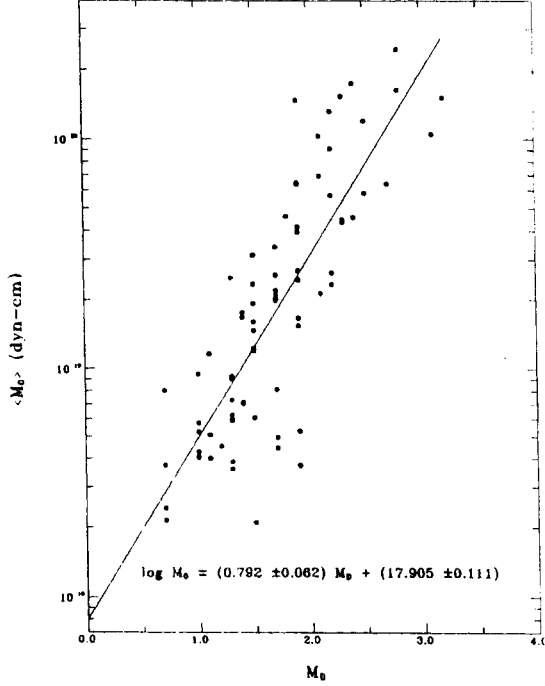
Spektral parametrelerden yararlanarak, hesaplanan kaynak parametrelerinden sismik momentin  $\langle M_0 \rangle$   $2.10 \times 10^{18}$ - $2.45 \times 10^{20}$  dyn.cm, kaynak yarıçapının  $\langle r \rangle$  110-490 m, gerilme düşümünün  $\langle \Delta \sigma \rangle$  ise 0.1-6.9 bar arasında değiştiği bulunmuştur.

Hesaplanan kaynak parametrelerinin birbirleriyle ve diğer parametrelerle olan ilişkileri bulunmuş ve şu bağıntılar elde edilmiştir:

Sismik Moment ( $M_0$ ) - Büyüklük ( $M_D$ ) arasında;

$$\log M_0 = (0.792 \pm 0.062)M_D + (17.905 \pm 0.111) \quad (9)$$

şeklinde bir bağıntı elde edilmiş ve bu ilişki Şekil 3'te gösterilmiştir.



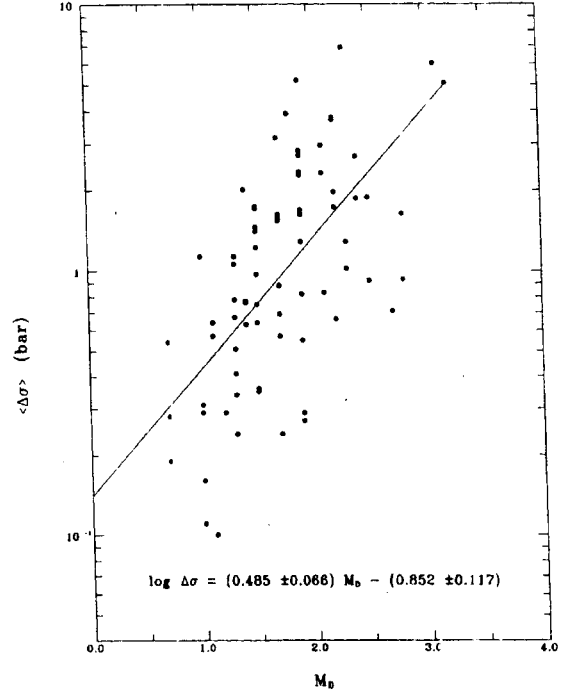
Şekil 3: Erzincan Bölgesi'deki incelenen artsarsıntılar ( $M_D \leq 3.2$ ) için sismik moment  $M_0$  - süre büyüklüğü  $M_D$  ilişkisi. Düz nokta dağılımını temsil eden EKK doğrusunu göstermektedir.

Figure 3: Seismic moment  $M_0$  versus duration  $M_D$  ( $M_D \leq 3.2$ ) of the determined aftershocks in Erzincan region. Solid line respect the best fitting line in terms of the least squares.

Gerilme Düşümü ( $\Delta\sigma$ ) - Büyüklük ( $M_D$ ) arasında;

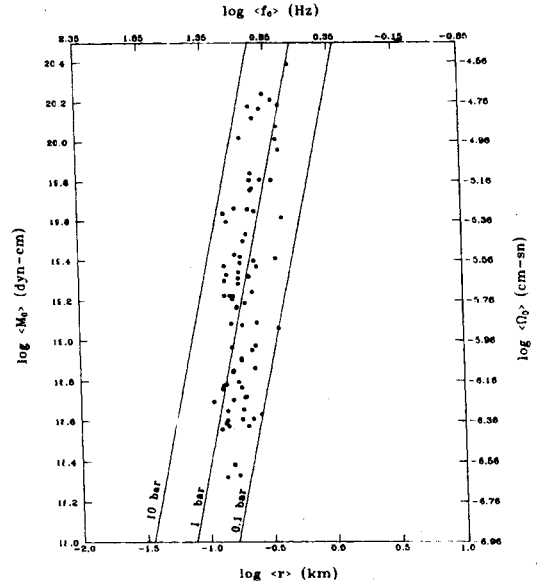
$$\log \Delta\sigma = (0.485 \pm 0.066) M_D + (0.852 \pm 0.117) \quad (10)$$

şeklinde bir ilişki bulunmuş ve bu ilişki Şekil 4'de gösterilmiştir.



Şekil 4: Erzincan Bölgesi için gerilme düşümü  $\Delta\sigma$  - büyüklük  $M_D$  ( $M_D \leq 3.2$ ) ilişkisi

Figure 4: Stress-drop  $\Delta\sigma$  versus duration magnitude  $M_D$  ( $M_D \leq 3.2$ ) for Erzincan region.



Şekil 5: Erzincan Bölgesi'ndeki 80 artsarsıntı için harmonize edilmiş sismik moment  $M_0$ , kaynak yarıçapı  $r$ , gerilme düşümü  $\Delta\sigma$ , düşük frekans seviyesi  $\Omega_0$  ve köşe frekansı  $f_0$  ilişkisinin gösterimi. Düz çizgiler 0.1, 1 ve 10 bar'lık gerilme düşümleri için verilmiştir.

Figure 5: The graphical representation of the relationship between seismic moment  $M_0$ , source radius  $r$ , stress drop  $\Delta\sigma$ , low-frequency level  $\Omega_0$  and corner frequency  $f_0$  for 80 aftershocks in Erzincan. The solid lines are given for the stress drop 0.1, 1 and 10 bars, respectively.

Sismik Moment  $M_0$  - Kaynak Yarıçapı  $r$  arasında belirgin bağıntısal bir ilişki bulunmamasına rağmen, sismik momentin hızlı değişimine karşılık kaynak yarıçapının o kadar hızlı değişmediği ancak sismik momente bağlı olarak bir miktar arttığı görülmüştür (Şekil 5). Buradan çıkarılan diğer önemli bir sonuç da, sismik momentin  $10^{19}$  dyn.cm ( $M_D = 1.4$ )'dan küçük değerleri içingerilme düşümünün 0.1 ile 1 bar arasında, bundan büyük değerleri için ise 1 ile 10 bar arasında değişmesidir.

#### KAYNAKLAR

- Archuleta, R. J., Crowswick, E., Mueller, C. and Spudich, P., (1982), Source Parameters of the 1980 Mammoth Lakes, California Earthquake Sequence, J. Geophys. Res., 87, 4595- 4607.*
- Brune, J. N., (1970), Tectonic Stress and the Spectra of Seismic Shear Waves from Earthquakes, J. Geophys. Res., 75, 4997-5009.*
- Brune, J. N., ( 1971 ), Correction, J. Geophys. Res., 76, 5002.*
- Eyidoğan, H. ve Cisteroas, A., (1992), 13 Mart 1992 Erzincan Depremi Sismoloji Çalışmaları, Tübitak Ekiplerinin Erzincan Bölgesi Çalışmaların Ön İnceleme Raporu, Tübitak, Ankara.*

*Fletcher, J. B., ( 1980), Spectra from High-Dynamic Range Digital Recordings of Oroville, California, Aftershocks and Their Source Parameters, Bull. Seism. Soc. Am., 70, 735- 755.*

*Hanks, T. C. and Thatcher, W., ( 1972), A graphical representation of seismic source parameters, J. Geophys. Res., 77, 4393-4405.*

*Hanks, T. C. and Wyss, M., ( 1972), The Use Body-Wave Spectra in the Determination of Seismic Source Parameters, Bull. Seism. Soc. Am., 62, 561-589.*

*IASPEI, (1992), Programmable Interactive Toolbox for Seismological Analysis (PITSA), Scherbaum, F. and Johnson, J. (ed.), IASPEI Software Library, 5.*

*Keilis-Borok, V. I., (1960), Investigation of the Mechanism of Earthquakes, Sov. Res. Geophys.(English transl.), 4, 29.*