

AKTİF FAYLARIN DEPREMSELLİK PARAMETRELERİNİN KESTİRİLMESİ

Prof.Dr.Müh. Ergin ARIOĞLU
İ.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi
Doç Dr.Mim. Nihal ARIOĞLU
İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Öğretim Üyesi
Dr.Müh. Canan GİRGİN
Yapı Merkezi AR-GE Bölümü

1. GİRİŞ

Ülkemizin sismo-tektonik yapısına bakıldığında yüzölçümünün % 42'si I.derece (yer ivmesi ≥ 0.4 g) ve % 24'i II.derece ($0.3g < \text{yer ivmesi} < 0.4g$) deprem bölgesinde kalmaktadır. 1997 yılı nüfus sayımına göre keza nüfusumuzun % 44'ü I.derece, % 26'sı II.derece deprem bölgesinde yaşamaktadır. Ayrıca deprem üretebilen toplam 14795 km fay uzunluğunun % 72'si I.derece, % 19'u II.derece deprem bölgesinde kaldığı görülmektedir (Özmen ve arkadaşları, 1997).

Bu sayısal belirteçler ülkemizin aktif deprem kuşağında yer aldığı gerçeğini ortaya koymaktadır. Bu nedenledir ki bütün depremsellik büyüklüklerinin özenle araştırılıp ortaya çıkartılması ve irdelenmesi gereklidir.

Bu çalışmada aktif fayların tüm depremsellik büyüklükleri (büyüklük, şiddet, ivme, süre vb) bir sayısal örnek üzerinde incelenmiştir. Bu şekildeki bir düzenlemenin temel amacı, depremlerle birebir ilgili olan kamu yerel idare yetkilileri, mühendisler, arama ve kurtarma ekipleri için deprem olgusu ile ilintili karakteristik büyüklüklerin ve bu büyüklüklere göre de belirlenecek stratejilere temel olacak girdilerin önceden sağlıklı şekilde kestirilebilmesidir.

2.1 Sayısal Örnek

Arazi gözlemleri sonunda yeryüzünde $L=100$ km olarak kırılmamış bir aktif, doğrultu atımlı fay belirlenmiştir. Bu faya ait tüm depremsellik büyüklüklerinin kestirilmesi istenmektedir.

Temel veriler :

O Episanır (odak) ile yerleşim yeri arasındaki uzaklık $L_0=25$ km

O Episanır derinliği $h=10$ km (sığ deprem)

• Depremin olası moment büyüklüğü " M_w "

$$M_w = a + b \log L \quad (\text{Wells and Copper, 1994}) \quad (\text{Naeim, Kelly, 1999})$$

Doğrultu atımlı fay için,

$$a = 5.16$$

$$b = 1.12$$

Regresyonun a ve b büyüklükleri fayın türü (normal, doğrultu, ters atımlı) ile denetlenmektedir.

Data sayısı $n=43$ adet

Korelasyon katsayısı $r=0.91$

Standart sapma $S=0.28$

$L=100$ km

$$M_w = 5.16 + 1.12 \log 100 = 7.4$$

Ortalamanın alt ve üst değerleri ise

$$M_w = a + b \cdot \log L \pm S$$

' den hesaplanabilir. Örneğin ortalamanın alt değeri,

$$M_w = 5.16 + 1.12 \times \log 100 - 0.28 \approx 7$$

olarak kestirilebilir.

• Sismik momentin " M_0 " hesaplanması

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.7$$

$$7.4 = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.7$$

$$\log M_0 = 27.15 \rightarrow M_0 = 1.41 \times 10^{27} \text{ dyne.cm}$$

- Yüzey dalgalarına göre deprem büyüklüğünün kestirilmesi
 $\log M_0 = 1.33 M_S + 17.32$ (Bayrak ve Yılmaztürk, 1999)
 (Her iki büyüklük (M_0 , M_S) bağımlı alınarak elde edilmiş regresyon ifadesidir).

$$27.15 = 1.33 M_S + 17.32 \rightarrow M_S = 7.39$$

- Cisim dalga büyüklüğünün hesaplanması
 $M_b \approx 0.56 M_S + 2.9$ (Lillie, 1999)
 ampirik bağıntısından $M_S = 7.39$ için $M_b \approx 7$ bulunur.
- Değiştirilmiş Mercalli şiddet ölçeğine göre depremin şiddeti

$$M = 0.59 I_0 + 1.63$$
 (Tezcan, Acar ve Çivi, 1979)

$$7.4 = 0.59 I_0 + 1.63 \rightarrow I_0 = 9.8 \cong X$$

olarak tahmin edilir. Bu bağıntı ayrıca Pinter (1996) kaynağındaki

$$I_0 = 2xM - 4.6 = 2x7.4 - 4.6 = 10.2$$

bağıntısı ile de tahkik edilebilir.

- Fayın olası yırtılma (kırılma) alanının kestirilmesi
 $\log RA = a + b M_W$ (Wells and Copper, 1994) (Naeim, Kelly, 1999)

Doğrultu atımlı fay için

$$a = -3.42$$

$$b = 0.90$$

$$n = 83$$

$$r = 0.96$$

$$\text{Standart sapma } S = 0.22$$

$$\log RA = -3.42 + 0.90 \times 7.4 = 3.24$$

$$RA = 1737.8 \text{ km}^2$$

(Ezen, 1981) Kuzey Anadolu Fayında oluşan depremlerin istatistiksel değerlendirilmesi sonucunda

$$\log RA = 0.58 M_S - 1.05$$

ampirik bağıntısını teklif etmektedir. Tahkik amacıyla burada kullanıldığında,

$$\log RA = 0.58 \times 7.4 - 1.05 \rightarrow RA \cong 1746 \text{ km}^2$$

hesaplanabilir. Farklı iki yaklaşımın sonuçları üst üste düşmektedir.

- Fayın ortalama atımı – yeryüzünde fayın (kırık) yanal hareketinin ortalama değeri -
 $\log AD = a + b M_W$, AD (m) (Wells and Coppersmith, 1994) (Naeim, Kelly, 1999)

Doğrultu atımlı fay için $a = -6.32$, $b = 0.90$, $r = 0.89$

$$\log AD = -6.32 + 0.90 \times 7.4 = 0.34$$

$$AD = 2.188 \text{ m}$$

elde edilir.

Ezen (1981) kaynağında üretilen regresyon ifadesi kullanılırsa,

$$\log AD = 0.65 M_S - 2.43 = 0.65 \times 7.4 - 2.43 = 2.38 \rightarrow AD \cong 240 \text{ cm}$$

Hesaplanan büyüklük, ayrıca Aydan (1999, 1997) kaynağından kestirilen $AD = 2$ m değeri ile de uyum içindedir.

Hesapların kontrolü şöyle de yapılabilir. Sismik moment

$$M_0 = G \cdot AD \cdot RA$$

olup kayma modülü $G = 3.3 \times 10^{11} \text{ dyne/cm}^2$ (Brune, 1968), (Pinter, 1996) ve ilgili büyüklük dikkate alındığında

$$M_0 = 3.3 \times 10^{11} \times 218.8 \times 1.7378 \times 10^{13} = 1.254 \times 10^{27} \text{ dyne.cm}$$

hesaplanır ki diğer yoldan hesaplanan sismik moment değeri ($M_0 = 1.41 \times 10^{27} \text{ dyne.cm}$)

ile arasında % 11 kadar bir fark vardır. Böyle bir fark da mühendislik ön yaklaşımlarında kabul edilebilir bir düzeydir.

- Fay geometrik boyutlarından (uzunluk, ortalama yerdeğiştirme-atım) hareketle olası depremin büyüklüğünün kestirilmesi

King-Knopoff'un ampirik formülüne (Bonilla, 1970) göre,

$$M = 1.4 + 0.526 \log \left[L \cdot (AD)^2 \right] = 1.4 + 0.526 \log \left[10000000 \times (220)^2 \right]$$

(L ve AD (cm) boyutundadır).

$$M \cong 7.5$$

kestirilmektedir. Görüldüğü üzere birbirinden farklı yaklaşımların sonuçları merteye yakınsaklığı içinde hemen hemen aynıdır.

- Doğrultu atımlı faylar için sismik enerjinin miktarı

$$\log E_S = 1.36 M_S + 12.90 \quad (\text{Bayrak, Yılmaztürk, 1999})$$

'dan belirlenebilir. Değerler yerine koyulursa boşalan sismik enerjinin miktarı

$$\log E_S = 1.36 \times 7.39 + 12.90 = 22.95$$

$$E_S = 8.91 \times 10^{22} \text{ erg}$$

olarak kestirilebilir.

- Enerji / sismik moment karakteristik oranlarının hesaplanması

Sismoloji literatüründe "enerji/sismik moment oranı" önemli bir büyüklük olup depremin başlangıcında ve sonunda oluşan gerilmenin ortalaması " $\bar{\sigma}$ " ile ilintilidir. Buradan,

$$\frac{E_S}{M_0} = \frac{8.91 \times 10^{22}}{1.41 \times 10^{27}} = 6.319 \times 10^{-5}$$

bulunur ki bu değer Bayrak ve Yılmaztürk (1999)'un incelediği 12 adet doğrultu atımlı fay için rapor edilen 5.97×10^{-5} değeri ile çok uyumludur

- Depremin süresi – Kuvvetli yer sarsıntısının süresi-

$$t = 10^{\frac{M-2.5}{3.23}} \quad (\text{Watabe, 1977})$$

bağıntısından 32.9 sn olarak kestirilir. Bu değer Donovan (1973) ve Housner (1970) kaynaklarına göre kaynağına göre bulunan 30.4 sn ve 30 sn ile uyum içindedir.

- Maksimum yer ivmesinin yatay bileşeninin büyüklüğü

Episantr (odak) ile yöre/yapılar arasındaki uzaklık- efektif fay uzaklığı $L_0=25$ km ve episantr derinliği $h=10$ km için

$$\log a = -2.1 + 0.81 M - 0.027 M^2 \quad (\text{Gutenberg, 1956})$$

$$a = 1080 e^{0.5M} / (R + 25)^{1.32} \quad (\text{Donovan, 1973})$$

$$\log a = -0.87 + 0.217 M_S - \log R - 0.00117 R + 0.26P \quad (\text{Ambraseys ve Bommer, 1991, Penelis ve Kappos, 1997})$$

$$\log a = 0.329M - 0.00327 R - 0.792 \log R + 1.177 \quad (\text{Ambraseys, 1995, Ansal, 1997})$$

bağıntıları ile hesaplanmıştır.

Burada :

a = Maksimum yer ivmesinin yatay bileşeninin büyüklüğü (cm/sn²)

M = Deprem büyüklüğü –Richter ölçeğinde

M_S = Yüzeysel dalgalarına göre deprem büyüklüğü

L_0 = Episantr (odak) ile yöre / yapılar arasındaki uzaklık –efektif fay uzaklığı (km)

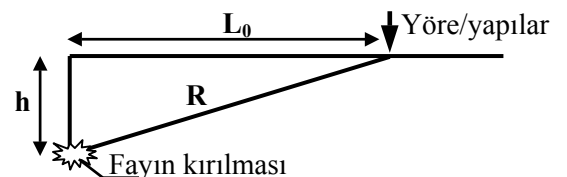
R = Hiposantir uzaklığı (km)

$$R = \sqrt{h^2 + L_0^2}$$

h = Episantr derinliği (km)

P = Faktör.

(% 50 olasılık için $P=0$, % 84 olasılık için $P=1$ alınacaktır))



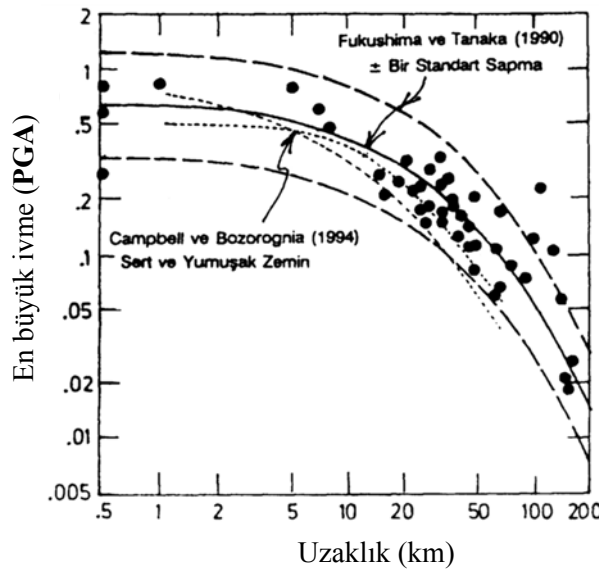
Kaynak bazında hesaplanan maksimum yer ivmesi değerleri aşağıdaki çizelgede topluca belirtilmiştir.

Kaynak	İvme (a) (cm/sn ²)
Gutenberg, 1956	260.3
Donovan, 1973	237.2
Ambraseys ve Bommer, 1991	341.1
Ambraseys, 1995, Ansal, 1997	245.2
Ortalama	270.95
Standart sapma (S)	47.7
Değişkenlik katsayısı (V)	% 17.6

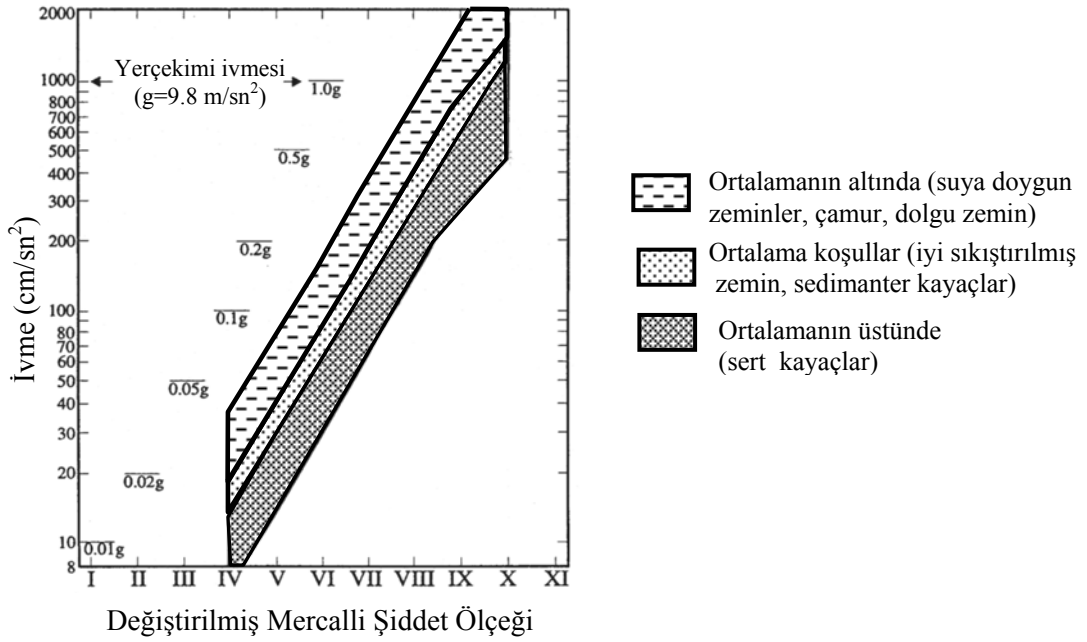
Yukarıdaki değerlerdeki değişkenlik katsayısının V= %17 mertebesinde olması hesaplardaki değişkenliğin oldukça uniform olduğunu ifade etmektedir.

Hesaplanan maksimum yatay ivme değeri, Aydınoglu, Erdik (1995) kaynağında (Şekil-1) Kobe, 1995 depreminde ölçülmüş maksimum yatay ivme-uzaklık değişiminden kestirilen değer olan ~ 290 cm/sn² ve kaya zeminler için Schnabel, Seed (1973) kaynağından L₀= 25 km için bulunan ~ 320 cm/sn² değerleri ile de keza uyum içindedir.

Leed (1973), Pinter (1996) kaynağında verilen değiştirilmiş Mercalli ölçeği ile ivme arasındaki ilişkiden (Şekil-2) I₀= 9.8 ≅ X (için kaya zeminler için maks. yatay ivmenin alt değeri 380 m/sn² olarak kestirilmektedir. Burada önemle belirtilmelidir ki, deprem şiddet ölçüsü subjektif bir büyüklük olduğundan şiddetten yola çıkılarak yapılacak yaklaşımlar çok dikkatle değerlendirilmelidir. Şekil-1 ve 2'den açıkça izlendiği gibi sismik yatay kuvvetin temel büyüklüğü olan yer ivmesinin büyüklüğü dalgaların yayıldığı ortamların jeomekanik özellikleriyle yakından denetlenmektedir. Aynı şiddet için kaya içindeki ivme değerinin taşıma kapasitesi az olan zeminlerde nasıl büyüdüğü Şekil-2'den görülmektedir.



Şekil 1 1995 Kobe Depreminde ölçülmüş maksimum yatay ivme değerlerinin uzaklıkla değişimi



Şekil 2 Zemin türü ve değiştirilmiş Mercalli şiddet ölçeğine göre maksimum yer ivmesi büyüklüğünün değişimleri

3. SONUÇ

Bu çalışmada aktif bir fayın -doğrultu atımlı- yaratacağı depreme ait deprensellik büyüklüklerinin önceden kestirilmesi konusu sayısal bir örnek üzerinde ayrıntılı bir şekilde irdelenmiştir. Depremin büyüklüğü olası fayın uzunluğu ile bağlantılı olurken aynı zamanda fayın türüne (normal atımlı, doğrultu atımlı, ters atımlı), diğer bir anlatımla fayın etrafındaki gerilme koşulları ile de yakından ilintilidir. (Canitez, 1969). Aletsel ölçüme dayalı deprem verilerinin toplanması ve değerlendirilmesi konusunun tarihçesi yenidir. Ayrıca aletsel verilerin ölçülmesi ve hesaplanması da belirli "hata payları" taşımaktadır. Depreme ilişkin yapılacak tüm analiz ve değerlendirmelerde doğruya en yakın sonuçların üretilmesi açısından "istatistik matematiği"nin belirttiği \pm hata payları da özenle gözönünde tutulmalıdır.

TEŞEKKÜR

Deprem mühendisliği konusunda geniş bilgi ve deneyimlerinden yararlandığımız Yapı Merkezi Holding Yönetim Kurulu Başkanı Dr.Müh. Ersin ARIOĞLU ve Başkan Vekili Y.Mim. Köksal ANADOL'a teşekkür ederiz. Makalede ileri sürülen görüşler tümü ile yazarlara aittir, ilgili kurumları bağlamaz.

KAYNAKLAR

- Aydan, Ö** "A Preliminary Investigation of Kocaeli Earthquake of August 17, 1999", Turkish Earthquake Foundation, TDV /DR 007-43, Eylül 1997.
- Aydan, Ö** "The Seismic Characteristics and The Occurance Pattern of Turkish Earthquakes", Turkish Earthquake Foundation, TDV /TR 97-007, 1997.
- Aydinoğlu, N, Erdik, M** "17 Ocak 1995 Kobe Depremi Gözlem ve Değerlendirme Raporu" Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Nisan 1995.
- Ansal, A** "İstanbul İçin Tasarım Deprem Özelliklerinin Belirlenmesi", Prof.Dr.Rifat Yarar Semp., Aralık, 1997, s.233-244.
- Bayrak, Y, Yılmaztürk A.** "Türkiye ve Civarında Sismik Moment ve Gerilim Dağılımı" Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, No 21, 1999, s.1-15.

- Bonilla, M.G** Surface Faulting and Related Effects, Chapter.3 , *Earthquake Engineering* (Ed : Robert L.Wiegel), Prentice-Hall.Inc, Englewood, 1970.
- Canitez, N.** “Türkiye ve Civarında Deprem Odak Hareketleri ve Gerilme Dağılımları” İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1969.
- Ezen, Ü** “Earthquake-Source Parameters Related to Magnitude Along the North Anatolian Fault Zone” Bulletin of the Int.Inst of Seismology and Earthquake Engineering, Japan, Vol.19, 1981., pp.33-55.
- Housner, G.W** Strong Ground Motion, Chapter : 4 , *Earthquake Engineering* (Ed : Robert L.Wiegel), Prentice-Hall.Inc, Englewood, 1970.
- Lillie, R.J** *Whole Earth Geophysics*, Prentice Hall, New Jersey, 1999.
- Naem, F ,Kelly J.M** *Design of Seismic Isolated Structures*, John Wiley & Sons Inc, New York, 1999.
- Özmen, B, Nurlu, M, Güler H** *Coğrafi Bilgi Sistemi İle Deprem Bölgelerinin İncelenmesi*, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara,1997.
- Penelis, G, Kappos, A.J** *Earthquake Resistant Concrete Structures*, E&FN Spon, London, 1997.
- Pinter, N** *Exercises in Active Tectonics*, Prentice Hall, NJ, 1996.
- Tezcan, S., Acar, Y, Çivi A** “İstanbul İçin Deprem Riski Analizi” Boğaziçi Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Mart 1979.