

EN BÜYÜK OLASILIK YÖNTEMİ İLE KUZEY ANADOLU FAY ZONU'NDA DEPREM RİSKİNİN BELİRLENMESİ

Estimation of Seismic Risk for the North Anatolian Fault Zone by Maximum Likelihood Method

Ömer ALPTEKİN*^{***} Ali Osman ÖNCEL* ve Ahmet YÖRÜK**

ÖZET

Tamam ve eksik kataloglardan deprem risk parametreleri, en büyük bölgesel magnitüd M_{max} , etkinlik oranı λ ve Gutenberg-Richter bağıntısındaki b parametresinin hesaplanmasında en büyük olasılık yöntemi geniş bir biçimde kullanılmaktadır. Bu amaçla, Kijko ve Sellovoll'un (1987) geliştirdiği yöntem, farklı magnitüd sınır değerli değişik niteliklerdeki eksiksiz kataloglarla, sadece büyük depremlerin yereldiği eksik katalogların ayrı ayrı veya birlikte kullanılmasına olanak tanımaktadır. Bu yöntemle göre, deprem magnitüdü belirsizliği, alt ve üst magnitüd limitleriyle sınırlandırılarak, gerçekte bilinmeyen magnitüdün bu aralıkta olduğu varsayılır. Böylelikle, farklı niteliklerdeki katalogların birleştirilmesi gerçekleştirilir.

Bu çalışmada, yukarıdaki yaklaşım ile Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) 24.00°-30.00°E, 31.00° - 40.00°E, 40.00° -45.00°E boylamları arasındaki bölümleri için tarihsel dönem (1000-1900) ve aletsel dönem (1900-1984) deprem kataloglarından yararlanılarak deprem risk parametreleri hesaplanmıştır. Belirtilen bölgeler için "b" değeri, 0.79, 0.75, 0.75; $\lambda_{4.2}$ değeri 3.51, 1.64, 2.20; beklenen en büyük magnitüd değerleri, 7.5, 8.3, 7.6, olarak belirlenmiştir. Burada $\lambda_{4.2}$, 4.2 ve daha büyük magnitüdü depremlerin yıllık oluşum sayısını göstermektedir.

Bu sonuçlara ve bu sonuçlara dayanan yinelenme dönemlerine göre belirtilen bölgeler karşılaştırılırsa, KAFZ'nun 31°-40°E boylamları arasındaki bölümde büyük ve yıkıcı depremlerin görece daha çok, küçük depremlerin ise görece daha az sayıda olduğu ve en büyük depremlerin geçmişte olduğu gibi gene bu bölümde olacağı anlaşılmaktadır. Diğer iki bölümde, görece küçük magnitüdü ($M < 6.0$) depremlerin oluşturduğu sismik etkinlik bulunmaktadır.

ABSTRACT

The maximum likelihood method has been extensively used to determine the seismic risk parameters M_{max} , activity rate λ , and the b value of the Gutenberg-Richter magnitude-frequency relation. Kijko and Sellovoll (1987) developed a method which incorporates the use of complete and incomplete earthquake data with uncertainties in magnitudes. We used this approach to estimate the seismic risk parameters for the 24.00°-30.00°E, 31.00°-40.00°E, 40.00°-45.00°E sections of the North Anatolian Fault Zone (NAFZ), from historical data between 1000-1900, and instrumental data between 1900-1984. Estimated b-values are 0.79, 0.75 and 0.75; $\lambda_{4.2}$ values are 3.51, 1.64 and 2.20; and the expected maximum magnitudes are 7.5, 8.3 and 7.6 for the above regions, respectively. $\lambda_{4.2}$ means the yearly number of earthquake occurrence with magnitudes equal to 4.2 or greater. These results, and the return times based on these results, indicate that relatively larger earthquakes are expected in the 31.00°-40.00°E section of the NAFZ in comparison with the other sections. Relatively smaller magnitude earthquakes occur more frequently in the other two sections.

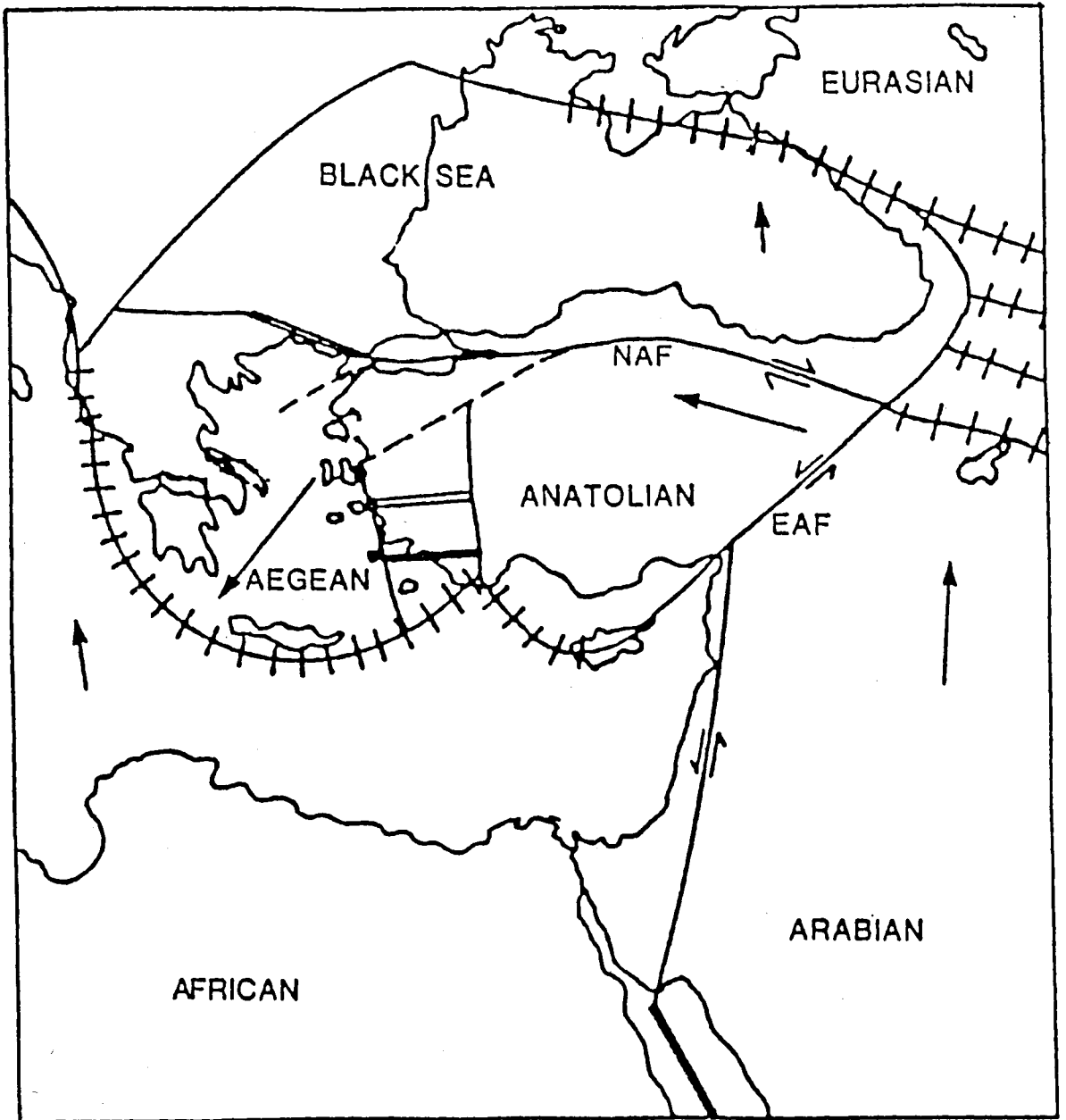
* İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 34850 Avcılar, İstanbul

** TÜBİTAK, Marmara Araştırma Merkezi Yerbilimleri Bölümü, P.K. 21, 41470 Gebze, Kocaeli.

GİRİŞ

Levha tektoniği kuramının gelişimi tektonik depremlerin oluş mekanizmalarının açıklanmasında yeni adımlar atılmasını sağlamış ve yerküremizin önemli tektonik yapılarının özellikleri daha iyi anlaşılmasına başlanmıştır. Levha tektoniği kuramı Türkiye ve çevresinin veya daha geniş bir anlamda Doğu Akdeniz ve çevresinin tektoniğinin açıklanmasında da kullanılmaya çılmış ve bu amaçla çeşitli levha tektoniği modelleri önerilmiştir (McKenzie 1972, Alptekin 1978, Ketin 1976, Şengör 1979). McKenzie (1972) tarafından önerilen model Şekil 1 de gösterilmiştir.

Bu modele göre, Türkiye ve çevresindeki güncel tektonik hareketler temel olarak Afrika, Avrasya, Arabistan ve Ege-Anadolu levhalarının bağıl hareketleri ile açıklanabilmektedir. Afrika Levhası kuzeye doğru hareketle Doğu Akdeniz'de Ege-Anadolu Levhasının altına dalarak Girit yayı ve Kıbrıs yayı adlarını verdiği yitim zonlarını oluşturmuştur. Batı Anadolu'da ise yaklaşık kuzey-güney doğrultulu bir tansiyon düzeni sürmekte olup, yaklaşık doğu-batı doğrultulu graben sistemleri üzerindeki normal faylanmalar ile etkinlik göstermektedir. Arabistan Levhasının kuzeydoğuya doğru hareketi ile Avrasya ve Arabistan Levhaları arasında sıkışmış



Şekil 1. Doğu Akdeniz ve çevresinin güncel tektoniğini açıklayan levha tektoniği modeli (McKenzie 1972).

Fig. 1. Plate tectonics model of McKenzie (1972) explaining the active tectonics of eastern Mediterranean and the surrounding area.

durumda kalan Anadolu Levhası batıya doğru hareket ederek bu sıkışma bölgesinden kaçmaya çalışmaktadır. Bu olay Şengör ve diğ. (1985) tarafından "tektonik kaçış" diye adlandırılmıştır. Bu tektonik düzen altında Kuzeydoğu Anadolu Bloku da doğuya doğru kaçmaya çalışmaktadır. Bu nedenle, Doğu Anadolu karmaşık bir tektonik yapı göstermekte, hem yatay doğrultu atımlı hem de düşey ters atımlı faylanmalar görülmektedir. Ege-Anadolu Levhasının kuzey sınırını oluşturan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) sağ-yönlü doğrultu-atımlı hareketler göstermektedir. Ege-Anadolu Levhasının güneydoğu sınırını ise sol-yönlü doğrultu-atımlı hareketler ile belirginleşen Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ) oluşturmaktadır.

Bu çalışmada KAFZ'nunda (1000-1900) yılları arasındaki tarihsel dönem ve (1900-1984) yılları arasındaki aletsel dönem deprem kataloglarından yararlanılarak deprem risk parametreleri, M_{max} maksimum bölgesel magnitüd, λ etkinlik oranı ve Gutenberg-Richter bağıntısının b-parametresi hesaplanmıştır. Bu amaçla, Kijko ve Sellovoll'un (1987) geliştirdiği, tamam ve eksik katalogların birlikte değerlendirilmesine olanak veren bir yöntem kullanılmıştır. Yöntemin tanıtımına geçmeden önce, KAFZ'nun tektonik özellikleri ve depremselliğinin özetlenmesi yararlı olacaktır.

KAFZ'NUN TEKTONİK ÖZELLİKLERİ VE DEPREMSELLİĞİ

Alpin Deprem Kuşağı'nın ve Türkiye'nin en önemli kırık zonunu oluşturan KAFZ, doğuda Karlıova'dan başlayarak Adapazarı'nın batısına kadar uzanmaktadır. Karlıova'nın doğusundaki ve Adapazarı'nın batısındaki uzanımları çok iyi anlaşılabilmiş olmamakla birlikte sağ-yönlü doğrultu-atımlı hareketlerin bu sınırların ötesinde de devam ettiği son yıllarda meydana gelen depremlerin odak mekanizmalarından anlaşılmaktadır (Jakson ve McKenzie 1984).

KAFZ'nun tektonik özellikleri ile ilgili olarak değişik araştırmacılarca değişik sonuçlar elde edilmiştir. Ambraseys'e (1970) göre fay zonu toplam uzunluğu 1000 km, Allen'e (1980) göre 1100 km civarındadır. Ancak, son yıllarda fay zonu doğu ve batı uzanımları ile ilgili çalışmalar gözönüne alındığında, fay zonu doğuda Karlıova'nın ötesinde Van Gölü'nden başlayarak batıda Marmara Denizi'ni geçip kuzey Ege Denizi'ne kadar uzandığı ve toplam uzunluğunun Barka ve Kadinsky-Cade'e (1988) göre 1500 km yi Ketin'e (1976) göre de 1600 km yi bulduğu ileri sürülmektedir. Barka ve Kadinsky-Cade (1988) fay zonu Adapazarı'nın batısında üç kola ayrılarak Marmara Denizinin kuzeyinden ve güneyinden geçtiğini ve kuzey Ege Denizi'ne kadar uzandığını belirtmişlerdir (Şekil 2 ve 3). Bununla birlikte, fay zonu ancak 31°E ve 41°E boylamları arasında morfolojik olarak iyi bir şekilde tanımlanabilmektedir (Allen 1969).

KAFZ'nun yaşı Miyosen'den Pliyosen'e kadar değişmektedir (Barka ve Kadinsky-Cade 1988). Ketin'in (1969) gözlemlerine göre KAFZ'nun yaşı, Pliyosen'den genç ve en çok Miyosen olup, Erzincan'dan Marmara Denizi'ne kadar olan kesimde değişmektedir.

KAFZ boyunca yerdeğiştirmenin jeolojik gözlemlere göre 0.5 - 0.8 cm/yıl, sismolojik gözlemlere göre ise 1-1.1 cm/yıl olduğu ileri sürülmüştür (Barka ve Kadinsky-Cade 1988). Jackson ve McKenzie'ye (1988) göre fay zonu 30.00°E ile

41.00°E boylamları arasındaki bölümünde yerdeğiştirme 3.1 cm/yıl dır. KAFZ boyunca toplam yerdeğiştirme Pavoni'ye (1961) göre 400km, Tokay'a (1973) göre 60-80 km, Seymen'e (1975) göre ise 85-90 km civarındadır.

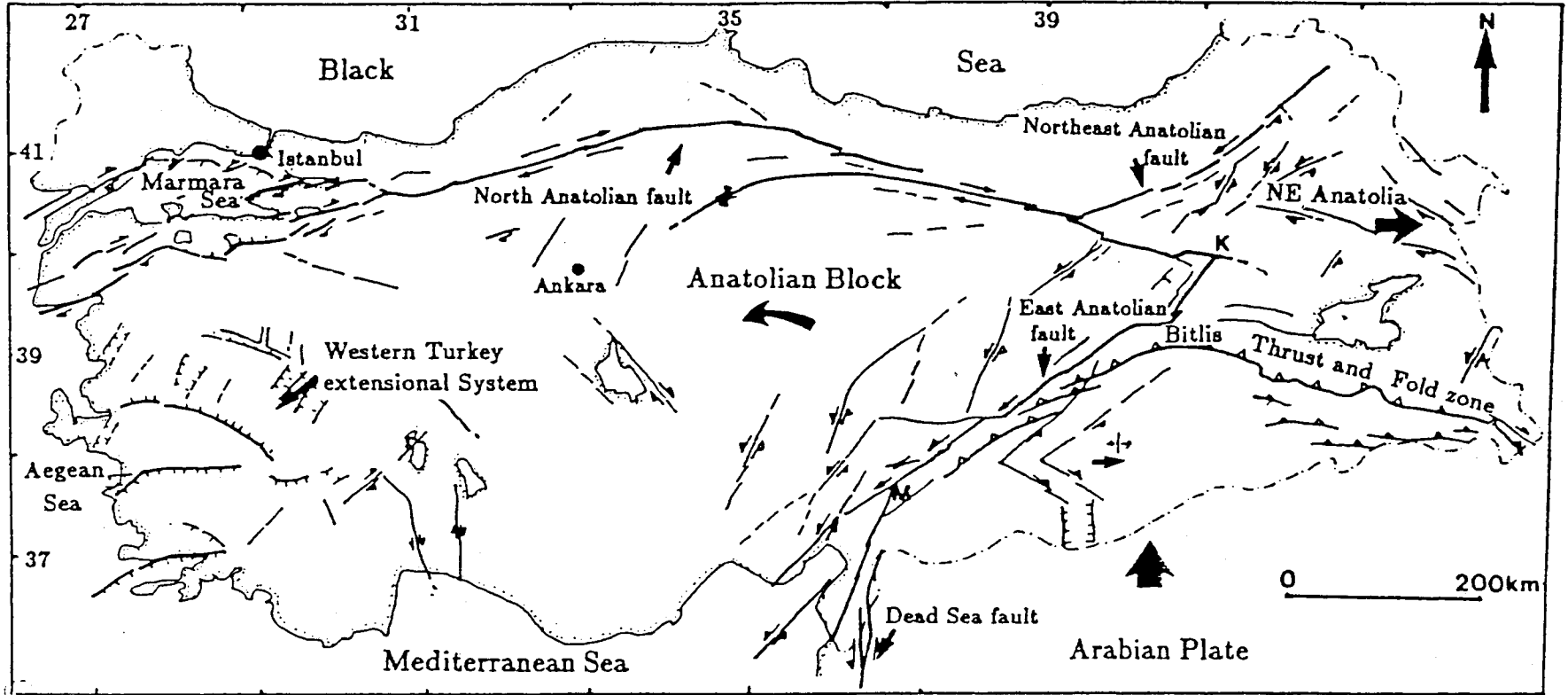
KAFZ'da zaman içinde düzenlilik gösteren bir depremsellik görülmektedir. Şekil 4 de gösterilen Türkiye ve çevresinin M.Ö. 2100 ile M.S 1984 yılları arasındaki depremsellik haritasına KAFZ etkin ve belirgin bir sismik zon olarak dikkati çekmektedir.

Günümüze değin elde edilen odak-mekanizması çözümleri sağ-yönlü doğrultu-atımlı faylanmadan normal faylanmaya kadar çeşitlilik göstermektedir. (Canitez ve Üçer 1967, McKenzie 1972). 1939 yılından beri fay zonunda sismik etkinlik büyük depremlerle sürmektedir (Şekil 5). Magnitüdüleri (Ms) 6-8 arasında değişen 7 deprem ile fayın 30.60°E ile 39.80°E boylamları arasındaki yaklaşık 800 km lik bir kısmı yırtılmıştır (Allen 1969). KAFZ'da 1939 ile 1967 yılları arasında oluşan magnitüdüleri 7 veya daha büyük depremlerde yeryüzünde gözlenebilen fay parçalarının boyları 40 km ile 340 km arasında değişmektedir (örneğin, 1939 Erzincan Kelkit vadisi depremi). Gözlenebilen sağ-yönlü yatay atım değerleri 1.5 m ile 4.3 m arasında (örneğin, 1953 Yenice-Gönen depremi), düşey atım değerleri ise 0.40 m ile 2 m arasında (örneğin, 1939 Erzincan depremi (Ketin 1976)) değişmektedir. Neojen'deki toplam yerdeğiştirme miktarı Şengör'e (1979) göre 85 km dir.

KAFZ'da depremsel olmayan davranış da gözlenmiştir (Aytun 1972). KAFZ dünyada, krip davranışı gösterdiği bilinen iki faydan birisidir (diğeri California'daki San Andreas fayıdır). Krip olayı Çankırı bölgesi İsmetpaşa'da gözlenmiştir. Gözlenen en büyük krip oranı yaklaşık 1-1.5 cm/yıl dır. İsmetpaşa yakınlarında 1.2.1944 ve 13.8.1951 depremleri ile ilgili yerdeğiştirmeler olmuştur. Ancak, 1944 depreminden sonra 1951 e kadar sismik olmayan kayma (krip) oluşmuştur. Dewey'e (1976) göre 1944 ile 1950 arasında 30 cm lik krip oluşmuştur. 1951 depremindeki kayma miktarı bilinmemektedir. 1959-1969 arasındaki krip 12 cm, 1969-1971 arasındaki krip 2 cm, Ağustos 1971 ile Mayıs 1972 arasındaki krip miktarı ise 2.1 cm dir (Dewey 1976). Diğer zaman aralıklarındaki krip miktarlarını yansıtabilecek yayınlanmış gözlemler bulunmamaktadır.

KAFZ'nun depremselliği ile ilgili tartışılan konulardan birisi de büyük depremlerin odak güçleridir. Ketin (1969), Ambraseys (1970), Dewey (1976), Toksöz ve diğ. (1979), İke da ve diğ. (1991) gibi araştırmacılar özellikle 1939 Erzincan depreminden sonra büyük depremlerin odaklarının batıya doğru göç ettiklerini savunmuşlardır. Toksöz ve diğ. (1979) gözlenen deprem göçü esnasında kırılmayan bölümlerin sismik boşluk oluşturduklarını (örneğin Adapazarı yakınlarında) ve ileride kırılacaklarını ileri sürmektedirler.

Yukarıda sözü edilen göç olayı bu çalışmaya da konu olmuştur. Bu amaçla 1900-1992 yılları arasında oluşan $M \geq 6.5$ magnitüdü depremlerin oluş sırasına göre episantrlarının dağılımı incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 6 da özetlenmiştir. Bu şeklin incelenmesinden anlaşıldığına göre, deprem episantrları bir yöne doğru göç etmekten çok, doğu-batı boylamları arasında salınımlar yaparak batıya doğru kaymaktadırlar. 13 Mart 1992 Erzincan ve 15 Mart 1992 Plümür depremleri bu salınımların devam ettiğine işaret etmektedirler.



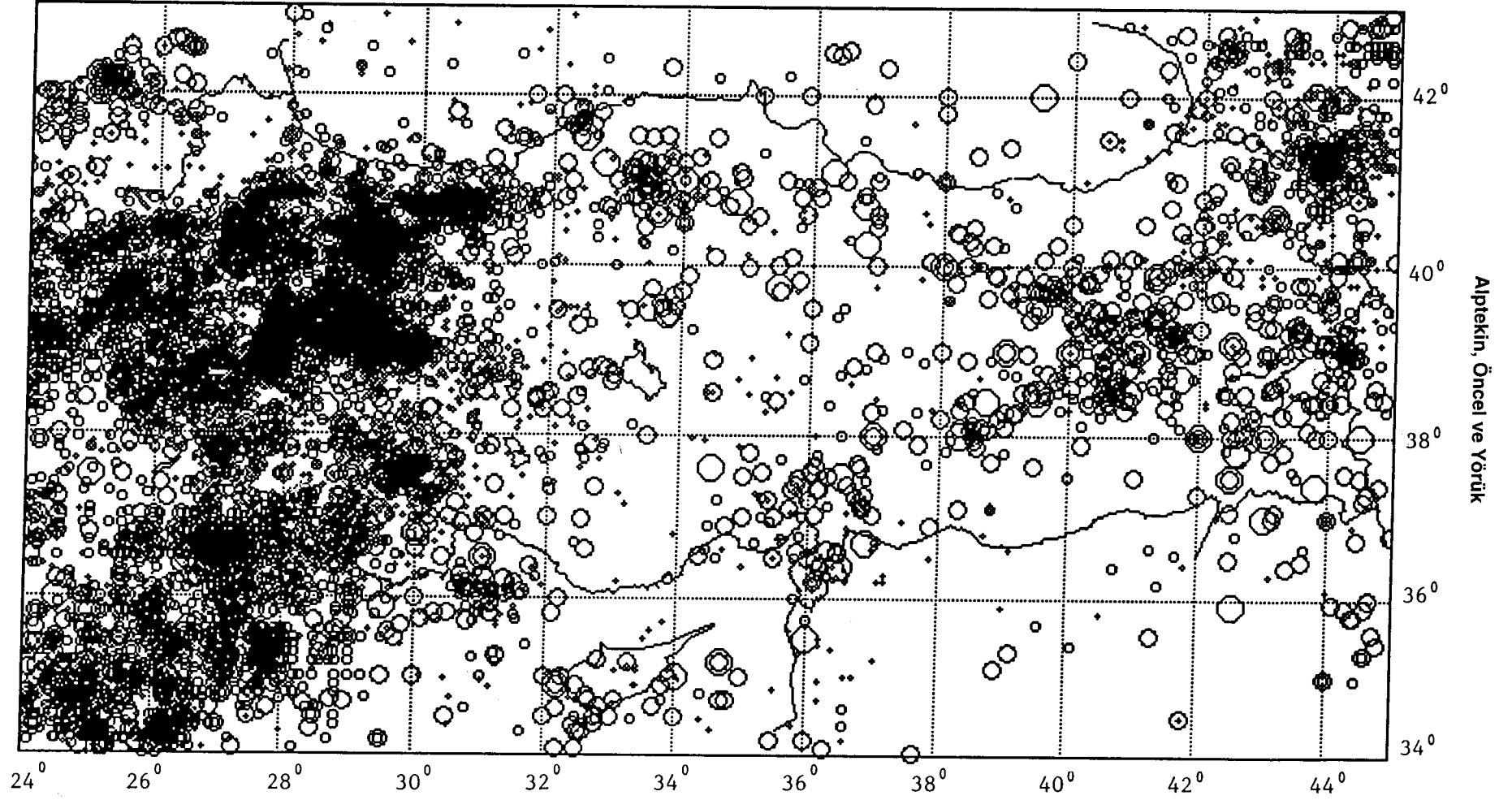
Şekil 2. Türkiye'nin ana tektonik birimleri ve KAFZ'nun doğu ve batı uzanımları (Barka ve Kadinsky-Cade 1988).

Fig. 2. Major tectonic structures of Turkey, and the eastern and the western extensions of the NAFZ (Barka and Kadinsky-Cade 1988).



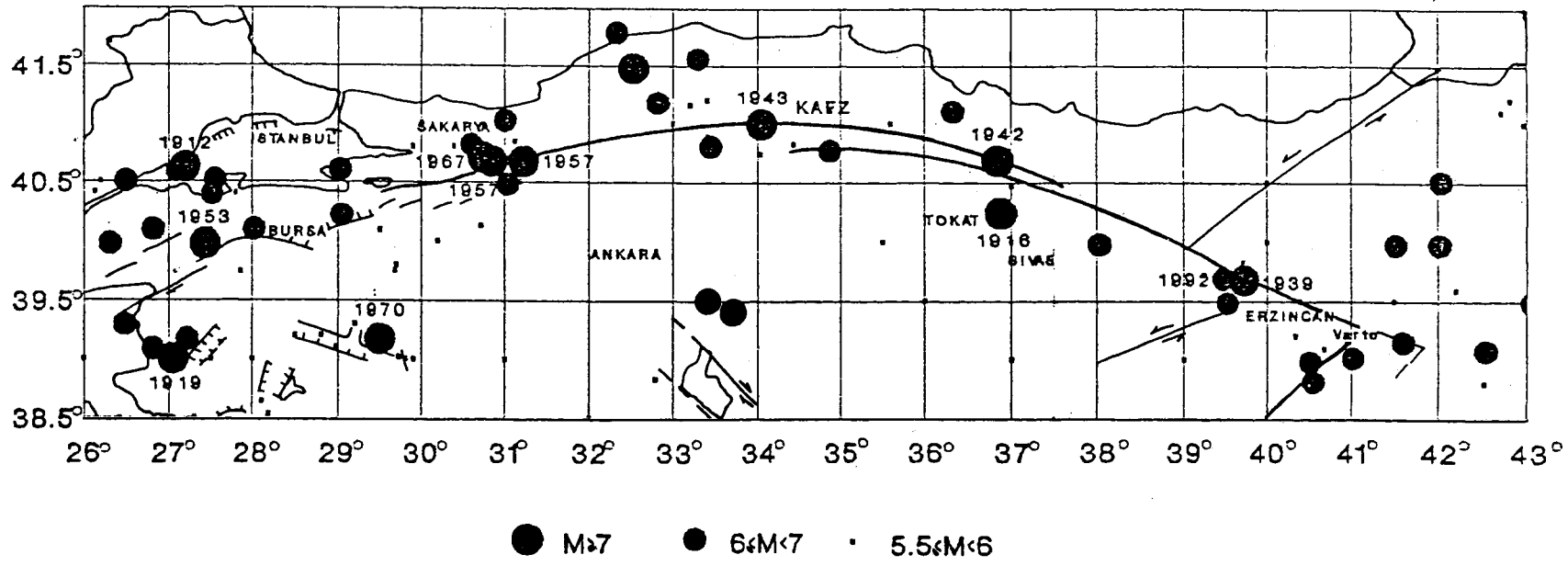
Şekil 3. KAFZ'nun Marmara Bölgesi ve kuzey Ege Denizi'ndeki uzanımları (Barka ve Kadinsky-Cade 1988).

Fig. 3. Extensions of the NAFZ into the Marmara and the northern Aegean Sea regions (Barka and Kadinsky-Cade 1988).

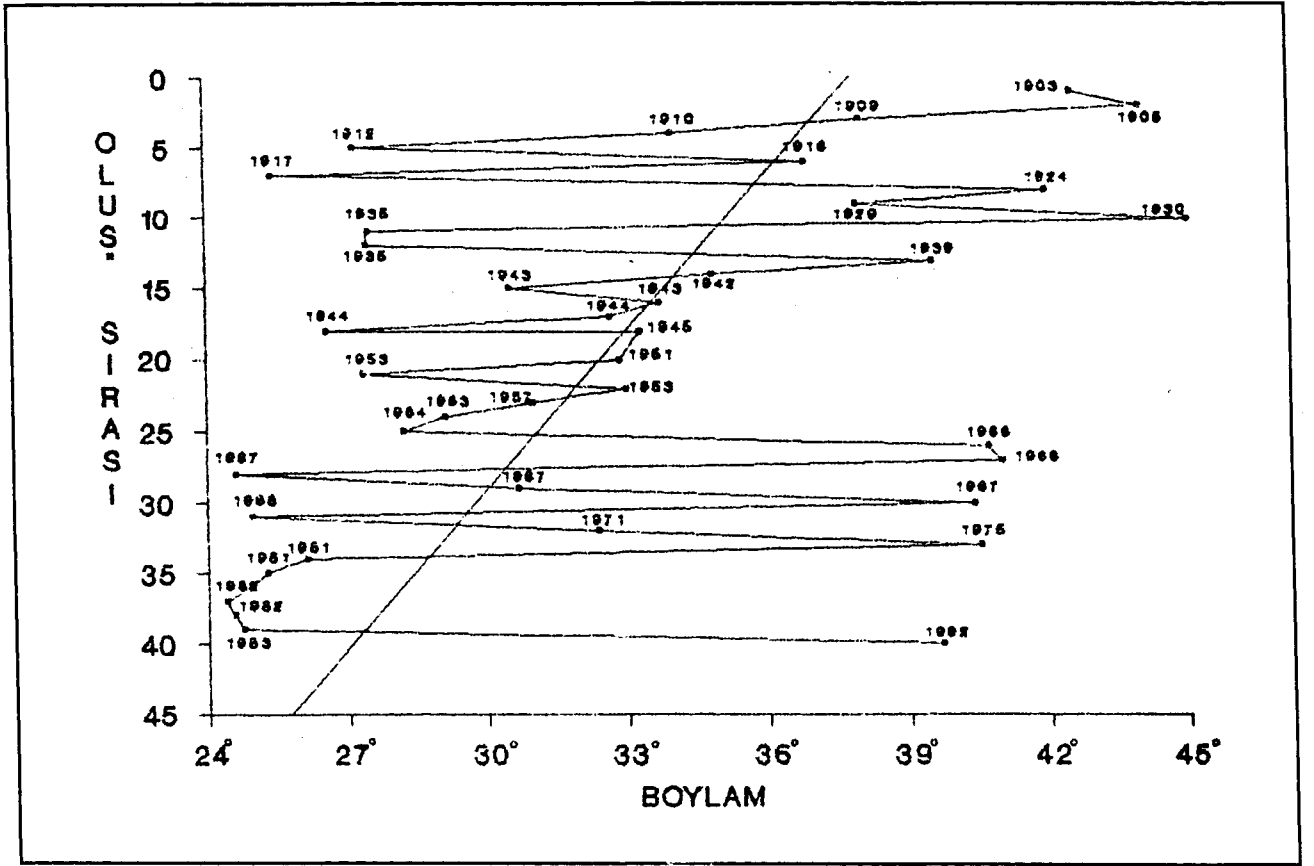


Şekil 4. Türkiye ve çevresinin depremselliği (M.Ö. 2100 - M.S. 1984).

Fig. 4. Seismicity of Turkey and the surrounding area (B.C. 2100 - A.D. 1984).



Şekil 5. KAFZ'da 1900 yılından beri oluşan büyük depremlerin episantırları.
Fig. 5. Epicenters of large earthquakes that occurred on the NAFZ since 1900.



Şekil 6. KAFZ'da aletsel dönemde (1900-1992) oluşan büyük depremlerin göç özellikleri.

Fig. 6. Miration of large earthquakes on the NAFZ in the instrumental period (1900-1992).

KAFZ'DA DEPREM RİSKİNİN BELİRLENMESİ

Kullanılan yöntemin esasları

Eksik kataloglardan deprem oluşum parametrelerinin kestirimine ilişkin yayımlar oldukça fazla olmakla birlikte (Lee ve Brillinger 1979, Wiechert 1980, Campbell 1982, Dong ve diğ. 1984, Kijko ve Sellovoll 1986, Kijko ve Dessokey 1987), magnitüd belirsizlikleriyle ilgili literatür oldukça sınırlıdır (Kijko 1988). Bu çalışmada kullanılan yöntem, eksik ve magnitüde belirsizlikler bulunan deprem kataloglarından sismik risk parametreleri, M_{max} bölgesel en büyük magnitüd, λ etkinlik oranı ve Gutenberg-Richter bağıntısının b-parametresinin hesaplanabilmesine olanak verir. Katalogun iki kısma bölünebileceği kabul edilirse; birinci kısım tarihsel depremler hakkında bilgiyi, ikinci kısım ise değişebilen magnitüd sınırlarındaki tam veriyi içerir. Şekil 7 de gösterildiği gibi her deprem için magnitüdü \bar{x} alt (\underline{x}) ve üst (\bar{x}) limitleri tanımlanır. Böyle bir aralığın $\leq \underline{x}, \bar{x}$ düzgün olarak ölçülmüş olduğu varsayılarak, bilinmeyen gerçek magnitüdü (x) içerdiği düşünülmektedir (Kijko 1988). Veri kümesinde herhangi bir deprem için gözlenen görünür magnitüd, gözlem hatalarından dolayı, doğruluğu tam olarak bilinmeyen magnitüden farklıdır.

Kullanılan yöntemde deprem oluşumunun bir Poisson süreci (Lomnitz 1974, Gardner ve Knopoff 1974) olduğu varsayılır. Yani, T zaman aralığında n depremin oluşma olasılığı,

$$P(n) = \frac{\exp(-\lambda T)(\lambda T)^n}{n!} \quad (1)$$

ile verilmiştir. λ , magnitüdü M_{min} 'a eşit veya daha büyük olan depremlerin oluş nisbeti, yani etkinlik oranıdır.

Ayrıca, χ ile verilen deprem magnitüdü bir rasgele değişkendir ve iki taraftan kesilmiş bir üstel dağılımı gösterir (Page 1968, Cosentino ve diğ. 1977):

$$F(\lambda/m) = [A_1 - A(\chi)] / (A_1 - A_2), \quad M \leq \chi \leq M_{max} \quad (2)$$

Burada,

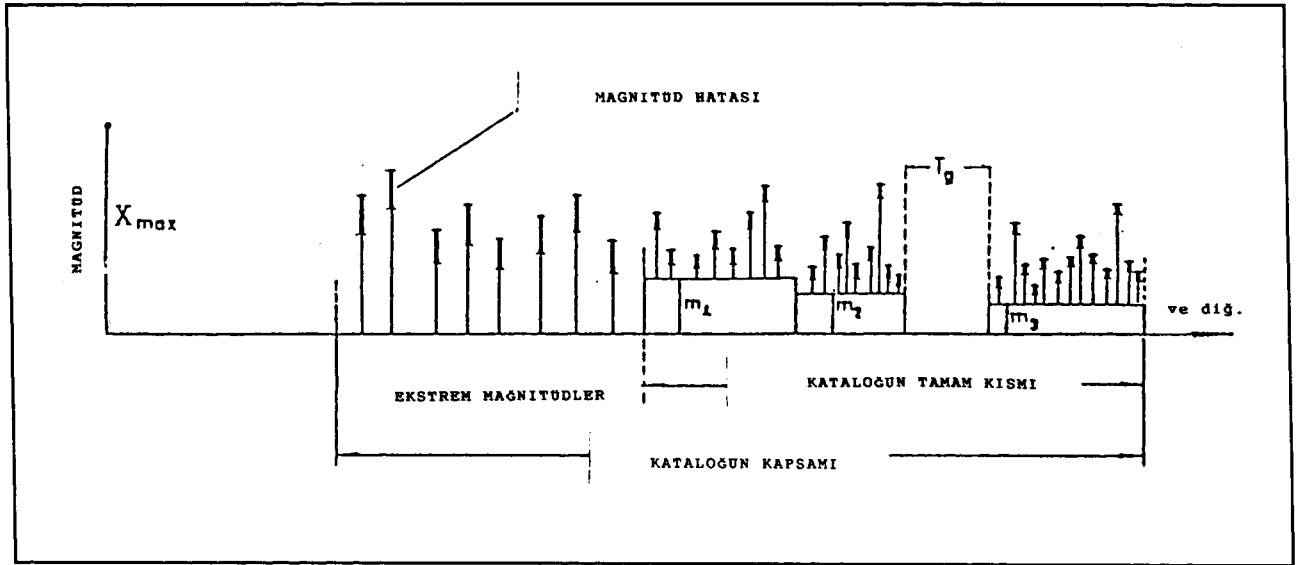
$$A_1 = \exp(-\beta m)$$

$$A_2 = \exp(-\beta M_{max})$$

$$A(x) = \exp(-\beta \chi)$$

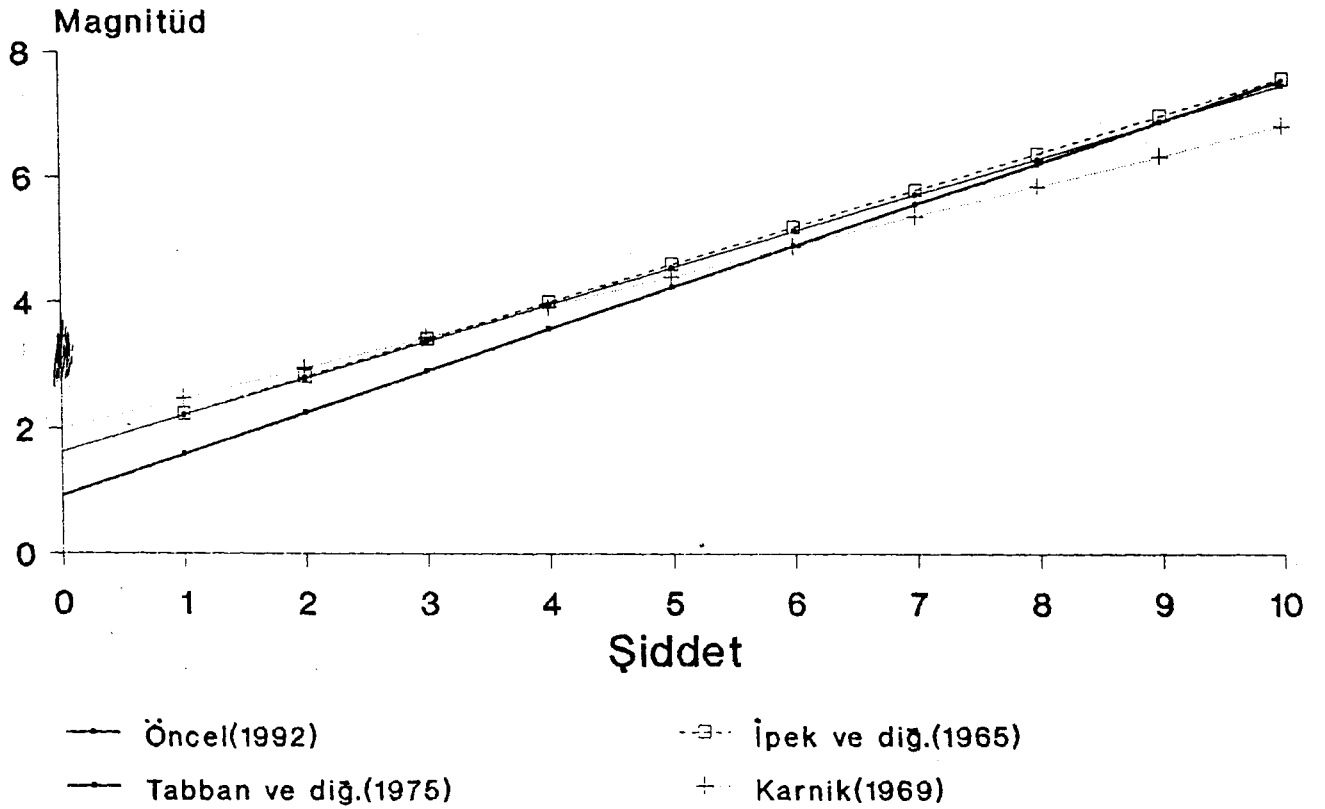
ile verilirler. M_{max} beklenen maksimum bölgesel magnitüd, m bilinen kesme magnitüd, β ise $\beta = b \ln 10$ olup, b Gutenberg-Richter bağıntısının parametresidir. Belirlenmesini istediğimiz depremsellik parametreleri $\theta = (\beta, \lambda)$ ve M_{max} dır.

t gibi bir zaman aralığında hiçbir deprem oluşmaması veya oluşan depremlerin magnitüdü χ magnitüdü geçmemesi olasılığı



Şekil 7. Deprem kataloğunun kapsamının ve özelliklerinin şematik gösterimi.

Fig. 7. An illustration of the properties of the earthquake catalog.



Şekil 8. Türkiye depremleri için önerilen şiddet-magnitüd bağıntıları.

Fig. 8. Intensity - magnitude relations for earthquakes in Turkey.

$$G(\chi/m_0, t) = \exp(-v_0 t [1 - F(\chi/m_0)]) \quad (3)$$

bağıntısı ile verilir (Epstein ve Lomnitz 1966, Benjamin ve Cornell 1970, Gan ve Tung 1983). Burada, $v_0 = \lambda [1 - F(m_0/m_{\min})]$ olup, m_0 kataloğun eksik kısmının kesme magnitudü, m_{\min} ise tüm kataloğun kesme magnitudüdür ve $m_0 \geq m_{\min}$ olduğuna açıktır. Limit halinde bu dağılım çok iyi bilinen Gumbel ekstrem dağılımına indirgenir. (3) bağıntısından yararlanılarak, t zaman döneminde oluşan en büyük depremin magnitudünün \underline{x} ve \bar{x} magnitudüleri arasında bulunma olasılığı,

$$P(\underline{x}, \bar{x} / m_0, t) = G(\bar{x} / m_0, t) - G(\underline{x} / m_0, t) \quad (4)$$

ile verilir. (4) denkleminde yararlanılarak kataloğun ekstrem kısmı (eksik kısmı) için olabilirlik fonksiyonu aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$L_0(\theta / \chi_0) = \text{Sabit} \prod_{i=1}^{n_0} p(\underline{x}_{oi}, \bar{x}_{oi} / m_{oi}, t_i) \quad (5)$$

(5) denklemi için gerekli giriş verisi \underline{x}_{oi} ve \bar{x}_{oi} yani t_i zaman aralığında kataloğun ekstrem kısmı (eksik kısmı) için alt ve üst magnitud sınırlarıdır. $i=1, \dots, n_0$ olup, n_0 kataloğun ekstrem kısmındaki deprem sayısıdır. Kolaylık amacıyla, magnitud sınırları boyutları $n_0 \times 2$ olan $x_0(x_0 = \{ \underline{x}_{oi}, \bar{x}_{oi} \} | i=1, \dots, n_0)$ dizeyinde gruplandırılırlar (Marza ve Kijko 1992), Sabit, θ dan bağımsız bir düzeltme sabitidir.

Şimdi kataloğumuzun tamam kısmının Şekil 7 deki gibi alt kataloglara bölünebileceğini düşünelim. Herbir alt katalog T_i zaman aralığını kapsamakta olup, bilinen kesme magnitudü m_i ($i=1, \dots, s$) den itibaren tamdır. $x_i(x_i = \{ \underline{x}_{ij}, \bar{x}_{ij} \} | j=1, \dots, n_i)$ vektörleri alt ve üst magnitud sınırlarını göstermektedir. s, altkatalogların sayısı olup, n_i herbir alt katalogdaki depremlerin sayılarıdır. Depremlerin büyüklükleri oluş sayılarından bağımsız ise, herbir altkatalog için θ ya bağlı olabilirlik fonksiyonu iki fonksiyonun çarpımı şeklinde yazılabilir;

$$L_i(\theta / x_i) = L_{\beta}(\beta / x_i) L_{\lambda}(\lambda / x_i) \quad (6)$$

$i=1, \dots, s$ dir.

(2) denklemine göre bir depremin magnitudünün \underline{x} , x aralığında bulunması olasılığı,

$$p(\underline{x}, \bar{x} / m) = F(\bar{x}/m) - F(\underline{x}/m) \quad (7)$$

dir. (7) denkleminde

$$L_{\beta}(\beta / \chi_i) = \text{Sabit} \prod_{i=1}^{n_i} p(\underline{x}_{ij}, \bar{x}_{ij} / m_i) \quad (8)$$

yazılabilir.

Birim zamandaki deprem sayısının Poisson dağılımı gösteren bir rasgele değişken olduğu varsayımından

$$L_{\lambda}(\lambda | \chi_i) = \text{Sabit} \exp(-v_i T_i) (v_i T_i)^n \quad (9)$$

yazılabilir. Burada $v_i = \lambda [1 - F(m_i/m_{\min})]$ ve λ , tüm kataloğun kesme magnitudü m_{\min} 'e karşılık gelen etkinlik oranıdır. m_{\min} , eksik ve tamam kataloğun ve altkatalogların kesmemagnitudlerinden küçük olacak şekilde seçilir. Yani, $m_{\min} \leq \text{MIN}(m_i)$, $i=0, \dots, s$ olmalıdır. (6)-(g) denklemleri ile tamam olan herbir altkatalog için olabilirlik fonksiyonu tanımlanır.

Verilerin birleştirilmesi prensibine göre ortak olabilirlik

fonksiyonu

$$L(\theta / \chi) = \prod_{i=1}^{n_0} L_i(\theta / \chi_i) \quad (10)$$

ile verilir (Rao 1973).

$$\partial \ln L / \partial \lambda = 0 \text{ ve } \partial \ln L / \partial \beta = 0 \quad (11)$$

yapılmak suretiyle λ ve β 'nin (10) denklemini en büyük yapan ve büyük olabilirlik çözümleri elde edilir. Çözümün ayrıntıları ve standart hataların hesaplanması Kijko ve Sellovoll'da (1990) verilmiştir.

Çoğu hallerde olabilirlik fonksiyonu, m_{\max} için gerçek değerler vermez. Ancak, kataloğun kapsadığı T zaman döneminde gözlenen en büyük magnitudün (χ_{\max}) beklenen en büyük magnitudü (EXPECT (χ_{\max}/T)) eşit olması koşulu ile yeterli sonuçlar elde edilir. Böylece, T zaman aralığında beklenen en büyük magnitud aşağıda verilen denklemden hesaplanır (Kijko 1988):

$$\text{EXPECT}(\chi_{\max} | T) = m_{\max} - \frac{E_1(TZ_2) - E_1(TZ_1)}{\beta \exp(-TZ_2)} - m_{\min} \exp(-\lambda T) \quad (12)$$

Burada,

$$Z_i = -\lambda A_i / (A_2 - A_1), i=1, 2$$

ve $E(\cdot)$ bir üstel integral fonksiyonudur (Abramowitz ve Stegun 1964):

$$\Sigma_i(Z) = \int_z^{\infty} \exp(-\xi) / \xi d\xi.$$

Kullanılan Veri

Bir bölgenin veya bir ülkenin deprem etkinliği belirlenirken ya sadece "aletsel dönem" adı verilen 1900 sonrası veriler gözönüne alınmakta, ya da bu süreç yeterince uzun bulunmadığında aletsel dönem verileri ile birlikte "tarihsel dönem" adı verilen 1900 öncesi depremler de ele alınmaktadır. Bu ikinci yol yeğlendiğinde veriler daha uzun bir zamanı kapsamaktadırlar. Ancak, bu halde tarihsel dönem depremlerinin şiddetlerinin magnitudü dönüştürülmesi gerekmektedir. Böyle bir dönüşüm, aletsel dönemde oluşan, hem magnitudleri, hem de şiddetleri bilinen depremler yardımı ile elde edilebilecek bağıntılarla gerçekleştirilir. Türkiye ve çevresi depremleri için aşağıdaki bağıntılar kullanılabilir:

$$\begin{aligned} M &= 0.48 I_0 + 2 && \text{Karnik (1969)} \\ M &= 0.592 I_0 + 1.63 && \text{İpek ve diğ. (1965)} \\ M &= 0.582 I_0 + 1.621 && \text{Tabban ve Gencoğlu (1975)} \\ M &= 0.60 I_0 + 1.3 && \text{Gutenberg ve Richter (1949)} \end{aligned}$$

Ancak, bu çalışmada Öncel (1942) tarafından belirlenen yeni bir şiddet magnitud bağıntısı kullanılmıştır. Sipahioğlu ve Alptekin'de (1988) verilen, 1900-1985 yılları arasında olmuş, hem şiddetleri, hem de magnitudleri bilinen depremler kullanılarak en küçük kareler yöntemi ile hesaplanan bu bağıntı

$$M = 0.659 I_0 + 0.93 \quad (13)$$

dir ve diğer araştırmacıların bağıntıları ile birlikte Şekil 8 de gösterilmiştir.

Sismik risk parametrelerinin hesaplanmasında kullanılır.

Çizelge 1. KAFZ'nun batı (24.00° - 31.00°E), orta (31.00° - 40.00°E) ve doğu (40.00° - 45.00°E) boylamları arasındaki bölümleri için hesaplanan sismik risk parametreleri.

Table 1. Seismic risk parameters computed for the western (24.00° - 31.00°E); central (31.00° - 40.00°E) and the eastern (40.00°E - 45.00°E) sections of the NAFZ.

Bölge	Sismik Risk Parametreleri
Batı bölüm (24.00 - 31.00 E)	$\beta = 1.87$ 0.06 (b = 0.79 0.03) $\lambda_{4.2} = 3.51$ 0.19 $M_{max} = 7.57$ 0.23 ($\sigma_x = 0.20$)
Orta bölüm (31.00 - 40.00 E)	$\beta = 1.76$ 0.08 (b = 0.75 0.03) $\lambda_{4.2} = 1.64$ 0.13 $M_{max} = 8.31$ 0.32 ($\sigma_x = 0.20$)
Doğu bölüm (24.00 - 31.00 E)	$\beta = 1.77$ 0.08 (b = 0.75 0.03) $\lambda_{4.2} = 2.20$ 0.15 $M_{max} = 7.59$ 0.23 ($\sigma_x = 0.20$)

mak amacıyla tarihsel dönem depremleri için Soysal ve diğ. (1981) ve Ergin ve diğ. (1967) kataloglarından, aletsel dönem depremleri için ise NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) veri tabanı ile Ergin ve diğ. (1967) ve Kandilli kataloglarından (Ayhan ve diğ. 1986) yararlanılarak KAFZ için 1000-1984 yılları arasında kapsayan bir katalog hazırlandı. (13) bağıntısı kullanılarak yalnızca şiddetleri bilinen depremler için magnitüdlere hesaplanarak, deprem büyüklüklerinin tekdüze olması sağlandı. Hazırlanan katalog kullanılarak KAFZ'nun 24.00° - 30.00°E, 31.00° - 40.00°E ve 40.00° - 45.00°E boylamları arasındaki bölümleri için, kuramsal temelleri daha önce açıklanan yöntem uygulanarak sismik risk parametreleri hesaplandı. Hesaplamalarda Kijko ve Sellovoll (1987, 1990) tarafından FORTRAN 77 dilinde yazılan ve IBM PC uyumlu bilgisayarlarda çalıştırılabilen bir program kullanıldı.

Hesap sonuçları

KAFZ için önceki bölümde açıklanan yöntem ile oluşturulan kataloglardaki depremlerin episantrları Şekil 9 da gösterilmiştir. İncelenen üç ayrı bölge için bu depremlerden aletsel dönemde (1900-1984 arası) oluşanların magnitüdlere göre oluş sayıları Şekil 10 da özetlenmiştir. Şekil 10 da özetlenen istatistik bilgiye göre 24.00° - 31.00°E boylamları arasındaki bölgede oluşan depremlerin % 79 unu magnitüdlere $M < 5.5$ olan depremler, % 6 sini magnitüdlere $M > 6.5$ olan, % 3 ünü $M > 7.0$ olan depremler oluşturmaktadır. 31.00° - 40.00°E boylamları arasındaki orta bölümde oluşan depremlerin ise % 5 ini magnitüdlere $M > 6.5$ olan depremler, % 4 ünü $M > 7$ olan depremler, % 75 ini de magnitüdlere $M < 5.5$ olan depremler oluşturmaktadır. 40.00° - 45.00°E boylamları arasındaki doğu bölümde oluşan depremlerin ise yalnızca % 2 sini magnitüdlere $M > 6.5$ olan depremler, % 84 ünü de $M < 5.0$ olan depremler oluşturmaktadır.

Çizelge 2. KAFZ'nun üç ayrı bölümü için hesaplanan sismik risk parametrelerine tarihsel ve aletsel dönem verilerinin katkıları.

Table 2. Contributions of the historical and the instrumental period data to the seismic risk parameters computed for three different sections of the NAFZ.

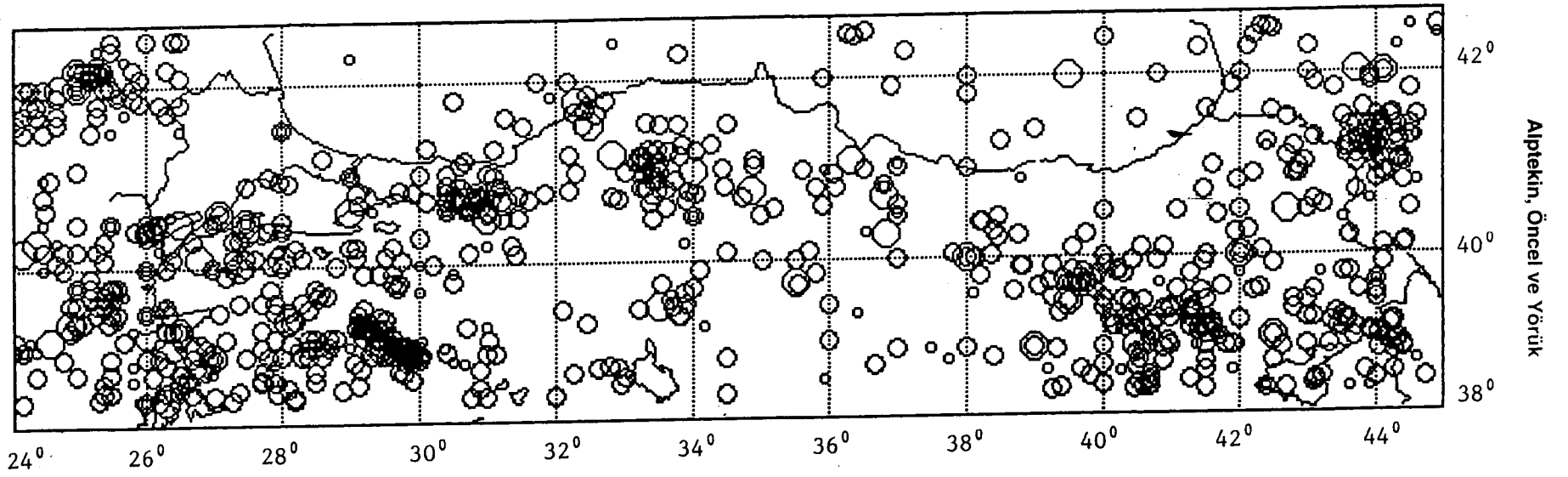
Bölge	Katalog	Parametre	
		$\beta(\%)$	$\lambda(5)$
Batı bölüm (24.00°-31.00°E)	Tarihsel	76.5	21.2
	Aletsel 4.2	23.5	78.8
Orta bölüm (31.00°-40.00°E)	Tarihsel	77.7	17.1
	Aletsel 4.2	23.5	82.9
Doğu bölüm (40.00°-45.00°E)	Tarihsel	71.2	10.3
	Aletsel 4.2	28.8	89.7

KAFZ'da 1900 - 1984 yılları arasında oluşan depremlerin kataloglarda verilen odak derinlikleri incelendiğinde fay zonunda ortalama odak derinliklerinin 24.00° - 31.00° E bölümünde 30 km, 31.00° - 40.00° E bölümünde 22 km ve 40.00° - 45.00°E bölümünde 41 km olduğu görülmektedir. Ancak, odak derinliklerinin saptanmasındaki belirsizlikler dikkate alındığında bu dağılımın kolaca yorumlanamayacağı açıktır.

KAFZ için oluşturduğumuz katalogun kapsadığı 1000-1984 yılları arasındaki veriye, en büyük olasılık yönteminin uygulanması ile fay zonunun 24.00° - 31.00°E, 31.00° - 40.00° E ve 40.00° - 45.00° E boylamları arasındaki bölümleri için hesaplanan sismik risk parametreleri Çizelge 1 de verilmiştir. Hesaplanan sismik risk parametrelerine katalogumuzdaki tarihsel ve aletsel dönem verilerinin katkıları Çizelge 2 de özetlenmiştir.

Hesaplarımızda kullanılan katalogun tarihsel ve aletsel dönem alt kataloglarının özeti Çizelge 3 de verilmiştir.

KAFZ'nun yukarıda belirtilen üç ayrı bölümü için sismik risk sonuçları Çizelge 4, 5 ve 6 da özetlenmiştir. Bu çizelgelerde kesme magnitüdünden itibaren 0.1 magnitüd aralıkları ile her magnitüd için λ etkinlik oranı ve dönüş periyodları (yinelenme periyodları), 1, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık dönemler içinde bu magnitüdlere geçilmemesi olasılıkları (yani bu magnitüden daha büyük bir depremin oluşmama olasılığı) verilmiştir. Bu çizelgeler incelendiğinde, örneğin magnitüdü 7.5 olan bir depremin yinelenmesi için fay zonunun batı bölümünde 1092 yıl, orta bölümünde 270 yıl ve doğu bölümünde 1055 yıl geçmesi gerekmektedir. 100 yıllık bir dönemde 7.5 magnitüdünün geçilmemesi olasılığı, yani bundan büyük bir depremin oluşmama olasılığı fay zonunun batı bölümünde % 91, orta bölümünde % 69 ve doğu bölümünde % 90 dır. Çizelge 4, 5 ve 6 da verilen yinelenme periyodları Şekil 11 de birarada gösterilmiştir. Bu şeklin incelenmesinden, yaklaşık 7.3 magnitüdünden büyük depremler için fay zonunun orta bölümünde yinelenme periyodlarının diğer bölümlere göre daha küçük olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 9. KAFZ'da 1900-1984 yılları arasında oluşan $M > 4.5$ olan depremlerin episantırları.

Fig. 9. Epicenters of earthquakes ($M > 4.5$) which occurred on the NAFZ between 1900-1984.

Çizelge 3. Sismik risk hesaplamalarında kullanılan deprem kataloğunun özeti.

Table 3. A summary of earthquake catalog which was used in seismic risk computations.

a. Tarihsel dönem (1000-1900)		b. Aletsel dönem (1900-1984)			
Magnitüd	Frekans	Magnitüd	Frekans	Magnitüd	Frekans
4.2	22	4.5	101	6.0	14
4.9	71	4.6	66	6.1	7
5.5	59	4.7	55	6.2	1
6.2	62	4.8	71	6.3	9
6.9	25	4.9	67	6.5	4
7.5	4	5.0	12	6.6	2
		5.1	23	6.7	1
		5.2	28	6.8	6
		5.3	25	6.9	4
		5.4	9	7.0	7
		5.5	30	7.1	3
		5.6	28	7.2	2
		5.7	8	7.3	1
		5.8	10	7.4	2
		5.9	6	7.6	1
				8.0	1

Çizelge 4. KAFZ'nun 24.00° - 31.00°E boylamları arasındaki bölümü için sismik risk sonuçlarının özeti. Sırasıyla magnitüd, etkinlik oranı (λ), dönüş periyodu ve 1, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık dönemlere karşılık gelen magnitüdülerin geçilmemesi olasılıkları sergilenmiştir.Table 4. A summary of seismic risk values computed for a section of the NAFZ between 24.00° - 31.00°E longitudes. Magnitude, activity rate (λ), return period and the probabilities of unexceedence of corresponding magnitude for 1, 50, 500 and 1000 years are listed respectively.

INT/MAG	LAMBDA	RET PER	Pr(T=1)	Pr(T=50)	Pr(T=100)	Pr(T=1000)
4.2	.349E+01	.3	.0306	.0000	.0000	.0000
4.3	.291E+01	.3	.0543	.0000	.0000	.0000
4.4	.242E+01	.4	.0893	.0000	.0000	.0000
4.5	.200E+01	.5	.1350	.0000	.0000	.0000
4.6	.166E+01	.6	.1901	.0000	.0000	.0000
4.7	.138E+01	.7	.2526	.0000	.0000	.0000
4.8	.114E+01	.9	.3197	.0000	.0000	.0000
4.9	.945E+00	1.1	.3888	.0000	.0000	.0000
5.0	.783E+00	1.3	.4572	.0000	.0000	.0000
5.1	.648E+00	1.5	.5231	.0000	.0000	.0000
5.2	.536E+00	1.9	.5848	.0000	.0000	.0000
5.3	.444E+00	2.3	.6416	.0000	.0000	.0000
5.4	.367E+00	2.7	.6928	.0000	.0000	.0000
5.5	.303E+00	3.3	.7383	.0000	.0000	.0000
5.6	.251E+00	4.0	.7784	.0000	.0000	.0000
5.7	.207E+00	4.8	.8133	.0000	.0000	.0000
5.8	.170E+00	5.9	.8434	.0002	.0000	.0000
5.9	.140E+00	7.1	.8692	.0009	.0000	.0000
6.0	.115E+00	8.7	.8912	.0031	.0000	.0000
6.1	.945E-01	10.6	.9099	.0089	.0001	.0000
6.2	.773E-01	12.9	.9257	.0210	.0004	.0000
6.3	.630E-01	15.9	.9390	.0429	.0018	.0000
6.4	.511E-01	19.6	.9501	.0775	.0060	.0000
6.5	.413E-01	24.2	.9595	.1267	.0160	.0000
6.6	.332E-01	30.1	.9674	.1904	.0362	.0000
6.7	.264E-01	37.9	.9739	.2669	.0712	.0000
6.8	.208E-01	48.0	.9794	.3832	.1248	.0000
6.9	.162E-01	61.9	.9840	.4456	.1986	.0000
7.0	.123E-01	81.2	.9878	.5404	.2920	.0000
7.1	.911E-02	109.8	.9909	.6341	.4021	.0001
7.2	.646E-02	154.9	.9936	.7241	.5243	.0016
7.3	.426E-02	235.0	.9958	.8083	.6534	.0142
7.4	.243E-02	411.5	.9976	.8856	.7843	.0880
7.5	.916E-03	1092.0	.9991	.9552	.9125	.4002

Çizelge 5. KAFZ'nun 31.00° - 40.00°E boylamları arasındaki bölümü için sismik risk sonuçlarının özeti. Açıklama için Çizelge 4'e bakınız.

Table 5. A summary of seismic risk values computed for a section of the NAFZ between 31.00° - 40.00°E longitudes. For further explanation see the explanations for Table 4.

INT/MAG	LAMBDA	RET PER	Pr(T=1)	Pr(T=50)	Pr(T=100)	Pr(T=1000)
4.2	.163E+01	.6	.1964	.0000	.0000	.0000
4.3	.137E+01	.7	.2531	.0000	.0000	.0000
4.4	.115E+01	.9	.3161	.0000	.0000	.0000
4.5	.965E+00	1.0	.3809	.0000	.0000	.0000
4.6	.809E+00	1.2	.3809	.0000	.0000	.0000
4.7	.678E+00	1.5	.5076	.0000	.0000	.0000
4.8	.568E+00	1.8	.5665	.0000	.0000	.0000
4.9	.476E+00	2.1	.6211	.0000	.0000	.0000
5.0	.399E+00	2.5	.6709	.0000	.0000	.0000
5.1	.334E+00	3.0	.7158	.0000	.0000	.0000
5.2	.280E+00	3.6	.7557	.0000	.0000	.0000
5.3	.235E+00	4.3	.7908	.0000	.0000	.0000
5.4	.197E+00	5.1	.8215	.0001	.0000	.0000
5.5	.165E+00	6.1	.8482	.0003	.0000	.0000
5.6	.138E+00	7.3	.8713	.0010	.0000	.0000
5.7	.115E+00	8.7	.8911	.0031	.0000	.0000
5.8	.965E+01	10.4	.9080	.0080	.0000	.0000
5.9	.807E+01	12.4	.9224	.0177	.0003	.0000
6.0	.675E+01	14.8	.9347	.0342	.0012	.0000
6.1	.564E-01	17.7	.9452	.0596	.0036	.0000
6.2	.471E-01	21.2	.9540	.0950	.0090	.0000
6.3	.393E-01	25.5	.9615	.1403	.0197	.0000
6.4	.327E-01	30.5	.9678	.1945	.0378	.0000
6.5	.273E-01	36.7	.9731	.2558	.0655	.0000
6.6	.227E-01	44.1	.9776	.3219	.1036	.0000
6.7	.188E-01	53.1	.9814	.3903	.1524	.0000
6.8	.156E-01	64.2	.9845	.4587	.2104	.0000
6.9	.129E-01	77.7	.9872	.5253	.2759	.0000
7.0	.106E-01	94.3	.9894	.5884	.3462	.0000
7.1	.870E-02	114.9	.9913	.6472	.4188	.0002
7.2	.711E-02	140.7	.9929	.7009	.4913	.0008
7.3	.577E-02	173.3	.9942	.7494	.5616	.0031
7.4	.465E-02	215.1	.9954	.7926	.6283	.0096
7.5	.371E-02	269.7	.9963	.8308	.6902	.0245
7.6	.292E-03	342.5	.9971	.8642	.7468	.0540
7.7	.226E-02	442.8	.9977	.8932	.7982	.1045
7.8	.170E-02	586.7	.9983	.9183	.8433	.1819
7.9	.124E-02	806.5	.9988	.9399	.8834	.2894
8.0	.851E-03	1175.8	.9991	.9584	.9185	.4272
8.1	.524E-03	1908.3	.9995	.9741	.9490	.5922
8.2	.250E-03	3995.4	.9997	.9876	.9753	.7786
8.3	.208E-04	48057.6	1.0000	.9990	.9979	.9794

Çizelge 6. KAFZ'nun 40.00° - 45.00°E boylamları arasındaki bölümü için sismik risk sonuçlarının özeti. Açıklama için Çizelge 4'e bakınız.

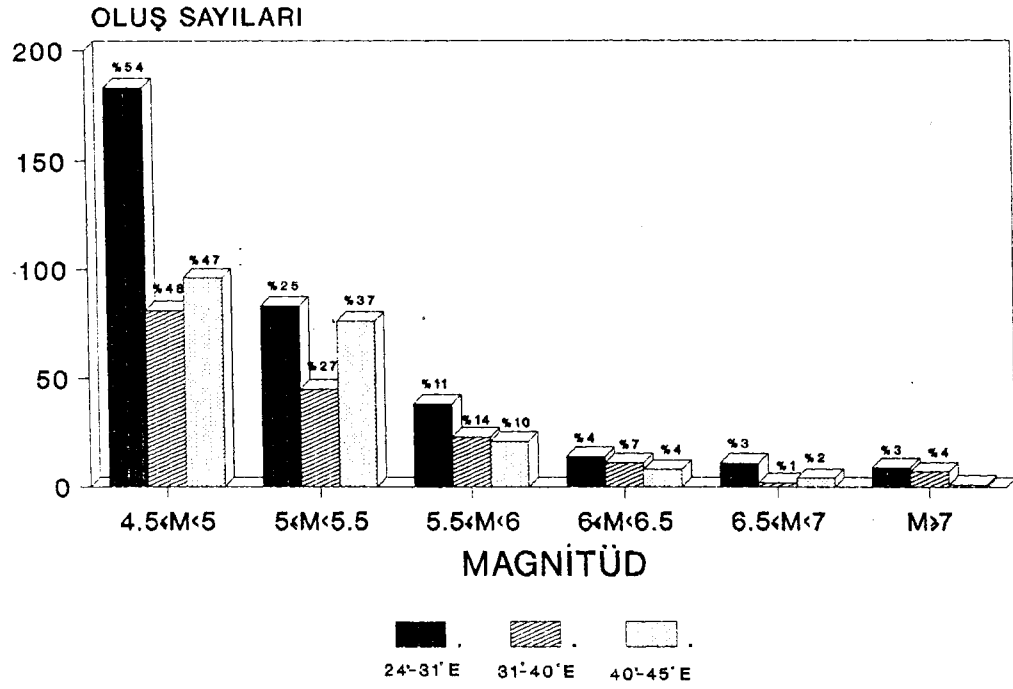
Table 6. A summary of seismic risk values computed for a section of the NAFZ between 40.00° - 45.00°E longitudes. For further explanation see the explanations for Table 4.

INT/MAG	LAMBDA	RET PER	Pr(T=1)	Pr(T=50)	Pr(T=100)	Pr(T=1000)
4.2	.219E+01	.5	.1121	.0000	.0000	.0000
4.3	.185E+01	.5	.1579	.0000	.0000	.0000
4.4	.155E+01	.6	.2132	.0000	.0000	.0000
4.5	.129E+01	.8	.2742	.0000	.0000	.0000
4.6	.108E+01	.9	.3385	.0000	.0000	.0000
4.7	.907E+00	1.1	.4039	.0000	.0000	.0000
4.8	.759E+00	1.3	.4683	.0000	.0000	.0000
4.9	.635E+00	1.6	.5300	.0000	.0000	.0000
5.0	.531E+00	1.9	.5880	.0000	.0000	.0000
5.1	.444E+00	2.3	.6415	.0000	.0000	.0000
5.2	.371E+00	2.7	.6900	.0000	.0000	.0000
5.3	.310E+00	3.2	.7334	.0000	.0000	.0000
5.4	.259E+00	3.9	.7719	.0001	.0000	.0000
5.5	.216E+00	4.6	.8057	.0003	.0000	.0000
5.6	.180E+00	5.6	.8352	.0001	.0000	.0000
5.7	.150E+00	6.7	.8607	.0006	.0000	.0000
5.8	.125E+00	8.0	.8827	.0020	.0000	.0000
5.9	.104E+00	9.6	.9015	.0056	.0003	.0000
6.0	.860E+01	11.6	.9176	.0136	.0002	.0000
6.1	.711E-01	14.1	.9313	.0285	.0008	.0000
6.2	.587E-01	17.0	.9430	.0531	.0028	.0000
6.3	.483E-01	20.7	.9529	.1894	.0180	.0000
6.4	.396E-01	25.3	.9612	.1382	.0192	.0000
6.5	.323E-01	31.0	.9682	.1992	.0397	.0000
6.6	.261E-01	38.2	.9742	.2706	.0732	.0000
6.7	.210E-01	47.6	.9792	.3497	.1223	.0000
6.8	.167E-01	59.8	.9834	.4335	.1879	.0000
6.9	.131E-01	76.2	.9870	.5190	.2694	.0000
7.0	.101E-01	99.0	.9900	.6035	.3642	.0000
7.1	.757E-02	132.1	.9925	.6848	.4690	.0005
7.2	.545E-02	183.3	.9946	.7613	.5796	.0043
7.3	.368E-02	271.8	.9963	.8319	.6921	.0252
7.4	.219E-02	456.0	.9978	.8961	.8031	.1116
7.5	.947E-02	1055.5	.9991	.9537	.9096	.3877

Çizelge 7. KAFZ'nun dört ayrı bölümü için hesaplanan sismik risk değerleri.

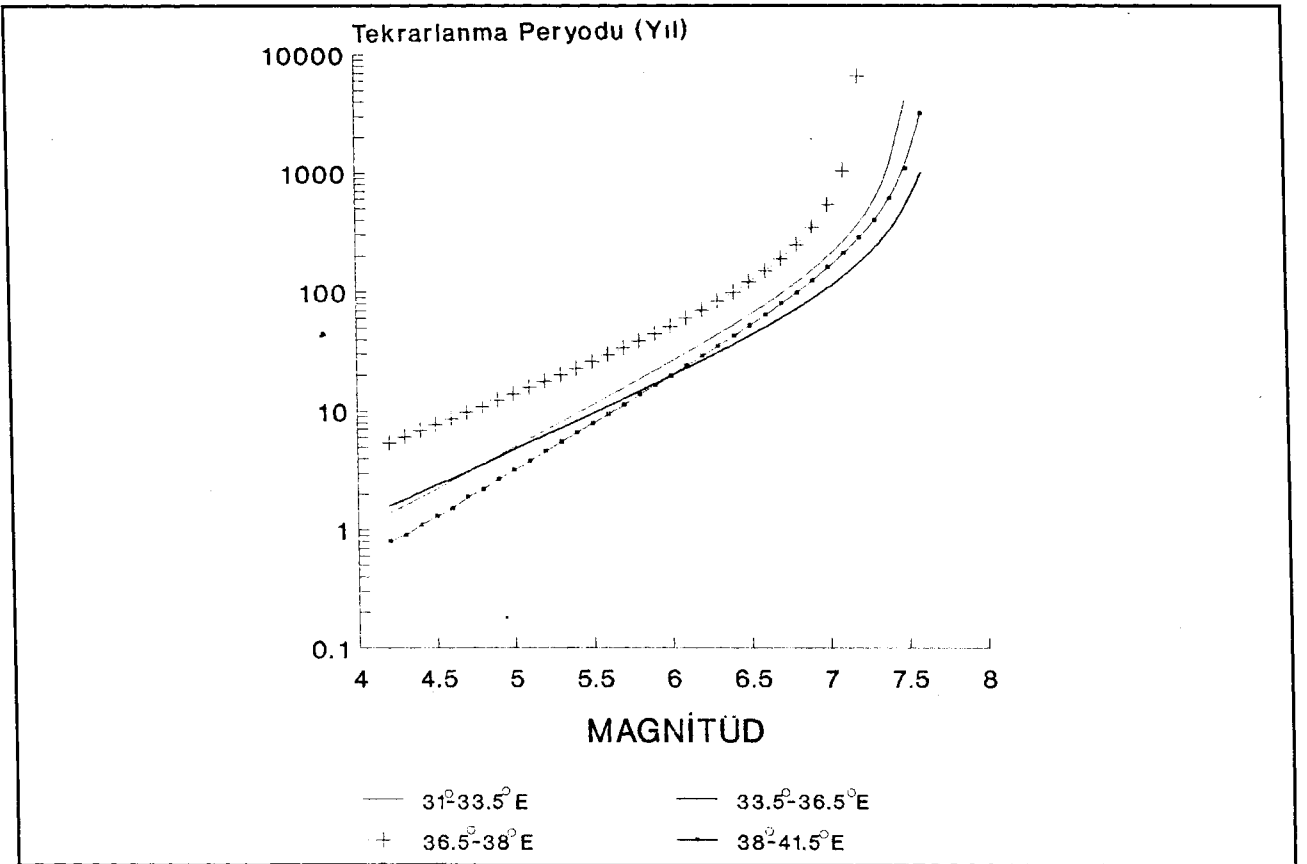
Table 7. Seismic risk values computed for the four different parts of the NAFZ.

Parametre	Bölge			
	31.00 -33.50 E	33.50 -36.50 E	36,50 -38.00	38.00 -41.50 E
b-değerleri	0.67 0.06	0.57 .005	0.47 0.09	0.76 0.04
$\lambda_{4,2}$ -değerleri	0.72 0.09	0.63 0.08	0.19 0.04	1.32 0.12
M_{max} -değerleri	7.54 0.25	7.72 0.23	7.22 0.2	7.66 0.26



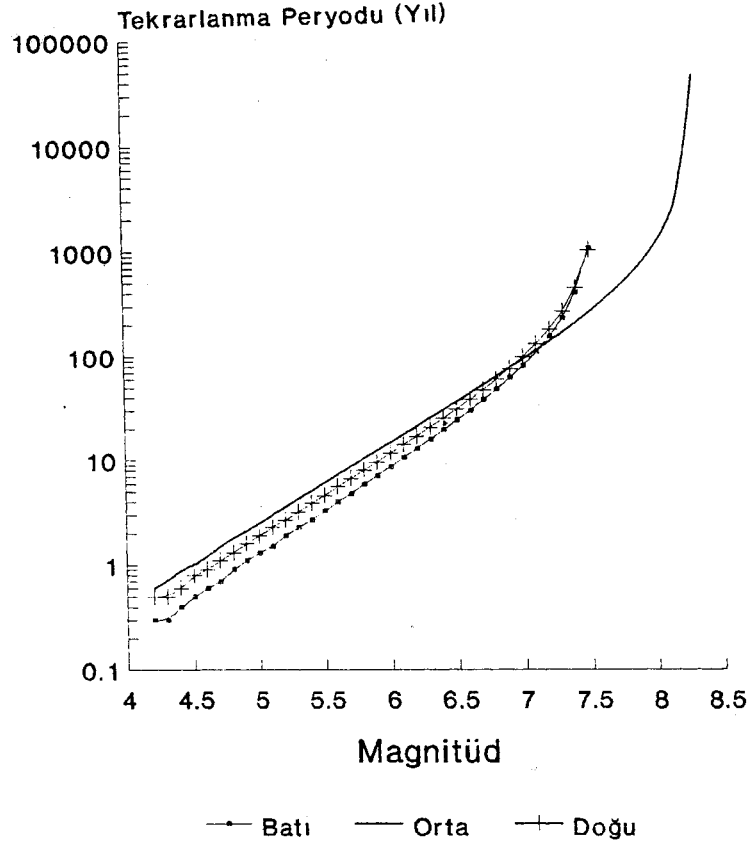
Şekil 10. KAFZ'da 1900-1984 yılları arasında oluşan depremlerin magnitüdüne göre oluş sayıları.

Fig. 10. Numbers of earthquake occurrences with respect to the magnitudes for the NAFZ between 1900-1984.



Şekil 11. KAFZ'nun batı, orta ve doğu kesimlerinde oluşan depremlerin tekrarlanma periyodları.

Fig. 11. Return periods of earthquakes in the western, central and the eastern sections of the NAFZ.



Şekil 12. KAFZ'nun dört ayrı bölümünde ($31.00^\circ - 33.50^\circ\text{E}$; $33.50^\circ - 36.50^\circ\text{E}$; $36.50^\circ - 38.00^\circ\text{E}$ ve $38.00^\circ - 41.50^\circ\text{E}$) oluşan depremlerin dönüş periyodları. $38.00^\circ - 41.50^\circ\text{E}$ boylamları arasındaki bölüm Erzincan ve Pülümür yörelerini de kapsamaktadır.

Fig. 12. Return periods of earthquakes in four different parts ($31.00^\circ - 33.50^\circ\text{E}$; $33.50^\circ - 36.50^\circ\text{E}$; $36.50^\circ - 38.00^\circ\text{E}$ and $38.00^\circ - 41.50^\circ\text{E}$) of the NAFZ. The area between $38.00^\circ - 41.50^\circ\text{E}$ longitudes also covers the Erzincan and the Pülümür regions.

ERZİNCAN VE ÇEVRESİ İÇİN SİSMİK RİSK

Önceki bölümde hesaplanan sismik risk değerleri fay zonunun göz önüne alınan üç ayrı bölümünün depremsellik bakımından farklı özelliklere sahip olduklarına işaret etmektedir. Bu sonuçlar fay zonunun farklı dönemlerde etkin olmuş ve farklı atım özellikleri gösteren kesimleri (Barka ve Kadinsky-Cade 1988) için sismik riskin hesaplanmasının yararlı olacağını düşündürmektedir. Bu amaçla KAFZ'nun 31.00°E ile 41.50°E boylamları arasındaki kesimi dört ayrı bölüme ($31.00^\circ - 33.50^\circ\text{E}$; $33.50^\circ - 36.50^\circ\text{E}$; $36.50^\circ - 38.00^\circ\text{E}$; $38.00^\circ - 41.50^\circ\text{E}$) ayrılarak sismik risk değerleri yeniden hesaplandı.

Sonuçlar Çizelge 7'de ve Şekil 12 de özetlenmiştir. Fay zonunun $38.00^\circ - 41.50^\circ\text{E}$ boylamları arasındaki bölümü Erzincan ve Pülümür yörelerini de kapsamaktadır. Bu bölümde 1939 Erzincan depreminden ($M \approx 8.0$) sonra oluşan en büyük deprem 13 Mart 1992 Erzincan depremidir. USGS NEIC tarafından verilen ön bilgilere göre, $M \approx 6.8$ büyüklüğündeki bu depremin dalga şekillerinden elde edilen kaynak mekanizması sağyönlü doğrultu-atımlı bir faylanma belirtmekte olup, fay düzleminin doğrultusu KAFZ'nun bu kesimdeki doğrultusu ile uyumludur.

Çizelge 7 deki sonuçlar incelendiğinde KAFZ'nun $31.00^\circ - 41.50^\circ\text{E}$ boylamları arasındaki bölümünde sismik riskin doğuya doğru göreceli olarak arttığı söylenebilir. Erzincan yöresinde aktiflik oranı görece büyük olup, beklenen maksimum magnitüd yaklaşık 7.8 dir. Bu yörede büyük depremlerin yenilenme periyodları diğer bölümlere göre daha küçüktür.

SONUÇLAR

KAFZ'nun $31.00^\circ - 40.00^\circ\text{E}$ boylamları arasındaki bölümünde magnitüdüleri 7 veya daha büyük depremlerin oluşma oranı, 1000 - 1984 yılları arasındaki verileri içeren deprem kataloglarından edinilen bilgiye göre % 4 olup, fay zonunun doğu ve batı bölümleri için bulunan oranlardan büyüktür. Magnitüdüleri $4.5 \leq M \leq 5.5$ arasındaki depremler fay zonunun batı bölümünde ($24.00^\circ - 30.00^\circ\text{E}$ arası) % 79, orta bölümünde ($31.00^\circ - 40.00^\circ\text{E}$ arası) % 75, doğu bölümünde ($40.00^\circ - 45.00^\circ\text{E}$ arası) % 84 oranlarında oluşmaktadır. Buna göre, fay zonunun orta bölümünde doğu ve batı bölümlerine göre daha büyük magnitüdü depremlerin oluştuğu söylenebilir.

KAFZ'nun batı, orta ve doğu bölümleri için en büyük olasılık yöntemi ile bulunan b değerleri sırası ile, 0.79, 0.75, 0.75; $\lambda_{4.2}$ etkinlik oranları 3.51, 1.64, 2.20; ve beklenen maksimum magnitüd değerleri 7.6, 8.3 ve 7.6 dir. Bu sonuçla-

ra göre fay zonunun batı ve doğu bölümlerinde sismik etkinlik yüksek olmakla birlikte, en büyük magnitudü depremler fay zonunun orta bölümünde (31.00° - 40.00°E boylamları arasında) beklenmektedir. Bu bölümde sismik risk doğuya doğru gıreceli olarak artmaktadır. Erzican yöresinde etkinlik oranı görece büyük olup, beklenen en büyük magnitud yaklaşık 7.8 dir. Bu yörede büyük depremlerin ($M \geq 6.0$) yinelenme periyodları diğer bölümlere göre daha küçüktür.

En büyük olasılık yöntemi ile bulunan sonuçlara göre magnitudü 7.5 veya daha büyük bir depremin yinelenmesi için geçmesi gereken zaman (yinelenme periyodu) KAFZ'nun batı bölümünde 1092 yıl, orta bölümünde 270 yıl ve doğu bölümünde 1055 yıldır. 100 yıllık bir dönemde 7.5 magnitudünün geçilmemesi olasılığı, yani bundan büyük bir depremin oluşmama olasılığı fay zonunun batı bölümünde % 91, orta bölümünde % 69 ve doğu bölümünde % 90 dır.

KATKI BELİRTME

Geliştirdikleri bilgisayar programını kullanmamıza izin veren ve konu ile ilgili yayınlarının ayrı baskılarını göndererek çalışmamıza yardımcı olan Prof. A. Kijko ve Prof. M.A. Sellevoll'a, kullandığımız katalogun oluşturulmasına yardımcı olan Dr. B.S. Üçer'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Abramowitz, M. and Stegun, A. 1964, Handbook of Mathematical Functions, National Bureau of Standards, United States Department of Commerce, Washington, D.C.
- Allen, C.R. 1969, Active Faulting in Northern Turkey, California Inst. Technology, Div. Geol. Sci., Contribution No. 1577, 32p.
- Allen, C.R. 1980, Comparisons between the North Anatolian Fault Zone of Turkey and the San Andreas Fault of California, in Multidisciplinary Approach to Earthquake Prediction (Proceedings of the International Symposium on Earthquake Prediction in the North Anatolian Fault Zone held in İstanbul). Friedr. Vieweg and Sohn, Braunschweig/Wiesbaden, 1982, p. 67-85.
- Alptekin, Ö. 1978, Batı Anadolu depremlerinin odak mekanizmaları ve bunların aktif tektonik ile ilişkileri, 2. Odak mekanizmaları ve plaka tektoniği modeli, Jeofizik 7, 30-56.
- Ambraseys, N.N. 1970, Some characteristic features of the North Anatolian Fault Zone, Tectonophysics 9, 143-165.
- Ayhan, E., Alsan, E., Sancaklı, N. ve Üçer, S.B. 1986, Türkiye ve Doayları Deprem Katalođu 1881-1980, Boğaziçi Üniv., Kandilli Rasath., 126 Sayfa.
- Aytun, A. 1972, İsmetpaşa İstasyonu civarında krip ölçümleri, Kuzey Anadolu Fayı ve Deprem Kuşağı Simpozyumu, M.T.A. Enst., Ankara, s. 114-117.
- Barka, A.A. and Kadinsky-Cade, K. 1988, Strike-slip fault geometry in Turkey and its influence on earthquake activity, Tectonics 7, 663-684.
- Benjamin, J.R., and Cornell, C.A. 1970, Probability, Statistics and Decisions for Civil Engineers, McGraw-Hill, New York.
- Canitez, N., and Üçer, B.S. 1967, Computer determinations for the fault plane solutions in and near Anatolia, Tectonophysics 4, 235-244.
- Campell, K.W. 1982, Bayesian analysis of extreme earthquake occurrences, Part I, Probabilistic hazard model, Bull. Seism. Soc. Am. 72, 1689-1705.
- Cosentino, P., Ficara, V. and Luzio, D. 1977, Truncated exponential frequency-magnitude relationship in earthquake statistics, Bull. Seism. Soc. Am. 67, 1615-1623.
- Dewey, J. 1976, Seismicity of Northern Anatolia, Bull. Seism. Soc. Am. 66, 843-868.
- Dong, W.M., Shah, H.C. and Bao, A.B. 1984, Use of maximum entropy principle in earthquake recurrence relationships, Bull. Seism. Soc. Am. 74, 725-737.
- Ergin, K., Uz, Z. ve Güçlü, U. 1967, Türkiye ve Civarının Deprem Katalođu (M.S. 11 yılından 1964 sonuna kadar), İ.T.Ü. Maden Fakültesi Arz Fiziği Enst., yay. No. 24.
- Epstein, B., and Lomnitz, C. 1966, A model for occurrence of large earthquakes, Nature 211, 954-956.
- Gardner, J.K. and Knopoff, L. 1974, Is the sequence of earthquakes in southern California, with aftershocks removed, Poissonian?, Bull. Seism. Soc. Am. 64, 1363-1368.
- Gan, Z.J., and Tung, C.C. 1983, Extreme value distribution of earthquake magnitude, Phys. Earth Planet. Int. 32, 325-330.
- Gutenberg, B. and Richter, C.F. 1949, Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Ikeda, Y., Suzuki, Y., Herece, E., Şaroğlu, F., Işıkara, A.M. and Honkura, Y. 1991, Geological evidence for the last two faulting events on the North Anatolian Fault zone in the Mudurnu Valley, western Turkey, Tectonophysics 193, 335-345.
- İpek, M., Uz, Z. ve Güçlü, U. 1965, Sismolojik donelere göre Türkiye'de deprem bölgeleri, Deprem Yönetmeliđi toplantısına (22.3.1965, Ankara) sunulan rapor (yayınlanmamış), İ.T.Ü. Sismoloji Enstitüsü.
- Jackson, J. and McKenzie, D.P. 1988, The relationship between plate motions and seismic moment tensors, and the rates of active deformation in the Mediterranean and Middle East, Geopsy. J. 93, 45-73.
- Karnik, V. 1969, Seismicity of the European Area, Part I, Reidel Publishing Company, 364 pp.
- Ketin, İ. 1976, San Andreas ve Kuzey Anadolu Fayları arasında bir karşılaştırma, Türkiye Jeoloji Kurumu Bül. 19, 149-154.
- Ketin, İ. 1969, Kuzey Anadolu Fayı hakkında, M.T.A. Enstitüsü Dergisi, 72, 1-27.
- Kijko, A. and Dessokey, M.M. 1987, Application of extreme magnitude distributions to incomplete earthquake files, Bull. Seism. Soc. Am. 77, 1429-1436.
- Kijko, A. and Sellevoll, M.A. 1986, Bayesian estimation of seismic parameters for extreme historical and complete instrumental data, Seismo Series No. 7, Seismol. Obs. Univ. of Bergen, Norway, 26 pp.
- Kijko, A. and Sellevoll, M.A. 1987, Estimation of earthquake hazard parameters from incomplete data files, Seismo Series No. 11, Seismol. Obs. Univ. of Bergen, Norway, 23 pp.
- Kijko, A. 1988, Maximum likelihood estimation of Gutenberg-Richter b parameter for uncertain magnitude values, Pageoph 127, 573-579.
- Kijko, A. and Sellevoll, M.A. 1990, Estimation of earthquake hazard parameters for incomplete and uncertain data files, Natural Hazards 3, 1-13.
- Lee, W.H.K. and Brillinger, D.R. 1979, On Chinese earthquake history-and attempt to model an incomplete data set by point process analysis, Pageoph 117, 1229-1245.
- Lomnitz, C. 1974, Global Tectonics and Earthquake Risk, Elsevier, Amsterdam, 330 pp.

- Marza, V.I. and Kijko, A. 1991, Estimate of earthquake hazard in the Vrancea (Romania) region, *Pure App. Geophys.* 136, 143-155.
- McKenzie, D.P. 1972, Active tectonics of the Mediterranean region, *Geophys. J.R. Astron. Soc.* 30, 109-185.
- Öncel, A.O. 1992, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nda Depremlerin İstatistiksel Analizi, Yük. Lis. Tezi, İstanbul Üniv. Fen Bil. Enst., 93 sayfa.
- Page, R. 1968, Aftershocks and microaftershocks of the Great Alaska earthquake of 1964, *Bull. Seism. Soc. Am.* 58, 1131-1168.
- Pavoni, N. 1961, Die Nordanatolische Horizontal verschiebung: *Geol. Rundschau* Band 51, 122-139.
- Rao, C.R. 1973, *Linear Statistical Inference and its Application*, 2nd ed., John-Wiley New York, p. 625.
- Seymen, İ. 1975, Kelkit Vadisi Kesiminde Kuzey Anadolu Fay Zonunun Tektonik Özelliği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniv., 198 Sayfa.
- Sipahioğlu, S. ve Alptekin, Ö. 1988, Türkiye'de deprem sorununun görünümü, *Jeofizik* 2, 151-183.
- Soysal, H., Sipahioğlu, S., Kolçak, D., Altınok, Y. 1981, Türkiye ve Çevresinin Tarihsel Deprem Katoloğu, Tübitak Proje No. TBAG 341.
- Şengör, A.M.C. 1979, The North Anatolian Transform Fault, Its age, offset and tectonic significance, *Geol. Soc. London* 136, 269-282.
- Şengör, A.M.C., Görür, N., Şaroğlu, F. 1985, Strike-Slip Faulting and Related Basin Formation in Zones of Tectonic Escape: Turkey as a Case History, *Society of Economic Paleontologist and Mineralogist, Special Publication* No. 37.
- Tabban, A. ve Gençoğlu, S. 1975, Deprem ve parametreleri, *Deprem Araşt. Enst. Bült.* 11, 7-83.
- Tokay, M. 1973, Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun Gerede ile Ilgaz arasındaki kısmında jeolojik gözlemler: Kuzey Anadolu fayı ve Deprem Kuşağı Sempozyumu, Maden Tetkik Arama Enst., Ankara, 12-29.
- Weichert, D.H. 1980, Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes, *Bull. Seism. Soc. Am.* 70, 1337-1346.