

DEPREM TEHLİKESİ TAHMİNİNDE DEĞİŞİK STOKASTİK MODELLER VE KARŞILAŞTIRILMALARI

STOCHASTIC MODELS FOR THE ESTIMATION OF SEISMIC HAZARD AND THEIR COMPARISON

M. Semih Yüçemen¹ ve Aysen Akkaya²

SUMMARY

Different stochastic models have been developed over the years for the assessment of seismic hazard. In this study, a review of the most widely used stochastic models, namely: Poisson, Markov and extreme value are presented briefly and the shortcomings of each model are discussed. The seismic hazard predictions obtained from these models are compared among themselves based on the data recorded during 1904-1992 along the most active portion of the North Anatolian fault zone.

ÖZET

Deprem tehlikesinin belirlenmesi için geçmiş yıllarda değişik stokastik modeller geliştirilmiştir. Bu çalışmada, en yaygın kullanımı olan Poisson, Markov ve uç değer modelleri sunulmuş ve her model ile ilgili kusurlar tartışılmıştır. Kuzey Anadolu fay hattının en aktif bölgesinde 1904-1992 yılları arasında kaydedilen deprem verilerine dayanarak bu modellerden elde edilen sismik tehlike değerleri karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Depremlerin zaman, mekan ve magnitüde göre gösterdiği rassallık ile deprem tehlikesi analizinde kullanılan modellerden kaynaklanan belirsizlikler göz önünde tutulduğunda, sismik tehlikenin stokastik modellerle tahmini en uygun yöntem olarak görülmektedir. Bu gerçekten yola çıkarak son yirmi yılda birçok stokastik model geliştirilmiştir.

Sismik tehlikenin tahmininde kullanılan ilk modeller deprem olaylarının zaman ve mekanda bağımsız oldukları varsayımına dayanır. Poisson modeli (Cornell, 1968; Der Kiureghian ve Ang, 1977) ve uç değer istatistikleri (Epstein ve Lomnitz, 1966; Lomnitz, 1974; Yegulalp ve Kuo, 1974; Knopoff ve Kagan, 1977; Burton, 1978; Makropoulos ve Burton, 1986) bu tür modellerin en yaygın olarak kullanılanlarıdır. Daha sonraki

¹Prof. Dr., O.D.T.Ü., İnşaat Mühendisliği Bölümü ve Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi, 06531 Ankara

²Öğr. Gör., O.D.T.Ü., İstatistik Bölümü, 06531 Ankara

çalışmalar elastik geri tepme kuramıyla bağıntılı olarak depremlerin zaman boyutunda bağımlılık gösterdiğini varsayan ve Markov özelliği içeren süreçlerle ilgilidir (Patwardhan, vd., 1980; Kiremidjian, 1982; Suzuki ve Kiremidjian, 1991).

Bu konudaki yeni bir çalışmada da bir fay hattı boyunca meydana gelecek deprem tehlikesinin tahmini için çok boyutlu rassal fonksiyon modeli geliştirilmiştir (Yücemen, 1993). Söz konusu modelde deprem olaylarının oluşumu zaman-mekan uzayında bağımlılık gösteren bir rassal fonksiyon ile tanımlanmıştır.

Çalışmanın temel amacı sismik tehlike analizinde sıkça kullanılan Poisson, uç değer ve Markov modellerinin karşılaştırmalı bir incelemesini yapmaktır. Kuzey Anadolu fay (KAF) hattının en aktif bölgesi için derlenen veriler kullanılarak bu üç modelden hesaplanan sismik tehlike değerleri karşılaştırılmıştır.

DEPREM OLUŞUMU İÇİN STOKASTİK MODELLER

Depremlerin oluşumu zaman ve mekan boyutlarında rassal bir süreç olarak incelenebilir. Burada yaygın olarak kullanılan deprem tehlikesi tahmin modellerinden (Poisson, Markov ve uç değer) kısaca bahsedilecektir.

Poisson Modeli

Bu modelde deprem olaylarının birbirlerinden bağımsız oldukları varsayılır. Poisson modelinin "belleksizlik" özelliğinin genelde orta ve büyük magnitüdü depremler için geçerli olduğu da gözlemler sonucu ortaya çıkmıştır. Poisson sürecinin olasılık dağılımı aşağıda verilmiştir:

$$P(N=n | v, t) = [e^{-vt} (vt)^n] / n! \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Burada, v = incelenen bölgede, birim zamanda (genellikle bir yıl) meydana gelen ortalama deprem sayısı, ve

N = incelenen bölgede, $[0, t]$ zaman aralığında meydana gelen deprem sayısını gösteren rassal değişkendir.

İstatistiksel veriler Poisson modelinin özellikle büyük magnitüdü depremler için uygun bir model olduğunu göstermiştir. Poisson varsayımının geçerliliği istatistiksel iyi uyum testleri ile kontrol edilebilir (Feraes, 1967; Rice, 1975). Bu modelin başlıca eksikliği depremlerin zaman-mekan boyutunda bir ana şok etrafında kümeleşme eğilimlerini ve ardıl depremler arasındaki enerji birikimini yansıtmamasıdır. Bu eksikliklere karşın basit bir model olmasından dolayı yaygın olarak kullanılmaktadır.

Markov Modeli

Markov modeli gelecekteki deprem olaylarının geçmiş depremlere bağımlı olduğu varsayımını öngören elastik geri tepme kuramına uymaktadır. Kesikli parametrelili ($t=0, 1, 2, \dots$) rassal bir süreç olan $X(t)$ ' nin koşullu olasılığı yalnızca bir zaman birimi öncesindeki değer, $X(t-1)$ 'e bağımlı ise, bu tür rassal süreçlere birinci mertebeli Markov zinciri denir. Matematiksel olarak bu koşul aşağıdaki eşitlik ile ifade edilir:

$$P[X(t) | X(1), X(2), \dots, X(t-1)] = P[X(t) | X(t-1)] \quad (2)$$

Bu tür Markov süreçleri bir-adım bellekli oluşumlardır ve bu oluşumlarda bir durumdan diğerine geçiş olasılıkları geçiş matrisi adı verilen ve $[P]$ ile simgelenen bir-

adımlık matris ile tanımlanabilir:

$$[P] = \begin{bmatrix} P(0,0) & P(0,1) \\ P(1,0) & P(1,1) \end{bmatrix} \quad (3)$$

Bu matrisde $P(1,1)$ = bir önceki zaman biriminde bir deprem olduğu bilinirken şu andaki zaman biriminde bir deprem olma olasılığı, ve

$P(0,1)$ = bir önceki zaman biriminde bir deprem olmadığı bilinirken şu andaki zaman biriminde bir deprem olma olasılığıdır.

$P(0,0)$ ve $P(1,0)$ da benzer şekilde tanımlanabilir. Bu modelde, seçilen zaman birimi içinde birden fazla deprem olma olasılığının çok küçük olduğu varsayılır. Sistemin başlangıçtaki durumu, olasılık satır vektörü $\Pi(0)$ ile tanımlanırsa sistemin n-adım sonraki durumu

$$\Pi(n) = \Pi(0) [P]^n \quad n=0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

ile bulunur. Burada $[P]^n$, n-adımlık geçiş matrisini simgeler.

$[P]^n$ matrisinin kapalı şekli aşağıdaki gibidir (Parzen, 1962):

$$[P]^n = \frac{1}{2-P(1,1)-P(0,0)} \begin{bmatrix} 1-P(1,1) & 1-P(0,0) \\ 1-P(1,1) & 1-P(0,0) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$+ \frac{[P(1,1)+P(0,0)-1]^n}{2-P(1,1)-P(0,0)} \begin{bmatrix} 1-P(0,0) & -(1-P(0,0)) \\ -(1-P(1,1)) & 1-P(1,1) \end{bmatrix}$$

Bu matris, sistemin tanımlanan durumları arasındaki n-adımlık geçiş olasılıklarını içerir. Matrisin birinci ve ikinci kısımları, sırasıyla, durağan ve geçici bileşenleridir. Büyük n değerleri için matrisin geçici bileşeni sıfır'a yaklaşır ve sınır durumunda olasılıklar durağan matrisinden elde edilen değerlere eşit olur.

Uç Değer Modeli

Deprem tehlikesi analizinde, sismik kaynaktan oluşacak en büyük deprem magnitudü önemli bir girdi parametresidir. Uç değer dağılımlar kuramını uygulayarak mümkün olan en büyük deprem magnitudünün olasılık dağılımı bulunabilir. Uç değerler kuramı gözlenen en büyük deprem magnitudlerinin, birbirinden bağımsız olduğunu varsayar. Bu kuramla ilgili ayrıntılı bilgi Gumbel (1958)'de verilmiştir. Burada sadece uç değerlerin asimtotik dağılımları sunulmuştur.

Uç Değerlerin Asimtotik Kuramı

Asimtotik kuram örnek sayısı artarken gerçek dağılım fonksiyonunun sınırdaki şeklini göz önüne alır. Gumbel (1958) uç değerler için üç değişik matematiksel asimtotik dağılım olduğunu göstermiştir. Bunlardan birinci ve üçüncü tip dağılımlar deprem tahmininde kullanılmaktadır.

Birinci Tip Asimtotik Dağılım (Gumbel Dağılımı):

Birinci tip dağılım fonksiyonu şöyledir:

$$\Phi^{(1)}(x) = \exp[-\exp(-\alpha(x-\eta))] \quad -\infty < x < \infty, \quad \alpha > 0 \quad (6)$$

Birinci tip asimtotik dağılımın parametreleri α ve η değişik metodlarla tahmin edilebilir (Gumbel, 1958). Örneğin, en küçük kareler yönteminde n ardıl yıl için yıllık en büyük deprem magnitüdüleri, x_1, \dots, x_n küçükten büyüğe doğru, $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(n)}$, sıralandıktan sonra $\Phi(x)$ 'in değerleri gözlemsel dağılım fonksiyonu

$$\hat{\Phi}(x_{(i)}) = \frac{i}{n+1} \quad (7)$$

ile bulunur. α ve η 'nin değerleri de aşağıdaki ilişkiler yardımıyla hesaplanabilir (Gumbel, 1958):

$$\hat{\alpha} = \frac{s_y}{s_x} ; \quad \hat{\eta} = \bar{X} - \frac{1}{\hat{\alpha}} \bar{Y} \quad (8)$$

Burada, s_x ve s_y , sırasıyla, X ve Y 'nin standard sapmalarıdır. \bar{X} ve \bar{Y} de X ve Y 'nin ortalama değerlerini gösterir. Ayrıca $y = -\ln[-\ln \hat{\Phi}^{(1)}(x)]$ ve $x = (1/\alpha)y + \eta$ dir. En büyük n deprem magnitüdünün birinci tip uç değer dağılımına göre ortalaması ve modu (en çok gözlenen değeri), sırasıyla, aşağıda verilmiştir (Gumbel, 1958):

$$\bar{X} = \eta + \frac{0.577}{\alpha} ; \quad \bar{X} = \eta + \frac{0.36651}{\alpha} \quad (9)$$

Üçüncü Tip Asimtotik Dağılım:

X , en büyük değeri sınırlı olan rassal bir değişken olarak tanımlanırsa, X 'in en büyük değerinin asimtotik dağılımı üçüncü tip asimtotik dağılımla ifade edilebilir:

$$\Phi^{(3)}(x) = \exp \left[-\left(\frac{w-x}{w-\eta} \right)^k \right] \quad x \leq w, \quad k > 0, \quad \eta < w \quad (10)$$

Üçüncü tip asimtotik dağılımın w , η ve k parametreleri klasik momentler veya en küçük kareler yöntemleri kullanılarak hesaplanabilir (Yegulalp, 1974). Momentler yönteminde iki (2-moment) veya üç moment (3-moment) dikkate alınır. Bu iki yöntem de rassal değişkenin tüm değerlerinin bilinmesini gerektirir. Ancak her zaman, özellikle zaman aralığının bir yıl olarak düşünüldüğü durumlarda, tam bir veri seti elde etmek mümkün olmayabilir. Bu tür durumlarda en küçük kareler yöntemini kullanmak daha güvenlidir (Yegulalp ve Kuo, 1974). Üçüncü tip asimtotik dağılım varsayımı altında gelecek n yıl içinde gözlenmesi mümkün olan en büyük deprem magnitüdünün ortalaması ve modu, sırasıyla, şu denklemlerden bulunur (Yegulalp, 1974):

$$\bar{X}_n \approx w - (w-\eta) \Gamma(1+1/k) (1/n)^{1/k} \quad (11)$$

$$\bar{X}_n \approx w - (w-\eta) [(1-1/k)/n]^{1/k} \quad (12)$$

Burada, $\Gamma(\cdot)$, gamma fonsiyonunu göstermektedir.

ÖRNEK ÇALIŞMA

Önceki bölümde bahsedilen değişik stokastik modellerden elde edilecek deprem tehlikesi tahminlerini karşılaştırmak için Kuzey Anadolu fay hattının en aktif

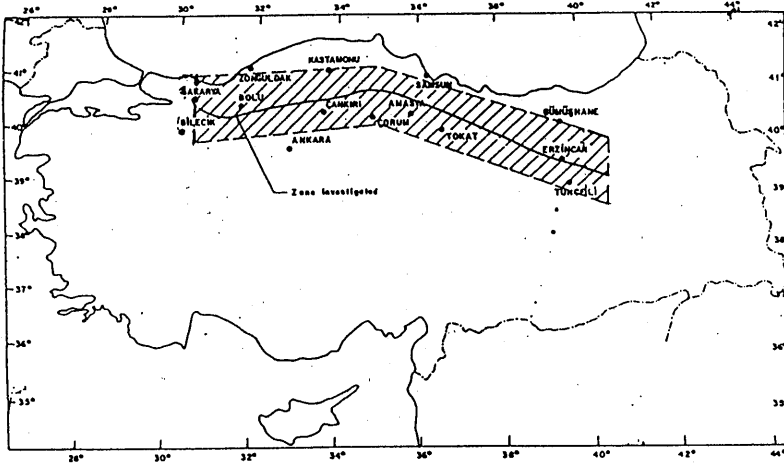
bölgesinden elde edilen veriler kullanılmıştır. Veri tabanı ve modellerin gerektirdiği işlemler aşağıdaki alt bölümlerde kısaca tartışılmıştır.

Veri Tabanı

Bu çalışmada Kuzey Anadolu fayının 30.31°D ve 41.08°D boylamları arasında yer alan ve Şekil 1'de gösterilen bölgede oluşan depremlerle ilgili veriler Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1992 yılında hazırlanan deprem kataloğundan derlenmiştir. Zaman aralığı 1904-1992 olarak alınmıştır. Bu veriler önceki bölümlerde bahsedilen stokastik modeller için girdi teşkil etmektedir. Depremler magnitüdlerine göre aşağıda gösterilen dört ayrı sınıfa ayrılmıştır:

<u>Richter magnitüdü</u>	<u>Sınıflandırma</u>
6.5 ve daha büyük	Büyük
5.5 - 6.4	Orta
4.5 - 5.4	Küçük
4.5 dan küçük	Çok küçük

Bu sınıflandırma tüm deprem oluşum modelleri için kullanılmıştır.



Şekil 1. Kuzey Anadolu fayı ile ilgili incelenen bölge

Poisson Modeli

Bu bölümde KAF' dan elde edilen veriler kullanılarak, deprem oluşumlarının zaman içinde bağımlılık gösterip göstermediği Ki-kare bağımsızlık testi ile kontrol edilmiş ve yıllık deprem olasılıkları hesaplanmıştır. Ki-kare testi sonucunda tüm veriler kullanıldığında deprem olaylarının zaman içinde $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde bağımlılık, $\alpha=0.025$ düzeyinde ise bağımsızlık gösterdiği gözlenmiştir. Ana şoklar ($m \geq 6$) ise zaman içinde $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde bağımsızlık göstermektedir. Poisson modeli (Denklem 1) kullanılarak hesaplanan yıllık deprem tehlikeleri Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Poisson modeli kullanılarak hesaplanan yıllık deprem tehlikesi

Deprem sınıfları	Zaman aralığı	ν	$P(N>0 \nu, t=1)$
Büyük	1904-1992	0.11	0.10
Orta	1904-1992	0.30	0.26
Küçük	1904-1992	1.34	0.74
Çok küçük	1970-1992	1.61	0.80

Burada, ν bir yıl içinde meydana gelen ortalama deprem sayısını gösterir. Çok küçük depremler için güvenilir verilerin 1970 yılından itibaren elde edilmeye başlandığı kabul edilmiştir.

Markov Modeli

Deprem tehlikesinin Markov modeli ile tahmininde dört magnitüd grubunun her biri için bir ve n-adımlık geçiş matrisleri hesaplanmıştır. Bu matrisler yoluyla gelecekteki deprem tehlikesi tahmin edilebilir. Hesaplamalar sırasında zaman aralığı bir yıl olarak alınmıştır. Bir-adımlık geçiş olasılıkları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Bir-adımlık geçiş olasılıkları

Deprem sınıfları	P(1,1)	P(1,0)	P(0,1)	P(0,0)
Büyük	0.12	0.88	0.10	0.90
Orta	0.41	0.59	0.15	0.85
Küçük	0.61	0.39	0.49	0.51
Çok küçük	0.82	0.18	0.60	0.40

Deprem oluşum olasılıkları herhangi bir gelecek zaman diliminde n-adımlık geçiş matrisini kullanarak hesaplanabilir. Tablo 3'de verilen durağan olasılık değerlerine, tüm magnitüd sınıfları için, en fazla yedi yıl içinde erişilmiştir.

Tablo 3. Durağan olasılık değerleri

Deprem sınıfları	P_{11}	P_{10}	P_{01}	P_{00}
Büyük	0.10	0.90	0.10	0.90
Orta	0.21	0.79	0.21	0.79
Küçük	0.56	0.44	0.56	0.44
Çok küçük	0.77	0.23	0.77	0.23

Beklendiği gibi büyük ve orta magnitüdü depremler için elde edilen P_{11} değerleri, küçük ve çok küçük magnitüdü depremlerin P_{11} değerlerinden oldukça küçüktür. P_{00} değerleri

için ise bu durumun tersi geçerlidir.

Uç Değer Modeli

Uç değer modelinin kullanılması için ilk önce 1904-1992 yılları arasında gözlenen en büyük deprem magnitüdü seçilmiştir. 89 yıllık zaman süresinin 23 yılında ya hiç deprem olmadığından ya da olan çok küçük depremlerin kayda geçmemesinden dolayı sadece 66 yıllık en büyük deprem magnitüdü elde edilmiştir. Asimtotik dağılımların parametreleri Yegulalp (1988) tarafından hazırlanan bilgisayar yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır.

Birinci Tip Asimtotik Dağılım

Birinci tip asimtotik dağılımın en küçük kareler yöntemi kullanılarak tahmin edilen parametrelerine göre dağılım fonksiyonu

$$\Phi^{(1)}(m) = \exp[-\exp(-1.23(m-4.79))] \quad (13)$$

olur. KAF üzerinde meydana gelen en büyük deprem magnitüdü gözlemlerinin $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde birinci tip asimtotik dağılıma iyi uyum gösterdiği Ki-kare iyi uyum testi ile belirlenmiştir. Denklem 9 kullanılarak hesaplanan ortalama ve en çok gözlenen magnitüd değerleri de sırasıyla 5.25 ve 5.09 dur.

Üçüncü Tip Asimtotik Dağılım

Üçüncü tip asimtotik dağılımın w , η ve k parametreleri daha önceki bölümlerde bahsedilen üç değişik yöntem ile hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Üçüncü tip asimtotik dağılımın üç değişik yöntemle tahmin edilen parametreleri

2-moment yöntemi	3-moment yöntemi	En küçük kareler yöntemi
$w = 12.05$	$w = 7.06$	$w = 10.73$
$\eta = 4.85$	$\eta = 5.01$	$\eta = 4.25$
$1/k = 0.118$	$1/k = 0.498$	$1/k = 0.18$

Ki-kare iyi uyum testi $\alpha = 0.05$ anlamlılık düzeyinde sadece 2-moment yöntemi için iyi sonuç vermiştir. En küçük kareler ve 2-moment yönteminde deprem magnitüdünün en büyük sınırını gösteren w parametresi gözlenen en büyük magnitüd 7.9 dan daha büyüktür. Gerçekte $w = 12.05$ ve $w = 10.73$ değerleri fiziksel olarak da anlamlı değildir. Bununla birlikte w sadece dağılımın bir parametresidir ve en büyük deprem magnitüdü olarak yorumlanmamalıdır. Diğer yandan 3-moment yönteminden elde edilen $w = 7.06$ değeri de gözlenen en büyük deprem magnitüdünden küçüktür. Bu tür uyumsuzluklara sebep olarak çok sayıda gözlemin (%25) eksik olması gösterilebilir.

STOKASTİK MODELLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bütün magnitüd sınıfları için üç değişik stokastik model kullanılarak hesaplanan yıllık sismik tehlike tahminleri Tablo 5 'de sunulmuştur. Aynı tabloda, gözlenen yıllık

deprem tehlikesi değerleri de verilmiştir. Bu gözlemsel değerler her magnitüd sınıfındaki deprem kayıtlarının eksiksiz olduğu zaman süresi için hesaplanmıştır.

Tablo 5. KAF için değişik stokastik modellerden hesaplanan yıllık sismik tehlike değerleri

Magnitüd	Zaman aralığı	Yıllık sismik tehlike
Büyük	1904-1992	Poisson : 0.10
		Markov : 0.10
		Birinci Tip : 0.11
		Üçüncü Tip
		i) İki-moment : 0.10
		ii) Üç-moment : 0.08
		iii)En küçük kareler : 0.09
		Gözlenen : 0.11
Orta	1904-1992	Poisson : 0.26
		Markov : 0.21
		Birinci Tip : 0.21
		Üçüncü Tip
		i) İki-moment : 0.24
		ii) Üç-moment : 0.34
		iii)En küçük kareler : 0.16
		Gözlenen : 0.21
Küçük	1904-1992	Poisson : 0.74
		Markov : 0.56
		Birinci Tip : 0.38
		Üçüncü Tip
		i) İki-moment : 0.38
		ii) Üç-moment : 0.31
		iii)En küçük kareler : 0.29
		Gözlenen : 0.50
Çok küçük	1970-1992	Poisson : 0.80
		Markov : 0.77
		Birinci Tip : 0.24
		Üçüncü Tip
		i) İki-moment : 0.22
		ii) Üç-moment : 0.21
		iii)En küçük kareler : 0.33
Gözlenen : 0.78		

Bu tablodan da görüldüğü gibi büyük magnitüdü depremler için tüm stokastik modeller gözlenen deprem etkinliği ile de tutarlı ve yaklaşık olarak aynı düzeyde yıllık sismik tehlike tahmini vermektedir. Orta magnitüdü depremlerde ise, 3-moment metodundan bulunan üçüncü tip asimtotik dağılım hariç, diğer bütün modellerde yıllık sismik tehlike değerleri birbirlerine yakındır. Diğer taraftan küçük ve çok küçük magnitüdü depremler için hesaplanan deprem tehlikesi tahminleri farklılık göstermektedir. Gözlenen sismik etkinliğe en yakın değerler depremler arasında zaman boyutunda bağımlılık olduğunu varsayan Markov modelinden elde edilmiştir. Bunun yanında Poisson modeli emniyetli tarafta sismik tehlike değerleri verirken, uç değer dağılımları da yıllık sismik tehlikeyi gerçek değerinin oldukça altında tahmin etmektedir. Uç değer modelleri arasında sadece parametreleri en küçük kareler yöntemiyle hesaplanan üçüncü tip asimtotik dağılım magnitüdü artarken sismik etkinlikteki azalmayı yansıtmaktadır. Uç değer modellerinden elde edilen tahminlerin yetersiz olması, sadece yıllık en büyük deprem magnitüdülerinin kullanılmasından ve dolayısıyla küçük ve çok küçük magnitüdü depremler hakkındaki bilgi kaybından kaynaklanmaktadır. Ayrıca, çalışmamızda kullanılan veri tabanında yıllık en büyük deprem magnitüdülerinin % 25'e yakın kısmı eksiktir. Knopoff ve Kagan (1977) da verilerin tümünü kullanmayan uç değer modellerinden elde edilen sismik tehlike tahminlerinin tatmin edici olmadığı sonucuna varmışlardır.

SONUÇLAR

Olasılık ve rassal süreçler kuramlarına dayanan yaklaşımlar, depremlerin zaman ve mekanda gösterdikleri rassallık ve parametrelerin tahminindeki belirsizlikler nedeniyle, sismik tehlike analizinde kullanılan en uygun yöntemlerdir. Deprem tehlikesinin tahmininde en çok kullanılan stokastik modeller KAF'ından edilen verilerden yararlanılarak karşılaştırılmıştır. Bu çalışmaya dayanarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- (i) Deprem oluşumunu sadece zaman boyutunda inceleyen stokastik modeller küçük ve orta magnitüdü depremler için farklı sismik tehlike tahminleri verirken, büyük magnitüdü depremler için bu tahminler yaklaşık olarak aynıdır.
- (ii) Tek bir inşaat sahasındaki sismik tehlikenin gerçekçi tahmini için elde edilen verilerin kapsamına uygun bir stokastik model kullanılmalıdır. Öte yandan, sismik tehlikenin birçok coğrafi noktada hesaplanmasını gerektiren deprem bölgeleri haritaları çalışmalarında, basit Poisson modeli yeterli olacaktır. Çünkü bu tür çalışmalarda görece sismik tehlike değerlerinin bilinmesi genellikle yetmektedir.

TEŞEKKÜR

Bildiride sunulan araştırma, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu (AFP 93-03-03-02 nolu proje) ve kısmen de TÜBİTAK (INTAG-522 nolu proje) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Kataloğu (1992), Ankara (Basılmamış).
2. Burton, P.W. (1978), "Uç Değer İstatistiklerinin Avrupa Bölgesindeki Sismik Tehlikenin Belirlenmesinde Uygulanması", Proc. Symp. Anal. Seismicity and on Seismic Risk, pp.323-334, (İngilizce).
3. Cornell, C. A. (1968), "Mühendislik Sismik Risk Analizi", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 58, pp. 1583-1606, (İngilizce).
4. Der Kiureghian, A. ve Ang, A. H-S. (1977), "Sismik Risk Analizi için Bir Fay Kırılma Modeli", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 67(4), pp. 1173-1194, (İngilizce).
5. Epstein, B. ve Lomnitz, C. (1966), "Büyük Depremlerin Oluşumu için Bir Model", Nature, Vol. 211. pp. 954-956, (İngilizce).
6. Ferraes, S. G. (1967), "Mexico City'deki Depremler için Poisson Süreci Sınaması", Journal of Geophysical Research, Vol. 72(14), pp. 3741-3742, (İngilizce).
7. Gumbel, E. J. (1958), Uç Değer İstatistikleri, Columbia University Press, New York, (İngilizce).
8. Kiremidjian, A. S. (1982), "Büyük Depremler için En Küçük Gerilme Düzeyi", Proc., 7 th ECEE, Athens, Greece, Vol. 2. pp. 32-41, (İngilizce).
9. Knopoff, L. ve Kagan, Y. (1977), "Deprem Problemlerine Uygulanan Uç Değer Kuramının Analizi", Journal of Geophysical Research, Vol. 82(32), pp. 5647-5657, (İngilizce).
10. Lomnitz, C. (1974), Küresel Tektonikler ve Deprem Riski, Elsevier, Amsterdam, (İngilizce).
11. Makropoulos, K. C. ve Burton, P. W. (1986), "HAZAN: Gumbel'in Uç Değer İstatistikleri Kuramını Kullanarak Sismik Tehlike Parametrelerini Değerlendiren Bir Fortran Programı ", Computers and Geosciences, Vol. 12(1), pp. 29-46, (İngilizce).
12. Parzen, E. (1962), Stokastik Süreçler, Holden-Day, San Francisco, (İngilizce).
13. Patwardhan, A. S., Kulkarni, R. B. ve Tocher, D. (1980), "Büyük Depremlerin Tekrarının Nitelendirilmesi için Bir Yarı-Markov Modeli", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 70, pp. 323-347, (İngilizce).
14. Rice, J. (1975), "Deprem Dizilerinin Analizinde Kullanılan İstatistiksel Yöntemler", Geophys. J. R. Astr. Soc., Vol. 42, pp. 671-683, (İngilizce).
15. Suzuki, S. ve Kiremidjian, A. S. (1991), "Depremlerin Oluşumu için Bayes Parametrelili Bir Rassal Kayma Oranı Modeli", Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 81. pp. 781-795, (İngilizce).
16. Yegulalp, T. M. (1974), "Büyük Depremlerin Önceden Tahmini", Management Science, Vol. 21(4), pp. 418-421, (İngilizce).
17. Yegulalp, T. M. (1988), Uç Değer İstatistikleri Paketi, Columbia University, (İngilizce).
18. Yegulalp, T.M. ve Kuo, J. T. (1974), "En Büyük Magnitüdümlü Depremlerin Oluşumunun İstatistiksel Tahmini", Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 64(2), pp. 393-414, (İngilizce).
19. Yüçemen, M. S. (1993), "Sismik Tehlike Tahmini için Çok Boyutlu Bir Rassal Fonksiyon Modeli", Structural Safety, Vol. 12, pp. 187-203, (İngilizce).