

GÜNEYDOĞU ANADOLU BİNDİRME ZONUNDA DEPREM OLUŞUMLARININ GUMBEL EXTREM DAĞILIMI İLE İNCELENMESİ

Investigation of the Earthquake Occurrences within the Southeast Anatolia Thrust Zone by Gumbel Extreme Distribution

Günruh BAĞCI (*)

ÖZET

Bu çalışmada, 1900-1990 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bindirme zonunda olan depremlerin verileri Gumbel Extrem Değerler dağılımı esas alınarak incelenmiş ve sismik risk değerleri hesaplanmıştır. Gumbel I'ın [A ve B], Gumbel III' ün [W, U ve K) parametreleri, Newton-Raphson yönteminin *ln* fonksiyonunun nümerik olarak maksimize edilmesinde en büyük olasılık tekniğinin kullanılmasıyla tesbit edilmiştir.

Gumbel I olasılık dağılımından, Güneydoğu Anadolu Bindirme zonunda, M=6.0 olan depremin 50 yıllık süre içerisinde olma olasılığı %76, 100 yıllık süre içerisindeki olma olasılığı ise % 94 olarak tesbit edilmiştir. M=6.0 olan depremin tekrarlanması için dönüş periyodu yaklaşık 17.5 yıl olarak bulunmuştur. Gumbel III olasılık dağılımdan ise M=6.0 olan depremin 50 ve 100 yıllık süreler içerisinde olma olasılığı çok yüksek olup, bu depremin tekrarlanması için dönüş periyodu 21.7 yıl olarak bulunmuştur.

ABSTRACT

In this study, earthquakes which occurred in the Southeast Anatolian Thrust zone between 1900-1990 were used to estimate seismic risk parameters from Extreme Value Distribution. The Gumbel I [A and B] and Gumbel III [W, U and K) parameters are determined utilizing the maximum likelihood technique by numerical maximization of the *ln* function employing the Newton-Raphson procedure.

From Gumbel I distribution, probability of occurrence of M=6.0 earthquake in 50 years period was obtained as 76 percentage while probability of occurrence of same earthquake in 100 years period was obtained as 94 percentage. The return period for earthquake M=6.0 was found as 17.5 years. From Gumbel III distribution, the probability of occurrence of M=6.0 earthquake in 50 and 100 years period was obtained in higher percentages and the return period was found as 21.7 years.

GİRİŞ

Deprem oluşumlarının veya tekrar olma riskinin dönüşüm periyodlarının belirlenmesi, sismik risk çalışması yapılan ve sismik aktivitesi yüksek olan bölgeler için çok önemlidir. Dönüşüm periyodlarının belirlenmesinde kullanılan birçok istatistiksel çalışma neticesinde deprem oluşumları ve deprem olma riski ile ilgili sonuçlar elde edilmektedir.

Depremlerin zamana göre oluşumları rassal bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Geçmişte gözlenen depremlerle ilgili verilere dayanarak, gelecekte olacak depremlerin tahmini istatistik modellerle ifade edilebilmektedir. Bu çalışmada, 1990-1990 yılları arasında Güneydoğu Anadolu Bindirme zonunda olmuş

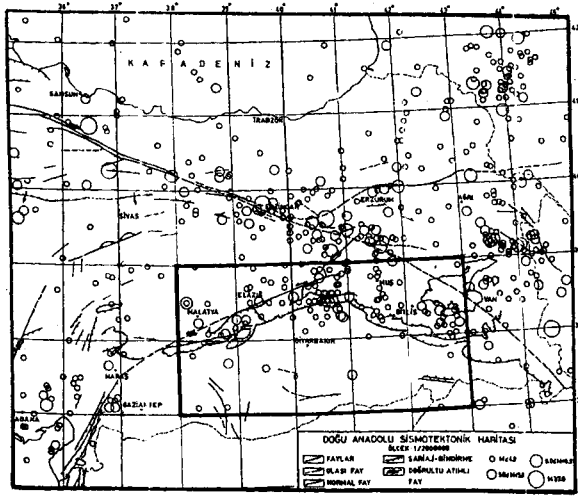
olan depremlerin verileri Gumbel ve Extrem değerler Dağılımı kullanılarak çalışılmış ve seçilen bölge için sismik risk değerleri bulunmuştur.

GÜNEYDOĞU ANADOLU BİNDİRME ZONUNUN SİSMOTEKTONİĞİ

Türkiye, yeryüzünde en önemli iki deprem kuşağından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Güneydoğu Anadolu Bindirme zonu depremselliği ile belirginleşen önemli sismotektonik yapılardan biridir. Şekil 1'de verilen sismotektonik haritada görüldüğü gibi depremlerin yerel dağılımları incelendiğinde episantırların önemli tektonik yapılardan bir olan Güneydoğu Anadolu Bindirme üzerinde yer

*) Afet İşleri Genel Müdürlüğü Deprem Araştırma Dairesi, ANKARA

aldığı ve bu tektonik yapıya paralel olarak yoğunlaştığı görülmektedir.



Şekil 1: Doğu Anadolu'nun sismotektonik ve çalışılan bölgenin bulduru haritası.

Figure 1: Seismotectonic map of Eastern Anatolia and location study region.

Arap plakası ile Anadolu plakasının çarpışma yeri olan bindirme zonu aynı zamanda Ketin (1966) tarafından Toridler ve Kenar Kıvrımları diye adlandırılan tektonik birliklerin sınırını tekil etmektedir. Bu zon boyunca bindirmeler Miyosen'den sonra başlamış ve Bitlis masifinin metamorfik kristalin serileriyle bunları örten Ofiyolitik Kretase tabakaları Miyosen ve kısmen Oligosen-Üst Eosen serileri üzerine itilmişlerdir. Toroslar kuşağında ve Güneydoğu Anadolu kenet kuşağında Üst Kretase'de başlayan sıkışma hareketleri Miyosen-Miyocen'de en şiddetli safhasına ulaşmıştır. Bu bölgedeki bindirmeler genel olarak Torosların güney kenarını izlemekte, batıda Maraş'ın kuzeyinden başlayarak doğuya doğru Çüngüş, Ergani, Lice, Kulp ve Pervani ilçelerinden geçerek, Zagros Bindirme Kuşağına bağlanmaktadır (Ketin, 1983). Canitez (1969), Nowroozi (1972), McKenzie (1972) ve Eyidoğan (1983) Zagros Kuşağı'nda oluşan depremlerin çoğunun bölgesel tektoniğe uygun şekilde kuzeydoğu-güneybatı yönünde sıkışmayı yansıtan ters faylanma türünden mekanizmalara sahip olduklarını göstermişlerdir.

GUMBEL EXTREM DEĞERLER DAĞILIMI

Maksimum magnitüdü depremlerin oluşma olasılıklarının "Extrem Değerler Teorisi" kullanılarak tesbit edilebileceği çalışması ilk olarak Nordquist (1945) tarafından yapılmıştır. En büyük deprem magnitüdüne uygulanan Gumbel teorisinin matematiği birçok araştırmacı tarafından rapor edilmiştir (Knopoff ve Kagan, 1977; Burton, 1979; Burton, 1981). Gumbel

(1958) tarafından bulunan extrem değerler teorisinin avantajı, deprem oluşumlarının istatistiksel analizinde verilerin eksik olması durumunda da kullanılabilmesidir. Genelde, Gumbel teorisi, daha önceden belirlenen aralıklarda, en büyük magnitüdü değerleri kullanılarak deprem verilerinin sıralanmasında kullanılmaktadır. $G(m)$, extremelerin üç ayrı asimtotik dağılımlarından biri olarak tanımlanabilmektedir. Extremelerin asimtotik dağılımlarından birincisi olan Gumbel I,

$$G1(m) = \exp\{-\exp-A(M-B)\} \quad (1)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Bu dağılımda, iki parametre vardır. A sabit katsayı ve H ise model extrem değerinin karakteristiğidir. Deprem verilerinin eksik olması durumunda, Gumbel III aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$G3(m) = \exp\{(W-M)|(W-U)^K\} \quad M < W = 1 \quad M > W$$

Bu üç parametrelili dağılımın grafiksel davranışı kavisleşen eğri şeklindedir ve bu eğride K kavisleşme parametresi, W , extrem değerlerin aralığının üst sınırı ve U tekrarlanan extrem değerlerin karakteristik değeridir. Maksimum magnitüdü depremlerin tekrar oluşmasının risk analizi Burton (1979) tarafından Gumbel III modeli kullanılarak yapılmıştır. Maksimum magnitüdü depremlerin oluşma olasılıklarında, üst sınır olması gerektiğini belirlemişler ve W değişkeninin önemini belirtmişlerdir.

Gumbel olasılık dağılımının bulunabilmesi için, elde bulunan deprem verileri içerisinde, n yıl içerisindeki " T " inci en büyük magnitüdü depremin yeri ise aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir:

$$G_i(m) = i/n + 1 \quad (2)$$

(1), (2) ve (3) no.lu denklemlerden hesaplanan olasılık dağılımları kullanılarak, dönüş periyodunun $T(M)$ (yıl) bulunması mümkündür. Dönüş periyodu $T(M)$, gözlenen M' ye eşit veya ondan büyük olan maksimum depremin bulunduğu aralıktaki ortalama değerdir ve aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir:

$$T_i(M) = 1 - G_i(M) - 1 \quad (3)$$

Gumbel I doğrusal bir davranış göstermesine rağmen, Gumbel III aşağı doğru kavisleşen bir eğri davranış göstermektedir ve K kavisleşme asimtotu için, az zaman olasılıklarında veya yüksek dönüşüm periyodlarında W ya doğru kavisleşme parametresi olarak tanımlanmaktadır.

MAKSİMUM OLASILIK UYGULANARAK PARAMETRE TESPİT EDİLMESİ

Extrem dağılım parametrelerinin tesbit edilmesinde birçok yöntem bugüne kadar araştırmacılar tarafından kullanılmıştır (Hasking, 1985 Burton ve diğ., 1983). Gumbel dağılımları parametrelerinin tesbit edilmesinde

kullanılacak maksimum olasılık parametreleri nümerik yöntemlerden Newton-Raphson yöntemi kullanılarak bulunabilmektedir (Gross ve Clark, 1975). Gumbel III (G3) dağılımının verildiği (2) no.lu denklemden görüldüğü gibi, maksimizasyon yöntemi, W , U ve K parametrelerinin elde edilmesinde kullanılmaktadır. Bunun için, L olasılık fonksiyonu olarak tanımlanmıştır:

$$L = K / W - U^{n-r} \prod_{i=r+1}^n (W - M_i / W - U)^{K-1} \left[\exp \left(- \sum_{i=r+1}^n (W - M_i / W - U)^K \right) \right] \quad (5)$$

$$* \left\{ \exp - (W - M_i / W - U)^K \right\}^r$$

Burada:

M_i = gözlenen deprem magnitüdü ($4.0 < M_i < 7.0$)

M_c = veriler içerisindeki en az deprem magnitüdü ($M_c = 4.0$) n =bütün deprem verilerinin kullanıldığı zaman aralığı ($n=90$ yıl) $n-r$ = verilerin kullanıldığı yılların zaman aralığı Yukarıdaki denklemden, W , U ve K değişkenlerinin tesbit edilmesinde, ilk tahminler W_0 , U_0 , K_0 olarak gösterilmekte ve m 'inci iterasyon sonucunda W , U ve K 'nin çözümlerine yaklaşan sonuç parametreleri bulunmaktadır.

GUMBEL I VE GUMBEL III DAĞILIMLARININ UYGULANMASI

Bu çalışmada, risk hesaplamalarına geçmeden önce, kullanılan deprem verilerinin uygunluk testinin Gumbel I ve Gumbel III dağılımlarının hesaplamaları yapılarak, parametreler bulunduktan sonra yapılması gerekmektedir.

Verilerin az olması nedeniyle, Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmış ve maksimum olasılık yöntemi için uygunluk sağlanan kritik değerler bulunmuştur. Mühendislik sismolojisi amaçları için, dönüş ve ileriye yönelik tasarım periyodlarında deprem riskinin bulunabilmesinde, maksimum magnitüdüden risk çalışmaları kullanılan yöntemlerdendir. Lomnitz (1974)'e göre, deprem riski belli bir zaman aralığında beklenen magnitütle oluşacak olan kritik bir depremin oluşma olasılığı, "yüzde" olarak tanımlanabilmektedir. Gumbel I ve III olasılık dağılımlarının parametreleri, dönüş periyodu (T) ve tasarımılanan oluşma periyodu (D)'deki deprem riski $R(M)$ 'nin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Gumbel I ve III dağılımları için dönüş periyodları kullanılarak deprem riski aşağıda verilen denklemlerle hesaplanmaktadır:

Gumbel I için:

$$R1(M)_r = 1 - \exp\{-T \exp[-A(M-B)]\} \quad (6)$$

Gumbel III için:

$$R3(M)_r = 1 - \exp\{-T(W-M)/(W-U)^K\} \quad (7)$$

Aynı şekilde tasarımılanan oluşma yılları için (D), deprem risklerinin $T > D$ şartında hesaplanması aşağıdaki denklemlerle yapılmaktadır:

Gumbel I için:

$$R1(M)_D = 1 - G1(M)^D \quad (8)$$

Gumbel III için:

$$R3(M)_D = 1 - G3(M)^D \quad (9)$$

Denklem (6), (7), (8) ve (9)'nin birlikte çözülmesiyle, aşağıda verilen bağıntılar elde edilmekte ve bunlar deprem riskinin hesaplanmasında kullanılmaktadır:

Gumbel I için:

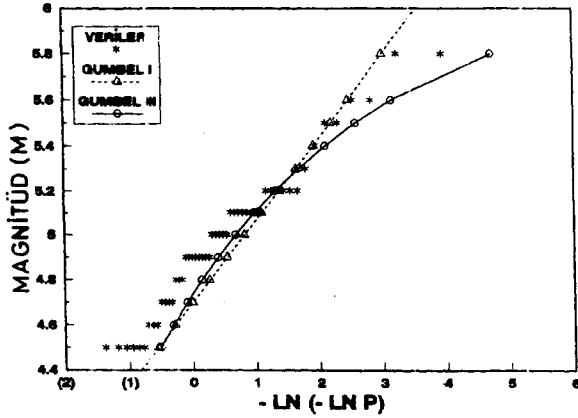
$$R1(M)_D = 1 - \exp\{D/T \ln 1 - R1(M)_T\} \quad (10)$$

Gumbel III için:

$$R3(M)_D = 1 - \exp\{D/T \ln 1 - R3(M)_T\} \quad (11)$$

GUMBEL I VE GUMBEL III DAĞILIMLARININ SİSMİK RİSK HESAPLAMALARI

Gumbel I ve Gumbel III asimtotik dağılım modelleri kullanılarak çalışılan bölge için Gumbel I'nin parametreleri olan A ve B , Gumbel III'ün parametreleri olan W , U , K 'nin hesaplanan değerleri Çizelge 1 de verilmiştir. Gumbel I ve Gumbel III için bulunan bu parametreler kullanılarak bölge için $-\ln(-\ln G(m))$ değerleri yıllık maksimum magnitüd değerlerine göre hesaplanmıştır. Yıllık gözlenen magnitüd verilerinin olasılık dağılımlarında Denklem (3) ile gözlenen yıllık maksimum magnitüd değerlerine göre hesaplanmıştır. Gözlenen verilerin dağılımları ile, Gumbel I ve Gumbel III modelleri için olasılık dağılımları Şekil 2 de gösterilmiştir. Gumbel I ve Gumbel III olasılık modellerinin A , B , W , U ve K parametrelerinin hesaplanmasından ve Kolmogorov-Smirnov uygunluk testinden sonra deprem risk hesaplamalarında belirlenen deprem magnitüdülerinin dönüş periyodları ve tasarımılanan oluşum periyodları hesaplanmış ve Çizelge 2 de verilmiştir.



Şekil 2: Gumbel I ve Gumbel III modellerinin olasılık dağılımları.

Figure 2: Probability distributions of Gumbel I and Gumbel III models.

MODEL	MODEL PARAMETRELERİ	MAGNİTÜD (M)				K-S KRİTİK UYGUNLUK DEĞERİ	İTERASYON SAYISI
		5.0	5.5	6.0	6.5		
GUMBEL I	A = 2.13 B = 4.47	2.17	5.50	17.50	59.80	0.149	5
GUMBEL III	W = 6.25 U = 4.73 K = 2.16	2.07	4.53	9.30	21.70	0.090	5

Çizelge 1: Gumbel I ve Gumbel III parametreleri.

Table 1: Best fit parameters of Gumbel I and Gumbel III models.

SONUÇLAR

Gumbel I ve Gumbel III olasılık dağılımlarının uygulanması ile, Güneydoğu Anadolu Bindirme zonunda, $M=6.0$ olan depremin 50 yıl içerisinde olma olasılığı yüzde 76, $M=6.5$ olan depremin ise yüzde 31 olduğu bulunmuştur. Gumbel III modeliyle, tasarımılanan deprem tekrar oluşma periyotlarından 50 yıl içerisinde $M=6.0$ depremin olma olasılığı yüzde 100 iken, $M=7.0$ depremin olma olasılığı yüzde 66 olarak bulunmuştur.

Gumbel I olasılık modelinin parametreleri A ve B , Güneydoğu Anadolu Bindirme zonu için 2.13 ve 4.67 olarak hesaplanmıştır. $M=6.0$ depremin dönüş periyodu Gumbel I modeliyle 17.5 yıl olarak bulunmuştur. Deprem verilerinin eksik olması durumunda Gumbel III modelinin parametreleri W , U ve K , 6.25, 4.73 ve 2.60 olarak hesaplanmıştır.

Güneydoğu Anadolu Bindirme zonunda, $M=6.0$ depremin dönüş periyodu Gumbel III modeliyle 21.7 yıl olarak bulunmuştur.

KAYNAKLAR

- Burton, P.W., 1979, Seismic risk in southern Europe through to India examined using Gumbel's third distribution of extreme values: *Geophys. J. R. Astr. Soc.*, 59, 249-280.
- Burton, P.W., 1981, Variation of seismic risk parameters in Britain: in *Proc. Second Intern. Symp. Anal. Seismicity and Seismic Risk, Liblice, Czechoslovakia*, 495-530.

GUMBEL I MODELİ							
MAGNİTÜD (M)	TASARIMLANAN DEPREM OLUŞMA PERİYODU (YIL)						
	50	75	100	125	150	175	200
5.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.5	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6.0	0.76	0.88	0.94	0.97	0.98	0.99	0.99
6.5	0.31	0.42	0.52	0.60	0.67	0.72	0.77
7.0	0.09	0.13	0.17	0.21	0.24	0.28	0.31
7.5	0.02	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09

GUMBEL III MODELİ							
MAGNİTÜD (M)	TASARIMLANAN DEPREM OLUŞMA PERİYODU (YIL)						
	50	75	100	125	150	175	200
5.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
5.5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6.5	0.98	0.99	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00
7.0	0.66	0.80	0.88	0.93	0.96	0.98	0.99
7.5	0.12	0.18	0.23	0.28	0.32	0.36	0.40

Çizelge 2: Deprem magnitülerinin tasarımılanan oluşum periyotları.

Table 2: Probability of earthquake risk occurrence of specified design periods.

- Hurton, P.W., Main, I.G. and Long, R.E., 1983, Perceptible earthquakes in the central and eastern United States (examined using Gumbel's third distribution of extreme values: *Bull. Seism. Soc. Am.*, 73, 497-518.
- Cantez, N., 1969, Türkiye ve civarında deprem odak hareketleri gerilme dağılımları: *İ.T.Ü. Maden Fak. Yayın, İstanbul*.
- Erdik, M.Ö. ve Marthur, S.K., 1980, M.E.T.U. Report No:4.
- Eyidoğan, H., 1983, Bilis-Zagros Bindirme ve Kıvrımlı kuşağının sismoteknik özellikleri: *Doktora Tezi. İ.T.Ü. Yayın*.
- Gumbel, E.J., 1958, *Statistics of Extremes: Columbia University Press, New York*.
- Gross, A.J. and Clark, V.K., 1975, *Survival distributions: reliability applications in the biomedical sciences: John Wiley and Sons, New York, 331p.*
- Hasking, J.R.M., 1985, Maximum likelihood estimation of the parameters of the generalized extreme-value distribution: *Appl. Statistics*, 34, 3, 301-310.
- Kein, İ., 1966, Anadolu'nun tektonik birlikleri: *M.T.A. Dergisi*, 66, 20-34.
- Kein, İ., 1983, Türkiye jeolojisine genel bir bakış: *İ.T.Ü. Yayın*.
- Knopoff, L. and Kagan, Y., 1977, Analysis of the theory of extremes as applied to earthquake problems: *J. Geophys. Res.*, 82, 5647-5657.
- Lomnitz, C., 1974, *Global tectonics and earthquake risk: Elsevier Science Publ., Amsterdam, 320p.*
- McKenzie, D.P., 1972, Active tectonics of Mediterranean region: *Geophysics*, 18, 1-32.
- Nordquist, J.M., 1945, Theory of largest values applied to earthquake magnitudes: *Trans. Am. Geophys. Un.*, 26, 29-31.
- Nowroozi, A.A., 1972, Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan and Afganistan and Plate tectonics of the Middle East: *Bull. Seis. Soc. Am.*, 62, 823-850.