

BAĞI ANADOLU DEPREMSELLİĞİNİN MARKOV YÖNTEMİ İLE ARAŞTIRILMASI

The Investigation of Western Anatolia Seismicity by the Markov Method

Rahmi PINAR*, Zafer AKÇIĞ*, Filiz DEMİREL*

ÖZET

Bu çalışmada, 1920-1986 yılları arasındaki deprem verilerinden yararlanılarak, 25°-31° Doğu ve 36°-41° Kuzey enlemleri arasında kalan Ege Bölgesinin depremselliği (deprem riski), mevsimlere bağlı olarak incelenmiştir. Bunun için manyitüdü (magnitude) $m \geq 5.0$ olan depremler taranmıştır. Depremlerin mevsimlere bağlı olarak gelecekte olma olasılıkları ise Markov modeli kullanılarak hesaplanmıştır. Bu yöntem yardımı ile elde edilen bulgulardan yararlanılarak, deprem olma olasılıklarının ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde yüksek olduğu saptanmıştır.

ABSTRACT

Seismicity (seismic risk) of the Aegean Region between the coordinates of 25°-31° East and 36°-41° North, was investigated using the earthquake data for the years 1920-1986 according to the seasonal variations. Seismological data were scrutinized for the earthquakes having the magnitudes $M \geq 0.5$ for this purpose. Seasonal earthquake future occurrence probabilities were calculated according to the Markov models. In accordance with the findings obtained through this method, the earthquake risk probability was found to be higher during seasons of spring and autumn.

GİRİŞ

Bağımsız deneyler durumunda, özel bir deneyin sonucuna verilen olasılığın, ondan önceki deneylere ait bilgilerle değişmeyeceği Poisson modelinde varsayılmaktadır. Verilen bir deney sonucunun olasılığının, ondan önceki deney sonuçlarına bağlı olduğu kabul edilmektedir.

Yukarıda anlatılan nedenden dolayı Markov modeli, 1906 San Fransisco depreminden sonra geliştirilen geri tepme (elastic rebound) kuramına uymaktadır. Böylece gelecekteki deprem olayı geçmiş depremlere bağımlı olacaktır.

Sismik olaylar arasındaki bağımlılık nedeniyle, Markov yönteminin depremsellik çalışmalarında kullanılması önerilmektedir (Vanmercke ve diğ. 1973). Markov modelini, Hagivara (1975) şekil değiştirme enerjisinin açığa çıkma mekanizmasında, Kiremidjian ve Anagnos (1980) ile Grivas ve diğ. (1980) de deprem oluşumuyla ilgili olarak kullanmışlardır.

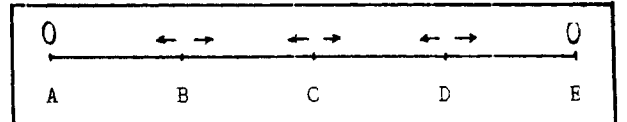
MARKOV MODELİ KURAMI

Markov Zinciri

Markov zinciri aşağıda örnekte olduğu gibi basitçe açıklanabilir.

* DEÜ, Müh-Mim. Fak, Jeoloji Müh. Böl., Bornova, İzmir

Bir tren makinisti 5 istasyon boyunca hareket etmektedir (Şekil 1). Ancak makinist her istasyona geldiğinde yazı, tura atmaktadır. Yazı gelirse bir sonraki, tura gelirse bir önceki istasyon yönünde gidecektir. Tren bu şekilde A veya E istasyonuna geldiğinde hareketsiz olarak kalmaktadır. Her istasyonda makinistin attığı yazı ve turadaki şanslar eşit olduğundan



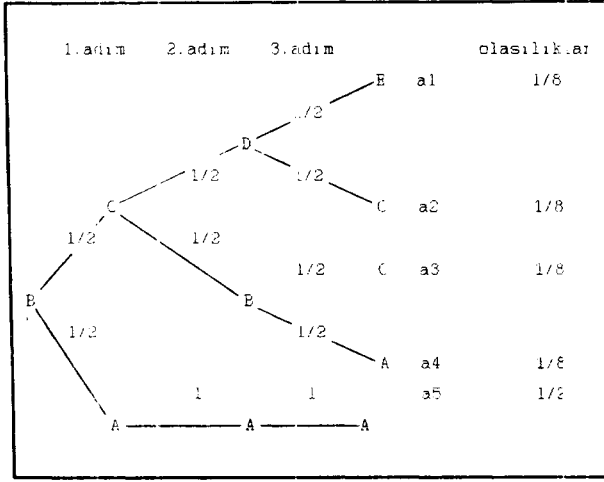
Şekil 1. Trenin hareket yönü.

Fig. 1. The movement direction of the train.

trenin bir sonraki veya bir önceki istasyon yönünde hareket etme olasılıkları birbirlerine eşit ve 1/2 dir. Buna göre geçiş olasılık dizeyi (transition probability matrix),

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1/2 & 0 & 1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 0 & 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

olarak yazılabilir (Geçiş olasılık düzeyinin ayrıntılı açıklaması bir sonraki bölümde verilmektedir). Örneğin trenin 3 adım sonra "mutlaka hareket halinde" bulunabilmesi olasılığını araştırmak için "Markov zincirleri" hazırlanır (Şekil 2). Trenin kesinlikle her türlü yazı-tura atımına karşı hareket edebilmesi olasılığına sahip olması deyimi a2 ve a3 yolları için doğrudur. Trenin bu yolları izleyerek "C" istasyonunda bulunması için gerekli olasılık 1/8 dir. Hem a2 hem de a3 yollarından aynı sonuca ulaşabileceğine göre aranan olasılık 1/4 dür.



Şekil 2. Üç adım sonra, trenin hareket halinde olma olasılıklarını gösteren Markov zinciri.
Fig. 2. Markov chain, showing the probabilities that the train is in action after three steps.

5 istasyonda gösterilen bu basit durum istasyon sayısı artırıldığında veya daha değişik fiziksel olaylarda (örneğin deprem konusunda olduğu gibi) veri sayısı çok olduğunda basit Markov zincirleri ile gösterilemeyeceği açıktır. Bu nedenle Markov zincirlerine ait genel kuram kurulmuştur.

Geçiş Olasılık Dizeyi ve Mutlak Olasılıklar

Bir düzeneğin e1, e2,ej gibi bağımsız, ardışık olaylardan oluştuğunu varsayalım. Olayların sayısı sonlu veya sonsuz olabilir. Her denemenin sonucu, ej (j = 1, 2,) olayların oluşumu açısından ele alındığında, En her bir "ej" olayının olma olasılığı olarak tanımlanır. Burada n denemenin sonucu En = j dir (n = 0, 1, 2,.....).

Olasılık kurallarına göre, denemelerin bağımsız olması halinde, bütün "n" değerleri ve gelişigüzel değişkenlerin alabilecekleri tüm değerler için Markov zinciri

$$Pr(E_n = j | E_0 = i_0, E_1 = i_1, \dots, E_{n-1} = i_{n-1}) = Pr(E_n = j) \quad (1)$$

bağıntısı ile verilir (Takacs 1966). (1) denkleminde hareketle, her yeni denemenin sonucunun kendisinden bir önceki olayın sonucuna bağlı olduğu ve daha önceki denemenin sonuçlarından bağımsız olduğu varsayılarak, Markov zinciri kuramı ortaya çıkmaktadır. Başka bir deyişle, bütün "n" (n = 0,1,2,...) değerleri ve gelişigüzel değişkenlerin alabilecekleri tüm değerler için En

$$(n = 0, 1, 2, \dots)$$

$$Pr(E_n = j | E_0 = i_0, E_1 = i_1, \dots, E_{n-1} = i_{n-1}) = Pr(E_n = j | E_{n-1} = i_{n-1}) \quad (2)$$

geçerli olması halinde, ardışık olaylar veya ilgili gelişigüzel değişkenler için bir Markov zincirini oluştururlar. Buna göre (2) bağıntısı 1. dereceden Markov zincirini göstermektedir. Eğer herhangi bir olay dizisinde, her bir denemenin sonucu kendisinden bir önce gelen "k" kadar olayın sonucuna bağlı olması halinde, "k" ıncı dereceden Markov zinciri sözkonusu olmaktadır.

Yukarıda belirtilen $Pr(E_0 = j) = j(0)$, $j = 1, 2, \dots, E_0$ gelişigüzel değişkeninin bir olasılık dağılımıdır. Başka bir deyişle başlangıç durumlarının olasılık dağılımı veya kısaca başlangıç dağılımı olarak tanımlanabilir. $Pr(E_n = j | E_{n-1} = i)$ koşullu olasılıkları, sistemin n-1 anında "i" durumunda olma koşulundan, sistemin "n." anında "j" durumunda olması için, tanımlanan düzey geçiş olasılık düzeyidir. Bu tanıma göre sistem "n" adımında "ei" konumundan "ej" konumuna geçiş yapmaktadır.

Markov zincirleri tekdüze (tek adım bellekli) ve tekdüze olmayan (çok adım bellekli) zincirler olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Zamandan bağımsız olması durumunda, başka bir deyişle "n" den bağımsız olması durumunda, (1) bağıntısından yararlanılarak, tekdüze Markov zincirinin geçiş olasılık düzeyi,

$$Pr(E_n = j | E_{n-1} = i) = P_{ij} \quad i, j = 1, 2, \dots \quad (3)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Tekdüze olmayan Markov zincirinde ise bu olasılıklar $p_{ij}(n)$ olarak tanımlanmaktadır. (Benjamin ve Cornell 1970).

Markov zincirlerinin $p_{ij}(n)$ geçiş olasılıkları, tekdüze olmayan zincirlerde "W(n)", tekdüze olanlarda ise "W" olarak adlandırılan bir düzey ile gösterilir. 1. dereceden tekdüze bir Markov zincirinin,

$$p_{ij} = Pr(E_n = j | E_{n-1} = i) \quad i, j = 1, 2, \dots, N \quad (4)$$

geçiş olasılıkları düzeyi,

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & - & - & - & P_{1N} \\ P_{21} & P_{22} & - & - & - & P_{2N} \\ - & - & - & - & - & - \\ - & - & - & - & - & - \\ P_{N1} & P_{N2} & - & - & - & P_{NN} \end{bmatrix} \quad (5)$$

olarak tanımlanır. Bir kare dizeye stokastik düzey de denir.

Deprem oluşumlarında iki durumlu Markov modeli uygulanmaktadır. Depremlerin gösteriminde "deprem olur" olayını göstermek için "1", deprem olmaz olayını göstermek için de "0" simgeleri kullanılır. İki durumlu Markov zinciri için "1" adımlık geçiş olasılık düzeyi yazıldığında, (5) düzeyi

$$W = \begin{bmatrix} 1-p & p \\ c & 1-q \end{bmatrix} \quad (6)$$

konumunu alır (Yüceyan 1982). Bu bağıntıda:

$$p = \Pr\{x(t) = 1 \mid x(t-1) = 0\}$$

bir önceki zaman biriminde bir deprem olmadığı bilindiğine göre, şu andaki zaman birimi içinde deprem olma olasılığı

$$q = \Pr\{x(t) = 0 \mid x(t-1) = 1\}$$

bir önceki zaman biriminde bir deprem olduğu bilindiğine göre şu andaki zaman birimi içinde deprem olmama olasılığıdır.

"W" dizeyinin tüm elemanları pozitif ve her satır elemanlar toplamı '1'e eşittir.

$$\sum_{j=1}^N p_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad 0 \leq p_{ij} \leq 1 \quad (7)$$

Bu özellik, Markov zincirinin her adımda ya bulunduğu durumda beklemesi veya başka duruma geçmesi nedeniyle birbirlerinden bağımsız çift seçeneqli bir olay olduğunu göstermektedir. "W" dizeyi ve başlangıç dağılımı olan " $p_i(0)$ " ın belirlenmesi durumunda, Markov zincirinin gelişigüzel davranışı tanımlanabilir.

En gelişigüzel değişkeninin başlangıçtaki dağılımı " $p_j(0)$ " olarak tanımlandığında, sürecin herhangi bir "n" zamanında, "j" durumunda bulunmasının koşulsuz olasılığı veya başka bir deyişle, mutlak olasılığı (absolute probability) olan $\Pr\{E_n = j\} = p_j^{(n)}$ kolaylıkla bulunabilir. Bunun için de $p_{ij}^{(n)} = \Pr\{E_{m+n} = j \mid E_m = i\}$ olarak verilen "n" adım geçiş olasılıklarının bilinmesi gereklidir. Bu olasılıklar "m" zamanında sistemin "i" durumunda bulunması koşulu ile, "n" adım sonra "j" durumunu alması koşullu olasılığını tanımlamaktadır. Dolayısıyla daha önce sözü edilen " p_{ij} " olasılıkları bu tanıma göre $n = 1$ adım geçiş olasılıklarıdır. Öyleyse " $p_j^{(n)}$ " mutlak olasılıkları, toplam olasılık kuramından yararlanarak, " $p_i(0)$ " başlangıç olasılıkları ve " $p_{ij}^{(n)}$ " "n" adım geçiş olasılıkları bilinmesi durumunda,

$$p_j^{(n)} = \sum_{i=0}^n p_i p_{ij} \quad j = 0, 1 \quad (8)$$

olarak verilir. Bu denklemde $n_h = 1$ ise bir adımlık geçiş olasılık dizeyidir. $j = 0$ ve $j = 1$ olayları için sırasıyla mutlak olmama ve olma olasılıkları elde edilir. Aynı olasılıklar, başlangıç koşulları ve geçiş olasılık dizeyi kullanılarak da dizeyi çarpımlarından elde edilebilir (Bkz. Uygulama).

MARKOV MODELİ UYGULAMASI

Bu çalışmada uygulanan Markov modelinin 1920-1986 tarihleri arasındaki Ege bölgesi deprem verilerinin (Alsan ve diğ. 1976) mevsimlere bağlı olarak gelecekte olma olasılığının hesaplanması aşağıda, sıra ile verilmiştir.

a) Öncelikle 0.5 adımlarla seçilmiş manyitüdüler yukarıda verilen tarihler arasındaki mevsimlerde taranarak sayılmış ve sınıflandırılmıştır. Çizelge 1, 2, 3, 4, 5).

b) Seçilen zaman birimi (mevsim) ve manyitüde göre depremlerin olduğu mevsimlere "1" olmadığı mevsimlere "0" simgeleri verilmiştir.

c) Tüm Ege bölgesinde, beş ayrı manyitüd aralığında depremlerin olması gözönünde bulundurularak, geçiş olasılıkları dizeyi kurulmuştur. Bu dizeydeki bir önceki zaman birimi 1919 yılı kış mevsimi alınarak, bu tarihi izleyen 1986 yılına kadar olan mevsimlere ait geçiş olasılık dizeyleri hesaplanmıştır.

Batı Anadolu bölgesinde $5.0 \leq M \leq 5.4$, $5.5 \leq M \leq 5.9$, $6.0 \leq M \leq 6.4$, $6.5 \leq M \leq 6.9$, $M \geq 7.0$ depremlerin olma ve olmama olasılıklarına ait çizelgeler 6, 7, 8, 9, 10 ve Şekil 3, 4, 5, 6 ve 7'de verilmiştir.

(8) bağıntısı kullanılarak seçilen manyitüd adımlarında mutlak olma ve olmama olasılıkları sırası ile Şekil 8, 9 10, 11 ve 12'de verilmiştir.

Aşağıda örnek olarak $M \geq 7.0$ manyitüdündeki bir depremin kış mevsiminde olma ve olmama olasılıklarının hesaplanması sıra ile verilmektedir.

1) Kış mevsiminden (1. mevsim) bir önceki zaman birimi olarak sonbahar mevsimi (4. mevsim) kabul edilir. 1920 yılından 1986 yılına kadar 1. ve 4. mevsimde olan $M \geq 7.0$ depremler taranır. Depremlerin olduğu mevsimlere "1" olmadığı mevsimlere de "0" simgesi verilir. Tarama sonucu 1. ve 4. mevsimlerde $M \geq 7.0$ olan 5 adet depreme rastlanmıştır. Bunlar 1928 (yıl), 1. (mevsim) -1944, 4-1953, 1-1964, 4-1970, 1 dir.

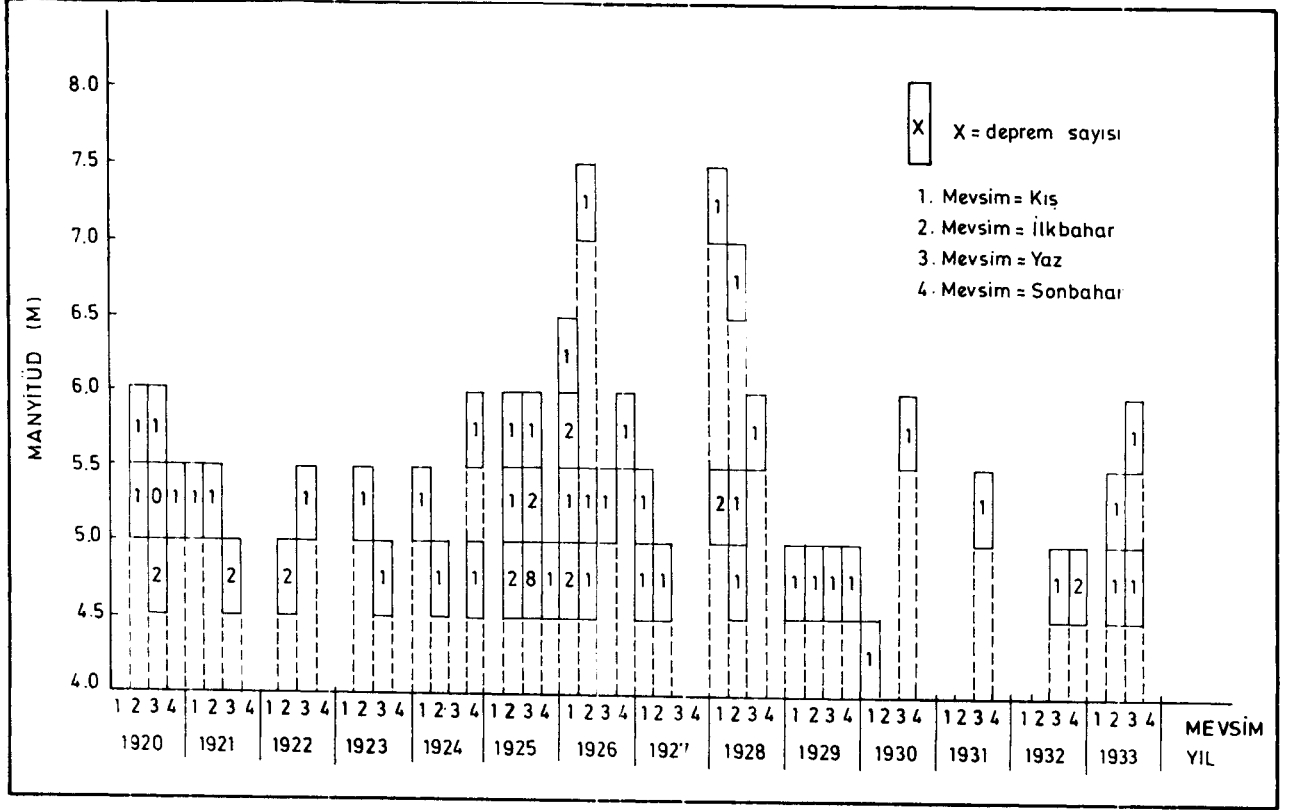
Kuşkusuz ki incelenen 67 yıllık (1920-1986) sürede, sonbahar (4) ve kış (1) mevsimlerinde manyitüdü 7 den küçük ($M < 7$) 129 adet deprem vardır. Dolayısı ile 67 yıl içinde sonbahar ve kış mevsimlerinde toplam 134 adet deprem olayı vardır.

2) Olasılık tablosu aşağıdaki gibi oluşturulur.

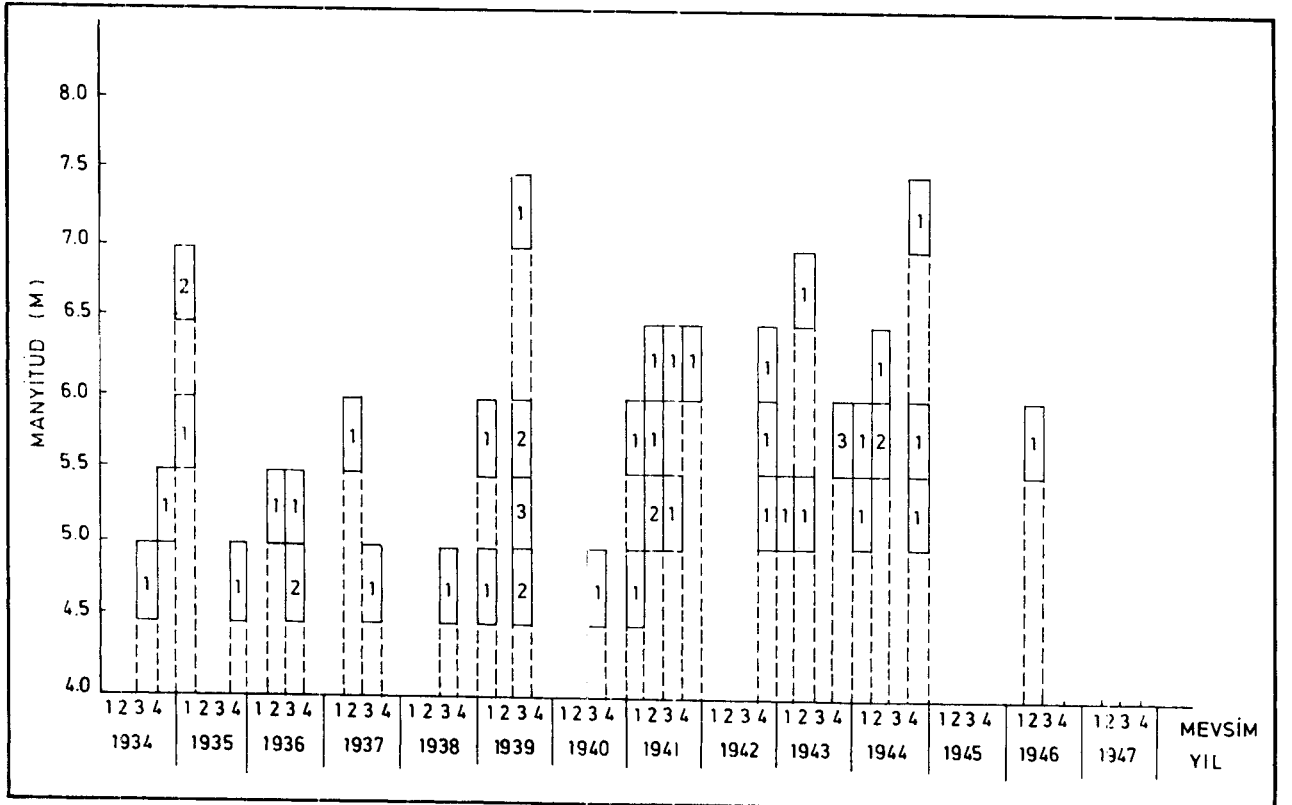
		0	1	
		M<7	M≥7	
0	M<7	Sb. da M<7 deprem olup, onu kış M<7 olarak izleyen deprem sayısı 129. Bu koşulda M<7 deprem olma olasılığı 129/134.	Sb. da M≥7 deprem olup, onu kış M<7 olarak izleyen deprem sayısı 2. Bu koşulda m<7 deprem olma olasılığı 2/134.	131 134
	M≥7	Sb. da M<7 deprem olup, onu kış M≥7 olarak izleyen deprem sayısı 3. Bu koşulda m≥7 deprem olma olasılığı 3/134.	Sb. da M≥7 deprem olup, onu kış M≥7 olarak izleyen deprem sayısı 0. Bu koşulda M≥7 deprem olma olasılığı 0/134.	3 134
		132 134	2 134	1

3) Elemanları (4) bağıntısından hesaplanarak, (5) bağıntısında verilen bir adım Markov geçiş olasılık dizeyi kurulur.

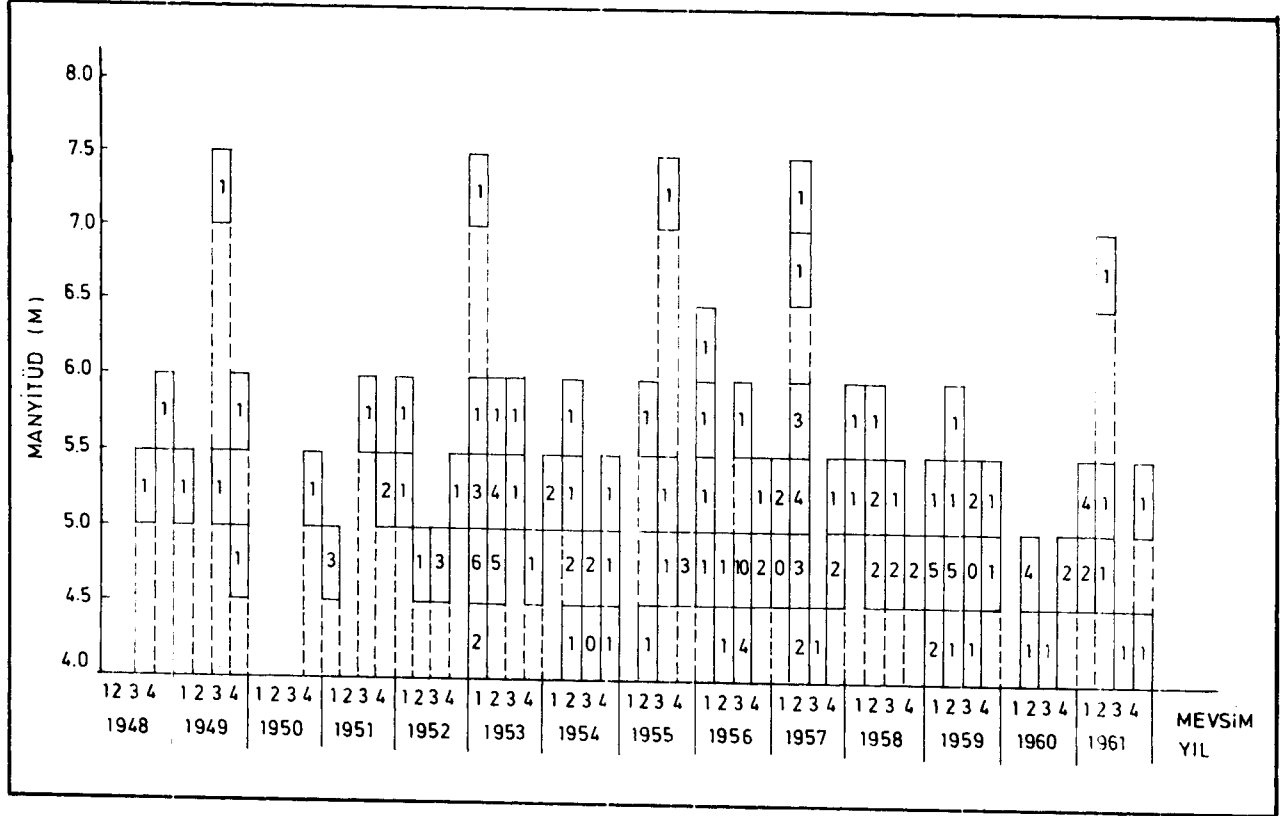
Çizelge 1. Mevsimlik deprem sayısının zaman içindeki dağılımı
Table 1. The distribution of the number of seasonal earthquakes during the time interval



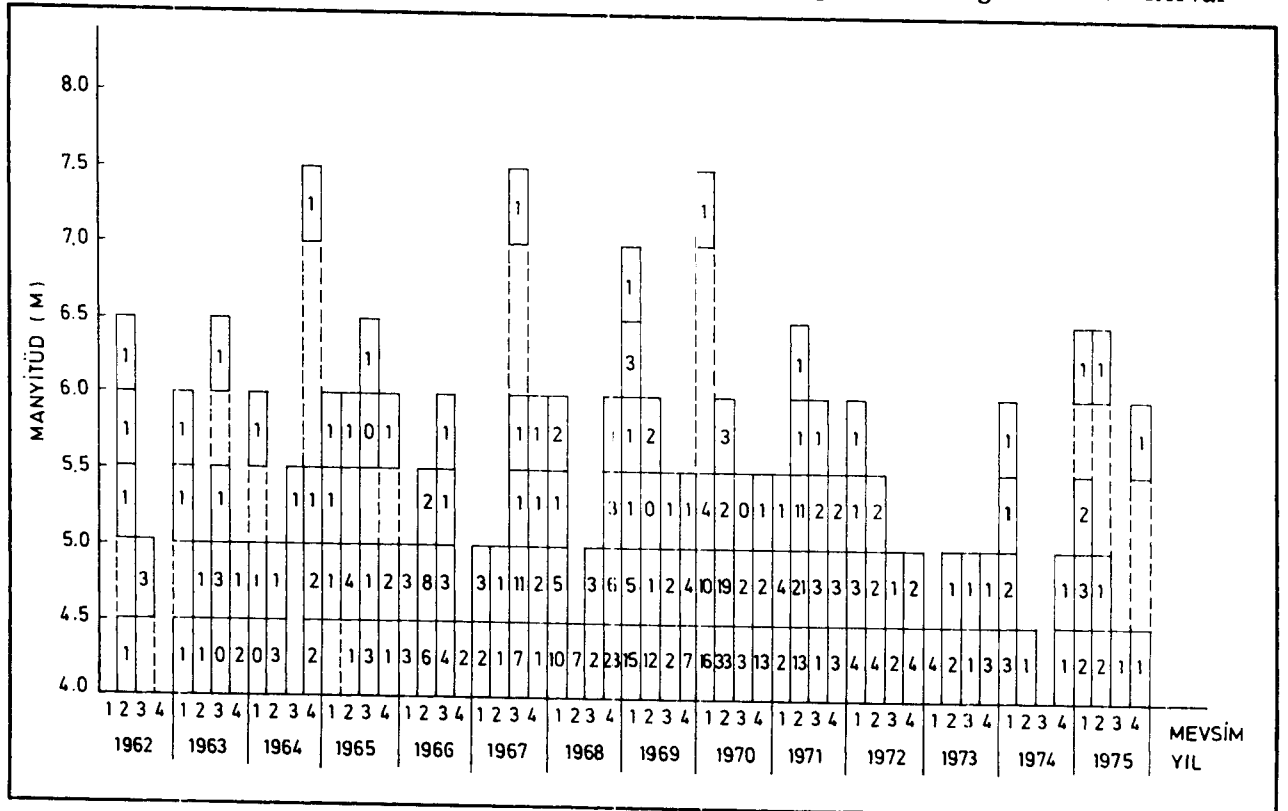
Çizelge 2. Mevsimlik deprem sayısının zaman içindeki dağılımı
Table 2. The distribution of the number of seasonal earthquakes during the time interval



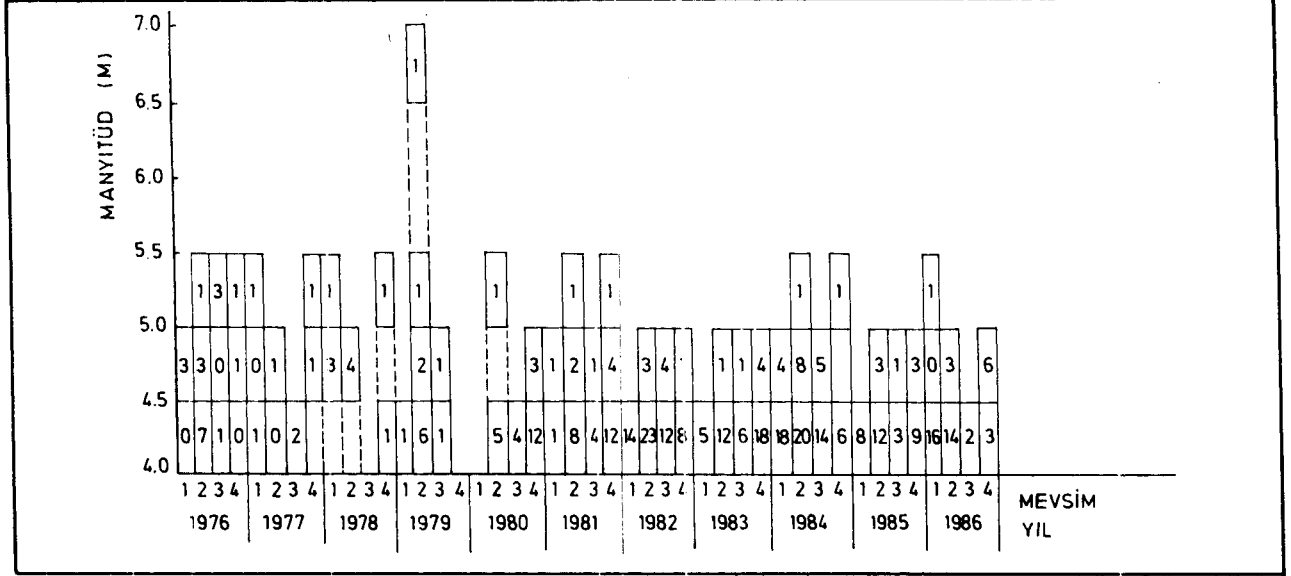
Çizelge 3. Mevsimlik deprem sayısının zaman içindeki dağılımı
Table 3. The distribution of the number of seasonal earthquakes during the time interval



Çizelge 4. Mevsimlik deprem sayısının zaman içindeki dağılımı
Table 4. The distribution of the number of seasonal earthquakes during the time interval



Çizelge 5. Mevsimlik deprem sayısının zaman içindeki dağılımı
Table 5. The distribution of the number of seasonal earthquakes during the time interval



Çizelge 6. $5.0 \leq M \leq 5.4$ depremlerin olma ve olmama olasılıkları
Table 6. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $5.0 \leq M \leq 5.4$

n (Birer mevsimlik zaman birimi)	P_{00}	P_{01}	P_{10}	P_{11}
KIŞ	0.6364	0.3636	0.5217	0.4783
İLKBAHAR	0.6667	0.3333	0.5357	0.4643
YAZ	0.7561	0.2439	0.6154	0.3846
SONBAHAR	0.6383	0.3617	0.7000	0.3000

Çizelge 7. $5.5 \leq M \leq 5.9$ depremlerin olma ve olmama olasılıkları
Table 7. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $5.5 \leq M \leq 5.9$

n (Birer mevsimlik zaman birimi)	P_{00}	P_{01}	P_{10}	P_{11}
KIŞ	0.7679	0.2321	0.7273	0.2727
İLKBAHAR	0.7843	0.2157	0.6250	0.3750
YAZ	0.8400	0.1600	0.7647	0.2353
SONBAHAR	0.8182	0.1818	0.9167	0.0833

Çizelge 8. $6.0 \leq M \leq 6.4$ depremlerin olma ve olmama olasılıklarıTable 8. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $6.0 \leq M \leq 6.4$

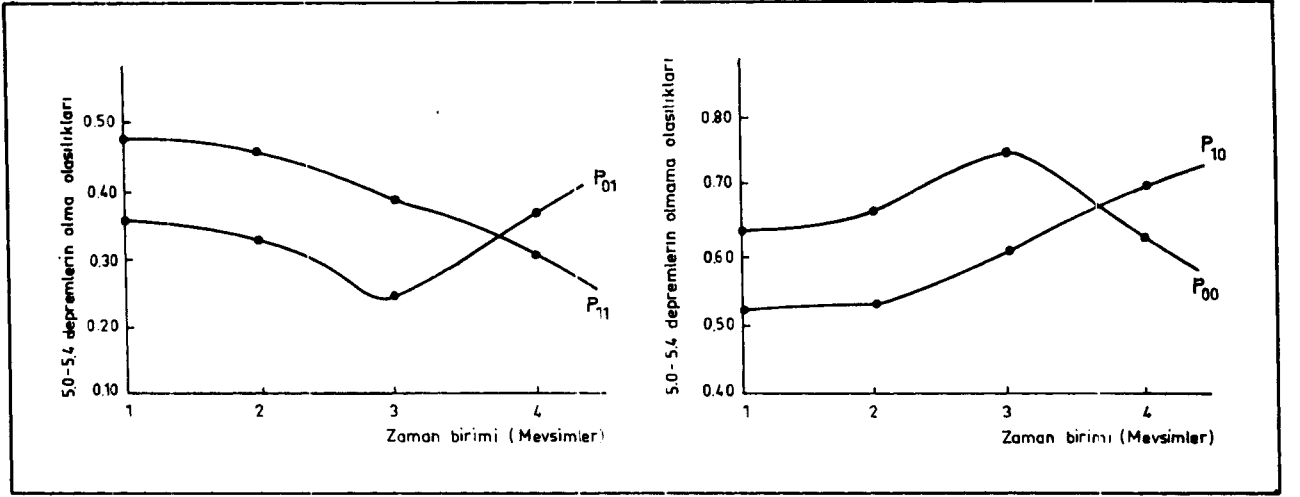
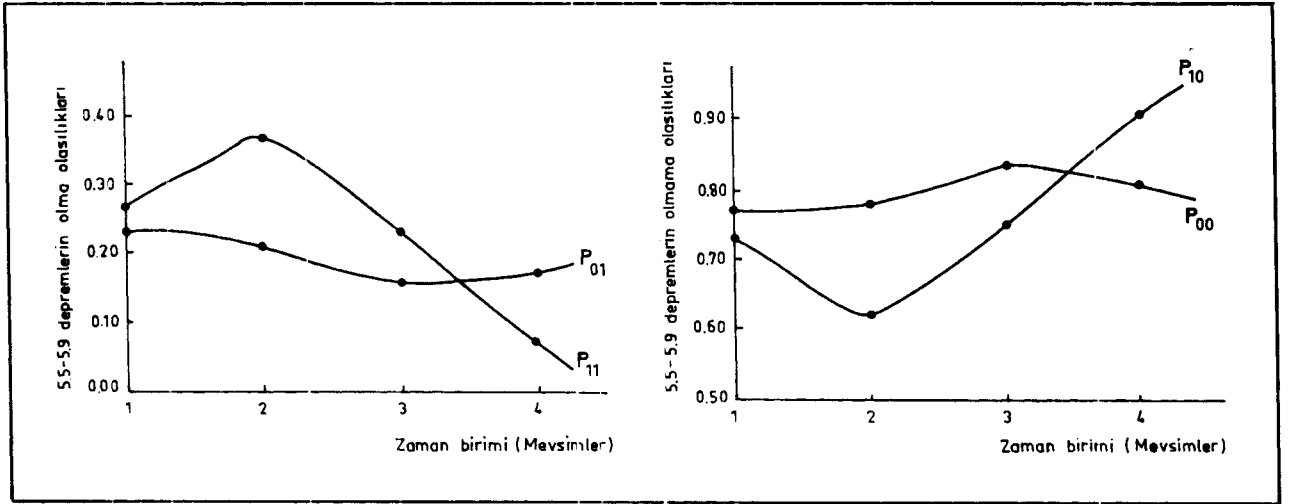
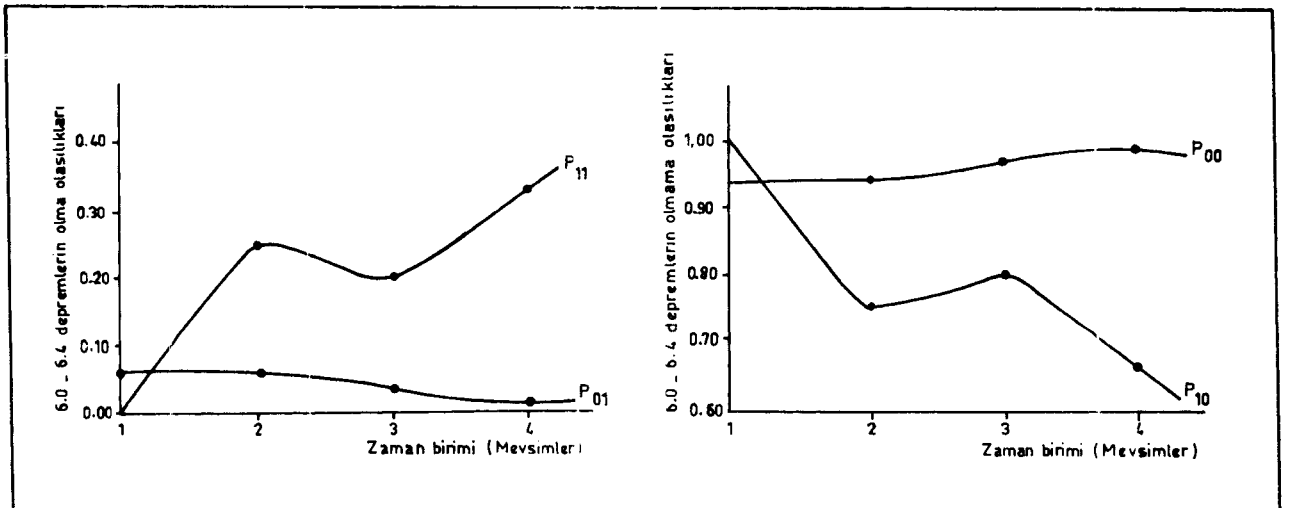
n (Birer mevsimlik zaman birimi)	P_{00}	P_{01}	P_{10}	P_{11}
KIŞ	0.9385	0.0615	1.0000	0.0000
İLKBAHAR	0.9365	0.0635	0.7500	0.2500
YAZ	0.9677	0.0323	0.8000	0.2000
SONBAHAR	0.9844	0.0156	0.6667	0.3333

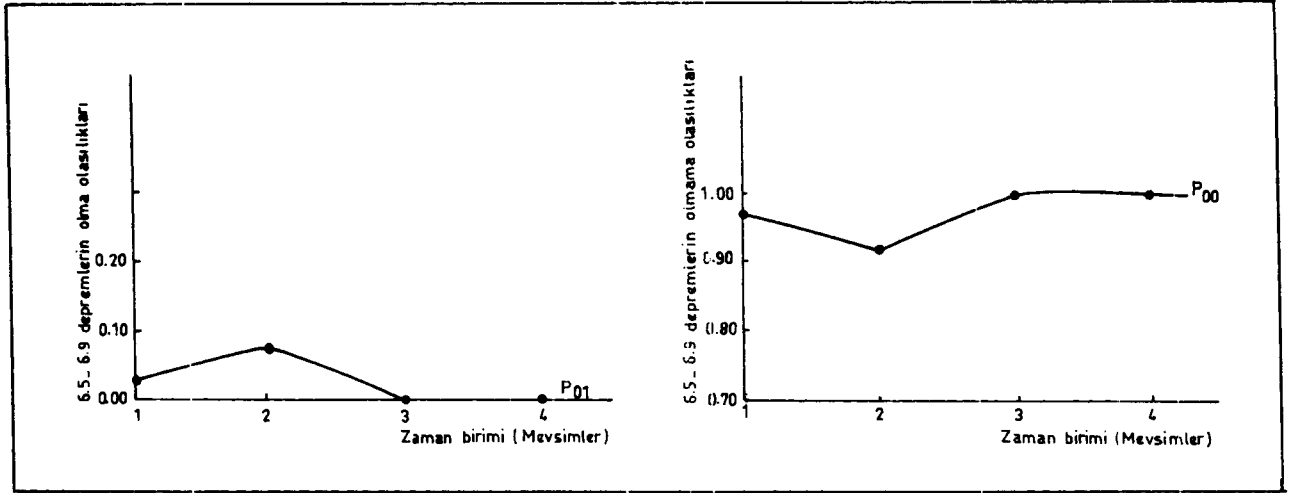
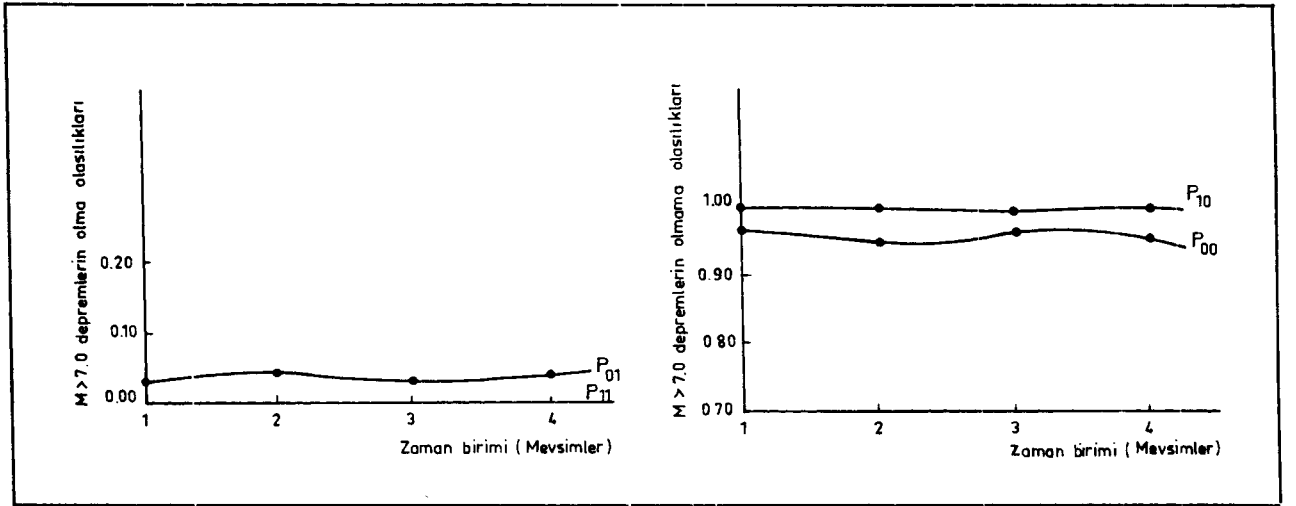
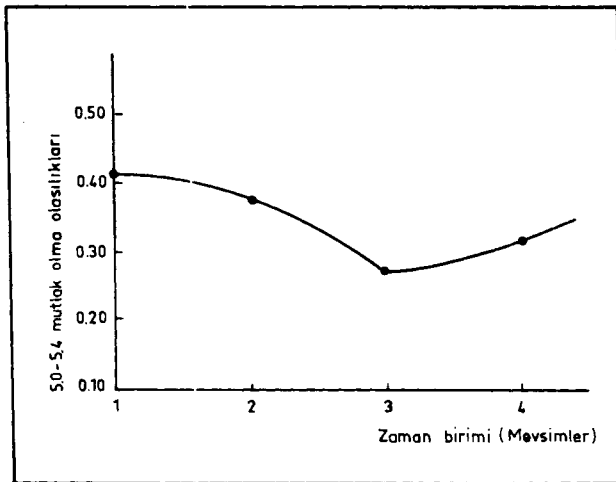
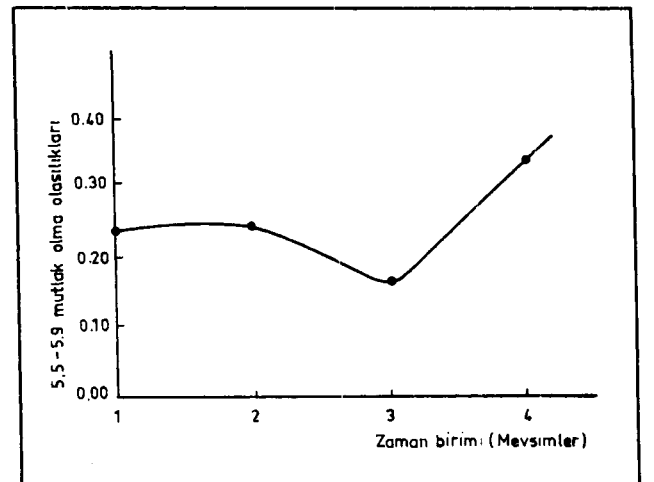
Çizelge 9. $6.5 \leq M \leq 6.9$ depremlerin olma ve olmama olasılıklarıTable 9. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $6.5 \leq M \leq 6.9$

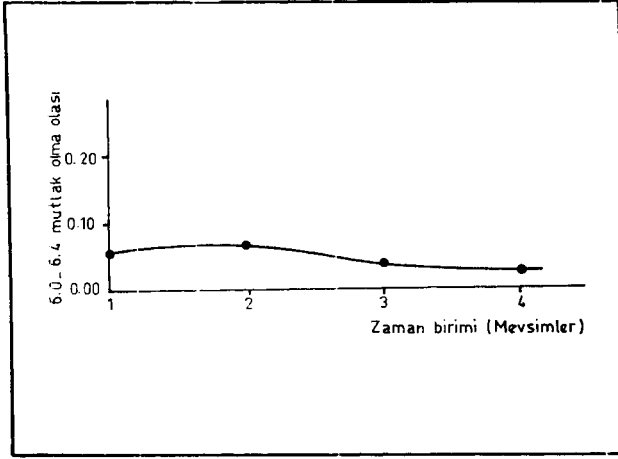
n (Birer mevsimlik zaman birimi)	P_{00}	P_{01}	P_{10}	P_{11}
KIŞ	0.9701	0.0299	0.0001	0.0001
İLKBAHAR	0.9231	0.0769	1.0000	0.0000
YAZ	1.0000	0.0000	1.0000	0.0000
SONBAHAR	1.0000	0.0000	0.0001	0.0001

Çizelge 10. $M \geq 7$ depremlerin olma ve olmama olasılıklarıTable 7. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $M \geq 7$

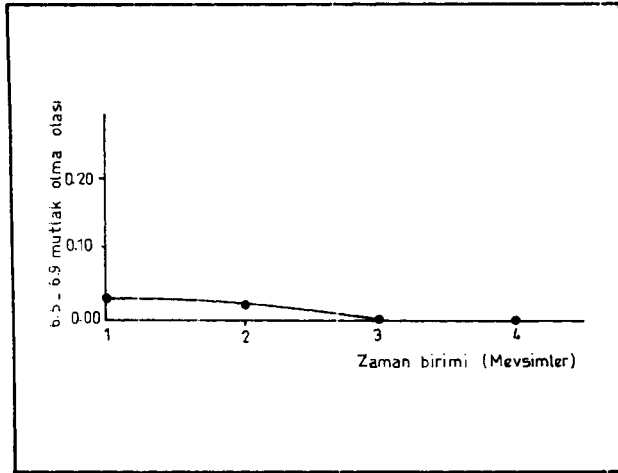
n (Birer mevsimlik zaman birimi)	P_{00}	P_{01}	P_{10}	P_{11}
KIŞ	0.9772	0.0227	1.0000	0.0000
İLKBAHAR	0.9538	0.0462	1.0000	0.0000
YAZ	0.9772	0.0229	1.0000	0.0000
SONBAHAR	0.9538	0.0462	1.0000	0.0000

Şekil 3. $5.0 \leq M \leq 5.4$ depremlerin olma ve olmama olasılıkları.Fig. 3. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $5.0 \leq M \leq 5.4$ Şekil 4. $5.5 \leq M \leq 5.9$ depremlerin olma ve olmama olasılıkları.Fig. 4. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $5.5 \leq M \leq 5.9$ Şekil 5. $6.0 \leq M \leq 6.4$ depremlerin olma ve olmama olasılıkları.Fig. 5. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $6.0 \leq M \leq 6.4$

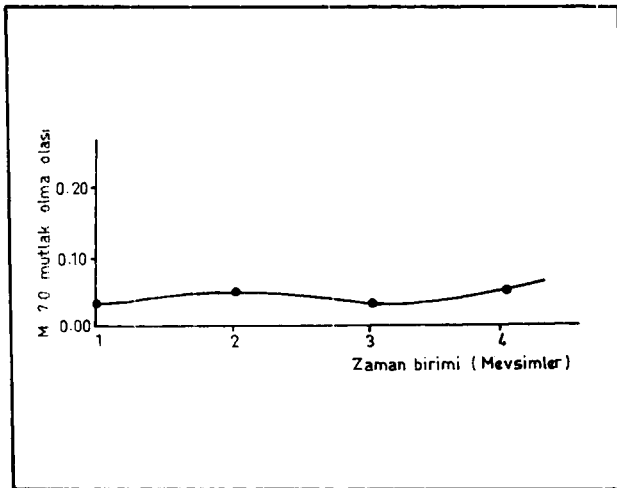
Şekil 6. $6.5 \leq M \leq 6.9$ depremlerin olma ve olmama olasılıkları.Fig. 6. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $6.5 \leq M \leq 6.9$ Şekil 7. $M \geq 7.0$ depremlerin olma ve olmama olasılıklarıFig. 7. The probability of the occurrence and non occurrence of the earthquakes $M \geq 7.0$ Şekil 8. $5.0 \leq M \leq 5.4$ depremlerin mutlak olma olasılıkları.Fig. 8. The absolute probabilities of occurrence of the earthquakes $5.0 \leq M \leq 5.4$ Şekil 9. $5.5 \leq M \leq 5.9$ depremlerin mutlak olma olasılıkları.Fig. 9. The absolute probabilities of occurrence of the earthquakes $5.5 \leq M \leq 5.9$



Şekil 10. $6.0 \leq M \leq 6.4$ depremlerin mutlak olma olasılıkları.
Fig. 10. The absolute probabilities of occurrence of the earthquakes $6.0 \leq M \leq 6.4$



Şekil 11. $6.5 \leq M \leq 6.9$ depremlerin mutlak olma olasılıkları.
Fig. 11. The absolute probabilities of occurrence of the earthquakes $6.5 \leq M \leq 6.9$



Şekil 12. $M \geq 7$ depremlerin mutlak olma olasılıkları.
Fig. 12. The absolute probabilities of occurrence of the earthquakes $M \geq 7$.

$$p_{10} = p(0 | 0) = p(0 | 0) / p(0) = (129/134) / (132/134) = 0.9772$$

$$p_{01} = p(0 | 1) = p(0 | 1) / p(0) = (3/134) / (132/134) = 0.0227$$

$$p_{00} = p(1 | 0) = p(1 | 0) / p(1) = (2/134) / (2/134) = 1$$

$$p_{11} = p(1 | 1) = p(1 | 1) / p(1) = (0 / (2/134)) = 0.0$$

$$W = \begin{bmatrix} 0.9772 & 0.0227 \\ 1.0000 & 0.0000 \end{bmatrix}$$

4) Mutlak olasılıklar aşağıdaki gibi düzey çarpımından elde edilebilirler (mutlak olasılıklar (8) denkleminde bulunabilir) Başlangıç koşulları yukarıda verilen düzeyde, kolon toplamlarından elde edilir.

$$\begin{pmatrix} 2/134 & 132/134 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} 129/132 & 3/132 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$$

Mutlak olmama olasılığı:

$$(2/134)(129/132) + (132/134)(1) = 0.9997$$

Mutlak olma olasılığı:

$$(2/134)(3/132) + (132/134)(0) = 0.0003$$

Şekil 7 veya çizelge 10 incelendiğinde, bir önceki zaman biriminde $M \geq 7$ manyitüdünde bir deprem olmadığı bilindiğine göre, 67 yıl içinde, $M \geq 7$ depremin kış mevsiminde olma olasılığı 0.0227 iken ilkbahar mevsiminde 0.0462, yaz mevsiminde 0.0229, sonbahar mevsiminde ise 0.0462 olarak bulunmuştur. Buna göre ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde $m > 7$ manyitüdünde bir depremin olma olasılıkları diğer mevsimlere göre daha çoktur. Çizelgenin incelenmesi sürdürüldüğünde, bir önceki zaman biriminde $M \geq 7$ manyitüdünde bir depremin olduğu bilindiğine göre 67 yıl içinde, $M \geq 7$ depremin tüm mevsimlerde olma olasılıklarının "0" olduğu görülmektedir.

SONUÇLAR

Depremin fiziğine, Markov dağılımı, diğer dağılımlardan (Poisson, Gumble) daha iyi uymaktadır. Bu nedenle risk hesaplarında Markov yönteminin uygulanması diğerlerine oranla daha sağlıklıdır.

Deprem verilerinin yeterli sayıda olması durumunda, yöntem daha dar alanlara (Markov zincirlerinin uzayda bağımlı olması nedeniyle) uygulanmalıdır. Yine deprem verilerinin yeterli olması durumunda zaman adımları iyice daraltılarak adımlar ay düzeyine kadar indirilebilir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre Batı Anadolu'da ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde deprem olma olasılığı diğer mevsimlere oranla daha yüksektir.

Manyitüdü 5 ve daha yukarı olan depremler tüm sismoloji istasyonlarındaki aletler tarafından sağlıklı olarak kaydedilebilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmanın farklı kataloglardan taranmış depremlere ($M \geq 5$) uygulanması durumunda da elde edilecek sonuçlarda büyük bir farklılık beklenmemektedir.

Halk arasındaki yaygın kanı, depremlerin daha çok hava koşullarının değişimine bağlı olduğudur. Hava koşulları ise en çok bahar aylarında değişmektedir. Ancak bilindiği gibi depremlerin oluşması için gerekli fiziksel koşullar ile, iklimsel değişikliklere ait fiziksel koşullar farklıdır. Fakat bu çalışmada da, bahar aylarında depremin olma olasılıkları diğer mevsimlere oranla yüksek bulunmuştur. Olsa olsa, halk arasındaki bu yaygın kanı depremin bahar aylarındaki yüksek olma olasılığından kaynaklanmaktadır.

KAYNAKLAR

- Alsan, E., Tezuçan L. and Bath, M. 1975, An Earthquake Catalogue for Turkey for the interval 1913-1970, Report No. 7-75 Uppsala-Sweden
- Benjamin, U.R. and Cornell, C.A. 1970, Probability Statistics and Decision for Civil Engineers, 321-349, Mc Graw

- Hill, New York.
- Grivas, D.A., Dyvik, R. and Howland J. 1980, An Engineering Analysis of the Seismic History of New York State, Proceeding of the Seventh World on Earthquake Engineering, Vol. 1, 324-330.
- Hagivara, Y. 1975, A Stochastic Model of Earthquake Occurrence and the Accompanying Horizontal Land Deformation, Tectonophysics 26, 91-101.
- Kiremidjian, A.S. and Anagnos T. 1980, A Homogeneous Alternating Markov Model for Earthquake Occurrences, Proceedings of the Seventh World on Earthquake Engineering 1, 355-362.
- Takacs, L. 1966, Stochastic Processes, Methuen and Co. Ltd., London.
- Vanmercke, E.H., Cornell, C.A., Whitman, R.V. and Reed, J.W. 1973, Methodology for Optimum Seismic Design. Proc. 5th World Conf. on Earthquake Engineering, Vol. 2, 2521-2530.
- Yüçemen, M.S. 1982, Sismik Risk Analizi, ODTÜ Yayınları, No 41, Ankara.