

MARKOV MODELİ KULLANILARAK ÇUKUROVA BÖLGESİNİN DEPREM TEHLİKESİNİN BELİRLENMESİ⁽¹⁾

Seismic Hazard Estimation of Çukurova Region by using Markov Model

Ergin ULUTAŞ* ve M. Fırat ÖZER*

ÖZET

Bu çalışmada (35.5°-38.0°K ve 34.5°-37.0°D) koordinatları ile sınırlanan Çukurova Bölgesinin deprem tehlikesi Markov Modeli kullanılarak belirlenmiştir.

Markov modelinin uygulanmasında 1900-1909 yılları arasında oluşan aletsel dönem depremleri kullanılmıştır. Deprem verileri Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi veri kütüklerinden alınmıştır. İnceleme alanı önce bütünüyle sonra tektonik özellikler dikkate alınarak Batı (35.5°-38.0°K ve 34.5°-36.0°D) ve Doğu (35.5°-38.0°K-36.0°-37.0°D) olmak üzere iki alt bölgeye ayrılarak ele alınmıştır. Depremlerin olma ve olmama olasılıkları magnitudlerin geçiş olasılık matrisleri ile elde edilmiştir. Sonuçlardan bir önceki zaman aralığında deprem olduğunda, gelecekteki zaman aralıklarında depremin olmama olasılığı yüksek olarak bulunmuştur.

ABSTRACT

In this study, Seismic hazard has been determined by application of Markov in Çukurova Region with 35.5°-38.0°N latitude and 34.5°-36.0°E longitude.

Earthquake occurrences have been used between 1900-1998 for Markov model. The data used in this study have been obtained by Kandilli Observatory. Çukurova region has been divided into two adjacent subregions due to tectonic features from west to east such as A (35.5°-38.0°N and 34.5°-36.0°E), B(35.5°-38.0°N and 36.0°-37.0°E). Occurrence and nonoccurrence probabilities of earthquakes have been determined from transition matrices of magnitudes. According to the results, if there is an earthquake in previous time interval, the probability of the nonoccurrences of earthquakes is high in the region for the next time intervals.

GİRİŞ

Gelecekte oluşabilecek deprem etkinliğinin ve geri dönüş periyodunun belirlenmesi için geçmişte meydana gelen depremlerin zaman ve uzay dağılımlarından yararlanılır. Bu verilerin kullanılmasıyla bir bölgenin deprem-

sellüğinden ve sismik tehlikesinden sözedilebilir. Bu tür veriler kullanılarak yapılan olasılık çalışmaları ile tam olarak ne zaman deprem olacağı anlaşılmaz. Ancak gelecekte meydana gelebilecek depremin olası büyüklüğü ve tekrarlılığı belirlenerek önlemler alınabilir.

*Kocaeli Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, 41100 KOCAELİ

(1) 23-25 Kasım 2000 Ankara Ulusal Jeofizik Toplantısı sırasında sunulan bildirinin bir bölümüdür.

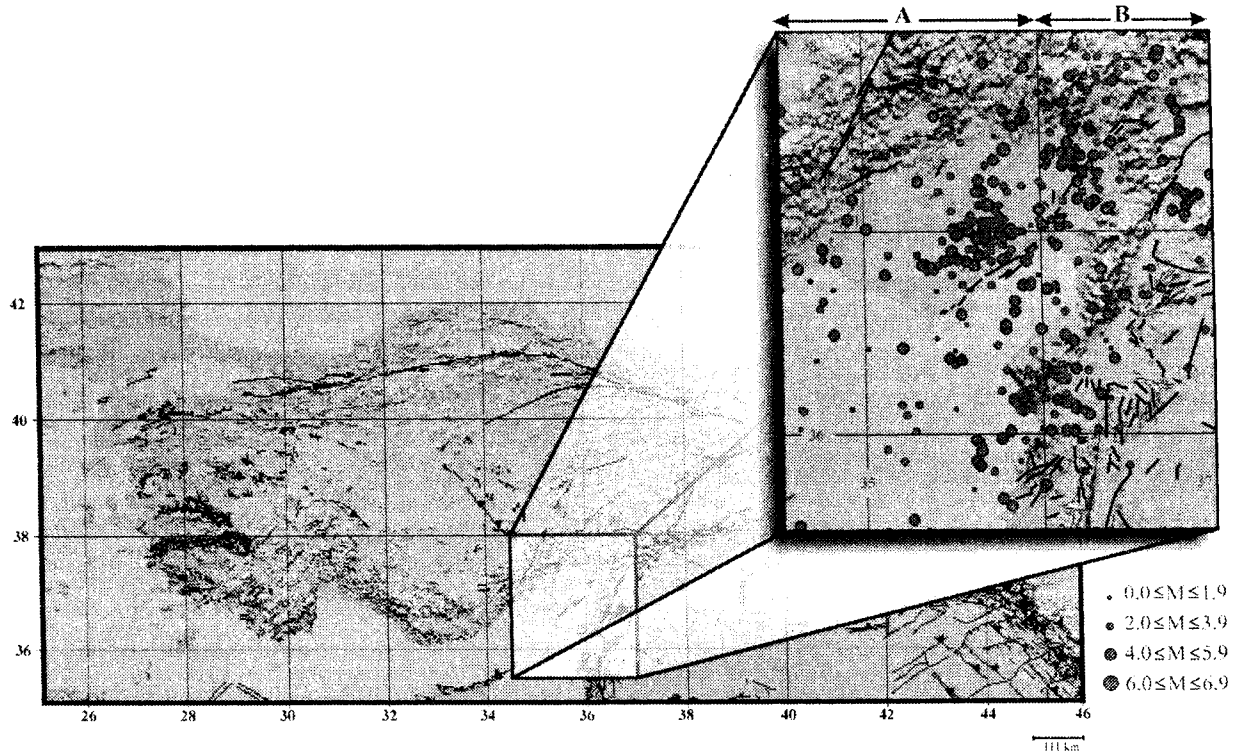
Bu çalışmanın amacı; koordinatları 35.5° - 38.0° K ve 34.5° - 36.0° D ile sınırlı alanda (Şekil 1) Markov modeli ile aletsel döneme ait sismik tehlikenin hesaplanmasıdır. Çalışmada Markov modeline göre magnitüdle- rin geçiş olasılıklarından yararlanarak depremlerin olma ve olmama olasılıkları incelenmiştir. Veriler Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesinden sağlanmıştır.

Markov Modeli oluşturulurken bölge tektonik akti- viteye göre iki ayrı bölüme ayrılmış ve aletsel döneme ait ≥ 5.0 olan deprem oluşumları kullanılmıştır.

İstatistiksel bir yöntem olan Markov yöntemini deprem oluşumlarına ilk olarak Hagiwara (1975) uygula- mıştır. Yöntemi ülkemizde ise Altınok (1988) Kuzey Anadolu Fay Zonu'na ve Bağcı (1996) Batı Anadolu'ya uygulamışlardır.

DEPREM OLUŞUMU İÇİN MARKOV MODELİ

Modelin temel özelliği, Poisson modelinin aksine olayların zaman ve uzay boyutlarına bağımlı olmasıdır. Hagiwara (1975) modeli şekil değiştirme enerjisinin açığa çıkma mekanizmasında; Kremidjian ve Anagnos (1980) ile Grivas ve diğ. (1980)'de deprem oluşumuyla ilgili olarak kullanmışlardır. Olayların sıralanışlarındaki bağımlılık özelliğinden dolayı, başka bir deyişle, olayların kendinden öncekilere bağımlı olmaları nedeniyle Markov modelinin belirli alanlarda ve aynı yapısal sü- reksizlikteki bölgelerde uygulanması yararlıdır. Mar- kov modeli Reid tarafından önerilen elastik yenileme kuramına uymaktadır. Reid'in sığ depremlerin oluşu- munu açıklayabilen bu kuramı kısaca şöyle özetlenebi- lir: Yer kabuğunda meydana gelen hareketler kayaçlarda gerilmelere neden olur. Kayaçlar ancak belirli bir geril- meye kadar dayanır ve sonra kırılırlar. Depremler bu kırıl- malar nedeniyle oluşurlar ve kayalarda birikmiş olan



Şekil 1. Yer Bulduru haritası.

Figure 1. Location map of study area.

gerilmelerin tümünün veya bir bölümünün giderilmesini sağlarlar. Geçmiş depremlerde bu gerilmelerin ne oranda giderildiği daha sonraki depremlerin oluş zamanlarını ve şiddetlerini etkileyecektir. Buna göre de gelecekteki deprem olayları geçmiş depremlere bağımlı olacaktır.

Markov modeli istatistiksel bir modeldir. Bu modelin depremlere uygulanmasından önce modeli tanımlayıcı rasgele süreç, stokastik süreç, Markovien özellik, Markov zincirleri gibi kavramları açıklamak yararlı olacaktır.

Rastgele süreç

Rastgele süreç tekrarlanabilen bir gözlem dizisidir. Stokastik süreç ise bir gözlem dizisi içerisinde bir t zamanına bağlı olarak $\{X_t\}$ rasgele değişkenler kümesi olarak tanımlanır. Örneğin her bir yıl sonunda meydana gelen deprem sayısı X_t ile tanımlanırsa beş yıl sonunda stokastik bir süreç $\{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5\}$ ile gösterilir; sayısal olarak ilk yıl sonunda 20, ikinci yıl sonunda 35 depremin v.b. oluştuğu gözlenirse bu süreç $\{20, 35, 41, 57, 38\}$ şeklinde yazılır.

Rasgele değişkenlerin her bir değeri “durum (state)” olarak adlandırılır. $\{S\}$, X_t 'nin tüm olası değerleri için örnek uzayını tanımlar. S tam sayılı ayrık değerleri içerirse $\{X_t\}$ “ayrık durumlu stokastik süreç” adını alır. S, sürekli değerlerle tanımlanırsa, X_t , “sürekli değerli stokastik süreç” olarak sınıflandırılır. S sürekli değerli olduğu zaman iki veya daha fazla boyut ile tanımlanabilir. Örneğin durum uzayı belirtilirken sadece 5.0 magnitudlü depremlerin t zamanında oluşma sayısı gibi.

Stokastik süreç grupları belirlendikten sonra küme içinde bulunan rasgele değişkenler arasında bağımlılık ilişkileri, uygun olasılık dağılımları saptanarak açıklanır. Bu işlem yapıldığı zaman süreç iyi tanımlanmış olur. Stokastik süreç iyi tanımlanırsa, analitik olarak model kurulabilir (Halaç 1991).

Markovien özellik

Mevcut durum verilerek bir sonraki durumun koşullu olasılığı daha önceki durumlardan bağımsızdır.

Ayrık durumlu ve ayrık parametrelili stokastik süreçler için mevcut durum ($x=x_t$) ve mevcut duruma göre ön-

celikli olan durumlar $x_0=x_0, x_1=x_1, \dots, x_{t-1}=x_{t-1}$ verilerek bir sonraki durumun koşullu olasılığına özdeşdir ve $t=0, 1, \dots$ değerlerini alarak Markovien özellik;

$$P(X_{t+1} = x_{t+1} | X_0 = x_0, X_1 = x_1, \dots, X_t = x_t) =$$

$$P(X_{t+1} = x_{t+1} | X_t = x_t) \quad (1)$$

olarak yazılır. Bu ifadede büyük harfler rasgele değişkeni, küçük harfler ise rasgele değişkenin alacağı değeri gösterir.

a ve b rasgele değişkenin değişim aralığı, t_k durumun bir önce gerçekleştiği zaman içindeki nokta, t_{k+1} durumun onu takiben gerçekleştiği nokta ve $t_0 < t_1 < \dots < t_k < t_{k+1}$ olmak üzere gerçek değerli ve sürekli parametrelili süreç için matematik ifade;

$$P(a < x_{k+1} \leq b | x_{t_0} = x_0, x_{t_1} = x_1, \dots, x_{t_k} = x_k) =$$

$$P(a < x_{k+1} \leq b | x_{t_k} = x_k) \quad (2)$$

yazılır.

Birinci derece Markov zincirleri,

- Olaylar seti sonlu (durum uzayı (S_1, S_2, \dots, S_m)),
- Gelecek olayın olasılığı yalnız bir önceki olaya bağlı,
- Zaman içinde olasılıkları sabit olan fizik veya ekonomik süreçlerin modellerini kurmakta kullanılabilirler.

Her bir olaya durum adı verilir. Dolayısıyla olay sayısı kadar durum bulunacaktır.

Her bir denemede veya her bir anda yeni bir sonuç ortaya çıkar ve süreç “adım adımdır” denilir. Bu işlem istenildiği kadar tekrarlanabilir. Bir adım bir zaman dönemini belirler veya diğer olası olaylarla sonuçlanacak olan diğer koşulları tanımlar. (n) simgesi, adım sayılarını veya zaman dilimlerini göstermek üzere, şimdiki durumu ($n=0$), bir sonraki olası olay ($n=1$), daha sonraki olay ($n=2$) şeklinde tanımlanır. Bir durumdan diğer duruma geçme olasılığı ise geçiş matrisi (P) ile verilir.

$m \times m$ boyutlu P geçiş olasılıkları matrisi ve $1 \times m$ boyutlu V^0 ($n=0$ şimdiki anda) başlama vektörü verilirse izleyen periyotlarda ($n=1, 2, \dots, n$) sürecin S_i ($i=1, 2, \dots, m$) durumlarında bulunma olasılıkları için;

$$\begin{aligned} V^1 &= V^0 P \\ V^2 &= V^1 P = V^0 P^2 \\ V^3 &= V^2 P = V^0 P^3 \\ &\dots\dots\dots \\ V^n &= V^{n-1} P = V^0 P^n \end{aligned} \quad (9)$$

bağıntıları yazılır (Halaç 1991).

Markov Modelinin İnceleme Alanına Uygulanması

Araştırma alanımız olan 35.5° - 38.0° K ve 34.5° - 37.0° koordinatlarıyla sınırlı olan bölge tektonik özellikler açısından oldukça karmaşık bir bölgedir. Batıda Ecemiş Fayı'nın, doğuda ise Bitlis Bindirmesi ve Doğu Anadolu Fay Zon'larını kapsayan tektonik açıdan bir geçiş zonunda bulunmaktadır. Böylece hem Güneydoğu Anadolu'nun hem de Doğu Torosların tektonik özelliklerini taşımaktadır. Bu tektonik özellikler dikkate alınarak bölge Batı (35.5° - 38.0° K ve 34.5° - 36.0° D) ve Doğu (35.5° - 38.0° K- 36.0° - 37.0° D) olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır (Şekil 1). Önce bölgenin tümüne Markov modeli uygulanmış sonra ise diğer iki alt bölgeye uygulanmıştır.

Bölgede 1908-1998 yılları arasında oluşan depremler magnitüdülerine göre üç gruba ayrılmıştır ($5.0 \leq M \leq 5.4$, $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve $M \geq 6.0$). Aletsel dönemde Kandilli Rasathanesinin verdiği M_d magnitüd türü kullanılmıştır. Aletsel dönem deprem verilerine tamamlılık analizi uygulanarak $1/\sqrt{T}$ uyumuna bakılıp $M \geq 5.0$ olan depremlerin 1998'den geriye doğru 50 yıl tam olduğu görülmüştür. Geri kalan yıllar içinde $M \geq 5.0$ olan depremlerin küçük magnitüdüli depremlere göre daha doğru bir biçimde kaydedileceği düşünülerek inceleme periyodunda kısıtlama yapılmadan tamam kabul edilmiştir. Bu gruplar içerisinde her beş yıl için oluşan her bir depreme a , oluşmayan depreme b denilmiştir. Sonrasında a 'dan a' 'ya, b 'den b' 'ye, a 'dan b' 'ye ve b 'den a' 'ya (4) ba-

ğıntısını kullanarak geçiş matrisi oluşturulmuştur. Bu matrise göre;

$$P = \begin{bmatrix} 1-a & a \\ b & 1-b \end{bmatrix} \quad (10)$$

olur. Burada:

(1-a), bir önceki zaman aralığında deprem olmamışsa deprem olmama olasılığı,

(a), bir önceki zaman aralığında deprem olmamışsa deprem olma olasılığı,

(1-b), bir önceki zaman aralığında olmuşsa deprem olma olasılığı,

(b), bir önceki zaman aralığında deprem olmuşsa deprem olmama olasılığını ifade eder.

İnceleme alanı bölgenin tektonik özelliklerine Batı ve Doğu olmak üzere iki alt bölgeye ayrılmış, önce tüm bölgeye sonra sırasıyla batı ve doğu bölgelerine Markov modeli uygulanmıştır. Çalışmada Markov modeli için birim zaman beş yıl alınmıştır. Bunun nedeni gözlem periyodu içerisinde her yılda $M \geq 5.0$ deprem oluşmamasıdır. Çizelge 1'de bölgenin tümüne Markov modeli uygulandığında depremlerin olma ve olmama olasılıkları, Çizelge 2'de, batı bölgesi için depremlerin olma ve olmama olasılıkları, Çizelge 3'de ise doğu bölgesi için depremlerin olma ve olmama olasılıkları gösterilmiştir. Bölgenin geneli ve bölgeyi ayırdığımız iki ayrı bölüm için 30 yıla kadar hesaplanan bu olasılıklar Şekil (2,3,4,5,6,7)'de çizilmiştir. Tüm bölgeye bakıldığında bir önceki zaman aralığında deprem olduğunda gelecekteki zaman aralıklarında deprem olmama olasılığı yüksek olarak bulunmuştur.

Batı ve doğu bölgesi için bir önceki zaman aralığında deprem olduğunda deprem olmama olasılığı zamanla azalmakta bir önceki zaman aralığında deprem olmadığına olmama olasılığı zamanla artmakta ve yaklaşık 10 yıl sonra her iki durum eşitlenmektedir. Yine her iki bölge için bir önceki zaman aralığında deprem olduğunda deprem olma olasılıkları artmakta, bir önceki zaman aralığında deprem olmadığına olma olasılıkları azalmakta ve yaklaşık 10 yıl sonra her iki durum eşitlenmektedir.

Çizelge 1. 35.5°-38.0° K ve 34.5°-37.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olma ve olmama olasılıkları.

Table 1. The probability of the occurrence and nonoccurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 35.5°-38.0° N ve 34.5°-37.0° E.

a)

n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.2222	0.7778	0.7778	0.2222
5	0.6543	0.3457	0.3457	0.6543
10	0.4143	0.5857	0.5857	0.4143
15	0.5476	0.4524	0.4524	0.5476
20	0.4735	0.5265	0.5265	0.4735
25	0.5147	0.4853	0.4853	0.5147
30	0.4918	0.5082	0.5082	0.4918

b)

n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.6923	0.3077	0.8000	0.2000
5	0.7254	0.2746	0.7138	0.2862
10	0.7219	0.2781	0.7231	0.2769
15	0.7223	0.2777	0.7221	0.2779
20	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778
25	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778
30	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778

c)

n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.8750	0.1250	1.0000	0.0000
5	0.8906	0.1094	0.8750	0.1250
10	0.8887	0.1113	0.8906	0.1094
15	0.8889	0.1111	0.8887	0.1113
20	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111
25	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111
30	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111

Çizelge 2. 35.5°-38.0° K ve 34.5°-36.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olma ve olmama olasılıkları (Batı Bölgesi).

Table 2. The probability of the occurrence and nonoccurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 35.5°-38.0° N and 34.5°-36.0° E (Region West).

a)

n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.2222	0.7778	0.7778	0.2222
5	0.6543	0.3457	0.3457	0.6543
10	0.4143	0.5857	0.5857	0.4143
15	0.5476	0.4524	0.4524	0.5476
20	0.4735	0.5265	0.5265	0.4735
25	0.5147	0.4853	0.4853	0.5147
30	0.4918	0.5082	0.5082	0.4918

b)

n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.6923	0.3077	0.8000	0.2000
5	0.7254	0.2746	0.7138	0.2862
10	0.7219	0.2781	0.7231	0.2769
15	0.7223	0.2777	0.7221	0.2779
20	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778
25	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778
30	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778

c)

n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.8750	0.1250	1.0000	0.0000
5	0.8906	0.1094	0.8750	0.1250
10	0.8887	0.1113	0.8906	0.1094
15	0.8889	0.1111	0.8887	0.1113
20	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111
25	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111
30	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111

Çizelge 3. 35.5°-38.0° K ve 36.0°-37.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olma ve olmama olasılıkları (Doğu Bölgesi).

Table 3. The probability of the occurrence and nonoccurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 36.0°-38.0° N and 34.5°-36.0° E (Region East).

a)

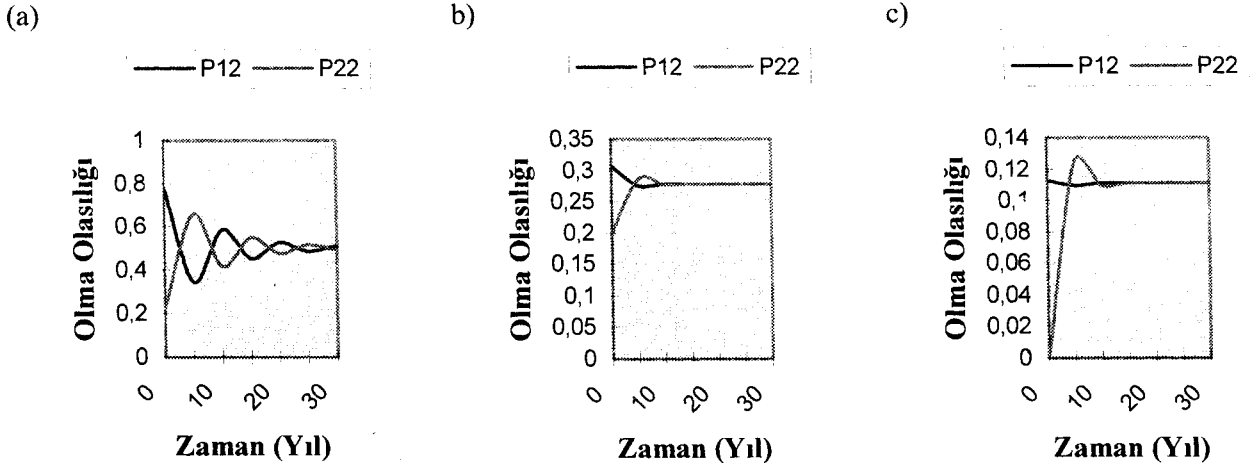
n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.2222	0.7778	0.7778	0.2222
5	0.6543	0.3457	0.3457	0.6543
10	0.4143	0.5857	0.5857	0.4143
15	0.5476	0.4524	0.4524	0.5476
20	0.4735	0.5265	0.5265	0.4735
25	0.5147	0.4853	0.4853	0.5147
30	0.4918	0.5082	0.5082	0.4918

b)

n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.6923	0.3077	0.8000	0.2000
5	0.7254	0.2746	0.7138	0.2862
10	0.7219	0.2781	0.7231	0.2769
15	0.7223	0.2777	0.7221	0.2779
20	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778
25	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778
30	0.7222	0.2778	0.7222	0.2778

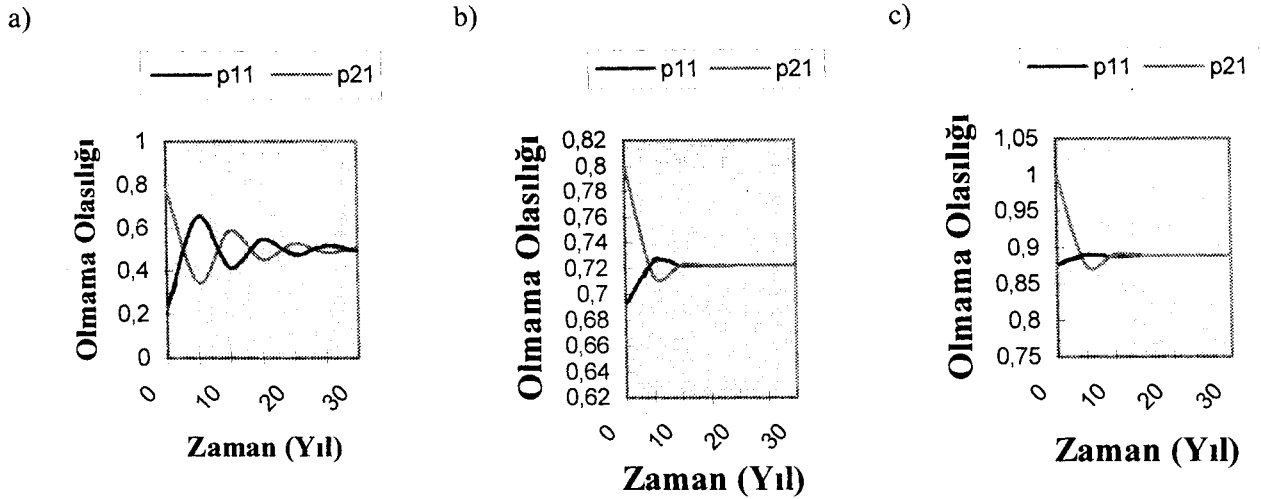
c)

n	P ₁₁	P ₁₂	P ₂₁	P ₂₂
0	0.8750	0.1250	1.0000	0.0000
5	0.8906	0.1094	0.8750	0.1250
10	0.8887	0.1113	0.8906	0.1094
15	0.8889	0.1111	0.8887	0.1113
20	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111
25	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111
30	0.8889	0.1111	0.8889	0.1111



Şekil 2. 35.5° - 38.0° K ve 34.5° - 37.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olma olasılıkları.

Figure 2. The probability of the occurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 35.5° - 38.0° N and 34.5° - 37.0° E

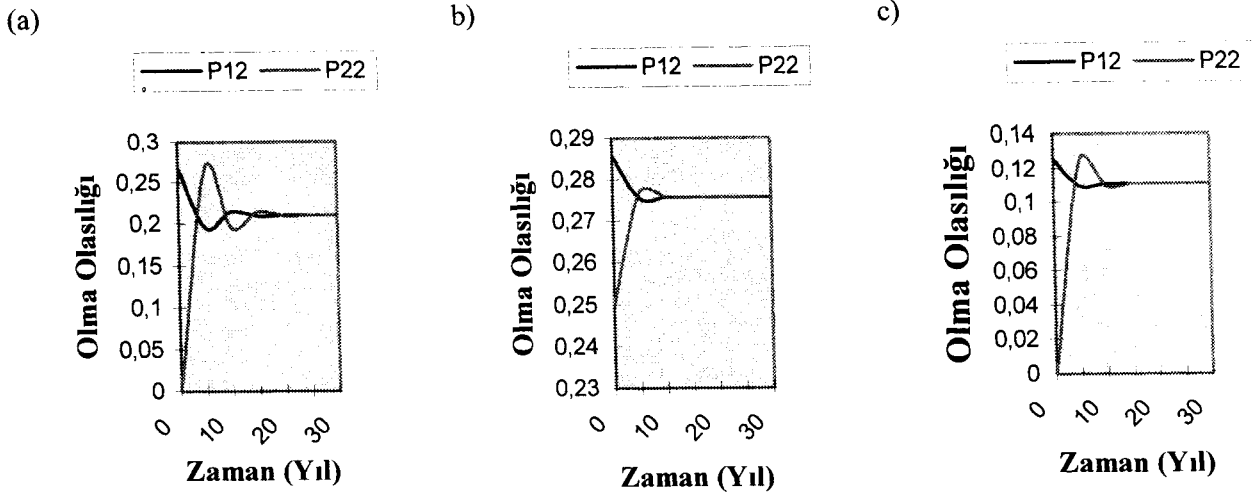


Şekil 3. 35.5° - 38.0° K ve 34.5° - 37.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olmama olasılıkları.

Figure 3. The probability of the occurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 35.5° - 38.0° N and 34.5° - 37.0° E

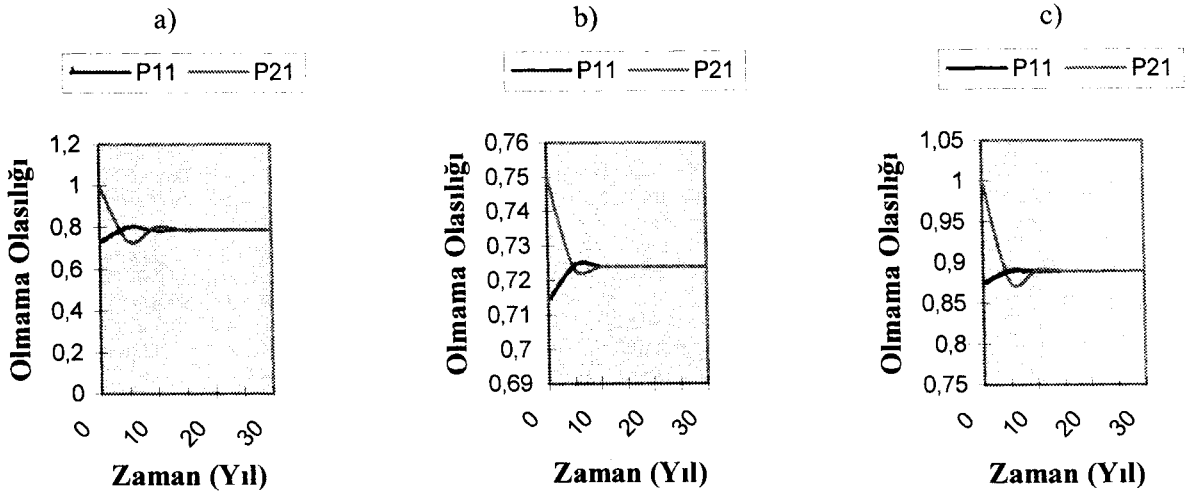
Batı ve doğu bölgesi 0-10 yıl içerisinde karşılaştırıldığında batı bölgesi, bir önceki zaman aralığında deprem olmuşsa $5.0 \leq M \leq 5.4$ için deprem olma olasılığı doğu bölgesine göre daha düşük $5.5 \leq M \leq 5.9$ için ve $M \geq 6.0$ için daha yüksektir. Batı bölgesinde deprem olmamışsa

$5.0 \leq M \leq 5.4$ için deprem olma olasılığı doğu bölgesine göre daha düşük $5.5 \leq M \leq 5.9$ için ve $M \geq 6.0$ için daha yüksektir. Bir önceki zaman aralığında deprem olsun ya da olmasın her iki durumda da $5.0 \leq M \leq 5.4$ için deprem olma olasılığı batı bölgesinde doğu bölgesine göre daha



Şekil 4. 35.5° - 38.0° K ve 34.5° - 36.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olma olasılıkları.

Figure 4. The probability of the occurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 35.5° - 38.0° N ve 34.5° - 37.0° E in 35.5° - 38.0° N and 34.5° - 36.0° E.

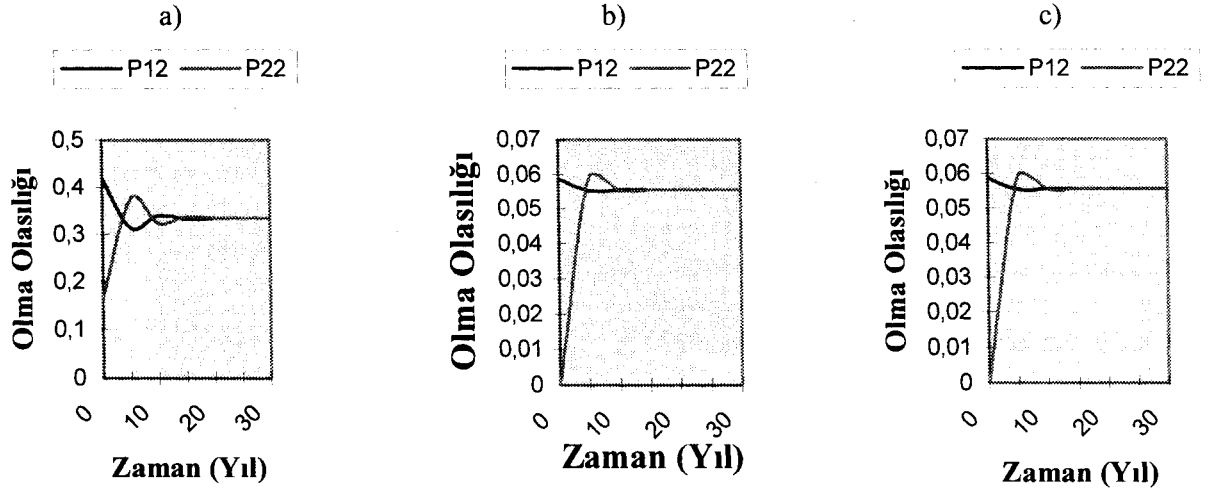


Şekil 5. 35.5° - 38.0° K ve 34.5° - 36.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olmama olasılıkları.

Figure 5. The probability of the nonoccurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 35.5° - 38.0° N and 34.5° - 36.0° E.

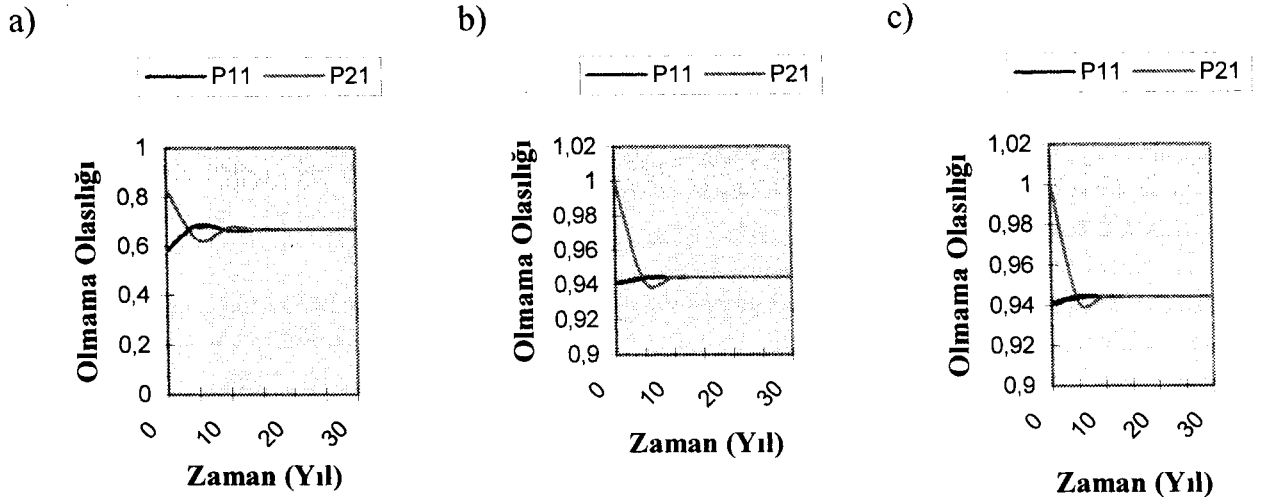
düşük $5.5 \leq M \leq 5.9$ için ve $M \geq 6.0$ için daha yüksektir. Bu durum bize $5.0 \leq M \leq 5.4$ depremlerin çoğunlukla B bölgesinde oluştuğunu, $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve $M \geq 6.0$ depremlerin batı bölgesinde oluştuğunu göstermektedir.

Bir başka açıdan bakacak olursak batı bölgesinde bir önceki zaman aralığında deprem olmamışsa yaklaşık 0-10 yıl içerisinde $5.0 \leq M \leq 5.4$ için deprem olmama olasılığı doğu bölgesine göre yüksek, $5.5 \leq M \leq 5.9$ için ve $M \geq 6.0$ için daha düşüktür. Batı bölgesinde bir önceki za-



Şekil 6. 35.5° - 38.0° K ve 36.0° - 37.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olma olasılıkları.

Figure 6. The probability of the occurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 35.5° - 38.0° N and 36.0° - 37.0° E.



Şekil 7. 35.5° - 38.0° K ve 36.0° - 37.0° D koordinatlarında magnitüd aralıkları (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve (c) $M \geq 6.0$ olan depremlerin olmama olasılıkları.

Figure 7. The probability of the nonoccurrence of the earthquakes (a) $5.0 \leq M \leq 5.4$, (b) $5.5 \leq M \leq 5.9$ and (c) $M \geq 6.0$ in 35.5° - 38.0° N and 36.0° - 37.0° E.

man aralığında deprem olmuşsa yaklaşık 0-10 yıl içerisinde $5.0 \leq M \leq 5.4$ için deprem olmama olasılığı doğu bölgesine göre yüksek $5.5 \leq M \leq 5.9$ için ve $M \geq 6.0$ için daha düşüktür.

Sonuçlardan $5.5 \leq M \leq 5.9$ ve $M \geq 6.0$ depremlerin Batı bölgesinde olma olasılıklarının daha fazla, $5.0 \leq M \leq 5.4$ depremlerin ise olma olasılıklarının doğu bölgesinde daha fazla oldukları anlaşılmaktadır.

SONUÇLAR ve TARTIŞMA

Bölgede oluşan tarihsel ve aletsel dönem deprem verilerine tamamlılık analizi uygulandığında 0-1900 yılları arasında VI ve VII şiddetli depremlerin yetersiz olduğu, 1900-1940 yılları arasında ise $M \leq 5.0$ depremlerin yetersiz olduğu görülmüştür. Bu durum tarihsel dönemde küçük şiddetli depremlerin kayıtlara girmemesinden, aletsel dönemde ise 1900'lü yılların başında bölgede yeteri kadar sismograf istasyonunun olmamasından kaynaklanmaktadır. Buna, bölgenin güneyinin Akdeniz, doğusunun da Türkiye sınırlarının dışında kalması önemli bir olumsuz katkıdır. Çünkü, deprem kataloglarımızda deprem parametreleri hesaplanabilen depremler yer almaktadır. Bu hesaplamaları yapabilmek için yeter sayıda gözlem yapılamamış ise bu tür depremler kataloglara girmemektedir. Bölgenin aktivitesi düşünüldüğünde ilerki çalışmaların daha sağlıklı sonuçlar verebilmesi için bölgenin daha sık gözlem ağıyla donatılması yararlı olacaktır.

Depremlerin uzay ve zaman içindeki oluşumlarının birbirinden bağımsız olamayacağı varsayılarak bunun için en uygun yöntem olan Markov modeli bölgedeki deprem oluşumlarına uygulanmıştır. Tektonik özellikler dikkate alınarak inceleme alanı iki alt bölgeye ayrılmıştır. Markov modeli önce bölgenin tümüne sonra iki alt bölgeye uygulanmıştır. Tüm bölgeye bakıldığında bir önceki zaman aralığında deprem olmadığında deprem olma olasılığı düşük, bir önceki zaman aralığında deprem olduğunda gelecekteki zaman aralıklarında deprem olmama olasılığı yüksek olarak bulunmuştur. Batı ve doğu alt bölgelere Markov modeli uygulandığında $M \geq 6.0$ olan depremlerin olma olasılıklarının Batı bölgesinde yüksek olduğu, $M \geq 5.0$ olan depremlerin olma olasılıklarının ise doğu bölgesinde yüksek olduğu sonucu ortaya çıkmıştır. Bu durum inceleme alanının doğu bölgesinde yeralan Doğu Anadolu Fay Zonu'nda ve Bitlis Bindirme Zonu'nda küçük magnitüdü depremlerin

Batı bölgesine göre daha çok ve sık olduğunu göstermektedir. Bölgenin batısında $M \geq 6.0$ olan depremlerin olma olasılıklarının yüksek olması ise bu bölgede yeralan Ecemiş, Kozan, Göksu ve Misis faylarının büyük depremler oluşturabileceğini göstermektedir. Bölgede oluşan son büyük deprem 27 Haziran 1998 Adana depremi bu bölgenin aktivitesini ortaya koymaktadır.

KATKI BELİRTME

Bu çalışmada katkılarından dolayı Yıldız ALTINOK'a ve S.Balamir ÜÇER'e teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- Altınok, Y. 1988, Semi-Markov Modelinin Kuzey Anadolu Fay Zonunda Deprem Riskine Uygulanması, Jeofizik, 2, 44-48, Ankara.
- Bağcı, G. 1996, Earthquake Occurrences in Western Anatolia by Markov Model, Jeofizik, 10, 67-75, Ankara.
- Grivas, A.A., Dyvik, R. and Howland, J. 1980, An Engineering Analysis of the seismic history of New York State, Proc. Of the Seventh World Conf. on Earthquake Engineering 1, 324-331, İstanbul.
- Hagiwara, Y. 1975, A stochastic model of earthquake occurrence and the accompanying horizontal land deformation, Tectonophysics, 26, 91-101.
- Halaç, O. 1991, Kantitatif Karar Verme Teknikleri, İstanbul Üniversitesi İşletme Fakültesi, 99-150, İstanbul.
- Kremidjian, A.S. and Anagnos, T. 1980, A homogeneous stochastic model for earthquake occurrences. Contract No. 14-08-0001-17766, Dept. of Civil Engineering, Stanford University, Stanford.