

## İzmir İçin Geleceğe Yönelik Yağış Olasılıklarının Markov Zinciri Modeliyle Belirlenmesi

Mustafa ÖZGÜREL<sup>1</sup> Murat KILIÇ<sup>2</sup>

### Summary

#### Determining of Precipitation Probabilities for İzmir by Markov Model

In this study, a Markov Model was devised in order to determine the probability of annual precipitation in İzmir for the future. The precipitation data was used for the years between 1960 and 2001 in devising the model. Standardised Precipitation Index (SPI) criterions were used in classifying the annual rainfall. The model was run firstly for 2002 in order to control the reliability. Amount of precipitation occurred in the study area is 650.4 mm in 2002. According to the model results, this amount of precipitation belongs to the class of “near normal wet” year in SPI system with the maximum probability of 65 %. When the model was run for the years 2003, 2004 and 2005, it is determined that there isn't an important difference between the precipitation probabilities. According to the model solution, amount of rainfall would change between the values of 513 mm and 851 mm with the probability of 65 % for these three years.

**Key words:** Probability, Markov Model, SPI system

### Giriş

En önemli su kaynaklarından birisi olan yağışın yetersizliği kadar, aşırı miktarları da insanları, hayvanları ve bitkileri etkileyen önemli afetleri oluşturmaktadır. Bu doğal olayların engellenmesi mümkün olmamakla birlikte, sonuçları göz önüne alınarak etkisinin azaltılması söz konusudur.

Belirli bir alana farklı zamanlarda düşen yağışların sınıflandırılması, geleceğe yönelik yağış olasılık tahminlerinin doğru bir şekilde yapılabilmesi için gereklidir. Bu konuda, McKee ve ark. (1993)

<sup>1</sup> Prof. Dr. E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bornova-İZMİR

<sup>2</sup> Araş. Gör. E.Ü. Ziraat Fakültesi Tarımsal Yapılar ve Sulama Bölümü, Bornova-İZMİR  
e-mail: murat.kilic@mailcity.com

tarafından geliştirilen Standardize Edilmiş Yağış İndeksi (SPI) sistemi, kuraklığın belirlenmesi ve izlenmesi amacıyla dünyada çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Diğer bir çalışma, iklimsel yağış-zaman serilerinin belirlenmesi amacıyla Tom (1966) tarafından geliştirilen Gamma Dağılımıdır. Bu yöntem, frekans ve olasılık fonksiyonu kavramlarıyla tanımlanmakta olup, kümülatif olasılığın belirlenmesinde gamma fonksiyonu tablolarından yararlanılmaktadır. Bir başka çalışma, Palmer (1965) tarafından gerçekleştirilen ve Palmer Kuraklık İndeksi kavramının ortaya konduğu çalışmadır. Burada, kuraklığın şiddeti ve başlangıç ve bitiş süreleri olmak üzere iki temel kavram tanımlanmaktadır. Dickerson ve Dethier (1970), Palmer kuraklık İndeksi yöntemini, Kuzeybatı Amerika'da çeşitli kuraklık derecelerinin sıklığını belirlemek amacıyla kullanmışlardır. Karl ve Koscielny (1982) ve Diaz (1983), 1895-1981 yılları arasındaki periyotta, ABD'de kurak ve nemli dönemlere ilişkin zamansal ve mekansal özelliklerin belirlenmesinde Palmer Kuraklık İndeksi yönteminden yararlanmışlardır. Kappel (1983) (1), 1976 yılı için, Palmer Kuraklık İndeksi haritalarını kullanarak Minnesota ve Wisconsin'de kurak alanlar ve buralarda artan yangın tehlikesi arasındaki ilişkiyi belirlemiştir.

Bu çalışmada, İzmir ili için geleceğe yönelik yıllık yağış olasılıklarının belirlenmesi amacıyla bir Markov Zinciri Modelinin kurulması amaçlanmıştır. Modelin kurulması ve çalıştırılmasında takip edilen işlem sırası ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

### **Materyal**

Bu çalışmada, İzmir iline ait 42 yıllık (1960-2001) yağış verilerinden yararlanılmıştır. İzmir, iklim özellikleri bakımından Akdeniz iklim tipine girmektedir. Yörede yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve yağışlıdır. 1960-2001 yılları arasındaki periyotta, Güzelyalı Meteoroloji istasyonunda gözlemlenen yağış değerleri Çizelge 1' de sunulmuştur.

Çizelge 1: 1960-2001 yılları arasında İzmir iline düşen yıllık yağış miktarları (mm).

Yıl	Yıllık toplam yağış (mm)	Yıl	Yıllık toplam yağış (mm)	Yıl	Yıllık toplam yağış (mm)
1960	784.1	1974	700.0	1988	627.5
1961	579.3	1975	714.0	1989	519.4
1962	862.9	1976	872.7	1990	542.4
1963	569.2	1977	468.0	1991	465.3
1964	509.9	1978	895.5	1992	361.5
1965	875.0	1979	789.5	1993	672.3
1966	892.5	1980	582.9	1994	635.8
1967	415.0	1981	1056.2	1995	790.0
1968	716.2	1982	661.1	1996	803.4
1969	793.5	1983	549.4	1997	711.4
1970	627.2	1984	685.1	1998	1083.4
1971	725.3	1985	526.8	1999	652.5
1972	339.3	1986	706.3	2000	554.0
1973	624.2	1987	746.7	2001	928.5

Çizelge 1’de görüldüğü gibi, 1960-2001 yılları arasında İzmir’e düşen yağış miktarları, 339.3 mm ile 1083.4 mm arasında değişim göstermiştir. En az yağış 1972 yılında meydana gelirken, en fazla yağış 1998 yılında düşmüştür. İzmir’in yıllık ortalama yağış miktarı 681.3 mm’dir.

### Yöntem

Bu çalışmada belirli bir alan için, geleceğe yönelik yıllık yağış olasılıklarının tahmin edilmesi amacıyla bir Markov Zinciri Modeli kurulmuştur. Modelin kurulması ve çalıştırılmasında takip edilen işlemler sırasıyla aşağıda sunulmuştur.

Çalışmanın ilk aşamasında; 1960-2001 yılları arasındaki periyotta İzmir iline düşen yıllık yağış miktarları, Standardize Edilmiş Yağış İndeksi (SPI) sistemine göre (7) sınıflandırılmıştır. Sınıflandırmada yürütülen işlemler aşağıda sunulmuştur.

$$X_{ort} = \frac{\sum_{i=1}^t X_i}{t}, \quad \delta^2 = \frac{\sum_{i=1}^t (X_{ort} - X_i)^2}{t-1}, \quad \delta = \sqrt{\delta^2}, \quad SPI = \frac{(X_i - X_{ort})}{\delta}$$

Eşitliklerde;  $X_{ort}$  = yıllık ortalama yağış miktarı (mm),  $X_i$  = i. yılda düşen yağış miktarı (mm),  $t$  = sınıflandırmanın yapılacağı yıl sayısı,  $\delta^2$  = varyans,

$\delta$  = standart sapma, SPI = Standardize Edilmiş Yağış İndeks değeri,  $i$  = sınıflandırmanın yapılacağı yıllara ilişkin indis değeri.

SPI sisteminde yer alan her bir sınıf, Markov Zinciri Modelinde farklı bir  $S_j$  sembolüyle gösterilmiştir.  $j$ 'nin değeri ( $j=1,2,3,\dots,7$ ), SPI sistemindeki sınıflara ait indis değerlerini göstermektedir. McKee ve ark. (1993) tarafından verilen SPI Sınıfları ve bunların sınır değerleri, Markov Zinciri Modelinde bu sınıfları temsil eden  $S_j$  sembolleriyle birlikte aşağıda sunulmuştur;

<u>SPI Sınıfı</u>	<u>SPI Değeri</u>	<u>Sembol</u>
Aşırı nemli	$SPI \geq 2$	$S_1$
Çok nemli	$1.50 \leq SPI \leq 1.99$	$S_2$
Orta derecede nemli	$1.00 \leq SPI \leq 1.49$	$S_3$
Normale yakın nemli	$-0.99 \leq SPI \leq 0.99$	$S_4$
Orta derecede kurak	$-1.49 \leq SPI \leq -1.00$	$S_5$
Şiddetli kurak	$-1.99 \leq SPI \leq -1.50$	$S_6$
Aşırı kurak	$SPI \leq -2.00$	$S_7$

İkinci aşamada; 1960-2001 yılları için SPI sistemine göre sınıflandırılan yıllık yağış miktarları periyodik olarak sıralanmıştır. Böylece, her yıla ilişkin yağış veya kuraklık derecesi sırasıyla ortaya konmuştur. Daha sonra bu verilerden yararlanılarak, Markov Zinciri Modelinin P (geçiş olasılıkları) matrisi oluşturulmuştur. Model, stasyoner bir özellik göstermektedir (2,3). Bunun nedeni; belirli bir alana farklı periyotlarda düşen yağış miktarlarının birbirinden bağımsız olmasıdır.

Üçüncü aşamada; 42 yıllık periyot için (1960-2001), her bir yılın içine girdiği SPI sınıfı esas alınarak,  $V^0$  (başlangıç olasılıkları) vektörü oluşturulmuştur. Bu vektörün her bir bileşeni, SPI sisteminde yer alan ve yukarıda açıklandığı şekilde  $S_j$  sembolüyle gösterilen her farklı durumun, o yörede gerçekleşme olasılığını ifade etmektedir.

Dördüncü aşamada; Markov Zinciri Modeli çalıştırılmış ve ulaşılan sonuçlara göre, geleceğe yönelik yıllık yağış olasılıkları ortaya konmuştur. İstenilen herhangi bir yıla ait yağış olasılıkları aşağıdaki eşitlikler kullanılarak belirlenmiştir (3,9).

$$V^n = V^{n-1} * P = V^0 * P^n$$

Eşitliklerde;  $n$  = model kurulurken dikkate alınan en son yıldan itibaren  $n$  yıl sonrası (adım sayısı),  $V^n$  =  $n$ . yıldaki (adımdaki) olasılık vektörü,  $V^0$  = başlangıç olasılıkları vektörü,  $P$  = geçiş olasılıkları matrisidir.

Örneğin; yukarıda verilen genel eşitlik, olasılık tahmini yapılacak ilk iki yıl için sırasıyla yazıldığında aşağıdaki şekle dönüşecektir.

$$V^1 = V^0 * P$$

$$V^2 = V^1 * P = V^0 * P^2$$

Bu eşitliklerde, modelin kurulmasında dikkate alınan en son yıl olan 2001' den bir sonraki yıl (2002) için olasılık vektörü  $V^1$  ile ve en son yıldan iki yıl sonraki (2003 yılı için) olasılık vektörü de  $V^2$  ile gösterilmiştir. Bu eşitliklerde,  $V$  vektörlerinin üzerindeki rakamlar (1,2,...n), modelde adım sayısını ifade etmektedir. Bu olasılık vektörlerinin her bir bileşeni, sırasıyla  $S_1, S_2, \dots, S_7$  durumlarının, analiz edilen yıl için araştırma alanında gerçekleşme olasılıklarını ifade etmektedir.

### Bulgular ve Tartışma

1960-2001 yılları arasındaki 42 yıllık periyotta, İzmir iline düşen yıllık yağış miktarları, SPI Sistemine göre sınıflandırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 2' de sunulmuştur. Her bir yıla karşılık gelen SPI sınıfı, ilgili  $S_j$  sembolüyle gösterilmiştir.

Çizelge 2: 1960-2001 yılları arasındaki periyotta İzmir iline düşen yıllık yağış miktarlarına ait SPI İndeks değerleri ve buna karşılık gelen sınıflar.

Yıl	SPI İndeks değeri	Sınıf	Yıl	SPI İndeks değeri	Sınıf	Yıl	SPI İndeks değeri	Sınıf
1960	0.60	S <sub>4</sub>	1974	0.11	S <sub>4</sub>	1988	-0.32	S <sub>4</sub>
1961	-0.60	S <sub>4</sub>	1975	0.19	S <sub>4</sub>	1989	-0.95	S <sub>4</sub>
1962	1.06	S <sub>3</sub>	1976	1.12	S <sub>3</sub>	1990	-0.81	S <sub>4</sub>
1963	-0.66	S <sub>4</sub>	1977	-1.25	S <sub>5</sub>	1991	-1.27	S <sub>5</sub>
1964	-1.00	S <sub>5</sub>	1978	1.26	S <sub>3</sub>	1992	-1.88	S <sub>6</sub>
1965	1.14	S <sub>3</sub>	1979	0.63	S <sub>4</sub>	1993	-0.05	S <sub>4</sub>
1966	1.24	S <sub>3</sub>	1980	-0.58	S <sub>4</sub>	1994	-0.27	S <sub>4</sub>
1967	-1.56	S <sub>6</sub>	1981	2.20	S <sub>1</sub>	1995	0.64	S <sub>4</sub>
1968	0.20	S <sub>4</sub>	1982	-0.12	S <sub>4</sub>	1996	0.72	S <sub>4</sub>
1969	0.66	S <sub>4</sub>	1983	-0.77	S <sub>4</sub>	1997	0.18	S <sub>4</sub>
1970	-0.32	S <sub>4</sub>	1984	0.02	S <sub>4</sub>	1998	2.36	S <sub>1</sub>
1971	0.26	S <sub>4</sub>	1985	-0.91	S <sub>4</sub>	1999	-0.17	S <sub>4</sub>
1972	-2.01	S <sub>7</sub>	1986	0.15	S <sub>4</sub>	2000	-0.75	S <sub>4</sub>
1973	-0.33	S <sub>4</sub>	1987	0.38	S <sub>4</sub>	2001	1.45	S <sub>3</sub>

Çizelge 2'de görüldüğü gibi,  $S_2$  sembolüyle gösterilen “çok nemli” yıl durumu hariç, diğer tüm yağış koşulları 42 yıllık periyot süresinde

İzmir’de gerçekleşmiştir. En fazla,  $S_4$  sembolüyle gösterilen “normale yakın nemli” yıl durumu meydana gelmiştir. Elde edilen verilere göre, Markov Zinciri Modeline ait  $P$  (geçiş olasılıkları) matrisi aşağıda sunulmuştur.

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \\ S_7 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.200 & 0.400 & 0.200 & 0.200 & 0 \\ 0.071 & 0 & 0.107 & 0.715 & 0.071 & 0 & 0.036 \\ 0 & 0 & 0.667 & 0 & 0 & 0.333 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.000 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

SPI sistemindeki her bir  $S_j$  durumunun, İzmir ilinde meydana gelme olasılığı,  $V^0$  (başlangıç olasılıkları) vektörü ile ifade edilmiştir. Buna göre;

$$V^0 = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 \\ 0.048 & 0 & 0.143 & 0.667 & 0.071 & 0.048 & 0.023 \end{bmatrix}$$

bulunmuştur.

Markov Zinciri Modeli, 2002 yılı için çalıştırıldığında, aşağıda  $V^1$  olasılık vektörü ile sunulan sonuçlara ulaşılmıştır.

$$V^1 = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 \\ 0.047 & 0 & 0.147 & 0.654 & 0.076 & 0.052 & 0.024 \end{bmatrix}$$

Model çözümüne göre ulaşılan bu sonuçlar, SPI sistemi kriterlerine göre; 2002 yılında İzmir’in yaklaşık % 5 olasılıkla aşırı nemli, % 15 olasılıkla orta derecede nemli, % 65 olasılıkla normale yakın nemli, % 8 olasılıkla orta derecede kurak, % 5 olasılıkla şiddetli kurak ve % 2 olasılıkla da aşırı kurak geçeceğini göstermektedir. Buna karşın 2002 yılında İzmir’de çok nemli bir periyodun ( $S_2$  durumunun) gerçekleşmesi beklenmemektedir.

Söz konusu yılda gerçekte İzmir’e düşen yağış miktarı 650.4 mm’dir. Bu değer, SPI sistemine göre “normale yakın nemli” yıl ( $S_4$ ) sınıfına girmektedir. Model çözümüne göre, “normale yakın nemli” yıl olan  $S_4$  durumu, yaklaşık % 65 gerçekleşme olasılığı ile en yüksek değeri almıştır. Bu durumda, 2002 yılında araştırma alanına düşen yağış miktarı, model sonucuna göre en yüksek gerçekleşme olasılığına sahip sınıf içerisinde yer almıştır.

Markov Zinciri Modeli, 2003, 2004 ve 2005 yılları için de çalıştırıldığında, sırasıyla  $V^2$ ,  $V^3$  ve  $V^4$  olasılık vektörleri ile gösterilen sonuçlara ulaşılmıştır. Bu vektörler sırasıyla aşağıda sunulmuştur;

$$\begin{array}{l} \begin{array}{c} S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4 \quad S_5 \quad S_6 \quad S_7 \\ V^2 = [ \quad 0.045 \quad 0 \quad 0.15 \quad 0.65 \quad 0.076 \quad 0.055 \quad 0.024 ] \\ V^3 = [ \quad 0.046 \quad 0 \quad 0.15 \quad 0.65 \quad 0.076 \quad 0.054 \quad 0.023 ] \\ V^4 = [ \quad 0.046 \quad 0 \quad 0.15 \quad 0.65 \quad 0.076 \quad 0.054 \quad 0.023 ] \end{array} \end{array}$$

Elde edilen çözüm sonucunda, SPI sistemi kriterlerine göre, İzmir’de gerçekleşmesi beklenen yağış olasılıkları arasında önemli düzeyde bir fark meydana gelmemiştir. Bu verilere göre, 2003, 2004 ve 2005 yılları için beklenen yağış olasılık değerleri genel olarak  $V^{2,3,4}$  vektörü ile gösterilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

$$\begin{array}{l} \begin{array}{c} S_1 \quad S_2 \quad S_3 \quad S_4 \quad S_5 \quad S_6 \quad S_7 \\ V^{2,3,4} = [ \quad 0.05 \quad 0 \quad 0.15 \quad 0.65 \quad 0.08 \quad 0.05 \quad 0.02 ] \end{array} \end{array}$$

Bu sonuçlara göre, 2003, 2004 ve 2005 yılları için İzmir’de beklenen yağış miktarları ve bunların meydana gelme olasılıkları şöyledir; % 5 olasılıkla 1022 mm’den büyük, % 15 olasılıkla 852 mm ile 936 mm arasında, % 65 olasılıkla 513 mm ile 851 mm arasında, % 8 olasılıkla 427 mm ile 512 mm arasında, % 5 olasılıkla 342 mm ile 426 mm arasında ve % 2 olasılıkla da 341 mm’den daha az miktarda yağış düşmesi beklenmektedir. Model çözümüne göre, İzmir’e 937 mm ile 1021 mm değerleri arasında yağış düşmesi beklenmemektedir.

Bu sonuçlara göre; İzmir, SPI sisteminde genel olarak “normale yakın nemli” bir özellik göstermekte ve yıllık yağış miktarlarının da % 65 olasılıkla, 513 mm ile 851 mm arasında değişmesi beklenmektedir.

### **Sonuçlar**

Bu çalışmada, İzmir ili için geleceğe yönelik yıllık yağış olasılıklarını belirlemek amacıyla bir Markov Zinciri Modeli kurulmuştur.

Güvenilirliğinin kontrol edilmesi amacıyla model, önce 2002 yılı için sınanmış ve elde edilen çözüm sonuçları, söz konusu yılda gerçekte meydana gelen yağış miktarıyla karşılaştırılmıştır. Buna göre, 2002 yılında İzmir’e düşen 650.4 mm’lik yağış, SPI sisteminde “normale yakın nemli” yıl ( $S_4$ ) sınıfına girmiştir. Model çözümüne göre, söz konusu yılda bu yağışın meydana gelme olasılığı % 65 ile en yüksek değeri almıştır.

Kurulan model, 2003, 2004 ve 2005 yılları için çalıştırıldığında, beklenen yağışların meydana gelme olasılıkları arasında, yıllara göre

önemli düzeyde fark bulunmamıştır. Model sonuçlarına göre, İzmir'in SPI sisteminde genel olarak "normale yakın nemli" bir özellik gösterdiği ve söz konusu 3 yıl için de, meydana gelmesi beklenen yıllık yağış miktarlarının % 65 olasılıkla 513 mm ile 851 mm arasında değerler alması beklenmektedir.

### Özet

Bu çalışmada, İzmir ili için geleceğe yönelik yıllık yağış olasılıklarının tahmin edilmesi amacıyla bir Markov Zinciri Modeli kurulmuştur. Modelin kurulmasında 42 yıllık (1960-2001) yağış verilerinden yararlanılmıştır. Yıllık yağış değerlerinin sınıflandırılmasında SPI sistemi kriterleri esas alınmıştır. Güvenilirliğinin kontrol edilmesi amacıyla model, önce 2002 yılı için sınanmıştır. Söz konusu yılda araştırma alanına düşen yağış miktarı 650.4 mm'dir. Model sonucuna göre bu miktar, % 65 gerçekleşme olasılığı ile, SPI sisteminde en yüksek değeri alan "normale yakın nemli" yıl sınıfına girmiştir. Model 2003, 2004 ve 2005 yılları için ayrı ayrı test edildiğinde, beklenen yıllık yağış miktarlarının meydana gelme olasılıkları arasında önemli düzeyde bir fark olmadığı belirlenmiştir. Model çözümüne göre, araştırma alanında söz konusu üç yıl için de, % 65 gerçekleşme olasılığı ile en yüksek değeri alan yağış miktarının, 513 mm ile 851 mm arasında değişim göstermesi beklenmektedir.

**Anahtar sözcükler:** Olasılık, Markov zinciri Modeli, SPI sistemi.

### Kaynaklar

1. Alley, W.M., 1984. The Palmer Drought Severity Index: Limitations and Assumptions, Journal of Climate and Applied Meteorology, Vol. 23, 1100-1109.
2. Bayazit, M., 1981. Hidrolojide İstatistik Yöntemler, İTÜ İnşaat Fakültesi Hidrolik ve Su Kuvvetleri Kürsüsü, İTÜ Kütüphanesi, sayı: 1197, 224 s.
3. Budnick, F.S., Mojena, R. and Vollmann, T.E., 1977. Principles of Operations Research for Management, Richard D. Irwin Inc., 582-589 pp.
4. Diaz, H.F., 1983. Some Aspects of Major Dry and Wet Periods in the Contiguous United States, 1895-1981, J. Climate Appl. Meteor., 22, 3-16.
5. Dickerson, W.H., and Dethier, B.E., 1970. Drought Frequency in the Northeastern United States, West Virginia University Agr. Exp. Sta., Bull. No 595, 20 pp.
6. Karl, T.R. and Koscielny, A.J., 1982. Drought in the United States: 1895-1981. J. Climatol., 2, 313-329.
7. McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J., 1993. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales, Preprints, 8<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA, pp.179-184
8. Palmer, W.C., 1965. Meteorologic Drought. U.S. Weather Bureau, Res. Pap. No. 45, 58 pp.
9. Shamblyn, J.E. and Stevens, Jr., 1974. Operations Research; A Fundamental Approach, McGraw-Hill, 53-83 pp.