

## Markov Zinciri Modeli Kullanılarak Kahramanmaraş İli İçin Gelecekteki Hidrolojik Kuraklık Olasılıklarının Belirlenmesi

\*Mahmut REİS<sup>1</sup>, Hurem DUTAL<sup>1</sup>

Kahramanmaraş Şütçü İmam Üniversitesi Orman Fakültesi, 46100, Kahramanmaraş/Türkiye

\*Sorumlu yazar: mreis@ksu.edu.tr

Geliş Tarihi: 06.05.2015

### Özet

Kuraklık, çok sinsi ilerleyen ve etkileri bakımından diğer afetlerle karşılaştırıldığında daha ciddi zararlara neden olan doğal bir olgudur. Bu nedenle kuraklığın sürekli olarak takip edilmesi gerekmektedir. Türkiye' nin de taraf olduğu uluslararası sözleşmelerde kuraklığın sürekli olarak izlenilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Bu çalışmada, Markov Zinciri Modeli kullanılarak Kahramanmaraş ili için geleceğe yönelik hidrolojik kuraklık olasılıkları belirlenmiştir. Kuraklık indeksi olarak hem hesaplanmasındaki kolaylık hem de kuraklık olgusunu etkileyen en önemli parametreler olan sıcaklık ve yağışı göz önünde bulundurmasından dolayı "De Martonne" yöntemi seçilmiştir. Kahramanmaraş Meteoroloji İstasyonu' na ait 1970-2013 yıllarını kapsayan 44 yıllık yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak her bir yıla ait kuraklık indeksi değeri belirlenmiştir. Ardından, kuraklık analizi sonucu elde edilen verilere Markov Zincirleri Yaklaşımı uygulanmıştır. Modelin tahmin kabiliyetinin ortaya konulması amacıyla 2014 yılına ait kuraklık indeksi sınıfı ile 2014 yılı için tahmin edilen her bir kuraklık indeksi sınıfının gerçekleşme olasılığı karşılaştırılmıştır. De Martonne kuraklık indeksine göre, Kahramanmaraş' ın 2014 yılı için kuraklık indeksi değeri 21' dir ve bu değer De Martonne indeksinde "kabul edilebilir sulaklık" sınıfına girmektedir. Modelin 2014 yılı için tahmin ettiği her bir kuraklık sınıfının gerçekleşme olasılıkları ise %14 "kabul edilebilir kuraklık", %79 "kabul edilebilir sulaklık" ve %7 "şiddetli sulaklık" şeklindedir. Model 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılları için çalıştırıldığında gerçekleşme olasılığı en yüksek olan sınıf, altı yıl için de %79 gerçekleşme olasılığı ile "kabul edilebilir sulaklık" sınıfı olmuştur.

**Anahtar kelimeler :** Markov Zinciri Modeli, Kuraklık, Kuraklık Prediction, De Martonne Kuraklık İndeksi

### Determining Hydrological Drought Probability in Future Using Markov Chain Model for Kahramanmaraş City

#### Abstract

Drought is an insidious disaster and a naturel phenomenon which causes more serious damage compared to other disasters in terms of its effects. Therefore, it is necessary that drought is monitored consistently. Monitoring drought continuously is emphasized in international conventions which Turkey is engager also. In this study, hydrological drought probabilities in future are determined using markov chain model for Kahramanmaraş city. De Martonne method is chosen as drought index due to both easy calculating and taking into consideration temperature and precipitation which are the most important parameters affecting drought. For each year, drought index value is determined using the precipitation and temperature data involving 1970- 2013 period, total 44 years, of the Kahramanmaraş Meteorology Station. Then, markov chain approach is practiced on data obtained from the result of the drought analysis. With the aim of showing the prediction capacity of the model, drought index class of 2014 year has been compared with the probability of the each drought index class predicted for 2014 year. According to De Martonne drought index , the drought index value of the Kahramanmaraş is 21 for 2014 year and this value is involved in "moderately humid" class. The probability of occurrence of each drought class predicted by model for 2014 year is 14% "moderately dry", 79% "moderately humid" and 7% "extremely humid". When model has been run for 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 and 2020 years, class which is the highest probability of occurrence is "moderately humid" with 79 % probability of occurrence for each six year.

**Keywords :** Markov Chain Model, Drought analysis, Drought prediction, De Martonne Drought Index

#### Giriş

Kuraklık, yağışın normal düzeyinin oldukça altında olduğu dönemlerde ortaya çıkan ve arazi kaynakları üretim sistemlerini olumsuz biçimde etkileyerek ciddi hidrolojik dengesizliklere yol açan, doğal oluşumlu bir olay olarak tanımlanmaktadır (UNCCD,

1995). Kuraklık, meteorolojik veya klimatolojik, hidrolojik ve tarımsal olarak sınıflandırılabilir ve genellikle sosyo-ekonomik etkilere sahiptir (Keyantash ve Dracup, 2002). Bir bölgedeki meteorolojik veya klimatolojik kuraklık, süresi uzamış ve normalin altındaki nem miktarı ile

karakterize edilmektedir (Palmer, 1965). Tarımsal kuraklık, meteorolojik kuraklığın değişik karakteristiklerinin tarımsal etkileriyle ortaya çıkmaktadır. Bu karakteristikler; yağış azlığı, aktüel ve potansiyel evapotranspirasyondaki farklılıklar, toprak suyu yetersizliği, azalmış yeraltı suları veya rezervuar seviyeleri vb. şeklindedir. Hidrolojik kuraklık, yağış eksikliği süresinin yüzey veya yüzey altı su kaynakları (örneğin; dere akımı, rezervuar ve göl seviyeleri, yeraltı suyu) üzerindeki etkisiyle ilişkilendirilmektedir. Hidrolojik kuraklığın frekansı ve şiddeti genellikle havza ölçeğinde tanımlanmaktadır (Monacelli ve ark., 2005). Kuraklığın bir yandan tarıma ve canlılara, diğer yandan da su kaynaklarına ve dolayısıyla da bu kaynaklardan faydalanması gereken endüstrilere etkisi de sosyo-ekonomik kuraklığı oluşturmaktadır (Kurnaz, 2014).

Afetlerin şiddeti, oluşum süreleri, toplam ekonomik kayıp, sosyal etki ve kalıcılığı esas alınarak yapılan değerlendirmede; kuraklık olayı, önem sırasına göre dünyada etkili olan 31 çeşit doğal afet içinde ilk sıralarda yer almaktadır (İlgar, 2010). Toplum hayatında bir çok sektörü etkilemesi ve etki alanının geniş olması nedeniyle kuraklık diğer doğal afetlere göre daha fazla zarar vermektedir. Bu özelliği ile dünyada dikkatleri üzerine çekmiş ve takip edilmesi için ulusal ve uluslararası birimlerce işbirliği programlarına konu olmuş kuraklığın verdiği zararlar dikkat çekicidir. 1988 yılında Amerika’da meydana gelen kuraklık ekonomik olarak 40 milyar dolar zarara neden olmuştur. Bu zarar 1989 yılında meydana gelen San Fransisco depreminin verdiği zararın 2-3 katıdır. 2003 yılında Avrupa’da görülen kuraklığın ekonomik zararının en az 8.7 milyar euro olduğu rapor edilmiştir. 1997 yılında Çin’de meydana gelen şiddetli kuraklık 227 gün sürmüştür. Bu sürede Sarı Irmak’ta (Yellow River) hiç akım bulunmamıştır ve bunun kayıtlardaki en uzun süre olduğu belirtilmiştir. 2000 yılında Kuzey Çin’de meydana gelen kuraklığın 40 milyon hektarlık bir alanı etkilediği ve bu olayın su kesintileri, çölleşme ve kum fırtınalarını tetiklediği rapor edilmiştir. 2006 yılında Avustralya’da meydana gelen kuraklığın tahıl üretimini %36 oranında azalttığı ve

bunun ekonomik değerinin yaklaşık 3,5 milyar Avustralya doları olduğu belirtilmiştir (Mishra ve Singh, 2010).

Dünya Meteoroloji Teşkilatının 87 ülke arasında yapmış olduğu anket sonuçlarına göre, aralarında Türkiye’nin de bulunduğu 74 ülkenin kuraklıktan etkilendiği tespit edilmiştir (WMO, 1992). Kuraklık olayının canlıların yaşamına etki eden can ve mal kayıplarına yol açan diğer doğal afetlerden farkı, etkisinin uzun zamanlı ve daha yavaş hissedilmesidir (Şaylan ve ark., 1997). Yavaş gelişmesi nedeniyle kuraklık, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de farklı kuraklık indeksleri ile sürekli olarak izlenmelidir (Anonim, 1999). Ancak Türkiye’de önemli bir doğal afet olan kuraklığın belirlenmesi, izlenmesi ve ülkenin kuraklıktan etkilenebilirliğini belirlemeyi hedefleyen kuraklık risk çözümlemesi çalışmaları henüz çok yetersiz olmasına karşın son yıllarda küresel ısınmanın gündeme gelmesiyle birlikte kuraklıkla ilgili çalışmalarda artış göstermiştir (İlgar, 2010).

Kuraklığın özelliklerini (şiddeti, zamansal ve mekânsal dağılımı) ortaya koymak için birçok kuraklık indisi geliştirilmiştir (Tatlı ve Türkeş, 2011). Bunlardan bazıları SPI(Standardized Precipitation Index) (McKee ve ark., 1993), PDSI(Palmer Drought Severity Index) (Palmer, 1965), PN(Percent of Normal Precipitation) (Hayes ve ark., 2007) ve Decile (Gibbs ve Maher, 1967) yöntemleridir. Kuraklık analizi için geliştirilen yöntemlerden bir tanesi de “De Martonne kuraklık indeksi” dir. Literatürde, “De Martonne yıllık kuraklık indeksi” birçok araştırmacı tarafından kullanılmıştır (Güner, 1996).”De Martonne kuraklık indeksi” sadece yağışı değil aynı zamanda sıcaklığı da göz önünde bulunduran ve hesaplama açısından da kompleks olmayan bir yöntemdir.

Literatürde, kuraklık analizleri çoğunlukla toplam veri setinin amaca yönelik olarak belirlenen 3, 6, 9, 12, 24, 48 vb. ay süreli zaman periyotları için yapılmaktadır. Tarımsal faaliyetler açısından önemli olan kısa ve orta dönem yağış seyrini takip için, 3 aylık kuraklık indeksi sonuçlarının kullanılması; yüzey suyu, yeraltı suyu ve rezervuar seviyelerinde meydana gelen kuraklıkları takip etmek için ise daha uzun

dönem indeks değerlerinin (9-12 aylık) kullanılması daha sağlıklı sonuçlar vermektedir (Labeledzki, 2007; Hıms, 2013). Çünkü herhangi bir ayda yağışta meydana gelen azalma toprak nemine hemen etki edebilirken, yer altı sularının ve nehirlerin bundan etkilenmesi daha uzun bir zaman dilimi içinde olmaktadır (Fidan, 2011).

Kuraklık, hemen hemen tüm iklim şartlarında oluşabilen ve yavaş gelişen bir olaydır. Ancak, kuraklığın etkisi bölgeden bölgeye çok fazla değiştiğinden, yapısı oldukça karmaşıktır. Örneğin, tahminin en zor kısmının, kuraklığın başlama zamanı, bitiş zamanı, şiddeti ve frekansı olduğu söylenebilir. Kuraklık bu özelliklerinin değişkenliğinden dolayı, sadece potansiyel bir doğal afet değil, aynı zamanda çok tehlikeli bir olgudur. Kuraklık tehlikelidir; çünkü stokastik bir doğal olaydır ve belirli bir periyoda sahip değildir (Tatlı ve Türkeş, 2011). Literatürde, stokastik olayların modellenmesinde kullanılan farklı yöntemler mevcuttur (Koçak ve Şen 1998). Bu yöntemlerden bir tanesi de “Markov Zincirleri Modeli” dir.

Kahramanmaraş, ülkemizde küresel ısınmayla birlikte iklim değişikliğinden en fazla etkilenmesi beklenen Akdeniz bölgesinde yer almaktadır. Türkeş (2011), küresel sıcaklıklardaki artışlara bağlı olarak, hidrolojik döngünün değişmesi, kara ve deniz buzularının erimesi, kar ve buz örtüsünün alansal daralması, deniz seviyesinin yükselmesi, iklim kuşaklarının yer değiştirmesi, sıcak hava dalgalarının daha şiddetli ve sık oluşması, bazı bölgelerde aşırı yağışların ve taşkınların, bazı bölgelerde ise kuraklıkların daha şiddetli ve sık oluşması ile yüksek sıcaklıklara bağlı salgın hastalıkların ve zararlıların artması gibi, dünya ölçeğinde sosyoekonomik sektörleri, ekolojik sistemleri ve insan yaşamını doğrudan etkileyecek önemli değişikliklerin beklendiğini belirtmiştir. Küresel ısınmanın etkisiyle 1901-2012 periyodunda dünya sıcaklık ortalaması 0.78 °C artarken (IPCC, 2014), Kahramanmaraş’ ta ortalama sıcaklığın 1975-2005 periyodundaki artışı 1.03 °C ‘ dir (Cosun ve Karabulut, 2009). Buna göre, Türkiye’ nin en büyük su rezervine sahip bölgesinde meydana gelen bu değişim, bölgedeki kuraklık durumunun gelecekte

nasıl olacağına yönelik çalışmaların yapılmasını ve gerekli önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. Bu çalışmada, Kahramanmaraş istasyonuna ait 44 yıllık yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak kuraklığın tarihsel gelişimi ortaya konulmuş ve markov zincirleri yaklaşımıyla gelecekte olması muhtemel kuraklık durumları belirlenmiştir.

## Materyal ve Yöntem

### Materyal

#### Çalışma Alanı ve Veri

Büyük bir bölümü Akdeniz Bölgesi’nin Kuzeydoğu’sunda kalan Kahramanmaraş Havzası Akdeniz İklimi ile Karasal İklim’ in geçiş bölgesinde yer almaktadır (Şekil 1). Akdeniz, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi olmak üzere üç coğrafi bölgenin birbirine en fazla yaklaştığı alanda yer alması nedeniyle üç farklı iklim tipi arasında kalmıştır. Kahramanmaraş, bunlardan en fazla Akdeniz İklimi’ne yakın özellik gösterir (Korkmaz, 2001). Kahramanmaraş’ ta yıllık ortalama yağış 700 mm civarındadır. Yıllık ortalama sıcaklığı 16.7 °C, maksimum sıcaklığı 45.2 °C (Temmuz ayında), minimum sıcaklığı ise – 9.6 °C (Şubat ayında)’dır (DMİ, 2010). Kahramanmaraş, thornthwaite iklim sınıflandırmasına göre (C2 B'3 s2 b'3 ) yarı nemli, üçüncü dereceden mezotermal, yaz mevsiminde çok kuvvetli su noksanı olan ve denizel şartlara yakın iklim tipine girmektedir. Orman ekosistemin, çıplak alanın, çalılıkların, mera ve tarımsal sistemlerin (nadas ve ekili alan) alanda geniş çapta hakim olduğu görülmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanının uydu görüntüsü üzerindeki konumu

Bu çalışmada, Kahramanmaraş merkez istasyonunun uzun süreli yağış ve sıcaklık

verilerinden yararlanılmıştır. İstasyonun 1970-2013 dönemine ait yıllık ortalama yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verileri kullanılarak kuraklık analizi yapılmış ve elde edilen sonuçlar “Markov Zincirleri Modeli” için girdi olarak kullanılmıştır.

### Yöntem

#### De Martonne Kuraklık İndeksi

De Martonne kuraklık indeksi bilimsel literatürde kuraklığın sayısal bir göstergesi olarak kullanılmaktadır. Özellikle, bitki gelişiminde hidrotermal koşullarının değerlendirilmesinde sıklıkla

kullanılmaktadır. De Martonne kuraklık indeksi, yıllık yağış miktarının(mm) yıllık ortalama sıcaklığa(°C) 10 eklenerek bulunan değere oranı olarak tanımlanır. De Martonne kuraklık indeksinin yıllık değerini hesaplamak için kullanılan formül:

$$I_m = P / ( T + 10 ) \quad (1)$$

şeklindedir. Eşitlik ( 1 )’ de;  $I_m$ , yıllık kuraklık indeksi;  $P$ , yıllık yağış miktarı (mm);  $T$ , yıllık ortalama sıcaklık (°C); 10, sabit sayı (Nikolova, 2013).

Bu çalışmada, De Martonne yıllık kuraklık indeksinin sınıflandırılması amacıyla Tablo 1’ den yararlanılmıştır.

Tablo 1. De Martonne yıllık kuraklık indisi sınıflandırması (Bacanlı ve Saf, 2005)

İndeks Değeri	Kuraklık Sınıfı
0-10	Aşırı kuraklık
11-15	Şiddetli kuraklık
16-20	Kabul edilebilir kuraklık
21-40	Kabul edilebilir sulaklık
$\leq 40$	Şiddetli sulaklık

### Markov Zincirleri Modeli ve Tahmin

Günümüzde fiziki, biyolojik, sosyal bilimler ve mühendislik gibi birçok alanda uygulanan Markov süreçleri, Markov tarafından tanımlanmıştır (İnal, 1988).  $T$ , dizin (indeks) kümesini göstermek üzere,  $X_t$  raslantı değişkeninin herhangi bir  $t \in T$  zamanında aldığı her değere durum adı verilsin. Tüm olası durumların oluşturdukları kümeye de durum uzayı adı verilsin ve  $S$  ile gösterilsin. Buna göre  $(X_t, t \in T)$  biçiminde

$$P(X_{t+1} = x_{n+1} | X_t = x_1, \dots, X_t = x_n) = P(X_{t+1} = x_{n+1} | X_t = x_n).$$

Markov zincirleri, markov süreçlerinin özel bir durumudur ve bir olasılıksal sürecin zaman içinde bulunabileceği farklı durumlar arasında yaptığı hareketlerin incelenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Önal, 2010). Markov zinciri analizinde, durum, geçiş, geçiş olasılıkları, geçiş olasılıkları matrisi, başlangıç vektörü gibi çeşitli kavramlar büyük öneme sahip olmaktadır. Stokastik süreçte, rassal değişkenlerin aldığı her bir özel değer, bir *durum* ( $s$ ) olarak adlandırılırken, sistemin bir durumdan diğerine hareketleri veya durumlar arası değişimleri *geçiş* olarak ifade edilmektedir

gösterilen bir olasılıksal süreç,  $S$  durum uzayında tanımlı ve  $T$  zaman indeksli raslantı değişkenler kümesidir. Dizin kümesindeki  $n$  sayıda zaman noktasının herhangi bir  $t_1 < \dots < t_n$  kümesi için,  $X_{t_1}, X_{t_2}, \dots, X_{t_n}$ 'in verilen değerlerine göre  $X_{t_{n+1}}$ 'nin koşullu dağılımı yalnızca  $X_{t_n}$ 'in değerlerine bağlı ise,  $(X_t, t \in T)$  sürecine Markov süreci adı verilir. Buna göre, herhangi gerçel  $x_1, \dots, x_n$  sayıları için, Markov eşitliği aşağıdaki gibidir.

(Winston, 2004). Durum ve geçiş kavramlarından sonra geçiş olasılıkları ve geçiş olasılıkları matrisi kısaca ortaya konmalıdır. Eğer sistem bir periyotta  $i$  durumundan gelecek periyotta  $j$  durumuna giderse,  $i$ 'den  $j$ 'ye geçiş olmakta ve bu nedenle Markov zincirinde yer alan  $p_{ij}$  olasılıkları *geçiş olasılıkları* ( $P$ ) olarak adlandırılmaktadır. Geçiş olasılıkları çoğu uygulamada,  $s$  durumların sayısını ifade ederken,  $s \times s$  geçiş olasılıkları matrisi  $P$  ile gösterilmektedir. Geçiş olasılıkları matrisinin genel notasyonu aşağıdaki biçimde olmaktadır. (Winston, 2004):

$$P = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1s} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2s} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{s1} & P_{s2} & \dots & P_{ss} \end{pmatrix}$$

Son olarak, *başlangıç vektörü*, sistemin veya sürecin mevcut durumunu diğer bir deyişle sistemin  $t=0$  periyodunda iken  $i$  durumunda olma olasılığını,  $P(X = i) = q_i$  ifade etmekte ve  $q = |q_1 q_2 \dots q_s|$  şeklinde gösterilmektedir (Austin ve Burns, 1985). Markov zincirlerinde yer alan bu araçlardan yararlanılarak  $n$ -aşamalı geçiş olasılıkları hesaplanmaktadır (Stevenson, 1989).

$$P\{X_n = j\} = \sum_{i=0}^s q_i P_{ij}^{(n)} \quad (3)$$

Markov zincirlerinde başlangıç durumları bilinmediğinde, yerine başlangıç durumlarının dağılımını gösteren, başlangıç olasılık vektörü  $q = |q_1 q_2 \dots q_s|$  kullanılabilir (Taylor ve Karlin, 1984). Bu vektör ve geçiş matrisi kullanılarak zincirin  $n$  adımlı geçiş olasılıkları bulunabilir. Böylece  $n$  periyot sonra sistemdeki durumun (yüzdesel) dağılımları, denklem 3 kullanılarak bulunabilir (Akyurt, 2011).

Yukarıda bahsedilen tüm aşamalar hesaplandıktan sonra oluşturulan modelin doğruluğunun test edilmesi modelin kullanımını açısından son derece önemlidir. Bu nedenle Markov zincirleri modelini test

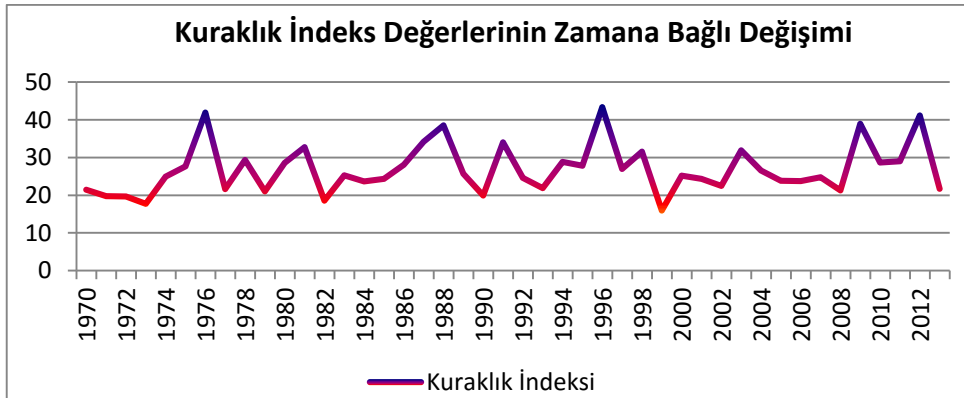
etmek için 2014 yılında gözlenen yıllık yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verileri yardımıyla hesaplanan kuraklık indeks değeri kullanılmıştır. 2014 yılı için belirlenen De Martonne kuraklık indeksi sınıfı ile model yardımıyla 2014 yılı için bulunan her bir kuraklık indeksi sınıfının gerçekleşme olasılıkları karşılaştırılmıştır.

### Bulgular ve Tartışma

#### De Martonne kuraklık indeksi

Kahramanmaraş ili için yapılan kuraklık analizinde 1970-2013 yılları arasındaki yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Yapılan analiz sonucunda kuraklık indeks değerlerinin zamana bağlı olarak değişimi çizelge 5’ de gösterilmiştir.

Kahramanmaraş’ ta 1971, 1972, 1973, 1982, 1990 ve 1999 yılları “kabul edilebilir kuraklık” sınıfında yer almıştır (Çizelge 1). Bu durum, yağışlardaki uzun süreli azalma eğilimleri ve belirgin kurak koşulların, özellikle 1970’lerin başından başlayarak, subtropikal kuşağın ve Türkiye’yi de içerecek bir biçimde Akdeniz Havzası’nın önemli bir bölümünde etkili olmasına bağlanabilir (Türkeş, 2012).

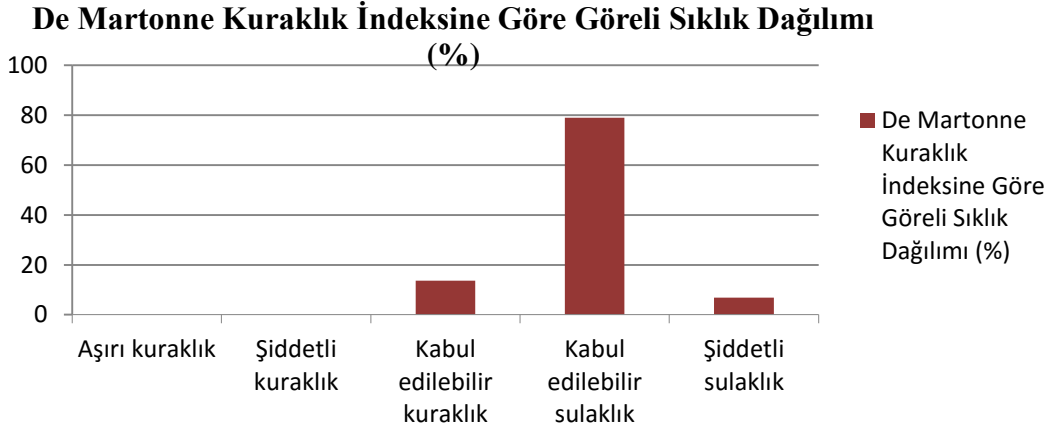


Çizelge 1. Kuraklık indeks değerlerinin zamana bağlı değişimi

Yukarıda bahsedilen bu kuraklaşma eğiliminden Türkiye’de en fazla, Ege, Akdeniz, Marmara ve Güneydoğu Anadolu bölgeleri etkilenmiştir. Son 40 yılda özellikle kış mevsimi ve yıllık yağış değişiklikleri dikkate alındığında, Türkiye’deki kuraklık olaylarının en şiddetli ve geniş yayılışlı olanları, 1971-1974, 1983-1984, 1989-1990 ve 2007-2008 dönemleri ile 1996 ve 2001 yıllarında oluşmuştur (Türkeş, 1999).

Kahramanmaraş’ ta 1999 yılında gözlemlenen kuraklığın şiddeti, çok belirgin bir şekilde görülmektedir (Çizelge 1). Bu yılda meydana gelen toplam yağış miktarı gözlem periyodu içerisindeki en düşük değerdir ve yağış miktarında bir önceki

yıla nazaran yaklaşık %50 oranında azalma olmuştur. Bu dönemde meydana gelen kuraklık sadece Kahramanmaraş’ ta değil Türkiye’ nin birçok yerinde gözlemlenmiştir. Türkeş ve ark. (2009), İç Anadolu’ nun Konya bölümünde yapmış oldukları çalışmada 1999-2001 döneminde bölgede çok şiddetli bir kuraklığın yaşandığını belirtmişlerdir. Buna paralel olarak Yemen (2013), Van Gölü havzasında yapmış olduğu çalışmasında 1999, 2000 ve 2001 yıllarındaki kuraklık şiddetinin olağanüstü düzeyde seyrettiğini belirtmiştir. Öztürk (2002) Türkiye’de, uzun yıllar yağış ortalamasının 631 mm iken, 1999 yılında yağış miktarının %15 oranında azaldığını bildirmiştir.



Çizelge 2. De Martonne Kuraklık İndeksine Göre Görelî Sıklık Dağılımı

Genel olarak bakıldığında Kahramanmaraş’ta yarı nemli diyebileceğimiz “kabul edilebilir sulaklık” sınıfı hakim olmuştur (Çizelge 2). Kahramanmaraş’ın yıllık ortalama yağış miktarına bakıldığında Türkiye ortalamasının üzerinde olup 700 mm civarındadır. Bununla birlikte Karabulut ve Cosun (2009), Kahramanmaraş meteoroloji istasyonuna ait verileri kullanarak yapmış olduğu trend analizi çalışmasında Kahramanmaraş’ta uzun dönemler ortalamasına göre toplam yağış miktarında çok önemli bir değişimin olmadığını belirtmiştir.

Yukarıda bahsedilen tüm bu olaylar birlikte değerlendirildiğinde “De Martonne Kuraklık İndeksi” kullanılarak elde edilen sonuçların tatmin edici olduğu görülmektedir.

### Markov zincirleri modeli

Kahramanmaraş istasyonuna ait veriler kullanılarak yapılan kuraklık analizinin sonuçları bölgede ve ülke düzeyinde yapılmış çalışmalarla paralellik göstermiştir. Bu bölümde, elde edilen bu sonuçlar yardımıyla Markov Zincirleri Modeli oluşturularak geleceğe yönelik kuraklık olasılıkları ortaya konulacaktır.

Modelin ilk aşaması, “De Martonne Kuraklık İndeksi” nin her bir sınıfının markov zinciri modelinde bir  $S_j$  sembolüyle gösterilmesinden oluşmaktadır (Tablo 2).

Geçiş olasılıkları matrisinin bulunması amacıyla, toplam veri periyodundaki her bir yılın kuraklık indeksine karşılık gelen ( $S_j$ ) sembolleri belirlenmiştir (Tablo 3).

Tablo 2. De martonne kuraklık sınıfları ve markov zincirleri modelindeki karşılıkları

Kuraklık indeks değeri	Sınıfı	Sembol
0-10	Aşırı kuraklık	S <sub>1</sub>
11-15	Şiddetli kuraklık	S <sub>2</sub>
16-20	Kabul edilebilir kuraklık	S <sub>3</sub>
21-40	Kabul edilebilir sulaklık	S <sub>4</sub>
≤ 40	Şiddetli sulaklık	S <sub>5</sub>

Tablo 3. De Martonne indeks değerleri ve markov zincirleri modelindeki karşılıkları

Yıl	İndeks değeri	Sembol (S <sub>i</sub> )	yıl	İndeks değeri	Sembol (S <sub>i</sub> )	Yıl	İndeks değeri	Sembol (S <sub>i</sub> )
1970	21	S <sub>4</sub>	1985	24	S <sub>4</sub>	2000	25	S <sub>4</sub>
1971	20	S <sub>3</sub>	1986	28	S <sub>4</sub>	2001	24	S <sub>4</sub>
1972	20	S <sub>3</sub>	1987	34	S <sub>4</sub>	2002	22	S <sub>4</sub>
1973	18	S <sub>3</sub>	1988	39	S <sub>4</sub>	2003	32	S <sub>4</sub>
1974	25	S <sub>4</sub>	1989	26	S <sub>4</sub>	2004	27	S <sub>4</sub>
1975	28	S <sub>4</sub>	1990	20	S <sub>3</sub>	2005	24	S <sub>4</sub>
1976	42	S <sub>5</sub>	1991	34	S <sub>4</sub>	2006	24	S <sub>4</sub>
1977	22	S <sub>4</sub>	1992	25	S <sub>4</sub>	2007	25	S <sub>4</sub>
1978	29	S <sub>4</sub>	1993	22	S <sub>4</sub>	2008	21	S <sub>4</sub>
1979	21	S <sub>4</sub>	1994	29	S <sub>4</sub>	2009	39	S <sub>4</sub>
1980	29	S <sub>4</sub>	1995	28	S <sub>4</sub>	2010	29	S <sub>4</sub>
1981	33	S <sub>4</sub>	1996	43	S <sub>5</sub>	2011	29	S <sub>4</sub>
1982	19	S <sub>3</sub>	1997	27	S <sub>4</sub>	2012	41	S <sub>5</sub>
1983	25	S <sub>4</sub>	1998	32	S <sub>4</sub>	2013	22	S <sub>4</sub>
1984	24	S <sub>4</sub>	1999	16	S <sub>3</sub>			

Tablo 3' de görüldüğü gibi 1970-2013 döneminde en çok gerçekleşen durum **S<sub>4</sub>** sembolüyle gösterilen "kabul edilebilir sulaklık" durumudur. Kahramanmaraş' ta 44 yıllık periyot süresince hiç gerçekleşmeyen durumlar ise **S<sub>1</sub>** (Aşırı kuraklık) ve **S<sub>2</sub>** (Şiddetli kuraklık) durumlarıdır. Tablo 6 kullanılarak oluşturulan geçiş olasılıkları matrisi aşağıda gösterilmiştir. Geçiş olasılıkları matrisi analiz edildiğinde, gözlenen tüm durumların S<sub>4</sub> durumuna geçme olasılıkları diğer durumlara geçme olasılıklarından daha fazladır. Diğer bir ifadeyle herhangi bir durumdan sonra

gerçekleşme olasılığı en fazla olan durum S<sub>4</sub> durumudur.

44 yıllık periyot boyunca S<sub>1</sub> ve S<sub>2</sub> durumları hiç görülmemiştir. S<sub>3</sub> durumundan sonra S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> ve S<sub>5</sub> durumlarının görülme olasılıkları sırasıyla 0,333, 0,667 ve 0,000 dır. S<sub>4</sub> durumundan sonra yine S<sub>4</sub> durumunun görülme olasılığı diğer durumlarla karşılaştırıldığında, 0,794 olasılıkla en yüksektir. S<sub>5</sub> durumundan ise sadece S<sub>4</sub> durumuna geçiş söz konusudur. Sonuç olarak, sulak durumlara geçme trendinin daha baskın olduğu görülmektedir.

$$P = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \end{matrix} & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,333 & 0,667 & 0 \\ 0 & 0 & 0,118 & 0,794 & 0,088 \\ 0 & 0 & 0 & 1,000 & 0 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

44 yıllık periyot zarfında her bir  $S_j$  durumunun görülme sıklığı dikkate alınarak

oluşturulan  $V^0$  (Başlangıç Olasılıkları) vektörü aşağıda verilmiştir.

$$V^0 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0,136 & 0,796 & 0,068 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

Başlangıç ve geçiş olasılıkları hesaplandıktan sonra, modelin güvenilirliğinin test edilmesi amacıyla 2014

yılı için kuraklık olasılıkları belirlenmiştir. Model 2014 yılı için çalıştırıldığında ulaşılan sonuçlar aşağıda  $V^1$  vektörü ile gösterilmiştir

$$V^1 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0,139126 & 0,790736 & 0,070048 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

Model çözümü “De Martonne Kuraklık Analizi İndeksi” kriterleri dikkate alındığında ;

Kahramanmaraş’ ta 2014 yılında yaklaşık %14 olasılıkla “kabul edilebilir kuraklık”, %79 olasılıkla “kabul edilebilir sulaklık”, %7 olasılıkla “şiddetli sulaklık” durumlarının gerçekleşeceğini göstermektedir. Bununla birlikte Kahramanmaraş’ ta 2014 yılında “şiddetli kuraklık” ve “aşırı kuraklık” durumları beklenmemektedir.

Kahramanmaraş için 2014 yılı verileri kullanılarak belirlenen “De Martonne Kuraklık Analizi İndeksi” nin değeri 21’ dir. Bu değer “De Martonne” sınıflandırmasında

“kabul edilebilir sulaklık” ( $S_4$ ) sınıfına girmektedir.

Model çözümü değerlendirildiğinde “kabul edilebilir sulaklık” yani  $S_4$  durumunun %79 gerçekleşme olasılığı ile en büyük değere sahip olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, 2014 yılında meydana gelen kuraklık durumu, model sonucuna göre gerçekleşme olasılığı en yüksek sınıf içerisinde yer almaktadır.

Model kullanılarak 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılları için kuraklık tahminleri yapılmıştır. Elde edilen olasılık vektörleri sırasıyla  $V^2$ ,  $V^3$ ,  $V^4$ ,  $V^5$ ,  $V^6$ ,  $V^7$ ; olarak bulunmuştur

$$V^2 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0,1396658 & 0,7907495 & 0,0695848 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

$$V^3 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0,1398171 & 0,7905969 & 0,0695860 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

$$V^4 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0,1398495 & 0,7905779 & 0,0695725 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

$$V^5 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0,1398581 & 0,7905710 & 0,0695709 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

$$V^6 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0,1398601 & 0,7905696 & 0,0695703 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

$$V^7 = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ & \left| \begin{matrix} 0 & 0 & 0,1398606 & 0,7905692 & 0,0695701 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$



Sonuçlara bakıldığında kuraklık olasılıklarının birbirine çok yakın değerler aldığı görülmektedir. Bu nedenle 2015,

2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yılları için elde edilen tahmin değerleri genel olarak  $V^{2,3,4,5,6,7}$  şeklinde gösterilmiştir.

$$V^{2,3,4,5,6,7} = \begin{vmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ 0 & 0 & 0,14 & 0,79 & 0,07 \end{vmatrix}$$

Bu sonuçlara göre; Kahramanmaraş' ta 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında gerçekleşmesi muhtemel kuraklık olasılıkları %79 “kabul edilebilir sulaklık”, %14 “kabul edilebilir kuraklık” ve %7 “aşırı sulaklık” durumları iken “aşırı kuraklık” ve “şiddetli kuraklık” durumlarının gerçekleşme olasılıkları %0’ dır.

Kahramanmaraş ‘ ta 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 yıllarında gerçekleşme olasılığı % 79 olasılıkla en fazla olan S4 durumunun, bu 6 yıl içinde üst üste gerçekleşme olasılığı ise % 25’ dir.

### Sonuç

Kahramanmaraş için hidrolojik kuraklık olasılıklarının tahmin edildiği bu çalışmanın sonuçları; (i) Kahramanmaraş ta 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 ve 2020 periyodunda yaklaşık %79 olasılıkla “kabul edilebilir sulaklık” sınıfı hakim olacaktır, (ii) bu sonuç dikkate alındığında ilgili periyot süresince Kahramanmaraş’ ta su rezervleri, yer altı ve yer üstü su kaynaklarında büyük bir kuraklık olayı beklenmemektedir, (iii) S4 durumunun 2015-2020 yılları boyunca üst üste görülme olasılığı % 25’ dir ve (iv) Kahramanmaraş ‘ taki mevcut hidrolojik kuraklık olasılıklarının en az 2020 yılına kadar değişime uğramayacağı şeklindedir.

### Kaynaklar

Akyurt İ. Z. 2011. Ülke Derecelendirme Sisteminin Markov Zinciri İle Analizi. Yönetim Dergisi, yıl: 22, sayı: 69.

Anonim 1999. Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler ve Meteorolojik Önlemler, TMMOB Meteoroloji Müh. Odası, Ankara.

Austin L. M., Burns J. R. 1985. Management Science: An Aid for Managerial Decision Making. Macmillan Publishing Company: New York.

Bacanlı Ü. G., Saf B. 2005. Kuraklık Belirleme Yöntemlerinin Antalya İli Örneğinde

İncelenmesi. Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Sempozyumu, 22-25/09/2005, Antalya, Türkiye.

Cosun F., Karabulut M. 2009. Kahramanmaraş’ ta Ortalama, Minimum ve Maksimum Sıcaklıkların Trend Analizi. Türk Coğrafya Dergisi Sayı 53: 41-50.

DMİ 2010. Devlet Meteoroloji İşleri Gn. Md., K.Maraş Meteoroloji İl Müdürlüğü, K.Maraş Meteoroloji İstasyonu Verileri, 1975-2010, Kahramanmaraş.

Fidan İ. H., 2011. Doğu Akdeniz Bölgesinde Standardize Yağış İndeksi (SYİ) İle Kuraklık Analizi Ve Markov Zinciri Yöntemini Kullanarak Kurak Olma Olasılıklarının Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Gibbs W.J., Maher J.V. 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Australian Bureau of Meteorology; 48: 37 pp.

Güner Ü., 1996. Büyük Menderes Havzası Kuraklık Çözümlemesi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Denizli.

Hayes M. J., Alvord C., Lowrey J. 2007. Drought Indices. Feature Article From Intermountain West Climate Summary, July.

Hınıs M.A. 2013. Bütünleşik Kuraklık İndeksi İle Aksarayda Hidrometeorolojik Kuraklık Analizi. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, Vol 28, No 4, 711-721. Ilgar R. 2010. Çanakkale’de Kuraklık Durumu Ve Eğilimlerinin Standartlaştırılmış Yağış İndisi İle Belirlenmesi. Marmara Coğrafya Dergisi Sayı: 22, Temmuz - 2010, S. 183 – 204 – Issn:1303-2429.

IPCC 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

İnal C. 1988. Olasılıksal Süreçlere Giriş, Hacettepe Üniversitesi Yayınları, Ankara.

- Karabulut M., Cosun F. 2009. Kahramanmaraş İlinde Yağışların Trend Analizi. Coğrafi Bilimler Dergisi CBD 7 (1), 65-83.
- Keyantash J., Dracup J. A. 2002. The Quantification of Drought : An Evaluation of Drought Indices. Bulletin Of American Meteorological Society: 1167-1180.
- Koçak K., Şen Z. 1998. Kurak ve Yağışlı Gün Oluşumlarının Markov Zinciri Yaklaşımı ile Uygulamalı İncelenmesi. Tr. J. of Engineering and Environmental Science, 22, 479 - 487.
- Korkmaz H., 2001. K.Maraş Havzası'nın Jeomorfolojisi. Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.
- Kurnaz L. 2014. Kuraklık ve Türkiye. Mart 2014 IPM-Mercator Politika Notu.
- Labeledzki L. 2007. "Estimation of Local Drought Frequency in Central Poland Using The Standardized Precipitation Index SPI", Irrigation and Drainage, 56, 67-77.
- McKee T. B., Doesken N.J., Kleist J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, AMS 8th Conference on Applied Climatology, pp. 179-184. January 17-22, Anaheim, CA.
- Mishra A., Singh A.P. 2010. "A review of drought concepts", Journal of Hydrology, 391, 202-216.
- Monacelli G., Galluccio M. C., Abbafati M. 2005. Drought Within The Context Of The Region V. Italian Agency for Environmental Protection and Technical Services (APAT), Hydrology and Inland Waters Service.
- Nikolova N. 2013. The impact of the drought on the main crops cultivated in Northeastern Bulgaria. Forum geografic. Studii și cercetări de geografie și protecția mediului Volume XII, Issue 1 (June), pp. 16-24 (9).
- Önalın Ö. 2010. Stokastik Süreçler, Avcıol Basım Yayın, İstanbul.
- Öztürk K. 2002. Küresel İklim Değişikliği ve Türkiye'ye Olası Etkileri. G.Ü. Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi Cilt 22, Sayı 1, 47-65.
- Palmer W.C. 1965. Meteorological drought. Research Paper No: 45, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington, D.C.
- Stevenson W. J. 1989. Introduction to Management Science. Irwin Inc.:USA.
- Şaylan L., Durak M., Şen O. 1997. Kuraklık ve Etkileri, Meteorolojik Karakterli Doğal Afetler Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s.433-444, Ankara, Türkiye.
- Tatlı H., Türkeş M. 2011. Palmer Kuraklık Şiddeti ve Standartlaştırılmış Yağış İndislerinin Türkiye Üzerinde Karşılaştırılması. 5<sup>th</sup> Atmospheric Science Symposium, İstanbul Technical University, İstanbul, Turkey.
- Taylor H. M., Karlin S. 1984. An Introduction To Stochastic Modeling, Orlando, Florida, Academic Press, Inc.
- Türkeş M. 1999. Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences 23, 363-380.
- Türkeş M. 2011. Akhisar ve Manisa Yörelerinin Yağış ve Kuraklık İndisi Dizilerindeki Değişimlerin Hidroklimatolojik ve Zaman Dizisi Çözümlemesi ve Sonuçların Çölleşme Açısından Coğrafi Bireşimi. Coğrafi Bilimler Dergisi CBD 9 (1), 79-99.
- Türkeş M. 2012. Kuraklık, Çölleşme ve Birleşmiş Milletler Çölleşme İle Savaşım Sözleşmesi'nin Ayrıntılı Bir Çözümlemesi. Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi, cilt: 20, sayı: 1.
- Türkeş M., Akgündüz A. S., Demirörs Z. 2009. Palmer Kuraklık İndisi'ne Göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'ndeki Kurak Dönemler Ve Kuraklık Şiddeti. Coğrafi Bilimler Dergisi CBD 7 (2), 129-144.
- UNCCD 1995. 'The United Nations Convention to Combat Desertification in those Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa, Text with Annexes'. Geneva:United Nations Environment Programme (UNEP).
- Winston W. L. 2004. Operations Research-Applications and Algorithms. Brooks/Cole, Fourth Ed: USA.
- WMO 1992. Monitoring, Assessment and Combat of Drought and Desertification, Ceneva, TD-No.55.
- Yemen H. 2013. Van Gölü Havzası'nın Kuraklık Analizi. 21. Yüzyılda Eğitim ve Toplum, Cilt 3 Sayı 5.