

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile Kuraklık İndekslerinin Eğilim Analizi: Akşehir Örneği

Erhan ŞENER¹

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Araştırma ve Uygulama Merkezi, ISPARTA

e-posta: erhansener@sdu.edu.tr ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0001-6263-8366>

Geliş Tarihi: 06.10.2021

Kabul Tarihi: 23.12.2021

Öz

Günümüzde yağışların azalmasına bağlı olarak su kaynaklarımızı tehdit eden en önemli etkenlerin başında kuraklık gelmektedir. Kuraklık etkilerinin en aza indirebilmesi amacıyla yapılacak çalışmaların başında, kuraklığın süre, şiddet ve tekrarlanma periyodunun hassas bir şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre, 1959-2019 yılları arasında Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda ölçülen yağış miktarları azalma eğilimi gösterirken sıcaklık değerlerinde ise istatistiksel olarak anlamlı bir artış eğilimi mevcuttur. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI) kullanılarak 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde yapılan kuraklık analizlerine göre elde edilen bulguların genel olarak birbirleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Bu kapsamda kuraklık indeks değerlerinin eğilim analizlerinde ise özellikle Ağustos ayı hariç diğer tüm aylarda istatistiksel olarak anlamlı azalma eğiliminde olduğu bir başka ifadeyle kuraklığın arttığı tespit edilmiştir. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile genel olarak hidrolojik kuraklığı temsil eden 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerindeki kuraklık analizlerine göre özellikle son yıllarda uzun süreler boyunca kurak dönemlerin yaşandığı ve bu durumun da Akşehir Gölü'nün dramatik bir şekilde kuruma süreci ile uyumlu olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler

Akşehir;
Standartlaştırılmış
Yağış İndeksi (SYI);
Eğilim Analizi; Kuraklık;
Akşehir Gölü

Trend Analysis of Drought with Standardized Precipitation Index: A Case Study of Akşehir

Abstract

Nowadays, drought is one of the most important factors that threaten water resources due to the decrease of precipitation. At the beginning of the studies to minimize the effects of drought, the sensitive determination of the duration, severity and recurrence period of the drought comes first. According to the results obtained in this study, while the precipitation amounts measured at Akşehir State Meteorology Station between 1959 and 2019 showed a decreasing trend, there was a statistically significant increase in temperature values. According to the drought analyzes performed at 1, 3, 6, 9, 12, 24 and 48 months time scales using the Standardized Precipitation Index (SPI), it was determined that the findings obtained were generally compatible with each other. In this context, it was determined that there was a statistically significant decrease in all other months except August, in other words, drought increased in the trend analysis of drought index values. According to the drought analyzes that represent hydrological drought in general, performed at 12, 24 and 48 month time scales with the Standardized Precipitation Index, it has been determined that there have been dry periods for long periods, especially in recent years, and this situation is compatible with the dramatic drying process of Akşehir Lake.

Keywords

Akşehir; Standardized
Precipitation Index
(SPI); Trend Analysis;
Drought ; Akşehir Lake

1. Giriş

Özellikle son yıllarda etkilerini daha çok hissettiren kuraklık, genel olarak belirli bir zaman periyodu boyunca ölçülen yağış miktarlarının ortalama değerlerin altına düşmesi olması tanımlanmaktadır

(Şen 2001). Kuraklık, dünya çapında hemen hemen tüm ekonomik sektörler ile çevresel faktörleri etkileyen en önemli doğal afetlerin başında gelmektedir. Ortama düşen yağış miktarına bağlı olarak yüzeysel su kaynakları potansiyelleri ile akiferlerin beslenmesi gibi hidrolojik döngünün

tamamını etkilemektedir (Tsakiris vd. 2013). Meteorolojik, hidrolojik, tarımsal ve sosyoekonomik olmak üzere dört kategoride sınıflandırılmakla birlikte meteorolojik kuraklık diğer kuraklıkların öncüsü niteliğindedir. Yağışların azalmasıyla başlayan meteorolojik kuraklık önce toprak neminin azalmasına daha sonra akarsu debilerinde azalmaya bağlı olarak rezervuarlarda su depolama sıkıntısına ve yeraltısu seviyelerindeki düşümlere neden olmaktadır. Bununla birlikte tüm bu kuraklık son olarak toplum üzerinde olumsuz etkiler göstermektedir (Tsakiris 2017). Kuraklık, sonuçları dikkate alındığında günümüzde insanoğlunun geleceğini tehdit eden en önemli küresel ve bölgesel çevre sorunlarının başında gelmektedir (Türkeş 2012). Deprem, sel ve kütle hareketleri gibi hızlı gelişen doğal afetlerin aksine Kuraklık afeti, yavaş gelişen ancak çok daha geniş bölgeleri uzun yıllar etkileyebilen en önemli doğal afetlerin başında gelmektedir.

İklim değişikliği, insan kaynaklı faaliyetlere bağlı olarak atmosferin bileşiminde veya arazi kullanımındaki değişiklikler neticesinde oluşabilmektedir (Türkeş 2012b). İklim değişikliğinin etkisiyle su döngüsünde değişiklikler olmakla birlikte buna bağlı olarak taşkın ve kuraklık gibi doğal afetlerin meydana geliş sıklığı ve şiddetlerinde artışlar beklenmektedir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2012). İçerisinde bulunduğumuz yüzyılda su kaynakları üzerindeki en önemli baskıların başında küresel iklim değişikliği gelmektedir. Küresel iklim değişikliğinin etkileri ile birlikte özellikle su kaynaklarının bulunduğu havzaların karakteristik özelliklerine bağlı olarak, yüzey ve yeraltısu potansiyellerinde artış veya azalış, akiferlerin beslenimlerinde değişimler, ekstrem akımlara bağlı olarak kuraklıklar ve/veya taşkınların sıklıklarında ve şiddetlerinde artışlar, değişen yağış miktarlarına bağlı olarak arazi kullanım ile bitki örtüsü desende değişimler ve tarımsal üretim amaçlı su gereksinimlerinde önemli artışlar beklenmektedir (Fıstıkoğlu ve Biberöglü 2008).

Meteorolojik, tarımsal ve hidrolojik kuraklıkların olası etkilerin en aza indirilebilmesi, söz konusu kuraklıkların şiddeti ve süresine bağlı olarak etkileyebileceği bölgelerin belirlenerek kuraklığa

hazırlık için gerekli planlama çalışmalarının yapılması ile mümkündür (Mishra ve Singh 2011). Bu kapsamda kuraklıkların şiddet, genlik ve sürelerinin izlenerek doğru kuraklık yönetimi amacıyla çeşitli araştırmacılar tarafından farklı indeksler geliştirilmiştir. Söz konusu indekslerden Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (Mckee vd. 1993), Normal Yağışın Yüzdesi İndeksi (Hayes 1999), Yağış Anomali İndeksi (Van Rooy 1965), Ondalıklar İndeksi (Gibbs ve Maher 1967), Çin Z indeksi (Wu vd. 2001), Efektif kuraklık indeksi (Byun ve Wilhite (1999) vb. indekslerde girdi parametresi olarak sadece yağış değerleri kullanılmaktadır. Bunun yanısıra Keşif Kuraklık İndeksi (Tsakiris ve Vangelis 2005), Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (Vicente Serrano vd. 2010), vb. indeksler sıcaklık ve yağış verilerini kullanılırken, Standartlaştırılmış Yeraltısu Seviye İndeksi (Bhuiyan 2004) yeraltısu seviye verileri ile Standartlaştırılmış Depolama Hacmi İndeksinde (Gusyev vd. 2015) aylık ortalama rezervuar hacim verileri kullanılmaktadır (WMO ve GWP, 2017). Bunlar arasında, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYI), kullanımının nispeten basit olması ve yağış verilerini yorumlama yeteneği nedeniyle kuraklığın süresi, şiddeti, genliği ve sıklığını değerlendirmek amacıyla en yaygın olarak kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir (Khadr vd. 2009).

Göller Bölgesinde bulunan Akşehir Gölü'nde son yıllarda yağışlarda yaşanan azalışlar ile birlikte önemli oranda su kayıpları yaşanmış ve buna bağlı olarak da göl tamamen kurumıştır. Akşehir Gölü beslenimindeki en önemli girdi olan yağış miktarına bağlı olarak 1975 yılında göl alanı 342,89 km² iken 2006 yılında 84,94 km²'ye düşmüştür. Göl yüzölçümü bu dönemde %75,23 (257,95 km²) oranında azalmıştır (Şener vd. 2010). 2018 yılından tamamen kuruyan Akşehir Gölü, günümüze kadar geçen süre zarfında zaman zaman yağışlı dönemlerde bir miktar su tutsa da genel olarak kuru bir seyir izlemektedir.

Özellikle son yıllarda farklı indeksler kullanılarak kuraklık tahminlerine yönelik çalışmaların sayısında önemli bir artış olmuştur. Bu kapsamda son yıllarda Şener ve Şener (2020) tarafından yapılan çalışmada

yorumlama yeteneğinden dolayı Standartlaştırılmış Yağış İndeksi literatürde en çok kullanılan yöntemlerin başında gelmektedir (Khadr vd. 2009). McKee vd. (1993) tarafından geliştirilen Standartlaştırılmış Yağış İndeksi genellikle 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık periyotlarda hesaplanmakla birlikte kısa süreli zaman dilimlerine ait indeks değerleri tarımsal su gereksinimi ve su potansiyeli için önemli çıktılar oluştururken 12, 24 ve 36 ay gibi uzun süreli zaman ölçeklerindeki indeks değerleri ise su kaynakları yönetimi ve yeraltısuyu seviyesi hakkında önemli bilgiler vermektedir (Mishra ve Singh 2010). Standartlaştırılmış Yağış İndeksinde kuraklık kategorileri gamma, normal ve lognormal dağılımlı yağış değerlerinden elde edilir (Yacoub ve Tayfur 2017). Standartlaştırılmış Yağış İndeksinde kuraklık kategorileri normal dağılımlı yağış verilerinden elde edilir (McKee vd. 1993, Yacoub ve Tayfur 2017). Ancak iklimsel yağış dizilerinin olasılık dağılım fonksiyonu genellikle normal dağılıma uymaz (McKee vd. 1993, McKee vd. 1995). Bu kapsamda yağış serilerini en iyi temsil eden olasılık dağılımı gamma dağılımıdır (Thom 1966). Bu nedenle Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yönteminde, yağış verilerinden elde edilen olasılık dağılım fonksiyonları gamma olasılık dağılım fonksiyonlarına dönüştürülür (Thom 1966, McKee vd. 1993, McKee vd. 1995, Mishra ve Singh 2010).

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x>0 \text{ için} \quad (1)$$

Burada, $g(x)$ Gamma olasılık dağılımı, x : yağış miktarını ($x>0$), α : şekil parametresi ($\alpha>0$), x : yağış miktarı ($x>0$) ve β : ölçek parametresini ($\beta>0$) ifade eder.

Yine β ve α' nın tahmin edilmesinde maksimum olasılık çözümleri kullanılır. Buna göre;

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (2)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (3)$$

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (4)$$

Burada n toplam yağış verisi sayısıdır. Mevcut yağış verileri kullanılarak elde edilen bu olasılık tanımlamaları daha sonra herhangi bir ayda gözlenmiş bir değer için kümülatif olasılığını bulmak için kullanılır. Dolayısıyla kümülatif olasılık aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$G(x) = \int_0^x g(x)dx = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (5)$$

Gamma olasılık dağılım fonksiyonunun $x=0$ için tanımsız olması ve yağış dağılımı sıfır (0) değerler içermesi nedeniyle kümülatif olasılık yeniden aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

$$H(x) = q + (1 - q)Gx \quad (6)$$

Burada q sıfırın olasılığıdır, m yağış serisindeki sıfırların sayısıdır.

$$q = \frac{m}{n} \quad (7)$$

$$SYI = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\sigma} \quad (8)$$

Burada;

SYI: Standartlaştırılmış Yağış İndeksi

X_i : Yıllık yağış miktarının normalleştirilmiş miktarı,

\bar{X}_i : Her bir istasyon için seçilen zaman aralığında

yağış ortalaması, σ : Her bir istasyona ilişkin

değerlerin zaman aralığı içindeki standart sapmasını

ifade eder.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi değerlerinin 0 değerinin altına düşerek negatif değerler alması kuraklığın başlangıcı olarak tanımlanırken indeks değerlerinin negatif olması aynı zamanda kurak dönemleri de temsil etmektedir (Çizelge 1).

Akşehir DMI'ye ait yağış ve sıcaklık verileri ile standartlaştırılmış yağış indeksi değerlerinin zaman serisi boyunca istatistiksel olarak anlamlı olası artış ve azalışların belirlenebilmesi amacıyla trend analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda parametrik olmayan testlerden birisi olan Mann-Kendall trend testleri %95 güven aralığı baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Mann (1945) ve Kendall (1975) tarafından geliştirilen Mann-Kendall testi parametrik

bir test olmaması sebebiyle rastgele değişkenlerin dağılımından bağımsızdır ve çarpık dağılımlı bütün veri setlerine uygulanabilmektedir. Bu test ile herhangi bir zaman serisine ait veri setlerinde trend olup olmadığı, sıfır hipotezi “H0:trend yok” ile kontrol edilmektedir (Bayazit 1996). Mann-Kendall Testi başta su kalitesi, akarsu akışları, yağış ve sıcaklık gibi hidrometeorolojik verilerin zaman serilerindeki eğilimlerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yue vd. 2002).

Çizelge 1. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) Kuraklık sınıflaması (McKee vd. 1993)

(Kuraklık/Nemlilik) Sınıfı	SYİ İndeks Değeri
Aşırı yağışlı	2 ve üzeri
Çok yağışlı	1.5 – 1.99
Orta yağışlı	1 – 1.49
Normale yakın nemli	0.5 – 0.99
Normal	-0.499 – 0.499
Normale yakın kurak	-0.5 – -0.99
Orta düzeyde kurak	-1 – -1.49
Şiddetli kurak	-1.5 – -1.99
Aşırı kurak	-2 ve altı

Mann-Kendall testinin uygulanacağı zaman serisindeki veriler $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ de x_i ve x_j iki gruba ayrılır, burada $i < j$ için $x_i < x_j$ olan çiftlerin sayısı P , j için $x_i > x_j$ olan çiftlerin sayısı M ise ile gösterilirse test istatistiği $S = P - M$ şekilde tanımlanabilir. Mann-Kendall katsayısı;

$$\tau = \frac{S}{\sqrt{\frac{n(n-1)}{2}}} \quad (9)$$

$n \geq 10$ için normal değişken z değeri;

Örnekte birbirilerine eşit olan gözlemler var ise;

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_i t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18}} \quad (10)$$

Burada, t_i değeri verilerdeki eşit değere sahip gözlem sayısıdır.

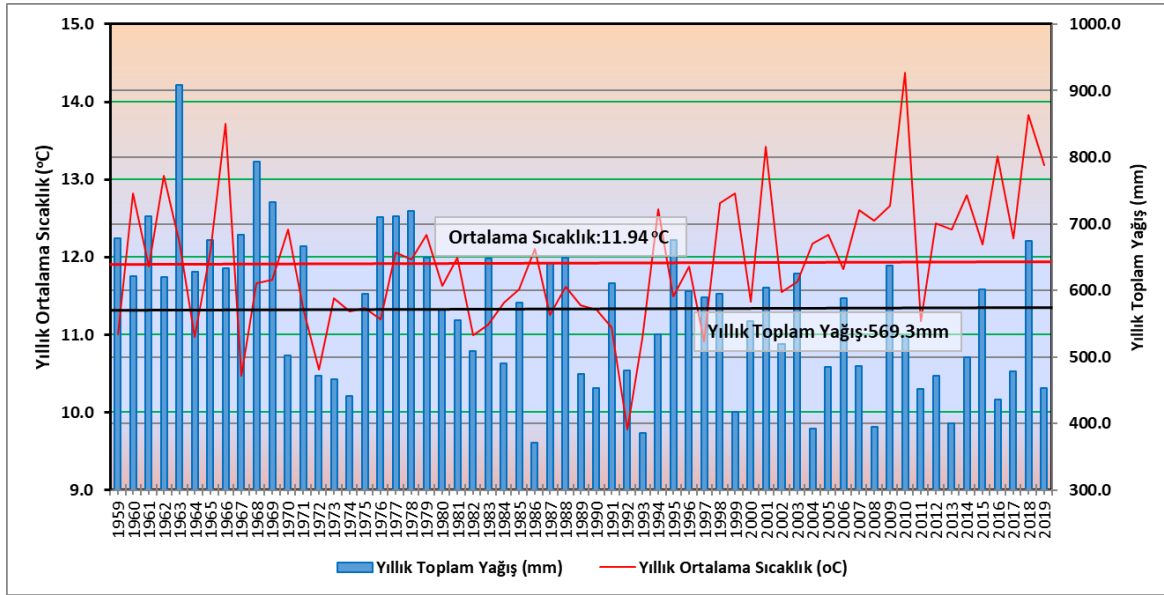
Mann-Kendall testlerinde sıfır ve karşı hipotezler mevcuttur. H0 hipotezi verilerde trendin olmadığını gösterirken, H1 hipotezi ise veriler arasında trend olduğunu gösterir. Mann-Kendall testi genellikle $\alpha=0.01$, $\alpha=0.05$ ve $\alpha=0.1$ anlamlılık düzeylerinde yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında $\alpha=0.05$ anlamlılık düzeyinde Mann-Kendall testleri yapılmıştır. Dolayısıyla trendin bulunmadığı durumlarda trendin olma olasılığı %5'tir. İstatistiksel olarak anlamlılık düzeyinin $\alpha=0.05$ olması durumunda normal dağılım çizelgesindeki kritik eşik değeri 1,96'dır.

3. Bulgular ve Tartışma

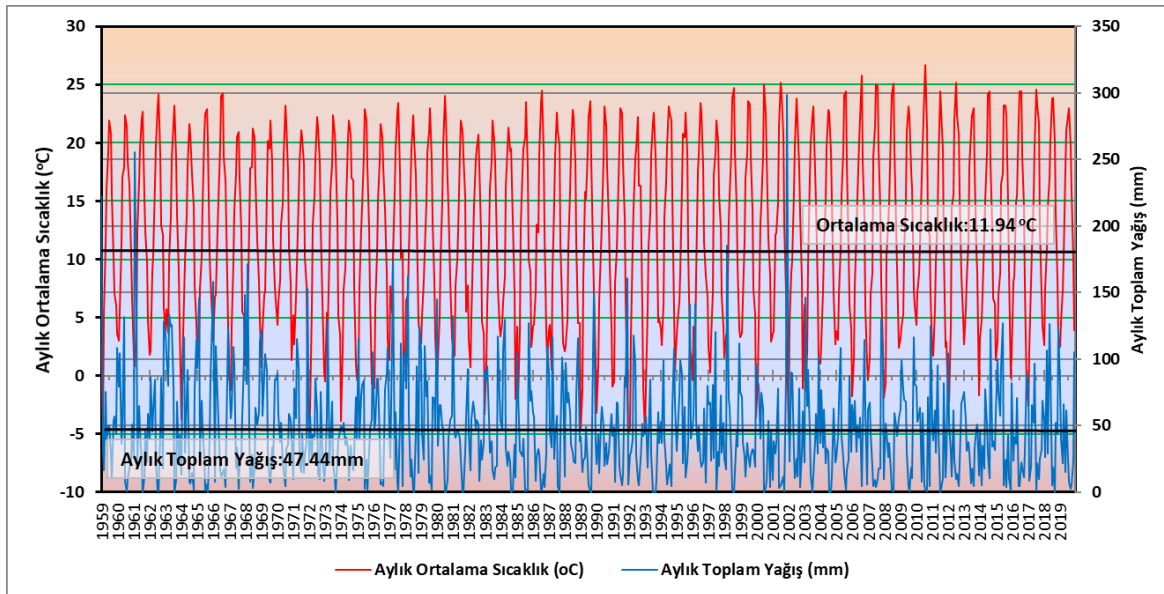
Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda 1959-2019 yılları arasında ölçülen 61 yıllık veriler incelendiğinde ortalama aylık sıcaklığın 11.94°C olduğu belirlenmiştir. Özellikle 1992, 1964 ve 1967 yılları olmak üzere 1990'lı yılların başlarına kadar sıcaklıkların nispeten ortalama sıcaklıkların altında gerçekleştiği bununla birlikte son yıllarda sıcaklık değerlerinin ortalama sıcaklıkların üzerinde olduğu tespit edilmiştir. Bu kapsamda özellikle son yıllarda 2001, 2010 2016 ve 2018 yılları ortalamadan daha sıcak yaşanmıştır (Şekil 2,3). Söz konusu döneme ait yağış verilerine göre ortalama aylık toplam yağış 47.44mm ve ortalama yıllık toplam yağış ise 569.3mm olarak ölçülmüştür. Ölçüm periyodunun yaklaşık ilk on yılı ortalama yağış miktarlarının üzerinde yağış ölçülürken özellikle 2000'li yılların başından itibaren ortalama yağış değerlerinin altında yağışlar ölçülmüştür. Özellikle en düşük yağış miktarları sırasıyla 1986 yılında 371.3mm, 2004 yılında 392.3mm, 2008 yılında 394.2mm, 2013 yılında 400.5mm ve 1999 yılında 417.2 mm olarak ölçülürken en fazla yağış ise sırasıyla 1963 yılında 908.8mm, 1968 yılında 792.8mm, 1969 yılında 731.8mm, 1978 yılında 719.2mm ve 1961 yılında ise 711.5 mm olarak kaydedilmiştir (Şekil 2,3). 61 yıllık süre zarfında ölçülen yağış değerlerin mevsimsel dağılımı incelendiğinde ise yağışların %31.4'ü ilkbahar, %12.8'i, yaz, %20.5'i sonbahar ve %35.2'si ise kış aylarında ölçülmüştür.

Aylık yağış verileri kullanılarak Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi ile 1, 3, 6, 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde yapılan kuraklık analizlerine ait grafikler Şekil 4-9'da verilmiştir. Buna göre 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizine göre 1961 yılı Şubat ayında 3.26 indeks değeri ile en yağışlı dönem yaşanırken en kurak dönem ise -3.36 indeks değeri ile 2015 yılı aralık ayında yaşanmıştır. Aynı süre zarfında toplam 122 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 112 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 4).

Standartlaştırılmış Yağış indeksi yöntemi kullanılarak 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -3.38 indeks değeri ile en kurak dönem 1993 yılı Ağustos ayında ve 2.79 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1963 yılı temmuz ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 3 aylık zaman ölçeğine göre toplam 117 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 111 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 5)



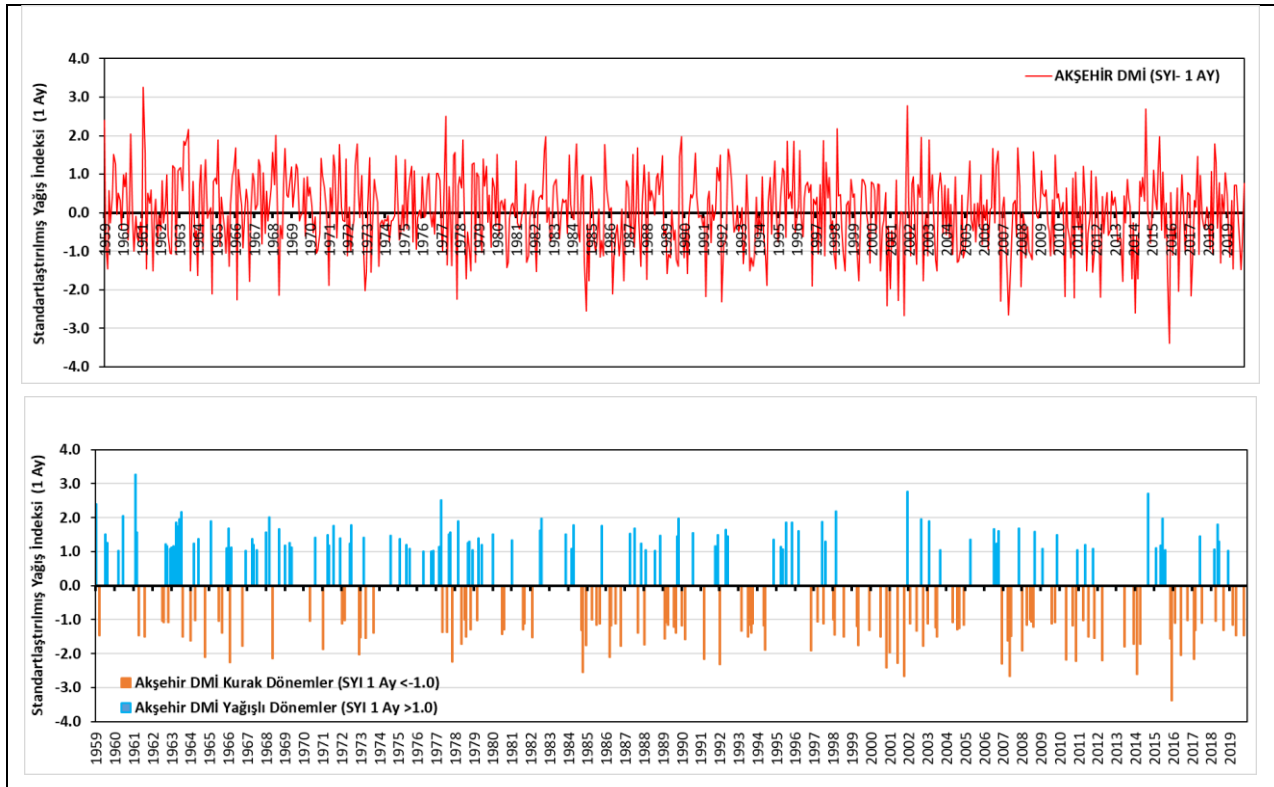
Şekil 2. Akşehir Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yağış ve sıcaklığın yıllara göre dağılımı



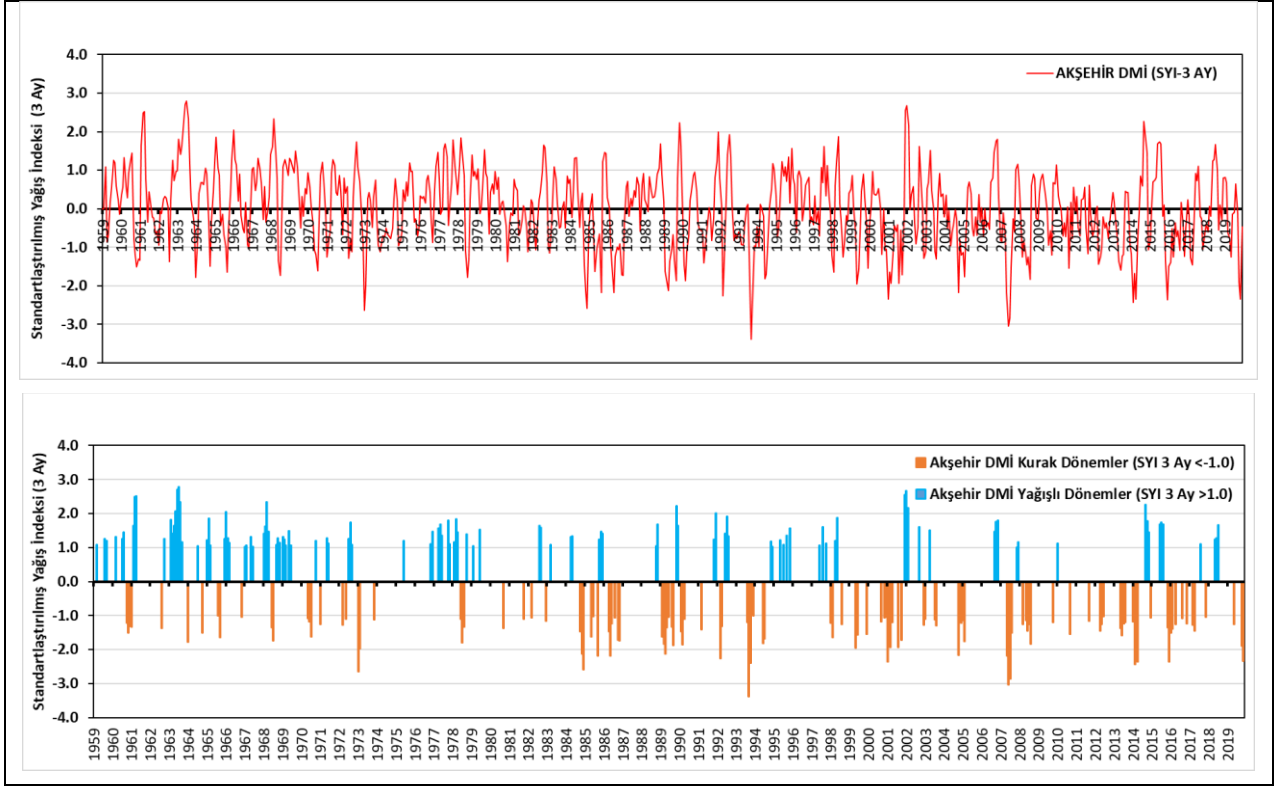
Şekil 3. Akşehir Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yağış ve sıcaklığın aylara göre dağılımı

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi kullanılarak 6 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -2.74 indeks değeri ile en kurak dönem 2007 yılı Eylül ayında ve 2.95 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1963 yılı temmuz ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 6 aylık zaman ölçeğine göre toplam 114 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 109 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 6). Standartlaştırılmış Yağış indeksi yöntemi kullanılarak 9 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -3.18 indeks değeri ile en kurak dönem 1986 yılı Aralık ayında ve 3.0 indeks değeri ile en yağışlı dönem ise 1963 yılı Eylül ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 9 aylık zaman ölçeğine göre toplam 128 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 110 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 7). Standartlaştırılmış Yağış indeksi yöntemi kullanılarak 12 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -2.77 indeks değeri ile en kurak dönem 2001 yılı Ekim ayında ve 3.09 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1963 yılı Temmuz ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 12 aylık zaman ölçeğine göre toplam 123 ay

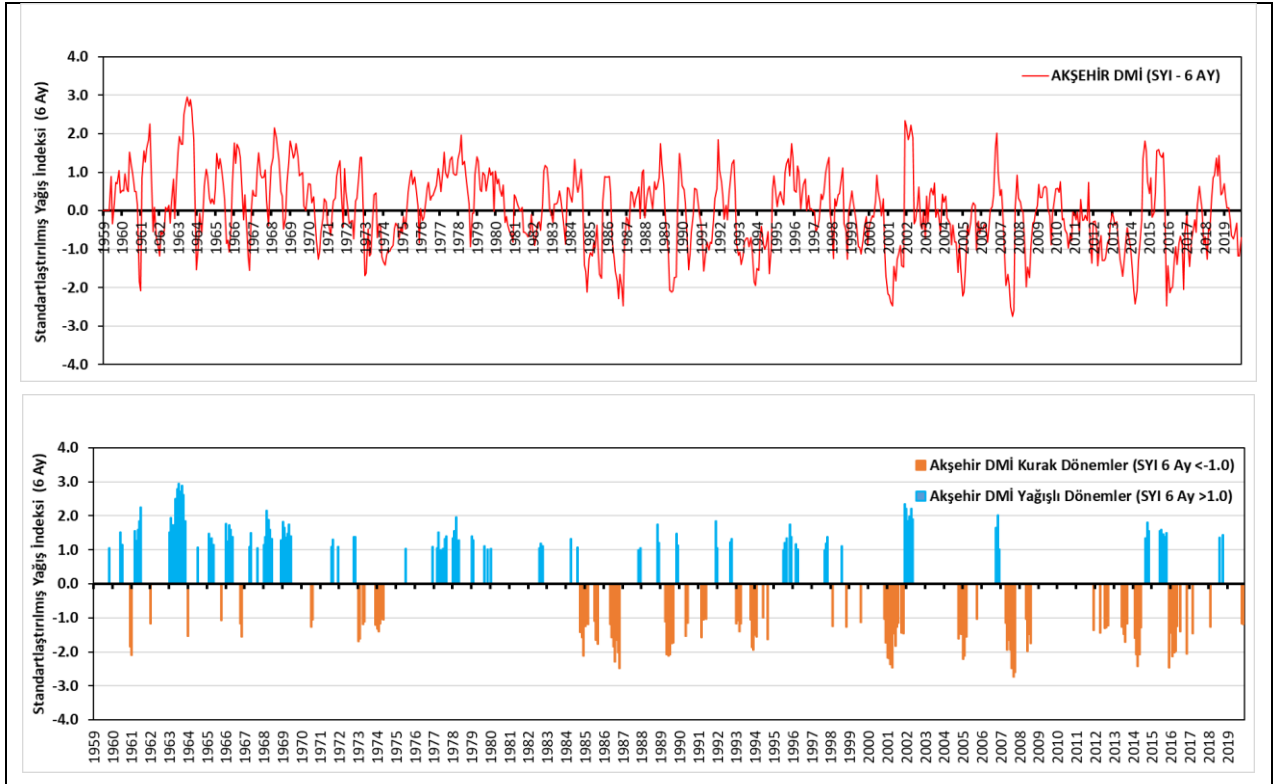
kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 119 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 8). Standartlaştırılmış Yağış indeksi yöntemi kullanılarak 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -2.23 indeks değeri ile en kurak dönem 2014 yılı Şubat ayında ve 2.35 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1964 yılı Ağustos ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 6 aylık zaman ölçeğine göre toplam 120 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 130 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 9). Standartlaştırılmış Yağış İndeksi yöntemi kullanılarak 48 aylık zaman ölçeğinde yapılan kuraklık analizlerine göre -2.06 indeks değeri ile en kurak dönem 2014 yılı Nisan ayında ve 2.18 indeks değeri en yağışlı dönem ise 1966 yılı Mart ayında yaşanmıştır. 61 yıllık süre zarfında 6 aylık zaman ölçeğine göre toplam 88 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 150 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmıştır (Şekil 10).



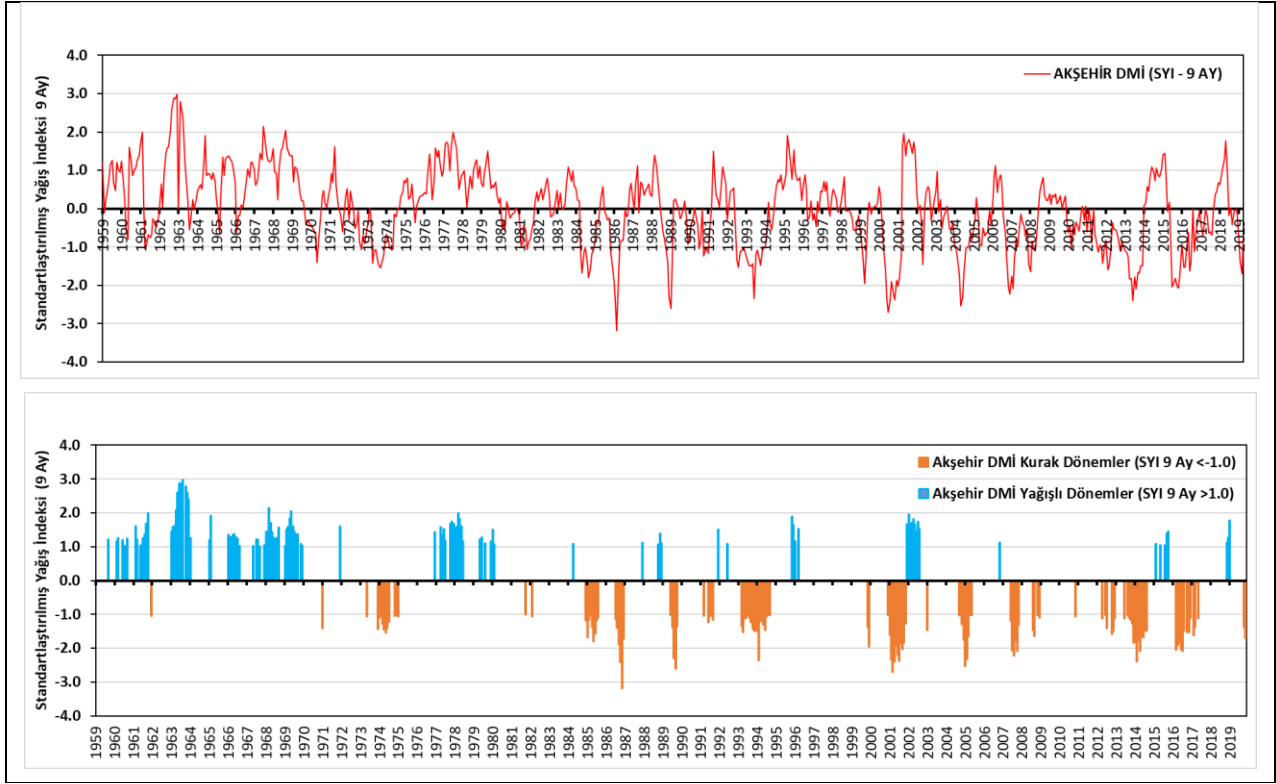
Şekil 4. 1 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



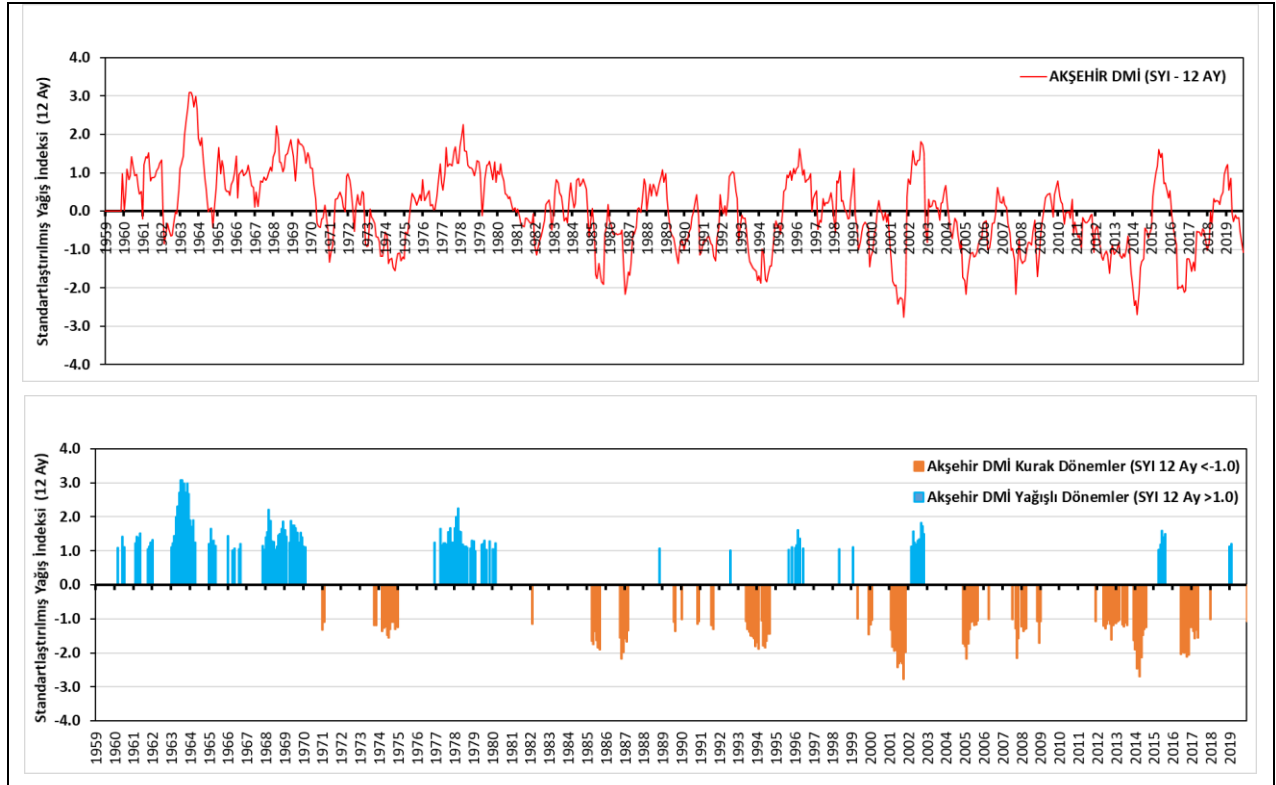
Şekil 5. 3 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



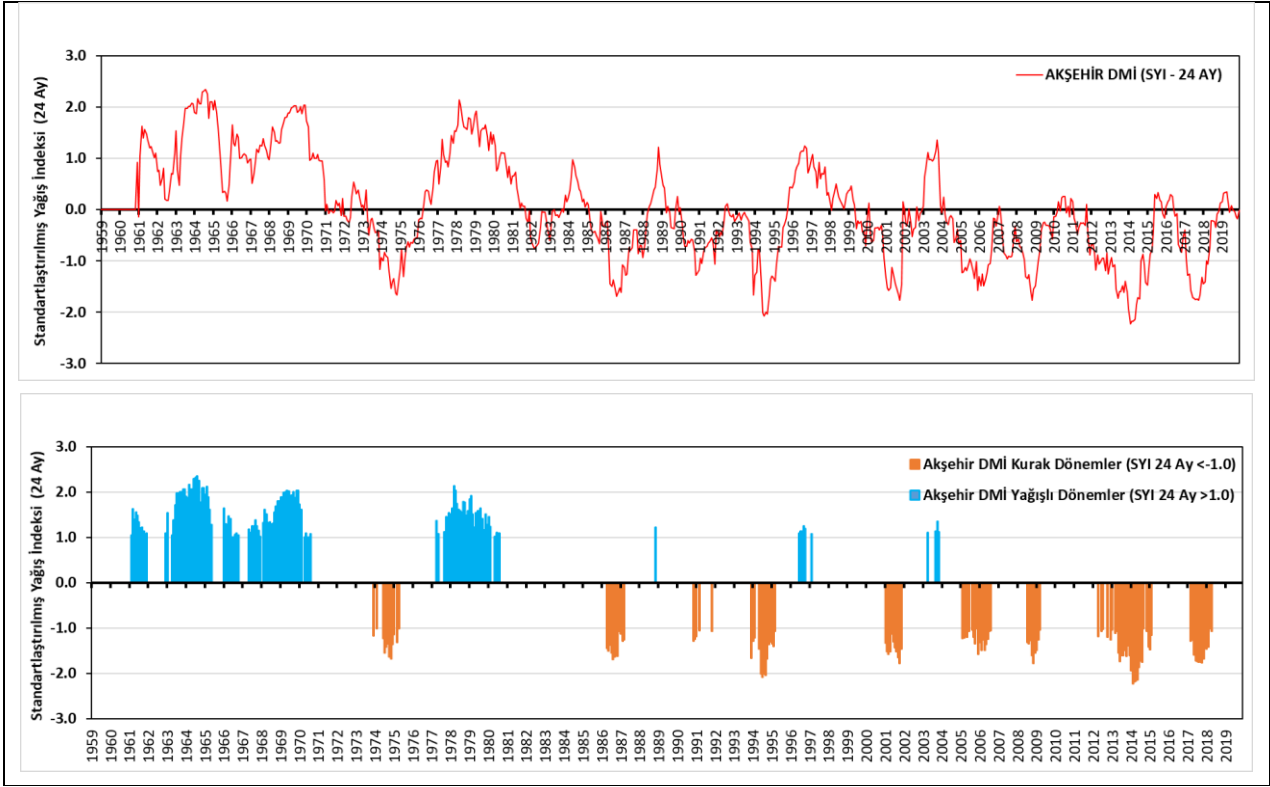
Şekil 6. 6 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



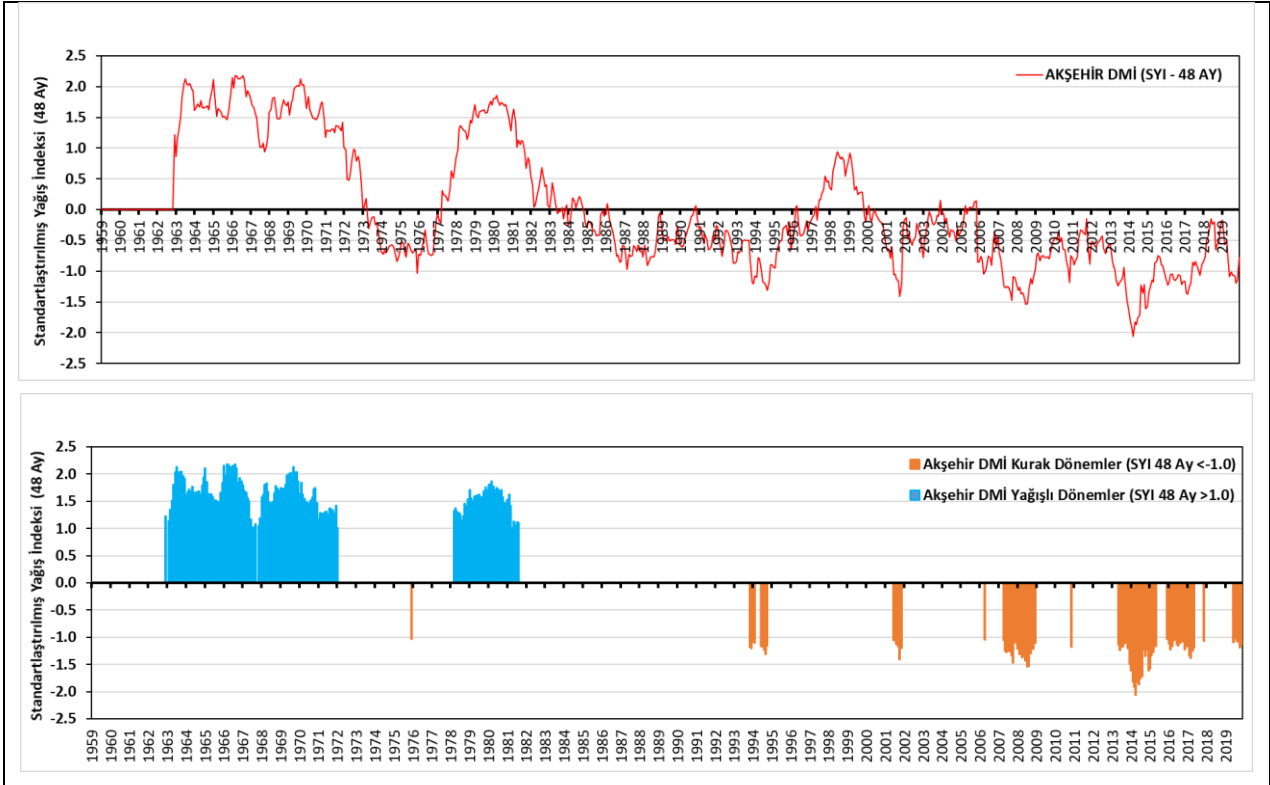
Şekil 7. 9 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



Şekil 8. 12 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



Şekil 9. 24 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler



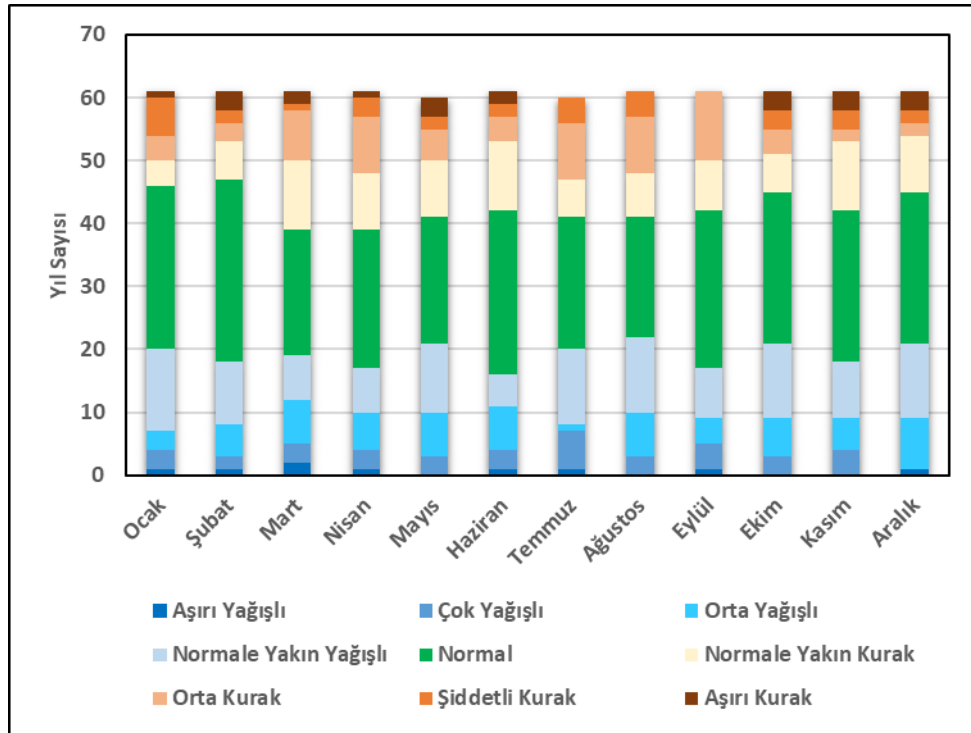
Şekil 10. 48 aylık zaman ölçeğindeki standartlaştırılmış yağış indeksine göre kurak ve yağışlı dönemler

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğine göre yapılan kuraklık analizlerine göre yağışlı ve kurak dönemlerin aylık dağılımları incelendiğinde Mart aylarında 2 defa Aşırı Yağışlı dönem yaşanırken aynı zamanda Şubat, Mayıs, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında 3'er defa Aşırı Kurak dönemlerin yaşandığı belirlenmiştir.

Bununla birlikte Temmuz ayında 6 defa Çok Yağışlı dönem Aralık ayında 8 defa Orta Yağışlı ve Ocak ayında ise 13 defa Normale Yakın Yağışlı dönem yaşanmıştır. Aynı süre zarfında Ocak ayında 6 defa Şiddetli Kurak, Eylül ayında 11 defa Orta Kurak ve Mart, Haziran ve Kasım aylarında ise 11 defa Normale Yakın Kurak dönem yaşanmıştır (Çizelge 2, Şekil 11).

Çizelge 2. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) Kuraklık sınıflaması (McKee vd. 1993)

Aylar	Aşırı Yağışlı	Çok Yağışlı	Orta Yağışlı	Normale Yakın Yağışlı	Normal	Normale Yakın Kurak	Orta Kurak	Şiddetli Kurak	Aşırı Kurak	Toplam
Ocak	1	3	3	13	26	4	4	6	1	61
Şubat	1	2	5	10	29	6	3	2	3	61
Mart	2	3	7	7	20	11	8	1	2	61
Nisan	1	3	6	7	22	9	9	3	1	61
Mayıs	0	3	7	11	20	10	5	2	3	61
Haziran	1	3	7	5	26	11	4	2	2	61
Temmuz	1	6	1	12	21	7	9	4	0	61
Ağustos	0	3	7	12	19	7	9	4	0	61
Eylül	1	4	4	8	25	8	11	0	0	61
Ekim	0	3	6	12	24	6	4	3	3	61
Kasım	0	4	5	9	24	11	2	3	3	61
Aralık	1	0	8	12	24	9	2	2	3	61
Toplam	9	37	66	118	280	99	70	32	21	732
Oran (%)	1.23	5.05	9.02	16.12	38.25	13.52	9.56	4.37	2.87	100.00



Şekil 11. SYİ kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğine göre belirlenen yağışlı ve kurak dönemlerin aylık dağılımı

Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda 1959-2019 yılları arasında ölçülen aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık değerlerindeki istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalışların belirlenebilmesi amacıyla Mann-Kendall trend analizleri yapılmıştır. Bu kapsamda söz konusu yağış ve sıcaklık verileri aylık, mevsimlik ve yıllık değerlendirilerek eğilimleri belirlenmiştir (Çizelge 3-4). Söz konusu çizelgede artan yöndeki anlamlı eğilimler mavi ve azalan yöndeki anlamlı eğilimler ise turuncu ile gösterilmiştir. Buna göre yağış verileri incelendiğinde Ağustos ayı haricinde aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin tamamında azalan yönde bir eğilim vardır. Söz konusu azalan yöndeki eğilimlerin büyük bir bölümü güven aralıklarının dışında yani bir başka ifadeyle H_0 hipotezinin kabul edildiği ancak trendin olmadığı bölgede olduğu belirlenmiştir. Ancak aylık değerlendirmede Şubat ve Nisan, mevsimlik değerlendirmede ilkbahar ve Kış ile yıllık değerlendirmenin tamamında tespit edilen azalan yöndeki eğilimler istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu kapsamda belirlenen MK-z değerleri güven aralığının %95'lik sınır değerinin (1.96) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Aylık ortalama sıcaklık değerleri incelendiğinde aylık değerlendirmede Ocak, Kasım ve Aralık ayları ile mevsimlik değerlendirmede Kış aylarının dışında aylık, mevsimlik ve yıllık değerlerinin tamamında artan yönde bir eğilim söz konusudur. Bu artan yöndeki eğilimlerin büyük bir bölümü güven aralıklarının dışında yani bir başka

ifadeyle H_0 hipotezinin kabul edildiği ancak trendin olmadığı bölgede olduğu belirlenmiştir. Ancak aylık değerlendirmede Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül, mevsimlik değerlendirmede ilkbahar, Yaz ve Sonbahar ile yıllık değerlendirmenin tamamında tespit edilen artan yöndeki eğilimler istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu kapsamda belirlenen MK-z değerleri güven aralığının %95'lik sınır değerinin (1.96) üzerinde olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla genel trendler incelendiğinde, sıcaklıkların artma eğiliminde buna karşı yağışların ise azalma eğiliminde olduğu tespit edilmiştir.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğinde belirlenen kuraklık analizlerinden elde edilen indeks değerlerindeki istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalışların belirlenebilmesi amacıyla Mann-Kendall trend analizleri yapılmıştır. Buna göre Ağustos ayında artan bir eğilim söz konusu iken buna karşı diğer tüm aylarda azalan yönde bir eğilim olduğu belirlenmiştir. Söz konusu azalan yöndeki eğilimlerin büyük bir bölümü güven aralıklarının dışında olmasına rağmen Şubat ve Nisan aylarındaki azalan yöndeki eğilimler istatistiksel olarak anlamlıdır. Dolayısıyla söz konusu aylarda belirlenen MK-z değerleri güven aralığının %95'lik sınır değerinin (1.96) üzerinde olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 3. Yağış ve Sıcaklıkların aylık MK-z değerleri

Aylık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
Yağış	-1.31	-2.41*	-1.5	-1.97	-0.49	-0.86	-0.99	0.54	-0.05	-0.64	-0.11	-1.38
Sıcaklık	-0.08	1.08	1.8	1.03	1.49	3.58*	4.32*	3.85	3.58*	1.42	-0.54	-1.62

* $p < 0.05$; (+) artan yönde, (-) azalan yönde

Çizelge 4. Yağış ve Sıcaklıkların mevsimlik ve yıllık MK-z değerleri

	İlkbahar	Yaz	Sonbahar	Kış	Yıllık
Yağış	-2.32*	-1.19*	-0.2427	-3.1*	-3.99*
Sıcaklık	2.13*	5.06*	2.21*	-0.27	2.78*

* $p < 0.05$; (+) artan yönde, (-) azalan yönde

Çizelge 5. 1 ay zaman ölçeğindeki Standartlaştırılmış Yağış İndekslerinin MK-z değerleri

Aylık	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
SYİ-1ay	-1.28	-2.43	-1.5	-2.0*	-0.5	-0.86	-0.98	0.54	-0.06	-0.63	-0.12	-1.38

* $p < 0.05$; (+) artan yönde, (-) azalan yönde

4. Sonuçlar

Özellikle son yıllarda su kaynaklarımız üzerindeki en önemli baskıyı kuraklık oluşturmaktadır. Yağışların azalması ile birlikte yüzey ve yeraltı suyu miktarlarında önemli azalmalar yaşanmaktadır. Bu çalışmada Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık zaman ölçeklerinde Akşehir ilçesinin kuraklık analizleri yapılmıştır. Ayrıca söz konusu kuraklık indeks değerleri ile birlikte yağış ve sıcaklık değerlerindeki istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalış eğilimleri Mann-Kendall trend analizi kullanılarak tespit edilmiştir.

Buna göre 1959-2019 yılları arasında ölçülen 61 yıllık yağış verileri değerlendirildiğinde ortalama aylık toplam yağış 47.44mm ve ortalama yıllık toplam yağış ise 569.3mm olarak ölçülmüştür. Ölçüm periyodunun yaklaşık ilk on yılı ortalama yağış miktarlarının üzerinde yağış ölçülürken özellikle 2000'li yılların başından itibaren ortalama yağış değerlerinin altında yağışlar ölçülmüştür. Aynı süre zarfında ortalama aylık sıcaklığın 11.94°C olduğu ve özellikle 1992, 1964 ve 1967 yılları olmak üzere 1990'lı yılların başlarına kadar sıcaklıkların nispeten ortalama sıcaklıkların altında olduğu bununla birlikte son yıllarda ise sıcaklık değerlerinin ortalama sıcaklıkların üzerinde olduğu belirlenmiştir.

Standartlaştırılmış Yağış İndeksi kullanılarak 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 ay zaman ölçeklerinde yapılan kuraklık analizlerinin genel olarak birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdiği belirlenmiştir. En yağışlı dönem, 1 ay zaman ölçeğinde 2015 yılı aralık ayı, 3-6-12 ay zaman ölçeklerinde 1963 yılı temmuz ayı, 24 ay zaman ölçeğinde 1964 yılı Ağustos ayında ve 48 ay zaman ölçeğinde ise 1966 yılı Mart ayında yaşanmıştır. Bununla birlikte en kurak dönemler ise 1 ay zaman ölçeğinde 1961 yılı Şubat ayı, 3 ay zaman ölçeğinde 1993 yılı Ağustos ayında, 6 ay zaman ölçeğinde 2007 yılı Eylül ayında, 12 ay zaman ölçeğinde 2001 yılı Ekim ayında, 24 ay zaman ölçeğinde 2014 yılı Şubat ayında ve 48 ay zaman ölçeğinde ise 2014 yılı Nisan ayında yaşanmıştır. Aynı zamanda 1 ay zaman ölçeğindeki kuraklık indeks değerlerine göre 122 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) olarak belirlenirken 112 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak belirlenmiştir. 48 ay zaman ölçeğindeki kuraklık indeks değerlerine göre ise 88 ay kurak dönem ($SYI \leq -1.0$) ve 150 ay ise yağışlı dönem ($SYI \geq 1.0$) olarak tanımlanmakla birlikte kurak dönemlerin tamamı son yıllarda gerçekleştiği

tespit edilmiştir. Bununla birlikte özellikle 1 ve 3 ay zaman ölçeğindeki SYİ değerleri kısa süreli meteorolojik kuraklıkları temsil etmesine rağmen özellikle 6-9 ay zaman ölçeğindeki SYİ değerleri tarımsal kuraklığı ve 12 – 48 ay zaman ölçeğindeki SYİ değerleri ise hidrolojik kuraklıkları daha iyi temsil etmektedir. Bunun nedeni kuraklık süresinin öncelikle kısa süreli yağış azalmasına bağlı olarak meteorolojik kuraklık ile başlayıp sonrasında meteorolojik kuraklık süresinin artması ile tarımsal kuraklık yaşanması ve son olarak da yüzey ve yeraltı suyu kaynaklarını etkileyerek hidrolojik kuraklığın gelişmesi ile ilişkilidir.

Akşehir Devlet Meteoroloji İstasyonunda 1959-2019 yılları arasında ölçülen aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve Standartlaştırılmış Yağış İndeks değerlerindeki istatistiksel olarak anlamlı artış ve azalışların belirlenebilmesi amacıyla Mann-Kendall trend analizleri yapılmıştır. Aylık toplam yağış değerlerinin Trend analiz sonuçlarına göre Şubat ve Nisan ayları ile birlikte ilkbahar mevsimi ve yıllık değerlendirmenin tamamında azalan yönde eğilimler istatistiksel olarak anlamlı olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık değerlerinin trend analiz sonuçlarına göre ise aylık değerlendirmede Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül, mevsimlik değerlendirmede ilkbahar, Yaz ve Sonbahar ile yıllık değerlendirmenin tamamında artan yönde eğilimlerin istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca 1 ay zaman ölçekli Standartlaştırılmış Yağış İndeksi değerlerinin trend analizinde ise Ağustos ayı hariç diğer tüm aylarda azalan yönde bir eğilim olduğu belirlenmiştir. Bir başka ifadeyle kuraklık şiddetinin arttığını göstermektedir. Özellikle Şubat ve Nisan aylarındaki azalan yönde eğilimler istatistiksel olarak anlamlı olup hesaplanan MK-z değerleri güven aralığının %95'lik sınır değerinin (1.96) üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Son yıllarda yağışların azalmasına bağlı olarak su kaynaklarımızı tehdit eden en önemli etkenlerin başında kuraklık gelmektedir. Birçok bölgede olduğu gibi Akşehir ilçesinde özellikle yüzeysel su kaynaklarının miktarlarında azalmalar gözlenmektedir. Özellikle Akşehir Gölü'nün son yıllarda dramatik bir şekilde kurumasının en önemli faktörlerinin başında yağış azlığına bağlı olarak kuraklık gelmektedir. Bu kapsamda Standartlaştırılmış Yağış İndeksi ile 12, 24 ve 48 aylık

zaman ölçeklerinde ve genel olarak hidrolojik kuraklığı temsil eden kuraklık analizlerine göre, özellikle son yıllarda uzun süreler boyunca kurak dönemlerin yaşandığı belirlenmiştir. Bu durum Akşehir Gölü'nün kuruma süreci ile Standartlaştırılmış Yağış İndeksi verilerinin uyumlu olduğunu göstermektedir.

5. Kaynaklar

- Bakanoğulları, F., 2020. SPEI ve SPI indisleri kullanılarak İstanbul-Damlıca Deresi Havzasında kuraklık şiddetlerinin analizi. *Toprak Su Dergisi*, **9**(1), 1-10.
- Beden, N., Demir, V., Keskin, A. Ü., 2020. Samsun İlinde SPI ve PNI Kuraklık İndekslerinin Eğilim Analizi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, **22** (64), 107-116.
- Bhuiyan, C., 2004 Various Drought Indices for Monitoring Drought Condition in Aravalli Terrain of India. *Proceedings of the XXth ISPRS Conference. International Society fo Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey*,
- Byun, H. R., & Wilhite, D. A., 1999. Objective quantification of drought severity and duration. *Journal of Climate*, **12**(9), 2747-2756.
- Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2017. Türkiye'nin iklim değişikliği uyum stratejisi ve eylem planı, T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, İklim Değişikliği Dairesi Başkanlığı, http://webdosya.csb.gov.tr/db/destek/editedosya/iklim_Degisikligi_Uyum_Stratejisi_ve_Eylem_Plani.pdf, [Erişim 11 Ekim 2017].
- Fıstıkoglu, O., Biberoglu, E., 2008. Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi ve Uyum Önlemleri, TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, 13-14 Mart, Ankara, 238 - 252.
- Gibbs, W.J. and J.V. Maher., 1967. Rainfall Deciles as Drought Indicators. Bureau of Meteorology Bulletin No. 48, Melbourne, Australia.
- Gusyev, M.A., Hasegawa, A., Magome, J., Kuribayashi, D., Sawano, H., Lee, S., 2015. Drought Assessment in the Pampanga River Basin, the Philippines. Part 1: A Role of Dam Infrastructure in Historical Droughts. *Proceedings of the 21st International Congress on Modelling and Simulation (MODSIM 2015)*, Broadbeach, Queensland, Australia.
- Hayes, M. J., 1999. Drought Indices. National Drought Mitigation Center.
- Khadr, M., Morgenschweis, G., Schlenkhoff, A., 2009. Analysis of meteorological drought in the ruhr basin by using the standardized precipitation index. *World Acad Sci Eng Technol* **57**:607–616
- McKee, T., Doesken, N., Kleist, J., 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scale. The Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim, California, American Meteorological Society, Book of Proceedings,179-184.
- Mishra, A.K., Singh, V.P., 2010. review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391, 202–216. Thom, H. C. S. 1966. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical Note No. 81, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 63 pp.
- Mishra A.K., Singh VP., 2011. Drought modeling - a review, *Journal of Hydrology*, **403**, 157-175.
- Özfidaner, M., Topaloğlu, F., 2020. Standart Yağış İndeksi Yöntemi ile Güneydoğu Anadolu Bölgesinde Kuraklık Analizi. *Toprak Su Dergisi* **9** 130-136
- Sargın, S., Akengin, H., 2009. Akşehir Kırklarında Nüfus, Yerleşme ve Arazi Kullanımı. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi*, **(19)**, 149-168.
- Şen Z., 2001, Kuraklık Kıranı Yuvarlak Masası Toplantısı, 20 Mart 2001, Ankara Hilton Oteli.
- Şener, E., Davraz, A., Şener, Ş.,2010. Investigation of Akşehir and Eber Lakes (SW Turkey) coastline change with multitemporal satellite images. *Water resources management*, **24**(4), 727-745.
- Şener, E., Şener, Ş., 2019. Meteorolojik Kuraklığın Coğrafi Bilgi Sistemleri Tabanlı Zamansal Ve Konumsal Analizi: Çorak Gölü Havzası (Burdur-Türkiye) Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, **7**(3), 596-607.

- Şener, E., Şener, Ş. (2021). SPI ve CZI Kuraklık İndislerinin CBS Tabanlı Zamansal ve Konumsal Karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(1), 41-58.
- Şener, E., Davraz, A., 2021. Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 12(Ek (Suppl.) 1), 404-418.
- Taylan, D. & Bahşi, A. M., 2021. Gaziantep İli Meteorolojik Kuraklık Analizi ve KAS İlişkisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25 (2), 371-382.
- Terzi, Ö., Ersoy, T., 2018. Yapay Sinir Ağları ile Konya İli Kuraklık Tahmini. *DSİ Teknik Bülteni*, (127), 1-13.
- Thom, H. C., 1966. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical note 81.
- Tsakiris, G., & Vangelis, H. J. E. W., 2005. Establishing a drought index incorporating evapotranspiration. *European water*, 9(10), 3-11.
- Tsakiris, G., Nalbantis, I., Vangelis, H., Verbeiren, B., Huysmans, M., Tychon, B., Jacquemin, I., Canters, F., Vanderhaegen, S., Engelen, G., Poelmans, L., De Becker, P., Batelaan, O., 2013. A system-based paradigm of drought analysis for operational management. *Water Resources Management*, 27, 5281-5297.
- Tsakiris, G., 2017. Drought risk assessment and management. *Water Resources Management* 31(10):3083-3095
- Turan, E. S., 2018. Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumu. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 4(1), 63-69.
- Türkeş M., 2012, Kuraklık, çölleşme ve birleşmiş milletler çölleşme ile savaşım sözleşmesi'nin ayrıntılı bir çözümlemesi, *Marmara Avrupa Araştırmaları Dergisi*, 20(1), 7-55
- Türkeş M., 2012b. Türkiye'de gözlenen ve öngörülen iklim değişikliği, kuraklık ve çölleşme, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), 1-32
- Van Rooy, M.P., 1965. A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43.
- Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S., López-Moreno, J.I., 2010. A multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*. 23: 1696-1718.
- World Meteorological Organization (WMO), Global Water Partnership (GWP) (2017) Handbook of drought indicators and indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Program (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva. ISBN 978-92-63-11173-9
- Wu, H., M.J. Hayes, A. Wels, Q. Hu, 2001. An evaluation the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical Z-Score, *International Journal of Climatology*, 21, 745-758.
- Yacoub, E., Tayfur, G., 2017. Evaluation and Assessment of Meteorological Drought by Different Methods in Trazza Region, *Mauritania. Water Resources Management*, 31, 825-845.