

Keşif Kuraklık İndeksi ve Standartlaştırılmış Yağış İndeksi Kullanılarak Kırklareli İlinde Kuraklığın Eğilimi ve Zamansal Değişkenliği

Mustafa Utku Yılmaz^{1,*} 

¹Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 39100, Kırklareli.

Özet

Bu çalışma, ekonomisi büyük ölçüde tarıma dayalı olan Kırklareli ili için kapsamlı bir kuraklık analizi sunmayı amaçlamıştır. Kuraklığın eğilimi ve zamansal değişkenliği, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ve Keşif Kuraklık İndeksi (KKİ) kullanılarak 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde incelenmiştir. SYİ ve KKİ'yi hesaplamak için Kırklareli meteoroloji istasyonunun 1960-2021 su yılları arasındaki aylık yağış ve sıcaklık verileri kullanılmıştır. Farklı zaman ölçekleri için SYİ ve KKİ serilerinin eğilimlerini belirlemek için Mann-Kendall ve modifiye Mann-Kendall testleri, serilerdeki eğilimlerin büyüklüğünü belirlemek için Sen'in eğilimi ve serilerin değişim noktasını tespit etmek için Pettitt testi kullanılmıştır. Sonuçlar, SYİ ve KKİ'nin tüm zaman ölçekleri için benzer şekilde davrandığını ve her iki indeksin de neredeyse aynı kuraklık olaylarını yakalayabildiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte, SYİ'nin aynı zaman ölçeğindeki KKİ ile güçlü bir doğrusal ilişkiye sahip olduğu gözlenmiştir ($r=0.99$). KKİ'nin çoğunlukla SYİ'den biraz daha yüksek değerlere sahip olduğu ve şiddetli ve aşırı kuraklık olaylarının tespitinde daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı zaman ölçeklerinde kuraklık olaylarının oluşum yüzdeleri, SYİ'ler için %46.9 ile %51.3 arasında ve KKİ'ler için %47.2 ile %50.6 arasında değişmiştir. Her iki indeks için 12 aylık zaman ölçeğinde, 1989 yılı Şubat ayı ile 1995 yılı Mayıs ayı arasındaki 76 ay hem en uzun hem de en şiddetli kurak dönem olarak belirlenmiştir. Zaman ölçeği arttıkça kuraklık olaylarının sayısı azalmış ve kuraklık süresi artmıştır. Tüm zaman ölçeklerinde SYİ ve KKİ değerleri için istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim bulunmamıştır ($p>0.05$). Her iki indeks için de 1 aylık zaman ölçeğinde değişim noktası bulunmazken, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde değişim noktası tespit edilmiştir.

Anahtar Sözcükler

Keşif Kuraklık İndeksi, Kırklareli, Kuraklık, Mann-Kendall, Pettitt, Standartlaştırılmış Yağış İndeksi

Trend and Temporal Variability of Drought in Kırklareli Province Using Reconnaissance Drought Index and Standardized Precipitation Index

Abstract

This study aimed to provide a comprehensive drought analysis for Kırklareli province, whose economy is largely based on agriculture. The trend and temporal variability of drought were examined at 1, 3, 6, 9, and 12-month time scales using the Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI). The monthly precipitation and temperature data from the Kırklareli meteorological station between water years 1960-2021 were used to calculate the SPI and RDI. Mann-Kendall and modified Mann-Kendall tests were used to determine trends of SPI and RDI series for different time scales, Sen's slope was used to identify the magnitude of trends in the series, and Pettitt's test was used to detect the change point of the series. The results revealed that the SPI and RDI behaved similarly for all time scales and both indices were able to capture almost the same drought events. Besides, it was observed that SPI had a strong linear relationship with RDI over the same time scale ($r=0.99$). RDI mostly had slightly higher values than SPI and it was concluded that RDI was more sensitive in the detection of extreme and severe drought events. The percentages of occurrence of drought events at different time scales ranged from 46.9% to 51.3% for SPIs and between 47.2% and 50.6% for RDIs. In the 12-month time scale for both indices, 76 months between February 1989 and May 1995 were determined as both the longest and the most severe dry period. As the time scale increased, the number of drought events decreased and the drought duration increased. No statistically significant trend was found for SPI and RDI values at all-time scales ($p>0.05$). For both indices, there was no change point in the 1-month time scale, but the change point was identified in the 3, 6, 9, and 12-month time scales.

Keywords

Reconnaissance Drought Index, Kırklareli, Drought, Mann-Kendall, Pettitt, Standardized Precipitation Index

1. Giriş

Kuraklık, insanlar, çevre, toplum, ekonomi ve tarım üzerinde olumsuz etkileri olan, farklı meteorolojik ve çevresel şartlar altında gelişen doğal afetlerden biridir. Son yıllarda küresel ısınma ve iklim değişikliği etkilerinin artmasıyla birlikte yeterli yağışın olmaması, yüksek sıcaklıkların yaşanması, aşırı su tüketimi, nüfus artışı ve bunlara bağlı olarak tatlı su

kaynaklarının hızla azalması gibi birçok neden kuraklığı tetiklemektedir. Ülkelerin yeterli suya sahip olup olmadığının değerlendirilmesinde uluslararası düzeyde en çok kabul gören Falkenmark indeksine göre kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı için eşik değer 1.700 m³ olarak belirlenmiştir. Bu indekse göre yapılan sınıflandırmada, kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 1.700 m³ ve daha fazla olanlar su stresi yaşamayan, 1.000-1.700 m³ arasında olanlar su stresi yaşayan, 500-1.000 m³ arasında olanlar su kıtlığı yaşayan ve 500 m³ altında olanlar ise mutlak su kıtlığı yaşayan ülkeler olarak ifade edilmektedir (Falkenmark 1989). Nüfus artış hızı dünya ortalamasının üzerinde olan Türkiye, bu indekse göre su stresi çeken ülkeler arasında bulunmaktadır. Türkiye’de kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı giderek azalmaktadır. Bu miktar, 2000 yılında 1.652 m³, 2009 yılında 1.544 m³, 2020 yılında 1.346 m³ ve 2021 yılında ise 1.323 m³ olmuştur (DSİ 2022). Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yapılan 2018-2080 nüfus projeksiyonuna göre Türkiye nüfusunun 2040 yılında 100 milyona ulaşacağı ve kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarının 1.120 m³e kadar düşeceği öngörülmektedir (TÜİK 2018). Buna göre, Türkiye yakın bir gelecekte su kıtlığı yaşayan ülke olma riski ile karşı karşıyadır. Bu nedenle, kuraklık konusunda ciddi önlemlerin alınması, kuraklık planlarının yapılması, su yönetim sistemlerinin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi gerekmektedir.

Kuraklık olaylarının oluşum yüzdesi, süresi ve şiddeti gibi kuraklık özelliklerini belirlemek ve kuraklığı değerlendirmek için çeşitli kuraklık indeksleri kullanılmaktadır. Standartlaştırılmış yağış indeksi (SYİ) (McKee vd. 1993), standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi (SYEI) (Vicente-Serrano vd. 2010), keşif kuraklık indeksi (KKİ) (Tsakiris ve Vangelis 2005), akım kuraklık indeksi (AKİ) (Nalbantis ve Tsakiris 2009), Palmer kuraklık şiddet indeksi (Palmer 1965), normalin yüzdesi indeksi (Willeke vd. 1994), Z-skoru indeksi (Edwards ve McKee 1997), Çin Z indeksi (Ju vd. 1997), yağış anomali indeksi (Van Rooy 1965) bunlardan bazılarıdır. Bu indeksler Türkiye’de çeşitli kuraklık çalışmalarında kullanılmıştır (Özgürel vd. 2013; Dinç vd. 2016; Aksoy vd. 2018; Çetin vd. 2018; Dabanlı 2019; Yaltı ve Aksu 2019; Beden vd. 2020; Danandeh Mehr ve Vaheddoost 2020; Eris vd. 2020; Eroğluer ve Apaydin 2020; Katipoğlu vd. 2020; Yüce ve Eşit 2020; Katipoğlu ve Acar 2021; Oğuz vd. 2021; Şener ve Şener 2021; Vaheddoost ve Safari 2021; Yüce ve Eşit 2021; Aktürk vd. 2022; Alsenjar vd. 2022; Katipoğlu vd. 2022; Yüce vd. 2022; Gümüş vd. 2023). Ayrıca, Yılmaz ve Yılmaz (2022a) küresel ölçekte meteorolojik kuraklık alanındaki çalışmaları bibliyometrik analiz kullanarak kapsamlı bir şekilde incelemiştir. Mevcut kuraklık indekslerinin çoğunluğu bölgeye özgüdür ve kuraklık olaylarının doğasında var olan karmaşıklık nedeniyle farklı iklim koşullarında kullanım sınırlamaları vardır. Kuraklığın tarım ve su kaynakları üzerindeki etkisi göz önüne alındığında, uygun indeksin seçilmesi ve indeks sonuçlarının karşılaştırılması önemlidir. Kuraklık özellikleri ve değişkenliğinin belirlenmesinin yanı sıra, kuraklığın eğilimini ve değişim noktasını belirlemek, kuraklığın etkilerini azaltmak ve gerekli önlemleri almak açısından oldukça önemlidir. İndeks değerlerindeki eğilimleri ve değişim noktalarını belirlemek amacıyla çeşitli testler uygulanmaktadır (Kousari vd. 2014; Abro vd. 2022; Katipoğlu vd. 2022; Chisadza vd. 2023).

SYİ, dünya çapında kabul görmesi, en az meteorolojik değişkeni (sadece yağış) kullanması, kolay hesaplanabilmesi ve kuraklığı tutarlı bir şekilde ölçebilmesi nedeniyle diğer kuraklık indekslerine göre daha çok tercih edilmekte ve diğer kuraklık indeksleriyle karşılaştırma için temel olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, sadece yağışı dikkate aldığı için SYİ’nin sınırlamaları vardır. SYİ’den farklı olarak KKİ, hem yağış hem de potansiyel evapotranspirasyonu (PET) dikkate alan önemli bir kuraklık indeksidir. İklim değişikliğinin etkileri dikkate alındığında, hem yağış hem de PET’i içeren indekslerin kullanımını destekleyen çalışmalar, kuraklık değerlendirmesinde PET’in göz ardı edilmemesi gerektiğini göstermektedir (Merabti vd. 2018; Khan vd. 2021; Zarei 2022). Ayrıca, SYİ ve KKİ farklı zaman ölçekleri için hesaplanabilmekte ve karşılaştırılabilmektedir (Asadi Zarch vd. 2011; Khalili vd. 2011; Marini vd. 2019; Dehghani vd. 2022; Mistry ve Suryanarayana 2022). Bu nedenle, bu çalışmada kuraklık özelliklerini değerlendirmek için bu iki indeks seçilmiştir.

Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinin tamamını, İstanbul ve Çanakkale illerinin çok az bir bölümünü içine alan Trakya Bölgesi, Türkiye'nin en verimli tarım alanlarına sahiptir. Son yıllarda kuraklık bu bölgede tarımı ciddi şekilde etkilemektedir. "Palmer Kuraklık Şiddet İndisi Kullanılarak Trakya’da Meteorolojik ve Tarımsal Kuraklığın Belirlenmesi, İzlenmesi ve Kuraklık Hassasiyetinin Belirlenmesi" isimli Tarımsal Araştırmalar ve Politikalar Genel Müdürlüğü (TAGEM) projesi kapsamında Trakya Bölgesinde kuraklığa hassas alanlar belirlenmiştir. Bölgenin yaklaşık yarısının orta düzeyde kuraklığa hassas olduğu tespit edilmiştir (TAGEM 2020). Trakya Bölgesinin kuzeyinde yer alan ve diğer Trakya illerine göre kışları nispeten daha soğuk geçen Kırklareli ilinde son yıllardaki ortalama sıcaklık ve yağış verileri incelendiğinde ortalama sıcaklıkta artış yaşandığı ve yağış miktarının geçen yıla göre oldukça azaldığı belirtilmiştir. Bu durum, kurak dönemlerin uzamasına ve kuru toprağa ekim yapılmasına neden olmuştur (URL-1 2023). Ayrıca tarımsal üretimde verim kayıplarına, derelerin kurumasına, böcek istilalarına yol açmıştır (TAGEM 2020; TOB 2021; URL-2 2020; URL-3 2021).

Türkiye genelinde yapılan çeşitli kuraklık çalışmaları olsa da çok az çalışma özellikle Kırklareli ilindeki kuraklığa odaklanmıştır (Bakanoğulları vd. 2022; Yılmaz ve Yılmaz 2022b). Kırklareli ilinde 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde meydana gelen kuraklık olayları SYİ ve KKİ kullanılarak kapsamlı bir şekilde analiz edilmiştir. Kırklareli meteoroloji istasyonuna ait 1960-2021 su yılları arasındaki aylık yağış ve sıcaklık verileri kuraklık analizlerinde kullanılmıştır. SYİ ve KKİ’ye göre kuraklık olaylarının sayısı, süresi ve şiddeti tespit edilmiştir. 3 ay ve daha uzun kuraklık olaylarının sayısı, en uzun ve en şiddetli kuraklık olayları, en şiddetli kurak aylar, en küçük ve en büyük SYİ ve KKİ değerleri belirlenmiştir. Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ serileri karşılaştırılmış ve bu değerlerin hem eğilimleri hem de değişim noktaları incelenmiştir.

Bu çalışma 5 bölüm halinde düzenlenmiştir. 2. bölümde çalışma alanı ve veriler hakkında bilgi verilmiş ve verilerin homojenliği kontrol edilmiş, 3. bölümde çalışmada kullanılan yöntemler tanıtılmış, 4. bölümde bulgular ve tartışma dört alt başlık altında verilmiş ve son olarak, 5. bölümde kuraklık değerlendirmesine yönelik genel sonuçlar sunulmuştur.

2. Çalışma Alanı ve Veri

Kırklareli ili, Türkiye'nin kuzeybatısında, en önemli tarımsal üretim merkezlerinden biri olan Trakya bölgesinde yer almaktadır. İlin sınırları 41°44'-42°00' kuzey enlemleri ile 26°53'-41°44' doğu boylamları arasında kalmaktadır. Kuzeyinde Bulgaristan, güneyinde Tekirdağ, batısında Edirne, doğusunda Karadeniz ile komşudur. Karadeniz kıyılarına paralel uzanan, zengin bir orman varlığına sahip olan Yıldız dağları olarak da bilinen Istranca dağlarının çok büyük bir bölümü il sınırları içinde bulunmaktadır. 2022 yılı verilerine göre yaklaşık 370 bin toplam nüfusu ve yaklaşık 6500 km² toplam yüzölçümü vardır. İl merkezi ve yakın çevresinin deniz seviyesinden yüksekliği yaklaşık 200 m'dir. Genellikle karasal iklim özellikleri görülen ilde, yazları sıcak ve kurak, kışları ise soğuk ve yağmur ile zaman zaman kar yağışlı geçmektedir. İlin ekonomisi, genelde tarıma dayanmaktadır. İl topraklarının %39'u tarım arazisi olup tarım yapılan arazinin sadece %18'lik bölümünde sulama yapılabilmektedir (URL-4 2021; URL-5 2022).

Bu çalışmada, Kırklareli il merkezinde 41°44' kuzey ve 27°13' doğu koordinatlarında bulunan 17052 numaralı Kırklareli meteoroloji istasyonuna ait aylık toplam yağış, aylık minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Kırklareli meteoroloji istasyonunun konumu Şekil 1'de gösterilmiştir. Çalışma periyodu olarak 1960-2021 su yılları arasındaki (Ekim 1959-Eylül 2021) 62 yıllık dönem seçilmiştir. Bu dönem boyunca aylık meteorolojik verilere ait istatistiksel bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Verilerdeki eksik olan aylık değerler, ilgili aya ait uzun dönem ortalaması kullanılarak tamamlanmıştır.

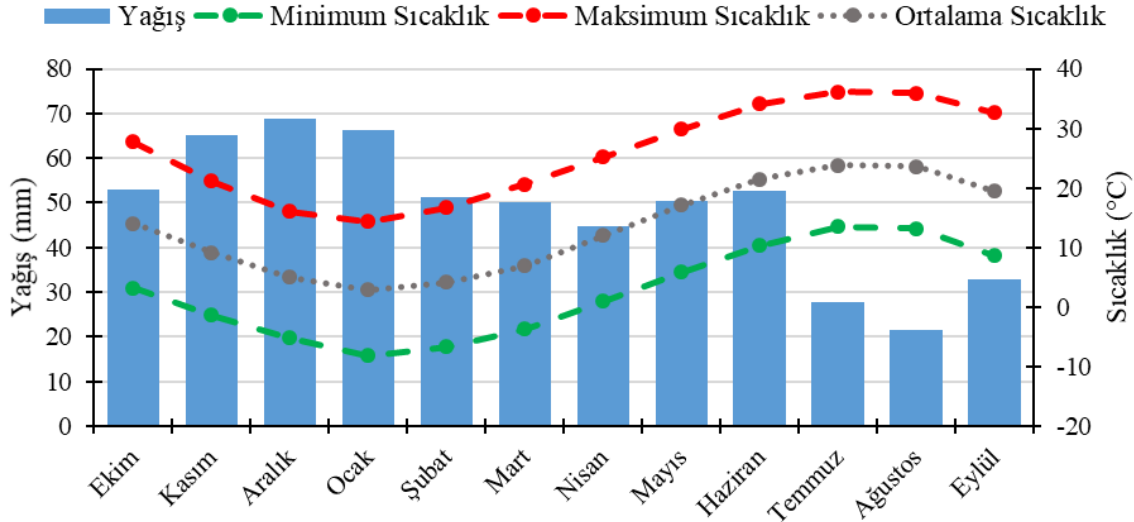


Şekil 1: Kırklareli meteoroloji istasyonunun konumu

Tablo 1: Çalışmada kullanılan meteorolojik verilere ait istatistiksel bilgiler (Ekim 1959-Eylül 2021)

İstatistik	Aylık Toplam Yağış (mm)	Aylık Ortalama Sıcaklık (°C)	Aylık Minimum Sıcaklık (°C)	Aylık Maksimum Sıcaklık (°C)
Ortalama	48.70	13.30	2.55	25.87
Standart Sapma	38.56	7.62	7.80	8.05
Minimum	0.00	-1.70	-15.80	9.00
Maksimum	232.90	28.10	17.90	42.50
Çarpıklık (C _s)	1.16	0.01	-0.04	-0.08
Değişim Katsayısı (C _v)	0.79	0.57	3.06	0.31
Eksiklik (%)	1.48	0.54	4.17	0.54

Şekil 2, uzun dönem ortalama aylık toplam yağış ve sıcaklık verilerinin aylara göre değişimini göstermektedir. Ekim 1959-Eylül 2021 çalışma periyoduna ait iklim grafiğinden görülebileceği gibi, en yüksek ortalama aylık toplam yağış miktarı 68.81 mm ile Aralık ayı, en düşük ortalama aylık toplam yağış miktarı 21.54 mm ile Ağustos ayıdır. En sıcak ay 36.14 °C maksimum sıcaklık ile Temmuz ayı ve en soğuk ay -8.16 °C minimum sıcaklık ile Ocak ayıdır.



Şekil 2: Kırklareli ilinin iklim grafiği (Ekim 1959-Eylül 2021)

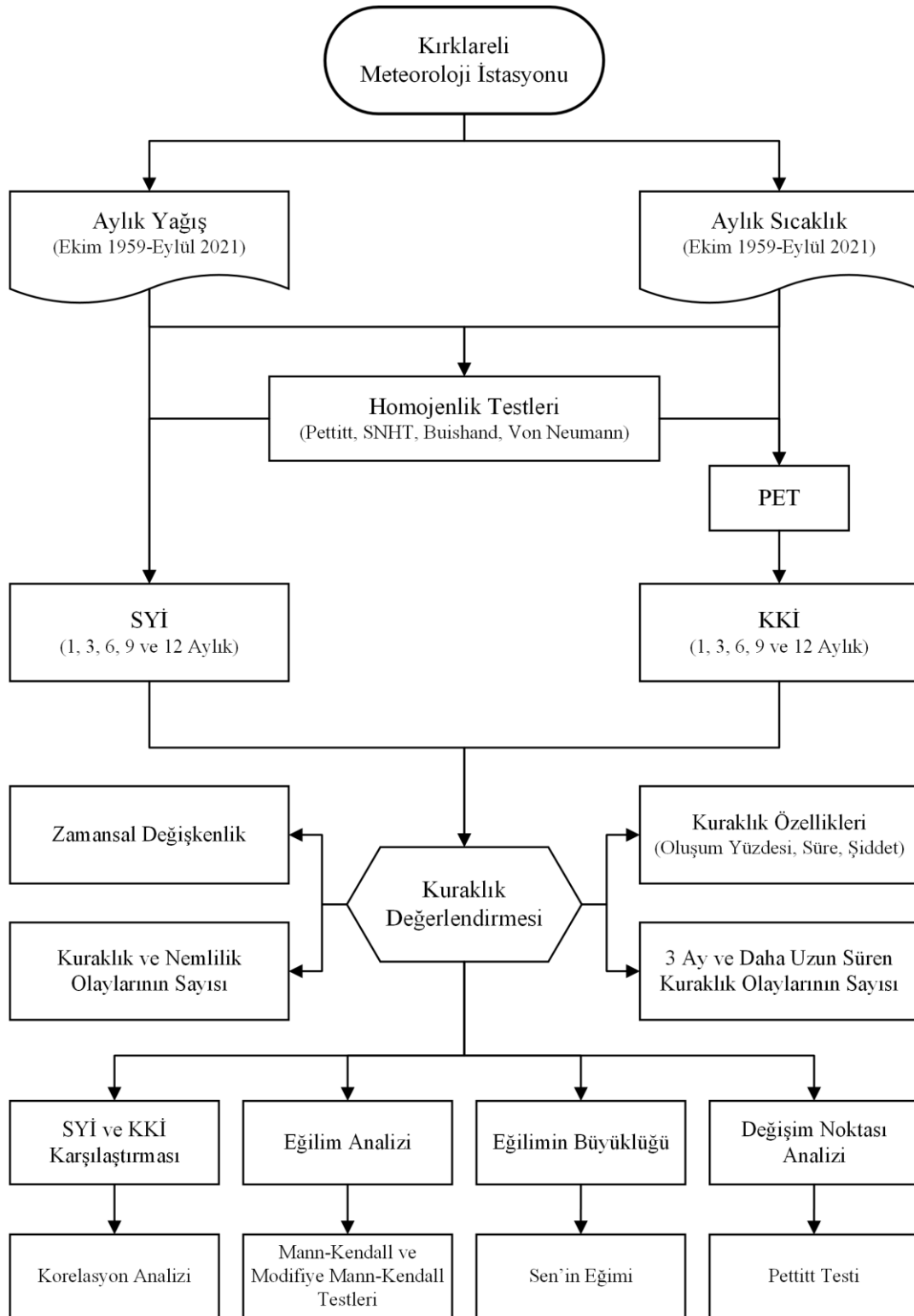
Homojenlik testleri, kuraklık gibi iklimle ilgili çalışmalarda en önemli analizlerden biridir. Güvenilir olmayan gözlenen meteorolojik verilerin iklimle ilgili çalışmalarda kullanılması yanlış sonuçlara ve çıkarımlara neden olabileceğinden öncelikle verilerin homojenliği kontrol edilmelidir. Çalışmada kullanılan aylık toplam yağış, aylık minimum, maksimum ve ortalama sıcaklık verilerinin ve Hargreaves-Samani yöntemi ile hesaplanan PET değerlerinin homojenliği XLSTAT yazılımında Pettitt testi, Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT), Buishand testi ve Von Neumann testi olmak üzere dört homojenlik testi kullanılarak kontrol edilmiştir. Tablo 2, %5 anlamlılık düzeyinde elde edilen homojenlik testlerinin sonuçlarını göstermektedir. H_0 ve H_1 sırasıyla sıfır hipotezi ve sıfır hipotezine karşı test edilen hipotez yani alternatif hipotez olarak adlandırılmaktadır. Dört testten en fazla bir tanesi H_0 hipotezini reddederse “homojen”, iki tanesi H_0 hipotezini reddederse “şüpheli”, en az üç tanesi H_0 hipotezini reddederse “homojen değil” olarak sonuçlar değerlendirilebilir (Wijngaard vd. 2003). Buna göre, çalışmada kullanılan meteorolojik verilerin ve hesaplanan PET değerlerinin homojen olduğu belirlenmiştir.

Tablo 2: Çalışmada kullanılan meteorolojik verilere ait homojenlik test sonuçları

Değişken	Pettitt Testi		SNHT		Buishand Testi		Von Neumann Testi		Sonuç
	p değeri	Sonuç	p değeri	Sonuç	p değeri	Sonuç	p değeri	Sonuç	
Yağış	0.739	H_0	0.287	H_0	0.140	H_0	0.0002	H_1	Homojen
Ortalama Sıcaklık	0.112	H_0	0.094	H_0	0.082	H_0	< 0.0001	H_1	Homojen
Minimum Sıcaklık	0.453	H_0	0.294	H_0	0.226	H_0	< 0.0001	H_1	Homojen
Maksimum Sıcaklık	0.193	H_0	0.212	H_0	0.100	H_0	< 0.0001	H_1	Homojen
PET	0.701	H_0	0.252	H_0	0.707	H_0	< 0.0001	H_1	Homojen

3. Yöntem

Şekil 3'te çalışmanın iş akışı şeması gösterilmiştir. Buna göre ilk olarak, çalışmada kullanılan aylık yağış ve sıcaklık verilerinin homojenliği kontrol edilmiştir. Ardından, minimum, ortalama ve maksimum sıcaklık verileri kullanılarak potansiyel evapotranspirasyon (PET) hesaplanmıştır. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ) ve Keşif Kuraklık İndeksi (KKİ)'nin 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerindeki değerlerine göre zamansal değişkenlik, kuraklık olaylarının oluşum yüzdesi, süresi ve şiddeti gibi kuraklık özellikleri incelenmiştir. SYİ ve KKİ değerlerine gidiş (run) analizi uygulanarak en uzun kurak dönemler, en şiddetli kurak dönemler, en küçük ve en büyük kuraklık şiddetleri belirlenmiştir. Kuraklık ve nemlilik olaylarının sayısı, 3 ay ve daha uzun süren kurak dönemlerin sayısı belirlenmiştir. Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ serileri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Son olarak, iklim değişikliği ve kuraklığın su kaynakları üzerindeki etkisini incelemek için SYİ ve KKİ serilerinin eğilimlerini belirlemede Mann-Kendall (MK) ve modifiye Mann-Kendall (mMK) testleri, eğilimin büyüklüğünü belirlemede Sen'in eğimi, değişim noktalarının tespitinde Pettitt testi kullanılmıştır.



Şekil 3: Çalışmanın iş akış şeması

3.1. Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) Hesabı

Literatürde PET hesaplamak için çok sayıda yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden Hargreaves-Samani, Thornthwaite ve Blaney-Criddle yöntemleri sıcaklığa, Penman-Monteith, Priestley-Taylor, Makkink, Turc ve Jensen Hais yöntemleri ise radyasyona dayanmaktadır (Abro vd. 2022). Güneş radyasyonu, rüzgar hızı ve bağıl nem gibi meteorolojik değişkenlerin ölçülmediği veya ölçülemediği yerlerde, yalnızca aylık ortalama sıcaklığa dayalı olarak hesaplanan Thornthwaite yöntemi (Thornthwaite 1948) yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu yöntem sıcaklığın 0 °C veya altında olduğu aylarda PET değerini 0 olarak hesapladığı için bu durum yanıltıcı olabilmektedir (Rhee ve Im 2017). Bu nedenle Hargreaves-Samani yöntemi güvenilir bir alternatif olarak önerilmektedir (Hargreaves ve Samani 1985). Çalışmada kullanılan verilerde 0 °C altında sıcaklıklar bulunduğu için, Hargreaves-Samani yöntemi seçilerek PET değerleri Denklem 1 ile hesaplanmıştır.

$$PET = 0.0023 * 0.408 * R_a (T_{ort} + 17.8) * TD^{0.50} \quad (1)$$

Burada, PET, hesaplanan potansiyel evapotranspirasyon (mm); R_a , enleme bağlı dünya dışı (ekstraterrestrial) radyasyon miktarı (MJ/m²/gün); T_{ort} , aylık ortalama sıcaklık (°C); TD , aylık maksimum ve minimum sıcaklıkların farkıdır (°C). 0.408 katsayısı MJ/m²/gün biriminde ifade edilen radyasyonu mm/gün biriminde eş değer buharlaşmaya dönüştürmek için kullanılmaktadır.

3.2. Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SYİ)

SYİ, McKee vd. (1993) tarafından kuraklık özelliklerini analiz etmek için geliştirilen bir kuraklık indeksidir. Bu indeks ile kuraklık olaylarının oluşum yüzdesi, süresi ve şiddeti tespit edilebilmektedir. Dünya Meteoroloji Örgütü, kurak dönemlerin başlangıcının ve sona ermesinin etkili bir şekilde izlenmesi için SYİ'nin kullanılmasını tavsiye etmektedir (WMO 2006). SYİ'nin hesabı için yağış verisi dışında başka herhangi bir hidrometeorolojik veriye ihtiyaç yoktur ve birden fazla zaman ölçeğinde hesaplanabilmektedir. Bu nedenle diğer kuraklık indekslerine göre daha yaygın olarak kullanılmaktadır (Hayes vd. 2011; Zhong vd. 2019).

SYİ'nin hesaplanması, bir olasılık dağılımına uyan uzun vadeli yağış verilerine dayanmaktadır. Dolayısıyla, yağış verileri ortalaması 0 ve standart sapması 1 olan standart normal dağılıma dönüştürülmektedir (McKee 1993; Edwards ve McKee 1997). Tigkas vd. (2015), SYİ hesabını kapsamlı ve aşamalı olarak ele almışlardır. Birçok çalışmada, yağış verilerine en uygun olasılık dağılım fonksiyonu olarak gamma dağılımı önerilmiştir (Tigkas vd. 2013; Marini vd. 2019; Pathak ve Dodamani 2020; Abro vd. 2022). Ayrıca, SYİ hesaplamaları için en az 30 yıllık yağış verilerinin mevcut olması önerilmektedir (Pathak ve Dodamani 2020; Dehghani vd. 2022).

Farklı şiddet seviyelerine sahip kuraklık ve nemlilik olaylarının tanımlanması için kullanılan sınıflandırma Tablo 3'te gösterilmiştir. Nemli sınıflar hafif nemli, orta nemli, çok nemli ve aşırı nemli olmak üzere dört sınıfa, kurak sınıflar ise hafif kurak, orta kurak, şiddetli kurak ve aşırı kurak olmak üzere dört sınıfa ayrılmıştır (McKee vd. 1993). Buna göre, SYİ değeri 0'dan küçük olduğunda kuraklık olayı oluşmakta ve SYİ değeri pozitif olduğunda ise kuraklık olayı sona ermektedir.

Tablo 3: SYİ değerlerine göre sınıflandırma (McKee vd. 1993)

SYİ Değerleri	Sınıf
2.00 ve üzeri	Aşırı nemli
1.50 ile 1.99 arası	Çok nemli
1.00 ile 1.49 arası	Orta nemli
0.00 ile 0.99 arası	Hafif nemli
-0.99 ile 0.00 arası	Hafif kurak
-1.49 ile -1.00 arası	Orta kurak
-1.99 ile -1.50 arası	Şiddetli kurak
-2.00 ve daha az	Aşırı kurak

SYİ farklı kuraklık türlerini temsil edebilen 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 ay için hesaplanabilmektedir. Örneğin, Temmuz ayının 1 aylık SYİ (SYİ-1) değeri hesaplanırken sadece Temmuz ayı yağışına, Temmuz ayının 3 aylık SYİ (SYİ-3) değeri hesaplanırken Temmuz, Haziran ve Mayıs aylarının toplam yağışına ihtiyaç vardır. Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ, su kaynaklarındaki çeşitli değişiklikleri göstermeye yardımcı olabilmektedir (Pramudya ve Onishi 2018). Meteorolojik kuraklığı izlemek için daha kısa bir zaman ölçeği olan 1 aylık veya 3 aylık, tarımsal kuraklığı izlemek için ise genellikle 6 aylık veya 9 aylık zaman ölçeği kullanılabilir. 12 veya 24 ay gibi daha uzun bir zaman ölçeği hidrolojik kuraklığı izlemek için daha uygun olabilmektedir (Mishra ve Singh 2010; Svoboda vd. 2016). Zaman ölçeklerine göre elde edilen sonuçların farklı yorumlanması gerekmektedir. Örneğin, kısa zaman ölçeklerinde, SYİ bitki gelişimini doğrudan etkileyen toprak nemi ile yakından ilişkilendirilirken, daha uzun zaman ölçeklerinde ise yeraltı suyu akışı ile ilgili olabilmektedir (Yerdelen vd. 2021). Bu çalışmada SYİ değerleri 62 yıllık çalışma periyodunun her bir ayı için 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde gamma dağılımı kullanılarak hesaplanmıştır. Burada zaman ölçeği ile ifade edilen, ilgili zaman ölçeğindeki son aydan başlayarak geriye doğru hesaba katılan ay sayısıdır. Örneğin, 2020 yılı Aralık ayının 3 aylık zaman ölçeğindeki kuraklık olayını gösteren SYİ-3 değerini hesaplamak için 2020 yılı Ekim ayı ile 2020 yılı Aralık ayı arasındaki yağış toplamı kullanılmıştır. Aynı şekilde, 2020 yılı Ekim ayının 12 aylık zaman ölçeğindeki kuraklık olayını gösteren SYİ-12 değerini hesaplamak için 2019 yılı Kasım ayı ile 2020 yılı Ekim ayı arasındaki yağış toplamı kullanılmıştır.

3.3. Keşif Kuraklık İndeksi (KKİ)

Kuraklık şiddetinin değerlendirilmesi için [Tsakiris ve Vangelis \(2005\)](#) tarafından önerilen KKİ, yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) verilerine dayalı olarak hesaplanmaktadır. KKİ'nin yağışla birlikte PET'i de hesaba kattığı için, kuraklık koşullarının daha gerçekçi bir temsili sağladığı düşünülebilir ([Engdaw vd. 2022](#)). KKİ'nin hesaplanması, SYİ'ye benzer bir prosedür izlediğinden SYİ ile aynı sınıflandırma kullanılabilir (Tablo 4). KKİ'nin pozitif değerleri nemlilik olaylarını, negatif değerleri ise kuraklık olaylarını göstermektedir.

Tablo 4: KKİ değerlerine göre sınıflandırma ([Tsakiris vd. 2007](#))

KKİ Değerleri	Sınıf
2.00 ve üzeri	Aşırı nemli
1.50 ile 1.99 arası	Çok nemli
1.00 ile 1.49 arası	Orta nemli
0.00 ile 0.99 arası	Hafif nemli
-0.99 ile 0.00 arası	Hafif kurak
-1.49 ile -1.00 arası	Orta kurak
-1.99 ile -1.50 arası	Şiddetli kurak
-2.00 ve daha az	Aşırı kurak

KKİ, üç biçimde ifade edilmektedir. KKİ'nin ilk ifadesi başlangıç değeri (a_k), ikinci ifadesi normalleştirilmiş KKİ ($KKİ_n$) ve üçüncü ifadesi standartlaştırılmış KKİ ($KKİ_{std}$) olarak adlandırılmaktadır. KKİ'nin başlangıç değeri olan a_k , ardışık ay bazında i . yıl için Denklem 2 kullanılarak hesaplanır.

$$a_k^{(i)} = \frac{\sum_{j=1}^k P_{ij}}{\sum_{j=1}^k PET_{ij}}, i = 1:N, j = 1:k \quad (2)$$

Burada, P_{ij} ve PET_{ij} sırasıyla i . yılın j . ayının yağış ve PET değeridir (Ekim ayı için $k=1$, Eylül ayı için $k=12$) ve N , mevcut veriler için toplam yıl sayısıdır. Normalleştirilmiş KKİ ($KKİ_n$), Denklem 3 kullanılarak hesaplanır.

$$KKİ_n^{(i)} = \frac{a_k^{(i)}}{\bar{a}_k} - 1 \quad (3)$$

Burada, \bar{a}_k , a_k değerlerinin aritmetik ortalamasıdır. Standartlaştırılmış KKİ'nin ($KKİ_{std}$) ilk formülasyonunda ([Tsakiris ve Vangelis 2005](#)), a_k değerlerinin lognormal dağılımı takip ettiği varsayımı kullanılmıştır. Bu nedenle $KKİ_{std}$, Denklem 4'teki gibi hesaplanır.

$$KKİ_{std}^{(i)} = \frac{y_k^{(i)} - \bar{y}_k}{\sigma_{y_k}} \quad (4)$$

Burada, y_k , a_k 'nın doğal logaritması ($\ln(a_k^{(i)})$); \bar{y}_k , y_k 'nin aritmetik ortalaması; σ_{y_k} , y_k 'nin standart sapmasıdır. Çalışmada KKİ, $KKİ_{std}$ 'yi temsil etmektedir.

Çeşitli konumlarda ve farklı zaman ölçeklerinde yapılan kapsamlı bir araştırmaya göre, a_k değerlerinin hem lognormal hem de gamma dağılımlarını takip ettiği belirlenmiştir ([Tsakiris vd. 2008](#)). Ancak çoğu durumda gamma dağılımı daha başarılı bulunmuştur ([Tsakiris ve Vangelis 2005](#); [Tabrizi vd. 2010](#); [Asadi Zarch vd. 2011](#); [Vangelis vd. 2013](#)). Bu nedenle, bu çalışmada a_k değerleri gamma dağılımına uydurularak $KKİ_{std}$ değerleri elde edilmiştir.

3.4. Korelasyon Analizi

Korelasyon analizi, değişkenler arasında doğrusal bir ilişki olup olmadığını test etmek, eğer bir ilişki varsa değişkenler arasındaki bu ilişkinin yönünü ve şiddetini ölçmek için kullanılan istatistiksel bir yöntemdir. Bu ilişkinin yönü ve şiddeti korelasyon katsayısı ile belirlenmektedir. Çalışmada veriler normal dağılıma uygunluk gösterdiğinden korelasyon analizi için Denklem 5 ile verilen Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır.

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

Burada, r , Pearson korelasyon katsayısıdır. Bu katsayı iki değişken arasındaki doğrusal ilişkiyi ölçmekte ve -1 ile 1 arasında değerler almaktadır. Korelasyon katsayısının mutlak değeri 0'a yaklaşırsa iki değişken arasındaki doğrusal ilişki azalmakta, mutlak değeri 1'e yaklaşırsa iki değişken arasındaki doğrusal ilişki artmaktadır (Yang vd. 2021).

3.5. Mann-Kendall Testi

Mann (1945) ve Kendall (1975), zaman serisindeki eğilimleri belirlemek için Mann-Kendall (MK) testini önermişlerdir. Bu yöntemin, eksik veriler olduğunda da kullanılabilmesi ve verilerin belirli bir dağılıma uyma zorunluluğunu aramaması gibi avantajları vardır. MK testinin S istatistiği, Denklem 6 kullanılarak hesaplanır.

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (6)$$

Burada, N , zaman serisinin uzunluğunu; x_i ve x_j sırasıyla serinin i . ve j . değerlerini temsil eder ($j > i$). Bu denklemdeki $\text{sgn}(x_j - x_i)$ işaret fonksiyonu, Denklem 7'deki gibi hesaplanır.

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1 & \text{eğer } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{eğer } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{eğer } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

S istatistiğinin normal dağılıma ve sıfır ortalamaya sahip varyansı ($\text{Var}(S)$) Denklem 8 ile hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (8)$$

Burada m , serideki bağlı grupların sayısıdır ve t_i , i kapsamındaki bağların sayısını gösterir. Bağlı bir grup, aynı değere sahip bir örnek veri kümesidir. Bağlı gruplar mevcut değilse, bu toplama işlemi denklemden çıkarılır. Daha sonra, MK testinin Z istatistiği, Denklem 9'daki gibi hesaplanır.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{eğer } S > 0 \\ 0 & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

Z 'nin pozitif değerleri artan eğilimleri, negatif değerleri azalan eğilimleri gösterir. Eğilimlerin testi, belirli bir α anlamlılık düzeyinde yapılır. Bu çalışmada anlamlılık düzeyi $\alpha=0.05$ kullanılmıştır. $|Z| > Z_{1-\alpha/2}$ olduğunda sıfır hipotezi reddedilir ve zaman serilerinde α anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim olduğu söylenir. $Z_{1-\alpha/2}$ terimi, standart normal dağılım tablosundaki Z 'nin kritik değeridir. ($\alpha=0.05$, $Z_{1-\alpha/2}=1.96$).

Zaman serilerindeki içsel bağımlılık MK testi ile yapılan eğilim testinin sonucunu etkilemektedir (Yue vd. 2002; Önöz ve Bayazit 2003). Bu nedenle MK testi uygulanmadan önce içsel bağımlılığın etkisinin giderilmesi amacıyla literatürde ön beyazlatma (prewhitening) (Von Storch 1995), varyans düzeltme (variance correction) (Hamed ve Rao 1998; Yue ve Wang 2004) gibi yaklaşımlar önerilmiştir. Zaman serilerindeki içsel bağımlılık otokorelasyon katsayıları ile ölçülebilir. Otokorelasyon, bir zaman serisi ile kendisinin gecikmeli serileri arasındaki doğrusal ilişkiyi gösterir. Bir zaman serisinin otokorelasyon katsayıları %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı değilse yani %95 güven aralıkları içinde kalıyorsa herhangi bir ön işlem yapılmadan MK testi seriyeye uygulanabilir. Aksi takdirde, otokorelasyon katsayılarının etkisi dikkate alınarak modifiye MK (mMK) testi kullanılabilir. Bu yöntemin hesaplama süreci, MK testine benzerdir. Ancak, mMK testinde Denklem 9'daki MK testinin Z istatistiğini hesaplamak için varyansın düzeltilmesi gerekir (Hamed ve Rao 1998; Yue ve Wang 2004; Önöz ve Bayazit 2012).

3.6. Sen'in Eğimi

Sen'in eğimi, bir zaman serisindeki eğilimin büyüklüğünü ölçmek için Sen (1968) tarafından önerilmiştir. Eğilimin büyüklüğü Denklem 10 ile elde edilir.

$$Q_i = \frac{x_j - x_i}{j - i}, i = 1: N \quad (10)$$

Burada, x_i ve x_j sırasıyla serinin i . ve j . değerlerini temsil eder ($j > i$). Sen'in eğimi, Q_i 'nin N değerlerinin ortancasıdır (medyan). Q_i 'nin N değerleri küçükten büyüğe doğru sıralanır ve Sen'in eğimi, N tek ise Denklem 11 ile, N çift ise, Denklem 12 ile hesaplanır.

$$Q_{med} = \frac{Q_{N+1}}{2} \quad (11)$$

$$Q_{med} = \frac{\frac{Q_N}{2} + \frac{Q_{N+2}}{2}}{2} \quad (12)$$

Q_{med} 'in pozitif ve negatif değerleri, sırasıyla artan ve azalan eğilimleri gösterir.

3.7. Pettitt Testi

Değişim noktasının tespiti, bir zaman serisinde bir değişikliğin meydana gelip gelmediğini ve tam olarak ne zaman önemli bir değişiklik olduğunu belirlemek için önemlidir. Pettitt testi (Pettitt 1979), bir zaman serisi içindeki ani değişimleri belirlemek için güçlü bir istatistiksel testtir. Değişimin tam zamanı bilinmediğinde, bir zaman serisinin ortalamasında önemli bir değişim tespit etmektedir. Hidroloji, meteoroloji, kuraklık gibi alanlardaki zaman serilerinde tek bir değişim noktası belirlemek için Pettitt testi yaygın olarak kullanılmaktadır (Aksu vd. 2022; Katipoğlu 2022). Bu çalışmada, SYİ ve KKİ serilerindeki değişim noktalarını tespit etmek için Pettitt testi kullanılmıştır. Rybski ve Neumann (2011), bu testin hesaplama detaylarını açıklamıştır.

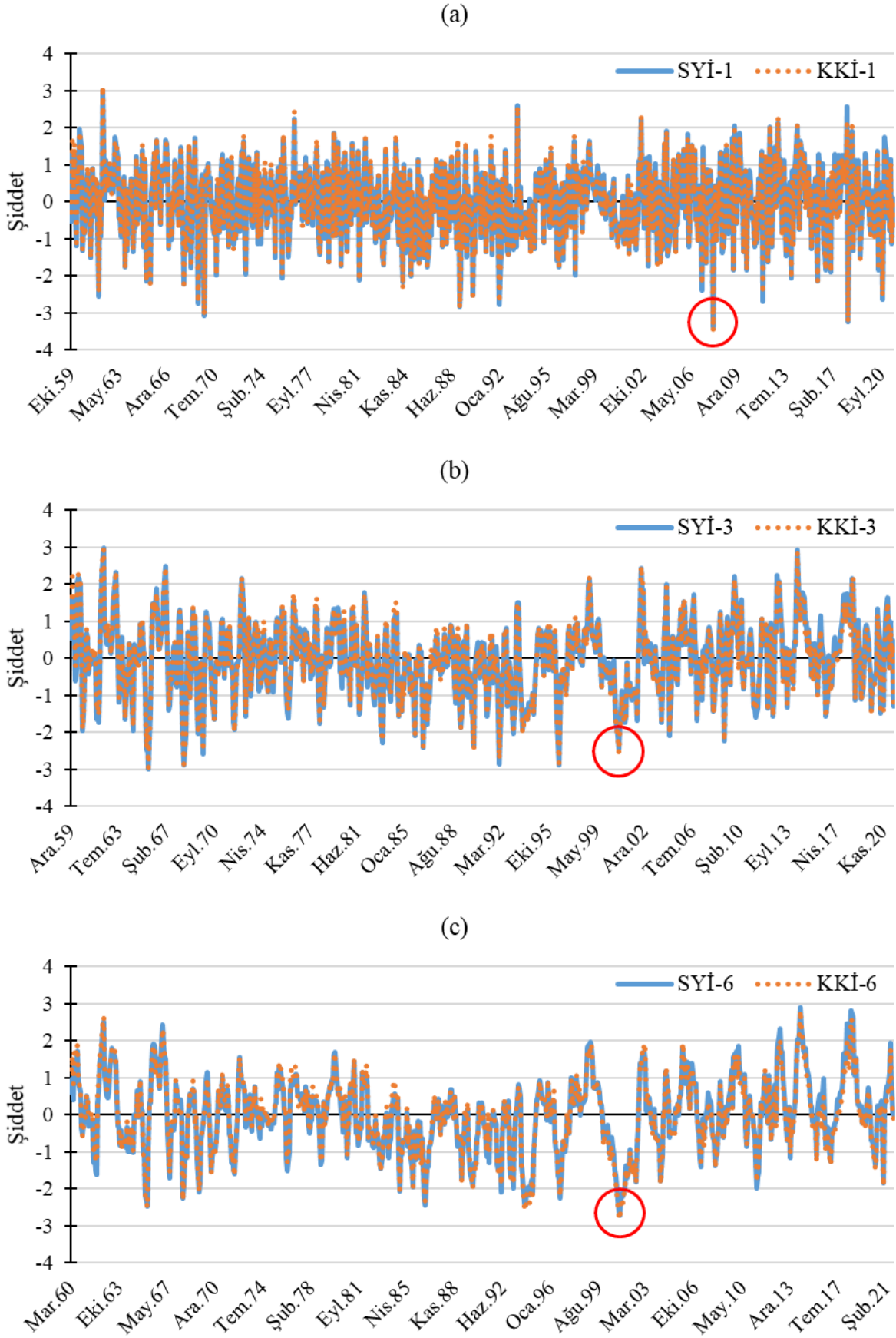
4. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada, Kırklareli ilinde 1960-2021 su yılları arasında oluşan kuraklık olaylarını tespit etmek, kuraklığın zamansal değişkenliğini incelemek ve kuraklık özelliklerini belirlemek amacıyla farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ değerleri hesaplanmıştır. SYİ, KKİ ve PET değerlerini hesaplamak için DrinC (Drought Indices Calculator) yazılımı (Tigkas vd. 2015), Mann-Kendall ve Pettitt testlerini uygulamak için XLSTAT yazılımı kullanılmıştır. Su yılı (Ekim'den Eylül'e) esas alınarak 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde analizler yapılmıştır. 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeğindeki SYİ'ler sırasıyla SYİ-1, SYİ-3, SYİ-6, SYİ-9 ve SYİ-12, benzer şekilde KKİ'ler sırasıyla KKİ-1, KKİ-3, KKİ-6, KKİ-9 ve KKİ-12 olarak adlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda sırasıyla kuraklığın zamansal değişkenliği, kuraklık özelliklerinin belirlenmesi, korelasyon analizi, eğilim ve değişim noktası analizi başlıklarında sunulmuş ve yorumlanmıştır.

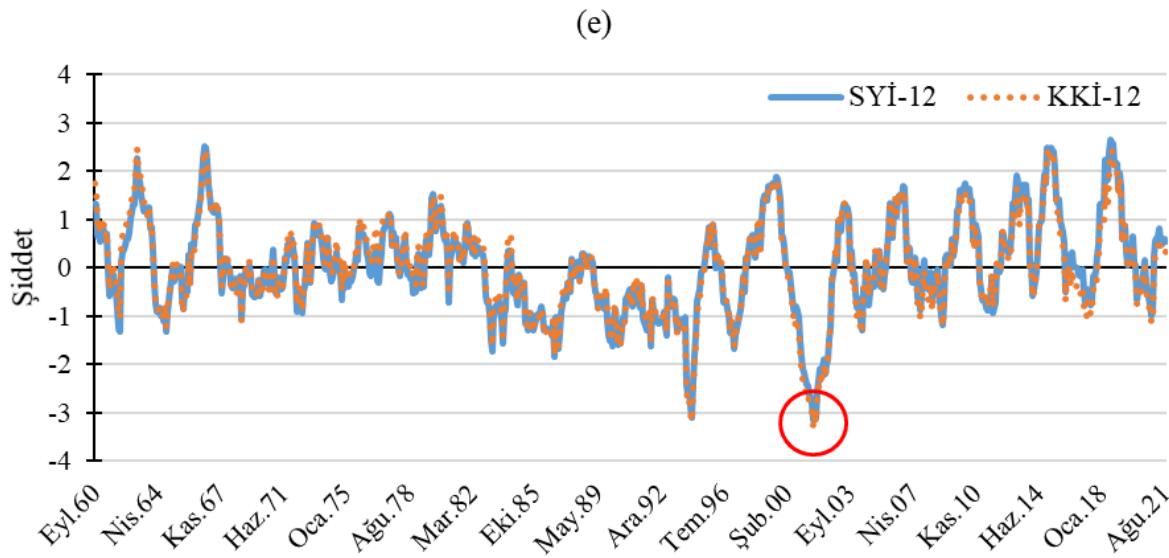
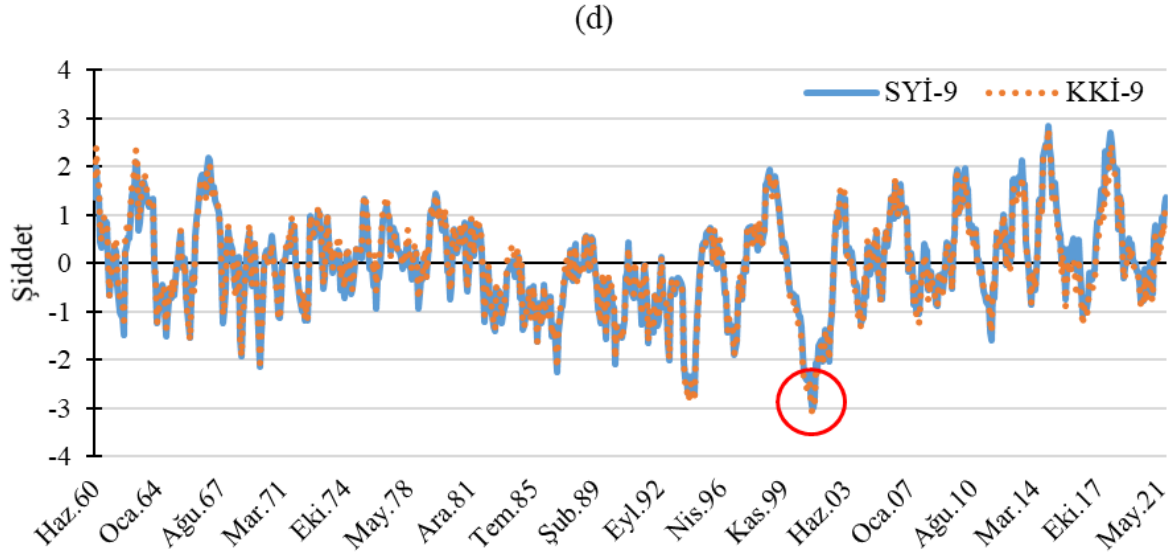
4.1. Kuraklığın Zamansal Değişkenliği

1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde hesaplanan SYİ ve KKİ serilerinin zamansal değişkenliği Şekil 4'te gösterilmiştir. Sıfırın altındaki indeks değerleri kuraklık olaylarını, sıfırın üstündeki indeks değerleri ise nemlilik olaylarını temsil etmektedir. Şekil 4'te görüldüğü gibi, 1 ve 3 ay gibi daha kısa zaman ölçeklerinde, SYİ ve KKİ değerleri sık sık sıfır çizgisinin üstünde ve altında dalgalanmış ve uzun süreli kuraklık veya nemlilik olayı tespit edilmemiştir. Zaman ölçeği arttıkça (1 aydan 12 aya doğru gidildikçe), kuraklık olaylarının sayısının azaldığı, zaman serilerinde daha az ani değişiklik olduğu görülmüştür. Bununla birlikte, zaman ölçekleri arttıkça kuraklık sürelerinin arttığı ve kuraklığın daha belirgin hale geldiği gözlenmiştir.

SYİ ve KKİ değerleri genel olarak birbirine benzemekle birlikte indekslerin şiddeti açısından bazı farklılıklar bulunmaktadır. Hem SYİ hem de KKİ'nin aynı olayı kuraklık olarak tanımladığı durumlar için 1 aylık zaman ölçeğinde 336 kuraklık olayının 171'inde (Şekil 4a) ve 12 aylık zaman ölçeğinde 351 kuraklık olayının 177'sinde (Şekil 4e) SYİ'ye göre kuraklığın şiddeti daha büyüktür. Diğer yandan, 3 aylık zaman ölçeğinde 352 kuraklık olayının 178'inde (Şekil 4b) ve 6 aylık zaman ölçeğinde 334 kuraklık olayının 176'sında (Şekil 4c) KKİ'ye göre kuraklığın şiddeti daha büyüktür. 9 aylık zaman ölçeğinde 350 kuraklık olayının yarısında SYİ ile, diğer yarısında ise KKİ ile daha büyük şiddetli kuraklık olayı tanımlanmıştır (Şekil 4d).



Şekil 4: SYİ ve KKI serilerinin karşılaştırılması: (a) 1 aylık (b) 3 aylık (c) 6 aylık (d) 9 aylık (e) 12 aylık



Şekil 4'ün devamı

Şiddetli ve aşırı kuraklık olayları için (-1.5 ve daha küçük), 1 aylık zaman ölçeği hariç genellikle daha şiddetli kuraklık olayları KKİ ile tanımlanmıştır. İki indeks değerinin de -1.5 ve daha küçük olduğu durumlar için 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde sırasıyla 46, 53, 50, 42 ve 34 adet şiddetli ve aşırı kuraklık olayı tespit edilmiştir. Bu durumlar için, SYİ-1 ile 29, KKİ-3 ile 27, KKİ-6 ile 33, KKİ-9 ile 30 ve KKİ-12 ile 26 kuraklık olayının şiddeti daha büyük elde edilmiştir. Bu durumların bazıları Şekil 4'te kırmızı yuvarlak içinde gösterilmiştir. Örneğin, 2008 yılı Şubat ayı SYİ-1 değeri -3.38 iken KKİ-1 değeri -3.48 'dir. 2001 yılı Ocak ayı SYİ-3 değeri -2.45 iken KKİ-3 değeri -2.56 'dır. 2001 yılı Mart ayı SYİ-6 değeri -2.72 iken KKİ-6 değeri -2.83 'tür. 2001 yılı Haziran ayı SYİ-9 değeri -2.98 iken KKİ-9 değeri -3.09 'dur. 2001 yılı Ağustos ayı SYİ-12 değeri -3.16 iken KKİ-12 değeri -3.28 'dir. Bu durum özellikle şiddetli ve aşırı kuraklık olaylarını tespit etmede KKİ'nin SYİ'ye göre daha hassas olduğunu ve uç (ekstrem) değerleri daha iyi temsil ettiğini göstermiştir.

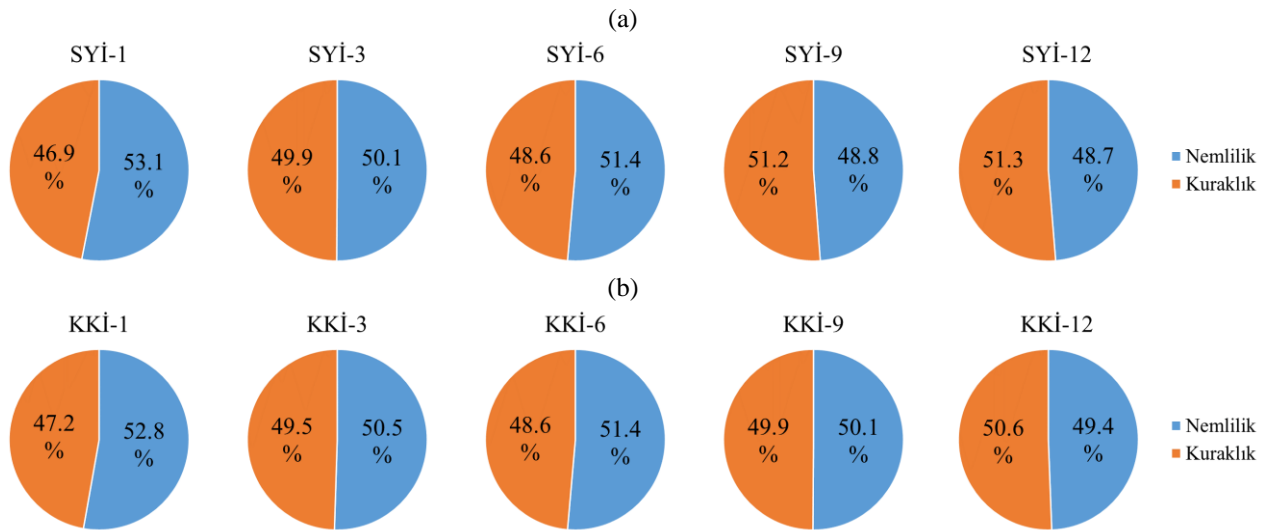
SYİ-1 ve KKİ-1 değerleri sırasıyla $[-3.38, +3.02]$ ve $[-3.48, +3.13]$ aralığında değişirken iki indeks için de en küçük negatif değer 2008 yılı Şubat ayında, en büyük pozitif değer 1962 yılı Mart ayında gözlenmiştir. SYİ-3 ve KKİ-3 değerleri sırasıyla $[-2.99, +3.00]$ ve $[-2.98, +2.97]$ aralığında değişirken iki indeks için de en küçük negatif değer 1965 yılı Ekim ayında, en büyük pozitif değer 1962 yılı Mayıs ayında gözlenmiştir. SYİ-6 ve KKİ-6 değerleri sırasıyla $[-2.72, +2.91]$ ve $[-2.83, +2.81]$ aralığında değişirken iki indeks için de en küçük negatif değer 2001 yılı Mart ayında, en büyük pozitif değer 2014 yılı Eylül ayında gözlenmiştir. SYİ-9 ve KKİ-9 değerleri sırasıyla $[-2.98, +2.84]$ ve $[-3.09, +2.79]$ aralığında değişirken en küçük negatif SYİ-9 ve KKİ-9 değerleri sırasıyla 2001 yılı Temmuz ve 2001 yılı Haziran aylarında, en büyük pozitif değer iki indeks için de 2014 yılı Aralık ayında gözlenmiştir.

SYİ-12 ve KKİ-12 değerleri sırasıyla $[-3.16, +2.66]$ ve $[-3.28, +2.47]$ aralığında değişirken iki indeks için de en küçük negatif değer 2001 yılı Ağustos ayında, en büyük pozitif SYİ-12 ve KKİ-12 değerleri sırasıyla 2018 yılı Temmuz ve 1963 yılı Şubat aylarında gözlenmiştir. İndeks değerlerinin -3 'ten küçük olduğu aşırı kuraklık olayları SYİ-1 ve KKİ-1 için aynı tarihlerde meydana gelmiştir. Bu tarihler 1969 yılı Ekim, 2008 yılı Şubat ve 2018 yılı Nisan aylarıdır. SYİ-3, KKİ-3, SYİ-6, KKİ-6 ve SYİ-9'da -3 'ten küçük indeks değeri gözlenmemiştir. KKİ-9 için 2001 yılı Haziran ve Temmuz aylarında, SYİ-12 ve KKİ-12'nin her ikisi için de 1994 yılı Eylül ayı, 2001 yılı Ağustos ve Ekim aylarında -3 'ten küçük indeks değerleri bulunmaktadır.

4.2. Kuraklık Özelliklerinin Belirlenmesi

Kuraklık indeksleri, kuraklığın etkisini değerlendirmek, kuraklık olaylarının oluşum yüzdesi, süresi ve şiddeti gibi kuraklık özelliklerini belirlemek için önemli bir araçtır (Adhyani vd. 2017). Kuraklık özellikleri Yevjevich (1967) tarafından önerilen gidiş (run) analizi kullanılarak belirlenmiştir. Kuraklık süresi, kuraklık olayının başlangıç ve bitiş ayı arasındaki ay sayısıdır. Bu süre, indeks değeri negatif olduğunda başlamakta ve indeks değeri pozitif olduğunda sona ermektedir. Kuraklık şiddeti ise, kuraklık süresi içindeki indeks değerlerinin kümülatif toplamıyla elde edilmektedir (Yevjevich 1967; Spinoni vd. 2014).

Kuraklık olaylarının oluşum yüzdesi, her bir zaman ölçeğindeki kuraklık olayları (hafif, orta, şiddetli veya aşırı) sayısının aynı zaman ölçeği ve kuraklık sınıfındaki toplam olayların (kuraklık ve nemlilik) sayısına bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Kuraklık oluşum yüzdesi, şiddeti ve süresinin hesaplamalarında indeks değerlerinin kuraklık veya nemlilik sınıfını belirlemek için eşik değer sıfır olarak kabul edilmiştir. Bir zaman ölçeğindeki kuraklık olaylarının oluşum sayısının, aynı kuraklık sınıfı ve zaman ölçeğindeki toplam kuraklık ve nemlilik olaylarının sayısına oranı olarak ifade edilen kuraklık olaylarının oluşum yüzdeleri Şekil 5'te gösterilmiştir. Kuraklık olaylarının oluşum yüzdeleri SYİ-1, SYİ-3, SYİ-6, SYİ-9, SYİ-12 için sırasıyla %46.9, %49.9, %48.6, %51.2, %51.3 (Şekil 5a) ve KKİ-1, KKİ-3, KKİ-6, KKİ-9, KKİ-12 için %47.2, %49.5, %48.6, %49.9, %50.6 (Şekil 5b) olarak hesaplanmıştır.



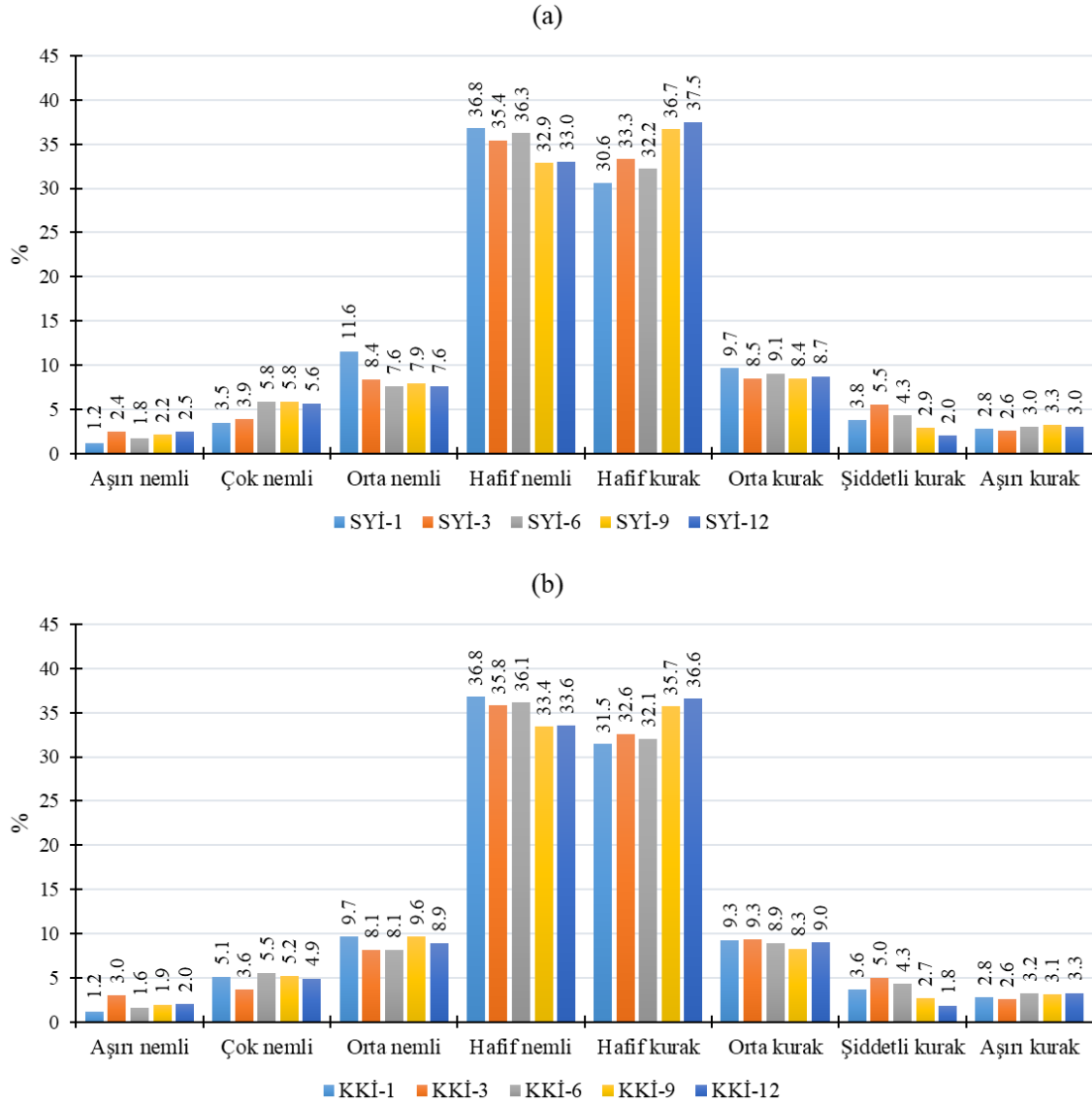
Şekil 5: Farklı zaman ölçeklerindeki (a) SYİ ve (b) KKİ için kuraklık ve nemlilik olaylarının oluşum yüzdeleri (%)

Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ değerlerinin farklı sınıflara göre kuraklık ve nemlilik olaylarının sayıları Tablo 5'te verilmiştir. SYİ-1, SYİ-3 ve SYİ-6'da nemlilik olayının sayısı kuraklık olayının sayısından fazlayken, SYİ-9 ve SYİ-12'de ise kuraklık olayının sayısı nemlilik olayının sayısından fazladır. KKİ-1, KKİ-3, KKİ-6 ve KKİ-9'da nemlilik olayının sayısı kuraklık olayının sayısından fazlayken, KKİ-12'de ise kuraklık olayının sayısı nemlilik olayının sayısından fazladır. Her iki indeks için de kuraklık ve nemlilik olaylarının sayıları aynı sınıflar için birbirine oldukça yakındır. Örneğin, aşırı kuraklık olaylarının sayısı SYİ-1, SYİ-3, SYİ-6, SYİ-9 ve SYİ-12 için sırasıyla 21, 19, 22, 24 ve 22 iken, KKİ-1, KKİ-3, KKİ-6, KKİ-9 ve KKİ-12 için sırasıyla 21, 19, 24, 23 ve 24'tür.

Şekil 6'da farklı zaman ölçeklerindeki kuraklık ve nemlilik olaylarının farklı sınıflara göre oluşum yüzdeleri gösterilmiştir. Her iki indeks için hafif kurak ve hafif nemli sınıfların oluşum yüzdelerinin diğer sınıflara kıyasla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Kuraklık açısından riskli olarak değerlendirilen aşırı kurak ve şiddetli kurak sınıfların oluşum yüzdelerinin toplamı SYİ'ler için %5.0-%8.1 arasında (Şekil 6a), KKİ'ler için %5.0-%7.6 arasında (Şekil 6b) değişmektedir. Aşırı nemli ve çok nemli sınıfların oluşum yüzdelerinin toplamı ise SYİ'ler için %4.7-%8.0 arasında (Şekil 6a), KKİ'ler için %6.3-%7.2 arasında (Şekil 6b) değişmektedir.

Tablo 5: Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKI'lerin farklı sınıflara göre kuraklık ve nemlilik olaylarının sayıları

Sınıf	1 Aylık		3 Aylık		6 Aylık		9 Aylık		12 Aylık	
	SYİ-1	KKİ-1	SYİ-3	KKİ-3	SYİ-6	KKİ-6	SYİ-9	KKİ-9	SYİ-12	KKİ-12
Aşırı nemli	9	9	18	22	13	12	16	14	18	15
Çok nemli	26	38	29	27	43	41	43	38	41	36
Orta nemli	86	72	62	60	56	60	58	71	56	65
Hafif nemli	274	274	263	266	268	267	242	246	242	246
Hafif kurak	228	234	247	242	238	237	270	263	275	268
Orta kurak	72	69	63	69	67	66	62	61	64	66
Şiddetli kurak	28	27	41	37	32	32	21	20	15	13
Aşırı kurak	21	21	19	19	22	24	24	23	22	24
Toplam	744	744	742	742	739	739	736	736	733	733



Şekil 6: Farklı zaman ölçeklerinde (a) SYİ ve (b) KKI için kuraklık ve nemlilik sınıflarının oluşum yüzdeleri (%)

Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKI'lerin gidiş analizi kullanılarak elde edilen kuraklık özellikleri Tablo 6'da verilmiştir. En uzun kurak dönemler, SYİ-1'de 1993 yılı Eylül ayında başlamış ve 7 ay sürmüştür, SYİ-3'te 2000 yılı Ocak ayında başlamış ve 31 ay sürmüştür, SYİ-6'da 1999 yılı Aralık ayında başlamış ve 33 ay sürmüştür, SYİ-9'da 1984 yılı Ekim ayında başlamış ve 34 ay sürmüştür, SYİ-12'de 1989 yılı Şubat ayında başlamış ve 76 ay sürmüştür.

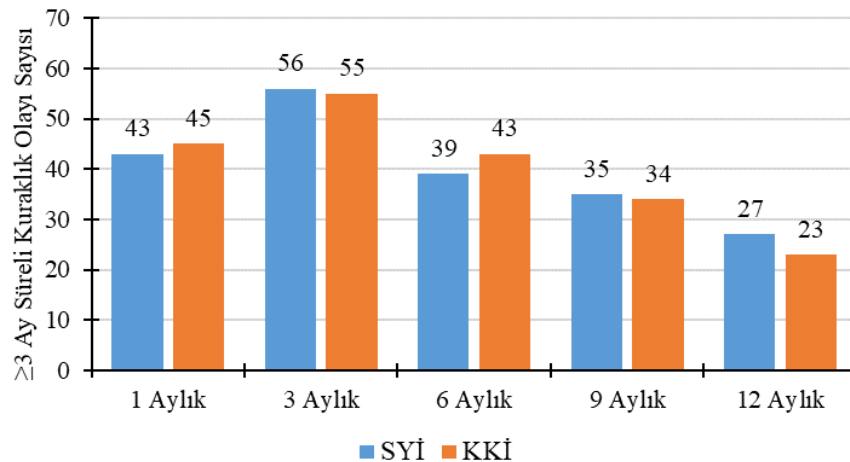
KKİ-1'de 1993 yılı Eylül ayında başlamış ve 10 ay sürmüştür, KKİ-3'te 1999 yılı Eylül ayında başlamış ve 35 ay sürmüştür, KKİ-6'da 1999 yılı Aralık ayında başlamış ve 33 ay sürmüştür, KKİ-9'da 1984 yılı Ekim ayında başlamış ve 32 ay sürmüştür, KKİ-12'de 1989 yılı Şubat ayında başlamış ve 76 ay sürmüştür. Sonuçlar, en uzun kurak dönemlerin 3 aylık zaman ölçeği dışında hem SYİ'ler hem de KKİ'ler için aynı tarihlerde başladığını göstermiştir. 3 aylık zaman ölçeğinde her iki indekse göre en uzun kurak dönemlerin bitiş tarihi aynı olmasına rağmen KKİ'ye göre kuraklık başlangıcı 4 ay önceden tespit edilmiştir. Bu durum KKİ'nin kuraklığı tespit etme konusunda daha erken uyarı verebildiğini göstermiştir. SYİ ve KKİ'nin 1 aylık ve 9 aylık zaman ölçeklerinde en şiddetli kurak dönemlerin süresi en uzun kurak dönemlere göre daha kısadır. Yani, daha kısa süre içerisinde daha şiddetli kuraklık tespit edilmiştir. 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde ise en uzun kurak dönemler aynı zamanda en şiddetli kurak dönemler olarak belirlenmiştir. En küçük negatif indeks değerleri, SYİ-1 ve KKİ-1'de 2008 yılı Şubat, SYİ-3 ve KKİ-3'te 1965 yılı Ekim, SYİ-6 ve KKİ-6'da 2001 yılı Mart, SYİ-9 ve KKİ-9'da sırasıyla 2001 yılı Temmuz ve Haziran, SYİ-12 ve KKİ-12'de 2001 yılı Ağustos aylarında belirlenmiştir. En büyük pozitif indeks değerleri, SYİ-1 ve KKİ-1'de 1962 yılı Mart, SYİ-3 ve KKİ-3'te 1962 yılı Mayıs, SYİ-6 ve KKİ-6'da 2014 yılı Eylül, SYİ-9 ve KKİ-9'da 2014 yılı Aralık, SYİ-12 ve KKİ-12'de sırasıyla 2008 yılı Temmuz ve 1963 yılı Şubat aylarında belirlenmiştir. Sonuç olarak, zaman ölçeği arttıkça kuraklıklar hem daha uzun süreli hem de daha şiddetli olmuştur.

Tablo 6: Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ değerleri için kuraklık özellikleri

Kuraklık İndeksi	En Uzun			En Şiddetli			En Küçük		En Büyük	
	Başlangıç Yıl/Ay	Bitiş Yıl/Ay	Süre (Ay)	Başlangıç Yıl/Ay	Bitiş Yıl/Ay	Şiddet	Yıl/Ay	Şiddet	Yıl/Ay	Şiddet
SYİ-1	1993/09	1994/03	7	1965/06	1965/10	-7.49	2008/02	-3.38	1962/03	3.02
SYİ-3	2000/01	2002/07	31	2000/01	2002/07	-29.59	1965/10	-2.99	1962/05	3.00
SYİ-6	1999/12	2002/08	33	1999/12	2002/08	-44.00	2001/03	-2.72	2014/09	2.91
SYİ-9	1984/10	1987/07	34	2000/02	2002/08	-50.83	2001/07	-2.98	2014/12	2.84
SYİ-12	1989/02	1995/05	76	1989/02	1995/05	-79.18	2001/08	-3.16	2008/07	2.66
KKİ-1	1993/09	1994/06	10	1965/06	1965/10	-7.60	2008/02	-3.48	1962/03	3.13
KKİ-3	1999/09	2002/07	35	1999/09	2002/07	-33.04	1965/10	-2.98	1962/05	2.97
KKİ-6	1999/12	2002/08	33	1999/12	2002/08	-47.55	2001/03	-2.83	2014/09	2.81
KKİ-9	1984/10	1987/05	32	2000/01	2002/08	-54.88	2001/06	-3.09	2014/12	2.79
KKİ-12	1989/02	1995/05	76	1989/02	1995/05	-78.01	2001/08	-3.28	1963/02	2.47

Meteorolojik kuraklığı temsil eden 1 ve 3 aylık, tarımsal kuraklığı temsil eden 6 ve 9 aylık ve hidrolojik kuraklığı temsil eden 12 aylık zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ'ler için 3 ay ve daha uzun süren kuraklık olaylarının sayısı Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 7'de görüldüğü üzere, SYİ serilerinde 3 ay ve daha uzun süren 99 meteorolojik kuraklık, 74 tarımsal kuraklık ve 27 hidrolojik kuraklık olayı tespit edilmiştir. Diğer yandan KKİ serilerinde 3 ay ve daha uzun süren 100 meteorolojik kuraklık, 77 tarımsal kuraklık ve 23 hidrolojik kuraklık olayı tespit edilmiştir. Her iki indeks için de 3 ay ve daha uzun süren kuraklık olayları 3 aylık zaman ölçeğinde diğer zaman ölçeklerine göre daha fazla gerçekleşmiştir.

SYİ-12 ve KKİ-12 için 3 ay ve daha uzun süren en şiddetli ilk 5 kuraklık olayı Tablo 7'de verilmiştir. SYİ-12'de oluşan 372 kuraklık olayından 27'si, KKİ-12'de oluşan 371 kuraklık olayından 23'ü 3 ay ve daha uzun sürelidir. Bu en şiddetli ilk 5 kuraklık olayının 3'ünde başlangıç ve bitiş zamanlarının SYİ ve KKİ için ortak olduğu, diğer 2'sinde ise sadece 1-2 ay süre farkı bulunduğu belirlenmiştir.



Şekil 7: Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ değerlerine göre 3 ay ve daha uzun süren kuraklık olaylarının sayısı

Tablo 7: SYİ-12 ve KKİ-12 için 3 ay ve daha uzun süren en şiddetli ilk 5 kuraklık olayı

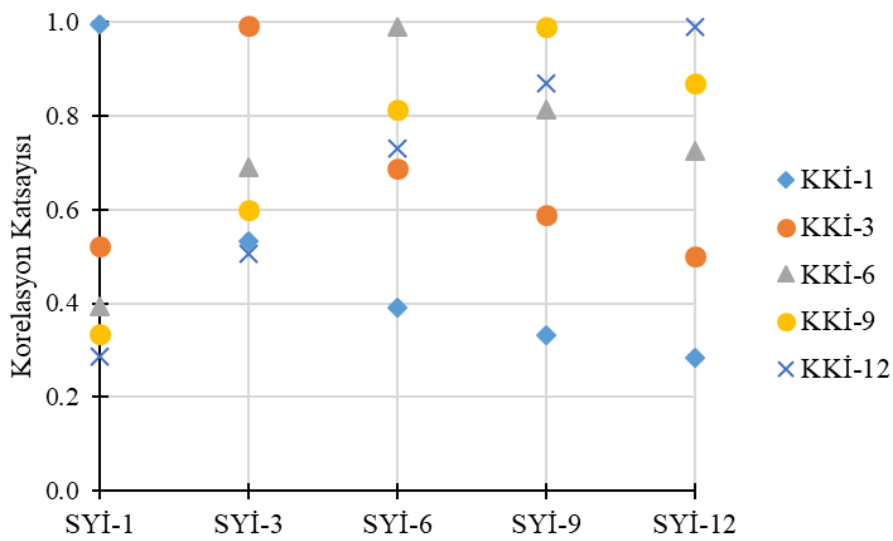
Kuraklık İndeksi (≥ 3 Ay Süreli Kuraklık Olayı Sayısı)	Başlangıç Yıl/Ay	Bitiş Yıl/Ay	Şiddet	Süre (Ay)
SYİ-12 (27 adet)	1989/02	1995/05	-79.18	76
	2000/02	2002/09	-54.77	32
	1984/06	1987/10	-37.60	41
	1982/11	1984/03	-14.91	17
	1996/06	1997/09	-14.69	16
KKİ-12 (23 adet)	1989/02	1995/05	-78.01	76
	2000/01	2002/09	-59.56	33
	1984/06	1987/10	-36.09	41
	1996/06	1997/09	-13.85	16
	1982/12	1984/02	-12.63	15

4.3. Korelasyon Analizi

1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ serileri arasındaki ilişkilerin varlığı, yönü ve şiddeti korelasyon analizi ile incelenmiştir. SYİ ve KKİ serilerinin normal dağılıma uygunluğunun değerlendirilmesi için ortalama, standart sapma, çarpıklık ve basıklık gibi istatistiksel parametreleri Tablo 8'de verilmiştir. Ortalama değerlerinin 0, standart sapma değerlerinin 1, çarpıklık ve basıklık değerlerinin -1 ile +1 arasında olduğu görülmüştür. Bu değerlere göre verilerin normal dağılıma uygunluk gösterdiği kabul edilerek korelasyon analizinde Pearson korelasyon katsayısı kullanılmıştır. Şekil 8, farklı zaman ölçekleri için SYİ ve KKİ serileri arasındaki Pearson korelasyon katsayılarını göstermektedir.

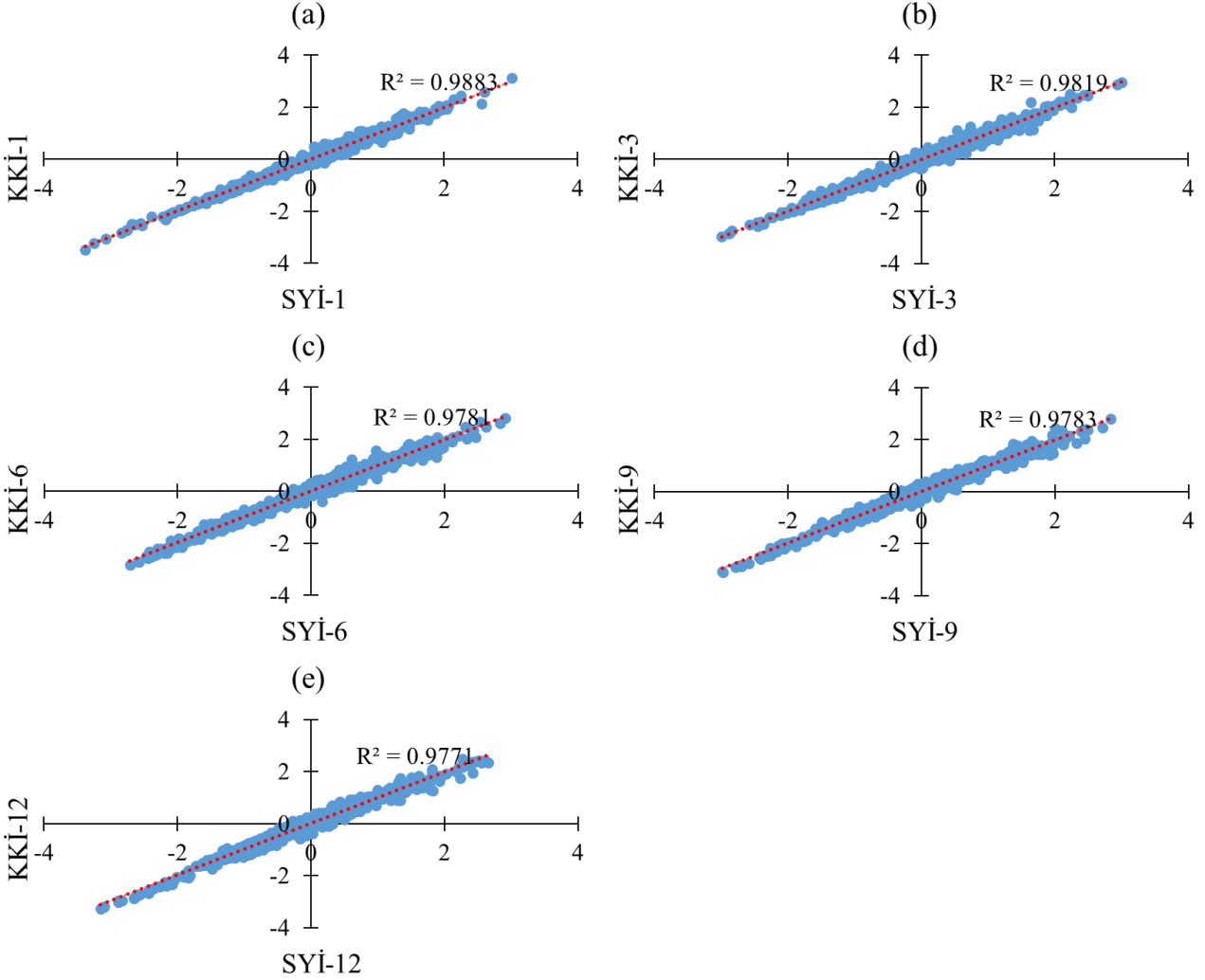
Tablo 8: SYİ ve KKİ değerlerinin tanımlayıcı istatistikleri

Kuraklık İndeksi	Ortalama	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
SYİ-1	0.009	0.996	-0.315	0.026
SYİ-3	0.001	1.001	-0.122	-0.060
SYİ-6	0.000	1.001	-0.040	-0.086
SYİ-9	0.000	1.001	-0.019	0.089
SYİ-12	0.000	1.001	-0.019	0.347
KKİ-1	0.008	0.996	-0.282	0.033
KKİ-3	0.001	1.001	-0.098	-0.055
KKİ-6	0.000	1.001	-0.111	-0.098
KKİ-9	0.000	1.001	-0.138	0.153
KKİ-12	0.000	1.001	-0.196	0.431



Şekil 8: Farklı zaman ölçekleri için SYİ ve KKİ serileri arasındaki korelasyon katsayıları

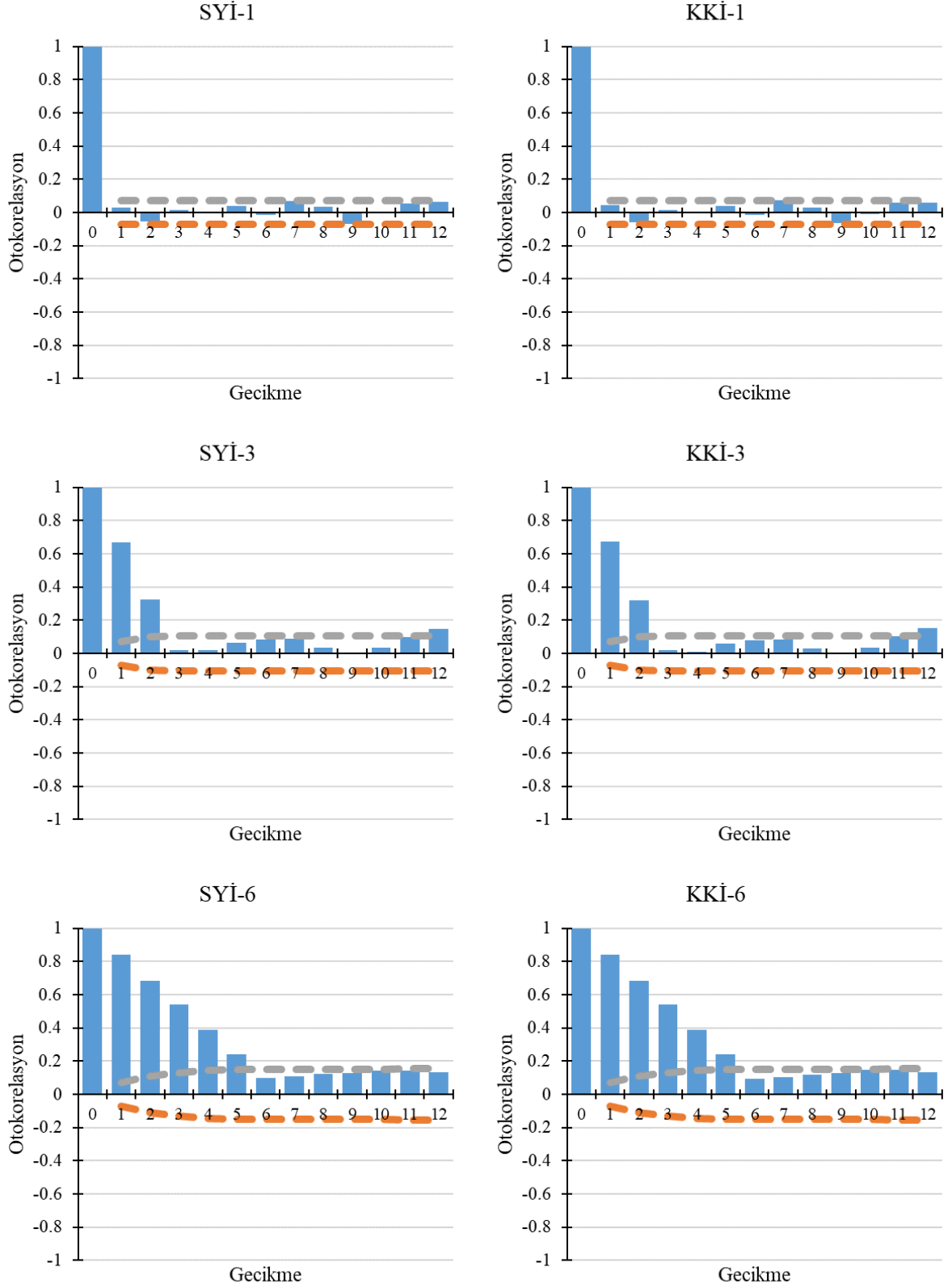
Şekil 8’de görüldüğü gibi aynı zaman ölçeğine karşılık gelen SYİ ve KKİ’ler arasındaki ilişkiler oldukça güçlüdür ($r=0.99$). En düşük korelasyon katsayısı değeri SYİ-12 ile KKİ-1 arasında bulunmuştur ($r=0.28$). Uzun zaman ölçekli serilerle karşılaştırıldığında, KKİ’deki daha düşük zaman ölçekli serilerin, SYİ serisinin aynı zaman ölçeği ile arasında daha iyi bir korelasyon tespit edilmiştir. Aynı zaman ölçeğine karşılık gelen SYİ ve KKİ serileri için saçılma diyagramları Şekil 9’da gösterilmiştir. En yüksek R^2 değeri 1 aylık zaman ölçeğinde 0.988 (Şekil 9a), en düşük R^2 değeri 12 aylık ölçeğinde 0.977’dir (Şekil 9e). Zaman ölçeği arttıkça R^2 değeri biraz azalsa da tüm R^2 değerleri 0.97’nin üzerindedir.



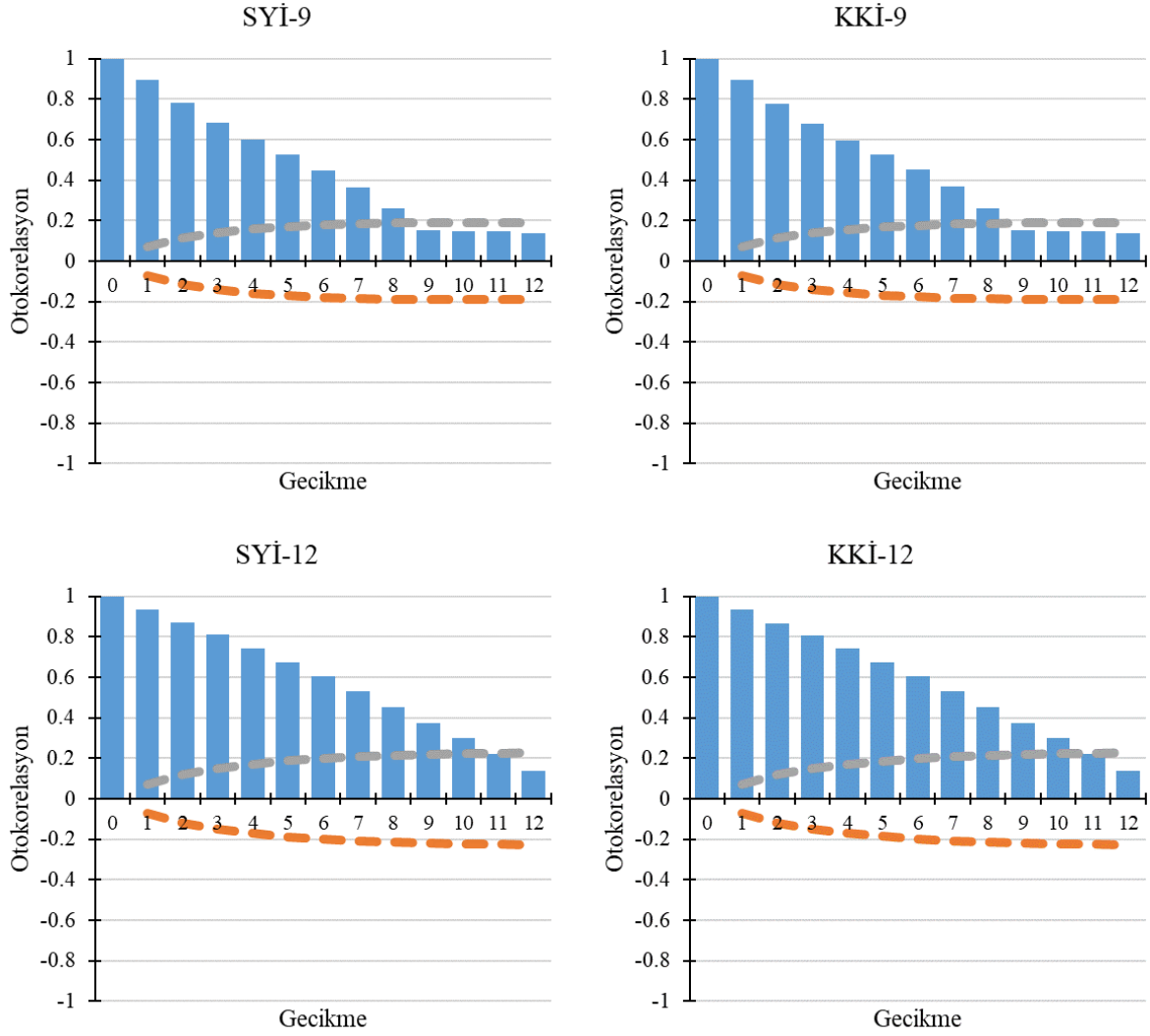
Şekil 9: SYİ ve KKİ serileri arasındaki ilişki: (a) 1 aylık (b) 3 aylık (c) 6 aylık (d) 9 aylık (e) 12 aylık

4.4. Eğilim ve Değişim Noktası Analizi

Kuraklık özelliklerindeki değişimleri değerlendirmek için SYİ ve KKİ serilerinin eğilim ve değişim noktası analizi yapılmıştır. Farklı zaman ölçekleri için SYİ ve KKİ serilerinin korelogramları Şekil 10’da verilmiştir. Korelogramlar incelendiğinde, 12 gecikme için 1 aylık zaman ölçeği hariç tüm zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ serilerinin otokorelasyon katsayılarının çoğunun %95 güven aralıkları dışında kaldığı gözlenmiştir. Otokorelasyonun etkisini hesaba katmak için biri Hamed ve Rao (1998), diğeri Yue ve Wang (2004) tarafından önerilen varyans düzeltme yaklaşımına dayanan modifiye Mann-Kendall (mMK) testleri uygulanmıştır. Bu yaklaşımlar sırasıyla mMK1 ve mMK2 olarak adlandırılmıştır. Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ serilerinin eğilim analizi sonuçları Tablo 9’da verilmiştir. Tüm zaman ölçeklerindeki SYİ’ler için artan eğilim, KKİ’ler için azalan eğilim tespit edilmiştir. Bu eğilimler MK, mMK1 ve mMK2 testlerine göre %5 anlamlılık düzeyinde istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır ($p>0.05$). Eğilimin büyüklüğü SYİ-1, SYİ-3, SYİ-6, SYİ-9 ve SYİ-12 için sırasıyla 0.00002/ay, 0.00025/ay, 0.00022/ay 0.00021/ay ve 0.00022/ay ve KKİ-1, KKİ-3, KKİ-6, KKİ-9 ve KKİ-12 için sırasıyla -0.00012/ay, -0.00003/ay, -0.00011/ay, -0.00014/ay ve -0.00015/ay olarak belirlenmiştir.



Şekil 10: Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ serilerinin korelogramları (otokorelasyon katsayıları)



Şekil 10'un devamı

Tablo 9: Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ için eğilim analizi sonuçları

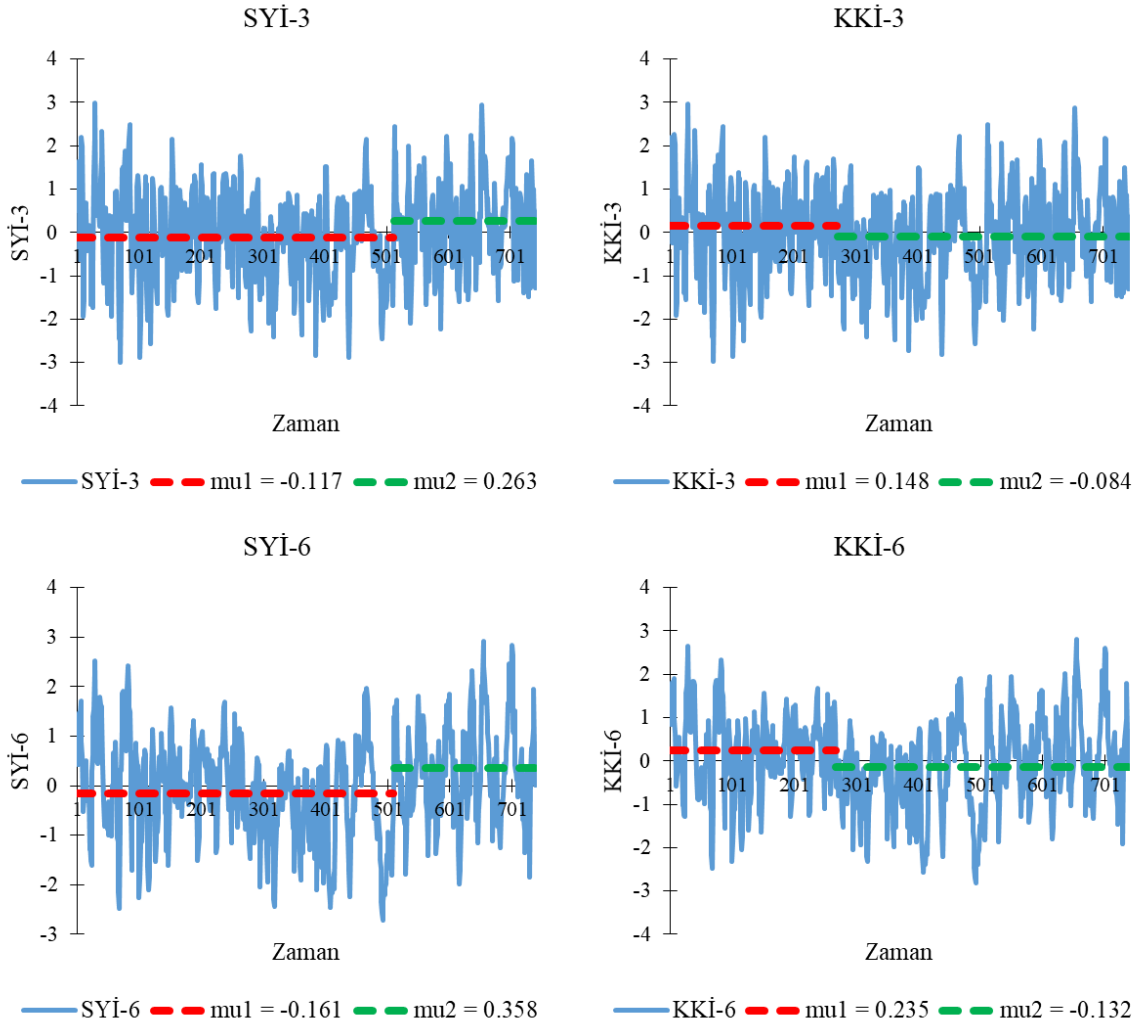
Kuraklık İndeksi	MK		mMK1		mMK2		Sen'in eğimi	Eğilim	Test Yorumu
	Z	p değeri	Z	p değeri	Z	p değeri			
SYİ-1	0.134	0.894	0.116	0.908	0.204	0.839	0.00002	Artan	Anlamli eğilim yok
SYİ-3	1.367	0.172	0.607	0.544	1.069	0.285	0.00025	Artan	Anlamli eğilim yok
SYİ-6	1.225	0.221	0.398	0.690	0.635	0.526	0.00022	Artan	Anlamli eğilim yok
SYİ-9	1.122	0.262	0.298	0.766	0.474	0.636	0.00021	Artan	Anlamli eğilim yok
SYİ-12	1.288	0.198	0.299	0.765	0.483	0.629	0.00022	Artan	Anlamli eğilim yok
KKİ-1	-0.709	0.478	-0.821	0.412	-1.176	0.240	-0.00012	Azalan	Anlamli eğilim yok
KKİ-3	-0.190	0.849	-0.094	0.925	-0.161	0.872	-0.00003	Azalan	Anlamli eğilim yok
KKİ-6	-0.603	0.547	-0.203	0.839	-0.337	0.736	-0.00011	Azalan	Anlamli eğilim yok
KKİ-9	-0.781	0.435	-0.211	0.833	-0.353	0.724	-0.00014	Azalan	Anlamli eğilim yok
KKİ-12	-0.850	0.395	-0.201	0.841	-0.341	0.733	-0.00015	Azalan	Anlamli eğilim yok

Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ serileri için Pettitt testi sonuçları Tablo 10'da verilmiştir. Pettitt testi sonuçlarına göre SYİ-1 ve KKİ-1 serilerinde değişim noktası bulunmazken, SYİ-3, KKİ-3, SYİ-6, KKİ-6, SYİ-9, KKİ-9, SYİ-12 ve KKİ-12 serilerinde değişim noktaları tespit edilmiştir. SYİ'ler için meydana gelen değişimler 2002 yılında, KKİ'ler için 1982 yılında gerçekleşmiştir. Bu değişim noktaları SYİ-3'te Mayıs-Temmuz, SYİ-6'da Mart-Ağustos, SYİ-9'da Aralık-Ağustos ve SYİ-12'de Ekim-Eylül aylarındadır ve bu değişimler yukarı yönlüdür.

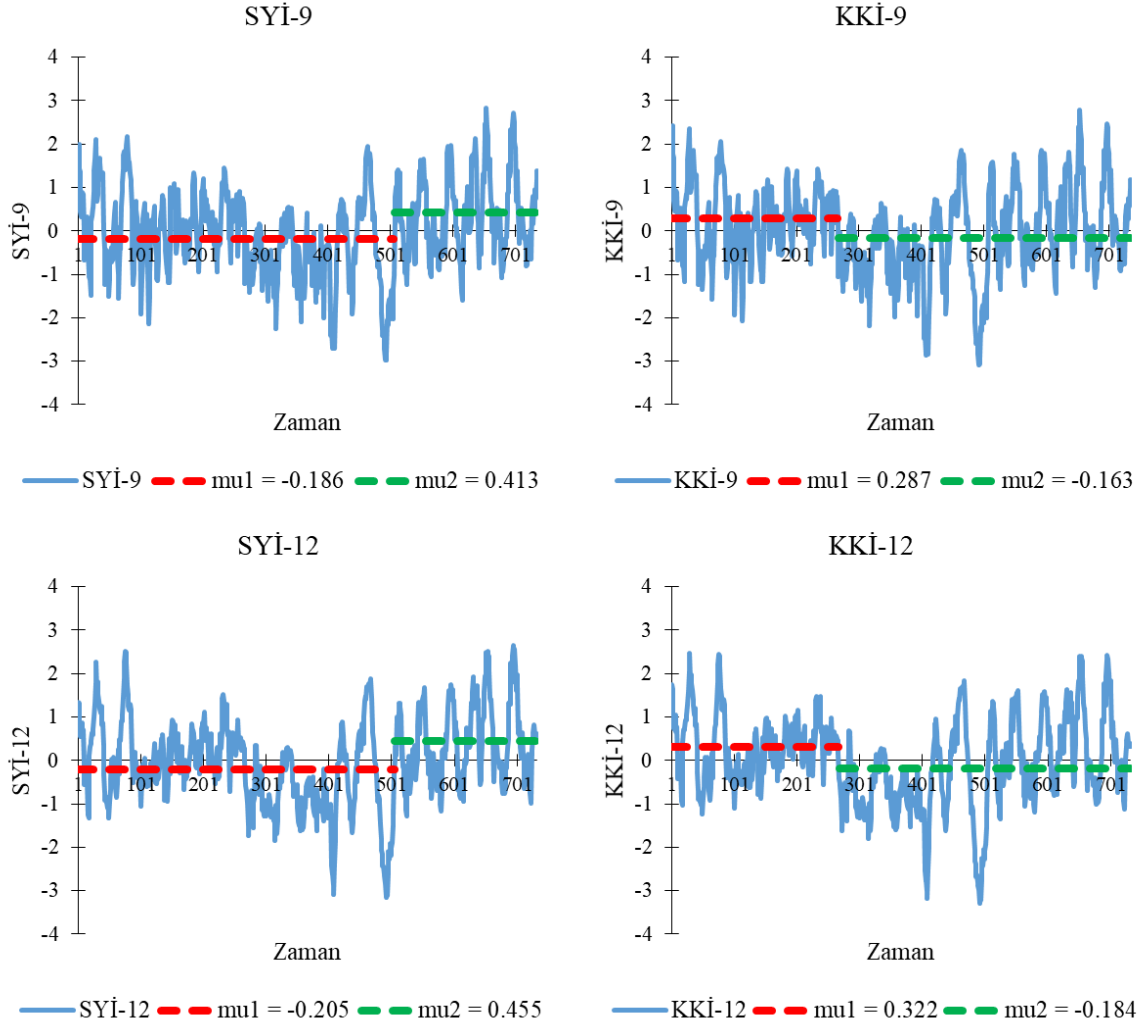
Diğer yandan, KKİ-3'te Nisan-Haziran, KKİ-6'da Aralık-Mayıs, KKİ-9'da Aralık-Ağustos ve KKİ-12'de Aralık-Kasım aylarındadır ve bu değişimler aşağı yönlüdür. 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SYİ ve KKİ serilerinde tespit edilen değişim noktaları ve bu değişim noktalarındaki kaymalar Şekil 11'de gösterilmiştir. SYİ-3 serisinin değişim noktasından önceki periyotta ortalaması -0.117 iken kayma nedeniyle değişim noktasından sonraki periyotta ortalaması 0.263 'tür. KKİ-3 serisinin değişim noktasından önceki periyotta ortalaması 0.148 iken kayma nedeniyle değişim noktasından sonraki periyotta ortalaması ise -0.084 'tür. SYİ-12 serisinin değişim noktasından önceki periyotta ortalaması -0.205 iken kaymayı takip eden periyottaki ortalaması 0.455 'tir. KKİ-12 serisinin değişim noktasından önceki periyotta ortalaması 0.322 iken kaymayı takip eden periyottaki ortalaması ise -0.184 'tür.

Tablo 10: Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ için Pettitt testi sonuçları

Kuraklık İndeksi	p değeri	Değişim Noktası	Değişim
SYİ-1	0.671	-	-
SYİ-3	0.0002	2002 (Mayıs-Temmuz)	Yukarı
SYİ-6	< 0.0001	2002 (Mart-Ağustos)	Yukarı
SYİ-9	< 0.0001	2002 (Aralık-Ağustos)	Yukarı
SYİ-12	< 0.0001	2002 (Ekim-Eylül)	Yukarı
KKİ-1	0.202	-	-
KKİ-3	0.021	1982 (Nisan-Haziran)	Aşağı
KKİ-6	< 0.0001	1982 (Aralık-Mayıs)	Aşağı
KKİ-9	< 0.0001	1982 (Aralık-Ağustos)	Aşağı
KKİ-12	< 0.0001	1982 (Aralık-Kasım)	Aşağı



Şekil 11: 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde tespit edilen değişim noktaları ve ortalamalardaki kaymalar



Şekil 11'in devamı

Bu çalışmanın sonuçları, literatürde daha önceki benzer çalışmaların bulgularıyla çoğunlukla uyumluluk göstermektedir. [Bakanoğulları vd. \(2022\)](#), Kırklareli ilinde 1963-2019 yılları arasında SYİ ve SYEİ kuraklık indeksleri ile aylık, 3 aylık, 6 aylık ve yıllık kuraklık analizleri yapmışlardır. SYİ ve SYEİ arasında güçlü doğrusal bir ilişki bulunmuştur. Yıllık kuraklık analizine göre SYİ ile 18 yılın, SYEİ ile 17 yılın kurak olduğu ve bu toplam kurak yılların büyük bir kısmının 1982 ile 2002 yılları arasında meydana geldiği belirlenmiştir. Aylık, 3 aylık ve 6 aylık kuraklık analizlerine göre her iki indeks de benzer sonuçlar göstermiştir. Ancak kuraklık uzunluğu ve şiddeti açısından bazı farklılıklar gözlenmiş ve SYEİ ile daha hassas sonuçlar elde edilmiştir. [Katipoğlu vd. \(2020\)](#), Erzincan meteoroloji gözlem istasyonunda 1966-2017 yıllarını kapsayan 1, 3 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SYİ, SYEİ, KKI, Z-skoru indeksi ve yağış anomali indeksi olmak üzere beş farklı kuraklık indeksinin performansını, avantajlarını ve dezavantajlarını incelemiştir. Kuraklık indekslerinin zaman içindeki değişimleri incelendiğinde benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ancak SYİ'nin güvenilirliği, Z-skoru indeksinin hesap kolaylığı, yağış anomali indeksinin aşırı kurak ve nemli dönemlerin belirlenmesinde etkinliği, SYEİ ve KKI'nin hem yağış hem de PET verilerini hesaba kattıkları için iklim koşullarına duyarlılığı açısından tercih edilebileceği sonucuna varılmıştır. Ayrıca SYEİ ve KKI, daha kurak koşulları tespit etme kabiliyeti nedeniyle diğer indekslerden daha üstün bulunmuştur. [Yüce ve Eşit \(2021\)](#), Ceyhan Havzası'ndaki kuraklık olaylarını izlemek için yaygın olarak kullanılan 10 farklı kuraklık indeksinin karşılaştırmasını yapmışlardır. Kuraklık sınıflarına göre değerlendirildiğinde, SYİ, SYEİ ve KKI'nin diğerlerinden daha tutarlı olduğu ve kuraklık olaylarını daha iyi tanımlayabildiği belirtilmiştir. [Yüce vd. \(2022\)](#), Samsun meteoroloji istasyonunda 1938-2020 yılları arasında SYİ ve SYEİ kullanarak 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık analizi yapmışlardır. Her iki indeks arasında benzer bir ilişki gözlemlenmiş ancak SYİ'nin çok şiddetli kuraklık kategorisinde, SYEİ'ye göre daha hassas sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

5. Sonuçlar

Kırklareli ilinde 1960-2021 su yılları arasında 1, 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kapsamlı bir kuraklık analizi gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, ilk olarak çalışmada kullanılan verilerin homojenliği Pettitt, SNHT, Buishand ve Von Neumann testlerine göre kontrol edilmiş ve verilerin homojen olduğu belirlenmiştir. Farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ'lere göre kuraklık olaylarının sayısı, süresi ve şiddeti hesaplanmıştır. Kuraklık ve nemlilik olaylarının oluşum yüzdeleri ile 3 ay ve daha uzun süren kuraklık olaylarının sayısı belirlenmiştir. Son olarak, farklı zaman ölçeklerindeki SYİ ve KKİ serileri karşılaştırılmış, bu serilerin hem eğilimleri hem de değişim noktaları incelenmiştir. SYİ ve KKİ serilerindeki eğilim için Mann-Kendall (MK) ve modifiye Mann-Kendall (mMK) testleri, eğilimin büyüklüğü için Sen'in eğimi ve değişim noktalarının tespiti için Pettitt testi kullanılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Zaman ölçeği arttıkça (1 aydan 12 aya kadar) kuraklık olaylarının sayısı azalmış, süresi ve şiddeti artmış ve kuraklık daha belirgin hale gelmiştir.
- Kuraklık olaylarının oluşum yüzdeleri SYİ'ler ve KKİ'ler için sırasıyla %46.9-%51.3 ve %47.2-%50.6 arasında değişmiştir. Hafif kurak ve hafif nemli sınıfların oluşum yüzdelerinin diğer sınıfların oluşum yüzdelerine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.
- Her iki indekse göre en uzun ve en şiddetli kurak dönem 12 aylık zaman ölçeğinde 1989 Şubat ayında başlamış ve 76 ay sürmüştür.
- 3 ay ve daha uzun süren meteorolojik kuraklık olaylarının sayısı SYİ'de 99 ve KKİ'de 100, tarımsal kuraklık olaylarının sayısı SYİ'de 74 ve KKİ'de 77, hidrolojik kuraklık olaylarının sayısı SYİ'de 27 ve KKİ'de 23 olmuştur.
- SYİ ve KKİ'nin aynı zaman ölçeğine karşılık gelen değerleri arasındaki ilişkilerin çok güçlü olduğu belirlenmiştir ($r=0.99$).
- Hem MK hem de mMK testleri eğilim için benzer sonuçlar vermiştir. %5 anlamlılık düzeyinde her iki testte de tüm zaman ölçeklerindeki SYİ'ler için artan, KKİ'ler için azalan eğilim olmasına rağmen bu eğilimler istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0.05$). SYİ'ler için artan eğilimlerin büyüklüğü 0.00002/ay ile 0.00025/ay arasında, KKİ'ler için azalan eğilimlerin büyüklüğü -0.00015 /ay ile -0.00003 /ay arasında değişmiştir.
- Pettitt testine göre 1 aylık zaman ölçeğinde hem SYİ hem de KKİ serileri için değişim noktası tespit edilmemiştir. 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SYİ serileri için değişim noktaları 2002 yılında, KKİ serileri için değişim noktaları 1982 yılında belirlenmiştir.

Sonuç olarak, iki indeksin de kuraklığı tespit etme konusunda benzer sonuçlar verdiği ancak KKİ'nin evapotranspirasyonu kullanması nedeniyle şiddetli ve aşırı kuraklık olaylarını tespit etmede daha hassas olduğu sonucuna varılmıştır. Bu indekslerin karşılaştırmalı olarak incelenmesinin kuraklığın değerlendirilmesi açısından önemli olduğu, elde edilen sonuçların kuraklık politikaları oluşturulmasında bölgesel karar vericilere yardımcı olacağı düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda farklı indeksler kullanılarak sonuçlar karşılaştırılabilir.

Teşekkür

Yazar, bu çalışmada kullanılan verileri sağladıkları için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

Kaynaklar

- Abro M.I., Elahi E., Chand R., Zhu D., Muhammad J., Daudpoto M.R., Soomro A.A., Khaskheli M.A., (2022), *Estimation of a trend of meteorological and hydrological drought over Qinhuai River Basin*, Theoretical and Applied Climatology, 147, 1065-1078.
- Adhyani N.L., June T., Sopaheluwakan A., (2017), *Exposure to drought: duration, severity and intensity (Java, Bali and Nusa Tenggara)*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 58(1), 012040, doi:10.1088/1755-1315/58/1/012040.
- Aksoy H., Eriş E., Çetin M., Önöz B., Yüce M.İ., Selek B., Aksu H., Burgan H.İ., Eşit M., (2018), *Gediz havzasında kuraklık analizi*, Türkiye Ulusal Jeodezi Jeofizik Birliği (TUJJB) Bilimsel Kongresi, 30 Haziran-02 Mayıs, İzmir, ss.28-31.
- Aksu H., Çetin M., Aksoy H., Yaldiz S.G., Yildirim I., Keklik G., (2022), *Spatial and temporal characterization of standard duration-maximum precipitation over Black Sea Region in Turkey*, Natural Hazards, 111, 2379-2405.
- Aktürk G., Zeybekoğlu U., Yıldız O., (2022), *SPI ve SPEI yöntemleri ile kuraklık araştırması: Kırıkkale örneği*, International Journal of Engineering Research and Development, 14(2), 762-776.
- Alsenjar O., Aksu, H., Çetin, M., (2022), *The use of some specific drought indices to evaluate meteorological drought events in the Black Sea Region of Turkey*, Çukurova Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi, 37(2), 261-272.
- Asadi Zarch M.A., Malekinezhad H., Mobin M.H., Dastorani M.T., Kousari M.R., (2011), *Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran*, Water resources management, 25, 3485-3504.
- Bakanoğulları F., Bahar E., Kıvrak C., Gür M., (2022), *Assessment of meteorological and agricultural drought analysis in Kırklareli province*, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(4), 756-768.
- Beden N., Demir V., Keskin A.Ü., (2020), *Samsun ilinde SPI ve PNI kuraklık indekslerinin eğilim analizi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 22(64), 107-116.
- Chisadza B., Gwate O., Ncube F., Mpopo N., (2023), *Assessment and characterisation of hydrometeorological droughts in the Upper Mzingwane sub-catchment of Zimbabwe*, Natural Hazards, 116, 3275-3299.

- Çetin M., Aksoy H., Önöz B., Eriş E., Yüce M.İ., Selek B., Aksu H., Burgan H.İ., Eşit M., Cavus Y., Orta S., (2018), *Deriving accumulated precipitation deficits from drought severity-duration-frequency curves: A case study in Adana province, Turkey*, 1st International Congress on Agricultural Structures and Irrigation, 26-28 September, Antalya, Turkey, ss.39-48.
- Dabanlı İ., (2019), *A climate change impact: Variation in precipitation patterns, and increased drought risk in Turkey*, Sakarya University Journal of Science, 23(2), 193-202.
- Danandeh Mehr A., Vaheddoost B., (2020), *Identification of the trends associated with the SPI and SPEI indices across Ankara, Turkey*, Theoretical and Applied Climatology, 139, 1531-1542.
- Dehghani F., Khalili D., Zand-Parsa S., Kamgar-Haghighi A.A., (2022), *Influence of climatic variability on detected drought spatio/temporal variability and characteristics by SPI and RDI*, Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering, 46(4), 3369-3385.
- Diñç N., Aydıncakır K., Işık M., Büyüktaş D., (2016), *Standartlaştırılmış yağış indeksi (SPI) yöntemi ile Antalya ili kuraklık analizi*, Derim, 33(2), 279-298.
- DSİ, (2022), *2021 Yılı Faaliyet Raporu*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Strateji Geliştirme Dairesi Başkanlığı. <https://www.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/759>, [Erişim 31 Ocak 2023].
- Edwards D.C., McKee T.B., (1997), *Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales*, Climatology Report No. 97-2, Department of Atmospheric Science, Paper No. 634, Colorado State University, Fort Collins, CO, 172ss.
- Engdaw G., Legesse A., Mohammed Y., Likissa D., (2022), *Analysis of meteorological drought using Standardized Precipitation Index (SPI) and Reconnaissance Drought Index (RDI) at Bilate basin, Southern Ethiopia*, doi:10.21203/rs.3.rs-1664681/v1.
- Eris E., Cavus Y., Aksoy H., Burgan H.İ., Aksu H., Boyacıoğlu H., (2020), *Spatiotemporal analysis of meteorological drought over Kucuk Menderes River Basin in the Aegean Region of Turkey*, Theoretical and Applied Climatology, 142(3), 1515-1530.
- Eroğluer T.A., Apaydin H., (2020), *Estimation of drought by streamflow drought index (SDI) and artificial neural networks (ANNs) in Ankara-Nallihan region*, Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 8(2), 348-357.
- Falkenmark M., (1989), *The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed?*, Ambio, 18(2), 112-118.
- Gumus V., Dinsever L.D., Avsaroglu Y., (2023), *Analysis of drought characteristics and trends during 1965–2020 in the Tigris River basin, Turkey*, Theoretical and Applied Climatology, 151, 1871–1887.
- Hamed K.H., Rao A.R., (1998), *A modified Mann-Kendall trend test for autocorrelated data*, Journal of Hydrology, 204(1-4), 182-196.
- Hargreaves G.H., Samani Z.A., (1985), *Reference crop evapotranspiration from temperature*, Applied Engineering in Agriculture, 1(2), 96-99.
- Hayes M., Svoboda M., Wall N., Widhalm M., (2011), *The Lincoln declaration on drought indices: universal meteorological drought index recommended*, Bulletin of the American Meteorological Society, 92(4), 485-488.
- Ju X., Yang X., Chen L., Wang Y., (1997), *Research on determination of indexes and division of regional flood/drought grades in China (in Chinese)*, Journal of Applied Meteorological Science, 8(1), 26–33.
- Katipoğlu O.M., (2022), *Analyzing the trend and change point in various meteorological variables in Bursa with various statistical and graphical methods*, Theoretical and Applied Climatology, 150(3-4), 1295-1320.
- Katipoğlu O.M., Acar R., (2021), *Standartlaştırılmış yağış indeksi hesabında kullanılan dağılım fonksiyonu etkisinin ve kuraklık karakteristiklerinin araştırılması*, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 11(3), 828-844.
- Katipoğlu O.M., Acar R., Şengül S., (2020), *Comparison of meteorological indices for drought monitoring and evaluating: a case study from Euphrates basin, Turkey*, Journal of Water and Climate Change, 11(S1), 29-43.
- Katipoğlu O.M., Acar R., Şenocak S., Şengül S., (2022), *Assessment of meteorological drought trends in the Euphrates Basin, Turkey*, Arabian Journal of Geosciences, 15(6), 555, doi:10.1007/s12517-021-08482-5.
- Kendall M.G., (1975), *Rank correlation methods*, Charles Griffin, London, 202ss.
- Khalili D., Farnoud, T., Jamshidi, H., Kamgar-Haghighi, A.A., Zand-Parsa, S., (2011), *Comparability analyses of the SPI and RDI meteorological drought indices in different climatic zones*, Water resources management, 25, 1737-1757.
- Khan M.I., Zhu X., Jiang X., Saddique Q., Saifullah M., Niaz Y., Sajid M., (2021), *Projection of future drought characteristics under multiple drought indices*, Water, 13(9), 1238, doi:10.3390/w13091238.
- Kousari M.R., Dastorani M.T., Niazi Y., Soheili E., Hayatzadeh M., Chezgi J., (2014), *Trend detection of drought in arid and semi-arid regions of Iran based on implementation of reconnaissance drought index (RDI) and application of non-parametrical statistical method*, Water resources management, 28, 1857-1872.
- Mann H.B., (1945), *Nonparametric tests against trend*, Econometrica, 13(3), 245-259.
- Marini G., Fontana N., Mishra A.K., (2019), *Investigating drought in Apulia region, Italy using SPI and RDI*, Theoretical and Applied Climatology, 137, 383-397.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1993), *The relationship of drought frequency and duration to time scales*, 8th Conference on Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, California, ss.179-183.
- Merabti A., Meddi M., Martins D.S., Pereira L.S., (2018), *Comparing SPI and RDI applied at local scale as influenced by climate*, Water resources management, 32, 1071-1085.
- Mishra A.K., Singh V.P., (2010), *A review of drought concepts*, Journal of Hydrology, 391, 202-216.
- Mistry P.B., Suryanarayana T.M.V., (2022), *Assessments of meteorological drought indices using SPI and RDI in Mehsana Region, Gujarat, India*, Hydrological Modeling: Hydraulics, Water Resources and Coastal Engineering'in İçinde, (Jha R., Singh V.P., Singh V., Roy L.B., Thendiyath R., Ed.), Springer Cham, Switzerland, ss.21-29.
- Nalbantı I., Tsakiris G., (2009), *Assessment of hydrological drought revisited*, Water Resources Management, 23(5), 881-897.
- Oğuz K., Pekin M.A., Çamalan G., (2021), *Muğla ilinde 1960-2018 dönemi kuraklık analizi*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 89-100.
- Önöz B., Bayazit M., (2003), *The power of statistical tests for trend detection*, Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 27(4), 247-251.
- Önöz B., Bayazit, M., (2012), *Block bootstrap for Mann-Kendall trend test of serially dependent data*, Hydrological Processes, 26(23), 3552-3560.

- Özgürel M., Pamuk G., Topçuoğlu K., (2003), *Ege bölgesi koşullarında farklı iki kuraklık indisinin karşılaştırılması*, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 40(1), 95-102.
- Palmer W.C., (1965), *Meteorological drought*, US Department of Commerce, Weather Bureau, Research Paper No. 45, Washington, D.C., 65ss.
- Pathak A.A., Dodamani B.M., (2020), *Comparison of meteorological drought indices for different climatic regions of an Indian river basin*, Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 56, 563-576.
- Pettitt A.N., (1979), *A non-parametric approach to the change-point problem*, Journal of the Royal Society: Series C (Applied Statistics), 28, 126-135.
- Pramudya Y., Onishi T., (2018), *Assessment of the standardized precipitation index (SPI) in Tegal City, Central Java, Indonesia*, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 129(1), 012019, doi:10.1088/1755-1315/129/1/012019.
- Rhee J., Im J., (2017), *Meteorological drought forecasting for ungauged areas based on machine learning: Using long-range climate forecast and remote sensing data*, Agricultural and Forest Meteorology, 237, 105-122.
- Rybski D., Neumann J., (2011), *A review on the Pettitt test*, In extremis: Disruptive Events and Trends in Climate and Hydrology'nin İçinde, (Kropp J., Schellnhuber, H-J., Ed.), Springer, Berlin, Heidelberg, ss.202-213.
- Sen P.K., (1968), *Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau*, Journal of the American Statistical Association, 63(324), 1379-1389.
- Spinoni J., Naumann G., Carrao H., Barbosa P., Vogt J., (2014), *World drought frequency, duration, and severity for 1951-2010*, International Journal of Climatology, 34(8), 2792-2804.
- Svoboda M., Fuchs B., (2016), *Handbook of drought indicators and indices*, World Meteorological Organization, WMO-No. 1173, Geneva, Switzerland, 52ss.
- Şener E., Şener Ş., (2021), *SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 41-58.
- Tabrizi A.A., Khalili D., Kamgar-Haghighi A.A., Zand-Parsa S., (2010), *Utilization of time-based meteorological droughts to investigate occurrence of streamflow droughts*, Water Resources Management, 24, 4287-4306.
- TAGEM, (2020), *İklim değişikliğinin ülkemizdeki önemli tarım ürünlerinin uygunluk alanları üzerine etkilerini belirliyoruz*, https://www.tarimorman.gov.tr/TAGEM/Belgeler/E_BULTEN/ebu%CC%88ten_Temmuz_2020.pdf, [Erişim 31 Ocak 2023].
- Thornthwaite C.W., (1948), *An approach toward a rational classification of climate*, Geographical review, 38(1), 55-94.
- Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., (2013), *The RDI as a composite climatic index*, European Water, 41, 17-22.
- Tigkas D., Vangelis H., Tsakiris G., (2015), *DrinC: a software for drought analysis based on drought indices*, Earth Science Informatics, 8(3), 697-709.
- TOB, (2021), *İklim değişikliği ve tarım değerlendirme raporu*, T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, <https://www.tarimorman.gov.tr/TRGM/Duyuru/428/Iklim-DeGISIKligi-Ve-Tarim-Degerlendirme-Raporu>, [Erişim 31 Ocak 2023].
- Tsakiris G., Nalbantis I., Pangalou D., Tigkas D., Vangelis H., (2008), *Drought meteorological monitoring network design for the reconnaissance drought index (RDI)*, 1st International Conference "Drought management: scientific and technological innovations", 12-14 June, Zaragoza, Spain, ss.57-62.
- Tsakiris G., Pangalou D., Vangelis H. (2007), *Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI)*, Water Resources Management, 21(5), 821-833.
- Tsakiris G., Vangelis H. (2005), *Establishing a drought index incorporating evapotranspiration*, European Water, 9(10), 3-11.
- TUİK, (2018), *Nüfus projeksiyonları, 2018-2080*, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Nufus-Projeksiyonlari-2018-2080-30567>, [Erişim 31 Ocak 2023].
- URL-1, (2023), *Trakya'da meteorolojik kuraklık tarımsal üretimi olumsuz etkiliyor*, <https://www.aa.com.tr/tr/gundem/trakyada-meteorolojik-kuraklik-tarimsal-uretimi-olumsuz-etkiliyor/2781212#>, [Erişim 07 Şubat 2023].
- URL-2, (2020), *Kırklareli'nde kuruyan dereye balık ölümleri yaşanıyor*, <https://www.milliyet.com.tr/gundem/kirklarelinde-kuruyan-dereye-balik-olumleri-yasaniyor-6296185>, [Erişim 31 Ocak 2023].
- URL-3, (2021), *Daniel böceği 3 şehri istila etti*, <https://www.trthaber.com/haber/turkiye/daniel-bocegi-3-sehri-istila-etti-602653.html> [Erişim 31 Ocak 2023].
- URL-4, (2021), *Kırklareli İl afet risk azaltma planı (İRAP)*, T.C. Kırklareli Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, <https://kirklareli.afad.gov.tr/kurumlar/kirklareli.afad/Duyurular/Irap/KIRKLARELI-IRAP.pdf>, [Erişim 31 Ocak 2023].
- URL-5, (2022), *Kırklareli ili 2021 yılı çevre durum raporu*, T.C. Kırklareli Valiliği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğü, Kırklareli, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/k-rklarel-_cdr2021-20221025111902.pdf, [Erişim 31 Ocak 2023].
- Vaheddoost B., Safari M.J.S., (2021), *Application of signal processing in tracking meteorological drought in a Mountainous region*, Pure and Applied Geophysics, 178(5), 1943-1957.
- Van Rooy M.P., (1965), *A Rainfall anomaly index independent of time and space*, Notos, 14, 43-48.
- Vangelis H., Tigkas D., Tsakiris G., (2013), *The effect of PET method on reconnaissance drought index (RDI) calculation*, Journal of Arid Environments, 88, 130-140.
- 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(7), 1696-1718.
- Von Storch H., (1995), *Misuses of statistical analysis in climate research*, Analysis of climate variability: applications of statistical techniques'in İçinde, (Storch H.V., Navarra A., Ed.) Springer, New York, ss.11-26.
- Wijngaard J.B., Klein Tank A.M.G., Können G.P., (2003), *Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series*, International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society, 23(6), 679-692.
- Willeke G., Hosking J.R.M., Wallis J., Guttman N.B., (1994), *The National Drought Atlas*, Institute for Water Resources Report 94-NDS-4, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, D.C., 587ss.
- WMO, (2006), *Drought monitoring and early warning: concepts, progress and future challenges*, WMO-No. 1006; World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 26ss.
- Yaltı S., Aksu H., (2019), *Drought analysis of Iğdır Turkey*, Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology, 7(12), 2227-2232.

- Yang Q., Kang Q., Huang Q., Cui Z., Bai Y., Wei H., (2021), *Linear correlation analysis of ammunition storage environment based on Pearson correlation analysis*, Journal of Physics: Conference series, 1948(1), 012064, doi:10.1088/1742-6596/1948/1/012064.
- Yerdelen C., Abdelkader M., Eris E., (2021), *Assessment of drought in SPI series using continuous wavelet analysis for Gediz Basin, Turkey*, Atmospheric Research, 260, 105687, doi:10.1016/j.atmosres.2021.105687.
- Yevjevich V.M., (1967), *An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts*, Doctoral dissertation, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
- Yılmaz M.U., Yılmaz H., (2022b), *Çok değişkenli kuraklık indeksi kullanılarak kuraklık değerlendirmesi: Kırklareli İli Örneği*, 11. Ulusal Hidroloji Kongresi, 13 Ekim - 14 Ekim, Gaziantep.
- Yılmaz, M.U., Yılmaz, H., (2022a), *An investigation of meteorological drought studies on a global scale using a bibliometric analysis*, Journal of Innovative Science and Engineering, 6(1), 76-93.
- Yuce M.I., Esit M., (2021), *Drought monitoring in ceyhan basin, Turkey*, Journal of Applied Water Engineering and Research, 9(4), 293-314.
- Yue S., Pilon P., Cavadias G., (2002), *Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series*, Journal of Hydrology, 259(1-4), 254-271.
- Yue S., Wang C., (2004), *The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series*, Water Resources Management, 18(3), 201-218.
- Yüce M.İ., Eşit M., (2020), *Ceyhan havzasının kuraklık risk haritasının SPI ve SPEI metotları ile belirlenmesi*, Su Kaynakları, 5(2), 1-8.
- Yüce M.İ., Aksoy H., Aytek A., Eşit M., Uğur F., Yaşa İ., Şimşek A., Değer İ.H., (2022), *SPI ve SPEI ile Samsun ili kuraklık analizi*, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 25(3), 285-295.
- Zarei A. R., (2022), *Assessing the importance of climate variables on RDI and SPEI using backward multiple linear regression in arid to humid regions over Iran*, Pure and Applied Geophysics, 179(8), 2905-2921.
- Zhong R., Chen X., Lai C., Wang Z., Lian Y., Yu H., Wu X., (2019), *Drought monitoring utility of satellite-based precipitation products across mainland China*, Journal of Hydrology, 568, 343-359.