

Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği

Erhan ŞENER^{1*}, Ayşen DAVRAZ²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Uzaktan Algılama Araştırma Uygulama Merkezi, Isparta

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Isparta

Geliş Tarihi (Received): 01.07.2021, Kabul Tarihi (Accepted): 17.09.2021

✉ Sorumlu Yazar (Corresponding author*): erhansener@sdu.edu.tr

☎ +90 246 2111585 📠 +90 246 2370431

ÖZ

Günümüzde etkileri gittikçe artan miktarlarda hissedilmeye başlayan kuraklık, yaşamı tehdit eden en önemli doğal afetlerden birisidir. Özellikle Akdeniz kuşağında etkilerinin yoğun olacağı öngörülen kuraklığın bölgesel olarak araştırılması ve buna yönelik uyum stratejilerinin geliştirilmesi son derece önemlidir. Bu çalışma kapsamında Isparta ili için kuraklık analizi Isparta Devlet Meteoroloji İstasyonunda ölçülmüş 1930-2019 yıllarına ait günlük yağış verileri ile farklı indisler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYI), Yağış Anomali İndisi (YAI), Normal Yağışın Yüzdesi İndisi (NYI) yöntemleri kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde yapılan kuraklık analiz sonuçlarına göre, bölgede en son 2008-2009 yıllarında aşırı ve şiddetli kurak dönemlerin yaşandığı belirlenmiştir. 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlere göre, standartlaştırılmış Yağış İndisi ile 24, Yağış Anomali İndisi ile 43 ve Normal Yağışın Yüzdesi İndisi ile de 234 farklı zaman diliminde aşırı kurak dönem yaşanmıştır. Ayrıca söz konusu indisler arasında pozitif kuvvetli korelasyon olduğu belirlenmiştir. Özellikle SYI, YAI ve NYI indisleri kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde yapılan meteorolojik kuraklık analizlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Isparta, kuraklık indisi, NYI, SYI, YAI

Meteorological Drought Analysis Using Precipitation Based Different Indices: The Case Study of Isparta, Turkey

ABSTRACT

Drought, the effects of which are starting to be felt in increasing amounts today, is one of the most important natural disasters that threaten life. It is extremely important to regionally investigate the drought, which is expected to have intense effects, especially in the Mediterranean belt, and to develop adaptation strategies. Within the scope of this study, drought analysis for Isparta province was carried out with different index methods by using long-term meteorological observation data of Isparta State Meteorology Station (DMI). According to the results of the drought analysis performed at different time scales using Standardized Precipitation Index (SPI), Rainfall Anomaly Index (RAI), Percent of Normal Precipitation (PNI) methods, it was determined that extreme and severe dry periods were experienced in the region in 2008-2009. According to the analyzes made on a 1-month time scale, an extremely dry period has been experienced in 24 different time periods with the standardized Precipitation Index, 43 with the Rainfall Anomaly Index, and 234 with the Percent of Normal Precipitation. In addition, it was determined that there was a strong positive correlation between these indices. Similar results were obtained in meteorological drought analyzes performed at different time scales, especially using the SPI, RAI and PNI indices.

Keywords: Isparta, drought index, PNI, SPI, RAI

GİRİŞ

İklim çok geniş coğrafyalarda uzun zaman dilimleri boyunca gözlenen ortalama hava koşulları olarak tanımlanmaktadır. İklim aynı zamanda olağanüstü hava olaylarını ve bitki örtüsünü de etkileyen en önemli parametrelerin başında gelmektedir. İklim değişikliği ise genel olarak iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde uzun süreler boyunca gerçekleşen değişiklikler biçiminde tanımlanmaktadır (UNFCC, 1994; Akçakaya ve ark., 2015). Özellikle sanayi devriminden günümüze kadar iklimde insan kaynaklı büyük değişiklikler gözlenmeye başlamıştır. Bunun en önemli sebeplerinin başında sanayi devrimiyle birlikte yoğun olarak kullanılan fosil yakıtlar, hızlı kentleşme, nüfus artışına bağlı olarak arazi kullanım özelliklerinde gerçekleşen olumsuz değişiklikler, orman alanlarındaki baskılar vb. etmenler gelmektedir. Söz konusu bu olumsuzluklara bağlı olarak atmosferdeki sera gazı oranı artmakta ve bununla birlikte de küresel ısınmaya yol açmaktadır (Gürkan ve ark., 2016). İklim değişikliğinin günümüzde Dünya'nın karşı karşıya olduğu en büyük çevresel, ekonomik ve sosyal tehditlerden biri olduğu birçok kuruluş, üniversite ve araştırmacı tarafından kabul görmektedir. Günümüzde insan etkisi ile yağış, sıcaklık vb. iklimsel parametrelerin zamansal ve mekânsal dağılımlarda dünya genelinde ciddi değişiklikler olduğu kabul edilen bir gerçektir (Cüceloğlu, 2019). Küresel iklim değişikliğinin genel olarak su kaynakları üzerindeki en önemli etkilerinin başında ise havzaların karakteristik özelliklerine bağlı olarak; yüzeysel su potansiyellerinde değişiklikler, yeraltı suyu beslenimlerinde ve dolayısıyla da boşalmalarında değişiklikler, olağanüstü akımlara bağlı olarak taşkınlar ve kuraklık afetlerinin görülme sıklıklarında, büyüklüklerinde ve mevsimlerinde değişiklikler, yağış rejiminin değişimleri ile birlikte arazi kullanım ve bitki örtüsündeki olası değişikliklerin ve buna bağlı olarak erozyon sorunları, özellikle kar suları ile beslenen akarsuların akış rejimlerinde olası değişiklikler ve tarımsal faaliyetlerdeki su kullanımlarında ki olası artışlar gelmektedir (Fıstıkoğlu ve Bibe-roğlu, 2008).

Kuraklık genel olarak uzun bir zaman periyodu boyunca yağışın ortalama değerlerinin altına düşmesi olarak tanımlanmakla birlikte genel olarak meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olmak üzere 4 farklı sınıfta değerlendirilmektedir. (Wilhite ve Glantz, 1985; Sırdaş ve Şen, 2003; Kömüçü ve Erkan, 2006; Choi ve ark., 2013; Mishra ve Singh, 2011; Orhan, 2014; Şener ve Şener, 2019; Şener ve Şener, 2021). Kuraklık, dünya çapında ekonominin çeşitli sektörlerini ve çevresel faktörleri etkileyen büyük bir doğal tehlike olarak kabul edilmektedir. Kuraklık etkisi ortama düşen yağıştan

başlayarak yüzey suyu sistemlerinde akarsu akışıyla, yeraltı suyu akiferlerinde beslenme ve depolanmayla biten hidrolojik döngünün hemen hemen tüm aşamalarını etkilemektedir (Tsakiris ve ark., 2013). Geleneksel olarak, kuraklıklar incelenen parametreler ile karakterize edilir ve başlıca meteorolojik (yağış, potansiyel buharlaşma-terleme), hidrolojik (akarsu akışı veya yeraltı suyu yeniden yüklenmesi) ve tarımsal (toprak nemi) kuraklık olarak sınıflandırılmaktadır. Söz konusu kuraklık türlerinin hesaplanmasında bir veya birden çok değişkeni içerdiği gibi, bunların zararlarına yönelik çok sayıda farklı değişkene göre de yapılabilmektedir. Başta yağış ve sıcaklık olmak üzere nem, toprak nemi, terleme, rüzgâr ve buharlaşma gibi değişkenlerin eksiklik veya fazlalığı göz önüne alınmaktadır (Türkeş, 1990). Kuraklık, esas olarak şiddeti, süresi ve alan boyutu ile karakterize edilebilen karmaşık bir olgudur. Bu üç boyut arasında, kuraklık analizi için kullanılabilecek temel faktör kuraklık şiddetidir. Kuraklık indisleri, karmaşık iklim proseslerini basitleştirmeleri ve iklim anormalliklerini şiddet, süre ve sıklıkları açısından ölçebilmeleri sebebiyle kuraklığın karakterizasyonu ve izlenmesi için tercih edilen yöntemlerdir (Tsakiris ve ark., 2007).

Kuraklığın belirlenmesi ve doğru yönetimi için yapılan izleme ve değerlendirmeler için farklı indis yöntemleri geliştirilmiştir. Özellikle kuraklıktan etkilenebilecek sektörlerin sayısı ve çeşitliliği göz önüne alındığında kuraklık değerlendirmeleri ile kuraklık eylem planlarının hazırlanmasında birden fazla kuraklık indisi kullanılarak daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Meteorolojik Kuraklık Analizlerinde kullanılan çok farklı indisler olmakla birlikte bu indislerin birçoğu girdi parametresi olarak yağış ve sıcaklık verilerini kullanmakta, bazı indisler ise evapotranspirasyon, potansiyel evapotranspirasyon, rüzgar hızı ve güneş radyasyonu vb. benzeri verileri kullanmaktadır. Ayrıca söz konusu meteorolojik kuraklık indislerinin değerlendirmesinde kullanılan en önemli kriterlerden bir tanesi de kullanım zorluğu ölçüğüdür. Bu kapsamda kullanım zorluğu ölçüğünde kolay, orta ve zor şeklinde bir ölçeklendirme geliştirilmiştir. Buna göre Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYI), Aridity Anomali İndisi (AAI), Ondalık Kuraklık İndisi (DI) ve Normal Yağışın Yüzdesi İndisi (PNI) nispeten kullanımı kolay indisler arasında yer alırken Keşif Kuraklık İndisi (RDI), Efektif Kuraklık İndisi (EDI), Yağış Anomali İndisi (RAI), Palmer Kuraklık Şiddeti İndisi (PDSI), Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndisi (SPEI) ve Çin Z İndisi (CZI) gibi indisler kullanımı nispeten orta zorlukta olan indisler olarak tanımlanmıştır. Bununla birlikte özellikle Tarımsal Kuraklık Referans İndisi (ARID), Ürüne Özgü Kuraklık

Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği

aylık zaman ölçeklerinde hesaplanabilen Standartlaştırılmış Yağış İndisinde kısa süreli zaman dilimleri tarımsal su gereksinimi ve su potansiyeli için önemli çıktılar oluştururken 12, 24 ve 36 ay gibi uzun süreli zaman dilimleri ise su kaynakları yönetimi ve yeraltı suyu çalışmaları için önemli bilgiler vermektedir (Mishra ve Singh, 2010).

Standartlaştırılmış Yağış İndisinde kuraklık sınıfları, gama, normal ve lognormal dağılımlı yağış verilerinden elde edilir (Yacoub ve Tayfur, 2017). Ancak iklimsel yağış verilerinin olasılık dağılım fonksiyonu genellikle normal dağılıma uymaz (McKee ve ark., 1993; McKee ve ark., 1995). Bu kapsamda yağış serilerini en iyi temsil eden olasılık dağılımı gamma dağılımıdır (Thom, 1966). Gamma dağılımı, dağılım frekansı veya olasılık yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanmaktadır (Thom, 1966). Bu kapsamda Standartlaştırılmış Yağış İndisi yönteminde, yağış verilerinden elde edilen olasılıksal dağılım fonksiyonları Gamma olasılık dağılım fonksiyonuna dönüştürülür (Thom, 1966; McKee ve ark., 1993; McKee ve ark., 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 Dağılımı, x : yağış miktarını ($x>0$), α : şekil parametresi ($\alpha>0$), 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 verisinin ölçüm sayısıdır. Mevcut veriler kullanılarak elde edilen söz konusu olasılık tanımlamaları daha sonra herhangi bir ayda ölçülmüş değerlerin kümülatif olasılığını bulmak için kullanılır. Bu kapsamda kümülatif olasılık aşağıdaki şekilde tanımlanabilir.

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

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

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

Burada q sıfırın olasılığıdır, m yağış serisindeki sıfırların sayısı ise

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

Denklemleri ile hesaplanabilir.

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

Burada;

SYI: Standartlaştırılmış Yağış İndisi

X_i : Her bir istasyon için herhangi bir zaman ölçeğinde ölçülen normalleştirilmiş yağış miktarı, \bar{X}_i : Her bir istasyon için seçilen zaman diliminde ölçülen yağış ortalaması, σ : Her bir istasyona ait yağış verilerinin zaman ölçeği içindeki standart sapmasıdır.

SYI değerlerinin 0 değerinin altına düşmesi kuraklığın başlangıcı olarak tanımlanırken indis değerlerinin negatif olması kurak periyodu işaret eder (Tablo 1).

Tablo 1. Standartlaştırılmış yağış indisi (SYI) kuraklık sınıflaması (McKee ve ark., 1993)

Yağış (Kuraklık/Nemlilik) Sınıfı	Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYI)
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

Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği

Yağış Anomali İndeksi Yöntemi

Yağış Anomali İndeksi (YAI) Van Rooy (1965) tarafından geliştirilmiş olup temel amacı yağışın normal değerlerinden sapması esasına dayanmaktadır. Belirli bir periyot-taki yağış ortalaması belirlendikten sonra araştırma alanında yer alan tüm zaman serileri içinde en büyük ilk 10 değer in ortalaması ile en küçük 10 değer hesaplanarak indis değerleri belirlenir (Hezarani, 2018). $P > \bar{P}$ ise anomali pozitifdir ve Yağış Anomali İndeksi aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$YAI = +3 \left(\frac{P - \bar{P}}{M - \bar{P}} \right) \quad (9)$$

$P < \bar{P}$ ise anomali negatiftir ve Yağış Anomali İndeksi aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$YAI = -3 \left(\frac{P - \bar{P}}{M - \bar{P}} \right) \quad (10)$$

Van Rooy (1965) tarafından geliştirilirken Yağış Anomali İndisinde Çok Şiddetli Kuraklık, Şiddetli Kuraklık, Orta Şiddetli Kuraklık ve Hafif Kuraklık olmak üzere 4 farklı kuraklık sınıfı yer almaktadır (Tablo 2).

Tablo 2. Yağış Anomali İndisi sınıfları (Van Rooy, 1965)

Yağış Anomali İndeks Sınıfı	Yağış Anomali İndeks Değeri
Hafif Kuraklık	(0) – (-1.2)
Orta Şiddetli Kuraklık	(-1,2) – (-2,1)
Şiddetli Kuraklık	(-2,1) – (-3)
Çok Şiddetli Kuraklık	$\leq(-3)$

Normal Yağışın Yüzdesi İndeksi (NYİ)

Normal Yağışın Yüzdesi İndeksi herhangi bir zaman dilimi için normal dağılıma dönüştürülmüş yağış miktarının ortalamasına bölünmesiyle elde edilir. (Hayes, 1999). Normal Yağışın Yüzdesi İndeksi'nin hesaplanmasında 12 veya daha az zaman ölççekleri kullanılabilir.

$$PN = \frac{P_i}{\bar{P}_i} \quad (11)$$

Burada,

PN: Ortalama Yağışın Yüzdesi İndeksi, P_i : Yağış Miktarı ve \bar{P}_i : Yağış Ortalamasını ifade eder.

Normal Yağışın Yüzdesi İndisinde 1, 6, 9 ve 12 aylık periyotlar hesaplanan indis değerleri 4 farklı sınıfta değerlendirilir (Tablo 3).

Tablo 3. Normal Yağışın Yüzdesi İndeksi periyotlara göre kuraklık sınıfları

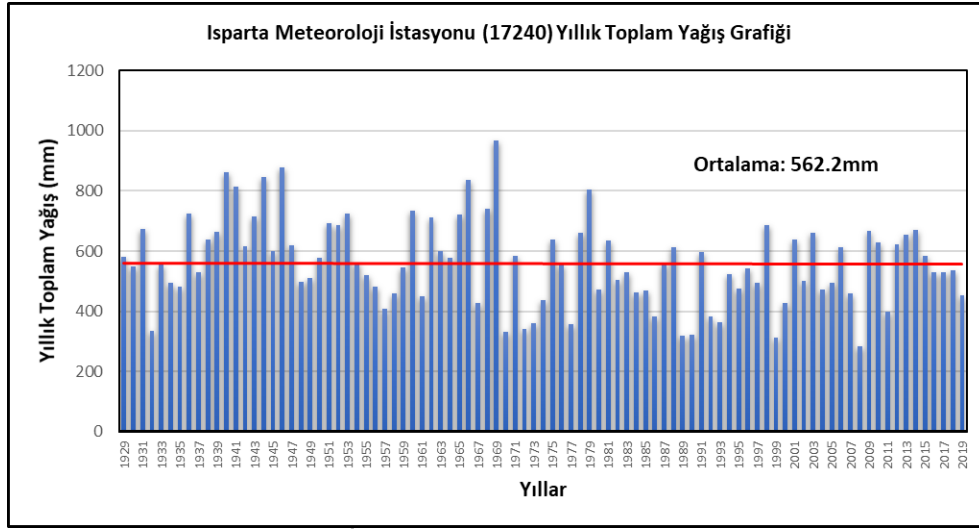
Periyot	Şiddetli Kurak	Orta Şiddette Kurak	Hafif Kurak	Normal ve Üzeri
1	<55	55-65	65-75	>75
3	<55	55-65	65-75	>75
6	<60	60-70	70-80	>80
9	<63.5	63.5-73.5	73.5-83.5	>80.5
12	<65	65-75	75-85	>85

BULGULAR VE TARTIŞMA

Isparta meteoroloji istasyonunda uzun yıllar ölçülmüş olan toplam yağış miktarlarının yıllara göre dağılım grafiği Şekil 2'de verilmiştir. Isparta meteoroloji istasyonu verilerine göre ortalama yıllık toplam yağış miktarı 562.2

mm olarak ölçülmüştür. Buna göre 1954-1958 yılları arası, 1971-1979 yılları arası, 1982-1998 yılları arası, 2004-2008 yılları arası ve 2016 yılından günümüze genel olarak yıllık toplam yağış miktarları ortalamasının yağışın altında ölçülmüştür.

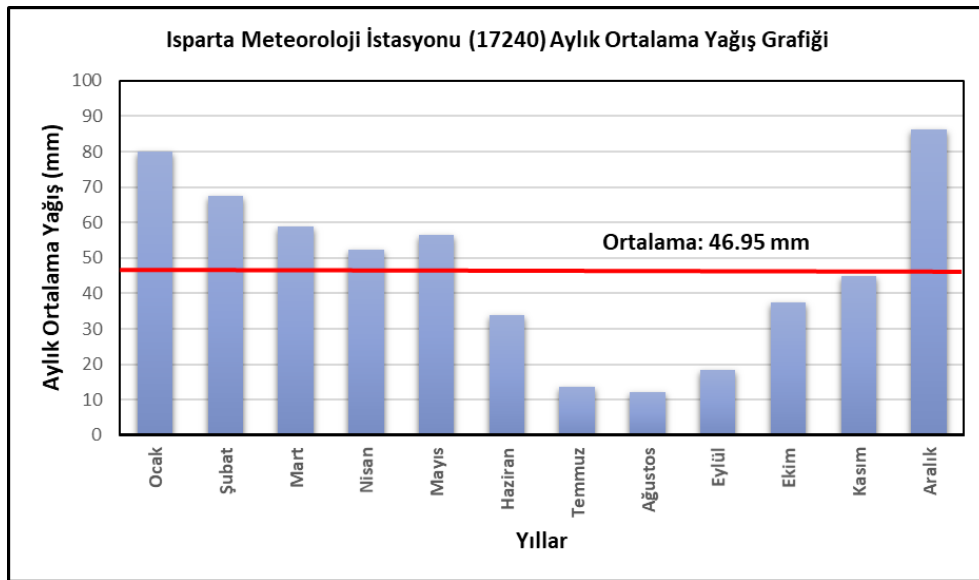
Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği



Şekil 2. Isparta Meteoroloji İstasyonu verilerine göre yağışın yıllara göre dağılımı

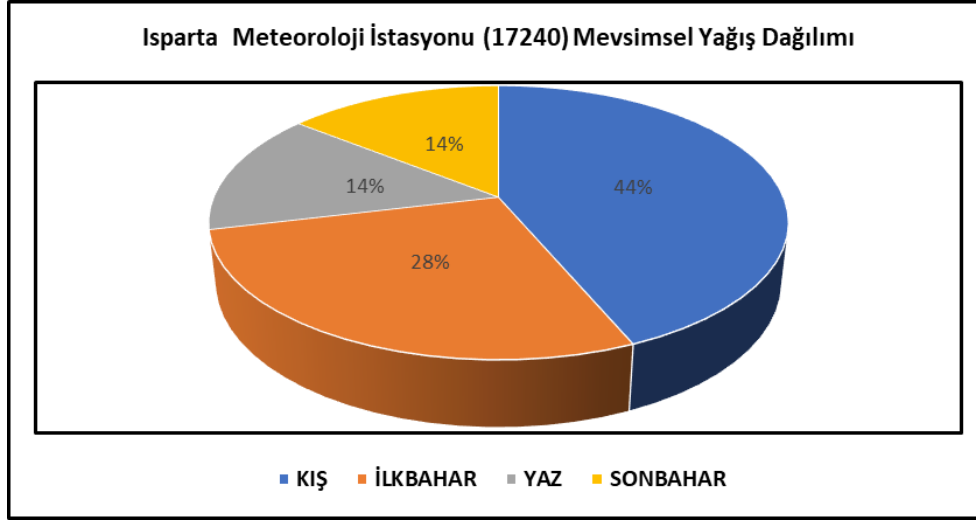
Bununla birlikte ortalama yıllık toplam yağış miktarı 1936-1953, 1960-1970 periyotlarında ile 2009-2015 yılları arasında ortalamanın yağışın üstünde ölçülmüştür. Ölçüm periyodu boyunca en yüksek yağış miktarı 1969 yılında 968.9 mm olarak ölçülmüştür. Isparta meteoroloji istasyonunda ölçülen 1929-2019 yıllarına ait aylık ortalama yağış değerleri ise Şekil 3'de verilen grafik üzerinde gösterilmiştir. Ölçülen uzun yıllar aylık yağış verile-

rine göre aylık ortalama yağış 46.95 mm olarak belirlenmiştir. Buna göre, en az yağış Temmuz ve Ağustos aylarında, en fazla yağış ise Ocak ve Aralık aylarında 80 mm üzerinde ölçülmüştür. Yağış değerlerinin mevsimlere göre dağılımına bakıldığında ise toplam yağış miktarının %44'ü kış aylarında, %28'i ilkbahar aylarında, %14'ü sonbahar aylarında, %14'ü ise yaz aylarında gerçekleşmektedir (Şekil 4).



Şekil 3. Isparta Meteoroloji İstasyonu verilerine göre aylık ortalama yağış dağılımı

Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği



Şekil 4. Isparta Meteoroloji İstasyonu mevsimsel yağış dağılımı

Çalışma alanının kuraklık analizleri, Isparta Meteoroloji İstasyonunun 1930-2019 yılları arasında ölçülmüş olan günlük toplam yağış (mm) değerleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Isparta Meteoroloji İstasyonunda farklı zaman ölçeklerinde (1, 3, 6, 9, 12 ve 24 ay) standartlaştırılmış yağış indisi kullanılarak yapılan meteorolojik kuraklık analizlerinden elde edilen grafikler Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir. Isparta DMİ istasyonunda en uzun kuraklık periyotlarının 1 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 31 gün süre ve 1.651 şiddeti ile Kasım 2011'den, 3 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 92 gün süre ve 0.565 şiddet ile Kasım 1999'dan, 6 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 2 aylık süre ve 1.374 şiddet ile Haziran 2008'den, 9 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 152 gün süre ve 1.252 şiddet ile Kasım 1999'dan, 12 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 121 gün süre ve 1.542 şiddet ile Ocak 2000'den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 123 gün süre ve 0.766 şiddeti ile Ekim 1990'dan itibaren yaşandığı belirlenmiştir.

Isparta DMİ istasyonunda en uzun yağışlı periyotların 3 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 121 gün süre ve 1.99 yağış şiddeti ile Aralık 1952'den, 6 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 181 gün süre ve 1.162 yağış şiddeti ile Ocak 1969'dan, 9 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 273 gün süre ve 4.606 yağış şiddeti ile Ocak 1953'den, 12 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 334 gün süre ve 4.204 yağış şiddeti ile Ocak 1953'den ve 24 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 181 gün süre ve 1.539 yağış şiddeti ile Eylül 1941'den itibaren yaşandığı belirlenmiştir.

Standartlaştırılmış Yağış İndisi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlere göre 24 farklı zaman diliminde yaşanan aşırı kurak dönemlerin en şiddetlisi

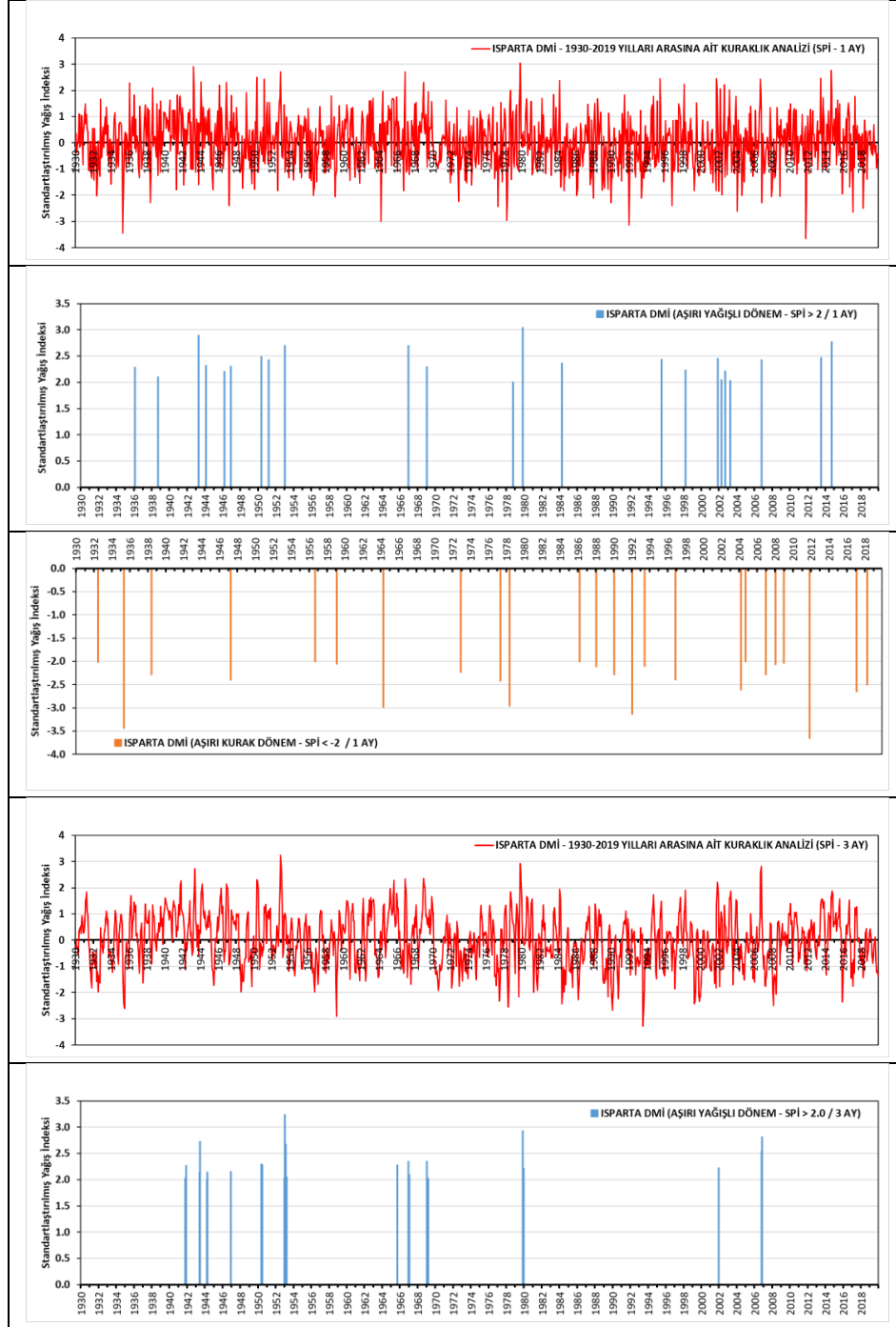
01.11.2011 tarihinde 1.651 şiddetinde yaşanmıştır. Aynı şekilde 3 aylık zaman ölçeğinde 16 defa, 6 aylık zaman ölçeğinde 13 defa, 9 aylık zaman ölçeğinde 9 defa, 12 aylık zaman ölçeğinde 7 defa ve 24 aylık zaman ölçeğinde ise farklı zaman dilimlerinde 2 defa aşırı kurak dönem yaşanmıştır. Yağış Anomali İndisi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlere göre 43 ve 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlere göre ise 4 farklı zaman diliminde defa olağanüstü veya çok şiddetli kurak dönem yaşanmıştır. Yağış Anomali İndisi kullanılarak 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde en şiddetli kurak dönemin ise 2008 yılında yaşandığı belirlenmiştir. Normal Yağışın Yüzdesi İndisi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlere göre 235 ve 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlere göre ise 7 farklı zaman diliminde aşırı kurak dönem yaşanmıştır. Normal Yağışın Yüzdesi İndisi kullanılarak 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde en şiddetli kurak dönemin 16.2 şiddeti ile 1989 yılında yaşandığı tespit edilmiştir (Şener, 2021).

Isparta Meteoroloji İstasyonunda 1 ay ve 1 yıllık zaman ölçeklerinde yağış anomali indisi yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerine göre elde edilen grafikler Şekil 8'de verilmiştir. Buna göre, Isparta DMİ olağanüstü veya çok şiddetli kuraklık periyotları 1 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde -3.86 indis değeri ile Nisan 1964'de, 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise -3.63 indis değeri ile 2008'de yaşanmıştır. Isparta DMİ için 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde en sulak dönem 7.31 indis değeri ile Kasım 1979'da, 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 4.50 indis değeri ile 1969 yılında yaşanmıştır.

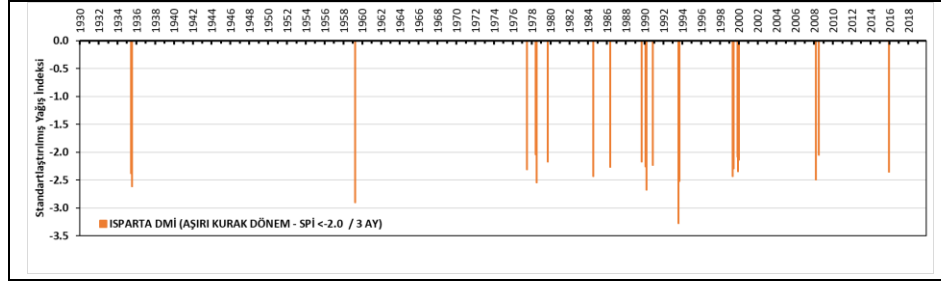
Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği

Isparta Meteoroloji İstasyonunda 1 ay ve 1 yıllık zaman ölçeklerinde normalin yüzdesi indisi yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerine göre elde edilen grafikler Şekil 9'da verilmiştir. Buna göre, Isparta DMİ için 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ölçüm yapılan periyotta en son olarak Aralık 2019 tarihinde çok kurak periyot yaşanmıştır. 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde

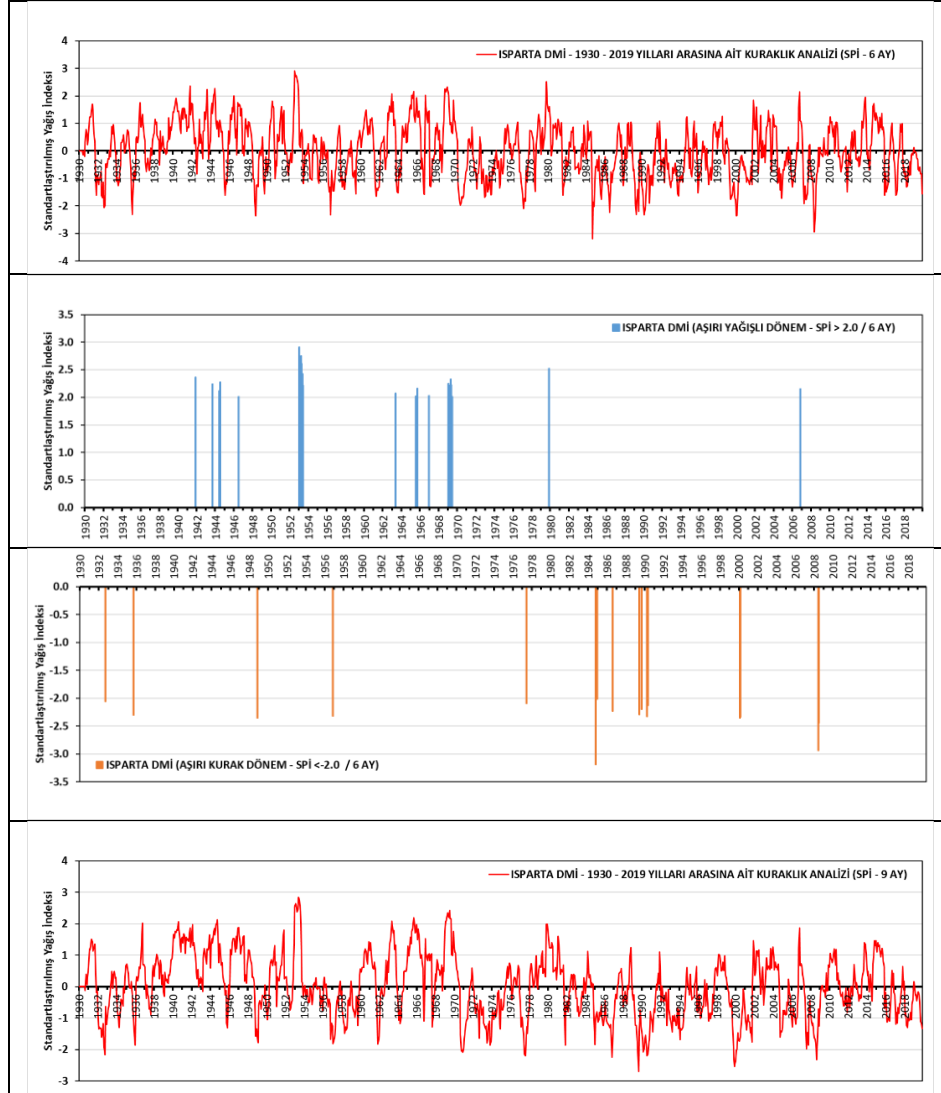
ise en son olarak 2008 yılında çok kurak periyot yaşanmıştır. Isparta DMİ için 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ölçüm yapılan periyotta en son olarak Haziran 2019 tarihinde kurak olmayan normal periyot yaşanmıştır. 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise en son olarak 2012 yılında kurak olmayan normal periyot başlamıştır.



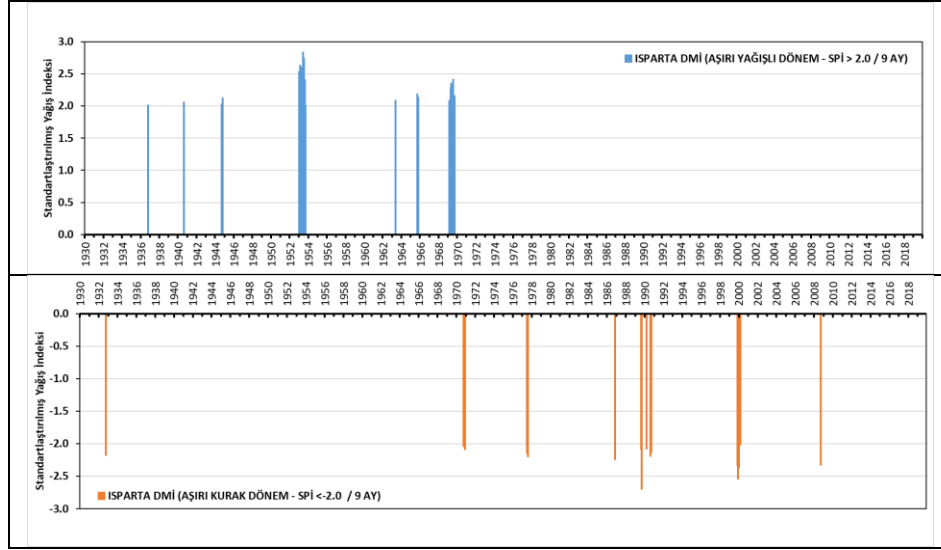
Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği



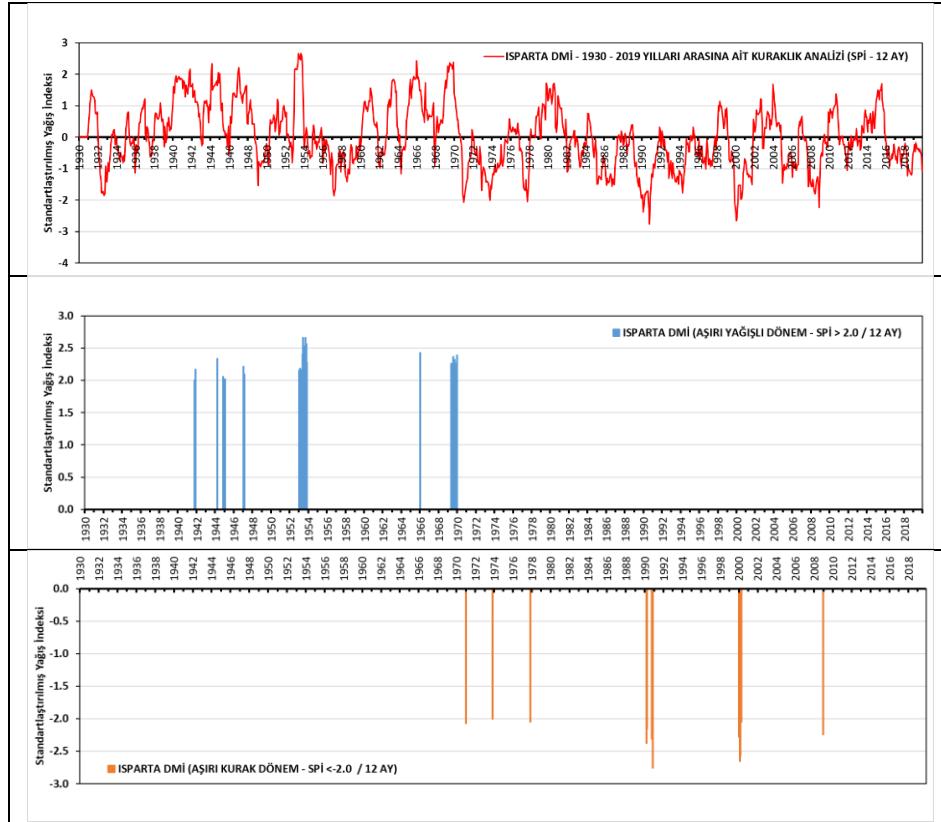
Şekil 5. Isparta DMİ 1ve 3 aylık zaman ölçeklerinde SYI kuraklık indisleri



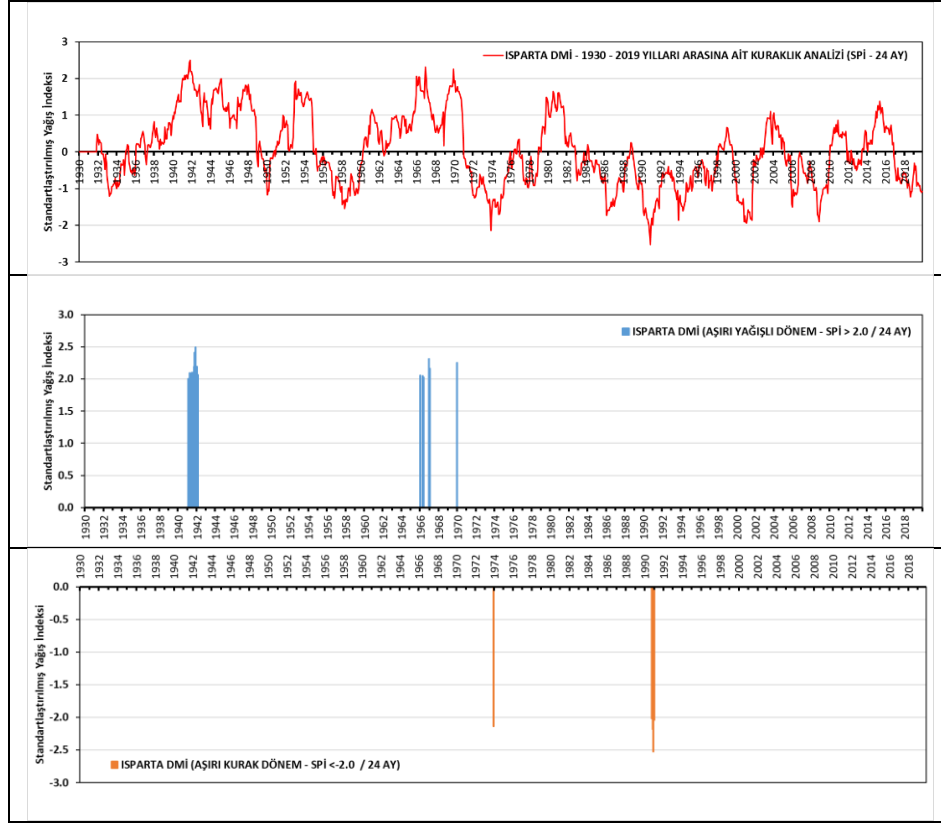
Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği



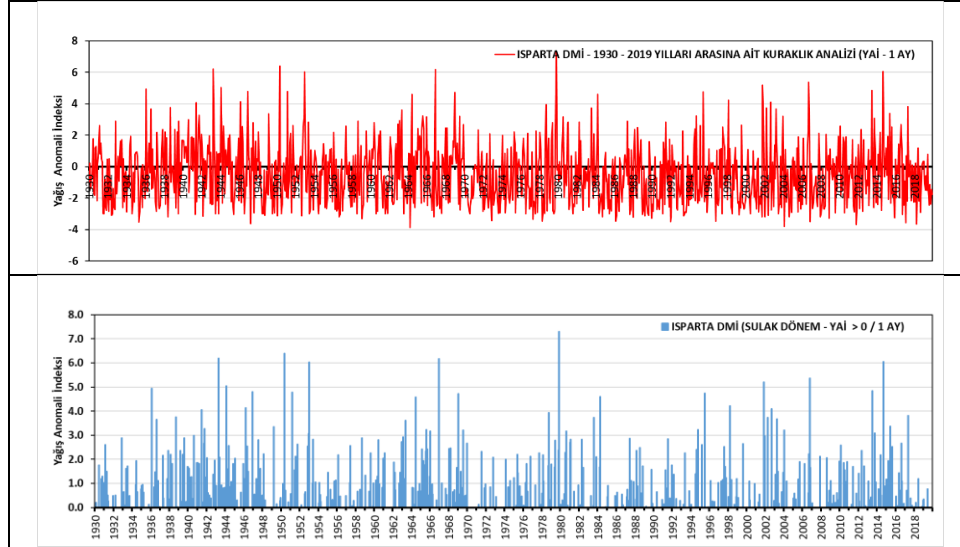
Şekil 6. Isparta DMİ 6 ve 9 aylık zaman ölçeklerinde SYI kuraklık indisleri



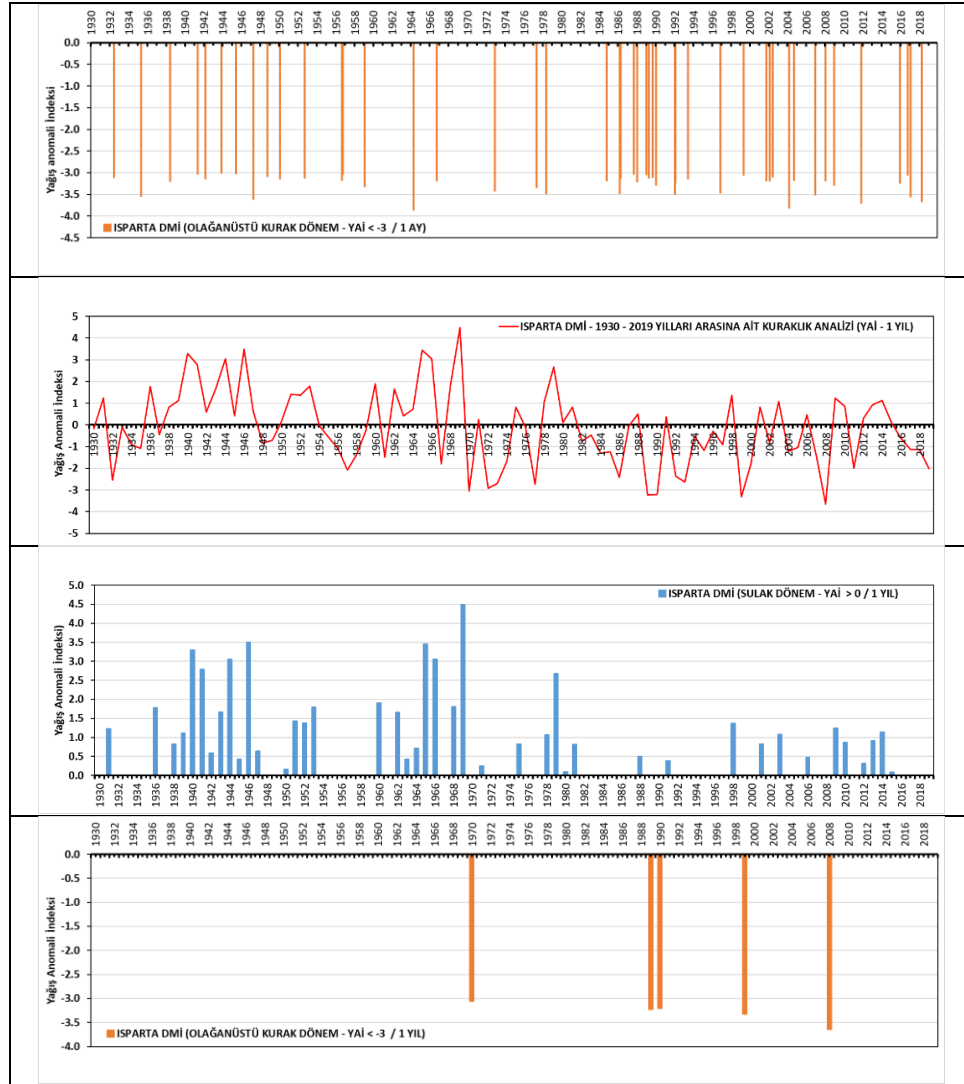
Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği



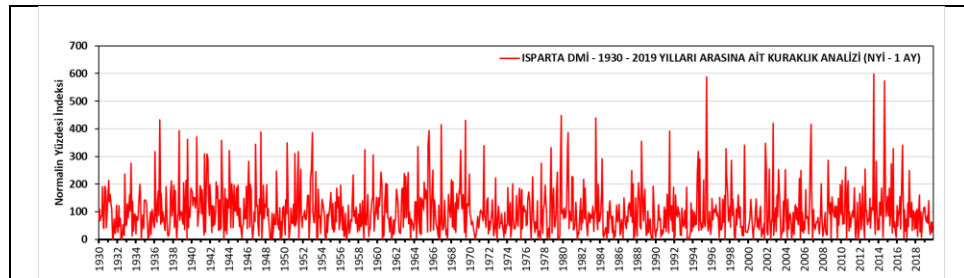
Şekil 7. Isparta DMİ 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde SYI kuraklık indisleri



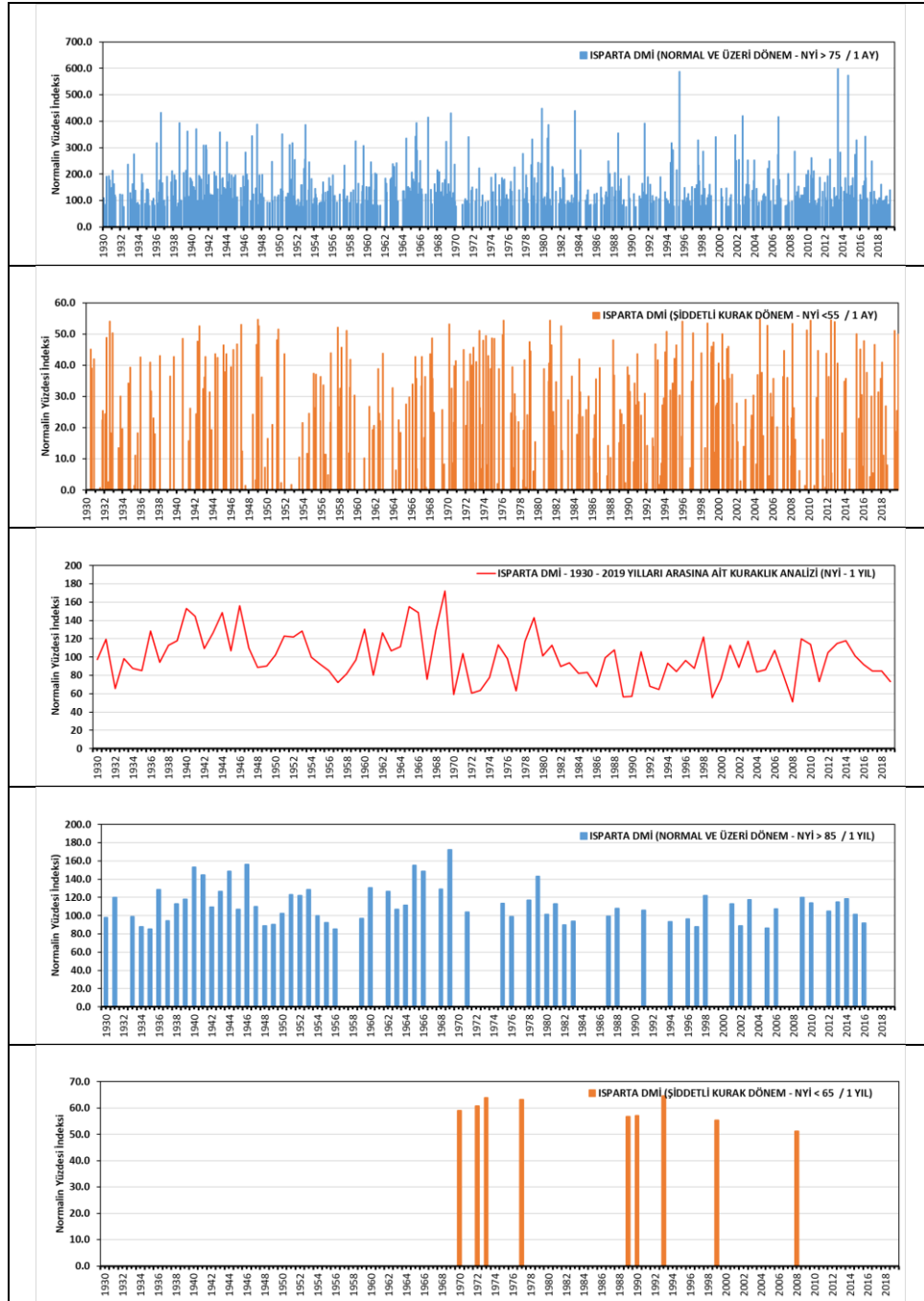
Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği



Şekil 8. Isparta DMI 1 ay ve 1 yıllık zaman ölçeklerinde YAI kuraklık indisleri



Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği



Şekil 9. Isparta DMİ 1 ay ve 1 yıllık zaman ölçeklerinde NYI kuraklık indisleri

Çalışmada kullanılan indisler arasındaki ilişkilerin ortaya konulabilmesi amacıyla pearson korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre 1930-2019 yılları arasında ait 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde Standartlaştırılmış Yağış İndisi sırasıyla Yağış Anomali İndisi arasında 0.968 ve Normal Yağışın Yüzdesi İndisi arasında

ise 0.895 gibi pozitif yüksek bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde Yağış Anomali İndisi ile Normal Yağışın Yüzdesi İndisi arasında ise 0.943 pozitif yüksek bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir (Tablo 4).

Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği

Tablo 4. Çalışmada kullanılan indisler arasındaki korelasyonlar

		SYI	YAI	NYI
SYI	Pearson Correlation	1	,968**	,895**
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.000
	N	1080	1080	1080
YAI	Pearson Correlation	,968**	1	,943**
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.000
	N	1080	1080	1080
NYI	Pearson Correlation	,895**	,943**	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	
	N	1080	1080	1080

**0.01 anlamlılık düzeyinde anlamlı

SONUÇLAR

Kuraklık özellikle son yıllarda yağışların azalmasına bağlı olarak gelişen ve su kaynaklarımızı tehdit eden en önemli baskıların başında gelmektedir. Birçok bölgede olduğu gibi Isparta'da da özellikle yüzeysel su kaynaklarının miktarlarında azalmalar gözlenmektedir. Bu durum geleceğe yönelik tarımsal kuraklık risklerini de beraberinde getirecektir. Özellikle kuraklığa yönelik uyum stratejilerinin geliştirilebilmesi amacıyla öncelikle kuraklıkların doğru olarak belirlenmesi ve izlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, Isparta ilinin kuraklık analizleri yağış tabanlı Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYI), Yağış Anomali İndeksi (YAI), Normal Yağış Yüzdesi İndeksi (NYI) yöntemleri gibi farklı indisler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, bölgedeki meteorolojik kuraklığın belirlenmesinde çalışma alanını en iyi şekilde temsil eden ve en uzun ölçüm periyoduna sahip olan Isparta Devlet Meteoroloji İstasyonunun (DMİ) uzun yıllara ait günlük yağış verileri kullanılmıştır. Çalışmada uygulanan kuraklık indislerin tamamı yağış tabanlı olup hesaplamalarda girdi parametresi olarak yağış verisi kullanılmaktadır. Bununla birlikte söz konusu indislerin değerlendirme sınıfları ile sınıf aralıkları da farklıdır.

Elde edilen sonuçlara göre, Isparta Meteoroloji İstasyonunda 1, 3, 6, 9, 12 ve 24 aylık zaman ölçeklerinde standartlaştırılmış yağış indisi yöntemi ile yapılan kuraklık analizlerinde en uzun kurak periyotların 1 aylık zaman ölçeğinde 31 gün süre ve 1.651 şiddet ile Kasım 2011'den, 12 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 121 gün süre ve 1.542 şiddet ile Ocak 2000'den itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Isparta DMİ istasyonunda en uzun yağışlı periyotların ise 3 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde 121 gün süre ve 1.99 şiddeti ile Aralık 1952'den, 12 aylık zaman ölçeğindeki analizlerde 334 gün süre ve 4.204 şiddeti ile Ocak 1953'den itibaren yaşandığı belirlenmiştir. Yağış Anomali İndeksi (YAI) ve

Normal Yağış Yüzdesi İndeksi (NYI) yöntemleri kullanılarak 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan meteorolojik kuraklık analizlerine göre en son aşırı kurak dönemin 2008 yılında yaşandığı belirlenmiştir.

Standartlaştırılmış Yağış İndisi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlere göre 24 defa aşırı kurak, Yağış Anomali İndisi kullanılarak 1 aylık zaman ölçeğinde yapılan analizlere göre 43 farklı zaman diliminde olağanüstü veya çok şiddetli kurak dönem ve Yağış Anomali İndisi kullanılarak 1 yıllık zaman ölçeğinde yapılan analizlerde ise 235 farklı zaman diliminde aşırı kurak dönem yaşandığı belirlenmiştir. Kurak periyotların sayısındaki bu farklılıklar, kuraklık analizlerinin değerlendirilmesinde kullanılan sınıfların sayısı ve sınıf aralıklarının farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Ancak aynı zaman ölçeğindeki kuraklık grafikleri incelendiğinde kurak ve yağışlı dönemlerin genel olarak birbirleri ile örtüştüğü görülmektedir. Bununla birlikte çalışmada kullanılan 1 aylık zaman ölçeğindeki indisler arasındaki ilişkilerin ortaya konulabilmesi amacıyla korelasyon analizleri yapılmıştır. Buna göre Standartlaştırılmış Yağış İndisi sırasıyla Yağış Anomali İndisi arasında 0.968 ve Normal Yağışın Yüzdesi İndisi arasında ise 0.895 gibi pozitif yüksek bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Aynı şekilde Yağış Anomali İndisi ile Normal Yağışın Yüzdesi İndisi arasında ise 0.943 pozitif yüksek bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla SYI, YAI ve NYI indisleri kullanılarak farklı zaman ölçeklerinde yapılan meteorolojik kuraklık analizlerinde benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Bu çalışmada elde edilen veriler, özellikle kuraklıktan etkilenmesi muhtemel sektörler ile birlikte bölgede suyu kullanan paydaşlar ve yerel yöneticiler tarafından geliştirilen karar destek mekanizmalarında kullanılabilir niteliktedir.

Yağış Tabanlı Farklı İndisler Kullanılarak Meteorolojik Kuraklık Analizi: Isparta Örneği

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında yapılmış olan doktora tezinin bir ürünü olup, SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FDK-2020-8045 ve FBG-2019-7115 nolu projeler kapsamında finansal olarak desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Akçakaya, A., Sümer, U.M. Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., Gürkan, H., Yazıcı, B., Kocatürk, A., Şensoy S., Bölük, E., Arabacı, H., Açar, Y., Ekici, M., Yağan, S., Çukurçayır, F. (2015). Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği-TR2015-CC. *Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayını*, 149 s., Ankara.
- Choi M., Jacobs J.M., Anderson M.C., Bosch D.D. (2013). Evaluation of drought indices via remotely sensed data with hydrological variables. *Journal of Hydrology*, 476: 265-273.
- Cüceloğlu, G. (2019). İklim Değişikliğinin İstanbul'un Yüzeysel Su Kaynaklarına Etkisi ve Kuraklık Dirençli Bütünleşik Su Yönetimi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul.
- Doğan, S. (2013). Konya Kapalı Havzası Kuraklık Karakterizasyonunun Zamansal-Konumsal Analizi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, Konya.
- Fıstıkoğlu, O., Biberoglu, E. (2008). Küresel İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi ve Uyum Önlemleri. TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, 13-14 Mart, Ankara, 238 - 252.
- Gürkan, H., Arabacı, H., Demircan, M., Eskioğlu, O., Şensoy, S., Yazıcı, B. (2016). GFDL-ESM2M Modeli temelinde RCP4. 5 ve RCP8. 5 senaryolarına göre Türkiye için sıcaklık ve yağış projeksiyonları. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 14(2): 77- 88.
- Hezarani, A.B. (2018). Farklı kuraklık analiz yöntemlerinin Yeşilirmak havzasında incelenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Samsun.
- Hayes, M. J., Svoboda, M. D., Wihite, D. A., Vanyarkho, O. V. (1999). Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80(3): 429-438.
- Kömüşçü A., Erkan A. (2006). Kuraklık ve Türkiye Açısından Genel Bir Değerlendirme, DMİ Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- 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.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. Ninth Conference on Applied Climatology, Boston, American Meteorological Society, Book of Proceedings, 233-236.
- Mishra, A.K., Singh, V.P. (2010). A 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 V.P. (2011). Drought modeling - a review. *Journal of Hydrology*, 403, 157-175
- Orhan O., (2014), Konya Kapalı Havzası'nda Uzaktan Algılama ve CBS Teknolojileri ile İklim Değişikliği ve Kuraklık Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Sırdaş S., Şen Z., (2003), GAP Bölgesinde kurak dönem özelliklerinin araştırılması. III. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, 19-21 Mart, İstanbul, Türkiye, Book of Proceedings, 305-317.
- Svoboda, M.D., Fuchs, B.A. (2016). Handbook of drought indicators and indices. Geneva, Switzerland, World Meteorological Organization, 1-44.
- 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. (2021). Küresel İklim Değişikliğinin Eğirdir Gölü Havzasına Etkileri ve Kuraklık Analizi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Isparta.
- 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.
- 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., Pangalou, D., Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the reconnaissance drought index (RDI). *Water Resources Management*, 21(5): 821-833.
- Türkeş, M. (1990). Palmer Kuraklık İndisi'ne Göre İç Anadolu Bölgesi'nin Konya Bölümü'ndeki Kurak Dönemler ve Kuraklık Şiddeti. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 129-144.
- UNFCCC (1994). İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi, <http://www.unfccc.int/> (Erişim Tarihi: 16.03.2021).
- Van Rooy, M.P. (1965). A rainfall anomaly index independent of time and space. *Notos*, 14, 43.
- Wilhite D.A., Glantz M.H. (1985). Understanding The Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International*, 10(3): 111-120.
- Yacoub, E., Tayfur, G. (2017). Evaluation and Assessment of Meteorological Drought by Different Methods in Trazza Region, Mauritania. *Water Resources Management*, 31: 825-845.