



İklim Değişikliğinin İç Anadolu Bölgesi Kuraklık Koşullarına Etkisinin İncelenmesi

Gülten ÇAMALAN¹, Kahraman OĞUZ², Sercan AKIL³

¹Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı; gcamalan@mgm.gov.tr; 0000-0001-7598-9771

²Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Araştırma Dairesi Başkanlığı; koguz@mgm.gov.tr; 0000-0001-5305-6145

³Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 9. Bölge Müdürlüğü; sakil@mgm.gov.tr; 0000-0003-0988-7528

Özet

Doğal afetler tarih boyunca insan yaşamında önemli bir yer tutmuştur. Bu afetlerin geniş kitleleri etkileyen en önemlilerinden birisi kuraklıktır. Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı Akdeniz Havzası, iklim değişikliğine en hassas bölgelerden birisidir. Türkiye'de sıcaklık artışı ve düzensiz yağış değişiklikleri ile birlikte, yaşanması muhtemel kuraklıkların şiddet, süre ve sıklığının artacağı ve kuraklığın etkilerinin gelecekte daha da fazla hissedileceği öngörülmektedir. Karasal iklim özelliklerinin hakim olduğu İç Anadolu Bölgesi, kuraklıktan en fazla etkilenen bölgelerden birisidir. Bu çalışmada, İç Anadolu Bölgesi'nin meteorolojik değişkenlere (yağış, sıcaklık) bağlı olarak kuraklık olaylarının özellikleri (şiddet-süre-yoğunluk), yıllık ve mevsimsel değişimleri, kuraklaşma eğilimi ve iklim değişikliğinin kurak koşullar üzerindeki etkileri standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indeksi ve standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemleriyle değerlendirilmiştir. Bölgeyi temsil eden uzun süreli aylık toplam yağış ve aylık ortalama sıcaklık ölçümlerine sahip 26 meteoroloji gözlem istasyon verisi ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde üretilen 20 km çözünürlüklü HadGEM2-ES bölgesel iklim projeksiyon verileri kullanılmıştır. Sonuç olarak, Türkiye geneli ortalama sıcaklıklar göz önüne alınarak incelendiğinde, 1994 yılından itibaren bir artış trendine girmiş ve bu artış trendi özellikle 2005'lerden itibaren belirginleşmiştir. Bölgede yaşanmış kuraklık olayları üzerinde yağış açıklarının neden olduğu kuraklıkları göz ardı etmeden, sıcaklığa bağlı etkileri değerlendirmek amacıyla mevcut dönem olan 1969-2021 dönemi, 3 ve 12 aylık ölçeklerde, iki dönem hâlinde (1969-1994 / 1995-2021) aynı yöntemlerle ele alınmıştır. Projeksiyon verileri de aynı şekilde iki dönem hâlinde (2022-2060 / 2061-2098) ele alınarak iklim değişikliğinin, yaşanması muhtemel kuraklıklar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bölgenin yıllık toplam yağış, yıllık toplam potansiyel evapotranspirasyon ve yıllık ortalama sıcaklık dizilerindeki eğilimleri de Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı yöntemiyle test edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, İç Anadolu Bölgesi, İklim Değişikliğinin Kuraklığa Etkisi, SPI ve SPEI yöntemleri

Investigation of the Effect of Global Warming on Drought Conditions in the Central Anatolia Region

Abstract

Natural disasters have held an important place in human life throughout history. One of the most important of these disasters affecting large masses is drought. The Mediterranean Basin, in which Turkey is located, is one of the most sensitive regions to climate change. It is predicted that the severity, duration and frequency of droughts that are likely to be experienced together with temperature increase and irregular precipitation changes in Turkey will increase and the effects of drought will be felt even more in the future. The Central Anatolia Region, where continental climate characteristics prevail, is one of the regions most affected by drought. In this study, the characteristics of drought events

(intensity-duration-intensity), annual and seasonal changes, the effects of global warming on arid conditions and the drought tendency of the Central Anatolia Region due to meteorological variables (precipitation, temperature) are evaluated by the standardised precipitation-evapotranspiration index and the standardized precipitation index methods. The data of 26 meteorological observation stations with long-term monthly total precipitation and monthly average temperature measurements representing the region and 20 km resolution HadGEM2-ES regional climate projection data produced within the Turkish State Meteorological Service are used. As a result, considering the average temperatures in Turkey, it has entered an increasing trend since 1994 and this increasing trend has become evident especially since 2005. In order to evaluate the temperature-related effects on the drought events experienced in the region, without ignoring the droughts caused by the precipitation deficits, the current period of 1969-2021, has been discussed in two periods (1969-1994 / 1995-2021) on 3- and 12-month scales with same methods. Projection data are also handled in two periods (2022-2060 / 2061-2098) and the effects of global warming on possible droughts are examined. The trends of the region in the series of annual total precipitation, annual total potential evapotranspiration and annual average temperature are also tested according to the Mann-Kendall rank correlation coefficient method.

Keywords: Drought, Central Anatolia Region, Effect of Climate Change on Drought, SPI and SPEI methods

1. Giriş

Kuraklık, iklimin doğal ve yinelenen bir özelliğidir ve hemen hemen tüm iklim rejimlerinde meydana gelmektedir. Kuraklık olayı, özellikle doğal ekosistemler, su kaynakları, tarım üretimi ve toplum üzerinde ciddi etkilere sahiptir (Burton vd., 1978; Wilhite ve Glantz 1985; Wilhite 1993). Kuraklık sebebiyle, yüzey suyu akışında azalma, yer altı suyu seviyelerinin düşmesi, açık sığ yüzey kuyularının kuruması, artan su/toprak tuzluluğu, ilerleyen dönemlerinde çölleşme, tarımsal üretimde azalma, artan toz fırtınası olayları ve buna bağlı solunum yolu enfeksiyonlarında artış ve nihayetinde pek çok sosyo-ekonomik sorunlar meydana gelebilmektedir (Ozguler ve Yıldız, 2020). Kuraklık, özellikle Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde sürdürülebilir kalkınmanın önündeki en büyük tehditlerden biridir. Su ve gıda talebine olan artış ve iklim değişikliği gibi nedenler son yıllarda küresel kuraklık senaryolarını çok fazla gündeme getirmektedir.

Kuraklık ve iklim değişikliğinin kuraklık üzerine etkilerinin tespiti amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmüştür. Baykal vd. (2023) çalışmasında, standart yağış indeksi ve uzun-kısa süreli bellek ağı yöntemlerini kullanarak 1929-2021 yılları için ve gelecek 10 yıl için kuraklık değerlerini hesaplamıştır. Sonuçta bölgede, kuraklık eğilimi ile birlikte gelecek 10 yıllık verilerin eğilim analizinin RCP4.5 yağış projeksiyonları ile benzerliklerini incelemiştir. Ayva vd. (2023) çalışmasında, Kirazdere havzası ve çevresinde iklim değişikliğinin günümüzdeki etkisi ve gelecekteki olası etkilerini, HadGEM2-ES ve MPI-ESM-MR iklim modelleri senaryoları ve standartlaştırılmış yağış indeksi yöntemiyle belirlemeye çalışmıştır. Sonuçta, iklim projeksiyonlarına bağlı olarak standartlaştırılmış yağış indeksi metoduyla elde edilen kuraklık analizi sonuçlarına göre, havzada gelecekte de kısa ve uzun dönemli kuraklıklar yaşanacağı, 2050 yılından sonra daha da şiddetleneceğini öngörmüştür. Çamalan ve Çetin (2022) Türkiye’de 1971-2015 dönemi yaşanmış kuraklık olaylarının analizini ve 2016-2098 dönemi yaşanması muhtemel kuraklık olaylarının eğilimini RCP4.5 senaryosunda HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR ve GFDL-ESM2M bölgesel iklim model verileri ile üç dönem hâlinde standartlaştırılmış yağış-*evapotranspirasyon* yöntemiyle incelemiştir. Sonuçta her üç bölgesel iklim modelinde SPEI-12 aylık ölçekte Türkiye genelinde kuraklık sınıflarının daha kurak bir üst sınıfa doğru kayma eğilimi göstereceğini ve gelecekte uzun süren güçlü kuraklıklar ile kısa süren şiddetli kuraklıkların etkili olabileceğini öngörmüştür. HadGEM2-ES (RCP4.5) bölgesel iklim modelinin periyot boyunca sıcaklıkta beklenen artışın diğer iki modele göre daha fazla olması yaşanması muhtemel uzun süren güçlü kuraklıkların daha şiddetli olduğunu, Türkiye’de gelecekte kuraklığın etkilerinin daha fazla hissedilebileceğini göstermiştir. Tuğrul ve Hınıs (2022) çalışmasında, Konya Apa Barajı bölgesinde normalleştirilmiş yağış indisi yöntemi kullanılarak kuraklık analizi yapmıştır. Çalışmada, 1955-2020 yılı arasındaki aylık toplam yağış verisinden faydalanılarak SPI’nin 1, 3, 6, 9, 12, 24 aylık zaman adımları ayrı ayrı incelenmiş olup, bölgede sırasıyla 85, 41, 34, 26, 13, 7 adet kuraklık tespit edilmiştir.

Çetin ve Kumanlioglu (2023) çalışmasında, Gediz havzasında yer alan Medar alt havzasının meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları standardize yağış indisi, standardize yağış *evapotranspirasyonu* indisi ve standardize akım indisi yöntemleri kullanarak araştırmıştır. Sonuçta, meteorolojik veriler ile beraber Medar çayı üzerinde Medar Köprüsünde gözlemlenen akım değerleri kullanarak 1971-2015 yılları arasında aylık, 3 aylık, 6 aylık ve 12 aylık zaman dilimlerinden meydana gelen meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkları belirlemiştir. Eşit ve Yüce (2022) çalışmasında, Kahramanmaraş ilinin çok değişkenli kuraklık frekans analizi ve risk değerlendirilmesini kopula fonksiyonları kullanarak yapmıştır. Çalışma sonucunda, en yüksek şartlı kuraklık şiddeti dönüş periyodunun Kahramanmaraş merkezinde, en düşük dönüş periyodunun ise Elbistan ilçesinde olduğunu saptamıştır. En yüksek şartlı kuraklık süresi dikkate alındığında, Afşin ilçesinin en yüksek dönüş periyoduna sahip iken (en az riskli), Elbistan ilçesinin en kısa dönüş periyoduna sahip olduğunu (riskli) gözlemiştir. Bakanoğulları vd. (2022) çalışmasında, Kırklareli ilinde 1963-2019 yılları arasında meteorolojik ve tarımsal kuraklığın sıklık ve şiddetini iki indeks ile belirlemiştir. Sonuçta,

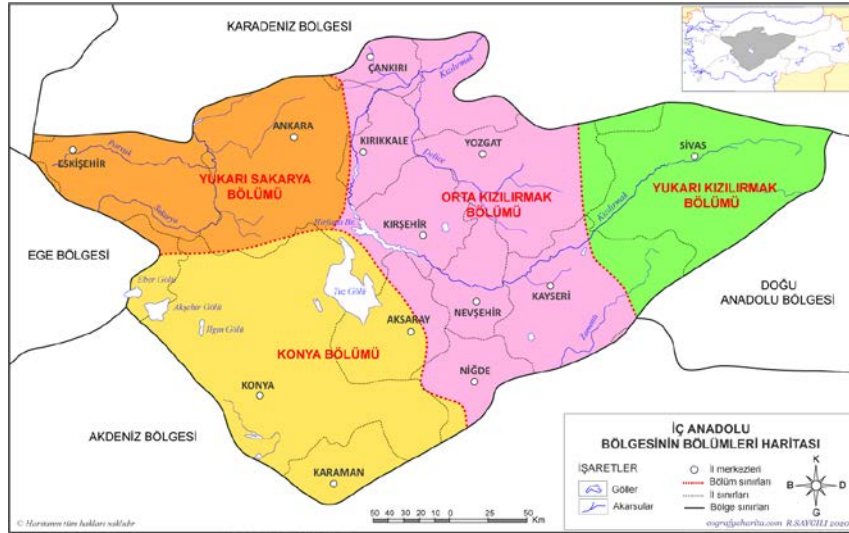
standardize yağış evapotranspirasyonu indisi sonuçlarına göre, yıllık tarımsal kuraklık sonuçlarına göre on yıl hafif kurak, beş yıl orta kurak, bir yıl şiddetli kurak ve iki yıl aşırı kurak olarak tespit etmiştir. Poyrazoğlu ve Arıman (2022) çalışmasında, Akdeniz bölgesinde yer alan Kahramanmaraş ilinde standardize yağış indeksi yöntemi kullanarak 3, 6, 9 ve 12 aylık zaman dilimlerinde meteorolojik kuraklık analizi yapmıştır. Sonuç olarak, tüm zaman ölçeklerine göre 4 meteoroloji istasyonu için özellikle 2000 yılı ve sonrası kuraklık dönemlerinde artış bulmuştur. Aktürk vd. (2022) çalışmasında, yarı kurak özelliklere sahip Kırıkkale ilinde kuraklığın gelişimini ve özelliklerini incelemek amacıyla standartlaştırılmış yağış indisi ve standartlaştırılmış yağış evapotranspirasyon indisi yöntemleri kullanılarak kuraklık analizi yapmıştır. Sonuçta, kuraklık olaylarının toplamı değerlendirildiğinde, genel olarak zaman ölçeği arttıkça yaşanan kuraklık olaylarının sayısında azalma görüldüğü, fakat kuraklık periyodu uzadıkça hesaplanan indisler için ortama kuraklık süresinde ve yaşanan en uzun kuraklık süresinde artış söz konusu olduğunu tespit etmiştir. Duvan vd. (2021) çalışmasında, Sakarya havzası için gözlemlenmiş yağış verileri ile birlikte, HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP 4.5 ve 8.5 senaryoları ile elde edilen yağış projeksiyon verileri kullanarak, standart yağış indisi yöntemiyle kuraklığın zamansal ve alansal özellikleri incelemiştir. Sonuçta, HadGEM2-ES modelinin RCP 4.5 ve 8.5 verileri ile yapılan hesaplamalarda kuraklık şiddeti değerlerinin gözlemlenmiş yağış verileri ile hesaplanan kuraklık şiddeti değerlerinden daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Turan (2018) çalışmasında, Türkiye'nin iklim değişikliğine bağlı kuraklık durumunu değerlendirmiştir. Çalışmada, iklim değişikliği projeksiyonlarının sıcaklıklarda ülke genelinde yükseleceği ve yağışların özellikle ülkenin güney yarısında azalacağını gösterdiğini, bu değişimlerin ülkemizin su kaynaklarını olumsuz yönde etkileyerek özellikle güneydeki havzalarda su potansiyelini azaltmasının kaçınılmaz olduğu belirtilmiştir.

Su planlaması ve yönetimi birçok bölgede zorlu bir görev ve gerekliliktir. Kuraklığın izlenmesi ve analizi için çeşitli yöntemler bulunmakla birlikte, bu çalışmada meteorolojik değişkenlere (yağış, sıcaklık) bağlı en yaygın olarak kullanılan SPI ve SPEI indis yöntemleri ile kuraklık olaylarının özellikleri, yıllık ve mevsimsel değişimleri, iklim değişikliğinin kurak koşullar üzerindeki etkileri ve kuraklaşma eğilimi incelenmiştir. Meteorolojik kuraklıkta sıcaklığın rolünü değerlendirmek amacıyla yaşanmış kuraklık olaylarının analizi bölge ve istasyonlar temelinde her iki indis için 3 ve 12 aylık zaman ölçeğinde iki dönem hâlinde (1969-1994 / 1995-2021) incelenirken, yaşanması muhtemel kuraklaşma eğilimi iki dönem hâlinde (2022-2060 / 2061-2098) ele alınmıştır. Kuraklık, yavaş gelişen bir olay olması sebebiyle etkilerini sonradan yoğun bir şekilde hissettirmektedir. İklim değişikliğinin de etkisiyle birlikte sıklığı ve şiddeti giderek artmaktadır. Özellikle yağış azlığına konu olan İç Anadolu Bölgesi, kuraklık olaylarının sıkı takibinin yapılması gereken yerlerden biridir. Bu çalışma ile, kuraklık sorunları açısından başta gelen İç Anadolu Bölgesinin geçmiş dönem kuraklık analizi ile birlikte gelecekte gerçekleşmesi muhtemel kuraklık durumu çalışılmıştır. Aynı zamanda meteorolojik kuraklıkta sıcaklığın rolü ele alınmıştır. Bu çalışma, İç Anadolu Bölgesi için yapılacak kuraklık eylem planları açısından önemli fikirler sağlayacaktır.

2. Materyal ve Metot

2.1 Çalışma Alanı

Çalışma alanı İç Anadolu Bölgesini kapsamaktadır. Bölgenin yüzölçümü 151000 km²'dir. Türkiye'nin ikinci büyük bölgesidir. Bölge; Konya, Yukarı Sakarya, Orta Kızılırmak ve Yukarı Kızılırmak bölümlerinden oluşmaktadır (Şekil 1). Türkiye'nin en büyük ovası Konya ovası bu bölgede yer almaktadır. Bölgede karasal iklim hakimdir. Yazları sıcak ve kurak, kışları soğuk ve kar yağışlıdır. Bölgenin ekonomisi tarım ve hayvancılığa dayanmaktadır.



Şekil 1. İç Anadolu Bölge Haritası (URL 1)

2.2 Çalışmada Kullanılan Veri Setleri

Çalışmada, İç Anadolu Bölgesini temsil eden 26 meteoroloji gözlem istasyon verisi ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde üretilen 20 km çözünürlüklü HadGEM2-ES (the Hadley Centre Global Environment Model version 2) RCP4.5 senaryosunun bölgesel iklim projeksiyon verisi (2022–2098) kullanılmıştır. HadGEM2-ES küresel iklim modeli, İngiltere Meteoroloji Servisi'nin araştırma kuruluşu olan Hadley Merkezi tarafından geliştirilmiştir. HadGEM2 serisi birleştirilmiş atmosfer-okyanus yapılandırması ile içerisinde dinamik vejetasyon, okyanus biyolojisi, atmosfer kimyasının bulunduğu bir kara-sistem yapılandırmasını içeren ikinci nesil bir modeldir. Türkiye için bölgesel iklim projeksiyon verileri RegCM4 dinamik ölçek küçültme yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Veriler üretilirken istasyonların 1971–2000 referans dönem normalleri kullanılmıştır (MGM, 2015). Bu veriler kullanılarak istasyonlar ve bölge bazında 3 ve 12 aylık ölçekte SPI ve SPEI yöntemleriyle kuraklık olaylarının özellikleri (şiddet-süre-yoğunluk) ile bölge bazında yıllık ve mevsimsel değişimleri ele alınarak iklim değişikliğinin kurak koşullar üzerindeki etkileri ve kuraklaşma eğilimi incelenmiştir. Kullanılan istasyonların alansal ağırlık ortalamaları alınarak bölge zaman serisi oluşturulmuş ve indis hesaplamaları yapılmıştır. Türkiye ortalama sıcaklıklarda 1994 yılından itibaren artış eğilimine girmiş ve bu artış eğilimi 2005'lerden itibaren belirginleşmiştir (Çamalan vd., 2019a-b). Sıcaklık artışının İç Anadolu bölgesi iklimi ve kurak koşullar üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla 1969–2021 mevcut dönem her iki indis için 3 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde iki dönem hâlinde (1969–1994 / 1995–2021) incelenmiştir. Projeksiyon verileri 2022–2060 / 2061–2098 olmak üzere iki dönem hâlinde çalışılmıştır. Bu çalışma ile yıllık ortalama sıcaklık, yıllık toplam yağış ve yıllık toplam PET değerleri hesaplanmış ve Mann-Kendall yöntemi ile bunların eğilimleri tespit edilmiştir.

2.3 Kuraklık Süre ve Şiddet Hesabı

Kuraklık olayı, SPI ve SPEI indis değerlerinin sıfır değerinin altına düştüğünde tanımlanır. Kuraklık süresi (D), indis değerlerinin ardışık sıfırın altında kaldığı ve pozitif olduğu zaman sona erdiği dönem uzunluğudur. Kuraklık şiddeti (Severity-S), belirlenen zaman periyodunda (bu çalışmada 3 ve 12 ay) SPEI ve SPI indis değerlerinin ardışık olarak sıfırın altında kalan toplam en büyük kümülatif değeri ifade eder (Denklem 1). Kuraklık ortalama şiddeti-yoğunluk (Intensity-I) ise kuraklığın toplam şiddetinin süresine oranıdır (Denklem 2).

$$S = - \sum_{i=1}^D SPEI_i \quad (1)$$

$$I = S/D \quad (2)$$

Yoğunluk (I), kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğünü, şiddet (S) ise daha uzun sürede yavaş gelişen güçlü kuraklığı ifade etmektedir. Yoğunluk ve şiddet kuraklık analizinde farklı sektörleri ilgilendiren önemli parametrelerdir. Uzun süreli yavaş gelişen şiddetli kuraklıklar hidrolojik döngüyü etkilerken (Van Loon, 2015), kısa süreli şiddetli kuraklıklar toprak nemini etkilemektedir (Hayes vd., 1999). Her ne kadar kuraklık sonucunda ortaya çıkan sorunlar benzer olsa da, uzun süreli kuraklıklar sonucu ortaya çıkan sorunlar ve zararlar daha büyük olabilmektedir.

2.4 Standartlaştırılmış Yağış Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI)

SPEI yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (PET) arasındaki fark verisini kullanmakta ve kurak dönemlerin analizinde önerilmektedir (Vicente-Serrano vd., 2010). Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) Thorntwaite metodu ile hesaplanmaktadır (Thorntwaite, 1948).

Herhangi bir aya PET ve yağış arasındaki fark verisi D_i değeri su fazlası veya su noksanı miktarını vermektedir (Denklem 3):

$$D_i = P_i - PET_i \quad (3)$$

D_i olasılıkları için ters-standart normal dağılım fonksiyonu kullanılarak standartlaştırılmış D_i dizisi, yani SPEI değerleri elde edilir (Denklem 4).

$$SPEI = w - \frac{C_0 + C_1 w + C_2 w^2}{1 + d_1 w + d_2 w^2 + d_3 w^3} \quad (4)$$

Burada; $w = \sqrt{-2 \ln(P)} \rightarrow P \leq 0,5$ için

P değeri belirlenmiş bir D değerinin aşılma olasılığını ifade eder.

$C_0 = 2,515517$; $C_1 = 0,802853$; $C_2 = 0,010328$; $d_1 = 1,432788$; $d_2 = 0,189269$; $d_3 = 0,01308$

SPEI'nin ortalaması 0; standart sapması 1'dir. SPEI normalleştirilmiş değişken olması sebebiyle, alan zaman ölçeğinde diğer SPEI değerleri ile ilişkilidir. SPEI, kuraklığı şiddet-yoğunluk-süresine göre ölçebilmektedir. Kurak dönemlerin başladığı ve bittiği süreyi belirlemekle birlikte, geniş bir iklim coğrafyasında hesaplama yapılabilir. Bu yolla, zaman ve mekâna bağlı olarak kuraklığın karşılaştırmasını mümkün kılmaktadır (URL 2; URL 3).

2.5 Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI)

SPI, kuraklığın gözlemlenmesi amacıyla yağış olasılığına dayanan bir yöntemdir. SPI'nin negatif değerleri kuraklık koşullarının mevcut olduğunu gösterirken, pozitif değerleri ise nemliliği göstermektedir. SPI, denklem 5 ile hesaplanmaktadır.

$$SPI = (x_i - x_{ort}) / \sigma \quad (5)$$

Burada, X_i : ölçülen yağışı, X_{ort} : yağış ortalamasını, σ : ise standart sapmayı ifade eder (Oğuz vd., 2021). SPEI ve SPI kuraklık sınıflarına ait değer aralıkları Tablo 1'de gösterilmektedir.

Tablo 1 SPEI ve SPI Kuraklık Sınıf Değer Aralıkları

	SPI-SPEI İNDİS DEĞERLERİ	SINIFLANDIRMA	CLASSIFICATION
	2,00 ve üzeri	Aşırı nemli	Extremely wet
	1,50 – 1,99	Çok nemli	Very wet
	1,00 – 1,49	Orta nemli	Moderately wet
Normal	0,99 – 0	Hafif nemli	Lightly wet
	0- (-0,99)	Hafif kurak	Lightly dry
	(-1,00) - (1,49)	Orta kurak	Moderately dry
	(-1,50) - (1,99)	Şiddetli kurak	Severely dry
	(-2,00) ve alt	Aşırı kurak	Extremely dry

2.6 Mann-Kendal Sıra Korelasyon Katsayısı Yöntemi

Mann-Kendall sıra korelasyon katsayısı yöntemi, parametrik olmayan bir test olup verilerin eğilimini belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir (Mann, 1945; Kendall, 1975). Bir zaman serisinin monoton bir

yükseliş veya düşüş trendine sahip olup olmadığını belirlemek için kullanılır. Verilerin normal dağılmış veya doğrusal olmasını gerektirmez. Verilerin otokorelasyon olmamasını gerektirir. Bu test için sıfır hipotezi, trend olmadığıdır ve alternatif hipotez, iki taraflı testte bir trend olduğu veya tek taraflı testte bir artış (veya düşüş) trendi olduğu şeklindedir. x_1, \dots, x_n zaman serileri için MK Testi aşağıdaki istatistiği kullanır (Denklem 6):

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

$S > 0$ ise, zaman serisindeki daha sonraki gözlemlerin, zaman serisinde daha önce görünenlerden daha büyük olma eğiliminde olduğunu, $S < 0$ ise bunun tersinin doğru olduğunu varsayar.

S'nin varyansı şu şekilde verilir (Denklem 7):

$$\text{var} = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_t f_t (f_t - 1)(2f_t + 5)] \quad (7)$$

burada t , bağlı dereceler kümesi üzerinde değişir ve f_t , t mertebesinin görünme sayısıdır (yani frekans).

MK Testi aşağıdaki test istatistiğini kullanır (Denklem 8):

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{se}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{se}, & S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

burada $se = \text{var}$ 'ın karekökünü ifade eder. Monoton bir eğilim yoksa (sıfır hipotezi), o zaman 10'dan fazla elemanlı zaman serileri için $z \sim N(0, 1)$, yani z standart bir normal dağılıma sahiptir (URL 4).

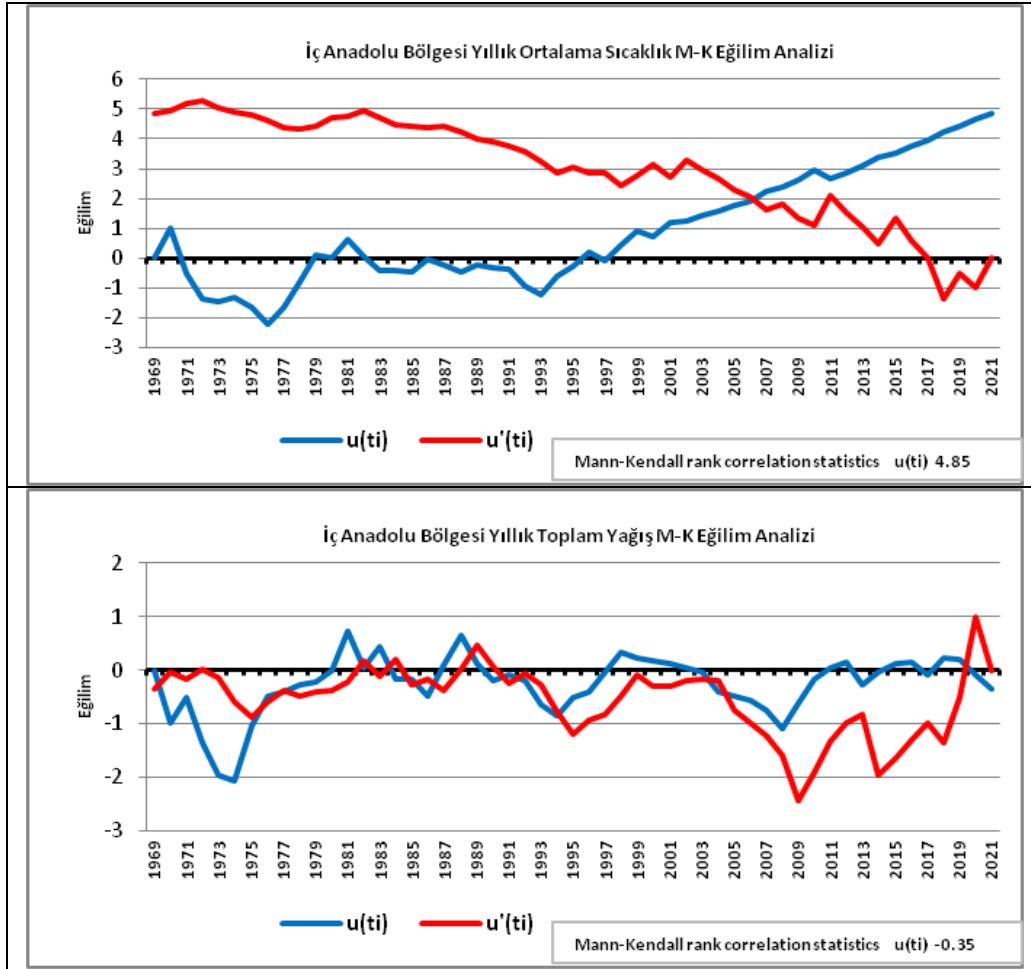
3. Sonuçlar ve Tartışma

İç Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağış ortalaması (1969-2021) 427,4 mm'dir. Uzun yıllar (1969-2021) sıcaklık ortalaması 11,0 °C'dir. Çalışılan istasyonların uzun yıllar sıcaklık ortalaması ve yıllık toplam yağış değerleri Tablo 2'de verilmiştir. İç Anadolu Bölgesi yıllık toplam yağışlarının %31'ini kış, %34'ünü ilkbahar, %21'ini sonbahar ve %14'ünü yaz mevsiminde almaktadır. Bölgede önemli bir yağış değişimi tespit edilmediği, yıllık ortalama sıcaklıklarda önemli bir artış eğilimi olduğu görülmektedir. Bölge ortalama sıcaklıklarda 1994 yılından itibaren artış eğilimine girmiş ve bu artış eğilimi 2005'lerden itibaren belirginleşmiştir (%5 anlamlılık düzeyinde kritik z değeri ± 1.96) (Şekil 2).

Tablo 2 İstasyonların Uzun Yıllar Ortalamaları

İstasyon no	İstasyon adı	Ortalama sıcaklık (°C)	Toplam yağış (mm)
17080	Çankırı	11,3	412,6
17090	Sivas	9,2	439,8
17130	Ankara	12,1	408,1
17135	Kırıkkale	12,5	383,8
17140	Yozgat	9,3	586,4
17160	Kırşehir	11,6	382,3
17191	Cihanbeyli	11,5	322,6
17192	Aksaray	12,3	345,1
17193	Nevşehir	10,8	415,3
17196	Kayseri	10,5	397,3
17239	Akşehir	12,0	541,6
17244	Konya	11,7	329,6
17246	Karaman	12,1	332,7
17248	Ereğli	11,8	302,2
17250	Niğde	11,2	333,2
17664	Kızılcahamam	9,9	569,6
17679	Nallıhan	12,6	340,9
17680	Beypazarı	13,2	395,8

17716	Zara	8,6	503,0
17728	Polatlı	11,8	360,9
17756	Kaman	10,5	452,9
17836	Develi	11,1	357,9
17840	Sarız	7,6	501,6
17898	Seydişehir	11,8	748,4
17906	Ulukışla	9,9	319,5
17928	Hadim	10,0	628,9



Şekil 2. İç Anadolu Bölgesi Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplam Yağış M-K Eğilimleri

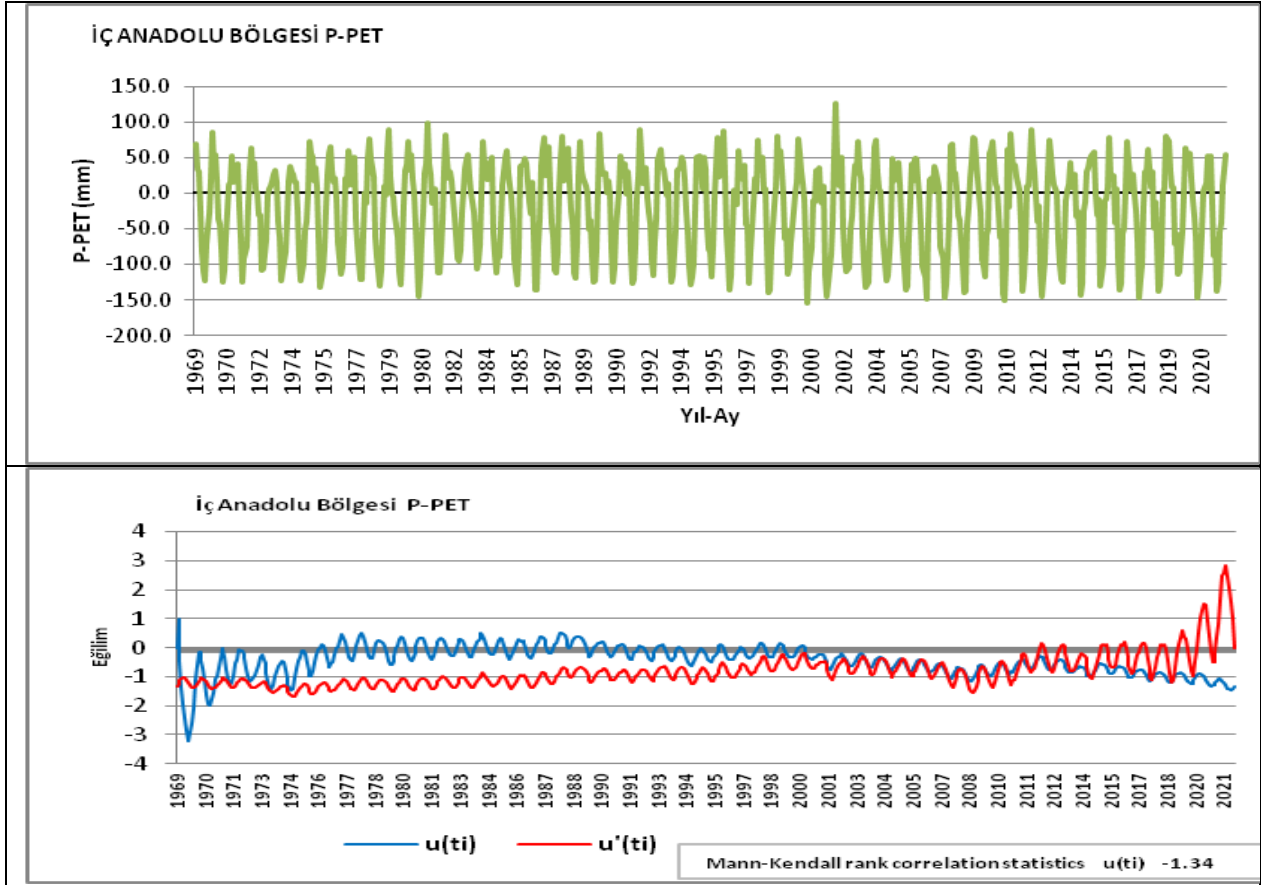
Bölgenin yaz yağışlarında önemli olmasa da bir artış eğilimi (1,15); kış (-0,17), ilkbahar (-1,78) ve sonbahar yağışlarında (-0,05) ise önemli olmasa da bir azalış eğilimi söz konusudur. Özellikle yer altı ve yer üstü sularının varlığının devamında bölgedeki kış ve bahar yağışlarındaki değişimler oldukça önemlidir.

Bölgede çalışılan istasyonların 1969-2021 döneminde yıllık toplam yağış M-K eğilim analiz sonuçlarına bakıldığında; Hadim, Sarız, Zara ve Akşehir istasyonlarında önemli bir azalış görülürken, diğer istasyonlarda önemli bir artış veya azalış görülmemektedir. Ortalama sıcaklıklarda, Nallıhan istasyonu hariç tüm istasyonlarda önemli bir artış söz konusudur. Çalışılan istasyonlarda yıllık toplam PET değerlerinde önemli bir artış görülmektedir (Tablo 3). Thornthwaite İklim Sınıflandırmasına göre bölgenin Seydişehir ve Hadim dolayları nemli; Yozgat, Kızılcahamam, Sarız ve Zara dolayları yarı kurak-az nemli sınıfa girmektedir. Çankırı, Sivas, Ankara, Nevşehir, Kayseri, Akşehir, Kaman ve Develi civarları yarı kurak-az nemli sınıfa; Kırşehir, Kırıkkale, Cihanbeyli, Aksaray, Konya, Karaman, Ereğli, Niğde, Polatlı, Ulukışla, Nallıhan ve Beypazarı dolayları yarı kurak sınıfa girmektedir (MGM, 2016).

Tablo 3 Mann Kendall Eğilim Analizleri ve Korelasyonlar

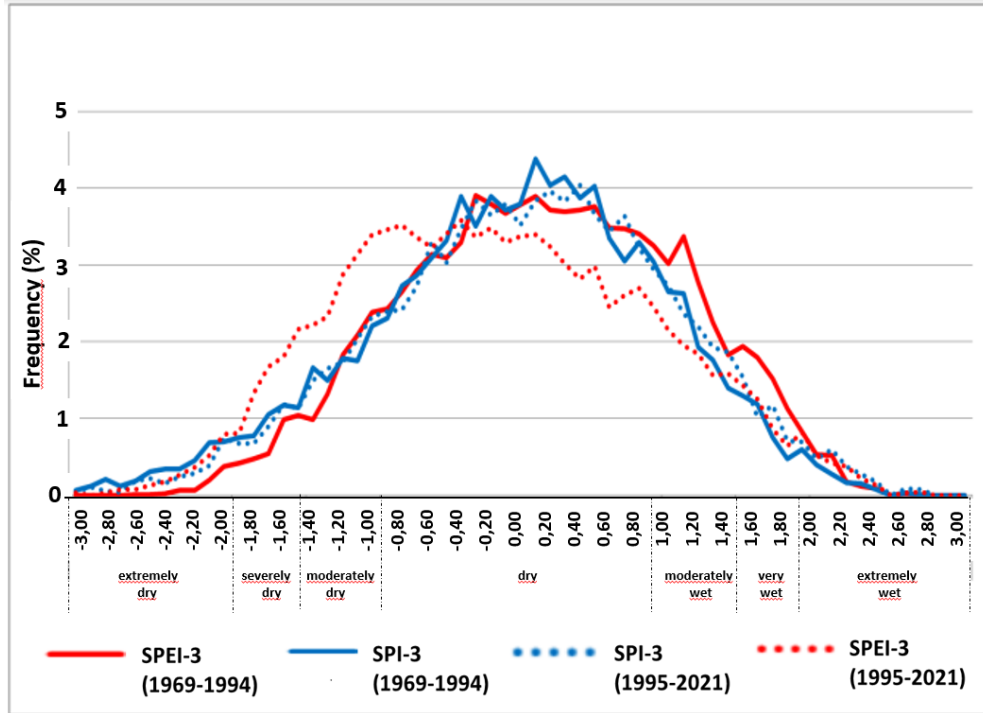
İstasyon No	İstasyon Adı	Yıllık toplam yağış (z) değerleri	Yıllık ort. sıcaklık (z) değerleri	Yıllık toplam PET (z) değerleri	P-PET (z) değerleri	SPEI-12 / SPI-12 Pearson's r	SPEI-3 / SPI-3 Pearson's r
17080	Çankırı	1	4,34*	4,8*	-0,51	0,91	0,92
17090	Sivas	0,38	4,31*	4,71*	-0,86	0,83	0,90
17130	Ankara	0,32	5,69*	5,74*	-1,18	0,79	0,89
17135	Kırıkkale	0,17	4,82*	5,38*	-1,28	0,85	0,90
17140	Yozgat	0,21	5,37*	5,17*	-1,08	0,90	0,93
17160	Kırşehir	-0,25	4,16*	4,96*	-1,29	0,84	0,88
17191	Cihanbeyli	-0,11	5,6*	6,2*	-1,6	0,81	0,87
17192	Aksaray	0,06	5,51*	6,24*	-1,5	0,74	0,84
17193	Nevşehir	0,31	4,96*	5,17*	-1,24	0,84	0,89
17196	Kayseri	1,64	5,66*	5,42*	-0,7	0,83	0,90
17239	Akşehir	(-2,45) *	4,3*	5,42*	-1,95	0,93	0,94
17244	Konya	0,28	3,68*	4,45*	-1,07	0,84	0,88
17246	Karaman	-0,97	4,73*	5,45*	-1,64	0,85	0,87
17248	Ereğli	0,12	6,04*	7,09*	-1,91	0,72	0,81
17250	Niğde	1,3	5,68*	6,2*	-0,96	0,76	0,84
17664	Kızılcahamam	-0,46	4,1*	4,17*	-0,95	0,93	0,94
17679	Nallıhan	1,46	1,78	2,21*	0,39	0,92	0,89
17680	Beypazarı	-0,64	4,25*	5*	-1,19	0,87	0,91
17716	Zara	(-2,36) *	2,76*	2,59*	-1,72	0,94	0,92
17728	Polatlı	0,4	5,52*	5,91*	-1,37	0,80	0,87
17756	Kaman	-0,12	4,2*	4,63*	-1,28	0,90	0,91
17836	Develi	-0,35	5,14*	5,46*	-1,54	0,81	0,83
17840	Sarız	(-3,19) *	4,36*	4,59*	(-2,45)*	0,95	0,94
17898	Seydişehir	0,41	4,3*	4,88*	-0,58	0,95	0,93
17906	Ulukışla	0,81	4,4*	4,45*	-0,5	0,85	0,89
17928	Hadim	(-2,16) *	4,74*	5,02*	-1,79	0,96	0,93
İç Anadolu Bölgesi		-0,35	4,85*	5,32*	-1,34	0,81	0,88
%5 anlamlılık düzeyinde kritik z değeri ± 1,96							

Bölgenin klimatolojik olarak kullanılabilir su miktarının zamana bağlı değişimi (P-PET) -154 mm ile 123 mm arasında değişim göstermektedir. Negatif değerlerdeki ısrar ve şiddetindeki artışlar dikkat çekmektedir. Kullanılabilir su miktarında (P-PET) önemli olmasa da azalan yönde bir eğilim vardır. Azalma eğilimi 1990'ların başından itibaren başlamaktadır (Şekil 3).

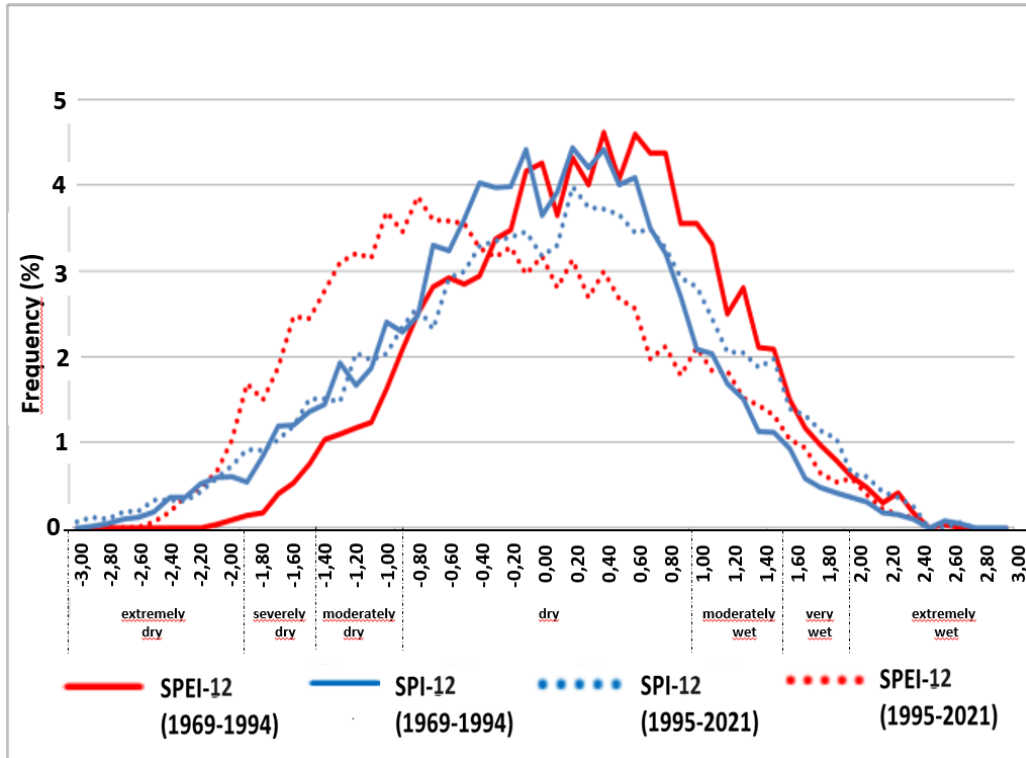


Şekil 3. İç Anadolu Bölgesi (P-PE) kullanılabilir su miktarının zamana bağlı değişimi ve M-K Eğilimi

Bölge istasyonlarının (P-PET) değerlerinde de hemen hemen aynı durum söz konusudur. Nallıhan ve Sarız istasyonları hariç diğer istasyonlarda önemli olmamasına karşın azalan yönde zayıf bir eğilim egemendir. Nallıhan istasyonunda önemli olmayan bir artış, Sarız istasyonunda önemli bir azalış söz konusudur (Tablo 3). Yıllar arası ve yıl içindeki düzensiz yağış değişiklikleri ile birlikte 1994 yılından sonraki sıcaklık artışının PET üzerinde yaratmış olduğu etki kurak koşullar üzerinde mevcut dönemin ikinci yarısında (1995-2021) SPEI-3 ve SPEI-12 ölçeklerde açıkça görülmektedir (Şekil 4-5).



Şekil 4. İç Anadolu Bölgesi SPEI-3 ve SPI-3 aylık ölçeklerde indis değişim grafikleri



Şekil 5. İç Anadolu Bölgesi SPEI-12 ve SPI-12 aylık ölçeklerde indis değişim grafikleri

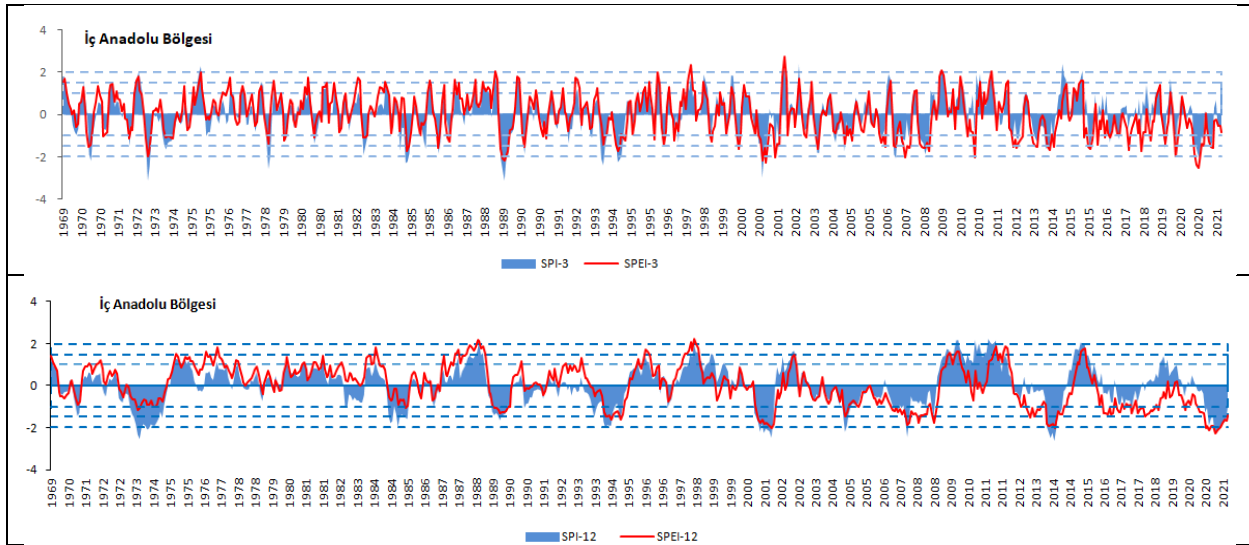
Bölgenin mevcut dönemin ilk yarısında (1969-1994) 3 aylık ölçekte; hafif kurak sınıf dağılımı SPI'da %31, SPEI'da %27'dir. Orta kurak sınıf dağılımı SPI'da %8, SPEI'da %8'dir. Şiddetli kurak sınıf dağılımı SPI'da %4, SPEI'da %3'dir. Aşırı kurak sınıf dağılımı SPI'da %5 iken SPEI'da %1'dir. İkinci yarısında (1995-2021); hafif kurak sınıf

dağılımı SPI'da %30, SPEI'da %36'dır. Orta kurak sınıf dağılımı SPI'da %10, SPEI'da %12'dir. Şiddetli kurak sınıf dağılımı SPI'da %6, SPEI'da %8'dir. Aşırı kurak sınıf dağılımı SPI'da %1 iken SPEI'da %2'dir.

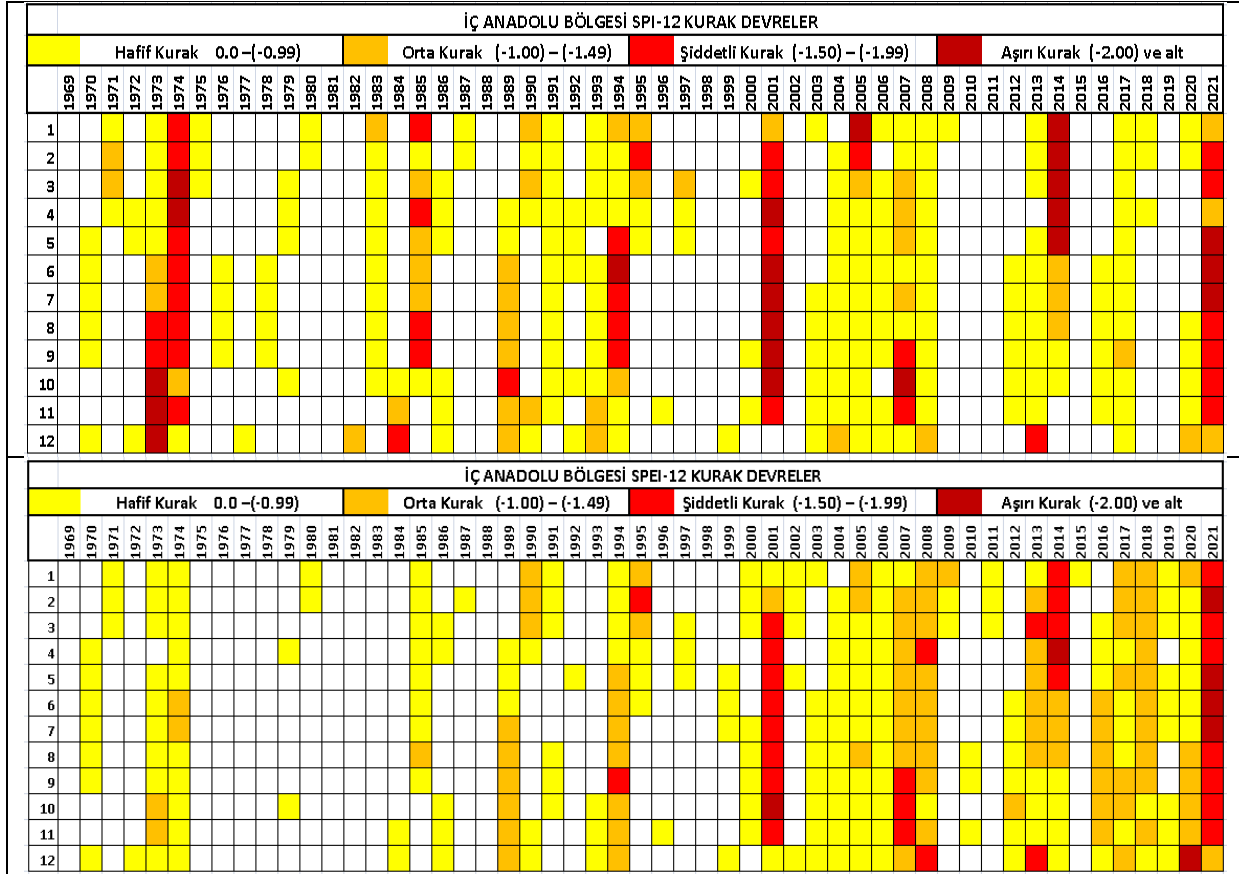
Bölgenin mevcut dönemin ilk yarısında 12 aylık ölçekte; hafif kurak sınıf dağılımı SPI'da %30, SPEI'da %23'dir. Orta kurak sınıf dağılımı SPI'da %8, SPEI'da %7'dir. Şiddetli kurak sınıf dağılımı SPI'da %7, SPEI'da %0'dir. Aşırı kurak sınıf dağılımı ise SPI'da %2 iken SPEI'da %0'dır. İkinci yarısında (1995-2021); hafif kurak sınıf dağılımı SPI'da %33 iken SPEI'da %36'dır. Orta kurak sınıf dağılımı SPI'da %6, SPEI'da %19'dir. Şiddetli kurak sınıf dağılımı SPI'da %5, SPEI'da %8'dir. Aşırı kurak sınıf dağılımı SPI'da %5 iken SPEI'da %2'dir.

Bölge SPI-3 ve SPEI-3 serilerinde 0,88'lik korelasyon söz konusu iken, PET kaynaklı açıkların biriktiği uzun zaman ölçekleri olan SPEI-12 ve SPI-12 serilerinde 0,81'lik bir korelasyon görülmüştür. İstasyonlar temelinde SPEI-3/SPI-3 serileri arasında 0,81/0,94 ve SPEI-12/SPI-12 serileri arasında 0,72/0,96 aralığında değişen korelasyonlar görülmüştür (Tablo 3). İki indis arasındaki yüksek ilişki yağış eksikliğinin kuraklıkta öncü olduğunun açık bir göstergesidir.

3 aylık ölçekte; yağışlı ve kurak dönemler arasındaki zamansal değişimler 12 aylık birikim ölçeğine göre daha yüksek sıklıkta olduğundan, çalışılan dönem boyunca belirgin kuru/ıslak dönemleri tanımlamak zorlaşmaktadır. Her iki indis'de 3 ve 12 aylık ölçekte benzerlikler görülmekle birlikte zamansal evrimlerinde bazı dikkate değer farklılıklar bulunmaktadır (Şekil 6). Bu farklılıklar özellikle Nevşehir ve Ürgüp istasyonlarında Oğuz vd. (2022) tarafından yapılan çalışmada ortaya konmuştur. Nevşehir ve Ürgüp istasyonlarında 3 ve 12 aylık zaman ölçeğinde SPEI ve SPI yöntemi ile 1991-2021 dönemi kuraklık analizi yapılmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçlarda Nevşehir istasyonunda SPI-12 aylık ölçekte yaşanan en güçlü ve en uzun süren kuraklık zamansal farklılıkla beraber SPEI-12 kaydedilenden daha yüksek ve uzundur. Yaşanan ekstrem maksimum kuraklık şiddeti SPEI-12 de 2001 yılının Ekim ayında -1,98 kaydedilirken SPI-12'de 2014 yılının Nisan ayında -2,45 olarak kaydedilmiştir. Ürgüp istasyonunda SPI-12 aylık ölçekte yaşanan en güçlü ve en uzun süren kuraklık zamansal farklılıkla beraber SPEI-12 kaydedilenden daha düşük ve kısadır. Bu istasyonda yaşanan ekstrem maksimum kuraklık şiddeti SPEI-12'de 2013 yılının Aralık ayında -1,71 kaydedilirken SPI-12'de 2014 yılının Mayıs ayında -2,25 olarak kaydedilmiştir.



Şekil 6. İç Anadolu Bölgesi 3 ve 12 aylık ölçeklerde SPEI/SPI zamansal değişimleri



Şekil 7. İç Anadolu Bölgesinin 12 aylık ölçekte kurak dönemleri

SPI-12 ve SPEI-12 ölçeğinde bölgede kurak dönemler aylık olarak Şekil 7’de renklendirilmiştir. Bölgede 2 ay ve üzeri süren kurak devreler incelendiğinde; SPI-12’de ana kuraklık dönemleri 1971, 1973-1974, 1984-1985, 1989-1990, 1993-1995, 2001, 2005, 2007, 2014, 2021 dir. SPEI-12’de ana kuraklık dönemleri 1973-1974, 1989-1990, 1994-1995, 2001, 2005, 2007-2008, 2013-2014, 2016-2018; 2020-2021’dir. Her iki indisin tarihsel kuraklık afet olaylarını tespit edebildiği gözlemlenmiştir (Türkeş, M. 2012; Akbaş, 2014; Çamalan vd., 2019a; Oğuz vd., 2022).

SPI yağış kıtlığından kaynaklı kuraklık olaylarını tespit ederken; SPEI yağış kıtlığından ve/veya kuru ve sıcak uzun süreli hava koşullarından kaynaklı kuraklık olaylarını da tespit eder. 1973-1974 yıllarında yağış açıklarından kaynaklı kuraklıklar SPI-12’de daha yüksek şiddette tespit edilirken, 2007-2008, 2013-2014, 2016-2018 ve 2020-2021 yıllarında PET kaynaklı uzun süreli ve şiddetli kuraklıklar SPEI-12’de daha yüksek şiddette tespit edilmiştir.

Bölge değerlendirmesinde; SPI-12’de yaşanan en uzun süren güçlü kuraklık (-36,73) 1972/12 ayında başlayıp 28 ay sürmüştür. Bölgede 2001/1- 2001/11 ayları arasında yaşanan kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü (-1,92) şiddetli kurak’dır. SPEI-12’de yaşanan en uzun süren güçlü kuraklık (-55,33) 2004/2 ayında başlayıp 62 ay sürerken, 2019/10-2021/12 arasında yaşanan kısa süreli şiddetli kuraklıkların büyüklüğü (-1,36) orta kuraktır (Tablo 4).

Tablo 3 Mann Kendall Eğilim Analizleri ve Korelasyonlar

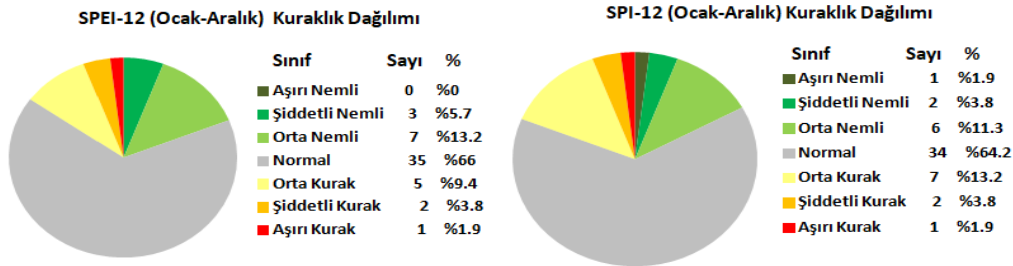
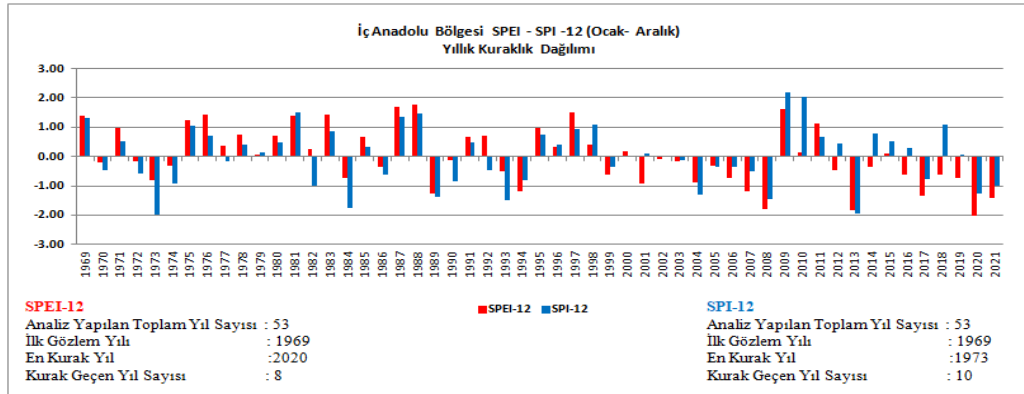
İÇ ANADOLU BÖLGESİ 1969-2021 DÖNEMİ SPEI-12 VE SPI-12 AYLIK ÖLÇEKTE UZUN SÜREN GÜÇLÜ KURAKLIKLARIN BAŞLAMA BİTİŞ TARİHLERİ													
İST AD	İST NO	S Şiddet	En güçlü		D Süre	En uzun		En Yüksek		Ext. Max. Şiddet			
			Başlama-Bitiş Yıl/Ay	Başlama-Bitiş Yıl/Ay		I Yoğunluk	Başlama-Bitiş Yıl/Ay	S Şiddet	Başlama Yıl/Ay				
Çankırı	17080	SPEI-12	-52,02	2006 4	2009 05	38	2006 4	2009 05	-1,37	2006 4	2009 05	-2,32	2008 4
		SPI-12	-36,79	2006 12	2009 05	33	1977 6	1980 02	-1,38	1973 5	1974 12	-2,84	2007 10
Sivas	17090	SPEI-12	-46,02	2017 1	2020 05	41	2017 1	2020 05	-1,46	2013 11	2015 04	-2,16	2014 5
		SPI-12	-39,61	1973 1	1975 04	28	1973 1	1975 04	-1,84	2013 12	2014 11	-2,84	1973 10

Ankara	17130	SPEI-12	-45,79	2006 5	2009 06	38	2006 5	2009 06	-1,20	2006 5	2009 06	-2,28	2007 10
		SPI-12	-39,18	2003 4	2005 08	29	2003 4	2005 08	-1,38	1993 6	1995 05	-2,66	2005 1
Kırıkkale	17135	SPEI-12	-47,91	2006 11	2009 03	29	1993 9	1996 01	-1,65	2006 11	2009 03	-2,66	2008 4
		SPI-12	-42,78	2007 1	2009 02	26	2007 1	2009 02	-1,65	2007 1	2009 02	-3,12	1997 3
Yozgat	17140	SPEI-12	-35,35	2019 1	2021 12	36	2019 1	2021 12	-1,70	2001 1	2002 03	-2,42	2001 9
		SPI-12	-54,36	1972 8	1975 04	33	1972 8	1975 04	-2,14	2001 1	2001 12	-3,24	2001 10
Kırşehir	17160	SPEI-12	-75,85	2002 11	2009 03	77	2002 11	2009 03	-1,63	2020 6	2021 12	-2,45	2021 2
		SPI-12	-40,85	1972 12	1975 04	44	2005 6	2009 01	-1,41	1972 12	1975 04	-2,52	1974 8
Cihanbeyli	17191	SPEI-12	-39,13	2016 6	2019 03	36	2006 3	2009 02	-1,24	2001 1	2002 09	-2,40	2021 6
		SPI-12	-43,81	1971 12	1975 03	40	1971 12	1975 03	-1,52	2001 1	2002 03	-2,80	2001 10
Aksaray	17192	SPEI-12	-72,26	2003 4	2009 03	72	2003 4	2009 03	-1,37	2001 1	2002 09	-2,32	2008 4
		SPI-12	-39,61	2006 11	2009 01	42	2003 4	2006 09	-1,47	2006 11	2009 01	-2,62	1985 1
Nevşehir	17193	SPEI-12	-49,54	2016 3	2019 05	42	2004 2	2007 07	-1,31	1970 1	1971 03	-2,04	2001 10
		SPI-12	-82,32	2001 1	2007 05	77	2001 1	2007 05	-1,56	1969 12	1971 04	-2,63	2014 4
Kayseri	17196	SPEI-12	-45,96	2016 6	2020 02	45	2016 6	2020 02	-1,55	1994 4	1995 05	-2,21	2001 10
		SPI-12	-33,06	1972 3	1975 04	38	1972 3	1975 04	-1,42	1993 12	1995 05	-2,67	1994 9
Akşehir	17239	SPEI-12	-38,39	2012 4	2015 01	34	2012 4	2015 01	-1,57	2001 1	2001 12	-2,13	2001 10
		SPI-12	-37,93	2011 12	2014 12	37	2011 12	2014 12	-1,93	2001 1	2001 11	-2,70	2014 4
Konya	17244	SPEI-12	-58,40	2004 12	2009 04	53	2004 12	2009 04	-1,21	1999 3	2002 03	-2,38	2021 5
		SPI-12	-43,22	1992 1	1995 06	45	2004 12	2008 08	-1,49	1999 10	2002 02	-2,57	1974 6
Karaman	17246	SPEI-12	-33,35	2012 5	2015 03	36	2004 6	2007 05	-1,64	2020 7	2021 12	-2,43	2021 5
		SPI-12	-43,56	1972 12	1975 01	37	2004 5	2007 05	-1,75	2020 12	2021 12	-2,41	1974 3
Ereğli	17248	SPEI-12	-67,65	2017 12	2021 12	49	2017 12	2021 12	-1,38	2017 12	2021 12	-2,49	2021 2
		SPI-12	-44,28	1989 4	1991 11	41	1982 12	1986 04	-1,38	1989 4	1991 11	-3,40	1989 12
Niğde	17250	SPEI-12	-49,19	2004 2	2009 02	61	2004 2	2009 02	-1,39	2016 3	2018 11	-2,32	2021 5
		SPI-12	-64,61	1972 3	1975 07	41	1972 3	1975 07	-1,58	1972 3	1975 07	-2,83	1971 2
K.Hamam	17664	SPEI-12	-47,18	2006 4	2009 01	34	2006 4	2009 01	-1,42	2019 10	2021 12	-2,44	2007 11
		SPI-12	-46,40	2006 4	2009 01	34	2006 4	2009 01	-1,31	2006 4	2009 01	-2,94	2007 10
Nallıhan	17679	SPEI-12	-100,60	1991 9	1998 02	78	1991 9	1998 02	-1,29	1991 9	1998 02	-2,08	1995 2
		SPI-12	-172,44	1988 1	1998 06	126	1988 1	1998 06	-1,37	1988 1	1998 06	-2,67	1997 3
Beypazarı	17680	SPEI-12	-43,57	2012 4	2014 10	34	2006 4	2009 01	-1,43	2019 8	2021 12	-2,18	2013 3
		SPI-12	-38,06	2012 4	2014 09	34	1992 5	1995 02	-1,62	1973 6	1974 05	-2,49	1973 11
Zara	17716	SPEI-12	-75,43	2017 1	2021 12	60	2017 1	2021 12	-1,35	2012 4	2015 04	-2,49	2021 4
		SPI-12	-49,50	2019 3	2021 12	34	2019 3	2021 12	-2,12	2012 3	2013 04	-3,45	2021 5
Polath	17728	SPEI-12	-88,85	2016 6	2021 12	67	2016 6	2021 12	-1,33	2016 6	2021 12	-2,18	2021 5
		SPI-12	-29,45	1992 5	1995 02	34	1992 5	1995 02	-1,54	1989 3	1990 04	-2,34	1973 11
Kaman	17756	SPEI-12	-93,19	2016 6	2021 12	67	2016 6	2021 12	-1,39	2016 6	2021 12	-2,63	2021 5
		SPI-12	-41,70	2019 10	2021 12	28	2006 11	2009 02	-1,54	2019 10	2021 12	-2,97	2021 2
Develi	17836	SPEI-12	-60,72	2015 9	2020 05	57	2015 9	2020 05	-1,34	2020 7	2021 12	-2,53	2014 4
		SPI-12	-36,94	2013 12	2015 02	28	1972 12	1975 03	-2,46	2013 12	2015 02	-3,67	2014 4
Sarız	17840	SPEI-12	-54,71	2015 12	2019 05	42	2015 12	2019 05	-1,44	2019 10	2021 12	-2,12	2020 12

		SPI-12	-54,66	2011 10	2015 01	40	2011 10	2015 01	-1,40	2016 2	2018 11	-2,81	2014 2
Seydişehir	17898	SPEI-12	-38,39	1972 11	1975 01	27	1972 11	1975 01	-1,56	2001 1	2001 11	-2,34	2021 2
		SPI-12	-63,55	1971 2	1975 01	53	1982 11	1987 03	-1,53	2001 1	2001 11	-2,70	1974 6
Ulukışla	17906	SPEI-12	-30,58	2004 5	2007 05	37	2004 5	2007 05	-1,34	2020 12	2021 12	-2,07	2021 6
		SPI-12	-37,52	2004 5	2006 09	29	1989 5	1991 09	-1,57	1970 3	1971 05	-2,67	1989 10
Hadim	17928	SPEI-12	-52,16	2004 12	2009 04	53	2004 12	2009 04	-1,55	2001 1	2001 11	-2,40	2013 12
		SPI-12	-47,57	2004 12	2009 03	52	2004 12	2009 03	-1,65	2012 12	2015 02	-3,06	2013 12
İç ANADOLU BÖLGESİ		SPEI-12	-55,33	2004 2	2009 03	62	2004 2	2009 03	-1,36	2019 10	2021 12	-2,28	2021 5
		SPI-12	-36,73	1972 12	1975 03	28	1972 12	1975 03	-1,92	2001 1	2001 11	-2,62	2014 4

Bölge istasyonlarında SPI-12’de en uzun süren güçlü kuraklık Nallıhan istasyonunda (-172,44) yaşanmıştır. 1988/1 ayında başlayıp 126 ay sürmüştür. En yüksek kısa süreli şiddetli kuraklığın büyüklüğü Develi istasyonunda 2013/12 - 2015/2 ayları arasında (-2,46) Aşırı kurak olarak yaşanmıştır. Yaşanan ekstrem en yüksek kuraklık Develi istasyonunda 2014/4 ayında (-3,67) aşırı kurak gerçekleşmiştir. SPEI-12’de en uzun süren güçlü kuraklık Nallıhan istasyonunda (-100,60) yaşanmıştır. 1991/9 ayında başlayıp 78 ay sürmüştür. En yüksek kısa süreli şiddetli kuraklığın büyüklüğü Yozgat istasyonunda 2001/1 - 2002/3 ayları arasında (-1,70) şiddetli kurak olarak yaşanmıştır. Yaşanan ekstrem en yüksek kuraklık Kırıkkale istasyonunda 2008/4 ayında (-2,66) aşırı kurak gerçekleşmiştir.

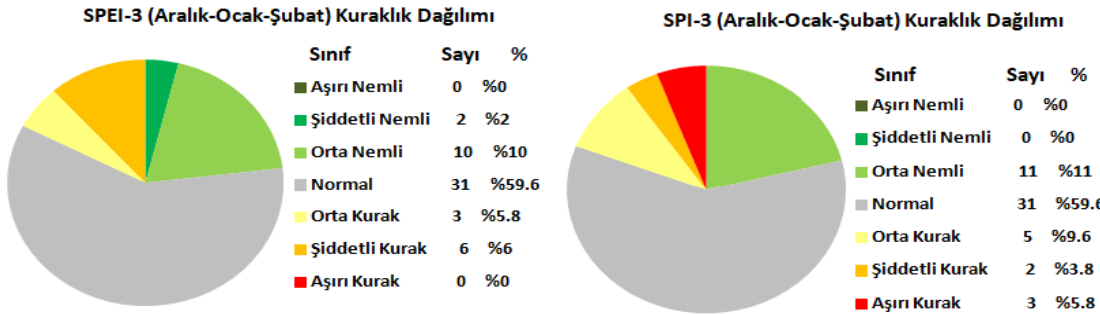
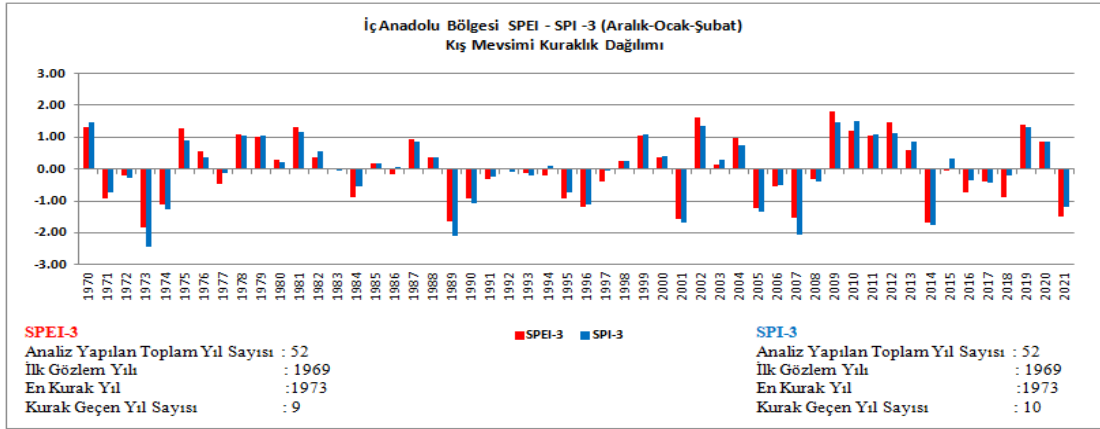
Bölgenin yıllık meteorolojik kuraklık analizinde; SPI’da 10 yıl kurak, 9 yıl ıslak ve 34 yıl normal (hafif kurak – hafif nemli) yıl tespit edilmiştir. 1982, 1989, 1993, 2004, 2008, 2020 ve 2021 yılları orta kurak, 1984 ve 2013 yılları şiddetli kurak ve 1973 yılı aşırı kurak olarak yaşanmıştır. En kurak geçen yıl 1973’dir. SPEI’da 8 yıl kurak, 10 yıl ıslak ve 35 yıl normal (hafif kurak – hafif nemli) yıl tespit edilmiştir. 1989, 1994, 2007, 2017 ve 2021 yılları orta kurak, 2008 ve 2013 yılları şiddetli kurak ve 2020 yılı aşırı kurak olarak yaşanmıştır. En kurak geçen yıl 2020’dir (Şekil 8).



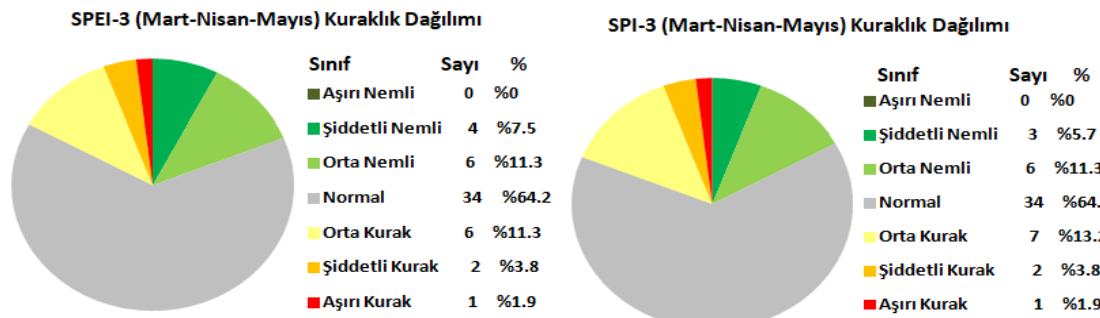
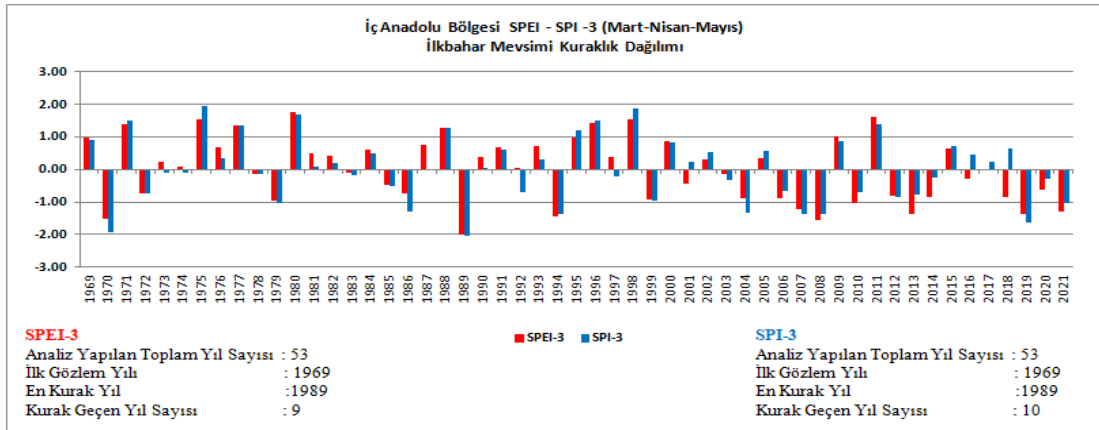
Şekil 8. İç Anadolu Bölgesi Yıllık SPEI/SPI Dağılımı

Bölgede 53 yıllık sürede; SPI’da 10 kış, 10 ilkbahar, 8 sonbahar ve 9 yaz kuraklığı görülürken, SPEI’da 9 kış, 9 ilkbahar, 10 sonbahar ve 8 yaz kuraklığı görülmüştür (Şekil 9-10-11-12). Kış mevsiminde; SPI’da 5 orta kurak, 2 şiddetli kurak, 3 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 1973’dir. SPEI’da 3 orta kurak, 6 şiddetli kurak sınıf görülürken aşırı kurak sınıf hiç görülmemiştir. En kurak yıl 1973’dir (Şekil 9). İlkbahar mevsiminde; SPI’da 7 orta

kurak, 2 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 1989'dur. SPEI'de 6 orta kurak, 2 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülmüştür ve en kurak yıl 1989'dur (Şekil 10).

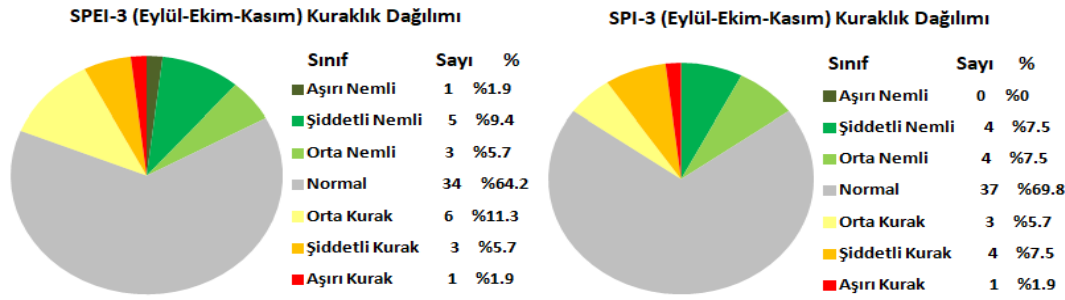
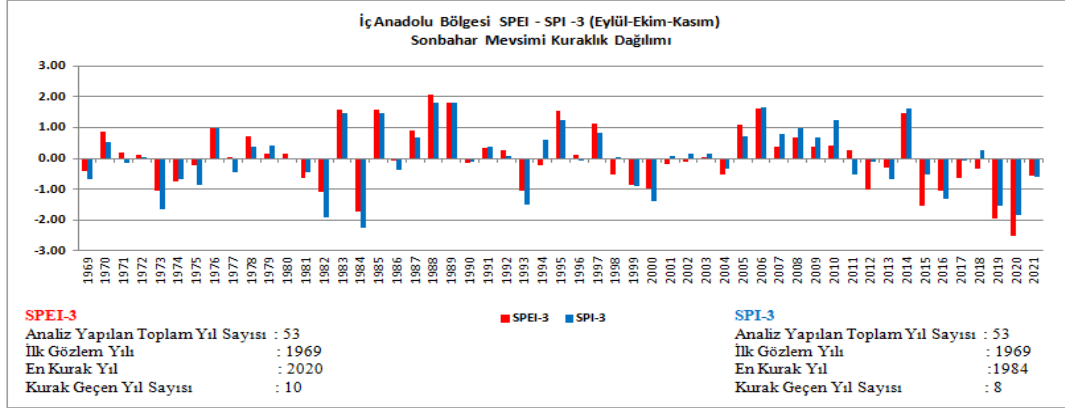


Şekil 9. İç Anadolu Bölgesi SPEI/SPI Yıllık Kış Mevsimi Dağılımı

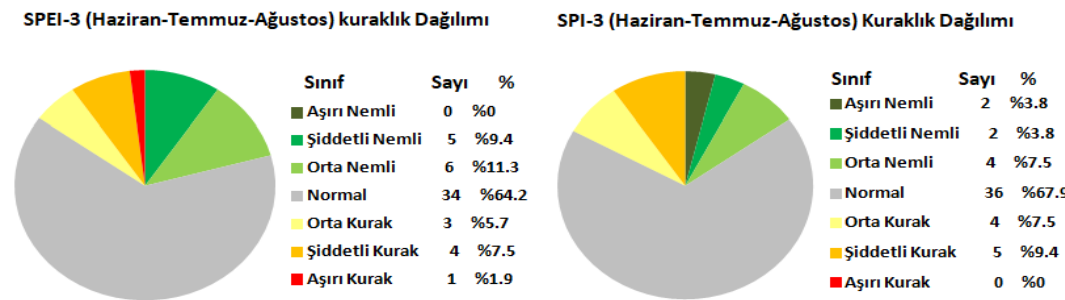
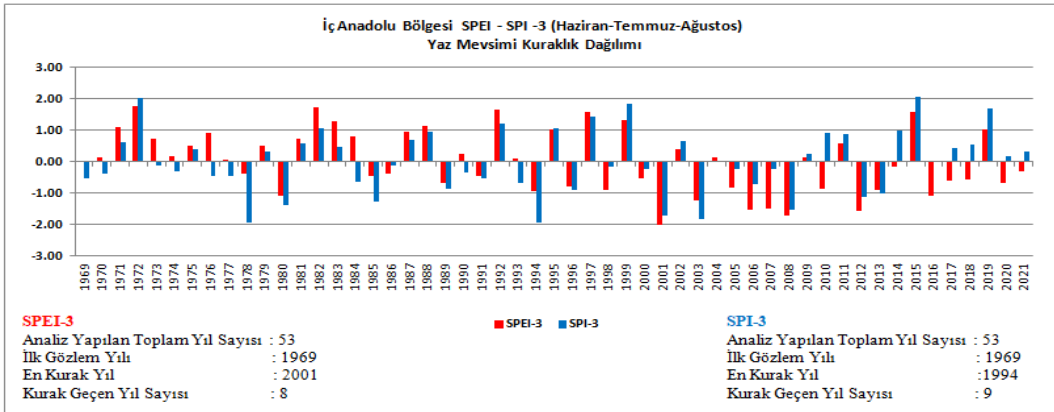


Şekil 10. İç Anadolu Bölgesi SPEI/SPI Yıllık İlkbahar Mevsimi Dağılımı

Sonbahar mevsiminde; SPI'de 3 orta kurak, 4 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 1984'dür. SPEI'de 6 orta kurak, 3 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 2020'dir (Şekil 11). Yaz mevsiminde; SPI'de 4 orta kurak, 5 şiddetli kurak sınıf görülürken aşırı kurak sınıf görülmemiştir. En kurak yıl 1994'dür. SPEI'de 3 orta kurak, 4 şiddetli kurak, 1 aşırı kurak sınıf görülürken en kurak yıl 2001'dir (Şekil 12).



Şekil 11. İç Anadolu Bölgesi SPEI/SPI Yıllık Sonbahar Mevsimi Dağılımı

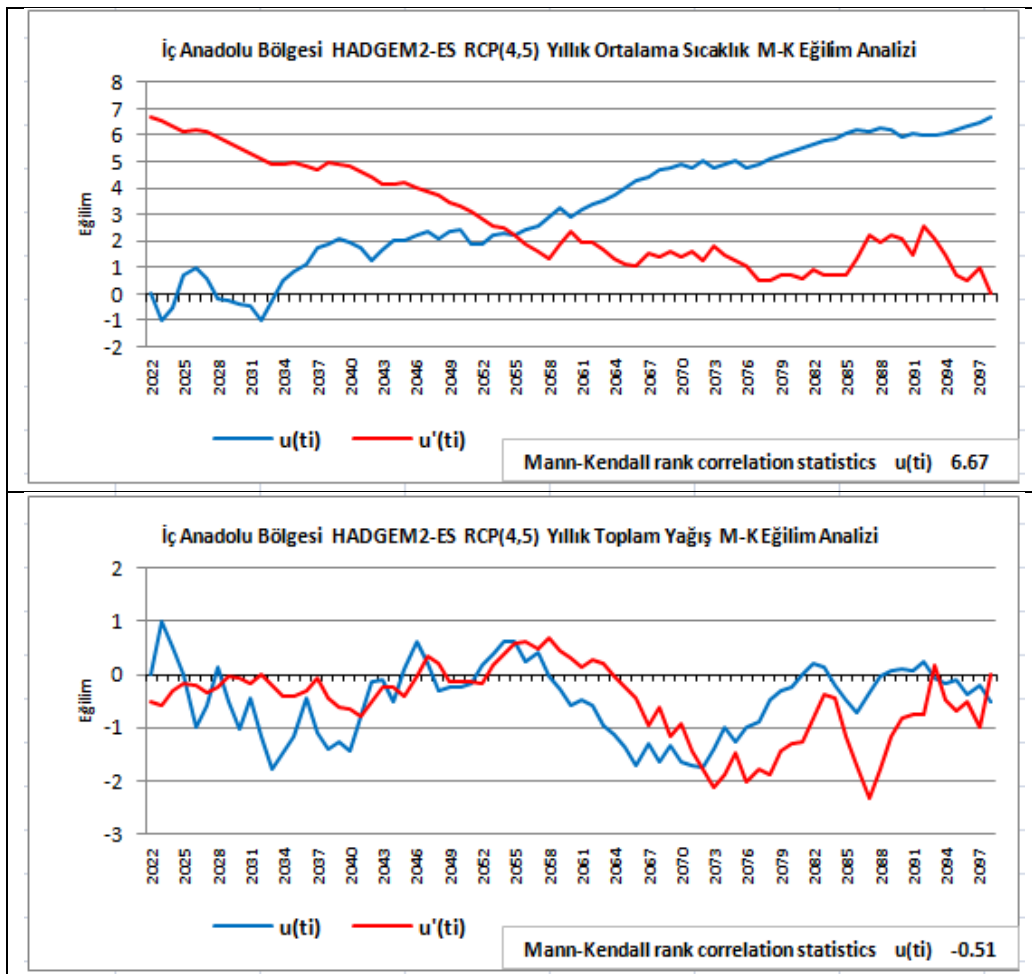


Şekil 12. İç Anadolu Bölgesi SPEI/SPI Yıllık Yaz Mevsimi Dağılımı

Bölgenin yaz mevsiminde artan yağışlarına rağmen SPEI'de ikinci dönemdeki (1995-2021) kuraklıklar dikkat çekicidir. İç Anadolu Bölgesi'nin iç kesimlerinde yıllık Potansiyel Evapotranspirasyonun %56,4 ünden fazlası sadece 3 yaz ayında (haziran, temmuz, ağustos) olmaktadır (MGM, 2016). Yaz sıcaklıklarının yüksek oluşu bölgede evapotranspirasyona etki eden en büyük etkidir. Bölgede artan kuraklık şiddet ve süre üzerinde; yağıştaki artışın potansiyel evapotranspirasyonda ki artış etkisi kadar etkili olmadığı görülmektedir.

Spinoni vd. (2016) çalışmasında; Türkiye, İrlanda, Orta Avrupa, Balkanlar, Letonya ve Estonya gibi ülkelerde artan kuraklık şiddeti üzerinde (Estonya hariç) yağıştaki artış eğiliminin PET teki artış eğilimi kadar önemli olmadığı vurgulanmıştır. Spinoni vd. (2017), Avrupada yaz kuraklıklarının diğer mevsimlerle karşılaştırılmasında, hem uzayda hem de mutlak değerlerde kuraklığın şiddetiyle etkilenen alandaki artışın, Akdeniz bölgesi, Türkiye ve Polonya üzerinde daha fazla olduğu, yaz aylarında ki kuraklıklarda sıcaklık artışının etkisinin açıkça görüldüğü sonucuna ulaşılmıştır.

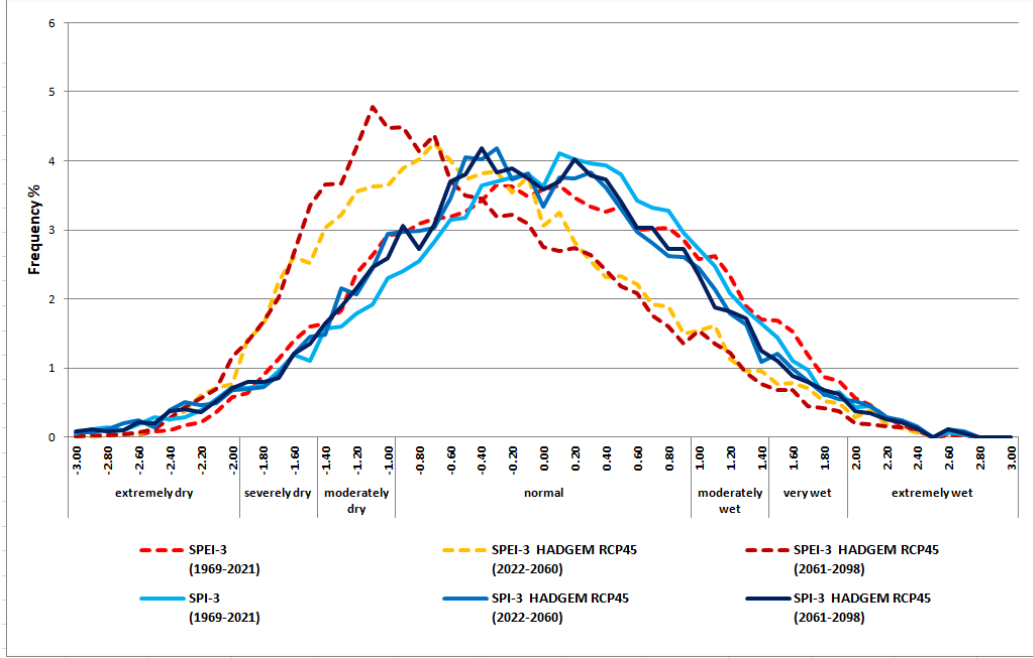
HadGEM2-ES (RCP4.5) bölgesel iklim projeksiyonun İç Anadolu Bölgesinde yıllık ortalama sıcaklıklarda sürekli bir artış eğilimi ve bu eğilimin 2060'lardan itibaren belirginleştiği ve yıllık toplam yağışlarda önemli bir yağış değişiminin tespit edilmediği (düzensiz bir rejim izlediği) öngörülmektedir (Şekil 13).



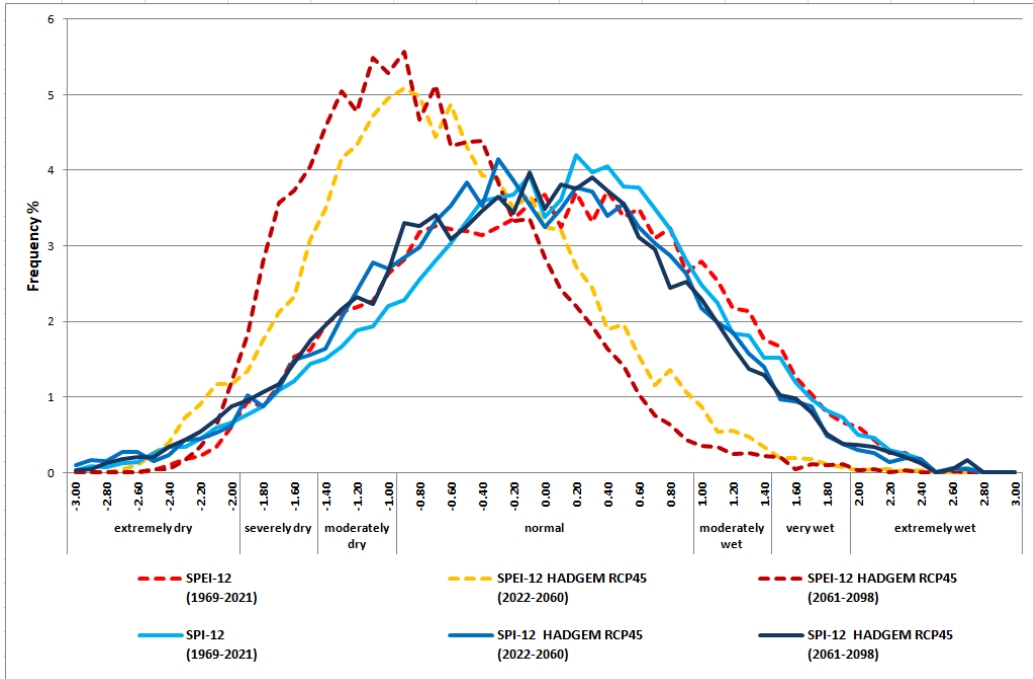
Şekil 13. İç Anadolu Bölgesi HADGEM2-ES RCP(4,5) Projeksiyonun Yıllık Ortalama Sıcaklık ve Yıllık Toplama Yağış M-K Eğilimleri

İklim değişikliğinin bölgede yaşanması muhtemel kuraklıklar üzerindeki etkileri SPEI-3 ve SPEI-12 aylık ölçeklerde her iki dönemde öngörülmektedir (Şekil 14-15). Buna karşın her iki dönemde SPI-3 ve SPI-12 aylık ölçekte yağış eksikliğinden kaynaklı kuraklıklar üzerinde önemli bir değişim görülmemektedir. Gelecekte yaşanması muhtemel kuraklıkların yağış azlığından ziyade sıcaklık artışına bağlı PET artış kaynaklı olacağı öngörülmektedir. Daha sıcak iklim ve daha yüksek potansiyel evapotranspirasyon; özellikle şehir merkezlerinde, tarımda ve suya bağımlı ekosistemlerde su talebini artıracaktır.

SPEI'nin en önemli avantajı, kuraklık değerlendirme sürecinde evapotranspirasyon ve sıcaklık değişkenliğinin rolünü çok iyi tanımlamasına karşın, SPI kuraklık koşullarında bir sıcaklık artışının rolünü belirleyemediği gibi iklim değişikliği senaryolarından bağımsız olarak sıcaklık değişkenliğinin etkisini ve ısı dalgalarının rolünü açıklama konusunda eksik kalmaktadır. Beguería vd. (2013), Homdee vd. (2016) yaptıkları çalışmalarda kurak ve yarı kurak iklimlerde SPI'nin zayıf performansını bildirirken, Byakatonda vd. (2018) iklim değişikliği sebebiyle SPEI'nin yarı kurak bölgelerdeki kuraklıkları karakterize etmede daha sağlam olduğu sonucuna varmışlardır.



Şekil 14. İç Anadolu Bölgesi SPEI-3 ve SPI-3 Aylık Ölçeklerde Mevcut Durum ve HadGEM2-ES RCP(4.5) Projeksiyon İndis Değişim Grafikleri



Şekil 15. İç Anadolu Bölgesi SPEI-12 ve SPI-12 Aylık Ölçeklerde Mevcut Durum ve HadGEM2-ES RCP(4.5) Projeksiyon İndis Değişim Grafikleri

4. Değerlendirmeler

Kuraklığın tarım ve su kaynakları başta olmak üzere pek çok alanda olumsuz etkileri bulunmaktadır. Bu çalışmada, meteorolojik değişkenlere bağlı en yaygın olarak kullanılan SPI ve SPEI indis yöntemleri ile kuraklık olaylarının özellikleri, yıllık ve mevsimsel değişimleri, iklim değişikliğinin kurak koşullar üzerindeki etkileri ve kuraklaşma eğilimi incelenmiştir. Meteorolojik kuraklıkta sıcaklığın rolünü değerlendirmek amacıyla yaşanmış kuraklık olaylarının analizi bölge ve istasyonlar temelinde her iki indis için 3 ve 12 aylık zaman ölçeğinde iki dönem hâlinde (1969-1994 / 1995-2021) incelenirken, yaşanması muhtemel kuraklaşma eğilimi iki dönem hâlinde (2022-2060 / 2061-2098) İç Anadolu Bölgesi için ele alınmıştır.

İç Anadolu Bölgesinde 1994 yılından sonraki sıcak artışının PET üzerinde yaratmış olduğu etki özellikle kurak koşullar üzerinde, mevcut dönemin ikinci yarısında (1995-2021) ve projeksiyonun her iki döneminde SPEI-3 ve SPEI-12 ölçeğinde görülmektedir. Türkiye için yapılan kuraklık projeksiyonları çalışmalarında iklim değişikliğinin yaşanması muhtemel kuraklıkların şiddet, süre, yoğunluk ve sıklığını arttıracığı ve kuraklığın yaratacağı olumsuz etkilerin gelecekte daha da fazla hissedileceği öngörülmektedir (Çamalan vd., 2017a-b; Çamalan, 2019a-b-c; Çamalan ve Çetin, 2022; URL 5). Yapılan bazı diğer çalışmalarda da (Ayva vd., 2023; Turan, 2018), gelecek yüzyılda Türkiye genelinde, özellikle güney bölgelerde sıcaklığın artışıyla beraber buharlaşmanın artacağı, yağışların ise azalacağı, buna bağlı olarak kuraklık olaylarının daha sık görüleceği ve havzalarda su potansiyelinin azalacağı sonucuna ulaşılmıştır. Kuraklığın etkileri en çok canlıların temel ihtiyacı olan gıda ve su kaynakları üzerinde görülmektedir. Bu nedenle kuraklığa ve iklim değişikliğinin kuraklığa olası katkılarına yönelik çalışmaların artırılması ve güncel eylem planlarının hazırlanması önemlidir.

Etik Beyanı

Bu makalenin yazarları, bu çalışmada kullanılan materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve / veya yasal-özel izin gerektirmediğini beyan etmektedir.

Yazar katkısı

Sorumlu yazar makalenin tasarımı, verilerin analizi ve yorumlanması; diğer yazarlar verilerin analizi ve yorumlanması kapsamında katkılar sağlamıştır.

Çıkar Çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Teşekkür

Çalışmada kullanılan verileri sağlamasından dolayı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar

- Akbaş, A., 2014, Türkiye Üzerindeki Önemli Kurak Yıllar, Coğrafi Bilimler Dergisi CBD, 12(2): 101- 118. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000155
- 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. <https://doi.org/10.29137/umagd.1100886>
- Ayva, C., Atalay Dutucu, A., Ustaoglu, B., 2023, İklim Değişikliğinin Su Kaynaklarına Etkisi Ve Uyum Önerileri: Kirazdere Havzası Örneği, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 33(1): 47-64. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.1131015>
- Bakanoğulları, F., Bahar, E., Kivrak, C., Gür, M., 2022, Assessment of Meteorological and Agricultural Drought Analysis in Kırklareli province, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 19(4): 756-768. <https://doi.org/10.33462/jotaf.1060752>
- Baykal, T., Taylan, D., Terzi, Ö., 2023, Isparta İli için Gelecekteki Olası Meteorolojik Kuraklık

- Değerlendirmesi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 9(1): 90-100. <https://doi.org/10.21324/dacd.1165500>
- Beguería, S., Vicente-Serrano, S.M., Reig, F., Latorre, B., 2013, Standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) Revisited: parameter fitting, evapotranspiration models, tools, datasets and drought monitoring, *Int. J. Climatol.*, 34 (10): 3001–3023. <https://doi.org/10.1002/joc.3887>
- Burton, I., Kates, R. W., White, G. F. 1978, *The Environment as Hazard*. Oxford University Press, 240 pp.
- Byakatonda, J, Parida, B.P., Moalafhi, D.B., Kenabatho, P.K., 2018, Analysis of long term drought severity characteristics and trends across semiarid Botswana using two drought indices, *Atmospheric Research*, 213: 492-508. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.07.002>
- Çamalan, G., Akgündüz, S., Ayvaci, H., Çetin, S., Arabacı, H., Coşkun, M., 2017-a, SPEI indisine göre Türkiye Geneli kuraklık değişim ve eğilim projeksiyonları, IV. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi (TİKDEK), İstanbul, TURKEY.
- Çamalan, G., Akgündüz, S., Ayvaci, H., Çetin, S., Arabacı, H., Coşkun, M., 2017-b, According To The SPEI Drought Index, The Drought Trend Projection In Turkey For The Next Century, 8th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS 2017), Istanbul/TURKEY.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Çetin, S., Arabacı, H., 2019-a, SPEI Kuraklık İndisi ile Türkiye’de Kuraklık Olaylarının Analizi, 10. Ulusal Hidroloji Kongresi, Muğla Sıtkı Koçaman Üniversitesi, Muğla/TURKEY.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Çetin, S., Arabacı, H., 2019-b, Drought Projections Of Turkey With The Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index, 9th Atmospheric Sciences Symposium (ATMOS 2019), Istanbul/TURKEY.
- Çamalan, G., Akgündüz, A.S., Çetin, S., Arabacı, H., 2019-c, Türkiye Meteorolojik Kuraklık Projeksiyonları, idRC2019 Uluslararası Afet ve Dirençlilik Kongresi Riskten Dirençliliğe, Eskişehir/TURKEY.
- Çamalan, G., Çetin, S., (2022). Türkiye Kuraklık Projeksiyonları. V.M.Çoşkun, H.Doğan, H.Eroğlu (Ed.) *Çevre ve Meteoroloji içinde* (s. 97-137). Sonçağ Yayıncılık
- Çetin, B., Kumanlioglu, A., 2023, Gediz Nehri Medar Havzası Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Analizleri, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 25(73): 167-180. <https://doi.org/10.21205/deufmd.2023257314>
- Duvan, A., Aktürk, G., Yıldız, O., 2021, Meteorolojik Kuraklığın Zamansal ve Alansal Özelliklerine İklim Değişikliğinin Etkisi, *Sakarya Havzası Örneği, Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(2): 207-217. <https://doi.org/10.46387/bjesr.961816>
- Eşit, M., Yüce, M.İ., 2022. Çok Değişkenli Kuraklık Frekans Analizi ve Risk Değerlendirmesi: Kahramanmaraş Örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 8(2): 368-382. <https://doi.org/10.21324/dacd.1066958>
- Hayes, M.J., Svoboda, M.D., Wilhite, D.A., Vanyarkho, O.V., 1999, Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 80(3): 429-438. [https://doi.org/10.1175/1520-0477\(1999\)080%3C0429:MTDUTS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0477(1999)080%3C0429:MTDUTS%3E2.0.CO;2)
- Homdee, T., Pongput, K., Kanae, S., 2016, A comparative performance analysis of three standardized climatic drought indices in the Chi River basin, Thailand. *Agric. Nat. Resour.*, 50(3): 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.anres.2016.02.002>
- Kendall, M.G., 1975, *Rand Correlation Methods*, Charles Griffin, London, UK.
- Mann, H.B., 1945, Nonparametric tests against trend, *Econometrica*, 13, 245–259.
- MGM, 2015, Yeni Senaryolar ile Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği, TR2015-CC, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.
- MGM, 2016, Thornthwaite İklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklimi, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Ankara.

- Oğuz, K., Pekin, M.A., Çamalan, G., 2021, Muğla İlinde 1960-2018 Dönemi Kuraklık Analizi, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1): 89-100, <https://doi.org/10.21324/dacd.774955>
- Oğuz, K., Çamalan, G., Pekin, M.A., 2022, Drought Analysis and Impact of Drought on Crop Yield in Nevşehir City, Nevşehir Journal of Science and Technology, 11(2): 16-30, <https://doi.org/10.17100/nevbiltek.1180084>
- Ozguler, H. , Yıldız, D., 2020, Consequences of the Droughts in the Euphrates - Tigris Basin, International Journal of Water Management and Diplomacy, 1(1): 29-40.
- Poyrazoğlu, M., Arıman, S., 2022, Drought analysis of Kahramanmaraş province with standardized precipitation index method, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, IOCENS'21 Konferansı Ek Sayısı, 39-52, <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1000949>
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J., Barbosa, P., 2016, Meteorological Droughts in Europe: Events and Impacts – Past Trends and Future Projections, Publications Office of the European Union, Luxembourg, EUR 27748 EN, doi:10.2788/450449.
- Spinoni, J., Naumann, G., Vogt, J.V., 2017, Pan-European seasonal trends and recent changes of drought frequency and severity, Global and Planetary Change, 148(2017): 113-130. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2016.11.013>
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1985, Understanding the drought phenomenon: The role of definitions, Water Int., 10: 111–120. <https://doi.org/10.1080/02508068508686328>
- Wilhite, D.A., 1993, Drought Assessment, Management, and Planning: Theory and Case Studies, Natural Resource Management and Policy Series, Vol. 2, Kluwer, 293 pp.
- Van Loon, A.F., 2015, Hydrological drought explained, Wiley Interdiscipl. Rev. Water, 2(4): 359-392. <https://doi.org/10.1002/wat2.1085>
- Vicente-Serrano, S.M., Begueria, S., Lopez-Moreno, J.I., 2010, A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index, J. Climate, 23(7): 1696–1718. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI2909.1>
- Thorntwaite, C.W., 1948, An approach toward a rational classification of climate, Geogr. Rev., 38: 55-94. <https://doi.org/10.2307/210739>
- Tuğrul, T., Hınıs, M.A., 2022, Apa Barajında Kuraklık Analizi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Dergisi, 4(2): 161-178. <https://doi.org/10.55213/kmujens.1210753>
- Turan, E.S., 2018, Türkiye'nin İklim Değişikliğine Bağlı Kuraklık Durumu, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 4(1): 63-69. <https://doi.org/10.21324/dacd.357384>
- Türkeş, M., 2012, Türkiye’de Gözlenen ve Öngörülen İklim Değişikliği, Kuraklık ve Çölleşme, Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi, 4(2): 1-32. https://doi.org/10.1501/Csaum_0000000063
- URL 1, <http://cografyaharita.com/index.html>. (Son Erişim: 30 Ocak 2023).
- URL 2, <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-evapotranspiration-index-spei>. (Son Erişim: 10 Şubat 2023).
- URL 3, <https://spei.csic.es/index.html>. (Son Erişim: 15 Şubat 2023).
- URL 4, <https://real-statistics.com/time-series-analysis/time-series-miscellaneous/mann-kendall-test/>. (Son Erişim: 20 Şubat 2023).
- URL 5, <https://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/kuraklilprojeksiyon.pdf> (Son Erişim: 15 Haziran 2023).