

METEOROLOJİK VE TARIMSAL UZAKTAN ALGILAMA KURAKLIK İNDEKSLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI- İÇ ANADOLU BÖLGESİ ÖRNEĞİ

Emine Müjgan ERGENE¹, Filiz BEKTAŞ BALÇIK², Füsun BALIK ŞANLI¹

¹Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, Türkiye, mujgan.ergene@std.yildiz.edu.tr

²Doç. Dr., İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul, bektasfi@itu.edu.tr

¹Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 34220, İstanbul, Türkiye, fbalik@yildiz.edu.tr

ÖZET

Kuraklık; meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve ekonomik olarak dört sınıfta incelenen, küresel, ulusal ve bölgesel ölçekte ekonomik, çevresel ve sosyal etkileri olabilen doğal bir afettir. Kuraklık olayının tespit edilmesinde yağış, sıcaklık, buharlaşma, nem, bitki sağlığı vb. parametrelerin analizinden faydalanılmaktadır. Bu parametrelerin hesaplanması için farklı veri seti gereksinimi ve uygulamaları olan birçok uzaktan algılama kuraklık indeksi kullanılmaktadır. Bu çalışmada İç Anadolu Bölgesi'nin 2000 ile 2023 yılları arasında meteorolojik kuraklığın mekânsal ve zamansal analizi ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis veri seti yardımıyla Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI) ve Standartlaştırılmış Yağış-Evapotranspirasyon İndeksi (SPEI) 1-3-6-9 ve 12 aylık periyotlarla hesaplanarak ve Yağış Durum İndeksi (PCI), Sıcaklık Durum İndeksi (TCI), Yağış-Sıcaklık Evapotranspirasyon İndeksi (PTEDI) Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) veri seti yardımıyla hesaplanarak incelenmiştir. Ayrıca İç Anadolu Bölgesi'ne tarımsal kuraklığın mekânsal ve zamansal analizi de Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektrometresi (MODIS) veri seti yardımıyla Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), Bitki Örtüsü Durum İndeksi (VCI), Bitki Örtüsü Sağlık İndeksi (VHI), Ölçeklendirilmiş Kuraklık Durum İndeksi (SDCI), normalize edilmiş çoklu band kuraklık indeksi (NMDI) ve Görünür ve Kısa Dalga Kızılötesi Kuraklık İndeksi (VSDI) hesaplanarak yapılmıştır. Ayrıca SDCI ve VHI hesaplanırken gerekli olan ağırlıklandırma entropi ağırlıklandırma metodu ile hesaplanmıştır. İç Anadolu Bölgesinde meteorolojik ve tarımsal kuraklığın analizinde hesaplanan tekil ve birleşik kuraklık indeksleri Pearson korelasyon analizi yöntemiyle karşılaştırılarak İç Anadolu Bölgesi'nde kuraklık indekslerinin uygulanabilirliği kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda meteorolojik kuraklık indekslerinden SPI-1 ve SPEI-1'in PCI ile korelasyonu diğer tekil indekslerle olan korelasyonundan daha yüksek olduğundan PCI'ın iyi bir kısa vadeli kuraklık indeksi olduğu sonucuna varılmıştır. Kısa vadeli kuraklık değerlendirilmesinde PCI'da sonra birleştirilmiş kuraklık indekslerinden SDCI ve PTEDI; SPI-1 ve SPEI-1 ile orta derece pozitif korelasyon göstermektedir. Diğer yandan tarımsal kuraklık indekslerinden VSDI ile PTEDI, VSDI ile TCI, VSDI ile NMDI, SDCI ile VHI, sırasıyla 0.82, 0.84, 0.91, 0.92, oranla çok güçlü pozitif yönde korelasyon göstermektedir.

Anahtar Sözcükler: era-5 land, kuraklık, modis, uzaktan algılama

ABSTRACT

COMPARISON OF METEOROLOGICAL AND AGRICULTURAL REMOTE SENSING DROUGHT INDICES - THE CASE OF CENTRAL ANATOLIA REGION

Drought is a natural disaster that can have economic, environmental and social impacts on a global, national and regional scale and is analyzed in four classes: meteorological, agricultural, hydrological and economic. In determining the drought event, the analysis of parameters such as precipitation, temperature, evaporation, humidity, plant health, etc. is used. Evaluating the applicability of the indices in our study area plays an important role in characterizing and analyzing the drought event. In this study, the spatial and temporal analysis of meteorological drought in Central Anatolia between 2000 and 2023 was carried out by calculating Precipitation Condition Index (PCI), the Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation-Evapotranspiration Index (SPEI) for 1-3-6-9 and 12-month periods with the help of ERA5-Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis dataset and Temperature Condition Index (TCI), Precipitation-Temperature Evapotranspiration Index (PTEDI) were calculated and analyzed with the help of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) dataset. In addition, the spatial and temporal analysis of agricultural drought in Central Anatolia was also analyzed by calculating Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Vegetation Condition Index (VCI) with the help of Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) dataset, Vegetation Health Index (VHI), Scaled Drought Condition Index (SDCI), Normalized Multi-band Drought Index (NMDI) and Visible and Short Wave Infrared Drought Index (VSDI) were calculated. In addition, the weighting required to calculate the SDCI and VHI was calculated using the entropy weighting method. The applicability of drought indices in the Central Anatolia region was comprehensively evaluated by comparing the single and combined drought indices calculated in the analysis of meteorological and agricultural drought in the Central Anatolia Region by Pearson correlation analysis method. As a result of the evaluation, it was concluded that PCI is a good short-term drought index since the correlation of meteorological drought indices SPI-1 and SPEI-1 with PCI is higher than the correlation with other single indices. In short-term drought assessment, SDCI and PTEDI, which are the combined drought indices after PCI, show moderate positive correlation with SPI-1 and SPEI-1. On the other hand, among the agricultural drought indices, VSDI and PTEDI, VSDI and TCI, VSDI and NMDI, SDCI and VHI show very strong positive correlation with 0.82, 0.84, 0.91, 0.92, respectively.

Keywords: era-5 land, drought, modis, remote sensing

1. GİRİŞ

Doğal bir felaket olan kuraklık meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyoekonomik kuraklık olmak üzere dört grupta incelenmektedir. Uzaktan algılama teknolojisi, kuraklık kategorilerinin belirlenmesi, kuraklığın mekânsal ve zamansal analizinin yapılmasında etkili araçlardır. Kuraklık izleme; yersel meteorolojik istasyonların seyrek olması Wei vd., (2021) problemi uzaktan algılama verileri ile hesaplanan indeksler yardımıyla bölgesel bazda hangi alanların, hangi zaman aralığında ne kadar sürede kuraklıktan etkilendiğini mekânsal model olarak ortaya koymamızda yardımcı olmaktadır. Dünya genelinde kuraklık koşullarının zamansal ve mekânsal özelliklerini araştırmak için birçok çalışmada farklı kuraklık indeksleri hesaplanarak farklı metod ve yaklaşımlarla değerlendirilmiştir. Wei vd. (2021) tarafından Çin genelinde SPI 1-2-3-6-9-12-24 aylık periyotlar ve PDSI ile VCI, PCI, TCI, SMCI (Soil Moisture Condition Index) MIDI, OMDI, OVDI, SDCI ve SDI'ı Pearson korelasyon analizi yöntemi ile karşılaştırmış ve PCI'nin SPI-1 ile olan 0.615 korelasyonu ile kısa dönem kuraklık izlenmesinde kullanışlı olduğu ve birleştirme metodları farklı olmasına rağmen OMDI ve SDCI'nin çok güçlü korelasyona sahip olduğunu ortaya koymuşlardır. Zhang N. vd. (2013) tarafından VSDI geliştirilmiş olup farklı arazi örtüsü tipleri üzerinde uygulanabilen ve bitki yetiştirme mevsimi boyunca kuraklığın izlenmesi için uygun olan gerçek zamanlı bir kuraklık göstergesi olarak kullanılabilceğini ortaya koymuşlardır. Li vd. (2024) tarafından üç boyutlu Öklid PCI-TCI-ETCI uzayı oluşturulmuş ve PTEDI, PCI-TCI-ETCI uzayındaki vektörün büyüklüğü olarak elde edilmiştir. Ayrıca PTEDI'nin etkinliğini doğrulamak için PCI, TCI, ETCI ve PCACDI (Temel Bileşen Analizi Birleşik Kuraklık İndeksi) ile karşılaştırılmış ve Kuraklıktan Etkilenen/Felaket Alanı (DAA/DDA) ve Net Birincil Verimlilik (NPP) ile değerlendirilmiştir. Sonuçlar PTEDI'nin PCI, TCI, ETCI ve PCACDI'den daha iyi performans gösterdiğini ve Standartlaştırılmış Yağış İndeksi (SPI-1) ($R = 0.61$), Toprak Nem Durumu İndeksi (SMCI) ($R = 0.56$) ve NPP ($R = 0.56$) ile yüksek korelasyona sahip olduğunu sonucu elde edilmiştir. Wang vd. (2007) birden fazla yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi kanaldan gelen bilgileri birleştirerek NMDI'nin kuraklık şiddetine karşı duyarlılığı artırdığını ve hem toprak hem de bitki örtüsü nemini tahmin etmek için çok uygun olduğunu ortaya koymuşlardır. Cai vd. (2023) tarafından TRMM3B43, MODIS NDVI ve MODIS LST veri setlerine dayanarak, kuraklığın mekansal-zamansal değişimleri ikinci olarak Yağış Durumu İndeksi (PCI), Bitki Örtüsü Durumu İndeksi (VCI) ve Zamansal Durum İndeksi (TCI) hesaplanarak araştırılmıştır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Entropi yöntemi, Kriterler Arası Korelasyon Yoluyla Kriter Önemi (CRITIC) ve Bulanık Kapsamlı Değerlendirme (FCE) olmak üzere dört çeşit ağırlık belirleme yöntemi ile PCI, VCI ve VCI kombinasyonuna dayalı Ölçeklendirilmiş Kuraklık Durum İndeksinin (SDCI) uygulanabilirliğini değerlendirilmiş ve Bulanık Kapsamlı Değerlendirme (FCE) ağırlıklandırma yönteminin $R^2=0.45$ sonucu ile en yüksek korelasyona sahip olduğu entropi metodunun ise $R^2= 0.14$ ile en düşük korelasyona sahip olduğu gözlenmiştir.

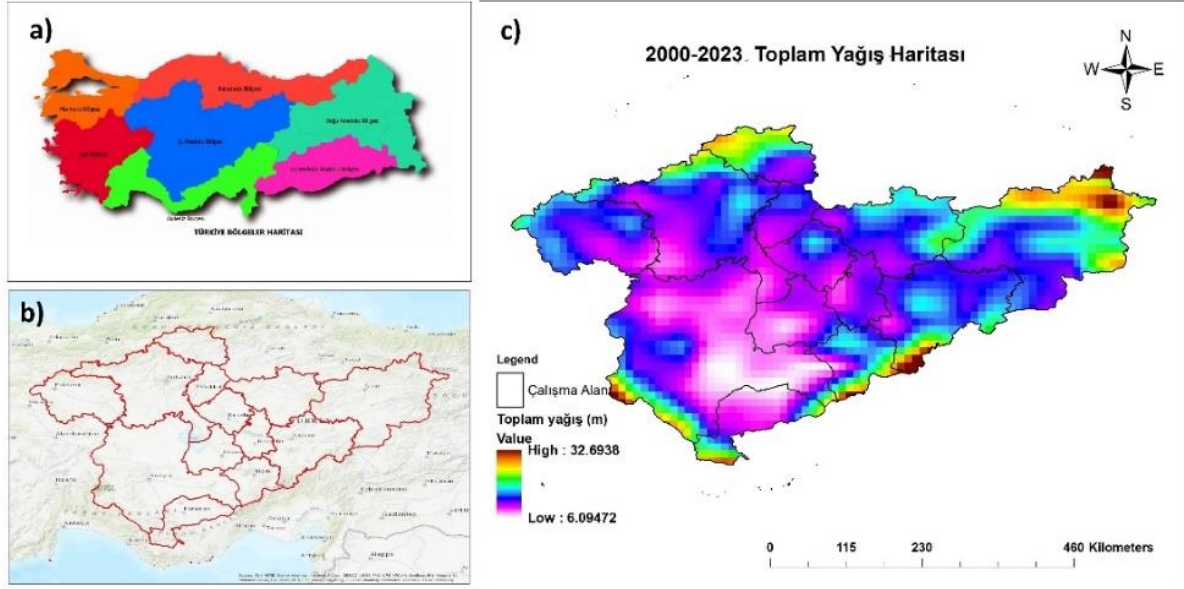
Kuraklık izlemede kullanılan uzaktan algılama indeksleri kullanılan veri setinin çeşitliliği, etki faktörü ve analiz edilmek istenen kuraklık türüne göre değişmektedir. Tekil indeksler belirli bir veri kaynağına odaklanırken, birleştirilmiş indeksler daha geniş bir veri ve faktör yelpazesi kullanarak kuraklık koşullarını daha detaylı bir şekilde analiz eder. Bu çalışmada 2000 ile 2023 yılları arasında İç Anadolu Bölgesi'nde meteorolojik ve tarımsal kuraklık durumunu literatürde yaygın olarak kullanılan tekil ve birleştirilmiş kuraklık indeksleri yardımıyla tespit etmek ve bu indekslerin çalışma alanımızda uygulanabilirlik durumunu aralarında Pearson korelasyon analizi yardımıyla belirlemek hedeflenmiştir. Çalışmada; tekil kuraklık indeksi olarak meteorolojik kuraklık tespitinde SPI ve SPEI 1-3-6-9-12 aylık periyotlarla, TCI, PCI, ETCI tarımsal kuraklık tespitinde ise VSDI, NMDI, NDVI, VCI indeksleri seçilmiştir. Birleştirilmiş kuraklık indeksi olarak meteorolojik kuraklıkta PTEDI, tarımsal kuraklıkta SDCI ve VHI kullanılmıştır. SDCI ve VHI'nin ağırlıklandırmaları entropi ağırlık metodu ile hesaplanmıştır.

2. MATERYAL

2.1 Çalışma Alanı

Bu çalışmada yazların sıcak ve kurak, kışların soğuk ve kar yağışlı olduğu karasal iklim koşullarına hâkim olan İç Anadolu Bölgesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Yıllık ortalama sıcaklık 8–12 °C arasında seyredirken yükseltiler 1500 m'dir. İç Anadolu bölgesi, ülkemizin en az yağış alan (Konya 326 mm, Karapınar 250 mm, Kayseri 375 mm, Kırşehir 378 mm, Çankırı 400 mm) bölgesidir. Bölgenin çevresinde ise yarı kurak-yarı nemli iklim şartları hüküm sürer. Aynı zamanda bölgede vejetasyon döneminin 3-4 ayı kurak geçmektedir. Yağışlarda mevsimsel farklılıklar yanında yıllara dağılımda da önemli farklılıklar görülmektedir (Öner vd., 2016).

Şekil 1'de çalışma alanı alanı olan İç Anadolu Bölgesinin Türkiye'nin 7 coğrafi bölgesinden biri olduğu, İç Anadolu bölgesinde yer alan iller ve 2000 ile 2023 yılları arasında ERA-5 Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis veri setinin birimi metre olan toplam yağış verisi ile elde edilen toplam yağış haritası bulunmaktadır. Toplam yağış haritasında görüldüğü üzere 2000 ile 2023 yılları arasında en düşük yağış alan iller Konya ve Karaman olup en yüksek yağış Kayseri ve Sivas illerinin yüksek kesimlerinde yer almaktadır.



Şekil 1. a) Türkiye'nin coğrafi bölgeleri, b) İç Anadolu bölgesinde yer alan iller, c) ERA-5 2000-2023 toplam yağış haritası

2.2 Veri Seti

Çalışmada hesaplanan indeksler için tercih edilen veri setlerine Çizelge 1'de yer verilmiştir. Kullanılan veri setlerinden 1 km mekânsal çözünürlüğe sahip olmayanlar 1 km ye yeniden örneklennmiştir. İndeksler Google Earth Engine yazılımı aracılığı ile hesaplanmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan veri setleri.

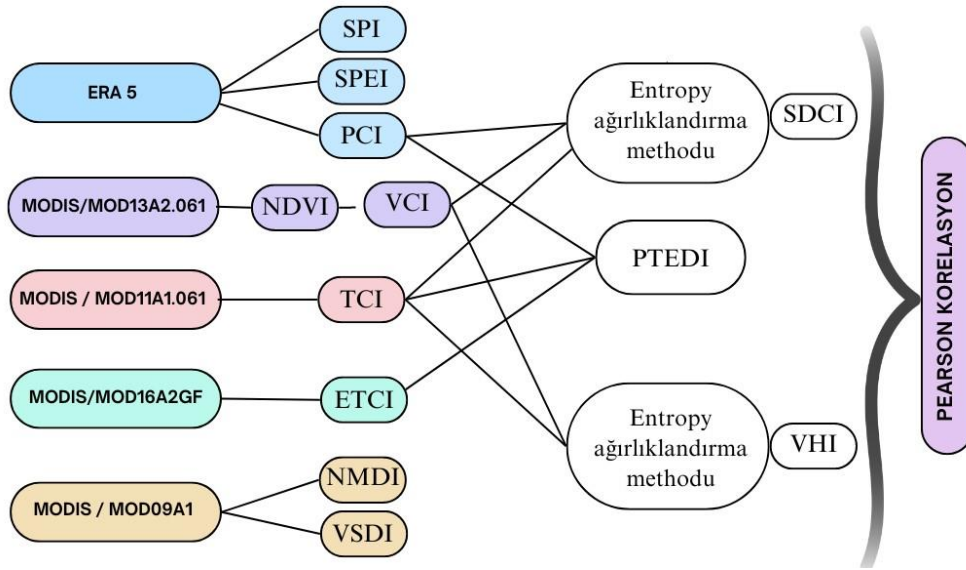
Veri	Veri Çeşidi	Zamansal Çözünürlük	Mekansal Çözünürlük	Hesaplanan İndeksler
ERA-5 Land Monthly Aggregated - ECMWF Climate Reanalysis	Toplam Yağış (m)	Aylık	11132metre (GEE'de 1000m ye yeniden örneklennmiştir.)	SPI – 1-3-6-9-12 aylık SPEI – 1-3-6-9-12 aylık PCI
MODIS-Terra Net Evapotranspiration Gap-Filled MOD16A2GF	Total evapotranspiration (ET)- Total potential evapotranspiration (PET)	8 günde bir	500m (GEE'de 1000m ye yeniden örneklennmiştir.)	ETCI
MODIS-Terra Vegetation Indices 16-Day Global 1km MOD13A2.061	NDVI	16 günde bir	1000m	NDVI, VCI
MODIS - Terra Surface Reflectance 8-Day Global 500m /MOD09A1	Kırmızı, Mavi, NIR, SWIR1, SWIR2,	8 günde bir	500m (GEE'de 1000m ye yeniden örneklennmiştir.)	NMDI, VSDI
MODIS - Terra Land Surface Temperature and Emissivity Daily Global 1km MOD11A1.061	LST_Day_1km	Günlük	1000m (GEE'da aylık olarak ortalama alınarak hesaplanmıştır.	TCI

3. YÖNTEM

Kuraklığın çeşitli yönlerini değerlendirmek için farklı veri kaynakları ve yöntemler yardımıyla tekil ve birleştirilmiş kuraklık indeksleri kullanılmaktadır. Tekil kuraklık indeksi, belirli bir kuraklık parametresine veya veri setine dayalı

iken birleştirilmiş kuraklık indeksleri, tekil indekslerin birlikte kullanılmasıyla oluşturulur ve kuraklığın daha kapsamlı bir değerlendirmesini sağlar. Çalışmada kullanılan SPI, SPEI, VCI, TCI, NMDI, VSDI, PCI, ETCI tekil kuraklık indeksi iken SDCI, VHI ve PTEDI birleştirilmiş kuraklık indeksleridir. Çalışmanın iş akış şeması Şekil 2’de gösterilmiştir. Kuraklık ve nemlilik durumlarını belirlemek için kullanılan SPI (Standardized Precipitation Index) kuraklık değerlendirmelerinde yaygın olarak gamma fonksiyonu ile kullanılan bir indekstir Thorn (1958), Gamma dağılımının iklimsel yağış serilerini en iyi temsil eden dağılım olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada SPI Gamma fonksiyonu ile hesaplanmıştır. SPI, kuraklığın gözlemlenmesi amacıyla yağış olasılığına dayanan bir yöntemdir. SPI’nın negatif değerleri kuraklık koşullarının mevcut olduğunu gösterirken, pozitif değerleri ise nemliliği göstermektedir.

SPEI Vicente-Serrano vd., (2010) tarafından kuraklık olaylarını tanımlamak, belirlemek ve izlemek amacıyla geliştirilmiş olup bölgenin kurak ve nemli koşullarını değerlendirmek amacıyla yağış (P) ve PET arasındaki farkı giriş şartı olarak kullanılarak hesaplanmaktadır. Çalışmada SPEI Thornthwaite (1948) metodu ile hesaplanmıştır. SPI ve SPEI 1-3-6-9 ve 12 aylık periyotlar ile hesaplanarak İç Anadolu bölgesinin kısa dönem mevsimlik ve uzun dönem kuraklık durumu değerlendirilmiştir. SPI ve SPEI Metoduna Göre İndis Değerleri ve Sınıflandırılması Çizelge 2’de gösterilmiştir (Aktürk vd., 2022).



Şekil 2. İş Akış Şeması

Çizelge 2. SPI ve SPEI Metoduna Göre İndis Değerleri ve Sınıflandırılması

Sınıflandırma	SPEI	SPI
Aşırı Nemli	≥ 2	≥ 2
Çok Nemli	1.5 ~ 1.99	1.5 ~ 1.99
Orta Nemli	1 ~ 1.49	1 ~ 1.49
Normale Yakın	-0.99 ~ 0.99	-0.99 ~ 0.99
Orta Kurak	-1 ~ 1.49	-1 ~ 1.49
Şiddetli Kurak	-1.5 ~ -1.99	-1.5 ~ -1.99
Aşırı Kurak	≤ -2	≤ -2

VCI, TCI, NMDI, VSDI, PCI, ETCI tekil kuraklık indekleri ve SDCI, VHI ve PTEDI birleştirilmiş kuraklık indekslerinin özellikleri ve formülleri Çizelge 3’te gösterilmiştir.

Çizelge 3. Kullanılan Uzaktan Algılama İndeksleri, formülleri ve kuraklık türü

Uzaktan algılama İndeksleri	Formüller	Tespit Edilen Kuraklık Türü/ Adı	No
NDVI (Tucker, 1979)	$\frac{R(NIR) - R(red)}{R(NIR) + R(red)}$	Tarımsal Kuraklık- Bitki, Bitki Sağlığı Tespiti	(3)
VCI (Kogan, 2001)	$\frac{NDVI_i - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} * 100$	Tarımsal Kuraklık – Bitki durum İndeksi	(4)
TCI (Singh vd., 2003)	$\frac{LST_{maxi} - LST_j}{LST_{max} - LST_{min}} * 100$	Meteorolojik Kuraklık – Sıcaklık Durum İndeksi	(5)
VHI (Kogan vd., 1995)	a VCI + (1-a) TCI a = ağırlık faktörü	Tarımsal Kuraklık – Bitki Sağlığı İndeksi	(6)
PCI (Zhang ve Jia, 2013)	$\frac{ERA5_i - ERA5_{min}}{ERA5_{max} - ERA5_{min}} * 100$	Meteorolojik Kuraklık – Yağış durum İndeksi	(7)
SDCI (Rhee vd., 2010)	$\alpha * VCI + \beta * TCI + \gamma * PCI$ $\alpha, \beta, \gamma = \text{ağırlık faktörü}$	Tarımsal Kuraklık – Ölçeklendirilmiş Kuraklık Durum İndeksi	(8)
ETCI (Hu vd., 2020)	$\frac{\left(\frac{ET}{PET}\right)_{ij} - \left(\frac{ET}{PET}\right)_{imin}}{\left(\frac{ET}{PET}\right)_{imax} - \left(\frac{ET}{PET}\right)_{imin}}$	Meteorolojik Kuraklık – Evatranspirasyon Durum İndeksi	(9)
PTEDI (Li vd., 2024)	$\frac{3 \sqrt{3} *}{\sqrt{(PCI - PCI_{min})^2 + (TCI - TCI_{min})^2 + (ETCI - ETCI_{min})^2}}$	Tarımsal Kuraklık – Yağış Sıcaklık Evapotranspirasyon Kuraklık Endeksi	(10)
VSDI (Zhang vd., 2013)	$1 - [(RSWIR6 - RBlue) + (RRed - RBlue)]$	Tarımsal Kuraklık - Görünür ve Kısa Dalga Kızılötesi Kuraklık İndeksi	(11)
NMDI (Wang vd., 2007)	$\frac{R_{860nm} - (R_{1640nm} - R_{2130nm})}{R_{860nm} + (R_{1640nm} - R_{2130nm})}$	Tarımsal Kuraklık normalize edilmiş çok bantlı kuraklık indeksi	(12)

SDCI, TCI, VCI, PCI ve VHI uzaktan algılama indekslerinin kuraklık sınıflandırması Çizelge 4'te gösterilmiştir.

Çizelge 4. SDCI, TCI, VCI, VHI ve PCI kuraklık sınıflandırması

Kuraklık Sınıflandırması	SDCI,TCI,VCI,VHI Değerleri	PCI Değerleri
Aşırı Kuraklık	0<SDCI,TCI,VCI,VHI<10	0<PCI<10
Şiddetli Kuraklık	10<SDCI,TCI,VCI,VHI<20	10<PCI<20
Orta Derece Kuraklık	20<SDCI,TCI,VCI,VHI<30	20<PCI<30
Hafif Kuraklık	30<SDCI,TCI,VCI,VHI<40	30<PCI<40
Normale yakın Kuraklık	40<SDCI,TCI,VCI,VHI<60	40<PCI<50
Kuraklık Dışı	60<SDCI,TCI,VCI,VHI<100	50<PCI<100

PTEDI, meteorolojik kuraklık indeksinin sınıflandırması Çizelge 5'te; VSDI tarımsal kuraklık indeksinin sınıflandırması Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Çizelge 5. PTEDI kuraklık sınıflandırması

PTEDI Aralığı	Kuraklık Türü
$0 < PTEDI < 0.2$	Aşırı Kuraklık
$0.2 \leq PTEDI < 0.3$	Şiddetli Kuraklık
$0.3 \leq PTEDI < 0.4$	Orta Derece Kuraklık
$0.4 \leq PTEDI < 0.5$	Hafif Kuraklık
$0.5 \leq PTEDI < 1$	Kuraklık dışı

Çizelge 6. Görünür ve Görünür ve Görünmez alanların teorik aralığının tanımı (Zhang vd., 2013)

$0 < VSDI \leq 1$	Değer ne kadar küçükse, durum o kadar kurudur (tarım arazisi yüzeyi veya basitçe toprak, bitki örtüsü veya ikisinin kombinasyonu olarak sınıflandırılabilir herhangi bir yüzey için)
$1 < VSDI \leq 2$	Su veya Kar Suyu Eşdeğeri (su kütleleri dahil, kar ve buz örtüsü)

3.1 Entropy Ağırlık Modeli

Entropi ağırlık yöntemi, faktörler arasındaki bilgi miktarının korelasyonunu analiz ederek birden fazla faktörün ağırlıklarını objektif olarak belirleyebilir. Daha küçük bir bilgi entropisi, faktörün daha büyük bir dağılımını ve dolayısıyla daha büyük bir ağırlığı gösterir (Zhao vd., 2021). Kapsamlı değerlendirilmede, entropi ağırlıklandırma yöntemi kullanılarak belirlenen faktör ağırlıkları, orijinal verilerdeki temel bilgileri objektif olarak yansıtabilir. Bu yöntemle elde edilen faktör ağırlıklarının güvenilirliğinin ve doğruluğunun, diğer öznel ağırlıklandırma yöntemleri kullanılarak elde edilenlerden daha yüksek olduğu kabul edilmektedir (Huang vd., 2017; Tang vd., 2023). Öncelikle ağırlıklandırılacak faktör normalize edilir. Burada $r(i,j)$ bir faktörün (i, j) konumundaki normalleştirilmiş değerini; $\max(x(i,j))$ ve $\min(x(i,j))$ sırasıyla faktörün maksimum ve minimum değerlerini; $x(i,j)$ ise faktörün başlangıç değerini, e_i faktörün entropisini w_i faktörün ağırlığını göstermektedir. (Tang vd., 2023)

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - (\min x_{ij})}{\max x_{ij} - (\min x_{ij})} \quad (13a)$$

$$(-h) = -1/\ln(n) \quad (13b)$$

$$e_i = (-h) \sum_{j=1}^n r_{ij} \ln r_{ij} \quad (13c)$$

$$W_i = \frac{(1-e_i)}{\sum_{i=1}^n (1-e_i)} \quad (13d)$$

Çalışmada SDCI ve VHI birleştirilmiş kuraklık indekslerinin hesabında TCI, VCI, PCI gibi tekil kuraklık indekslerin ağırlıkları entropi ağırlık modeli ile Microsoft Excel aracılığı ile hesaplanmıştır. SDCI hesaplanırken α , β , γ ağırlık faktörleri $\alpha = 0.3481$, $\beta = 0.3250$, $\gamma = 0.3269$ bulunmuştur. VHI'nin ağırlık faktörü $a = 0.5172$ olarak hesaplanmıştır.

3.2 Pearson Korelasyon Metodu

Korelasyon analizi, değişkenler arasındaki korelasyon derecesini yansıtan istatistiksel bir yöntemdir (Mitchell vd., 2008). Coğrafi araştırmalarda, Pearson korelasyon katsayısı genellikle çeşitli endekslerin ilişkilerini ve doğruluğunu test etmek için kullanılır (Wei vd., 2021). Hesaplama formülü aşağıdaki gibidir:

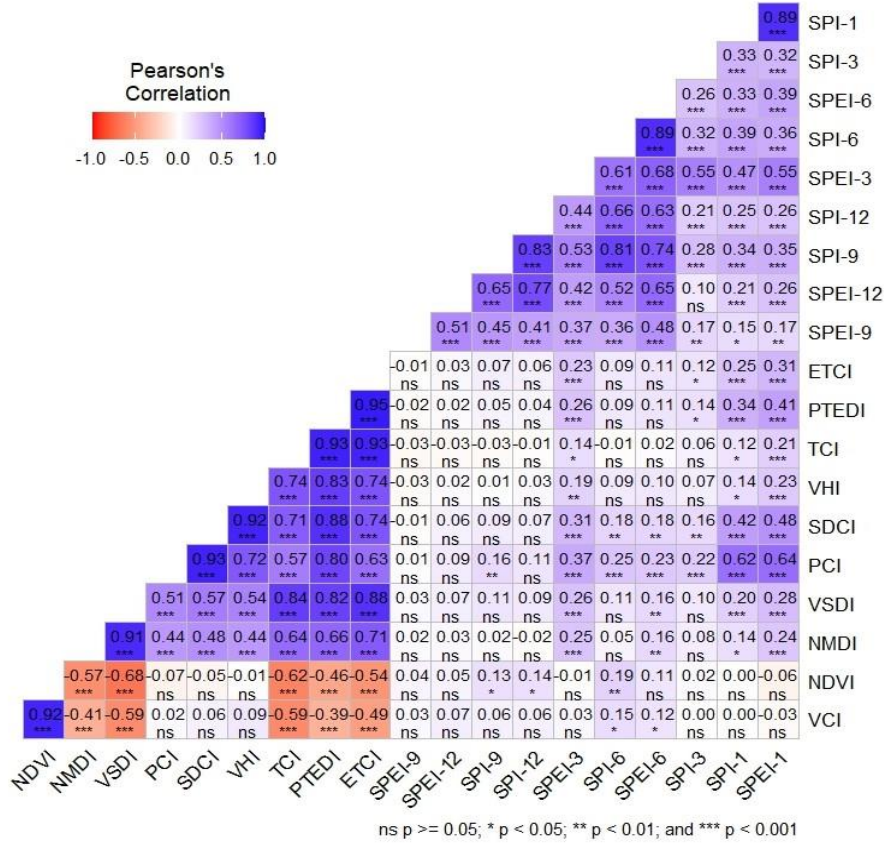
$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (14)$$

Formülde x_i ve x sırasıyla X değişkeninin i'inci değeri ve ortalama değeridir; y_i ve y sırasıyla Y değişkeninin i'inci değeri ve ortalama değeridir. n toplam örnek dizisi sayısıdır. R 1'e ne kadar yakınsa, korelasyon o kadar güçlüdür. R = ± 1 ise, iki değişken grubu arasında mükemmel bir pozitif (negatif) korelasyon vardır. $0 < R < 1$ ise, iki değişken grubu pozitif korelasyonludur; $-1 < R < 0$ ise, iki değişken grubu negatif korelasyonludur (Shen vd., 2019; Wei vd., 2021). Çalışmada hesaplanan indekslerin birbiri ile korelasyonu Pearson korelasyon metodu ile incelenmiştir.

4. BULGULAR

4.1 Pearson Korelasyon Analizi

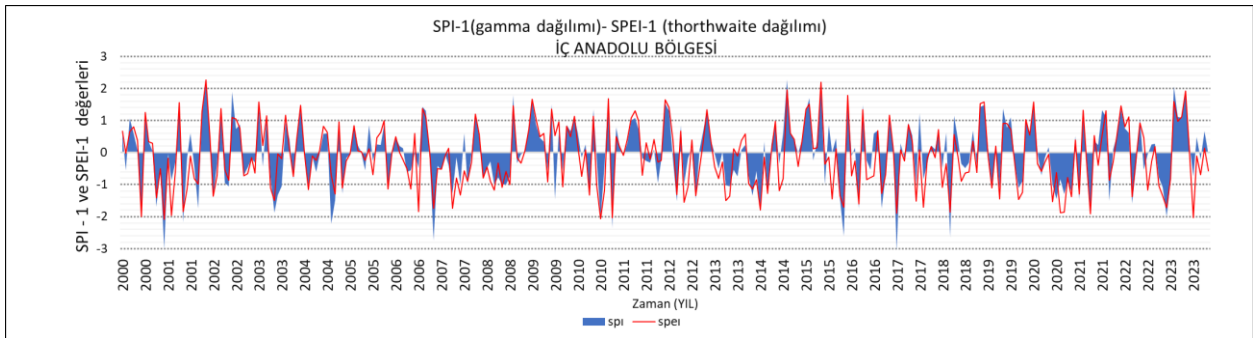
SPI yağış miktarının azalmasından kaynaklanan kuraklık olaylarını tespit ederken; SPEI yağış kıtlığından ve/veya kuru ve sıcak uzun süreli hava koşullarından kaynaklı kuraklık olaylarını da tespit etmektedir. Şekil 3'te yer alan Pearson Korelasyon Analizi sonuçları incelendiğinde; SPI-1 ile SPEI-1 0.89 oranında, SPI-6 ile SPEI-6 0.89 oranında, SPI-12 ile SPEI-12 0.77 oranında pozitif yönde çok güçlü korelasyon göstermiştir. SPI-1 ile PCI 0.64 oranında SPEI-1 ile PCI 0.62 oranında güçlü pozitif korelasyon gösterdiğinden PCI'ın iyi bir kısa vadeli kuraklık indeksi olduğu sonucuna varılmıştır. SDCI ve PTEDI; SPI-1 ve SPEI-1 ile orta derece pozitif korelasyon göstermektedir. Çalışmamızda entropy yöntemi ile ağırlıklandırılan SDCI, SPEI-1 ve SPI-1 ile sırasıyla 0.48, 0.42 oranında orta derece pozitif korelasyona sahiptir. Diğer yandan tarımsal kuraklık indekslerinden VSDI ile PTEDI, VSDI ile TCI, VSDI ile NMDI, SDCI ile VHI, SDCI ile PTEDI sırasıyla 0.82, 0.84, 0.91, 0.92, 0.88 oranla çok güçlü pozitif yönde korelasyon göstermektedir. Ayrıca VSDI ile NDVI -0.68 oranı ile aralarında negatif yönde güçlü korelasyon gözlenmiştir. İncelenen tekil kuraklık indekslerinden en etkilisinin VSDI olduğu gözlenmiştir



Şekil 3. Çalışmada hesaplanan indekslerin Pearson korelasyon analizi

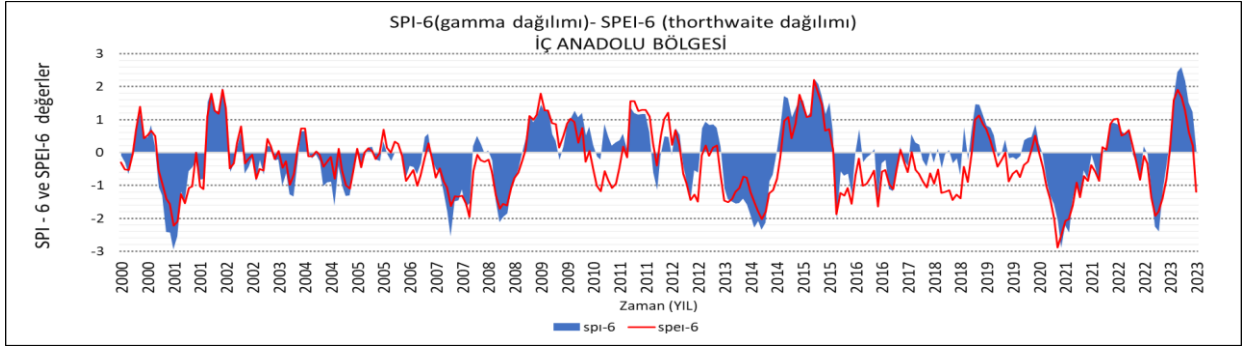
4.2. İndekslerin Zamansal Dağılımı

SPI-1 ile SPEI-1 Şekil 4'te yer alan zamansal dağılımında 2001, 2007, 2010, 2017 ve 2023 yıllarında kısa dönem aşırı meteorolojik kuraklık gözlenmiştir.



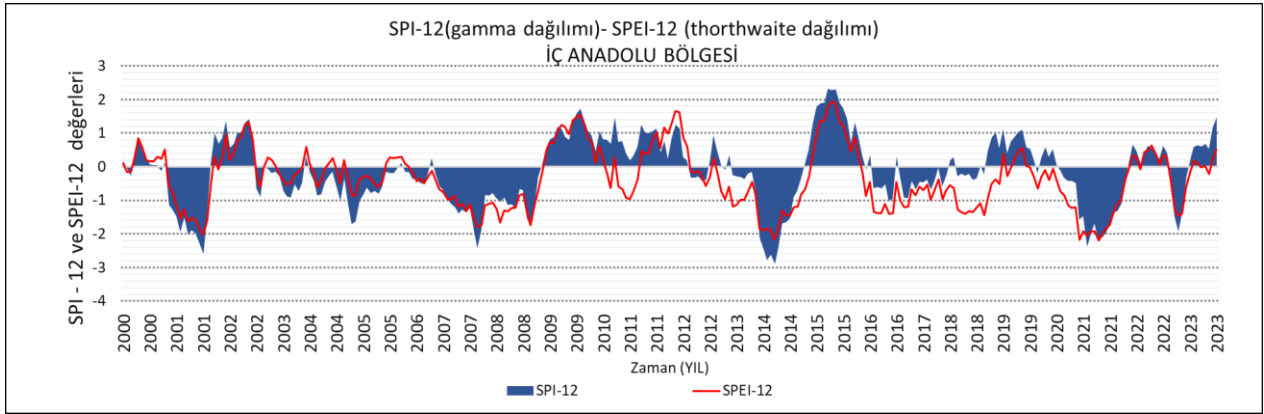
Şekil 4. SPI-1 ile SPEI-1 indekslerinin zamansal dağılımı

SPI-6 ve SPEI-6'nın Şekil 5'te yer alan zamansal dağılım grafiğinde 2001, 2007, 2014, 2021 ve 2023 yıllarında mevsimsel olarak aşırı meteorolojik kuraklık gözlenmiştir.



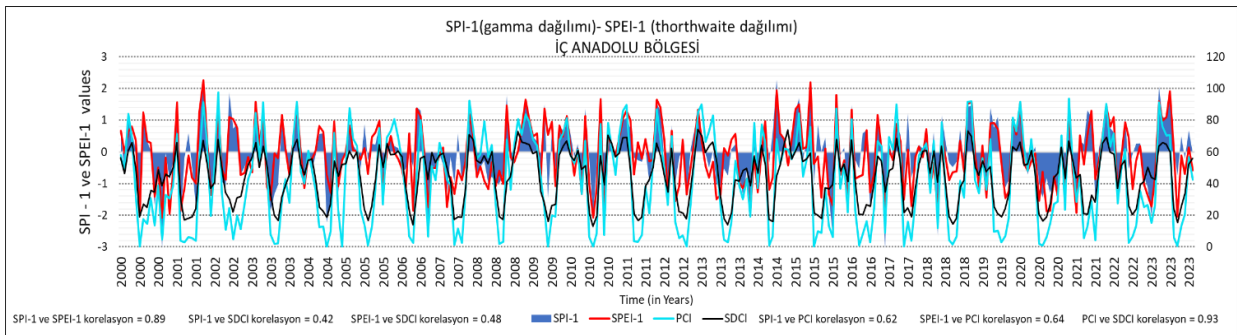
Şekil 5. SPI-6 ile SPEI-6 indekslerinin zamansal dağılımı

SPI-12 ile SPEI-12 'nin Şekil 6'da yer alan zamansal dağılım grafiğinde 2001, 2007, 2014, 2021 ve 2023 yıllarında yıllık olarak aşırı meteorolojik kuraklık gözlenmiştir.



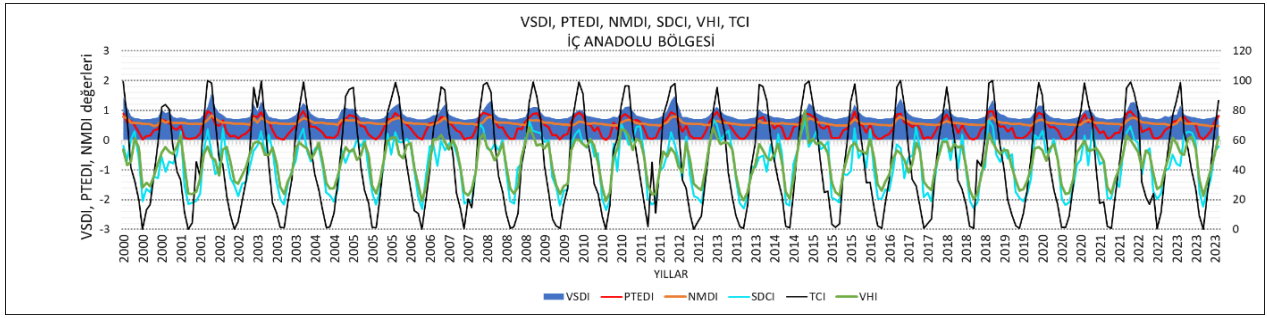
Şekil 6. SPI-12 ile SPEI-12 indekslerinin zamansal dağılımı

SPI-1, SPEI-1 PCI ve SDCI indekslerinin zamansal analizi Şekil 7'de gösterilmiştir. 2001, 2005, 2010, 2020 ve 2023 yıllarının bu dört indekse göre tarımsal ve meteorolojik kuraklığın şiddetli olduğu birbirleri ile uyumlu sonuçlar verdiği gözlenmiştir.



Şekil 7. SPI-1, SPEI-1 PCI ve SDCI indekslerinin zamansal dağılımı

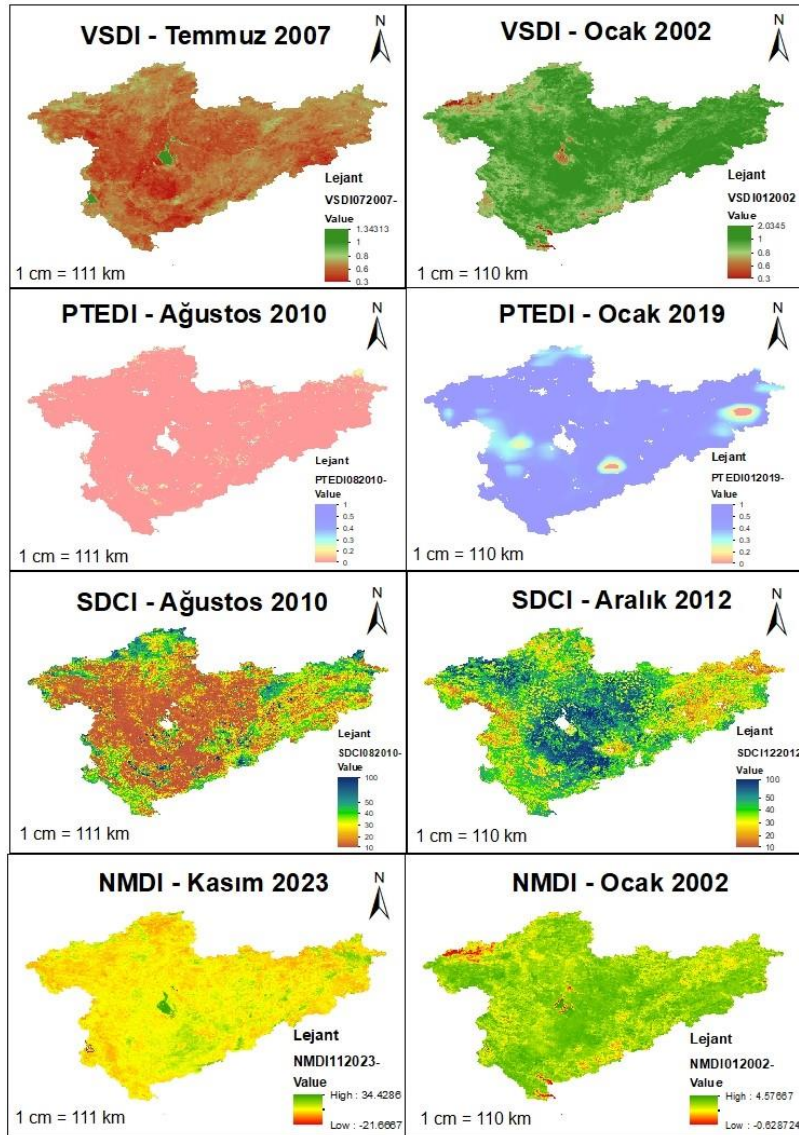
VSDI, PTEDI, NMDI, SDCI, VHI ve TCI indekslerinin zamansal analizi Şekil 8'de gösterilmiştir ve bu indekslere göre en kurak yıllar 2001, 2007, 2010, 2013 ve 2023'tür.



Şekil 8. VSDI, PTEDI, NMDI, SDCI, VHI ve TCI indekslerinin zamansal analizi

4.3. İndekslerin Mekansal Dağılımı

Aralarında güçlü pozitif korelasyon olan VSDI, PTEDI, SDCI ve NMDI'nın 2000 ile 2023 yılları arasında aylık değerlerinden minimum ve maksimum değere sahip aylar belirlenmiş olup Şekil 9 ile İç Anadolu bölgesinin en kurak olduğu ay/yıl ve kurak olmayan ay/yıl ile mekansal dağılımı gösterilmiştir. 2007, 2010, 2023 yılı yaz aylarında tarımsal kuraklık yaşandığı ve 2002, 2012, 2019 yıllarının kış aylarında tarımsal kuraklık yaşanmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 9. VSDI, PTEDI, SDCI ve NMDI 'ın aşırı kuraklık gösterdiği ay/yıl (sağ) ile kuraklık olmayan ay/yıl (sol) haritaları ile İç Anadolu Bölgesi'nin mekansal analizi

5. SONUÇLAR

Çalışmada Google Earth Engine aracılığı ile hesaplanan hesaplanan, TCI, PCI, ETCl, VSDI, NMDI, NDVI, VCI, PTEDI, SDCI, VHI ve R Studio Programı aracılığı ile hesaplanan 1-3-6-9-12 aylık periyotlarla SPI ve SPEI aralarında yine R Studio program ile Pearson Korelasyon analizi yapılmıştır. Ayrıca SDCI ve VHI indekslerinin ağırlıklandırılmaları entropi ağırlık metodu ile hesaplanmıştır. Analiz sonucunda SPI-1 ile SPEI-1 0.89 oranında, SPI-6 ile SPEI-6 0.89 oranında, SPI-12 ile SPEI-12 0.77 oranında pozitif yönde çok güçlü korelasyon göstermiştir. SPI-1 ile PCI 0.64 oranında SPEI-1 ile PCI 0.62 oranında güçlü pozitif korelasyon gösterdiğinden PCI'ın iyi bir kısa vadeli kuraklık indeksi olduğu sonucuna varılmıştır. Hesaplanan indekslerin zamansal ve mekansal dağılımı incelendiğinde İç Anadolu Bölgesinde 2001, 2007, 2010, 2021 ve 2023 yıllarında şiddetli Tarımsal ve Meteorolojik kuraklık yaşandığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

Aktürk, G., Zeybekoğlu, U. ve Yıldız O., 2022. SPI ve SPEI Yöntemleri ile Kuraklık Araştırması: Kırıkkale Örneği Drought Investigation Using SPI and SPEI Methods: A Case Study in Kırıkkale, *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(2), 762-776.

Cai S. , Zuo D. , Wang H. , Xu Z., Wang G. Q. ve Yang H., 2023. Assessment of agricultural drought based on multi-source remote sensing data in a major grain producing area of Northwest China. *Agricultural Water Management*, 278, 108142.

Ebrahimi, N., Maasoumi, E. ve Soofi, ES. 1999. Ordering univariate distributions by entropy and variance. *J Econ* 90(2):317–336.

Hu, T., Renzullo, L.J., Dijk, A.I.J.Mv, He, J., Tian, S., Xu, Z., Zhou, J., Liu, T. ve Liu, Q., 2020. Monitoring agricultural drought in Australia using MTSAT-2 land surface temperature retrievals. *Remote Sens. Environ.* 236, 111419.

Kogan, F. N., 1995. Droughts of the late 1980s in the United States as derived from NOAA polar-orbiting satellite data, *B. Am. Meteorol. Soc.*, 76, 655–668.

Kogan, F.N., 2001. Operational space technology for global vegetation assessment. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 82, 1949–1964.

Li J., Li Y., Yin L. ve Zhao Q., 2024 A novel composite drought index combining precipitation, temperature and evapotranspiration used for drought monitoring in the Huang-Huai-Hai Plain. *Agricultural Water Management*, 291: 108626.

Liu, L., Yang, H., Hocker, J.E., Shafer, M.A., Carter, L.M., Gourley, J.J., Bednarczyk, N.C., Yong, B. ve Adhikari, P., 2012. Analyzing projected changes and trends of temperature and precipitation in the southern USA from 16 downscaled global climate models. *Theoretical and Applied Climatology*, 109, 345–360.

Öner, N., Erşahin, S., Ayan, S. ve Özel, H. B. 2016. İç Anadolu'da yarıkurak alanların rehabilitasyonu. *Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi*, 2(1-2), 32-44.

Rhee, J., Im, J. ve Carbone, GJ., 2010. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sens Environ*, 114:2875–2887.

Shen, Z.X., Zhang, Q., Singh, V.P., Sun, P., Song, C.Q. ve Yu, H.Q., 2019. Agricultural drought monitoring across Inner Mongolia, China: model development, spatiotemporal patterns and impacts. *J Hydrol*, 571:793–804.

Singh, R.P.; Roy, S.; Kogan, F., 2003. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. *Int. J. Remote Sens.* 24, 4393–4402.

Tang X., Feng Y., Gao C., Lei Z., Chen S., Wang R., Jin Y., Tong X., 2023. Entropy-weight-based spatiotemporal drought assessment using MODIS products and Sentinel-1A images in Urumqi, China. *Natural Hazards* 119:387–408.

Thorn, H. C. S., 1958. A note on gamma distribution, *Mon. Weather Rev.* 86, 117-122.

Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.

Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sens. Environ.* 8, 127–150.

Vicente-Serrano, S.M., Beguería, S. ve López-Moreno, J.I., 2010. A Multiscalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of Climate*, 23, pp. 1696-1718.

Wang, L., and J. J. Qu, 2007. NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L20405.

Wei, W., Zhang, J., Zhou, L., Xie, B., Zhou, J. ve Li, C. 2021. Comparative evaluation of drought indices for monitoring drought based on remote sensing data. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 20408-20425.

Zhang N., Hong Y. , Qin Q., Zhu L., 2013. Evaluation of the Visible and Shortwave Infrared Drought Index in China *Int. J. Disaster Risk Sci.* 2013, 4 (2): 68–76.