

Isparta İli için Gelecekteki Olası Meteorolojik Kuraklık Değerlendirmesi

Tahsin Baykal¹, Dilek Taylan², Özlem Terzi^{3,*}

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 32260, Isparta.

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta.

³Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 32260, Isparta.

Özet

İklim değişikliği ile birlikte kuraklık olaylarında artışlar meydana gelmektedir. Kuraklık, diğer doğal afetlere göre geniş alanlar için uzun zaman dilimlerinde meydana gelen bir afettir. Bu nedenle, kuraklığın önceden tahmin edilerek önlemlerin alınması önem arz etmektedir. Bu çalışmada, uzun vadede kuraklığı yüksek doğrulukla tahmin etmek için uzun-kısa süreli bellek ağı (LSTM) yöntemi önerilmiştir. Öncelikle Isparta meteoroloji istasyonuna ait 1929-2021 yılları arasında ölçülen aylık toplam yağışlar kullanılarak LSTM yöntemi ile gelecek 10 yılda oluşması muhtemel aylık yağışlar tahmin edilmiştir. Hem mevcut hem de gelecek 10 yıl için tahmin edilen her iki yağış serisinin tanımlayıcı istatistiksel özellikleri incelendiğinde benzerlikler görülmüştür. Daha sonra 1929-2021 yılları ve gelecek 10 yıl için standart yağış indisi (SYİ) değerleri hesaplanmıştır. Aynı zamanda, 1929-2021 yılları arasındaki yağış verileri için elde edilen SYİ değerleri ile gelecek 10 yıl için hesaplanan SYİ değerlerinin eğilimleri incelenmiş ve tüm zaman aralıkları ve gelecek 10 yıllık verilerin eğilim analizinin RCP4.5 yağış projeksiyonları ile benzerlikleri ele alınmıştır.

Anahtar Sözcükler

Meteorolojik Kuraklık, SYİ, LSTM, Isparta

Assessment of Future Possible Meteorological Drought for Isparta Province

Abstract

There is an increase in drought events with climate change. Drought is a disaster that occurs over long periods of time for large areas compared to other natural disasters. For this reason, it is important to forecast the drought and take precautions. In this study, a long-short term memory network (LSTM) method is proposed to predict drought in the long term with high accuracy. Firstly, monthly precipitation values that are likely to occur in the next 10 years were estimated using the LSTM method with the monthly total precipitation measured between 1929-2021 belonging to the Isparta meteorology station. When the descriptive statistical properties of both precipitation series, which are predicted for both the current and the next 10 years, were examined, the similarities were seen. Then, standardized precipitation index (SPI) values were calculated for the years 1929-2021 and the next 10 years. At the same time, the trends of the SPI values obtained for the precipitation data between 1929 and 2021 and the SPI values calculated for the next 10 years were examined and the similarities of the trend analysis of all time intervals and the next 10 years' data with the RCP4.5 precipitation projections were discussed.

Keywords

Meteorological Drought, SPI, LSTM, Isparta

1. Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliğinin bölgesel etkilerini gözleyebilmek için yapılan kuraklık çalışmalarında meteorolojik kuraklık analizi ilk adımlardan biridir. Kuraklığın zamansal etkilerini tanımlayabilmek için meteorolojik kuraklığın devamında hidrolojik, tarımsal ve sosyo-ekonomik kuraklık analizleri yapılmaktadır. Meteorolojik kuraklık analizlerinden Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ) sıklıkla kullanılmaktadır (Aktürk vd. 2022; Jehanzaib vd. 2020; Katipoğlu vd. 2020; Çavuş ve Aksoy 2020; Pashiardis ve Michaelides 2008; Karavitis vd. 2011). McKee vd. (1993) tarafından önerilen bu yöntemde yağış değerlerinin ortalamadan olan sapmalarına göre kuraklık değerlendirme yapılmaktadır. Shah vd. (2015) Surat bölgesinde 40 yıllık yağış verilerine dayanarak kuraklığın gözlemlenmesi ve tanımlanması için 12- aylık SYİ değerlerini belirlemiştir. Pozitif SYİ değerlerinin normalden ıslak duruma, negatif değerlerin ise normalden kuru duruma işaret ettiğini ve SYİ'nin normalden ıslak duruma ve normalden kuru duruma sırasıyla %50 varyasyon gösterdiğini ifade etmişlerdir. Livada ve Assimakopoulos (2007) kuraklık olaylarını mekansal ve zamansal olarak tespit etmek için Yunanistan'da bulunan 23 istasyona ait 51 yıllık aylık yağış verilerini kullanarak, şiddetine ve süresine göre bir kuraklık sınıflandırması yapmışlardır.

* Sorumlu Yazar: Tel: +90 (246) 2146756 Faks: +90 (246) 2111984

E-posta: tahsinbaykal@hotmail.com (Baykal T), dilektaylan@sdu.edu.tr (Taylan D)
ozlemterzi@isparta.edu.tr (Terzi Ö)

Gönderim Tarihi / Received : 22/08/2022

Kabul Tarihi / Accepted : 18/10/2022

Hafif ve orta dereceli kuraklıkların kuzeyden güneye ve batıdan doğuya 3- ve 6- aylık periyotta azaldığını, şiddetli kuraklık sınıfı için ise Yunanistan'ın güneyindeki sıklıkların ülkenin diğer bölgelerine göre daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca, 12- aylık periyotta tüm bölgede şiddetli ve aşırı kuraklık koşullarının meydana gelme sıklığının çok düşük olduğunu ifade etmişlerdir. **Batan (2021)** sadece yağış verilerini kullanan Normalin Yüzdesi İndisi (NYİ), Modifiye Fournier İndisi (MFİ) ve SYİ'nin yanında yağış ve sıcaklık verilerini bir arada kullanan De Martonne-Gotmann İndisi (DMGİ) ve Bagnauls-Gaussen İndisi (BGİ) ile Batman ilinde kuraklık analizlerini yapmıştır. Literatürde yapılan diğer çalışmalar ile kıyaslandığında NYİ haricinde diğerlerinin uyumlu olduğunu belirtmiştir. NYİ ve SYİ dışında diğer üç indisin analiz sonuçlarına göre Batman ilinde kurak yılların daha fazla olduğunu ve SYİ'de de neredeyse yılların yarısına yakınının kurak çıktığını ve yağışlı yıllarda da hafif yağışlı yıl sayısının fazla olduğunu göstermiştir. **Şener ve Şener (2021)** SYİ ve Çin Z indisini (CZI) kullanarak Burdur havzasında altı istasyonun yağış verilerini kullanarak meteorolojik kuraklık analizlerini gerçekleştirmişlerdir. 2019 yılı için Burdur havzasının güneyinde ve Burdur Gölü çevresinde orta ve hafif şiddetli kuraklıkları tespit etmişlerdir. Her iki yöntemin istatistiksel ilişkilerini de incelediklerinde R^2 değerlerini oldukça yüksek bulmuşlardır.

İklim değişikliği nedeni ile meteorolojik parametrelerin tarihi kayıtlarına bakılarak her zaman ileriye yönelik tahmini mümkün olmamaktadır. Sıcaklık artışı, yağış azlığı gibi faktörler, iklim değişikliğine neden olarak öngörülebilir koşulları değiştirebilmektedir. Son yıllarda zaman serisi analizlerinde ve geleceğe yönelik tahminlerde kullanımı artan uzun-kısa süreli bellek ağı (LSTM) yöntemi ile literatürde yapılan çalışmalardan (**Dikshit vd. 2021; Danandeh Mehr vd. 2022**), **Poornima ve Pushpalatha (2019)** kuraklık tahmininde yağış verileri ile birlikte sıcaklık, nem gibi meteorolojik parametreleri de kullanarak yaklaşık 12000 adet veri kümesi ile geliştirdikleri otoregresif entegre hareketli ortalama (ARIMA) ve LSTM modellerini karşılaştırmışlardır. SYİ ve standardize potansiyel evapotranspirasyon indisi (SPEİ) değerlerinin tahmininde 1-, 6- ve 12- aylık periyotlarda LSTM modelinin ARIMA modeline göre daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir. **Xu vd. (2021)** kuraklık tahmini için ARIMA ve LSTM modelini entegre eden derin öğrenme yöntemlerine dayalı bir hibrit model geliştirmişlerdir. SPEİ'yi tahmin etmek için geliştirilen modeller ARIMA, destek vektör regresyonu (SVR), LSTM, ARIMA-SVR, en küçük kare-SVR (LS-SVR) ve ARIMA-LSTM'dir. 6-, 12- ve 24- aylık periyotlarda ARIMA-LSTM modelinin Çin'deki uzun vadeli kuraklık tahmini için daha uygun ve en yüksek tahmin doğruluğuna sahip olduğunu belirtmişlerdir. **Wu vd. (2021)** üç farklı iklim tipini temsil eden üç meteorolojik bölgede 1967-2017 döneminde aylık yağışların zaman serisi analizini ve yıllık yağış için gri teori yöntemlerini kullanmışlardır. Zaman serilerini göstermek için dalgacık dönüşümü (D), ARIMA ve LSTM yöntemlerini kullanarak aylık yağış serileri için yeni bir hibrit model D-ARIMA-LSTM (D-AL) geliştirmişlerdir. Ayrıca, gri sistem teorisi küçük bir örnekleme uzmanlaştığı ve yetersiz bilgi ile sonuçlandığı için Çin Z İndisi (CZI) yıllık yağışa dayalı GM (1,1) ve DGM (1,1), kuraklık olaylarını tahmin etmek için kullanılmıştır. D-AL'nin aylık yağış tahmininde ARIMA ve LSTM'den daha yüksek tahmin doğruluğu sergilediğini ve kuraklık olayı tahmininde GM (1,1)'in, DGM (1,1)'den daha iyi performans gösterdiğini belirtmişlerdir.

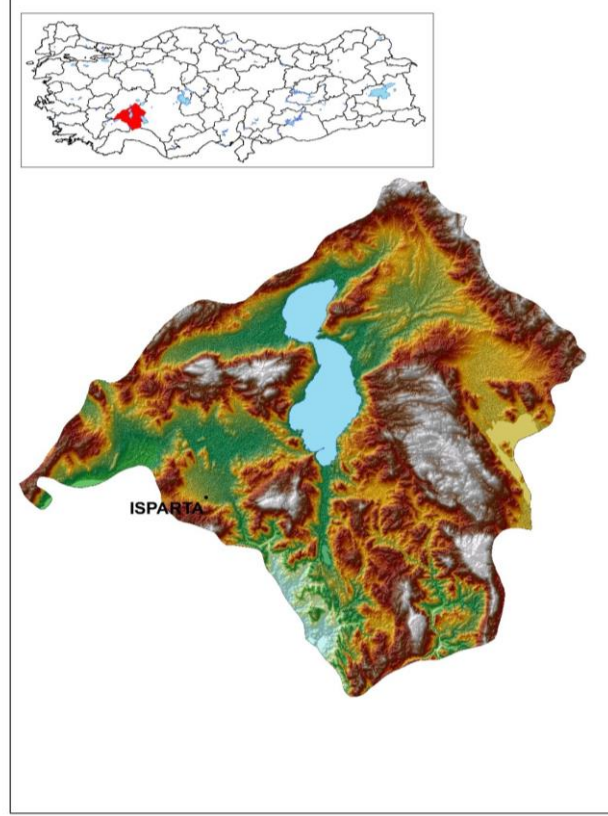
Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin (IPCC) hazırladığı Dünya'nın iklim sisteminin geldiği durum ile ilgili değerlendirme raporlarında, temsili konsantrasyon yolları (RCP) uzun ve yakın vadeli modelleme deneyleri için geliştirilen yeni yöntemlerden biridir. RCP'lerden elde edilen sonuçlar 2100 yılına kadar uzanan zaman aralığında yüksek çözünürlüğe sahip kapsamlı bir veri setinden oluşmaktadır. RCP'ler, iklim araştırmalarında önemli bir gelişme sağlar. Emisyon azaltma ve etki analizi dahil olmak üzere daha fazla araştırma ve değerlendirme potansiyeline sahiptir. **Gidey vd. (2018)** Kuzey Etiyopya'da Raya ve çevresinde 19 adet meteoroloji istasyonunun günlük iklim verilerini kullanarak 2016-2070 yıllarında oluşabilecek kuraklık olaylarının başlangıcını, bitişini, süresini, büyüklüğünü, yoğunluğunu, sıklığını, şiddetini ve mekansal dağılımını RCP4.5 iklim değişikliği senaryosuna göre araştırmışlardır. Gelecekte son otuz yıldan daha fazla artan ve olumsuz seyre giren bir kuraklık olayının, çalışma bölgesini hafif ila aşırı kuraklıklarla yaklaşık 30-39 kez etkileyeceğini, kuraklığın her 1.8-2.3 yılda bir tekrarlanacağını belirtmişlerdir. Aşırı iklim koşullarıyla başa çıkılması ve tarımsal verimliliğin artırılması için mevcut su yönetimi ve tarım uygulamalarının iyileştirilmesi gerekliliğini tavsiye etmişlerdir. **Duvan vd. (2021)** Sakarya Havzası'nda SYİ ile meteorolojik kuraklık analizi yapmışlardır. SYİ ile elde edilmiş kuraklık değerlerinin bölgesel dağılımı için ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon (IDW) yöntemini kullanmışlardır. İstasyonlara ait SYİ verilerinden havza alanının % 40'ında çok şiddetli kuraklık beklenirken, HadGEM2-ES küresel iklim modelinin RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre çok şiddetli kuraklık için alan yüzdesini "% 20" olarak elde etmişlerdir. Ayrıca, RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre kuraklık şiddeti değerlerinin, gözlemlenmiş yağış verileri ile hesaplanan değerlere nispeten daha düşük olduğu görülmüştür.

Bu çalışmada, Isparta ili için gelecekteki kuraklıkların tahmin edilmesi amacıyla SYİ ve LSTM yöntemleri kullanılmıştır. Bunun için 1929-2021 yılları arasındaki aylık toplam yağışlar ile LSTM yöntemi kullanılarak gelecek 10 yılda oluşabilecek yağışlar tahmin edilmiştir. Daha sonra, mevcut ve gelecek tahmini yağış değerleri kullanılarak SYİ ile kuraklık değerleri belirlenmiştir. Mevcut ve gelecek zaman dilimleri için 10 yıllık zaman aralıklarında yağışların ve SYİ değerlerinin eğilim çizgisi denklemleri elde edilmiş ve bu denklemlerin, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen RCP4.5 ve RCP8.5 yağış projeksiyonları ile benzerlikleri incelenmiştir.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Bölgesi ve Veriler

Isparta ili; Akdeniz Bölgesi'nin kuzeyinde yer alan Göller Bölgesi'nde, 37° 18' ve 38° 30' kuzey enlemleri ile 30° 20' ve 31° 33' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Yüzölçümü 8933 km² olan Isparta'nın rakımı ortalama 1050 m'dir. Isparta ilinin yıllık toplam yağış miktarı ortalaması 568,4 mm'dir. Yağışların çoğu (%69) kış ve ilkbahar aylarında gerçekleşirken, yaz ve sonbahar ayları oldukça kurak geçmektedir (URL-1 2022). Şekil 1'de çalışma bölgesi verilmiştir.



Şekil 1: Çalışma bölgesi

Bu çalışmada kullanılan 1929–2021 yılları için 1116 adet aylık yağış verisi MGM'den alınmıştır. Isparta ili meteoroloji istasyonunun yağış verilerine ait istatistiksel değerler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Isparta İli yağış verilerinin istatistiksel değerleri

En büyük (mm)	En küçük (mm)	Ortalama (mm)	Standart sapma	Çarpıklık	Basıklık
360.10	0.00	47.30	43.30	1.89	6.05

2.2. Standartlaştırılmış Yağış İndisi

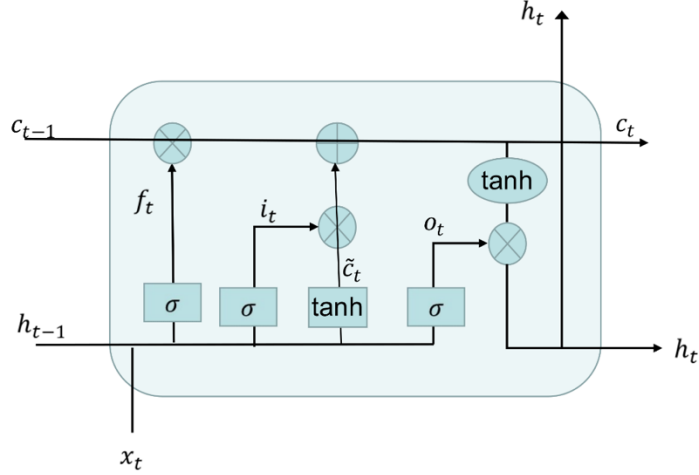
McKee vd. (1993) tarafından önerilen Standartlaştırılmış Yağış İndisi (SYİ), yağış verilerinin ortalamadan sapmasına göre belirlenmektedir. En az 30 yıllık yağış verilerinin standardize edilmesiyle elde edilen serilerin negatif değerleri kurak süreçleri, pozitif değerleri ise yağışlı dönemleri göstermektedir. Yağışların olmadığı veya ortalamanın altında olduğu dönemlerde kurak süreçler ortaya çıkar. Bu kurak ve yağışlı süreçler, McKee vd. (1993) tarafından farklı aralıklar için; şiddetli kuraklık (-2 >), orta şiddetli kuraklık (-1.99 ~ -1.50), hafif şiddetli kuraklık (-1.49 ~ -1.00), normal (-0.99 ~ 0.99), hafif şiddetli yağış (1.00 ~ 1.49), orta yağışlı (1.50 ~ 1.99) ve yoğun yağış (2 <) şeklinde sınıflandırılmıştır. Denklem 1'de verilen SYİ, boyutsuz serileri elde etmek için kullanılır.

$$SYİ = \left(\frac{x_i - x_{ort}}{\sigma} \right) \quad (1)$$

Burada, x_t indisin hesaplandığı ayın yağış verilerini, x_{ort} uzun dönemli yağış verilerinin ortalamasını ve σ yağış verilerinin standart sapmasını ifade etmektedir.

2.3. Uzun Kısa Süreli Bellek

Uzun kısa süreli bellek (Long Short Term Memory- LSTM), tekrarlayan sinir ağlarının (Recurrent Neural Networks-RNN) özel bir mimarisidir ve zaman serilerinin modellenmesi için tasarlanmıştır. LSTM, geleneksel RNN'lerden daha doğru olmasını sağlayan uzun vadeli bir bağımlılığa sahiptir (Hochreiter ve Schmidhuber 1997). LSTM'nin temel yapısı, birim çıktılarını farklı zaman adımlarında açıkça hatırlamak ve yaymak için bir bellek hücresi olarak bilinir. Zamansal bağlamların bilgisini hatırlamak için LSTM'nin hafıza hücresi, hücre durumlarını kullanır. Ayrıca, farklı zaman adımları arasındaki bilgi akışını kontrol etmek için bir unutmaya kapısı, bir giriş kapısı ve bir çıkış kapısı vardır (Poornima ve Pushpalatha 2019). Şekil 2'de basit bir LSTM ağının mimarisi verilmiştir.



Şekil 2: LSTM ağı mimarisi (Poornima ve Pushpalatha 2019)

LSTM ağı Şekil 2'de görüldüğü üzere üç girdi ve iki çıktı alır. Burada girişler, x_t mevcut zaman adımının girişi, h_{t-1} son LSTM biriminin çıkışı, c_{t-1} önceki birimin belleği, h_t mevcut ağıın çıkışı ve c_t geçerli birimin hafızasıdır. LSTM'de üç aşama vardır. Birincisi, esas olarak önceki düğümden gelen girdiyi seçici olarak unutmak için kullanılan unutmaya aşamasıdır. Spesifik olarak, hesaplanan f_t , önceki durumda c_{t-1} 'in hangi bölümlerinin tutulması ve hangilerinin unutulması gerektiğini kontrol etmek için unutmaya kapısı olarak kullanılır. İkinci aşama, x_t girişini seçici olarak ezberleyen seçici bellek aşamasıdır. Üçüncü aşama ise hangi çıktılarının mevcut durum olarak ele alınacağını belirleyen çıktı aşamasıdır (Kang vd. 2020). LSTM'e ait denklemler aşağıda verilmiştir.

$$f_t = \sigma(W_f [h_{t-1}, x_t] + b_f) \quad (2)$$

$$i_t = \sigma(W_i [h_{t-1}, x_t] + b_i) \quad (3)$$

$$\tilde{c}_t = \tanh(W_c [h_{t-1}, x_t] + b_c) \quad (4)$$

$$c_t = f_t c_{t-1} + i_t \tilde{c}_t \quad (5)$$

$$o_t = \sigma(o [h_{t-1}, x_t] + b_o) \quad (6)$$

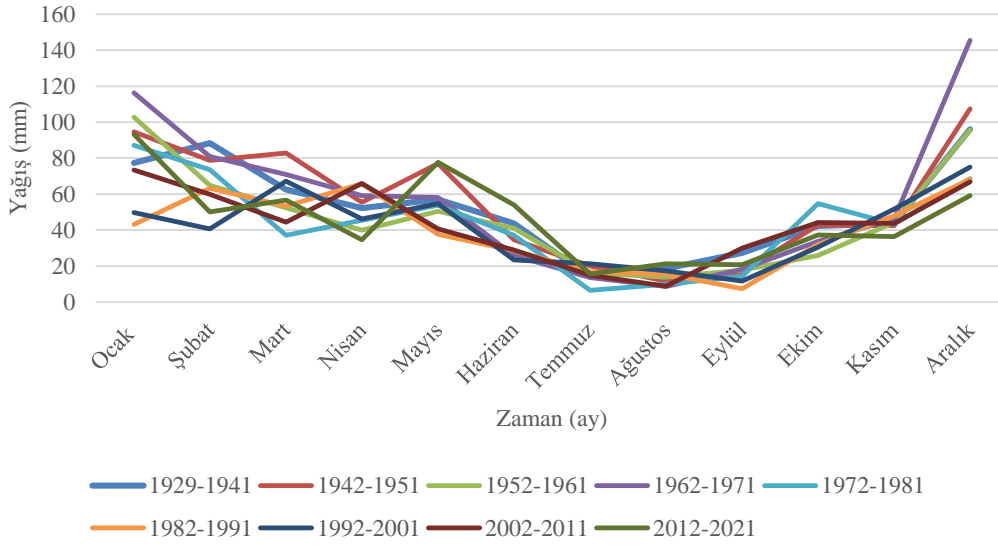
$$h_t = o_t \tanh(c_t) \quad (7)$$

Burada f_t , i_t ve o_t , t zaman adımında sırasıyla unutmaya kapısı durumu, giriş durumu ve çıkış kapısının aktivasyonları; \tilde{c}_t mevcut giriş hücresi durumu; c_t ve c_{t-1} , t ve $t-1$ anındaki hücre durum vektörleridir. h_t ve h_{t-1} , t ve $t-1$ zamanlarında çıktı vektörleri olarak da bilinen gizli durum vektörleridir; σ ve \tanh , sigmoid fonksiyonu ve hiperbolik tanjant fonksiyonunu belirtir; W_f ve b_f , unutmaya kapısı katmanının ağırlık matrisini ve sapmasını; benzer şekilde, W_i ve b_i , giriş kapısının ağırlık matrisini ve sapmasını temsil eder. W_c ve b_c , birim durumun ağırlık matrisini ve sapmasını göstermektedir. Ayrıca, W_o ve b_o , sırasıyla çıkış kapısının ağırlık matrisini ve sapmasını temsil etmektedir (Wu vd. 2021).

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada, ilk olarak Isparta İli'nin 1929-2021 yıllarındaki yağış verilerinin aylık ortalama grafikleri, eğilimlerdeki değişimlerini daha hassas gözleyebilmek için dokuz zaman aralığında (1929-1941, 1942-1951, 1952-1961, 1962-1971, 1972-1981, 1982-1991, 1992-2001, 2002-2011, 2012-2021) incelenmiştir ve Şekil 3'te verilmiştir.

Şekil 3 incelendiğinde son zaman aralığında Ocak, Mayıs ve Aralık aylarında yağışlarda artış gözlenirken; Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında en düşük ortalamalar görülmüştür. Tüm zaman aralıklarında yıllar ilerledikçe yağış miktarında azalmanın olduğu belirlenmiştir.



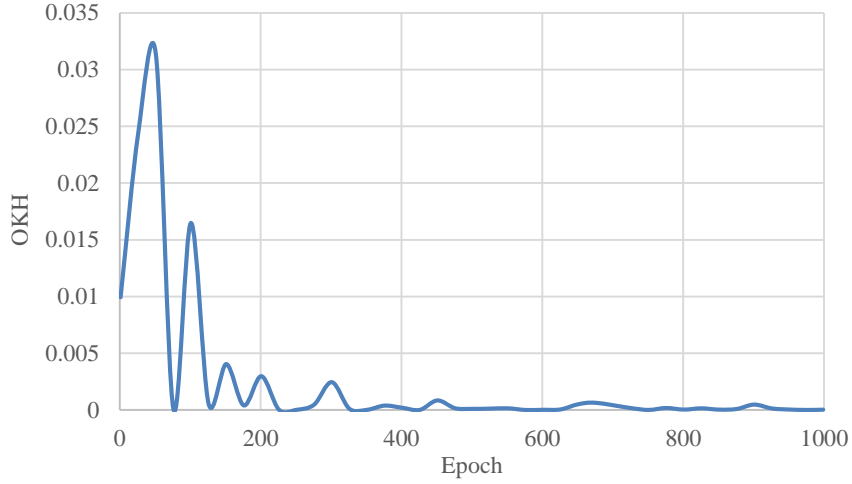
Şekil 3: 1929-2021 yılları arasında dokuz zaman aralığında aylık ortalama yağış değerleri

Çalışmada aylık yağış değerlerinin ortalama etrafındaki dağılımlarını gözleyebilmek için 1929-2021 yılları için aylık ortalamalar ve standart sapmalar arasındaki ilişkiler Tablo 2’de verilmiştir. Tablo 2 incelendiğinde yağış verilerinin aylık ortalama değer etrafındaki görülme sayılarının daha fazla olduğu, en küçük ve en büyük değerlerin sayısında azalma olduğu bulunmuştur.

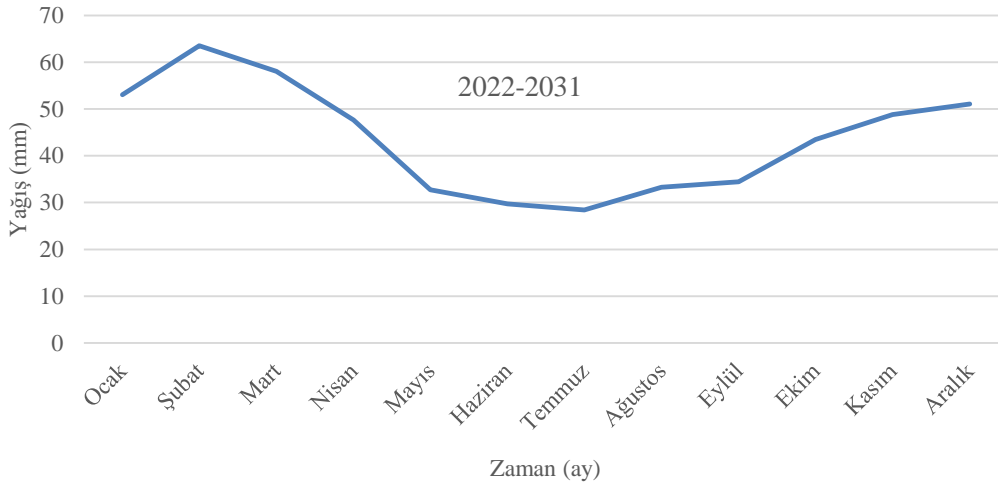
Tablo 2: 1929-2021 yılları arasındaki yağış değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri arasındaki ilişkiler

Aralıklar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
$> (\bar{x} + 2\sigma)$	0.04	0.02	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.09	0.05	0.05	0.02	0.04
$(\bar{x} + 2\sigma) \sim (\bar{x} + \sigma)$	0.10	0.14	0.11	0.08	0.13	0.11	0.05	0.04	0.05	0.09	0.11	0.10
$(\bar{x} + \sigma) \sim (\bar{x})$	0.29	0.27	0.27	0.30	0.29	0.29	0.28	0.16	0.26	0.30	0.27	0.28
$(\bar{x}) \sim (\bar{x} - \sigma)$	0.45	0.49	0.56	0.62	0.56	0.46	0.12	0.13	0.18	0.52	0.59	0.41
$(\bar{x} - \sigma) \sim (\bar{x} - 2\sigma)$	0.12	0.13	0.12	0.10	0.16	0.14	0.00	0.00	0.00	0.15	0.11	0.12
$(\bar{x} - 2\sigma) <$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Daha sonra, 1929-2021 yıllarındaki yağış verileri kullanılarak LSTM yöntemi ile gelecek 10 yıllık yağış serileri üretilmiştir. LSTM yöntemi ile gelecek yağış serileri üretilirken Python ortamında PyTorch kütüphanesi kullanılmıştır. Geliştirilen LSTM modelinin eğitim setine ait ortalama karesel hata (OKH) grafiği Şekil 4’te gösterilmiştir. Şekil 4’e göre LSTM modeli eğitilirken epoch sayısındaki artış ile OKH değerinin azaldığı görülmüştür. Elde edilen gelecek yağış verilerine ait aylık ortalama değerler Şekil 5’te ve aylık ortalama görülme sayıları Tablo 3’te verilmiştir. Tablo 3 incelendiğinde, gelecekteki beklenen yağış değerlerinin de ortalama etrafında daha çok olduğu, en büyük ve en küçük değerlerde görülme sıklığının azaldığı görülmüştür.



Şekil 4: LSTM modelinin eğitim setine ait OKH grafiği

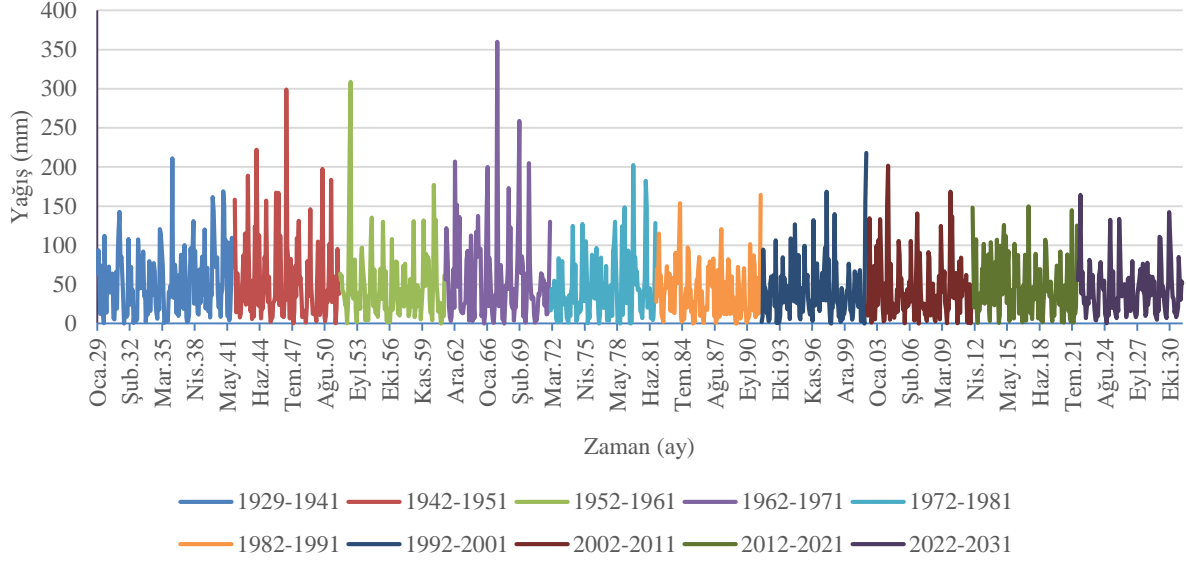


Şekil 5: 2022-2031 aylık ortalama yağış değerleri

Tablo 3: 2022-2031 yılları arasındaki yağış değerlerinin ortalama ve standart sapma değerleri arasındaki ilişkiler

Frekans aralıkları	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
$> (\bar{x} + 2\sigma)$	0.00	0.10	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.10
$(\bar{x} + 2\sigma) \sim (\bar{x} + \sigma)$	0.20	0.00	0.00	0.00	0.10	0.20	0.10	0.20	0.00	0.20	0.20	0.00
$(\bar{x} + \sigma) \sim (\bar{x})$	0.40	0.30	0.50	0.30	0.50	0.20	0.40	0.20	0.20	0.20	0.40	0.40
$(\bar{x}) \sim (\bar{x} - \sigma)$	0.20	0.50	0.30	0.60	0.10	0.60	0.30	0.60	0.70	0.50	0.10	0.30
$(\bar{x} - \sigma) \sim (\bar{x} - 2\sigma)$	0.20	0.10	0.20	0.00	0.30	0.00	0.20	0.00	0.00	0.10	0.30	0.20
$(\bar{x} - 2\sigma) <$	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

1929-2021 yılları arasındaki dokuz adet zaman aralığı ve LSTM ile üretilen 10 yıl için elde edilen zaman serisi grafiği Şekil 6'da gösterilmiştir. Veri noktalarına en uygun çizgiyi bulan doğrusal eğilim çizgisi denklemleri Microsoft Excel yardımıyla elde edilmiş ve Tablo 4'te verilmiştir. Şekil 6'da 1972-2001 aralığında artan eğilim varken, diğer zaman aralıklarında ve gelecek 10 yıl için elde edilen yağış değerlerinde ise azalan eğilimler görülmüştür. Gelecek yıllara ait serinin aynı zamanda mevcut periyot ile uyumlu olduğu görülmüştür.

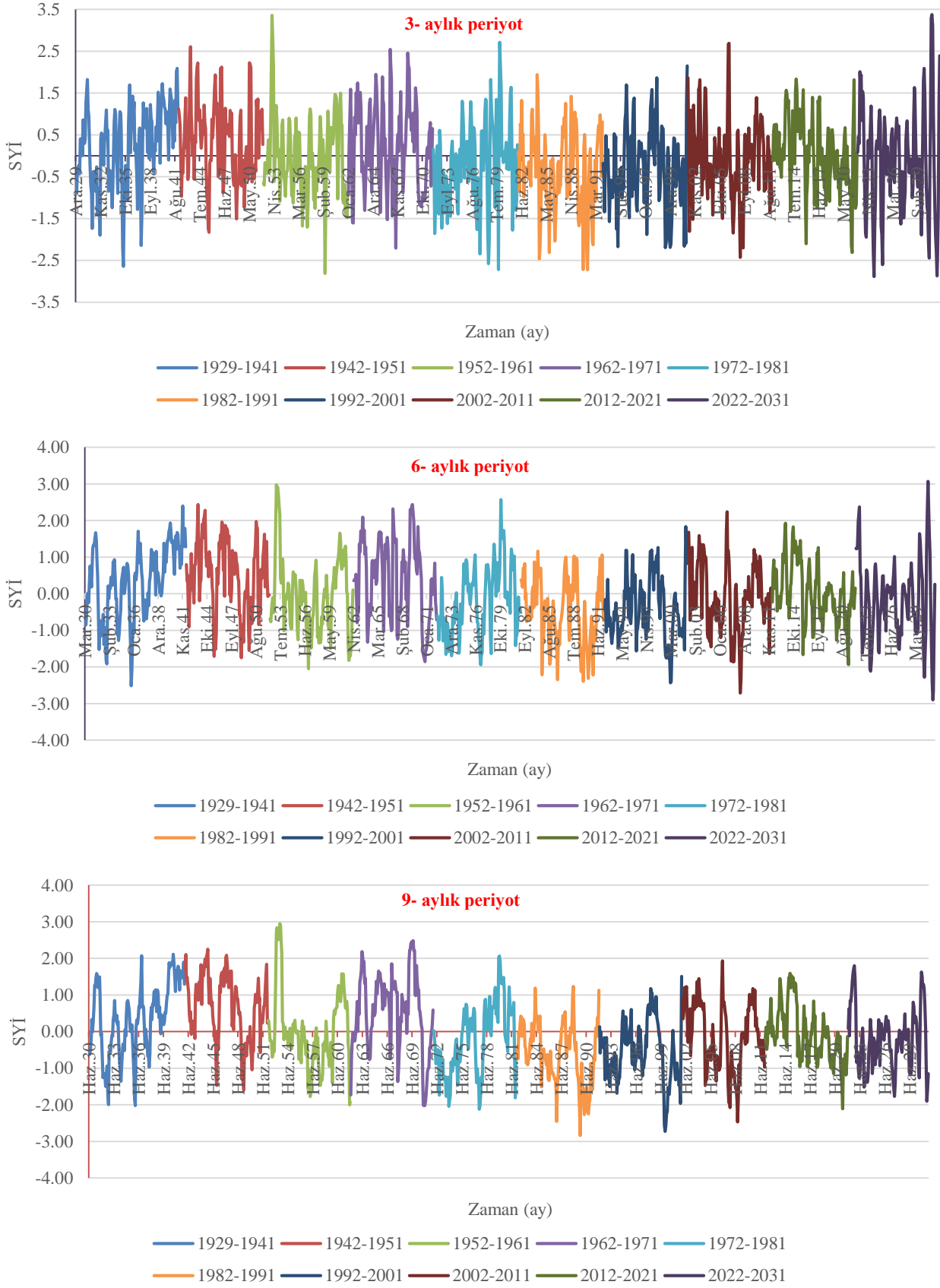


Şekil 6: 1929-2021 yıllarına ve gelecek 10 yıla ait yağış serileri

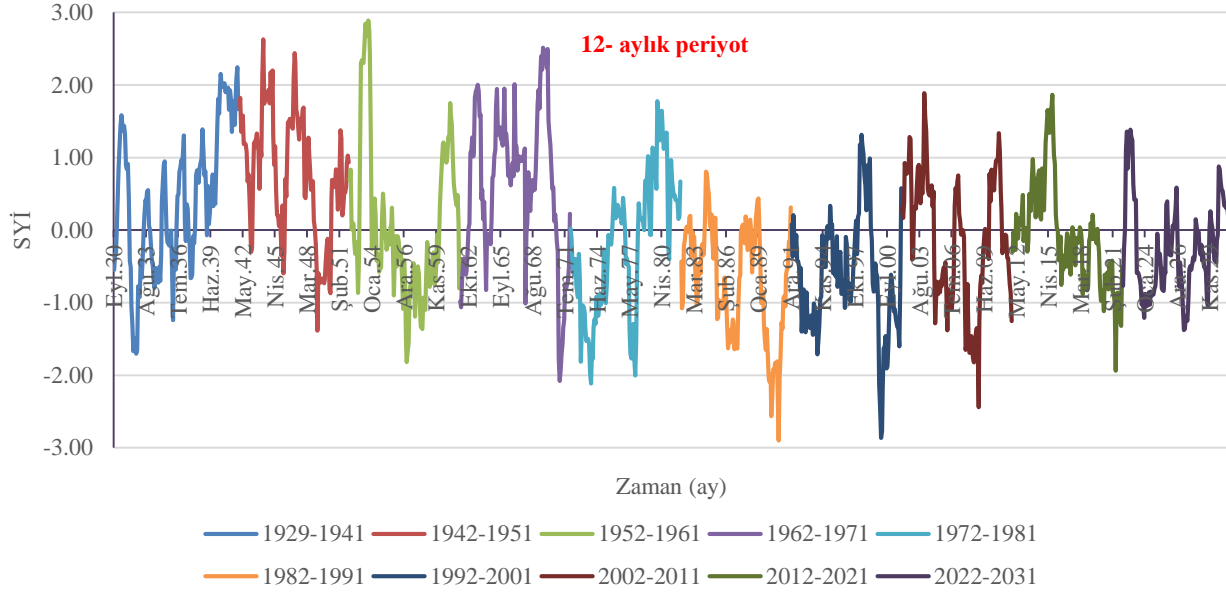
Tablo 4: 1929-2031 yılları arasındaki yağışların eğilim çizgisi denklemleri

Zaman Aralıkları	Eğilim Çizgisi Denklemleri
1929-1941	$y = 0,0042x - 2,4496$ ↑
1942-1951	$y = -0,0043x + 128,28$ ↓
1952-1961	$y = -0,0042x + 133,49$ ↓
1962-1971	$y = -0,0033x + 135,52$ ↓
1972-1981	$y = 0,0028x - 34,907$ ↑
1982-1991	$y = 0,0017x - 14,796$ ↑
1992-2001	$y = 0,0029x - 62,494$ ↑
2002-2011	$y = -0,0022x + 127,7$ ↓
2012-2021	$y = -0,006x + 304,74$ ↓
2022-2031	$y = -0,0006x + 69,524$ ↓

Gamma dağılımına uygunluğu görülen Isparta istasyonunun yağış değerlerinin eğilimleri incelendikten sonra meteorolojik kuraklık analizini gerçekleştirmek için mevcut veriler ve gelecek 10 yıla ait yağış verilerinin standartlaştırılmış değerleri 3-, 6-, 9-, ve 12- aylık periyotlarda SYİ yöntemi ile hesaplanmıştır. Bu periyotlar için elde edilen SYİ değerleri ile çizilen zaman serileri ve eğilim çizgisi denklemleri sırasıyla Şekil 7 ve Tablo 5'te verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde yağış verilerinde olduğu gibi 1972-1981 yıllarında ve gelecek 10 yıl için 12- aylık SYİ serilerinde artış eğilimi görülürken, diğer periyotlarda azalış eğilimi belirlenmiştir. Literatürde bulunan diğer yayınlar da incelendiğinde genel olarak yağışların azalış eğiliminde olmasının, meteorolojik kuraklığı da beraberinde getirdiği gözlenmiştir (Şener ve Şener 2021; Kapluhan 2013).



Şekil 7: 1929-2021 yılları ve gelecek 10 yıla ait SYI serileri

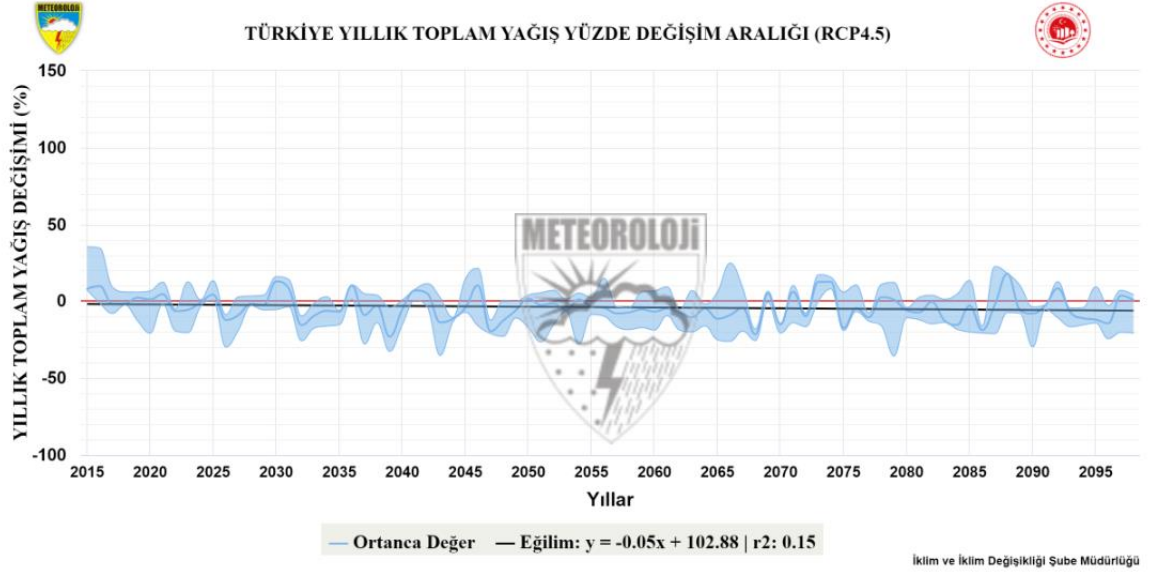


Şekil 7'nin devamı

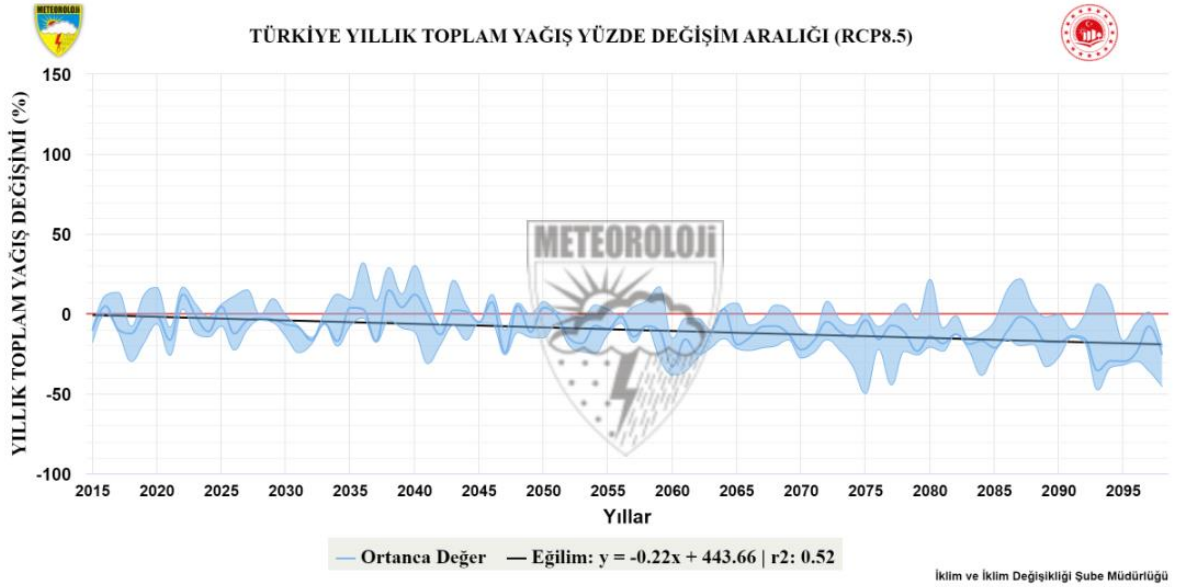
Tablo 5: 1929-2031 yılları arasındaki yağışların SYİ değerlerinin eğilim çizgisi denklemleri

Zaman Aralıkları	SYİ-3	SYİ-6	SYİ-9	SYİ-12
1929-1941	$y = 0,0003x - 3,4206 \uparrow$	$y = 0,0004x - 4,5492 \uparrow$	$y = 0,0004x - 5,0375 \uparrow$	$y = 0,0005x - 5,6657 \uparrow$
1942-1951	$y = -0,0001x + 2,1321 \downarrow$	$y = -0,0002x + 3,2756 \downarrow$	$y = -0,0003x + 5,2382 \downarrow$	$y = -0,0003x + 6,4217 \downarrow$
1952-1961	$y = -1E-04x + 2,0474 \downarrow$	$y = -0,0002x + 3,2011 \downarrow$	$y = -2E-05x + 0,4265 \downarrow$	$y = -2E-05x + 0,4308 \downarrow$
1962-1971	$y = -0,0001x + 2,8479 \downarrow$	$y = 1E-05x + 0,0624 \uparrow$	$y = 3E-05x - 0,1908 \uparrow$	$y = 4E-05x - 0,342 \uparrow$
1972-1981	$y = 0,0002x - 6,4992 \uparrow$	$y = 7E-06x - 0,3442 \uparrow$	$y = 1E-05x - 0,5244 \uparrow$	$y = 2E-05x - 0,6528 \uparrow$
1982-1991	$y = -0,0001x + 3,5238 \downarrow$	$y = -3E-05x + 0,4096 \downarrow$	$y = -4E-05x + 0,5731 \downarrow$	$y = -4E-05x + 0,6981 \downarrow$
1992-2001	$y = -3E-05x + 0,638 \downarrow$	$y = -1E-05x + 0,1395 \downarrow$	$y = -2E-05x + 0,3051 \downarrow$	$y = -3E-05x + 0,3602 \downarrow$
2002-2011	$y = -9E-05x + 3,4148 \downarrow$	$y = -2E-05x + 0,7491 \downarrow$	$y = -4E-05x + 1,3161 \downarrow$	$y = -1E-05x + 0,2665 \downarrow$
2012-2021	$y = -0,0003x + 12,288 \downarrow$	$y = -4E-05x + 1,6396 \downarrow$	$y = -0,0004x + 16,219 \downarrow$	$y = -0,0004x + 17,11 \downarrow$
2022-2031	$y = -5E-05x + 2,2384 \downarrow$	$y = -7E-05x + 3,2089 \downarrow$	$y = -3E-05x + 1,1646 \downarrow$	$y = 2E-05x - 1,2015 \uparrow$

Isparta İli'nin farklı iklim değişikliği senaryoları altında davranışının belirlenmesi ve bu amaçla gelecekte olası hidro-meteorolojik değişikliklerin tahmini, su kaynaklarının havza bazında sürdürülebilir kullanımı bakımından önemlidir. Bu amaçla MGM, iklim değişikliğinin ülkemizde nasıl etkileri olduğunu belirlemek için HadGEM2-ES, MPI-ESM-MR, GFDL-ESM2M küresel model veri setlerini kullanarak, RegCM4.3.4 Bölgesel Modeli ile dinamik ölçek küçültme yöntemiyle RCP4.5 (iyimser) ve RCP8.5 (kötümser) senaryolarına göre 1971-2000 yıllarını referans alarak, 2016-2040, 2041-2070, 2071-2099 yılları için yağış projeksiyon sonuçlarını elde etmiştir (Şekil 8 ve 9) (MGM, 2022).



Şekil 8: RCP4.5 senaryosu için Türkiye yıllık toplam yağış anomalisi bandı projeksiyonları (MGM 2022)



Şekil 9: RCP8.5 senaryosu için Türkiye yıllık toplam yağış anomalisi bandı projeksiyonları (MGM 2022)

Gürkan vd. (2016) Türkiye için RCP4.5 ve RCP8.5 senaryolarına göre yıllık ortalama yağışlarda azalma olacağını öngörmüşlerdir. RCP4.5 senaryosuna göre 2016-2040 yıllarında Göller Bölgesi'nde yağışlarda azalma, RCP8.5'a göre ise özellikle Akdeniz Bölge'sinde yağışlarda daha belirgin azalışlar olacağını ifade etmişlerdir. Şekil 8 ve 9'da verilen zaman serilerinin eğilim denklemleri çalışmada elde edilen mevcut yağış verilerinin ve LSTM ile üretilen yağış verilerinin eğilim denklemleri ile ve SYI ile elde edilen 3-, 6-, 9- ve 12- aylık periyotlardaki standartlaştırılmış verilerin mevcut ve gelecek 10 yıl için elde edilen eğilim denklemleri ile benzer şekilde azalma gösterdiği görülmüştür.

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, Isparta İli'nin gelecekteki 10 yıllık meteorolojik kuraklığının tahmini için 1929-2021 yılları arasındaki yağış verileri kullanılarak LSTM yöntemi ile benzer görülme sayısına sahip yağış verileri üretilmiştir. Daha sonra, mevcut ve üretilen yağış verileri kullanılarak SYI ile meteorolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Her dönem için yağış verileri ve SYI serilerinin eğilimleri incelenmiştir. Yağış ve SYI serilerinin benzer şekilde azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda, MGM'nin verdiği Türkiye için RCP4.5 yağış senaryosu ile benzer özellikte oldukları görülmüştür. Ayrıca, tüm periyotlarda 1982 yılından 2011 yılına kadar şiddetli kuraklıklar görülmüştür.

Bu yıllar arasında Isparta merkezde nüfusta ciddi artış olmuştur. Artan nüfusun getirdiği şehirleşme ile birlikte tarım arazilerinin de iskâna açılmasının bölgede hissedilecek kuraklığın etkilerini belirgin bir şekilde arttırdığı düşünülmektedir. Çalışmada kullanılan LSTM yöntemi ile üretilen yağış verilerinin zaman aralığı artırılarak uzun vadede su kaynaklarının planlanması ile ilgili daha hassas verilerin üretilmesi ve gerekli önlemlerin alınması sağlanabilir. Yerel yönetimler tarafından halkın su tüketimi konusunda bilinçlendirilmesi, sulama suyu için uygun miktarların ve yöntemlerin belirlenmesi ve bölgeye uygun su ihtiyacı az olan alternatif ürünlerin tercih edilmesi alınacak önlemler içerisinde yer alabilir.

Kaynaklar

- Aktürk G., Zeybekoğlu U., Yıldız O., (2022), *SPI ve SPEI yöntemleri ile kuraklık araştırması: Kırıkkale Örneği*, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 14(2), 762-776.
- Batan M., (2021), *Çeşitli kuraklık indisleri ile Batman ilinin kuraklık analizi ve kontur haritalarının çıkarılması*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(2), 252-265.
- Çavus Y., Aksoy H., (2020), *Critical drought severity/intensity-duration-frequency curves based on precipitation deficit*, Journal of Hydrology, 584, 124312, 1-14.
- Danandeh Mehr A., Rikhtehgar Ghiasi A., Yaseen Z.M., Sorman A.U., Abualigah L., (2022), *A novel intelligent deep learning predictive model for meteorological drought forecasting*, Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing, doi: 10.1007/s12652-022-03701-7.
- Dikshit A., Pradhan B., Alamri A.M., (2021), *Long lead time drought forecasting using lagged climate variables and a stacked long short-term memory model*, Science of The Total Environment, 755, 142638. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.142638.
- Duvan A., Aktürk G., Yıldız O., (2021), *Meteorolojik kuraklığın zamansal ve alansal özelliklerine iklim değişikliğinin etkisi, Sakarya Havzası Örneği*, Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 3(2), 207-217.
- Gidey E., Dikinya O., Sebego R., Segosebe E., Zenebe A., (2018), *Predictions of future meteorological drought hazard (~ 2070) under the representative concentration path (RCP) 4.5 climate change scenarios in Raya, Northern Ethiopia*, Modeling Earth Systems and Environment, 4(2), 475-488.
- Gürkan H., Arabaci H., Demircan M., Eskiöglü 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.
- Hochreiter S., Schmidhuber J., (1997), *Long short-term memory*, Neural Computation, 9(8), 1735-1780.
- Jehanzaib M., Sattar M.N., Lee J.H., Kim T.W., (2020), *Investigating effect of climate change on drought propagation from meteorological to hydrological drought using multi-model ensemble projection*, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 34(1), 7-21.
- Kang J., Wang H., Yuan F., Wang Z., Huang J., Qiu T., (2020), *Prediction of precipitation based on recurrent neural networks in Jingdezhen, Jiangxi Province, China*, Atmosphere, 11(3), 246. doi: 10.3390/atmos11030246.
- Karavitis C.A., Alexandris S., Tsemelis D.E., Athanasopoulos G., (2011), *Application of the standardized precipitation index (SPI) in Greece*, Water, 3(3), 787-805.
- Kapluhan E., (2013), *Türkiye’de kuraklık ve kuraklığın tarıma etkisi*, Marmara Coğrafya Dergisi, (27), 487-510.
- Katipoğlu O.M., Acar R., Şengül S., (2020), *Comparison of meteorological indices for drought monitoring and evaluating: a case study from Euphrates basin, Turkey*, Journal of Water and Climate Change, 11(S1), 29-43.
- Livada I., Assimakopoulos V.D., (2007), *Spatial and temporal analysis of drought in Greece using the Standardized Precipitation Index (SPI)*, Theoretical and Applied Climatology, 89(3), 143-153.
- McKee T.B., Doesken N.J., Kleist J., (1993), *The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales*, Proceedings 8th Conference on Applied Climatology’ in İçinde, American Meteorological Society, Anaheim, CA, ss. 1-6.
- MGM, (2022), *Yeni Senaryolarla Türkiye İçin İklim Değişikliği Projeksiyonları*, Meteoroloji Genel Müdürlüğü, Rapor No. TR2015-CC, https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/IKLIM_DEGISIKLIGI_PROJEKSIYONLARI.pdf, [Erişim 05 Ağustos 2022].
- Pashiardis S., Michaelides S., (2008), *Implementation of the standardized precipitation index (SPI) and the reconnaissance drought index (RDI) for regional drought assessment: a case study for Cyprus*, European Water, 23(24), 57-65.
- Poornima S., Pushpalatha M., (2019), *Drought prediction based on SPI and SPEI with varying timescales using LSTM recurrent neural network*, Soft Computing, 23(18), 8399-8412.
- Şener E., Şener Ş., (2021), *SPI ve CZI kuraklık indislerinin CBS tabanlı zamansal ve konumsal karşılaştırması: Burdur Gölü Havzası örneği*, Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 7(1), 41-58.
- Shah R., Bharadiya N., Manekar V., (2015), *Drought index computation using standardized precipitation index (SPI) method for Surat District, Gujarat*, Aquatic Procedia, 4, 1243-1249.
- URL-1 (2022), *İklim*, <https://isparta.ktb.gov.tr/TR-71025/iklim.html>, [Erişim 22 Haziran 2022].
- Wu X., Zhou J., Yu H., Liu D., Xie K., Chen Y., Hu J., Sun H., Xing F., (2021), *The development of a hybrid wavelet-ARIMA-LSTM model for precipitation amounts and drought analysis*, Atmosphere, 12(1), 74. doi: 10.3390/atmos12010074.
- Xu D., Zhang Q., Ding Y., Zhang D., (2022), *Application of a hybrid ARIMA-LSTM model based on the SPEI for drought forecasting*, Environmental Science and Pollution Research, 29(3), 4128-4144.