DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

MULTI-SCALE BREAKPOINT ANALYSIS OF DROUGHT TRENDS IN ERZINCAN: THE CONTRIBUTION OF SPEI, SDI, AND SWI APPROACHES TO WATER RESOURCES MANAGEMENT

Zeynep Özge Terzioğlu[1]*, Okan Mert Katipoğlu[2]

*[1]Erzincan Binali Yıldırım University, Department of Civil Engineering, Erzincan, Türkiye.
[2]Erzincan Binali Yıldırım University, Department of Civil Engineering, Erzincan, Türkiye.
Zeynep Özge Terzioğlu: https://orcid.org/0000-0001-6230-0787
Okan Mert Katipoğlu: https://orcid.org/0000-0001-6421-6087

ABSTRACT

Due to the large number of illegal wells in Erzincan province and their use for agricultural irrigation, there is a risk of inaccessibility to water resources when needed during dry periods. Therefore, there is a need to assess meteorological and hydrological droughts in Erzincan province and better manage water resources. This study aims to examine the trends and breakpoint analysis of meteorological and hydrological droughts in Erzincan province using the Sequential Mann-Kendall (SQMK) test. The study used the Standardized Precipitation-Evaporation Index (SPEI) as a proxy for meteorological drought, and the Standardized Runoff Index (SDI) and Standardized Water Level Index (SWI) as hydrological drought indicators. Analyses were conducted over 3, 6, and 12-month periods to understand the behavior of drought at different time scales. The SQMK test was used to identify trend changes and breakpoints in the time series, and to assess the overlap between breakpoint years between different drought indices. A multi-scale SQMK analysis conducted in Erzincan province revealed significant breaking points in meteorological and hydrological drought regimes in 2000, 2005, and 2010. After 2010, drought severity increased significantly, particularly in summer and autumn. The continuous decline in groundwater levels revealed that the hydrological balance in the region is deteriorating under the pressure of climate change and excessive water use. These results demonstrate the necessity of developing climate-compatible and integrated planning approaches for the sustainable management of water resources in Erzincan.

Keywords: Groundwater, Stream flow, Trend analysis, Meteorological Drought, Hydrological Drought, Sequential Mann-Kendall Test

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

Erzincan'daki Kuraklık Trendlerinin Çok Ölçekli Kırılma Noktası Analizi: SPEI, SDI ve SWI Yaklaşımlarının Su Kaynakları Yönetimine Katkısı

ÖZET

Erzincan ilinde çok sayıda kaçak kuyu olması ve tarımsal sulamada kullanılması nedenle kurak dönemlerde gerektiği zaman su kaynaklarına erişilememe riski bulunmaktadır. Bu nedenle Erzincan ilinin meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların değerlendirilmesi su kaynaklarının daha iyi yönetilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada Erzincan ilindeki meteorolojik ve hidrolojik kuraklıkların trendleri ve kırılma noktası analizi için Ardışık Mann-Kendall (SQMK) testi ile incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, meteorolojik kuraklığı temsil eden Standartlaştırılmış Yağış-Buharlaşma İndeksi (SPEI) ile hidrolojik kuraklık göstergeleri olan Standartlaştırılmış Akım İndeksi (SDI) ve Standartlaştırılmış Su Seviyesi İndeksi (SWI) kullanılmıştır. Analizler, kuraklığın farklı zaman ölçeklerindeki davranışını anlayabilmek için 3, 6 ve 12 aylık periyotlar üzerinde gerçekleştirilmiştir. SQMK testi ile zaman serilerindeki trend değişimlerinin ve kırılma noktalarının tespiti yapılarak, farklı kuraklık indeksleri arasındaki kırılma yıllarının örtüşme durumu değerlendirilmiştir. Erzincan ilinde gerçekleştirilen çok ölçekli SQMK analizi, 2000, 2005 ve 2010 yıllarında meteorolojik ve hidrolojik kuraklık rejimlerinde belirgin kırılma noktalarının ortaya çıktığını göstermiştir. 2010 sonrası dönemde özellikle yaz ve sonbahar aylarında kuraklık şiddeti istatistiksel olarak anlamlı düzeyde artmıştır. Yeraltı suyu seviyelerinde gözlenen sürekli düşüş, bölgedeki hidrolojik dengenin iklim değişikliği ve aşırı su kullanımı baskısı altında bozulduğunu ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, Erzincan'da su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için iklim uyumlu ve entegre planlama yaklaşımlarının geliştirilmesinin zorunlu olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Yeraltısuyu, Akarsu akımı, Trend analiz, Meteorolojik Kuraklık, Hidrolojik Kuraklık, Ardışık Mann-Kendall Testi

GİRİŞ

Kuraklık aylarca hatta yıllarca süren önemli bir afete dönebilir. Kuraklık su kalitesini düşürmekte, yüzey ve yeraltı suyunu ciddi ölçüde azaltmakta, üretimi azaltmakta, kıyı ekosistemini bozmakta, hidroelektrik üretimini kısıtlamakta, ekonomiyi zayıflatmakta, orman yangınlarına sebep olmakta ve insan refahını, geçimini, hatta hayatını tehdit etmektedir (Massoudi vd., 2023, Wu vd., 2024; Shen vd., 2025). Bu nedenle yerel su yönetimi politikalarının geliştirilebilmesi açısından hem meteorolojik hem de hidrolojik kuraklıkların zaman içerisindeki değişimini belirlemek önemlidir. SPEI, SDI ve SWI kullanılarak SQMK testi ile kırılma yıllarının her ay ve her zaman ölçeği için ayrı ayrı belirlemesi avantajlı olmaktadır.

Gaznavi vd. (2021), İran'daki sinoptik istasyonlara ait yağış verilerini kullanarak kırılma noktalarını inceleyerek, bu kırılmaların kuraklık üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. BHR, BUR, SHN ve Pettitt ile homojenlik testi yapmışlardır. Arak ile Tebriz istasyonlarında belirgin kırılma noktaları tespit

etmişlerdir. Standart Yağış İndeksi (SPI), SPEI, RDI ve eRDI indekslerini kullanarak kırılma öncesi ve sonrası kuraklık şiddeti analiz etmişlerdir. Sonuç olarak yağış serilerindeki kırılma noktaları sonrası artan buharlaşma ve küresel ısınmaya bağlı olarak kuraklığın süre ve şiddetinin belirgin bir bicinde arttığını ortaya koymuşlardır. Gu vd. (2022); 1982-2015 yılları arasındaki **S**PEI **ve** Normalleştirilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) verileri kullanılarak Moğolistan Platosu'nun kuraklığını incelemişlerdir. Kuraklığın birikimli **ve** gecikmeli etkilerini belirlemek için Pearson korelasyonu, SQMK ve kırılma testi yapmışlardır. NDVI ile genel olarak bir artış eğilimi, SPEI ile ise 1998 yılında belirgin bir kırılma noktası olduğunu ortaya koymuşlardır. Bouregaa (2023), 1901–2018 yılları için aylık sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak Cezayir'deki meteorolojik kuraklığın mekânsal ve zamansal değişimi incelemiştir. 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde SPI ve Yağış–Buharlaşma Oranı İndeksi (RDI) hesaplamıştır. Buishand, Pettitt ve SNHT testlerini kullanarak homojenliği değerlendirmişlerdir. İstasyonların %89,6'sında kırılma noktası belirlenmiştir. Mann–Kendall testi ile tüm istasyonlarda genel olarak anlamlı azalma eğilimi olduğunu, bu eğilimin SPI'ya göre RDI'da daha belirgin olduğu saptanmıştır. Burić vd. (2024); SPI ve SPEI indeksleri ile Karadağ'ın 1961–2020 yıllarına ait yağış-sıcaklık verilerini kullanarak kuraklık analizi yapmışlardır. RAPS yöntemi ile eğilim analizi sonucunda 1980'li yılların ortasında Podgorica için kırılma noktasını, 1991-2020 yıllarında ise kuraklığın arttığını tespit etmişlerdir. Analiz edilen 15 telebağlantı varyasyon göstergesinden 11 salınımın, analiz edilen 24 SPEI zaman serisinden bir veya daha fazlası üzerinde önemli bir etkisi olduğunu belirlemişlerdir. Karadağ'da özellikle yaz aylarında kuraklığın artarak su kıtlığının oluşmasına, bitkilerin kurumasına, sık sık yangın çıkmasına sebep olduğunu ve önlem alınması gerektiğini vurgulamışlardır. Bergane (2025), 1985–2022 yılları için Cezayir kıyı şeridinde bulunan 17 meteoroloji istasyonuna ait yağış ve sıcaklık verilerine SPI, SPEI, MFI ve PCI indeksleri ile Mann–Kendall ve Pettitt testlerini uygulayarak iklim eğilimleri ve meteorolojik kuraklığı incelemişlerdir. 2000'li yıllarda yağışlarda %18 artış eğilimi 2001–2002 yıllarında belirgin kırılma noktaları olduğunu belirlenmiştir. Sıcaklıklarda anlamlı trend veya kırılma belirlenmemiştir. Elde edilen SPI ve SPEI indeksleri arasında güçlü pozitif korelasyon (0.797–0.968) olduğu tespit etmişlerdir. Shen vd. (2025), Avrupa genelinin 1970-2024 yılları arası ERA5 yeniden analiz verilerini 3, 6 ve 12 aylık zaman ölçekleri için meteorolojik (SPI, SPEI) ve hidrolojik (SRI, RZI) kuraklık indekslerine göre zamansal ve mekânsal özelliklerini belirlemişlerdir. Kuraklık eğilimlerinin analizi için Mann–Kendall trend testi, ani değişimler mutasyon testi, süreklilik Hurst üstel katsayısı ve mekânsal desenler Fragstats metriklerini kullanmışlardır. 1974 yılında meteorolojik indekslerde, 1993–1994 yıllarında ise hidrolojik indekslerde yapısal kırılma noktaları olduğunu, hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklığa göre daha şiddetli olduğu ve yaklaşık 700×10^4 km^2'lik bir alanı etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Yarı kurak iklim yapısına sahip olan Erzincan ilinde kuraklıkların izlenmesi ve değişimlerinin analizi hayati öneme sahiptir. Ayrıca iklim değişiminden en çok etkilenme riskine sahip olan bölgede yerel su kaynakları yönetimi politikalarının geliştirilmesi gerekmektedir. Bu araştırmanın temel amacı, Erzincan

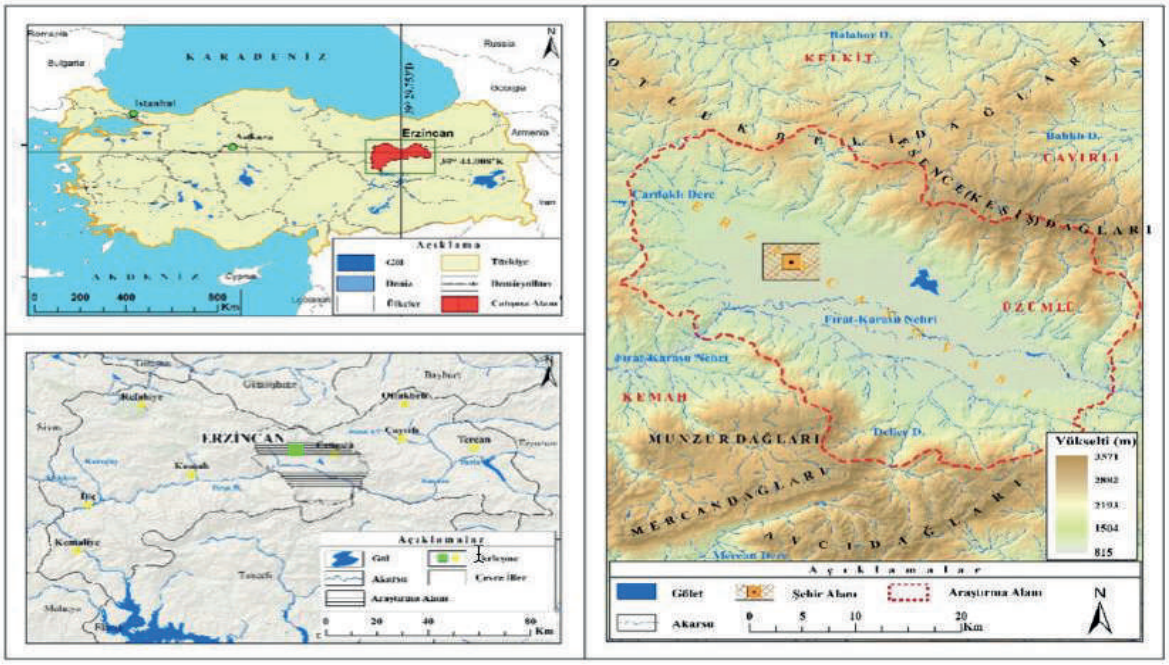
DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

ili özelinde meteorolojik ve hidrolojik kuraklık arasındaki karmaşık ilişkileri, gelişmiş istatistiksel ve matematiksel yöntemler kullanarak kapsamlı bir şekilde analiz etmek ve bu iki kuraklık türü arasındaki trend ve trend başlangıç yıllarını karşılaştırmaktır. Trend değişimlerinin nedenlerinin araştırılması Bu çok yönlü analiz yaklaşımı, meteorolojik ve hidrolojik kuraklık trenlerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunarak, bölgesel su kaynakları yönetimi ve kuraklık risk değerlendirmesi için değerli bilgiler sunmaktadır. Çalışmanın sonuçları, kuraklık izleme ve erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılabilecek kantitatif göstergeler sağlamakta ve gelecekteki kuraklık çalışmaları için metodolojik bir çerçeve oluşturmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzeybatısında bulunan Erzincan ovası, Yukarı Fırat Havzası'nda 38º 16″-40º 45″ doğu boylamları ile 39º 02″-40º 05″ kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Otlukbeli Dağları, Esence Dağları, Karadağ, Köhnem Dağları ve Mercan-Munzur Dağları ile çevrili Erzincan ovası, büyük bir çöküntü alanını kapsamaktadır. Güneydoğu ve kuzeybatı doğrultusunda uzanan Erzincan ovasının yaklaşık yüzölçümü 600 km² ve uzunluğu 90 km'dir. Erzincan ovasına ait harita Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Erzincan haritası (Polat ve Altınbilek, 2021)

Standartlaştırılmış Yağış-Buharlaşma İndeksi

Yağış (P) ve potansiyel buharlaşma (PET) arasındaki farkların aşılmama olasılığına dayanarak hesaplanan bir kuraklık indeksi olan SPEI, negatif değerleri de hesaba katarak üç parametreli log-lojistik dağılım ile standardize etmektedir (Vicente-Serrano vd., 2010). i ayı için P ve PET arasındaki fark (Di), aşağıdaki denklem ile belirlenmektedir (Tirivarombo vd., 2018).

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

$$D_i = P_i - PET_{\text{i}}$$

Farklı zaman ölçekleri için elde edilen D değerleri aşağıdaki formülde belirtildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$D_n^k = \sum_{t-0}^{k-1} P_{n-1} - (PET)_{n-1}$$

Burada k ay olarak toplamanın zaman ölçeği, n ise hesaplama ayıdır. Log-lojistik dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu ise aşağıda belirtilmektedir:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha}\left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta-1}\left(1+\left(\frac{x-y}{\alpha}\right)^{\beta}\right)^{-2}$$

Burada α ölçek, β şekil ve γ köken parametreleridir. γ>D<∞ şeklindedir. D serisi için olasılık dağılım fonksiyonu ise aşağıdaki gibidir:

$$f(x) = \left[1+\left(\frac{\alpha}{x}-y\right)^{\beta}\right]^{-1}$$

Abramowitz ve Stegun (1965) yöntemine göre SPEI, f(x)'in standartlaştırılmış değerleri olarak aşağıda belirtildiği gibi elde edilmektedir:

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3}$$

$$P \leq 0{,}5\ için\ W = \sqrt{-2In(P)}$$

Burada P, belirlenen bir D_i değerini aşma olasılığıdır. P = 1 –f(x)'dir. Yukarıda belirtilen sabitler ise aşağıda belirtildiği gibidir (Tirivarombo vd., 2018):

C_0=2.515517, C_1=0.802853, C_2=0.010328, d_1=1.432788, d_2=0.189269 ve d_3=0.001308

Standartlaştırılmış Akım İndeksi

SDI hesaplanması için aylık ortalama akım verileri kullanılmaktadır. Akım değerlerine göre bir dağılım oluşturulmaktadır. Formülü aşağıda belirtilmektedir (Yaltı ve Aksu, 2019; Turhan ve Değerli, 2021).

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j}$$

Burada V kümülatif akım hacmi, $Q_{i,j}$ akım verileri, i hidrolojik yıl (i=1, 2, …), j su yılı içerisindeki ay sayıları (j=1, 2, …, 12) ve k referans periyotudur (k=1,2,3,4).

Ekim-Aralık dönemi ise k=1, Ekim-Mart dönemi ise k=2, Ekim–Haziran ise k=3 ve Ekim–Eylül ise k=4 olarak alınmaktadır. Kümülatif akım hacimlerine göre Standardize Akım Kuraklık İndeksi (SDI) formülü aşağıda belirtilmektedir (Turhan ve Değerli, 2021).

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

$$SD\dot{I}_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{s_k}$$

Burada s_k standart sapmadır.

Standartlaştırılmış Su Seviyesi İndeksi

SWI, kuraklıkla ilişkili olarak yeraltı suyu seviyelerindeki dalgalanmalar hakkında bilgi vermektedir. Yeraltı suyu seviyeleri yeryüzü referans düzelenine göre alınmıştır. Bu nedenle elde edilen değer pozitif ise kuraklık var, negatif ise kuraklık yok demektir. Formülü aşağıda belirtilmektedir (Nagarajan ve Ganapuram, 2015).

$$SWI = \frac{(W_{ij} - W_{im})}{s}$$

Burada W_{ij}, i'nci kuyudaki ve j'nci gözlemdeki su seviyesini, W_{im} ise ortalamayı tanımlamaktadır.

Ardışık Mann Kendall Testi

Zaman serilerinin trend analizinde yaygın olarak kullanılan Mann Kendall testi değişim noktasının tespiti için de kullanılabilmektedir. Ardışık Mann-Kendall testi ise bir örnek içindeki trendin başlangıcıyla ilgili varsayımları test etmede kullanılmaktadır. Bu test, sıralı büyüklüklerine dayalı X_1, ..., X_n zaman serisinde her bir verinin, bir önceki veriden büyük olup olmadığına bakmaktadır. Yani her bir X_j (j = 1, 2, ..., n) verisini, bir önceki X_k (k = 1, 2, ..., j-1) verisiyle karşılaştırmaktadır. X_j eğer X_k'dan büyük ise, yani artış varsa X_j'nin önceki kaç veriden büyük olduğunu belirten n_i değeri elde edilmektedir. n_i değerlerinin toplamı test istatistiği t_j'yi vermektedir. t_j değeri serilerin ileri veya geri bir trende sahip olup olmadığının belirlenmesini sağlamaktadır (Sun vd., 2020; Mahasa vd., 2023). Kullanılan formüller aşağıda belirtilmektedir.

$$t_j = \sum_{1}^{j} n_j \; (j = 2,3, \dots, n)$$

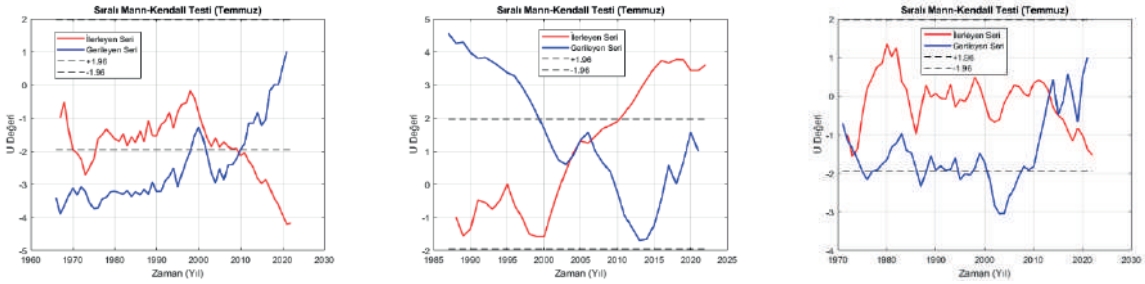
$$E(t) = \frac{n(n+1)}{4}$$

$$Var(t_j) = \frac{j(j-1)(2j+5)}{72}$$

$$UF = \frac{[t_j - E(t)]}{\sqrt{Var(t_j)}}$$

Hesaplamalardan sonra örnek olarak Şekil 2'deki gibi grafikler elde edilmektedir.

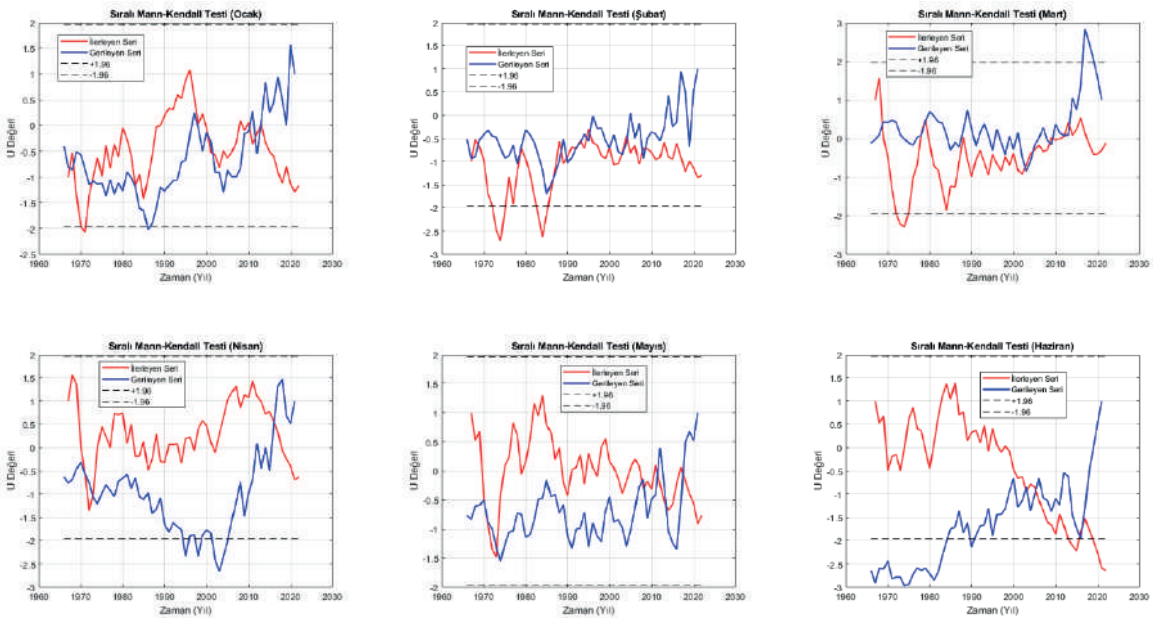
DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3



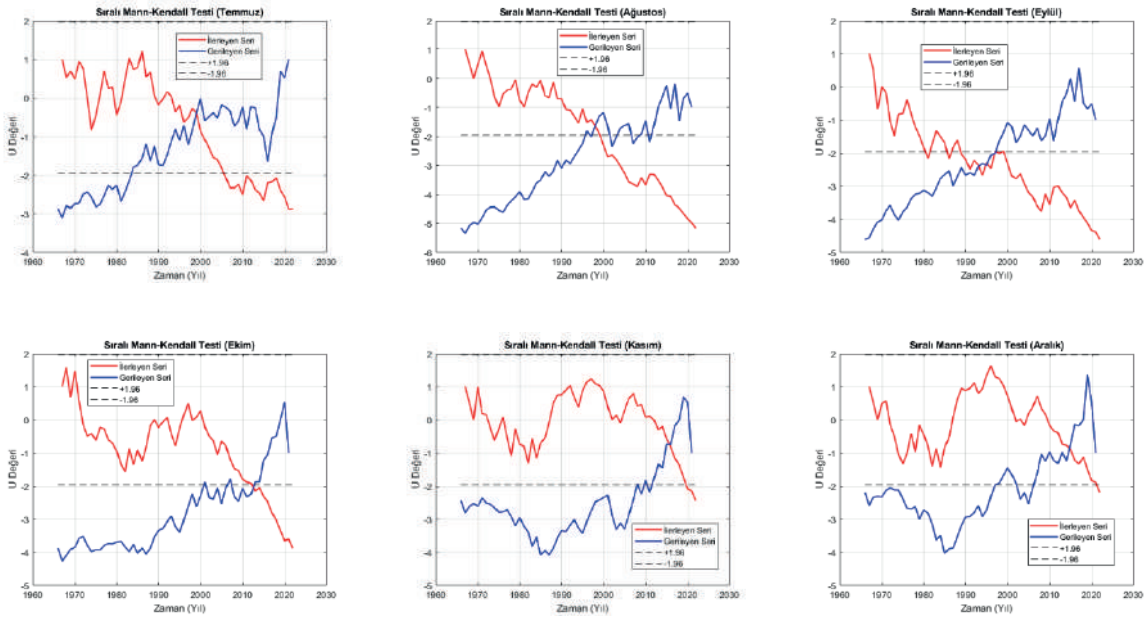
Şekil 2. Ardışık Mann Kendall testi sonucu elde edilen örnek grafikler

ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Şekil 3'te SQMK testine göre elde edilen SPEI-3 zaman serilerinin aylık bazda eğilimleri incelendiğinde, Erzincan'da 1970–2020 periyodunda kuraklık şiddetinin dönemsel olarak değiştiği ve bazı aylarda istatistiksel açıdan anlamlı eğilimlerin ortaya çıktığı görülmektedir. Özellikle Ocak, Şubat ve Mart aylarında ileri seri (mavi) eğrisinin %95 güven aralıklarını aştığı dönemler dikkat çekmektedir. Bu aylarda 1970–1980 yılları arasında ileri serinin geri serinin altında seyretmesi, SPEI değerlerinde azalışı ve dolayısıyla kuraklık şiddetinde artışı işaret etmektedir. Söz konusu dönemde güven aralığının aşılması, bu eğilimin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu göstermektedir. 1980 sonrası dönemde ise her üç ay için de ileri ve geri serilerin birbirine yaklaşması, kuraklık eğiliminin zayıfladığını ve görece daha nemli koşulların hâkim olmaya başladığını göstermektedir.



DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

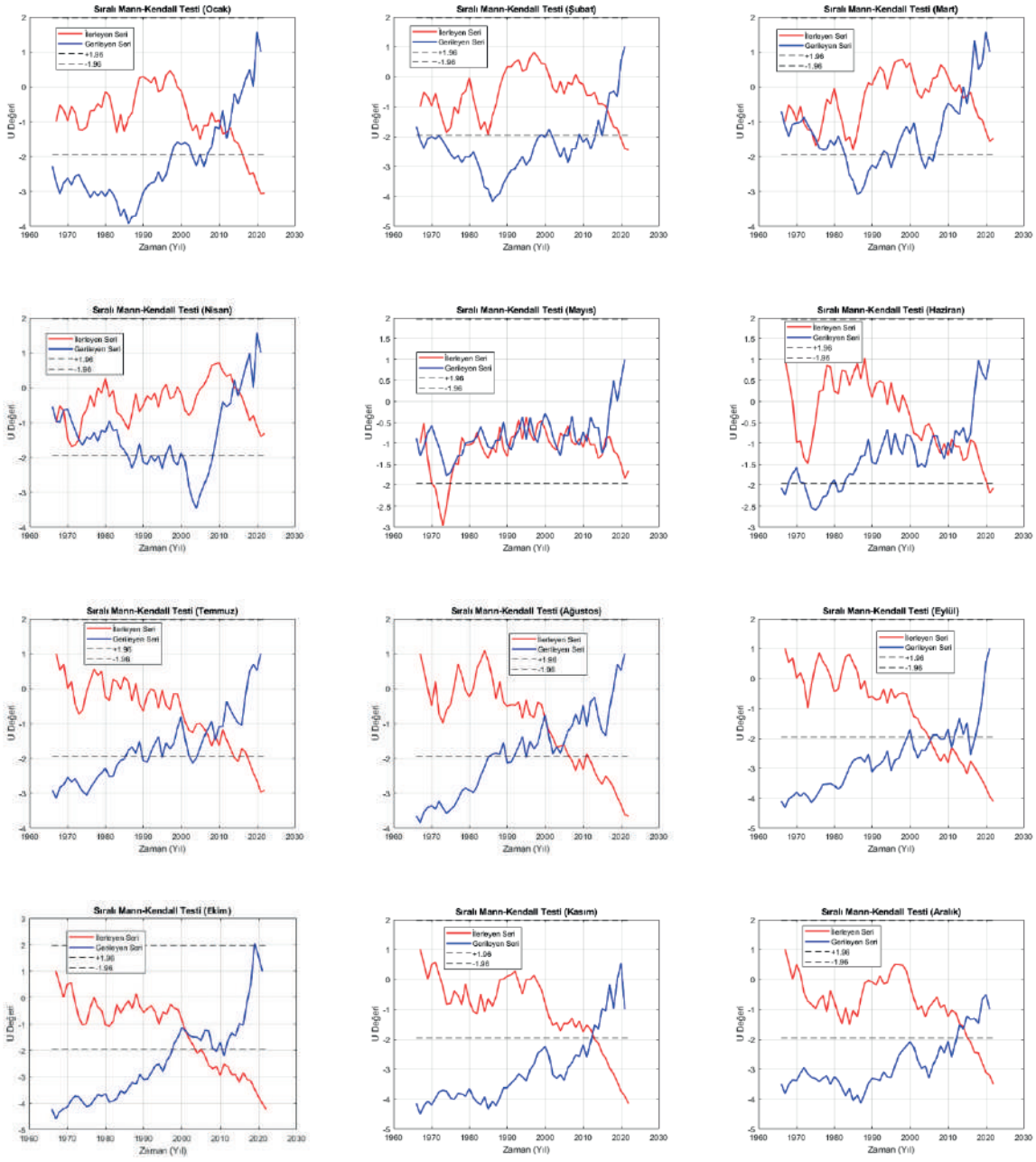


Şekil 3. SPEI 3 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

Nisan ve Mayıs aylarında ise ileri ve geri seriler arasındaki farkın azaldığı ve eğrilerin büyük ölçüde paralel ilerlediği görülmektedir; bu durum bu aylarda anlamlı bir trend bulunmadığını göstermektedir. Ancak Nisan, Mayıs ve haziran aylarında 2017'den sonra kuraklıkların şiddetlendiği görülmektedir. Ayrıca haziran ayında ilerleyen eğri %95 güven limitinin aştığı için anlamlı SPEI azalış trendi yani artan kuraklık şiddeti hakimdir.

Temmuz Ağustos ve Eylül aylarında ileri serinin sürekli olarak geri serinin altında kalması, bu aylarda kuraklık eğiliminin güçlendiğine işaret etmektedir. 1990'lı yıllardan sonra bu eğilim %95 güven aralığına yaklaşarak özellikle yaz aylarında kuraklığın kalıcı bir özellik kazandığını göstermektedir. Eylül, Ekim ve Kasım aylarında ileri ve geri serilerin kesişim noktaları artmakta olup, bu durum sonbahar döneminde yağışların düzensizleştiğini ve kısa süreli nemlilik artışlarının ardından yeniden kuraklaşma eğilimlerinin ortaya çıktığını göstermektedir. Aralık ayında ise 2000'li yıllar sonrasında ileri serinin aşağı yönlü hareketi, kuraklık şiddetinin yeniden arttığını işaret etmektedir. Ekim kasım ve aralık aylarında eğrilerin kesiştiği 2015 yılında trendin başladığı çıkarımı yapılmıştır.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

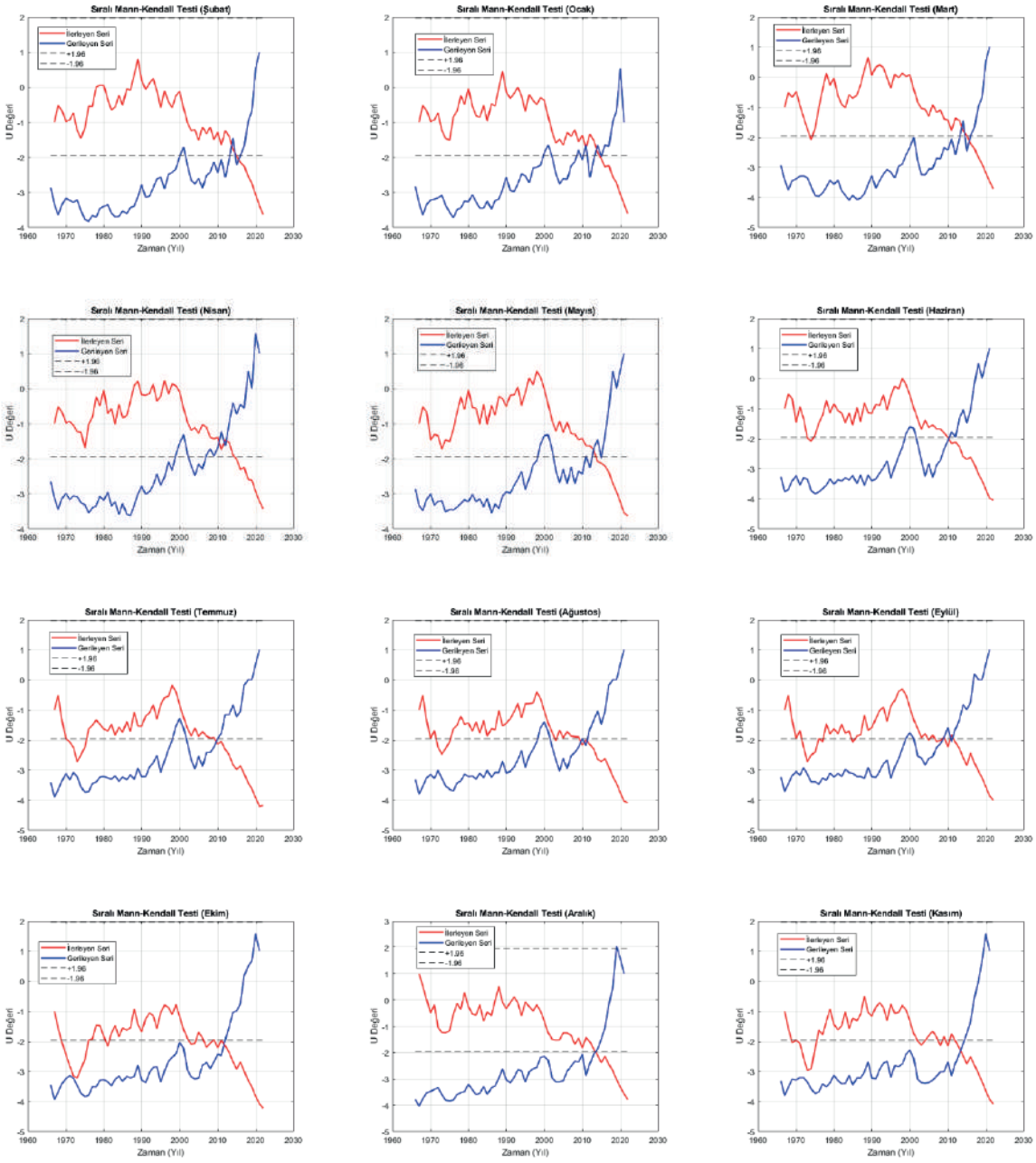


Şekil 4. SPEI 6 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

Şekil 10'da SPEI-6 değerlerinin SQMK testi ile değişiminin analizi gösterilmiştir. Ocak, Şubat ve Mart aylarında ileri serinin azalış yönünde olması ve 2012 yılını trendin başlangıcı olarak gösterip %95 güven aralığını aşması, bu dönemlerde kuraklık şiddetinde anlamlı bir artış eğiliminin başladığını ortaya koymaktadır. Diğer tüm aylarda ise ileri serinin geri seriyle kesişerek altına inmesi, meteorolojik kuraklığın bu dönemlerde belirgin biçimde şiddetlendiğini göstermektedir. Özellikle 2000 ve 2005 yıllarında kuraklık şiddetindeki artışların istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olduğu dikkat çekmektedir.

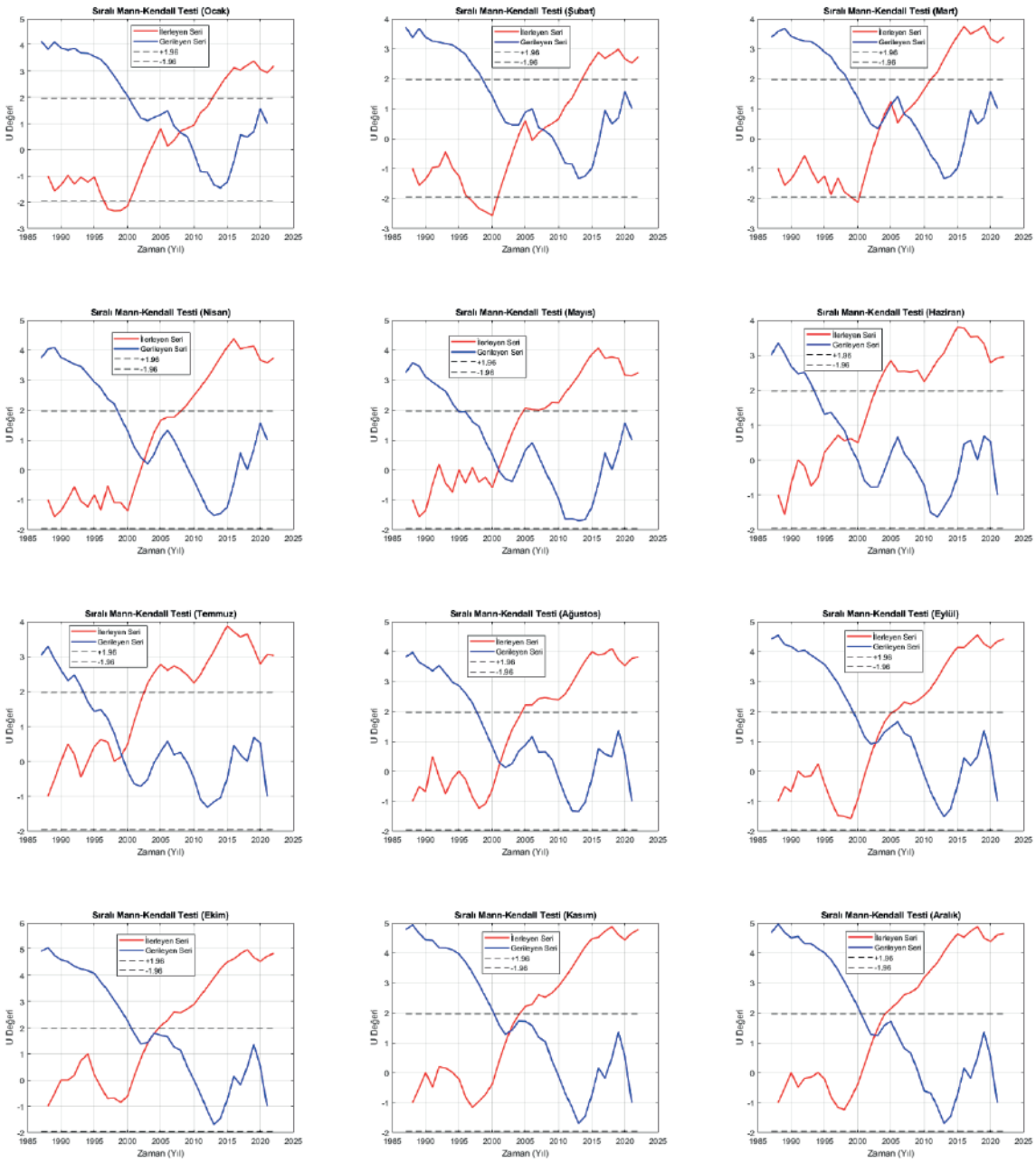
DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

Şekil 5'te SPEI-12 değerlerinin SQMK testi ile değişiminin analizi verilmiştir. SPEI-6 sonuçlarına benzer şekilde, ancak daha keskin ve belirgin bir biçimde, tüm aylarda 2010 yılından itibaren başlayan anlamlı artış yönlü kuraklık eğilimleri gözlenmiştir. Bu durum, uzun dönemli ölçekte meteorolojik kuraklık şiddetinin belirgin biçimde arttığını ortaya koymaktadır.



Şekil 5. SPEI-12 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3



Şekil 6. SWI 3 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

Şekil 6'da SWI-3 değerlerinin SQMK ile değişiminin analiz edilmiştir. SQMK test sonuçlarına göre, Erzincan'daki hidrolojik kuraklığı temsil eden SWI-3 değerlerinde aylık bazda belirgin eğilimler ve kırılma noktaları gözlemlenmektedir. Genel olarak 1995–2020 dönemi boyunca ileri (mavi) ve geri (kırmızı) serilerin simetrik olmayan hareketleri, yeraltı su seviyesi ve yüzeysel su varlığında dönemsel azalma eğiliminin hâkim olduğunu göstermektedir. SWI değerlerinin yorumlanması yeraltı suyu seviyeleri yeryüzü referans düzlemine göre alındığı için SPEI ve SDI a göre terstir. Yani artan SWI trendleri yeraltı suyunun yükseldiğini ve kuraklığın arttığını, azalan SWI trenleri yeraltı suyunun çekildiğini yani kuraklık şiddetinin arttığını göstermektedir.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

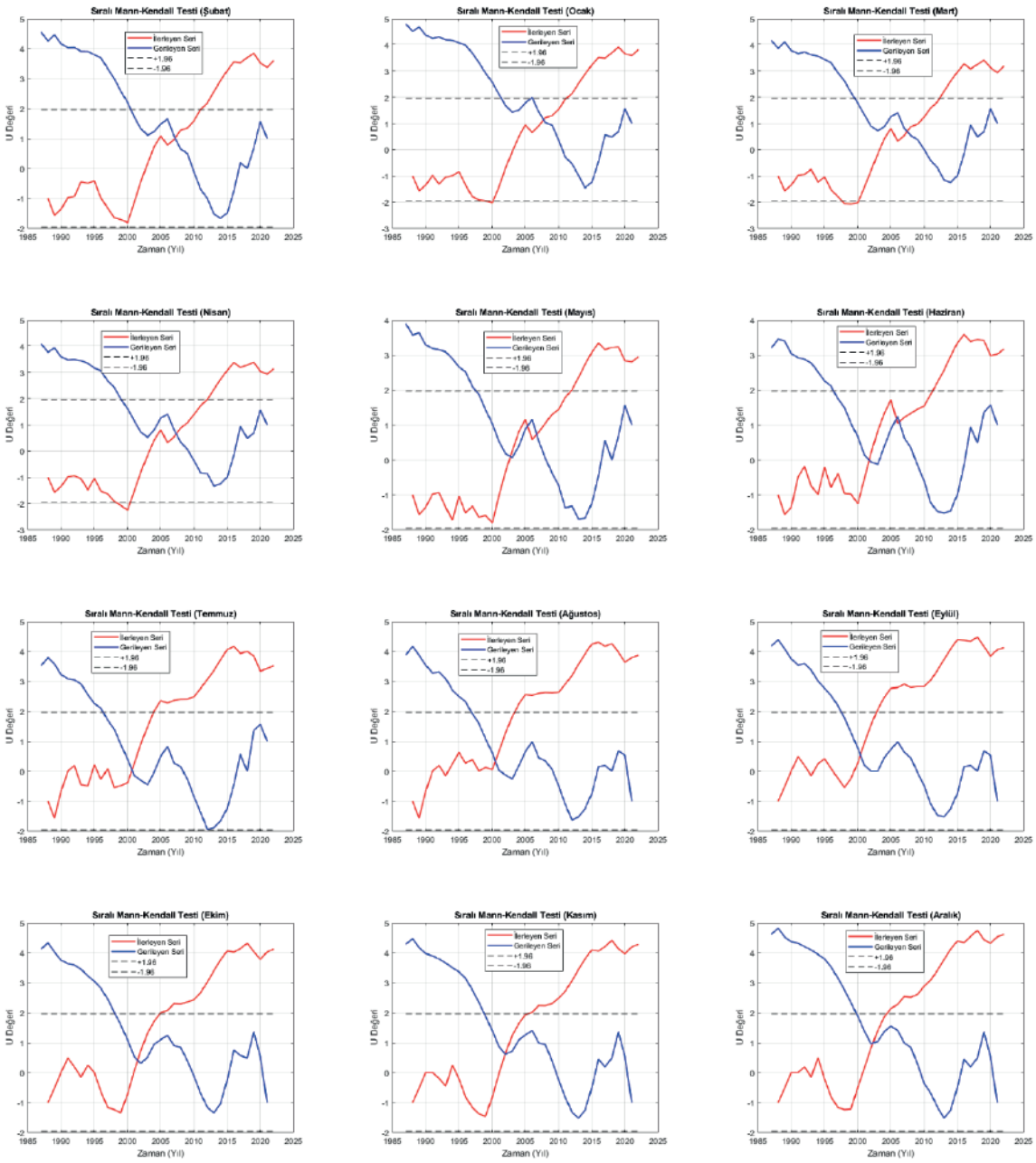
Ocak, Şubat ve Mart aylarında ileri seri eğrisi 2000 yılı öncesinde geri serinin altına düşmekte, 2000 sonrası dönemde ise yukarı yönlü bir kesişme göstermektedir. Bu durum 1998–2000 yıllarında başlayan anlamlı bir pozitif trendi (azalan SWI – artan kuraklık şiddeti) işaret etmektedir. Özellikle Ocak ve Şubat aylarında ileri serinin %95 güven aralıklarını aşarak belirgin şekilde pozitif yönde ilerlemesi, hidrolojik kuraklığın bu dönemde istatistiksel olarak anlamlı düzeyde arttığını göstermektedir.

Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ileri ve geri seriler 2003–2005 yıllarında kesişmektedir; bu dönem hidrolojik rejimde kırılma noktalarının yaşandığını göstermektedir. Nisan ayında 2005 sonrasında ileri serinin yukarı yönlü, geri serinin ise aşağı yönlü hareketi, su seviyelerinde azalma eğilimini ve artan kuraklık riskini ifade etmektedir. Mayıs ayında eğrilerin 2010 sonrası belirgin ayrışması, bu yıldan itibaren pozitif trendin güçlendiğine işaret etmektedir. Haziran ayında ise eğriler 1997 civarında kesişmekte ve ileri seri sürekli olarak pozitif bölgede seyrettiğinden, yaz başında kuraklık baskısının kalıcı hale geldiği anlaşılmaktadır.

Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında ileri serinin geri seriden sürekli düşük seyretmesi ve 2000–2020 periyodunda güven aralığının çoğu kez aşılması, yaz mevsiminde hidrolojik kuraklığın hem şiddetli hem de anlamlı düzeyde arttığını ortaya koymaktadır. Temmuz ayında trendin 2001 civarında başladığı, Ağustos ve Eylül'de ise 1998–1999 civarında kırılma noktalarının oluştuğu görülmektedir. Bu durum yaz döneminde yeraltı su seviyesi düşüşlerinin hızlandığını göstermektedir.

Ekim, Kasım ve Aralık aylarında eğriler arasında 2010 civarında yeni kesişmeler meydana gelmiştir. Ekim ayında ileri serinin geri seriyi yukarıdan kesmesi, bu yıldan itibaren kuraklık eğiliminin azaldığını, Kasım ayında ise yeniden aşağı yönlü hareketin başlaması hidrolojik kuraklığın döngüsel karakter kazandığını göstermektedir. Aralık ayında 2008 sonrası dönemde ileri serinin güven aralığı dışında pozitif yönde ilerlemesi, son on yılda hidrolojik su seviyelerinde anlamlı düşüş yaşandığına işaret etmektedir.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3



Şekil 7. SWI 6 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

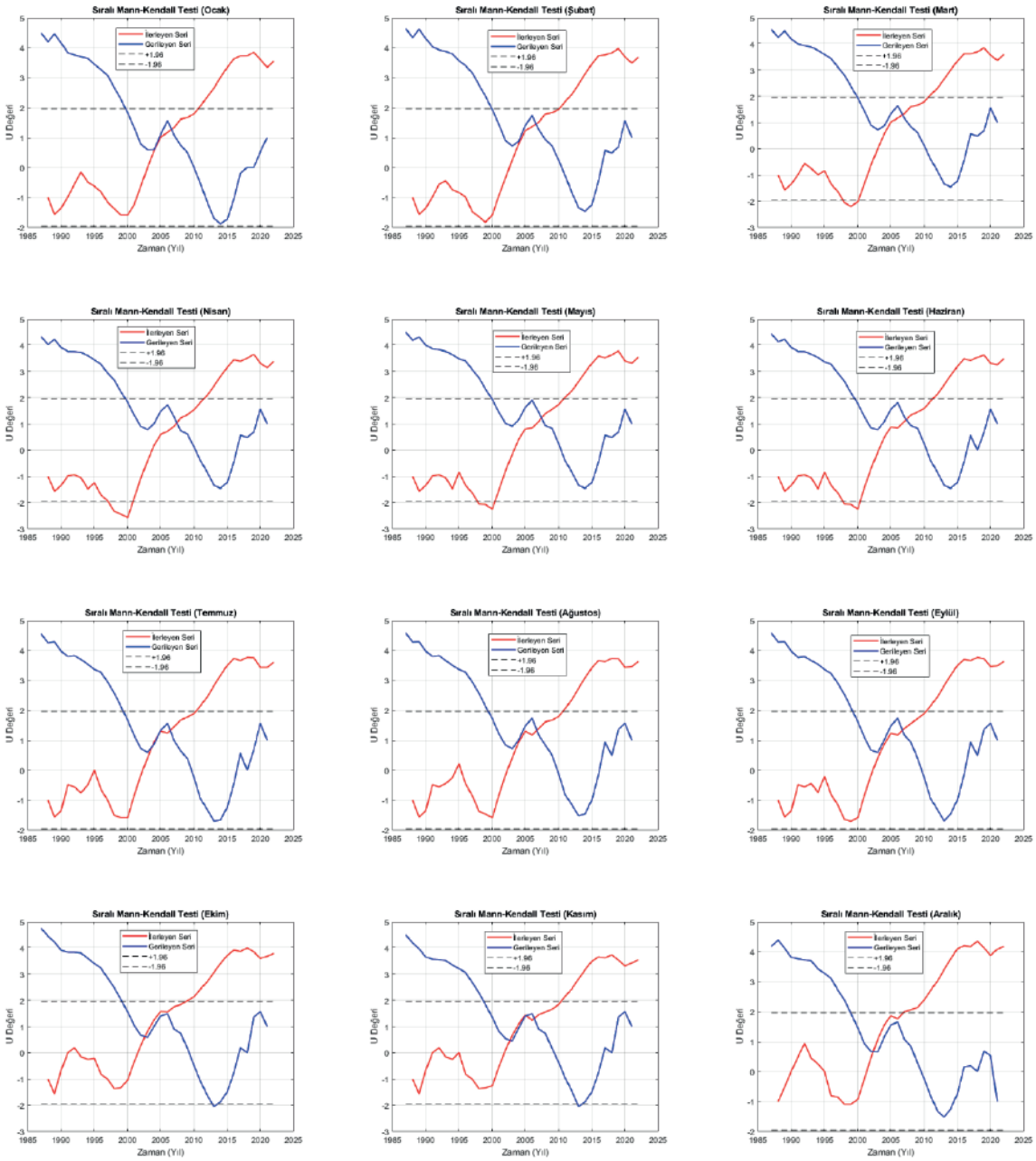
Şekil 7 ve Şekil 8'de sırasıyla SWI-6 ve SWI-12 değerlerinin SQMK testi ile değişiminin analizi gösterilmiştir. Her iki indekse göre de tüm aylarda 2000, 2005 ve 2008 yıllarında başlayan, istatistiksel açıdan anlamlı ve artış yönlü kuraklık eğilimleri belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu yıllarda yeraltı su seviyelerinde belirgin bir azalma eğiliminin ortaya çıktığını ve hidrolojik kuraklık koşullarının giderek şiddetlendiğini göstermektedir.

İlkbahar ve yaz aylarında trend başlangıçlarının genellikle 2005 yılı civarında gerçekleştiği, buna karşın sonbahar ve kış aylarında trendlerin daha erken yıllarda (2000 öncesinde) başladığı tespit edilmiştir. Bu farklılık, mevsimsel su dengesi üzerinde sıcaklık artışları ve buharlaşma etkilerinin giderek

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

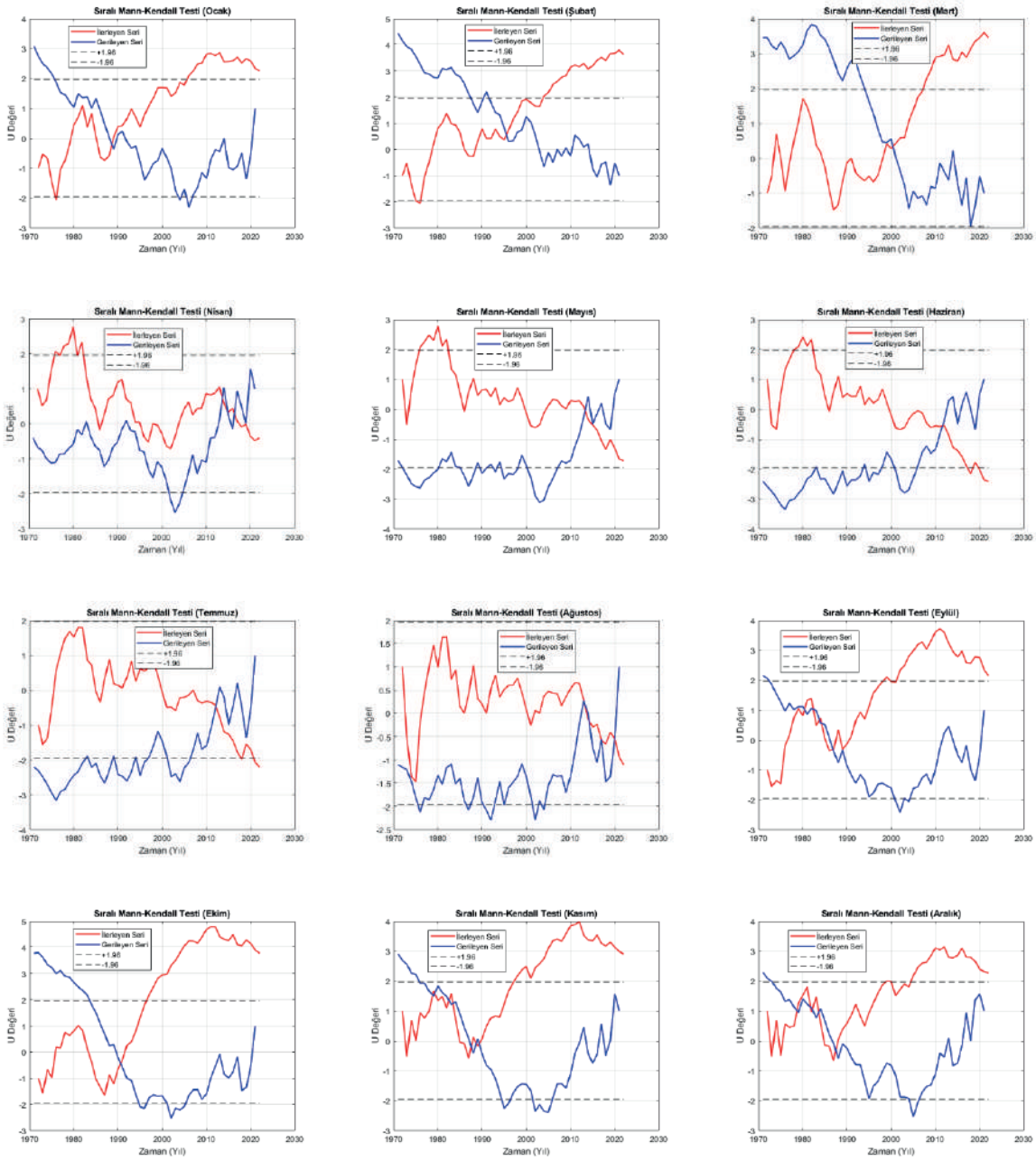
belirginleştiğini göstermektedir. Özellikle yaz ortasından itibaren gözlenen negatif eğilimler, bölgedeki yeraltı su kaynaklarının yenilenme kapasitesinin azaldığını ve hidrolojik sistemin kuraklık baskısı altında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar, Erzincan havzasında uzun dönemli bir yeraltı suyu azalma trendinin mevcut olduğunu, bu azalmanın hem meteorolojik hem de hidrolojik kuraklık süreçlerinin birikimli etkisinden kaynaklandığını göstermektedir. Dolayısıyla, özellikle tarımsal sulama ve yeraltı suyu çekimlerinin yoğun olduğu dönemlerde su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimine yönelik önlemlerin güçlendirilmesi gerekmektedir.



Şekil 8. SWI-12 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3



Şekil 9. SDI-3 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

Şekil 9'da SDI-3 değerlerinin SQMK testi ile değişiminin analizi yapılmıştır. **SQMK** testi, zaman serilerinde trendin varlığını, yönünü ve başlangıç noktasını belirlemede etkili bir istatistiksel yöntemdir. Şekilde her bir ay için verilen ileri (mavi) ve geri (kırmızı) seriler, trendin yönünü ve olası kırılma noktalarını göstermektedir. İki serinin kesiştiği noktalar trendin başladığı yılı, ±1.96 sınır değerlerinin aşılması ise %95 güven düzeyinde anlamlı trendi ifade etmektedir. Genel olarak incelendiğinde, Erzincan'daki SDI-3 değerleri 1970–2020 periyodunda belirgin mevsimsel farklılıklar göstermekte, bazı aylarda anlamlı nemlenme veya kuraklaşma eğilimleri gözlenmektedir.

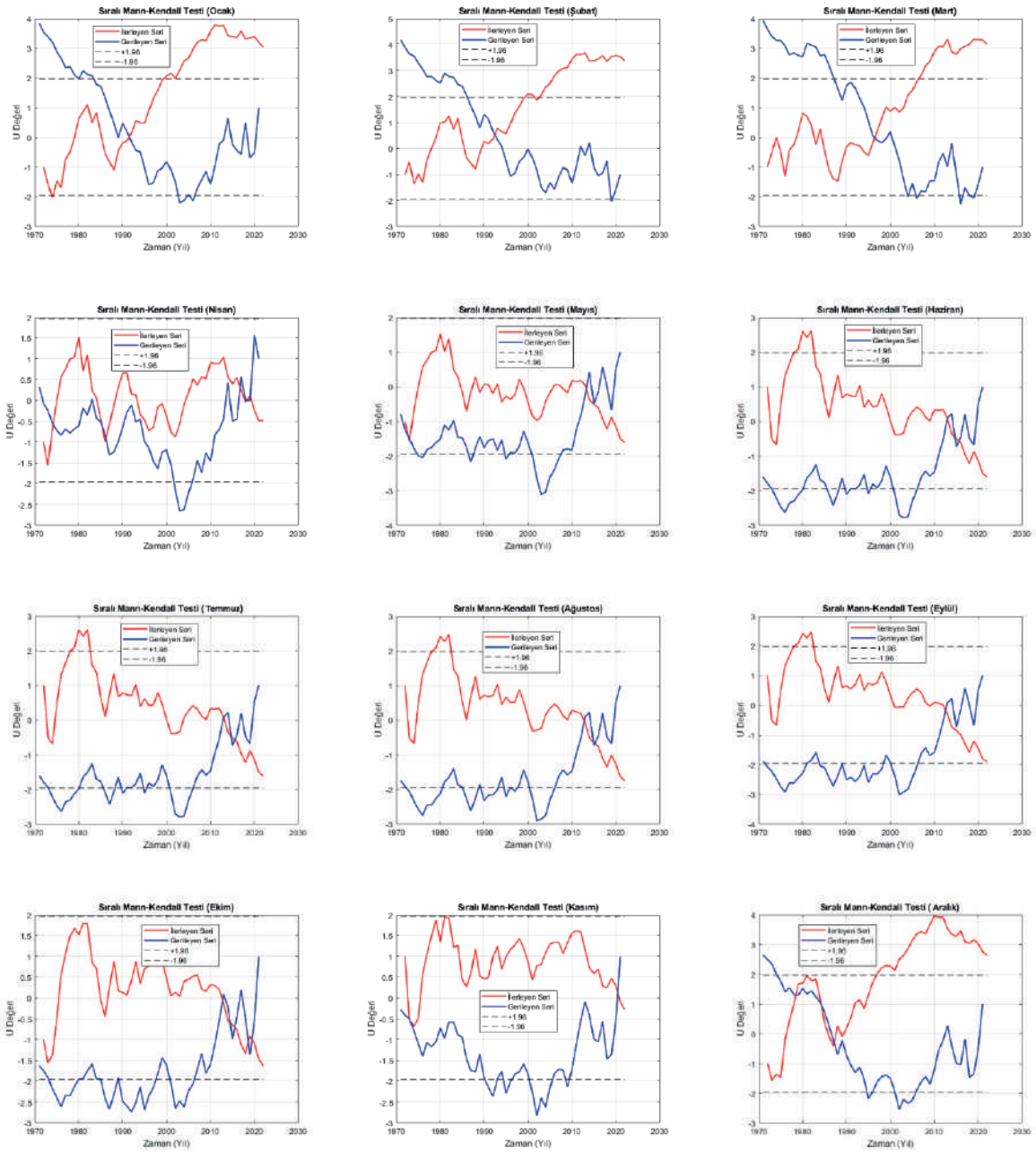
DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

Ocak, Şubat ve Mart ayları genel olarak benzer bir eğilim sergilemektedir. Ocak ayında ileri ve geri seriler genellikle birbirine paralel seyretmekte ve güven sınırlarını aşmamaktadır; dolayısıyla anlamlı bir trend gözlenmemektedir. Ancak 1974 civarında geri seri ileri serinin üzerine çıkmış, bu durum 2010'lara kadar devam etmiştir. Bu dönem SDI değerlerinin artış yönünde bir eğilim gösterdiğini, dolayısıyla hidrolojik kuraklık şiddetinin azaldığını göstermektedir. 2012 yılında ise ileri serinin yukarı yönlü kesişmesi, kuraklık şiddetinde yeniden azalış işaret etmektedir. Şubat ve Mart aylarında 1980 sonrası ileri seri çizgilerinin sürekli olarak pozitif yönde seyretmesi, bu dönemlerde akım koşullarında göreceli bir anlamlı bir artış (nemlenme eğilimi) ve kuraklıkların azaldığı olduğunu göstermektedir.

Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında eğriler daha kararsız bir yapı sergilemektedir. Nisan ayında 1990'lara kadar süren negatif eğilim 2000'lerden derinleşmiştir. Bu, ilkbahar aylarında hidrolojik kuralıların şiddetlendiğini göstermektedir. Haziran ayında 2005 sonrası ileri serinin güven limitini aşarak negatif yöne geçmesi, yaz öncesi dönemde akım değerlerinde önemli azalış eğilimini ortaya koymaktadır.

Temmuz ve Ağustos ayları, yaz kuraklığının etkisinin belirginleştiği dönemleri temsil etmektedir. Temmuz ayında 1980'lerden itibaren ileri serinin negatif alanda seyretmesi SDI değerlerinde azalış yönlü zayıf bir eğilim olduğunu gösterirken kuraklıkların ise anlamlı düzeyde arttığına işarete etmektedir. Ağustos 2000'ler sonrası eğrilerin birbirine yakın olması trendin zayıfladığını ortaya koymaktadır. **Eylül, Ekim ve Kasım aylarında** ise sonbahar geçiş dönemlerine ait dikkat çekici eğilimler izlenmektedir. Eylül ayında 1995 civarında başlayan ileri seri artışı, bu dönemden itibaren akım değerlerinde kısmi bir artış eğilimine işaret etmektedir. Ekim ayında iki seri arasındaki kesişim 1980 yılı civarında gerçekleşmiş, bu yıldan itibaren artış yönlü bir eğilim gözlenmiştir. Bu durum sonbahar başında nem koşullarında görece bir iyileşmeye karşılık gelmektedir. Kasım ve Aralık ayında 1988–2010 döneminde ileri serinin negatif bölgede kalması, bu dönemde kuraklık şiddetinin arttığını göstermekte; ancak 2010 sonrasında yeniden pozitif yöne geçilmesi nem koşullarında toparlanmaya işaret etmektedir.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

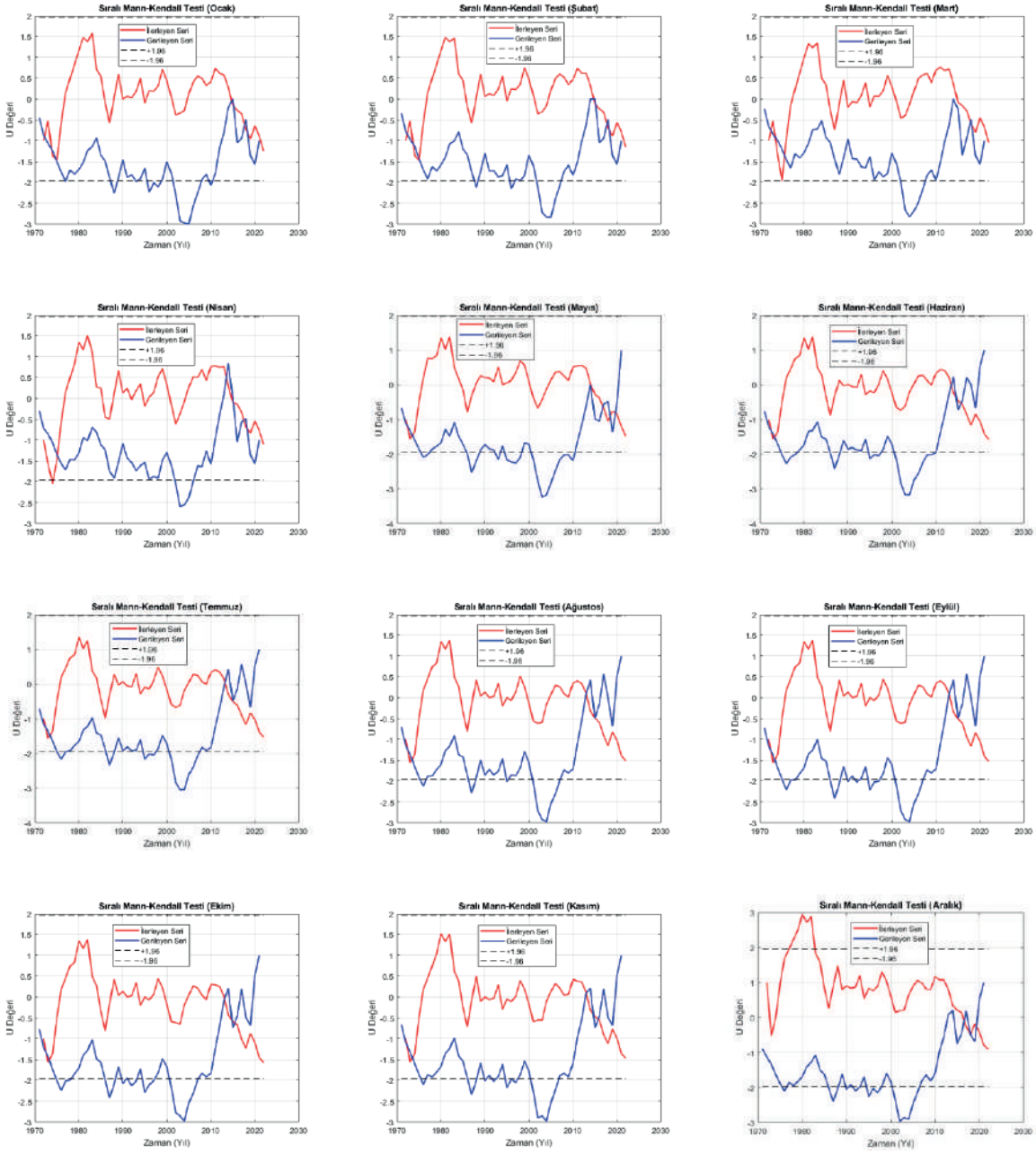


Şekil 10. SDI-6 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

Şekil 10'da SDI-6 değerlerinin SQMK testi ile değişiminin analizi gösterilmiştir. Ocak, Şubat ve Mart aylarında ileri serinin artış yönünde olması ve %95 güven aralığını aşması nedeniyle, bu dönemlerde kuraklık şiddetinde azalma eğilimi tespit edilmiştir. Nisan–Eylül aralığında ise ileri serinin geri seriyle kesişerek altına inmesi, hidrolojik kuraklığın bu dönemlerde şiddetlendiğini göstermektedir. Ekim ve Kasım aylarında eğrilerin birbirine paralel seyretmesi, anlamlı bir trendin bulunmadığını ortaya koymaktadır. Aralık ayında ise ileri serinin %95 güven aralığını aşarak yukarı yönlü bir eğilim göstermesi, istatistiksel olarak anlamlı bir azalan trendin (kuraklık şiddetinde düşüşün) varlığına işaret etmektedir. Özellikle ilkbahar aylarında 1992 yılından sonra kuraklıkların azalma eğilimine girdiği görülmektedir. Buna karşın, yaz ve sonbahar aylarında 2010 yılından itibaren kuraklık şiddetinin arttığı

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

ve yeni bir negatif trendin başladığı tespit edilmiştir. Şekil 11'de SDI-12 değerlerinin SQMK testi ile değişiminin analizi verilmiştir. Ocak, Şubat, Mart ve Nisan aylarında ileri ve geri serilerin birbirine paralel seyretmesi nedeniyle anlamlı bir trend gözlenmemiştir. Diğer tüm aylarda ise 2012 yılından sonra kuraklık şiddetinin arttığı belirlenmiş, ancak bu artışın istatistiksel olarak anlamlı düzeyde olmadığı sonucuna varılmıştır.



Şekil 11. SDI-12 değerlerinin SQMK ile değişiminin analizi

Bu çalışmada her ay ve zaman ölçeği için ayrı ayrı kırılma noktalarının SQMK testi ile belirlenmiş olması, yıllara göre mevsimsel olarak ta kritik eşikleri belirlemek açısından daha yüksek çözünürlük elde etmeyi sağlamıştır. Elde edilen bu sonuçlar ile bölgede yaklaşık 50 yıllık süreçte meteorolojik ve

hidrolojik kuraklık dinamiklerin önemli ölçüde yapısal olarak değiştiği belirlenmiştir. SPEI, SPEI-12 ve SWI-12 sonuçlarına göre 2010 yılından itibaren negatif eğimler görülmektedir. Bu da bölgedeki yağışın azaldığı, sıcaklığın arttığı ve buharlaşmanın arttığı anlamına gelmektedir. SDI ve SWI sonuçlarına göre ise kırılma noktaları 2000-2005 yılları başlamıştır. Burada hidrolojik kuraklığın meteorolojik kuraklıktan daha önce başlamıştır. Benzer şekilde Kale ve Duman (2024), SDI kullanarak çalışma bölgesi gibi Türkiye'de bulunan Van Gölü Kapalı Havzası'nda bulunan Bendimahi Çayı için yaptıkları çalışmada da akarsu akımlarında özellikle aralık, ağustos ve eylül aylarında azalma, yaz ve kış aylarında ise sıcaklık değerlerinde artış eğilimi olduğunu ve bunun en çok 2001 yılı itibari ile ortaya çıktığını belirlemişlerdir. Ayrıca çalışma bölgesinde yaz ve sonbahar mevsimlerinde kuraklık eğilimi güçlenmektedir. Bu da bölgedeki su açığının mevsimsel olarak daha da büyük bir sorun haline gelme riski altında olduğunu göstermektedir. Katipoğlu vd. (2022), Yeşilırmak Havzası'nda da ITA ve Mann-Kendall yöntemlerini kullanarak yaptıkları analizler sonucunda mevsimsel dalgalanmaların belirginleştiğini belirlemişlerdir. Taylan vd. (2023) 3, 6, 9 ve 12 aylık dönemler için SPI, Keşif Kuraklık Endeksi (RDI), SDI ve Mann-Kendall kullanarak Orta Akdeniz Havzası'nda da kuraklık eğilimlerinin yaz ve sonbahar aylarında da güçlendiği sonucuna varmışlardır. Tüm bu bulgular, su yönetim planlaması ve kuraklık erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesi açısından önemli bir bilimsel zemin sunmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışma, Erzincan ilinde meteorolojik ve hidrolojik kuraklık dinamiklerini çok ölçekli bir yaklaşımla analiz ederek bölgedeki su kaynaklarının uzun dönemli değişim eğilimlerini ortaya koymuştur. SPEI, SDI ve SWI verileri üzerinde uygulanan SQMK testi, 2000, 2005 ve 2010 yılları civarında kuraklık rejimlerinde önemli kırılma noktalarının oluştuğunu göstermiştir. Analiz sonuçları, özellikle 2010 sonrasında meteorolojik kuraklıkların hem sıklık hem de şiddet açısından arttığını, hidrolojik kuraklığın ise 2000'li yılların başından itibaren belirginleşerek yeraltı su seviyelerinde sürekli bir azalma eğilimine yol açtığını ortaya koymuştur. Bu durum, Erzincan'ın yarı kurak iklim koşullarında iklim değişikliğinin ve aşırı su kullanımının etkilerinin giderek güçlendiğine işaret etmektedir.

Çalışmanın bulguları, bölgedeki su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi açısından önemli çıkarımlar sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, özellikle ilkbahar ve yaz aylarında artan kuraklık eğilimlerinin, tarımsal üretim ve yeraltı suyu rezervleri üzerinde ciddi baskılar oluşturabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, gelecekte bölgesel su yönetimi stratejilerinin iklim değişkenliği ve yeraltı suyu dinamiklerini birlikte değerlendiren bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerekmektedir. Ayrıca, bu çalışmada kullanılan çok ölçekli SQMK yöntemi, benzer hidroklimatik koşullara sahip diğer havzalarda da kırılma noktalarının belirlenmesi ve kuraklık izleme sistemlerinin geliştirilmesi açısından uygulanabilir bir metodolojik çerçeve sunmaktadır.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan veri tabanını sağladığı için Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne ve Meteoroloji Genel Müdürlüğüne teşekkürlerimizi sunarız. Bu çalışma, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (Proje Numarası: FBA-2025-1036) tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

Abramowitz, M., & Stegun, I. A. (1965). Handbook of mathematical functions: with formulas, graphs, and mathematical tables (Vol. 55). Courier Corporation.

Bergane, C. (2025). Assessment of climate variability and meteorological drought on an annual scale on the Algerian coast from 1985 to 2022. *Theoretical and Applied Climatology*, *156*(7), 1-33.

Bouregaa, T. (2023). Change point detection and trend analysis of drought over Algeria from 1901 to 2018. *Arabian Journal of Geosciences*, *16*(3), 168.

Burić, D., Mihajlović, J., Doderović, M., & Mijanović, I. (2024). Comparative analysis of SPI and SPEI drought indices for Montenegro and the impact of teleconnections. *Journal of Water and Climate Change*, *15*(10), 5149-5168.

Gaznavi, M., Mosaedi, A., & Ghabaei Sough, M. (2021). The Impact of Breakpoints in Rainfall Time Series on Drought Characteristics Changes (Case Study: Tabriz and Arak Stations, Iran). *Water and Soil*, *35*(3), 409-425.

Gu, X., Guo, E., Yin, S., Wang, Y., Mandula, N., Wan, Z., ... & Bao, Y. (2022). Differentiating cumulative and lagged effects of drought on vegetation growth over the Mongolian Plateau. *Ecosphere*, *13*(12), e4289.

Kale, M. M., & Duman, N. (2024). Bendimahi Çayı (Van Gölü Kapalı Havzası) hidrolojik kuraklık analizi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *34*(2), 499-516.

Katipoğlu, O. M., Yeşilyurt, S. N., & Dalkılıç, H. Y. (2022). Yeşilırmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *12*(2), 422-442.

Mahasa, P. S., Xulu, S., & Mbatha, N. (2023). Characterization of evapotranspiration in the Orange River Basin of South Africa-Lesotho with climate and MODIS data. *Water*, *15*(8), 1501.

Massoudi, M., Goodarzi, M., Moeini, A., & Motamedvaziri, B. (2023). Spatial analysis of drought severity, duration and frequency using different drought indices (Case study: Fars Province, Iran). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, *21*(2), 259-276.

Nagarajan, R., & Ganapuram, S. (2015). Micro-level drought vulnerability assessment using standardised precipitation index, standardised water-level index. *Remote Sensing and GIS. ACRS*.

Polat, P., & Altınbilek, M. S. (2021). Erzincan'ın iklim özellikleri ile Erzincan'da kaydedilen uzun dönem (1930-2020) sıcaklık ve yağış verilerinin trend analizleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, *26*(46), 55-80.

Shen, S., Niu, M., Jian, S., & Zhang, X. (2025). Spatiotemporal characteristics of meteorological and hydrological droughts across Europe. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, *16*(1), 2567413.

Sun, H., Hu, H., Wang, Z., & Lai, C. (2020). Temporal variability of drought in nine agricultural regions of China and the influence of atmospheric circulation. *Atmosphere*, *11*(9), 990.

Taylan, D., Aydın, T., Baykal, T., & Terzi, Ö. (2023). Temporal analysis of meteorological and hydrological drought in the Middle Mediterranean Basin. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, *10*(1), 82-94.

Tirivarombo, S. O. D. E., Osupile, D., & Eliasson, P. (2018). Drought monitoring and analysis: standardised precipitation evapotranspiration index (SPEI) and standardised precipitation index (SPI). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, *106*, 1-10.

Turhan, E., & Değerli, S. (2021). Fırtına Deresi alt havzası akım verilerine dayalı 1965-2015 yılları arası nemli ve kurak dönemlerin analizi. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, *11*(1), 277-288.

DOI: https://doi.org/10.30546/19023.978-9952-8605-7-3.2025.0125.
ISBN: 978-9952-8605-7-3

Vicente-Serrano, S. M., Beguería, S., & López-Moreno, J. I. (2010). A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index. *Journal of climate*, *23*(7), 1696-1718.

Wu, T., Xu, L., & Chen, N. (2024). Spatial pattern and attribution of ecosystem drought recovery in China. *Journal of Hydrology*, *638*, 131578.

Yaltı, S., & Aksu, H. (2019). Drought analysis of Iğdır Turkey. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, *7*(12), 2227-2232.