



Konya Apa Barajı Havzasında Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Trend Analizi

Trend Analysis of Meteorological and Hydrological Drought at Apa Dam (Konya) Basin

Türker Tuğrul^{1*} , Mehmet Ali Hınıs² 

¹Gazi Üniversitesi, Rektörlük, 06560, Ankara, Türkiye

²Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 68100, Aksaray, Türkiye

Öz

Bir baraj havzası yönetiminde yağış ve akım parametreleri ile kuraklık değerlendirilmesi önemli bir yere sahiptir. Bu parametrelerdeki değişimlerin tespit edilmesi gelecekle ilgili su kaynaklarının planlamasına katkıda bulunacaktır. Bu çalışmada Konya Kapalı Havzası sınırları içerisinde bulunan Apa Barajı havzasına ait yağış ve akım verilerinin ve bu verilere bağlı elde edilen iki adet kuraklık indisinin (Normalleştirilmiş Yağış İndisi (NYİ) ve Akım Kuraklık İndisi (AKİ)) trend analizi yapılmıştır. Kuraklık indislerinde 3, 6, 9 ve 12 aylık yağış toplamlarına karşılık gelen indisler kullanılmıştır. Trend analizinde parametrik olmayan Mann-Kendall (MK), Spearman's Rho ve Yenilikçi Şen Trend Yöntemi (YŞTY) kullanılarak istatistiksel anlamda verilerde değişim olup olmadığı ve değişim trendinin hangi yönde olduğu araştırılmıştır.

Trend analizinden elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde YŞTY'den edilen bulgularda tüm verilerde (yağış, akım, NYİ ve AKİ) artan trendlerin, MK'den elde edilen bulgularda NYİ6, NYİ9 ve NYİ12'de ($\alpha=0.01$ anlamlılık seviyesinde) artan trend, NYİ3 ve AKİ12'de ($\alpha=0.10$ $\alpha=0.05$ anlamlılık seviyesinde sırasıyla) artan trend bulunmuş diğer verilerde trend anlamlı bulunmamıştır. Spearman's Rho testinde ise NYİ6, NYİ9 ve NYİ12'de ($\alpha=0.01$ anlamlılık seviyesinde) artan trend bulunmuş, diğer verilerde trend anlamlı bulunmamıştır. Yağış ve akım verilerinde; MK ve Spearman's Rho testlerinde trend tespit edilemezken, YŞTY'de bütün verilerde artan trendin meydana geldiği belirlenmiştir.

Ahahtar Kelimeler: Trend analizi, Kuraklık, Yağış, Yenilikçi Trend Analizi, Mann-Kendall, Spearman's Rho, Baraj yönetimi


Abstract

Evaluation of precipitation and flow parameters and drought are essential in the management of a dam basin. Determining the changes in these parameters will contribute to the planning for the future of water resources. In this study, trend analysis of precipitation and flow data of the Apa Dam basin located in the boundaries of Konya Closed Basin and two drought indices namely Standardized Precipitation Index (SPI) and Streamflow Drought Index (SDI), obtained based on these data were performed. In the drought indices, indices for the corresponding to the precipitation totals of 3, 6, 9 and 12 months were used. In trend analysis, non-parametric Mann-Kendall (MK) test, Spearman's Rho test and Innovative Trend Methods (ITA) were used to investigate whether there was a statistical change in the data and in which direction the change trend was.

The results of trend analysis revealed that there is an increasing trend in all data in the findings obtained from ITA and increasing trend in SPI6, SPI9 and SPI12 in $\alpha=0.01$ significance level in the findings obtained from MK and increasing trend in SPI3 and SDI 12 in $\alpha=0.10$ $\alpha=0.05$ significance level respectively, but the trend was not statistically significant in other data. In Spearman's Rho test, on the other hand, an increasing trend was found in SPI6, SPI9 and SPI12 in $\alpha=0.01$ significance level. However, the trend was not statistically significant in other data.

Keywords: Trend analysis, Drought, Precipitation, Innovative Trend Analysis, Mann-Kendall, Spearman's Rho, Dam management

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: turkertugrul@gazi.edu.tr

Türker Tuğrul  orcid.org/0000-0001-7547-847X

Mehmet Ali Hınıs  orcid.org/0000-0002-1870-3535



1. Giriş

Son yıllarda, atmosferdeki miktarlarında artış tespit edilen sera gazlarının etkisiyle canlılar üzerinde olumsuz etkileri olan iklim değişikliği, güncel araştırma konusu olmaya devam etmektedir. İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden birisi de kuraklıkların daha sık görülmeye başlamasıdır. Ortalama yağış miktarından belirli bir süre sapma olarak ifade edilen kuraklık, meydana geldiği takdirde; sonuçları tarımı, ekosistemleri ve su kaynaklarını etkileyen iklimsel bir doğal afetdir (Li vd. 2021, Williams vd. 2020). Literatürde farklı sınıflandırmalar mevcut olsa da, kuraklık meydana geldiği mekâna ve zamana bağlı faktörlere göre genel olarak meteorolojik, tarımsal, hidrolojik ve sosyo-ekonomik olmak üzere dört farklı kategoride sınıflandırılmaktadır. Meteorolojik Kuraklık; yağış azlığı ile ortaya çıkan kuru dönemleri tanımlamaktadır. Tarımsal Kuraklık; yağış azlığına bağlı olarak meydana gelen zemin nemindeki azalmanın tarım üzerindeki etkilerini ifade etmek için kullanılan kuraklık sınıfıdır. Hidrolojik Kuraklık; yağışın akışa geçmesi ile beslenen akarsu, göl ve baraj gibi yerüstü ve yeraltı suyu kaynaklarındaki su seviyesinin gerekli ihtiyacın altına inmesi ile ortaya çıkan durumu ifade etmektedir. Sosyo-ekonomik Kuraklık; su kaynaklarındaki eksiklik sonucu ekonomik ürünlerde arzın talepten az olması sonucu ortaya çıkan durumlar için ifade edilmiştir (Dracup vd. 1980, Heim 2002, Hınıs 2013, McKee vd. 1993, White ve Walcott 2009).

Kuraklığın şiddeti ve büyüklüğünü belirleyebilmek için literatürde birçok kuraklık indisi önerilmiştir. Bunlardan birisi, sıcaklık ve su dengesine bağlı olarak hesaplanan Palmer Kuraklık Şiddet İndisi'dir (PKŞİ) (Palmer 1965). Literatürde ilk kullanımından 1990'lı yıllara kadar oldukça popüler olan bu indisin yerini McKee vd. (1993) tarafından önerilen sadece yağış verisi ile hesaplanan Normalleştirilmiş Yağış İndisi (NYİ) ve akım verisine bağlı olarak Nalbantis (2008) tarafından geliştirilen Akım Kuraklık İndisi (AKİ) almıştır. Bütün dünyada kabul görmüş tek bir kuraklık indisinden bahsedilemezken, kullanım ihtiyacına cevap vermesine göre literatürde önerilmiş ve yaygın olarak kullanılan çeşitli kuraklık indisleri hakkında bilgi için Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından yayınlanan el kitabına (WMO, 2016) bakılabilir. Girdi olarak sadece yağış verisinin kullanılmasından dolayı hesap kolaylığı, farklı iklim bölgelerine uygulanabilirliği, çoklu zaman adımları (1, 3, 6, 9, 12, 24 aylık toplamları) ile farklı hidrolojik durumları temsil edebilmesi ve yorum kolaylığı açısından NYİ literatürde en çok tercih edilen hesaplama indislerindedir. Bu sebeple, bu çalışma meteorolojik kuraklıkların ifade edilmesinde NYİ, hesaplanabilirliği

NYİ ile aynı olan ve akım verisinde etkili sonuçlardan vermesinden dolayı hidrolojik kuraklıkların değerlendirilmesinde ise AKİ kullanılmıştır.

Dogan vd. (2012) Konya Kapalı Havzası'nda NYİ, Çin Zindisi, Efektif Kuraklık İndisi (EKİ)'nde içinde bulunduğu birçok kuraklık indisini birbirleriyle kıyaslamış, elde ettiği bulgularda EKİ'nin diğerlerine göre daha iyi performans verdiğini dile getirmiştir. Aktürk ve Yıldız (2014) Kırıkkale'de, NYİ'nin farklı zaman adımlarında kuraklık analizi yapmışlar ve çalışma sonuçlarında bölgede gerçekleşen önemli kuraklık olaylarını tespit ederek, bölgenin kuraklık karakterizasyonunu ortaya çıkarmışlardır. Güneydoğu Anadolu Bölgesinde çalışan Tuğrul vd. (2019), EKİ'nin aylık hesap yönteminden faydalanarak, bölge için önem arz eden kuraklıkları tespit etmiş, bölgedeki illerde meydana gelen kuraklıkları incelemiş, kuraklık olaylarının toplam zamandaki gerçekleşme yüzdelerini tespit etmişlerdir.

Seyhan ve Ceyhan Havzalarından elde ettiği sıcaklık ve yağış verisiyle Mann-Kendall (MK) yönteminden yararlanarak mekânsal trendleri inceleyen Gumus (2019), %10 önem seviyesinde sıcaklık verilerinde anlamlı artan trendlerin olduğunu bulgularında ifade etmiş ve 1990-2000'li yılların ortalarını ise trendlerin başlangıç yılı olarak belirlemiştir. Aylık yağış verisinden faydalanarak NYİ yöntemiyle kuraklık analizi yapan Sharafati vd. (2019), İran'ı çalışma alanı olarak seçmişlerdir. Kuraklıkların farklı zaman aralıklarında karakterizasyonunu ortaya koymuşlar ve MK testi ile indis sonuçlarının trendlerini incelemişlerdir. Bulgularında; %5 önem seviyesinde, çalışma alanının güney kesimlerinde NYİ6 verisinin, kuzey bölgesinde NYİ9 verisinin anlamlı artan trendde olduğunu tespit etmişlerdir. Bhunia vd. (2020) Yeni Zelanda bölgesinde NYİ yönteminden faydalanarak kuraklıkların analizini yapmışlardır. Bölgenin detaylı olarak kuraklık özelliklerini belirledikten sonra, elde ettiği bulguların trendlerini incelemişlerdir. Trendleri incelerken MK'den yararlanmış ve bulgularında; %10 önem seviyesinde anlamlı bir trend olmadığını ifade etmiştir. Naz ve vd. (2020), Pakistan'ın Balochistan kentindeki kuraklıkları NYİ yöntemiyle analiz etmiş ve bu analizde 10 farklı istasyondan alınan aylık toplam yağış verisini kullanmışlardır. Sonrasında, elde ettikleri indis sonuçlarının MK yöntemiyle trendlerini irdelemişlerdir. Sonuçlarında, istatistiksel olarak %5 önem seviyelerinde, NYİ3 verisinde bazı istasyonlarda anlamlı azalan trendlerin meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Gumus vd. (2021) Güneydoğu Anadolu Bölgesinde kuraklık analizi yaparak elde ettiği sonuçların trendlerini araştırmışlardır. Kuraklık analizi için NYİ, trend analizi için paramet-

rik olmayan MK, Mann-Kendall Sıra Korelasyon ve Sen'in Slope Tahmin'i yöntemlerinden faydalanmışlardır. Kuraklık analizinden elde ettiği bulguların trendini inceleyen araştırmacılar, özellikle NYİ12 için azalan trendlerin olduğunu çalışmalarında ifade etmişlerdir. Yeşilirmak havzasında 7 farklı istasyonda çalışma yapan Katıpoğlu vd. (2022), AKİ yardımıyla kuraklık analizi yapmışlar, buradan elde ettiği bulguların; MK, Yenilikçi Şen Trend Yöntemi (YŞTY) ve Thiel Şen Yaklaşımı yöntemleriyle farklı anlamlılık seviyelerinde trendlerini incelemişlerdir. MK ile hemen hemen aynı sonuçları göstermesine rağmen, YŞTY yönteminin daha hassas sonuç verdiğini bulgularında belirtmişlerdir. Ayrıca, MK ve YŞTY yönteminde, yaz ve sonbahar aylarında kuraklık şiddetinde anlamlı azalış gözlemlenirken, diğer zaman periyodlarında artış trendi olduğunu dile getirmişlerdir.

Yağış, akış ve kuraklık verilerindeki geçmiş yıllara ait trendler, gelecekteki olası trendlerin ve değişikliklerin habercileridir. Bu sebeple, geçmişteki olası trendleri tanımlayabilmek, su kaynaklarının gelecek planlamasına yardımcı olacaktır.

Bu çalışmada, Konya Kapalı Havzasında bulunan, tarımsal faaliyetlerde önem arz eden, sulama amacıyla çiftçilerin yararlandığı bir su kaynağı olan Konya Kapalı havzası içinde yer alan Apa Barajı bölgesinde, yağış verileri kullanılarak NYİ yöntemi ile meteorolojik kuraklık analizi, akım verileri kullanılarak AKİ yöntemi ile hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Yağış, akış verileri ile beraber, elde edilen (NYİ3, NYİ6, NYİ9, NYİ12, AKİ3, AKİ6, AKİ9 ve AKİ12) kuraklık indisleri üzerinde; Mann-Kendall, Spearman's Rho ve Yenilikçi Şen Trend Yöntemi (YŞTY) kullanılarak trend analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarının, su kaynaklarının planlanmasında, baraj yönetiminde ve olası değişimlere karşı bir önlem alınmasında karar verici mercilere yardımcı olması amaçlanmıştır.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Çalışma Alanı ve Veri

İnşası ve işletmesi 1950 ve 1965'li yıllara dayanan Apa Barajı, Konya Kapalı havzasının önemli ve büyük su kaynaklarından. Sulama ve taşkın koruma amacıyla Çarşamba suyu üzerine yapılan Apa barajı, maksimum 171,590 hm³

kapasiteye sahip olup, toprak dolgu tipinde bir barajdır. Barajın temel su kaynağı Beyşehir Gölü ile Suğla Depolaması olup, ayrıca, Bozkır Çarşamba Kanalı ve Bağbaşı Barajından Mavi Tünel vasıtası ile su alınabilmektedir. Baraj ortalama 12 km²'lik yüzey alanına sahiptir (Mert, Bulut ve Solak, 2008). Konum itibarıyla Konya iline bağlı olan Çumra ilçesinin 35 km. güneyinde, Çarşamba Çayı üzerinde ve Apa kasabasında (Şekil 1).

Baraj üzerinde meteorolojik verinin ölçümü için herhangi bir istasyon bulunmamaktadır. Bu sebeple, kuraklık analizleri için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilen, Apa Barajına en yakın üç istasyona (Akören, Çumra, Bozkır İstasyonlarına) ait aylık toplam yağış verisi kullanılmıştır. Temin edilen veri 1955 ile 2020 yılları arasında arasını kapsamaktadır (Şekil 2).

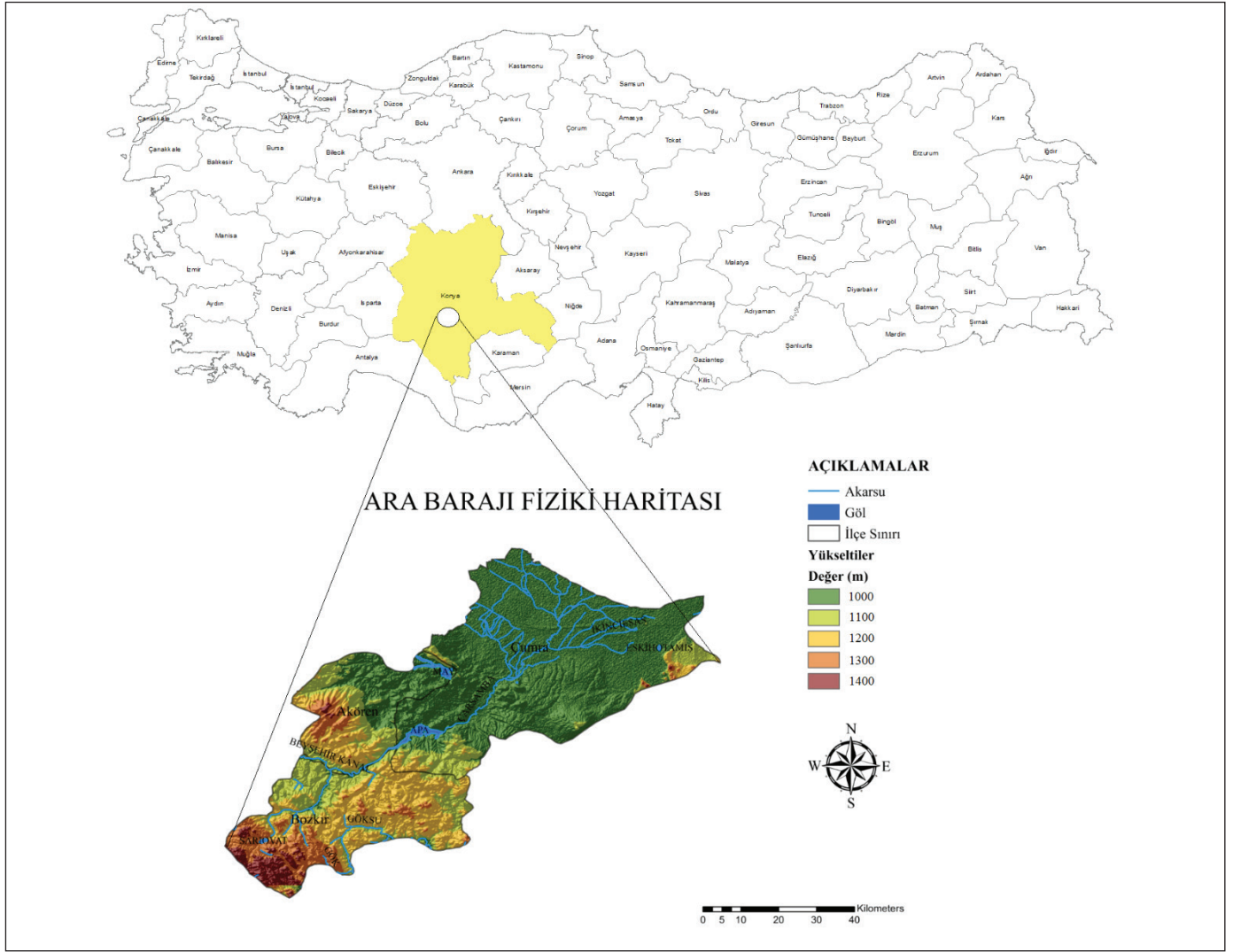
Yağış verisine ilave olarak, barajı besleyen DSİ'ye ait en yakın gözlem (D16A115 Çarşamba Suyu Sorkun) istasyonuna ait akım verisi de bu çalışmada kullanılmıştır. Bu 1974 ile 2015 yılları arasını kapsamaktadır ve akım gözlem yıllıklarından temin edilmiştir (Şekil 3). Bu çalışmada kullanılan verilere ait özet bilgiler Çizelge 1'de gösterilmiştir.

2.2. Normalleştirilmiş Yağış İndeksi (NYİ)

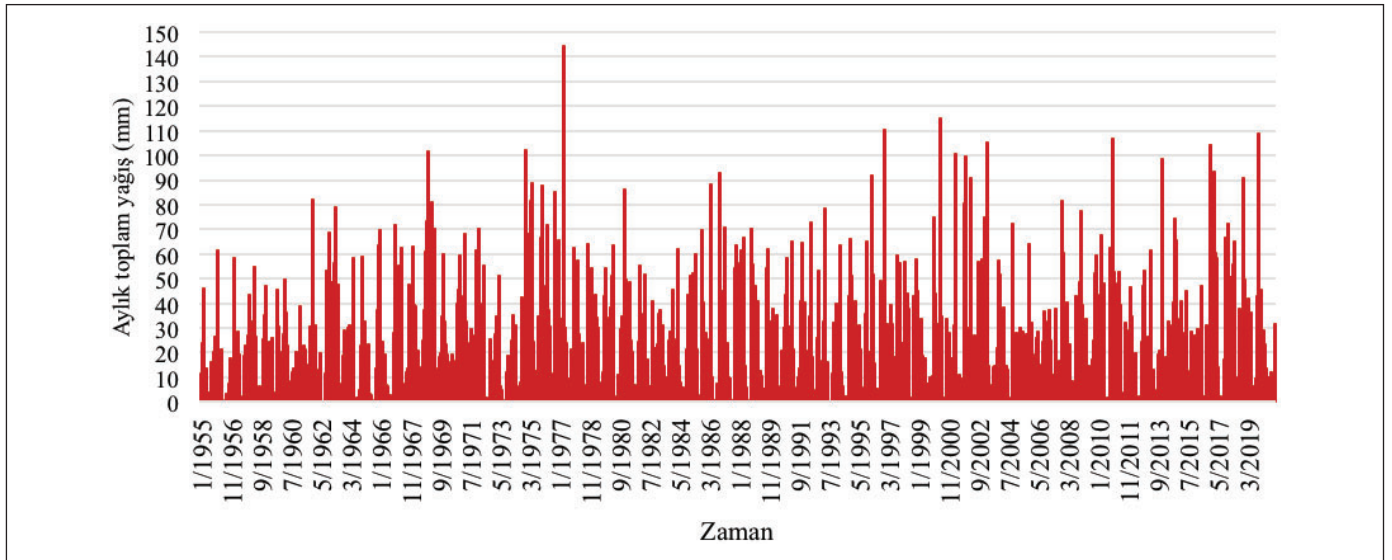
McKee vd. (1993) tarafından önerilen NYİ, sadece yağış verisi kullanmasından dolayı, güvenilir ve farklı bölgelere uygulanabilir ve kolay yorumlanabilir olması sebebiyle kuraklık analizlerinde en yaygın olarak tercih edilen kuraklık indisidir. 1, 3, 6, 9, 12, 24 ve 48 aylık yağış toplamları kullanılarak farklı zaman aralıkları için NYİ hesaplanabilmektedir. Yağış toplamları genellikle normal dağılıma uymadığından yağış toplamlarının Gama dağılıma dönüştürülerek hesaplanması esasına dayanır. Thom (1966) yağış serilerinin Gama dağılımını iyi takip ettiğini raporladığından dolayı, literatürde NYİ hesabı kullanılan yağış verilerinin iki parametrelili Gama dağılımına uyduğu varsayılarak yapılmaktadır. Aslında bu varsayım, literatürde NYİ tabanlı kuraklık izleme çabalarında en yaygın kullanılanıdır. Yağış verilerinin Gama dağılımına iyi uyduğuna dair bir genelleme olsa da, bu iklim olayının meydana gelme koşullarındaki farklılıklar, bunların frekans dağılım özellikleri üzerinde belirleyicidir. NYİ analizinin öncülerinden; Edwards (1999), McKee vd

Çizelge 1. Kullanılan verilere ait özet bilgiler.

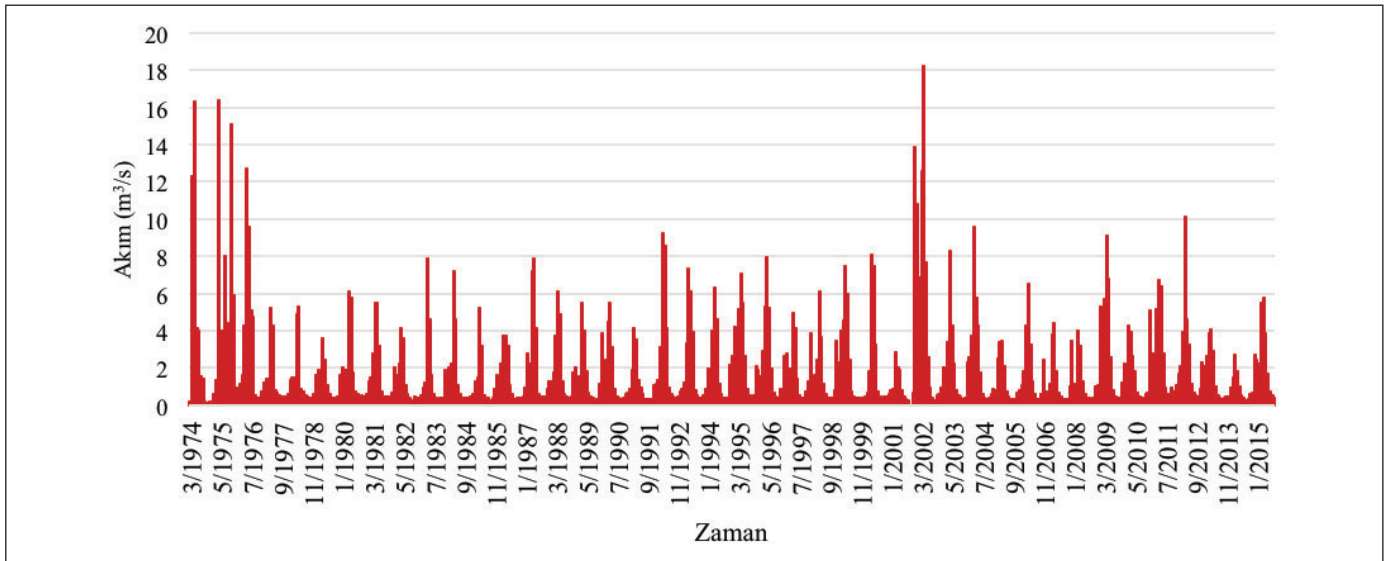
Veri Türü	Veri türü	Ortalaması	Standart sapma	Çarpıklık	Tarih aralığı
Yağış (mm)	Aylık toplam	25.69	23.66	1.24	Ocak.1955-Aralık.2022
Akım (m ³ /sn)	Aylık ortalama	2.16	17.73	2.55	Ocak.1973-Eylül.2015



Şekil 1. Apa Barajı bölgesi.



Şekil 2. Aylık toplam yağış verisi.



Şekil 3. Aylık ortalama akım verisi.

(1993), Guttman (1999), Mishra ve Singh (2009) çalışmalarında, NYİ hesaplama işlemini iki parametrelili Gama dağılımına ve ortalama ve standart sapmanın sırasıyla sıfır ve bir olduğu standart normal dağılıma dayandırmışlardır.

Yağış toplamalarının Gama dağılımına uyduğu varsayılarak, ilk önce yağışın kümülatif Gama dağılımındaki olasılıkları tespit edilir. Daha sonra Gamma Dağılımındaki değerlerin Normal dağılıma geçişi yapılır. Bu olasılıkların normal dağılımdaki z skoru değerleri NYİ değerini verir. Pozitif değerler sulak dönemleri, negatif değerler ise kurak dönemleri gösterir. Çeşitli z skoru değerleri için kuraklık sınıflandırması McKee vd. (1993) tarafından Çizelge 2'de verilmiştir. NYİ hesabı için en az 30 yıllık veri gereklidir (Guttman 1999).

Kullanılan gamma dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu "Eşitlik 1"de verilmiştir.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \tau(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad x > 0 \text{ için} \quad (1)$$

Maksimum olabilirlik metodu kullanılarak, α (sekil) ve β (ölçek) parametreleri tahmini "Eşitlik 2"de verilmiştir.

$$a = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \text{ ve } \beta = \frac{\bar{x}}{a} \quad (2)$$

Çarpıklık sadece sekil parametresi α 'ya bağlıdır. Dolayısı ile α büyüdükçe dağılım normal dağılıma doğru yaklaşır. Burada,

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln x}{n} \quad (3)$$

Burada, \bar{x} yağışın aritmetik ortalaması, n gözlenen yağış sayısıdır. "Eşitlik 3"te n gözlem sayısını ifade etmektedir.

Elde edilen parametreler "Eşitlik 4"te olasılık fonksiyonunu oluşturmakta kullanılır.

$$G(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} dx \quad (4)$$

Burada, $G(x)$ kümülatif gama olasılık fonksiyonudur. Gama fonksiyonu $x=0$ değeri için tanımlanmadığından, sıfır yağış olasılığı $q=m/n$ formülü ile hesaplanır. Burada m yağış miktarının sıfır olduğu gözlem sayısıdır. Yağış verilerinin kümülatif olasılığı "Eşitlik 5" ile bulunabilir.

$$H(x) = q + (1 - q) G(x) \quad (5)$$

NYİ değerleri $H(x)$ kümülatif olasılık değerlerinin varyansı 1 ve ortalaması sıfır olan normal dağılım z değişkenine dönüştürülmesi ile bulunur. Bulunan bu değerler McKee vd. (1993) tarafından teklif edilmiş ve Çizelge 2 de verilen sınıflandırmalar kullanılarak incelenen bölgenin kuraklık değerlendirilmesi yapılır.

Çizelge 2. NYİ sonuçlarına göre kuraklık kategorileri (McKee vd. 1993)

NYİ Değeri	Kategorisi
$\geq (2)$	Aşırı Sulak
(1.50) - (1.99)	Çok Sulak
(1.00) - (1.49)	Orta Sulak
(0) - (0.99)	Az Sulak
(-0.99) - (0)	Az Kurak
(-1.49) - (-1.00)	Orta Kurak
(-1.99) - (-1.50)	Çok Kurak
$\leq (-2)$	Aşırı Kurak

2.3. Akım Kuraklık İndisi (AKİ)

Apa Barajı Bölgesinde akım kuraklık hesaplamasında Nalbantis (2008) tarafından geliştirilen AKİ kullanılmıştır. Hidrolojik kuraklık göstergesi olarak kabul edilen AKİ hesaplaması; kümülatif akım toplamları $V_{i,k}$ (i yıl, j ay) “Eşitlik 6,7,8,9”da gösterildiği gibi hesaplanır.

$$V_{i,k} = \sum_{j=1}^{3k} Q_{i,j} \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$$j = 1, 2, \dots, 12 \quad (8)$$

$$k = 1, 2, 3, 4 \quad (9)$$

N hesaplanan yıl sayısını, k ise belirli periyotları göstermektedir ($k=1$ Ekim-Aralık ayı periyodunu, $k=2$ Ekim-Mart periyodunu, $k=3$ Ekim-Haziran periyodunu, $k=4$ Ekim-Eylül periyodunu ifade etmektedir). Kümülatif toplamlarda, Ekim-Eylül aylarını temsil etmektedir. AKİ, her k -referans periyoduna bağlı olarak her bir hidrolojik yıl için “Eşitlik 10”dan elde edilir. Detaylı hesaplamalar Nalbantis (2008) ‘de bulunabilir.

$$SDI_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{\bar{S}_k} \quad (10)$$

AKİ için kuraklık sınıflandırması NYİ ile aynı olup Çizelge 2 kullanılmaktadır.

2.4. Trend Analizi

2.4.1. Mann-Kendall trend testi (MK)

Zaman serisine ait trendlerinin belirlenmesinde yaygın olarak tercih edilen bu test Mann (1945) ve Kendall (1948) tarafından önerilmiştir. Zaman serilerinde var olabilecek artma (pozitif) veya azalma (negative) yöndeki gidişlerin istatistiksel olarak önemini belirten parametrik olmayan bir testtir. Mann Kendall S test istatistiği ve $sign$ fonksiyonu “Eşitlik 11, 12”ye göre, varyansı S ve Z istatistikleri “Eşitlik 13, 14” ile hesaplanır.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n sign(x_j - x_i) \quad (11)$$

$$sign(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & x_j > x_i \\ 0 & x_j = x_i \\ -1 & x_j < x_i \end{cases} \quad (12)$$

$$var(S) = \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i i(i-1)(2i+5) \right] / 18 \quad (13)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{var(S)}} & S > 0 \\ 0 & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{var(S)}} & S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

n veri sayısını, x_i i ve j zamanındaki veriyi, m veri setindeki tekrar eden gözlem sayısını, t_i ise a zaman serisindeki tekrar eden gözlemleri ifade etmektedir.

2.4.2. Spearman's Rho Testi

Doğrusal trend yöntemlerinde en hızlı sonuç veren Spearman's Rho Testi, literatürde en yaygın kullanılan yöntemlerdendir. Gözlenen veri setleri arasındaki doğrusal ilişkinin varlığını sıra istatistiklerine dayanarak inceleyen bu test iki gözlem serisi arasında anlamlı bir korelasyon olup olmadığını belirlemek amacıyla kullanılır. Hesaplanması “Eşitlik 15”te verilmiştir (Lehmann 1975, Sneyers 1990).

$$r_s = 1 - 6 \frac{\sum_{i=1}^n (R(x_i - i))^2}{(n^3 - n)} \quad (15)$$

n yani; veri seti >30 ise; normal dağılım tabloları kullanılır. İstatistiksel değerlendirme için z “Eşitlik 16”da gösterildiği gibi kullanılır.

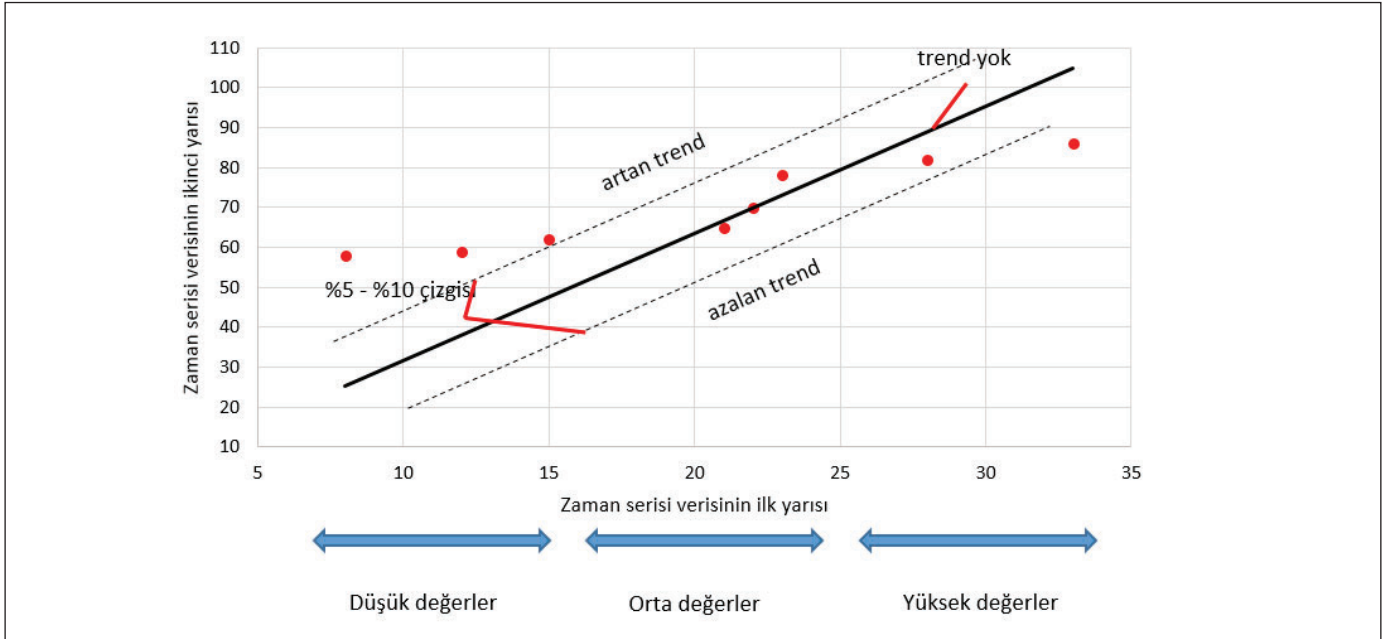
$$z = r_s \sqrt{n-1} \quad (16)$$

Hesaplanan z değeri standart belirlenen kritik $Z_{\alpha/2}$ değerinden büyük olması trendin varlığına işaret eder. Z 'nin işaretine göre artan ya da azalan trendin olduğu tespit edilir.

2.4.3. Yenilikçi Şen Trend Yöntemi (YŞTY)

Diğer trend yöntemlerine nazaran, hangi veri dönemlerinde trendin olup olmadığını gösteren YŞTY, Sen (2012) tarafından geliştirilmiştir. Analiz yönteminin uygulanması için veri seti kronolojik sıra ile başlangıç tarihinden bitişine doğru sıralanır. Sonrasında, veri seti iki eşit parçaya ayrılarak, kendi içlerine küçükten büyüğe doğru sıralanır. İki veri sütunundan birincisi; kartezyen koordinat sisteminde X eksenine, ikincisi ise Y eksenine yerleştirilir. Eğer veri 1:1 doğrusu üzerinde yer alırsa trend yok, altında kalırsa azalan trend, üzerinde kalırsa artan trend olarak değerlendirilir (Şekil 4).

Şen'in bu yönteminde, istatistiksel değerlendirme için Sıfır hipotezi (H_0) geçerlidir. Önem derecesine bağlı olarak hesaplanan kritik s_{cr} değeri gözlemlerden elde edilen s değerden fazla olduğu zaman trendin varlığından söz etmek mümkün değildir. Aksi durumlarda ise, s 'nin işaretine göre artan ya da azalan trendin varlığından yani alternatif hipotezden (H_1) söz edilebilir (Sen, 2017). Trend testi hesaplamasında veri setinin eğimi Eşitlik 17 ile hesaplanır.



Şekil 4. Yenilikçi Şen Trend Yöntemi saçılım sonuç diyagramı.

$$E(s) = \frac{2}{n} [E(\bar{y}_2) - E(\bar{y}_1)] \quad (17)$$

Buradaki $E(s)$ değeri 0 çıkarsa herhangi bir trend'in varlığından söz edilmesi mümkün değildir. İfade geçen $E(\bar{y}_2)$ iki eşit parçaya bölünen veri setinden 2.'nin ortalaması, $E(\bar{y}_1)$ ise 1.'nin ortalamasını, n toplam veri sayısını ifade etmektedir. Bir sonraki adımda, eğimin varyansı σ_s^2 "Eşitlik 18"deki gibi hesaplanır.

$$\sigma_s^2 = \frac{4}{n^2} [E(\bar{y}_2^2) - 2E(\bar{y}_2\bar{y}_1) + E(\bar{y}_1^2)] \quad (18)$$

İki değer arasındaki korelasyon sayıları "Eşitlik 19"deki gibi hesaplanır.

$$\rho_{\bar{y}_2\bar{y}_1} = \frac{E(\bar{y}_2\bar{y}_1) - E(\bar{y}_2)E(\bar{y}_1)}{\sigma_{\bar{y}_2}\sigma_{\bar{y}_1}} \quad (19)$$

Örneklemlerin standart sapması "Eşitlik 20" ile verilmiştir.

$$\sigma_s = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - \rho_{\bar{y}_1\bar{y}_2}} \quad (20)$$

Burada $\sigma_{\bar{y}_2} = \sigma_{\bar{y}_1} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ ile verilir.

Önem derecesine bağlı olarak alt ve üst sınırlar ise "Eşitlik 21"deki gibi hesaplanır.

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm s_{cr} \sigma_s \quad (21)$$

s_{cr} değeri önem derecesine bağlı olarak değişmektedir (%95 önem seviyesinde $z=1.96$).

3. Sonuçlar

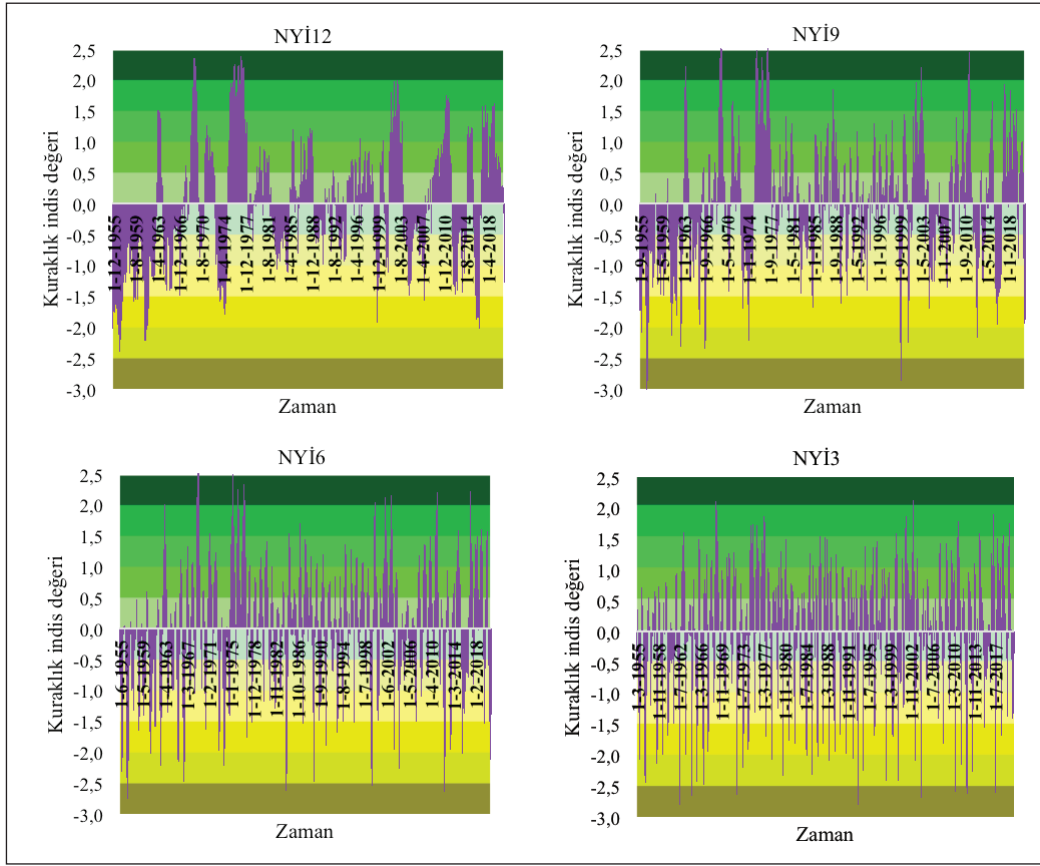
3.1. Kuraklık İndis Sonuçları

Bu bölümde kuraklık analizlerinden elde edilen NYİ ve AKİ bulguları verilmiştir. 3, 6, 9 ve 12 aylık yağış toplamlarından elde edilen NYİ3, NYİ6, NYİ9 ve NYİ2 sonuçları Şekil 5'de; AKİ3, AKİ6, AKİ9 ve AKİ12 sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.

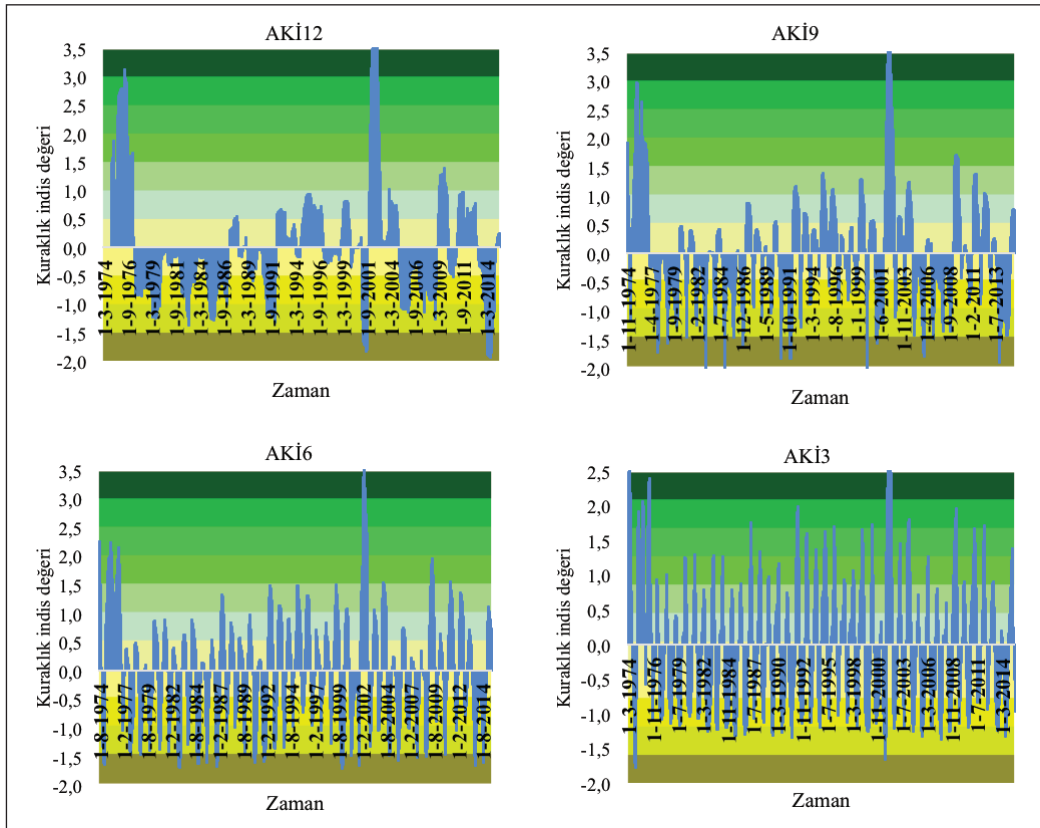
Kısa dönemleri için pozitif ve negatif değer geçişleri (sulak ve kurak dönemler sayısı) uzun dönemlere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bütün NYİ analizlerinde aşırı kurak ($z < -2$) dönemler gözlemlenirken AKİ analizlerinde aşırı kurak dönemlerin sadece AKİ9'da Mart 1983, Mart 1985 ve Mart 2000 aylarında gözlemlenmiştir. NYİ12 için aşırı kurak dönemler Aralık 1956, Ocak 1957 ve Ekim 2016 olarak gözlemlenmiştir. NYİ12 için en fazla kuraklık Eylül 2001 ve Haziran 2014 aylarında şiddetli kuraklık ($-1.5 < z < -1.99$) olarak gözlemlenmiştir.

3.2. Trend Analiz Sonuçları

YŞTY, Apa Barajı bölgesinde uygulanmış, elde edilen sonuçlar Çizelge 3'de ifade edilmiştir. Trend analizi yağış, akım, NYİ3, NYİ6, NYİ9, NYİ12, AKİ3, AKİ6, AKİ9, AKİ12 için uygulanmış ve önem parametresi %95 ($z=1.96$) olarak seçilmiştir. Çizelge 3'de tüm veri türlerinde %95 önem seviyesinde artan trend olduğu tespit edilmiştir. Hesaplanan s değerleri tüm verilerde, üst sınırın üzerinde olduğundan dolayı, bütün veri türlerinde artan trend gözlemlenmiştir. YŞTY



Şekil 5. Farklı zaman adımında NYİ sonuçlarının zamana göre dağılımı.

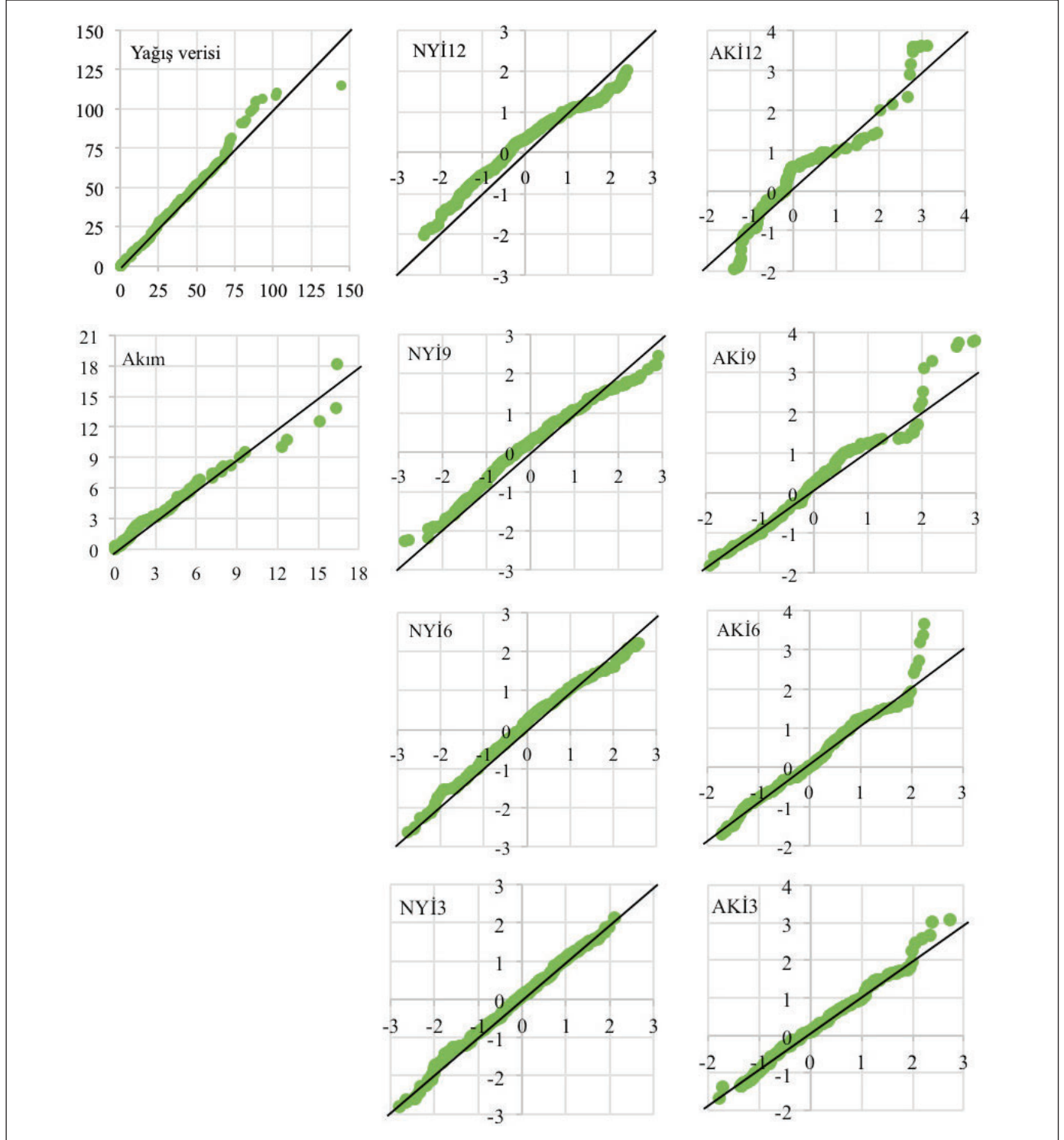


Şekil 6. Farklı zaman adımında AKİ sonuçlarının zamana göre dağılımı.

ile tüm verilerden elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 7'de verilmiştir.

Şekil 7 incelendiğinde; meteorolojik kuraklıkları ifade eden NYİ12, NYİ9, NYİ6 değerlerinde kuraklıkların tüm kate-

gorilerinde ve orta sulak, çok sulak, aşırı sulak kategorinde azalan trend görülmektedir. NYİ3'te ise orta kurak hariç herhangi bir trend olmadığı görülmektedir. Orta kurak kategorisinde NYİ3'te bir azalma trendi görülmüştür. Hid-



Şekil 7. YŞTY ile tespit edilen sonuçlar.

rolojik kuraklık indisi olan AKİ incelenildiğinde; AKİ12, AKİ9, AKİ6 ve AKİ3 aşırı sulak sınıfında artan bir eğilim olduğu görülmektedir. AKİ12 incelendiğinde; az sulak ve orta kurak dönemlerde artan ancak orta sulak, çok sulak ve az kurak dönemlerde azalan bir trend bulunmaktadır. AKİ9 incelendiğinde; çok sulak dönemde azalan, az sulak ve orta sulak dönemlerde artan bir eğime karşılık, çok kurak dönemde azalma görülmektedir.

MK sonuçları Çizelge 4'de verilmiştir. MK'den elde edilen sonuçlar, $\alpha=0.01$, $\alpha=0.05$ ve $\alpha=0.10$ önem seviyelerinde kritik z skorları sırasıyla $z=2.57$, $z=1.96$ ve $z=1.645$ ile değerlendirilmiştir. Sonuçlarda, akım ve yağış verilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir trendin olmadığı bulunmuştur. Kuraklıklar değerlendirildiğinde ise, akım kuraklık indislerinden olan AKİ3, AKİ6 ve AKİ9'da bulunan trend istatistiksel

olarak anlamlı bulunmamıştır. Akım Kuraklık İndislerinden AKİ12 ve Normalleştirilmiş Kuraklık İndislerinden NYİ3'de $\alpha=0.05$ önem seviyesinde artan bir trend tespit edilmiştir. Bu yöntemde, NYİ ile hesaplanan kuraklık indislerinin tümünde (NYİ3 hariç), 0.01 düzeyinde önemli trendin olduğu belirlenmiştir. NYİ indislerinin tümünde tespit edilen trendlerin tamamı yine artan yöndedir.

Çizelge 5'de ise, Spearman Rho Trend Testi'nden yararlanılarak elde edilen sonuçlar gösterilmiştir. MK da olduğu gibi Spearman's Rho testinde yağış ve akım verilerinde anlamlı bir trend bulunamamıştır. Ayrıca, akım kuraklık indislerinin tümünde AKİ12, AKİ9, AKİ6, AKİ3 anlamlı bir trend meydana gelmemiştir. Ancak, Spearman's Rho testine göre NYİ12, NYİ9 ve NYİ6'da 0.01 anlamlılık seviyesinde, NYİ3'de 0.10 anlamlılık seviyesinde artan trend bulunmuştur.

Çizelge 3. Yenilikçi Şen Trend Yöntemi sonuçları

Veri Türü	s	p	n	σ_s	Üst Sınır	Alt Sınır	Karar	Trend Yönü
Yağış	0.002930	0.994601	792	23.661992	0.000432	-0.000432	Evet	Artan
Akım	0.000701	0.989099	504	2.616341	0.000134	-0.000134	Evet	Artan
NYİ12	0.000592	0.987960	780	0.998603	0.000028	-0.000028	Evet	Artan
NYİ9	0.000505	0.990828	784	1.000619	0.000024	-0.000024	Evet	Artan
NYİ6	0.000356	0.995419	786	1.001120	0.000017	-0.000017	Evet	Artan
NYİ3	0.000214	0.998015	790	0.984035	0.000011	-0.000011	Evet	Artan
AKİ12	0.000866	0.963184	488	1.000482	0.000099	-0.000099	Evet	Artan
AKİ9	0.000735	0.985173	490	0.997605	0.000062	-0.000062	Evet	Artan
AKİ6	0.000520	0.988786	494	1.000141	0.000053	-0.000053	Evet	Artan
AKİ3	0.000380	0.996333	496	0.992563	0.000030	-0.000030	Evet	Artan

Çizelge 4. MK Trend Testi sonuçları.

Veri türü	Veri sayısı	MK z skoru	Karar	Trend Yönü
Yağış	792	1.3870	Hayır	-
Akım	504	0.7960	Hayır	-
NYİ12	781	7.8590	Evet	Artan***
NYİ9	784	6.2770	Evet	Artan***
NYİ6	787	4.1500	Evet	Artan***
NYİ3	790	2.4530	Evet	Artan**
AKİ12	488	2.0920	Evet	Artan**
AKİ9	491	0.2480	Hayır	-
AKİ6	494	0.0820	Hayır	-
AKİ3	497	0.2240	Hayır	-

Not: ***: $\alpha=0.01$ anlamlılık seviyesinde önemli, ** $\alpha=0.05$ anlamlılık seviyesinde önemli.

Çizelge 5. Spearman's Rho Trend Testi sonuçları

Veri türü	Veri sayısı	Spearman's Rho z skoru	Karar	Trend Yönü
Yağış	792	0.9610	Hayır	-
Akım	504	0.3860	Hayır	-
NYİ12	781	5.3560	Evet	Artan***
NYİ9	784	4.3710	Evet	Artan***
NYİ6	787	2.9500	Evet	Artan***
NYİ3	790	1.7600	Evet	Artan*
AKİ12	488	0.9360	Hayır	-
AKİ9	491	0.0650	Hayır	-
AKİ6	494	0.0980	Hayır	-
AKİ3	497	0.1790	Hayır	-

Not: ***: $\alpha=0.01$ anlamlılık seviyesinde önemli, * $\alpha=0.10$ anlamlılık seviyesinde önemli

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, Türkiye'nin tarım, sulama ve tahıl ambarı olarak nitelendirilen, en önemli illerden biri olan Konya'nın Çumra ilçesinde yer alan Apa Barajına ait yağış, akım ve verilerinin ve bu verilerden elde edilen meteorolojik kuraklık ve hidrolojik kuraklığı temsil eden farklı zamanlara ait NYİ ve AKİ kuraklık indislerinin trendleri belirlenmiştir. Trend analizlerinde parametrik olmayan Mann-Kendall ve Spearman's Rho testlerine ilave olarak Yenilikçi Şen Trend Yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

- Yenilikçi Şen Trend Yöntemi'nde, %95 güven aralığında yağış, akım ve meteorolojik ve hidrolojik kuraklık indislerinde tespit edilen trend anlamlı ve trend yönü artan olarak bulunmuştur.
- MK test sonucunda; yağış ve akım verilerinde istatistiksel anlamlı trend bulunamamış, ancak NYİ6, NYİ9 ve NYİ12 indislerinde 0.01 anlamlılık seviyesinde önemli artan trend bulunmuş, hidrolojik kuraklık indislerinden AKİ12 ve meteorolojik kuraklık indislerinden NYİ3'de 0.05 anlamlılık seviyesinde artan trend tespit edilmiştir. Diğer hidrolojik kuraklık göstergeleri olan AKİ3, AKİ6 ve AKİ9'da ise anlamlı trend bulunamamıştır.
- Spearman's Rho testinde MK'da olduğu gibi yağış ve akım verilerinde trend tespit edilememiştir. NYİ6, NYİ9 ve NYİ12 göstergelerinde 0.01 anlamlılık seviyesinde, NYİ3 göstergesinde ise 0.10 anlamlılık seviyesinde artan trend bulunmuş, ancak AKİ3, AKİ6, AKİ9 ve AKİ12 göstergelerinde anlamlı trend bulunamamıştır.

Elde edilen bulgulardan yola çıkarak; özellikle YŞTY verilerin analizinde geçmişten günümüze kadar birçok çalışmada kullanılan monotonik trend analizi yöntemlerine göre uygulayıcılar açısından daha kapsamlı sonuçlar verdiği görülmüş olup, bölgeye yakın istasyonlar eklenerek, ve bu istasyonlardan elde edilen sıcaklık, buharlaşma gibi verilerden faydalanılarak, farklı önem seviyelerinde bir trend analizi çalışması yapılmasının uygun olacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca, YŞTY'de grafik gösteriminde, sulak ve kurak dönemlere ait trendler belirgin olarak tespit edilebilmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen bulguların incelenen bölge için su kaynakları yönetiminde, baraj havzalarının yönetiminde ve baraj yönetiminde karar verici mercilere yardımcı olacağı düşünülmektedir.

5. Teşekkür

Tüm yazarlar eşit oranda katkıya sahiptir. Tüm yazarlar makaleyi inceledi ve onayladı. Yazarlar bu çalışmada hiçbir çıkar ilişkisi olmadığını beyan etmektedirler. Bu çalışmada etik izin gerekli değildir. Bu çalışma, sorumlu yazarlardan olan Türker Tuğrul'un doktora tezinden üretilmiştir. Ücretsiz olarak Veri temini sağlayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne bağlı Ankara Meteoroloji Bölge Müdürlüğü'ne teşekkürlerimizi arz ederiz. Bu çalışma, Aksaray Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri kapsamında 2022-010 nolu proje ile desteklenmiş olup, gerçekleşmesinde katkıda bulunan Aksaray Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimine teşekkür ederiz.

6. Kaynaklar

- Aktürk, G., Yıldız, O. (2014).** Drought analysis for different time periods in the city of Kırıkkale (Turkey). *International Journal of Engineering Research and Development*, 6, 1-7.
- Bhunja, P., Das, P., Maiti, R. (2020).** Meteorological Drought Study Through SPI in Three Drought Prone Districts of West Bengal, India. *Earth Systems and Environment*, 4(1), 43-55. doi:10.1007/s41748-019-00137-6
- Dogan, S., Berktaş, A., ve Singh, V. P. (2012).** Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, 470-471, 255-268. doi:https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.09.003
- Drapup, J. A., Lee, K. S., Paulson, E. G. (1980).** On the Definition of Droughts. *Water Resources Research*, 16(2), 297-302. doi:DOI 10.1029/WR016i002p00297
- Edwards, D.C. (1997).** Characteristics of 20th century drought in the United States at multiple time scales. Master thesis, Colorado State University, 155 pages.
- Gumus, V. (2019).** Spatio-temporal precipitation and temperature trend analysis of the Seyhan-Ceyhan River Basins, Turkey. *Meteorological Applications*, 26(3), 369-384. doi:https://doi.org/10.1002/met.1768
- Gumus, V., Simsek, O., Avsaroglu, Y., Agun, B. (2021).** Spatio-temporal trend analysis of drought in the GAP Region, Turkey. *Natural Hazards*, 109(2), 1759-1776. doi:10.1007/s11069-021-04897-1
- Guttman, N. B. (1999).** Accepting the standardized precipitation index: A calculation algorithm. *Journal of the American Water Resources Association*, 35(2), 311-322. doi:DOI 10.1111/j.1752-1688.1999.tb03592.x
- Heim, R. (2002).** A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 83. doi:10.1175/1520-0477(2002)083<1149:AROTDI>2.3.CO;2
- Hınıs, M. A. (2013).** Hydrometeorological Drought Analysis in Aksaray by Aggregate Drought Index. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(4), 711-721. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000330041500005
- Katipoğlu, M. O., Yesilyurt, N. S., Dalkılıç, Y. H. (2022).** Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(2), 422-442. Doi:10.17714/gumusfenbil.1026893
- Kendall, M. G. (1948).** Rank correlation methods. Griffin, London, England.
- Lehmann, E. (1975).** Nonparametrics, Statistical Methods Based on Ranks. Inc, California: Holden -Day.
- Li, J., Wang, Z., Wu, X., Zscheischler, J., Guo, S., Chen, X. (2021).** A standardized index for assessing sub-monthly compound dry and hot conditions with application in China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 1587-1601. doi:10.5194/hess-25-1587-2021
- Mann, H. (1945).** Nonparametric tests against trend. *Econometrica*.
- McKee, T. B., Dosken, N. J., Kleist, J. (1993).** The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Eight Conference on Applied Climatology, Anaheim, California.
- Mert, R., Bulut, S., Solak, K. (2008).** Apa Baraj Gölü'nün (Konya) Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Araştırılması. *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1-10.
- Mishra, A.K., Singh, V.P. (2009).** Analysis of drought severity-area-frequency curves using a general circulation model and scenario uncertainty. *J. Geophys. Res.* 114, D06120. doi:10.1029/2008JD010986.
- Nalbantis, I. (2008).** Evaluation of a Hydrological Drought Index. *Eur Water*, 23.
- Naz, F., Dars, G. H., Ansari, K., Jamro, S., Krakauer, N. Y. (2020).** Drought Trends in Balochistan. *Water*, 12(2), 470. Retrieved from https://www.mdpi.com/2073-4441/12/2/470
- Palmer, W. C. (1965).** Meteorological drought. Paper presented at the US Department of Commerce.
- Sen, Z. (2012).** Innovative Trend Analysis Methodology. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(9), 1042-1046. doi:10.1061/(ASCE)He.1943-5584.0000556
- Sen, Z. (2017).** Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and Applied Climatology*, 127(3-4), 939-947. doi:10.1007/s00704-015-1681-x
- Sharafati, A., Nabaei, S., Shahid, S. (2019).** Spatial assessment of meteorological drought features over different climate regions in Iran. *International Journal of Climatology*, 40. doi:10.1002/joc.6307
- Sneyers, R. (1990).** "On the Statistical Analysis of Series of Observations. *World Meteorological Organization*, 145, World Meteorological Organization.
- Thom, H. C. S. (1966)** Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical Note Number 81, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 53 pp.
- Tuğrul, T., Dogan, S., Dursun, S. (2019).** Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki İllerin Kuraklık Analizi. *Konya Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7(4), 705-712.
- White, D. H., Walcott, J. J. (2009).** The role of seasonal indices in monitoring and assessing agricultural and other droughts: a review. *Crop & Pasture Science*, 60(7), 599-616. doi:10.1071/Cp08378

Williams, A., Cook, E., Smerdon, J., Cook, B., Abatzoglou, J., Bolles, K., Livneh, B. (2020). Large contribution from anthropogenic warming to an emerging North American megadrought. *Science*, 368, 314-318. doi:10.1126/science.aaz9600

WMO (2016). World Meteorological Organization (WMO) and Global Water Partnership (GWP), 2016: Handbook of Drought Indicators and Indices (M. Svoboda and B.A. Fuchs). Integrated Drought Management Programme (IDMP), Integrated Drought Management Tools and Guidelines Series 2. Geneva.