

## Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklıkların Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen yöntemi ile trend analizi

*Trend analysis of hydrological droughts in Yeşilirmak basin by Mann Kendall and Sen Innovative Trend Analysis*

**Okan Mert KATIPOĞLU<sup>1,a</sup>, Sefa Nur YEŞİLYURT<sup>\*1,b</sup>, Hüseyin Yıldırım DALKILIÇ<sup>1,c</sup>**

<sup>1</sup>Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 24000, Erzincan

• Geliş tarihi / Received: 22.11.2021

• Düzeltılarak geliş tarihi / Received in revised form: 10.01.2022

• Kabul tarihi / Accepted: 31.01.2022

### Öz

Bu çalışmada Yeşilirmak havzasında bulunan 7 adet akım gözlem istasyonuna ait aylık ve yıllık zaman periyodundaki akım kuraklık indekslerinin (AKİ) trend analizi yapılmıştır. Kuraklık trendlerinin ortaya çıkarılmasında Mann-Kendall (MK), Yenilikçi Şen Yöntemi (YŞY) ve Thiel Şen Yaklaşımı (TŞY) kullanılmıştır. İçsel bağımlılığı bulunan AKİ serilerine MK testi uygulanmadan önce trend-free pre-whitening (ön arındırma) işlemi ile serisel bağımlılığın etkisi kaldırılmıştır. Trend analizleri istatistiksel açıdan %1 ve %5 anlamlılık seviyelerine göre değerlendirilmiştir. Sonuç olarak hidrolojik kuraklık trendlerinin değişimini istenilen aralıkta grafiksel olarak göstermesi ve daha hassas olarak trendleri ifade edebilmesi açısından YŞY'nin MK testine göre üstün olduğu belirlenmiştir. Ayrıca çalışma alanında aylık ve yıllık zaman periyotlarında artan hidrolojik kuraklık trendlerinin hâkim olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kuraklık risklerinin yönetilmesi, kuraklığa karşı alınabilecek önlemler ve erken uyarı sistemleri gibi aksiyonların bütünlük bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

**Anahtar kelimeler:** Akım Kuraklık İndeksi (AKİ), Mann Kendall (MK), Serisel bağımlılık, Trend Analizi, Yenilikçi Şen Yöntemi (YŞY), Yeşilirmak havzası

### Abstract

In this study, trend analysis of monthly and annual streamflow drought index (SDI) of 7 streamflow gauging stations in Yeşilirmak basin was performed. The Mann-Kendall (MK), Şen Innovative Trend Analysis (ITA) and Thiel Sen Approach (TSA) methods were used to reveal drought trends. Before applying the MK test, the effect of the lag-1 serial dependence of the SDI series was eliminated with the trend-free pre-whitening (TFPW) procedure. Trend analyzes were evaluated according to statistical significance levels of 1% and 5%. As a result, it has been revealed that ITA is superior to the MK test in terms of showing the change of hydrological drought trends graphically in the desired range and expressing the trends more precisely. In addition, it has been determined that hydrological drought trends, increase in monthly and annual time periods are dominant in the study area. For this reason, actions such as managing drought risks, measures against drought and early warning systems should be implemented in an integrated manner.

**Keywords:** Streamflow Drought Index (SDI), Mann-Kendall (MK), Serial dependence, Trend Analysis, Sen Innovative Trend Analysis (ITA), Yeşilirmak Basin

<sup>\*b</sup> Sefa Nur YEŞİLYURT; sefa.yesilyurt@erzincan.edu.tr, Tel: (0537) 380 40 24, orcid.org/0000-0001-6173-3038

<sup>a</sup> orcid.org/0000-0001-6421-6087

<sup>c</sup> orcid.org/0000-0002-4405-9341

## 1. Giriş

### 1. Introduction

Atmosferik koşullar, fiziki coğrafya faktörleri ve iklim koşulları gibi parametrelerden etkilenen ve canlı yaşamını en fazla etkileyen doğal afetlerden biri olan kuraklık, genel anlamda yağış eksikliği ya da incelenen dönemde var olan yağış miktarının normal seviyenin altına düşmesi olarak tanımlanır. Kuraklık, başlangıç ve bitişi belirsiz olan aynı zamanda hangi hızla ilerleyeceği tam olarak kestirilemeyen, kümülatif olarak artan ve aynı anda birden fazla kaynağa etki eden, bu etkiler sonucunda tarımı, ekonomiyi ve birçok alanı etkileyen bir doğa olayı olduğu için kuraklık analizi büyük öneme sahiptir. Literatürde meteorolojik kuraklık, hidrolojik kuraklık, sosyo-ekonomik kuraklık ve tarımsal kuraklık şeklinde dört temel kuraklık tipi belirtilmektedir. Meteorolojik olarak başlayan kuraklık; tarımsal ve hidrolojik kuraklık ile devam etmekte, sosyo-ekonomik boyuta geldiğinde ise etkileri görülmeye başlamaktadır. Bu nedenle kuraklık durumunun araştırılması elzemdir (Partal & Yavuz, 2020).

Kuraklık durumu kuraklık indeksleri yardımı ile incelenmektedir. Standart yağış indeksi (SYİ), Palmer kuraklık indeksi (PKİ), akım kuraklık indeksi (AKİ) gibi indekslerden yararlanılan literatürde çok sayıda çalışma yer almaktadır. İncelenen kuraklık tipine ve kullanılmak istenen verilere, indekslerin işlev ve kullanım alanlarına göre tercih yapılabilmektedir. Bu çalışmada ele alınan AKİ; hidrolojik kuraklığı değerlendiren ve akım değerleri yardımıyla hesaplanabilmesi sebebiyle diğer indislere göre daha kolay uygulanabilen, tatmin edici sonuçlar veren ve bu nedenle de sıklıkla tercih edilen bir indekstir (Jahangir & Yarahmadi, 2020; Tigkas et al., 2012; Fischer et al., 2013). Pathak et al. (2016) yaptığı çalışmada AKİ ve Standartlaştırılmış Akış İndeksi (SAİ) ile çok zamanlı hidrolojik kuraklık analizi yapılmıştır. Hong et al. (2015) çalışmalarında Çin'de AKİ yönteminden faydalanarak kuraklık değerlendirmesi yapmışlar, ayrıca örnekleme belirsizliğini incelemişlerdir. Gümüş, (2017) yaptığı çalışmada Türkiye'nin Güneyinde yer alan Asi Havzasında bulunan 52 yıllık akım verilerini kullanarak AKİ yöntemi ile kuraklık analizi yapmıştır. Ayrıca çalışmada aylık veriler yardımı ile 3,6 ve 12 aylık AKİ değerleri ile Asi Havzasının kurak ve nemli dönemlerinin şiddeti, dağılımı ve büyüklüğü belirlenmiştir. Yıldız, (2019) çalışmada Fırat havzasında yer alan 16 akım gözlem istasyonuna ait veriler yardımı ile AKİ yöntemi kullanarak kuraklık analizi yapmıştır. Çalışmada bölgedeki kuraklığın artma eğilimi gösterdiği ifade

edilmiştir. Fırat Havzasında yapılan bir başka çalışmada ise Murat Nehri çalışma alanı olarak belirlenmiş ve yine çalışmada AKİ kullanılmıştır. 1,3,6 ve 12 aylık zaman ölçeklerinde kuraklık durumu incelenen çalışmada kurak dönem yüzdeleri belirlenmiştir (Gümüş et al., 2018).

Kuraklık analizinin yanı sıra iklim değişiminin etkilerinin araştırılması ve alınacak önlemlerin düzeyinin belirlenebilmesi için trend analizi de büyük önem arz etmektedir. Trend analizi için parametrik-parametrik olmayan birçok analiz çeşidi bulunmaktadır. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında Myronidis et al. (2018) çalışmalarında 34 yıllık kayıt uzunluğuna sahip olan bir istasyon için AKİ ile kuraklık durumunu incelemişler ve indis sonuçlarını karşılaştırarak doğrulama yapmışlardır. Ayrıca çalışmada Mann-Kendall (MK) testi ile kuraklığın trendini incelemişlerdir. Gümüş vd. (2021) çalışmalarında Türkiye'nin en büyük entegre projesi olan Güneydoğu Anadolu Projesi bölgesinden seçilen 15 istasyona ait aylık toplam yağış verileri ile kuraklık analizi yapmışlar ve parametrik olmayan MK ve Mann-Kendall Sıra Korelasyon testleri ile kuraklığın trendini araştırmışlardır. Analiz öncesinde ön arındırma işlemi yapılan çalışmada bölgenin büyük çoğunluğu için azalan trend olduğu belirtilmiştir. Zhang et al. (2012) çalışmalarında Çin'in Xinjiang şehrinin kuraklık durumu incelemişler ve kuraklık trendini MK yöntemi ile belirlemişlerdir. MK testi kullanılan bir başka çalışmada ise modifiye edilmiş MK ve Şen testi ile MK testi sonuçları karşılaştırılmıştır (Tosunoglu & Kişi, 2016). Katipoğlu, (2020) Fırat havzasındaki hidrolojik kuraklık trendlerini belirlemek için AKİ değerlerini MK ve Modifiye edilmiş MK testleri ile analiz etmiştir. Çalışmanın sonucunda Fırat havzasında yaz ve sonbahar aylarında önemli azalan trendler görülmüştür. Malik et al. (2020) çalışmalarında Hindistan'ın Uttarkand Eyaleti'nde yer alan 13 meteoroloji istasyonuna ait verileri kullanarak Etkin Kuraklık İndeksi (EDI) ile kuraklık durumunu incelemişler ve trend tespiti için Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen Yöntemini kullanmışlardır. Çalışmada daha farklı kuraklık tipleri ile çalışıldığında YŞY'nin MK yöntemine göre üstün olduğu vurgulanmış ve çalışmada kullanılan yöntemler de bu sonuçları doğrulamıştır. Bu üstünlüğün sebebinin ise MK yöntemiyle araştırılmayan eğilimin YŞY ile araştırılabilmesi olduğu vurgulanmıştır. Aynı şekilde MK ve YŞY kullanarak kuraklığın trendini araştıran bir başka çalışmada ise kuraklık analizi için Standardize Yağış İndeksi kullanılmıştır. Bu çalışmada da YŞY'nin Mk'dan üstün olduğu vurgulanmıştır (Caloiero et al., 2018).

Bu çalışmada Türkiye'nin önemli havzalarından biri olan Yeşilirmak Havzası'nda bulunan yedi akım gözlem istasyonu verileri kullanılarak hidrolojik kuraklıkların trendleri incelenmiştir. Hidrolojik kuraklıkların belirlenmesinde AKİ değerleri kullanılmıştır. Trendlerin belirlenmesi için en fazla kullanılan parametrik olmayan trend analizi yöntemlerinden Mann Kendall yöntemi, Şen ve Yenilikçi Şen yöntemlerine (YŞY) başvurulmuştur. Trend sonuçları istatistiksel açıdan %1 ve %5 anlamlılık seviyelerinde değerlendirilmiştir.

## 2. Materyal ve metot

### 2. Material and method

#### 2.1. Çalışma alanı ve veri

##### 2.1. Study area and data

Kösedağ eteklerinden doğan ve çeşitli akarsularla birleşerek Çarşamba-Civa Burnu'ndan Karadeniz'e dökülen Yeşilirmak Nehrinden ismini alan Yeşilirmak Havzası; 39.626 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahiptir. Karadeniz ikliminin etkileri görülen havzanın yıllık ortalama yağış miktarı 528 mm/m<sup>2</sup>, ortalama yıllık akışı 6.10 km<sup>3</sup>, yıllık ortalama sıcaklık değeri 12° C ve ortalama havza verimi 5.11 l/sn/km<sup>2</sup>'dir. Ayrıca havza; baraj göllerinin sayısının Türkiye'deki diğer havzalara göre fazla olmasından dolayı hidroelektrik üretimi, sulama, içme, sanayi gibi alanlar için büyük önem

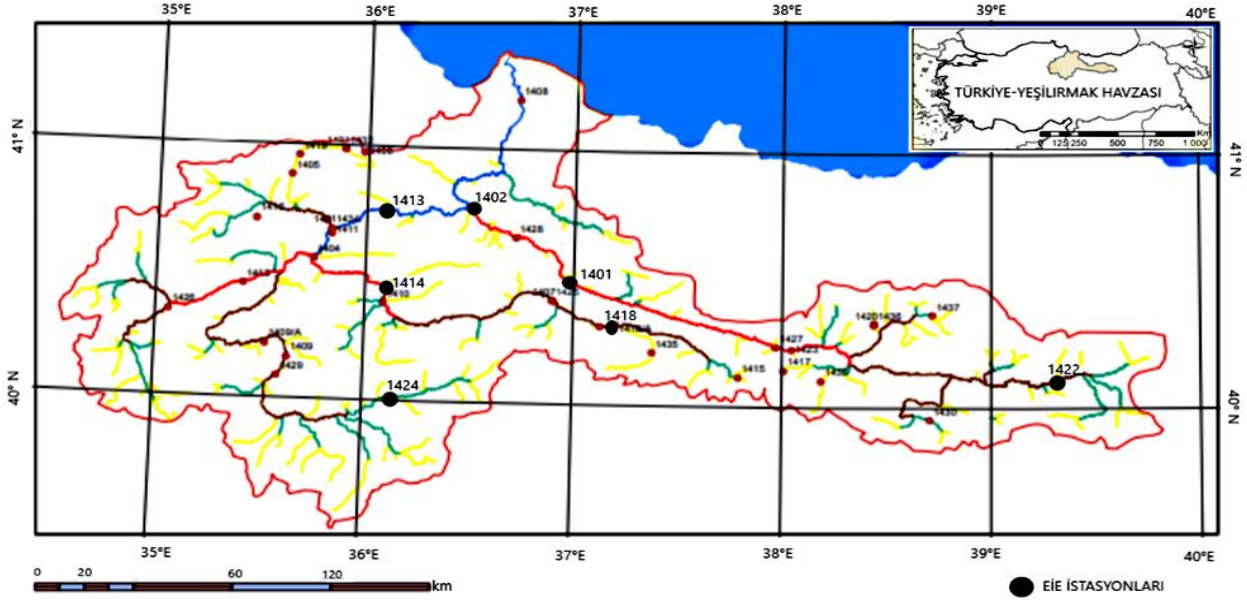
arz etmektedir. Havzanın kuraklık durumunun araştırılması oluşturulacak eylem planları açısından bir ihtiyaç niteliğindedir (Boustani & Ulke, 2020).

Çalışma kapsamında Yeşilirmak havzasında bulunan ve özellikleri Tablo 1'de verilen yedi adet istasyona ait akım değerleri Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) Akım Gözlem Yıllıklarından sağlanmıştır. İstasyon seçimi havzada bulunan istasyonların veri sayısına değerlendirilerek yapılmış ve 1970-2011 yılları arası eksiksiz veriye sahip istasyonlar seçilmiştir. İstasyonların havzadaki konumları Şekil 1'de verilmiştir. Ayrıca çalışma kapsamında kullanılan istasyonların memba bölgelerindeki su yapıları incelenmiş ve bazı istasyonların memba bölgesinde su yapıları (Almus Barajı ve Hidroelektrik Santrali, Ataköy Barajı, Hasan Uğurlu Barajı) olduğu görülmüştür. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde nehir veya akarsu üzerinde yapılan herhangi bir hidrolik yapının akım rejimini düzenlediğini ve olası taşkınları önlediği görülmüştür. Ayrıca çalışmalarda çok yüksek ve çok düşük akım değerlerinde değişimler yaşanması, su kalitesinin değişmesi ve kısa süreli salınımlar (saatlik vb.) yaşanması gibi durumlar gözlemlense de ortalama değerlerde su yapılarının inşasının akım verilerinde çok küçük etkiler doğuracağı belirtilmiştir (Doğan vd., 2016; Berkün vd., 2008).

**Tablo 1.** Akım gözlem istasyonları ve akım değerlerine ait istatistiksel bilgiler (EİE, 1970-2011)

**Table 1.** Stream flow observation stations and statistical information on flow values (EIE, 1970-2011)

İstasyon	Enlem	Boylam	Yıllık Ortalama Akış Değeri (mm)	Standart Sapma	Veri Aralığı
1401	36° 59' 56" D	40° 28' 42" K	66.5991	16.3580	1970-2011 Su Yılları
1402	36° 30' 45" D	40° 46' 18" K	148.3083	41.01685	
1413	36° 06' 43" D	40° 44' 40" K	58.4233	48.9541	
1414	36° 07' 05" D	40° 26' 03" K	22.4161	13.9223	
1418	37° 07' 43" D	40° 18' 42" K	18.4701	20.6174	
1422	39° 18' 42" D	40° 06' 45" K	7.8977	10.6955	
1424	36° 08' 47" D	40° 00' 29" K	3.9331	4.7936	



**Şekil 1.** EİE İstasyonlarının havzadaki konumu (Kurunç vd., 2005; Yılmaz vd., 2016)  
**Figure 1.** Location of EIE Stations in the basin (Kurunç vd., 2005; Yılmaz vd., 2016)

## 2.2. Akım kuraklık indisi (AKİ)

### 2.2. Streamflow drought index (SDI)

Hidrolojik kuraklığın belirlenmesini sağlayan AKİ 2008 yılında Nalbantis tarafından geliştirilmiştir (Nalbantis, 2008). Aylık akım verileri kullanılarak hesaplanan yöntem çok fazla değişkene ihtiyaç duymamasından dolayı sıklıkla tercih edilmektedir

$$V_{i,j} = \sum_{j=(k-1)+1}^k Q_{i,j}, k = 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12 \quad (1)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=3(k-1)+1}^{3k} Q_{i,j}, k = 1,2,3,4 \quad (2)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=6(k-1)+1}^{6k} Q_{i,j}, k = 1,2 \quad (3)$$

$$V_{i,j} = \sum_{j=1}^{12} Q_{i,j} \quad (4)$$

Akım kuraklık indisinin değeri ise Denklem 5'te verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$AKİ_{i,k} = \frac{V_{i,k} - \bar{V}_k}{S_k}, k = 1,2,3,4 \dots \dots, 12 \quad (5)$$

$\bar{V}_k$  kümülatif akım hacminin ortalama değerini ifade ederken  $S_k$  ise standart sapmasını ifade etmektedir. AKİ değerinin değerlendirilirken, analiz verileri normal veya log-normal dağılımı izlemelidir (Nalbantis, 2008). Bununla birlikte, küçük havzalarda, akarsu akımlarının dağılım modeli Gama dağılımına benzer olan, çarpık bir olasılık dağılımı izleyebilir. Bu nedenle, akış verilerini analiz etmek için AKİ kullanıldığında,

$$SDI_{i,k} = \frac{y_{i,k} - \bar{y}_k}{S_{y,k}}, i = 1,2, \dots; k = 1,2,3,4 \dots \dots, 12 \quad (6)$$

$$y_{i,k} = \ln(V_{i,k}), i = 1,2, \dots; k = 1,2,3,4 \dots \dots, 12 \quad (7)$$

$y_{i,k}$  değerleri, ortalaması  $\bar{y}_k$  ve standart sapması  $S_{y,k}$  olan kümülatif akımların doğal logaritmalarıdır.

(Jahangir & Yarahmadi, 2020; Tigkas et al., 2012).

$Q_{i,j}$  aylık akım değerleri,  $i$  su yılı,  $j$  su yılı içindeki ayı ve  $k$  referans periyodu temsil etmektedir. Bu durumda biriken akımın hacmi Denklem 1-4'te verildiği gibi hesaplanmaktadır. Denklem 1-4'te sırasıyla 1,3,6,12 aylık kuraklık indislerinin hesaplanma şekli ifade edilmiştir.

istatistiksel dağılımın normale dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, dönüşüm için birçok araştırmacı (Charbeneau, 1978; Harmas, 1967; Li et al., 2020; Nalbantis, 2008) tarafından önerilen ve normalizasyon işlemi basit olan log-normal dağılım kullanılmıştır. Bu nedenle akış verilerinin doğal logaritmaları alınarak AKİ denklemi aşağıdaki gibi yeniden düzenlenmiştir (Yeh et al. 2015);

Çalışma kapsamında hidrolojik indislerinin hesaplanması için ara yüz sağlayan DrinC

(Drought Indices Calculator) yazılımı ile hesaplama yapılmıştır (Tigkas et al., 2015). AKİ değerlerinin kuraklık sınıflandırması sekiz farklı sınıf ile değerlendirilmektedir (Tablo 2).

**Tablo 2.** Akım Kuraklık İndisi sınıflandırması (Hong et al., 2014)

**Table 2.** Streamflow Drought Index classification (Hong et al., 2014)

Kuraklık Sınıfı	AKİ Değerleri
Aşırı Kurak (AK)	$AKİ \leq -2$
Şiddetli Kurak (ŞK)	$-2 < AKİ \leq -1.5$
Orta Kurak (OK)	$-1.5 < AKİ \leq -1$
Hafif Kurak (HK)	$-1 < AKİ \leq 0$
Hafif Nemli (HN)	$0 < AKİ \leq 1$
Orta Nemli (ON)	$1 < AKİ \leq 1.5$
Şiddetli Nemli (ŞN)	$1.5 < AKİ \leq 2$
Aşırı Nemli (AN)	$AKİ > 2$

### 2.3. Yenilikçi Şen trend yöntemi (YŞTY)

#### 2.3. Şen innovative trend analysis (ITA)

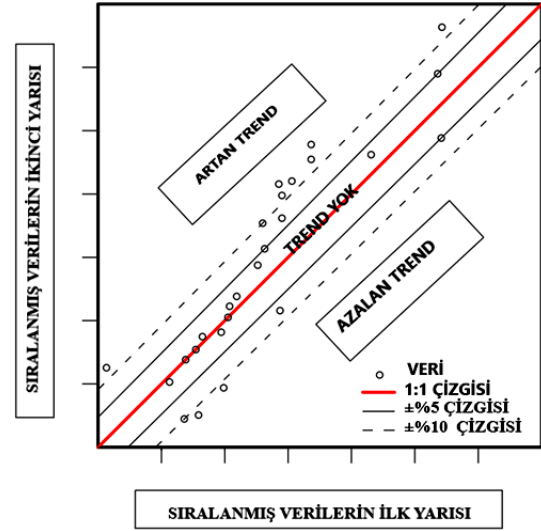
2012 yılında Şen tarafından geliştirilen YŞTY; diğer yöntemlere göre trendin var olup olmamasının yanı sıra hangi verilerde olduğunu da göstermesinden dolayı üstün kabul edilen bir yöntemdir (Şen, 2012). Yöntemin uygulaması için ilk olarak ölçümü alınan hidrolojik değişkenlerin veri serisi ölçüm tarihinin başlangıcından bitişine doğru sıralanmaktadır. Oluşan seri ilk ölçüm tarihinden itibaren iki eşit parçaya ayrılmakta ve ayrı ayrı küçükten büyüğe doğru kendi içinde sıralanmaktadır. İki veri sütununun ilki; kartezyen koordinat sisteminde X-eksenine, ikincisi ise Y-eksenine yerleştirilmektedir. Oluşan grafik Şekil 2’de gösterildiği gibi ifade edilebilmektedir. Veri noktalarının 1:1 (45°) olması durumunda trend yoktur; çizginin altında olması durumunda azalan trend vardır ve çizginin üstünde olması durumunda ise artan trend vardır (Ahmed & Ogedengbe, 2021).

Trendin varlığına daha nicel şekilde bakılabilmesi için Tosunoğlu & Kişi, (2017) tarafından önerilen  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  güven aralığı çizgilerinin kullanılması fayda sağlamaktadır. 1:1 çizgisine paralel ve veri setine  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  mesafede çizgiler oluşturularak;

- Verilerin 1:1 ile  $\pm\%5$  arasında olması durumunda “trend var”
- Verilerin  $\pm\%5$  ve  $\pm\%10$  arasında olması durumunda “güçlü trend var”

$\pm\%10$  çizgisinin üzerinde olması durumunda “çok güçlü trend var” şeklinde değerlendirilme

yapılabilmektedir (Şen,2012; Tosunoglu & Kişi, 2017; Gümüş vd., 2021) (Şekil 2).



**Şekil 2.** Trend meydana gelme durumu (Şen 2012)  
**Figure 2.** Trend occurrence (Şen 2012)

Şen, (2017) tarafından önerilen Denklem 8 ile hesaplanan YŞY’nin eğimi ( $S_{YŞY}$ ), trendin büyüklüğünü göstermektedir.

$$S_{YŞY} = \frac{2(\bar{x}-\bar{y})}{n} \quad (8)$$

Trend eğimin standart sapması,

$$\sigma_s = \frac{2\sqrt{2}}{n\sqrt{n}} \sigma \sqrt{1 - \rho_{xy}} \quad (9)$$

Trendin güven sınırı (CL)

$$CL_{(1-\alpha)} = 0 \pm s_{kri} \sigma_s, \quad (10)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Burada n, zaman serisinin veri uzunluğu ve x (y) birinci (ikinci) yarı zaman serisi ortalamasıdır.  $\rho_{xy}$ : serinin birinci ve ikinci yarı arasındaki çapraz korelasyon katsayısı ve  $\sigma_s$ , eğimin standart sapmasını göstermektedir.  $S_{kri}$  tek yönlü hipotezde (örneğin %95 güven düzeyinde) Zkritik değerleri göstermektedir. Denklem 10 ile hesaplanan kritik üst ve alt limit değerleri, hipotez testinin sınırlarını belirlemek için oluşturulmuştur. Her istasyonun eğim değeri  $S_{YŞY}$ ’nin alt ve üst güven limitlerinin dışındaysa zaman serisinde bir eğilimin olduğunu gösterir. Eğilim yönü  $S_{YŞY}$ ’nin işaretine göre tespit edilmektedir.  $S_{YŞY}$  değerinin pozitif (negatif) olması zaman serilerinde artan (azalan) bir eğilim olduğunu ifade etmektedir (Şen, 2017).

## 2.4. Mann Kendall (MK) trend analizi

### 2.4. Mann-Kendall trend analysis (MK)

Hidro-meteorolojik zaman serilerinin trendinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir yöntem olan MK testi Kendall'ın tau istatistiği olarak da bilinir. Eksik verilerin varlığına müsaade etmesi ve verileri belirli bir dağılıma uymak zorunda bırakmaması sebebiyle avantajlı bir metottur. Mevsimselliğin ortadan kaldırıldığı verilere uygulanan Mann-Kendall istatistiği (S); Denklem 11'deki gibi hesaplanır.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (11)$$

normal bir dağılıma sahip olan verilerde S'nin varyansı Denklem 12'de verildiği gibi hesaplanmakta,

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{Eğer } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{Eğer } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (12)$$

zaman serilerinde bağ durumu olması durumunda ise;

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (13)$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Varyans hesabından sonra Mann Kendall testinin önemli olup olmadığı standart normal değişkenin (z) hesaplanıp Denklem 14'te verildiği gibi kritik z değeri ile karşılaştırılması ile belirlenmektedir.

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (14)$$

a seçilen anlamlılık seviyesi olarak ifade edilir ve  $|z| \leq z_a$  olursa  $H_0$  hipotezi kabul edilmekte aksi halde reddedilmektedir. Ayrıca S değerinin pozitif olması durumunda artan trend, negatif olması durumunda ise azalan trendin varlığı söz konusudur (Alifujiang et al., 2020).

## 2.5. Trend Free Pre-Whitening (TFPW) yöntemi

### 2.5. Trend Free Pre-Whitening (TFPW) method

TFPW yöntemi veya ön arındırma yöntemi olarak bilinen yöntem MK testinde seri korelasyonunun etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla geliştirilmiştir. Hem pozitif hem de negatif seri korelasyonuna sahip seriler için kullanılan yöntemle ait uygulama Denklem 15-18'de verildiği

gibi uygulanmaktadır (Yu et al., 2002; Esmailpour et al., 2021).

- Gecikme ve korelasyon hesabı yapılır.

$$r_k = \frac{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^{n-k} (X_i - \bar{X})(X_{i+k} - \bar{X})}{\frac{1}{n} \sum_{i=2}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (15)$$

-  $\frac{-1-1.96\sqrt{n-2}}{n-2} \leq r_i \leq \frac{-1+1.96\sqrt{n-2}}{n-2}$  olması durumunda serinin %10 anlamlılık düzeyinde bağımsız olduğu varsayılmakta ve trend testi öncesi ön arındırmanın gerekmediği görülür. Aksi takdirde trend öncesi ön arındırma uygulanır.

- Parametrik olmayan Theil-Sen yaklaşımı (TSY) eğimi ( $\beta$ ) kullanılarak hesaplanır ve trendi bozulmuş bir seri elde edilir.

$$x'_i = x_i - (\beta * i) \quad (16)$$

- Trendi bozulmuş serinin lag-1 oto korelasyonu hesaplanır (Denklem 10).

- Lag-1 otoregresif trend (AR (1)) seriden kaldırılır.

$$y'_i = x'_i - r_1 * x'_{i-1} \quad (17)$$

- ( $\beta * i$ ) kalan seriye geri eklenir.

$$y_i = y'_i + (\beta * i) \quad (18)$$

Bu çalışmada kullanılan trend analizi metotları R yazılımı modifiedmk paketinde bulunan "mkttest, tfpwmk ve innvtrend" komutları ile yapılmıştır.

## 2.6. Thiel Şen yaklaşımı (TSY)

### 2.6. Thiel Sen approach (TSA)

TSY kullanılarak trendlerin büyüklükleri belirlenebilmektedir. (Kumar et al., 2009) çalışmasında TSY eğimi ( $\beta$ ) Denklem 19'da verildiği gibi ifade edilmektedir.

$$\beta = \text{median} \left[ \frac{X_j - X_i}{j - i} \right] (\forall j > i) \quad (19)$$

Burada  $\beta$  tüm değerlerin ortancasıdır (Esmailpour et al., 2021).  $\beta$  işareti trendin arttığını veya azaldığını gösterir.

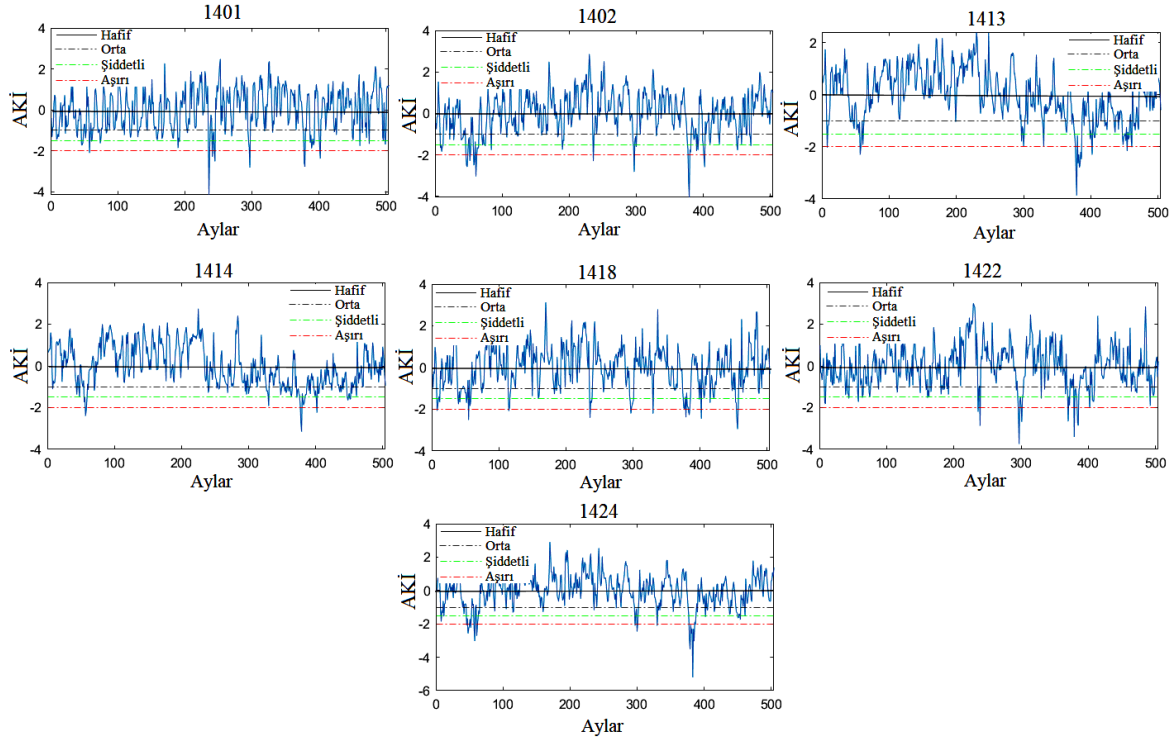
## 3. Bulgular ve tartışma

### 3. Finding and discussion

Bu çalışmada Yeşilirmak havzasında 7 farklı akım gözlem istasyonunda aylık ve yıllık zaman

periyodunda AKİ değerlerinin trend analizi MK, TSY ve YŞTY ile yapılmıştır. AKİ değerleri DrinC yazılımı aracılığıyla hesaplanmıştır. Elde edilen AKİ değerlerinin zamansal değişimi ve kuraklık sınıfları Şekil 3 ve 4'te sunulmuştur. Şekillerde hafif, orta, şiddetli ve aşırı kuraklıkların görüldüğü zaman periyotları ve kuraklıkların değişim görülmektedir. Şekil 3 ve 4'ten görüldüğü üzere aylık ve yıllık zaman periyodunda seçilen istasyonlarda çok sayıda hafif kuraklık gözlenirken az sayıda aşırı kuraklıklar mevcuttur. Ayrıca Şekil

4'te yıllık kuraklıkların eşik seviyesini aştığı periyotlar değerlendirildiğinde 1401 nolu istasyonda 2, 1402 nolu istasyonda 1, 1413 nolu istasyonda 2, 1414 nolu istasyonda 1, 1418 nolu istasyonda 2, 1422 nolu istasyonda 2, ve 1424 nolu istasyonda ise 1 dönemde aşırı kuraklıklar görülmektedir. Bu durum havzada kuraklıkların önemli yer tuttuğunu göstermektedir. Bu nedenle kuraklıkların eğilimleri incelenerek kuraklık şartları detaylı olarak değerlendirilmiştir.



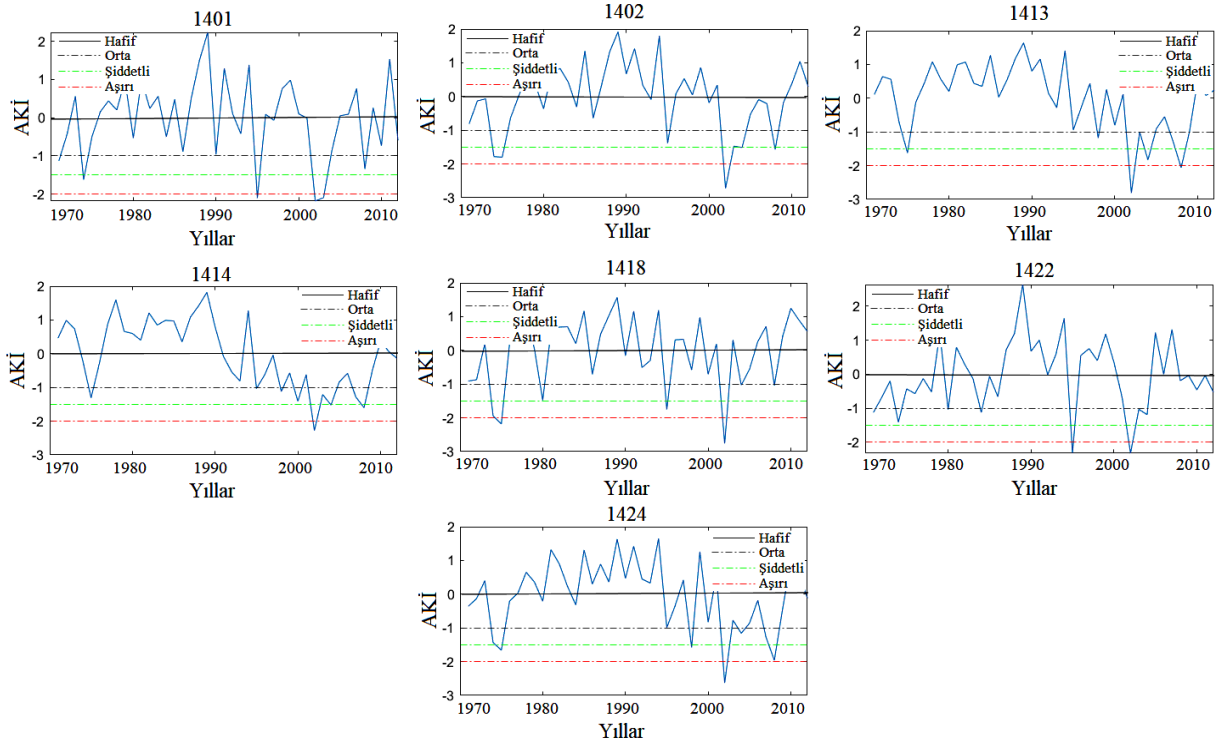
**Şekil 3.** Aylık zaman periyodundaki AKİ değerlerinin zamansal değişimi ve kuraklık sınıfları  
**Figure 3.** Temporal variation of SDI values in monthly time period and drought classes

### 3.1. Mann Kendall testi ve Şen eğimi sonuçları

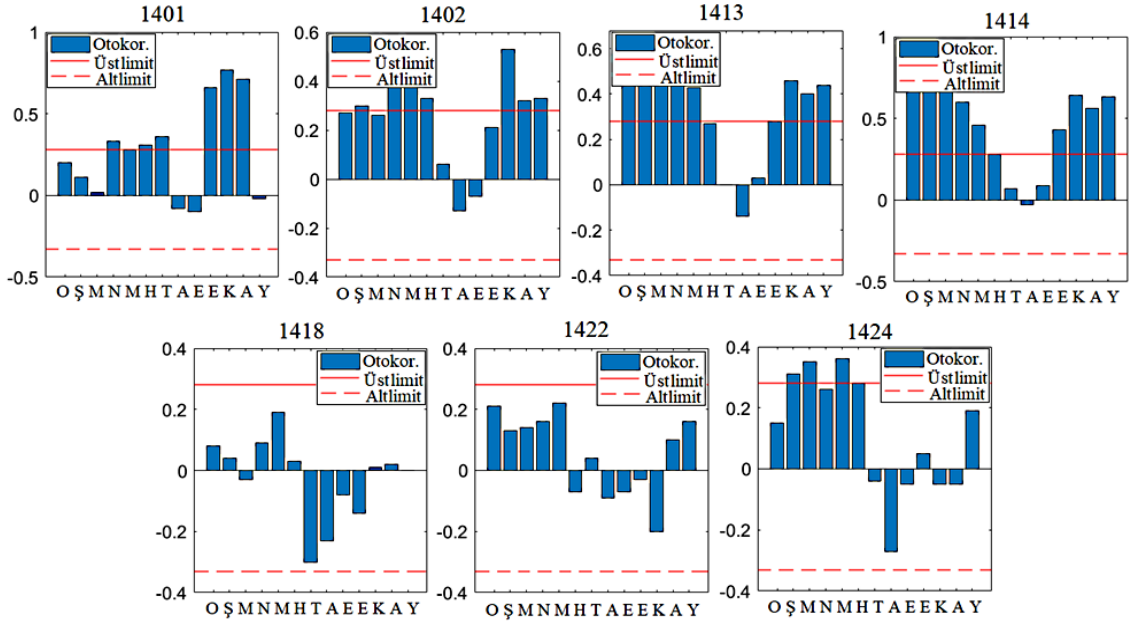
#### 3.1. Mann Kendall test and Sen's slope results

Çalışmada kullanılan MK testine başvurmadan önce AKİ değerlerinin lag-1 içsel bağımlılık değerleri Denklem 15 ile hesaplanarak güven limitleri incelenmiştir. Her bir zaman periyodu için elde edilen otokorelasyon değerleri güven limitleri içerisinde kalması durumunda orijinal MK testine

uygulanırken, güven limitlerinin aşılması durumunda TFPW-MK uygulanmıştır. Örnek olarak Şekil 5' te 1401 nolu istasyon incelendiğinde Nisan, Haziran, Temmuz, Ekim, Kasım, Aralık aylarında 1 aylık gecikmeli AKİ değerleri %90 güven limitleri aştığı için TFPW-MK testine başvurulurken diğer periyotlarda orijinal MK testi uygulanmıştır.



Şekil 4. Yıllık zaman periyodundaki AKİ değerlerinin zamansal değişimi ve kuraklık sınıfları  
 Figure 4. Temporal variation of SDI values in annual time period and drought classes



Şekil 5. Aylık ve yıllık zaman periyodundaki 1 aylık gecikme (lag-1) değerlerine ait oto korelasyonlar  
 Figure 5. Autocorrelation of 1-month lag (lag-1) values in monthly and yearly time period



**Tablo 3.** Mann Kendall ve TŞY metoduna ait istatistiksel sonuçlar**Table 3.** Statistical results of Mann Kendall and TSY method

		Ocak	Şubat	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağu.	Ey.	Eki.	Kas.	Ara.	Yıllık
1401	Mk-Z değeri	<b>3.13</b>	0.56	<b>-3.34</b>	<b>-4.14</b>	-2.16	-1.45	<b>5.20</b>	<b>5.24</b>	<b>4.76</b>	<b>2.84</b>	<b>2.71</b>	1.47	-0.28
	Şen eğimi	0.05	0.01	-0.05	-0.05	-0.02	-0.02	0.06	0.06	0.06	0.04	0.04	0.02	-0.004
	Trend	↑	↔	↓	↓	↓*	↔	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↔
1402	Mk-Z değeri	1.18	0.28	-0.79	-2.14	-1.69	-0.79	<b>3.77</b>	<b>4.60</b>	<b>3.76</b>	1.02	1.02	0.55	-0.26
	Şen eğimi	0.02	0.004	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01	0.05	0.06	0.05	0.01	0.012	0.008	-0.004
	Trend	↔	↔	↔	↓*	↔	↔	↑	↑	↑	↔	↔	↔	↔
1413	Mk-Z değeri	<b>-3.29</b>	-2.53	-0.53	-1.29	-1.74	-1.47	-1.63	<b>-2.64</b>	<b>-3.07</b>	<b>-3.59</b>	<b>-4.23</b>	<b>-3.61</b>	<b>-2.73</b>
	Şen eğimi	-0.04	-0.03	-0.007	-0.02	-0.02	-0.22	-0.02	-0.04	-0.04	-0.05	-0.05	-0.04	-0.03
	Trend	↓	↓*	↔	↔	↔	↔	↔	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1414	Mk-Z değeri	<b>-4.01</b>	<b>-3.47</b>	-1.25	-1.94	-1.63	-0.76	-2.21	-1.8	-2.3	<b>-3.89</b>	<b>-5.13</b>	<b>-4.5</b>	<b>-3.87</b>
	Şen eğimi	-0.05	-0.05	-0.02	-0.03	-0.02	-0.007	-0.03	-0.03	-0.04	-0.44	-0.05	-0.05	-0.04
	Trend	↓	↓	↔	↔	↔	↔	↓*	↔	↓*	↓	↓	↓	↓
1418	Mk-Z değeri	0.24	0.99	1.86	0.28	0.09	-0.94	-0.54	-2.1	-2.34	-0.37	1.37	0.08	1.13
	Şen eğimi	0.004	0.01	0.02	0.003	0.002	-0.01	-0.007	-0.03	-0.03	-0.005	0.01	0.001	0.01
	Trend	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↓*	↓*	↔	↔	↔	↔
1422	Mk-Z değeri	0.79	0.25	0	0.46	1.17	-0.69	0.01	-1.82	-1.82	-0.28	0.74	0.64	0.91
	Şen eğimi	0.009	0.002	0	0.007	0.02	-0.008	0.0003	-0.03	-0.02	-0.002	0.01	0.006	0.009
	Trend	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
1424	Mk-Z değeri	-1.11	-1.61	-0.95	-0.65	-0.95	-0.56	0.63	1.41	2.36	1.15	0.26	-0.97	-0.72
	Şen eğimi	-0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.01	-0.007	0.007	0.01	0.03	0.01	0.003	-0.01	-0.009
	Trend	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↑*	↔	↔	↔	↔

Not: Tablo 3'teki koyu renkli değerler %1 önem seviyesinde (%99 güven aralığında) anlamlı trendleri göstermektedir. ↓ işaretli azalan trendi, ↑ işaretli artan trendi ve ↔ işaretli anlamlı trendin olmadığını göstermektedir.

Tablo 3'teki koyu renkli değerler %1 önem seviyesinde anlamlı trendleri göstermektedir. \* işaretli %5 önem seviyesinde anlamlı trendleri ifade etmektedir. ↓ işaretli azalan trendi, ↑ işaretli artan trendi ve ↔ işaretli anlamlı trendin olmadığını göstermektedir.

Tablo 3'te MK ve Şen eğimlerine ait AKİ değerleri aracılığı ile elde edilen hidrolojik kuraklıkların trend sonuçları gösterilmiştir. Anlamlı trendlerin ortaya çıkarılması için, Standard normal dağılım tablosundan  $\alpha=0,05$  (%5) ve  $\alpha=0,01$  (%1) anlamlılık düzeyi için z değeri 1,96 ve 2,58 olarak belirlenmiştir. Elde edilen trend z değerleri  $\pm 1,96$  ve  $\pm 2,58$  aralığının dışında ise sırasıyla  $\alpha=0,05$  ve  $\alpha=0,01$  anlamlılık düzeyinde sıfır hipotezi "H<sub>0</sub>: Trend yok" reddedilerek trendin varlığı ifade edilmektedir. AKİ değerlerinin MK testi sonucunda 1401 numaralı istasyonda Mart, Nisan ve Mayıs aylarında istatistiksel açıdan anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülürken, Ocak, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında anlamlı artış trendleri (azalan kuraklık şiddeti) tespit edilmiştir. 1402 numaralı istasyonda Mart ayında anlamlı azalan AKİ

trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülürken, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarında anlamlı artış trendleri (azalan kuraklık şiddeti) tespit edilmiştir. 1413 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Temmuz, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık aylarında ve Yıllık zaman periyodunda anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) hakimdir. 1414 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım, Aralık aylarında ve Yıllık zaman periyodunda anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) hakimdir. 1418 numaralı istasyonda Ağustos ve Eylül aylarında anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülmektedir. 1422 numaralı istasyonda istatistiksel açıdan anlamlı trend bulunmamaktadır. 1424 numaralı istasyonda sadece Eylül ayında anlamlı azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) tespit edilmiştir. Ayrıca pozitif ve negatif değerlere göre trendin yönünü gösteren Şen eğim değerlerinin MK-Z değerleri ile karşılaştırıldığında büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir.

### 3.2. Yenilikçi Şen yöntemi sonuçları

#### 3.2. Sen innovative trend analysis results

$S_{\text{ŞŞY}}$  değerleri güven limitlerini aşması istatistiksel açıdan anlamlı trendlerin olduğunu göstermektedir. Tablo 4'te YŞY'ne ait eğimler ve %1 ve %5 güven limitleri gösterilmiştir.  $S_{\text{ŞŞY}}$  değerleri incelendiğinde, 1401 numaralı istasyonda Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve yıllık zaman periyodunda istatistiksel açıdan %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülürken, Ocak, Şubat, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında %1 anlamlık seviyesinde artış trendleri (azalan kuraklık şiddeti) tespit edilmiştir. 1402 numaralı istasyonda Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve yıllık zaman periyodunda %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) görülürken, Ocak, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında %1 anlamlık seviyesinde artış trendleri (azalan kuraklık şiddeti) görülmüştür. 1413 ve 1414 numaralı istasyonda tüm zaman periyotlarında %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri (artan kuraklık şiddeti) hakimdir. 1418 numaralı istasyonda Şubat, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında ve yıllık

zaman periyodunda %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri görülürken, Mart ayında %1 anlamlık seviyesinde artış trendleri tespit edilmiştir. 1422 numaralı istasyonda Mart ayında %5 anlamlık seviyesinde, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri görülürken, Mayıs ayında %1 anlamlık seviyesinde artış trendleri tespit edilmiştir. 1424 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Ağustos, Kasım ve Aralık aylarında ve yıllık zaman periyodunda %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendleri görülürken, Eylül ayında anlamlı artış trendleri tespit edilmiştir. Ayrıca güven limitleri içinde kalan eğimler istatistiksel açıdan anlamsız trendleri göstermektedir. Buna göre 1402 numaralı istasyonda Aralık ayında, 1418 numaralı istasyonda Ocak, Nisan ve Kasım aylarında, 1422 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Nisan, Kasım, Aralık ve Yıllık periyotlarda ve 1424 numaralı istasyonda Temmuz ve Ekim aylarında istatistiksel açıdan önemli olmayan eğimler mevcuttur (Tablo 4). Tüm istasyonlar bir birlikte değerlendirildiğinde genel olarak %1 anlamlık seviyesinde azalan AKİ trendlerinin bulunması gittikçe artan kuraklık şiddetlerinin havzada görüldüğünü ifade etmektedir.

**Tablo 4.** YŞY'ne ait istatistiksel sonuçlar

**Table 4.** Statical results of ITA

		Ocak	Şub.	Mart	Nisan	May.	Haz.	Tem.	Ağus.	Eylül	Ekim	Kas.	Ara.	Yıllık
1401	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>0.042</b>	<b>0.008</b>	<b>-0.06</b>	<b>-0.066</b>	<b>-0.035</b>	<b>-0.026</b>	<b>0.076</b>	<b>0.079</b>	<b>0.075</b>	<b>0.063</b>	<b>0.040</b>	<b>0.029</b>	<b>-0.018</b>
	%5	0.005	0.005	0.004	0.0025	0.009	0.003	0.008	0.009	0.011	0.006	0.005	0.006	0.004
	%1	0.006	0.007	0.005	0.0034	0.012	0.004	0.01	0.012	0.014	0.008	0.007	0.008	0.005
	Trend	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
1402	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>0.0055</b>	<b>-0.015</b>	<b>-0.031</b>	<b>-0.037</b>	<b>-0.029</b>	<b>-0.017</b>	<b>0.046</b>	<b>0.059</b>	<b>0.046</b>	<b>0.019</b>	<b>0.007</b>	-0.0003	<b>-0.018</b>
	%5	0.0039	0.006	0.005	0.0076	0.005	0.003	0.006	0.005	0.007	0.004	0.005	0.004	0.004
	%1	0.0051	0.008	0.007	0.010	0.006	0.004	0.008	0.007	0.01	0.006	0.006	0.005	0.006
	Trend	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↔	↓
1413	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>-0.062</b>	<b>-0.052</b>	<b>-0.032</b>	<b>-0.016</b>	<b>-0.018</b>	<b>-0.022</b>	<b>-0.033</b>	<b>-0.051</b>	<b>-0.055</b>	<b>-0.064</b>	<b>-0.068</b>	<b>-0.066</b>	<b>-0.05</b>
	%5	0.005	0.005	0.004	0.006	0.003	0.004	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004	0.004
	%1	0.006	0.007	0.005	0.008	0.004	0.005	0.004	0.006	0.006	0.006	0.006	0.005	0.005
	Trend	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1414	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>-0.07</b>	<b>-0.059</b>	<b>-0.032</b>	<b>-0.022</b>	<b>-0.018</b>	<b>-0.018</b>	<b>-0.045</b>	<b>-0.056</b>	<b>-0.057</b>	<b>-0.072</b>	<b>-0.082</b>	<b>-0.079</b>	<b>-0.065</b>
	%5	0.008	0.008	0.004	0.003	0.005	0.006	0.005	0.006	0.003	0.009	0.007	0.004	0.005
	%1	0.01	0.011	0.005	0.004	0.006	0.008	0.006	0.008	0.004	0.012	0.009	0.006	0.006
	Trend	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1418	$S_{\text{ŞŞY}}$	-0.004	<b>-0.0041</b>	<b>0.011</b>	0.0004	<b>-0.008</b>	<b>-0.016</b>	<b>-0.014</b>	<b>-0.031</b>	<b>-0.033</b>	<b>-0.018</b>	-0.0003	<b>-0.011</b>	<b>-0.007</b>
	%5	0.006	0.0039	0.004	0.0025	0.004	0.004	0.004	0.003	0.004	0.005	0.004	0.004	0.004
	%1	0.007	0.005	0.005	0.0033	0.005	0.005	0.006	0.004	0.005	0.006	0.006	0.006	0.005
	Trend	↔	↓	↑	↔	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↔	↓	↓
1422	$S_{\text{ŞŞY}}$	-0.001	-0.004	-0.005	-0.0009	<b>0.007</b>	<b>-0.012</b>	<b>-0.011</b>	<b>-0.023</b>	<b>-0.027</b>	<b>-0.013</b>	0.0007	-0.001	-0.003
	%5	0.003	0.006	0.004	0.007	0.003	0.006	0.005	0.006	0.006	0.009	0.005	0.004	0.006
	%1	0.004	0.007	0.006	0.009	0.004	0.008	0.006	0.008	0.008	0.012	0.006	0.005	0.008
	Trend	↔	↔	↓	↔	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↔	↔	↔
1424	$S_{\text{ŞŞY}}$	<b>-0.025</b>	<b>-0.034</b>	<b>-0.034</b>	<b>-0.017</b>	<b>-0.011</b>	<b>-0.015</b>	-0.002	<b>-0.0073</b>	<b>0.016</b>	0.002	<b>-0.019</b>	<b>-0.031</b>	<b>-0.029</b>
	%5	0.006	0.007	0.004	0.005	0.002	0.004	0.003	0.007	0.004	0.004	0.005	0.006	0.003
	%1	0.008	0.01	0.005	0.007	0.003	0.006	0.004	0.009	0.005	0.005	0.007	0.008	0.005
	Trend	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↔	↓	↑	↔	↓	↓	↓

Not: Tablo 4'teki koyu renkli değerler %1 önem seviyesinde (%99 güven aralığında) anlamlı trendleri göstermektedir. ↓ işareti azalan trendi, ↑ işareti artan trendi ve ↔ işareti anlamlı trendin olmadığını göstermektedir.

YŞY'ye ait grafiksel sonuçlar değerlendirildiğinde, 1401 numaralı istasyonda Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve yıllık zaman periyodunda istatistiksel açıdan %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri görülürken, diğer zaman

periyotlarında %10 çizgisinin üzerinde artış trendleri tespit edilmiştir (Şekil 6). 1402 numaralı istasyonda Şubat, Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında ve yıllık zaman periyodunda %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri görülürken,

Ocak, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Kasım aylarında %10 çizgisinin üzerinde artan trendler görülmüştür (Şekil 7). 1413 ve 1414 numaralı istasyonda tüm zaman periyotlarında %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri tespit edilmiştir (Şekil 8-9). 1418 numaralı istasyonda Şubat, Mayıs, Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Ekim ve Aralık aylarında ve yıllık zaman periyodunda %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri mevcutken, Mart ayında %10 çizgisinin üzerinde artan trendleri tespit edilmiştir (Şekil 10). 1422 numaralı istasyonda Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri görülürken, Mayıs ayında %10 çizgisinin üzerinde artan trendler meydana gelmiştir (Şekil 11). 1424 numaralı istasyonda Ocak, Şubat, Mart, Nisan, Mayıs, Haziran, Kasım ve Aralık aylarında ve yıllık zaman

periyodunda %10 çizgisinin altında azalan AKİ trendleri görülürken, Eylül ayında %10 çizgisinin üzerinde artan trendler meydana gelmiştir (Şekil 12). Ayrıca diğer zaman periyotlarında önemli trendler tespit edilememiştir.

Kurak ve sulak dönemi ayırmak için kritik kesim seviyesi sıfır değeri olarak alındığında negatif AKİ değerleri kuraklığı ve pozitif AKİ değerleri ise sulaklığı göstermektedir. Bu kriter doğrultusunda YŞY'ye ait grafikler iki farklı döneme ayrılarak trend durumları Tablo 5'te sunulmuştur. 1401 ve 1402 numaralı istasyonlar dışındaki tüm istasyonlarda kurak ve sulak dönemlerde AKİ değerlerinin azalan eğilime sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu durum havzada hidrolojik kuraklıkların giderek arttığını göstermektedir.

**Tablo 5.** AKİ değerlerinin YŞY ile kurak ve sulak dönemlerdeki trendleri  
*Table 5. Trends of SDI values with ITA in dry and wet periods*

	Dönem	Oc.	Şub.	Mart	Nis.	May.	Haz.	Tem.	Ağ.	Ey.	Ek.	Kas.	Ara.	Yıl.
1401	Kurak	↑	↑	-	-	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
	Sulak	↑	↑	↓	↓	↓	↓	↑	-	↓	-	↑	↑	↓
1402	Kurak	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓
	Sulak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	-	↑	↑	↓	↓	↓
1413	Kurak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Sulak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1414	Kurak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Sulak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↔	↓	↓	↓	↓	↓
1418	Kurak	↔	↓	↑	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↔
	Sulak	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
1422	Kurak	↑	↔	↑	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↑	↑
	Sulak	↓	↓	↑	↓	↑	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↔
1424	Kurak	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↔	↔	↓
	Sulak	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↑	↓	↓	↓	↓

Not: ↓ işareti azalan trendi, ↑ işareti artan trendi ve ↔ işareti anlamlı trendin olmadığını göstermektedir.

Gümü, (2017) çalışmasında, Asi Havzasında bulunan AKİ değerleri ile kuraklık analizi yapmıştır. Kuraklık analizine göre havzadaki kurak ve nemli dönemlerin şiddeti, dağılımı ve büyüklüğünü değerlendirmiştir. Sonuç olarak, havzada 2000 ve 2001 yıllarında aşırı kuraklıkların yaşandığı tespit etmiştir. Özfidaner vd. (2018) çalışmalarında, Seyhan Havzasındaki 1801 ve 1818 nolu istasyonlara ait 3, 6, 9,12 aylık AKİ değerleri hesaplanmış ve karşılaştırmışlardır. Çalışmanın sonucunda, kuraklıkların 2000 yılından sonra önem kazandığı tespit etmişlerdir. Yeşilirmak havzasındaki aşırı kuraklıklar incelendiğinde, benzer şekilde 2001 yılında aşırı kuraklıkların meydana geldiği görülmektedir

(Şekil 4). Mevcut literatürde genellikle AKİ ile hidrolojik kuraklık durumu değerlendirilmiştir. Bu çalışmada ise hem hidrolojik kuraklıklar değerlendirilmiş olup hem de kuraklıkların çeşitli metotlar ile eğilimleri tespit edilmiştir. Ayrıca yapılan çalışma Yeşilirmak havzasındaki hidrolojik kuraklık trendlerini gösteren ilk çalışmalardandır.

Yeşilirmak havzasındaki kuraklık eğilimleri mevcut literatür ile karşılaştırıldığında sonuçların büyük ölçüde örtüştüğü görülmektedir. Yılmaz (2019) çalışmasında, Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) bölgesinde hidrolojik kuraklık eğilimlerinin ortaya çıkarılması için MK ve YŞY kullanmıştır.

Hidrolojik kuraklıklar 12 ve 24 aylık standardize yağış indeksi değerlerini kullanarak tespit etmiştir. Çalışmanın sonucunda, GAP bölgesinin merkezinde gelecekte daha şiddetli kuraklıkların görülebileceği vurgulanmıştır. Katipoğlu (2020) Fırat havzasındaki aylık ve yıllık zaman periyotlarında hidrolojik kuraklıkların değişimini belirlemek için SAİ değerleri MK ve Modifiye MK testlerine tabi tutmuştur. Çalışmanın bir sonucu olarak Fırat havzasında yaz ve sonbahar aylarında negatif Z değerlerinin hâkim olması nedeniyle kuraklık şiddetlerinin arttığı sonucuna varmıştır. Elde edilen sonuçlar Fırat havzasına komşu olan Yeşilirmak havzasında AKİ değerlerini MK testi ile elde edilen trend sonuçlarını destekler niteliktedir. Ayrıca yapılan çalışma hidrolojik kuraklık trendlerinin belirlenmesinde çeşitli trend metotlarının karşılaştırması açısından literatüre katkı sağlamaktadır.

Trend analizleri sonucunda havzada kuraklıkların artış eğiliminde olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle kriz yönetimi yaklaşımı yerine kuraklıklara önceden hazırlık ve erken uyarı kademelerinden oluşan risk yönetimi yaklaşımının uygulanması gerekmektedir. Böylece havzada kuraklığa bağlı tarım, ekonomi, sanayi gibi sektörlerde meydana gelebilecek olumsuzluklarda önlenilecektir.

#### 4. Sonuçlar

##### 4. Results

Bu çalışmada Yeşilirmak havzasında bulunan 7 akım gözlem istasyonundaki hidrolojik kuraklıklar Yenilikçi Şen, Mann Kendall ve Thiel Şen yöntemleri ile analizi yapılmıştır. Hidrolojik kuraklıkların belirlenmesinde AKİ değerleri kullanılmıştır. Analizler sonucunda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır;

- Kuraklık trendlerini algılamada YŞY ve MK yöntemi benzer sonuçlar göstermesine rağmen YŞY, kuraklık trendlerini daha hassas olarak tespit etmiştir.
- YŞY’de serisel bağımlılığın giderilmesi gibi herhangi bir ön işlem bulunmaması ile kullanım kolaylığı sağlamaktadır.
- Şen eğim değerleri, Yenilikçi Şen eğimleri ve MK-Z değerleri aylık ve yıllık periyotlarda birbirleri ile büyük ölçüde örtüşmektedir.
- YŞY, trendleri algılamada grafiksel çizimleri kullanması sayesinde verilerdeki trendlerin çeşitli aralıktaki değişimlerinin

yorumlanmasına imkân vermektedir. Bu nedenle AKİ değerlerinin kurak ve sulak dönemlerdeki değişimi görsel olarak yorumlanabilmektedir. Bu açıdan YŞY’nin MK yönteminden üstün olduğu söylenebilir. Bu durum literatürde yer alan ve giriş kısmında verilen çalışmalarda elde edilen sonuçları doğrulamaktadır. Ancak bu çalışma Yeşilirmak Havzası için YŞY’nin MK yönteminden üstünlüğünü ortaya koymuştur.

- YŞY ve MK yöntemine göre 1401 numaralı istasyonda yaz ve sonbahar aylarında kuraklık şiddetinde anlamlı azalış gözlemlenirken, diğer zaman periyotlarında artış eğilimi hakimdir.
- YŞY’ye göre 1402 numaralı istasyonda yaz ve sonbahar aylarında kuraklık şiddetinde anlamlı azalış gözlemlenirken, diğer zaman periyotlarında artış eğilimi hakimdir. MK yöntemine göre 1402 numaralı istasyonda yaz ve sonbahar aylarında kuraklık şiddetinde anlamlı azalış gözlemlenirken, diğer zaman periyotlarında genel olarak anlamlı trend bulunmamaktadır.
- YŞY ve MK yöntemine göre 1413 ve 1414 numaralı istasyonlarda genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı artan kuraklık trendleri gözlenmiştir.
- YŞY’ye göre 1418, 1422 ve 1424 numaralı istasyonlarda genel olarak istatistiksel açıdan anlamlı artan kuraklık trendleri tespit edilmiştir. MK yöntemine göre ise genel olarak anlamlı trend bulunmamaktadır.
- Kuraklık açısından artan şiddetlerin hâkim olduğu istasyonlar başta olmak üzere havzanın kuraklık açısından risk yönetiminin etkili bir plan çerçevesinde yapılması önerilmektedir

#### Teşekkür

##### Acknowledgement

Bu çalışma kapsamında kullanılan aylık akım verileri temin eden Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederiz.

#### Yazar katkısı

##### Author contribution

Bu makalenin yazarları çalışmanın planlanması, gerekli hesaplama ve diğer işlemlerin yapılması, yorumlanması ve makalenin hazırlanması aşamalarına birlikte katkı sağlamışlardır.

**Etik beyanı***Declaration of ethical code*

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

**Çıkar çatışması beyanı***Conflicts of interest*

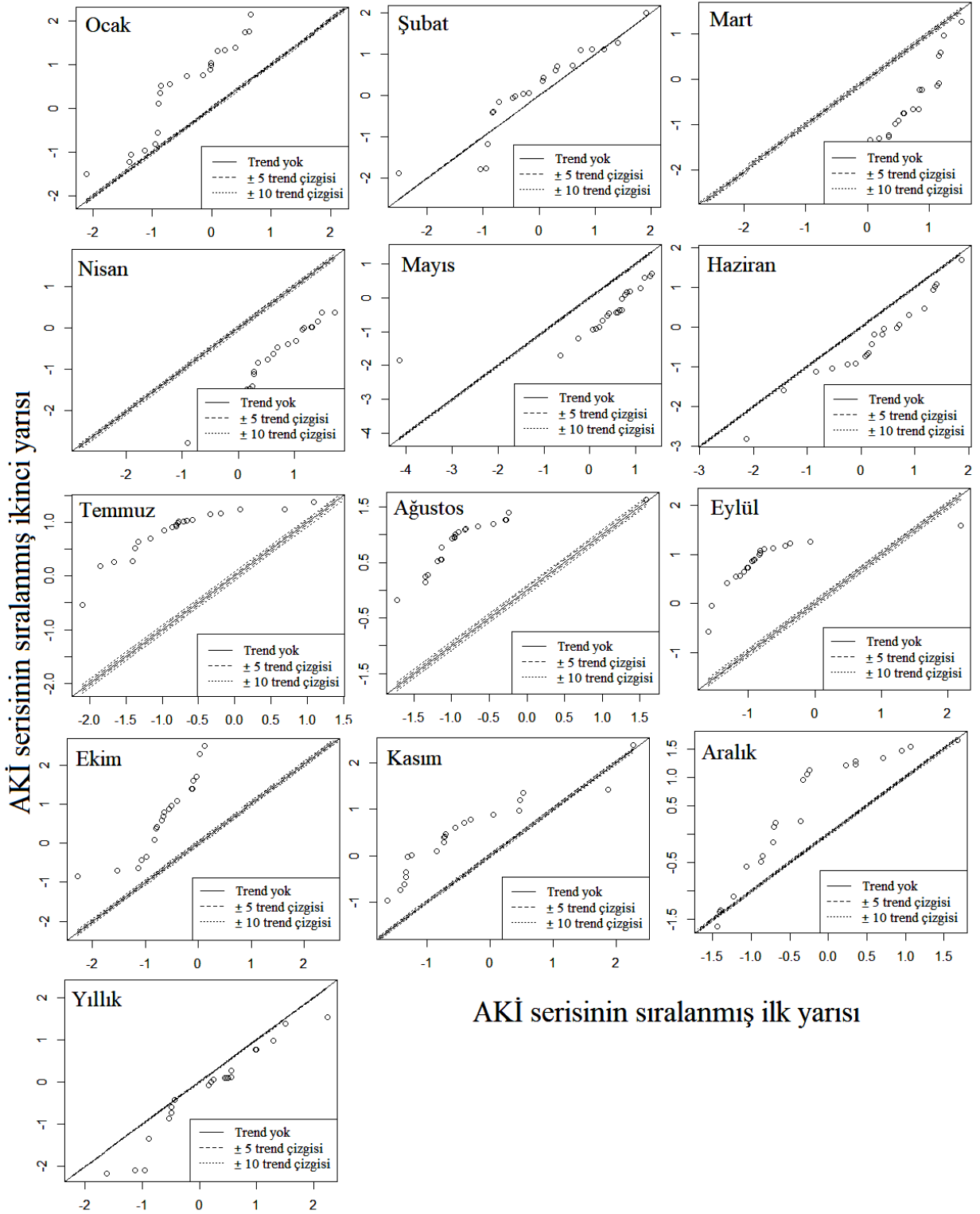
Yazarlar herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

**Kaynaklar***References*

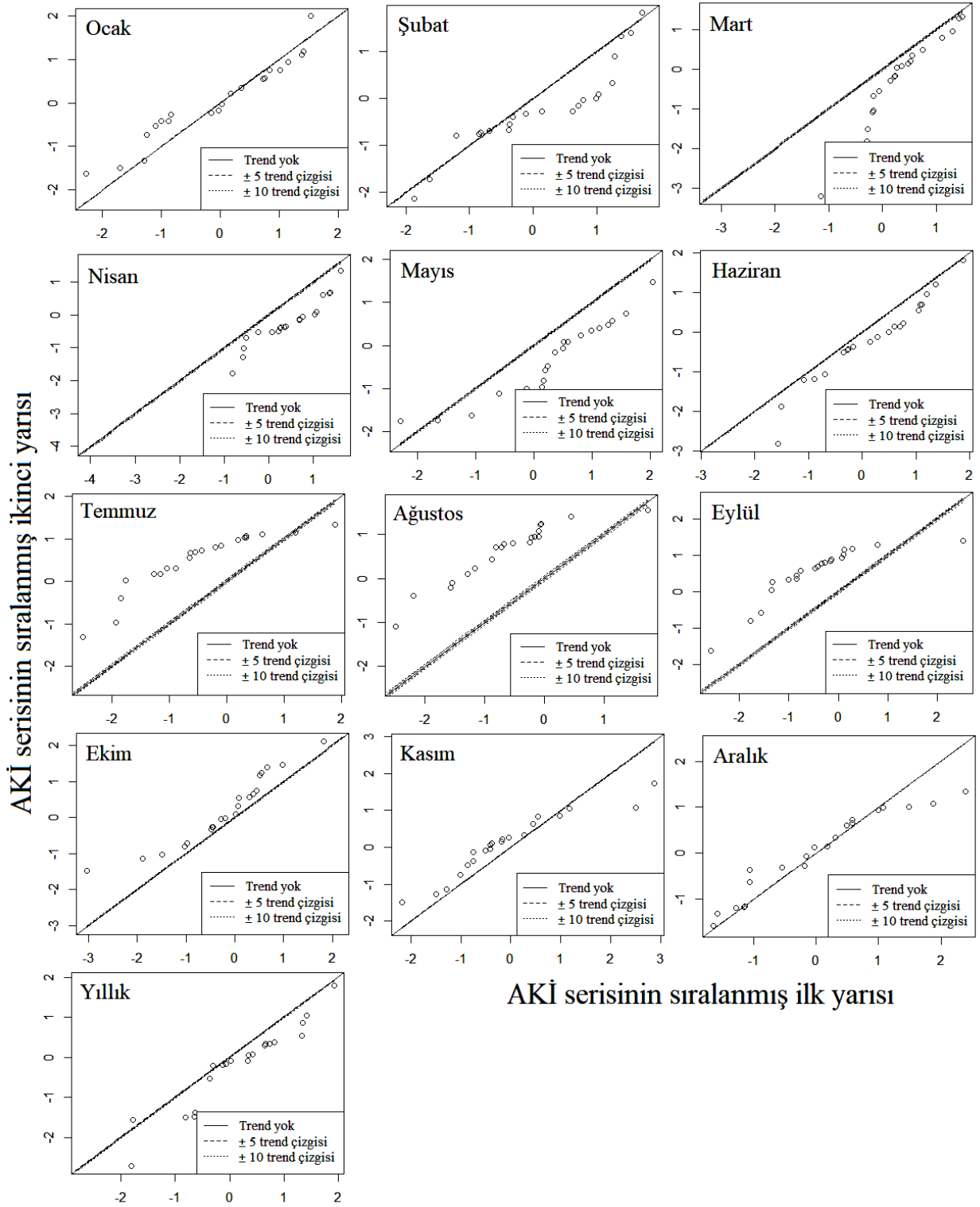
- Ahmed, M. O., & Ogedengbe, K. (2021). Trend analysis of evaporation and solar radiation using innovative trend analysis method. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 13(2), 1030-1055. <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v13i2.22>
- Alifujiang, Y., Abuduwaili, J., Maihemuti, B., Emin, B., & Groll, M. (2020). Innovative trend analysis of precipitation in the Lake Issyk-Kul Basin, Kyrgyzstan. *Atmosphere*, 11(4), 332. <https://doi.org/10.3390/atmos11040332>.
- Berkün, M., Aras, E., & Koç, T. (2008). Barajların ve hidroelektrik santrallerin nehir ekolojisi üzerinde oluşturduğu etkiler. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 45(2): 41-48
- Boustani, A., & Ulke, A. (2020). Investigation of meteorological drought indices for environmental assessment of Yesilirmak Region. *Journal of Environmental Treatment Techniques*, 8(1), 374-81
- Caloiero, T., Coscarelli, R., & Ferrari, E. (2018). Application of the innovative trend analysis method for the trend analysis of rainfall anomalies in southern Italy. *Water Resources Management*, 32(15), 4971-4983, doi: 10.1007/s11269-018-2117-z
- Charbeneau, R. J. (1978). Comparison of the two and three parameter log normal distributions used in streamflow synthesis. *Water Resources Research*, 14(1), 149-150. <https://doi.org/10.1029/WR014i001p00149>.
- Doğan, E., Çeribaşı, G., & Akkaya, U. (2016). Barajların nehir akımı rejimine olan etkilerinin trend analizi yöntemi ile araştırılması: Sakarya Nehri örneği. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6(1), 50-55, doi: 10.7212/zkufbd.v6i1.223
- Esmailpour, M., Ghasemi, A. R., Khoramabadi, F., & Rashedi, S. (2021). Spatiotemporal variability of trend in extreme precipitations using fuzzy clustering over Northwest Iran. *Earth Science Informatics*, 14(4), 2123-2132. <https://doi.org/10.1007/s12145-021-00680-9>
- Fischer, T., Gemmer, M., Su, B., & Scholten, T. (2013). Hydrological long-term dry and wet periods in the Xijiang River basin, South China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(1), 135-148. <https://doi.org/10.5194/hess-17-135-2013>, 2013.
- 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. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04897-1>
- Gümüş, V., Dinsever, L. D., & Şimşek, O. (2021). Diyarbakır İstasyonunda 1929–2016 Boyunca Tarihsel Kuraklığın Yenilikçi Şen Yöntemi ile Trend Analizi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 362-373. <https://doi.org/10.21324/dacd.884682>
- Gümüş, V., Yıldız, M. S., & Şimşek, O. (2018). Hidrolojik Kuraklık Değerlendirmesi: Murat Nehri-Palu Örneği. *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 3(3), 297-301
- Harms, A. A., & Campbell, T. H. (1967). An extension to the Thomas Fiering Model for the sequential generation of streamflow. *Water Resources Research*, 3(3), 653-661. <https://doi.org/10.1029/WR003i003p00653>
- Hong, X., Guo, S., Zhou, Y., & Xiong, L. (2014). Uncertainties in Assessing Hydrological Drought Using Streamflow Drought Index for The Upper Yangtze River Basin. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1235–1247. <https://doi.org/10.1007/s00477-014-0949-5>
- Jahangir, M. H., & Yarahmadi, Y. (2020). Hydrological drought analyzing and monitoring by using Streamflow Drought Index (SDI) (case study: Lorestan, Iran). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(3), 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12517-020-5059-8>
- Katipoğlu, O. M., & Acar, R. (2021). Fırat Havzası'ndaki Meteorolojik ve Hidrolojik Kuraklık Haritalarının Çeşitli Enterpolasyon Metotları ile Belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 7(2), 298-317. <https://doi.org/10.21324/dacd.853893>
- Kurunc, A., Yurekli, K., & Cevik, O. (2005). Performance of two stochastic approaches for forecasting water quality and streamflow data from Yeşilirmak River, Turkey. *Environmental Modelling & Software*, 20(9), 1195-1200. doi:10.1016/j.envsoft.2004.11.001
- Li, J., Zhou, Q., & Yeh, W. W. G. (2020). A Bayesian hierarchical model for estimating the statistical

- parameters in a three-parameter log-normal distribution for monthly average streamflows. *Journal of Hydrology*, 591, 125265. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125265>
- Malik, A., Kumar, A., Pham, Q. B., Zhu, S., Linh, N. T. T., & Tri, D. Q. (2020). Identification of EDI trend using Mann-Kendall and Şen-innovative trend methods (Uttarakhand, India). *Arabian Journal of Geosciences*, 13(18), 1-15, [10.1007/s12517-020-05926-2](https://doi.org/10.1007/s12517-020-05926-2)
- Myronidis, D., Ioannou, K., Fotakis, D., & Dörflinger, G. (2018). Streamflow and hydrological drought trend analysis and forecasting in Cyprus. *Water Resources Management*, 32(5), 1759-1776. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1902-z>
- Nalbantis, I. (2008). Evaluation of a hydrological drought index. *European Water*, 23(24), 67-77
- Özfidaner, M., Şapolyo, D., & Topaloğlu, F. (2018). Seyhan havzası akım verilerinin hidrolojik kuraklık analizi. *Toprak Su Dergisi*, 7(1), 57-64
- Partal, T., & Yavuz, E. (2020). Batı Karadeniz Bölgesinde Kuraklık İndisleri Üzerine Trend Analizi Uygulanması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 345-353. <https://doi.org/10.21324/dacd.643161>
- Pathak A. A., Channaveerappa., & Dodamani B. M. (2016) Comparison of two hydrological drought indices. *Perspectives in science*, 8(Supplement C):626-628. <https://doi.org/10.1016/j.pisc.2016.06.039>
- Şen Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology, *Journal of Hydrologic Engineering*, 17, 1042-1046. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556)
- Şen, Z. (2017). Innovative trend significance test and applications. *Theoretical and applied climatology*, 127(3-4), 939-947, doi: [10.1007/s00704-015-1681-x](https://doi.org/10.1007/s00704-015-1681-x)
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. (2012) Drought and climatic change impact on streamflow in small watersheds. *Science of the Total Environment*, 440:33-41. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.08.035>
- Tigkas, D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. (2015). DrinC: a software for drought analysis based on drought indices. *Earth Science Informatics*, 8(3), 697-709. <https://doi.org/10.1007/s12145-014-0178-y>
- Tosunoglu, F. & Kisi, O. (2017). Trend Analysis of Maximum Hydrologic Drought Variables Using Mann-Kendall and Şen's Innovative Trend Method. *River Research and Applications*, 33: 597- 610. <https://doi.org/10.1002/rra.3106>
- Gümüş, V. (2017). Akım Kuraklık İndeksi ile Asi Havzasının Hidrolojik Kuraklık Analizi. *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 5 (1), 65-73. <https://dergipark.org.tr/en/pub/gujsc/issue/28467/303415>.
- Yeh, C. F., Wang, J., Yeh, H. F., & Lee, C. H. (2015). SDI and Markov chains for regional drought characteristics. *Sustainability*, 7(8), 10789-10808. <https://doi.org/10.3390/su70810789>
- Yıldız, M. S. (2019). Akım kuraklık indeksi yöntemi ile fırat havzasının hidrolojik kuraklık analizi [Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü]
- Yılmaz, M. U., Özgür, E., & Koçak, K. (2016). Monthly Streamflow Prediction of Yesilirmak Basin by Using Chaotic Approach. *International Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 9(2), 18-22
- Yılmaz, B. (2019). Analysis of hydrological drought trends in the gap region (southeastern Turkey) by Mann-Kendall test and innovative sen method. *Applied Ecology and Environmental Research*, 17(2), 3325-3342, doi: [10.15666/aeer/1702\\_33253342](https://doi.org/10.15666/aeer/1702_33253342)
- Yue, Sh., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002) The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrological Processes*, 16(9):1807-1829. <https://doi.org/10.1002/hyp.1095>
- Zhang, Q., Li, J., Singh, V. P., & Bai, Y. (2012) SPI-based evaluation of drought events in Xinjiang, China. *Natural Hazards*, 64:481-492. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0251-0>

## Ekler

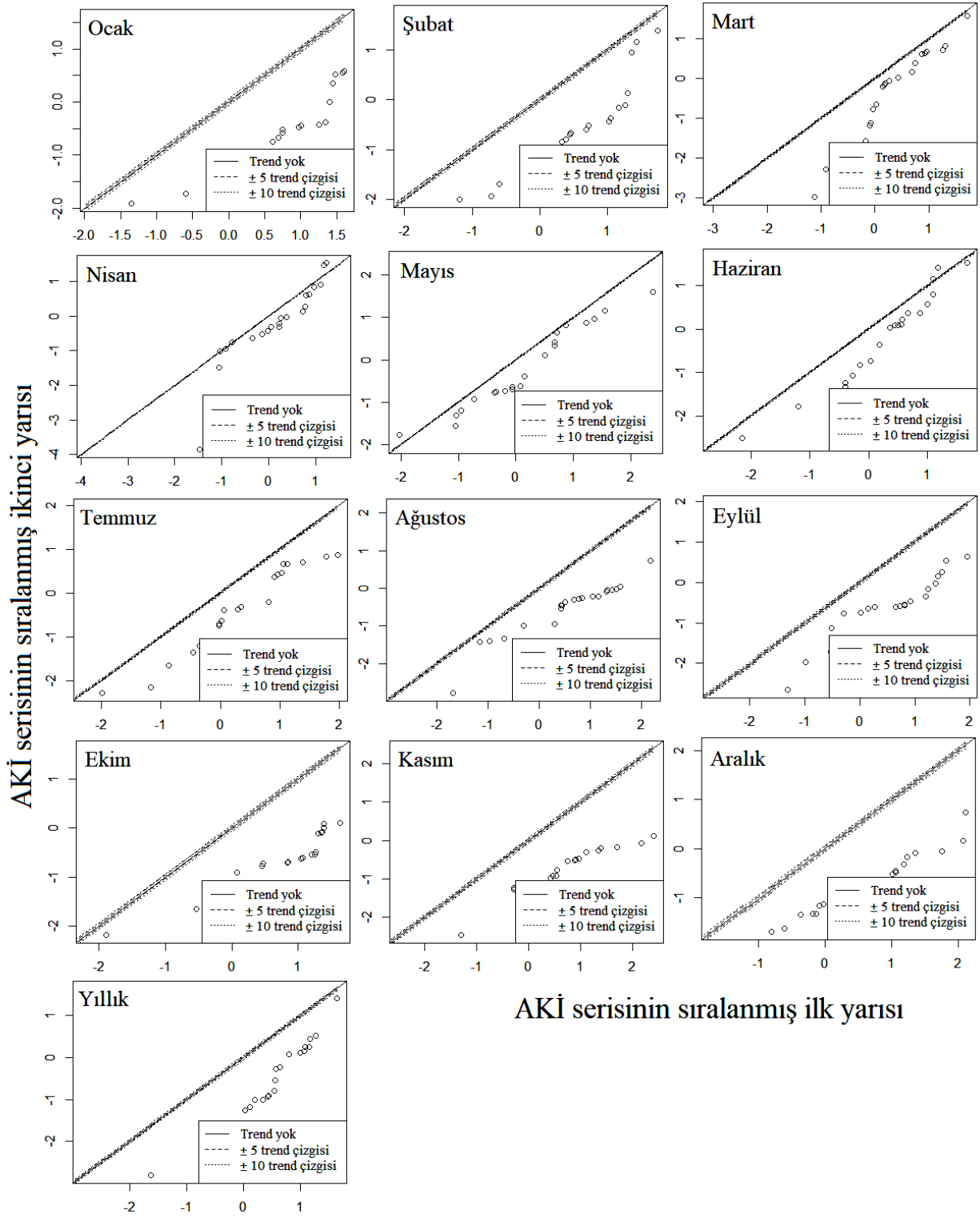


Şekil 6. 1401 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi

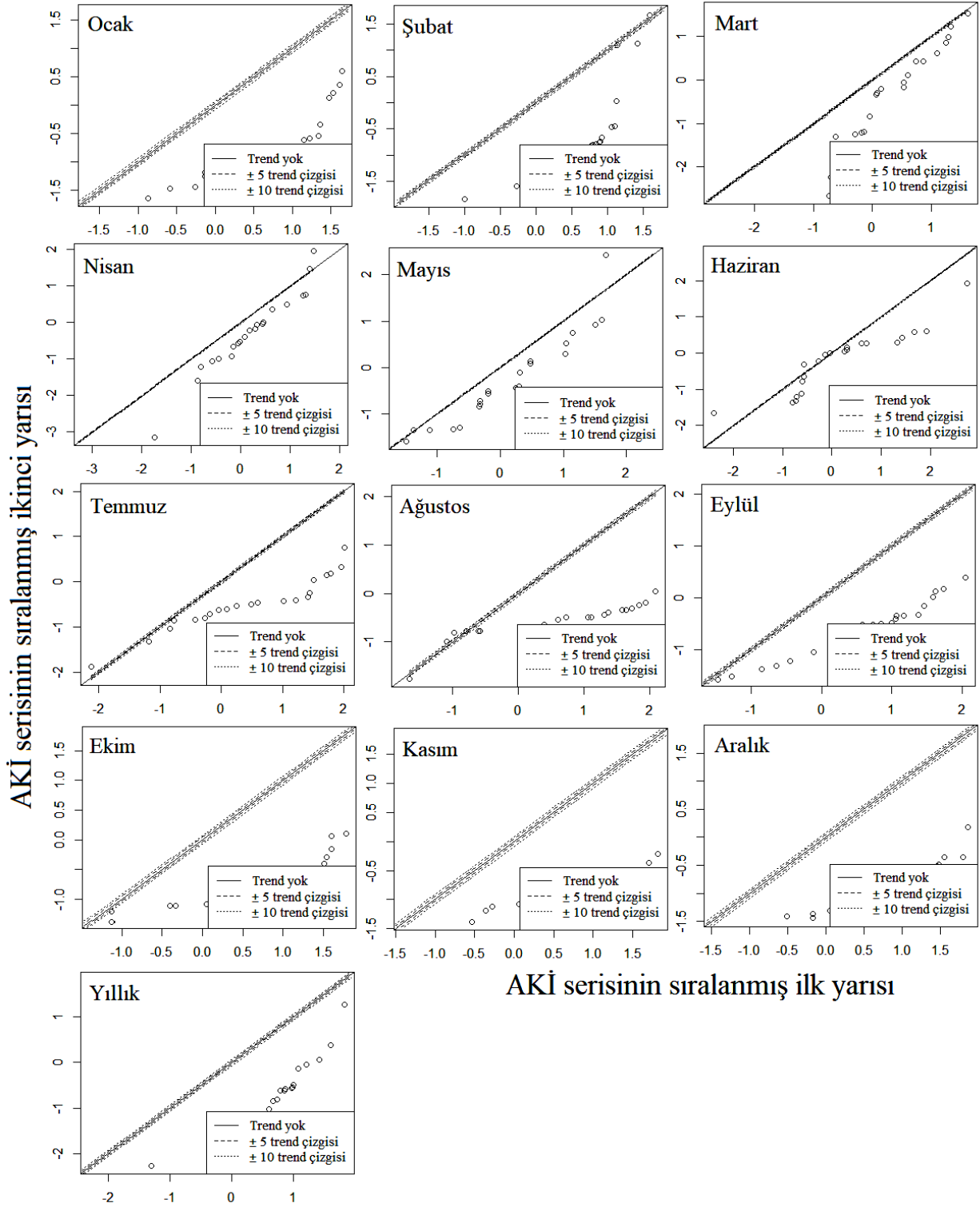


Şekil 7. 1402 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi

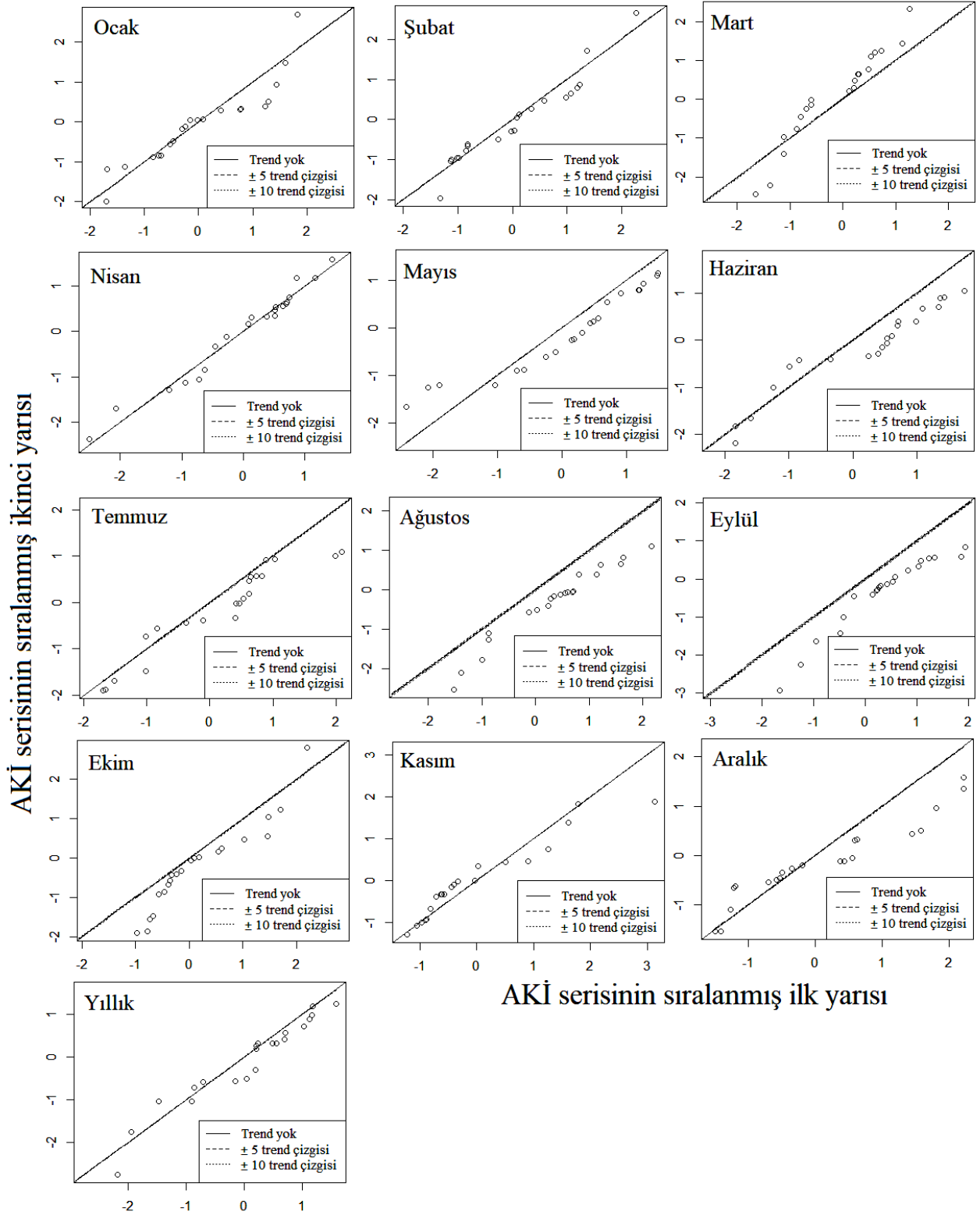




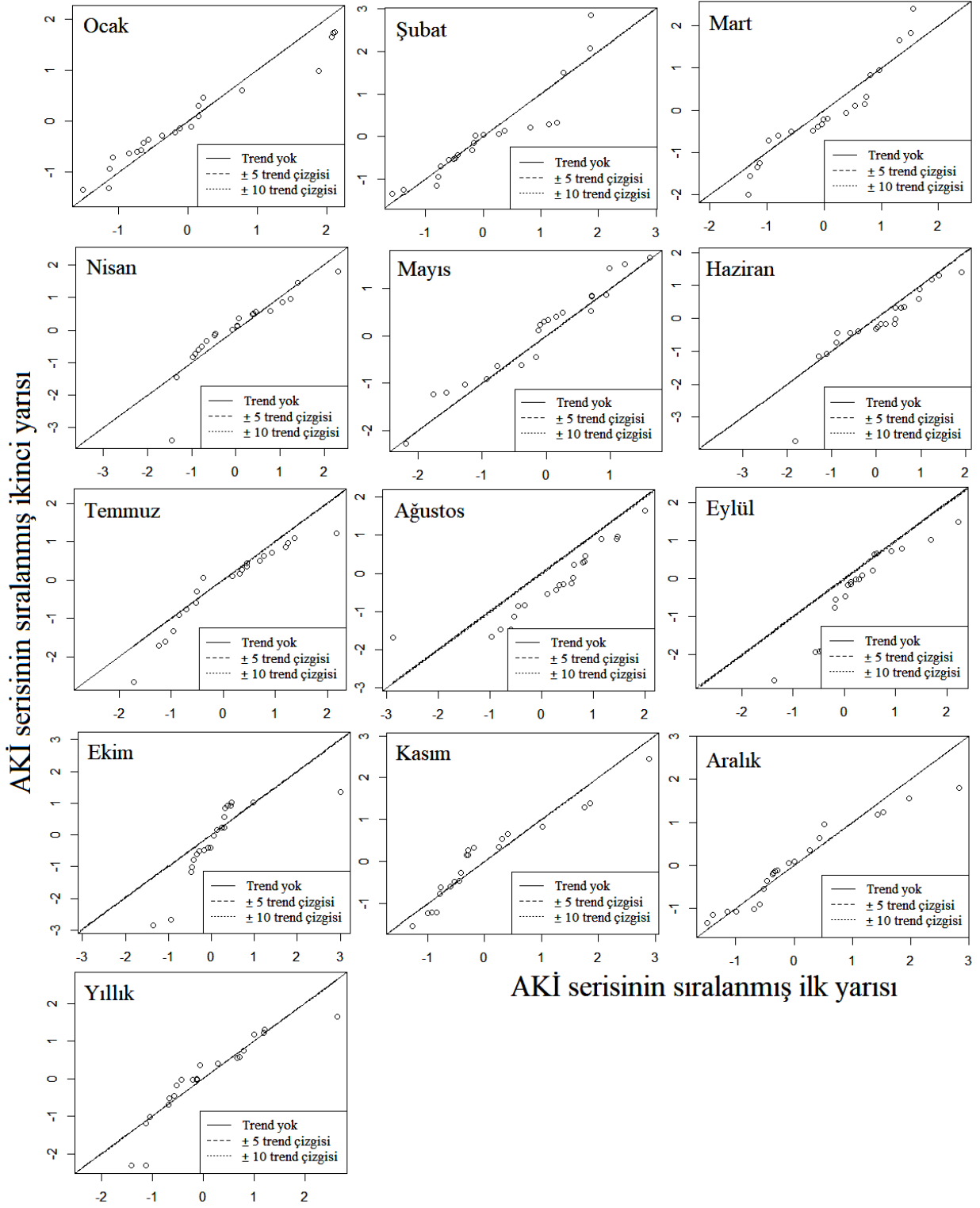
Şekil 8. 1413 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



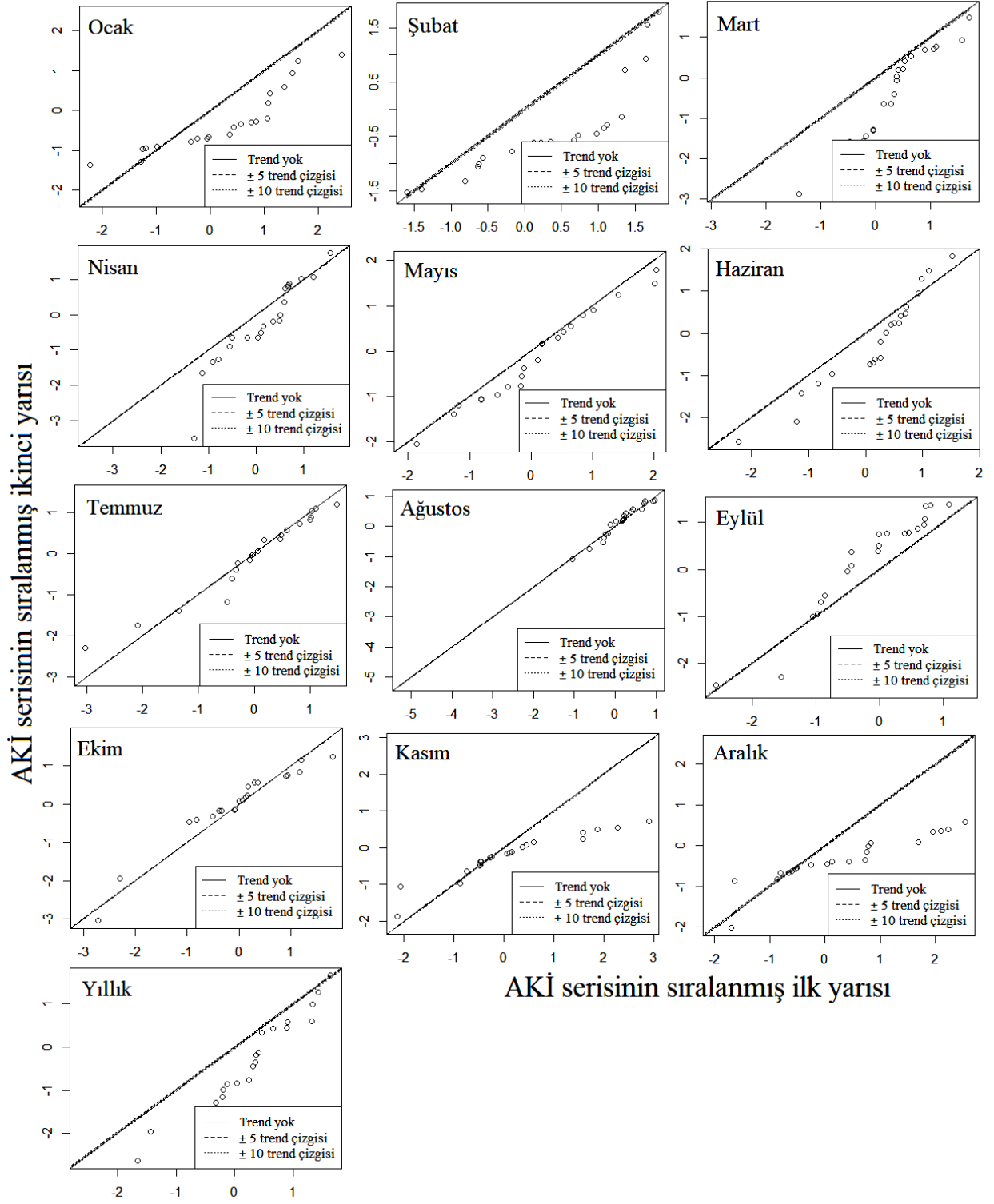
Şekil 9. 1414 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



Şekil 10. 1418 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



Şekil 11. 1422 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi



Şekil 12. 1424 akım gözlem istasyonuna ait AKİ değerlerinin YŞY ile trend analizi