KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi, 29(3), 2026
Araştırma Makalesi

KSU J Eng Sci, 29(3), 2026
Research Article

Kahramanmaras Sutcu Imam University
Journal of Engineering Sciences

Geliş Tarihi : 27.03.2026
Kabul Tarihi : 03.06.2026

Received Date : 27.03.2026
Accepted Date : 03.06.2026

TREND ANALİZİ YÖNTEMLERİ KULLANILARAK TÜRKİYE'NİN DOĞU ANADOLU BÖLGESİ'NDEKİ YAĞIŞ VERİLERİNİN ANALİZİ

ANALYSIS OF RAINFALL DATA IN THE EASTERN ANATOLIA REGION OF TÜRKIYE USING TREND ANALYSIS METHODS

Rojhat ERGÜVEN[1*] (ORCID: 0000-0003-0250-1565)
Alp Buğra AYDIN[1] (ORCID: 0000-0001-5267-1429)

[1] Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Teknolojileri Bölümü, Elâzığ, Türkiye

*Sorumlu Yazar / Corresponding Author: Rojhat ERGÜVEN, rojhaterguven@gmail.com

ÖZET

Yağış, iklim değişikliğinin en önemli göstergelerinden biridir ve su kaynakları, tarım ve afet risk yönetimi üzerinde doğrudan etkiler yaratmaktadır. Bu çalışma, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki uzun dönemli yağış eğilimlerini Mann–Kendall (MK) testi, Şen'in Yenilikçi Trend Analizi (Şen-ITA) ve Yenilikçi Poligon Trend Analizi (IPTA) yöntemlerini kullanarak incelemektedir. Çalışmada 14 ile ait yaklaşık 60 yıllık aylık toplam yağış verileri analiz edilerek değişimler belirlenmiştir. MK testi yalnızca sınırlı sayıda anlamlı değişim tespit ederken, ITA ve özellikle IPTA yöntemleri daha ayrıntılı eğilim belirlemiştir. Sonuçlar, kış aylarında yağışlarda belirgin bir azalma olduğunu göstermiştir. Bu durum, kar örtüsünde azalma, su kaynakları üzerinde baskı ve kuraklık riskinde artış gibi olası etkilerle ilişkilendirilebilir. Buna karşılık yaz aylarında yağışlarda önemli artışlar gözlenmiş olup, bu durum sel ve erozyon riskinin artabileceğini göstermektedir. IPTA analizi ayrıca aylık ölçekte sık trend geçişlerinin meydana geldiğini ortaya koyarak bölgedeki iklimsel istikrarsızlığı vurgulamıştır. Bununla birlikte ortalama değerlerde artış görülmesine rağmen aşırı değerlerde azalma eğilimi belirlenmiştir. Genel olarak Doğu Anadolu Bölgesi'nin kış kuraklıkları ile yaz taşkınları arasında ikili bir risk yapısı ile karşı karşıya olduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen bulgular, bölgesel iklim değerlendirmelerinde IPTA yönteminin önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Doğu Anadolu, yağış, mann–kendall, sen-ıta, ıpta

ABSTRACT

Precipitation is one of the most important indicators of climate change and has a direct impact on water resources, agriculture and disaster risk management. This study examines long-term precipitation trends in Turkey's Eastern Anatolia Region using the Mann–Kendall (MK) test, Şen's Innovative Trend Analysis (Şen-ITA) and the Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) methods. The study analysed approximately 60 years of monthly precipitation data for 14 provinces to identify changes. Whilst the MK test detected only a limited number of significant changes, the ITA, and particularly the IPTA methods identified more detailed trends. The results indicate a marked decrease in precipitation during the winter months. This points to consequences such as a reduction in snow cover, water scarcity and an increased risk of drought. Conversely, significant increases in precipitation were observed during the summer months, suggesting that the risk of flooding and erosion may rise. The IPTA analysis also highlighted the climatic instability in the region by revealing frequent trend shifts on a monthly scale. Furthermore, whilst an increase in average values was observed, a decreasing trend in extreme values was identified. Overall, it is understood that the Eastern Anatolia Region faces a dual risk structure characterised by winter droughts and summer floods. The findings demonstrate that the IPTA method is an important tool in regional climate assessments.

Keywords: Eastern Anatolia, precipitation, mann–kendall, sen-ita, ipta

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).

GİRİŞ

İklim, bir bölgedeki hava koşullarının uzun dönemli ortalaması olarak tanımlanır ve küresel iklim değişikliği bu ortalamalarda önemli dalgalanmalara neden olmaktadır. Yarı kurak ve karasal bölgelerde yağış rejimlerinde meydana gelen değişimler; tarımsal üretimi, içme ve sulama suyu kaynaklarını ve hidroelektrik enerji üretimini doğrudan etkilemektedir. Yüksek rakımı, sert kış koşulları ve akarsu rejiminin büyük ölçüde kar erimesine bağlı olması nedeniyle Doğu Anadolu Bölgesi, Türkiye'nin iklim değişikliğine en duyarlı bölgelerinden biridir. Bu nedenle uzun dönemli yağış eğilimlerinin araştırılması, bölgesel su yönetimi ve afet risklerinin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Küresel ve yerel ölçekte iklim değişikliğinin hız kazanması, bu alandaki çalışmaların sayısını her geçen gün artırmaktadır. Bu çalışmalar, seçilen bir bölgedeki geçmiş hidro-meteorolojik verileri kullanarak gelecekte oluşabilecek aşırı hava olaylarını, taşkınları, kuraklıkları ve hidro-meteorolojik verilerdeki eğilimleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Havzaya ait hidro-meteorolojik verilerin eğilim durumunu belirlemek için genellikle trend analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Mann–Kendall testi, Normallik Testi, En Küçük Kareler Yöntemi, Sen'in T Testi, Sen-ITA (Sen'in Yenilikçi Trend Analizi) ve IPTA (Yenilikçi Poligon Trend Analizi) bu yöntemlere örnek olarak verilebilir. Bu yöntemler sıcaklık, nem, akım, yağış ve buharlaşma gibi hidro-meteorolojik verilere uygulanabilmektedir (Yue et al., 2022; Gümüş, 2006; Dabanlı, 2017; Şen et al., 2019).

Yükseler (2019), Bingöl Göynük Çayı ve Havzası'nda; Alashan ve ark. (2020), Bingöl ili sınırları içinde; Dabanlı (2017), Akarçay Havzası'nda; Yıldırım (2017), Orta Fırat Havzası'nda; Caloiero ve ark. (2019), İtalya'nın güneyinde yer alan Calabria bölgesinde; El-Hagrsy ve ark. (2018), Mısır'da; Yue ve ark. (2001), Kanada'da; Chinchorkar ve ark. (2013), Hindistan'ın Anand bölgesinde ve Karmeshu (2012), ABD'deki çeşitli bölgelerde Spearman's Rho, doğrusal regresyon ve yenilikçi yönelim analizi gibi trend analiz yöntemlerini kullanarak çalışmalar gerçekleştirmiştir.

Ceribaşı ve ark. (2021) Susurluk Havzası'nda; Ahmed ve ark. (2022) Pakistan'daki Hindukuş–Karakurum–Himalaya (HKH) bölgesinde; Singing ve ark. (2021) Vietnam'da; Achite ve ark. (2021) ise Cezayir'de yeni geliştirilen IPTA yöntemini kullanarak hem bölgelerindeki trendleri belirlemiş hem de IPTA yöntemini diğer yöntemlerle karşılaştırmıştır.

Acar ve ark. (2022) tarafından yapılan çalışmada, 1969–2020 yılları arasındaki iklim eğilimleri incelenmiş ve dokuz tarımsal istasyonda aylık toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri klasik ve yenilikçi yöntemlerle analiz edilmiştir. Mann–Kendall testine göre aylık yağış verilerinin büyük çoğunluğunda anlamlı bir trend tespit edilmezken, Yenilikçi Trend Anlamlılık Testi (ITST) ve Yenilikçi Poligon Trend Analizi (IPTA) yöntemleri mevsimsel değişimleri ortaya koymuştur.

Köyceğiz ve ark. (2024), 1971–2020 yılları arasında Konya Kapalı Havzası'nda (KCB) on bir istasyona ait yağış verilerini kullanarak mevsimsel yağış trendlerini incelemiştir. Sen-ITA, CWTSD, IPTA ve TPSC olmak üzere dört farklı trend analiz yönteminin uygulandığı araştırmada, kış ve yaz yağışlarında artış, ilkbahar yağışlarında ise azalma eğilimi tespit edilmiştir. Sonbahar eğilimleri ise kullanılan yönteme bağlı olarak hem artış hem de azalış göstermiştir. Mevsimsel geçişler incelendiğinde, kış–ilkbahar döneminde artan trendden azalan trende geçiş, ilkbahar–yaz döneminde ise bunun ters yönünde bir değişim gözlenmiştir. Bu bulgular, yağış değişkenliğinin karmaşık yapısını ortaya koymakta ve su kaynaklarının sınırlı olduğu tarımsal bölgelerde gelişmiş iklim trend analizlerinin önemini vurgulamaktadır.

Gupta ve ark. (2023), 1970–2018 yılları arasında Güney Hindistan'daki dört büyük nehir havzasında (Cauvery, Godavari, Krishna ve Mahanadi) yer alan 40 havzada aylık akım trendlerini incelemiştir. Yenilikçi Poligon Trend Analizi (IPTA) kullanılarak yapılan araştırmada, havzalar arasında sistematik olmayan mevsimsel akım değişimleri tespit edilmiştir. Cauvery havzası en düzensiz eğilimleri gösterirken, Godavari havzasında yaygın azalma eğilimleri gözlenmiştir. Akım standart sapmasında artan eğilimler baskın olurken, ortalama akım değerlerinde azalan eğilimler daha yaygın bulunmuştur. Mahanadi havzasında ise diğer havzalara kıyasla daha fazla sayıda havzada artan eğilim belirlenmiş ve bu durum iklim kaynaklı değişkenliğin ve gelişmiş su yönetimi stratejilerinin gerekliliğini ortaya koymuştur.

Mrad, Djebbar ve Hammar (2018), Cezayir'in kuzeydoğu bölgesinde yağış trendlerini Mann–Kendall testi kullanarak analiz etmiştir. Çalışma, yağış eğilimlerinin mekânsal olarak homojen olmayan bir dağılım gösterdiğini; bazı istasyonlarda hafif azalışlar, bazılarında ise küçük artışlar bulunduğunu ortaya koymuştur. Genel olarak uzun dönemli yağış değişimlerinin çoğunlukla anlamsız olduğu belirlenmiş ve bu durum bölgesel farklılıklar içeren ancak genel olarak görece istikrarlı bir yağış rejimine işaret etmiştir.

Konin ve ark. (2022) ise Fildişi Sahili'ndeki Agnéby Havzası'nda yağış trendlerinin taşkınlar üzerindeki etkisini incelemiştir. Mann–Kendall testi ve Şen eğim yöntemi uygulanarak yapılan analizlerde, ana yağışlı sezonda artan yağış eğilimleri tespit edilmiş ve bunun taşkınların sıklığını ve büyüklüğünü artırdığı belirlenmiştir. Çalışma, tropikal havzalarda pozitif yağış trendleri ile taşkın riskinin artışı arasındaki güçlü ilişkiyi vurgulamaktadır.

Son yıllarda hidro-meteorolojik zaman serilerindeki eğilimlerin belirlenmesinde klasik parametrik olmayan yöntemlerin yanı sıra yenilikçi grafiksel trend analiz yöntemlerinin kullanımı da önemli ölçüde artmıştır. Özellikle Şen-ITA, IPTA ve IV-ITA yöntemleri; düşük, orta ve yüksek değer gruplarındaki değişimleri ayrı ayrı değerlendirebilmesi nedeniyle hidrolojik ve klimatolojik çalışmalarda yaygın şekilde uygulanmaktadır.

Touhedi ve ark. (2023), Türkiye genelindeki maksimum yağış serilerini Mann–Kendall (MK), ITA ve IV-ITA yöntemleri ile analiz etmiş ve grafiksel yenilikçi yöntemlerin klasik MK testine kıyasla daha yüksek trend belirleme hassasiyetine sahip olduğunu belirtmiştir. Çalışmada özellikle orta ve yüksek yağış kategorilerindeki değişimlerin IV-ITA yöntemi ile daha ayrıntılı biçimde belirlenebildiği ifade edilmiştir.

Körük ve ark. (2023), Kuzeybatı Türkiye'de yer alan Susurluk Havzası'nda aylık yağış verilerini IPTA ve IV-ITA yöntemleri kullanarak incelemiş ve IPTA yönteminin MK testine göre çok daha fazla sayıda trend geçişini ortaya koyduğunu göstermiştir. Araştırmacılar özellikle ilkbahar dönemindeki yağış artışlarının taşkın riskini artırabileceğini, kurak dönemlerdeki yağış azalışlarının ise tarımsal su kullanımı üzerinde baskı oluşturabileceğini belirtmiştir. Bununla birlikte bu etkilerin doğrudan kesin sonuçlar yerine olası hidrolojik etkiler kapsamında değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Acar ve ark. (2022), IPTA ve Yenilikçi Trend Anlamlılık Testi (ITST) yöntemlerini kullanarak tarımsal meteoroloji istasyonlarında mevsimsel yağış değişimlerini incelemiş ve klasik yöntemlerle belirlenemeyen eğilimlerin grafiksel yöntemlerle daha ayrıntılı şekilde ortaya konulabildiğini göstermiştir. Benzer şekilde Köyceğiz ve ark. (2024), Konya Kapalı Havzası'nda gerçekleştirdikleri çalışmada Sen-ITA, IPTA, CWTSD ve TPSC yöntemlerini karşılaştırmış ve özellikle mevsimsel geçiş dönemlerinde karmaşık trend davranışlarının ortaya çıktığını belirtmiştir.

Gupta ve ark. (2023), Güney Hindistan'daki büyük nehir havzalarında IPTA yöntemini kullanarak akım değişkenliğini incelemiş ve standart sapma eğilimlerinin ortalama değerlere kıyasla daha belirgin değişimler gösterebildiğini ifade etmiştir. Ahmed ve ark. (2022), Achite ve ark. (2021), Ceribaşı ve ark. (2021) ve Singh ve ark. (2021) ise IPTA yönteminin farklı hidro-klimatik bölgelerde başarılı şekilde uygulanabildiğini ve özellikle karmaşık hidro-meteorolojik değişkenliğin yorumlanmasında önemli avantajlar sağladığını belirtmiştir.

Mrad ve ark. (2018) ile Konin ve ark. (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ise yağış trendlerinin mekânsal olarak heterojen davranışlar gösterebildiğini ortaya koymuştur. Bu çalışmalar, bazı bölgelerde artan yağış eğilimlerinin taşkın riskini artırabileceğini, bazı bölgelerde ise azalan yağış eğilimlerinin kuraklık baskısını güçlendirebileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte, bu gelişmelere rağmen Doğu Anadolu Bölgesi'nin tamamında yaklaşık 60 yıllık uzun dönemli yağış verilerini kullanarak IPTA yöntemini uygulayan kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Önceki çalışmalar genellikle bireysel havzalara veya sınırlı sayıdaki istasyonlara odaklanmıştır.

Bu çalışmanın temel yeniliği, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan 14 meteoroloji istasyonuna ait yaklaşık 60 yıllık aylık toplam yağış serilerinin bölgesel ölçekte Mann–Kendall, Şen-ITA ve IPTA yöntemleri birlikte kullanılarak değerlendirilmesidir. Önceki çalışmalar çoğunlukla belirli havzalar veya sınırlı sayıdaki istasyonlar üzerinde yoğunlaşırken, bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nin tamamını temsil eden uzun dönemli bir veri seti kullanılmıştır.

Çalışmada yalnızca monoton trendlerin belirlenmesiyle yetinilmemiş, aynı zamanda aylık trend geçişleri, poligon geometrileri, trend uzunlukları, eğim değişimleri ve standart sapma davranışları birlikte değerlendirilmiştir. Böylece hidro-meteorolojik değişkenliğin yalnızca yönü değil, zamansal geçiş karakteristikleri ve değişkenlik yapısı da ayrıntılı olarak ortaya konulmuştur.

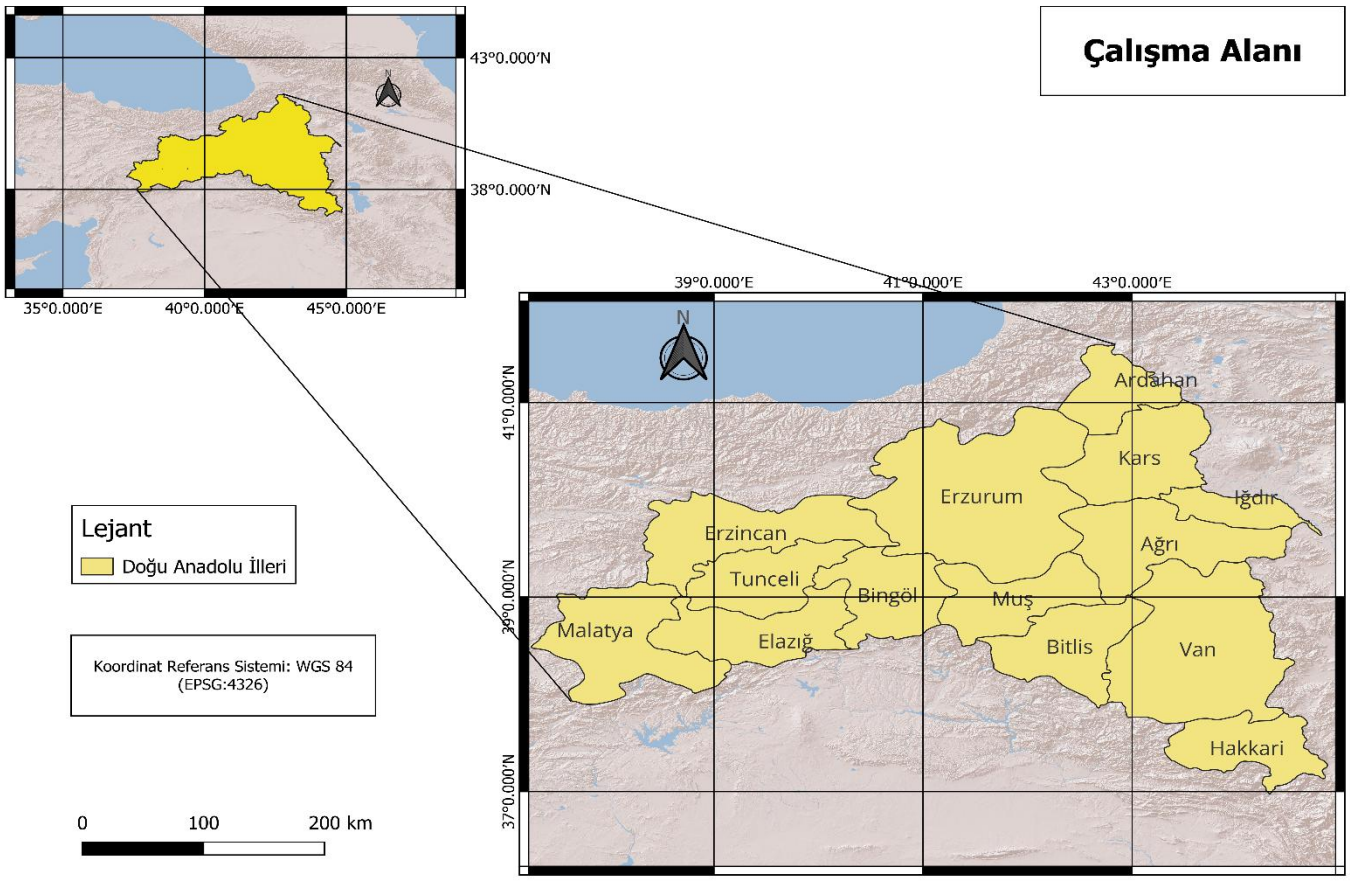
Ayrıca çalışma kapsamında IPTA grafiklerinin yalnızca görsel olarak yorumlanmasıyla yetinilmemiş; trend uzunluğu, eğim davranışı ve aylık geçiş yapıları gibi sayısal göstergeler de değerlendirilerek yöntem nicel açıdan desteklenmiştir. Bu yaklaşım, grafiksel trend analizlerinin yorum gücünü artırmakta ve bölgesel iklim değişkenliğinin daha kapsamlı biçimde değerlendirilmesine katkı sağlamaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı

Bu çalışmada araştırma alanı olarak Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi (Şekil 1) seçilmiştir. Bu bölgede çok sayıda nehir ve göl bulunmakta olup, bunların en önemlileri Türkiye'nin en büyük iki nehri olan Fırat ve Dicle nehirleri ile ülkenin en büyük gölü olan Van Gölü'dür. Bölge yaklaşık 164.000 km² yüzölçümüne sahiptir ve altı milyondan fazla nüfusa ev sahipliği yapmaktadır. Bölge halkının başlıca geçim kaynakları tarım ve hayvancılıktır (2, 2023).

Çalışmada, bölgedeki tüm illere ait yaklaşık 60 yıllık aylık toplam yağış verileri kullanılmıştır.



Şekil 1. Doğu Anadolu Bölgesi

Veri Seti ve Ön İşleme Süreci

Bu çalışmada kullanılan aylık toplam yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) arşivlerinden temin edilmiştir. Çalışma kapsamında Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan 14 il merkezine ait meteoroloji istasyonlarının uzun dönemli aylık toplam yağış serileri kullanılmıştır. İstasyonlara ait enlem, boylam, rakım, veri aralığı ve eksik veri bilgileri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan Meteoroloji İstasyonlarına Ait Bilgiler

İstasyon	Enlem	Boylam	Rakım (m)	Veri Aralığı	Toplam Veri Sayısı	Tamamlanan Veri Sayısı	Eksik Veri (%)
Elâzığ	38.644300	39.256050	1067	1965–2024	732	14	1.34
Bingöl	38.884667	40.500667	1151	1965–2024	732	2	0.26
Malatya	38.336667	38.217333	964	1965–2024	732	24	2.17
Tunceli	39.105833	39.540833	940	1965–2024	732	4	0.51
Erzurum	39.905833	41.254444	1893	1965–2024	732	0	0.00
Ardahan	41.106092	42.705547	1829	1965–2024	732	0	0.00
Erzincan	39.752333	39.486833	1215	1965–2024	732	0	0.00
Van	38.469147	43.346005	1727	1965–2024	732	0	0.00
Bitlis	38.475000	42.162500	1545	1965–2024	732	0	0.00
Hakkâri	37.574500	43.738833	1720	1965–2024	732	0	0.00
Muş	38.750906	41.502251	1320	1965–2024	732	0	0.00
Iğdır	39.925912	44.053720	858	1965–2024	732	0	0.00
Kars	40.606059	43.111878	1768	1965–2024	732	0	0.00
Ağrı	39.725333	43.052167	1640	1965–2024	732	0	0.00

Çalışmada kullanılan istasyonların seçiminde uzun dönemli ve düzenli gözlem kayıtlarına sahip olmaları dikkate alınmıştır. Ayrıca bölgesel iklim özelliklerini temsil edebilmesi amacıyla Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki tüm il merkezleri değerlendirmeye dâhil edilmiştir. Bölgenin yüksek topografik çeşitliliğe sahip olması nedeniyle farklı yükseltilerde bulunan istasyonların kullanılmasıyla Doğu Anadolu Bölgesi'nin hidro-meteorolojik yapısının daha kapsamlı şekilde temsil edilmesi amaçlanmıştır.

Trend analizlerinden önce veri setlerinin güvenilirliğini değerlendirmek amacıyla homojenlik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda Standart Normal Homojenlik Testi (SNHT) uygulanmış ve veri serilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir kırılma olup olmadığı araştırılmıştır. Yapılan analizler sonucunda kullanılan serilerin homojen yapıda olduğu belirlenmiştir.

Veri setlerinde bulunan sınırlı sayıdaki eksik gözlem değerleri doğrusal interpolasyon yöntemi kullanılarak tamamlanmıştır. Ardışık uzun süreli eksik kayıt bulunmayan veri setlerinde bu yaklaşımın hidro-meteorolojik zaman serilerinin genel eğilim karakteristiğini önemli ölçüde etkilemediği kabul edilmektedir. Ayrıca tamamlanan veri oranlarının tüm istasyonlarda oldukça düşük seviyelerde kaldığı belirlenmiştir. Bu nedenle eksik veri tamamlama işleminin trend analiz sonuçları üzerinde önemli bir belirsizlik oluşturmadığı değerlendirilmiştir.

Mann–Kendall Trend Analizi Yöntemi

Mann–Kendall (MK) testi, parametrik olmayan ve dağılımdan bağımsız bir yöntem olup hidro-meteorolojik zaman serilerinde artan veya azalan eğilimleri belirlemek amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Trendin yönünü değerlendirmek için Eşitlik 1'de verilen Z değeri incelenir. Pozitif Z değerleri artan trendi, negatif Z değerleri ise azalan trendi göstermektedir. Eğer $|Z| > |Z_{(\alpha/2)}|$ koşulu sağlanıyorsa, trend istatistiksel olarak anlamlı kabul edilir. %95 güven düzeyinde kritik değer $Z_{(\alpha/2)} = \pm 1.96$ olarak alınmaktadır.

Mann–Kendall trend analizinden önce serilerde otokorelasyon etkisinin bulunup bulunmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla tüm istasyonlara ait aylık toplam yağış serileri için lag-1 otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır. İstatistiksel olarak anlamlı otokorelasyon tespit edilen serilerde, trend analiz sonuçlarının yanlılık içermesini önlemek amacıyla pre-whitening işlemi uygulanmıştır.

Pre-whitening yöntemi, zaman serilerindeki seri bağımlılığı azaltarak Mann–Kendall testinin daha güvenilir sonuçlar vermesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım özellikle hidro-meteorolojik zaman serilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Aydın, 2023). Böylece serilerdeki otokorelasyon etkisinin azaltılmasıyla elde edilen trend sonuçlarının istatistiksel güvenilirliğinin artırılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmada Mann–Kendall testi aylık toplam yağış serilerine uygulanmış olup, analizlerde %95 güven düzeyi esas alınmıştır. Trendlerin istatistiksel anlamlılığı Z ve p değerleri birlikte değerlendirilerek yorumlanmıştır.

Mann–Kendall istatistiğinin (Z) hesaplanma prosedürü literatürde yaygın olarak yer aldığından, bu çalışmada ayrıntılı olarak açıklanmamıştır (Acar, 2024a; Acar, 2024b).

$$z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sigma_s} & if\ S > 0 \\ 0 & if\ \ S = 0 \\ \frac{S+1}{\sigma_s} & if\ S < 0 \end{cases} \quad (1)$$

Şen-ITA Yöntemi

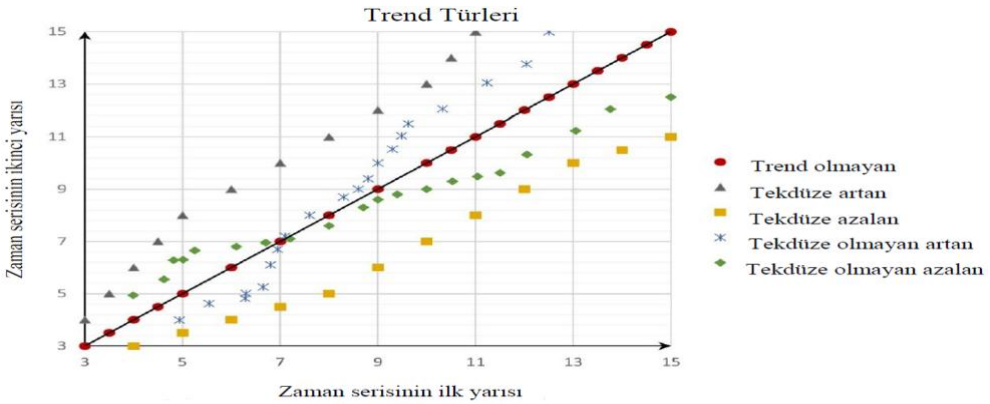
Bu yöntemde gözlemsel veriler başlangıç tarihinden itibaren iki eşit parçaya ayrılır ve her bir parça artan sıraya göre düzenlenir. Şekil 2'de gösterildiği gibi, ilk alt seri x eksenine, ikinci alt seri ise y eksenine yerleştirilerek Kartezyen koordinat düzleminde gösterilir.

Uygulamada, veri noktalarının 1:1 (45°) doğrusu üzerinde veya bu doğruya çok yakın konumlanması durumunda seride trend olmadığı kabul edilir. Veri noktalarının 1:1 doğrusunun üzerinde yer alması ve bu doğrudan giderek uzaklaşması monoton artan trendi, doğrunun altında yer alması ise monoton azalan trendi ifade eder. Eğer küçük değerlerde sürekli bir artış (veya azalış) gözlenmez ancak değerler büyüdükçe bu eğilim belirgin hale gelirse, seri monoton olmayan artan (veya azalan) trend olarak tanımlanır (Dabanlı, 2017).

Bu yaklaşıma göre hidro-meteorolojik zaman serileri, uzman değerlendirmesiyle en az üç kategoriye ayrılabilir: düşük, orta ve yüksek değerler. Bu sınıflandırma, özellikle aşırı yüksek ve düşük değerler gibi verideki kritik özelliklerin daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesini sağlar. Örneğin:

- Yağış verilerindeki yüksek değerler, taşkın riskini ve sıklığını gösterebilir,
- Düşük değerler, kuraklık oluşumunu ve sıklığını gösterebilir.

Dolayısıyla bu yöntem, gelecekte taşkın ve kuraklık risklerindeki olası değişimlerin değerlendirilmesine katkı sağlayabilmektedir (Dabanlı, 2017).



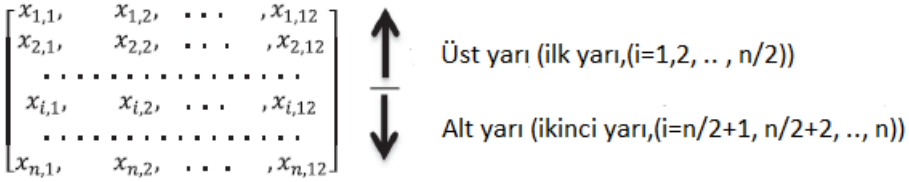
Şekil 2. Şen-ITA Yönteminde Azalan, Artan ve Trendsiz Serilerin Gösterimi (Dabanlı, 2017)

Şen'in Yenilikçi Trend Analizi (ITA) yönteminde, 1:1 (45°) doğrusuna paralel olacak şekilde ±%5 ve ±%10 trend zarf eğrileri çizilmiştir. Bu zarflar kullanılarak nitel yorumlar sayısal olarak ifade edilmiş ve böylece elde edilen sonuçların daha objektif bir şekilde değerlendirilmesi sağlanmıştır.

Yenilikçi Poligon Trend Analizi (IPTA) Yöntemi

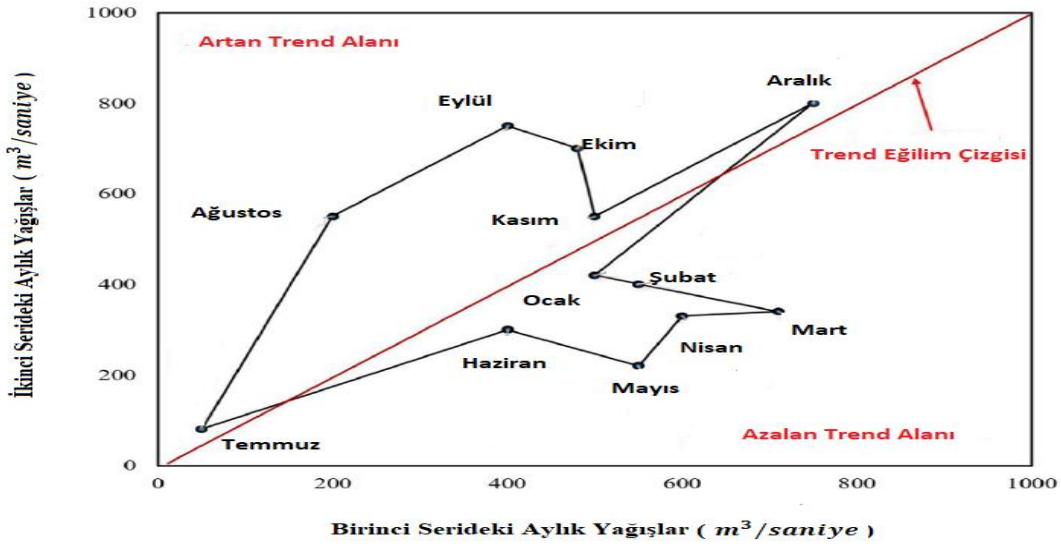
IPTA yöntemi, günlük, aylık veya yıllık gibi farklı zaman ölçeklerinde uygulanabilmektedir. Aylık veriler için yöntem, zaman serisinin ilk yarısındaki her bir parametreye ait 12 aylık veri setlerinden oluşturulan bir matris ile ikinci yarıdaki karşılık gelen 12 aylık veri setlerinin karşılaştırılması esasına dayanır. Bu süreçte özellikle aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri dikkate alınmaktadır (Şen ve ark., 2019).

Aylık hidro-meteorolojik bir zaman serisi $x_1, x_2, \ldots, x_n$ şeklinde ifade edilir; burada n, yıl sayısını göstermektedir. Bu seri daha sonra Şekil 3'te gösterildiği gibi aylık bir matris biçiminde düzenlenir (Şen ve ark., 2019).



Şekil 3. Bir Zaman Serisinin Matris Halinde Gösterimi (Şen ve ark., 2019)

i simgesi sırasıyla i=1, 2, …, n/2 ve i=n/2+1, n/2+2, … n olarak dikkate alınarak bu matris üst (birinci) ve alt (ikinci) kısımlar olarak iki yarı halinde düşünülür. Daha sonra, her yarım matris sütunundan aylık ortalamalar ve standart sapmalar üst yarı ($x_{u,1}, x_{u,2}, \ldots, x_{u,12}$) ve alt yarı ($x_{l,1}, x_{l,2}, \ldots, x_{l,12}$); benzer şekilde standart sapmalar da sırasıyla ($s_{u,1}, s_{u,2}, \ldots, s_{u,12}$) ve ($s_{l,1}, s_{l,2}, \ldots, s_{l,12}$) şeklinde hesaplanır. Aynı şekilde, üst ve alt parçalar için maksimum ve minimum değerleri sırasıyla ($M_1, M_2, \ldots, M_{12}$) ve ($m_1, m_2, \ldots, m_{12}$) olarak tanımlanabilir. Bu parametrelerin iki kümede ele alınması koşuluyla, ITA şablonunun IPTA versiyonu Şekil 4'teki gibi görünür (Şen ve ark., 2019).



Şekil 4. Aylık Veriler İçin Varsayımsal Bir IPTA Şablonu (Şen ve ark., 2019)

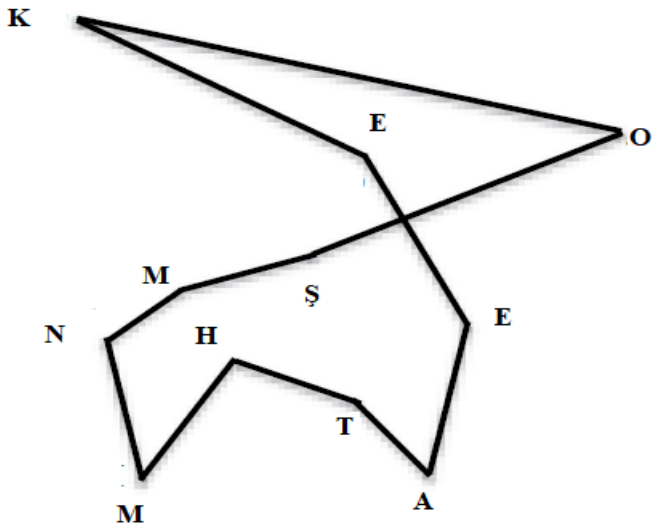
Ardışık aylara ait noktalar doğru çizgilerle birleştirilerek, bir aydan diğerine geçişi gösteren bir poligon oluşturulur. Normal koşullarda değerler genellikle yılın ilk aylarında artar ve daha sonra azalma eğilimine girer. Örneğin Şekil 4'te gösterildiği gibi, değerler ocak ayından haziran ayına kadar artmakta, ardından hazirandan tekrar ocak ayına kadar azalmaktadır (Şen ve ark., 2019).

IPTA şablonunda her bir trend doğrusunun eğimi, ardışık dağılım noktalarının koordinatlarından hesaplanabilir. Bu sayede aylık kayıtlar kullanılarak hidro-meteorolojik sistem hem nitel hem de nicel olarak yorumlanabilir. Ardışık iki ay arasındaki her doğru parçası, aylık değerlerdeki değişimi temsil eder.

Aritmetik ortalama grafiğinde artan bölgeden azalan bölgeye geçiş, kuraklığın başlangıcına işaret edebilir. Buna karşılık, aritmetik ortalama grafiğinde değerler artan bölgede kalmaya devam ederken standart sapma grafiğinde azalan bölgeye geçiş gözlenirse, bu durum aşırı değerlerde bir azalmayı ifade eder. Oluşan kapalı poligon, ilgili parametrenin belirli bir yıl içindeki doğal denge durumunu temsil eder.

Poligon doğrularının dikey ve yatay eğimleri birbirine yakınsa, bu durum aylık göreli değişim oranlarının hidro-meteorolojik değişkenliğe fazla katkı sağlamadığını gösterir. Yıl içi dönemlerde doğrusal davranış varsayımı yapılması, trend analizinin güvenilirliğini artırmaktadır. Genel olarak genişleyen bir poligon, sistemin dengeye yakın koşullarını gösterir. Buna karşılık Şekil 5'te gösterildiği gibi iki veya daha fazla poligon oluşabilir.

Poligon alanının küçük olması, aylık yağışların daha tutarlı olduğunu ve hidro-meteorolojik olayların daha stabil gerçekleştiğini gösterir. Ayrıca poligonun yatay eksendeki toplam eğimi ne kadar küçükse, hidro-meteorolojik aşırı olayların meydana gelme olasılığının daha düşük olabileceğine işaret etmektedir (Şen ve ark., 2019).



Şekil 5. Bir Trend Poligonu Çeşidi (Şen ve ark., 2019)

BULGULAR

Bu bölümde çalışmadan elde edilen bulgular sunulmaktadır. Çalışmada kullanılan Mann–Kendall Trend Analizi Yöntemi, Sen ITA Yöntemi ve IPTA Yöntemine ait bulgular sırasıyla verilmiştir.

Mann–Kendall Trend Analizi

Mann–Kendall trend analizine ait bulgular Tablo 2'de sunulmuştur. Analizler %95 güven düzeyinde ($\alpha = 0.05$) gerçekleştirilmiş olup trendlerin istatistiksel anlamlılığı Z ve p değerleri birlikte değerlendirilmiştir. Test prosedürüne göre Z istatistiğinin mutlak değerinin kritik değer olan ±1.96'dan büyük olması durumunda sıfır hipotezi (H_0) reddedilmekte ve seride istatistiksel olarak anlamlı bir trend bulunduğu kabul edilmektedir. Pozitif Z değerleri artan trendi, negatif Z değerleri ise azalan trendi göstermektedir.

Mann–Kendall analizinden önce serilerde otokorelasyon etkisinin bulunup bulunmadığını belirlemek amacıyla lag-1 otokorelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre tüm istasyonlarda lag-1 otokorelasyon katsayılarının istatistiksel olarak anlamlı olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle tüm serilere pre-whitening işlemi uygulanarak seri bağımlılığının trend analiz sonuçları üzerindeki etkisi azaltılmıştır.

Her bir istasyon için hesaplanan aylık toplam yağış serilerine ait veri sayısı, lag-1 otokorelasyon katsayıları, pre-whitening uygulama durumu, Z ve p değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Sonuçlara göre yalnızca Erzurum istasyonunda istatistiksel olarak anlamlı azalan trend tespit edilmiştir ($Z = -3.8102$; $p < 0.05$). Diğer istasyonlarda ise pozitif veya negatif yönlü eğilimler gözlenmesine rağmen bu eğilimlerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı belirlenmiştir.

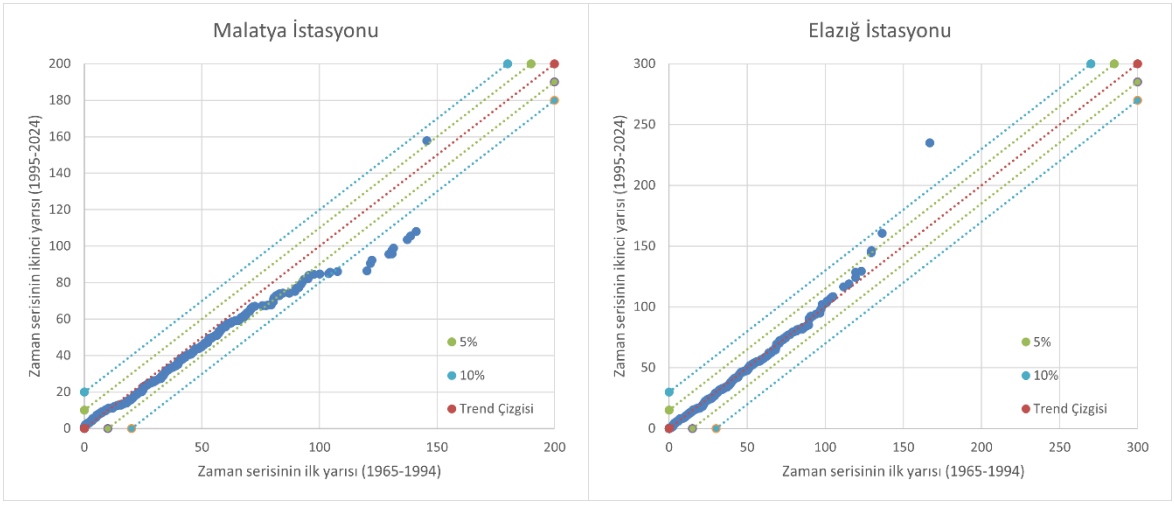
Pre-whitening işlemi sonrasında daha önce bazı istasyonlarda gözlenen anlamlı trendlerin ortadan kalkması, otokorelasyon etkisinin Mann–Kendall sonuçları üzerinde önemli değişikliklere neden olabileceğini göstermektedir. Bu durum, hidro-meteorolojik zaman serilerinde otokorelasyon etkisinin dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

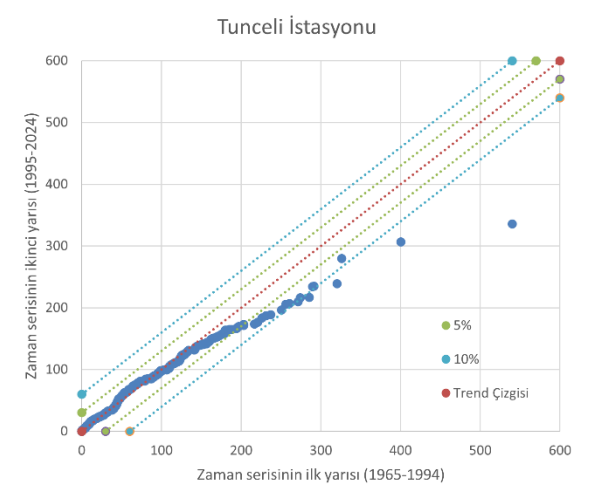
Erzurum istasyonunda belirlenen anlamlı azalan trend, bölgenin yüksek rakımlı ve karasal iklim özelliklerinin baskın olduğu kesimlerinde uzun dönemli yağış azalmasının daha belirgin olabileceğine işaret etmektedir. Bu durumun gelecekte kuraklık riskini artırabileceği ve bölgesel su kaynakları üzerinde olası etkiler oluşturabileceği düşünülmektedir.

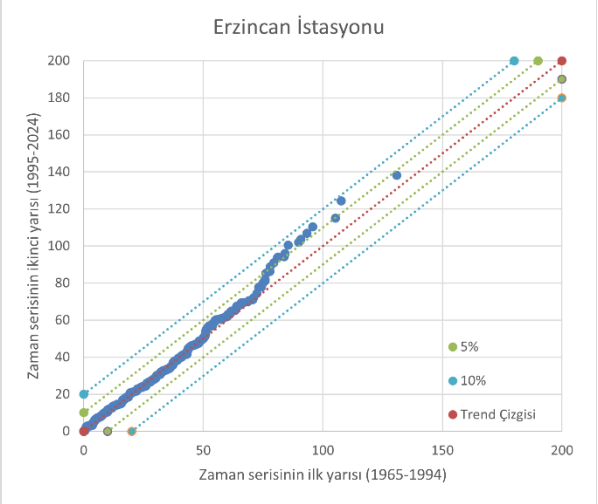
Tablo 2. Mann–Kendall Yağış Analizi Bulguları

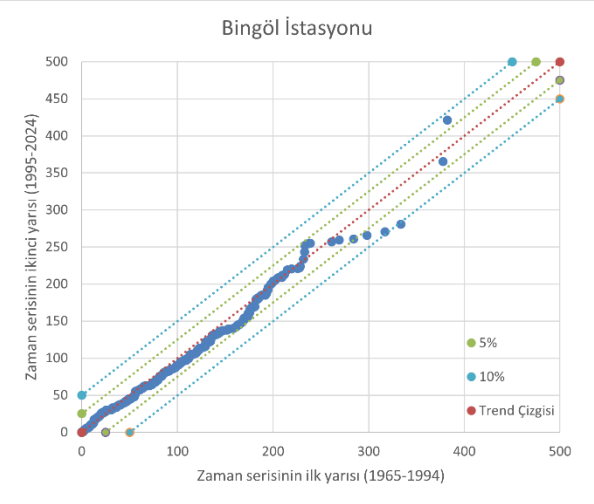
İstasyon	Veri Sayısı	Lag-1 r	Lag-1 p	Otokorelasyon Anlamlı mı?	Pre-whitening	MK Z	MK p	Trend
Malatya	732	0.3096	0	Evet	Evet	-0.3584	0.7201	-
Elâzığ	732	0.3318	0	Evet	Evet	-0.2863	0.7746	-
Tunceli	732	0.4669	0	Evet	Evet	-0.1416	0.8874	-
Erzincan	732	0.2427	0	Evet	Evet	0.0819	0.9347	-
Bingöl	732	0.4441	0	Evet	Evet	-0.2694	0.7877	-
Muş	732	0.3743	0	Evet	Evet	-0.5638	0.5729	-
Erzurum	732	0.2135	0	Evet	Evet	-3.8102	0.0001	Azalan
Ardahan	732	0.3805	0	Evet	Evet	0.9081	0.3638	-
Kars	732	0.3155	0	Evet	Evet	-0.1677	0.8668	-
Iğdır	732	0.2289	0	Evet	Evet	0.0676	0.9461	-
Ağrı	732	0.2302	0	Evet	Evet	-0.2608	0.7943	-
Bitlis	732	0.4001	0	Evet	Evet	-0.3476	0.7281	-
Van	732	0.1905	0	Evet	Evet	-0.0028	0.9977	-
Hakkâri	732	0.438	0	Evet	Evet	-0.9364	0.3491	-

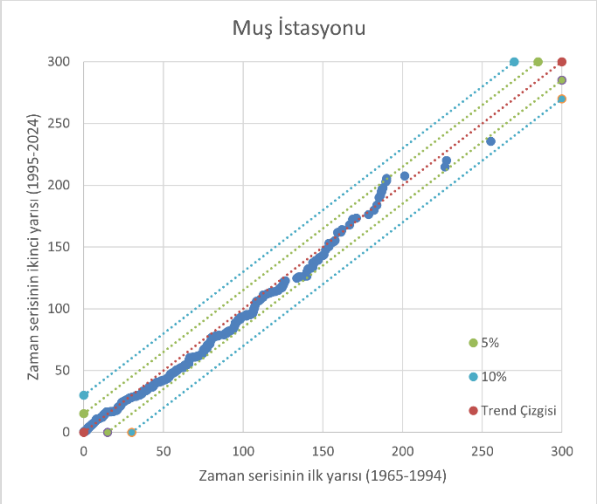
Şen-ITA

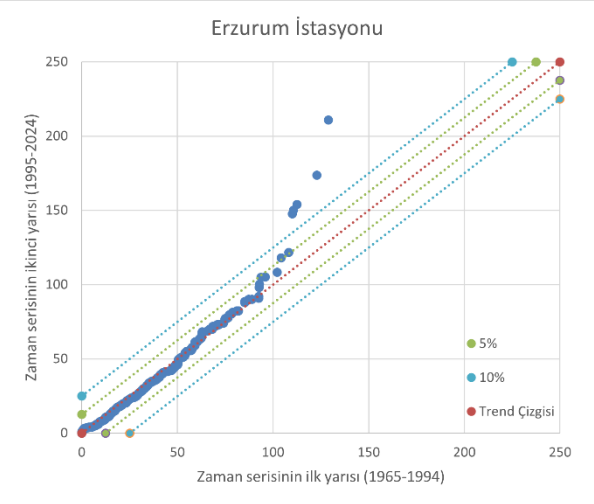


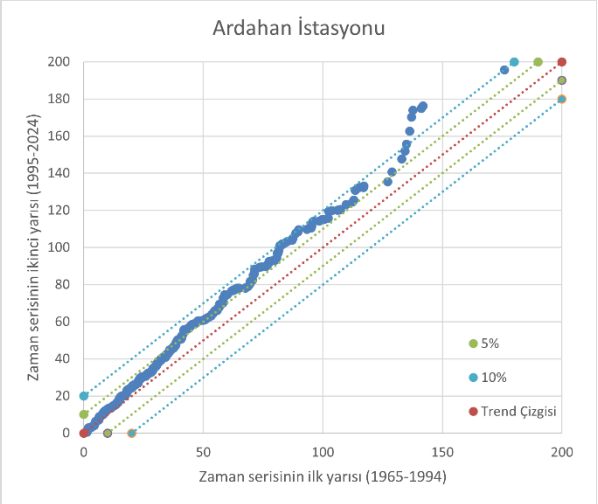

Tunceli İstasyonu
Zaman serisinin ikinci yarısı (1995-2024)
Zaman serisinin ilk yarısı (1965-1994)
5%
10%
Trend Çizgisi

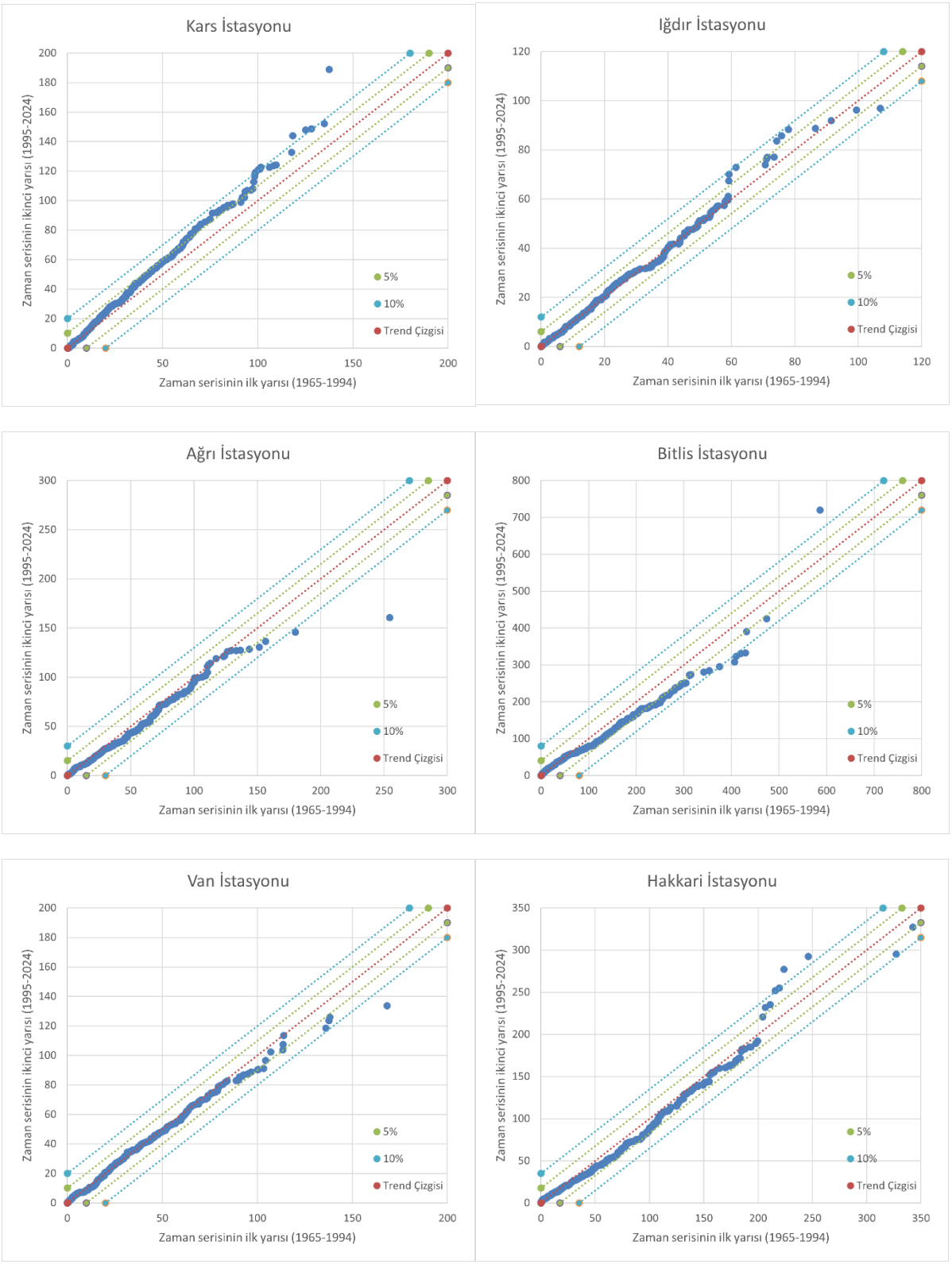

Erzincan İstasyonu
Zaman serisinin ikinci yarısı (1995-2024)
Zaman serisinin ilk yarısı (1965-1994)
5%
10%
Trend Çizgisi


Bingöl İstasyonu
Zaman serisinin ikinci yarısı (1995-2024)
Zaman serisinin ilk yarısı (1965-1994)
5%
10%
Trend Çizgisi


Muş İstasyonu
Zaman serisinin ikinci yarısı (1995-2024)
Zaman serisinin ilk yarısı (1965-1994)
5%
10%
Trend Çizgisi


Erzurum İstasyonu
Zaman serisinin ikinci yarısı (1995-2024)
Zaman serisinin ilk yarısı (1965-1994)
5%
10%
Trend Çizgisi


Ardahan İstasyonu
Zaman serisinin ikinci yarısı (1995-2024)
Zaman serisinin ilk yarısı (1965-1994)
5%
10%
Trend Çizgisi



Şekil 6. Tüm İstasyonlara Ait ITA Yağış Grafikleri

Şekil 6'da, tüm istasyonlara ait ITA yağış grafikleri görülmektedir, grafiklerde zaman serileri 1965-1994 ve 1995-2014 olmak üzere ikiye ayrılmıştır ve buradaki değerler aylık toplam yağış değerini (mm) temsil etmektedir. Kesikli çizgiler sırasıyla %5 ve %10 sapma sınırlarını temsil etmektedir. Trend çizgisinin üstünde kalan değerler artan eğilimi, altında kalan değerler ise azalan eğilimi göstermektedir. Düşük değerlerde herhangi bir trend gözlenmemektedir. Orta değerlerde Tunceli, Muş, Iğdır, Bitlis ve Hakkâri istasyonlarında yaklaşık %5 oranında

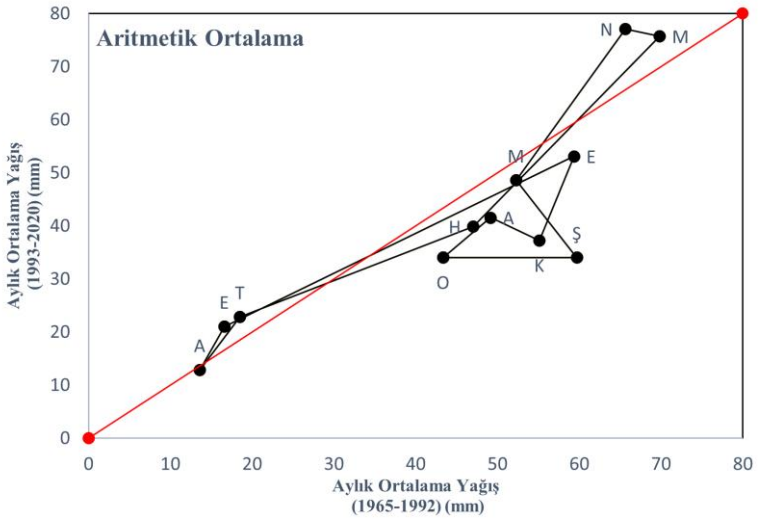
azalan bir trend görülürken, Erzincan, Erzurum ve Kars istasyonlarında yaklaşık %5 oranında artan bir trend tespit edilmiştir.

Yüksek değerlerde ise Malatya, Tunceli, Bingöl, Bitlis ve Van istasyonlarında %10'a kadar azalan trendler, Erzincan, Erzurum ve Kars istasyonlarında ise %10'a kadar artan trendler görülmektedir. Ardahan istasyonunda ise hem orta hem de yüksek değerlerde %10 ve üzeri artan trend gözlenmiştir.

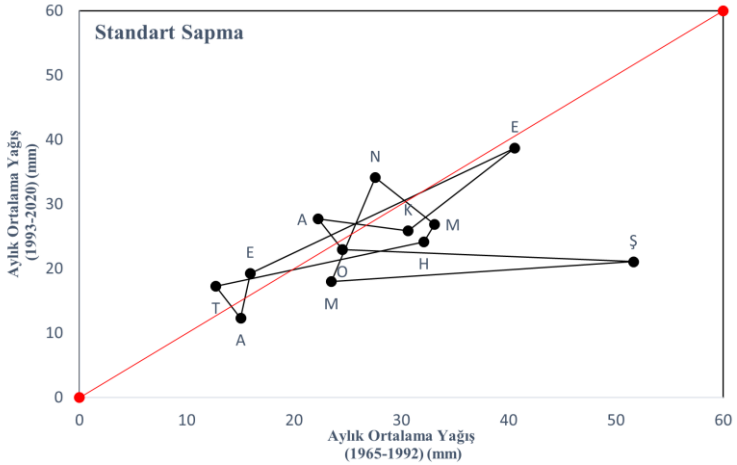
Bu yağış trend grafiğinde (Şekil 6), artan trendler potansiyel taşkın riski ile, azalan trendler ise kuraklık eğilimleri ile ilişkilendirilebilir. Örneğin Ardahan ve Kars istasyonlarında orta ve yüksek değerlerde gözlenen artan eğilimler, bu bölgelerde hidro-meteorolojik aşırı olayların görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık Bitlis istasyonunda yüksek değerlerde belirlenen azalan eğilimler, uzun dönemli su yetersizliği ve kuraklık koşullarının daha belirgin hale gelebileceğine işaret etmektedir. Ancak bu değerlendirmelerin yalnızca yağış trendlerine dayandığı ve taşkın veya kuraklık oluşumunun topoğrafya, arazi kullanımı, sıcaklık ve hidrolojik süreçler gibi birçok farklı faktörden etkilenebileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

IPTA Trend Analizi

Bu bölümde, iki istasyona ait aritmetik ortalama ve standart sapma IPTA grafikleri örnek olarak yorumlanmıştır. Bu istasyonlar (Ağrı ve Malatya), belirgin trend desenleri ve açık geçişler göstermeleri nedeniyle seçilmiştir. Tüm istasyonlara ait bulgular ise Şekil 11–14'te sunulmaktadır.



Şekil 7. Ağrı İstasyonuna Ait Yağış Değerlerinin IPTA Aritmetik Ortalama Grafiği



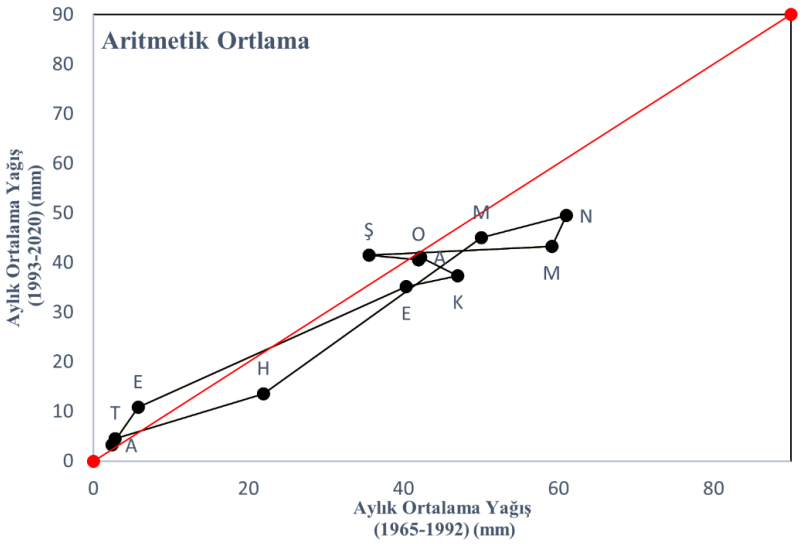
Şekil 8. Ağrı İstasyonuna Ait Yağış Değerlerinin IPTA Standart Sapma Grafiği

Ağrı istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama grafiği, mart, nisan, temmuz ve eylül aylarında artan trend, ağustos ayında belirgin bir trend bulunmadığını, diğer aylarda (ocak, şubat, mayıs, haziran, ekim, kasım ve aralık) ise azalan trend olduğunu göstermektedir (Şekil 7). Buna karşılık standart sapma grafiği, nisan, temmuz, eylül ve aralık aylarında artan trend, diğer aylarda ise azalan trend olduğunu ortaya koymaktadır (Şekil 8).

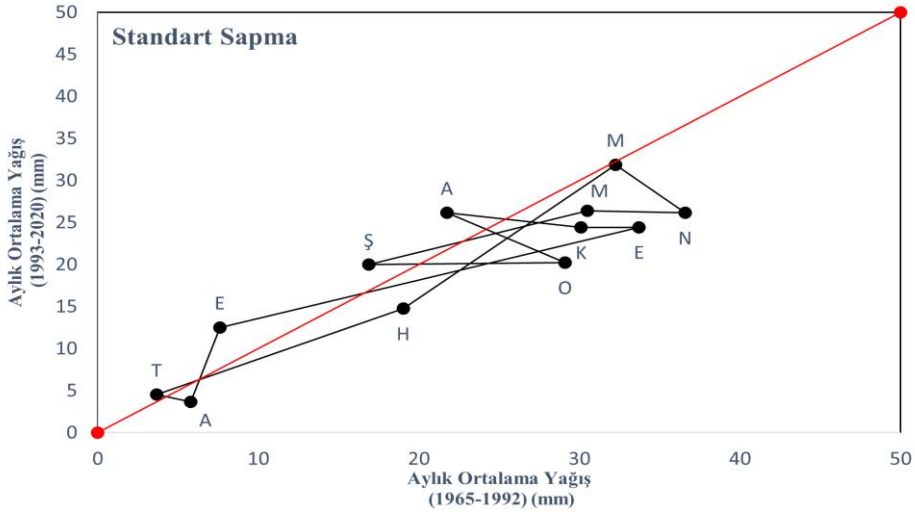
Aritmetik ortalama grafiğine göre mart–nisan ve haziran–temmuz dönemlerinde azalan trend bölgesinden artan trend bölgesine geçiş, mayıs–haziran ve eylül–ekim dönemlerinde ise artan trend bölgesinden azalan trend bölgesine geçiş gözlenmektedir (Şekil 7). İlk durum taşkın riskinin artabileceği dönemleri, ikinci durum ise kuraklık başlangıcını gösterebilir.

Standart sapma grafiğinde ise mart–nisan, haziran–temmuz, ağustos–eylül ve kasım–aralık dönemlerinde azalan bölgeden artan bölgeye geçiş, nisan–mayıs, temmuz–ağustos, eylül–ekim ve aralık–ocak dönemlerinde ise bunun ters yönünde bir geçiş görülmektedir (Şekil 8). Özellikle nisan ve temmuz ayları, aritmetik ortalama grafiğinde artan, standart sapma grafiğinde ise azalan trend göstermektedir. Bu durum, ortalama yağış artarken aşırı değerlerin azaldığını göstermektedir.

Hem IPTA aritmetik ortalama hem de standart sapma grafikleri, eylül–ekim döneminin en uzun trend sürekliliğine sahip olduğunu göstermektedir. Buna karşılık en dik eğimler, aritmetik ortalama grafiğinde ekim–kasım, standart sapma grafiğinde ise ağustos–eylül dönemlerinde görülmektedir.



Şekil 9. Malatya İstasyonuna Ait Yağış Değerlerinin Ipta Aritmetik Ortalama Grafiği



Şekil 10. Malatya İstasyonuna Ait Yağış Değerlerinin IPTA Standart Sapma Grafiği

Malatya istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama grafiği (Şekil 9), şubat, temmuz ve eylül aylarında artan trend, diğer aylarda ise azalan trend olduğunu göstermektedir. Standart sapma grafiğinde (Şekil 10) ise mayıs ayında trend bulunmazken, şubat, temmuz, eylül ve aralık aylarında artan trend, diğer aylarda ise azalan trend gözlenmektedir.

Aritmetik ortalama grafiğinde ocak–şubat ve haziran–temmuz dönemlerinde azalan bölgeden artan bölgeye geçiş, şubat–mart ve eylül–ekim dönemlerinde ise artan bölgeden azalan bölgeye geçiş görülmektedir (Şekil 9). İlk durum taşkın oluşumuna yatkın dönemleri, ikinci durum ise kuraklık koşullarının başlangıcını gösterebilir.

Şekil 10'da görüldüğü üzere, standart sapma grafiğinde ocak–şubat, haziran–temmuz, ağustos–eylül ve kasım–aralık dönemlerinde azalan bölgeden artan bölgeye geçiş gözlenmektedir. Buna karşılık şubat–mart, temmuz–ağustos, eylül–ekim ve aralık–ocak dönemlerinde artan bölgeden azalan bölgeye geçiş meydana gelmektedir. Özellikle nisan ve temmuz ayları, aritmetik ortalama grafiğinde artan, standart sapma grafiğinde ise azalan trend göstermektedir. Bu durum aşırı değerlerde bir azalmaya işaret etmektedir.

Malatya istasyonunda en uzun trend süresi hem aritmetik ortalama hem de standart sapma grafiğinde eylül–ekim döneminde gözlenmektedir. En dik eğim ise aritmetik ortalama grafiğinde mart–nisan, standart sapma grafiğinde ise ağustos–eylül döneminde ortaya çıkmaktadır.

Ağrı ve Malatya istasyonlarının yanı sıra çalışma alanındaki diğer istasyonlara ait IPTA aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri Ek-1'deki tablolarda görülebilir. Bu tablolara göre:

Elâzığ istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, temmuz, ağustos ve eylül aylarında artan trendlerin; diğer aylarda ise genel olarak azalan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle eylül ayındaki ortalama yağış değerinin 7.40 mm'den 8.94 mm'ye yükselmesi, yaz sonu ve sonbahar başlangıcında yağış artış eğilimine işaret etmektedir. Buna karşılık mart, nisan ve mayıs aylarında gözlenen azalışlar, ilkbahar yağışlarında zayıflama eğiliminin bulunduğunu göstermektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, şubat, mart, haziran, temmuz ve ağustos aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle temmuz ayında standart sapma değerinin 2.40'tan 3.88'e yükselmesi, yaz dönemindeki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık ocak ve aralık aylarında standart sapma değerlerinde belirgin azalışlar gözlenmiştir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, haziran–temmuz ve ağustos–eylül dönemlerinde belirgin geçişler dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda mayıs–haziran döneminde en uzun trend süresi (55.04) belirlenirken, standart sapma poligonunda aralık–ocak döneminde en yüksek eğim değeri (%86.39) hesaplanmıştır. Bu durum, özellikle mevsim geçişlerinde hidro-meteorolojik değişkenliğin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Genel olarak Elâzığ istasyonunda ilkbahar yağışlarında azalma, yaz sonu ve sonbahar başlangıcında ise artış eğilimleri belirlenmiştir. Bu durum bölgedeki yağış rejiminde mevsimsel düzensizliklerin arttığını ve gelecekte kuraklık ile ani yağış olaylarının birlikte görülebileceğini düşündürmektedir.

Tunceli istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, mart, temmuz, ağustos ve özellikle eylül aylarında artan trendlerin; diğer aylarda ise genel olarak azalan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle eylül ayındaki ortalama yağış değerinin 8.98 mm'den 20.16 mm'ye yükselmesi, sonbahar başlangıcında belirgin bir yağış artışına işaret etmektedir. Buna karşılık haziran, kasım ve aralık aylarında gözlenen azalışlar, yaz başlangıcı ve kış döneminde yağışların zayıflama eğiliminde olduğunu göstermektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, temmuz, ağustos, eylül ve kasım aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle eylül ayında standart sapma değerinin 11.82'den 23.36'ya yükselmesi, aşırı yağış olayları ve yağış düzensizliğinin artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık ocak, nisan ve aralık aylarında standart sapma değerlerinde belirgin azalışlar gözlenmiş olup, bu durum yağışların daha dengeli hale geldiğine işaret etmektedir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, mayıs–haziran ve eylül–ekim dönemlerinde belirgin trend geçişleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda mayıs–haziran döneminde en uzun trend süresi (75.65) belirlenirken, standart sapma poligonunda ağustos–eylül döneminde yüksek eğim değeri (%63.38) hesaplanmıştır. Bu durum, özellikle yaz sonu döneminde hidro-meteorolojik değişkenliğin arttığını göstermektedir. Genel olarak Tunceli istasyonunda yaz sonu ve sonbahar başlangıcında yağış artışları belirlenirken, kış ve yaz başlangıcı dönemlerinde azalan eğilimler gözlenmiştir. Bu durum bölgedeki yağış rejiminin mevsimsel olarak daha düzensiz hale geldiğini ve gelecekte ani yağış olayları ile kurak dönemlerin birlikte görülebileceğini göstermektedir.

Erzincan istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, şubat, mart, nisan, mayıs, temmuz ve özellikle eylül aylarında artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle eylül ayındaki ortalama yağış

değerinin 11.79 mm'den 16.96 mm'ye yükselmesi, sonbahar başlangıcında belirgin bir yağış artışına işaret etmektedir. Buna karşılık ocak, haziran, ağustos, kasım ve aralık aylarında azalan trendler gözlenmiş olup, özellikle haziran ve aralık aylarındaki azalışlar dikkat çekmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, temmuz, eylül, ekim ve kasım aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle kasım ayında standart sapma değerinin 20.40'tan 30.10'a yükselmesi, sonbahar dönemindeki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık haziran ve ağustos aylarında standart sapma değerlerinde azalma gözlenmiş olup, bu durum yağışların daha dengeli hale geldiğine işaret etmektedir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, mayıs–haziran ve ağustos–eylül dönemlerinde belirgin trend geçişleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda eylül–ekim döneminde en uzun trend süresi (39.08) belirlenirken, standart sapma poligonunda kasım–aralık döneminde en yüksek eğim değeri (%80.72) hesaplanmıştır. Ayrıca ağustos–eylül dönemindeki yüksek eğim değeri (%75.10), geç yaz ve sonbahar başlangıcında hidro-meteorolojik değişkenliğin arttığını göstermektedir. Genel olarak Erzincan istasyonunda ilkbahar ve sonbahar başlangıcında yağış artış eğilimleri belirlenirken, yaz başlangıcı ve kış döneminde azalan eğilimler gözlenmiştir. Bu durum, bölgedeki yağış rejiminin mevsimsel olarak daha değişken hale geldiğini ve özellikle sonbahar döneminde ani yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir.

Bingöl istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, ocak, mart, mayıs, ağustos ve özellikle eylül aylarında artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle eylül ayındaki ortalama yağış değerinin 8.52 mm'den 13.82 mm'ye yükselmesi, sonbahar başlangıcında belirgin bir yağış artışına işaret etmektedir. Buna karşılık nisan, temmuz, ekim, kasım ve aralık aylarında azalan trendler belirlenmiş olup, özellikle kasım ayındaki düşüş dikkat çekmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, şubat, temmuz, ağustos, eylül ve aralık aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle ağustos ayında standart sapma değerinin 3.47'den 8.78'e yükselmesi, yaz sonu dönemindeki yağış düzensizliğinin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Buna karşılık ocak, mart, nisan, mayıs ve kasım aylarında standart sapma değerlerinde azalma gözlenmiş olup, bu durum yağışların daha dengeli hale geldiğine işaret etmektedir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, nisan–mayıs ve eylül–ekim dönemlerinde belirgin trend geçişleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda mayıs–haziran döneminde en uzun trend süresi (80.71) belirlenirken, mart–nisan döneminde en yüksek eğim değeri (%88.71) hesaplanmıştır. Standart sapma poligonunda ise kasım–aralık dönemindeki yüksek eğim değeri (%68.69), sonbahar sonu ve kış başlangıcında hidro-meteorolojik değişkenliğin arttığını göstermektedir. Genel olarak Bingöl istasyonunda ilkbahar sonu ve sonbahar başlangıcında yağış artış eğilimleri belirlenirken, sonbahar sonu ve kış başlangıcında azalan eğilimler gözlenmiştir. Bu durum, bölgedeki yağış rejiminin mevsimsel olarak daha düzensiz hale geldiğini ve özellikle geç yaz ile sonbahar dönemlerinde ani yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir.

Muş istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, ocak, şubat, mart, nisan, temmuz ve eylül aylarında artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle mart ayındaki ortalama yağış değerinin 95.24 mm'den 113.79 mm'ye yükselmesi, ilkbahar başlangıcında belirgin bir yağış artışına işaret etmektedir. Buna karşılık haziran, ağustos, ekim, kasım ve aralık aylarında azalan trendler gözlenmiş olup, özellikle kasım ayındaki düşüş dikkat çekmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, nisan, temmuz, eylül, ekim, kasım ve aralık aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle aralık ayında standart sapma değerinin 43.30'dan 60.60'a yükselmesi, kış başlangıcındaki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık mart ve ağustos aylarında standart sapma değerlerinde belirgin azalışlar gözlenmiştir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, nisan–mayıs ve eylül–ekim dönemlerinde belirgin trend geçişleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda eylül–ekim döneminde en uzun trend süresi (70.51) belirlenirken, şubat–mart döneminde yüksek eğim değeri (%89.87) hesaplanmıştır. Ayrıca temmuz–ağustos dönemindeki eğim değeri (%89.33), yaz sonu döneminde ani hidro-meteorolojik değişimlerin belirginleştiğini göstermektedir. Standart sapma poligonunda ise nisan–mayıs dönemindeki yüksek negatif eğim (%86.27), ilkbahar dönemindeki yağış değişkenliğinde önemli bir azalma olduğunu ortaya koymaktadır. Genel olarak Muş istasyonunda ilkbahar döneminde yağış artış eğilimleri belirlenirken, sonbahar ve kış başlangıcında azalan eğilimler gözlenmiştir. Bununla birlikte standart sapma sonuçları, özellikle sonbahar sonu ve kış döneminde hidro-meteorolojik değişkenliğin arttığını göstermekte olup, bölgede ani yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir.

Erzurum istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, mart, nisan, mayıs, eylül, ekim ve aralık aylarında artan trendlerin; ocak, şubat, haziran, temmuz, ağustos ve kasım aylarında ise azalan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle mart ayındaki ortalama yağış değerinin 29.33 mm'den 34.90 mm'ye yükselmesi, ilkbahar başlangıcında yağış artış eğilimine işaret etmektedir. Buna karşılık temmuz ayındaki ortalama yağışın 27.02 mm'den 21.88 mm'ye düşmesi, yaz döneminde kuruma eğiliminin belirginleştiğini göstermektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, şubat, mart, ekim ve aralık aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle

ekim ayında standart sapma değerinin 27.33'ten 40.00'a yükselmesi, sonbahar dönemindeki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık temmuz ve ağustos aylarında standart sapma değerlerinde belirgin azalışlar gözlenmiş olup, bu durum yaz dönemindeki yağışların daha dengeli hale geldiğine işaret etmektedir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, şubat–mart ve ağustos–eylül dönemlerinde belirgin trend geçişleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda mayıs–haziran döneminde en uzun trend süresi (36.15) belirlenirken, aralık–ocak döneminde en yüksek eğim değeri (%87.97) hesaplanmıştır. Standart sapma poligonunda ise ocak–şubat (%89.69) ve şubat–mart (%83.16) dönemlerinde yüksek eğim değerleri belirlenmiş olup, bu durum kış sonu ve ilkbahar başlangıcında hidro-meteorolojik değişkenliğin arttığını göstermektedir. Genel olarak Erzurum istasyonunda ilkbahar döneminde yağış artış eğilimleri belirlenirken, yaz döneminde belirgin azalış eğilimleri gözlenmiştir. Bu durum, yüksek rakımlı karasal iklim koşullarının etkili olduğu bölgede mevsimsel yağış rejiminin değişkenlik göstermeye başladığını ve özellikle yaz döneminde kuraklık riskinin artabileceğini düşündürmektedir.

Ardahan istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, şubat ayı dışında tüm aylarda artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle haziran, temmuz ve ekim aylarında belirgin yağış artışları dikkat çekmektedir. Haziran ayındaki ortalama yağış değerinin 84.61 mm'den 100.36 mm'ye yükselmesi, yaz başlangıcında yağış rejiminin güçlendiğini göstermektedir. Benzer şekilde temmuz ve ağustos aylarında gözlenen artışlar, yaz döneminde yağış sürekliliğinin arttığına işaret etmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, ocak, mart, nisan, haziran, temmuz, eylül, ekim ve kasım aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle temmuz ayında standart sapma değerinin 32.93'ten 42.26'ya yükselmesi, yaz dönemindeki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık şubat, mayıs, ağustos ve aralık aylarında standart sapma değerlerinde azalışlar gözlenmiştir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, şubat–mart ve eylül–ekim dönemlerinde belirgin trend değişimleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda nisan–mayıs döneminde en uzun trend süresi (45.49) belirlenirken, eylül–ekim döneminde en yüksek eğim değeri (%84.97) hesaplanmıştır. Standart sapma poligonunda ise mayıs–haziran dönemindeki yüksek eğim değeri (%89.33), ilkbahar sonu ve yaz başlangıcında hidro-meteorolojik değişkenliğin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Genel olarak Ardahan istasyonunda yılın büyük bölümünde artan yağış eğilimleri belirlenmiştir. Özellikle ilkbahar sonu ve yaz dönemindeki artışlar, bölgedeki yağış rejiminin güçlenmeye başladığını göstermektedir. Bununla birlikte standart sapma sonuçları, bazı dönemlerde hidro-meteorolojik değişkenliğin arttığını ortaya koymakta olup, gelecekte ani ve şiddetli yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir.

Kars istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, şubat ve haziran ayları dışında yılın büyük bölümünde artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle nisan, mayıs ve temmuz aylarında belirgin yağış artışları dikkat çekmektedir. Nisan ayındaki ortalama yağış değerinin 40.14 mm'den 59.95 mm'ye yükselmesi, ilkbahar döneminde yağış rejiminin belirgin şekilde güçlendiğini göstermektedir. Benzer şekilde temmuz ayında gözlenen artış, yaz dönemindeki yağışların daha etkili hale geldiğine işaret etmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, ocak, mart, nisan, mayıs, temmuz, ekim, kasım ve aralık aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle temmuz ayında standart sapma değerinin 29.09'dan 38.59'a yükselmesi, yaz dönemindeki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık şubat, haziran ve eylül aylarında standart sapma değerlerinde azalışlar gözlenmiştir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, şubat–mart ve haziran–temmuz dönemlerinde belirgin trend değişimleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda nisan–mayıs döneminde en uzun trend süresi (44.57) belirlenirken, şubat–mart döneminde en yüksek eğim değeri (%76.97) hesaplanmıştır. Standart sapma poligonunda ise temmuz–ağustos dönemindeki yüksek eğim değeri (%81.81), yaz ortasında hidro-meteorolojik değişkenliğin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Genel olarak Kars istasyonunda yılın büyük bölümünde artan yağış eğilimleri belirlenmiştir. Özellikle ilkbahar ve yaz dönemlerindeki artışlar, bölgedeki yağış rejiminin güçlenmeye başladığını göstermektedir. Bununla birlikte standart sapma sonuçları, bazı dönemlerde yağış değişkenliğinin arttığını ortaya koymakta olup, gelecekte ani ve şiddetli yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir.

Iğdır istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, mart, nisan, mayıs, temmuz, ağustos, eylül ve kasım aylarında artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle nisan ayındaki ortalama yağış değerinin 29.22 mm'den 43.11 mm'ye yükselmesi, ilkbahar döneminde belirgin bir yağış artışına işaret etmektedir. Buna karşılık ocak, şubat, haziran, ekim ve aralık aylarında azalan trendler gözlenmiş olup, özellikle yaz başlangıcındaki azalış dikkat çekmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, mart, nisan, temmuz, ekim ve kasım aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle nisan ayında standart sapma değerinin 15.16'dan 24.55'e yükselmesi, ilkbahar dönemindeki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık ocak, mayıs, ağustos ve aralık aylarında standart sapma değerlerinde belirgin azalışlar gözlenmiştir.

IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, mart–nisan ve haziran–temmuz dönemlerinde belirgin trend değişimleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda haziran–temmuz döneminde en uzun trend süresi (25.95) belirlenirken, mart–nisan döneminde en yüksek eğim değeri (%70.05) hesaplanmıştır. Standart sapma poligonunda ise mart–nisan dönemindeki yüksek eğim değeri (%85.49), ilkbahar başlangıcında hidro-meteorolojik değişkenliğin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Genel olarak Iğdır istasyonunda özellikle ilkbahar döneminde yağış artış eğilimleri belirlenmiştir. Bununla birlikte bazı kış ve yaz aylarında azalan eğilimler gözlenmiş olup, bu durum bölgedeki yağış rejiminin mevsimsel olarak daha değişken hale geldiğini göstermektedir. Standart sapma sonuçları ise özellikle ilkbahar döneminde ani ve düzensiz yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğine işaret etmektedir.

Bitlis istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, mart, mayıs, temmuz, ağustos ve özellikle eylül aylarında artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle eylül ayındaki ortalama yağış değerinin 14.56 mm'den 31.05 mm'ye yükselmesi, sonbahar başlangıcında belirgin bir yağış artışına işaret etmektedir. Buna karşılık ocak, şubat, nisan, haziran, ekim, kasım ve aralık aylarında azalan trendler gözlenmiş olup, özellikle kış aylarındaki düşüşler dikkat çekmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, nisan, mayıs, ağustos, eylül, ekim ve kasım aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle eylül ayında standart sapma değerinin 19.69'dan 26.44'e yükselmesi, sonbahar başlangıcındaki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık ocak, mart, temmuz ve aralık aylarında standart sapma değerlerinde azalışlar gözlenmiştir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, nisan–mayıs ve ağustos–eylül dönemlerinde belirgin trend değişimleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda mayıs–haziran döneminde en uzun trend süresi (110.25) belirlenirken, ağustos–eylül döneminde en yüksek eğim değeri (%71.12) hesaplanmıştır. Standart sapma poligonunda ise kasım–aralık dönemindeki yüksek eğim değeri (%72.49), sonbahar sonu ve kış başlangıcında hidro-meteorolojik değişkenliğin arttığını göstermektedir. Genel olarak Bitlis istasyonunda özellikle sonbahar başlangıcında belirgin yağış artış eğilimleri gözlenirken, kış döneminde azalan eğilimler belirlenmiştir. Bu durum, bölgedeki yağış rejiminin mevsimsel olarak daha düzensiz hale geldiğini göstermekte olup, özellikle geç yaz ve sonbahar dönemlerinde ani yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir.

Van istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, şubat, mart, nisan, temmuz, eylül ve aralık aylarında artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle nisan ayındaki ortalama yağış değerinin 49.44 mm'den 57.62 mm'ye yükselmesi, ilkbahar döneminde yağış artış eğiliminin belirginleştiğini göstermektedir. Buna karşılık mayıs, haziran, ağustos, ekim ve kasım aylarında azalan trendler gözlenmiş olup, özellikle mayıs ayındaki düşüş dikkat çekmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, ocak, şubat, nisan, temmuz, eylül, ekim, kasım ve aralık aylarında değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle nisan ayında standart sapma değerinin 21.23'ten 28.37'ye yükselmesi, ilkbahar dönemindeki yağış düzensizliğinin ve aşırı yağış olasılığının artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık mart ve mayıs aylarında standart sapma değerlerinde belirgin azalışlar gözlenmiştir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, nisan–mayıs ve ağustos–eylül dönemlerinde belirgin trend değişimleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda eylül–ekim döneminde en uzun trend süresi (44.47) belirlenirken, ekim–kasım döneminde en yüksek eğim değeri (%86.42) hesaplanmıştır. Standart sapma poligonunda ise mart–nisan dönemindeki yüksek eğim değeri (%86.67), ilkbahar başlangıcında hidro-meteorolojik değişkenliğin belirgin şekilde arttığını göstermektedir. Genel olarak Van istasyonunda ilkbahar ve sonbahar başlangıcında yağış artış eğilimleri belirlenirken, yaz başlangıcı ve ilkbahar sonu dönemlerinde azalan eğilimler gözlenmiştir. Standart sapma sonuçları ise özellikle ilkbahar ve sonbahar dönemlerinde yağış değişkenliğinin arttığını göstermekte olup, bölgede ani ve düzensiz yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğine işaret etmektedir.

Hakkâri istasyonuna ait IPTA aritmetik ortalama sonuçları incelendiğinde, ocak, şubat, mayıs, temmuz, ağustos ve eylül aylarında artan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Özellikle temmuz ayındaki ortalama yağış değerinin 2.78 mm'den 9.28 mm'ye yükselmesi, yaz döneminde belirgin bir yağış artışına işaret etmektedir. Buna karşılık mart, nisan, haziran, ekim, kasım ve aralık aylarında azalan trendler gözlenmiş olup, özellikle sonbahar dönemindeki düşüşler dikkat çekmektedir. Standart sapma sonuçları değerlendirildiğinde, yılın büyük bölümünde değişkenliğin arttığı belirlenmiştir. Özellikle ocak, şubat, mart ve nisan aylarında standart sapma değerlerindeki artışlar, kış ve ilkbahar dönemlerinde yağış düzensizliğinin arttığını göstermektedir. Temmuz ayında standart sapma değerinin 4.11'den 8.95'e yükselmesi ise yaz dönemindeki aşırı yağış olasılığının artabileceğine işaret etmektedir. Buna karşılık ağustos ve ekim aylarında standart sapma değerlerinde azalışlar gözlenmiştir. IPTA geçiş analizleri incelendiğinde, nisan–mayıs ve eylül–ekim dönemlerinde belirgin trend değişimleri dikkat çekmektedir. Ortalama poligonunda nisan–mayıs döneminde en uzun trend süresi (80.00) belirlenirken, kasım–aralık döneminde en yüksek eğim değeri (%87.46) hesaplanmıştır. Standart sapma poligonunda ise ağustos–eylül dönemindeki yüksek negatif eğim (%89.35), yaz sonu döneminde hidro-meteorolojik değişkenlikte belirgin bir değişim yaşandığını

göstermektedir. Genel olarak Hakkâri istasyonunda yaz döneminde yağış artış eğilimleri belirlenirken, sonbahar ve kış başlangıcında azalan eğilimler gözlenmiştir. Standart sapma sonuçları ise özellikle kış ve ilkbahar dönemlerinde yağış değişkenliğinin arttığını ortaya koymakta olup, bölgede ani ve düzensiz yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir.

IPTA grafiklerinin görsel yorumlarını desteklemek amacıyla trend eğimi, trend uzunluğu ve trend geçiş sayısı gibi sayısal göstergeler hesaplanmıştır. Bu göstergeler sayesinde aylık yağış rejimindeki değişimlerin yalnızca görsel olarak değil, aynı zamanda nicel olarak da değerlendirilmesi sağlanmıştır. Trend eğimi değerleri trendin yönü ve şiddeti hakkında bilgi verirken, trend uzunluğu değerleri belirli dönemlerdeki eğilimlerin sürekliliğini göstermektedir. Ayrıca trend geçiş sayıları, aylık yağış rejimindeki değişkenlik ve kararsızlık düzeyinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Hesaplanan sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

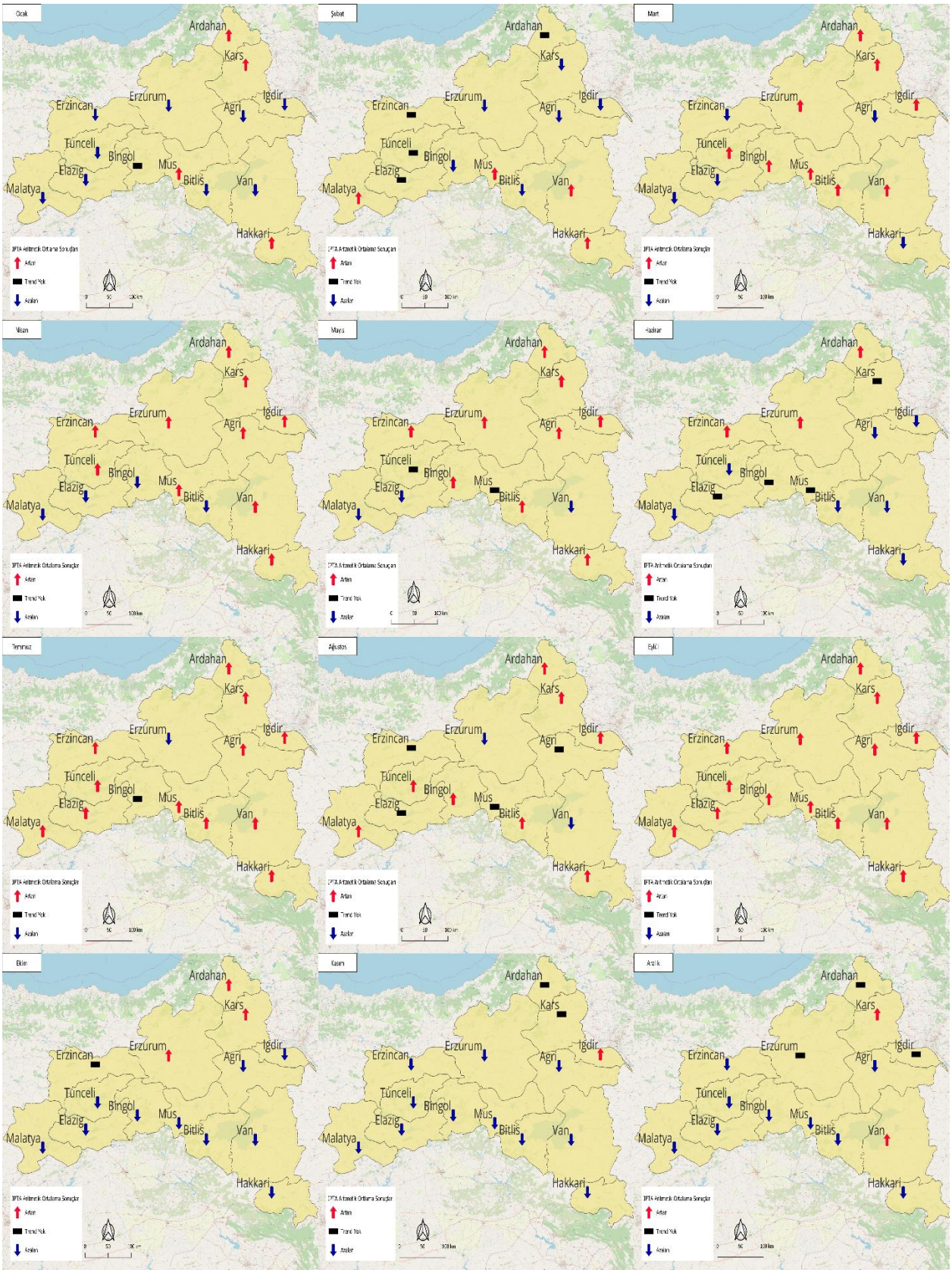
Tablo 3. IPTA Yöntemine Ait Sayısal Trend Göstergeleri

İstasyon	Baskın Trend Yönü	Maksimum Trend Eğimi (%)	En Uzun Trend Süresi	Trend Geçiş Sayısı
Elâzığ	Azalan	89.43	55.04	3
Bingöl	Karışık	88.71	80.71	4
Malatya	Azalan	73.11	42.27	4
Tunceli	Azalan	69.16	75.65	4
Erzurum	Azalan	87.97	36.15	3
Ardahan	Artan	84.97	45.49	1
Erzincan	Karışık	89.83	39.08	3
Van	Karışık	86.42	44.47	4
Bitlis	Azalan	71.12	110.25	4
Hakkâri	Karışık	87.46	80.00	4
Muş	Karışık	89.87	70.51	5
Iğdır	Karışık	70.93	25.95	3
Kars	Artan	76.97	44.57	2
Ağrı	Karışık	75.01	53.46	4

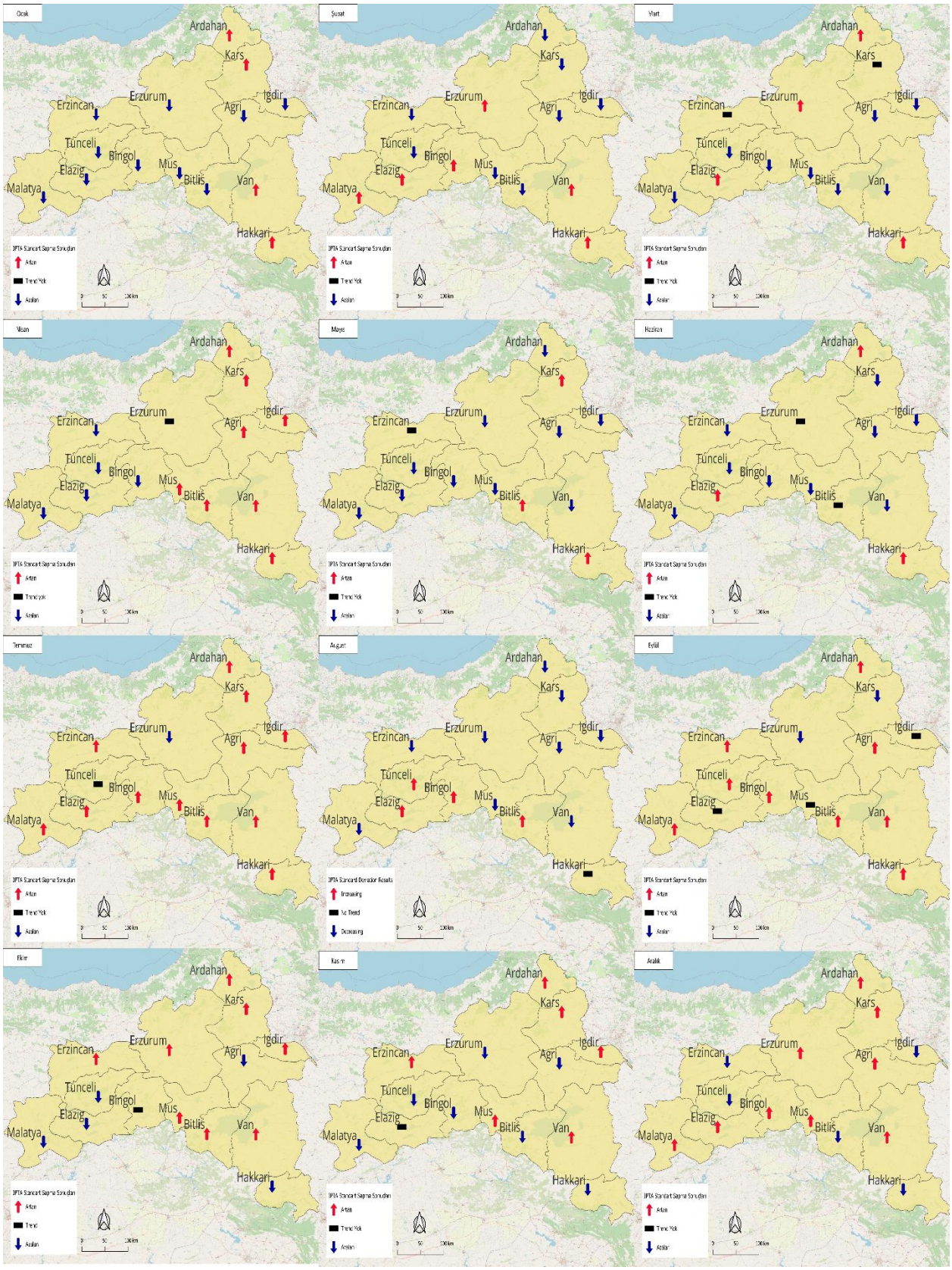
Tablo 3 incelendiğinde, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yağış eğilimlerinin mekânsal olarak homojen bir yapı göstermediği anlaşılmaktadır. Ardahan ve Kars istasyonlarında baskın olarak artan trendler belirlenirken, Elazığ, Malatya, Erzurum ve Bitlis istasyonlarında azalan eğilimlerin daha belirgin olduğu görülmüştür. Buna karşılık Bingöl, Van, Hakkâri, Muş ve Ağrı gibi istasyonlarda hem artan hem de azalan eğilimlerin birlikte gözlenmesi, bölgedeki hidro-meteorolojik değişkenliğin karmaşık bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Trend geçiş sayılarının özellikle Muş, Bingöl, Van ve Hakkâri istasyonlarında daha yüksek olması, aylık yağış rejiminde kararsızlığın arttığını ortaya koymaktadır. Ayrıca bazı istasyonlarda yüksek trend eğimi değerlerinin belirlenmesi, belirli aylarda yağış değişimlerinin oldukça hızlı gerçekleştiğini göstermektedir. Özellikle ilkbahar ve sonbahar geçiş dönemlerinde belirlenen yüksek eğim değerleri, bölgedeki mevsimsel yağış rejiminin giderek daha düzensiz hale geldiğine işaret etmektedir.

IPTA grafiklerine ek olarak, bölgedeki her bir merkez istasyon için aylık trendler Şekil 11 ve Şekil 12'de sunulmuştur. Bu şekillerde "↑" artan trendi, "↓" azalan trendi ve "–" trend bulunmadığını göstermektedir. Trend

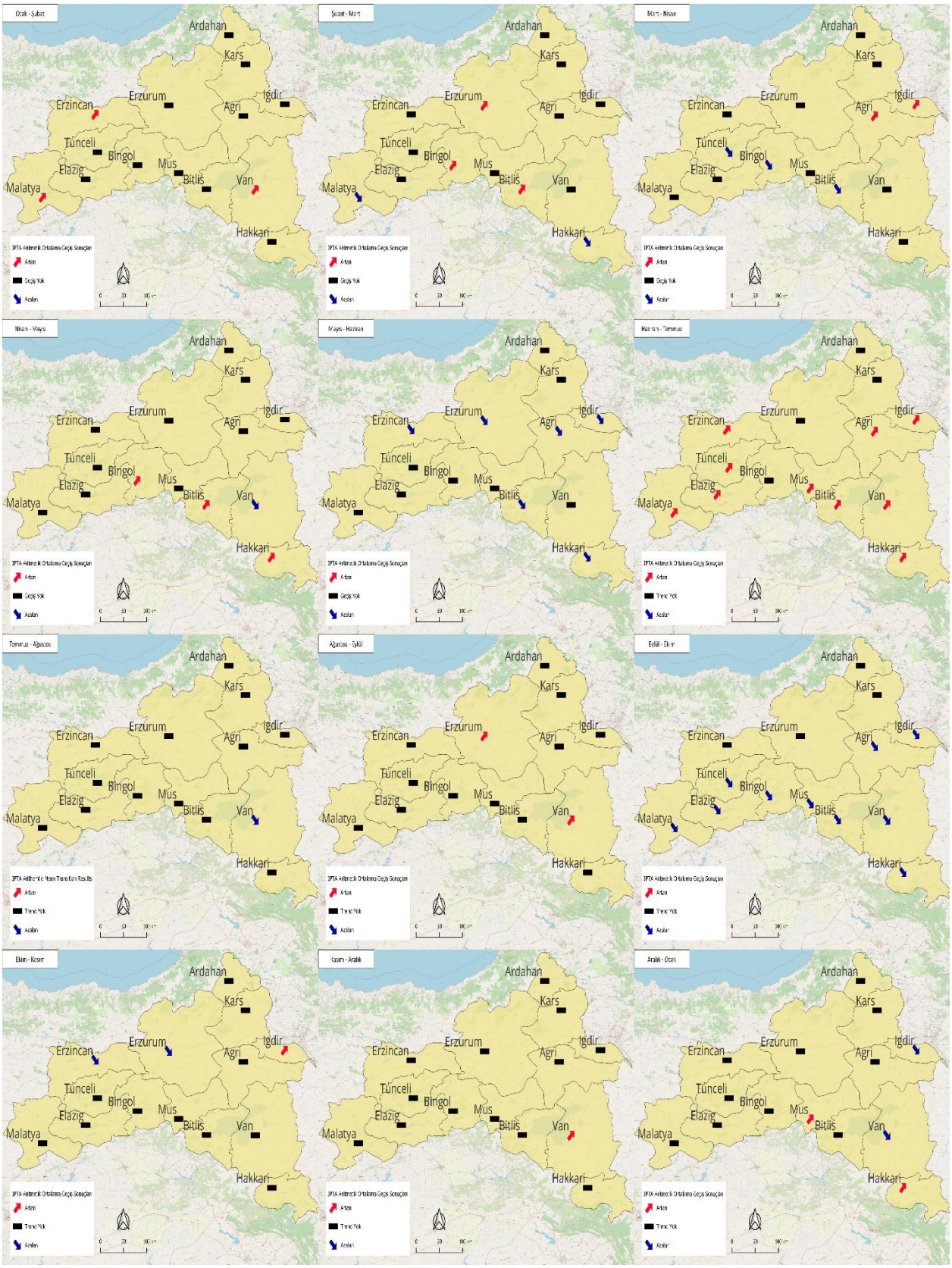
bölgeleri arasındaki geçişler ise Şekil 13 ve Şekil 14'te verilmiş olup, "↗" azalan bölgeden artan bölgeye geçişi, "↘" artan bölgeden azalan bölgeye geçişi ve "→" ilgili dönemde geçiş olmadığını ifade etmektedir.



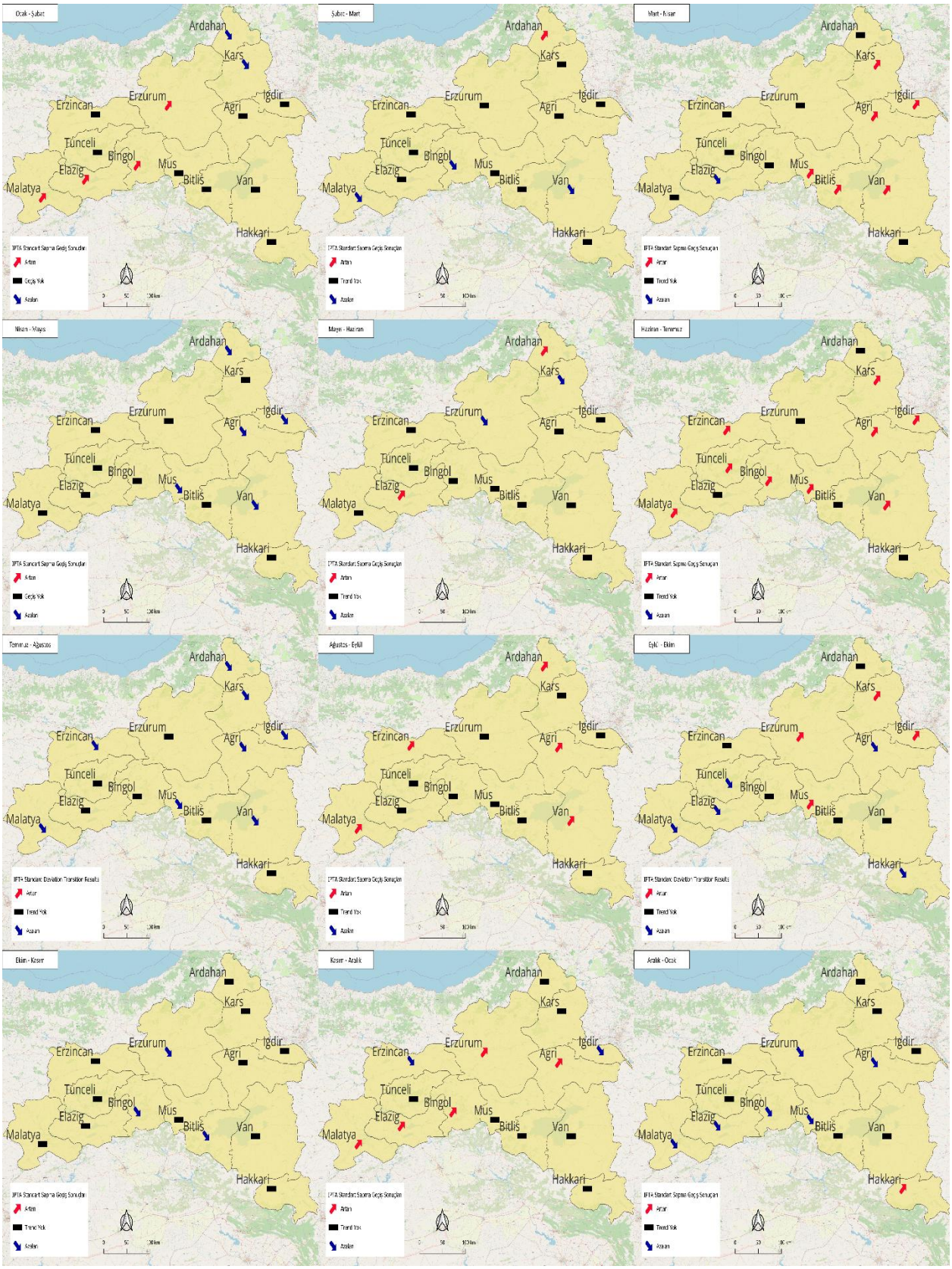
Şekil 11. Tüm İstasyonlar İçin IPTA Aritmetik Ortalama Değerleri



Şekil 12. Tüm İstasyonlar İçin IPTA Standart Sapma Değerleri



Şekil 13. Tüm İstasyonlar İçin IPTA Aritmetik Ortalama Geçişleri



Şekil 14. Tüm İstasyonlar İçin IPTA Standart Sapma Geçişleri

IPTA aritmetik ortalama grafikleri (Şekil 11) incelendiğinde, kış aylarında (aralık–şubat) çoğu ilde azalan trendlerin baskın olduğu görülmektedir. Bu durum, bölgede potansiyel bir kuraklık riskine işaret etmektedir. Buna karşılık ilkbahar (mart–mayıs) döneminde daha karma bir yapı gözlenmektedir; bazı illerde mart ve nisan aylarında artan trendler görülürken mayıs ayına ait sonuçlar farklılık göstermektedir. En dikkat çekici desen ise yaz aylarında ortaya

çıkmaktadır. Temmuz ayı neredeyse tüm illerde güçlü bir artan trend gösterirken, eylül ayı tüm 14 ilde tutarlı bir artış sergilemektedir. Bu durum taşkın riskinin artabileceğini göstermektedir. Buna karşılık sonbahar ayları (ekim–kasım) genel olarak yaygın azalan trendlerle karakterize edilmekte ve bu da kuraklık riskine işaret etmektedir.

IPTA standart sapma grafikleri (Şekil 12) genel olarak benzer desenler ortaya koymakla birlikte yağış değişkenliğindeki değişimleri de vurgulamaktadır. Kış aylarında değişkenliğin çoğunlukla azaldığı görülmekte, bu da aşırı yağış olaylarının daha az şiddetli olabileceğini göstermektedir. Buna karşılık temmuz ve eylül aylarında hem ortalama değerlerde hem de değişkenlikte artış görülmektedir. Bu durum yalnızca yağış miktarının artmadığını, aynı zamanda aşırı yağış olaylarının da arttığını ve dolayısıyla taşkın riskinin şiddetlenebileceğini göstermektedir.

IPTA yönteminin bir diğer önemli avantajı ise ardışık aylar arasındaki trend geçişlerini belirleyebilmesidir. Bu özellik, statik trend tespitinin ötesine geçerek daha dinamik bir değerlendirme yapılmasına olanak tanır. Şekil 13 ve Şekil 14'te gösterildiği üzere, bu geçişler Doğu Anadolu Bölgesi'nin iklimsel istikrarsızlığı hakkında önemli bilgiler sunmaktadır. Özellikle mart–nisan, mayıs–haziran ve eylül–ekim dönemlerinde artan ve azalan trend bölgeleri arasında sık geçişlerin görülmesi, mevsimsel yağışların tutarsızlığını ortaya koymaktadır. Azalan trend bölgesinden artan trend bölgesine geçişler çoğunlukla taşkın riskinin yüksek olduğu dönemleri, artan trend bölgesinden azalan trend bölgesine geçişler ise kuraklık başlangıcını gösterebilmektedir. Bu özellik, IPTA yönteminin yalnızca uzun dönemli değişimleri belirlemekle kalmayıp, aynı zamanda su yönetimi ve afet hazırlığı açısından kritik olan kısa dönemli dalgalanmaları da ortaya koyabildiğini göstermektedir.

TARTIŞMA

Yapılan analizler, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yağış trendlerinin mevsimsel açıdan belirgin asimetriler gösterdiğini ortaya koymuştur. Mann–Kendall testi yalnızca sınırlı sayıda istasyonda istatistiksel olarak anlamlı monoton eğilimler belirlerken, Şen-ITA ve IPTA yöntemleri aylık ve yıl içi değişkenlikleri daha ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur. Özellikle Mann–Kendall analizinde yalnızca Erzurum istasyonunda %95 güven düzeyinde anlamlı azalan trend tespit edilirken, grafiksel yenilikçi trend analiz yöntemleri orta ve yüksek yağış değerlerinde daha karmaşık geçiş davranışlarının bulunduğunu göstermiştir. Bu durum, IPTA ve ITA tabanlı yöntemlerin klasik parametrik olmayan yöntemlerin gözden kaçırabileceği gizli eğilimleri ve mevsimsel geçiş davranışlarını belirlemede daha hassas olabileceğini göstermektedir. Benzer sonuçlar Touhedi ve ark. (2023), Körük ve ark. (2023) ve Köyceğiz ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da rapor edilmiştir.

Çalışmanın en dikkat çekici bulgularından biri, kış aylarında (Ekim–Şubat) belirlenen azalma eğilimleridir. Doğu Anadolu Bölgesi'nde kar örtüsü ve kış yağışları hidrolojik döngünün temel bileşenlerinden biri olduğundan, bu eğilimler ilkbahar ve yaz dönemlerindeki akarsu akımlarının azalmasıyla ilişkilendirilebilir. Bu durumun sulama suyu temini, içme suyu kaynakları ve hidroelektrik enerji üretimi üzerinde baskı oluşturabileceği düşünülmektedir. Benzer bulgular Akdeniz iklim bölgelerinde Caloiero ve ark. (2019), yüksek rakımlı havzalarda ise Ahmed ve ark. (2022) tarafından da rapor edilmiştir. Ayrıca Touhedi ve ark. (2023), Türkiye'de uzun dönemli yağış değişkenliğinin bazı bölgelerde kuraklık baskısını artırabileceğini belirtmiştir.

Buna karşılık yaz aylarında (Temmuz–Eylül) gözlenen artış eğilimleri, kısa süreli fakat yoğun yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir. Bu durum ani taşkın, yüzey akışı ve toprak erozyonu riskleri ile ilişkilendirilebilir. Gupta ve Chavan (2023) ile Şan ve ark. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışmalarda da yağışın belirli dönemlerde yoğunlaşmasının hidrolojik riskleri artırabileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte, taşkın oluşumu yalnızca yağış miktarına bağlı olmayıp topoğrafya, arazi kullanımı, zemin özellikleri ve hidrolojik süreçler gibi birçok faktörden etkilenmektedir. Bu nedenle çalışmada elde edilen sonuçlar doğrudan kesin taşkın veya kuraklık senaryoları olarak değil, potansiyel hidro-klimatik eğilimler kapsamında değerlendirilmelidir.

IPTA yönteminin ortaya koyduğu bir diğer önemli bulgu ise aylık trend geçişlerinin belirlenebilmesidir. Özellikle artan trend bölgelerinden azalan trend bölgelerine geçişler, dönemsel kuraklık eğilimleri ile ilişkilendirilebilirken; azalan trendden artan trende geçişler ise yağış rejimindeki düzensizliklerin arttığı dönemlere işaret edebilmektedir. Bu yaklaşım, statik trend analizlerine kıyasla hidro-meteorolojik değişkenliğin daha dinamik biçimde yorumlanmasına olanak sağlamaktadır. Körük ve ark. (2023) ile Gupta ve ark. (2023) tarafından gerçekleştirilen IPTA çalışmalarında da benzer şekilde karmaşık poligon yapılarının iklimsel değişkenliğin ve hidrolojik düzensizliklerin göstergesi olabileceği belirtilmiştir.

Standart sapma grafiklerinde bazı aylarda aşırı değer değişkenliğinin azalmasına rağmen ortalama yağış eğilimlerinin artış göstermesi, yağış rejiminin homojen olmayan bir yapıya sahip olabileceğini düşündürmektedir. Bu durum özellikle yağışın yıl içerisindeki dağılımında değişimlerin meydana gelebileceğine işaret etmektedir. Touhedi ve ark. (2023) ile Gupta ve ark. (2023), grafiksel trend yöntemlerinin düşük, orta ve yüksek değer kategorilerindeki değişimleri ayrı ayrı değerlendirebilmesi nedeniyle klasik Mann–Kendall yöntemine kıyasla daha ayrıntılı yorumlama imkânı sunduğunu belirtmiştir.

Genel olarak sonuçlar, Doğu Anadolu Bölgesi'nde mevsimsel yağış rejiminin değişkenlik gösterdiğini ve özellikle kış ile yaz yağışları arasında belirgin farklılaşmalar bulunduğunu ortaya koymaktadır. Bu durumun gelecekte bölgesel su yönetimi, tarımsal planlama ve afet risk azaltma stratejileri açısından dikkate alınması gerekebileceği düşünülmektedir. IPTA yönteminin bölgesel iklim değerlendirmelerine entegre edilmesi, hidrolojik değişkenliğin yıl içi davranışlarının daha ayrıntılı biçimde yorumlanmasına katkı sağlamaktadır.

Uygulamada bu bulgular;

• rezervuar ve baraj işletme politikalarının mevsimsel yağış değişkenliği dikkate alınarak yeniden değerlendirilmesi,

• kentsel yağmur suyu drenaj sistemlerinin güçlendirilmesi,

• kuraklığa dayanıklı tarımsal planlamaların teşvik edilmesi,

• alternatif su ve enerji yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi

gerekliliğine işaret etmektedir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait yaklaşık 60 yıllık aylık toplam yağış verileri Mann–Kendall, Şen-ITA ve IPTA yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Mann–Kendall testi yalnızca sınırlı sayıda istasyonda istatistiksel olarak anlamlı monoton eğilimler belirlerken, Şen-ITA ve IPTA yöntemleri aylık ve mevsimsel ölçekte daha ayrıntılı değişkenlik yapılarının ortaya konulmasına katkı sağlamıştır. Özellikle grafiksel yenilikçi trend analiz yöntemlerinin, klasik yöntemlerin belirleyemediği bazı geçiş davranışlarını ve gizli eğilimleri ortaya çıkarabildiği görülmüştür.

Başlıca sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

• Kış yağışlarında (Ekim–Şubat) belirlenen azalma eğilimleri, bölgedeki kar örtüsü ve su kaynakları üzerinde baskı oluşturabilecek potansiyel değişimlere işaret etmektedir.

• Yaz yağışlarında (Temmuz–Eylül) gözlenen artış eğilimleri, kısa süreli yoğun yağış olaylarının görülme olasılığının artabileceğini düşündürmektedir.

• IPTA yöntemi, artan ve azalan trend bölgeleri arasındaki geçişleri ortaya koyarak bölgedeki iklimsel değişkenliğin dinamik yapısını belirlemede önemli avantajlar sağlamıştır.

• Bazı aylarda ortalama yağış değerleri artış gösterirken aşırı değer değişkenliğinin azalması, yağış rejiminde homojen olmayan değişimlerin meydana gelebileceğine işaret etmektedir.

Genel olarak elde edilen bulgular, yenilikçi grafiksel trend analiz yöntemlerinin hidro-meteorolojik zaman serilerindeki değişkenliğin yorumlanmasında klasik yöntemleri tamamlayıcı önemli bilgiler sağlayabileceğini göstermektedir. Bu sonuçların, Doğu Anadolu Bölgesi'nde su yönetimi, tarımsal planlama ve afet risk azaltma çalışmalarına bilimsel katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Yapay Zekâ Katkı Beyanı

Bu makale tamamen herhangi bir yapay zeka aracının yardımı olmadan yazılmış, düzenlenmiş, analiz edilmiş ve hazırlanmıştır. Metin, veri analizi ve şekiller dahil tüm içeriğin yalnızca yazarlar tarafından oluşturulduğunu beyan ederim.

KAYNAKLAR

Acar, E., Kankal, M., Akçay, F. et al. Innovative polygon trend analyses with star graph for rainfall and temperature data in agricultural regions of Turkey. Environ Earth Sci 81, 530 (2022). https://doi.org/10.1007/s12665-022-10646-9

Acar, R. (2024a). Evaluation of Susurluk Basin Flows Using Trend Analysis Methods. Firat University Journal of Experimental and Computational Engineering, 3(1), 65-74. https://doi.org/10.62520/fujece.1421090

Acar, R. (2024b). A comparison of the performance of different innovative trend assessment approaches for air temperature and precipitation data: an application to Elâzığ Province (Türkiye). Journal of Water and Climate Change, 15(3), 1417-1437. https://doi.org/10.2166/wcc.2024.685

Achite, M., Ceribasi, G., Ceyhunlu, A. I., Wałęga, A., & Caloiero, T. (2021). The Innovative Polygon Trend Analysis (IPTA) as a Simple Qualitative Method to Detect Changes in Environment—Example Detecting Trends of the Total Monthly Precipitation in Semiarid Area. Sustainability, 13(22), 12674. https://doi.org/10.3390/su132212674

Ahmed, N., Wang, G., Booij, M.J. et al. Changes in monthly streamflow in the Hindukush–Karakoram–Himalaya Region of Pakistan using innovative polygon trend analysis. Stoch Environ Res Risk Assess 36, 811–830 (2022). https://doi.org/10.1007/s00477-021-02067-0

Alashan, S., Dursun, Ö. F., Yükseler, U. (2020). Yağışların Mevsimsel Değişimlerinin Trend Analizi Yöntemleri ile Araştırılması: Bingol İli Örneği, El-Cezerî Journal of Science and Engineering, Vol. 8, No: 1, pp. 45-59. https://doi.org/10.31202/ecjse.769918

Asikoglu, O.L., Alp, H. & Temel, I. Modified data classification for extreme values in Şen's innovative trend analysis: A comparative trend study for the Aegean and Eastern Anatolia Regions of Türkiye. Theor Appl Climatol 155, 8415–8434 (2024). https://doi.org/10.1007/s00704-024-05129-9

Ay, M. Trend of minimum monthly precipitation for the East Anatolia region in Turkey. Theor Appl Climatol 148, 603–615 (2022). https://doi.org/10.1007/s00704-022-03947-3

Aydın, M. (2023). Elâzığ İli Yağış Verilerinin Trend Analizi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 35(1), 159-173. https://doi.org/10.35234/fumbd.1178987

Caloiero, T., Coscarelli, R. and Ferrari, E. 2019. Assessment of Seasonal and Annual Rainfall Trend in Calabria (Southern Italy) with the ITA Method, Journal of Hydroinformatics, Vol. 22, Issue 4, pp. 738-748. doi: 10.2166/hydro.2019.138

Ceribasi, G., Ceyhunlu, A.I. & Ahmed, N. Analysis of temperature data by using innovative polygon trend analysis and trend polygon star concept methods: a case study for Susurluk Basin, Turkey. Acta Geophys. 69, 1949–1961 (2021). https://doi.org/10.1007/s11600-021-00632-3

Chinchorkar, S. S., Vaidya, V. B., Pandey, V., & Damle, K. S. (2013). Nakshatra-wise rainfall variability at Anand in middle Gujarat region. Asian Agri.-History, 17(4), 389-393.

Dabanlı, İ. (2017). Türkiye'de İklim Değişikliğinin Yağış-Sıcaklığı Etkisi ve Kuralık Analizi: Akarçay Örneği, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

El-Hagrsy, Rufayda & Gado, Tamer & Rashwan, Ibrahim. (2018). Climate change effects on annual rainfall characteristics in Egypt.

Gupta, N., Chavan, S.R. Assessment of changes in monthly streamflow using innovative polygon trend analysis in the South Indian Rivers. Arab J Geosci 16, 657 (2023). https://doi.org/10.1007/s12517-023-11767-6

Gümüş V. (2006). Fırat Havzası Akımlarının Trend Analizi ile Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

Hırca, T., Eryılmaz Türkkan, G. & Niazkar, M. Applications of innovative polygonal trend analyses to precipitation series of Eastern Black Sea Basin, Turkey. Theor Appl Climatol 147, 651–667 (2022). https://doi.org/10.1007/s00704-021-03837-0

Karmeshu, N. (2012). Trend detection in annual temperature & precipitation using the Mann Kendall test–a case study to assess climate change on select states in the northeastern United States.

Kartal, V., Yavuz, V. S., Ariman, S., Kaya, K., Alkanjo, S., & Simsek, O. (2024). Climate change trends in the Southeastern Anatolia region of Türkiye: precipitation and drought. Journal of Water and Climate Change, 15(12), 5893-5919. https://doi.org/10.2166/wcc.2024.503

Konin, N'Da & Alexis, N'go & Soro, Gneneyougo & Goula, Albert. (2022). Impact of rainfall trends on flood in Agnéby watershed. Journal of Water and Land Development. 9-20. 10.24425/jwld.2021.139938.

Koycegiz, C., & Buyukyildiz, M. (2024). Analysis of seasonal rainfall variability with innovative graphical methods of Konya Closed Basin, Türkiye. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 136, 103767. https://doi.org/10.1016/j.pce.2024.103767

Koycegiz, C., Buyukyildiz, M. Applications of innovative polygon trend analysis (IPTA) and trend polygon star concept (TPSC) methods for the variability of precipitation in Konya Closed Basin (Turkey). Theor Appl Climatol 155, 2641–2656 (2024). https://doi.org/10.1007/s00704-023-04765-x

Körük, A. E., Kankal, M., Yıldız, M. B., Akçay, F., Şan, M., & Nacar, S. (2023). Trend analysis of precipitation using innovative approaches in northwestern Turkey. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 131, 103416. https://doi.org/10.1016/j.pce.2023.103416

Mrad, Dounia & Yassine, Djebbar & Yahia, Hammar. (2018). Analysis of trend rainfall: Case of North-Eastern Algeria. Journal of Water and Land Development. 36. 105-115. 10.2478/jwld-2018-0011.

Nacar, S., Şan, M., Kankal, M., & Okkan, U. (2024). Innovative Polygonal Trend Analysis (IPTA) in detecting the seasonal trend behavior of statistically downscaled precipitation for the Eastern Black Sea Basin of Turkey. Urban Water Journal, 21(4), 406-418. https://doi.org/10.1080/1573062X.2024.2312496

Sen, Z., Şişman, E., & Dabanli, I. (2019). Innovative polygon trend analysis (IPTA) and applications. Journal of Hydrology, 575, 202-210. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.028

Şan, M., Akçay, F., Linh, N.T.T. et al. Innovative and polygonal trend analyses applications for rainfall data in Vietnam. Theor Appl Climatol 144, 809–822 (2021). https://doi.org/10.1007/s00704-021-03574-4

Touhedi, H., Kankal, M. & Yıldız, M.B. Trend analysis of maximum rainfall series of standard durations in Turkey with innovative methods. Nat Hazards 119, 1479–1511 (2023). https://doi.org/10.1007/s11069-023-06085-9

Url-1 <https://www.climateurope.eu/what-is-climate-and-climate-change/>, date 09.05.2023

Wuebbles, D.J., D.R. Easterling, K. Hayhoe, T. Knutson, R.E. Kopp, J.P. Kossin, K.E. Kunkel, A.N. LeGrande, C. Mears, W.V. Sweet, P.C. Taylor, R.S. Vose, and M.F. Wehner, 2017: Our globally changing climate. In: Climate Science Special Report: Fourth National Climate Assessment, Volume I [Wuebbles, D.J., D.W. Fahey, K.A. Hibbard, D.J. Dokken, B.C. Stewart, and T.K. Maycock (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, pp. 35-72, doi: 10.7930/J08S4N35.

Yenice, A.C., Yaqub, M. Trend analysis of temperature data using innovative polygon trend analysis and modeling by gene expression programming. Environ Monit Assess 194, 543 (2022). https://doi.org/10.1007/s10661-022-10156-y

Yetik, A.K., Arslan, B. & Şen, B. Trends and variability in precipitation across Turkey: a multimethod statistical analysis. Theor Appl Climatol 155, 473–488 (2024). https://doi.org/10.1007/s00704-023-04645-4

Yıldırım A. (2017). Trend Analizi Yöntemleri: Orta Fırat Havzası Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Enerji Enstitüsü

Yue, S., Pilon, P., & Cavadias, G. (2002). Power of the Mann–Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. Journal of Hydrology, 259(1-4), 254-271.

Yükseler, U. (2019). Küresel İklim Değişikliğinin Akarsuların Akış Potansiyeline Etkisi; Bingol Göynük Çayı Örneği, Yüksek Lisans Tezi, İnönü Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü