

Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde Ekstrem İklim Değişikliği İndekslerindeki Değişimlerin İncelenmesi

Arda GÜNGÖREN¹, Evren ÖZGÜR^{2*}, Muhammed Emir SÜNGER³, Muhammet SAKINÇ⁴

^{1,2,3,4} İstanbul Medeniyet Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34700, İstanbul

¹ <https://orcid.org/0009-0000-4386-6945>

² <https://orcid.org/0000-0002-6112-4539>

³ <https://orcid.org/0009-0003-5854-9581>

⁴ <https://orcid.org/0009-0000-9848-6931>

*Sorumlu yazar: evren.ozgur@medeniyet.edu.tr

Araştırma Makalesi

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 02.08.2025

Kabul tarihi: 03.10.2025

Online Yayınlanma: 13.01.2026

Anahtar Kelimeler:

Doğu Anadolu Bölgesi

Güneydoğu Anadolu Bölgesi

Mann-Kendall

Sen'in eğim testi

Yenilikçi Şen yöntemi

Trend analizi

ÖZ

İklim değişikliği, günümüzde yalnızca çevresel değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal alanlarda da ciddi etkiler oluşturan küresel ölçekli bir sorundur. Bu çalışma, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde ekstrem iklim indekslerinde zamanla meydana gelen değişimleri incelemeyi amaçlamaktadır. 1973–2023 yılları arasında 17 meteoroloji istasyonuna ait günlük sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak elde edilen ekstrem iklim değişikliği indeksleri, Mann-Kendall, Sen'in Eğim Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi ile analiz edilmiştir. Her iki bölgede sıcaklık indekslerinde anlamlı artışlar, düşük sıcaklıkları içeren (örn. FD0) indekslerde ise azalışlar tespit edilmiştir. Yağış indekslerinde ise bölgesel farklılıklar öne çıkmakta; bazı illerde anlamlı artış, bazılarında ise azalış eğilimleri gözlemlenmektedir. Mann-Kendall trend testi sonuçlarına göre, incelenen 17 istasyonun 16 tanesinde sıcaklık indekslerinde anlamlı değişimler gözlenmiştir. En az bir yağış indeksinde değişim gözlenen istasyon sayısı ise 9 olarak hesaplanmıştır. Sen'in Eğim Testi sıcaklık indeksleri sonuçlarının, Mann-Kendall testi sonuçları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Sen'in eğim testi yağış indeksi sonuçlarına göre Doğu Anadolu Bölgesi'nde indekslerde artış gözlenirken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde çoğunlukla azalış trendi gözlenmiştir. Yenilikçi Şen yöntemi sıcaklık ve yağış indeksleri sonuçlarının da diğer iki yöntemin sonuçları ile uyumlu olduğu söylenebilir.

Investigation of Changes in Extreme Climate Change Indices in the Eastern Anatolia and Southeastern Anatolia Regions

Research Article

Article History:

Received: 02.08.2025

Accepted: 03.10.2025

Published online: 13.01.2026

Keywords:

Eastern Anatolia Region

Southeastern Anatolia Region

Mann-Kendall

Sen's slope test

Innovative Sen method

Trend analysis

ABSTRACT

Climate change is a global issue that today has serious impacts not only on the environment but also on economic and social systems. This work aims to examine the changes over time in extreme climate indices in the Eastern Anatolia and Southeastern Anatolia Regions. Extreme climate change indices obtained from daily temperature and precipitation data for 17 meteorological stations between 1973 and 2023 were analyzed using Mann-Kendall, Sen's Slope Test and Innovative Şen Method. Significant increases were detected in temperature indices in both regions, while indices involving low temperatures (e.g., FD0) showed decreases. In precipitation indices, regional differences stand out; in some provinces, significant increases were observed, whereas in others, decreasing trends were detected. According to the Mann-Kendall trend test results, significant changes in temperature indices were observed in 16 out of the 17 stations examined. The number of stations showing changes in at

least one precipitation index was calculated as 9. The results of Sen's slope test for temperature indices were found to be consistent with those of the Mann-Kendall test. Based on Sen's slope test results for precipitation indices, increasing trends were observed in the Eastern Anatolia Region, while mostly decreasing trends were found in the Southeastern Anatolia Region. The results of the Innovative Şen Method for temperature and precipitation indices were also consistent with the findings of the other two methods.

To Cite: Güngören A., Özgür E., Sünger ME., Sakınç M. Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri'nde Ekstrem İklim Değişikliği İndekslerindeki Değişimlerin İncelenmesi. Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 2026; 9(1): 439-459.

1. Giriş

İklim değişikliği, günümüzde çevresel bir tehdit olmasının yanı sıra; aynı zamanda ekonomik, sosyal ve mühendislik açısından da küresel ölçekte etkileri hissedilen çok boyutlu bir kriz haline gelmiştir. Özellikle sanayi devrimi sonrası dönemde fosil yakıt kullanımının artmasıyla atmosfere salınan sera gazları, küresel ısınma sürecini hızlandırarak iklim sisteminde önemli değişimlere yol açmıştır. Bu değişiklikler; sıcaklık artışları, düzensiz yağışlar, kuraklık, seller, deniz seviyesi yükselmeleri, ekstrem hava olaylarının sıklığındaki artışlar ve su kaynaklarındaki azalmalar gibi pek çok farklı biçimde kendini göstermektedir (Türkeş, 2008).

İklim değişikliği hem doğal değişkenliklerden hem de insan kaynaklı faaliyetlerden kaynaklanmakta olup, istatistiksel olarak anlamlı ve uzun vadeli atmosferik değişimleri kapsamaktadır. Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde bu durum; "Doğal iklim değişikliğine ilave olarak, küresel atmosfere ait bileşimi bozan insan etkinlikleri neticesinde meydana gelen iklim değişimi" olarak tanımlanmaktadır (IPCC, 2022).

Türkiye, iklim değişikliğinin bölgesel etkilerini açıkça hissedilen ülkelerden biridir. Coğrafi konumu, topoğrafik çeşitliliği ve farklı iklim tiplerini bünyesinde barındırması nedeniyle, değişen iklim koşullarına karşı kırılgan bir yapıdadır. Özellikle yarı kurak ve kurak iklim bölgelerinde bulunan Güneydoğu Anadolu Bölgesi artan sıcaklıklar ve azalan yağış rejimleri nedeniyle çölleşme riski ile karşı karşıyadır (Biberoğlu, 2011).

Doğu Anadolu Bölgesi ise; yüksek rakımı, sert karasal iklimi ve sınır aşan su kaynaklarına ev sahipliği yapmasıyla birlikte hem iklimsel hem de jeopolitik açıdan özel öneme sahip ve kırılganlığı yüksek bir bölgedir. Fırat Nehri ve kolları gibi önemli su kaynaklarının bu bölgede bulunması, iklim değişikliğine bağlı gelişmelerin sadece çevresel değil, ekonomik ve stratejik boyutlarının da olduğunu göstermektedir (Emek, 2014).

İklim değişikliğinin inşaat sektörü üzerindeki etkileri ise çoğu zaman göz ardı edilmektedir. Oysa artan sıcaklıklar, yapı malzemelerinin fiziksel özelliklerinde bozulmalara yol açarak dayanıklılıklarını azaltabilirken, ani ve yoğun yağışlar zemin stabilitesini bozmakta ve temel sistemlerinde risk oluşturmaktadır (Younis, 2025).

Yapılan çalışmalarda, artan sıcaklık değişimlerinin asfalt, beton ve çelik gibi yapı malzemelerinin performansını doğrudan etkilediği, bu nedenle tasarım ve bakım süreçlerinin yeniden ele alınması gerektiği vurgulanmaktadır. Özellikle deniz seviyesi yükselmeleri ve sel riski gibi ekstrem olaylara

karşı, mühendislik projelerinde dayanıklılığın öncelikli kriter olarak ele alınması gerekmektedir (Younis, 2025).

Bu bağlamda iklim değişikliği, yalnızca çevre mühendisliği değil, tüm inşaat mühendisliği uygulamaları açısından da göz önünde bulundurulması gereken temel bir faktördür. Sürdürülebilir yapı tasarımları, iklim projeksiyonlarıyla uyumlu mühendislik çözümleri ve iklim risklerine karşı bölgeye özgü stratejilerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir (Abbass ve ark., 2022).

İklim değişikliğinin Türkiye gibi farklı alt iklimleri barındıran bir ülkede her bölgede farklı bir şekilde kendini göstermesi oldukça normaldir. Bu kapsamda, dünyada ve ülkemizde farklı bölgelerde, farklı trend analizi yöntemleriyle yapılan birçok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalar hem mevcut durumu değerlendirme, hem de geleceğe yönelik uyum stratejileri geliştirme açısından bilimsel temeller sağlamaktadır. Örneğin Emek (2014), Doğu Anadolu Bölgesi'nde yer alan 46 istasyondan elde edilen aylık ve yıllık toplam yağış verilerini analiz ederek yaptığı çalışmada kuzey kesimlerde artış, güney ve batı kesimlerde ise azalış eğilimleri saptamıştır. Biberoglu (2011), Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC)'nin iklim modellerini kullanarak Türkiye üzerindeki olası etkileri parametrik ve parametrik olmayan testlerle değerlendirmiş ve bölgesel belirsizliklerin dikkate alınması gerektiğini vurgulamıştır. Çoban (2013), 80 şehirden elde ettiği 1971-2010 dönemine ait verileri Şen'in Trend Yöntemi de dahil olmak üzere farklı analizlerle incelemiş; Karadeniz Bölgesi'nde artış, İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise azalış eğilimleri tespit etmiştir. Akbaş ve ark. (2023) Batman Bölgesi'nde yaptığı çalışmada sıcaklık verilerinde anlamlı artış trendleri gözlemlerken, yıllık yağış verilerinde anlamlı trendler tespit edememiştir. Altunay (2016) Türkiye genelinde 212 istasyondan elde edilen sıcaklık ve yağış verilerini mevsimsel bazda analiz etmiş ve özellikle yaz ile kış mevsimlerinde sıcaklıkların anlamlı şekilde arttığını; yağışlarda ise kuzeydoğuda artış, batıda ise azalma eğilimlerinin öne çıktığını belirtmiştir. Kahramanmaraş özelinde 2009 yılında yapılan iki ayrı çalışmada ise sıcaklık verilerinde anlamlı artışlar belirlenirken, yağışlı gün sayısında dikkat çekici azalmalar saptanmıştır (Cosun ve Karabulut, 2009; Karabulut ve Cosun, 2009).

İklim değişikliğinin analizi için yapılan çalışmalar, bu etkilerin bölgesel düzeyde nasıl farklılaştığını ortaya koymakta ve alınması gereken önlemlere bilimsel zemin sağlamaktadır. Bu çalışmaların çoğunda parametrik olmayan trend analiz yöntemleri tercih edilmektedir. Mann-Kendall, Sen'in Eğimi ve Yenilikçi Şen Yöntemi gibi analizler, normal dağılım varsayımı gerektirmemesi nedeniyle hidrolojik ve iklimsel çalışmalarda sıklıkla kullanılmaktadır (Meals ve ark., 2011).

Özellikle Şen (2012) tarafından geliştirilen Yenilikçi Şen Yöntemi, zaman serilerindeki alt eğilimleri de tespit edebilmesi ve simetrik olmayan dağılımlarda da kullanılabilirliği açısından son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır (Asikoğlu ve ark., 2024).

Bu çalışmada, 1973–2023 yılları arasındaki 51 yıllık dönemi kapsayan; Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait 10, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait 7 olmak üzere toplam 17 meteoroloji istasyonunun sıcaklık ve yağış verileri kullanılmıştır. Analizlerde trend analizi yöntemleri olarak Mann-Kendall, Sen'in Eğim Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemleri uygulanmıştır. Toplamda 27 adet iklim indeksi (16 sıcaklık, 11 yağış)

değerlendirilmiştir. Bulgular, Doğu Anadolu Bölgesi'nde anlamlı sıcaklık artışlarının ve serin gün/gece sayısında düşüşlerin yaşandığını, yağışlarda ise bazı istasyonlarda anlamlı artışlar gözlemlendiğini ortaya koymaktadır. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise sıcaklık artışları genel olarak anlamlı bulunmuştur.

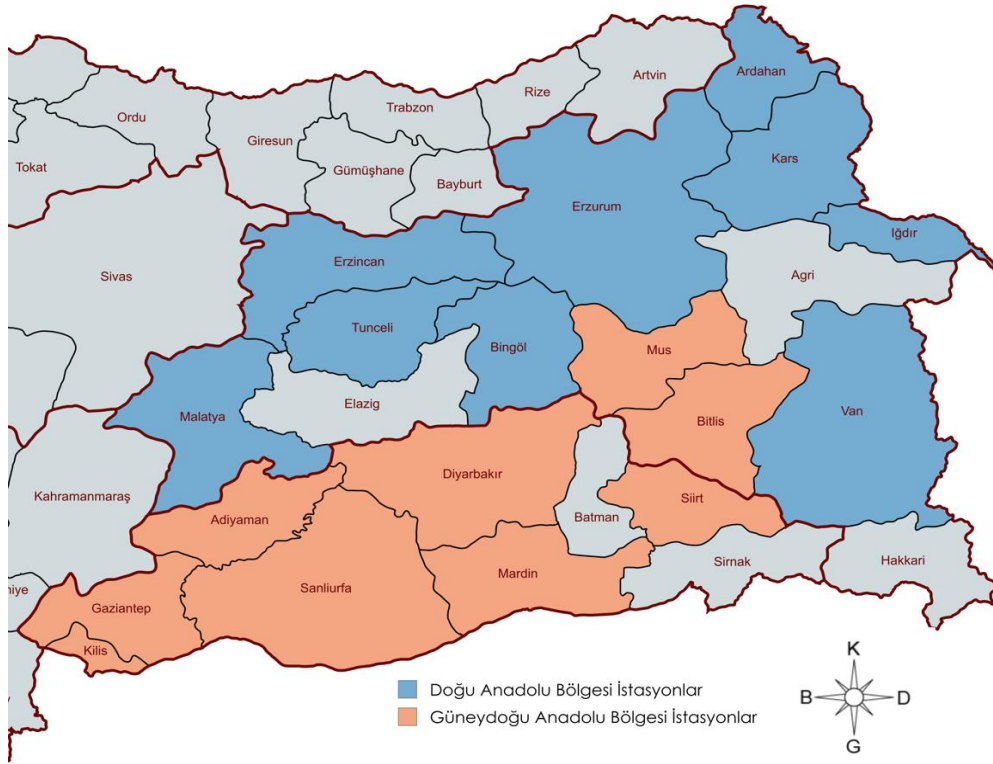
2. Materyal ve Metot

Türkiye coğrafi konumu itibariyle özellikle güney ve batı kıyılarında baskın durumda olan Akdeniz iklimi etkisi altındadır (Deniz ve diğ. 2011). Birçok alt iklim tipini barındırması, ortalama rakım yüksekliği ve etrafının denizlerle çevrili olması ile bağlantılıdır (Kömüscü ve Aksoy, 2024). Bu sebeple ülkemizin her bölgesinde farklı şekillerde etkiler görmek mümkündür (Biberoğlu, 2011).

Güneydoğu Anadolu Bölgesi yüz ölçümü bakımından ülkemizin en küçük coğrafi bölgesidir. Kış ayları nadir olarak soğuk geçerken, yaz ayları ise çok sıcak geçmektedir. Bitki örtüsü, alçak kesimlerde seyrek otlaklar ve kuraklığa dirençli çalılardan oluşmaktadır. Bölge yağışların büyük bir çoğunluğunu ilkbahar ve kış mevsimlerindeki aylarda almaktadır (Çoban, 2013).

Türkiye'nin en geniş coğrafi bölgesi Doğu Anadolu Bölgesi'dir. Kışları uzun ve sert, yaz ayları ise genellikle serin geçmektedir. Ancak alçak kesimlerde yaz sıcaklıkları önemli ölçüde yüksektir. Kış aylarında bölge genellikle karla kaplıdır ve don olayları oldukça yaygındır. Yüksek kesimlerde doğal bitki örtüsü çayır formasyonlarından, alçak kesimlerde ise bozkırlardan oluşmaktadır. Bölge yağışların büyük bir çoğunluğunu kış ve ilkbahar mevsimlerindeki aylarda almaktadır (Çoban, 2013).

Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından hazırlanan "2023 Yılı İklim Değerlendirmesi" raporunun sonucuna göre her iki bölgede de 2023 yılında aylık ortalama sıcaklıklar Ocak, Mart, Ağustos, Eylül, Ekim, Kasım ve Aralık aylarında uzun dönem ortalamalarının (1991-2020) üzerinde gerçekleşmiştir. Bu farklar aylık olarak 1 °C ile 4 °C arasında değişmektedir (MGM, 2024).



Şekil 1. Çalışmada kullanılan istasyonlar

Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'nde 10 adet, Güney Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki 7 adet şehir istasyon olarak belirlenmiş ve bu istasyonların sıcaklık ve yağış analizleri parametrik olmayan Mann-Kendall, Sen'in Eğim Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemleri ile yapılmıştır. Çalışmada kullanılan istasyonların konumları Şekil 1'de, istasyonlara ait bilgiler ise Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan istasyonların özellikleri

İstasyon Kodu	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yükseklik (m)	Veri Periyodu
17265	Adıyaman	37,7553	38,2775	672	1973-2023
17046	Ardahan	41,1061	42,7055	1827	1973-2023
17203	Bingöl	38,8847	40,5007	1139	1973-2023
17280	Diyarbakır	37,8973	40,2027	674	1973-2023
17094	Erzincan	39,7523	39,4868	1216	1973-2023
17096	Erzurum	39,9529	41,1897	1758	1973-2023
17261	Gaziantep	37,0585	37,3510	854	1973-2023
17100	Iğdır	39,9227	44,0523	856	1973-2023
17097	Kars	40,6042	43,1073	1777	1973-2023
17262	Kilis	36,7085	37,1123	640	1973-2023
17199	Malatya	38,3367	38,2173	950	1973-2023
17275	Mardin	37,3103	40,7284	1040	1973-2023
17204	Muş	38,7509	41,5023	1322	1973-2023
17270	Şanlıurfa	37,1608	38,7863	550	1973-2023
17210	Siirt	37,9319	41,9354	895	1973-2023
17165	Tunceli	39,1058	39,5408	981	1973-2023
17172	Van	38,4693	43,3460	1675	1973-2023

2.1. İklim Değişiklikleri İndeksleri

17 istasyona ait 1973-2023 yılları arasını kapsayan günlük maksimum sıcaklık, günlük minimum sıcaklık ve günlük toplam yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilip gerekli düzenlemeler yapılmıştır. Veriler çalışma bölgesinde bulunan tüm istasyonları kapsayacak şekilde ve değişken bazlı olarak “.txt” formatında temin edilmiştir. İlgili veriler istasyon bazlı olarak düzenlenmiş, eksik olan veriler doğrusal regresyon yardımıyla tamamlanmış ve kullanıma hazır hale getirilmiştir. Ardından, düzenlenen verilere ücretsiz bir program olan RStudio aracılığı ile aykırı değer analizleri yapılmış ve analiz sonucunda herhangi bir aykırı değere rastlanmamıştır. Düzenlenen ve aykırı değer analizleri yapılan veriler, CLIMDEX programına yüklenerek literatürde en sık kullanılan 27 adet çekirdek iklim indeksi her bir istasyon için elde edilmiştir. CLIMDEX "Climate Extremes Indices" yani "İklim Aşırılıkları İndeksleri", iklim değişikliğinin aşırı uçlar üzerindeki etkilerini ölçmek için geliştirilmiş bir iklim indeksleri setidir ve 27 adet çekirdek iklim indeksi içerir. Program ücretsiz olup, çalışmada kullanılan istasyonlara ait günlük toplam yağış, günlük maksimum sıcaklık ve günlük minimum sıcaklık verilerine ihtiyaç duymaktadır.

Tablo 2. 27 adet iklim indeksi ve indekslerin açıklamaları (Sensoy ve ark., 2013)

İndis Kodu	İndis Adı	Tanımlama	Birim
RX1day	1 Günlük maksimum yağış	Günlük maksimum yağış miktarı	mm
RX5day	5 Günlük maksimum yağış	5 günlük ardışık maksimum yağış miktarı	mm
SDII	Günlük yağış yoğunluk indisi	Yıllık yağış toplamı / yağışlı gün sayısı	mm/gün
R10	Şiddetli yağışlı gün sayısı	Yağış ≥ 10 mm olduğu günler	Gün
R20	Çok şiddetli yağışlı gün sayısı	Yağış ≥ 20 mm olduğu günler	Gün
R30	Çok şiddetli yağışlı gün sayısı	Yağış ≥ 30 mm olduğu günler	Gün
CDD	Ardışık kurak günler sayısı	Yağış < 1 mm olduğu ardışık günler sayısı	Gün
CWD	Ardışık ıslak günler sayısı	Yağış ≥ 1 mm olduğu ardışık günler sayısı	Gün
R95p	Çok ıslak günler	Yağışın normalinin %95'inden fazla olduğu miktarlar	mm
R99p	Aşırı ıslak günler	Yağışın normalinin %99'undan fazla olduğu miktarlar	mm
PRCPTOT	Yıllık toplam yağış	Yıllık toplam yağış miktarı ($P \geq 1$ mm)	mm
FD0	Zirai don günleri	Minimum sıcaklık < 0 °C olduğu günler	Gün
SU25	Yaz günleri	Maksimum sıcaklık > 25 °C olduğu günler	Gün
ID0	Buz günleri	Maksimum sıcaklık < 0 °C olduğu günler	Gün
TR20	Tropik geceler	Minimum sıcaklık > 20 °C olduğu günler	Gün
GSL	Büyüme sezonu uzunluğu	$T > 5$ °C olan ilk 6 gün ile $T < 5$ °C olan ilk 6 gün arasındaki günler toplamı	°C
TXx	Max Tmax	Maksimum sıcaklıkların maksimumu	°C
TNx	Max Tmin	Minimum sıcaklıkların maksimumu	°C
TXn	Min Tmax	Maksimum sıcaklıkların minimumu	°C
TNn	Min Tmin	Minimum sıcaklıkların minimumu	°C
TN10p	Serin geceler	$T_{min} < \text{normalinin } \%10$ olduğu günler	Gün
TX10p	Serin günler	$T_{max} < \text{normalinin } \%10$ olduğu günler	Gün
TN90p	Sıcak geceler	$T_{min} > \text{normalinin } \%90$ olduğu günler	Gün
TX90p	Sıcak günler	$T_{max} > \text{normalinin } \%90$ olduğu günler	Gün
WSDI	Sıcak devre süresi indikatörü	$T_{max} > \text{normalinin } \%90$ olduğu en az 6 ardışık gün sayısı	Gün
CSDI	Soğuk devre süresi indikatörü	$T_{min} < \text{normalinin } \%10$ olduğu en az 6 ardışık gün sayısı	Gün
DTR	Günlük sıcaklık genişliği	$T_{max} - T_{min}$	°C

Bu indeksler ve indekslerin açıklamaları Tablo 2’de gösterildiği gibidir.

2.2. Trend Analizi

Trend analizi, bir değişkenin bir zaman serisi içinde değerlerinde anlamlı bir azalış veya artış eğilimi (trend) olup olmadığının belirlenmesi amacıyla yapılır. Bu analiz, regresyon ve hipotez testi yöntemlerini temel alır. Zamanla düzensiz değişim gösterebilen hidrolojik değişkenlerin artış veya azalış tespitlerini yapmak için özel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır (Helsel ve Hirsch, 2002).

Özellikle iklim verileri gibi çevresel zaman serilerinde, doğrusal varsayımlar genellikle geçerli olmadığından, parametrik olmayan testler olan Mann-Kendall ve Sen’in Eğim Testi gibi yöntemler yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu yöntemler sıcaklık ve yağış gibi iklim değişkenlerinin yıllık ve mevsimsel eğilimlerini belirlemede etkin araçlar olarak kullanılmakta ve özellikle sıcaklıkta artış, yağışta ise azalış gibi eğilimlerin tespitinde önemli roller üstlenmektedir (Krishna Priya ve Naranammal, 2023).

Bu çalışmada parametrik olmayan yöntemlerden Mann-Kendall, Sen’in Eğim Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi trend analizleri RStudio programı aracılığı ile gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Mann-Kendall Trend Testi

Mann-Kendall (MK) testi, zaman serilerinde anlamlı bir yukarı veya aşağı yönlü eğilim olup olmadığını tespit etmek için kullanılan ve parametrik olmayan bir metottur. Yöntem, ilk olarak Mann (1945) tarafından önerilmiş ve daha sonra Kendall (1975) tarafından geliştirilmiştir.

Bu test, özellikle iklimsel ve hidrolojik zaman serilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Çünkü verilerin normal dağılım göstermesi gibi bir varsayımı bulunmaz (Aditya ve ark., 2021).

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i), \text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (1)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{\{n(n-1)(2n+5) - \sum_{j=1}^p t_j(t_j-1)(2t_j+5)\}}{18} \quad (2)$$

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}[S]}} & \text{Eğer } S > 0 \\ 0 & \text{Eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}[S]}} & \text{Eğer } S < 0 \end{cases} \quad (3)$$

Testin temel mantığı, her bir veri noktasının kendisinden sonra gelen tüm veri noktalarıyla karşılaştırılarak farklarının hesaplanmasına dayanır. Pozitif farklar +1, negatif farklar -1, sıfır farklar ise 0 olarak değerlendirilir. Bu farkların toplamı “S” istatistiğini verir (Özgür ve Koçak, 2019; Ög ve ark., 2024).

S değeri elde edildikten sonra varyans hesabına geçilir. Denklemden n değeri veri sayısını ifade ederken, t_j değeri değerlerin tekrar etme sıklığını ifade eder. S ve varyans değerleri hesaplandıktan sonra Z değeri hesaplanır ve bu değer kritik Z değeri ile karşılaştırılır. %95 güven düzeyinde kritik değer $\pm 1,96$ 'dır. Z değerinin $+1,96$ 'nın üzerinde sonuç vermesi anlamlı bir artışı ifade ederken, $-1,96$ değerinin altında sonuç vermesi ise anlamlı bir azalışın olduğunu ifade eder (Ergün ve ark., 2024).

2.2.2. Sen'in Eğim Testi

Sen'in Eğim Testi, zaman serilerindeki eğilimin (trend) varlığını ve bu eğilimin büyüklüğünü değerlendirmek amacıyla geliştirilen parametrik olmayan bir yöntemdir (Sen, 1968).

Özellikle hidrolojik ve meteorolojik çalışmalarda sıkça kullanılan bu yöntem, trend analizlerinde kullanılan diğer yöntemlerle birlikte anlamlı sonuçlar üretir. Trend analizi çalışmalarında sıklıkla kullanılan Mann-Kendall ve Yenilikçi Şen Trend analizleri gibi yöntemlerle beraber uygulandığında, verilerin yorumlanmasında daha güvenilir sonuçlar elde edilir (Kartal ve ark., 2024).

Sen'in Eğim Testi, serideki tüm veri çiftleri arasındaki eğimlerin hesaplanmasına dayanır. Veri serisinde $(X_j, X_k), j > k$ olmak üzere tüm çiftler için eğim (Q_i) , aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Sen, 1968; Kartal ve ark., 2024):

$$Q_i = \frac{x_j - x_i}{j - k} \quad (4)$$

Elde edilen Q_i değerleri küçükten büyüğe sıralanır ve ortanca (medyan) değeri alınarak serinin genel eğilimi tespit edilir.

$Q_{\text{medyan}} > 0$ ise veri serisinde artan bir eğilim

$Q_{\text{medyan}} < 0$ ise veri serisinde azalan bir eğilim

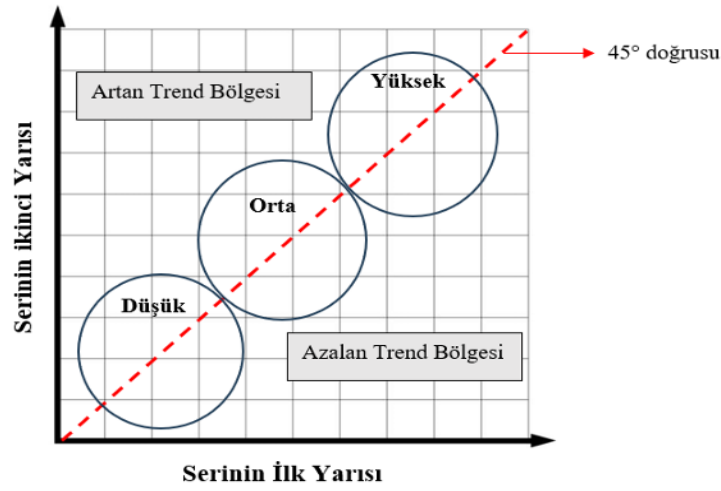
$Q_{\text{medyan}} = 0$ ise veri serisinde trend olmadığı varsayılır.

Elde edilen trend sonuçlarının istatistiksel güvenilirliği, belirli bir güven aralığında değerlendirilmelidir.

Bu bağlamda üst ve alt sınır değerleri hesaplanarak, normal dağılım varsayımı altında iki yönlü Z istatistiği kullanılır (Krishna Priya ve Naranammal, 2023).

2.2.3. Yenilikçi Şen Yöntemi

Şen (2012) tarafından ortaya çıkarılan “Yenilikçi Şen Yöntemi”, klasik olan trend analizi yöntemlerine (Mann-Kendall, Sen'in Eğim Testi, vb.) alternatif olarak geliştirilmiş parametrik olmayan analiz yöntemidir. Trendin yönünü detaylı, yenilikçi bir grafik yöntemi ile tespit etmeyi sağlar (Şekil 2).



Şekil 2. Yenilikçi Şen Yöntemi grafiğinin yorumlanması

Şekil 2’de görüldüğü üzere ilk olarak veri kümesi iki adet eşit parçaya bölünür. Ayrılan parçalar kendi içlerinde küçükten büyüğe doğru sıralanır. İlk yarıdaki değerler yatay eksene (X), ikinci yarıdaki değerler dikey eksene (Y) yerleştirilir. Grafiğin üzerine 45° doğrusu çizilir. Eğer veriler doğru üzerinde yer alıyor ise azalan ya da artan bir trend yok demektir. (Çeribaşı, 2019). Doğrunun altında kalan veriler azalan bir trendi ifade ederken, doğrunun üzerindeki veriler ise artan bir trendi ifade eder. Bu yöntemin diğer bir özelliği de trendin büyüklüğü hakkında bilgi verebilmesidir (Akbaş ve ark., 2023).

3. Bulgular

3.1. Mann-Kendall Trend Analizi Sıcaklık İndeksi Sonuçları

17 adet istasyona ait RStudio aracılığıyla elde edilen Mann-Kendall sıcaklık indeksi sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Mann-Kendall trend testi sıcaklık indeksi sonuçları

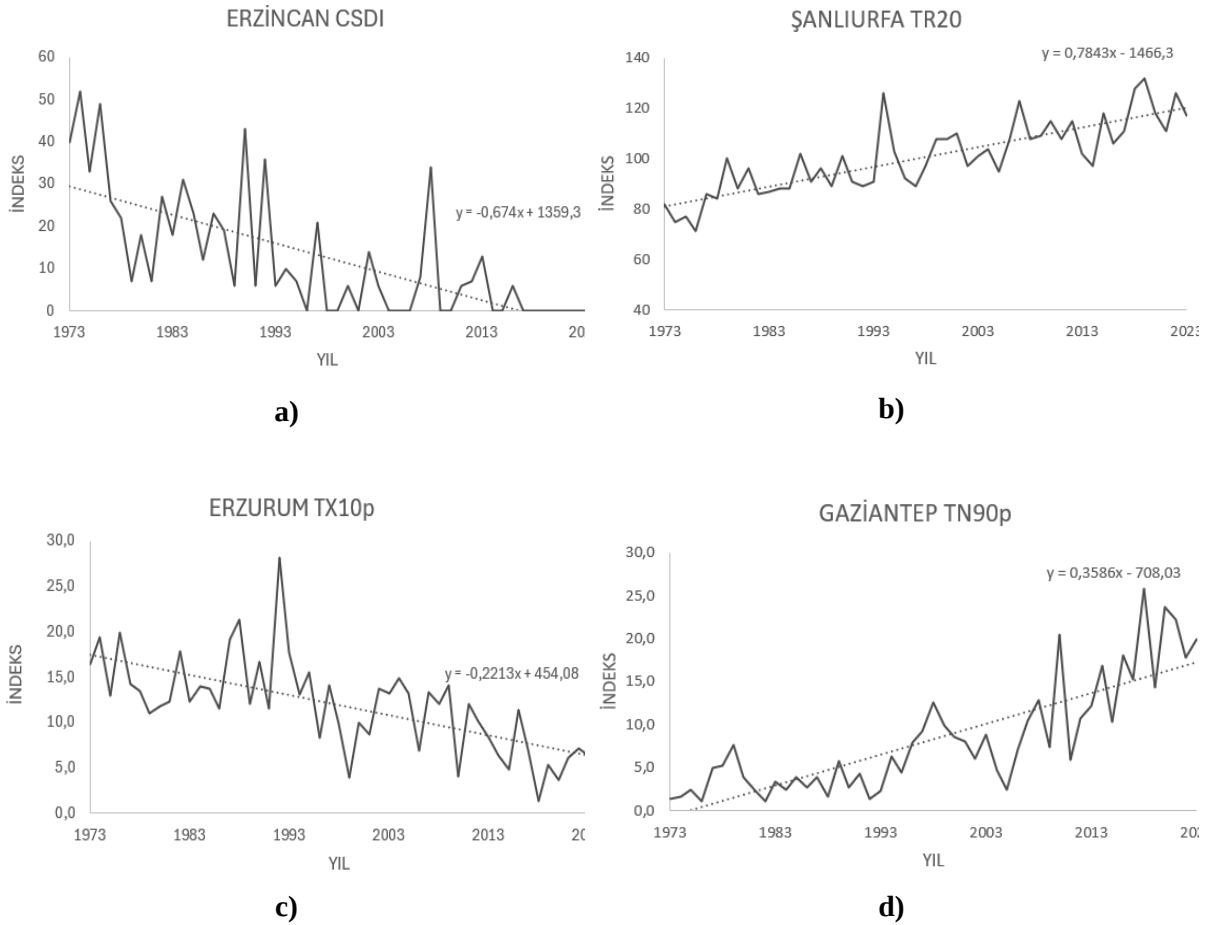
	CSDI	DTR	FD0	GSL	ID0	SU25	TN10p	TN90p	TNn	TNx	TR20	TX10p	TX90p	TXn	TXx	WSDI
Adıyaman	-2.726	2.275	-2.126	2.037	0.313	4.391	-4.919	4.015	1.356	0.888	5.184	-5.956	4.969	0.594	2.713	2.846
Ardahan	-0.545	-1.543	-4.504	2.048	-4.447	3.512	-5.848	6.109	3.300	-6.111	0.917	-4.394	5.166	1.723	0.610	3.312
Bingöl	-3.775	2.372	-2.716	2.926	-2.107	1.962	-3.866	3.793	2.527	1.335	4.020	-3.135	3.038	2.925	-0.374	2.180
Diğarbakır	-1.000	3.558	0.236	2.650	-0.573	2.875	-0.894	1.056	0.098	1.822	2.420	-4.322	4.040	0.512	0.846	1.925
Erzincan	-5.632	-0.660	-3.715	3.812	-3.261	4.448	-6.392	6.003	3.575	3.740	5.129	-5.134	4.882	2.706	4.076	2.749
Erzurum	1.057	3.769	0.772	0.911	-2.657	4.991	1.137	0.739	-1.560	1.179	-0.315	-4.865	5.255	0.285	3.378	2.792
Gaziantep	-5.391	-4.370	-4.397	3.815	-0.221	3.117	-7.270	6.604	3.261	3.756	6.957	-4.898	3.664	0.895	2.570	3.291
İğdir	-4.794	-5.978	-5.746	3.259	-1.041	2.831	-7.026	6.816	2.015	5.051	6.637	-2.445	3.371	-0.098	1.831	0.896
Kars	-4.268	3.655	-2.789	2.480	-4.454	4.243	-4.411	5.158	2.479	2.043	NAN	-5.539	5.637	3.349	1.610	4.220
Kilis	-3.878	-3.428	-2.588	1.727	-0.490	2.499	-6.628	6.019	2.048	3.023	6.494	-4.435	3.817	0.301	2.921	2.383
Malatya	-4.178	2.908	-3.300	2.909	-2.760	3.821	-5.653	5.395	1.764	4.048	5.568	-5.842	5.312	2.584	3.676	3.210
Mardin	-2.858	-0.977	-3.271	2.562	-1.553	1.790	-4.830	4.853	3.002	2.553	4.398	-5.156	3.606	1.698	3.086	2.556
Muş	-4.447	-3.834	-4.601	2.959	-1.869	3.197	-6.303	6.540	2.113	4.455	6.255	-4.110	3.785	1.057	1.903	1.278
Siirt	-4.564	-2.226	-3.072	3.357	-1.051	3.102	-6.246	6.076	0.999	1.968	6.430	-4.102	4.355	1.016	1.504	1.804
Şanlıurfa	-5.402	-0.32	-2.693	1.708	-0.490	4.889	-6.888	6.417	1.870	4.138	6.962	-5.792	5.264	0.602	3.187	3.436
Tunceli	-3.356	5.231	-2.375	3.284	-4.066	3.457	-3.265	1.909	2.088	-1.609	0.187	-5.824	5.434	3.810	3.318	2.485
Van	-5.521	-0.812	-4.918	4.040	-3.709	4.910	-5.775	5.370	3.039	2.699	2.260	-5.751	4.297	3.470	2.268	2.720

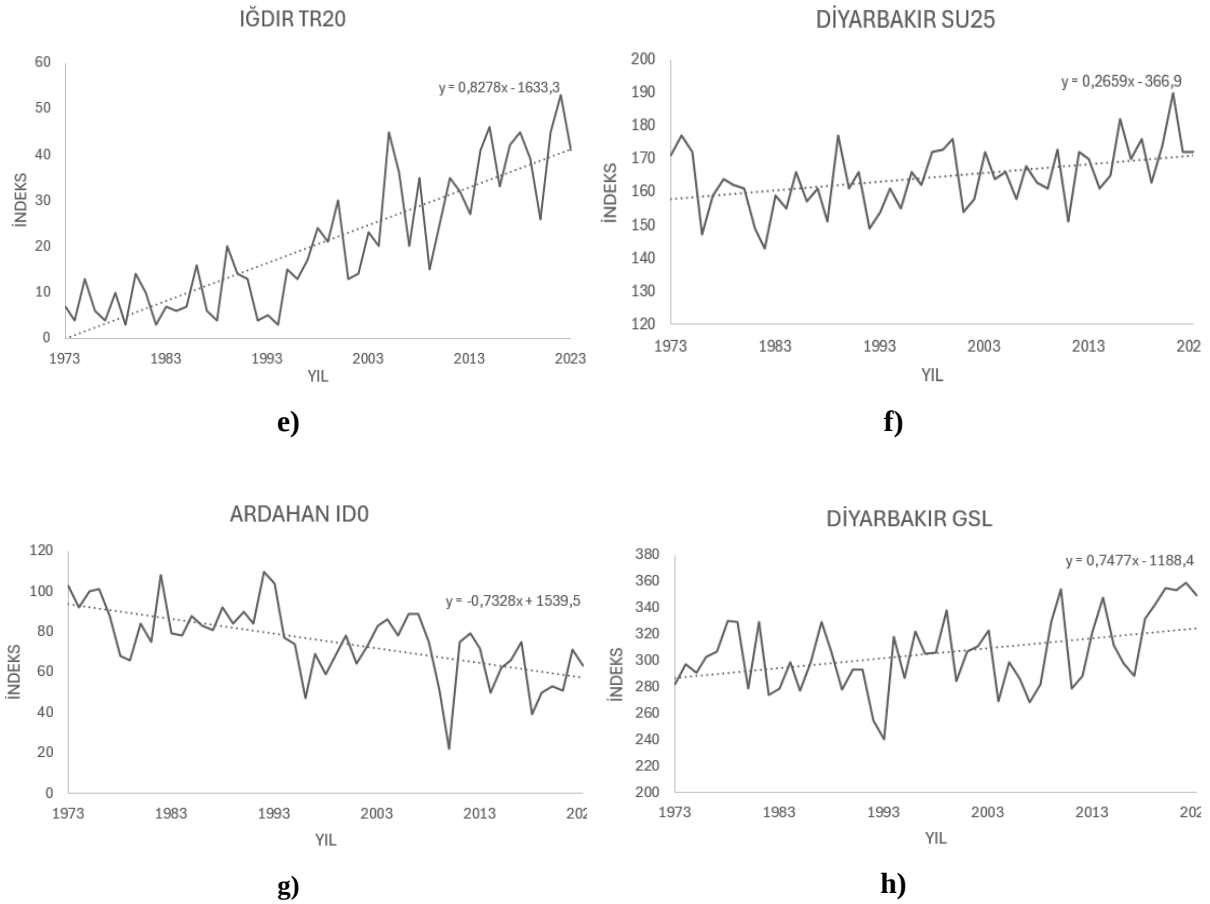
Orange: %95 anlamlılık düzeyinde kritik değeri olan 1.96 değeri üzerinde olduğu için işaretlenen istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğu belirlenmiştir.
Blue: %95 anlamlılık düzeyinde kritik değeri olan -1.96 değeri altında olduğu için işaretlenen istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir azalış olduğu belirlenmiştir.
NAN: Minimum sıcaklık çalışma periyodu boyunca 20 derecenin üzerine çıkmadığı için bu indeks hesaplanamamıştır.

Çalışma alanında yer alan istasyonların büyük bir çoğunluğunda 1973-2023 dönemi için sıcaklıkla ilgili olan indekslerde istatistiksel olarak anlamlı artışlar gözlenmiştir. Soğuklukla ilgili indekslerde ise

(Örneğin, CSDI, FD0, ID0, TN10p ve TX10p) istatistiksel olarak anlamlı azalışlar yaşandığı görülmektedir. Diğer indekslerin (GSL, SU25, TN90p, TNn, TR20, TX90p vb.) büyük bir çoğunluğunda ise istatistiksel olarak anlamlı artışlar olduğu görülmektedir. İklim değişikliği nedeniyle gerçekleşen sıcaklık artışlarının bir sonucu olarak, sıcaklık bazlı indeks değerlerinde en fazla değişim yaşayan istasyonların Erzurum ve Van istasyonları olduğu görülmektedir. Bu iki istasyonda incelenen 17 sıcaklık indeksinin 16 tanesinde istatistiksel olarak anlamlı değişimler gözlenmiştir. Sıcaklık indekslerinde en az anlamlı değişim gözlenen istasyon ise 7 tane indekste anlamlı değişim mevcut olan Erzurum istasyonudur.

Sıcaklık indekslerine ait Mann-Kendall trend analizi sonucu örneklerinden bazıları aşağıda verildiği gibidir. Erzurum istasyonuna ait CSDI sonucu incelendiğinde, 50 yıllık dönemde azalışın yaklaşık olarak 33 gün olduğu söylenebilir (Şekil 3a). Şanlıurfa istasyonuna ait TR20 indeksi incelendiğinde, çalışma periyodu boyunca artışın yaklaşık 39 gün olduğu görülmektedir (Şekil 3b).





Şekil 3. Mann-Kendall testi sıcaklık indeksi sonucu örnekleri

Erzurum istasyonuna ait TX10p indeksi sonucuna göre, 1973-2023 döneminde indeksteki azalışın yaklaşık olarak 11 gün olduğu sonucuna varılabilir (Şekil 3c). Gaziantep istasyonunun TN90p sonucuna göre, çalışma periyodu boyunca artışın yaklaşık 18 gün olduğu söylenebilir (Şekil 3d). Iğdır istasyonuna ait TR20 indeksi sonucuna göre, çalışma periyodu boyunca artışın yaklaşık 41 gün olduğu görülmektedir (Şekil 3e). Diyarbakır istasyonu SU25 sonucuna göre, çalışma periyodu boyunca artışın yaklaşık 13 gün olduğu sonucuna varılabilir (Şekil 3f). Ardahan ID0 sonucu incelendiğinde, 50 yıllık dönemde azalışın yaklaşık olarak 37 gün olduğu söylenebilir (Şekil 3g). Diyarbakır istasyonu GSL sonucuna göre, 1973-2023 döneminde indeksteki artışın yaklaşık olarak 37 gün olduğu görülmektedir (Şekil 3h).

3.2. Mann-Kendall Trend Analizi Yağış İndeksi Sonuçları

17 adet istasyona ait RStudio aracılığıyla elde edilen Mann-Kendall yağış indeksi sonuçları Tablo 4'te verildiği gibidir.

Tablo 4. Mann-Kendall trend testi yağış indeksi sonuçları

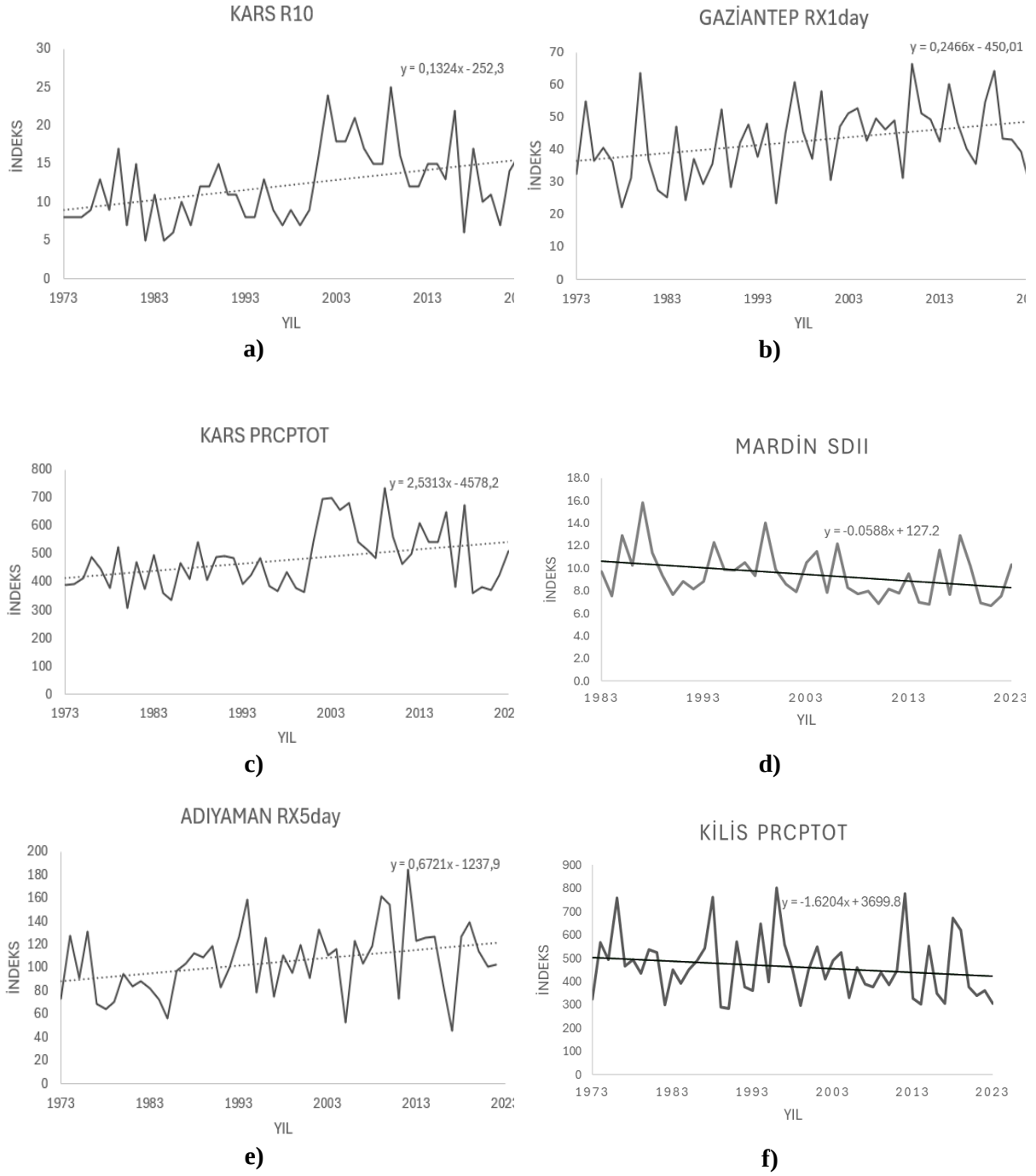
	CDD	CWD	PRCPT OT	R10	R20	R30	R95p	R99p	RX1day	RX5day	SDII
Adıyaman	-1.113	0	0.368	0.025	0.816	1.253	0.745	1.187	1.749	2.627	1.573
Ardahan	-0.903	1.357	3.314	2.664	2.365	1.096	2.680	1.213	0.950	2.031	2.420
Bingöl	0.252	1.170	-0.618	-0.562	0.720	-0.066	-0.471	0.017	0.041	2.274	0.942
Diyarbakır	-0.423	0.250	-0.195	0	-0.676	-1.035	-0.804	-0.344	-0.699	-0.024	0.487
Erzincan	-2.341	-2.037	0.008	-0.123	0.152	0.788	0.219	-0.043	0.146	0.414	0.715
Erzurum	-0.691	0.341	-0.504	-0.752	1.090	0.548	0.187	1.261	0.382	-0.187	-0.950
Gaziantep	-0.886	-1.234	0.634	-0.537	0.516	1.130	1.105	1.487	2.283	2.039	1.397
Iğdır	-1.089	-1.693	0.382	0.451	1.732	0.143	1.517	1.376	1.072	1.040	1.088
Kars	-0.431	0.399	2.128	2.788	0.676	0.810	0.958	0.666	0.366	1.267	1.722
Kilis	-0.658	1.539	-1.649	-0.693	-0.808	-0.288	-0.309	0.093	0.772	0.747	-0.098
Malatya	-2.167	0.394	-1.381	-0.679	-1.490	-1.248	-1.178	-1.586	-1.414	-1.999	-1.689
Mardin	0	-0.790	-1.247	-1.127	-1.527	-1.585	-1.461	-1.280	-1.910	-1.134	-2.303
Muş	-0.853	1.593	-0.634	-0.424	-1.202	-1.663	-1.958	-0.657	0.325	1.535	-0.666
Siirt	-1.324	-0.182	-0.382	-0.733	0.613	0.544	0.390	-0.609	0.382	-0.260	0.374
Şanlıurfa	-0.374	0.787	-0.845	-0.815	-0.280	0.345	0.609	-0.250	-0.187	-0.772	0
Tunceli	-1.495	-0.275	0.276	0.506	0.246	-0.783	-0.244	-0.952	-1.015	0.609	0.942
Van	-0.431	-0.204	1.235	1.578	1.488	0.516	0.276	0.570	1.048	0.203	1.056

■ %95 anlamlılık düzeyinde kritik değer olan 1.96 değerinin üzerinde olduğu için işaretlenen istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir artış olduğu belirlenmiştir.

■ %95 anlamlılık düzeyinde kritik değer olan -1.96 değerinin altında olduğu için işaretlenen istasyonlarda istatistiksel olarak anlamlı bir azalış olduğu belirlenmiştir.

Yağış indeksleri ile ilgili yapılan analiz sonucunda, Doğu Anadolu Bölgesi'nde Ardahan (PRCPTOT, R10, R20, R95p, RX5day, SDII), Bingöl (RX5day) ve Kars (PRCPTOT, R10) illerinin yağış indekslerinde anlamlı artışlar; Erzincan (CDD, CWD) ve Muş (R95p) illerinde ise anlamlı azalışlar belirlenmiştir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise Gaziantep'in RX1day ve RX5day indekslerinde anlamlı artışlar, Mardin (SDII) ve Adıyaman (RX5day) illerinde ise anlamlı azalışlar görülmüştür. Her iki bölgenin genelinde diğer illerde gözlemlenen değişimlerin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı sonucuna varılmıştır.

Yağış indekslerine ait Mann-Kendall trend analizi sonucu örneklerinden bazıları aşağıda verildiği gibidir. Kars istasyonuna ait R10 sonucu incelendiğinde, 50 yıllık dönemde artışın yaklaşık olarak 6 gün olduğu söylenebilir (Şekil 4a). Gaziantep istasyonuna ait RX1day indeksi incelendiğinde, çalışma periyodu boyunca artışın yaklaşık 12 gün olduğu görülmektedir (Şekil 4b). Kars istasyonuna ait PRCPTOT indeksi sonucuna göre, 1973-2023 döneminde indeksteki artışın yaklaşık olarak 127 gün olduğu sonucuna varılabilir (Şekil 4c). Mardin istasyonunun SDII sonucuna göre, çalışma periyodu boyunca azalışın yaklaşık 3 gün olduğu söylenebilir (Şekil 4d). Adıyaman istasyonuna ait RX5day indeksi sonucuna göre, çalışma periyodu boyunca artışın yaklaşık 34 gün olduğu görülmektedir (Şekil 4e). Kilis istasyonu PRCPTOT sonucuna göre, çalışma periyodu boyunca azalışın yaklaşık 81 gün olduğu sonucuna varılabilir (Şekil 4f).



Şekil 4. Mann-Kendall testi yağış indeksi sonucu örnekleri

3.3. Sen'in Eğim Testi Sıcaklık İndeksi Sonuçları

Sıcaklık indeksleri için Sen'in Eğim Testi analizinin sonuçları Tablo 5'te verilmiştir. Elde edilen Sen'in Eğim Testi sonuçlarında, 0'dan büyük olarak hesaplanan değerler artan trendi, 0'dan küçük olarak bulunan değerler azalan trendi, 0'a eşit değerler ise herhangi bir trendin olmadığını göstermektedir. RStudio programından elde edilen ve Tablo 5'te verilen sonuçların, Mann-Kendall testi sonuçlarıyla uyumlu olduğu belirlenmiştir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde; tüm istasyonların GSL, SU25, TN90p

ve TX90p indekslerinde artışlar gözlenmiştir. Öte yandan; TX10p indeksi, çalışma bölgesinde yer alan tüm istasyonlarda azalış göstermiştir.

Tablo 5. Sen'in Eğim Testi sıcaklık indeksi sonuçları

	<u>CSDI</u>	<u>DTR</u>	<u>FD0</u>	<u>GSL</u>	<u>ID0</u>	<u>SU25</u>	<u>TN10p</u>	<u>TN90p</u>	<u>TNn</u>	<u>TNx</u>	<u>TR20</u>	<u>TX10p</u>	<u>TX90p</u>	<u>TXn</u>	<u>TXx</u>	<u>WSDI</u>
Adıyaman	-0.161	0.019	-0.277	0.385	0	0.417	-0.241	0.180	0.031	0.012	0.55	-0.296	0.230	0.015	0.039	0
Ardahan	0	-0.11	-0.571	0.313	-0.694	0.435	-0.284	0.256	0.105	-0.2	0	-0.206	0.245	0.05	0.01	0
Bingöl	-0.2	0.013	-0.5	0.8	-0.226	0.188	-0.207	0.176	0.118	0.015	0.333	-0.158	0.163	0.092	-0.003	0
Diyarbakır	0	0.031	0.044	0.714	0	0.286	-0.048	0.048	0.005	0.022	0.272	-0.192	0.185	0.022	0.008	0.049
Erzincan	-0.565	-0.003	0.571	0.65	-0.42	0.472	-0.460	0.240	0.126	0.061	0.159	-0.253	0.222	0.097	0.054	0
Erzurum	0.167	0.074	0.143	0.118	-0.448	0.675	0.051	0.041	-0.083	0.018	0	-0.212	0.242	0.008	0.05	0.051
Gaziantep	-0.539	-0.023	0.765	1	0	0.278	-0.499	0.326	0.076	0.047	1	-0.214	0.195	0.02	0.035	0.056
Iğdır	-0.474	-0.047	0.821	0.6	-0.125	0.261	-0.539	0.366	0.1	0.074	0.818	-0.117	0.156	-0.005	0.030	0
Kars	-0.136	-0.025	0.318	0.371	0.912	0.7	-0.247	0.183	0.078	0.026	0	-0.351	0.286	0.096	0.031	0.171
Kilis	-0.225	-0.02	0.231	0.071	0	0.222	-0.382	0.275	0.05	0.063	1.118	-0.182	0.174	0.007	0.042	0.133
Malatya	-0.273	0.015	0.539	0.625	-0.181	0.438	-0.269	0.247	0.049	0.063	0.833	-0.278	0.257	0.059	0.060	0
Mardin	-0.194	-0.008	0.563	1.045	0	0.212	-0.295	0.321	0.0821	0.057	0.667	-0.289	0.229	0.058	0.044	0.092
Muş	-0.457	-0.029	0.769	0.5	-0.391	0.333	-0.445	0.327	0.110	0.064	0.333	-0.235	0.182	0.048	0.024	0
Siirt	-0.375	0.011	0.528	0.889	0	0.267	-0.333	0.274	0.037	0.027	0.769	-0.165	0.196	0.036	0.021	0.039
Şanlıurfa	-0.435	-0.001	-0.25	0.039	0	0.474	-0.399	0.298	0.039	0.043	0.783	-0.285	0.238	0.011	0.038	0.143
Tunceli	-0.171	-0.046	0.375	0.688	-0.348	0.429	-0.140	0.071	0.103	-0.025	0	-0.329	0.254	0.131	0.033	0
Van	-0.632	-0.009	0.643	0.692	-0.455	0.667	-0.549	0.206	0.109	0.05	0.031	-0.313	0.230	0.078	0.04	0

3.4. Sen'in Eğim Testi Yağış İndeksi Sonuçları

Yağış indeksleri için Sen'in Eğim Testi analizinin sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Yapılan analiz sonucunda elde edilen eğim değerleri, Mann-Kendall testi sonuçlarıyla uyumlu bulunmuştur. Doğu Anadolu Bölgesi'nde genel olarak yağış indekslerinde artış trendi gözlemlenirken, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ağırlıklı olarak azalış trendi hakimdir. 0'dan büyük değerlerin anlamlı artışı ifade ettiği, 0'dan küçük değerlerin ise anlamlı azalışları gösterdiği Sen'in Eğim Testi sonucunda ortaya çıkan değerlerin de Mann-Kendall trend testindeki sonuçlarla benzerlik gösterdiği görülmektedir. Tablodaki sonuçlar incelendiğinde, istasyonların 16 tanesinde CDD indeksi azalış olduğu gözlenmiştir. En fazla istasyonda artış gösteren indeks ise, istasyonların 12 tanesinde artış gözlemlenen RX5day ve SDII indeksleridir.

Tablo 6. Sen'in Eğim Testi yağış indeksi sonuçları

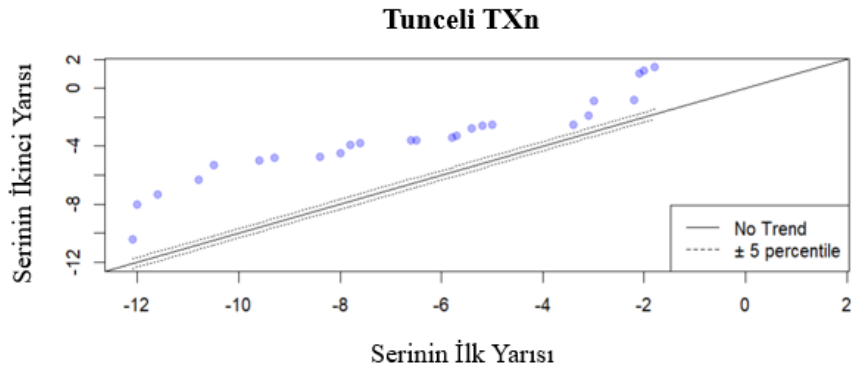
	<u>CDD</u>	<u>CWD</u>	<u>PRCPTOT</u>	<u>R10</u>	<u>R20</u>	<u>R30</u>	<u>R95p</u>	<u>R99P</u>	<u>RX1day</u>	<u>RX5day</u>	<u>SDII</u>
Adıyaman	-0.375	0	0.713	0	0.023	0.026	0.648	0	0.269	0.830	0.026
Ardahan	-0.071	0	3.485	0.143	0.032	0	1.5	0	0.082	0.280	0.013
Bingöl	0.067	0	-0.821	-0.031	0	0	-0.367	0	0.007	0.580	0.011
Diyarbakır	-0.125	0	-0.273	0	0	0	-0.506	0	-0.061	-0.008	0.006
Erzincan	-0.375	0	0.003	0	0	0	0.079	0	-0.017	0.040	0.004
Erzurum	-0.1	0	-0.488	-0.024	0	0	0.079	0	0.028	-0.018	-0.007
Gaziantep	-0.36	0	-0.824	-0.029	0	0	0.813	0	0.270	0.322	0.017

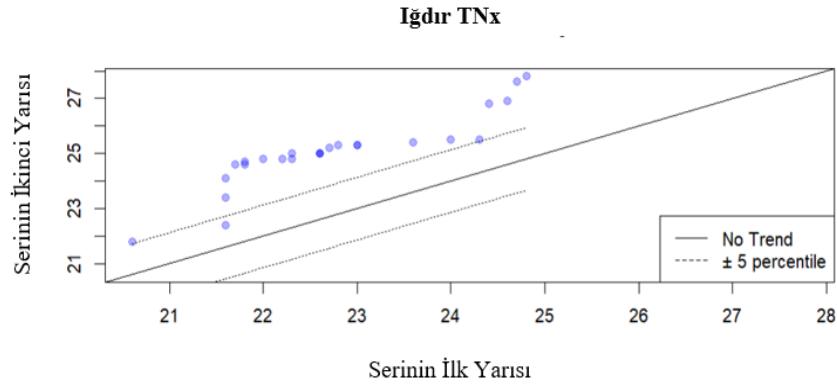
Iğdır	- 0.167	0	0.243	0	0	0	0.541	0	0.084	0.092	0.007
Kars	- 0.040	0	2.189	0.135	0	0	0.474	0	0.024	0,2	0.014
Kilis	- 0.278	0	-2.225	- 0.024	0	0	- 0.181	0	0.085	0.137	- 0.001
Malatya	- 0.552	0	-1.12	0	0	0	-0.47	0	-0.083	-0.236	- 0.011
Mardin	0	0	-4.021	-0.1	- 0.059	- 0.043	- 2.056	0	-0.422	-0.296	- 0.061
Muş	- 0.204	0.024	-0.816	0	- 0.039	- 0.029	- 1.638	0	0.024	0.254	- 0.010
Siirt	- 0.429	0	-0.581	- 0.041	0	0	0.207	0	0.037	0.064	0.005
Şanlıurfa	- 0.118	0	-1.065	- 0.039	0	0	0.3	0	-0.029	-0.171	0.015
Tunceli	- 0.364	0	0.538	0	0	0	- 0.215	0	-0.086	0.092	0.008
Van	-0.10	0	0.842	0.046	0	0	0.115	0	0.068	0.030	0.008

3.5. Yenilikçi Şen Yöntemi Sıcaklık İndeksi Sonuçları

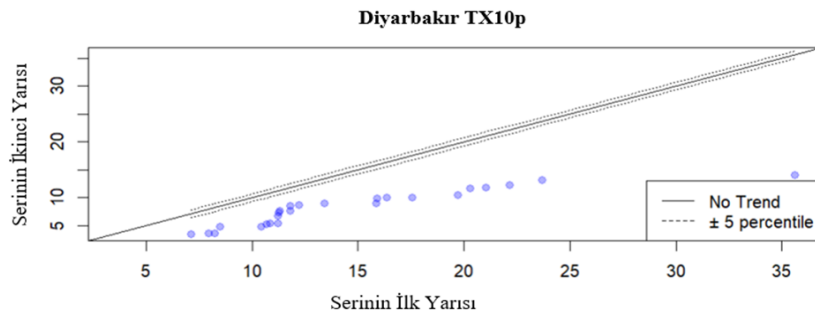
Yapılan analiz sonucunda 17 adet istasyona ait indekslerin Yenilikçi Şen Yöntemi grafikleri elde edilmiştir. Grafikler yorumlanarak verilerin yılın ilk yarısından ikinci yarısına değişimleri incelenip trendin yönü hakkında yorumlar yapılmış ve bu değişimlerin büyüklükleri hakkında bilgiler elde edilmiştir. Elde edilen grafikler değerlendirildiğinde, Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu Bölgelerinde 1973-2023 yılları arasında sıcaklıklarda genel bir artış trendi gözlemlendiği söylenebilir. Bu sonuçlar, her iki bölge için sıcaklıklardaki artış eğilimini açıkça ortaya koymaktadır. Bu yöntemden elde edilen sonuçlar, diğer iki yöntemle de tutarlıdır.

Şekil 5, üç farklı istasyona ait Yenilikçi Şen Yöntemi sıcaklık indeksi sonuçlarını göstermektedir. Tunceli TXn indeksi sonucu değerlendirildiğinde, indekste 50 yıllık çalışma dönemi boyunca anlamlı bir artış gözlemlendiği ifade edilebilir (Şekil 5a). Iğdır TXn indeksi sonucuna göre, indekste 1973-2023 dönemi boyunca anlamlı bir artış olduğu söylenebilir (Şekil 5b). Diyarbakır TX10p indeksi grafiği incelendiğinde, indekste çalışma periyodu boyunca anlamlı bir azalış olduğu görülmektedir (Şekil 5c).





b)



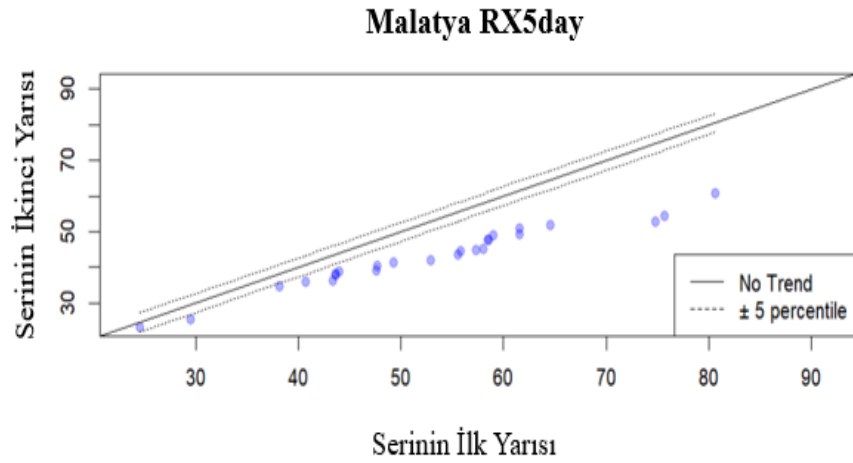
c)

Şekil 5. Yenilikçi Şen Yöntemi sıcaklık indeksi sonucu örnekleri

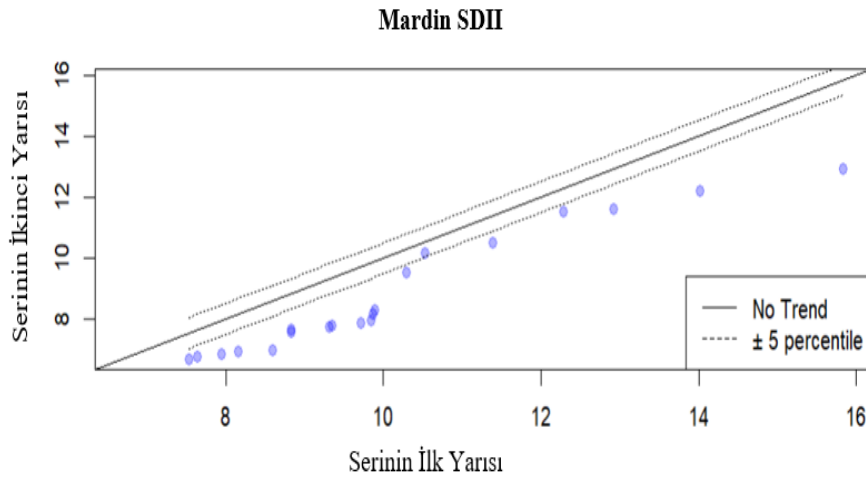
3.6. Yenilikçi Şen Yöntemi Yağış İndeksi Sonuçları

1973-2023 yılları arasında yapılan analizler sonucunda Yenilikçi Şen Yöntemi ile elde edilen grafikler, Doğu Anadolu Bölgesi'nde yağış indekslerinde bazı illerde artış trendi olduğunu, Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde ise azalış yönünde bir eğilim gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Bu eğilimler genel olarak anlamsızdır. Elde edilen sonuçlar Mann-Kendall Testi ve Sen'in Eğim Testi Yöntemi ile elde edilen sonuçlarla tutarlıdır.

Şekil 6, iki farklı istasyona ait Yenilikçi Şen Yöntemi yağış indeksi sonuçlarını göstermektedir. Malatya RX5day indeksi sonucu değerlendirildiğinde, indekste 50 yıllık çalışma dönemi boyunca anlamlı bir azalış gözlemlendiği ifade edilebilir (Şekil 6a). Mardin SDII indeksi sonucuna göre, indekste 1973-2023 dönemi boyunca anlamlı bir azalış olduğu söylenebilir (Şekil 6b).



a)



b)

Şekil 6. Yenilikçi Şen Yöntemi yağış indeksi sonucu örnekleri

4. Sonuçlar ve Tartışma

Bu çalışmada Doğu Anadolu Bölgesi'ne ait 10 ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi'ne ait 7 olmak üzere toplam 17 adet istasyon için 1973-2023 yıllarına ait maksimum sıcaklık, minimum sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak ekstrem iklim değişikliği indekslerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Çalışmada parametrik olmayan Mann-Kendall, Sen'in Eğim Testi ve Yenilikçi Şen Yöntemi analizleri kullanılarak 16 adet sıcaklık, 11 adet yağış indeksi üzerinde incelemeler yapılmıştır. Analizlerde Mann-Kendall testi ile değişimlerin istatistiksel anlamlılığı değerlendirilmiş, Sen'in Eğim Testi ile trendin büyüklüğü ve yönü hakkında bilgiler edinilmiş, Yenilikçi Şen Yöntemi ile de trendlerin zaman içindeki yapısı görsel olarak desteklenmiştir. Elde edilen sonuçlar 3 farklı yöntemde de birbirleriyle tutarlı yönde eğilim göstermiştir. Analiz sonuçları hem Güneydoğu Anadolu hem de Doğu Anadolu Bölgesi'nde sıcaklık indekslerinde anlamlı artışlar olduğunu ortaya koymuştur. Yağış indeksleri açısından ise bölgeler farklı şekillerde trend göstermiştir.

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlara göre, her iki bölgede de 50 yıllık periyotta iklim indekslerinde ciddi bir değişim gözlenmiştir. Sıcaklıklardaki ciddi artışlar ve yağışlardaki düzensizlikler bölgelerde çevresel tehditlerin giderek artmasının yanı sıra birçok sektörde de olumsuz etkiler bırakacaktır. Bu bölgelerin ekonomisini oluşturan tarım, hayvancılık, enerji gibi sektörler bu değişimlerden olumsuz etkilenecek sektörler arasındadır. Bu sektörler dışında inşaat sektörünün de bu değişimlerden etkileneceği şüphesiz bir gerçektir.

Artan sıcaklıklar, yapı malzemelerinde meydana gelen genişleme ve büzülme olaylarını arttırmakta, bu da malzeme yorgunluğuna ve zamanla meydana gelecek yapısal bozulmalara sebebiyet verebilir. Betonarme yapılarda termal gerilmelerin artışı, çatlak oluşumuna neden olabilir. Özellikle asfalt kaplamalarda yüksek sıcaklıklar nedeniyle deformasyonlar oluşturabilir ve yol yapılarının dayanıklılığını düşürebilir. Öte yandan soğuk gün sayısında meydana gelen azalmalar, donma çözülme döngülerinin de azalmasıyla bazı yapı bileşenlerinin ömrünü uzatabilir. Ancak bu durum beraberinde problemler de yaratabilir. Soğuk gün sayısındaki azalma iç mekânlarda konfor seviyesini azaltarak, binalarda soğutma ihtiyacını arttırmakta bu nedenle de pasif soğutma stratejilerine (Gölgeleme, doğal havalandırma, vb.) ihtiyaç duyulabilmektedir.

Zirai don gözlenen ve buzlu günlerin azalması, kış mevsiminde karla kaplı gün sayısının düşmesine neden olur. Bu durum kar yükünün azalması anlamına geliyor gibi gözüktse de, yağışlardaki düzensizlikler de bu durum açısından oldukça kritiktir. Şiddetli yağış indekslerinde (Özellikle R10, R20, R30 gibi) görülecek artışlar yoğun ve kısa süreli yağışların kar olarak gerçekleşmesi halinde çatıların aşırı yüke maruz kalmasına sebep olacaktır.

Yağış indekslerindeki düzensizlikler inşaat faaliyetlerini önemli ölçüde etkileyebilir. Özellikle 5 günlük maksimum yağış (RX5day) indeksindeki anlamlı artışlar, kısa sürede meydana gelecek yağışın zeminde doygunluk oluşturması ve zemin stabilitesini bozması anlamına gelebilir. Bu durum temel sistemlerin taşıma kapasitesini azaltmakta, zemin kayması gibi riskleri arttırmaktadır. Şiddetli yağışlar ayrıca yapı alanlarında su birikmelerine, su baskınlarına ve altyapı yetersizliklerine neden olabilir.

İnşaat süreçleri de bu değişimlerden doğrudan etkilenebilmektedir. Özellikle sıcaklıkların çok yüksek olduğu günlerde iş sağlığı ve güvenliği açısından çalışma saatleri kısıtlanabilmekte, bu da iş programlarının aksamalarına neden olmaktadır.

Mevcut yapı yönetmeliklerde yapılacak güncellemeler ile oluşabilecek problemler en az düzeye indirilebilir. Bu kapsamda, iklim değişikliği kaynaklı sıcaklık artışları, aşırı yağışlar, rüzgâr yükleri ve kar yükleri gibi değişkenlerin dikkate alındığı yeni tasarım kriterlerinin belirlenmesi, yapıların uzun ömürlü, güvenli ve çevresel koşullara dayanıklı olmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak, elde edilen veriler de göstermektedir ki her iki bölge de bu değişimlerden önemli ölçüde etkilenmektedir. Bu etkiler kendini her alanda göstermekle beraber, yeni iklim koşullarına adapte olabilmesi için bölgeye özgü çözümler getirilmelidir. Ayrıca iklim risklerinin azaltılması adına iyi bir şehir planlaması, sürdürülebilir su kaynakları yönetimi ve afet dayanıklılığı yüksek sistemlerin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir.

Teşekkür

Kullanılan veriler sayesinde çalışmanın hayata geçmesini mümkün kılan Meteoroloji Genel Müdürlüğü çalışanlarına teşekkürlerimizi sunarız. Ayrıca çalışmanın ön değerlendirme ve inceleme süreci boyunca vermiş oldukları desteklerden dolayı editör ve hakemlere de teşekkürü bir borç biliriz.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranda katkı sağlamış olduklarını beyan ederler.

Kaynakça

- Abbass K., Qasim MZ., Song H., Murshed M., Mahmood H., Younis I. A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research* 2022; 29: 42539–42559. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-19718-6>
- Aditya F., Gusmayanti E., Sudrajat J. Rainfall trend analysis using Mann-Kendall and Sen's slope estimator test in West Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 2021; 893(1): 012006.
- Akbaş E., Çelik R., Eşit M. Mann-Kendall, Spearman Rho ve Yenilikçi Şen yöntemlerinin meteorolojik veriler kullanılarak değerlendirilmesi: Batman Bölgesi örneği. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2023; 28(1): 239-251. <https://doi.org/10.53433/yyufbed.1165696>
- Altunay A. Mann-Kendall-Sen Trend yöntemi ile Türkiye'deki klimatolojik verilerin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale, Türkiye, 2016.
- Asikoğlu OL., 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. *Theoretical and Applied Climatology* 2024; 155: 8415-8434. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-05129-9>
- Biberoğlu E. Küresel iklim değişikliğinin Türkiye yağış ve sıcaklıkları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Hidroloji ve Su Kaynakları Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir, Türkiye, 2011.
- Cosun F., Karabulut M. Kahramanmaraş'ta ortalama, minimum ve maksimum sıcaklıkların trend analizi. *Türk Coğrafya Dergisi* 2009; 53: 41–50. <https://doi.org/10.17211/tcd.65166>
- Çeribaşı G. Şen Yöntemi ve Trend Yöntemleri Kullanılarak Doğu Karadeniz Havzasının yağış verilerinin analiz edilmesi. *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2019; 9(1): 254–264. <https://doi.org/10.21597/jist.439569>

- Çoban E. İklim değişikliğinin Türkiye genelindeki yağış eğilimlerine etkisinin araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Isparta, Türkiye, 2013.
- Deniz A., Toros H., Incecik S. Spatial variations of climate indices in Turkey. *International Journal of Climatology* 2011; 31(3): 394-403. <https://doi.org/10.1002/joc.2081>
- Emek MF. Doğu Anadolu Bölgesi yıllık ve aylık toplam yağışların trend analizi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Erzurum, Türkiye, 2014.
- Ergün M., Fırat B., Tuncer G., Sönmez O. Küçük Menderes Havzasında Mann Kendall ve Şen'in eğimi yöntemleri kullanılarak meteorolojik değişkenlerin trend analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi* 2024; 14(2): 1–12. <https://doi.org/10.7212/karaelmasfen.1459907>
- Helsel DR., Hirsch RM. Statistical methods in water resources (Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey, Book 4, Chapter A3). U.S. Geological Survey. 96; 2002.
- IPCC. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press; 2022.
- Karabulut M., Cosun F. Kahramanmaraş ilinde yağışların trend analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi* 2009; 7(1): 65–83.
- Kartal V., Yavuz VS., Arıman S., Kaya K., Alkanjo S., Simsek O. Climate change trends in the Southeastern Anatolia region of Türkiye: Precipitation and drought. *Journal of Water & Climate Change* 2024; 15 (12): 5893-5919. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.503>
- Kendall MG. Rank correlation methods. Griffin, London; 1975.
- Kömüscü AÜ., Aksoy M. Characterizing variability of spatial patterns of annual and seasonal precipitation of Turkey and identifying the probable driving factors including teleconnection patterns. *Water & Climate Change* 2024; 15(3): 1392-1416. <https://doi.org/10.2166/wcc.2024.665>
- Krishna Priya SR., Naranammal N. Trend analysis of climate variables using non-parametric tests. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research* 2023; 10(9): 86–93.
- Mann HB. Non-parametric tests against trend. *Econometrica* 1945; 13: 245–259.
- Meals DW., Spooner J., Dressing SA., Harcum JB. Statistical analysis for monotonic trends (Tech Notes 6). U.S. Environmental Protection Agency, Tetra Tech, Inc; 2011.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). 2023 Yılı İklim Değerlendirmesi Raporu. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Ankara; 2024.
- Öğ B., Gürer T., Cengiz S., Öztürk A., Turan E., Özgür E. Doğu ve Orta Karadeniz Bölgesi yağışlarının aylık, mevsimlik ve yıllık trend analizi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2024; 14(1): 131–148. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1330442>

- Özgür E., Koçak K. Climatology of snowfall/total precipitation days over Turkey. Theoretical and Applied Climatology 2019; 137: 2487–2495. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-02753-0>
- Sen PK. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau, Journal of the American Statistical Association 1968; 63: 1379–1389.
- Sensoy S., Türkoğlu N., Akçakaya A., Ekici M., Ulupınar Y., Demircan M., Atay H., Tüvan A., Demirbaş H. Trends in Turkey climate indices from 1960 to 2010. 6th International Atmospheric Science Symposium 2013; İstanbul.
- Şen Z. Innovative trend analysis methodology. Journal of Hydrological Engineering 2012; 17(9): 1042-1046. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000556
- Türkeş M. Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler. İklim Değişikliği ve Çevre 2008; 1(1): 26–37.
- Younis RMHA. The impact of climate change on civil engineering projects. International Journal of Civil and Environmental Engineering Research 2025; 12(2): 95-97.