

Mudurnu Çayı Havzasında Yağış ve Sıcaklık Verilerinin Trend Analizi

Gamze Tuncer^{1*}, Osman Sönmez¹

¹İnşaat Mühendisliği Bölümü / Sakarya Üniversitesi, Türkiye

*Başlıca yazar: gtuncer@sakarya.edu.tr

Özet – Geçmişten günümüze etkisini oldukça hissettiren ve insan hayatı üzerine olumsuz etkileri olan iklim değişikliği kaçınılmaz bir hadise haline gelmiştir. İnsanlığın iklim değişikliği etkilerine uyum sağlayabilmesi için birçok doğal afete sebep olabilecek olan hidro-meteorolojik parametrelerin değişimini öngörebilmesi gerekmektedir. Trend analiz yöntemleriyle hidro-meteorolojik parametrelerdeki değişim analiz edilebilmektedir. Bu çalışmada geleneksel yöntemlerden Mann-Kendall trend analizi ve yakın zamanda öne sürülen Yenilikçi Şen yöntemi (Innovative Trend Analysis / ITA) Mudurnu Çayı havzasında bulunan Sakarya ve Mudurnu meteoroloji gözlem istasyonlarının 1964-1995 periyodunda ölçtüğü toplam yağış, maksimum sıcaklık ve minimum sıcaklık verilerindeki değişimin analiz edilmesinde kullanılmıştır. Mann-Kendall trend analizi yöntemine göre Mudurnu gözlem istasyonunun ölçtüğü minimum sıcaklık verisi dışındaki diğer verilerde herhangi bir trend gözlemlenmemiştir. Yenilikçi Şen yöntemi (ITA) 'ne göre ise havza genelindeki tüm istasyonların ölçtüğü aylık toplam yağış verilerinde azalan trend gözlemlenmiştir. Maksimum sıcaklık için Sakarya gözlem istasyonu verilerinde herhangi bir trende rastlanmazken Mudurnu gözlem istasyonu verilerinde azalan trende rastlanmıştır. Minimum sıcaklık için Sakarya gözlem istasyonu verilerinde artan trend gözlemlenirken Mudurnu gözlem istasyonu verilerinde azalan trend gözlemlenmiştir. Ayrıca Yenilikçi Şen yönteminde zaman serisindeki veriler üç sözel gruba ayrılmış ve zaman serilerinin analizi daha ayrıntılı şekilde yapılmıştır. Yenilikçi Şen yöntemi analizi görselleştirerek kolaylık sağlamak ve iç analize izin vererek analizin daha teferruatlı olmasına yardımcı olmaktadır.

Mann-Kendall test, Yenilikçi Şen Yöntemi, Trend Analizi, İklim Değişikliği, Mudurnu Çayı Havzası

I. GİRİŞ

Yağış, sıcaklık, nem gibi meteorolojik verilerle akış gibi hidrolojik veriler hidrolik mühendislerinin çalışmalarını yürütmesinde sıklıkla kullanılan parametrelerdir. Bu hidrolojik ve meteorolojik parametrelerde geçmişten bugüne ve gelecekte bir değişim gözlemlenmekte ve bu olay iklimin değişmesine sebep olarak insanlığı tehdit etmektedir [1]. İnsanlığın iklim değişikliğine uyum sağlayabilmesi ve önlem alınabilmesi hususunda bu verilerdeki değişimi saptamak elzemdir. Hidro-meteorolojik parametrelerdeki değişimi saptamak ve eğilimi belirlemek için trend analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Trend analiz yöntemleri, geleneksel ve yenilikçi yöntemler olmak üzere iki ana kategoride incelenebilir. Geleneksel yöntemlerden Mann-Kendall testi, yenilikçi

yöntemlerden ise Yenilikçi Şen yöntemi trendin analiz edilmesinde ülkemiz ve dünya çapında sıklıkla kullanılan yöntemlerdir [2], [3], [4], [5]. Bu çalışmada Mudurnu Çayı havzasında bulunan iki meteoroloji gözlem istasyonu tarafından ölçülen yağış ve sıcaklık verilerinin trendi 1964-1995 periyodu için Mann-Kendall testi ve Yenilikçi Şen yöntemi ile analiz edilmiştir.

II. MATERYAL VE YÖNTEM

Mann-Kendall testi ve Yenilikçi Şen yöntemi (ITA) Mudurnu çayı havzasında bulunan Sakarya ve Mudurnu meteoroloji gözlem istasyonları tarafından 1964-1995 periyodunda ölçülen aylık toplam yağış, maksimum ve minimum sıcaklık verilerine uygulanmıştır.

A. Mann-Kendall Testi

İlk olarak Mann [6] tarafından ortaya atılan ve sonrasında Kendall [7] tarafından geliştirilen bu yöntem değişkenin dağılımından bağımsız parametrik olmayan bir testtir. Bu teste göre H_0 hipotezi ele alınan veri setinde trend olmadığını, H_1 karşıt hipotezi ise trendin varlığını kabul etmektedir [8].

Mann-Kendall istatistiği (S) aşağıdaki gibi hesaplanır.

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

Denklem 1'deki n zaman serisinin uzunluğunu temsil etmektedir ve denklem 1'deki işaret fonksiyonu ise

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{if } x_j > x_i \\ 0; & \text{if } x_j = x_i \\ -1; & \text{if } x_j < x_i \end{cases} \quad (2)$$

şeklinde hesaplanır. Burada x_i ve x_j , i ve j zamanlarında ölçülen veriyi temsil etmektedir. S 'nin pozitif değeri artan trend anlamına gelirken negatif değeri azalan trend anlamına gelmektedir. Test istatistiği S 'nin varyansı aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^p t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

Burada p bağımlı küme sayısı, Σ tüm bağımlı kümelerin toplamı ve i bağımlı kümedeki veri değeridir. Veri setinde bağımlı küme bulunmadığında, toplam kısım ihmal edilebileceğinden Denklem 3 aşağıdaki denkleme dönüşür.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (4)$$

Varyans değeri belirlenen Mann-Kendall testini n anlamlı olup olmadığı, kritik Z değerinin denklem 5 ile hesaplanan standart Z değeriyle karşılaştırılmasıyla belirlenir.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{eğer } S > 0 \\ 0; & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Hesaplanan standart Z değerinin mutlak değeri α anlamlılık düzeyindeki kritik Z değerinden büyükse ($|Z| > |Z_{1-\alpha/2}|$), sıfır hipotezi (H_0) reddedilir ve veri serisinde istatistiksel olarak

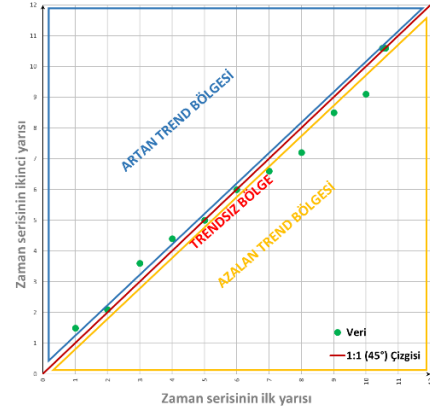
anlamlı pozitif veya negatif bir eğilim olduğu anlamına gelir. Hesaplanan mutlak standart Z değeri α anlamlılık düzeyindeki kritik Z değerinden küçükse ($|Z| < |Z_{1-\alpha/2}|$), sıfır hipotezi (H_0) kabul edilir ve karşıt hipotez (H_1) istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim olmadığını gösterir.

Standart Z 'nin mutlak değeri sırasıyla 1.96'dan büyük olduğunda eğilim %95 güven aralığında anlamlı kabul edilir.

B. Yenilikçi Şen Yöntemi (ITA)

Verilerdeki trendin görselleştirilmesine olanak sağlayan bu yöntem 2012 yılında Şen tarafından ortaya atılmıştır [9].

Bu yöntemle analiz için ölçüm aralığındaki veriler iki yarıya bölünür. Her yarıdaki veriler kendi içerisinde küçükten büyüğe sıralanır. x ekseninde ilk yarı verileri, y ekseninde ikinci yarı verileri olacak şekilde saçılım grafiği kartezyen koordinat sisteminde çizilir. Bu saçılım grafiğine 1:1 (45°) çizgisi eklenir. Eklenen bu çizgi saçılım grafiğini iki eş üçgen parçaya bölmektedir, çizginin üstünde kalan üst üçgen parça artan trendi gösterirken çizginin altında kalan alt üçgen parça ise azalan trendi göstermektedir (Şekil 1)



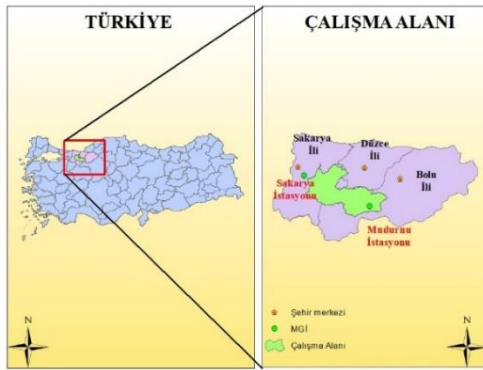
Şekil 1. Yenilikçi Şen Yöntemi

Ayrıca Yenilikçi Şen yöntemi zaman serisini sınıflara ayırarak veri seti hakkında daha detaylı yorum yapılmasına olanak sağlamaktadır [9]. Bu çalışmada zaman serisi düşük, orta ve yüksek olmak üzere üç gruba ayrılmış ve grupların trendi de belirlenmiştir. Gruplama işlemi yapılırken zaman serisinin ortalaması ve standart sapmasından faydalanılmıştır. Ortalamanın standart sapma ve daha fazlası kadar altında kalan veriler düşük, ortalamasının standart sapma kadar altında ve üstünde aralığında kalan veriler orta ve ortalamasının

standart sapma ve daha fazlası kadar üstünde kalan veriler yüksek sınıfta olacak şekilde gruplandırma yapılmıştır.

C. Çalışma Alanı

Mudurnu Çayı Havzası, 30°24' – 31°26' doğu boylamları ile 40°22' – 40°54' kuzey enlemleri arasında yer almaktadır. Mudurnu Çayı Havzası 2.211 km² drenaj alanına sahip olup Sakarya, Bolu ve Düzce illeri sınırları içerisinde yer almaktadır. Havzada Sakarya ve Mudurnu istasyonu olmak üzere iki adet meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır (Şekil 2).



Şekil 2. Çalışma Alanı Haritası

Bu istasyonlara ait bilgiler Tablo 1'de verilmiştir. Mudurnu istasyonu 1995 senesinden sonra kapatıldığı için günümüze ait ölçüm kayıtları bulunmamaktadır. Çalışmanın zaman aralığı olarak iki istasyonun da ölçüm yaptığı ortak periyot olan 1964-1995 periyodu seçilmiştir.

Tablo 1. Çalışmada Kullanılan MGİ Bilgileri

İstasyon Adı / No	Kot (m)	Ölçüm Aralığı
Sakarya / 17069	28	1960 - 2022
Mudurnu / 2190	858	1964 - 1995

III. BULGULAR

A. Mann-Kendall Testi Sonuçları

Sakarya ve Mudurnu istasyonu 1964-1995 periyodu aylık toplam yağış, maksimum ve minimum sıcaklık verilerine uygulanan Mann-Kendall testi yönteminin sonuçları sırasıyla tablo 2,3 ve 4'te verilmiştir.

Tablo 2. Toplam Yağış Verilerinin Mann-Kendall testi sonuçları

İstasyon	Toplam Yağış	
	Sakarya / 17069	Mudurnu / 2190
Ölçüm Aralığı	1964-1995	1964-1995
Güven Aralığı	0.05	0.05
S	-502	-4804
Standart Z Değeri	-0,199	-1,912
Zkr	1.96	1.96
Zkr> Z	Evet	Evet
H0 Hipotezi	Kabul	Kabul
Trend	Yok	Yok

Tablo 3. Maksimum Sıcaklık Verilerinin Mann-Kendall testi sonuçları

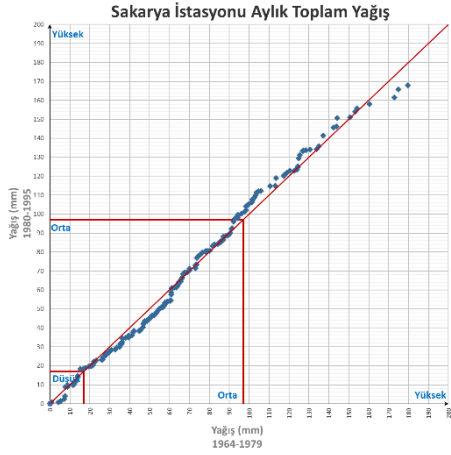
İstasyon	Maksimum Sıcaklık	
	Sakarya / 17069	Mudurnu / 2190
Ölçüm Aralığı	1964-1995	1964-1995
Güven Aralığı	0.05	0.05
S	1820	-703
Standart Z Değeri	0.725	-0.280
Zkr	1.96	1.96
Zkr> Z	Evet	Evet
H0 Hipotezi	Kabul	Kabul
Trend	Yok	Yok

Tablo 4. Minimum Sıcaklık Verilerinin Mann-Kendall testi sonuçları

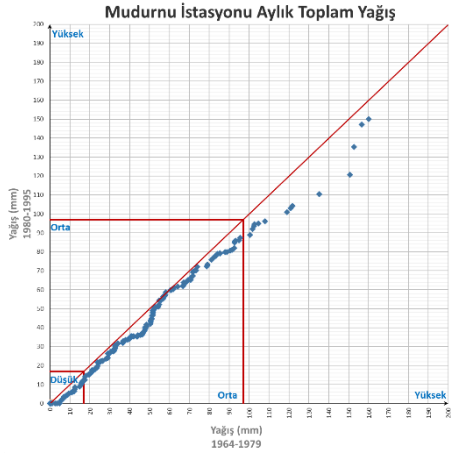
İstasyon	Minimum Sıcaklık	
	Sakarya / 17069	Mudurnu / 2190
Ölçüm Aralığı	1964-1995	1964-1995
Güven Aralığı	0.05	0.05
S	2974	-4957
Standart Z Değeri	1.183	-1.973
Zkr	1.96	1.96
Zkr> Z	Evet	Hayır
H0 Hipotezi	Kabul	Red
Trend	Yok	Var (↓)

B. Yenilikçi Şen Yöntemi (ITA) Sonuçları

Sakarya ve Mudurnu istasyonu 1964-1995 periyodu aylık toplam yağış verilerine uygulanan Yenilikçi Şen yönteminin sonuçları ise sırasıyla şekil 3 ve 4'te gösterilmiştir. İki istasyon genelinde 17 mm'nin altında kalan yağışlar düşük yağış sınıfına, 17 mm ile 97 mm arasında kalan yağışlar orta yağış sınıfına ve 97 mm'nin üstünde kalan yağışlar ise yüksek yağış sınıfına girmektedir.



Şekil 3. Sakarya istasyonu aylık toplam yağış verilerinin ITA sonucu



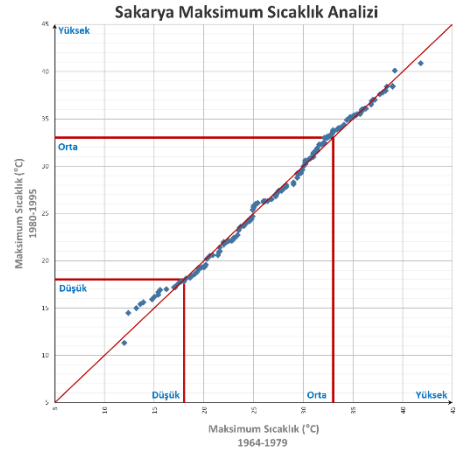
Şekil 4. Mudurnu istasyonu aylık toplam yağış verilerinin ITA sonucu

Aylık toplam yağış verilerinin sınıf gruplarına göre iç analiz sonuçları tablo 5'te gösterilmiştir.

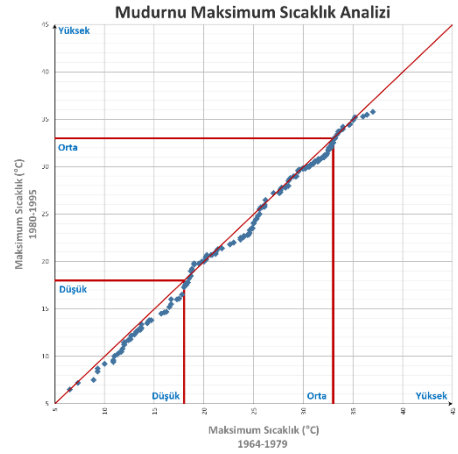
Tablo 5. Toplam Yağış Verilerinin İç Analiz Sonuçları

Parametre	Toplam Yağış (mm)		
	Düşük	Orta	Yüksek
Aralık	<17	17-97	> 97
İstasyonlar	Ortalama Trend		
Sakarya / 17069	↓	↓	→
Mudurnu / 2190	↓	↓	↓

Sakarya ve Mudurnu istasyonu 1964-1995 periyodu aylık maksimum sıcaklık verilerine uygulanan Yenilikçi Şen yönteminin sonuçları ise sırasıyla şekil 5 ve 6'da gösterilmiştir. İki istasyon genelinde 18°C'nin altında kalan maksimum sıcaklıklar düşük sınıfa, 18°C ile 33°C arasında kalan maksimum sıcaklıklar orta sınıfa ve 33°C'nin üstünde kalan maksimum sıcaklıklar ise yüksek sınıfa girmektedir.



Şekil 5. Sakarya istasyonu aylık maksimum sıcaklık verilerinin ITA sonucu



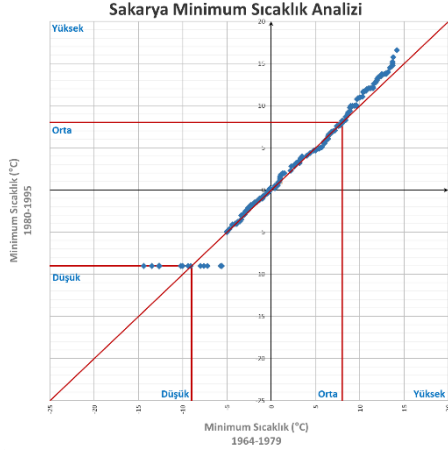
Şekil 6. Mudurnu istasyonu aylık maksimum sıcaklık verilerinin ITA sonucu

Aylık maksimum sıcaklık verilerinin sınıf gruplarına göre iç analiz sonuçları tablo 6'da gösterilmiştir.

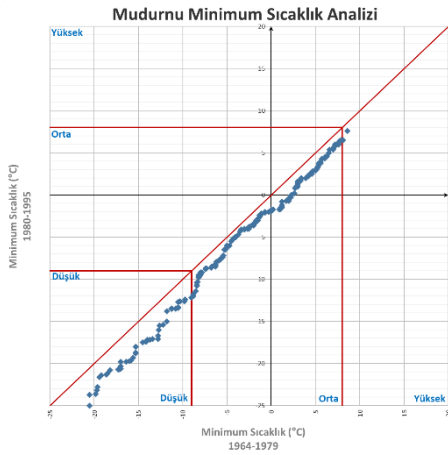
Tablo 6. Maksimum Sıcaklık Verilerinin İç Analiz Sonuçları

Parametre	Maksimum Sıcaklık (°C)		
	Düşük	Orta	Yüksek
Aralık	18<	18-33	>33
İstasyonlar	Ortalama Trend		
Sakarya / 17069	↑	→	→
Mudurnu / 2190	↓	↓	↓

Sakarya ve Mudurnu istasyonu 1964-1995 periyodu aylık minimum sıcaklık verilerine uygulanan Yenilikçi Şen yönteminin sonuçları ise sırasıyla şekilde gösterilmiştir. İki istasyon genelinde -9°C'nin altında kalan minimum sıcaklıklar düşük sınıfa, -9°C ile 8°C arasında kalan minimum sıcaklıklar orta sınıfa ve 8°C'nin üstünde kalan minimum sıcaklıklar ise yüksek sınıfa girmektedir.



Şekil 7. Sakarya istasyonu aylık minimum sıcaklık verilerinin ITA sonucu



Şekil 8. Mudurnu istasyonu aylık minimum sıcaklık verilerinin ITA sonucu

Aylık minimum sıcaklık verilerinin sınıf gruplarına göre iç analiz sonuçları tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7. Minimum Sıcaklık Verilerinin İç Analiz Sonuçları

Parametre	Minimum Sıcaklık (°C)		
Alt Grup	Düşük	Orta	Yüksek
Aralık	-9<	-9-8	>8
İstasyonlar	Ortalama Trend		
Sakarya / 17069	↑	→	↑
Mudurnu / 2190	↓	↓	↓

IV. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Mudurnu Çayı havzasında bulunan iki istasyonun Meteoroloji Genel Müdürlüğü tarafından 1964-1995 periyodunda ölçümlenmiş olan maksimum / minimum sıcaklık ve toplam yağış değerlerinin trendi Mann-Kendall testi ve Yenilikçi Şen yöntemi ile analiz edilmiştir.

Mann-Kendall testine göre iki istasyonun ölçtüğü aylık toplam yağış ve maksimum sıcaklık verilerinde herhangi bir eğilim gözlemlenmemiştir. Yine Sakarya istasyonunun ölçtüğü aylık minimum sıcaklık verilerinde herhangi bir trend gözlemlenmezken Mudurnu istasyonunun ölçtüğü aylık minimum sıcaklık verilerinde azalan trend gözlemlenmiştir.

Yenilikçi Şen yöntemine göre Sakarya ve Mudurnu istasyonlarının ölçtüğü aylık toplam yağış verilerinde azalan trend gözlemlenmiştir. Sakarya istasyonunun toplam yağış miktarlarında 17 mm’nin altındaki ve 17-97 mm arasında azalan trend gözlemlenirken 97 mm’nin üzerindeki yağışlarda herhangi bir trend gözlemlenmemiştir. Mudurnu istasyonunun toplam yağış miktarlarında 17 mm’nin altındaki, 17-97 mm arasında ve 97 mm’nin üzerindeki yağışlarda azalan trend gözlemlenmiştir. Sakarya istasyonunun ölçtüğü aylık maksimum sıcaklık verilerinde herhangi bir trend gözlemlenmezken Mudurnu istasyonunun ölçtüğü aylık maksimum sıcaklık verilerinde azalan trend gözlemlenmiştir. Sakarya istasyonunun maksimum sıcaklık miktarlarında 18°C’nin altındaki sıcaklıklarda artan trend gözlemlenirken 18-33 °C ve 33 °C’nin üzerindeki maksimum sıcaklıklarda herhangi bir trend gözlemlenmemiştir. Mudurnu istasyonunun maksimum sıcaklık miktarlarında 18°C’nin altındaki sıcaklıklarda, 18-33 °C ve 33 °C’nin üzerindeki sıcaklıklarda azalan trend gözlemlenmiştir. Sakarya istasyonunun ölçtüğü aylık minimum sıcaklık verilerinde artan trend gözlemlenirken Mudurnu istasyonunun ölçtüğü aylık minimum sıcaklık verilerinde azalan trend gözlemlenmiştir. Sakarya istasyonunun minimum sıcaklık miktarlarında -9°C’nin altındaki ve 8°C’nin üstündeki sıcaklıklarda artan trend gözlemlenirken -9-8°C arasındaki sıcaklıklarda herhangi bir trend gözlemlenmemiştir. Mudurnu istasyonunun minimum sıcaklık miktarlarında -9°C’nin altındaki, -9-8°C arasındaki ve 8°C’nin üstündeki sıcaklıklarda azalan trend gözlemlenmiştir.

Bu çalışmada Mann-Kendall testi zaman serisinde trend saptamazken Yenilikçi Şen yöntemi trendin var olduğunu belirtmektedir. Ayrıca Yenilikçi Şen yöntemi zaman serisindeki verileri kullanıcının istediği şekilde gruplamasına ve böylece zaman serisinin iç yapısının analizine imkân tanıyarak trend analizinin daha ayrıntılı

yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu bağlamda Yenilikçi Şen yönteminin geleneksel Mann-Kendall yöntemine göre daha üstün olduğu yorumu yapılabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar veri temini için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- [1] Coşkun, S. (2020). Aras-Kura Kapalı Havzasının Ortalama Sıcaklık, Yağış Ve AkVerilerinin TrenAnalizi Türkiye). Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 30(2), 29–42. <https://doi.org/10.18069/firatsbed.713550>
- [2] Akçay, F., Kankal, M., & Şan, M. (2022). Innovative approaches to the trend assessment of streamflows in the Eastern Black Sea basin, Turkey. Hydrological Sciences Journal, 67(2), 222–247. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1998509>
- [3] Benzater, B., Elouissi, A., Dabanli, I., Harkat, S., & Hamimed, A. (2021). New approach to detect trends in extreme rain categories by the ITA method in northwest Algeria. Hydrological Sciences Journal, 66(16), 2298–2311. <https://doi.org/10.1080/02626667.2021.1990931>
- [4] Ceyhunlu, A. I., & Aydın, F. (2020). YENİLİKÇİ Şen TrendYöntemille Sakarya’NinMeteorolojiVerileriniEğiliAnalizi. Su Vakfı, İklim Değişikliği ve Çevre, 1–7.
- [5] Tokgöz, S., & Partal, T. (2020). Trend Analysis with Innovative Sen and Mann-Kendall methods of Annual Precipitation and Temperature data in the Black Sea Region. Journal of the Institute of Science and Technology, 10(2), 1107–1118. <https://doi.org/10.21597/jist.633368>
- [6] Mann, H. B. (1945). Non-Parametric Test Against Trend. Econometrica, 13(3), 245–259. <http://www.economist.com/node/18330371?story%7B%7Did=18330371>
- [7] Kendall, M.G. (1975) Rank Correlation Methods. Oxford University Press, Oxford.
- [8] Bayazıt, M. 1996. İnşaat mühendisliğinde olasılık yöntemler. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, Sayı : 1573.
- [9] Şen, Z. (2012). Innovative Trend Analysis Methodology. Journal of Hydrologic Engineering, 17(9),1042–1046. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)he.1943-5584.0000556](https://doi.org/10.1061/(asce)he.1943-5584.0000556)