



Küçük Menderes Havzasında Mann-Kendall ve Şen'in Eğimi Yöntemleri Kullanılarak Meteorolojik Değişkenlerin Trend Analizi

Trend Analysis of Meteorological Variables Using Mann-Kendall and Sen's Slope Methods in Küçük Menderes Basin

Melisa Ergün , Beyza Fırat , Gamze Tuncer* , Osman Sönmez

Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya, Türkiye

Öz

Günümüzde ülkemiz başta olmak üzere tüm dünya için tehlike unsuru olan iklim değişikliği, ekosistemin yapısını ve işleyişini olumsuz etkilemekte ve doğal kaynaklarımız için risk oluşturmaktadır. Sıcaklıkta meydana gelen değişimlerin özellikle yağış parametresine olan etkisi, su kaynaklarının azalmasına yol açmaktadır. En önemli yaşam kaynağımız olan suyun tükenmesi, ülkemizi tarımsal ve sosyo-ekonomik açıdan tehdit etmektedir. Bu çalışmada, ülkemizin su fakiri havzalarından biri olan Küçük Menderes Havzası'nda yer alan İzmir Bölge, Kuşadası, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk istasyonlarının 1972-2023 yılları arasındaki aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verileri kullanılarak parametrik olmayan yöntemler olan Mann-Kendall ve Şen'in eğimi trend analizleri uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, her iki yöntemle yapılan analizlerde meteorolojik verilerin trend eğilimleri tüm istasyonlarda benzer sonuçlar göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Küçük Menderes havzası, mann-kendall metodu, şen'in eğimi, trend analizi

Abstract

Today, climate change, which is a threat for the whole world, especially for our country, adversely affects the structure and functioning of the ecosystem and poses a risk to our natural resources. The effect of changes in temperature, especially on the precipitation parameter, leads to a decrease in water resources. The depletion of water, which is our most important source of life, threatens our country in agricultural and socio-economic terms. In this study, Mann-Kendall and Sen's slope trend analyses, which are nonparametric methods, were applied using monthly total precipitation, average relative humidity and average temperature data of Izmir Bolge, Kusadası, Cesme, Odemis, Seferihisar and Selcuk stations located in Kucuk Menderes Basin, which is one of the water poor basins of our country, between 1972-2023. As a result of the study, the trend trends of meteorological data showed similar results in all stations in the analyses made by both methods.

Keywords: Küçük Menderes basin, mann-kendall method, sen's slope, trend analysis

1. Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, özellikle 20. yüzyılın yarısından itibaren farklı bölgelerde farklı şekillerde hissedilmeye başlanmış ve günden güne artarak ekosisteme

olumsuz etkilerini göstermeye devam etmiştir (Akın 2006). Şehirleşme ve nüfusun artışı, fosil yakıtların kullanımı, sera gazlarının atmosfer içindeki dağılımı gibi unsurlar küresel ısınmayı hızlandırmakta ve küresel ısınmanın beraberinde getirdiği iklim değişikliğinin kaynaklar üzerindeki tesirini arttırmaktadır. Küresel iklim değişikliği ile küresel sıcaklıkta son yıllarda ciddi artışlar meydana gelmiştir. Sıcaklıkta bu artışların, artan sera gazı emisyonunun büyük etkisi mevcuttur. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli'nin 6. Değerlendirme Raporunda, dünya üzerindeki küresel ortalama yüzey sıcaklığının yaklaşık 4,4 °C'ye kadar artabileceği bildirilmektedir (Leg 2021). Özellikle akış, artan sıcaklık, yağış ve evapotranspirasyon verileri başta olmak üzere, bölgenin

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: gtuncer@sakarya.edu.tr

Melisa Ergün orcid.org/0009-0006-5421-7311

Beyza Fırat orcid.org/0009-0007-6989-0522

Gamze Tuncer orcid.org/0000-0001-6278-1066

Osman Sönmez orcid.org/0000-0001-5642-6391



diğer iklim parametrelerinde de farklılıkların gözlemlenmesine neden olabilecektir (Yue vd. 2003). İklim değişikliğinin özellikle su kaynaklarına olan olumsuz etkisi, ülkemizin geleceği için büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Bu durum da Türkiye'nin su stresi yaşayan bir ülke olduğunu göstermektedir. Özellikle suyun en fazla kullanıldığı tarım sektörüyle ön plana çıkan ülkemizde su kaynaklarının verimli kullanılması hayati önem taşımaktadır. Yüksek su tüketimi, yetersiz yağış, su kaynaklarının plansız kullanımı gibi su kıtlığı faktörlerinden bir veya birden fazlasının meydana gelmesinin sosyo-ekonomik, tarımsal ve çevresel koşullar üzerinde olumsuz etkileri olduğu gözlemlenmektedir. Bu tür istenmeyen durumların etkilerinin azaltımı ya da oluşmasının engellenmesi için, meteorolojik verilerde meydana gelen değişimin analiz edilmesi gerekmektedir. Bu analiz önceden gerekli tedbirlerin belirlenmesi ve alınmasına yardımcı olmaktadır (Gümüş vd. 2022).

Ülkemiz su havzaları bazında incelendiğinde İzmir, Manisa ve Aydın il sınırları içerisinde bulunan Küçük Menderes Havzası, tarımsal faaliyetin yüksek olduğu verimli topraklara ve ürün çeşitliliğine sahip olsa da yeraltı su seviyesindeki ciddi düşüşler sebebiyle su fakiri bir havza olarak adlandırılmaktadır (Şahin vd. 2018). Geçmiş yılların meteorolojik verileri kullanılarak yapılacak trend analizleri yardımı ile havzanın gelecekteki durumu hakkında tahmin yürütülebilmektedir. Çalışma havzasında iklim parametreleri ve bunların su kaynaklarına olan etkileri birçok farklı çalışmada trend analizi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Bu çalışmalardan Bacanlı ve Tanırkulu (2017) çalışmasında 25 tane gözlem istasyonuna ait buharlaşma verilerine trend analizleri yöntemlerinden Mann-Kendall ve Şen'in Eğimi metodlarını tercih ederek aylık ve mevsimlik buharlaşmanın eğilimini belirlemeyi amaçlamıştır. Haziran-Temmuz-Ağustos ayları için 0,05 anlamlılık düzeyinde buharlaşma verilerine uygulanan trend analizi sonucunda buharlaşma verilerinin %24'ünde artan eğilim, %12'sinde ise azalan eğilim görülmüştür. Sonuçlardan görüldüğü üzere yaz aylarında buharlaşmaların arttığı görülmüştür (Balcanlı ve Tanırkulu 2017). Barbaros vd. (2021) çalışmasında ise Küçük Menderes Havzası'nda mevsimselliğin su kalitesine olan etkisini trend analizleriyle incelemiş ve çalışmada Mann Kendall ile Şen'in Trend Eğimi metodları kullanılmıştır ve sıcak ve soğuk döneme ait 6 farklı su kalite değişkeni verileri 6 farklı istasyon bazında incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda, 2000'li yılların başından günümüze kadar gözlenen değerlerde anlamlı bir artış olduğu izlenmiştir. Genelde tüm havzada düşük akım koşullarında III. ve IV. sınıf su kalitesinin görülmesi, havzadaki evsel ve tarımsal deşarjların

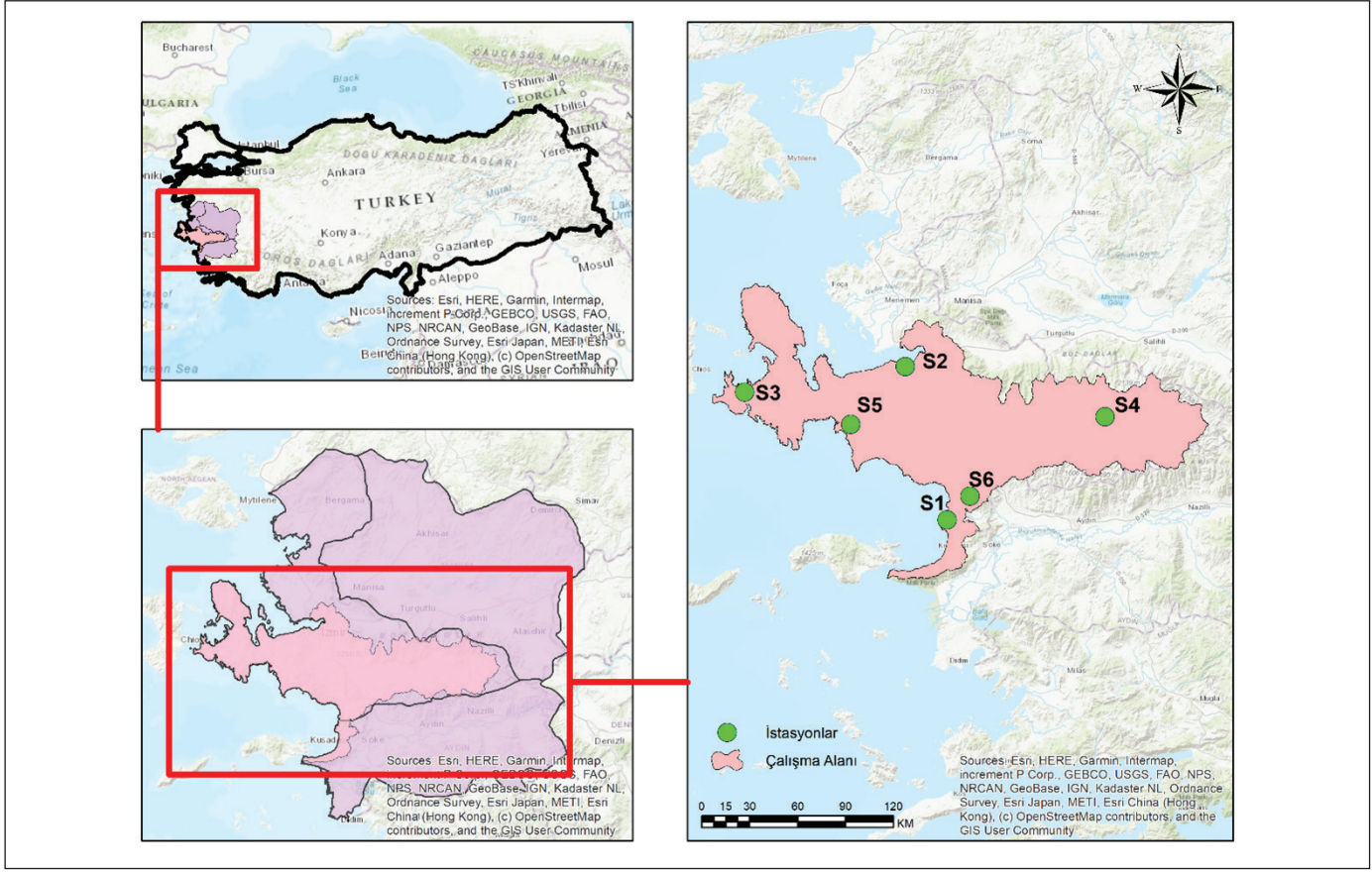
göstergesidir. Suyun çeşitli amaçlar için kullanımı mümkün olmayan kalitede olması, havzada kirlilik önleme stratejilerinin gözden geçirilmesi gerekliliğini ortaya koymaktadır (Barbaros vd. 2021).

Bu çalışmada parametrik olmayan ve klasik yöntemler olan Mann-Kendall (MK) ve Şen'in trend eğim metodu kullanılarak; iklim parametrelerinin aylık zaman serileri analiz edilmiştir. Çalışmada 6 adet meteorolojik gözlem istasyonuna ait 1972-2023 yıl aralığındaki verileri kullanılmış olup ilgili bölgede trendin varlığı ve yönü tespit edilmiştir.

2. Gereç ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı ve Veri

Türkiye hidrolojik çalışmalar için 25 ana akarsu havzasına ayrılmıştır. Bu havzalardan biri olan Küçük Menderes Havzası, Türkiye'nin batısında Gediz ve Büyük Menderes Havza'ları arasında bulunup; sularını Küçük Menderes Nehri ve diğer akarsularla Ege Denizi'ne boşaltan alanı kapsamaktadır. Küçük Menderes Havzası, 38°41'05" – 37°24'08" kuzey enlemleri ve 28°24'36" – 26°11'48" doğu boylamları arasında bulunmaktadır (Şekil 1) (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2018). Havza, bünyesinde üç ilden ilçeleri barındırmaktadır. Havza, İzmir ilinin büyük bir kısmını, Manisa ilinin Turгутlu ilçesine ait 4 yerleşim yerini ve Aydın ilinin Kuşadası ilçesini kapsar. 3,502 km² alana sahip Küçük Menderes Havzası, sınırları içerisinde bulunan illerin alanlarının büyüklükleri; İzmir (%95), Aydın (%4), Manisa (%1) olarak sıralanmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016). Küçük Menderes Havzası'nın en önemli akarsuyu Küçük Menderes Nehri ve yan kolları olan Fetrek Çayı, Uladı Deresi, Ilıca Deresi, Değirmen Dere, Aktaş Deresi, Rahmanlar Deresi, Pirinççi Deresi, Yuvalı Dere, Ceriközkaya Deresi, Eğridere, Birgi Çayı, Çevlik Çayı ve Keles Çayıdır. Küçük Menderes Nehri, Ege Denizi'ne ulaşınca dek yaklaşık 129 km'lik yol kat eder. Havzadaki araziler %55 orman ve yarı doğal alan, %39 tarımsal alan, %5 yapay alan ve %1 su yüzeylerinden oluşmaktadır (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016). Küçük Menderes Havzası'nda, Akdeniz iklim özellikleri etkilidir. Akdeniz ikliminde; kışlar ılık ve yağışlı, yazlar ise sıcak ve kuraktır. Yıllık toplam yağışın yaklaşık yarısı kışın gerçekleşmektedir. Kıyı kuşağında, kar yağışı ve don olayları nadir olarak görünmektedir. Yüksek kesimlerde kışlar, karlı ve soğuk geçmektedir. Kuraklık gözlemlenen bir bölge değildir. Havzanın en az yağış aldığı ay ağustos ayı olarak belirlenirken; en çok yağış aldığı ay ise aralık ayı olarak tespit edilmiştir (T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016).



Şekil 1. Küçük Menderes Havzası'nın konum haritası (Esri 2024).

Çizelge 1. İstasyon bilgileri.

İstasyon İsmi	#İstasyon	Enlem	Boylam	Çalışma Aralığı
Kuşadası	S1	37°51'35.1"K	27°15'54.8"D	1972-2023
İBölge	S2	38°23'40.2" K	27°04'55.6"D	1972-2023
Çeşme	S3	38°18'13.1" K	26°22'20.8"D	1972-2023
Ödemiş	S4	38°12'56.6" K	27°57'51.2"D	1972-2023
Seferihisar	S5	38°11'35.0" K	26°50'27.5"D	1972-2023
Selçuk	S6	37°56'32.3" K	27°22'00.8"D	1972-2023

Çalışma alanında 36 adet meteoroloji gözlem istasyonu bulunmaktadır. Trend analizi çalışmaları uzun yıllar veri kaydına sahip istasyonlarda daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. 36 adet meteoroloji gözlem istasyonundan yalnızca 6 adedi uzun yıllar veri kaydına sahiptir; bu sebeple Kuşadası, İzmir Bölge (İBölge), Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk olmak üzere altı adet Meteoroloji Gözlem İstasyonu'nun 1972-2023 yıllarına ait verileri kullanılmıştır ve bu istasyonların bilgileri Çizelge 1'de yer almaktadır. Bölgede meteorolojik değişkenlerin etkisini incelemek amacıyla

bu istasyonların aylık ortalama nem (ON), ortalama sıcaklık (OS) ve toplam yağış (TY) parametreleri çalışmada kullanılmak üzere seçilmiştir. Bu istasyonlara ait aylık ortalama nem, ortalama sıcaklık ve toplam yağış verilerinin açıklayıcı istatistiksel parametreleri ise Çizelge 2' de gösterilmiştir. Bu istasyonların analizinde kullanılan veri ve aykırı/uç değer sayıları ise Çizelge 3'te gösterilmiştir. İstasyon verilerindeki aykırı/uç değerlerin tespiti için etiketleme yöntemi kullanılmıştır. Etiketleme kuralı, ilk yüzdelik ve üçüncü yüzdelik değerlerini kullanarak veri setlerinde aykırı değerlerin

Çizelge 2. Tanımlayıcı istatistikler.

İstasyon	Parametre	Tanımlayıcı İstatistikler					
		Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart Sapma	Çarpıklık	Basıklık
Kuşadası	ON (%)	63,39	36,90	87,40	7,67	-0,53	0,91
	OS (°C)	17,45	5,80	29,50	0,20	0,07	-1,25
	TY (mm)	55,35	0,00	326,50	64,96	1,50	2,17
İBölge	ON (%)	61,36	38,00	80,80	8,54	-0,31	-0,54
	OS (°C)	18,10	5,60	30,60	0,20	0,08	-1,35
	TY (mm)	57,80	0,00	409,80	68,03	1,61	2,81
Çeşme	ON (%)	71,05	54,30	85,00	5,58	-0,28	-0,19
	OS (°C)	17,40	6,30	28,30	0,20	0,06	-1,35
	TY (mm)	47,17	0,00	293,60	59,33	1,58	2,26
Ödemiş	ON (%)	65,82	36,90	91,70	10,12	-0,12	-0,85
	OS (°C)	16,67	4,00	29,30	0,20	0,11	-1,35
	TY (mm)	47,06	0,00	333,70	50,11	1,42	2,50
Seferihisar	ON (%)	64,67	40,10	81,80	8,18	-0,46	-0,63
	OS (°C)	17,17	4,70	30,40	0,20	0,13	-1,29
	TY (mm)	50,33	0,00	435,40	63,42	1,77	3,83
Selçuk	ON(%)	61,73	37,30	87,20	8,83	-0,14	-0,16
	OS (°C)	17,02	4,40	29,60	0,20	0,09	-1,27
	TY (mm)	55,35	0,00	326,50	64,96	1,50	2,17

varlığını tespit eden istatistiksel bir yöntemdir (Kannan vd. 2015). Bu yöntemle göre aşağıda sırasıyla denklem 1 ve 2 ile hesaplanan alt ve üst sınır değerlerinin dışında kalan veriler aykırı/uç (outlier) değer olarak kabul edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan trend analiz yöntemleri uç değerlerin etkisine karşı dayanıklı olduklarından uç değerler veri setinden çıkarılmadan analiz yapılmıştır (Isioma vd. 2018).

$$\text{Alt sınır} = Q_1 - 2.2 * (Q_3 - Q_1) \quad (1)$$

$$\text{Üst sınır} = Q_3 + 2.2 * (Q_3 - Q_1) \quad (2)$$

Burada Q_1 ilk yüzdeler dilimi, Q_3 ise üçüncü yüzdeler dilimi ifade etmektedir. Veri setlerinin Q_1 ve Q_3 yüzdeler değerleri SPSS istatistik programı ile elde edilmiştir.

2.2. Yöntemler

Mann-Kendall testi ve Şen'in trend eğim yöntemi Küçük Menderes havzasında bulunan İBölge, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar, Selçuk ve Kuşadası meteoroloji gözlem istasyonları

tarafından 1972-2023 periyodunda ölçülen aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık ve ortalama nispi nem parametreleri üzerinde uygulanmıştır. Bu çalışmada daha önce Küçük Menderes havzası için meteorolojik verilerin 6 istasyon bazında incelenmemiş olması sebebiyle meteorolojik veri analizinde sıkça tercih edilen trend analizi yöntemi kullanılarak literatüre katkı hedeflenmektedir. Sadece iki trend analiz yöntemi kullanılmasındaki amaç, parametrik olmayan geleneksel iki yöntemin uygulamasının birbirine benzediği varsayımına karşı, sonuçların ne oranda benzediğini gözlemleyebilmektir.

Mann-Kendall (MK) Test

Mann-Kendall testi 1945 yılında Mann tarafından keşfedilip; 1975 yılında Kendall tarafından geliştirilmiş parametrik olmayan bir testtir (Mann 1945, Kendall 1975). Bu yöntemde H_0 hipotezi veri setinde trend olmadığını kabul ederken; H_1 hipotezi trendin varlığını kabul etmektedir. Mann-Kendall test istatistiği aşağıdaki gibi hesaplanır.

Çizelge 3. İstasyon veri bilgileri.

İstasyon	Parametre	Veri Sayısı	Aykırı Değer Sayısı	Analizde Kullanılan Veri Sayısı
Kuşadası	ON (%)	624	2	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	8	624
İBölge	ON (%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	5	624
Çeşme	ON (%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	10	624
Ödemiş	ON (%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	2	624
Seferihisar	ON (%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	9	624
Selçuk	ON(%)	624	0	624
	OS (°C)	624	0	624
	TY (mm)	624	7	624

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(x_j - x_i) \quad (3)$$

Denklem 3 ve 4'te görülen "sign" işaret fonksiyonu, tanımlanan değerlerin işaretine göre, -1, 0 ve +1 sonuçlarını veren bir fonksiyondur. Denklem 3'te görülen Mann-Kendall test istatistiği "S" değeri ise Denklem 4'te hesaplanan işaret fonksiyonlarının toplamını ifade etmektedir.

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} 1; & \text{eğer } x_j > x_i \\ 0; & \text{eğer } x_j = x_i \\ -1; & \text{eğer } x_j < x_i \end{cases} \quad (4)$$

Denklem 4'te yer alan x_i ve x_j , i ve j zamanlarında ölçülen verileri ifade etmektedir. S'nin negatif değeri azalan trend anlamına gelirken; S'nin pozitif değeri artan trend anlamına gelmektedir.

Veri sayısı 10'dan büyük olan ($n > 10$) veri setlerinde varyans hesabı;

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

şeklinde yapılıdır. Denklem 5'te yer alan Var(S), varyans hesabı

olup ortalamadan standart sapma olarak da bilinen farkların karesinin ortalamasıdır. Burada n toplam veri sayısını ifade ederken; t_i ise tekrar eden veri sayısını temsil etmektedir. Bu durumda normal "Z" değeri hesabı;

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{eğer } S > 0 \\ 0; & \text{eğer } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; & \text{eğer } S < 0 \end{cases} \quad (6)$$

şeklinde yapılıdır. Burada Z istatistiksel normal değeri, S Mann-Kendall test istatistiğini ifade etmektedir.

%95 güven düzeyine karşılık gelen kritik Z değeri ($Z_{kr} = 1,96$), standart normal dağılım tablosundan elde edilerek denklem 6 ile elde edilen Z değeri ile kıyaslanır. Z değerinin mutlak değeri, $Z_{kr} = 1,96$ değerinden küçükse H_0 hipotezi kabul edilir. Bu durum, zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir trendin olmadığı anlamını taşımaktadır. Eğer Z değerinin mutlak değeri $Z_{kr} = 1,96$ değerinden büyükse H_1 hipotezi kabul edilir. Bu durum da zaman serisinde istatistiksel olarak anlamlı bir trendin olduğu anlamını taşımaktadır.

Şen'in Trend Eğim Metodu

Şen'in trend eğim yöntemi; Şen tarafından geliştirilmiş ve Hirsch tarafından önerilmiş olan, trendlerdeki lineer değişimin yani eğimin belirlenmesi amacı ile genelde iklim değişikliği gibi hidro-meteorolojik alanlarda kullanılan parametrik olmayan bir analiz yöntemidir (Yüce vd. 2018). Bu yöntem lineer bir eğilimin mevcut olması halinde birim zamandaki değişim, eksik ve hatalı verilerden ya da ekstrem değerlerden etkilenmez. Her bir i noktasının eğimini temsil eden Q_i parametresi, denklem 7 ile hesaplanmaktadır ve bu denklemde yer alan X_j ve X_k , j ve k olarak sembolize edilen zaman periyotlarına karşılık gelen veri değerleridir.

$$Q_i = \frac{(X_j - X_k)}{(j - k)} \quad (j > k) \quad (7)$$

$$N = \frac{n(n-1)}{2} \quad (8)$$

Burada "n" parametresi analizde kullanılacak veri sayısını ifade etmektedir. Denklem 8 ile hesaplanan N değeri Q_i parametrelerinin toplam sayısını verir. Bulunan bu N adet Q_i değerlerin medyanı (Q_{medyan}) söz konusu bölgedeki ilgili iklim parametresinin birim zamandaki değişimini vermektedir. Medyanın manuel hesaplamalarında N parametresinin tek ya da çift olmasına bağlı olarak iki farklı formül kullanılmaktadır.

N çift sayı olmak üzere:

$$Q_{medyan} = \frac{1}{2} [Q_{(\frac{N}{2})} + Q_{(\frac{N+2}{2})}] \quad (9)$$

Burada, Q_i değerlerin medyanını ifade etmektedir ve küçükten büyüğe sıralanmış veri setinde baştan $(N/2)$. değer ile $((N+2)/2)$. değerlerin ortalaması alınarak hesaplanır.

N tek sayı olmak üzere;

$$Q_{medyan} = Q_{(\frac{N+1}{2})} \quad (10)$$

Burada Q_{medyan} , Q_i değerlerin medyanını ifade etmektedir ve küçükten büyüğe sıralanmış veri setinde $((N+1)/2)$. değer bulunarak hesaplanır.

Hesaplanan medyan değerinin pozitif olması halinde bölgede artan trend, negatif olması halinde ise azalan trend mevcuttur. Medyanın sıfır bulunması ise zaman serilerinde trendin olmadığı anlamı taşımaktadır. Trend analizi için hesaplanan medyan değerinin yanı sıra, sonucun güven aralığında anlamlı olup olmadığını tespit etmek için alt (Q_{alt}) ve üst ($Q_{üst}$) sınır değerler hesaplanır, $Var(S)$, denklem 5'te

gösterildiği gibi veri setleri üzerindeki varyans hesabını ifade etmektedir ve $Z_1 - \alpha/2$ değeri standart normal dağılım tablosundan elde edilmektedir. Buna göre ilgili eğimin %95 düzeyde ($\alpha=0,05$) güven aralığı denklem 11'deki gibi hesaplanır.

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \cdot \sqrt{Var(S)} \quad (11)$$

$$M_1 = (n - C_\alpha) / 2 \quad (12)$$

$$M_2 = (n + C_\alpha) / 2 \quad (13)$$

Burada M_1 ve M_2 , Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerlerinin eğim değerleri arasında sırasının bulunmasına yardımcı olan parametrelerdir.

Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerleri; denklem 12 ve 13'te gösterilen M_1 'inci ve $(M_2 + 1)$ 'inci en büyük eğim tahminleridir (Da Silva vd. 2015). Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerlerin farklı işaretli olmaları sonucunda analizde anlamlı bir trend bulunamaz; aynı işaretli olmaları sonucunda ise trend anlamlı olmakla birlikte trendin yönü bulunan medyan değerine göre yorumlanır.

3. Bulgular

Bu çalışmada, İzmir, Manisa ve Aydın illerinin yer aldığı Küçük Menderes Havzası'nın sınırları içerisinde kalan Kuşadası, İBölge, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk olmak üzere 6 adet meteoroloji gözlem istasyonunun 1972-2023 yıllarına ait daha önce çalışılmamış meteorolojik verileri bölgede uzun süre kaydı bulunan ve bölgenin iklim koşullarını etkileyen parametrelerinden seçilen aylık ortalama nispi nem, ortalama sıcaklık ve toplam yağış gibi meteorolojik verilerine, 0,05 anlamlılık düzeyinde, MK testi ve Şen'in Eğim Metodu uygulanmıştır ve literatüre katkısı açıklanmıştır.

Mann-Kendall Testi Bulguları

Çalışma alanında bulunan 6 istasyonun 1972-2023 periyodu aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verilerine uygulanan MK testi yönteminin sonuçları sırasıyla Çizelge 4, Çizelge 5 ve Çizelge 6 ile verilmiştir. MK trend testine göre İBölge, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar, Selçuk ve Kuşadası istasyonları toplam yağış verileri için hesaplanan MK test istatistiği S değerleri sırasıyla 2670, 3833, 14, 1954, -516 ve 1551'dir. Bu parametre için her bir istasyona göre hesaplanan standart Z değerleri ise sırayla 0,513066, 0,736631, 0,002499, 0,3754228, -0,099, 0,297959'dur. Bu test ile hesaplanan standart Z değerlerinin mutlak değeri, %95 güven aralığında hesaplanan $Z_{kr} = 1,96$ değeri ile karşılaştırıldığında, her istasyon için hesaplanan mutlak standart Z değerlerinin $Z_{kr} = 1,96$ değerinden küçük olduğu görül-

mektedir. Bu durumda bütün istasyonlar için zaman serisinde trend olmadığını öne süren H_0 hipotezi kabul edilir. Çizelge 5'te verilen ortalama nispi nem sonuçlarına göre İBölge ve Kuşadası istasyonları için ($Z > Z_{kr}$) ile trendin varlığını kabul eden H_1 hipotezi kabul edilir. Aynı istasyonlar için S değeri incelendiğinde, S değerleri negatif olduğundan bu iki istasyonda azalan trendin varlığı söz konusudur. Aynı para-

metre için incelenen Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk istasyonları için ise $Z > Z_{kr}$ sağlanmamış olup bu istasyonlar için "anlamli trend yoktur" yorumu yapılabilir. Çizelge 6 incelendiğinde aylık ortalama sıcaklık parametresinde bütün istasyonlar için $Z > Z_{kr}$ sağlanmış olup, S değerlerinin pozitif hesaplanması sonucu bütün istasyonlar için artan trendin varlığı tespit edilmiştir.

Çizelge 4. Aylık toplam yağış verilerinin Mann-Kendall metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Mann-Kendall Testi			
		S	Z_{kr}	Z	Trend
Kuşadası	1972-2023	1551	1,96	0,297959	ATY
İBölge	1972-2023	2670	1,96	0,513066	ATY
Çeşme	1972-2023	3833	1,96	0,736631	ATY
Ödemiş	1972-2023	14	1,96	0,002499	ATY
Seferihisar	1972-2023	1954	1,96	0,375428	ATY
Selçuk	1972-2023	-516	1,96	-0,099	ATY

ATY: Anlamli trend yok.

Çizelge 5. Ortalama aylık nispi nem verilerinin Mann-Kendall metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Mann-Kendall Testi			
		S	Z_{kr}	Z	Trend
Kuşadası	1972-2023	-28372	1,96	-5,4538	↓
İBölge	1972-2023	-29493	1,96	-5,66929	↓
Çeşme	1972-2023	6709	1,96	1,289488	ATY
Ödemiş	1972-2023	2628	1,96	0,504992	ATY
Seferihisar	1972-2023	-5312	1,96	-1,02094	ATY
Selçuk	1972-2023	1384	1,96	0,265856	ATY

↓: Azalan trend, ATY: Anlamli trend yok.

Çizelge 6. Ortalama aylık sıcaklık verilerinin Mann-Kendall metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Mann-Kendall Testi			
		S	Z_{kr}	Z	Trend
Kuşadası	1972-2023	21710	1,96	4,173152	↑
İBölge	1972-2023	12989	1,96	2,496702	↑
Çeşme	1972-2023	11363	1,96	2,184134	↑
Ödemiş	1972-2023	11471	1,96	2,204895	↑
Seferihisar	1972-2023	16401	1,96	3,152596	↑
Selçuk	1972-2023	12084	1,96	2,322732	↑

↑: Artan trend.

Şen'in Trend Eğimi Analiz Bulguları

Çalışma alanında bulunan 6 istasyonun 1972-2023 periyodu aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verilerine uygulanan Şen'in trend eğim yöntemiyle medyan değeri, trendin anlamlı olup olmadığını tespit etmek amacıyla %95 anlamlılık düzeyinde güven aralığı ve bu güven aralığına bağlı alt ve üst sınır değerler hesap-

lanmış ve sonuçları Çizelge 7, Çizelge 8 ve Çizelge 9 ile verilmiştir. Ayrıca bu yöntemden elde edilen zaman serisi analizleri aylık toplam yağış, ortalama nispi nem ve ortalama sıcaklık verileri için sırasıyla Şekil 2, Şekil 3. ve Şekil 4'te gösterilmiştir. Çizelge 7'de yer alan aylık toplam yağış verilerinde tüm istasyonların Q_{medyan} sonuçlarının 0 olduğu gözlemlenmektedir. Trendin belirlenen güven aralığında an-

Çizelge 7. Aylık toplam yağış verilerinin Şen'in eğimi metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Şen'in Eğim Testi			Trend
		Q_{medyan}	Q_{alt}	$Q_{üst}$	
Kuşadası	1972-2023	0	-0,00342	0,00241	ATY
İBölge	1972-2023	0	-0,00201	0,008633	ATY
Çeşme	1972-2023	0	0	0,003738	ATY
Ödemiş	1972-2023	0	-0,00793	0,007778	ATY
Seferihisar	1972-2023	0	0	0,002765	ATY
Selçuk	1972-2023	0	-0,00342	0,00241	ATY

ATY: Anlamlı trend yok.

Çizelge 8. Ortalama aylık nispi nem verilerinin Şen'in eğim metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Şen'in Eğim Testi			Trend
		Q_{medyan}	Q_{alt}	$Q_{üst}$	
Kuşadası	1972-2023	-0,00833	-0,01124	-0,00534	↓
İBölge	1972-2023	-0,01111	-0,01498	-0,00726	↓
Çeşme	1972-2023	0,001724	-0,00086	0,004348	ATY
Ödemiş	1972-2023	0,001176	-0,00337	0,005701	ATY
Seferihisar	1972-2023	-0,00187	-0,0055	0,001667	ATY
Selçuk	1972-2023	0,000535	-0,00358	0,004603	ATY

↓: Azalan trend, ATY: Anlamlı trend yok.

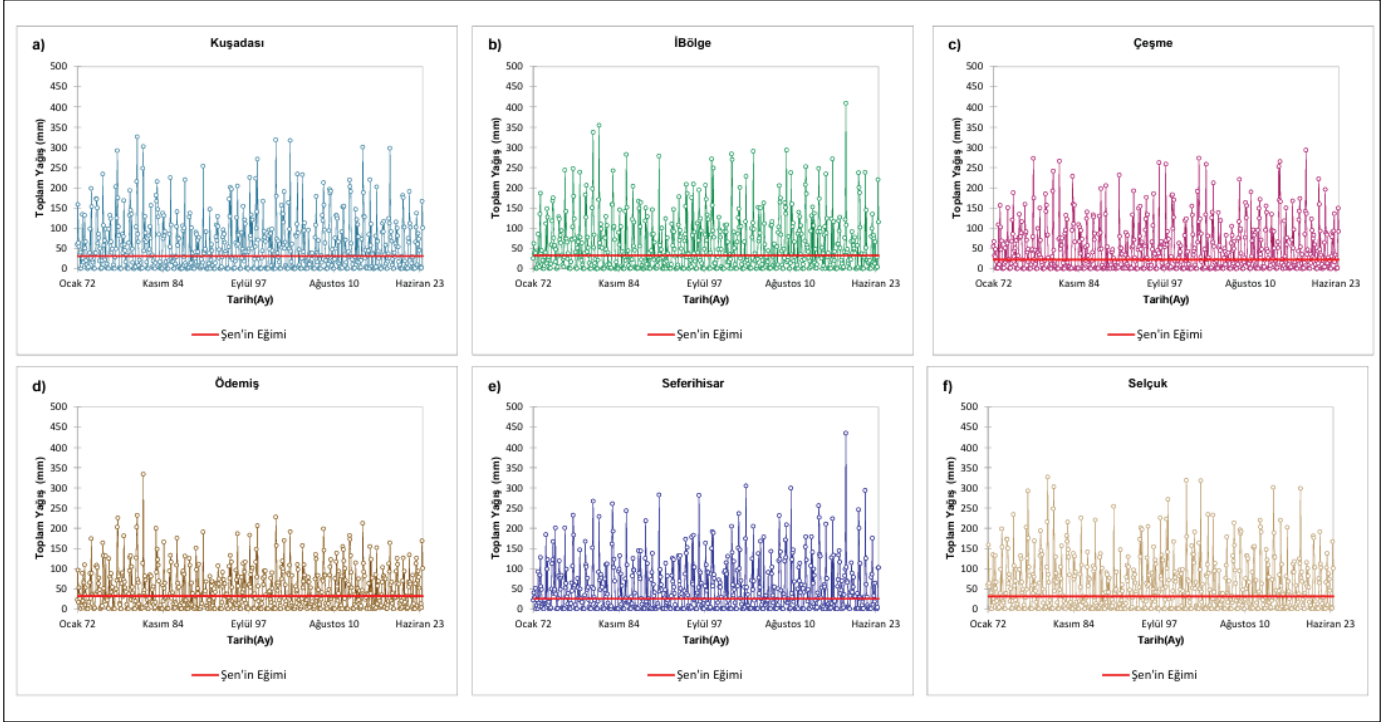
Çizelge 9. Ortalama aylık sıcaklık verilerinin Şen'in eğim metoduna göre değerlendirilmesi.

İstasyon	Çalışma Aralığı	Şen'in Eğim Testi			Trend
		Q_{medyan}	Q_{alt}	$Q_{üst}$	
Kuşadası	1972-2023	0,005556	0,003053	0,008012	↑
İBölge	1972-2023	0,003614	0,000794	0,006452	↑
Çeşme	1972-2023	0,002601	0,000216	0,004895	↑
Ödemiş	1972-2023	0,003289	0,000346	0,006084	↑
Seferihisar	1972-2023	0,004367	0,001685	0,007003	↑
Selçuk	1972-2023	0,003274	0,000379	0,006029	↑

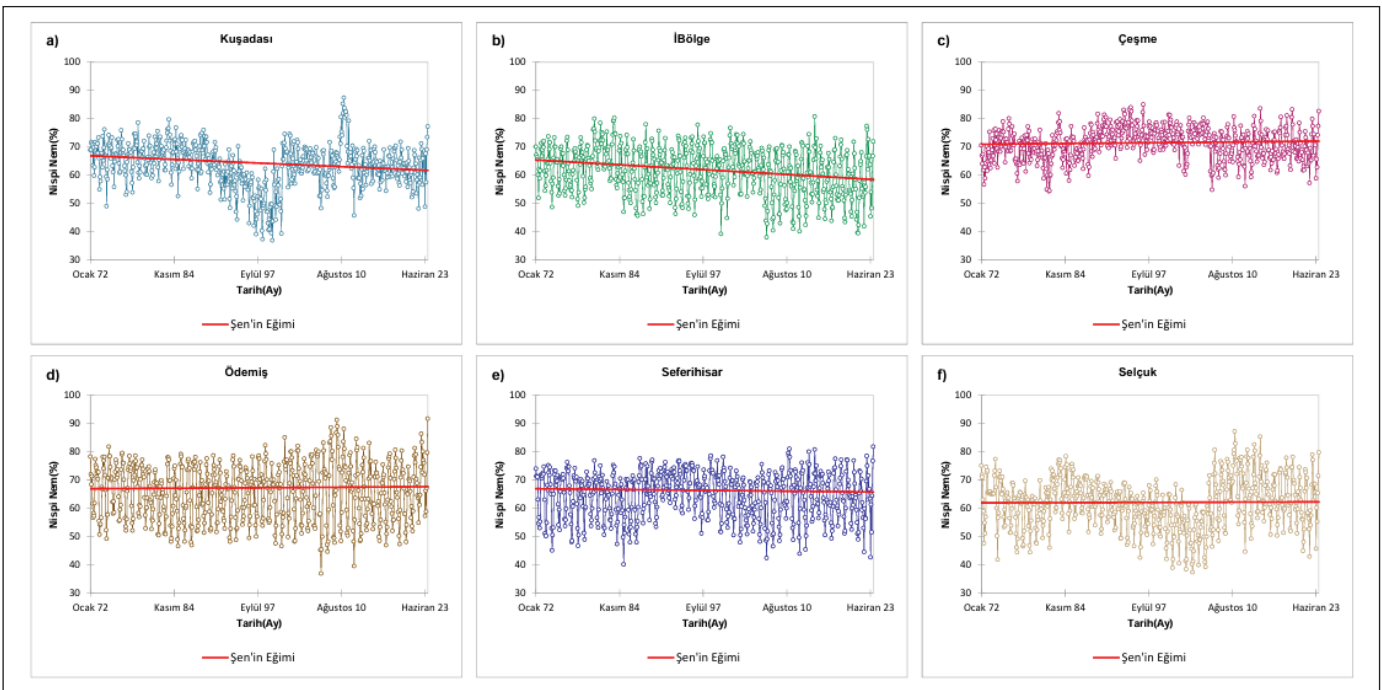
↑: Artan trend.

lamlı olup olmadığına karar vermek üzere Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerleri incelendiğinde, sınır değer çiftlerinin farklı işaretli olduğu ve böylece tüm istasyonlarda anlamlı bir trend bulunmadığı görülmüştür. Çizelge 8'de yer alan aylık ortalama nispi nem

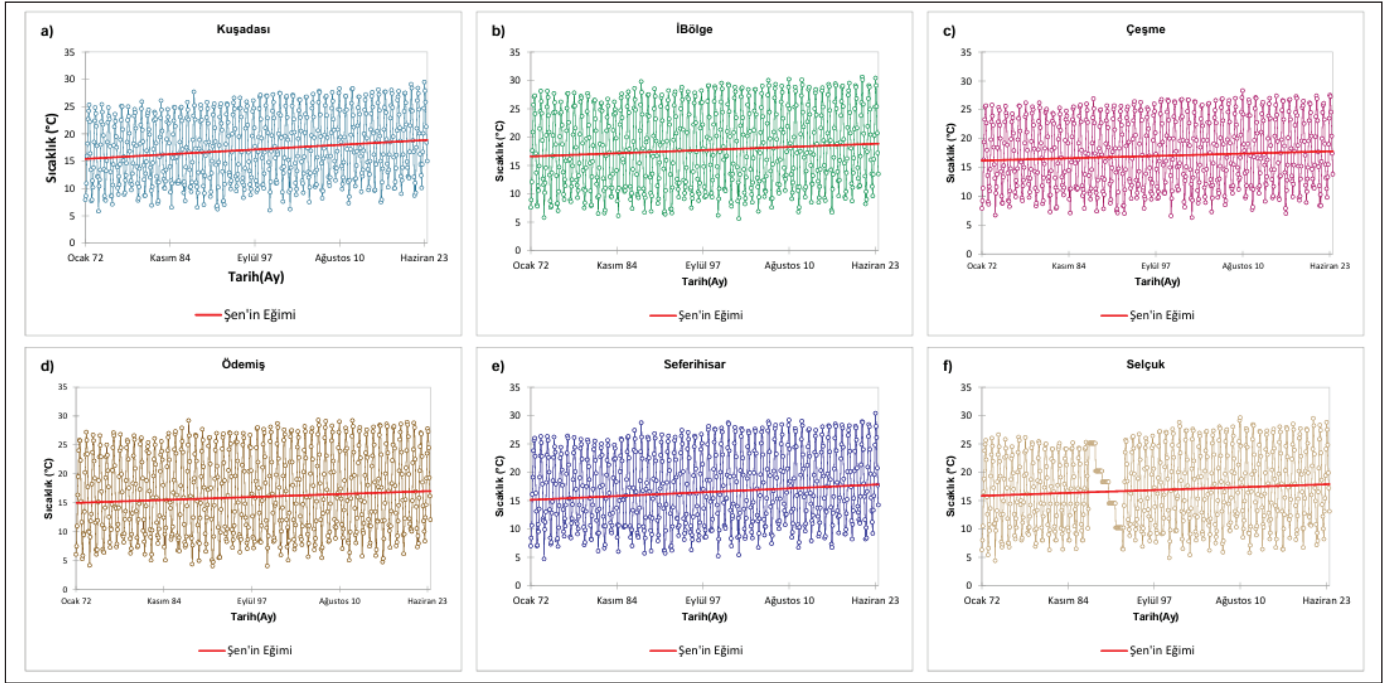
parametresine ait verilerin Q_{medyan} sonuçları incelendiğinde İBölge, Seferihisar ve Kuşadası istasyonlarında negatif; Çeşme, Ödemiş ve Selçuk istasyonlarında pozitif değerler bulunmuştur. İBölge ve Kuşadası istasyonlarının Q_{alt} ve $Q_{üst}$



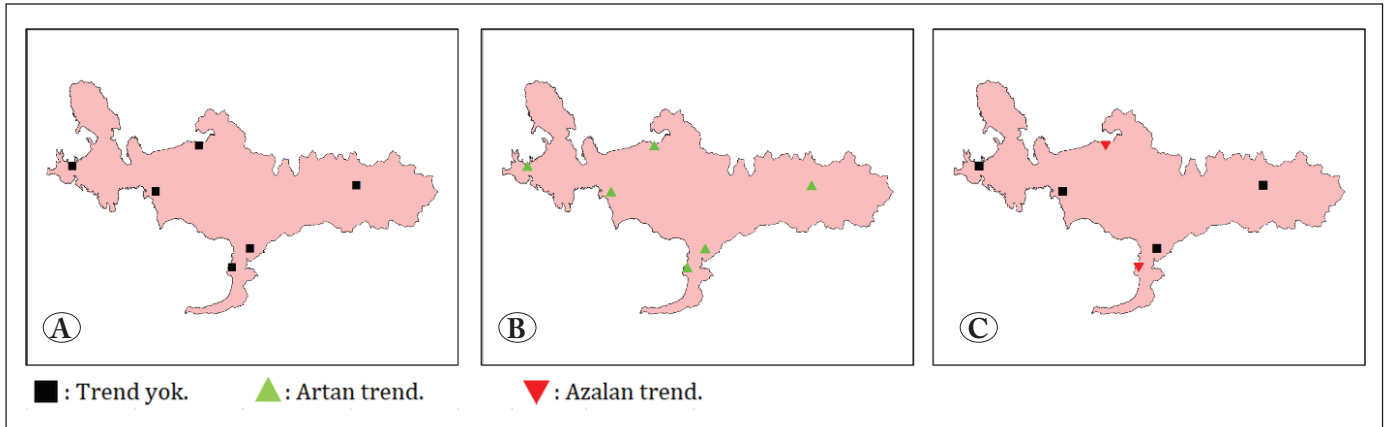
Şekil 2. Şen'in eğim metodu kullanılarak aylık toplam yağış eğilimlerinin analizi.



Şekil 3. Şen'in eğim metodu kullanılarak aylık ortalama nispi nem eğilimlerinin analizi.



Şekil 4. Şen'in eğim metodu kullanılarak aylık ortalama sıcaklık eğilimlerinin analizi.



Şekil 5. İki trend analizi yöntemine göre aylık toplam yağış (A), aylık ortalama sıcaklık (B) ve aylık ortalama nispi nem (C) sonuçları.

değerlerinin aynı işaretli olmasına karşın istasyonlarda medyan değerlerine uygun olarak azalan bir trend varlığı gözlemlenmektedir. Diğer istasyonların Q_{alt} ve $Q_{üst}$ değerlerinin farklı işaretli olması ise, medyan değerinden bağımsız olarak anlamlı bir trendin olmadığını göstermektedir. Çizelge 9 incelendiğinde, aylık ortalama sıcaklık verilerinin tüm medyan değerleri pozitif olarak hesaplanmıştır. Çizelgede görüldüğü üzere tüm sınır değer çiftlerinin pozitif olmasına karşın, tüm istasyonlarda artan trend varlığı söz konusudur.

Aylık toplam yağış, aylık ortalama sıcaklık ve aylık ortalama nispi nem parametrelerinin 6 istasyon için MK test ve

Şen'in trend eğimi sonuçlarının karşılaştırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.

4. Tartışma

Bu çalışmada, İzmir ilinin büyük bir bölümünü kapsayan, Aydın ve Manisa'nın da bir kısmının bulunduğu Küçük Menderes Havzası'nın meteorolojik verilerini Kuşadası, İBölge, Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk istasyonları için aylık toplam yağış, aylık ortalama nispi nem ve aylık ortalama sıcaklık parametreleri kullanılarak trend analiz yöntemleri uygulanmıştır. Trend analiz yöntemleri içinde parametrik olmayan, geleneksel iki yöntem olan MK ve Şen'in Trend

Eğim Yöntemi 0,05 anlamlılık düzeyinde uygulanarak, bu iki yöntemin sonuçlarının hangi oranda benzerlik gösterdiği incelenmiştir. Şen'in Trend Eğim Yöntemi'nde medyan değerinden bağımsız olarak güven aralığında anlamlılık tespiti için alt ve üst sınır değerler hesaplanmış ve bu değerlere göre yorumlama yapılmıştır. İki yöntem birbiri içinde kıyaslanarak, hangi parametrelerde, hangi istasyonlarda aynı ve farklı sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Literatür incelendiğinde, MK ve Şen'in Trend Eğimi sonuçlarının tamamen olmasa da büyük oranda benzerlik gösterdiği saptanmıştır. Çalışma sonucunda her iki yöntemin sonucunun da literatürde incelendiği gibi benzerlik gösterdiği gözlemlenmiştir. Çalışılan bölge için geçmiş yıllara ait verilerinden faydalanılarak gelecek yıllarda oluşabilecek meteorolojik afetlerin tahmini amaçlanmıştır. Yaşanması olası meteorolojik afetin kuraklık olduğu saptanmış olup buna karşı önlem alınması gerektiği belirtilmiştir. Çalışma sonuçlarından yola çıkarak havza özelinde kuraklık riskinin daha doğru tespit edilebilmesi için farklı yöntemler kullanılarak kuraklık risk analizleri yapıp havzadaki mevcut su kaynaklarının optimizasyonu ve su kaynakları yönetim planlarının yapılması önerilmektedir.

5. Sonuç

Bu çalışmada Küçük Menderes havzasında bulunan ve uzun yıllar (1972-2023) veri kaydına sahip olan 6 adet meteoroloji gözlem istasyonunun aylık toplam yağış, ortalama sıcaklık ve ortalama nispi nem verilerine MK ve Şen'in trend eğim metodu yöntemleri uygulanmıştır. Bu analizler sonucunda,

- Havzadaki istasyonların tümünün aylık toplam yağış değerlerinde herhangi bir anlamlı trend gözlemlenmemiştir (Şekil 5A),
- Havzadaki istasyonların tümünün aylık ortalama sıcaklık değerlerinde istatistiksel olarak anlamlı artan trend eğilimi gözlemlenmiştir (Şekil 5B),
- Aylık ortalama nispi nem değerlerinde ise her iki trend analiz yöntemine göre bazı istasyonlarda (Çeşme, Ödemiş, Seferihisar ve Selçuk) anlamlı bir trend gözlemlenmezken, bazı istasyonlarda (İBölge ve Kuşadası) ise anlamlı bir azalış trendi gözlemlenmiştir (Şekil 5C),
- Çalışmada uygulanan her iki trend analiz yöntemi sonuçları birbiriyle uyum göstermektedir (Şekil 5).

Çalışmada ele alınan tüm istasyonların meteorolojik verilerine Şen'in trend eğim ve MK metodu olmak üzere 2 adet parametrik olmayan test uygulanmıştır ve MK test sonuçları Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5'te, Şen'in trend eğimi analiz sonuçları Çizelge 6, Çizelge 7, Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Literatür incelendiğinde MK test ve Şen'in trend eğim testi trend sonuçları farklı eğilimlerde olabilmekle beraber bazı durumlarda trendin varlığı hususunda da uyumsuzluk gösterebilmektedirler. Kır ve Güldal (2022) çalışmasında Antalya ve Isparta illerinde 1971-2018 yıllarına ait aylık ve yıllık yağışların trendlerini araştırmıştır. Kullanılan testler içinde MK ve Şen'in trend eğim metodu da bulunan çalışmanın sonucunda MK ile yapılan trend analizinde anlamlı bir trend belirlenmemişken; Şen'in trend eğim metodunda hem aylık hem de yıllık yağışlar üzerinde artan ve azalan trendler bulunmuştur (Kır ve Güldal 2022). Eroğlu (2022) çalışmasında Trakya Yarımada'sının mevsimlik, altı aylık ve yıllık ortalama sıcaklık, ortalama minimum ve maksimum sıcaklıklarının trend analizlerini araştırmıştır. Çalışmada 13 adet meteoroloji istasyonuna ait verilerden yararlanılmıştır. Bulunan sonuçlara göre; MK ile yapılan analizlerde trendler sadece anlamlı veya anlamsız olarak yorumlanırken; Şen'in trend eğim metodu ile yapılan analizlerde genelde artış yönünde bir trend belirlenmiştir (Eroğlu 2022). Terzi ve İlker (2021) çalışmasında Kızılırmak Havzası'ndaki aylık, yıllık ve mevsimlik yağış verilerine trend analizi uygulamış ve yağışın gelecekteki davranışı hakkında tahminde bulunmayı amaçlamıştır. Çalışmada, MK metodu trend analizi için, Şen'in trend eğim metodu ise sadece birim zamandaki değişimi bulmak amacıyla kullanılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, Kızılırmak Havzası'nın on il merkezinin verilerinde de istatistiksel açıdan anlamlı bir trend bulunmadığı gözlemlenmiştir (Terzi ve İlker 2021). Küçük Menderes Havzası'nın geçmiş yıllara ait meteorolojik verilerinden elde edilen trend sonuçları incelendiğinde, diğer çalışmaların aksine bu çalışmada; MK ve Şen'in trend eğim metodu sonuçları anlamlılık göstermiştir ve trend eğilimi açısından uyusmaktadır.

Şekil 5 değerlendirildiğinde havza genelinde sıcaklık trendinde artış saptanmıştır ve bu durum buharlaşmanın artmasına sebep olarak yağış düzenlerini etkileyebilecektir. Ayrıca bu durum kuraklık olayının şiddet ve sıklığını etkileyebilecektir. Sıcaklık artışlarının sosyo-ekonomik etkileri de önemlidir. Tarım ve su kaynakları üzerindeki baskı artabilir, ekonomik faaliyetlerin ve insan yerleşimlerinin yer değiştirmesine neden olabilir. Kuraklığı önlemek için yapılabilecek bazı çalışmalar:

- Sulama sistemleri düzenli olarak kontrol edilmeli ve yer altı sulama teknikleri gibi daha etkili sulama yöntemleri benimsenmelidir.
- Drip sulama, mikro püskürtme veya yağmurlama gibi daha az su tüketen tarım sulama teknikleri kullanılmalıdır.

- Yağmur sularının biriktirilerek bahçe sulamasında veya diğer amaçlarda kullanılmasıyla su tüketimi azaltılabilir.
- Su havzalarının koruma altına alınması, nehir yataklarındaki yapılaşmanın kontrol altına alınması ve dere temizlik çalışmalarının düzenli yapılması gibi su kaynaklarını koruyucu önlemler alınmalıdır.
- Toplumda su tasarrufu ve kuraklıkla mücadele konularında farkındalık oluşturmak için eğitim programları düzenlenmeli, bilinçlendirme faaliyetleri yürütülmelidir.

Bu önlemler kuraklıkla mücadelede etkili olabilir ve su kaynaklarının sürdürülebilir bir şekilde kullanılmasına yardımcı olabilir.

Tarımsal açıdan önemli bölgelerimizden olan Ege bölgesi su kaynakları, tarım politikaları ve su havzalarını koruma altında bilimsel çalışmalar ışığında tekrar değerlendirilebilir.

Teşekkür: Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı kapsamında desteklenen 1919B012311476 numaralı projeden üretilmiştir. Yazarlar veri temini için Meteoroloji Genel Müdürlüğüne teşekkürlerini sunar.

6. Kaynaklar

- Akın, G. 2006.** Küresel Isınma, Nedenleri ve Sonuçları. Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 46(2): 29-43.
- Barbaros, F., Onuşlu Gül, G., Boyacıoğlu, H. 2021.** Küçük Menderes Havzası Örneğinde Su Kalitesinde Mevsimselliğin Parametrik Olmayan İstatistiksel Yöntemlerle Değerlendirilmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 25(2): 195-207. <https://doi.org/10.19113/sdufenbed.790331>
- Bacanlı, ÜG., Tanrıku, A. 2017.** Ege Bölgesinde buharlaşma verilerinin trend analizi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 17(3): 980-987. Doi: 10.5578/fmbd.66282
- Da Silva, RM., Santos, CA., Moreira, M., Corte-Real, J., Silva, VC., Medeiros, IC. 2015.** Rainfall and river flow trends using Mann-Kendall and Sen's slope estimator statistical tests in the Cobres River basin. Natural Hazards, 77: 1205-1221. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1644-7>
- Eroğlu, İ. 2022.** Trakya Yarımadası'nda Ortalama Hava Sıcaklıklarının Trend Analizi. Social Sciences Studies Journal (SSSJ), 8(102): 3121-3144. Doi: 10.29228/sssj.64624

Esri, DeLorme 2024. HERE, TomTom, Intermap, increment P Corp., GEBCO, USGS, FAO, NPS, NRCAN, GeoBase, IGN, Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China (Hong Kong), swisstopo, MapmyIndia, and the GIS User Community

Gümüş, V., Şimşek, O., Açar, MK. 2022. Artvin ve Rize İstasyonlarına ait Aylık Toplam Yağış Verilerinin Trendinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi. Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 7(3): 204-216. <https://doi.org/10.46578/humder.1207593>

Isioma, IN., Rudolph, II., Omena, AL. 2018. Non-parametric Mann-Kendall test statistics for rainfall trend analysis in some selected states within the coastal region of Nigeria. Journal of Civil, Construction and Environmental Engineering, 3(1): 17-28. Doi: 10.11648/j.jccee.20180301.14

Kannan, KS., Manoj, K., Arumugam, S. 2015. Labeling methods for identifying outliers. International Journal of Statistics and Systems, 10(2): 231-238.

Kendall, MG. 1975. Rank correlation methods. 4th Edition, Charles Griffin.

Kır, EG., Güldal, V. 2022. Antalya ve Isparta Yağış Verilerinin Trend Analizi. Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 10(3): 899-907. <https://doi.org/10.21923/jesd.1105485>

Leg, S. 2021. IPCC, 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Mann, HB. 1945. Non-parametric test against trend. Econometrica 13: 245-259. <http://dx.doi.org/10.2307/1907187>

SPSS Statistics 27.0. Software, IBM, United States.

Şahin, Y., Baba, A. ve Tayfur, G. 2018. Küçük Menderes Havzası Su Kaynaklarının Sürdürülebilirliği, DÜMF Mühendislik Dergisi 9(2): 955-962.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2016. Küçük Menderes Havzası Kuraklık Yönetim Planı. Ankara.

T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı 2018. Sürdürülebilir Orman Yönetimi Kriter ve Göstergeleri Ulusal Setin Revizyonu Çalışmaları. Ormanların Sağlığı, Canlılığı ve Bütünlüğü Kriterleri Çalışma Grubu Raporu. Ankara.

Terzi Ö., İlker A. 2021. Yağış Verilerinin Trend Analizi: Kızılırmak Havzası Örneği. Academic Platform-Journal of Engineering and Science, 9(2): 371-377. Doi: 10.21541/apjes.735378

Yue, S., Pilon, P., Phinney, BOB. 2003. Canadian streamflow trend detection: impacts of serial and cross-correlation. Hydrological Sciences Journal, 48(1): 51-63. <https://doi.org/10.1623/hysj.48.1.51.43478>

Yüce Ş., Ercan B., Eşit M., Ünsal M. 2018. Seyhan havzası yağış verilerinin eğilim analizi. İklim Değişikliği ve Çevre, 3(2): 47-54.