



Sakarya Nehri Havzasında Yağış ve Yüzeysel Akış Rejiminin Mevcut Potansiyeli ve Eğilimi

The Present Potential and Trend of Precipitation and Runoff Regime in the Sakarya River Basin

Recep Emre Çakmak*

Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bursa, Türkiye

Öz

Sakarya Nehri Havzası, yüzölçümü ve drenaj alanı ile birlikte havza sınırları içerisinde yerleşik nüfus büyüklüğü, tarım, hayvancılık, madencilik, sanayi, turizm faaliyetleri ile büyük bir habitat olarak nitelendirilebilir. Yağış ve yüzeysel akış rejimindeki değişimler, su potansiyeli, taşkın riski ve yüksek debi ile taşınan katı madde potansiyeli yönünden havza genelinde ve kıyı şeridinde risk faktörüdür. Bu nedenle mevcut çalışmada, Sakarya Nehir Havzası'ndaki tarihsel süreçte, uzun dönemli yağış ve yüzeysel akış ortalamaları ve eğilimleri araştırılmıştır. Mevcut çalışmalarda havzada konuşlandırılmış meteorolojik ve hidrolojik istasyon ölçümleri sıklıkla kullanılmaktadır. Bu çalışmada, Sakarya Havzası'nın mekânsal ve zamansal ölçekte süreklilik arz eden bir yağış ve yüzeysel akış rejimi değişimini göstermek amacıyla, havzanın tamamını alansal olarak kapsayan eğilimler değerlendirilmiştir. Mekânsal ve zamansal olarak sürekli veri sunan ve küresel olarak tercih edilen Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) ERA5 yeniden analiz verileri kullanılmıştır. 1984-2023 tarihsel periyodunda, ERA5 saatlik yağış ve yüzeysel akış birikim verileri işlenerek, toplamda 40 yıllık dönem için mevsimlik toplam ve yıllık toplam yağış ve yüzeysel akış değerleri elde edilmiştir. Açık kaynaklı coğrafi bilgi sistemi programı olan QGIS yardımıyla akarsu havzası sınırları elde edilmiş ve iklim ortalamaları ile eğilimleri bu havza sınırı içerisinde analiz edilmiştir. Havzada en yüksek yıllık toplam değerlerin gözlemlendiği İnegöl, Bilecik, Sakarya civarlarında 800-1000 mm arasında yağış yüksekliği ortalamaları, 120-180 mm arasında yüzeysel akış yüksekliği ortalamaları bulunmuştur. Mevsimlik ve yıllık toplam yağışlarda 3 mm/yıl eğime varan belirgin artış eğilimleri, yüzeysel akışta ise -1 mm/yıl eğime kadar belirgin azalış eğilimleri hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: ERA5, iklim eğilimleri, sakarya havzası, yağış, yüzeysel akış.

Abstract

Sakarya River Basin can be characterized as a large habitat considering the population density, agriculture, husbandry, mining, industry, and tourism activities as well as the landscape and drainage area. Changes in precipitation and runoff regime are risk factors in the basin and coastline in terms of drought, flood risk, and the potential of sediment transported due to high flow rates. Therefore, in the present study, long-term precipitation and runoff means and trends were investigated during the historical period in the Sakarya River Basin. In the existing studies, meteorological and hydrological station measurements are frequently used. In this study, to demonstrate a continuous change in the precipitation and runoff regime of the Sakarya Basin in spatial and temporal scales, the spatial trends covering the entire basin were evaluated. The globally preferred European Centre for Medium Term Weather Forecasting (ECMWF) ERA5 reanalysis, which provides spatially and temporally continuous data, was used. For the period of 1984-2023, ERA5 hourly precipitation and runoff accumulation data were processed to obtain seasonal total and annual total precipitation and surface runoff values for 40 years. With the help of QGIS, river catchment boundaries were extracted and climate means and trends were analyzed within this catchment boundary. The highest annual total values in the basin were observed around İnegöl, Bilecik, and Sakarya, where the mean precipitation height is between 800-1000 mm and the mean surface runoff height is between 120-180 mm. Significant increasing trends up to 3 mm/year in seasonal and annual total precipitation and significant decreasing trends up to -1 mm/year in surface runoff were found.

Keywords: Climate trend, ERA5, precipitation, sakarya basin, surface runoff.

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: remrecakmak@uludag.edu.tr

Recep Emre Çakmak orcid.org/0000-0003-0700-8622



1. Giriş

İklim olaylarındaki doğal döngüler ve periyodik değişimlerin dışında, antropojenik etkiler sebebiyle çoğu iklim parametrelerinde döngüsel olmayan değişikliklerin meydana geldiği belirtilmektedir (Trenberth 2011, Cook vd. 2018). Su potansiyeli açısından önemli iklim parametrelerinden olan yağışlar, iklim değişikliğinin etkileri üzerine yapılan çalışmalarda (Dai vd. 2018, Giorgi vd. 2019) ön plana çıkmaktadır. Yağış rejimindeki değişimlerin birinci derecede etkilediği hidrolojik faktör yüzeyde akışa geçen su miktarının değişimi (Anache vd. 2018) de incelenmeye değerdir. Bilindiği üzere, yeryüzüne düşen yağış bazı hidrolojik süreçlerden sonra yüzey akışı ile akım ağlarını beslemektedir. Akarsu ağına ulaşan artık yağış hem su kaynağı olması, hem de aşırı yağış durumlarında risk teşkil etmesi nedeniyle önem arz etmektedir.

Yağışlar, insan ve diğer canlıların ihtiyaç duyduğu yaşam kaynağı olan suyun yeryüzündeki bütçesine katkı sağlayan önemli bir meteorolojik olaydır. Suyun farklı fiziksel hallerde yeryüzüne yağış olarak ulaşması sonucunda, doğal veya yapay birçok biriktirme sistemi ile su bütçesine dâhil olması, Dünya'da diğer su rezervlerine (Yılmaz 2015) nazaran çok daha düşük oranda bulunan kullanılabilir tatlı su rezervine katkı sağlamaktadır. Yağışların yaşam için gerekli bir kaynak olmasının yanı sıra, şiddetli bir şekilde gerçekleşmesi durumunda taşkın olaylarına sebep olarak, can kayıplarına ve ekonomik kayıplara sebebiyet vermesi açısından da önemli çokça tecrübe edilmiştir (Curebal vd. 2016, Haltas vd. 2021, Özdemir ve Özkaynak Yolcu 2024). Özellikle yağmur şeklinde meydana gelen kısa süreli ve şiddetli yağışlardan kaynaklanan taşkın olayları küresel olarak birçok bölgeyi etkilemektedir. Yeryüzündeki suyun, yağış kaynaklı taşkın olayları ile yaşamsal faaliyetlere etkisinin dışında, havzadaki akım ağında taban akım olarak bilinen akışa etkisi sebebiyle de doğal dengeye etkisi olmaktadır. Yağış sonrası akım ağına katılan su kütlesi ana akım kanalıyla göl ve deniz gibi sistemlere ulaşmaktadır. Bu su kütlesi taşıdığı katı madde potansiyeli ile sistemdeki dengeyi etkilemektedir (Church ve Ferguson 2015, Tu vd. 2019). Akarsuların taşıdığı katı maddeler, akıntı ve dalgalarla kıyı boyunca taşınarak kıyı çizgisini şekillendirmektedir. Yağış rejimine bağlı olarak katı madde taşınımının fazla veya az olması kıyının denge profiline bozarak; kıyı yerleşimlerindeki yapılar, turizm, ulaşım ve liman faaliyetleri üzerinde risk oluşturmaktadır.

Sakarya akarsu havzasında, geniş bir coğrafyayı geçen bir akım ağı ile önemli bir büyüklükte debi Sakarya Nehri ana kolu ve yan kolları ile Karadeniz'e ulaşmaktadır. Nehir su

toplama havzası geniş bir alana sahip olduğu için yağış iklimi ve yüzeysel akış hacminin mevcut durumunun ve eğiliminin irdelenmesi önem arz etmektedir. Sakarya Havzası ile ilgili mevcut çalışmalar incelendiğinde, havza içerisinde mevcut olan meteorolojik istasyonlardan alınan veriler ile yağışların eğiliminin değerlendirildiği çalışmalar (Büyükyıldız ve Berktaş 2004, Çeribaşı ve Doğan 2015a) bulunmaktadır. Bu çalışmalarda havzada konuşlandırılmış Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) yağış ölçüm istasyonlarındaki veriler kullanılarak eğilim analizi gerçekleştirilmiş ve noktasal olarak eğilimler sunulmuştur. Yağıştan bağımsız olarak havzada akım miktarlarının eğiliminin değerlendirildiği çalışmalar da (Özel vd. 2004, Çeribaşı ve Doğan 2015b) mevcuttur. Bu çalışmalarda havzanın tamamında yüzeysel akışın değerlendirilmesinden ziyade, akarsu akım ağı üzerinde akım gözlem istasyonundan alınan veriler kullanılarak eğilimleri incelenmiştir. Yukarı Sakarya Havzası'nda hidrolojik kuraklığın incelendiği Varol vd. (2023) çalışmasında, çeşitli kuraklık indeksleriyle beraber yüzeysel akış indeksi (SRI) değerlendirilmiştir. 2003-2021 periyodunda SPEI Küresel Kuraklık İzleme ve ERA5 veri tabanından yağış, buharlaşma ve yüzeysel akış verileri kullanılarak kuraklık analizleri gerçekleştirilmiştir. Farklı zaman ölçeklerinde kuraklık değerlendirmeleri yapılmış ve 12 aylık ölçekte 2016 ve 2021 yılları en kurak yıllar olarak bulunmuştur. Sakarya Havzasının tamamında alansal olarak kuraklık analizi niteliğinde olan başka bir çalışmada (Duvan vd. 2021), yağışın iklim değişikliği etkisinde farklı gelecek senaryolarına dayalı olarak zamansal değişimi incelenmiştir. 2020-2098 döneminin 1956-2011 dönemine kıyasla değişimi, standart yağış indeksi üzerinden değerlendirilmiştir. Sunulan literatür araştırmasına dayanarak, havzanın tamamını kapsayacak şekilde yağış ve yüzeysel akış eğilimlerini değerlendiren çalışmanın eksikliği dikkat çekmektedir. Bu çalışmada, Sakarya Havzası'nın mekânsal ve zamansal ölçekte süreklilik arz eden bir yağış ve yüzeysel akış rejimi değişimini göstermek amaçlanmıştır. Bu kapsamda mekânsal ve zamansal olarak boşluk arz etmeyen ERA5 yağış ve yüzeysel akış verileri kullanılarak, havzanın tamamını temsil eden uzun dönemli ortalamalar ve eğilimler değerlendirilmiştir. Açık kaynaklı coğrafi bilgi sistemi programı (QGIS) vasıtası ile elde edilen su toplama havzası sınırları içerisinde kalacak şekilde veriler işlenmiştir. Toplamda 40 yılı (1984-2023) kapsayan bir dönemde, mevsimlik ve yıllık toplam yağış ve toplam yüzeysel akış yüksekliklerinin ortalamalarının irdelenerek, uzun dönemli istatistiksel olarak farklı güven düzeylerinde belirgin eğilimleri analiz edilmiştir. Sakarya Havzası'nın tamamını temsil edecek şekilde, iklim ortalama değerleri ve eğilimleri hesaplanarak alansal haritalar halinde sunulmuştur.

2. Gereç ve Yöntemler

2.1. Çalışma Bölgesi

Türkiye'nin 26 büyük nehir havzasından biri olan Sakarya Nehri Havzası çalışma alanı olarak seçilmiştir. 107 bin km²'yi aşan toplam yüzey alanı ile Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %8'i kadar olan havza, 63 bin km²'yi geçen drenaj alanına sahiptir (SYGM 2025). Sakarya Nehri Havzası'nın, kuzeyinde denize ulaştığı Karadeniz kıyısı, kuzey doğusunda Batı Karadeniz Havzası, doğusunda Kızılırmak Havzası, güneyde Akarçay ve Konya Kapalı Havzaları, batısında Susurluk Havzası ile sınırları bulunmaktadır. Sakarya Havzası'nın Türkiye'deki konumu ve komşu havzaları gösteren harita (SYGM 2018) Şekil 1a'da sunulmaktadır. Havzanın akım ağının birleştiği ana kol olan Sakarya Nehri; Eskişehir'in güneyinde yaklaşık 800 m kotlarındaki Çifteler İlçesi yakınlarında doğarak (Anıl Kızılaslan vd. 2014), Porsuk Çayı, Ankara Çayı, Göksu Çayı, Çarşuyu Çayı, Mudurnu Çayı ve Karasu Çayı gibi diğer kaynaklarla birleşerek Karasu İlçesi yakınlarında Karadeniz kıyısına ulaşmaktadır. Havza içerisinde kalan yerleşimlerde yaşayanların, 2020 nüfus kayıt verilerine göre Türkiye toplam nüfusunun %10'undan fazlasına denk geldiği ve havza sınırları içerisinde önemli derecede tarım, hayvancılık, madencilik, sanayi, turizm gibi ekonomik getiri sağlayan faaliyetlerin yapıldığı rapor edilmektedir (Hidro Dizayn 2023).

Sakarya Havzası'nın alt havzalarının yıllık yağış ve yüzeysel akış ve yüzeysel akış ortalamaları ve bütün havza ortalaması ile ilgili özet bilgi (Akarsu Mühendislik 2021) Çizelge 1'de sunulmaktadır. Havza geneline yıllık ortalama 530.69 mm yağış düştüğü görülmektedir. Bu yağışın yıllık ortalama 157.72 mm kadarının yüzeysel akışa geçtiği gözlenmektedir. Alt havzalarda değişmekle birlikte, havza genelinde ortalama olarak yağışın %25.4'ünün akışa geçtiği hesaplanmaktadır. Havza ile ilgili coğrafik, jeolojik, meteorolojik ve

hidrolojik özelliklerine ait detaylı bilgiler Yaykiran (2016) çalışmasında bulunmaktadır.

2.2. Yağış ve Yüzeysel Akış Verisi

Bu çalışmada, Sakarya Nehri su toplama havzasında suyun dolaşımını incelemek amacıyla, yağış ve birinci dereceden yağışlara bağlı olan yüzeysel akış parametreleri değerlendirilmeye tabi tutulmuştur. Tarihsel 40 yıllık 1984-2023 dönemi kapsayan saatlik yağış ve yüzeysel akış verileri Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) iklim veri tabanından temin edilmiştir. Veri tabanında günlük toplam yağış 'Total precipitation' ve yüzeysel akış 'Surface runoff' parametreleri tanımlıdır. ECMWF ERA5 yeniden analiz verisi (Hersbach vd. 2020) 1950 yılından günümüze farklı zamansal ve mekânsal çözünürlükte veri sunan, küresel olarak güvenilen ve tercih edilen tarihsel veri seti olarak kullanılmaktadır. ERA5, küresel ölçekte meteorolojik ölçüm verileri, uydu gözlemleri gibi gerçek verilere dayanan ve bu verileri asimilasyon teknikleriyle ileri düzey hesaplamalı modelleri ile birleştiren (ECMWF 2016) güçlü veri setleri üretmektedir. Ölçüm ve gözlem verilerinin asimilasyonu ve iklim modeli ile yeniden analiz edilen ERA5 verisi, doğrudan meteorolojik ölçüm istasyonundan temin edilen ölçüm verilerinde gözlenen eksikliklerden de arı olmaktadır. Saatlik olarak sunulan veriler ilgili dönemde zamansal veya mekânsal olarak herhangi bir boşluk içermemektedirler. ERA5 verisinin bu özelliği, iklim değerlendirmesi çalışmalarında kullanılması için bir adım öne çıkarmaktadır. Bu çalışmada kullanılan yağış ve yüzeysel akış verileri, mekânsal çözünürlüğü kara bölgeleri için enlem ve boylamda 0.1° olacak şekilde temin edilmiştir ve çalışma bölgesi için yaklaşık 9 km çözünürlüğe denk gelmektedir. ERA5 verilerinin doğruluğunun değerlendirilmesi için Sakarya Havzası sınırları içerisinde kalan üç farklı MGM yağış gözlem istasyonu verisi kullanılmıştır. Havzanın farklı bölgelerinden seçilen

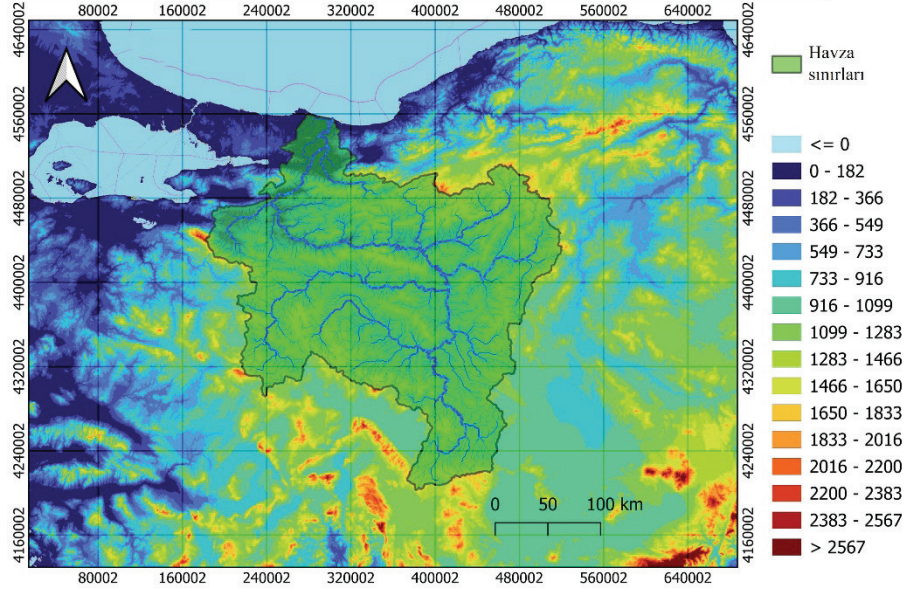
Çizelge 1. Sakarya ana havza ve alt havzaların genel iklim bilgileri.

Alt Havza	Alan (ha)	Yıllık Ort. Yağış (mm)	Yıllık Ort. Akış (mm)	Akış/Yağış (%)
Yukarı Sakarya	2 134 200	390.00	45.80	11.74
Porsuk	1 082 500	466.44	45.07	9.66
Kirmir Çayı	460 000	475.50	130.81	27.51
Ankara Çayı	717 800	416.02	49.82	11.98
Orta Sakarya	1 209 300	461.00	93.00	20.00
Göksu	243 500	689.90	266.77	38.67
Aşağı Sakarya	483 000	816.00	472.80	57.94
Havza Ortalaması	-	530.69	157.72	25.36

(A)



(B)



Şekil 1. Havzanın Türkiye'deki konumu ve komşu havzalar (SYGM 2018) (A), CBS ile üretilen su toplama havzası ve akım ağı ile birlikte kullanılan DEM verisi (B).

Çizelge 2. Doğrulama için kullanılan MGM yağış gözlem istasyonlarının bilgileri.

İstasyon adı	İstasyon no	Koordinatları	Ölçüm periyodu
Sakarya	17069	40.768 K - 30.393 D	2000-2009
Ankara	17130	39.973 K - 32.864 D	2000-2009
Afyonkarahisar	17190	38.738 K - 30.560 D	2000-2009

istasyonlarda, on yıllık bir dönemi kapsayan günlük toplam yağış yüksekliği ölçümlerinin temin edildiği istasyonlara ait bilgiler Çizelge 2’de verilmiştir. Havzada yüzeysel akış ölçüm verisi bulunmadığından doğrulama yalnızca yağış ölçümleri kullanılarak mümkün olabilmektedir.

2.3. Su Toplama Havzası Oluşturma ve Veri Ön İşleme

Sakarya nehri su toplama havzası (Şekil 1b), tahmini olarak havza sınırlarından daha geniş bir alan için temin edilen sayısal yükseklik modeli (DEM) kullanılarak QGIS coğrafi bilgi sistemi yazılımı yardımıyla çıkarılmıştır. QGIS programında bütün verilerin coğrafi referans sistemi çalışma bölgesi için en uygun olan WGS 84 ve projeksiyonu UTM Zone 36N olarak seçilmiştir. Havza su toplama sınırının belirlenmesi için, QGIS SAGA modülünde topoğrafik eğim ve akış yönleri bulunarak, nehir ana kolu ve yan kollarının su toplama alanları çıkarılmıştır. Sonuçta Şekil 1b’de DEM haritası üzerinde gösterildiği gibi nehrin ana kolu ve yan kolları ile birlikte su toplama havzasının sınırları elde edilmiştir.

Analizler için öncelikle, ECMWF veri tabanından havza alanını da kapsayacak şekilde temin edilen saatlik ERA5 yağış ve yüzeysel akış verileri, her bir saat içerisinde yükseklik (mm) cinsinden biriken miktar olarak temin edilmiştir. Saatlik yağış ve yüzeysel akış birikimlerinden, 1984-2023 dönemi boyunca her yıl için mevsimlik toplam ve yıllık toplam yükseklikleri hesaplanmıştır. Bunun için 40 yıllık dönem için tarih ve saat zaman damgalı olarak NetCDF formatında temin edilen veri İklim Veri Operatörü (CDO) yardımıyla yıllık olarak ve her yılın her mevsimi için ayrı olarak toplam yağış ve yüzeysel akış yükseklikleri bulunmuştur. QGIS ile belirlenen nehir su toplama havzasında iklim analizi gerçekleştirilebilmek için, havza sınırları QGIS programından şekil dosyası (shape file) formatında alınmıştır. Python programı vasıtasıyla ERA5 verileri, şekil dosyasında bulunan sınırlar içerisinde kalacak şekilde ayıklanmıştır. Havza sınırları içerisindeki değişimleri daha ayrıntılı görebilmek amacıyla havza her bir km²’lik alanlara bölünerek analiz edilmiştir.

2.4. İklim Rejimi Ortalamaları ve Eğilim Analizi

Ön işleme ile iklim analizine hazır hale getirilen yıllık, mevsimlik toplam yağış ve yüzeysel akış verileri ile yıllık ve

mevsimlik ortalamalar değerlendirilmiştir. 1984-2023 döneminde her yıl için elde edilen yıllık toplam iklim değerleri 40 yıllık dönem için ortalama iklimi yükseklik cinsinden gösterecek şekilde hesaplanmıştır. Daha sonra her yılın ilgili mevsiminin toplam iklim değerleri her yıldaki aynı mevsim toplamaları kullanılarak, ilgili mevsimin 40 yıllık ortalamaları hesaplanmıştır. İklim parametrelerinin yıllık değişim eğimleri Theil ve Sen Metodu (Sen 1968, Theil 1950) ile hesaplanmıştır. Literatürde Theil ve Sen Eğimi olarak da bilinen bu yöntem, bütün eğimlerin medyan değerini bularak regresyon eğrisini uyduran ve parametrik olmayan bir metot olarak sıklıkla kullanılmaktadır (Ergün vd. 2024). 1984-2023 döneminde ilgili iklim parametresinin yıllık toplam değerleri hesaplanarak, her parametre için 40 yıllık değer eğilimi incelenmiştir. Theil-Sen yöntemi uygulanırken, ardışık iki yıllık toplam değer eğimi Denklem 1 ile bulunur.

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{j - k} \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

Burada ve x_j , j ve k zamanlarındaki ($j > k$) ardışık değerleri temsil etmektedir. N adet eğimin (Q_i) medyan değeri ilgili iklim parametresi için Theil-Sen eğimi olarak hesaplanmıştır. Eğimler, bir yılda meydana gelen toplam yağış ve yüzeysel akış yüksekliğindeki değişimi gösterecek şekilde alansal haritalarla verilmiştir.

Uzun dönemde hesaplanan eğimlerin istatistiksel olarak belirginliği, yine parametrik olmayan Mann-Kendall testi (Kendall 1975, Mann 1945) ile hesaplanmıştır. Sıralanmış n adet x_i ($i=1, \dots, n-1$) ve ($j=i+1, \dots, n$) veri setleri Denklem 2’de gösterildiği gibi kıyaslanır.

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

Mann-Kendal test istatistiği olarak tanımlanan S değeri

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

ifadesi ile hesaplanır. Standartlaştırılmış Mann-Kendal istatistiği (Z), eğilimin olmadığı sıfır hipotezi (H_0 : eğilim yok) altında ortalaması sıfır ve varyansı bir olan standart normal dağılımı takip eder.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; S > 0 \\ 0; S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}; S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Pozitif bir Z değeri artış yönlü bir eğilimi gösterirken, negatif bir değer azalış yönlü bir eğilimi gösterir (Yue ve Wang 2002). Eğilimlerin belirginlikleri üç farklı güven düzeyi için hesaplanarak, harita üzerinde havzanın hangi bölgelerinde eğilimlerin hangi düzeyde belirgin olduğu gösterilmiştir. Haritalarda sunulan güven düzeyleri %80, %90 ve %95 olarak belirlenmiştir. Özellikle %90 ve üzeri güven düzeyindeki eğimler daha olası eğilimlerin gösterdiği değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

Sakarya nehri su toplama havzasında alansal olarak 1984-2023 döneminde yıllık toplam yağış ve yüzeysel akış rejimi ve eğilimlerinin değerlendirmesi sonucu elde edilen bulgular bu bölümde sunulmaktadır. 40 yıllık ortalamaların ve eğilimlerin bütün Sakarya Havzasını kapsayacak şekilde değerlendirilmesi için kullanılacak ERA5 verilerinin doğrulaması yapılarak, uzun dönemli sonuçları alansal haritalar ile gösterilmiştir. Havza sınırları içerisinde kalan ve havzanın farklı bölgelerinden seçilen MGM yağış gözlem istasyonlarının verileri ile ERA5 yağış verilerinin doğrulanmıştır. ERA5 yağış ve yüzeysel akış verileri ile uzun dönemli iklim ortalamaları ve eğilimleri değerlendirildiği için ölçüm periyodu boyunca verilerin dağılımları histogramlar yardımıyla Şekil 2'de kıyaslanmıştır. Histogramlarda mavi sütunlarla ilgili MGM istasyonu günlük toplam yağış yükseklikleri ve kırmızı çizgiler ile ERA5 günlük toplam yağış yükseklikleri gösterilmiştir. ERA5 günlük toplam yağış yüksekliği verilerinin Sakarya istasyonu (Şekil 2a) ölçümlerinin yüksek değerlerinde hafif bir düşük tahminle birlikte, dağılım olarak iyi bir şekilde eşleşmektedir. Afyonkarahisar (Şekil 2b) ve Ankara (Şekil 2c) istasyonlarında ise Sakarya istasyonundakinin aksine yüksek değerlerde hafif bir aşırı tahmin söz konusudur. Buna rağmen, her iki istasyonda da ERA5 ve ölçüm verilerinin dağılımının iyi bir şekilde eşleştiği görülmektedir. Türkiye üzerinde çeşitli yeniden analiz, uydu, yerinde yağış ölçümü ürünlerinin detaylı bir karşılaştırmasının yapıldığı Akbas ve Ozdemir (2024) çalışması da ERA5 yeniden analiz verilerinin yüksek doğruluğa sahip olduğuna işaret etmektedir.

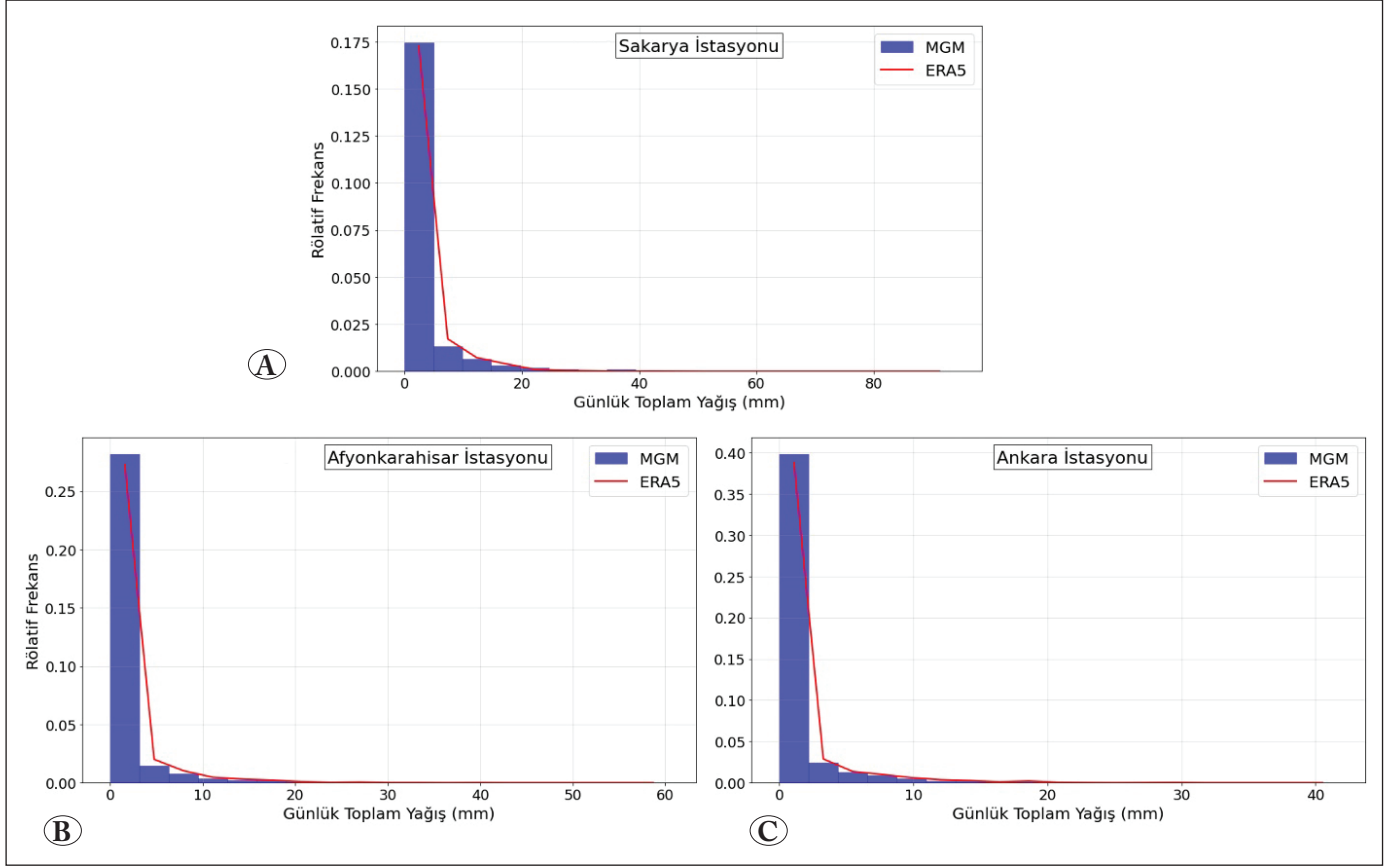
Havzada geçmiş 40 yıllık süreçte gözlenen yıllık toplam yağış yüksekliği ortalamasını gösteren alansal harita Şekil 3a'da görülmektedir. Bu dönemde en düşük yağış yüksekliği

ortalamaları, havzanın güney ve doğu kesimlerinde 300-500 mm civarında olduğu gözükmektedir. Nehir havzasının Karadeniz kıyısına yakın bölgeleri ve Gemlik Körfezine yakın bölgelerinde 1 metreyi bulan yıllık toplam yağış yükseklikleri ile en yüksek ortalamalar gözlenmektedir. Havzanın orta kesimlerinde 400-700 mm arasında yıllık toplam yağış yüksekliği ortalamaları gözlenmektedir.

Yıllık yağış toplam yüksekliklerinin ortalaması verilen Sakarya Nehri su toplama havzasında yıllık toplam yağış yüksekliklerinin eğilimleri Şekil 3b'de ve bu eğilimlerin farklı güven düzeylerine göre istatistiksel olarak belirgin olduğu bölgeler Şekil 3c'de sunulmaktadır. Yıllık toplam yağış yüksekliği havzanın çoğunluğunda artış eğilimi göstermektedir. Özellikle batı ve güney bölgelerinde %80 ve üzeri güven düzeyinde istatistiksel olarak belirgin artış eğilimleri gözlenmektedir. Batı tarafında yıllık toplam yağış ortalamalarının 700-900 mm arasında değer aldığı Bursa, Bilecik, Eskişehir, Kütahya sınır bölgesinde 2-3 mm/yıl arasında eğimlerle (Şekil 3b), %90 ve üzeri güven düzeyinde (Şekil 3c) belirgin artış eğilimleri görülmektedir. Havza içerisinde sadece bu bölgede gözlenen %95 güven düzeyi üzerindeki belirgin artış eğilimleri daha dar bir alan kaplamaktadır.

Sakarya nehir havzasının güneyinde Konya Kapalı Havzası sınırında, yıllık toplam yağış yüksekliği 400-500 mm ortalamaları, 1-2 mm/yıl arasında %90 ve üzeri belirgin artış eğilimi gözükmektedir. Bu bölgede %95 güven düzeyinde belirgin bir eğilim görülmemektedir. Nehir su toplama havzasının diğer kesimlerinde %80 ve üzeri güven düzeyinde belirgin bir eğilim bulunmamaktadır. Yıllık toplam yağış yüksekliği ortalamalarının 1 metreye yaklaştığı Karadeniz kıyısına yakın bölgelerde belirgin eğilim görülmemesi önemli bir bulgu olarak değerlendirilebilir. Buna benzer şekilde, Sakarya Havzası'nın Bursa ili sınırlarında kalan ve 1 metreyi bulan yıllık toplam yağış yüksekliği ortalamasına sahip olan bölgede de belirgin eğilim gözlenmemiştir.

Mevcut çalışmada yıllık yağış yükseklikleri ile ilgili elde edilen bulgular, Çeribaşı ve Doğan (2015a) çalışmasında Sakarya Havzası içerisinde kalan yağış ölçüm istasyonları için sunulan bulgularla büyük ölçüde benzerlik göstermektedir. Kıyas yapılan çalışmada, sadece %95 güven düzeyinde eğilimler incelenmiştir. Bu güven düzeyinde herhangi bir eğilim göstermeyen istasyonlar, mevcut çalışmada %95 güven düzeyinde eğilim gözlenmeyen bölgelerle uyumludur. Atıf yapılan çalışmada azalan eğilim gösteren Sakarya ve Geyve istasyonları için mevcut çalışmada belirgin bir eğilim bulunmamıştır. Eskişehir ve Kütahya istasyonları için Çeribaşı ve Doğan (2015a) çalışmasında yine azalan eğilim bulunması-



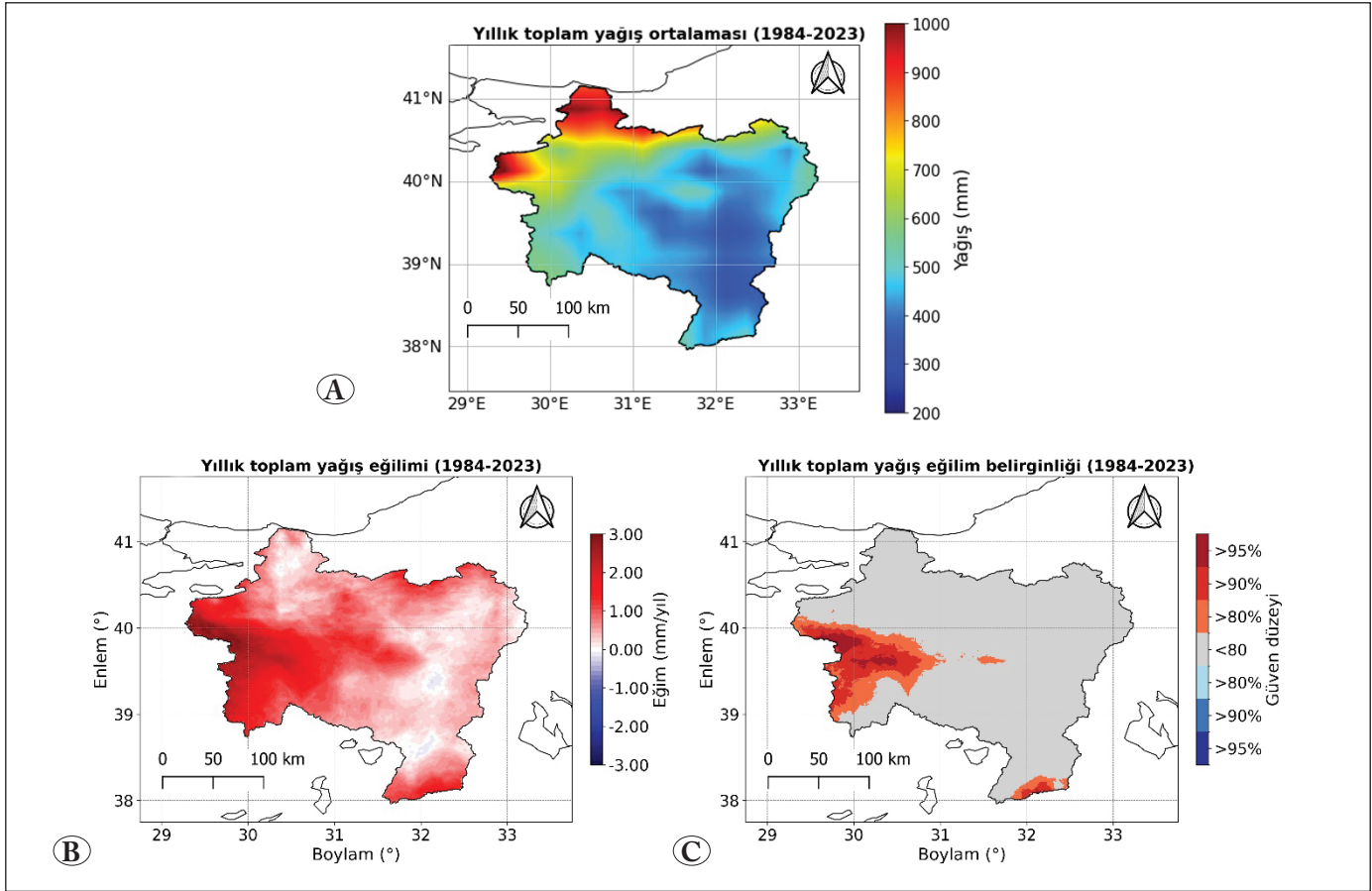
Şekil 2. ERA5 günlük toplam yağış verilerinin dağılımının 2000-2009 döneminde Sakarya (A), Afyonkarahisar (B), Ankara (C) istasyonlarının ölçümlerinin dağılımı ile kıyası.

na rağmen, mevcut çalışmada %95 güven düzeyinde eğilim gözlenmemiştir. İki çalışma arasında bazı bölgelerde gözlenen farklılıklar, eğilim analizinin yapıldığı periyotların farklı olmasından kaynaklanabilir. Mevcut çalışmada 1984-2023 yılları arasında eğilimler incelenirken, kıyaslama yapılan çalışmada 1979-2012 ve 1991-2012 dönemleri için eğilimler incelenmiştir. Ayrıca mevcut çalışmada yıllık toplam yağış yüksekliklerinin eğilimi incelenmiştir, buna karşı atıf verilen çalışmada yıllık ortalama yağış yüksekliklerinin eğilimi değerlendirilmiştir.

Toplam yağış yüksekliğinin mevsimlik ortalamaları ve 1984-2023 dönemindeki eğilimleri Şekil 4'te sunulmaktadır. Şekilde birinci satırdaki grafikler mevsimlik toplam yağış yüksekliklerinin 40 yıllık ortalamalarını, ikinci satırdaki grafikler farklı mevsimlerin eğilim eğimlerini (mm/yıl), üçüncü satırdaki grafikler ise farklı güven düzeylerine göre eğilimlerin istatistiksel belirgin olduğu alanları göstermektedir. Şekilde mevsimler, birinci sütunda Kış, ikinci sütunda İlkbahar, üçüncü sütunda Yaz ve dördüncü sütun-

da Sonbahar olacak şekilde sıralanarak sunulmaktadır. Kış mevsimi toplam yağış yüksekliğinin 40 yıllık ortalamasının alansal dağılımı yıllık toplam yağış yüksekliğinin alansal dağılımına benzemektedir. En yüksek yağış yükseklikleri nehir havzasının Karadeniz kıyısına yakın kesimlerinde ve Gemlik Körfezine yakın bölgede 330 mm mertebesinde olduğu görülmektedir. Havzanın orta ve güney kesimlerinde 120 mm seviyesine kadar düşmektedir. Kış mevsimi ortalamalarının eğilim eğimleri incelendiğinde, havzanın tamamında artış eğilimi göze çarpmaktadır. Buna rağmen, %95 güven düzeyinde belirgin değişimin yalnızca nehrin denize döküldüğü 270-280 mm yağış yüksekliği ortalamasına sahip dar bir kıyı bölgesinde 2-2.5 mm/yıl artış eğimi gözlenmektedir. Kış mevsiminde yağış yüksekliği ortalamalarının diğer kesimlere göre yüksek olduğu bölgelerde %80 ve üzeri güven düzeylerinde 1 mm/yıl mertebesinde belirgin artış eğilimi bulunmaktadır.

İlkbahar mevsimi toplam yağış yüksekliği ortalamalarının en büyük değerleri Gemlik Körfezi yakınlarında Sonbahar mevsimi ortalamalarına benzer şekilde 330 mm civarında-



Şekil 3. 1984-2023 döneminde yıllık toplam yağış ortalaması (A), eğilimi (B) ve güven seviyelerine bağlı olarak belirgin eğilim gösteren alanlar (C).

dır. Kıyıya yakın bölgelerde 250 mm civarına düşen yağış ortalamaları, bu bölgenin biraz doğusunda 300 mm'ye yaklaşmaktadır. İlkbaharda geçmiş 40 yıllık dönemde, havzanın batı ve kuzey kesimlerinde artış eğilimi, doğu ve güney kesimlerinde azalış eğilimi bulunmaktadır. Bu mevsimde, %80 ve üzeri güven düzeyinde belirgin artış eğilimleri sadece Gemlik Körfezi'ne yakın ve kıyı bölgesinde 1-1.5 mm/yıl eğimle görülmektedir. İlkbahar için mevsimlik toplam yağış yüksekliğinde %95 güven düzeyinde belirgin bir eğilim görülmemektedir.

Mevsimlik toplam yağış yükseklikleri, yaz mevsiminde havzada en düşük ortalamaları göstermektedir (30 mm-190 mm). 1984-2023 döneminde en yüksek ortalamalar Gemlik Körfezi yakınlarında ve Karadeniz kıyısına yakın bölgelerde görülmektedir. Yaz mevsiminde, kıyıya yakın bölgelerde sıfıra yakın azalış eğimleri olsa da havzanın genelinde 1.6 mm/yıl ve daha az eğimle artış eğilimi hâkimdir. Yalnız bu mevsimde, mevsimlik toplam yağış ortalamalarının yüksek olduğu bölgelerde görülen belirgin değişim eğilimleri gözlenmemektedir. İstatistiksel olarak belirgin eğilimler yazın

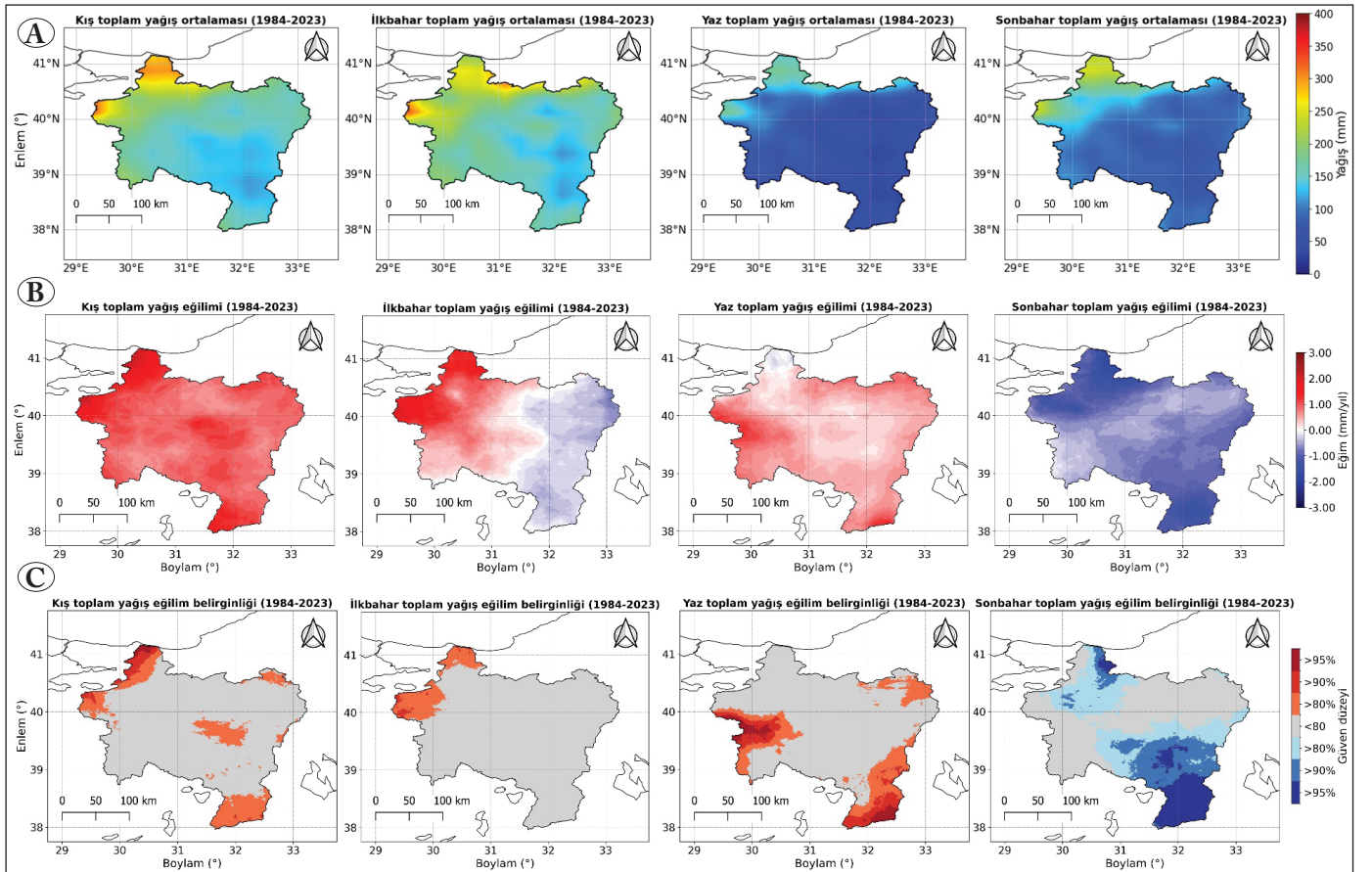
diğer bölgelere nispeten daha düşük yağış ortalamalarına sahip bölgelerde gözlenmektedir. Etkili belirgin eğilimler (%90 ve üzeri güven düzeylerinde) Kütahya, Eskişehir, Bilecik sınır bölgesinde 1.6 mm/yıl ve havzanın güneyinde Konya sınırlarına giren bölgede 1.4 mm/yıl artış eğimi ile bulunmaktadır.

Sonbahar için mevsimlik toplam yağış yükseklikleri ortalaması, alansal dağılım olarak yaz mevsimine benzemekle beraber, biraz daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Havzanın kuzey ve kuzeybatı kesimlerinde 250 mm'yi aşan değerler görülmektedir. Güney ve doğu kesimlerinde yağış ortalamalarının azaldığı gözlenmektedir. Diğer mevsimlik yağış ortalamalarından farklı olarak yaz mevsiminde havza genelinde 40 yıllık dönemde azalış eğilimleri baskındır. Belirgin azalış eğilimleri havzanın kuzey bölgesinde ve güney bölgesinde %80 güven düzeyi ve üzerinde belirgin olduğu görülmektedir. %95 güven düzeyi üzerinde değişimlerin, havzanın güneyinde en yüksek -1.9 mm/yıl, kuzeyinde en yüksek -2 mm/yıl eğimle gerçekleştiği gözlenmektedir.

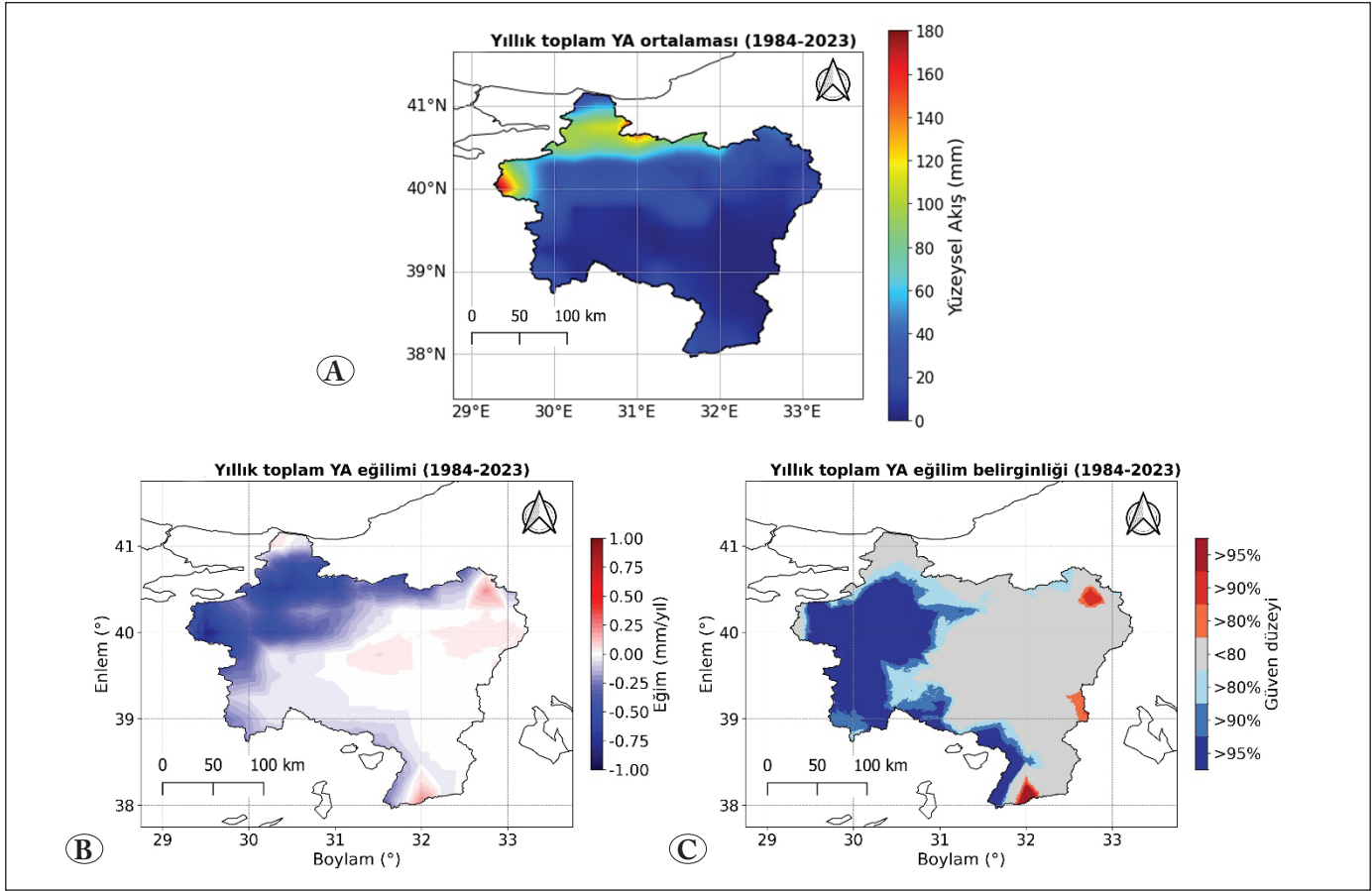
Yıllık toplam ve mevsimlik toplam yağış yüksekliklerinin değerlendirmesinin ardından, havzada yüzeysel akışa geçen yağış miktarının değerlendirilmesi için yıllık toplam ve mevsimlik toplam yüzeysel akış yükseklikleri irdelenmiştir. Şekil 5'te yıllık toplam yüzeysel akış yüksekliklerinin 1984-2023 dönemi ortalamaları (Şekil 5a), eğilim eğimleri (Şekil 5b) ve istatistiksel olarak belirgin eğilim gösteren alanlar (Şekil 5c) haritaları halinde sunulmaktadır. Yıllık toplam yüzeysel akış ortalamaları havzanın Gemlik Körfezine yakın bölgelerinde 70-175 mm aralığında diğer bölgelere nispeten yüksek değerler almaktadır. Ayrıca, Bilecik-Sakarya ve Bolu-Ankara sınır hattının kuzeyi ile Sakarya nehrinin kıyıya yakın, nehir yatağı eğiminin azaldığı bölge arasında 70-150 mm ortalamalar, havzanın diğer kesimlerine göre yüksek yüzeysel akışın olduğunu göstermektedir. Yıllık toplam yüzeysel akış eğilimlerinde havzada azalış gösteren eğimler ağırlıklı görülmektedir. Özellikle yüzeysel akış ortalamalarının 50 mm üstünde olduğu bölgelerde azalış eğilimi bulunmaktadır. Gemlik Körfezi yakınlarında 80-150 mm arasında yüzeysel akış ortalamasına sahip bölgelerde istatistiksel olarak belir-

gin -0.91 mm/yıl eğimine varan azalış eğilimleri gözlenirken; 150 mm üzerinde ortalamaya sahip alanda belirgin bir eğilim gözükmemektedir. Sakarya-Bilecik sınırı civarında 60-100 mm yüzeysel akış ortalaması olan bölgede, %90 ve üzeri güven düzeyinde -0.82 mm/yıl eğimine varan belirgin azalış eğilimi görülmektedir. 30° - 31° boylamları ve 40° enlemi yakınlarında 50 mm civarı yüzeysel akış ortalamasına sahip alanda -0.3 ile -0.5 mm/yıl arasında eğimle belirgin azalış eğilimi bulunmaktadır. Havzanın doğu ve güney kesimlerinde yerel olarak artış eğilimi görülse de, bu bölgeler hem ortalamaların düşük olduğu hem de eğilim eğimlerinin sıfıra yakın olduğu görülmektedir.

Yüzeysel akış eğilimlerinin havzanın büyük bir kısmında belirgin olmadığı veya eğimlerin sıfıra yakın olduğu görülmektedir. Özellikle Yukarı Sakarya Havzası olarak nitelenen güney bölgelerinde belirgin eğimlerin ± 0.25 mm/yıl aralığında olduğu bulunmuştur. Benzer sonuçlar Varol vd. (2023) çalışmasında, Yukarı Sakarya Havzası'nda yüzeysel akış indeksinin 12 ay ölçekli değişiminde de görülmektedir.



Şekil 4. 1984-2023 döneminde mevsimlik toplam yağış ortalaması (A), eğilimi (B) ve güven seviyelerine bağlı olarak belirgin eğilim gösteren alanlar (C).



Şekil 5. 1984-2023 döneminde yıllık toplam yüzeysel akış ortalaması (A), eğilimi (B) ve güven seviyelerine bağlı olarak belirgin eğilim gösteren alanlar (C).

2003-2021 periyodunda yüzeysel akış indeksinin değişim eğiliminin sıfıra yakın olduğu ve son yıllarda az da olsa negatif bir değişim gösterdiği bulunmuştur.

Mevsimlik toplam yüzeysel akış yüksekliklerinin ortalamaları ve yıllık eğilimleri Şekil 6'da sunulmaktadır. Yüzeysel akış yükseklikleri için sunulan grafikler, Şekil 4'te mevsimlik toplam yağış yükseklikleri için sunulan grafiklerle aynı düzendedir. İlk sütundaki kış mevsimi toplam yüzeysel akış ortalamaları yıllık ortalamalara benzer şekilde Gemlik Körfezi yakınlarında en yüksek 54 mm ve havzanın kuzey bölgesinde daralan bir boğaz şeklinde olan bölgede 25-40 mm arasında gözlenmektedir. Havzanın orta kesimlerinde kış mevsimi ortalamaları 15-20 mm arasında değişirken, doğu ve güney kesimlerinde 15 mm altında seyretmektedir. 40 yıllık dönemde kış mevsimi için yüzeysel akış eğilimi, havzanın orta kesiminden Bursa-Kütahya bölgesine doğru azalış eğiliminde olup; kıyı bölgesinde ve doğu bölgesine doğru ve güneyinde dar bir alanda azalış eğimleri gözlenmektedir. Eğilim belirginliği dikkate alındığında, batı bölgesindeki

-0.35 mm/yıl mertebesine varan azalış eğimleri, doğuda 0.1 mm/yıl ve güneyde 0.05 mm/yıl artış eğimleri belirgin eğilimleri göstermektedir.

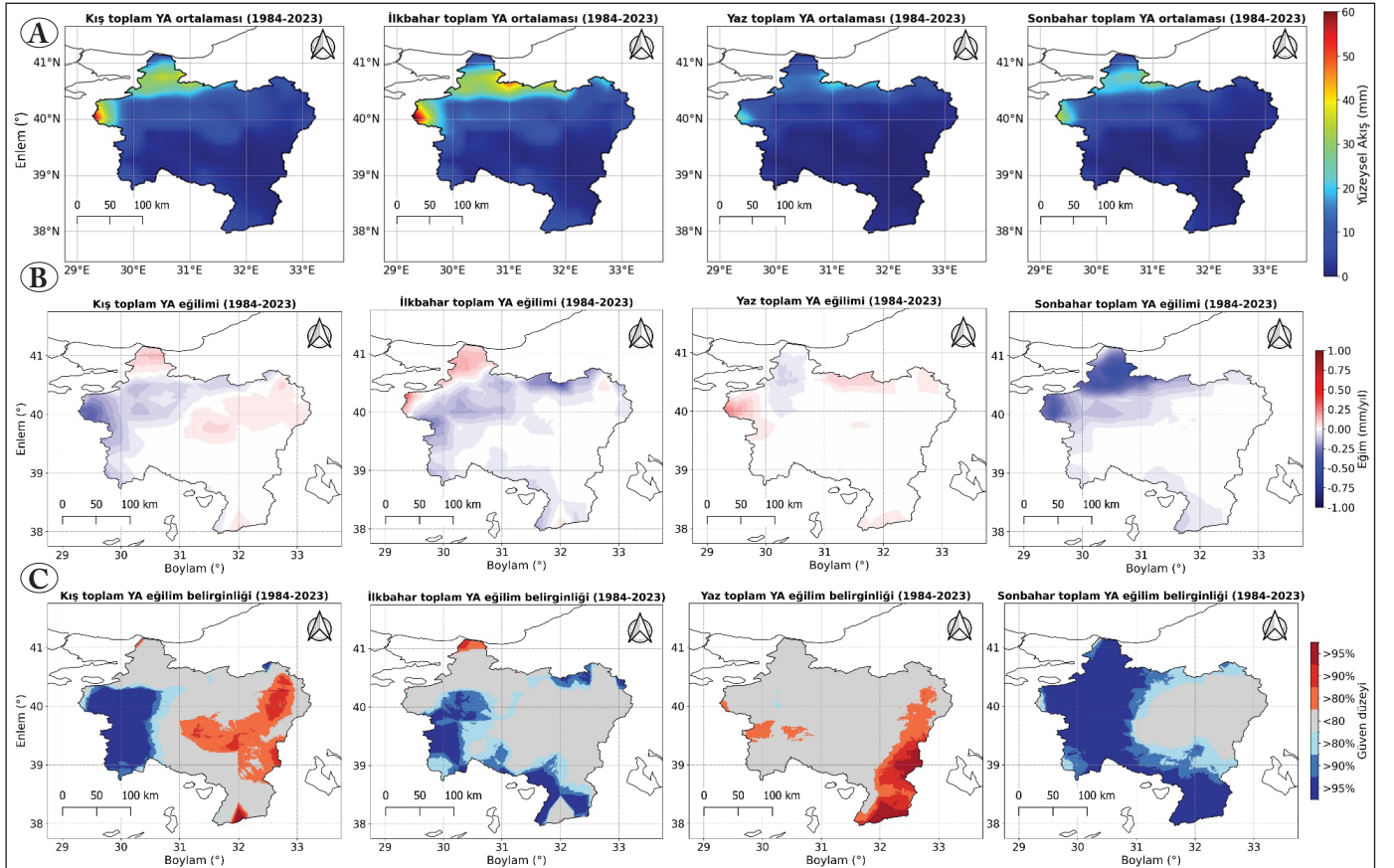
İlkbaharda, toplam yüzeysel akış ortalamaları yıllık toplam ve kış mevsimi toplam yüzeysel akış ortalamalarına benzer şekilde alansal dağılım göstermektedir. Bununla birlikte, sonbahar ortalamalarından bir miktar daha yüksek değerler almaktadır. Gemlik Körfezi yakınlarında 60 mm, havzanın kuzey bölgesinde 44 mm civarında yüzeysel akış ortalamaları gözlenmektedir. Havzanın diğer kesimlerinde, nispeten daha yüksek olmakla beraber kış ortalamalarına yakın yüzeysel akış görülmektedir. İlkbahar mevsiminde değişim eğilimlerinde, kuzey - kuzey batı bölgesinde artış; kuzeydoğu, orta batı ve güney bölgelerinde azalış eğimleri gözlenmektedir. Eğilimlerin %90 ve üzeri güven düzeyinde belirginlik gösteren eğimler, havzanın orta batı bölgesinde -0.2 mm/yıl, güneyinde -0.15 mm/yıl ve kuzeydoğu kesiminde -0.3 mm/yıl mertebesine varan azalış, kuzeyde kıyıya yakın dar bir alanda 0.08 mm/yıl ile artış şeklinde olduğu görülmektedir.

Yaz mevsimi düşük yağış ortalamaları nedeniyle en düşük yüzeysel akış ortalamalarının gözleendiği mevsimdir. Gemlik Körfezi yakınlarında ve havzanın Batı Karadeniz Havzası sınırında en fazla 30 mm seviyesini bulan mevsimlik toplam yüzeysel akış ortalamaları gözlenmektedir. Havzanın diğer bölgelerinde mevsimlik toplam yüzeysel akış ortalamaları genellikle 10 mm ve altında kalmaktadır. Yaz mevsiminde ortalamaların diğer alanlara nispeten biraz daha yüksek olduğu Gemlik Körfezine yakın bölgede ve Batı Karadeniz Havzasına yakın bölgede artış eğimleri, nehrin denize yakın olan boğaza benzer geçiş bölgesinde azalış eğimleri görülmektedir. Belirginlik ile eğilimler incelendiğinde, Gemlik Körfezi yakınlarında çok küçük bir alanda 0.2 mm/yıl artış eğiminin %80 güven düzeyinde olduğu anlaşılmaktadır. Havzanın güney-güneydoğu bölgesinde %90 ve üzeri belirginlik gösteren eğilimlerin sıfıra çok yakın bir eğime sahip olduğu görülmektedir.

Sonbahar mevsimi için havzada toplam yüzeysel akış ortalamalarının alansal dağılımı kış ve ilkbahar mevsimleri ile ben-

zerlik gösterse de, daha düşük akış değerlerine sahip olduğu görülmektedir. En yüksek yüzeysel akış ortalamaları 18-39 mm ile Gemlik Körfezine yakın kesimde ve 16-34 mm ile Sakarya-Bolu sınırının güney kesimlerinde gözlenmektedir. Havzanın orta bölgesinde 15 mm civarında yüzeysel akış ortalamaları bulunurken, havzanın doğusuna ve güneyine gidildikçe ortalamaların azaldığı görülmektedir. 1984-2023 döneminde kış mevsimi toplam yüzeysel akış yüksekliği eğilimlerinin havza genelinde azalış eğiminde olduğu gözlenmektedir. Sakarya-Bolu sınır bölgesinde 0.75 mm/yıl eğime sahip bir belirgin azalış eğilimi bulunmaktadır. Gemlik Körfezi yakınlarında en 39 mm civarında ortalamaya sahip alanda belirgin eğilim görülmezken; daha düşük ortalamaya sahip kısımda en fazla 0.70 mm/yıl mertebesine ulaşan belirgin azalış eğimleri gözlenmektedir. Havzanın diğer bölgelerinde sıfır veya sıfıra yakın eğimler bulunmaktadır.

Yağış ve yüzeysel akış analizleri birlikte değerlendirildiğinde bazı benzerlikler ve farklılıklar dikkat çekmektedir. 40 yıllık dönemde toplam yağış ve yüzeysel akış yüksekliği ortala-



Şekil 6. 1984-2023 döneminde mevsimlik toplam yüzeysel akış ortalaması (A), eğilimi (B) ve güven seviyelerine bağlı olarak belirgin eğilim gösteren alanlar (C).

malarının havzada çoğunlukla benzer alansal dağılıma sahip olduğu görülmektedir. Yalnız en yüksek yağış yüksekliği ortalamalarının görüldüğü Gemlik Körfezi yakınlarında ve nehrin kıyıya yaklaştığı bölgelerde, yüzeysel akış ortalamalarının yüksek değerlerinin konumlarının kaydı tespit edilmiştir. Bu duruma sebep olarak, yağış yüksekliklerinin daha büyük olduğu bölgelerde daha düşük eğimli bir topoğrafya olması gösterilebilir. İki bölgede de nispeten yağışın az olduğu yalnız topoğrafik eğimin daha büyük olduğu alanlarda daha yüksek yüzeysel akış ortalamaları gözlenmektedir. Topoğrafik eğimin düşük olduğu bölgelerde yağış ile yeryüzüne ulaşan suyun daha büyük bir kısmı zemine sızma imkânı bulabileceği için yüzeyde akışa geçen su miktarı azalabilmektedir.

Bir başka fark yine yağış ve yüzeysel akış ortalamalarında tespit edilmiştir. Mevsimlik toplam yağış ortalamaları kış mevsiminde ilkbahara kıyasla daha yüksek görülürken, mevsimlik toplam yüzeysel akış ortalamalarında ilkbahar ortalamalarının kış ortalamalarına kıyasla daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu farklılığa sebep olarak, kış mevsimi sonunda zeminin suya doygunluğunun yüksek seviyelere ulaştığı için, ilkbaharda kış mevsimine nazaran bir miktar daha az yağış görülmesine rağmen, zemin doygunluğu nedeniyle yüzeysel akışa geçen yağış miktarının daha fazla beklenmesi gösterilebilir.

1984-2023 döneminde elde edilen yağış ve yüzeysel akış eğilimlerindeki bulgular, yağışların artış eğiliminde, yüzeysel akışın çoğunlukla azalış eğiliminde olduğunu göstermektedir. Yağış ve yüzeysel akış eğilimlerinin farklılığına birçok sebep gösterilebilir. En önemli faktör zeminin suya doygunluğunun azalması olabilir. Buharlaşma oranlarındaki artış, sadece su birikintileriyle sınırlı kalmamakta, yüzeye yakın zemin tabakasından da buharlaşmanın yüksek gerçekleşmesine neden olabilmektedir. Doygunluğu azalan zemin üzerine gelen yağışın daha büyük bir kısmı zemine sızarak, yüzeysel akışa geçen su miktarının azalmasına sebep olabilmektedir. Özellikle topoğrafik eğimin az olduğu bölgelerde, düşük zemin doygunluğu ile birlikte yağış ile yeryüzüne ulaşan suyun yatay hareketinin kısıtlı olması, zemine sızan su miktarını artırabilmektedir. Yeraltı suyu seviyelerindeki düşüşler de zemin doygunluğunu azaltarak, zemine sızan su miktarını artırabilecek değişimlerdir. Arazinin kullanımı ve işlenmesindeki değişimler de, zemine sızabilecek su miktarını etkileyen faktörler arasında gösterilebilir.

4. Sonuç ve Öneriler

Sakarya Nehir Havzası'nda, ERA5 saatlik toplam yağış ve

yüzeysel akış yeniden analiz verileri kullanılarak, 1984-2023 döneminde mevsimlik ve yıllık toplam yağış ve yüzeysel akış ortalamaları ve eğilimleri değerlendirilmiştir. Mevsimlik ve yıllık toplam yağış yükseklikleri havzada ağırlıklı olarak artış eğilimi gösterirken; yüzeysel akış yüksekliklerinde belirgin eğilimler çoğunlukla azalış yönündedir. Yıllık toplam yağış yüksekliklerinin belirgin eğilimlerinin tamamı artış yönündedir. Havzada en yüksek yağış ortalamalarının görüldüğü kış mevsiminde ve en düşük ortalamaların gözlemlendiği yaz mevsiminde sadece belirgin artış eğilimleri bulunmuştur. Kış mevsimine yakın yağış ortalamaları görülen bahar mevsiminde, havzanın batısında artış, doğusunda azalış eğilimleri olmakla birlikte, belirgin eğilimler artış yönündedir. Yağış yüksekliklerinin belirgin azalış eğilimi gösterdiği mevsim sadece sonbahardır.

Yıllık toplam yüzeysel akış yüksekliklerinin ortalamalarının, yağış ortalamalarının yüksek olduğu bölgelerde yüksek değerler aldığı görülmüştür. Yıllık ve mevsimlik yüzeysel akış eğilimlerinde, yağış eğilimlerine kıyasla daha düşük eğilimler gözlenmiştir. Yıllık ortalamaların yüksek olduğu bölgelerde 40 yıllık dönemde azalış eğilimleri gözlenmiştir. Özellikle Gemlik Körfezi yakınlarında -1 mm/yıl mertebesine varan belirgin azalış eğilimleri göze çarpmıştır. Yıllık yüzeysel akışlarda yerel olarak belirgin artış eğilimleri görülmesine rağmen, eğilimleri sıfıra çok yakındır. Kış mevsiminde belirgin yüzeysel akış eğilimleri batı bölgesinde azalış, doğu bölgesinde artış yönündedir. İlkbaharda, kıyı bölgesinde düşük eğimli artış eğilimlerine karşı, diğer belirgin eğilimler azalış yönündedir. Yaz mevsiminde sadece artış eğilimleri belirgin olarak görülse de, sıfıra yakın eğime sahiptir. Yalnızca azalış eğilimlerinin gözlemlendiği sonbahar mevsiminde, belirgin azalış eğilimleri havzanın kuzeyinde kıyıya yakın kesimlerde en fazla 0.75 mm/yıl eğime sahiptir.

Havzaya düşen yağışın artış eğiliminde olmasına karşı yüzeysel akışın azalış eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu bulguya göre, yüksek yağış alan bölgelerde mevcut taşkın riskinin artmayabileceği öngörüsünü kuvvetlendirmektedir. Yağışlarda azalış eğilimi görülmemesi, havzada suya dayalı mevcut faaliyetlerin yakın gelecekte de benzer potansiyelde gerçekleştirebileceğini göstermektedir. Azalış eğilimindeki yüzeysel akışın, akarsu vasıtasıyla taşınan katı madde miktarı üzerinde de etkili olabileceği düşünülmektedir. Karadeniz'in Karasu kıyı bölgesine akarsu ile taşınan katı madde miktarının azalması ve dalga, akıntı gibi kuvvetlerin etkisi ile kıyı erozyonu görülme riski dikkate alınmalıdır. Bu çalışmada elde edilen bulgular su yönetimi, taşkın kontrolü, kıyı yönetimi ve tarımsal planlama gibi alanlarda kullanarak

daha sürdürülebilir ve dirençli bir havza yönetimi stratejisi geliştirilmesine yardımcı olabilir. Sonuçlar ayrıca, yakın gelecek için iklim değişikliğine uyum politikalarına dayanak sağlayabilir. Daha uzak gelecek dönemler için iklim değişikliği senaryolarına dayalı yağış ve yüzeysel akış projeksiyonlarının oluşturulması ile daha geniş bir perspektifte öngörüler elde edilebilir.

Teşekkür: Çalışmada kullanılan ERA5 yeniden analiz verisini sunan Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezine teşekkür ederim. Veriyi çalışma bölgesi sınırları içerisinde analiz edebilmek için havza sınırlarının oluşturulduğu QGIS yazılımı ve SAGA modülü geliştiricilerine, havza şekil dosyası ve ERA5 NetCDF dosyasının işlenirken kullanılan PYTHON yazılımı ve CDO modülü geliştiricilerine ayrıca teşekkürlerimi sunarım.

Yazar katkısı: Recep Emre ÇAKMAK: Çalışmanın tamamını yapmıştır.

Etik kurul onayı: Onay gerektiren bir çalışma değildir.

5. Kaynaklar

- Akarsu Mühendislik. 2021.** Sakarya Havzası Nehir Havza Yönetim Planı. <https://scd.csb.gov.tr/sakarya-havzasi-nehir-havza-yonetim-planı-scd-taslak-kapsam-belirleme-raporu-goruse-acilmistir-duyuru-421744>
- Akbas, A., Özdemir, H. 2024.** Comparing Satellite, Reanalysis, Fused and Gridded (In Situ) Precipitation Products Over Türkiye. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/JOC.8671>
- Anache, JAA., Flanagan, DC., Srivastava, A., Wendland, EC. 2018.** Land use and climate change impacts on runoff and soil erosion at the hillslope scale in the Brazilian Cerrado. *Science of The Total Environment*, 622–623, 140–151. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.11.257>
- Anıl Kızılaslan, M., Sağın, F., Doğan, E., Sönmez, O. 2014.** Aşağı Sakarya Nehri akımlarının yapay sınır ağları ile tahmin edilmesi. *Sakarya University Journal of Science*, 18(2), 99–103. <https://doi.org/10.16984/SAUFBED.00839>
- Büyükyıldız, M., Berktaş, A. 2004.** Parametrik Olmayan Testler Kullanılarak Sakarya Havzası Yağışlarının Trend Analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 19(2), 23–38.
- Çeribaşı, G., Doğan, E. 2015a.** Karadeniz Ve Sakarya Havzalarında Yıllık Ortalama Yağışların Trend Analizi. *SDU International Journal of Technological Sciences*, 7(1), 1–7.
- Çeribaşı, G., Doğan, E. 2015b.** Trend Analizi Yöntemi Kullanılarak Batı Ve Doğu Karadeniz İle Sakarya Havzası Akım Miktarlarının Değerlendirilmesi. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 7(2), 1–12. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/utbd/issue/25975/273624>
- Church, M., Ferguson, RI. 2015.** Morphodynamics: Rivers beyond steady state. *Water Resources Research*, 51(4), 1883–1897. <https://doi.org/10.1002/2014WR016862>
- Cook, BI., Mankin, JS., Anchukaitis, KJ. 2018.** Climate Change and Drought: From Past to Future. *Current Climate Change Reports* 2018 4:2, 4(2), 164–179. <https://doi.org/10.1007/S40641-018-0093-2>
- Curebal, I., Efe, R., Ozdemir, H., Soykan, A., Sönmez, S. 2016.** GIS-based approach for flood analysis: case study of Keçiçidere flash flood event (Turkey). *Geocarto International*, 31(4), 355–366. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1047411>
- Dai, A., Zhao, T., Chen, J. 2018.** Climate Change and Drought: a Precipitation and Evaporation Perspective. *Current Climate Change Reports*, 4(3), 301–312. <https://doi.org/10.1007/S40641-018-0101-6/FIGURES/2>
- Duvan, A., Aktürk, G., Yıldız, O. 2021.** Meteorolojik Kuraklığın Zamansal ve Alansal Özelliklerine İklim Değişikliğinin Etkisi, Sakarya Havzası Örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 3(2), 207–217. <https://doi.org/10.46387/bjesr.961816>
- ECMWF. 2016.** IFS Documentation CY41R2. ECMWF.
- Ergün, M., Fırat, B., Tuncer, G., Sönmez, O. 2024.** Küçük Menderes Havzasında Mann-Kendall ve Şen'in Eğimi Yöntemleri Kullanılarak Meteorolojik Değişkenlerin Trend Analizi. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 14(2), 1–12. <https://doi.org/10.7212/KARAEELMASFEN.1459907>
- Giorgi, F., Raffaele, F., Coppola, E. 2019.** The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections. *Earth System Dynamics*, 10(1), 73–89. <https://doi.org/10.5194/ESD-10-73-2019>
- Haltas, I., Yildirim, E., Oztas, F., Demir, I. 2021.** A comprehensive flood event specification and inventory: 1930–2020 Turkey case study. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 56, 102086. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2021.102086>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... Thépaut, JN. 2020.** The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049. <https://doi.org/10.1002/QJ.3803>
- Hidro Dizayn. 2023.** Sakarya ve Susurluk Havzaları Kuraklık Yönetim Planının Hazırlanması Projesi. https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/SÇD_kuraklık/sakarya_nihai_scd_16062023.pdf

- Kendall, MG. 1975.** Rank correlation methods (4. edition). Grifin. <https://psycnet.apa.org/record/1948-15040-000>
- Mann, HB. 1945.** Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- Özdemir, Z., Özkaynak Yolcu, M. 2024.** İklim Değişikliğinin ve Kentleşmenin Etkilerini Akarsu Kıyısı Yerleşim Alanlarında Sel Felaketi Üzerinden Tartışmak. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(2), 314–333. <https://doi.org/10.21324/DACD.1383055>
- Özel, N., Kalaycı, S., Sevimli, MF., Büyükyıldız, M. 2004.** Sakarya Nehri Havzası Aylık Akım Verilerinin Parametrik Olmayan Yöntemlerle Trend Analizi. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim Ve Teknoloji Dergisi*, 19(2), 11–22. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/sujest/issue/23284/248501>
- Sen, PK. 1968.** Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- SYGM. 2018.** Sakarya Havzası Taşkın Yönetim Planı. [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın Yönetim Planları/SAKARYA HAVZASI TAŞKIN YONETIM PLANI YONETİCİ ÖZETİ.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Taşkın_Yönetim_Planları/SAKARYA_HAVZASI_TAŞKIN_YONETIM_PLANI_YONETICI_OZETI.pdf)
- SYGM. 2025.** Sakarya Havzası. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. <https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=139>
- Theil, H. 1950.** A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, 3; confidence regions for the parameters of polynomial regression equations. *Indagationes Mathematicae*, 1(2), 467–482.
- Trenberth, KE. 2011.** Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1–2), 123–138. <https://doi.org/10.3354/CR00953>
- Tu, LX., Thanh, VQ., Reyns, J., Van, SP., Anh, DT., Dang, TD., Roelvink, D. 2019.** Sediment transport and morphodynamical modeling on the estuaries and coastal zone of the Vietnamese Mekong Delta. *Continental Shelf Research*, 186, 64–76. <https://doi.org/10.1016/J.CSR.2019.07.015>
- Varol, T., Atesoglu, A., Ozel, H. B., Cetin, M. 2023.** Copula-based multivariate standardized drought index (MSDI) and length, severity, and frequency of hydrological drought in the Upper Sakarya Basin, Turkey. *Natural Hazards*, 116(3), 3669–3683. <https://doi.org/10.1007/S11069-023-05830-4/FIGURES/5>
- Yaykiran, S. 2016.** Sakarya Havzası'nın Yüksek Çözünürlüklü Hidrolojik Modelinin Yapılandırılması. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 176 s. <https://polen.itu.edu.tr/items/eca8edd5-a11f-4d4a-8b7c-c78a56410e2d>
- Yılmaz, A. 2015.** Küresel Isınmanın Dünya Su Rezervleri Üzerindeki Etkileri. *Kent Akademisi*, 8(22), 63–72. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kent/issue/34398/379897>
- Yue, S., Wang, CY. 2002.** Regional streamflow trend detection with consideration of both temporal and spatial correlation. *International Journal of Climatology*, 22(8), 933–946. <https://doi.org/10.1002/JOC.781>