

Anlık Maksimum Debilerin 2025-2055 Dönemindeki Yağış ve Sıcaklık Farklılıklarına Göre Değişimi, Doğu Karadeniz Havzası İncelemesi

Hasan Törehan Babacan^{1,*}

¹Amasya Üniversitesi, Taşova Yüksel Akın Meslek Yüksekokulu, Ulaştırma Hizmetleri Bölümü, 05800, Taşova, Amasya.

Özet

Bu çalışma geçmiş yıllarda şiddetli yağışlara bağlı, büyük can ve maddi kayıpların yaşandığı Doğu Karadeniz Havzası'nda gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın temel amacı iklim değişikliğinin anlık maksimum debilere etki düzeyinin araştırılmasıdır. Bu araştırma için havzanın orta ve doğu kesimlerinde farklı rakımlarda bulunan dört Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) seçilmiştir. Seçilen istasyonlarda en uzun süre kesintisiz kaydedilmiş verilerin bulunduğu yıllar göz önüne alınarak belirlenen referans dönemler için Debi Süreklilik Eğrileri (DSE) elde edilmiştir. DSE'lerden %95, %50 ve %5 aşılma olasılığına karşılık gelen debi değerleri elde edilmiş ve yıllık ortalama debi, yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verileriyle birlikte anlık maksimum debi (Q_{maks}) tahmini için tahminleyici parametre olarak kullanılmıştır. Çalışmada tahminleme kalibrasyon ve gelecek tahmini olmak üzere iki aşamadan oluşmuştur. Kalibrasyon kısmında istasyonların referans dönemi içerisinde gözlenmiş veriler kullanılarak önceki yıl verileriyle bir sonraki yıl Q_{maks} değerini tahmin eden fonksiyonlar belirlenmiştir (Ortalama $R=0,975$). İkinci kısımda bölge için iklim değişikliğinin en olumsuz etkilerinin gözleneceği bildirilen RCP8.5 emisyon senaryosu etkisi altında MPI-ESM-MR yağış ve sıcaklık verileri kullanılarak 2025-2055 yılları aralığında Q_{maks} tahmini yapılmıştır. Çalışmadan elde edilen bulgular, havzada yağış ve sıcaklık değişimlerinin Q_{maks} üzerinde istatistiksel olarak anlamlı etkilerinin olduğunu, üst havzalardaki değişim düzeyinin sınırlı olduğunu ve alt havzalarda gelecekte taşkın oluşturabilecek yüksek debilerin gözlenebileceğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler

Anlık Maksimum Debi, Taşkın, İklim Değişikliği, Havza Su Yönetimi

Change in Instant Maximum Flows According to Precipitation and Temperature Differences in the 2025-2055 Period, A Study in Eastern Black Sea Basin

Abstract

This study was carried out in the Eastern Black Sea Basin, where great loss of life and property was experienced due to heavy rains in the past years. The main purpose of the study is to investigate the effect of climate change on instantaneous maximum flow (Q_{max}) rates. For this study, four Discharge Observation Stations (DOS) located at different altitudes in the central and eastern parts of the basin were selected: Flow Duration Curves (FDC) were obtained for the reference periods determined by considering the years with the longest continuous recorded data at the selected stations. Flow values corresponding to 95%, 50% and 5% probability of exceeding were obtained from FDCs and were used as estimating parameters for Q_{max} estimation together with annual average flow, annual total precipitation and annual average temperature data. In the study, forecasting consisted of two stages: calibration and future forecasting. In the calibration, the functions estimating the Q_{max} of the next year were determined with the data of the previous year by using the data observed in the reference period of the stations (Mean $R = 0.975$). In the second part, Q_{max} estimation was made 2025-2055 period using MPI-ESM-MR precipitation and temperature data under the effect of the RCP8.5 emission scenario, where it is reported that the most negative effects of climate change will be observed for the region. The findings obtained from the study showed that precipitation and temperature changes in the basin have statistically significant effects on Q_{max} , the level of change in the upper basins is limited, and high flow rates that may cause flooding in the lower basins can be observed in the future.

Keywords

Instantaneous Maximum Flow, Flood, Climate Change, Basin Water Management

1. Giriş

İklim değişikliği küresel anlamda, ekosisteme, doğal kaynaklara ve toplumsal faaliyetlere büyük etkiler oluşturmaya devam etmektedir (Prather vd., 2013). Bu etkilerin en önemlileri arasında iklim değişikliğinin hidrolik ve hidrolojik süreçlere etkisi sayılabilir (Sharma vd., 2024). Çünkü su, tarihin her döneminde medeniyetler için vazgeçilmez bir unsur olmuştur. İklim değişikliğinin gözlenebilir en önemli etkilerinden biri artan sıcaklıklardır (Nyaupane vd., 2024). Artan sera gazı salınımı sonucu atmosferde yükselen sera gazı konsantrasyonuna paralel olarak yükselen sıcaklıklar hidrolojik süreçlere direkt olarak etki etmektedir (Grey vd., 2023).

Artan sıcaklıklar buzulların erimesine ve kar örtüsü seviyelerinin düşmesine, baraj rezervuarlarından su kaybının artmasına, yağış ve akış rejiminin değişmesi gibi pek çok süreç üzerinde etkisini göstermiştir (Huber vd., 2024; Adnan vd., 2024). İklim değişikliğinin bir sonucu olan aşırı hava olayları akarsularda taşkın riskini arttırmakta ve hidrolik tesislerin verimini etkilemektedir. İklim kaynaklı bu değişikliklerin, sosyo-ekonomik etkileri, çevresel sürdürülebilirlik ve su kaynakları yönetim politikaları konuları özelinde dikkatle incelenmesi gereklidir (Adnan vd., 2024).

Su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi hidrolojinin en temel araştırma konusudur. Yönetim süreci içerisinde en büyük pay akarsu debilerinin tahmin edilmesi ve yönetilmesidir. Akarsuların taşıdığı su miktarının bilinmesi, su kaynaklarının planlanması, sel kontrolü, sulama, enerji üretimi, toplum sağlığı, flora ve faunanın korunması için önemlidir (Jehanzaib vd., 2022). Bu aşamada kullanılan Debi Süreklilik Eğrisi (DSE) belirli bir zaman aralığında bir akarsuda akan su hacmini analiz ederek elde edilen istatistiksel grafiklerdir. Bu grafikler belli debi seviyelerinin ne sıklıkla deneyimlenebileceğini ve belirli olasılıklara karşılık gelen debi değerlerini göstermektedir (Müller & Thompson, 2016). Kritik debi değerlerinin belirlenmesi amacıyla kullanıldığından DSE'lerden elde edilen bilgiler, taşkın olaylarını tahmin etmek ve su kaynaklarının verimli bir şekilde yönetilmesi için önemlidir. Bu sebeple regresyon gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak DSE tahmini yapılmakta ve elde edilen bulgular hidrolojik süreçlerin yönetilmesi amacıyla kullanılmaktadır (Longobardi & Villani, 2013).

Hidrolik ve hidrolojik çalışmalarda belirli aşılma olasılıklarına karşılık gelen debi değerleri kullanılmaktadır. Aşılma olasılığı düşük olan debi değerleri (%5 gibi) taşkın yönetimi, aşılma olasılığı yüksek olan debi değerleri (%95 gibi) düşük akışların incelenmesi gibi araştırmalar için kullanılmaktadır (Tsarouchi, 2014). Aşılma olasılığı %10-90 aralığında olan debi değerleri ise hidroelektrik santrallerden elde edilecek firm enerjinin belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır (Saka & Yüksek, 2017). Doğal çevrenin korunmasında akarsuların ekolojik sağlığının incelenmesi en önemli araştırma basamağıdır. Bu araştırmalarda akarsularda akış hacminin izlenmesi ve gelecek dönemdeki akış hacminin belirlenmesi önemli bir adımdır. Ekosistemin sürdürülebilirliğin sağlanması için akarsuda minimum akış seviyeleri dikkate alınır (Smakhtin, 2001). Ayrıca su temini ve sulama projelerinde sürdürülebilirliği sağlamak, yıl boyunca su taleplerinin karşılanması amacıyla yine belirli aşılma olasılıklarına karşılık gelen debi değerleri kullanılır. Rezervuarların işletilmesi ve suyun depolanması konularında da debi süreklilik eğrilerinden elde edilecek veriler kullanılmaktadır. Ayrıca köprü, baraj, su artıma tesisleri ve menfezler gibi altyapı projelerinin tasarım aşamasında taşkınlara ve sürekli gelecek akışlara dayanıklı olmasını sağlamak için debi süreklilik eğrileri kullanılmaktadır (Cheng vd., 2011). Türkiye'de 2022 yılında kullanılan enerjinin %32,8'i yenilenebilir kaynaklardan elde edilmiş ve bunlar içinde hidroelektrik enerjinin payı %51 olmuştur (Gulay vd., 2024). Bu yönüyle değerlendirildiğinde hidroelektrik enerji üretimi Türkiye'de enerji ihtiyacının karşılanması konusunda büyük paya sahiptir. Yüksek eğimli akarsuların bulunması nedeniyle Doğu Karadeniz Havzası'nın hidroelektrik enerji potansiyeli konusunda önemi ortaya çıkmaktadır. Hidroelektrik santrallerin kurulması ve işletilmesi için DSE'lerden elde edilecek olan belirli aşılma olasılıklarına karşılık debi değerleri kullanılmaktadır (Saka & Yüksek, 2017). Akışın düşük olduğu dönemlerde hidroelektrik enerji üretiminde düşüş olurken, yüksek olduğu dönemlerde ise artış yaşanabilmektedir. Hidroelektrik enerji santrallerinin planlanması ve işletilmesi aşamalarında da debi süreklilik eğrileri kullanılmaktadır (Vogel & Fennessey, 1994).

İklim değişikliğinin etkileri arasında artan sıcaklıklar ve aşırı hava olayları akarsularda debilerin izlenmesini ve tahmin edilebilirliğini etkilemektedir (Mundetia vd., 2024). Akarsularda meydana gelecek değişimler ülkeler için önemlidir. Öngörülemeyen debi değerleri hidrolik altyapı projelerinin ve taşkın koruma yapılarının işlevselliğini azaltacak, su kaynaklarının planlanması ve yönetilmesi konusunda aksaklıklara neden olacaktır. Doğu Karadeniz Havzası gibi taşkın riskinin yüksek olduğu havzalarda taşkın oluşturacak debilerin önceden belirlenmesi büyük can ve mal kayıplarının önlenmesini sağlayacaktır (Elbaşı & Özdemir, 2023). Bu perspektifle değerlendirildiğinde iklim değişikliği etkilerinin debi süreklilik eğrilerine olan etkisinin incelenmesi gelecekte oluşabilecek zararların önlenmesi amacıyla kullanılabilecektir.

Çalışma Türkiye'nin en fazla yağış alan havzası olan ve topografik yapısı nedeniyle taşkın riski yüksek olan Doğu Karadeniz Havzası'nda gerçekleştirilmiştir. Havzada seçilen istasyonlarda DSE'ler elde edilmiştir. DSE'ler kullanılarak belirli aşılma olasılığına karşılık gelen debi değerleri bulunmuştur. Bulunan bu debi değerleriyle, aynı gözlem yılı içerisinde toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri kullanılarak anlık maksimum debi değerini tahmin eden fonksiyonlar elde edilmiştir. Çalışmanın ikinci kısmında MPI-ESM-MR küresel dolaşım model verilerinden, yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık veri setleri kullanılarak yakın gelecekte görülebilecek anlık maksimum debi değerleri incelenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen bulgular Doğu Karadeniz Havzası'nda taşkın yönetim çalışmalarına katkı sağlayacak ve akarsulardaki su yönetim stratejilerinin geliştirilmesi amacıyla kullanılabilecektir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Çalışma Alanı: Doğu Karadeniz Havzası

Doğu Karadeniz Havzası, Türkiye'nin kuzeydoğusunda yer almaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 1991-2020 yılları ortalama değerlerine göre Türkiye'nin en çok yağış alan şehirlerinden Trabzon (828 mm/yıl) ve Rize (2302 mm/yıl) Doğu Karadeniz Havzası'nda bulunmaktadır.

Havza yıllık toplam yağış miktarıyla su potansiyeli en yüksek havzalardan bir tanesidir (Elbaşı & Özdemir, 2023). Havzanın topografyası genellikle engebeldir ve havzadaki akarsuların eğimleri yüksektir (Gürgen, 2004). Bu yönüyle havzada hidroelektrik enerji potansiyeli yüksektir. Engelibeli topografya nedeniyle yerleşim alanları dar vadilere kurulmuş olup akarsulara yakın konumdadır. Geçmişte Artvin, Giresun, Rize ve Trabzon'da yaşanan taşkın olayları, dar vadilerde akarsulara yakın kurulan yerleşim alanlarının taşkınlara karşı risk altında olduğunu göstermektedir (Yüksek vd., 2022). Çalışma kapsamında havzada kullanılan Akım Gözlem İstasyonları (AGİ), Meteoroloji İstasyonları (Mİ) ve havza sınırları Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1: Doğu Karadeniz Havzası sınırları ve havzada kullanılan gözlem istasyonları

2.2. Kullanılan Veriler

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Havzası (DKH) akarsu akışlarındaki belirli aşılma olasılığına sahip debiler incelenmiştir. Çalışma iki farklı veri grubu kullanılarak tamamlanmıştır. Birinci veri grubu havzadaki Mİ ve AGİ'lerde kaydedilmiş verilerdir. Bu veriler havzadaki referans dönemin belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Akım gözlem verileri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), meteorolojik gözlem verileri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilmiştir. Havzada referans dönem verileri kaydedilmiş yıllardan, kesintisiz en uzun veri aralığı seçilerek belirlenmiştir. AGİ konumlarında veri seti oluşturmak amacıyla Mİ'lerde kaydedilen verilerin hazırlanması gereklidir. Mİ'lerde noktasal olarak kaydedilen veriler, AGİ konumlarına Thiessen Poligonu yönteminde elde edilen alanlar kullanılarak bölgeselleştirilmiştir. Çalışmada gözlenmiş verilerin alındığı istasyonlara ait bilgiler Tablo 1'de gösterilmiştir. İkinci grupta ise iklimsel projeksiyon verileri kullanılmıştır. Bunun için kullanılan veriler dinamik ölçek indirgeme metodu (RegCM4.3.4) ile havzadaki ilgili yerlere indirgenmiş olarak MGM'den temin edilmiştir. Verilerin doğrulaması ve indirgenmesi konusunda detaylı bilgi için Demircan vd. (2017) tarafından yapılan araştırma incelenebilir.

Tablo 1: Havzadaki gözlem verilerinin alındığı istasyonlara ait genel bilgiler

İstasyon Tipi	İstasyon No	Kot (m)	Koordinat	Thiessen Yöntemine Göre Meteorolojik Veri Alınan İstasyon No
AGİ	D22A009	925	39°17'50"D 40°33'30"K	17088
AGİ	D22A044	500	39°54'0"D 40°41'15"K	17037
AGİ	D22A071	1050	38°21'0"D 40°34'0"K	17682
AGİ	D22A072	175	41°10'0"D 41°12'30"K	17628
Mİ	17088	1216	39°27'55.2"D 40°27'35.4"K	-
Mİ	17037	25	39°45'53.8"D 40°59'54.5"K	-
Mİ	17682	1364	38°25'09.6"D 40°17'13.8"K	-
Mİ	17628	78	40°54'00.6"D 41°10'40.9"K	-

AGİ: Akım Gözlem İstasyonu, Mİ: Meteoroloji İstasyonu

İklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin ortaya koyulması su havzalarının yönetimi ve ülkelerin su yönetimi konusunda alacağı önlemler açısından kritik öneme sahiptir. Değerlendirmelerde en olumsuz koşulların incelenmesi, yakın gelecekte karşılaşılabilecek zararlara karşı güvenli tarafta kalmak açısından fayda sağlayacaktır. Çalışmada Türkiye’de yapılan, projeksiyon verilerine göre gelecek yağış ve sıcaklık değişiminin değerlendirildiği geçmiş araştırmada elde edilen bilgilere göre, en yüksek sıcaklık artışının olduğu ve yağış değişiminin en fazla olduğu RCP8.5 emisyon senaryosu etkisi altında MPI-ESM-MR Küresel Dolaşım Modeli (KDM) seti kullanılmıştır (Demircan vd., 2017).

2.3. Anlık Maksimum Debinin Tahmin Edilmesi

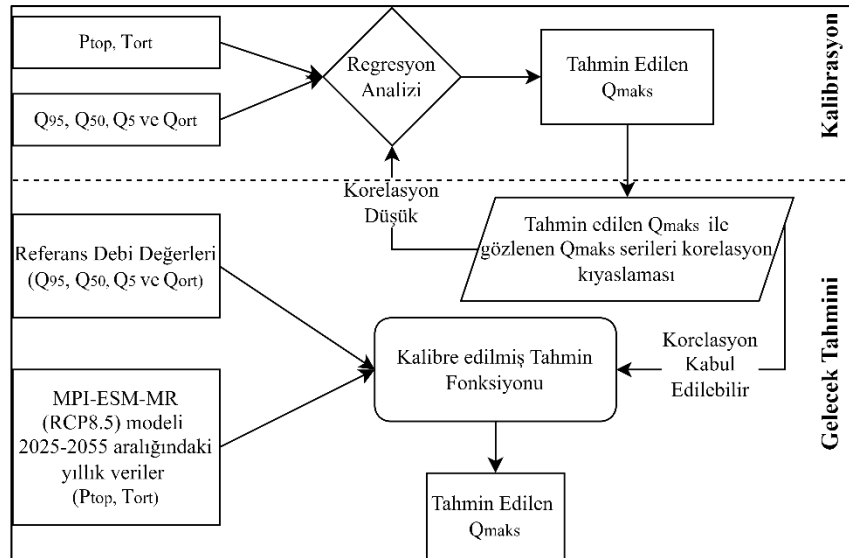
Çalışma kapsamında seçilen istasyonlarda, referans tarih aralıklarında DSE’ler elde edilmiştir. Elde edilen DSE’ler kullanılarak her istasyonun referans aralığı için %95 (Q_{95}), %50 (Q_{50}), %5 (Q_5) aşılma olasılıklarına karşılık gelen debi değerleri ve yıllık ortalama (Q_{ort}) debi değeri tespit edilmiştir. Debi değerleriyle birlikte tahminleyici parametre olarak, gözlem yılı içerisindeki ortalama sıcaklık (T_{ort}) ve gözlem yılı içerisindeki toplam yağış (P_{top}) kullanılmıştır. Tahmin edilecek parametre olan Anlık Maksimum Debi (Q_{maks}) ile tahminleyici parametreler arasındaki ilişki regresyon analizi kullanılarak araştırılmıştır.

Regresyon analizi hidrolojik parametre tahmini gereken araştırmalarda kullanılmaktadır (Badyalina & Shabri, 2013; Guo vd., 2021). Çalışma kapsamında regresyon analizi iki kısımda tamamlanmıştır. İlk olarak referans dönemde gözlenen veriler esas alınmış ve analiz yapılan istasyonlarda Q_{maks} değerinin hesaplanabileceği eşitlikler elde edilmiştir. İkinci kısımda RCP8.5 senaryosu etkisi altında MPI-ESM-MR veri seti kullanılarak 2055 yılına kadar olan süreçte her istasyon için elde edilen yıllık ortalama sıcaklık ve yıllık toplam yağış verileri kullanılmıştır. Bu aşamada referans dönemde elde edilen debi değerlerinin uzun yıllar için ortalaması belirlenmiş ve bu debi değerleri referans değerler olarak kabul edilmiştir. Bu değerler kullanılarak 2055 yılına kadar olan dönemde analiz yapılan istasyonlardaki anlık maksimum debi değerleri tahmin edilmiştir. İlk aşama ve ikinci aşamada araştırılan parametre ilişkileri Eşitlik 1 ve 2’de gösterilmiştir.

$$Q_{maks} = f(Q_{95}, Q_{50}, Q_5, Q_{ort}, T_{ort}, P_{top}) \quad (1)$$

$$Q'_{maks} = f(Q_{95}^{ref}, Q_{50}^{ref}, Q_5^{ref}, Q_{ort}^{ref}, T_{ort}^{pro}, P_{top}^{pro}) \quad (2)$$

Eşitliklerde Q'_{maks} gelecek anlık maksimum akışı, Q^{ref} ile gösterilenler indiste bulunan değere karşılık gelen yüzde aşılma olasılığı için hesaplanan referans debileri, T_{ort}^{pro} projeksiyon verilerinden elde edilen yıllık ortalama sıcaklık değerini ve P_{top}^{pro} projeksiyon verilerinden elde edilen yıllık toplam yağış değerini ifade etmektedir. Çalışmada gerçekleştirilen analizlere ilişkin akış şeması Şekil 2’de gösterilmektedir.



Şekil 2: Anlık maksimum debi tahmin aşamaları için akış şeması

2.4. Debi Süreklilik Eğrisi

DSE yıl içerisinde gözlenen günlük ortalama akışların gözlenme olasılığını gösteren eğridir (Vogel & Fennessey, 1994). Yıl içerisinde akarsu akışında meydana gelen değişikliklerin gözlenmesi, enerji potansiyelinin belirlenmesi, içme-kullanma suyu ihtiyaçlarının karşılanması, rezervuar seviyelerinin kontrol edilmesi gibi pek çok amaçla hidrolojik çalışmalarda kullanılmaktadır (Searcy, 1959).

Çalışmada ilk olarak havzanın karakteristik akış değerlerinin ortaya koyulması amaçlanmıştır. Araştırmalarda referans periyot seçiminde sırasıyla iki kriter dikkate alınmıştır. Bu kriterlerden ilki referans periyodun en uzun süre kesintisiz veri kaydı olmasıdır. Bu sayede periyot içerisindeki günlük değişimler yüksek doğruluk ile izlenebilecektir. İkinci kriter ise seçilen periyodun iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden mümkün olan en az düzeyde etkilenmiş olmasıdır. Literatürde iklim değişikliği etkilerinin incelendiği araştırmalarda referans kabul edilen 1971-2000 yılları aralığı olmuştur (Stocker vd., 2014). Analiz yapılan her AGİ için literatürdeki referans periyoda en yakın yıllar seçilmiştir. Analiz yapılan istasyonlarda seçilen referans dönem Tablo 2’de gösterilmiştir.

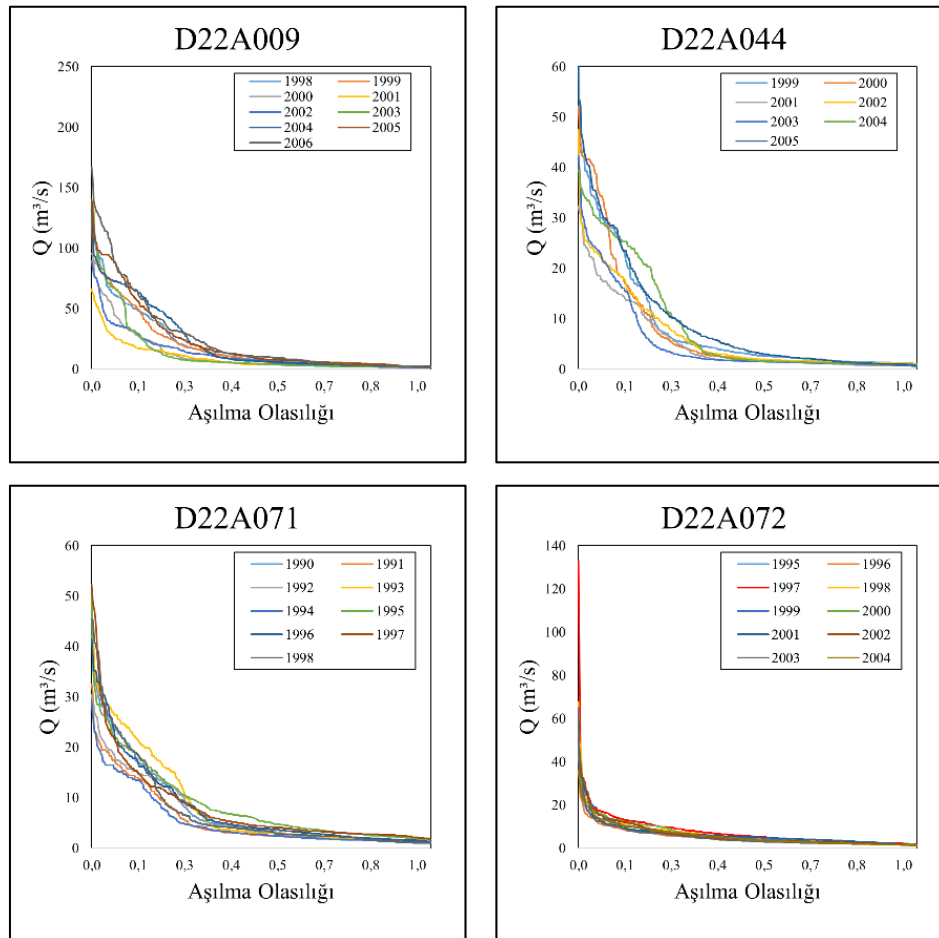
Tablo 2: Havza karakteristik akış değerlerinin belirlenmesi için kullanılan referans periyotların istasyonlara göre gösterimi

İstasyon	Referans Periyot	Toplam Süre (yıl)
D22A009	1998-2006	9
D22A044	1999-2005	7
D22A071	1990-1998	9
D22A072	1995-2004	10

3. Bulgular

3.1. İstasyonlar İçin Referans Dönem Debi Süreklilik Eğrileri ve Kritik Debi Değerleri

Çalışmada incelenen AGİ konumlarında, belirlenen referans periyot içerisinde kaydedilmiş günlük ortalama debi değerleri kullanılarak DSE’ler elde edilmiştir. Elde edilen DSE’lerin istasyonlara göre değişiminin grafiksel olarak izlenmesini kolaylaştırmak için referans periyot yıllarında hazırlanan DSE’ler her istasyonu temsil edecek şekilde aynı grafik üzerinde sunulmuştur. İstasyonlara göre elde edilen DSE’ler Şekil 3’te gösterilmiştir.



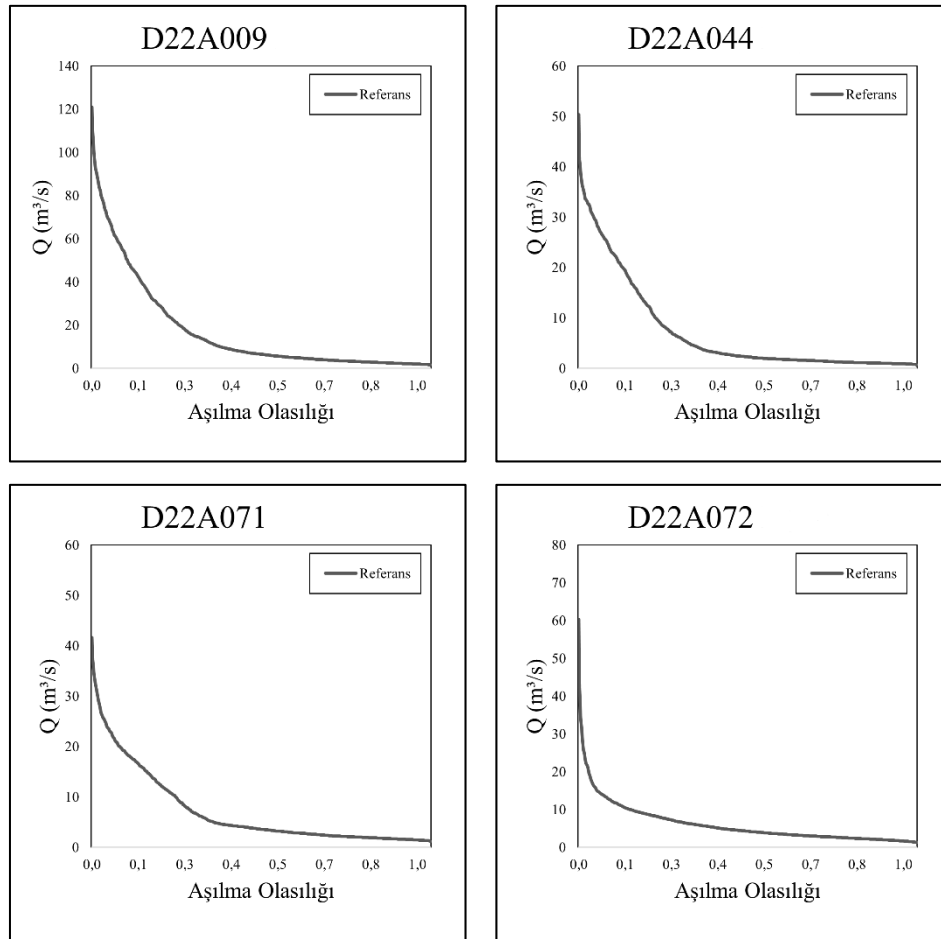
Şekil 3: Referans dönem olarak belirlenen yıllar için istasyonlara göre elde edilen debi süreklilik eğrileri

Referans dönem verileri kullanılarak anlık maksimum debi tahmini yapılacağından DSE'lerde belli aşılma olasılıklarına karşılık gelen debiler hesaplanmıştır. Çalışmada anlık maksimum debinin belirlenmesi için Eşitlik 1'de gösterilen matematiksel ilişki kurularak, tahminleyici parametrelere karar verilmiştir. Çalışmada %95, %50 ve %5 aşılma olasılıklarına karşılık gelen debi değerleri referans periyodu oluşturan yıllar için ayrı ayrı belirlenmiştir. Belirlenen bu değerler regresyon analizinde tahmin fonksiyonunun kalibrasyonu için kullanılmıştır.

Gelecek anlık maksimum debi değerlerinin tahmin edilmesi için istasyonlarda referans debi değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada gelecek yağış ve sıcaklık değişimlerinin anlık maksimum debilere etkisi inceleyeceğinden referans debi değerlerinin belirlenmesi için istasyonlarda referans DSE elde edilmesi gerekmektedir. Bu sebeple referans periyot içerisinde kaydedilmiş günlük verilerin, her istasyon için ortalaması alınarak referans debi değerleri belirlenmiştir. Tablo 3'te istasyonların referans periyodunu temsil eden yıllar ve bu yıl aralığında hesaplanan referans debi değerleri gösterilmiştir. Ayrıca istasyonlar için elde edilen referans DSE'ler Şekil 4'te gösterilmiştir.

Tablo 3: Debi Süreklilik Eğrilerinden istasyonlara göre hesaplanan referans debi değerleri

İstasyon	Referans Periyot	Q ₉₅	Q ₅₀	Q ₅	Q _{ort}
D22A009	1998-2006	2,03	6,57	69,61	17,23
D22A044	1999-2005	0,93	2,30	29,63	7,14
D22A071	1990-1998	1,53	3,60	23,78	7,15
D22A072	1995-2004	1,75	4,29	16,08	6,23



Şekil 4: İstasyonların referans periyotlarında belirli debi değerleri ortalamalarından elde edilen referans debi süreklilik eğrileri

3.2. Referans Dönem Anlık Maksimum Akış Tahmini Bulguları

Anlık maksimum akışın tahmin edilmesi eksik ölçüm yapılan bölgeler için çeşitli sınırlamalar içermektedir. Literatürde akış tahmini konusunda başarılı çıktılar üreten yapay zeka modelleri bulunsa da (Babacan vd., 2022; Meshram vd., 2022) bu yapay zeka modellerinin sınırlı veri ile eğitilmesi tahmin performansını düşürmektedir.

Sınırlı verinin bulunması, yüksek tahmin performansına ulaşan yapay zeka tabanlı modellerin üretilmesini ve optimize edilmesini zorlaştıracak bildirilmiştir (Bahareh vd., 2018). Bu nedenle çalışmada anlık maksimum debi tahmini regresyon analizi kullanılarak yapılmıştır (Tsakiri vd., 2018).

Analiz iki aşamada gerçekleştirilmiş olup, ilk aşama bölgede kaydedilmiş veriler kullanılarak tahmin fonksiyonunun elde edilmesi kısmını kapsayan kalibrasyon aşamasıdır. İkinci aşamada, kalibre edilmiş tahmin fonksiyonu kullanılmıştır. Bölgeden elde edilen referans debi değerleriyle birlikte RCP8.5 emisyon senaryosu etkisi altında MPI-ESM-MR Küresel Dolaşım Modeli (KDM) yıllık ortalama toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık verileri tahminleyici olarak kullanılmıştır. Bu aşamada KDM verilerine göre gelmesi beklenen anlık maksimum debi değerleri tahmini yapılmıştır. Elde edilen anlık maksimum debi değerleri 2025-2055 yılları arasındaki dönemi kapsadığından su yapılarının projelendirilmesi aşamasında orta ve uzun dönemli değerlendirme imkanı sağlayacaktır.

Kalibrasyon aşamasında belirlenen istasyonların sırasıyla %95, %50, %5 aşılma olasılıklarına karşılık gelen debi değerleri, yıllık ortalama debi, ilgili yıllar için toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri kullanılmıştır. Anlık maksimum debi değerlerini tahmin eden fonksiyonlara ait katsayılar ve performans indisi olarak kullanılan Pearson Korelasyon Katsayısı (R) ve t-testi sonuç değerleri Tablo 4'te gösterilmektedir.

Tablo 4: Kalibrasyon aşamasında elde edilen tahmin performans indisleri ve tahmin fonksiyonlarına ait bilgiler

İstasyon	Performans İndisleri			Tahmin Fonksiyonu Katsayı ve Sabitleri						
	R	t	p*	C	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
D22A009	0,935	0,050	0,961	417,18	-154,515	-24,677	-0,741	18,653	-0,199	2,268
D22A044	0,999	0,721	0,503	-183,329	-21,652	0,010	0,308	-10,572	0,642	-5,425
D22A071	0,983	0,085	0,935	105,726	4,090	20,425	4,238	-22,236	-0,026	-6,141
D22A072	0,982	0,082	0,937	1660,033	-377,546	212,474	-0,553	-103,747	0,024	-80,244

Anlık $Q_{max} = C + X_1 * Q_{95} + X_2 * Q_{50} + X_3 * Q_5 + X_4 * Q_{ort} + X_5 * P_{top} + X_6 * T_{ort}$

*%95 anlamlılık seviyesinde incelenmiştir.

Pearson Korelasyon Katsayısı iki farklı grup arasındaki benzerliğin bulunması amacıyla kullanılmakta olup, [-1 1] aralığında değer almaktadır (Ahlgren vd., 2003). Serilerden biri diğeri ile doğru orantılı biçimde değişiyorsa R değeri 1'e yakınsamakta, ters orantılı olarak değişiyorsa -1'e yakınsamaktadır. İncelenen iki grup arasında benzerlik bulunmuyorsa 0 değerini almaktadır.

3.3. Gelecek Dönem Anlık Maksimum Akış Tahmini Bulguları

Çalışma kapsamında veri analizi yapılan AGİ'lerde kaydedilen akış verileri ve ilgili konumlar için taşınmış meteorolojik veriler kullanılarak istasyonlara göre kalibrasyonu yapılan tahmin fonksiyonları kullanılmış ve gelecek anlık maksimum debi tahmini yapılmıştır. Yapılan tahminler havzanın doğu ve orta kesimlerini kapsamaktadır. Bu bölgelerde geçmiş yıllarda pek çok taşkın felaketi yaşandığından elde edilecek çıktılar önem kazanmıştır.

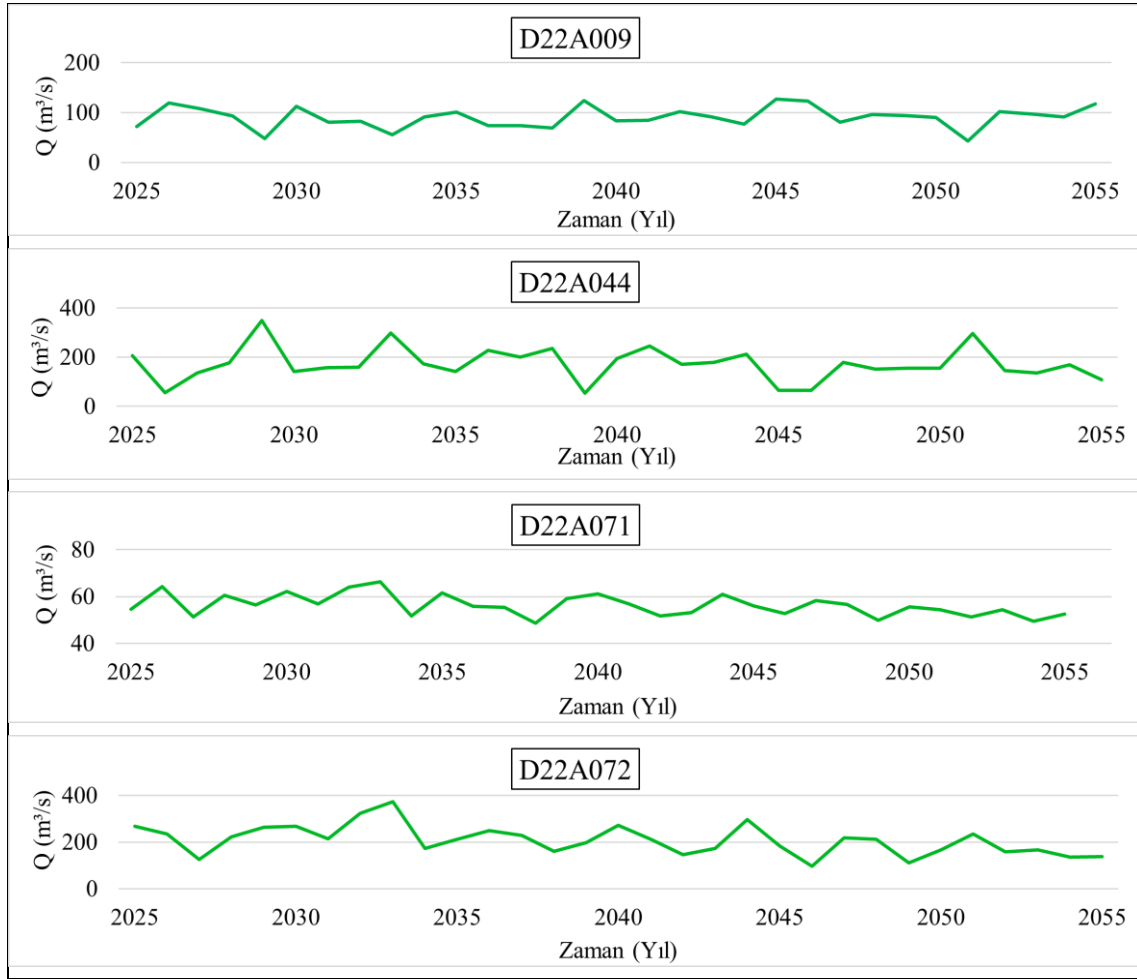
KDM verileri çeşitli emisyon senaryoları göz önüne alınarak üretilmektedir (Stocker vd., 2014). Çalışmada atmosferdeki sera gazı emisyonunun 2099 yılına kadar sürekli artışını öngören RCP8.5 emisyon senaryosu dikkate alınmıştır. Bu emisyon senaryosu etkisi altında MPI-ESM-MR KDM verileri kullanılmıştır. Gelecekte yıllık ortalama toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklıkların değişimine karşılık, havzadaki anlık maksimum debilerin değişimi 2025-2055 dönemi için incelenmiştir. Tahmin fonksiyonlarında tahminleyici olarak kullanılan Q_{95} , Q_{50} , Q_5 ve Q_{ort} değerlerinin ortalaması havzadaki referans dönemi temsil etmek üzere kullanılmıştır. Çalışmada tahmin edilen anlık maksimum debi değerlerinin istasyonlara göre değişimi Şekil 5'te grafiksel olarak gösterilmiştir. Tablo 5'te istasyonlar için tahmin edilen anlık maksimum debi değerlerinin 5 yıllık dönemlerdeki maksimum değeri gösterilmiştir.

Tablo 5: İstasyonlarda tahmin edilen gelecek anlık maksimum debi değerlerinin 5 yıllık dönemler içerisindeki beklenen en yüksek değerleri

İstasyon	D22A009	D22A044	D22A071	D22A072
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
Ref. Maks. ¹	179	181	58,1	290
2025-2029	119,0	350,2	64,3	267,2
2030-2034	112,6	297,9	66,4	373,8
2035-2039	124,4	236,0	61,5	248,5
2040-2044	101,7	246,3	61,1	295,5
2045-2049	126,8	179,1	58,3	218,3
2050-2055 ²	117,8	295,5	55,7	233,8

¹Referans periyot içinde kaydedilen en yüksek anlık maksimum debi değeri.

²6 yıllık dönem için belirlenmiştir.

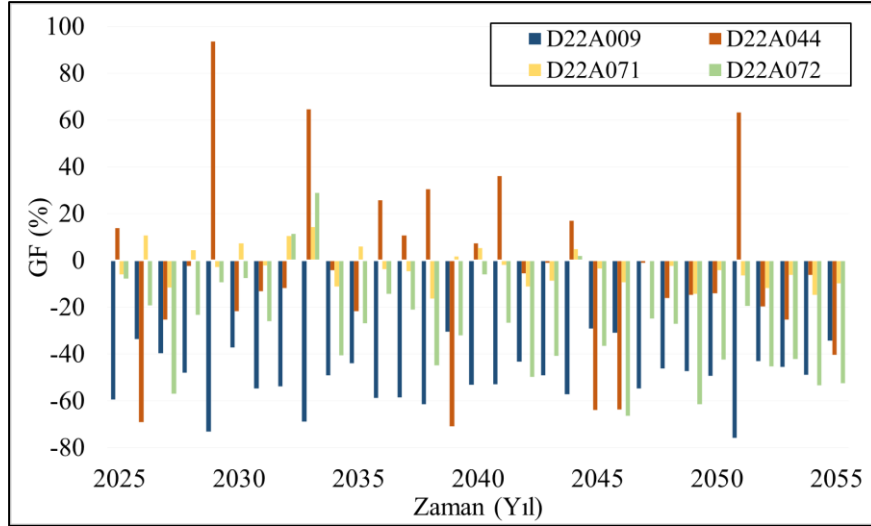


Şekil 5: İstasyonlarda yıllara göre tahmin edilen anlık maksimum debi değerleri

Tahmin edilen gelecek maksimum debilerin referans dönem maksimum debilerinden farklılığının ortaya konulması mevcut duruma göre gelecek dönemin kıyaslamasını kolaylaştıracaktır. Eşitlik 3'te görülen Görelî Fark (GF) katsayıları kullanılarak istasyonlardaki gelecek dönem maksimum debi değerleri incelenmiştir (Kat & Els, 2012). Kıyaslama aşaması referans dönem olarak seçilen yıllarda kaydedilen anlık maksimum debi değerleri içerisindeki en yüksek değerler esas alınarak, tahmin edilen debilerin GF değerlerinin belirlenmesini kapsamaktadır. Şekil 6'da istasyonlarda yıllara göre tahmin edilen anlık maksimum debi değerlerinin referans en yüksek değerler ile karşılaştırması bulunmaktadır.

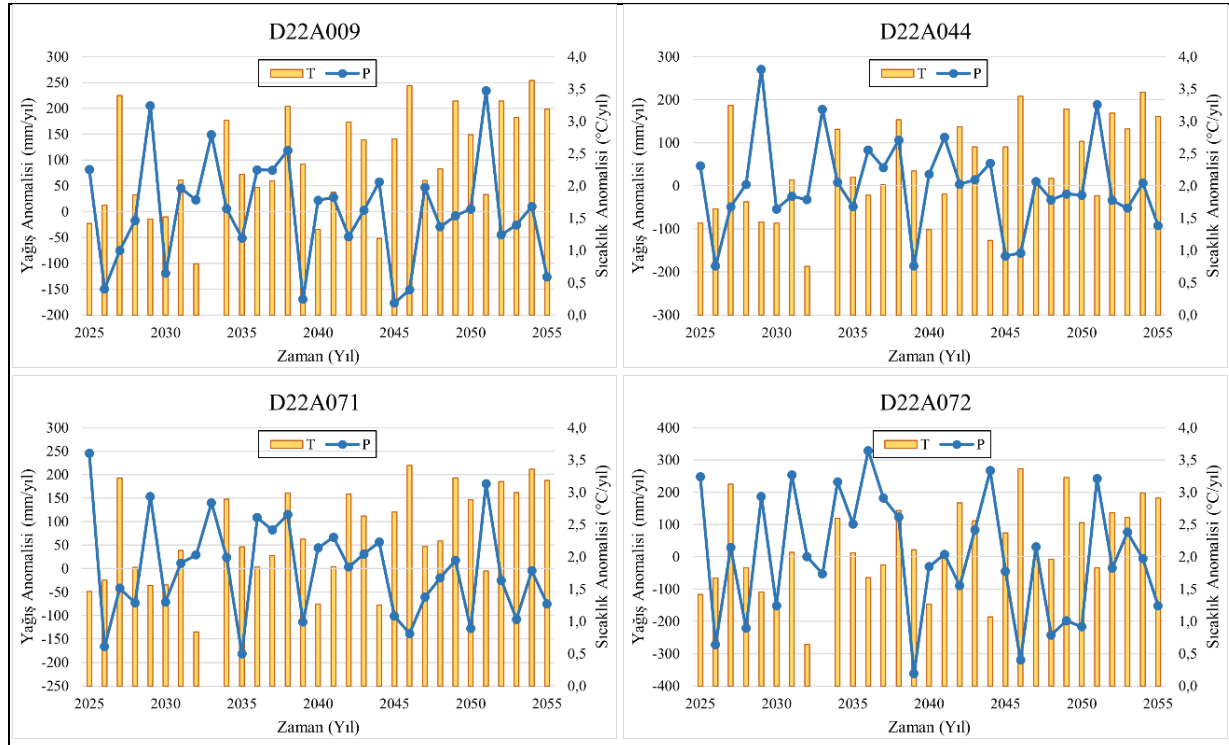
$$GF(\%) = \frac{Q_{tah} - Q_{maks}^{ref}}{Q_{maks}^{ref}} * 100 \quad (3)$$

Burada Q_{tah} tahmin edilen anlık maksimum debi, Q_{maks}^{ref} referans yıllar içerisinde gözlenen en yüksek anlık maksimum debi değerini ifade etmektedir.



Şekil 6: İstasyonlarda yıllara göre tahmin edilen anlık maksimum debi değerlerinin referans maksimum değerlere göre göreceli farklılığı

Referans periyot içerisinde kaydedilen anlık maksimum debi değerlerine göre gelecekte gelmesi beklenen debi değerlerindeki değişimin yorumlanabilmesi için tahminleyici olarak fonksiyonda bulunan yağış ve sıcaklık parametrelerinin de referans periyoda göre değerlendirilmesi gereklidir. Yağışlarda yaşanan düşüşlerin ve sıcaklıklardaki artışların yüzeysel akışı azaltıcı etki yapması hidrolojik olarak beklenen bir durumdur. Bu sebeple referans dönem içerisindeki ortalama değer esas alınarak gelecekteki yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık için anomali değerleri hesaplanmıştır. Anomali değerlerinin hesaplanması aşamasında gelecek değerden referans dönem ortalama değeri çıkarılarak farklılık düzeyi yağışlar için mm, sıcaklıklar için °C mertebesinde bulunmuştur. Yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık için hesaplanan anomali değerleri Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7: İstasyonların referans periyot veri setlerine göre hesaplanan yıllık toplam yağış ve yıllık ortalama sıcaklık anomali değerleri

İstasyonlarda 2025-2055 dönemi için tahmin edilen anlık maksimum debiler ve bu debiler içerisinde en yüksek iki değer için yağış ve sıcaklık anomalilerine göre katsayılar elde edilmiştir. Bu katsayılar tahmin edilen yıl ve geçmiş iki yılın ortalama yağış ve sıcaklık anomalilerinin en yüksek debiye oranı olarak hesaplanmıştır.

Bu katsayılar kullanılarak yağış ve sıcaklık anomalilerinin maksimum debiler üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Tablo 6’da ortalama anomalilerin debilere oranı şeklinde katsayılar, istasyonlarda tahmin edilen en yüksek iki debi ve tahmin yılları gösterilmiştir.

Tablo 6: İstasyonlara göre Anomali/Debi katsayılarının incelemesi

İstasyon	Tür	Yıl	Değer (m ³ /s)	YA/Q _{maks} ³	(SA/Q _{maks}) ⁴ (*100)
D22A009	ORT. ¹			0,116	2,7
D22A044	ORT.			-0,048	1,5
D22A071	ORT.			-0,028	4,0
D22A072	ORT.			-0,026	1,2
D22A009	MAKS. ²	2039	124,4	0,1	2,0
D22A009	MAKS.	2045	126,8	-0,3	1,7
D22A044	MAKS.	2029	350,2	0,2	0,6
D22A044	MAKS.	2033	297,9	0,1	0,3
D22A071	MAKS.	2026	64,3	0,6	2,4
D22A071	MAKS.	2033	66,4	0,9	1,5
D22A072	MAKS.	2033	373,8	0,2	0,2
D22A072	MAKS.	2044	295,5	0,3	0,7

¹2027-2055 yılları arasında elde edilen katsayıların ortalaması

²2025-2055 yılları arasında elde edilen en yüksek anlık maksimum 2 debi değeri

³Tahmin yılı ve geçmiş iki yıl yağış anomalisi ortalamasının tahmin edilen anlık maksimum debiye oranı

⁴Tahmin yılı ve geçmiş iki yıl sıcaklık anomalisi ortalamasının tahmin edilen anlık maksimum debiye oranı

4. Tartışma

4.1. İstasyonlarda Tahmin Fonksiyon Performansı ve Referans Dönem Tahmin Değerlendirmesi

İstasyonlardan elde edilen DSE’lerin referans periyot içerisinde istatistiksel olarak anlamlı şekilde farklılaştığı gözlemlenmiştir. Yıl içerisindeki akış hacmi değişimi yüksek olan istasyonlarda, %40 aşılma olasılığına kadar olan debi değerlerinde yıllara göre değişimin yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu aşılma olasılığına karşılık gelen debi değerlerinin gözlenme sıklığı yıl içerisinde daha düşük olduğundan yüksek aşılma olasılığına sahip debilere göre daha yüksek olan bu debilerdeki değişimin bölgede yaşanan yağış değişimi kaynaklı olduğu söylenebilir. Ayrıca referans periyot içerisinde kaydedilen yıllık ortalama sıcaklıklar için yapılan incelemeler, sıcaklıklarda ilgili yıllarda büyük bir değişim olmadığını göstermektedir. Referans periyot içerisinde debi değerlerinde gözlenen değişimin istatistiksel olarak anlamlı olması sıcaklık ve yağış değişimleri ile birlikte değerlendirilmiş olup, referans periyot içerisindeki yıllar için sıcaklık ortalamaları sınırlı bir aralıkta değişmiştir. Yağış ortalamalarındaki değişimin debi değişimlerinde olduğu gibi geniş bir aralıkta değiştiği görülmüştür. Böylece referans periyot içerisindeki debi değişikliklerinde birincil etkenin yağış değişimi olduğu düşünülmüştür.

İstasyonlarda referans DSE’lerden elde edilen belirli debi değerlerine göre, çalışmada incelenen istasyonlardan en güneyde olan D22A009 istasyonunda diğer istasyonlara göre yıllık akış rejimindeki değişikliğin daha fazla olduğu görülmüştür. Bu istasyonu temsil eden alandaki referans yıllardaki yıllık ortalama toplam yağış 491,8 mm, ortalama sıcaklık ise 9,6°C olarak görülmektedir. Çalışmadaki diğer istasyonlara göre en düşük yıllık ortalama sıcaklık ve en düşük yıllık ortalama toplam yağışa sahip olan bu istasyonda yıl içerisinde akış rejiminde diğer istasyonlara göre gözlenen pozitif farklılığın nedeni, bölgedeki düşük buharlaşma ve kar örtülü gün sayısının fazla olması olarak gösterilebilir.

İstasyonlarda %95 aşılma olasılığına karşılık gelen debi olan Q₉₅ değeri istasyonlar için taban akış değerini belirlemede kullanılan önemli bir göstergedir (Saka & Yüksek, 2017). Çalışma kapsamında tahmin fonksiyonunun elde edildiği kalibrasyon kısmındaki performans indisine göre tahmin edilen debilerin gerçek verilere çok yakınsadığı, böylelikle istatistiksel olarak başarılı olduğu söylenebilir. Tahmin fonksiyonu performansı en düşük olan D22A009 istasyonu incelendiğinde, Q₉₅/Q_{ort} oranının diğer istasyonlara göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durum, yıllık ortalama debi değeri diğer istasyonlara göre ortalama 2,5 kat yüksek olan D22A009 istasyonunda, yıllık akış rejimindeki değişimin diğer istasyonlara göre daha yüksek olduğunu göstermektedir. Veri setinde aşırı düşük veya aşırı yüksek değerlere ulaşacak ani değişimler tahmin fonksiyonu katsayıların optimizasyon aşamasını zorlaştırmaktadır. Böylece yıllık akış rejimi değişimi yüksek olan istasyonlar için yapılacak benzer anlık maksimum debi tahminlerinde daha düşük performans değerlerinin elde edilebileceği düşünülmektedir.

4.2. Gelecek Dönem Anlık Maksimum Akış Değerlendirmesi

Tahmin fonksiyonlarının kalibrasyon aşamasında tüm istasyonlar için elde edilen tahmin setlerinin, gerçek veriler ile korelasyonu yüksektir. Bu durum gözlenen verilere çok yakın tahminler yapıldığını ve uzun dönem için yapılacak

tahminlerde anlık maksimum debilerdeki trend yönünün kesinlik oranı yüksek olacak şekilde tahmin edilebileceğini göstermektedir. Gelecek anlık maksimum debi değerleri kullanılarak güvenilir çıktılar elde edilebilmesinin mümkün olacağı düşünülmektedir.

Çalışmada dikkate alınan istasyonlar havzanın orta ve doğu kesimleri hakkında fikir edinmek için uygun konumlara sahiptir. Havzada geçmiş 10 yılda yaşanan taşkınların önemli bir kısmı bu bölgelerde veya çok yakın konumlarda gerçekleşmiştir. Oluşan bu taşkınlarda en önemli etken olarak düşük sıcaklık ve ani gelişen şiddetli yağışlar sayılabilmektedir. Ani gelişen şiddetli yağışların meydana getirdiği bu taşkınların kontrolü, büyük can ve mal kayıplarının önlenmesi amacıyla yağış ve sıcaklığa göre maksimum debi değişiminin bilinmesi gelecekteki durumun önceden bilinmesini sağlayacaktır. Bu sebeple bu istasyon konumlarında elde edilen veriler kullanılarak üretilecek çıktılar havza için büyük öneme sahiptir.

Çalışmada havzadaki en elverişsiz koşulları temsil edecek KDM verileri, sera gazı emisyonunun sürekli artacağını öngören RCP8.5 emisyon senaryosu etkisi altında değerlendirilmiştir. Böylece çalışmanın havzada iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinin en yüksek düzeyde gözleneceği durum göz önüne alınarak yapılmasını sağladığından elverişsiz koşullar altındaki durumu yansıtmaktadır.

Gelecek debilerin tahmin edilmesi aşamasında taşkınların birincil oluşum sebebi olarak gösterilen yağış değişimlerinin ele alınıp maksimum debi oluşturmadaki etkinliğinin araştırılması konusuna yoğunlaşmıştır. Bu sebeple gelecek akış tahmininde istasyonlarda kaydedilen debi değerlerinin referans olarak dikkate alınan yıllardaki ortalama değerleri havzada normal akış olarak kabul edilmiştir. Analizlerde bu durumun çalışmanın esas amacı olan yağış ve sıcaklık değişimlerine karşılık maksimum debi değişim tepkilerinin incelenmesini kolaylaştırdığı söylenebilmektedir. Bu sayede yapılacak benzer çalışmalarda, gelecek dönem maksimum debi tahminleri yapılması konusunda, yalnızca geçmiş yılda kaydedilmiş debi, yağış ve sıcaklık verileri kullanılabileceğinden veri ihtiyacının azaltılmıştır.

Havzada incelenen tüm istasyonlarda tahmin edilen gelecek anlık maksimum debi değerlerinden elde edilen bulgular, istasyonlarda ani değişikliklerin olmadığını göstermektedir. İstasyonlarda tahmin edilen maksimum debilerin yıllık olarak salınımı istasyonlar içerisinde periyodik olarak değerlendirilebilir. D22A009 istasyonu ve D22A071 istasyonu sırasıyla 925 m ve 1050 m rakımda bulunmaktadır. İnceleme bölgesi olarak birbirine kuş uçuşu yakın olan bu istasyonlardaki maksimum debilerin aşırı değerler almadığı sınırlı bir aralıkta değiştiği görülmüştür. Bu durum havzanın yüksek kesimlerinde büyük akış değişikliklerinin olmayacağı konusunda fikir verebilir. Bu istasyonlara göre daha alt konumlarda bulunan D22A044 ve D22A072 istasyonlarında ise maksimum debi değişimleri geniş aralıkta olmuştur. Bu istasyonlarda pozitif ve negatif yönde pik değer alma eğiliminin daha yüksek olduğu görüldüğünden yağış ve sıcaklık değişimlerinin alt havzada anlık maksimum debi değerlerini, üst havzaya göre daha fazla etkilediği söylenebilir. İstasyonlarda tahmin edilen anlık maksimum debilerden 5 yıllık dönemlerdeki en yüksek debi değerleri incelendiğinde istasyonlar için referans olarak belirlenen debi değerine göre D22A044 numaralı istasyonda %93, D22A072 numaralı istasyonda %29 oranında yüksek debilerin gözlenebileceği belirlenmiştir. Bu istasyonlara göre daha yüksek rakımda bulunan D22A009 numaralı istasyonda tahmin edilen maksimum debilerin tamamı referans debilerden daha küçük olurken, D22A071 numaralı istasyonda tahmin edilen debilerin referans debiye göre en yüksek %14 oranında bir artış göstereceği tespit edilmiştir. Bu durumlar incelendiğinde alt havzaların taşkın riskinin üst havzalara göre daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Havzada incelenen istasyon konumlarındaki gelecek yağış ve sıcaklık değişimlerinin tespit edilmesi için anomali değerleri kullanılmıştır. Anomali hesaplaması havzada referans periyotta kaydedilen sıcaklık ve yağışların ortalamalarına göre yapılmıştır. KDM verilerinden elde edilen verilerin bu referans değerlere göre değişimi incelenmiştir. Yapılan anomali araştırmasında havzada incelenen istasyon konumlarında sıcaklık ve yağış arasında ters korelasyon saptanmıştır. Sıcaklık pozitif anomalisinin yüksek olduğu, daha sıcak geçen yıllarda yağış miktarlarında azalma gözlenmiştir. Tam tersine sıcaklık pozitif anomalisinin daha düşük olduğu yıllarda yağış anomalisinin pozitif yönde artış gösterdiği görülmektedir. Bu durum havzadaki yağış projeksiyonlarında sıcaklığın izlenmesinin yağış verilerinin yorumlanabilmesi ve gerektiğinde basit doğrulama yapılabilmesi için fayda sağlayacağını göstermiştir.

İstasyonlarda tahmin edilen anlık maksimum debilerin yağış ve sıcaklıkla istatistiksel olarak anlamlı değişimleri olduğu görülmüştür. Bu değişimin tek bir parametrenin değişimine bağlı olduğunu söylemek mümkün değildir ancak çalışma sonucunda elde edilen bulgular yağışların anlık maksimum debi değişimlerine olan etkisinin sıcaklıktan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Ancak sıcaklık ve yağış anomali incelemesinden elde edilen bulgular bu iki parametrenin ters ilişkili olduğunu gösterdiğinden, yağış parametresinin tek başına oluşturduğu etkinin incelenmesinden sıcaklıkla birlikte değerlendirmenin daha uygun olacağı düşünülmektedir.

4.3. Çalışma Sınırlamalarının Değerlendirmesi

Hidrolojik modelleme aşamaları karmaşık veri setlerinin ilişkisinin ortaya koyulmasını gerektirmektedir. Karmaşık ilişkilerin modellenmesi için gelişmiş algoritmaların kullanılması daha iyi sonuçlar üretmektedir. Ancak bu gelişmiş algoritmaların veri bağımlılığının yüksek olması eğitim setlerindeki veri sayısının fazla olmasını gerektirmektedir. Çalışma kapsamında incelenen istasyonlarda kalibrasyon için kullanılacak kesintisiz kayıt bulunan verilerin sınırlı olması yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi gelişmiş algoritmaların kullanımını engellemiştir.

Çalışmada tahmin fonksiyonunun elde edildiği regresyon modelinin de tutarlı sonuçlar ürettiği, gözlenmiş verilere göre yüksek korelasyon değerlerine erişen tahmin setleri oluşturduğu görülmüş olup bu çalışma kapsamında gelişmiş algoritmalarla iyi alternatif oluşturduğu söylenebilir.

Anomali hesaplamalarında güncel literatürde iklim değişikliğinden en az etkilendiği düşünülen periyottaki verilerin referans olarak kullanımı önerilmektedir (Wu vd., 2006). Çalışma kapsamında incelenen istasyonlarda tespit edilen referans veri aralığı, en uzun süreli ve sürekli veri kaydı bulunan yıllar olarak seçilmiştir. Bu durum referans periyot için seçilen dönem içerisinde iklim değişikliğinden etkilenme düzeylerinin sıfır olmadığını ve buradaki verilerin iklim değişikliği etkilerinden belirli ölçüde etkilendiği kabulünü yapmayı gerektirmektedir.

5. Sonuç ve Öneriler

Çalışma kapsamında incelenen istasyonlarda gözlenmiş kesintisiz veri sayısı az olduğundan gelişmiş algoritmalar kullanılamamış ancak regresyon modelinin yıllık veri setleri arasındaki ilişkiyi yüksek korelasyon değerleriyle tahmin ettiği görülmüştür. Böylece gelişmiş algoritmalarla iyi bir alternatif olmaktadır. Havzadaki anlık maksimum debi tahminleri, gelecek yağış ve sıcaklık parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca bu değişim düzeyi incelenen bölgenin yükseltisine göre farklılaşmaktadır. Alt havzalardaki değişim düzeyinin üst havzalara göre daha hissedilir sonuçlar oluşturacağı görülmüştür. İncelenen istasyonlar referans alındığında, gelecek maksimum debi tahminlerine göre, havzanın orta kesimlerinde, üst havzalara göre yaklaşık 6 kat, doğu kesimlerinde ise yaklaşık 2 kat daha yüksek anlık maksimum debi değerleri beklenmektedir. Bu durum taşkın riskini yakından ilgilendirdiğinden alt havzalarda taşkın önlemleri alınması havzada oluşabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi açısından kritik öneme sahiptir. Taşkın riskinin belirlenmesi için gelecekte bölgede yapılacak araştırmaların akarsu kesitlerinin, akarsular üzerinde bulunan köprü, menfez ve kanal gibi yapıların maksimum debilere karşı yeterliliğini incelemesi bölgede taşkına bağlı yaşanabilecek can ve mal kayıplarının önlenmesi ve azaltılması konusunda fayda sağlayacaktır. Ayrıca kuraklık riski bulunan bölgelerde ölçülen minimum debiler ile ilgili benzer çalışmaların yapılması sürdürülebilir su yönetimi açısından faydalı olacaktır.

Kaynaklar

- Adnan, M., Liu, S., Saifullah, M., Iqbal, M., Saddique, Q., Ul Hussan, W., & Latif, Y. (2024). Estimation of changes in runoff and its sources in response to future climate change in a critical zone of the Karakoram mountainous region, Pakistan in the near and far future. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 15(1), Article 2291330. <https://doi.org/10.1080/19475705.2023.2291330>
- Ahlgren, P., Jarneving, B., & Rousseau, R. (2003). Requirements for a cocitation similarity measure, with special reference to Pearson's correlation coefficient. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 54(6), 550–560. <https://doi.org/10.1002/asi.10242>
- Babacan, H. T., Yüksek, Ö., & Saka, F. (2022). Yapay zeka ve sezgisel regresyon yöntemlerinin yağış-akış modellemesi için performans değerlendirmesi: Aksu Deresi için bir uygulama. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 11(3), 744–751. <https://doi.org/10.28948/ngumuh.1079616>
- Badyalina, B., & Shabri, A. (2013). Streamflow forecasting at ungauged sites using multiple linear regression. *MATEMATIKA: Malaysian Journal of Industrial and Applied Mathematics*, 26(1b), 67–75.
- Bahareh, K., Biswajeet, P., Seyed, A. N., Alireza, M., & Shattri, M. (2018). Assessment of the effects of training data selection on the landslide susceptibility mapping: a comparison between support vector machine (SVM), logistic regression (LR) and artificial neural networks (ANN). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), 49–69. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1407368>
- Cheng, W.-C., Hsu, N.-S., Cheng, W.-M., & Yeh, W.-W.-G. (2011). Optimization of European call options considering physical delivery network and reservoir operation rules. *Water Resources Research*, 47(10), Article W10501. <https://doi.org/10.1029/2011WR010423>
- Demircan, M., Gürkan, H., Eskioğlu, O., Arabacı, H., & Coşkun, M. (2017). Climate change projections for Turkey: three models and two scenarios. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 1(1), 22–43. <https://doi.org/10.31807/tjwsm.297183>
- Elbaşı, E., & Özdemir, H. (2023). Akım gözlem istasyonu bulunmayan havzalarda taşkın debisi tahmini: Doğu Karadeniz örneği. *Türk Coğrafya Dergisi*, 84, 85–96.
- Grey, V., Smith-Miles, K., Fletcher, T. D., Hatt, B. E., & Coleman, R. A. (2023). Empirical evidence of climate change and urbanization impacts on warming stream temperatures. *Water Research*, 247, Article 120703. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.120703>
- Gulay, E., Sen, M., & Akgun, O. B. (2024). Forecasting electricity production from various energy sources in Türkiye: A predictive analysis of time series, deep learning, and hybrid models. *Energy*, 286, Article 129566. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129566>
- Guo, Y., Zhang, L., Zhang, Y., Wang, Z., & Zheng, H. X. (2021). Estimating impacts of wildfire and climate variability on streamflow in Victoria, Australia. *Hydrological Processes*, 35(12), Article e14439. <https://doi.org/10.1002/hyp.14439>
- Gürgen, G. (2004). Doğu Karadeniz Bölümünde Maksimum Yağışlar ve Taşkınlar Açısından Önemi. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 24(2), 79–92.
- Huber, C. J., Eichler, A., Mattea, E., Brütsch, S., Jenk, T. M., Gabrieli, J., Barbante, C., & Schwikowski, M. (2024). High-altitude glacier archives lost due to climate change-related melting. *Nature Geoscience*, 17, 110–113. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01366-1>
- Jehanzaib, M., Ajmal, M., Achite, M., & Kim, T.-W. (2022). Comprehensive Review: Advancements in Rainfall-Runoff Modelling for Flood Mitigation. *Climate*, 10, Article 147. <https://doi.org/10.3390/cli10100147>

- Kat, C. J., & Els, P. S. (2012). Validation metric based on relative error. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, 18(5), 487–520. <https://doi.org/10.1080/13873954.2012.663392>
- Longobardi, A., & Villani, P. (2013). A statistical, parsimonious, empirical framework for regional flow duration curve shape prediction in high permeability Mediterranean region. *Journal of Hydrology*, 507, 174–185. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.019>
- Meshram, S. G., Meshram, C., Santos, C. A. G., Benzougagh, B., & Khedher, K. M. (2022). Streamflow Prediction Based on Artificial Intelligence Techniques. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 46, 2393–2403. <https://doi.org/10.1007/s40996-021-00696-7>
- Mundetia, N., Sharma, D., & Sharma, A., (2024). Groundwater sustainability assessment under climate change scenarios using integrated modelling approach and multi-criteria decision method. *Ecological Modelling*, 487, Article 110544. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2023.110544>
- Müller, M. F. & Thompson, S. E., (2016). Comparing statistical and process-based flow duration curve models in ungauged basins and changing rain regimes. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20, 669–683. <https://doi.org/10.5194/hess-20-669-2016>
- Nyaupane, S., Poudel M. R., Panthi, B., Dhakal, A., Paudel, H., & Bhandari, R. (2024). Drought stress effect, tolerance, and management in wheat—a review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), Article 2296094. <https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2296094>
- Prather, C. M., Pelini, S. L., Laws, A., Rivest, E., Woltz, M., Bloch, C. P., Del Toro, I., Ho, C-K., Kominoski, J., Newbold, T. A. S., Parsons, S., & Joern, A. (2013). Invertebrates, ecosystem services and climate change. *Biological Reviews*, 88(2), 327–348. <https://doi.org/10.1111/brv.12002>
- Saka, F., & Yüksek, Ö. (2017). Belli aşılma olasılığına sahip debilerinin bölgeselleştirilmesi ve Doğu Karadeniz Havzası örneği. *Journal of the Faculty of Engineering & Architecture of Gazi University*, 32(2), 335–342.
- Searcy, J. K. (1959). Flow-duration curves (No. 1542). US Government Printing Office.
- Sharma, N., Mishra, B. K., & Baral, S. (2024). Climate change impacts on Seti Gandaki River flow from hydropower perspectives, Nepal. *Sustainable Water Resources Management*, 10, Article 28. <https://doi.org/10.1007/s40899-023-01017-8>
- Smakhtin, V. U. (2001). Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*, 240(3–4), 147–186. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00340-1](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00340-1)
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J. & Midgley, P. M., (2014). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
- Tsakiri, K., Marsellos, A., & Kapetanakis, S. (2018). Artificial Neural Network and Multiple Linear Regression for Flood Prediction in Mohawk River, New York. *Water*, 10(9), Article 1158. <https://doi.org/10.3390/w10091158>
- Tsarouchi, G. M., (2014). Modelling land-use and climate change impacts on hydrology: The upper ganges river basin [PhD thesis, Imperial Collage London].
- Vogel, R. M., & Fennessey, N. M. (1994). Flow-duration curves. I: New interpretation and confidence intervals. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 120(4), 485–504.
- Wu, S., Yin, Y., Zheng, D., & Yang, Q. (2006). Moisture conditions and climate trends in China during the period 1971–2000. *International Journal of Climatology*, 26(2), 193–206. <https://doi.org/10.1002/joc.1245>
- Yüksek, Ö., Babacan, H. T., & Yüksek, O. (2022). Doğu Karadeniz Havzası'nda taşkın sebepleri, zararları ve taşkın yönetimi çalışmaları. *Türk Hidrolik Dergisi*, 6(2), 36–46.