

DOI: 10.26650/JGEOG2022-1075304

COĞRAFYA DERGİSİ
JOURNAL OF GEOGRAPHY
2022, (45)

<https://iupress.istanbul.edu.tr/en/journal/jgeography/home>


Tüm Modeller Yanlıştır, Ancak Bazıları Faydalıdır: Akım Gözlem İstasyonu Bulunmayan Havzalarda Düşük (Kurak) ve Yüksek (Taşkın) Akım Davranışlarının Belirlenmesi

All Models Are Wrong, But Some Are Useful: Determining the Low (Drought) and High (Flood) Flow Characteristics in Ungauged Basins

Abdullah AKBAŞ¹ , Hasan ÖZDEMİR² 

¹Dr. Öğr. Üyesi, Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

²Prof. Dr., Bursa Uludağ Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Fiziki Coğrafya Anabilim Dalı, Bursa, Türkiye

ORCID: A.A. 0000-0003-2024-0565; H.Ö. 0000-0001-8885-9298

ÖZ

Havzalarda aletli gözlemler havza süreçlerini anlamak için oldukça önemli bir konuma sahip olmasına rağmen tüm alanlarda aletli gözlem verilerini bulmak oldukça zordur. Bu çalışma ile akım gözlem istasyonu (AGİ) olmayan havzalarda düşük/yüksek akım karakteristiklerinin SWAT ile modellenmesi ve gözlemler arasındaki farklılıkların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Bartın Çayı havzası örnek alan olarak seçilmiş ve ALOS SYM temelinde 90 adet alt-havza çıkarılmıştır. Bu havzalarda arazi kullanımı, eğim ve toprak verisi çakıştırılarak Hidrolojik Tepki Birimleri/HRU elde edilmiştir. HRU ve havza içinde tüm hidrolojik süreçler su dengesi temelinde elde edilen meteorolojik verilerle simüle edilmiştir. Model sonuçları, E13A031 istasyonuna dayalı olarak SWAT-CUP vasıtasıyla kalibre edilmiştir. Modellenen sonuçların havza içi süreçleri modellemek için yeterli olduğu görülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre hem düşük hem de yüksek akımlara ait farklı zaman serisi karakteristikleri (büyüklük, sıklık, süre, zamanlama) hesaplanmış ve gözlem verisiyle karşılaştırılmıştır. Modellenen düşük ve yüksek akım metrikleri genel olarak gözlem ile uyuşsa da, birçok belirsizlik kaynağından dolayı bazı akım metriklerini fazla veya düşük hesapladığını göstermiştir. Öte yandan, tüm alt-havzalara ait metrikler hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, Kocanaz havzası diğer havzalara oranla düşük ve yüksek akım metriklerinde farklılık yansıtmıştır. Hidrolojik modellemeler bu bağlamda iklim değişikliği ve arazi kullanımı değişiminin anlaşılması açısından planlama ve havza yönetimi açısından fırsatlar sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Hidrolojik Modelleme, Taşkın/Kuraklık, SWAT, Bartın Çayı Havzası

ABSTRACT

Although instrumental observations in basins are essential for understanding basin processes, acquiring observational data from all locations is challenging. Therefore, this study aims to simulate low and high flows and compare them with observations. With this aim, 90 sub-basins were generated, and hydrological response units (HRUs) were obtained by overlaying data such as land use, slope, and soil. Hydrological processes were simulated based on water balance using meteorological data within the basin and the HRUs. The model results were used for calibration by means of the SWAT-CUP using data from station E13A031. The modeled results that were obtained for simulating basin processes are considered sufficient. The different time series characteristics (i.e., magnitude, frequency, duration, and timing) belonging to low and high flow characteristics have been estimated and compared with the observed data. Even though good coherence was present between the observed and modeled low/high flow metrics, many sources of uncertainty exist that caused over- and under-estimations regarding some metrics. Furthermore, the metrics for all sub-basins have been calculated. According to the results, the Kocanaz basin reflects high differences in the metrics for low and high flows compared to the other basins. In this context, hydrological models offer opportunities for planning and watershed management in order for understanding climate and land-use changes.

Keywords: hydrological modeling, flood, drought, SWAT, Bartın Stream Basin

Başvuru/Submitted: 17.02.2022 • **Revizyon Talebi/Revision Requested:** 14.06.2022 • **Son Revizyon/Last Revision Received:** 17.06.2022 •

Kabul/Accepted: 07.07.2022



Sorumlu yazar/Corresponding author: Abdullah AKBAŞ / abdullahakbas@uludag.edu.tr

Atıf/Citation: Akbas, A. ve Ozdemir, H. (2022). Tüm modeller yanlıştır, ancak bazıları faydalıdır: Akım gözlem istasyonu bulunmayan havzalarda düşük (kurak) ve yüksek (taşkın) akım davranışlarının belirlenmesi. *Coğrafya Dergisi*, 45, 33-46. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2022-1075304>



EXTENDED ABSTRACT

Instrumental observations in basins have an important place in understanding the spatial and temporal variations of river systems through processes such as sediment transportation, floods, and droughts. Furthermore, understanding the impact of climatic and anthropogenic changes in basins requires comprehensive and reliable data, because the processes for distinguishing whether something is climatic or anthropogenic in basins are so complex. However, observing reliable data for each basin is no easy task. Even if the positive trend for observational instruments such as gauges increases around the globe, obtaining data in some areas such as mountainous or densely forested areas remain quite difficult. For this reason, hydrological models that simulate all water balance parameters (e.g., runoff, evapotranspiration) are useful tools for modeling ungauged areas. However, these models still contain various types of uncertainties due to the many potential sources that result from things such as the internal structure of the models, observations, and scale factors. Although some observations made through remote sensing retrieve data from water balance parameters around the globe, even they need to be corrected by models. Therefore, hydrological models can help extract reliable information about earth system processes.

This study models the Bartın basin, which has been exposed to many flood events at higher frequencies, in order to obtain low (drought) and high (flood) characteristics for ungauged basins. Based on the Advance Land Observation System 30-meter Digital Elevation Model (ALOS World 3D-30m DEM), 90 sub-basins have extracted for the whole area of the Bartın river system. Furthermore, hydrological response unit (HRU) was generated by overlaying many different datasets such as land-use, soil, and slope using the full multiple HRU definition, with 1901 HRUs being obtained within the Bartın Basin. Simulations were carried out based on the water balance at a daily scale using many meteorological data from the Turkish State Meteorological Service (MGM). The model parameters that are sensitive to high and low flows were calibrated using the SWAT-CUP calibration program. The calibration used the 1970-1986 period based on Station E13A031 data and used the 1987-2002 period for validation. The model results have been deemed sufficient for simulating the basin water balance based upon the evaluation criteria. After modeling the ungauged basin, many characteristics such as magnitude, frequency, duration, and timing with regard to low and high flows were calculated using the threshold values of the percentiles.

A comparison of the flow metrics illustrates good coherence to be present between the modeled and observed data regarding the high flow and low flow characteristics in terms of magnitude, frequency, duration, and timing. However, over- and under-estimations also occurred for some metrics such as timing, duration, and magnitude of the low and high flows, in particular for high flows. This situation may have emerged due to the many different sources of uncertainty, such as using scales from other data sources in the model, the number of the gauges/meteorological stations, and the number of calibration simulations. Moreover, the study has mapped different high and low flow metrics to distinguish spatial gradients in ungauged basins. The maps demonstrate the Kocanaz basin to vary in terms of timing, magnitude, duration, and frequency of the high and low flow characteristics compared to other sub-basins. In particular, the timing of the low and high flows in this basin explains the impact of topography (snowmelt) and different weather systems that can influence metrics.

Using these kinds of hydrological models can also help understand future perspectives on the dynamic earth. For example, land-use change has immense impacts on rainfall-runoff relations in terms of hydrological modeling. Furthermore, climate change will also affect many statistical characteristics of climatic sub-systems. Adding parameters to hydrological models will make comprehending the changing world more sensible. In this context, hydrological models offer opportunities for planning and watershed management in terms of understanding climate change and land-use change.

1. GİRİŞ

Hidrolojide son yıllarda modelleme çalışmaları yağış, akış, buharlaşma gibi su dengesinin elemanlarına ait doğal fenomenlerin hem alansal ve zamansal davranışlarında meydana gelen değişimlerin ve süreçlerinin anlaşılması hem de tahminler yapılması açısından oldukça önem kazanmıştır (Akbaş vd., 2020; Beven ve Freer, 2001; Beven, 2011; Horton vd., 2020; Hrachowitz vd., 2013; Özdemir, 2007; Skøien ve Blöschl, 2003). Hidrolojik modellemeler istatistik (ampirik), kavramsal ve fiziksel temelli olmak üzere üç kısımdan oluşur. İstatistik modeller (Yapay sinir ağları gibi) kara-kutu yaklaşımına bağlı olarak veri temelinde ilişki kurarken (Srinivasulu ve Jain, 2006), kavramsal modeller (TOPMODEL gibi) depo veya rezervuar yaklaşımı temelinde hidrolojik sistemleri daha küçük parçalara ayırıp basitleştirir ve buna göre süreçleri modellerler (Beven and Kirkby 1979). Fiziksel temelli hidrolojik modellemeler (Variable Infiltration Capacity/VIC gibi) ise yoğun veri istekleri ve model karmaşıklığına sahip ve kütle, enerjinin ve momentumun korunumu temelinde modellerdir (Sidle, 2021).

Hidrolojik modellemeler dâhil olmak üzere farklı yer-çevre modellemeleri kendi açısından geniş bir belirsizlik içermekte (*İng.* uncertainty) ve bu belirsizlik modelleme sonuçlarının kesinlik ve doğruluklarını etkilemektedir (Peel ve McMahon, 2020). Bu bakımdan hidrolojik modellemelerde belirsizliği oluşturan faktörlerin başında *ölçek* konusu ilk başta gelmektedir (Beven; 2011; Blöschl ve Sivapalan, 1995). Blösch ve Sivapalan (1995) ölçekleri süreç, gözlem ve modelleme olarak üç ana kısma ayırır. Süreç ölçeği gerçekleşen doğal fenomenin (hidrolojik süreçlerin) kendisini tam anlamıyla tanımlarken, gözlem ölçeği veri tabanlarından yola çıkılarak kapsadıkları alan (veya zaman), çözünürlüğü (sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğü için bkz: Ozdemir vd., 2013) ve magnitudü açıklanır. Örneğin, bir hidrolojik modelde yamaç süreçlerinden başlayarak havza içi süreçlerine kadar değişen genişlikteki bir alanda yüzeysel akışın elde edilmesi amacıyla farklı ölçekte ve farklı zamanlara ait üretilen bir arazi kullanımı verisi sonucunda elde edilecek değerlerin değişiklik göstermesi olasıdır (Ozdemir ve Elbası, 2013). Modelleme ölçeği ise alansal olarak yamaç ölçeğinden başlayarak geniş alanları kaplayan bölgesel ölçeğe kadar giderken, zamansal ölçek olarak ise bir günden başlayıp yüz yıla kadar uzayabilmektedir. Bundan dolayı, birçok hidrolojik modelleme açısından farklı ölçeklerde üretilmiş veri tabanlarının kullanılması modellerin belirsizliğini etkilemektedir.

Modellemelerde ilk başta oluşturulan durum, simüle (benzeşim) edilen koşullar ile gözlem koşulları arasındaki

farklara bakarak hidrolojik modellerin yer-atmosfer süreçlerini ne kadar iyi simüle ettikleri konusunda karar vermeye dayanır. Ancak hidrolojik modellemelerin yapıları gittikçe karmaşıklaştığı için hem modellemenin iç yapısından (kullanılan temel denklemler ve fiziksel kurallar) gelen hem de alansal ve zamansal ölçeği farklı olan veri tabanlarının özelliğinden dolayı belirsizlik de ayrıca artabilir (Horton vd., 2020; Liu ve Gupta, 2007). Özellikle bu konuda kullanılacak olan modelin veya modellerin oldukça çok parametreye sahip olmasından dolayı iç parametrelerindeki hassasiyet (*İng.* sensitivity) durumu çok önemlidir (Freer vd., 1996). Yoğun parametre içeren modellerde ilk yapılması gereken işlerden birisi modellenecek parametrelerin hangisinin hidrolojik modellemede daha çok kullanılacağı veya gereksiz olanlarının elenmesi açısından hassasiyet analizidir ve bu hassasiyet analizi temelinde ise modellemenin kalibrasyonudur. Bu konuda Melsen vd (2019) İsviçre'nin Thur havzasında VIC modeli kullanarak yaptıkları bir çalışmada, model seçiminden başlayarak (toplu, dağıtım ve yarı dağıtım olmak üzere), modelin kalibrasyon süresi, kullanılacak verinin çözünürlüğü ve performans metriği (Nash-Sutcliffe Efficiency/NSE ve Kling-Gupta Efficiency/KGE) ve gözlem verisinin mekânsal kabiliyetinin hem düşük (kurak) hem de yüksek (taşkın) akım karakteristiklerini etkilediği ve dolayısıyla da hidrolojik modellemedeki kriterler üzerinde subjektif kararların sonuçları etkilediğini belirtmişlerdir. Buna benzer bir durum ise Clark vd (2021) tarafından hidrolojik modellemelerin güvenilirliğini sorgulamak için çok sık kullanılan performans metrikleri (NSE ve KGE) üzerine belirsizlik çalışması yapılmıştır. Araştırmacılar özellikle Jackknife ve Bootstrap metotları kullanarak bu metriklerdeki belirsizlikleri ölçmüştür. Analizler, gözlem ve simülasyon arasındaki farklarının karelerinin olasılık dağılımındaki uzun kuyruklarından, diğer bir deyişle uç değerlerinin fazla olmasından dolayı metriklerin birkaç uç değerden etkilenebileceğini belirtmiştir. Bu durum ise hidrolojik modellemede modelin gerçeği ne kadar iyi simüle ettiği konusundaki karar verme kriterini etkileyecektir. Diğer yandan hidrolojik modellemenin PERSIAN (Hsu vd., 1999; Nguyen vd., 2019) yahut ERA-5 (Hersbach vd., 2020) gibi veri setleriyle çalıştırılması, gözlem verisinin içerdiği farklı oluşum şemaları ile ayrıca modellenmesi dahi hidrolojik modellemede ayrıca bir belirsizlik içerecektir (Melsen vd; 2019).

Son yıllarda gerek birçok uydu teknolojisi gerekse de İHA teknolojileri kullanarak da yağış (IMERG/GPM, TRMM), yüzey suları, toprak nemi (SMAP) gibi hidrolojik parametrelere ait uzaktan algılama gözlemleri giderek artmakta ve hem kuraklık hem de taşkın gibi ekstrem olayların alansal ve zamansal davranışlarını anlamada oldukça faydalı olmaktadır (Amjad vd.,

2020; Brown vd., 2019; Entekhabi vd, 2010; Entekhabi vd., 2014a/b; Huffman vd., 2019; Huffman vd., 2007; Huffman ve Bolvin, 2018). Diğer yandan dünya üzerinde yer-gözlem ağının giderek genişlemesiyle birlikte bölgesel hidrolojik dinamiklerin anlaşılması da giderek kolaylaşmaktadır (Addor vd., 2018). Ancak gözlem ağı giderek gelişse de burada iki önemli başlık öne çıkmaktadır. Bunlardan birincisi gözlem ağı artsa da, dünya üzerinde birçok alanda (Amazon ormanları gibi insandan uzak alanlar başta olmak üzere) hala yeteri kadar gözlem istasyonları bulunmamaktadır (Kidd vd., 2017). İkinci başlık ise evapotranspirasyon, yeraltı suyu gibi hidrolojik süreçlere ait birçok verinin uzaktan algılama ile gözlenmemesi yahut gözlem verilerinin tekrar modellenmesi gerektiği konusudur. Örneğin Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) uydu verileri yeraltı suyuna ait gözlemler yapılmakla birlikte bunların çözünürlüğünün oldukça düşük olmasından dolayı NASA'nın Catchment land surface model (CLSM) modeline girdi olarak eklenip yüksek çözünürlüklü yeraltı suyu verisi elde edilir (Li vd., 2019; Tapley vd., 2004). Buna benzer bir durum uydu gözlemlerinden yararlanarak algoritmalar (modellemeler) vasıtasıyla evapotranspirasyon verisi elde edilen Global Land Evaporation Amsterdam Model (GLEAM) modeli için de geçerlidir (Martens vd., 2017). Dolayısıyla da son yıllarda yeni verilerin mevcudiyeti ve bunların yetenekleri modellerin limitlerini ve kapasitelerini anlamamıza olanak sağlamaktadır.

Tüm modeller yanlıştır, ancak bazıları faydalıdır sözü istatistikçi George E. P. Box'a atfedilir ve bu açıklama her bir modelin (gerek istatistik gerekse fiziksel olmak üzere) gerçek durumu (gözlem) bire bir yansıtmasının mümkün olmayacağı, ancak yeteri kadar gerçeğe yakınlaşabileceği ve böylelikle de süreçlerin anlaşılmasında faydalı olacağı anlamına gelmektedir (Box, 1979). Hidrolojik modellerde, modellemenin kapasitesini anlamının yollarından biri model sonuçlarını gözlem ile valide edip model kapasitelerinin sorgulanmasıdır (Clark vd., 2021). Özellikle de hidrolojik modellemelerin sofistike yapıları ve karmaşıklığı arttıkça, fiziksel süreçlerin simüle edilmesi giderek daha iyi seviyeye gelmekle birlikte gözlem verilerinin yeteneklerinin ve kapasitelerinin artması, bu modellerin gözlem ile validasyonlarının sağlanmasıyla da hidrolojik süreçlerin zamanla daha iyi modellenmesini ve yer-atmosfer süreçlerinin daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır (Horton vd., 2020).

Yukarıda genel olarak çerçevesi çizilen bu çalışmanın temel amacı; çeşitli sıklıklarda taşkınlara maruz kalan ve büyük hasarların meydana geldiği Bartın Çayı havzasının (Turoğlu ve Özdemir, 2005) hem fiziksel hem de kavramsal bir model olan yarı-dağıtımlı The Soil & Water Assessment Tool (SWAT)

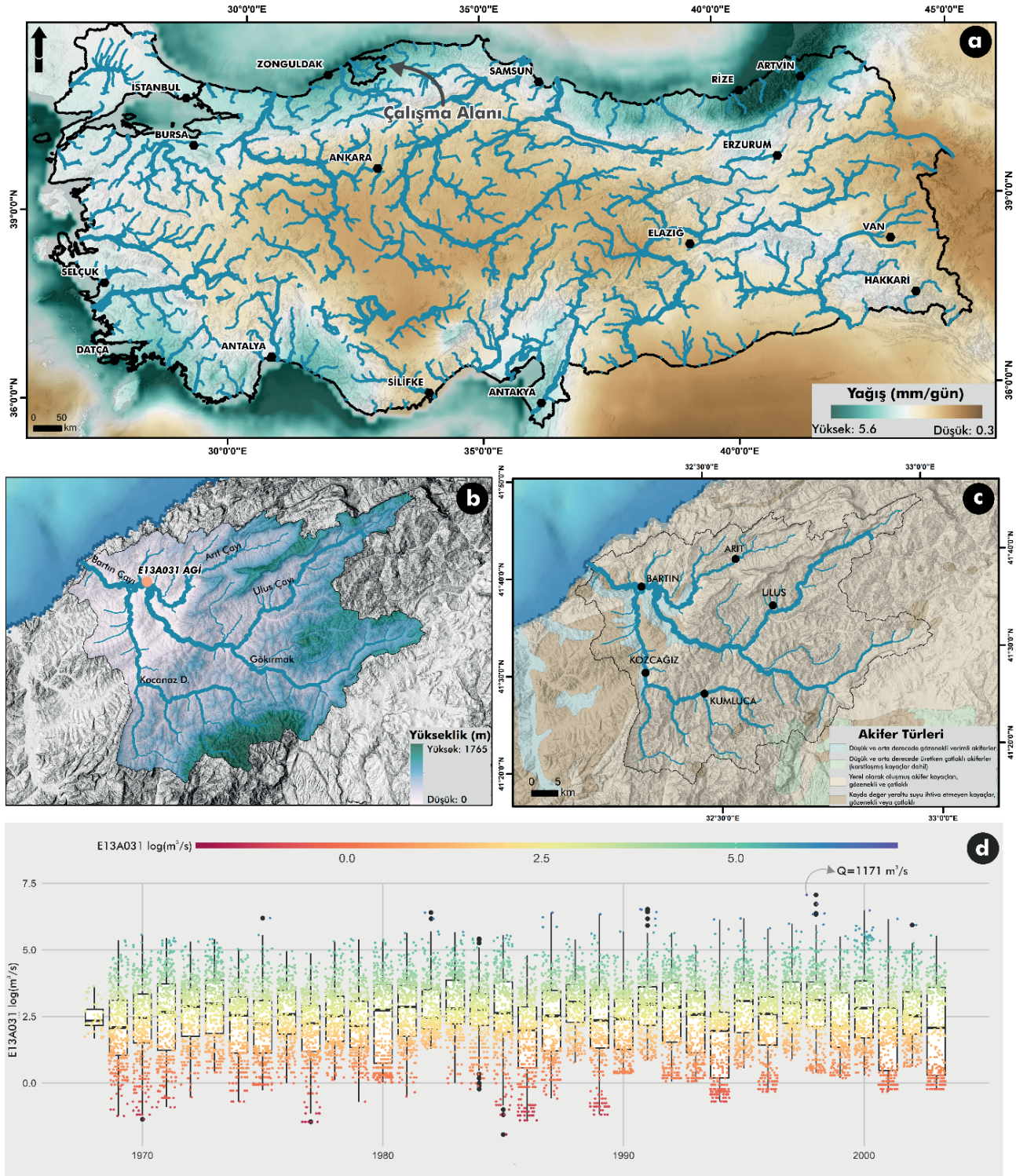
vasıtasıyla modellenmesi ve gözlem olmayan alt havzalarda düşük ve yüksek akıma ait karakteristiklerin belirlenmesidir.

2. VERİ VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı

Bartın Çayı, Arıt, Ulus, Gökırmak ve Kocanaz Deresi alt kollarıyla birlikte toplamda yaklaşık olarak 2107 km² alanı drene ederek kuzeybatı istikametinde Karadeniz'e dökülür (**Şekil 1b**). Bartın Çayı havzası sahip olduğu jeomorfometrik, hidrolojik ve iklimsel karakteristiklerinden ötürü Batı Karadeniz'deki birçok havzadan ayrılmaktadır. Özellikle havza içerisinde geçmişten günümüze kadar meydana gelen birçok tarihsel taşkın, havza içerisinde gözlemlenen taşkınların tekrarlanma frekansının oldukça yüksek olduğunu göstermektedir (Turoğlu, 2007; Turoğlu ve Özdemir, 2005). Taşkın açısından önemli olan günlük yağış verileri (**Şekil 1a**), Bartın Çayı havzasının yağış gradyanı açısından Türkiye'nin oldukça nemli kısmında olduğunu göstermektedir. Havzanın yıl içerisinde hem kış hem de yaz döneminde maruz kaldığı sinoptik ölçekli hava kütlelerinin ve havza topografyasının hem taşkın hem de düşük akım oluşturmada oldukça önemi vardır. Kış mevsiminde polar jetin de güneye inmesiyle birlikte, orta-enlem depresyonları kaynaklı cepheler havza içerisine yağışını bırakırken, yaz mevsiminde polar jetin kuzeye kaymasıyla birlikte sıklığı/frekansı azalmakla birlikte cephelerin etkisiyle ve deniz sıcaklığının artması sonucunda konvektif kararsızlık yağışları Batı Karadeniz başta olmak üzere Karadeniz üzerine taşkın/heyelan oluşturacak düzeyde yağışlarını bırakırlar (Görüm ve Fidan, 2021; Karaca vd., 2007, Türkeş; 1996; Tatlı vd.,2004, Erinç, 1996). Topografik bariyerin ise hem nemin orografik yağışa dönüşmesi hem de havza içerisinde modifikasyona uğramasına neden olmasıyla havza gerisine doğru yağış miktarları azalış gösterir (**Şekil 1a**).

Havza jeomorfometrisinin oval şeklinde olması ve havzanın mansaba doğru kollarını toplayarak gitmesinden dolayı (maksimum 6 Strahler dizini oluşturmaktadır) taşkın pikinin havzanın aşağı kısımlarında (Bartın merkez ve civarı, **Şekil 1d**) daha yüksek olduğu görülür (Özdemir, 2011). Diğer yandan havza içerisinde yüksekliğin (dolayısıyla da rölyefin) akarsuyun denize kavuştuğu kısımda oldukça düşmesi, taşkın piki sonucunda oluşacak bir akımın nehrin yatağının taşmasını da olası kılmaktadır (**Şekil 1b**). Havza içerisinde, akiferlerin varlığına bakıldığında ise geniş anlamda gözenekli ve çatlaklı olmak üzere yerel olarak oluşmuş akiferlerin oldukça geniş bir alan kapsadığı görülmektedir (**Şekil 1c**). Bu tipteki akiferlerin varlığı, yağış haricinde taban akışına negatif katkı vermesi



Şekil 1: Bartın Çayı havzasının lokasyon haritası. Haritalar a) 0.1 x 0.1 (yaklaşık 10 km) derecelik GPM-IMERG (Huffman vd., 2019) günlük yağış (mm/gün) veri setinin 2000-2021 yılları arasında Türkiye ve çevresindeki dağılışını, b) Alos 30 metre veri tabanından elde edilmiş sayısal yükseklik modelini (SYM), c) Bartın Çayı havzası ve civarının hidrojeoloji haritası (Uluslararası 1:1.500.000 ölçekli Federal Institute for Geosciences and Natural Resources'un IHME1500 v11 tarafından Avrupa Hidrojeoloji haritasının Ankara paftasına göre düzenlenmiştir), d) E13A031 istasyonundaki günlük akım değerlerinin (zamansal gradyanı daha iyi göstermek amacıyla logaritması alınmıştır) yıllar-arası değişkenliğini göstermektedir.

Figure 1: Location map of Bartın Basin. The maps explain a) the distribution of the 0.1 x 0.1 (approximately 10 km) degree GPM-IMERG daily precipitation (mm/day) dataset within and around Turkey for periods of 2000-2021, b) Digital elevation model (DEM) obtained from the Alos 30 meter database, c) Hydrogeological map of the Bartın basin and its surroundings (redrawn based on Ankara map of the International 1:1 500.000 scale European Hydrogeological map), d) inter-annual variability of daily flow values (logarithm taken to better show temporal gradient) at station E13A031.

nedeniyle modelleme içerisinde oluşacak belirsizliği daha da azaltacaktır (Akbaş vd., 2020). Bu akifer türünden sonra özellikle eğim kırıklığının görüldüğü ve Bartın Çayı'nın tüm sularını topladığı Bartın ovasında düşük ve orta derecede gözenekli verimli akifer türleri yer alır. Bu durum özellikle taban suyuna daimî katkısı açısından önemlidir. Ayrıca bu akiferlerdeki su miktarları taban akışının önemli bir indikatörü olduğu gibi yüksek ve düşük akım miktarlarını doğrudan etkileyebilmektedir (Hellwig ve Stahl, 2018).

Havza içerisindeki E13A031 istasyonundaki günlük akım verilerinin yıllar-arası dağılımları incelendiğinde düşük ve yüksek akımın değişkenliğinin oldukça fazla olduğu görülür (**Şekil 1d**). Bartın Çayı havzasında aynı zamanda tarihsel taşkına karşılık gelen 1 Mayıs 1998 yılındaki akım değeri oldukça çarpıcıdır. 1998 yılındaki günlük olarak elde edilen akım değerleri içerisinde uç değer akım miktarı yaklaşık olarak 1171 m³/s'dir. Benzer durumlar 1975, 1982, 1991 yıllarında görülür. Bu dönemler aynı zamandan Bartın Çayı havzasında görülen tarihsel taşkınların zamanlarına karşılık gelmektedir. Düşük akımın en belirgin olduğu yıllar ise 1970, 1977, 1985, 1986, 1989 yıllarında görülürken, 90'lı yıllara doğru düşük akımlarda yukarı yönlü bir gidiş eğilimi görülmektedir.

2.2. SWAT, parametizasyonları, veri tabanları, model metrikleri ve SWAT-CUP ile kalibrasyon/validasyonu

Bu çalışmada son yıllarda hidrolojik modellemelerde giderek önemli bir yer edinen SWAT (The Soil & Water Assessment Tool) yağış-akış modeli veya hidrolojik modeli kullanılmıştır (Arnold vd. 1998, 2012). Hidrolojik süreçleri simüle eden birçok farklı model olmasına rağmen, SWAT'ın diğer modellerden farklı olarak uzun süreli havza içi aktiviteleri (insan etkinlikleri) ve iklim değişimleri (Akbaş vd, 2020) oldukça iyi simüle etmesinden dolayı popülaritesi gittikçe artmaktadır (Horton vd., 2021). Model yarı-dağıtımlı (küçük toplu modeller şeklinde) ve fiziksel tabanlı olduğu için gerek havza içindeki gerekse de HRU-Hydrological Response Unit (arazi, kullanımı, toprak ve eğim verilerinin çakıştırılmasıyla elde edilir) temelli olarak süreçlerin fiziksel ve ampirik denklemlere dayalı olarak yağış, arazi kullanımı, toprak özellikleri gibi gözlem ve arazi verilerinden yararlanarak simüle edilmesi sağlanır (Neitsch, 2011). Modelin temel olarak dayandığı eşitlik (Eşitlik 1) su dengesi temelindedir ve şu şekilde açıklanabilir:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - w_{seep} - Q_{gw}) \quad (\text{Eşitlik 1})$$

Burada, SW_t toplam toprak su içeriği (mm H₂O), SW_0 i 'inci gündeki ilksel toprak su içeriği (mm H₂O), t zamanı (günlük), R_{day} i 'inci gündeki yağış miktarını (mm/su), Q_{surf} i 'inci gündeki yüzeysel akış miktarını (mm/su), E_a i 'inci gündeki evapotranspirasyon miktarını (mm/su), w_{seep} i 'inci gündeki toprak profilinden vadoz zona (doymamış zon) giren suyun miktarını (mm/su), Q_{gw} i 'inci gündeki yeraltı suyu (geri dönüş) miktarını göstermektedir.

Modelin parametizasyonları özellikle model çalıştırılmadan önce belirlenmelidir. Bu çalışmada, HRU oluşturulmasında toprakta %0, arazi kullanımında %0 ve eğimde ise %0 eşik değerler olarak seçilmiştir. Yüzeysel akış (yahut artık yağış) hesaplanması için U.S. Soil Conservation Service tarafından oluşturulan SCS Curve Number metodu seçilmiştir (SCS, 1956, 1964, 1971, 1985, 1993; Özdemir ve Elbaşı, 2015). Havza ve HRU için evapotranspirasyon hesaplamaları için ise Penman-Monteith metodu seçilmiştir (Monteith, 1965)

Modellemede kullanılması gereken temel veriler sırasıyla sayısal yükseklik modeli (SYM), arazi kullanımı, toprak veri tabanıdır. SYM verisi için The Japan Aerospace Exploration Agency'nin (©JAXA) ALOS uydu görüntülerine dayanan ve yatay uzunluğu yaklaşık olarak 30m çözünürlüklü ALOS verisi kullanılmıştır. Arazi kullanımı verisi için yaklaşık 100 metre çözünürlüğü sahip olan Corine arazi sınıflandırılması kullanılmıştır. Ancak bu sınıflandırmalar doğrudan kullanılamadığı için Anderson arazi kullanım sınıflandırmasına çevrilmiş ve oradan SWAT veri tabanı için gerekli olan arazi kullanım sınıflandırmaları oluşturulmuştur. Toprak verisi için ise Harmonized World Soil Database'in 1:5.000.000 ölçekli (yaklaşık olarak 1 km çözünürlüklü) FAO-UNESCO toprak veri tabanı kullanılmıştır. Meteorolojik gözlem verileri olarak modelin çalıştırılması için Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) temin edilen Bartın (17020), Amasra (17602), Ulus (17615), Yenice (18262), Karabük (17078), Safranbolu (17904) istasyonlarının günlük yağış (mm), günlük maksimum ve minimum sıcaklık (°C), günlük rüzgâr hızı (m/s), günlük bağıl nem (%), günlük güneş radyasyonu (cal/cm² olarak alınıp MJ/m² birimine çevrildi) verileri kullanılmıştır. Ancak Bartın istasyonu hariç diğer istasyonlarda solar radyasyon verisi olmadığı için diğer istasyonların radyasyon verisi reanalysis verilerinden tamamlanmıştır (Fuka vd., 2013). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nden ise (DSİ) E03A031 kodlu AGİ istasyon hem modelin kalibrasyonu hem de validasyonu için kullanılmıştır. Kalibrasyon ve validasyon için literatürde oldukça sık kullanılan Nash-Sutcliffe model efficiency (NSE) (Krause vd. 2005, Nash and Sutcliffe, 1970), PBIAS Percent Bias-PBIAS (Gupta vd.,

1999) ve determinasyon katsayısı (Krause vd. 2005) metrikleri kullanılmıştır.

SWAT modelinin ilksel çıktılarının sorgulanması ve modelin kalibrasyonu için SWAT-CUP kalibrasyon modeli kullanılmıştır (Abbaspour, 2013; Abbaspour vd., 2015). E13A031 istasyonuna dayalı olarak 1970–1986 yılları arasındaki veriler SWAT-CUP vasıtasıyla kalibrasyon için kullanılmış olup 1987–2002 yılları arasındaki veri değerleri ise validasyon için kullanılmıştır. Modelin kalibre edilmesi için Abbaspour vd. (2015) tarafından yapılan çalışma sonucunda 8 adet hassas (*İng.* sensitive) parametre belirlenmiştir. Buna göre SWAT yağış-akış modelinin parametreleri SWAT-CUP’ın SUFI algoritmasında 1970–1986 yılları için 150 simülasyon çalıştırılmış ve gözlem verilerini en iyi yansıtan parametre değerleri elde edilmiştir (**Tablo 1**).

2.3. Düşük ve yüksek akıma ait indislerin oluşturulması

Bir akarsuyun kesit alanından geçen akım miktarı yani debi (m^3/s), havza içerisindeki arazi kullanımı (Özdemir ve Elbası, 2013), iklim değişikliği koşulları (Akbas vd., 2020) ve yıl içerisindeki farklı farklı hava kütlelerinin ülkemize gelmesinden dolayı (Türkeş, 1996; Tatlı vd., 2004) zaman içerisinde değişiklik göstermektedir. Kesit alandan geçen bu suyun miktarı hem düşük hem de yüksek akımlara ait aralanma şeklinde bir zaman serisi oluşturur. Buna göre bir akarsuyun kesit alanından geçen su miktarının yüksek ve düşük olduğu zamanlara ait miktar, süre, sıklık ve zamanlama şeklide birçok farklı istatistikler üretmek mümkündür. Bu çalışmada SWAT hidrolojik modeli kullanılarak modellenen Bartın Çayı havzasının düşük ve yüksek

akım karakteristikleri (büyüklük, sıklık, süre, zamanlama), DSİ’den elde edilen E13A031 istasyonunun akım verilerinin metrikleriyle “*hydrostat*” (Bond, 2018) paketi kullanılarak *R* ortamında elde edilmiş ve modellenen durum ile gerçek durum karşılaştırılmıştır (R Core Team, 2019). Çalışma içerisinde kullanılan tüm akım indisleri **Tablo 2**’de listelenmiştir.

Buna göre düşük ve yüksek akım karakteristikleri uzun yılların persantilleri üzerinden eşik değer alınarak belirlenmiştir. Yüksek akım için 99. perstantilin (yüzdeler) üzeri seçilirken düşük akım için ise 10. perstantilin aşağısındaki akış miktarları elik değerler olarak belirlenmiş ve akım karakteristikleri bunlara göre belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

SWAT yağış-akış/hidrolojik modelinin Bartın Çayı havzasına uygulanmasından sonra, model içerisindeki hassas parametreler SWAT-CUP ile kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sonucunda günlük akım değerlerinde PBIAS değeri -24.9 , R^2 0.36 ve NSE 0.06 olarak çıkarken validasyonda ise NSE 0.48, R^2 0.51 ve PBIAS -24 elde edilmiştir. Aylık sonuçlara göre, NSE 0.59, R^2 0.67 ve PBIAS -24.9 olarak elde edilirken, aylık akımların validasyon dönemleri içinde NSE 0.60, R^2 0.69 ve PBIAS -24.7 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu akım değerlerin gerçeği tam olarak temsil edip etmediğinin söylenebilmesi için Morasi vd. (2007)’nin yaptığı çalışma esas alınmıştır. Buna göre, model sonuçlarının havza içi süreçleri ve akımları modellemesi açısından oldukça yeterli olduğu söylenebilir. Dolayısıyla da modelden çıkan sonuçlar, ilk olarak E13A031 AGİ istasyonun

Tablo 1: SUFI algoritması kullanılarak yağış-akış modelinin Bartın Çayı havzası için kalibre edilmesi.

Table 1: Calibration of precipitation-runoff model for Bartın basin via SUFI algorithm.

Parametre ismi/Tanımı	Başlangıç Aralıkları		Nihai Aralıklar		
	Min.	Maks.	Min.	Maks.	En iyi
R_CN2.mgt	-0.2	0.2	-0.19	0.06	-0.06
SCS Akış Curve Number değeri					
V_ALPHA_BF.gw	0	1	0.37	1.11	0.74
Taban Akışı Alpha faktör (1/gün)					
V_GW_DELAY.gw	30	450	31	310	171.39
Yeraltı suyu gecikmesi (gün)					
V_GWQMN.gw	0	5000	-1329	2896	783.3
Siğ akiferdeki suyun geri dönüş için eşik değeri (mm)					
V_REVP.gw	0	50	-17.2	27	5.16
“Revap” için siğ akiferdeki suyun eşik derinliği (mm)					
V_GW_REVP.gw	0.02	0.2	-0.05	0.11	0.03
Yeraltı suyu revap katsayısı					
V_ESCO.hru	0	1	0.48	1.45	0.97
Toprak buharlaşma kompanzasyon faktörü					
R_SOL_AWC.sol	-0.2	0.2	-0.24	0.05	-0.09
Faydalı toprak su içeriği (mm H ₂ O/mm toprak)					

R: Relative, V: Replace

Tablo 2: Yüksek ve düşük akım büyüklük, sıklık, süre, zamanlama açısından karakteristiklerin belirlenmesi için kullanılan indisler.**Table 2:** The indices used to determine the characteristics of high and low flow in terms of magnitude, frequency, duration, timing.

Karakter	Süre	Parametreler	Kısa İsimlendirmeler
Düşük Akım	Günlük Düşük Akım İndisleri	Düşük akım dönemleri için eşik değer (10'uncu persantil altı- m ³ /s)	A-Eşik değer
Düşük Akım	Günlük Düşük Akım İndisleri	Düşük akım periyodunun ortalama süresi (gün)	B-DA ortalama süre
Düşük Akım	Günlük Düşük Akım İndisleri	Düşük akım dönemlerinin her yıl için ortalama frekansı (sayı/ yıl ⁻¹)	C-Dönem Frekansı
Düşük Akım	Yıllık Düşük Akım İndisleri	Ortalama yıllık minimum akım (m ³ /s)	D-Ort.yıllık min akım
Düşük Akım	Yıllık Düşük Akım İndisleri	Ortalama minimum akımların değişim katsayısı (-)	E-Yıllık min akım DK
Düşük Akım	Yıllık Düşük Akım İndisleri	Minimum akımların gerçekleştiği yılın ortalama günü (0/365-gün)	F-DA zaman
Düşük Akım	Yıllık Düşük Akım İndisleri	Yıllık minimum akımların ortalama zamanlamasının dairesel standart sapması (gün)	G-DA zaman std.spm
Düşük Akım	Yıllık Düşük Akım İndisleri	Yıllık düşük akımların ortalama süresi (gün)	H-Yıllık DA ortalama süre
Yüksek Akım	Günlük Yüksek Akım İndisleri	Yüksek akım dönemleri için eşik değer (99'uncu persantil üstü- m ³ /s)	A-Eşik değer
Yüksek Akım	Günlük Yüksek Akım İndisleri	Eşik değer üstü toplam olay sayısı (sayı)	B-Toplam olay
Yüksek Akım	Günlük Yüksek Akım İndisleri	Yüksek akım dönemlerinin her yıl için ortalama frekansı (sayı/yıl ⁻¹)	C-Dönem frekansı
Yüksek Akım	Günlük Yüksek Akım İndisleri	Yüksek akım periyodunun ortalama süresi (gün)	D-YA ortalama süre
Yüksek Akım	Günlük Yüksek Akım İndisleri	Yüksek akım dönemindeki ortalama akım (m ³ /s)	E-YA'da ortalama akım
Yüksek Akım	Günlük Yüksek Akım İndisleri	Yüksek akım dönemindeki ortalama pik (m ³ /s)	F-YA'da ortalama pik
Yüksek Akım	Yıllık Yüksek Akım İndisleri	Ortalama yıllık maksimum akım (m ³ /s)	G-Ort.yıllık maks akım
Yüksek Akım	Yıllık Yüksek Akım İndisleri	Yıllık maksimum akımların değişim katsayısı (-)	H-Yıllık maks akım DK
Yüksek Akım	Yıllık Yüksek Akım İndisleri	Ortalama yıllık maksimum akım/ortalama günlük akım (m ³ /s)	I-YA çarpıklık
Yüksek Akım	Yıllık Yüksek Akım İndisleri	Maksimum akımların gerçekleştiği yılın ortalama günü (0/365-gün)	J-YA zaman
Yüksek Akım	Yıllık Yüksek Akım İndisleri	Yıllık maksimum akımların ortalama zamanlamasının dairesel standart sapması (0/365-gün)	K-YA zaman std.spm
Yüksek Akım	Yıllık Yüksek Akım İndisleri	Yıllık yüksek akımların ortalama süresi (gün)	L-Yıllık YA ortalama süre

zaman serilerindeki (debi gidiş çizgisi) düşük ve yüksek akımın büyüklük, sıklık, süre ve zamanlama metrikleri ile karşılaştırılmıştır (**Şekil 2**). Düşük akım için seçilen eşik değerler temelindeki indisler incelendiğinde, eşik değer ve minimum akımlar (**Şekil 2**/düşük akım A-D) model verilerinde yaklaşık 1 m³/s'lik bir düşük değer (*İng.* underestimation) gösterirken, değişim katsayısında ise yüksek bir değer göstermektedir. Diğer yandan SWAT modeli sonucunda elde edilen düşük akımların ortalama, frekansı, zamanlaması ve süresinin ise gözlem değerlerine oldukça yakın sayılar sergilediği görülür. Ayrıca, yüksek akım için elde edilen indislerde, model sonuçları kalibre edilse dahi gözlem değerlerine göre biraz daha yüksek değerler sergilediği bulunmuştur. Eşik değer açısından birbirine oldukça yakın olmasına rağmen, bu değerlerden yola çıkarak elde edilen eşik değer üstü olay sayısı ve frekansı SWAT model değerlerinde daha yüksek çıkmıştır (**Şekil 2**/yüksek akım A-B-C). Yüksek akımların ortalama süreleri açısından gözlem değerleri ortalama süre ve akım değerleri benzere yakın bir dağılım gösterir. Ancak yüksek akımın görüldüğü tarihlerin ortalamasına bakıldığında (YA zaman) SWAT model değerlerinin bahar sonu ve yaz başında ağırlık kazandığı görülürken, gözlem değerlerinin kış aylarında daha yoğunluk kazandığı görülür. Ancak tarihlerin standart sapmaları ise oldukça benzerdir. Genel olarak incelendiğinde ise SWAT modelinin ürettiği akım değerleri düşük akımda ve yüksek akım karakteristiklerinde benzer davranışlar sergilediği görülürken, bu değerlerin değişkenliğinde (gözlenen ve modellenen farkı) meydana gelen süreçler belirsizliğin kendisini oluşturmaktadır. Diğer yandan, sayısal yükseklik modeli, arazi

kullanımı ve toprak verileri farklı ölçeklerde oluşturulmuş verilerdir ve bu durum ölçek farklılığının belirsizliği arttırmasına neden olabilir (Beven; 2011; Blöschl ve Sivapalan, 1995).

Ayrıca, SWAT yağış-akış modeli her bir havzaya en yakın istasyonun verisini meteorolojik veri olarak seçer. Bu bakımdan havza içerisinde farklı nedenlerle (konvektif veya orografik) oluşmuş yerel yağışların ölçülememesi belirsizliği arttıran bir neden olabileceği gibi, gridli (veya noktasal) meteorolojik verilerin sıklığı ve yoğunluğu bu belirsizliği arttıran diğer bir nedendir (Grusson vd., 2017; Strauch vd., 2012). Belirsizliğin bir diğer nedeni ise veri tabanının kendisi dahi olabilir. Örneğin, akım anahtar eğrisi sonucunda elde edilen akım verisi, kesit alan ile akım miktarı arasındaki ilişkiye ait enterpolasyona dayanmaktadır. Dolayısıyla bu gözlem verileri enterpolasyon yöntemleri, akarsu morfolojisinin değişmesi, akarsu yatağına antropojenik müdahaleler gibi birçok nedenden ötürü kabul edilebilir oranda hem yüksek hem de düşük akım açısından belirsizlik taşıyabilir (Akay vd., 2021; Coxon vd., 2015). Öte yandan, modelin iç yapısı ve karmaşıklığı veya bir sürecin tam olarak modellenememesi/bilinmemesinden de (epistemik hata) bir belirsizlik içerebilir (Beven vd., 2011).

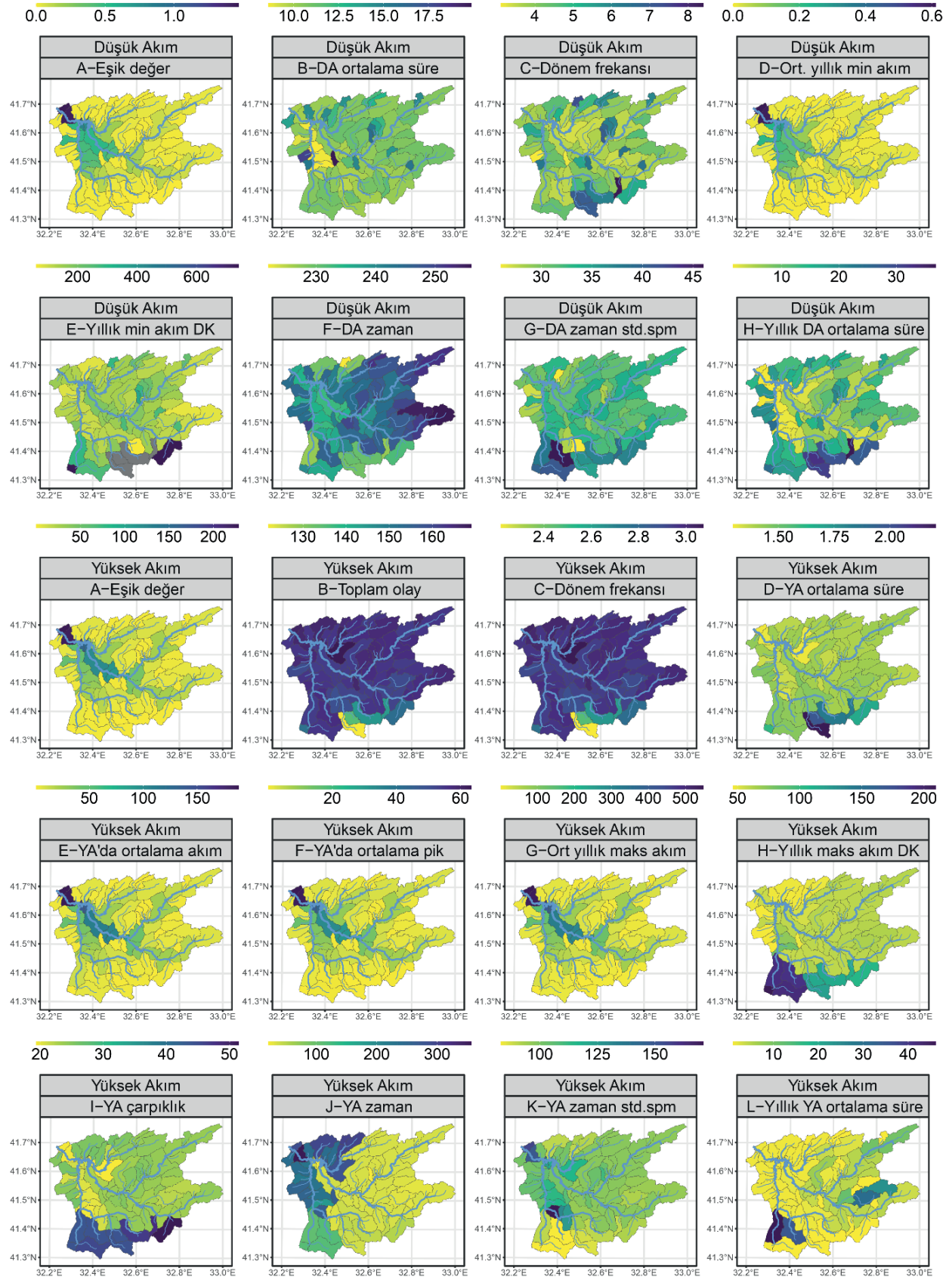
Model verilerin çıktılarının gözlem ile karşılaştırılması haricinde, hidrolojik modellemelerdeki bir diğer amaç olan gözlem olmayan havzalardaki akım değerlerinin elde edilmesi ve düşük ve yüksek akımların karakteristiklerinin ortaya konulması **Şekil 3**'te verilmiştir. Şekilde Bartın Çayı havzasına



Şekil 2: Bartın Çayı havza içerisindeki bulunan E13A031 AGİ ile SWAT hidrolojik modelinden türetilen akım metriklerinin karşılaştırılması.
Figure 2: Comparison of flow metrics derived from the SWAT hydrological model and the E13A031 SGS (Stream Gauging Station) located in the Bartın basin.

ait 90 adet alt-havzanın tüm akım karakteristikleri gösterilmiştir. Buna göre, hem yüksek hem de düşük akımlar için eşik değerler beklenildiği gibi Bartın Çayı'nda görülse de mekânsal gradyanda

Kocanaz Deresi havzasının eşik değerlerinin diğer alt-havzalara oranla daha yüksek olduğu görülürken en az sürenin yine bu alt havzada olduğu görülür (Şekil 3/düşük akım A-B). Düşük



Şekil 3: Düşük ve yüksek akım metriklerinin alt-havzalar içindeki alansal dağılışı.
Figure 3: Spatial distribution of low and high flow metrics within sub-basins.

akımın görülme frekansı incelendiğinde ise ana kollar haricinde havzaların yukarı çıkışına doğru akım miktarları azalmakta ve frekans artmakta ve değişkenlik katsayısı giderek yükselmektedir (**Şekil 3**/düşük akım C-D-E). Düşük akımın zamanlamasına bakıldığında ise Ulus, Arıt ve Gökırmak havzalarında çoğunlukla ağustos ayı egemen bir durum alırken, benzer durum temmuz ayı için Kocanaz deresi havzasında görülür. Ancak zamanlamanın standart sapması Kocanaz deresi havzasında daha belirgindir ve yıllık düşük akımların ortalama süresine de (Yıllık DA ortalama süre) yansımıştır (**Şekil 3**/düşük akım F-G-H). Günlük indislerden elde edilerek ortaya konan ortalama yüksek akım için eşik değerlerin dağılımları alansal olarak düşük akımın dağılımına benzerken, eşik değer üstü toplam olay sayısı ve frekansının tüm havzalarda yüksek olmakla birlikte Bartın Çayı havzası ağzına doğru giderek yükseldiği görülür.

Kocanaz Deresi havzasının gerisi ise bu parametrelerin en düşük olduğu alanlara karşılık gelir, ancak süre olarak en yüksek yerlerdir (**Şekil 3**/yüksek akım A-B-C-D). Ayrıca ortalama akım ve piklerin ise en yüksek olduğu yerler eşik değere benzer şekilde ana kollarda görülmektedir (**Şekil 3**/yüksek akım E-F).

Yüksek akımların yıllık indislerine bakıldığında ise maksimum akım için eşik değere benzer bir dağılım varken, bu parametrenin değişkenlik katsayısı ve çarpıklık durumu (yıllık maksimumun günlük maksimuma oranlanması) düşük akımın dağılımına benzer şekilde yine Kocanaz deresi havzasında yüksek çıkar (**Şekil 3**/yüksek akım G-H-I). Gerçekleşen yüksek akımların yıllık ortalama zamanlamasına bakıldığında ise 3 ayrı desen ortaya çıkar. Arıt, Ulus, Gökırmak ve Kocanaz havzalarının bir kısmı ocak-şubat yani kış döneminde yüksek akımları elde ederken, bu durum Bartın Çayı boyunca ise sonbahar mevsiminde daha belirgindir. Kocanaz deresi havzasında ise yüksek akımın elde edildiği dönemlerde bahar ve yaz aylarının egemen olduğu görülür. Bu durum hem yüksek hem de düşük akım açısından neden değişkenliğin bu kadar yüksek olduğu konusunda bir ipucu sunmaktadır. Özellikle havzanın yazın aldığı yüksek yağışlar (Karaca vd., 2007, Türkeş; 1996; Tatlı vd.,2004) kar erimeleri bu değişkenlik konusunda bir sinyal taşır ve zamanlamanın standart sapması ile yıllık yüksek akımın süresi de bunu destekler (**Şekil 3**/yüksek akım J-K-L). Alansal gradyanı yansıtan bu gibi bilgiler ve sonuçlar özellikle hem taşkın hem de kuraklık planlamaları ve yönetimi açısından oldukça önemli ipuçları taşır. Dolayısıyla da **Şekil 3**'te Bartın Çayı havzası örneğinde görüldüğü üzere AGİ'nin bulunmadığı havzaların akım karakteristiklerine ait birçok özellikleri çıkarmak mümkündür. Öte yandan, toplu, yarı-dağıtımlı veya fiziksel modeller fark etmeksizin bu havzaların gelecekteki iklimsel

değişimlere kuraklaşma yahut ekstrem taşkın olayları gibi vereceği yanıtları hem mekânsal hem de zamansal olarak tahmin etmek ayrıca mümkündür (Akbaş vd., 2020; Bucak vd., 2017; Ertürk vd., 2014; Sunde vd; 2017). Bununla birlikte, havza içi tüm antropojenik müdahaleler yahut havza içi faaliyetlere bağlı olarak ayrıca gelecek tahminleri yapılabilir (Bucak vd., 2017).

4. SONUÇLAR

Hidrolojik modellemeler havza içinde meydana gelen süreçlerin anlaşılmasında, planlama ve yönetim açısından eşsiz fırsatlar sunmaktadır. Her ne kadar bu modellerin içerdiği birçok belirsizlik olsa da, son yıllarda gerek uydu teknolojilerinin giderek yaygınlaşması gerekse gözlem ağının artması ile birlikte modellemeler gözlem verileri temelinde gittikçe sofistike hale gelmekte ve süreçleri daha iyi simüle edebilmektedirler. Ayrıca, her havza içerisinde akarsu gözlem istasyonunun (AGİ) olmaması kuraklık veya taşkın gibi doğal fenomenlerin mekânsal gradyanlarının anlaşılmasını sağlaması açısından hidrolojik modellerin önemini ayrıca ortaya çıkarmaktadır.

Bu bakımdan, yapılan bu çalışmada Bartın Çayı havzası örnek havza seçilerek havza SWAT yağış-akış/hidrolojik modeli modeliyle simüle edilmiş ve düşük/yüksek akımlara ait birçok karakteristik (büyüklük, sıklık, süre, zamanlama) ortaya çıkarılmıştır. Daha sonra ise E13A031 AGİ'nin akım metrikleri ile bu istasyona karşılık gelen havzanın akım metrikleri karşılaştırılmıştır. Çıkan sonuçlar SWAT yağış-akış modelinin gözlem verilerinin benzeşimini iyi bir şekilde yaptığını ve ancak bazı akım özelliklerinde (örneğin eşik değer ve toplam olay sayısı gibi) hem düşük hem de yüksek değerler verdiğini göstermektedir. Bu farklılıklar yukarıda tartışıldığı üzere kullanılan mekânsal verinin ölçeği, gözlem verisinin içerdiği belirsizlik ve model kaynaklı (örneğin akiferlerin taban akışına katkısının modellenememesi) olabileceği düşünülmektedir. Diğer yandan Bartın Çayı havzasına ait 90 adet alt havzanın çıkış noktasına ait akım verilerinden yola çıkılarak düşük ve yüksek akım metrikleri ortaya konmuştur. Her bir metriğin mekânsal gradyanı belirlenerek Bartın Çayı havzasında akımlara ait karakteristiklerin nasıl değiştiği ortaya konmuştur. Çıkan sonuçlarda hem düşük hem de yüksek akımlarda Kocanaz Deresi havzasının hem yükselti koşullarından (kar erimeleri vb.) hem de maruz kaldığı sinoptik ölçekli hava sistemlerinden dolayı değişkenliği diğer havzalara göre daha yüksek çıkmıştır.

Sonuç olarak, Bartın Çayı havzası örneğinden yola çıkılarak yapılan modelleme çalışmaları gerek iklimsel gerekse havza içi

antropojenik faaliyetlerin ortaya konması açısından oldukça faydalı bilgiler sunmaktadır. Her ne kadar bu modeller belli anlamda belirsizlik içerse de, herhangi bir iklim modeli yahut arazi kullanım verileri çıktılarının bu modellere entegre edilerek kullanılması, gözlem olmayan alanlarda geleceğe ait planlamalar açısından oldukça önemli bir yer edinecektir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Yazar Katkıları: Çalışma Konsepti/Tasarım- A.A., H.Ö.; Veri Toplama- A.A., H.Ö.; Veri Analizi/Yorumlama- A.A., H.Ö.; Yazı Taslağı- A.A., H.Ö.; İçeriğin Eleştirel İncelemesi- A.A., H.Ö.; Son Onay ve Sorumluluk- A.A., H.Ö.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Finansal Destek: Bu çalışma Bursa Uludağ Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından (Proje No: OUAP(F)-2019/13) tarafından desteklenmiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Author Contributions: Conception/Design of Study- A.A., H.Ö. ; Data Acquisition- A.A., H.Ö.; Data Analysis/Interpretation- A.A., H.Ö.; Drafting Manuscript- A.A., H.Ö.; Critical Revision of Manuscript- A.A., H.Ö.; Final Approval and Accountability- A.A., H.Ö.

Conflict of Interest: The authors have no conflict of interest to declare.

Grant Support: This study was supported by Bursa Uludağ University Scientific Research Projects Unit (Project No: OUAP(F)-2019/13).

KAYNAKÇA/REFERENCES

Abbaspour, K. C. (2013). SWAT-CUP 2012. SWAT Calibration and Uncertainty Program-A User Manual.

Abbaspour, K. C., Rouholahnejad, E., Vaghefi, S., Srinivasan, R., Yang, H., & Kløve, B. (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*, 524, 733–752.

Addor, N., Nearing, G., Prieto, C., Newman, A. J., Le Vine, N., & Clark, M. P. (2018). A ranking of hydrological signatures based on their predictability in space. *Water Resources Research*, 54(11), 8792–8812.

Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. 1998. Large area hydrologic modelling and assessment- Part I: model development. *Journal of American Water Resources Association* 34(1), 73–89.

Arnold, J. G., Moriasi, D. N., Gassman, P. W., Abbaspour, K. C., White, M. J., Srinivasan, R., ... & Kannan, N. (2012). SWAT: Model use, calibration, and validation. *Transactions of the ASABE*, 55(4), 1491–1508.

Akbas, A., Freer, J., Ozdemir, H., Bates, P. D., & Turp, M. T. (2020). What about reservoirs? Questioning anthropogenic and climatic interferences on water availability. *Hydrological Processes*, 34(26), 5441–5455.

Amjad, M., Yilmaz, M. T., Yucel, I., & Yilmaz, K. K. (2020). Performance evaluation of satellite-and model-based precipitation products over varying climate and complex topography. *Journal of Hydrology*, 584, 124707.

Beven, K. J. (2011). Rainfall-runoff modelling: the primer. John Wiley & Sons.

Beven, K. J., & Kirkby, M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43–69.

Beven, K., & Freer, J. (2001). Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems using the GLUE methodology. *Journal of hydrology*, 249(1-4), 11–29.

Beven, K., Smith, P. J., & Wood, A. (2011). On the colour and spin of epistemic error (and what we might do about it). *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(10), 3123–3133.

Blöschl, G., & Sivapalan, M. (1995). Scale issues in hydrological modelling: a review. *Hydrological processes*, 9(3-4), 251–290.

Bond, N. (2021) Package “hydrostats”, The Comprehensive R Archive Network (CRAN), mevcut olduğu yer: <https://CRAN.R-project.org/package=hydrostats>, (Erişim tarihi, 12 Aralık 2021).

Box, G. E. (1979). Robustness in the strategy of scientific model building. In Robustness in statistics (pp. 201–236). Academic Press.

Brown, M. E., Escobar, V., Moran, S., Entekhabi, D., O'Neill, P. E., Njoku, E. G., ... & Entin, J. K. (2013). NASA's soil moisture active passive (SMAP) mission and opportunities for applications users. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94(8), 1125–1128.

Bucak, T., Trolle, D., Andersen, H. E., Thodsen, H., Erdoğan, Ş., Levi, E. E., ... & Beklioğlu, M. (2017). Future water availability in the largest freshwater Mediterranean lake is at great risk as evidenced from simulations with the SWAT model. *Science of the Total Environment*, 581, 413–425.

Clark, M. P., Vogel, R. M., Lamontagne, J. R., Mizukami, N., Knoben, W. J., Tang, G., ... & Papalexiou, S. M. (2021). The abuse of popular performance metrics in hydrologic modeling. *Water Resources Research*, 57(9), e2020WR029001.

Coxon, G., Freer, J., Westerberg, I. K., Wagener, T., Woods, R., & Smith, P. J. (2015). A novel framework for discharge uncertainty quantification applied to 500 UK gauging stations. *Water resources research*, 51(7), 5531–5546.

Entekhabi, D., Njoku, E. G., O'Neill, P. E., Kellogg, K. H., Crow, W. T., Edelstein, W. N., ... & Van Zyl, J. (2010). The soil moisture active passive (SMAP) mission. *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 704–716.

Entekhabi, D., Yueh, S., O'Neill, P. E., Kellogg, K. H., Allen, A., Bindlish, R., ... & West, R. (2014a). SMAP handbook–soil moisture active passive: Mapping soil moisture and freeze/thaw from space.

Entekhabi, D., Yueh, S., & De Lannoy, G. (2014b). SMAP handbook.

Ertürk, A., Ekdal, A., Gürel, M., Karakaya, N., Guzel, C., & Gönenç, E. (2014). Evaluating the impact of climate change on groundwater resources in a small Mediterranean watershed. *Science of the Total Environment*, 499, 437–447.

Fuka, D. R., C.A. MacAllister, A. T. Degaetano, and Z.M. Easton. (2013). Using the Climate Forecast System Reanalysis dataset to improve weather input data for watershed models. *Hydrol. Proc.* DOI: 10.1002/hyp.10073.

- Görüm, T., & Fidan, S. (2021). Spatiotemporal variations of fatal landslides in Turkey. *Landslides*, 18(5), 1691–1705.
- Grusson, Y., Anctil, F., Sauvage, S., & Sánchez Pérez, J. M. (2017). Testing the SWAT model with gridded weather data of different spatial resolutions. *Water*, 9(1), 54.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., Yapo, P. O. (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 4(2), 135–143.
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... & Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999–2049.
- Horton, P., Schaeffli, B., & Kaulzlaric, M. (2021). Why do we have so many different hydrological models? A review based on the case of Switzerland.
- Hsu, K. L., Gao, X., Sorooshian, S., & Gupta, H. V. (1997). Precipitation estimation from remotely sensed information using artificial neural networks. *Journal of Applied Meteorology*, 36(9), 1176–1190.
- Hrachowitz, M., Savenije, H. H. G., Blöschl, G., McDonnell, J. J., Sivapalan, M., Pomeroy, J. W., ... & Cudennec, C. (2013). A decade of Predictions in Ungauged Basins (PUB)—a review. *Hydrological sciences journal*, 58(6), 1198–1255.
- Huffman, G. J., Bolvin, D. T., Nelkin, E. J., Wolff, D. B., Adler, R. F., Gu, G., ... & Stocker, E. F. (2007). The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multiyear, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. *Journal of hydrometeorology*, 8(1), 38–55.
- Huffman, G. J., & Bolvin, D. T. (2018). TRMM and other data precipitation data set documentation. NASA, Greenbelt, USA, 28(2.3), 1.
- Huffman, G. J., E. F. Stocker, D.T. Bolvin, E. J. Nelkin, Jackson Tan (2019), GPM IMERG Final Precipitation L3 1 day 0.1 degree x 0.1 degree V06, Edited by Andrey Savtchenko, Greenbelt, MD, Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC), Accessed: [Accessed 15 August 2021], 10.5067/GPM/IMERGDF/DAY/06
- Karaca, M., Deniz, A., & Tayanç, M. (2000). Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(10), 1225–1236.
- Kidd, C., Becker, A., Huffman, G. J., Muller, C. L., Joe, P., Skofronick-Jackson, G., & Kirschbaum, D. B. (2017). So, how much of the Earth's surface is covered by rain gauges?. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 98(1), 69–78.
- Krause, P., Boyle, D. P., Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*, 5, 89–97.
- Li, B., Rodell, M., Kumar, S., Beaudoin, H. K., Getirana, A., Zaitchik, B. F., ... & Bettadpur, S. (2019). Global GRACE data assimilation for groundwater and drought monitoring: Advances and challenges. *Water Resources Research*, 55(9), 7564–7586.
- Liu, Y., & Gupta, H. V. (2007). Uncertainty in hydrologic modeling: Toward an integrated data assimilation framework. *Water resources research*, 43(7).
- Martens, B., Miralles, D. G., Lievens, H., Van Der Schalie, R., De Jeu, R. A., Fernández-Prieto, D., ... & Verhoest, N. E. (2017). GLEAM v3: Satellite-based land evaporation and root-zone soil moisture. *Geoscientific Model Development*, 10(5), 1903–1925.
- Melsen, L. A., Teuling, A. J., Torfs, P. J., Zappa, M., Mizukami, N., Mendoza, P. A., ... & Uijlenhoet, R. (2019). Subjective modeling decisions can significantly impact the simulation of flood and drought events. *Journal of Hydrology*, 568, 1093–1104.
- Monteith, J. L. (1965). Evaporation and environment. In *Symposia of the society for experimental biology* (Vol. 19, pp. 205–234). Cambridge: Cambridge University Press (CUP).
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), 885–900.
- Nash, J.E. Sutcliffe, J.V. (1970). River flow forecasting through conceptual models. Part I. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282–290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute.
- Nguyen, P., Shearer, E. J., Tran, H., Ombadi, M., Hayatbini, N., Palacios, T., ... & Sorooshian, S. (2019). The CHRS Data Portal, an easily accessible public repository for PERSIANN global satellite precipitation data. *Scientific data*, 6(1), 1–10.
- Özdemir, H. (2007). SCS CN Yağış-akış modelinin CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle uygulanması: Havran Çayı Havzası örneği (Balıkesir). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(2), 1–12.
- Özdemir, H. (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar. *Fiziki Coğrafya Araştırmaları*, 457–474.
- Ozdemir, H., Sampson, C. C., de Almeida, G. A., & Bates, P. D. (2013). Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17(10), 4015–4030.
- Ozdemir, H., & Elbaşı, E. (2015). Benchmarking land use change impacts on direct runoff in ungauged urban watersheds. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 79, 100–107.
- Peel, M. C., & McMahon, T. A. (2020). Historical development of rainfall-runoff modeling. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 7(5), e1471.
- R Core Team. (2019). R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, 635 Austria. Retrieved from <http://www.r-project.org/index.html>
- Sidle, R. C. (2021). Strategies for smarter catchment hydrology models: incorporating scaling and better process representation. *Geoscience Letters*, 8(1), 1–14.
- SCS, 1956, 1964, 1971, 1985, 1993. Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10. Soil Conservation Service, USDA, Washington, DC.

- Skøien, J. O., Blöschl, G., & Western, A. W. (2003). Characteristic space scales and timescales in hydrology. *Water Resources Research*, 39(10).
- Srinivasulu, S., & Jain, A. (2006). A comparative analysis of training methods for artificial neural network rainfall–runoff models. *Applied Soft Computing*, 6(3), 295–306.
- Strauch, M., Bernhofer, C., Koide, S., Volk, M., Lorz, C., & Makeschin, F. (2012). Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 414, 413–424.
- Sunde, M. G., He, H. S., Hubbart, J. A., & Urban, M. A. (2017). Integrating downscaled CMIP5 data with a physically based hydrologic model to estimate potential climate change impacts on streamflow processes in a mixed-use watershed. *Hydrological Processes*, 31(9), 1790–1803.
- Tatli, H., Nüzhet Dalfes, H., & Sibel Menteş, Ş. (2004). A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 24(2), 161–180.
- Türkeş, M. (1996). Spatial and temporal analysis of annual rainfall variations in Turkey. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 16(9), 1057–1076.
- Tapley, B. D., Bettadpur, S., Ries, J. C., Thompson, P. F., & Watkins, M. M. (2004). GRACE measurements of mass variability in the Earth system. *Science*, 305(5683), 503–505.
- Turoglu, H., Ozdemir, H. (2005). Bartın’da Sel ve Taşkınlar: Sebepler, Etkiler, Önleme ve Zarar Azaltma Önerileri. Çantay Kitabevi.
- Turoğlu, H. (2007). Flood and flash floods analysis for Bartın River Basin. In International River Basin Management Congress, Proceeding (pp. 0-14).