

DAĞLIK BİR HAVZADA UYDU VERİSİ DESTEKLİ HİDROLOJİK MODELLEME

Emin TAŞ * 
Ali Arda ŞORMAN ** 

Alınma: 28.04.2020 ; düzeltme: 06.05.2020 ; kabul: 30.05.2020

Öz: Su kaynakları planlama ve yönetimi çalışmalarının birçoğunda yağış-akış simülasyonunu gerçekleştirmek için hidrolojik modelleme yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu bağlamda, kar erimesinin etkili olduğu dağlık bir havza olan Afyonkarahisar Çay Deresi havzasında, yağışlı-yağışsız dönemi birlikte değerlendiren kavramsal, yarı-dağılımlı ve uydu verisi destekli bir modelleme çalışması uygulanmıştır. 2011-2013 su yılları arasında günlük akımların simülasyonu HEC-HMS modeli kullanılarak elde edilmiştir. Modelleme süreci; hazırlık aşamaları, parametre seçimi, kalibrasyon (2011-2012 yılları) ve validasyon (2013 yılı) aşamalarından oluşmaktadır. Model akım performansı NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency), RMSE (Root Mean Square Error) ve MAE (Mean Absolute Error) değerlendirme ölçütleri ile test edilmiş olup, kalibrasyon periyodu için değerleri sırasıyla 0,89; 0,3 m³/s ve 0,2 m³/s iken; validasyon periyodu için 0,78; 0,4 m³/s ve 0,2 m³/s bulunmuştur. Akım sonuçlarının yanında IMS (Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System) kar kaplı alan ürünleriyle de modelin doğruluğu desteklenmiştir. Çalışma havzasında başarılı sonuçların elde edildiği HEC-HMS hidrolojik modelinin kullanıma hazır olması; Çay Deresi mansap kısmında yer alan Çay ilçe yerleşiminin taşkın tehlikesi, sulama-içme suyu amaçlı Çay Barajının hazne işletimi ve Çay Deresinin döküldüğü Eber Gölünün ekolojik analizi çalışmalarını açısından faydalı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Hidrolojik modelleme, HEC-HMS, Yağış-akış, Uydu verisi, Afyonkarahisar Çay deresi

Satellite-supported Hydrological Modeling in a Mountainous Basin

Abstract: In many of the water resource planning and management studies, hydrological modeling is essential to perform precipitation-runoff simulations. In this context, a conceptual, semi-distributed and satellite-supported modeling study considering both wet and dry periods is applied to the Afyonkarahisar Çay watershed, which is a snow-dominated mountainous basin. The simulation of daily streamflow between 2011-2013 water years is implemented using HEC-HMS model. The modeling process consists of data preparation, parameter selection, calibration (2011-2012 years) and validation (2013 year) steps. The model streamflow performance is tested with NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency), RMSE (Root Mean Square Error) and MAE (Mean Absolute Error) evaluation criteria, and the values are 0,89; 0,3 m³/s, 0,2 m³/s for the calibration period and 0,78; 0,4 m³/s, 0,2 m³/s for the validation period, respectively. Besides of the streamflow results, model accuracy is also supported with IMS (Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System) snow covered area products. The ready-to-use HEC-HMS hydrological model where successful results are obtained in the study basin can be useful for flood hazard mapping of Çay district settlement in the downstream of Çay stream; reservoir operation of Çay dam for irrigation-potable water purposes; and ecological analysis of the Eber Lake where the Çay stream flows into.

Keywords: Hydrological modeling, HEC-HMS, Precipitation-runoff, Satellite data, Afyonkarahisar Çay stream

* Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 03200, Merkez, Afyonkarahisar

** Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, 26555, Tepebaşı, Eskişehir

İletişim Yazarı: Emin Taş (emintas@aku.edu.tr)

1. GİRİŞ

Su kaynakları mühendisliği çalışmalarının birçoğunda akımın simülasyonu amacıyla hidrolojik modeller bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Dingman, 2002). Ayrıca bu çalışmada olduğu gibi uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknikleri de hidrolojik modelleme ve tahmin uygulamalarında oldukça önemli bir yer tutmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System) modeli dünyanın birçok yerinde başarılı bir şekilde uygulanmıştır. Bu çalışmalara örnek olarak; eksiklik-sabit (Quader ve Guo, 2009), başlangıç-sabit (Yılmaz ve diğ., 2012), eksponansiyel (Yavuz ve diğ., 2012; Sensoy ve diğ., 2018), Green-Ampt (Rathod ve diğ., 2015), eğri numarası (Chang, 2009; Bora ve Onuşluel Gül, 2019; Gülbaz, 2019; Tassew ve diğ., 2019) ve toprak nemi hesaplama algoritması (Fleming ve Neary, 2004; Meselhe ve diğ., 2009; Gyawali ve Watkins, 2013; Sorman ve diğ., 2020) HEC-HMS yağış kayıp hesaplama yöntemleri arasında gösterilebilir. Aynı zamanda bazı araştırmacılar da HEC-HMS alt modellerini birbirleriyle karşılaştırmalı şekilde sunmuşlardır (Chu ve Steinman, 2009; Šraj ve diğ., 2010; Sardoii ve diğ., 2012; Razmkhah, 2016; Azmat ve diğ., 2017).

HEC-HMS yağış kayıp yöntemi olarak uygulanan SCS CN (Soil Conservation Service Curve Number) eğri numarası modeli çoğunlukla olay bazlı olarak kullanılmasına karşın bu çalışmada sürekli olarak çalıştırılmıştır. SCS CN yönteminin küçük havzalara uygun olduğu ve olay bazlı modellemede kullanılması tavsiye edilmesine karşın başarılı sürekli modelleme uygulamaları mevcuttur (Geetha ve diğ., 2007; Geetha ve diğ., 2008; Grimaldi ve diğ., 2012).

Bu çalışmada Afyonkarahisar Çay Deresi havzasında 2011-2013 su yılları arasında günlük akımların simülasyonu kar modülünü de içerecek şekilde uydu verisi destekli HEC-HMS SCS CN modeli kullanılarak elde edilmiştir. Çalışmanın temel amacı, dağılımlı eğri numarası elde edilmesi ve yükseklik zonları içeren yarı-dağılımlı HMS hidrolojik modelinin pilot bir havzada uygulanabilir olduğunun ve başarılı sonuçların alındığının gösterilmesidir. Farklı coğrafi ve iklimsel özelliklere sahip uygulama alanlarında modelin performansının test edilmesi ve başarılı sonuçlar alınması modelin güvenilirliğini-geçerliliğini daha da arttıracaktır. Bu bağlamda, güvenilir bir hidrolojik model gerekliliği olan Çay Deresi mansap kısmında yer alan sulama-içme suyu amaçlı Çay Barajının hazne işletimi, Çay ilçe yerleşiminin taşkın tehlikesi ve Çay Deresinin döküldüğü Eber Gölünün ekolojik analizi çalışmalarında potansiyel altlık oluşturması bakımından HMS modelinin kullanılabilirliği önemli görülmektedir.

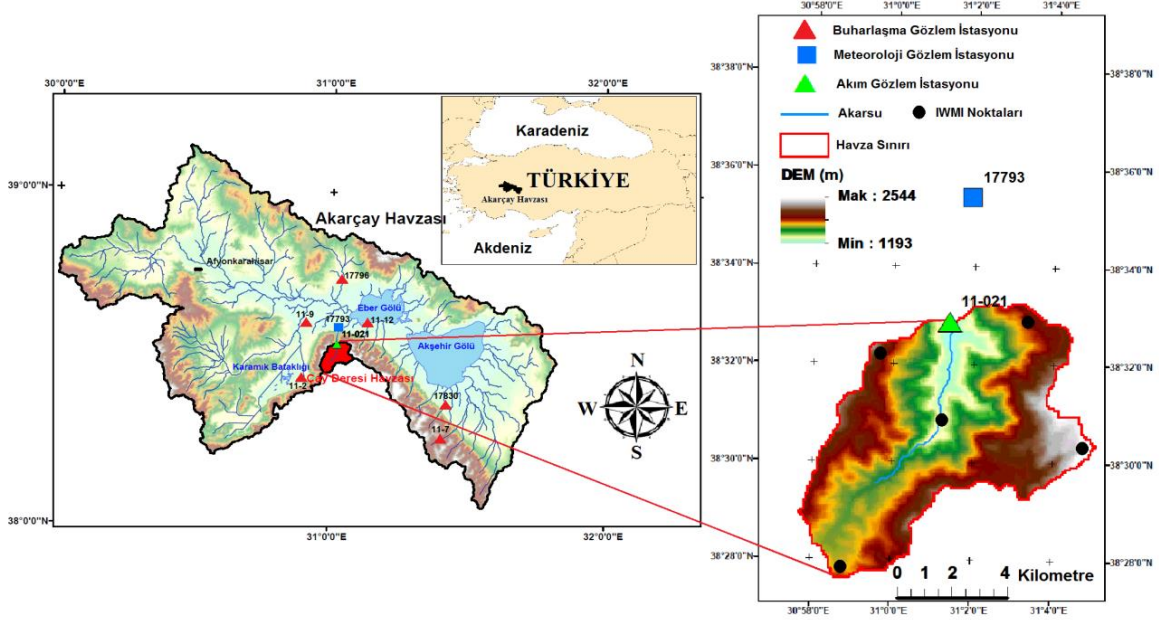
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada Çay Deresi havzasında 2011-2013 su yılları arasında gözlenmiş günlük akımlar ve HMS modeli kullanılarak hidrolojik süreç simülasyonu gerçekleştirilmiştir.

2.1. Uygulama Havzası

Uygulama alanı olarak Akarçay havzasının küçük ve dağlık bir alt havzası olan Çay Deresi havzası (Şekil 1) seçilmiştir. Havza, oldukça kurak olan Akarçay havzasının yağış bakımından en zengin alt havzalarından biridir. Çay Deresi havzası D11A021 nolu akım gözlem istasyonunun yağış alanıdır. Aylık ortalama akımlara bakıldığında kar erime mevsiminde yıllık toplam akımın yaklaşık %75'inin geldiği görülmektedir. Topoğrafik yapısından dolayı kar erimesinin etkili olduğu bir akım rejimine sahip olan havza güneyde Sultan Dağları ile sınırlanmıştır. 62,9 km² alana sahip havzanın güneyinde dağların yüksekliği 2544 metreye kadar ulaşmakta ve ortalama yüksekliği 1824 m'dir. Maksimum rölyef değeri 1351 m olan havzada yükseklik kısa mesafede (havza uzunluğu 10,8 km) büyük oranda düşmektedir. Havza alanının %88'inin eğimi %15'den büyüktür. Eğimi oldukça yüksek olan havzanın ortalama eğim değeri %34, ana akarsu kolu eğimi %5,8 ve hakim bakışı kuzey yönündedir. En uzun akış yolu uzunluğu 13,8 km olan havza, jeolojik

ve litolojik formasyon bakımından incelendiğinde ise, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) verilerine göre neredeyse tamamının Paleozoik zaman döneminde ve metamorfik kayalardan oluştuğu görülmektedir. Havzanın arazi örtüsü yaklaşık yarı yarıya ormanlık ve çıplak alanlardan oluşmakla birlikte az bir miktar otlak alan mevcuttur.



Şekil 1:

Çay deresi havzası coğrafi konumu ve hidro-meteoroloji istasyonlarının yerleri

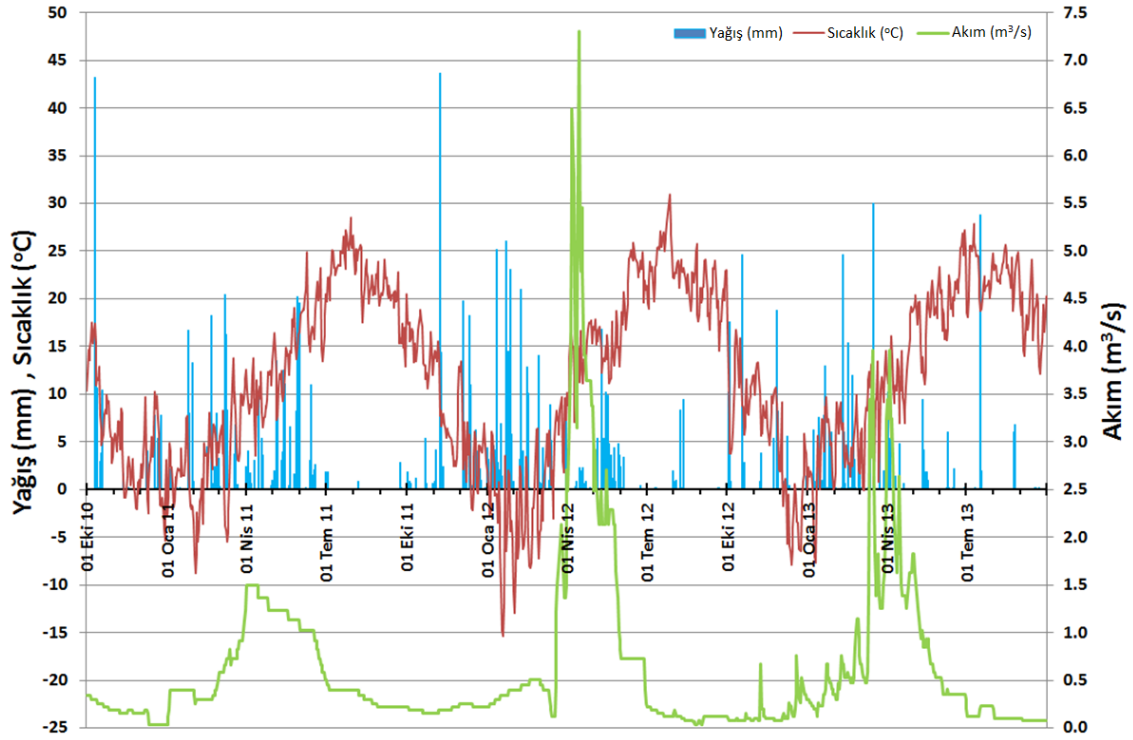
Meteoroloji Genel Müdürlüğünden (MGM) alınan verilere göre uzun yıllar ortalama hava sıcaklığı $11,4^{\circ}\text{C}$ olan havzanın uzun yıllar ortalama toplam yağışı 520 mm ve ortalama açık yüzey buharlaşması 1030 mm mertebelerindedir. Aylık ortalama yağış kış ve ilkbahar aylarında yaklaşık 60 mm iken, sırasıyla yaz ve sonbahar aylarında yaklaşık 20 mm ve 40 mm'dir. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) verilerine göre (1986-2013) ortalama debisi $0,6\text{ m}^3/\text{s}$ olan Çay Deresinde 13.06.1997 tarihinde $27\text{ m}^3/\text{s}$ ile anlık en büyük akım değeri gözlenmiştir (DSİ, 2020).

2.2. Kullanılan Veriler

Hidrolojik modelleme için Tablo 1'de bilgileri sunulan istasyonların verileri kullanılmıştır. 2011-2013 su yılları arasında gözlenmiş akım, yağış ve sıcaklık verileri (Şekil 2) günlük zaman ölçeğinde; uzun yıllar gözlenmiş buharlaşma verisi ise aylık olarak ele alınmıştır.

Tablo 1. Hidro-meteorolojik gözlem istasyon bilgileri

| İstasyon no | İstasyon adı | Gözlem verisi | İşleten kurum | Rakım (m) | Koordinat |
|-------------|--------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| D11A021 | Çay | Akım | DSİ | 1157 | 38:32K-31:01D |
| 17793 | | Yağış, Sıcaklık | MGM | 1020 | 38:35K-31:01D |
| 11-002 | Koçbeyli | Buharlaşma | DSİ | 1065 | 38:27K-30:55D |
| 11-007 | Cankurtaran | | | 1525 | 38:16K-31:24D |
| 11-009 | Maltepe | | | 1000 | 38:36K-30:55D |
| 11-012 | Eber | | | 975 | 38:37K-31:08D |
| 17796 | Bolvadin | | 1018 | 38:43K-31:03D | |
| 17830 | Akşehir | | 1010 | 38:21K-31:25D | |



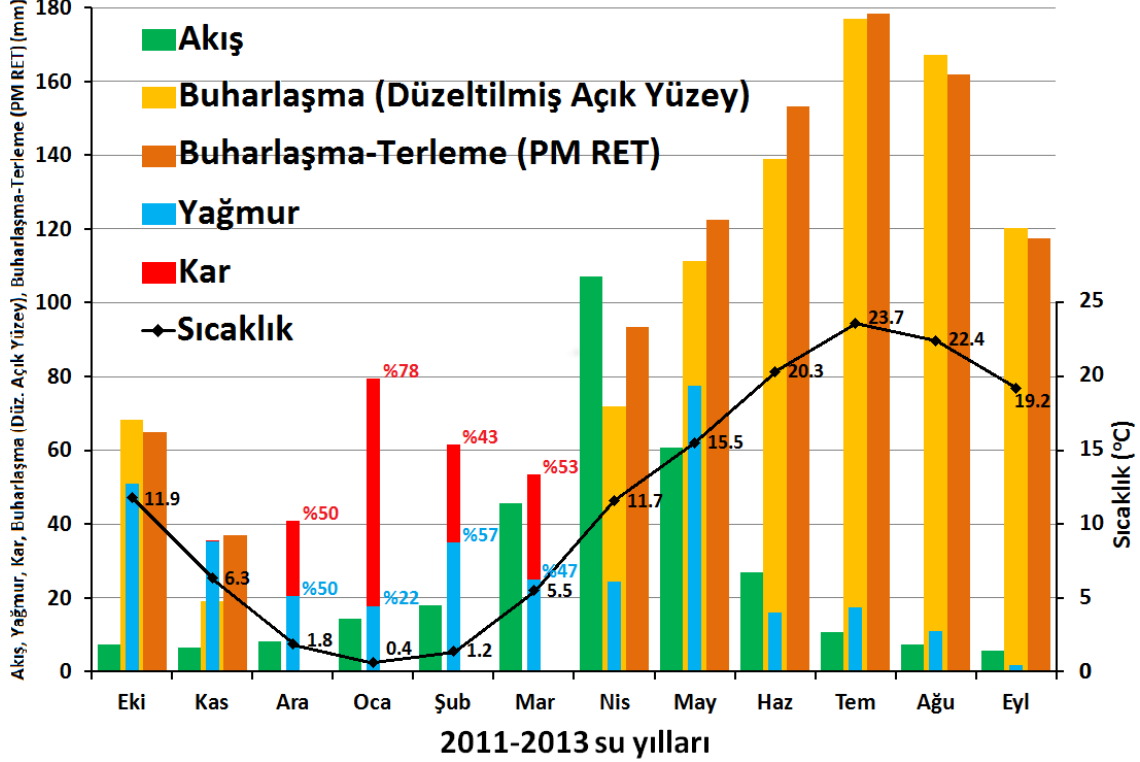
Şekil 2:
Günlük hidro-meteorolojik gözlem verileri

Yağış ve sıcaklık verileri modelin ana girdileri iken, gözlenen akım verisi modeli kalibre etmek ve performansını ölçmek için kullanılmıştır. Hidrografa bakıldığında 2011 su yılında diğer yıllara kıyasla oldukça düşük akımların olduğu ve tüm yıllarda kar erimesinin Mart-Haziran ayları arasında akım üzerindeki önemli etkisi görülmektedir. Uygulama havzasında 2011-2013 su yılları arasında maksimum yağışın yaklaşık 45 mm olarak gözlemlendiği ve sıcaklığın da yıl boyunca -15 °C ile 30 °C arasında seyrettiği görülmektedir.

Günlük yağış ve sıcaklık zaman serilerinin yanında Çay Deresi havzasına yakın ve coğrafi benzerlik gösteren alanlarda bulunan 6 meteoroloji istasyonunun (Şekil 1 ve Tablo 1) uzun yıllar gözlenmiş aylık A sınıfı tava buharlaşması (açık yüzey buharlaşması) verilerinin ortalaması kullanılmıştır. FAO (1977) kılavuzunda önerildiği gibi açık yüzey buharlaşması tava katsayısıyla düzeltilerek havzanın referans evapotranspirasyonu (RET) hesaplanmış ve modele aylık potansiyel evapotranspirasyon (PET) verisi olarak girdi verilmiştir. Tava katsayısı elde edilirken açık yüzey buharlaşması ve IWMI (International Water Management Institute) küresel iklim modeli (IWMI, 2020) Penman-Monteith (PM) RET verisi arasındaki ilişkiden yararlanılmıştır. Açık yüzey buharlaşması ve IWMI PM RET arasında doğrusal regresyon ($y=0,7239x$; $R^2=0,94$, $RMSE=12$ mm) kurularak tava katsayısı 0,7 olarak belirlenmiştir. IWMI küresel iklim modeli (Dünya Su ve İklim Atlası), dünya genelinde meteoroloji istasyonlarından (1961-1990 periyodu) elde edilen veriler temelinde, belirli iklim değişkenlerini (yağış, sıcaklık, nem, PM RET, güneşlenme süresi ve rüzgar hızı) aylık olarak tarım ve su kaynakları yönetimi için servis etmektedir. Düzeltilmiş açık yüzey buharlaşması, IWMI PM RET verisi ile karşılaştırılmış (Şekil 3) ve bu şekilde doğrulanarak güvenilirliği ortaya konmuş verinin kullanımının uygun olduğu düşünülmektedir.

Havzanın uygulama periyodu aylık hidro-meteorolojik durumu (Şekil 3) incelendiğinde, Aralık-Mart ayları arasında yağışın çoğunlukla kar yağışı olarak gerçekleştiği, aylık ortalama sıcaklık değerlerinin Mart ayından itibaren artmasıyla kar erimesini başlattığı ve Nisan-Mayıs aylarında büyük miktarda kar erimesinin akışı etkilediği görülmektedir. Düzeltilmiş açık yüzey

buharlaştırması ve IWMI PM RET ise sıcaklıkla doğru orantılı olarak havzada Nisan-Kasım ayları arasında gerçekleşmektedir. Ayrıca Mayıs ayında ıslak erime açısından önemli miktarda bahar yağmurlarının oluştuğu ifade edilebilir.



Şekil 3:
Çay Deresi havzası hidro-meteorolojik durumu

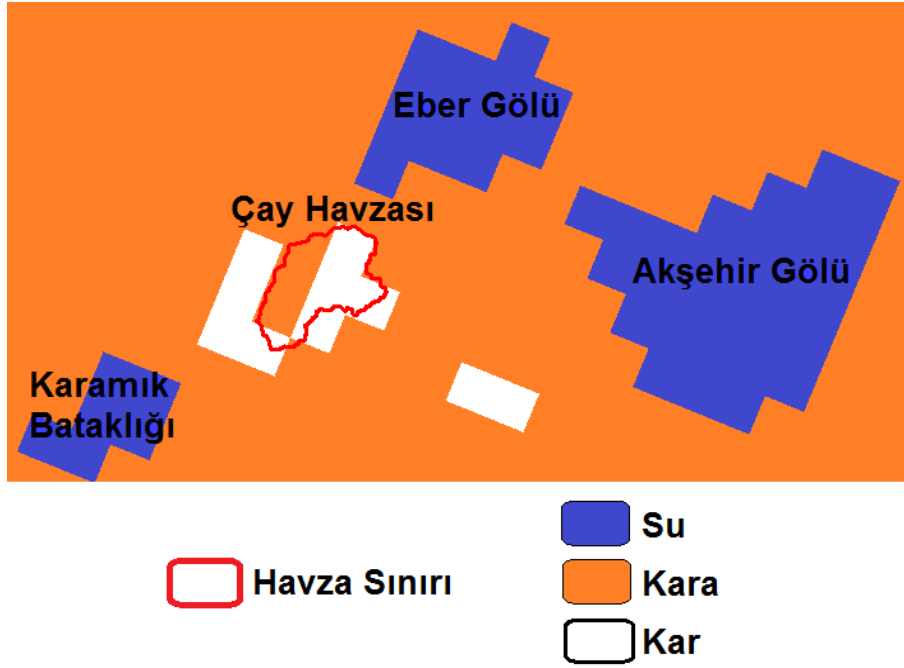
Bu çalışmada CN haritasının türetilmesi de dahil bir çok ön hazırlık çalışması CBS platformunda gerçekleştirilmiş ve CBS yazılımı olarak ESRI (Environmental Systems Research Institute) tarafından geliştirilen ArcGIS programı kullanılmıştır. Havzanın hidrolojik ilişki ve etkileşimlerini ortaya koyması açısından önemli olan havza karakteristiklerinin CBS ile analiz edilerek altlık oluşturulması, hidrolojik modele girilmesi gereken verilerin bir kısmının doğrudan veya dolaylı olarak elde edilmesini sağlamaktadır. Havzanın daha iyi tanınmasını sağlayan CBS aracı, birçok uluslararası kurumun CBS ortamında sunulan veri tabanlarının kullanılması ve modele dahil edilmesi aşamasında da çok fayda sağlamaktadır. Bu çalışmada da birtakım konumsal veriler çeşitli veritabanlarından elde edilmiştir. Sayısal yükseklik modeli (DEM) verisi, su kaynakları ile ilgili çalışmalarda eğim ve bakı haritalarının, vadi tabanları ve sırtlarının, drenaj ağları özelliklerinin havza ve/veya alt havza bazında belirlenmesinde kullanılmaktadır. Havzanın tanımlanması ve model altlığının oluşturulması için DEM olarak SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) veri tabanından (SRTM, 2020) temin edilen konumsal çözünürlüğü yaklaşık 90 m (3 ark saniye) olan yükseklik verisi kullanılmıştır.

Havzanın CN değerinin belirlenebilmesi için arazi örtüsü ve hidrolojik toprak grubu (HTG) katmanlarına ihtiyaç olduğundan, arazi örtüsü katmanı olarak EEA (European Environment Agency) tarafından oluşturulan 100 m konumsal çözünürlüğe sahip CORINE 2012 verisi (Copernicus Land Monitoring Service, 2020) kullanılmıştır ve uygun şekilde sınıflandırılarak birleştirilmiştir. USDA (US Department of Agriculture) (1951) tarafından CN değerinin tespit edilmesi için HTG belirlenmiştir. HTG katmanı, USDA (1986) raporuna göre zemin türüne ve sızma miktarına göre oluşturulmuştur. HTG katmanını oluşturmak için kullanılan zeminin kil, kum ve silt oranları, yaklaşık 250 m (9 ark-saniye) konumsal çözünürlüğe sahip SoilGrids veri

tabanından (SoilGrids, 2020) alınmıştır. SoilGrids, ISRIC (International Soil Reference Information Centre) tarafından 2014 yılında geliştirilen küresel ölçekli grid yapılı kamusal zemin bilgi sistemidir. Noktasal zemin profil verilerinin ve uzaktan algılama tabanlı çevresel katmanların (iklim, arazi örtüsü ve morfolojisi) derlemesi temelinde sayısal zemin haritalaması veri tabanıdır. Yapay zeka yöntemlerini kullanarak modellenen zeminin kimyasal-fiziksel özelliklerinin ve tahmin belirsizliklerinin konumsal dağılımını 7 standart derinlik için 1 km ve 250 m çözünürlükle sunmaktadır. Ek olarak zemin sınıflandırma dağılımları da mevcut olan SoilGrids veri tabanı 10 katlı çapraz geçerlilik testi ile doğrulanmıştır (Hengl ve diğ., 2017; SoilGrids, 2020).

Zeminin kil, kum ve silt oranları için 0-5-15-30-60-100-200 cm derinliklerdeki ağırlıksal yüzde cinsinden SoilGrids veri tabanında sunulan değerlerin ortalaması hesaplanmıştır. USDA (1986) çalışmasına göre HTG A sınıfına giren kumlu zeminlerde (sızma hızı: >7,62 mm/sa) geçirimsizlik çok yüksek, HTG B sınıfına giren siltli zeminlerde (sızma hızı: 3,81-7,62 mm/sa) geçirimsizlik yüksek, HTG C sınıfına giren kumlu kil zeminlerde (sızma hızı: 1,27-3,81 mm/sa) geçirimsizlik orta, HTG D sınıfına giren killi zeminlerde (sızma hızı: <1,27 mm/sa) geçirimsizlik çok düşük olarak belirtilmiştir.

Uygulama havzasında kar etkin bir hidrolojik faktör olduğundan, akımın yanında kar çıktısı ile de modelin içsel tutarlılığı değerlendirilmiştir. Model kar çıktısı olarak kar su eşdeğeri (KSE) vermektedir. KSE, kar kütlesi eridiğinde oluşturacağı su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Ölçüm verisi kısıtlı dağlık bir havza olan çalışma alanında yer KSE ölçümü bulunmamaktadır. Uydu KSE verilerinin de yer gözlemleri ile tutarlılıkları uydu kar kaplı alan (KKA) verilerine göre daha düşüktür. Bu nedenle model KSE, uydu KKA verisiyle karşılaştırılmıştır. HEC-HMS doğrudan bir KKA çıktısı vermese de KSE-KKA ilişkisinden ($KSE > 0$ mm ise kar vardır) yararlanılarak karşılaştırma yapılması mümkündür. Uydu KKA verisi olarak 4 km konumsal çözünürlüğe sahip IMS (Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System) kar ürünleri (Şekil 4) kullanılmıştır. IMS, NOAA/NESDIS tarafından sağlanan çoklu uydu kar-buz haritalama sistemidir. Kuzey yarım küre için 1997-2004 yılları arasında 24 km konumsal çözünürlüklü günlük veri sağlayan IMS, 2004-2014 arası 4 km, 2014 sonrası ise 1 km çözünürlüğünde günlük KKA verisi sunmaktadır. Çok çeşitli uydu görüntülerinin (MODIS, AVHRR-VIS, POES, GOES, SEVIRI, MTSAT, AMSU-A, SAR, SSM, VIIRS) yanı sıra yer gözlemleri içeren IMS verisinde gece ve/veya bulut örtüsünden kaynaklı boşluklar, pasif mikrodalga uydu verisi kullanılarak tamamlanmaktadır (National Ice Center, 2008; NOAA NESDIS, 2019).



Şekil 4:
IMS kar kaplı alan haritası (18 Nisan 2012)

2.3. HEC-HMS SCS CN Modeli

Model hazırlık aşamasında zaman serilerinin derlenmesi, düzenlenmesi, işlenmesi, karakteristik yapısının incelenmesi ve etkileşimlerinin irdelenmesinden sonra, ArcGIS ve HMS arasında bir geçiş modülü olan HEC GeoHMS kullanılarak CBS altlığı oluşturulmuş ve bu altlık HMS modeline aktarılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan HMS SCS CN modeli sızmanın temsil edilmesi için arazi örtüsü ve toprak tipinin kombinasyonu ile belirlenen bir parametre olan CN değerini kullanmaktadır. Model yağış, toprak cinsi, arazi kullanımı ve geçmiş toprak neminin bir fonksiyonu olarak toplam sızmayı hesaplamakta ve yağıştan dolaysız yüzey akışı, yani artık yağışı, tahmin etmektedir (USACE, 2000). Havza CN değeri, akış ya da sızma tahminleri için kullanılan ampirik bir parametredir. CN değeri, havzanın HTG, arazi kullanım yapısına, bitki örtüsüne ve yağışın başlangıcındaki nem miktarına bağlı olarak potansiyel akımı gösteren bir veridir. CN değeri 0-100 arasında değerler alabilir ve havzanın CN değerinin düşük olması havzada düşük akış potansiyelinin (yüksek geçirimsizlik), yüksek olması da yüksek akış potansiyelinin (düşük geçirimsizlik) olduğunu göstermektedir (USDA, 1951). Arazi kullanım ve HTG kombinasyonlarına göre CN değerleri hesaplanmaktadır (USDA, 1972). Havzada farklı arazi kullanımı ve HTG şartları mevcut olduğundan havzanın kompozit CN değeri, alan oranları kullanılarak bütün havzayı temsil edecek şekilde bulunmaktadır (Denklem 1). Tümsel CN hesaplanırken geçirimsiz alanlar dahil edilmemelidir, çünkü modele geçirimsiz alan yüzdesi girilerek bu alanlarda yağışın doğrudan yüzeysel akışa geçmesi sağlanmaktadır (USDA, 1986). Denklemde A, CN poligon alanını ve N, CN poligon sayısını göstermektedir.

$$CN = \frac{\sum_{i=1}^N (CN_i A_i)}{\sum_{i=1}^N A_i} \quad (1)$$

CN değerleri, ortalama nem durumu (Antecedent Moisture Condition-AMC) içindir. Yağmur sırasında toprağın kuru veya yaş olmasına bağlı olarak farklı AMC değerleri oluşur ve

CN değeri buna göre değişir. AMC değeri, 5 gün önceki yağış verilerine bağlı olarak belirlenmiş olup bunun için üç temel kategori (kuru toprak, ortalama koşullar ve ıslak toprak) ortaya konmuştur (Hjelmfelt, 1982). Küçük havzalarda uygun sonuçlar veren SCS CN yağış-akış modeline göre akış yüksekliği yağış ve havza CN değerine bağlı olarak oluşturulmuş ampirik bir formülle aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir (USDA, 1972). S (mm), havzanın potansiyel maksimum su tutma yüksekliğini; P_e (mm), etkili yağış yüksekliğini; P (mm), yağış yüksekliğini ve I_a (mm), başlangıç su kaybını göstermektedir.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (2)$$

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (3)$$

Oldukça basit olan modelin kavramsal yapısında, yağış değeri başlangıç sızma miktarını aşana kadar artık yağış ve dolayısıyla yüzeysel akış oluşmamaktadır. SCS birçok küçük deneysel havzalardan elde edilen sonuçların analiziyle başlangıç su kaybı ve havza potansiyel maksimum su tutma kapasitesi arasında aşağıdaki ampirik ilişkiyi geliştirmiştir (USACE, 2000).

$$I_a = 0,2S \quad (4)$$

Modelin geçerliliği ve doğruluğu, gözlem-model verileri arasındaki ilişkinin gücü ve hataların analizi ile değerlendirilmektedir. Gözlem verileri ile model çıktılarının grafiksel, matematiksel ve istatistiksel olarak karşılaştırılması yoluyla model performanslarının ölçülmesi gerekmektedir. Model performans kriterleri başka modellerle karşılaştırma için de kullanılırlar. Bu çalışmada aşağıda formülleri verilen NSE (Nash ve Sutcliffe, 1970), RMSE ve MAE model uygunluk ölçütleri kullanılmıştır. $-\infty$ ve 1 aralığında değerler alabilen NSE değerlerinin performans derecelendirmesi 0,50'den küçükse "yetersiz"; 0,50-0,65 arası "yeterli"; 0,65-0,75 arası "iyi" ve 0,75-1,00 arası "çok iyi" olarak sınıflandırılmaktadır (Moriasi ve diğ., 2007). Hata terimlerinin sıfıra yakın olması ise, modelin iyi ve güvenilir olduğunu gösterir. RMSE hataların standart sapması iken MAE mutlak hataların ortalamasıdır. N, gözlem sayısı; Q_g, gözlenen akım miktarı (m³/s); Q_m, modellenen akım miktarı (m³/s) ve \bar{Q}_g gözlenen akım değerlerinin ortalaması olmak üzere performans kriterlerinin denklemleri aşağıda sunulmuştur.

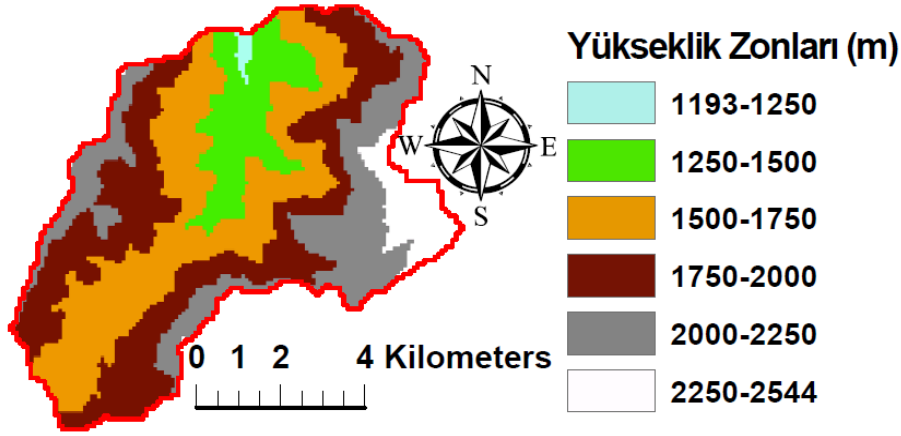
$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})^2}{\sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - \bar{Q}_g)^2} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Q_{g,i} - Q_{m,i})^2} \quad (6)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |Q_{g,i} - Q_{m,i}| \quad (7)$$

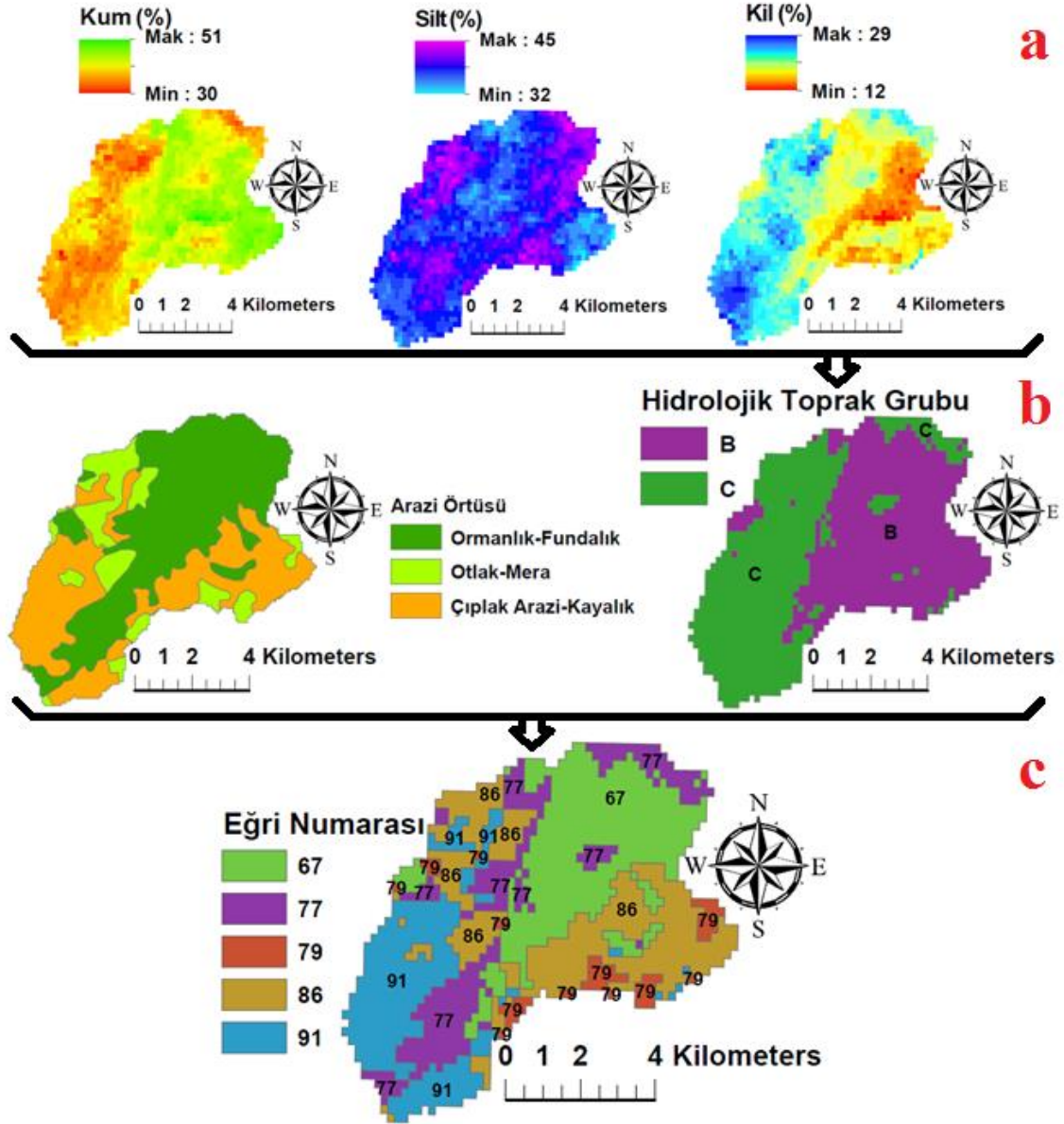
3. BULGULAR VE İRDELEME

Model hazırlık çalışmalarında, CBS platformunda DEM verisinden ve türetilen katmanlardan yüzey-hidroloji analizleri ile çeşitli havza karakteristikleri (alan, yükseklik, havza ve akarsu eğimi, bakı, arazi örtüsü, zemin içeriği, yükseklik zonları) elde edilmiş ve hidrolojik tepki açısından incelenmiştir. Çalışma alanı, topoğrafik yapısından dolayı kar hidrolojisinin etkin olduğu dağlık bir havza olduğundan kar erime modellemesi oldukça önem arz etmektedir. Kar erime-biriktirme algoritması olarak sıcaklık indeks (derece-gün) yöntemi kullanılmıştır. Sıcaklığın düşey değişimini yansıtmak için havza yükseklik aralıklarına göre sınıflandırılmış, yükseklik zonlarına (Şekil 5) ayrılmış ve her bir zonun alansal yüzdesi kar erime-biriktirme modeli için hesaplanmıştır. Havza alanının yaklaşık %90'ı 1500 m üzerinde yüksekliğe sahiptir. Eşik ve taban sıcaklık değerleriyle zonlara göre yağış türü ve kar erime-biriktirmesi, meteoroloji gözlem istasyonu yüksekliğinden ilgili zonun ortalama yüksekliğine -yüksekliğin artmasıyla atmosfer sıcaklığının azalma miktarı olarak tanımlanan- düşey sıcaklık gradyanı (lapse rate) ile ölçülen sıcaklığın indirgenmesi yoluyla modellenmiştir.



Şekil 5:
Yükseklik zonları (hipsometrik harita)

Havza CN değerinin hesaplanabilmesi için önce arazi örtüsü katmanı uygun şekilde sınıflandırılarak birleştirilmiştir. Havzanın arazi örtüsüne bakıldığında insan etkisinde yapay bir unsur bulunmamaktadır. Arazi örtüsü değişiminin akım üzerinde önemli etkisi söz konusu olduğundan, Çay Deresi havzasında kentsel ya da endüstriyel yerleşimin olmaması durumu model parametrelerinin geçerliliği açısından önemlidir. CN hesaplaması için daha sonra HTG katmanı incelenmiştir. Zeminin kum, silt ve kil içeriklerine göre havzanın HTG haritası geçirimsizliğin yüksek (B) ve orta (C) olduğu iki sınıf olarak elde edilmiştir. Havzanın %51'i HTG B, %49'u ise HTG C sınıfına girmektedir. Havzanın arazi örtüsü ve HTG katmanlarının kombinasyonları dikkate alınarak havza CN haritası konumsal dağılımlı olarak elde edilmiştir (Şekil 6). Havza ortalama CN değeri 79,5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6:

a. Zeminin kum, silt ve kil içerikleri (%) b. Arazi örtüsü ve HTG katmanları c. CN haritası

Hidrolojik sürecin modellenmesi; ana çıktı akım, temel girdiler ise yağış ve sıcaklık olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. Havza ve meteorolojik modellerin ana gövdesini oluşturduğu HMS modeli çalışma alanına uygulanırken, kayıp yöntemi olarak SCS CN, yağış-akış dönüşüm yöntemi olarak Clark birim hidrograf ve taban akışı yöntemi olarak doğrusal hazne kullanılmıştır. Modellemede bitki su tutması ve yüzeysel su biriktirmesi de dikkate alınmıştır. Clark birim hidrograf yönteminde kullanılan toplanma süresi Kirpich denklemi (Kirpich, 1940) ile hesaplanmıştır. Meteorolojik modellerin ana girdisi günlük yağış ve sıcaklık zaman serileri olup ayrıca aylık ortalama PET verisi de modele girdi edilmiştir. Uygulama havzası dağlık bir alan olduğundan, meteorolojik modelin en önemli unsuru kar erime-biriktirme algoritmasıdır. Son olarak girdi verilerinin ve parametrelerin modele girilmesiyle model çalıştırılmıştır. Yağış, sıcaklık ve PET değerlerinin modele girilmesiyle, model tüm havza için yüzeysel ve yeraltı suyu akışını, bitki örtüsü ve sızma kaynaklı kayıpları ve kar su eşdeğeri hesaplamaktadır.

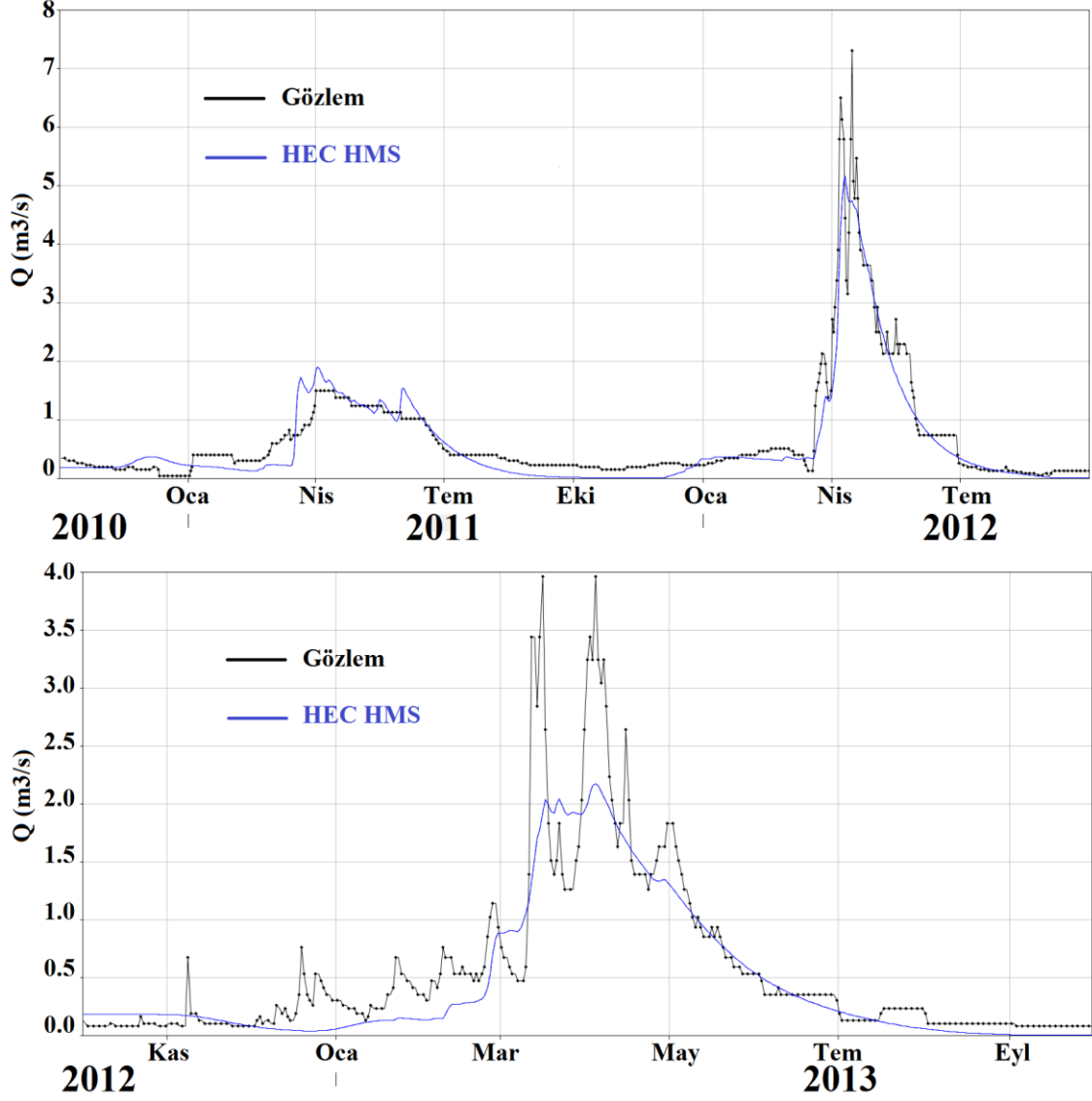
Modelleme aşaması; kalibrasyon ve validasyon olarak iki parçaya ayrılan veri setine uygulanmıştır. Akım gözlem istasyonunda 2014 Mayıs ayından sonra gözlem verisi bulunmadığından ve modelin güncel olmasını sağlamak amacıyla 2011 ve 2012 su yılları kalibrasyon; 2013 su yılı da validasyon için kullanılmıştır. Kalibrasyon ve validasyon periyotları akım gözlem veri setlerinin homojenliği çeşitli tanımlayıcı istatistiklerle (minimum-maksimum, ortalama, medyan, standart sapma, varyans, çarpıklık-basıklık) kontrol edilmiştir. Kalibrasyon periyodunda modellenen ve gözlenen akım değerleri karşılaştırılarak model parametreleri ayarlanmış (Tablo 2) ve bu şekilde model geliştirilerek kalibre edilmiştir. Hidrolojik model parametrelerindeki değişimin modele etkileri araştırılmış (hassaslık analizi) ve parametreler makul bir aralıkta optimize edilmiştir. Parametre tahmininde hidrolojik benzer havzalardan ve literatürden (USACE, 2000; Sorman ve diğ., 2020) yararlanılarak başlangıç değerleri girilmiş, sonrasında hidrolojik döngü açısından mantıksal değerler HMS bünyesinde bulunan manuel (deneme-yanılma yöntemi) ve otomatik (tek değişkenli gradyan ve Nelder Mead yöntemleri) optimizasyon teknikleri ile amaç fonksiyonu (NSE) için kalibre edilmiştir.

Tablo 2. Model parametreleri

| Hesaplama yöntemleri | Parametreler | Değer |
|---|--|-------|
| Bitki su tutması (Basit kanopi) | Başlangıç biriktirmesi (%) | 30 |
| | Maksimum su tutma kapasitesi (mm) | 45 |
| | Bitki katsayısı | 0,45 |
| Yüzeysel biriktirme (Basit yöntem) | Başlangıç biriktirmesi (%) | 80 |
| | Maksimum biriktirme kapasitesi (mm) | 25 |
| Kayıp yöntemi (SCS CN) | Başlangıç sızma miktarı (mm) | 0 |
| | CN | 79,5 |
| Dönüşüm fonksiyonu (Clark birim hidrograf) | Toplanma süresi (sa) | 0,76 |
| | Biriktirme katsayısı (sa) | 665 |
| Taban akışı yöntemi (Doğrusal hazne) | Yer altı suyu başlangıç debisi (m ³ /s) | 0,18 |
| Kar erime biriktirme algoritması (Sıcaklık indeks yöntemi) | Eşik sıcaklık (°C) | 2,50 |
| | Taban sıcaklık (°C) | 0,95 |
| | Islak erime (mm/ °C-gün) | 1,8 |
| | Yağmur sınırı (mm/gün) | 3,75 |
| | Donma sınırı (mm/gün) | 1,50 |
| | Yer erimesi (mm/gün) | 0,17 |
| | Düşey sıcaklık gradyanı (°C/1000 m) | -7,45 |
| Yağış indeksi (mm) | 10 | |

Validasyon aşaması kalibre edilen modelin bağımsız bir veri setiyle doğrulaması ve sınanması anlamına gelmektedir. Kalibrasyon sürecinde belirlenen model parametreleri kullanılarak HMS modeli validasyon veri seti için çalıştırılmış ve modelin doğrulaması gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon ve validasyon periyotlarına ait modellenen ve gözlenen hidrograflar aşağıda verilmiştir (Şekil 7). Akımlar karşılaştırıldığında modelin akış hacmini ve yıllık maksimum akımları oldukça iyi tahmin ettiği; ancak düşük akımları, lokal pikleri ve çekilme eğrilerini pek iyi simüle edemediği ifade edilebilir. Maksimum akımlara bakıldığında 2011 yılı hariç modelin düşük tahmin ürettiği görülmektedir. Ayrıca, yağışa hidrolojik tepki verme açısından model incelendiğinde oldukça iyi olarak nitelenebilir. Taban akışını modellemek için kullanılan doğrusal hazne yöntemi parametrelerinin kalibrasyon zorluğu ve SCS CN modelinin sürekli uygulanması durumunda hidrografın çekilme eğrisi kısmında yağışın tamamen sızma olarak değerlendirilmesinden dolayı düşük akımlar ve lokal pikler tam olarak

yakalanamamaktadır. Ek olarak, yağışın havzada iyi temsil edilememesi durumunda ise 2013 yılı örneğindeki gibi pik akımların tam olarak yansıtılamamasına sebep olabilmektedir.

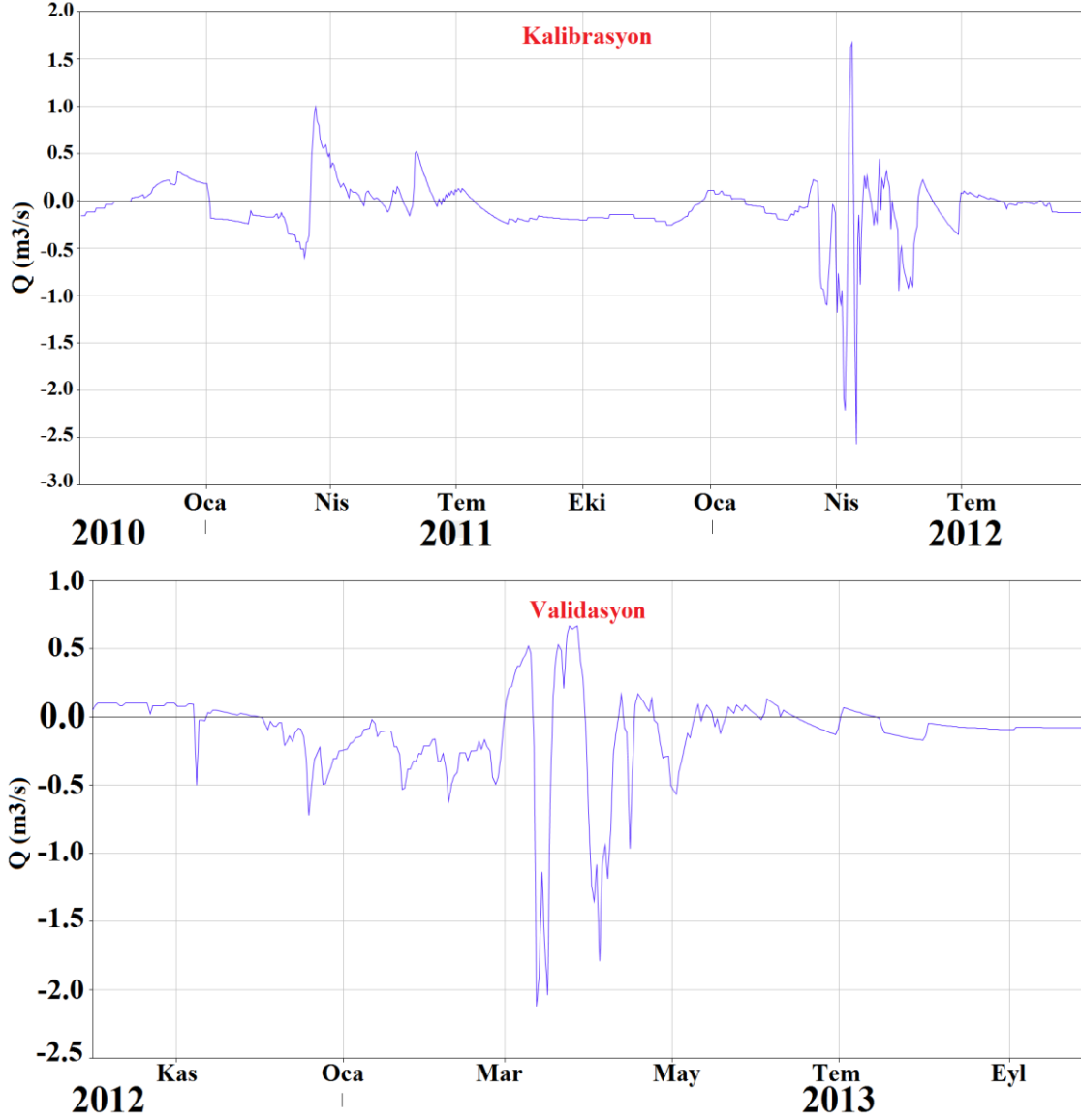


Şekil 7:
Kalibrasyon ve validasyon periyotları hidrograf karşılaştırması

Model yeterlik ve başarı ölçütleri Tablo 3'te sunulmuştur. Kalibrasyon aşamasında modelin NSE değeri 0,89 iken, validasyon aşamasında bir miktar düşerek 0,78 olarak hesaplanmıştır. RMSE ve MAE hata terimleri ise kalibrasyon ve validasyon dönemleri için yaklaşık olarak aynı değerlerde bulunmuştur. Performans kriterlerine bakıldığında modelin başarısı çok iyi olarak tanımlanabilir. Ancak, pik akımların tam olarak örtüşmemesinin, meteoroloji gözlem istasyonunun havzaya düşen yağışları çok iyi temsil edememesi kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Model ve gözlem akımları arasındaki hata değerlerinin grafiği Şekil 8'de gösterilmiştir.

Tablo 3. Model performans sonuçları

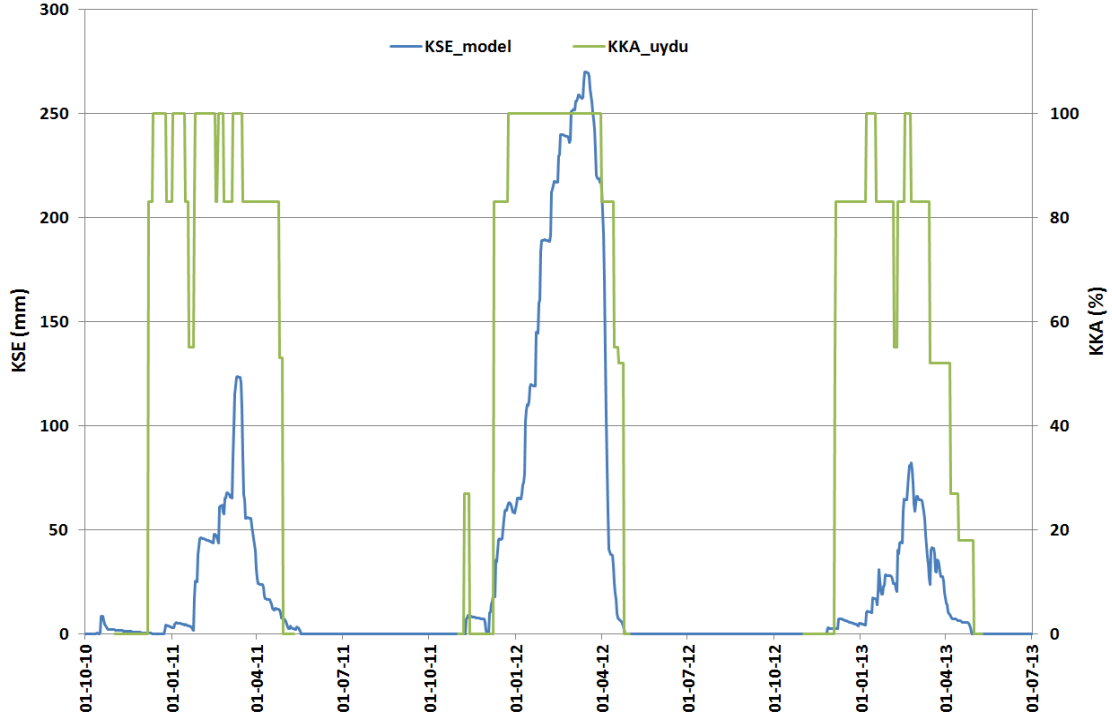
| Ölçütler | Kalibrasyon | Validasyon |
|--------------------------|-------------|------------|
| NSE | 0,89 | 0,78 |
| RMSE (m ³ /s) | 0,3 | 0,4 |
| MAE (m ³ /s) | 0,2 | 0,2 |

**Şekil 8:**

Modellenen ve gözlenen akımlar arasındaki fark değerleri

Modelin içsel sürecinin anlaşılması açısından akımın yanı sıra model KSE ve uydu KKA verileri aşağıda sunulmuştur (Şekil 9). Model KSE çıktıları yıl bazında incelendiğinde, kış aylarında yağın yağış ve hava sıcaklıkları ile uyumlu olduğu görülmektedir. 2011 ve 2013 su yıllarının maksimum KSE sonuçları yaklaşık olarak yakın değerlerde olmasına karşın, 2012 su yılında maksimum KSE diğer yılların 2-3 katından daha fazla olarak elde edilmiştir. Sıcaklıkların sıfırın altında olduğu zaman yağın yağış miktarının 2012 yılında diğer yıllara göre fazla olması (Şekil 2) bu durumu desteklemektedir. Model KSE yaklaşık olarak 30-40 mm mertebesinde

büyük olduğunda, uydu tabanlı KKA verisine göre havzanın tamamının kar örtüsü ile kaplı olduğu ifade edilebilir. Model KSE ve uydu KKA verilerinin genel olarak birbiriyle uyum içerisinde olduğu görülmektedir. Bu durum modelin akım çıktısının yanı sıra içsel işleyişinin de başarılı olduğu anlamına gelmektedir.



Şekil 9:
Model KSE ve uydu KKA grafiği

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yıllık akım hacminin büyük bir kısmının kar erimesinden kaynaklandığı dağlık ve kısıtlı ölçümü bulunan Afyonkarahisar Çay Deresi havzasında 2011-2013 su yılları arasında sürekli, kavramsal ve yarı-dağılımlı bir hidrolojik modelleme uygulaması gerçekleştirilmiştir. Model akımın yanı sıra kar çıktısı ile de irdelenmiştir. Hem kalibrasyon hem de validasyon aşamalarında modelin güvenilir ve uygulanabilir olması bakımından oldukça iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Elde edilen çalışma bulguları göstermektedir ki, HMS SCS CN modeli uygulama havzasında ve periyodunda günlük akımı yeterli performansla simüle etme yetisine sahiptir. Ancak, pik akımlar ile baz akımların simülasyonu bazı koşullarda iyi temsil edilemeyebilmektedir.

Çalışma havzası çıkışında içme-kullanma, sulama ve taşkın koruma amaçlı Çay Barajının - bölgenin en yüksek barajı- olması; havza mansabında Çay ilçesinin yer alması ve Çay Deresinin Eber gölüne dökülmesi çalışmanın önemini arttırmaktadır. Uygulama alanında -yazarların bilgisine göre- daha önce hiçbir hidrolojik modelleme çalışması yapılmamış olması ve bahsi edilen çalışmaların güvenilir bir hidrolojik model altlığına ihtiyaç duymasının çalışmayı değerli kıldığı düşünülmektedir. Yine aynı şekilde daha önce çalışma havzası için hiç kullanılmamış SoilGrids toprak veri tabanının, IWMI küresel iklim modeli RET ve IMS KKA verilerinin çalışmada kullanılması, çalışmanın özgünlüğünü arttırmaktadır. Performans sonuçlarına göre, uygulama havzasında hazne işletimi ve taşkın erken uyarısı gibi hidroloji çalışmalarında modelin kullanıma hazır olduğu ifade edilebilir. Bununla birlikte modelin daha güvenilir olması bakımından daha uzun bir periyot için test edilmesi faydalı olabilecektir.

Havza dağlık bir alan olduğundan akım büyük miktarda kar erimesinden etkilenmektedir. Modelleme aşamasında kar erime-biriktirme algoritmasının modele dahil edilmesiyle düşük olan model performansının oldukça yükselmesi de akımın üzerindeki kar erime etkisini göstermektedir. Model KSE-uydu KKA karşılaştırmasıyla da modelin içsel tutarlılığı ortaya konulmuştur. Ayrıca havzanın hakim arazi örtüsünün ormanlık olması (yaklaşık %50) bitki su tutmasının önemli miktarlarda gerçekleşmesini sağlamaktadır.

Ücretsiz olma avantajına sahip HMS modelinin diğer oldukça pahalı kavramsal ya da fiziksel tabanlı modellerle rekabet edebilecek performanslara sahip olması oldukça önemlidir. Bu açıdan bu çalışmanın benzer çalışmalara örnek olma potansiyeli barındırdığı düşünülmektedir.

Gelecek çalışmalarda HMS modelinin diğer su kaybı hesaplama yöntemlerinin Çay Deresi havzasında uygulanması ve SCS CN yöntemi ile karşılaştırılması düşünülmektedir. Ayrıca farklı uydu ürünleri ve sayısal hava tahmin verileri ile model içsel tutarlılığının ve tahmin gücünün test edilmesi planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Azmat, M., Qamar, M. U., Ahmed, S., Hussain, E., Umair, M. (2017) Application of HEC-HMS for the event and continuous simulation in high-altitude scarcely-gauged catchment under changing climate, *European Water*, 57, 77-84.
2. Bora, E., Onuşluel Gül, G. (2019) Modeling of floods in Güvenç basin, Ankara using HEC-HMS, *Turkish Journal of Water Science and Management*, 3(1), 44-47. doi:10.31807/tjwsm.429776
3. Chang, C. (2009). Application of SCS CN method in HEC-HMS in Shihmen watershed simulation of rainfall-runoff hydrologic model, *MSc Thesis*, Florida State University, USA.
4. Chu, X., Steinman, A. (2009) Event and continuous hydrologic modeling with HEC-HMS, *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(1), 119-124. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2009)135:1(119)
5. Copernicus Land Monitoring Service, CORINE Land Cover 2012, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc-2012>, Erişim Tarihi: 09.05.2020.
6. Dingman, S. L. (2002) *Physical Hydrology*, Waveland Press, Inc., USA.
7. DSİ, Su Veri Tabanı Rasatlar Bilgi Bankası, <http://svtbilgi.dsi.gov.tr/Bilgi.aspx?istasyon=D11A021%20%20C3%87AY%20%20C3%87AY%20D>, Erişim Tarihi: 22.04.2020.
8. FAO (Food and Agriculture Organization), (1977) Guidelines for Predicting Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage. Paper, 24, Rome, Italy.
9. Fleming, M., Neary, V. (2004) Continuous hydrologic modeling study with the Hydrologic Modeling System, *J. of Hydrologic Engineering*, 9(3), 175-183. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:3(175)
10. Geetha, K., Mishra, S. K., Eldho, T. I., Rastogi, A. K., Pandey, R. P. (2007) Modifications to SCS-CN method for long-term hydrologic simulation, *J. of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(5), 475-486. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437(2007)133:5(475)
11. Geetha, K., Mishra, S. K., Eldho, T. I., Rastogi, A. K., Pandey, R. P. (2008) SCS-CN-based continuous simulation model for hydrologic forecasting, *Water Resources Management*, 22, 165-190. doi:10.1007/s11269-006-9149-5

12. Grimaldi, S., Petroselli, A., Serinaldi, F. (2012) A continuous simulation model for design-hydrograph estimation in small and ungauged watersheds, *Hydrological Sciences Journal*, 57(6), 1035-1051. doi:10.1080/02626667.2012.702214
13. Gülbaz, S. (2019) Sayısal modeller ile taşkın yayılım haritasının oluşturulması ve risk altında olan alanların belirlenmesi: Türkköse deresi örneği, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 335-349. doi:10.21324/dacd.491529
14. Gyawali, R., Watkins, D. W. (2013) Continuous hydrologic modeling of snow-affected watersheds in the Great Lakes basin using HEC-HMS, *J. of Hydrologic Engineering*, 18(1), 29-39. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000591
15. Hengl, T., Mendes de Jesus, J., Heuvelink, G. B. M., Ruiperez Gonzalez, M., Kilibarda, M., Blagotić, A., et al. (2017) SoilGrids250m: Global gridded soil information based on machine learning, *PLoS ONE*, 12(2), 1-40. doi:10.1371/journal.pone.0169748
16. Hjelmfelt, A. T. (1982) Closure to empirical investigation of the curve number technique, *J. of the Hydraulics Division American Society of Civil Engineers*, 108(4), 614-616.
17. IWMI, Küresel İklim Modeli, <http://wcatlas.iwmi.org/Default.asp>, Erişim Tarihi: 22.04.2020.
18. Kirpich, Z. P. (1940) Time of concentration in small agricultural watersheds, *Civil Engineering*, 10(6), 362-368.
19. Meselhe, E. A., Habib, E. H., Oche, O. C., Gautam, S. (2009) Sensitivity of conceptual and physically based hydrologic models to temporal and spatial rainfall sampling, *J. of Hydrologic Engineering*, 14(7), 711-720. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2009)14:7(711)
20. 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, *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900. doi:10.13031/2013.23153
21. Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970) River flow forecasting through conceptual models. Part I-A Discussion of principles, *J. of Hydrology*, 10(3), 282-290. doi:10.1016/0022-1694(70)90255-6
22. National Ice Center, (2008). Updated Daily. IMS Daily Northern Hemisphere Snow and Ice Analysis at 1 km, 4 km, and 24 km Resolutions, Boulder, Colorado, USA. NSIDC: National Snow and Ice Data Center. doi:10.7265/N52R3PMC.
23. NOAA NESDIS (National Oceanic and Atmospheric Administration National Environmental Satellite, Data and Information Service), (2019). Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System Version 3 (IMS V3) Algorithm Theoretical Basis Document Draft Version 2.5, Center for Satellite Applications and Research (STAR), Maryland, USA.
24. Quader, A., Guo, Y. (2009) Relative importance of hydrological and sediment-transport characteristics affecting effective discharge of small urban streams in southern Ontario, *J. of Hydrologic Engineering*, 14(7), 698-710. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000042
25. Rathod, P., Borse, K., Manekar, V. L. (2015) Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS (case study: Tapi river, India), *20th International Conference on Hydraulics, Water Resources and River Engineering*, Roorkee, India, 17-19 December.
26. Razmkhah, H. (2016) Comparing performance of different loss methods in rainfall runoff modeling, *Water Resources*, 43(1), 207-224. doi:10.1134/S0097807816120058

27. Sardoi, E. R., Rostami, N., Sigaroudi, S. K., Taheri, S. (2012) Calibration of loss estimation methods in HEC-HMS for simulation of surface runoff (case study: Amirkabir dam watershed, Iran), *Advances in Environmental Biology*, 6(1), 343-348.
28. Sensoy, A., Uysal, G., Sorman, A. A. (2018) Developing a decision support framework for real time flood management using integrated models, *J. of Flood Risk Management*, 11(2), 866-883. doi:10.1111/jfr3.12280
29. SoilGrids, Global Gridded Soil Information, soilgrids.org, Erişim Tarihi: 22.04.2020.
30. Sorman, A. A., Tas, E., Dogan, Y. O. (2020) Comparison of hydrological models in upper Aras basin, *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, Kabul Tarihi: 18.12.2019. doi:10.5505/pajes.2019.98852 (basım aşamasında)
31. Šraj, M., Dirnbek, L., Brilly, M. (2010) The influence of effective rainfall on modeled runoff hydrograph, *J. of Hydrology and Hydromechanics*, 58(1), 3-14. doi:10.2478/v10098-010-0001-5
32. SRTM, Digital Elevation Database, <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata>, Erişim Tarihi: 22.04.2020.
33. Tassew, B. G., Belete, M. A., Miegel, K. (2019) Application of HEC-HMS model for flow simulation in the Lake Tana basin: The case of Gilgel Abay catchment, upper Blue Nile basin, Ethiopia, *Hydrology*, 6(21), 1-17. doi:10.3390/hydrology6010021
34. USACE (US Army Corps of Engineers), (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, USA.
35. USDA (US Department of Agriculture), (1951). Soil Survey Manual, Soil Conservation Service, Washington, USA.
36. USDA (US Department of Agriculture), (1972). National Engineering Handbook, Soil Conservation Service, Washington, USA.
37. USDA (US Department of Agriculture), (1986). Urban Hydrology for Small Watersheds, Natural Resources Conservation Service Technical Release 55, Washington, USA.
38. Yavuz, O., Uysal, G., Sensoy, A., Sorman, A. A., Akgun, T., Gezgin, T. (2012) Using HEC-HMS as a decision support system to minimize the downstream flooding risk in Yuvacık dam basin, *Conference on Water Observation and Information Systems (BALWOIS)*, Ohrid, Macedonia, 28 May-2 June.
39. Yilmaz, A. G., Imteaz, M. A., Ogwuda, O. (2012) Accuracy of HEC-HMS and LBRM models in simulating snow runoffs in upper Euphrates basin, *J. of Hydrologic Engineering*, 17(2), 342-347. doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000442

