



## Küçük Melen İğneler Havzası'ndaki taşkınların hidrolojik modelleme yöntemiyle (HEC-HMS) belirlenmesi

Tolga Ergül<sup>1</sup>, Olgü Aydın<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara, Türkiye, tolga\_ergul1@hotmail.com

<sup>2</sup>Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Ankara, Türkiye, oaydin@ankara.edu.tr

Kaynak Göster: Ergül, T., & Aydın, O. (2025). Küçük Melen İğneler Havzası'ndaki taşkınların hidrolojik modelleme yöntemiyle (HEC-HMS) belirlenmesi. Geomatik, 10 (1), 1–14.

DOI:10.29128/geomatik.1492923

### Anahtar Kelimeler

Yağış  
Küçük Melen İğneler Havzası  
Taşkın  
HEC-HMS

### Araştırma Makalesi

Geliş: 31.05.2024  
Revize: 06.08.2024  
Kabul: 07.08.2024  
Yayınlanma: 01.11.2024



### Öz

Taşkınların doğru modellenmesi, taşkın risklerinin yönetimi ve can-mal kaybını önleme için kritik öneme sahiptir. Çalışmanın amacı, Batı Karadeniz Bölgesi, Düzce Şehri'nin Yığılca İlçesi'nde yer alan Küçük Melen İğneler Havzası'nda, Hidrolojik Mühendislik Merkezi Hidrolojik Modelleme Sistemi (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System, HEC-HMS) modeli kullanılarak yağış-akış modeli oluşturmak ve modelin kullanılabilirliğini ve güvenilirliğini göstermektir. Bu amaçla gerekli hidrolojik bilgiler, toprak grupları, arazi sınıflandırılması ve sayısal yükseklik modelinden oluşturulmuştur. Coğrafi Bilgi Sistemleri, HEC-HMS modeli ile birleştirilerek yağış-akış modeli üretilmiştir. HEC-HMS yağış-akış modelinin kalibrasyon işlemi için 14–20 Temmuz 2019 tarihli bir saatlik akım değerleri kullanılmıştır. Yağış-akış modelinin doğruluğunu tespit etmek için NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency), PBIAS (Percentage of Bias) ve RMSE (Root Mean Square Error) model performans ölçümleri incelenmiştir. Çalışma, HEC-HMS modelinin taşkın akım değerlerini, pik seviyelerini ve zamanlamasını başarılı bir şekilde tahmin ettiğini göstermektedir. Sonuçlar, taşkın riski yönetimi ve stratejik planlama için önemli veriler sağlamaktadır.

## Determination of floods in the Küçük Melen İğneler Basin using hydrological modeling method (HEC-HMS)

### Keywords

Precipitation  
Küçük Melen İğneler Basin  
Flood  
HEC-HMS

### Research Article

Received: 31.05.2024  
Revised: 06.08.2024  
Accepted: 07.08.2024  
Published: 01.11.2024

### Abstract

Accurate modeling of floods is critically important for flood risk management and the prevention of loss of life and property. The aim of this study is to create a rainfall-runoff model using the Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) in the Küçük Melen İğneler Basin, located in the Yığılca District of Düzce City, in the Western Black Sea Region, and to demonstrate the model's usability and reliability. To this end, necessary hydrological information, soil groups, land classification, and a digital elevation model have been developed. Geographic Information Systems (GIS) have been combined with the HEC-HMS model to produce the rainfall-runoff model. For the calibration of the HEC-HMS rainfall-runoff model, hourly flow values from July 14 to 20, 2019, were utilized. The accuracy of the rainfall-runoff model was assessed using performance metrics such as NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency), PBIAS (Percentage of Bias), and RMSE (Root Mean Square Error). The study demonstrates that the HEC-HMS model successfully predicts flood flow values, peak levels, and timing. The results provide important data for flood risk management and strategic planning.

## 1. Giriş

Taşkınlar dünyada meydana gelen önemli doğal afetleri arasındadır (Amil, 2018). Toplumun ve ekonominin gelişmesi, nüfus yoğunluğundaki artış ve akarsu üzerinde ve çevresinde meydana gelen değişiklikler taşkın olaylarının sıklığını arttırmaktadır. Dünya genelinde insanların %41'i taşkınlardan etkilenmektedir, bu da taşkınları en büyük afet risklerinden biri haline getirmektedir (Cred, 2020). Tüm dünyada olduğu gibi Türkiye'de de büyük ekonomik zararlara ve can kayıplarına yol açan taşkınlar, depremlerden sonra en önemli ikinci meteorolojik afet olarak kabul edilmektedir (Demir ve ark., 2021; Demir ve Ülke Keskin, 2022; İrcan ve ark. 2024). İklim değişikliği, akarsu havzalarında yaşanan değişiklikler ve bozulmalar, dere yataklarına ve taşkın kontrol tesislerine yapılan olumsuz müdahaleler, taşkın riski taşıyan alanların farklı amaçlarla kullanılması, plansız kentleşme, kara ve demiryolu ağları ve yetersiz boyutlarda tasarlanan altyapı yapıları, taşkın felaketini ve etkilerini arttıran temel unsurlar arasında yer almaktadır (Çelik ve ark., 2012; Altunel ve Kara, 2023). Bundan başka, taşkınlar üzerinde iklim değişikliği de önemli bir etkiye sahiptir (Demir ve Ülke Keskin, 2022). İklim değişikliği, hidrometeorolojik parametrelerde önemli değişikliklere neden olmaktadır (Yılmaz ve ark., 2021). Hidrolojik döngü ve sistemleri değiştirerek su kaynakları miktarını ve kalitesini etkilemektedir. Bu değişimlerden etkilenen değişkenler arasında taşkınların şiddeti ve sıklığı da bulunmaktadır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017). İklim değişikliği etkisiyle taşkınlarda meydana gelen bir artış gözlemlenmektedir (Eisner ve ark., 2017; Gilroy ve McCuen, 2012; Milly ve ark., 2002; Sankarasubramanian ve Upmanu, 2003; te Linde ve ark., 2010). Birçok araştırmacı Küresel İklim Modeli (Global Climate Model, GCM) ve Bölgesel İklim Modeli (Regional Climate Model, RCM) üzerinde yaptığı çalışmalarda iklim değişikliği nedeniyle taşkınların etkisinin artacağını belirtmiştir (Giorgi ve ark., 2019; Kay ve ark., 2008; Winsemius ve ark., 2016). Arnell ve Gosling'in (2016) iklim modellerine göre, 2025 yılında 450 milyon insanın taşkın riski ile karşı karşıya kalacağı ve taşkın risk oranının %187'ye yükseleceği öngörülmektedir. Ayrıca, iklim değişikliğinden kaynaklı taşkınların neden olduğu yıllık ekonomik kaybın 1 trilyon dolardan 2080 yılına kadar 13.7 trilyon dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir (Winsemius ve ark., 2016). Büyüklüğü ve sıklığı bölgeden bölgeye değişiklik gösteren taşkın olayları, Türkiye'nin her köşesinde meydana gelmektedir. 1995 yılında, Ege kıyılarını etkisi altına alan şiddetli yağışlar etkisiyle İzmir ve civarı, 1998 yılında Batı Karadeniz'de Bolu, Zonguldak, Karabük, Kastamonu ve Bartın illerinde, 2006 Batman İli İluh Deresi'nde, 2007 Elazığ İli Merkezi'nde (şehir içi dereleri), 2009 İstanbul İli Ayamama Deresi'nde, 2010 Konya İli Bozkır İlçesi Çarşamba Çayı'nda, 2012 Samsun İli Yılanlı, Mert ve İncirli Derelerinde, 2014 Hatay İli Erzincan İlçesi Sarı Çay'ında, 2021 Bartın-Kastamonu-Sinop hattı boyunca, özellikle Kastamonu Bozkurt İlçesi, Ezine Çayı'nda gerçekleşen taşkınlar büyük tahribata neden olan önemli taşkınlardan bazılarını oluşturmaktadır (Altunel, 2023). Taşkın felaketinin gerçekleştiği bölgenin bitki örtüsünde,

jeolojik ve topografik niteliklerinde ve morfolojik yapısında büyük değişikliklerin olduğu gözlemlenmektedir. Bundan başka, tarım arazilerini su baskınına uğratarak mahsul kaybına neden olarak tarımsal üretimde azalmaya, yollar, köprüler ve diğer alt yapı elemanlarının zarar görmesine, konutlarda meydana gelen hasarlar ve iş gücü kaybı gibi sosyal ve ekonomik etkileri de büyüktür (Demir ve Ülke Keskin, 2022). Bu sebeple, taşkınlardan kaynaklı tahribatı azaltmak, toplumsal yapı üzerindeki etkileri en aza indirmek, alınacak önlemler ve stratejik planlamalar taşkınlar üzerine yapılacak olan çalışmaları önemli kılmakta, taşkın modelleme çalışmaları bu noktada önem kazanmaktadır. Bu bağlamda Hidrolojik Mühendislik Merkezi Hidrolojik Modelleme Sistemi (Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System, HEC-HMS) hidrolojik modeli, ulusal ve uluslararası taşkın çalışmalarında tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir. Kentsel taşkın analizi, taşkın frekans değerlendirmesi, taşkın uyarı sistemleri planlaması, rezervuar taşkın kapak kapasitesinin değerlendirilmesi ve akarsu restorasyon planlaması gibi çeşitli hidrolojik modelleme uygulamalarında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Peker ve ark., 2024). Bu alanlarda yapılan çalışmalar, su yönetimi ve altyapı planlaması açısından önemli katkılar sağlamaktadır. Diğer hidrolojik modellerle karşılaştırıldığında, özellikle Toplulaştırılmış (Lumped) hidrolojik modeller veya Dağılım (Distributed) hidrolojik modeller gibi, HEC-HMS modeli havzanın özelliklerini ve yüzey elemanlarındaki değişiklikleri dikkate alarak işlem yapmakta; bu da en belirgin özelliğini ortaya koymaktadır (Yu ve Zhang, 2023). Havzanın eğimi, fiziksel özellikleri, toprak türü, bitki örtüsü, jeolojik yapısı, arazi örtüsü ve akarsu ağı gibi karakteristikleri tanımlayarak, bu bilgileri yağış, sıcaklık, kar erimesi ve buharlaşma gibi meteorolojik değişkenlerle ilişkilendirip akış parametrelerini oluşturabilmektedir.

Literatürde bir havzanın hidrolojik özelliklerinin anlaşılmasına ve taşkın olaylarının zamanlaması, yoğunluğu ve süresi gibi kritik parametrelerin tahmin edilmesine olanak sağlayan çalışmalar mevcuttur. Oleyiblo ve Li (2010) çalışmalarında, iki farklı havza için HEC-HMS modelini kullanarak taşkın zamanını ve pik değerlerini tahmin etmişlerdir. Sonuç olarak, hem taşkın zamanını hem de yoğunluğunu doğru bir şekilde tahmin ederek modelin güvenilirliğini kanıtlamışlardır. Kaatz (2014) Uganda'nın Aşağı Manafwa Nehir Havzası'nda gerçekleştirdiği çalışmada, havzanın aşırı yağışlar nedeniyle taşkınlara maruz kaldığını ve birçok insanın ve yerleşim yerinin zarar gördüğünü vurgulamıştır. Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (Massachusetts Institute of Technology, MIT) tarafından geliştirilen Taşkın Erken Uyarı Sistemi (Flood Early Warning System, FEWS), HEC-HMS modelini kullanarak havzanın karakteristik özelliklerini ve coğrafi yapılarını belirlemiştir. Erken uyarı sistemi ile yağış, akış, akarsu ağı ve su seviyesi arasında bağlantı kurularak, sistemin güvenilirliği, uygulanabilirliği ve kalibrasyonunun doğruluğu sağlanmıştır. Sahu (2016) çalışmasında, HEC-HMS modelini kullanarak uzun vadeli yağış-akış simülasyonları gerçekleştirmiş ve bu sayede HEC-HMS modelinin etkinliğini göstermiştir. Bora (2016)

çalışması, Ankara'nın Güvenç Havzası'nda bulunan Güvenç Göleti'nin iklim değişikliği etkileri altında risk odaklı tasarımını araştırmıştır. Temsil Edici Konsantrasyon Yolu (Representative Concentration Pathway, RCP) iklim değişikliği senaryosunu kullanarak, HEC-HMS hidrolojik modeli ile gelecekteki tekrarlanan pik taşkın debilerini simüle etmiştir. Sok ve Oeurng (2016), Kamboçya'da artan su ihtiyacıyla birlikte Tonla Sap Gölü Havzası'nda HEC-HMS modelini kullanarak uzun dönemli akış simülasyonları gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın amacı, mevcut su kaynaklarını simüle ederek, su kaynaklarının yönetimini, taşkınlardan korunmayı ve kuraklık durumlarında alınması gereken önlemleri ortaya çıkarmaktır. Kocayigit ve ark. (2017), Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Kocanaz Havzası'nda, 2002 ve 2013 yıllarında meydana gelen sel olaylarının hidrolojik modelini oluşturmak için HEC-HMS modelinden faydalanmışlar ve sonuçları değerlendirmişlerdir. Younis ve Ammar (2018) çalışmasında, 2000-2010 yılları arasındaki dönemde arazi örtüsü/arazi kullanımındaki değişimin akım miktarını nasıl etkilediğini araştırmışlardır. Bu çalışmada, HEC-HMS modeli ve Toprak Koruma Servisi-Eğri Numarası (Soil Conservation Service-Curve Number, SCS-CN) akış eğri yöntemi kullanmışlardır. Çalışma alanında 10 yıllık süre içinde meydana gelen değişimler incelenmiş, orman alanlarının azaldığını ve yerleşme alanlarının %40 oranında arttığını belirlemişlerdir. Tassew ve ark. (2019) tarafından gerçekleştirilen bir çalışmada, Etiyopya'nın Yukarı Mavi Nil Havzası'nda yer alan geniş tarım alanları sık sık taşkınlara maruz kalmakta ve bu durum alanların tahribatına neden olmaktadır. Bu bağlamda, araştırmacılar HEC-HMS modelini kullanarak kritik seviyeye ulaşan akım miktarlarını ve taşkına neden olan pik değerlerini tahmin etmişlerdir. Bir başka çalışma Awash Bello Havzası'nda, Namara vd. (2020) tarafından gerçekleştirilmiştir. Havzanın aşağı kısmı taşkın ovasından meydana gelmektedir. Çalışmanın amacı, taşkınlara neden olan faktörleri belirlemek, taşkınları kontrol altına almak ve taşkın olaylarını en aza indirmektir. Bu amaç doğrultusunda, araştırmacılar HEC-HMS modelini kullanarak taşkınların hangi aylarda meydana geldiğini ve taşkın pik değerlerini elde etmişler ve modelin uygulanabilirliğini göstermişlerdir. Bu çalışmalar, HEC-HMS hidrolojik modelin güvenilirliğini ve uygulanabilirliğini destekleyen önemli bulgular sunmuştur.

Bundan başka, HEC-HMS modelinin kullanım alanları ve faydaları pek çok araştırmacı tarafından değerlendirilmiş, su mevcudiyeti, akış tahmini, taşkın risk analizleri, çevresel bozulmalara bağlı akım değerleri tahminleri, kentleşme etkisinin taşkınlara etkisi gibi pek çok taşkınlarla ilişkin çalışmalarda yaygın bir şekilde kullanıldığı gösterilmiştir (Gebre, 2015; Derdour ve ark., 2018; Torabi ve ark., 2018; Kazezyılmaz-Alhan ve ark., 2021; Daide ve ark., 2021; Ranjan ve Singh, 2022; Haddad, 2022; Yu ve Zhang, 2023).

Bu çalışma, Batı Karadeniz Bölgesi, Düzce İl'inin Yığılca İlçesi'nde yer alan taşkınların sık görüldüğü Küçük Melen İğneler Havzası'nda gerçekleştirilmiştir. HEC-HMS modeli kullanılarak, yağış-akış modeli oluşturulmuş ve taşkınların zamanlaması, yoğunluğu ve

süresi gibi kritik parametreler tahmin edilmiştir. Bu çalışma, bölgenin su kaynaklarının yönetiminde stratejik planlamalara ışık tutmayı ve HEC-HMS modelinin taşkın risk yönetimindeki etkinliğini göstermeyi amaçlamaktadır. Küçük Melen İğneler Havzası özelinde yapılan bu analiz, bölgeye özgü taşkın olaylarının karakteristiklerini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, araştırma, bölge yöneticileri ve planlamacılar için değerli bir kaynak oluşturarak, taşkınların etkilerini azaltmaya yönelik karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır.

## 2. Yöntem

### 2.1. Küçük Melen İğneler Havzası ve özellikleri

Küçük Melen İğneler Havzası, Batı Karadeniz Bölgesi'nde, Düzce İl'inin Yığılca İlçesi'nde yer almaktadır. İnceleme alanının kuzeyinde Zonguldak İli, güneyinde Bolu İli bulunmaktadır. Kuzey ve güneydeki dağ sıraları ile sınırlanmış olan Küçük Melen İğneler Havzası, üçgen bir şekle sahiptir (Şekil 1). Kretase döneminde Anadolu mikro kıtasının kuzeye doğru hareket etmesi, çalışma alanının bu morfolojik yapıya sahip olmasına neden olmuştur (Şengün, 2006). Batı Karadeniz Havzası, Batı Pontitler'den oluşmaktadır. Eosen-Miyosen dönemlerinde, Anadolu Kıtası'nın Pontitler'e yaklaşması ve Tetis Denizi'nin kapanması, her iki levhanın birbirine kenetlenmesine yol açmıştır (Erendil, 2003; Şengün, 2006). Çalışma alanı ve Karadeniz boyunca uzanan dağ sıralarının şekli, bu kıta hareketlerine bağlıdır. Küçük Melen İğneler Havzası'nın kuzeyinde yer alan Akçakoca Dağ sırası antiknal bir yapıya sahip olup, yükselti değerleri minimum seviyededir. Ayrıca, güneyde Bolu Dağları uzanmaktadır (Şekil 1). Havza her iki antiknal arasında kalmakta ve seklinal bir şekilde uzanım göstermektedir. Bu seklinal yapı, Düzce-Yığılca-Devrek boyunca uzanmaktadır. Ancak, bu seklinalin büküm yaptığı Küçük Melen İğneler Havzası'nın kuzeydoğu ucu, 1200 m yüksekliğindeki bir eşik değeri ile ayrılmaktadır. Çalışma alanında yer alan ve Boğabel Tepesi'nin altında uzanan kuaesta sırtı, önemli bir yapıya sahiptir ve Küçük Melen İğneler Havzası'nın güney kesimini oluşturmaktadır.

Küçük Melen İğneler Havzası'nın %15'i düzlük, %24'ü hafif eğimli, %23'ü orta eğimlidir. Havzanın toplamda %62'si ideal bir eğim derecesine sahipken, %32'si göreceli olarak dik bir yapı sergilemektedir. Eğimin az olduğu yerlerde, suyun akış hızı yavaşladığı ve su daha hızlı biriktiği için taşkın riski yüksektir (Oğuz ve ark., 2022). Çalışma alanının ideal bir eğime sahip olması, toprak erozyonunun azalmasına ve ekstra hava olayları sırasında düşen yağışın doğrudan akarsulara katılımının engellenmesine yardımcı olmaktadır. Bu durum, taşkın zamanını ve büyüklüğünü de etkilemektedir.

290 km<sup>2</sup>'lik drenaj alanıyla Küçük Melen İğneler Havzası, orta büyüklükte bir havza olarak sınıflandırılmaktadır. Havzada toplanan akarsu, Küçük Melen Çayı olarak adlandırılmaktadır (Şekil 1). Küçük Melen Çayı, Yığılca Depresyonu boyunca Düzce Ovası'na doğru akmaktadır. Bu ovada Düzce İli bulunmaktadır. Düzce İl'ine ulaşan Küçük Melen Çayı, burada bir dirsek yaparak Büyük Melen Çayı'na katılmaktadır. Büyük

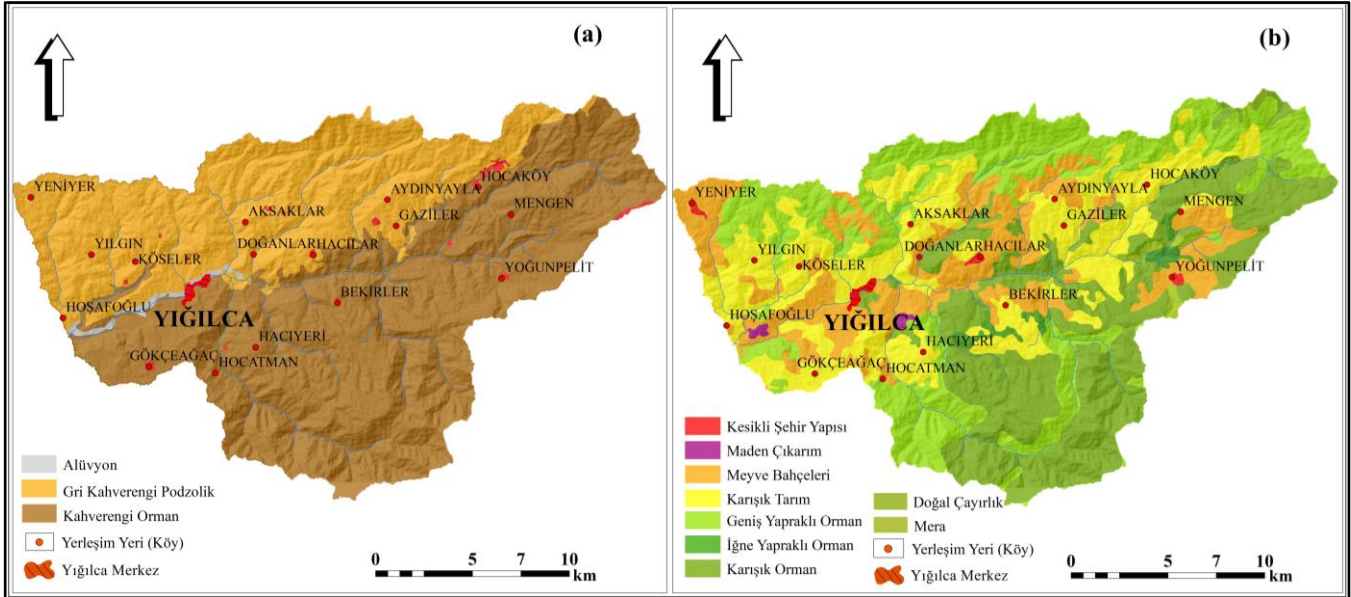


3/1'lik bölümünü oluşturmaktadır. Bu toprak grubunun görülmesindeki en temel etken, çalışma alanının Karadeniz kıyılarına açık ve yakın olmasıdır. Diğer toprak grubu olan Kahverengi Orman Toprağı, çalışma alanının 3/2'lik kısmını oluşturmaktadır. Bu toprak grubu, çalışma alanının güney kesimlerinde daha geniş bir alana yayılmaktadır. Bu durumun nedeni, bu alanın Karadeniz'den gelen nemli ve serin hava kütesinden uzaklaşması ve daha fazla güneş ışığından yararlanmasıdır. Her iki toprak grubunun en önemli özelliği, O ve A1 horizonlarının organik madde bakımından zengin olmasıdır. Bu durum, toprakların taneli ve granüllü bir yapıya sahip olmasını sağlamakta ve toprak gözenekliliğini arttırmaktadır. Toprak grupları, sızmayı farklı şekillerde etkileyebildiğinden, taşkın duyarlılığı üzerinde önemli bir etkidir (Oğuz ve ark., 2022). Gözenekli toprak yapısı, suyun kolayca hareket etmesine ve emilmesine olanak tanımakta, bu da aşırı yağışlarda suyun yüzeyde akmasını engelleyerek taşkın riskini kısmen azaltmaktadır.

## 2.2. Çalışmada kullanılan veri

Çalışmada hidrolojik modelin oluşturulabilmesi için hidrolojik parametrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu hidrolojik parametrelerin hesap edilebilmesi hidrolojik toprak gruplarının belirlenmesi, arazi sınıflandırılması ve sayısal yükseklik modelinin oluşturulması ile mümkündür. Hidrolojik toprak grupları, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO) tarafından hazırlanmış toprak sınıflandırılması (URL-1) kullanılarak çıkartılmıştır (Şekil 2a). Hidrolojik toprak

grupları SCS-CN yöntemi kullanılarak, toprak A, B, C ve D olmak üzere hidrolojik gruplara ayrılmıştır. A grubu, düşük akım potansiyeline yani yüksek sızma kapasitesine sahip toprak gruplarını temsil etmektedir. D grubu, yüksek akım potansiyeline, başka bir deyişle, düşük sızma kapasitesine sahip toprak gruplarını göstermektedir. Çalışma alanına ait arazi sınıflandırması, Çevre Bilgisi Koordinasyonu (Coordination of Information on the Environment, CORINE) 2018 Arazi Örtüsü/Kullanımı Sınıflandırılması (URL-2) kullanılarak üretilmiştir (Şekil 2b). Çalışma alanı, su alanı, yerleşim alanları, ormanlık alan ve tarım arazileri olarak sınıflandırılmıştır. Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırma Kurumu (United States Geological Survey, USGS)'ndan sayısal yükseklik verisi temin edilmiştir (URL-3). Ayrıca, HEC-HMS modelinin oluşturulmasında kullanılacak yağış verisi Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden sağlanmıştır. Bu amaçla, Yiğilca Merkez, Yiğilca Yoğunpelit Köyü ve Bolu Yedigöller Milli Parkı istasyonlarına ait saatlik yağış verisi elde edilmiştir. HEC-HMS yağış-akış modelinin kalibrasyon işlemi için Küçük Melen İğneler Havzası'na ait Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ), Akım Gözlem İstasyonlarından (AGİ), 14-20 Temmuz 2019 tarihli bir saatlik akım değerleri temin edilmiştir. Analizler ArcGIS 10.2 versiyonunda, Coğrafi Hidrolojik Modelleme Uzantısı (The Geospatial Hydrologic Modeling Extension, HEC-GeoHMS) hidroloji uzantısı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. HEC-GeoHMS, sayısal yükseklik verileri kullanılarak bir havzanın drenaj ağını belirleme, havza sınırlarını çizme ve alt havzaları oluşturma gibi hidrolojik veri girişlerini kolaylaştıran bir yazılımdır.



Şekil 2. Küçük Melen İğneler Havzası'na ait toprak sınıflarını ve arazi sınıflarını gösteren haritalar.

## 2.3. Çalışmada kullanılan yöntem

### 2.3.1. HEC-HMS yağış akış modeli

HEC-HMS, ABD Ordusu Mühendisler Birliği Hidrolojik Mühendislik Merkezi (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center) tarafından yağış-akış süreçlerini modellemek için geliştirilmiş bir bilgisayar

programıdır. Program, büyük nehir havzaları veya küçük şehir havzaları gibi birçok farklı su havzasını temsil edebilen bir modelleme sistemi oluşturabilmektedir. Model sonucu oluşturulan hidrograflar sayesinde, su mevcudiyeti, kentsel drenaj, akış tahmini, gelecekteki kentleşme etkisi, rezervuar dolu savak tasarımı, sel tahribatı azaltma, taşkın yatağı düzenlenmesi ve sistem işletme çalışmaları yapılabilmektedir (İspirli, 2019). Havza modelindeki hidrografi oluşturmak

için Kayıp (Loss), Dönüşüm (Transform) ve Baz Akım (Baseflow) ve Muskingum yöntemleri belirlenmektedir. Her bir yöntemin uygulanabilmesi için birçok seçenek bulunmaktadır. Bu seçenekler, uygulamanın amacına, havzanın durumuna ve eldeki veriye göre seçilmektedir (Kacar, 2017). Bu çalışma için Kayıp ve Dönüşüm yöntemleri kullanılmıştır. Ayrıca kalibrasyon işlemi sırasında Baz Akım ve Muskingum yöntemlerinden faydalanılmıştır. Kayıp Yöntemi, akım ve taşkın tahminlerinde kullanılmaktadır. Çalışmada Kayıp yönteminde SCS-CN yöntem seçeneği seçilmiştir. Yöntem, belirli bir havzaya düşen yağıştan sonra tutulma, sızma, depolanma, buharlaşma ve evapotranspirasyon çıktıktan sonra akış değerlerinin hesaplanmasında kullanılır (Tassew ve ark., 2019). Elde edilen değerler yağış anında ve yağıştan sonra akış değeri hesaplamalarında gereklidir. SCS-CN model parametresinde başlangıçta tutulma miktarı  $I_a$  değeri için;

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} \quad (1)$$

$$I_a = 0.2S \quad (2)$$

eşitliklerden faydalanır. Eşitlik (1)'deki  $S$ , toplam tutulma değerini vermektedir.  $S$  değeri ile 0.2 değerinin çarpımı ile  $I_a$  değeri hesap edilmektedir.

Yüzey akış değeri için, Dönüşüm yöntemi kullanılarak, gözlem yağış değerlerinden, yüzey akış değeri hesap edilmektedir (Tassew ve ark., 2019). Dönüşüm yöntemi seçeneklerinden, Toprak Koruma Servisi (Soil Conservation Service, SCS) Birim Hidrograf (Unit Hydrography, UH) yöntemi kullanılmıştır. Yöntemde akarsu gecikme süresi  $T_{lag}$  değerinin hesaplanması gerekmektedir.  $T_{lag}$  değeri, belli bir havzaya düşen yağıştan sonra her bir alt havzanın akım pik değerlerini göstermektedir (Shrestha ve ark., 2019).  $T_{lag}$  değeri için, akarsu toplanma süresi  $T_c$  değerinin hesaplanması gerekmektedir.  $T_c$  değeri için;

$$T_c = \frac{(L^{0.8})(S = \frac{1000}{CN} - 9)^{0.7}}{441.Y^{0.5}} \quad (3)$$

$$T_{lag} = 0.6T_c \quad (4)$$

eşitlik (3)'den faydalanılır. Eşitlik (3)'de  $S$ , toplam tutulma;  $Y$ , ortalama eğim;  $L$ , her bir alt havza için en uzun akarsu yolunu göstermektedir. Hesap edilen  $T_c$ , değeri, 0.6 katsayısı ile çarpıldığında  $T_{lag}$  değeri hesap edilir. Böylece taşkın pik ve büyüklük değeri saat ve dakika cinsinden bulunur. Kalibrasyon işlemine gerekli olan bir değerdir.

Eşitlik (1) ve eşitlik (3)'de kullanılan Eğri Numarası (Curve Number, CN), herhangi bir havzanın fiziksel olarak akış karakterini ve yüzeysel akış özelliğini temsil ettiğinden model parametrelerini oluşturmada yaygın bir kullanıma sahiptir. CN yöntemi, 1956 yılında Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı Toprak Koruma Servisi (United States Department for Agriculture Soil Conservation Service, USDA SCS) tarafından geliştirilmiştir. CN, belirli yağış olaylarında elde edilen verileri doğrudan akışa dönüştürebilmede ve akış tahmini yapmadan kullanılan bir yöntemdir (Ponce ve Hawkins, 1996; Soulis, 2009; Omar ve Rasul, 2023). Bu amaçla, SCS-CN yönteminin ortaya çıktığı ilk yıllarda, akış-yağış modelleri planlamak amaçlı kullanılmaya başlamıştır. Yöntem, küçük tarımsal

alanlardan, şehirselleşmiş bölgelere yağış-akış modelleri geliştirme ve çevresel analizlerde tercih edilmiştir (Hawkins ve ark., 2008). Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri'nin ilerlemesiyle birlikte büyük alanların görselleştirilmesi sağlanmış, çalışma alanlarının topografyası, nehir sistemi, arazi örtüsü ve bitki örtüsü gibi nitelikleri kolaylıkla tanımlanabilmiştir (Hong ve Adler, 2008).

Bir havzanın boyutlandırılmasında CN, 0'dan 100'e kadar aldığı matematiksel değerleri göstermektedir (Tan ve ark., 2018). Havzanın geçirgenliği, sızma, toprağın emme hızı ile CN değeri arasında ters bir orantı söz konusudur. Düşük infiltrasyon oranına sahip bir çalışma alanı için, CN değerinin yüksek olması beklenir. Bu durum taşkın riskinin yüksek olduğu anlamına gelmektedir. CN değerini hesaplayabilmek için toprak grupları, arazi sınıflandırılması ve sayısal yükseklik modeli gibi bileşenlerin yanı sıra yağış gibi belli klimatolojik elemanların da olması gerekmektedir. Tüm bu bileşenler altında CN değeri hesap edilmektedir.

### 2.3.2. HEC-HMS yağış akış modeli kalibrasyonu

HEC-HMS yağış akış modelinin kalibrasyonu güvenilir bir havza temsil etmenin önemli bir yoludur. Hidrolojik model kalibrasyonu, model parametrelerini ayarlayarak simüle edilmiş hidrografları gözlemlenen hidrograflarıyla karşılaştırma işlemidir (Duan ve ark., 1994; Gupta ve ark., 1998; Gupta ve ark., 2006). Havzanın  $T_c$ ,  $T_{lag}$ ,  $S$  ve  $I_a$  değerleri ve Baz Akım, Muskingum ( $X$  ve  $K$ ) için en iyi uyum sağlayana kadar modifikasyonun gerçekleştirildiği süreci oluşturmaktadır.  $X$  değeri, ağırlık faktörü olup,  $0 < X < 0.5$  arasında değer almaktadır.  $K$  değeri, akarsuyun çizgisel olarak çıkış noktasına ulaşıncaya kadar geçen süreyi vermektedir. HEC-HMS modelinde otomatik ve manuel olmak üzere iki seçenek bulunmaktadır. Otomatik kalibrasyon işlemine objektif bir fonksiyonun seçilmesi gerekir. Manuel kalibrasyon işlemi, tahmin hidrograf eğrisinin, gözlemlenen hidrograf eğrisiyle eşleştirmek için model parametrelerinin el yöntemiyle değiştirme sürecini kapsamaktadır. Manuel kalibrasyon işlemine değiştirilmesi gereken az sayıda giriş parametresi olduğundan daha pratiktir. Bu çalışmada, manuel kalibrasyon işlemi uygulanmıştır.

### 2.3.3. Model performans ölçümleri

HEC-HMS yağış-akış modeli kalibrasyon işleminin güvenilirliği, çeşitli model performans ölçülerinin kullanılmasıyla mümkündür. Model performans ölçümleri, gözlem değeri ile tahmin değeri arasında karşılaştırma yapmaktadır (Waseem ve ark., 2017). Bu karşılaştırma matematiksel değerler ile ifade edilir (Tablo 1). Çalışmada NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency), PBIAS (Percentage of Bias) ve RMSE (Root Mean Square Error) model performans ölçümleri kullanılmıştır. NSE, gözlem değeri ile tahmin değeri arasındaki varyansı vermektedir. Değer,  $-\infty$  ile  $+1$  arasında değişmektedir. 0.1 değerine yaklaştıkça çok iyi performans derecesi göstermektedir. Bu özellikle NSE, akış pik değerleri ve yüksek akım değerlerinde başarılı sonuçlar vermekte ve taşkın modelleme çalışmalarında güvenilir bir şekilde kullanılabilmesini sağlamaktadır (Krause ve ark., 2005). PBIAS, gözlem değeri ile tahmin değeri arasındaki farkı, pozitif (+) ve negatif (-) değerler şeklinde göstermektedir. Tahmin değeri, gözlem değerinin üstünde

bir değer aldığımda, pozitif (+) tahmin yani yüksek tahmin ettiğini, tahmin değeri, gözlem değerinin altında bir değer aldığımda, negatif (-) tahmin yani düşük tahmin ettiği sonucuna varılmaktadır. Optimum performansa sahip bir

hidrolojik model için PBIAS değeri 0'dır (de Salis ve ark., 2019). Son olarak RMSE, modelde hata değerini vermektedir. RMSE değerinin 0'a yakın bir değerde olması, modelin çok iyi bir performans gösterdiğini, model hata değerinin küçük olduğunu ifade etmektedir.

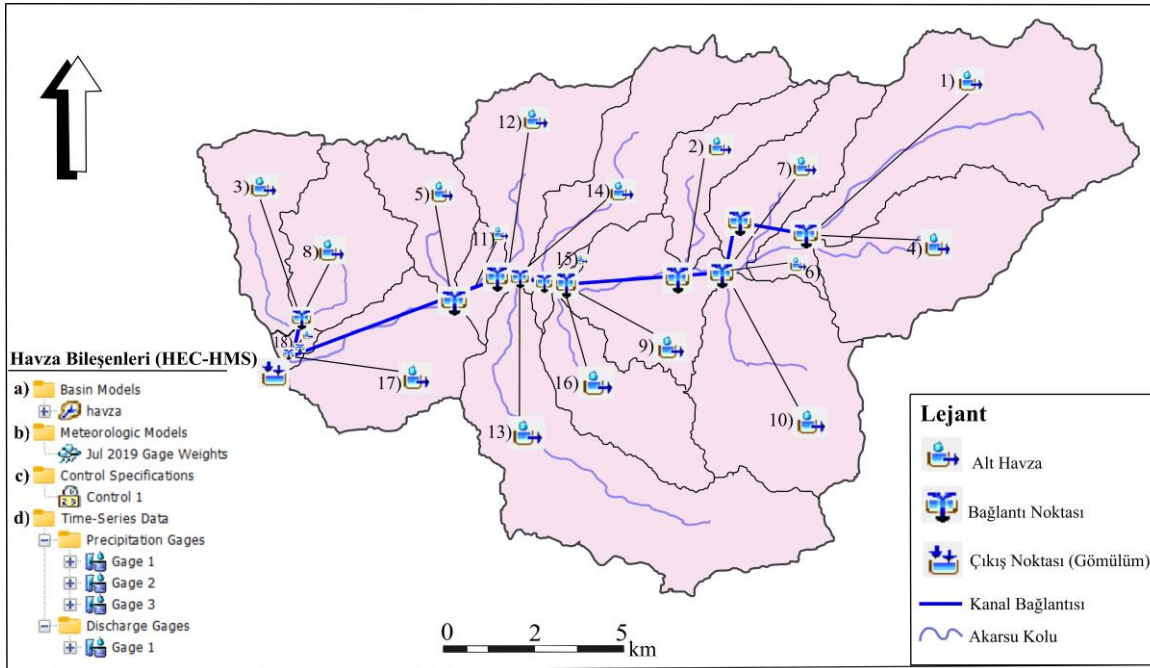
**Tablo 1:** Hidrolojik çalışmalarda kullanılan model performans ölççeği.

Performans derecesi	NSE	PBIAS	RMSE
Çok iyi	$0.75 < NSE \leq 1.00$	$PBIAS < \pm 10$	$0.00 \leq RMSE \leq 0.50$
İyi	$0.65 < NSE \leq 0.75$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$0.50 < RMSE \leq 0.60$
Tatmin edici	$0.50 < NSE \leq 0.65$	$\pm 15 \leq PBIAS < \pm 25$	$0.60 \leq RMSE \leq 0.70$
Yetersiz	$NSE \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$	$RMSE > 0.50$

### 3. Bulgular

Çalışma alanı 18 alt havzaya ayrılmıştır. Her bir alt havzanın çıkış noktasından boşalan akarsu, bir diğer alt havzanın yukarı çıkışına eklenmektedir. Böylece, birçok alt havzanın birbiri ile bağlantı kurması sağlanmıştır. Alt havzalar, akış kanalı, bağlantı noktası gibi oluşturulan fiziksel elemanlar, Şekil 3'de gösterilmektedir. Küçük Melen İğneler Havzası'nın özelliklerine bağlı olarak geliştirilmiş CN değerleri, çalışma alanına ait hidrolojik toprak grupları, arazi sınıflandırılması ve sayısal yükseklik modelinin oluşturulmasıyla gerçekleştirilmiştir. CN değerleri Tablo 2'de verilmiştir. CN değerleri elde edildikten sonra, arazi sınıflandırılması ve toprak grubu özellikleri CN

değerleri ile ilişkilendirilen CN atama tablosu kullanılarak tayin edilmiştir (Chadli ve ark., 2016). Tablo 3, arazi sınıflarından su, yerleşim alanları, ormanlık ve tarım arazileri için CN değerlerini göstermektedir. Her alt havzanın L ve Y değerleri ölçülmüştür. Bu değerler hesap edildikten sonra Excel ortamına aktarılmıştır. Çalışmada belirtilen yöntemler kullanılarak,  $T_c$ ,  $T_{lag}$ , S ve  $I_a$  değerleri hesap edilmiştir. Küçük Melen İğneler Havzası'nın model parametrelerinin oluşturulmasına ilişkin akış diyagramı Şekil 4'te gösterilmektedir. Tablo 4 modelin hesaplanan girdi parametre değerlerini vermektedir.



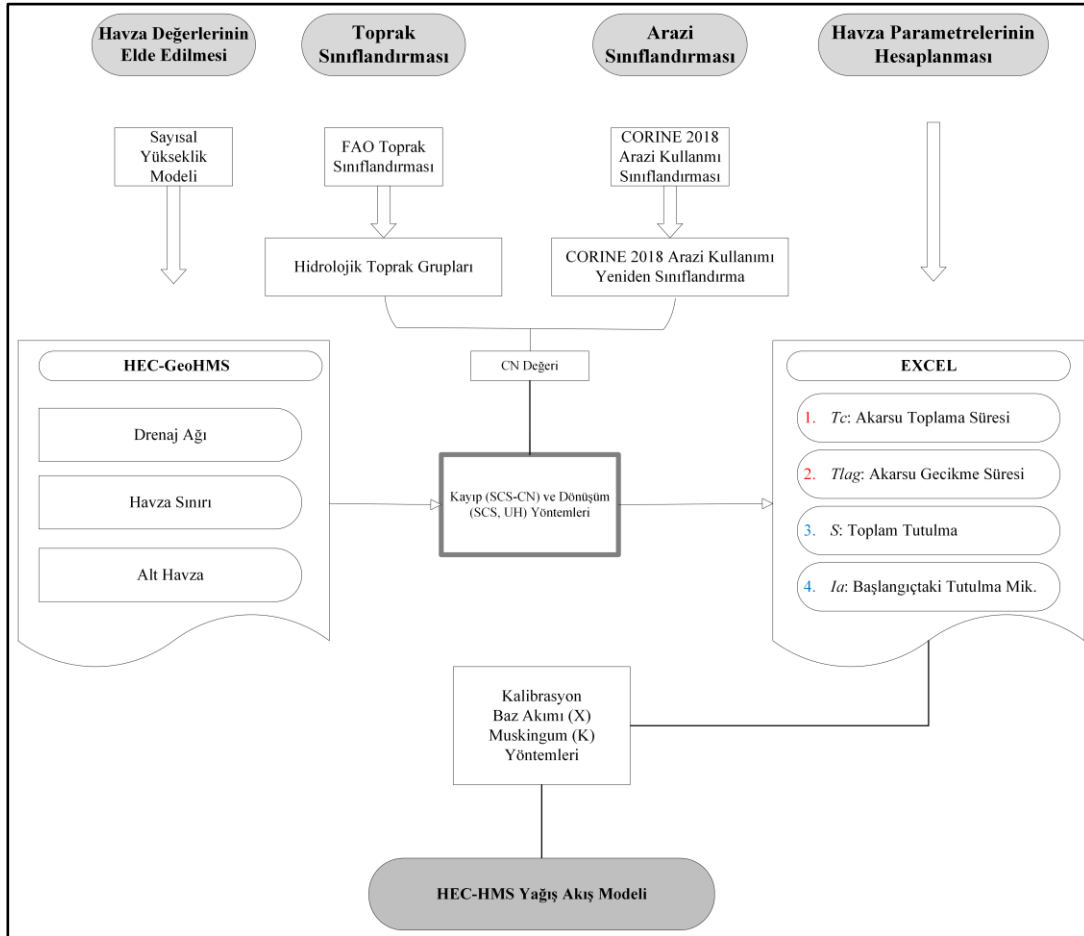
**Şekil 3.** HEC-HMS ortamında Küçük Melen İğneler Havzası'nın fiziksel görünümü.

**Tablo 2.** Küçük Melen İğneler Havzası'nın alt havzalarına ait Eğri Numarası (*Curve Number, CN*).

Alt Havzalar	Havza alanı (km <sup>2</sup> )	CN değeri
1	37.25	63.48
2	10.89	69.67
3	13.23	72.48
4	23.30	65.88
5	9.87	67.63
6	3.01	75.71
7	13.44	70.68
8	15.70	71.98
9	16.00	69.63
10	29.47	60.99
11	3.78	71.76
12	17.47	66.83
13	40.36	61.61
14	21.01	64.72
15	1.42	74.31
16	15.03	60.65
17	18.69	74.4
18	1.05	74.54

**Tablo 3.** Küçük Melen İğneler Havzası için Eğri Numarası (CN) ataması (CN Look up).

Sınıflandırma	Tanım	A	B	C	D
1	Su alanı	100	100	100	100
2	Yerleşim alanı	57	72	81	86
3	Ormanlık alan	30	58	71	78
4	Tarım alanı	67	77	83	87

**Şekil 4.** Küçük Melen İğneler Havzası'nın model parametrelerinin oluşturulmasını gösteren akış diyagramı.



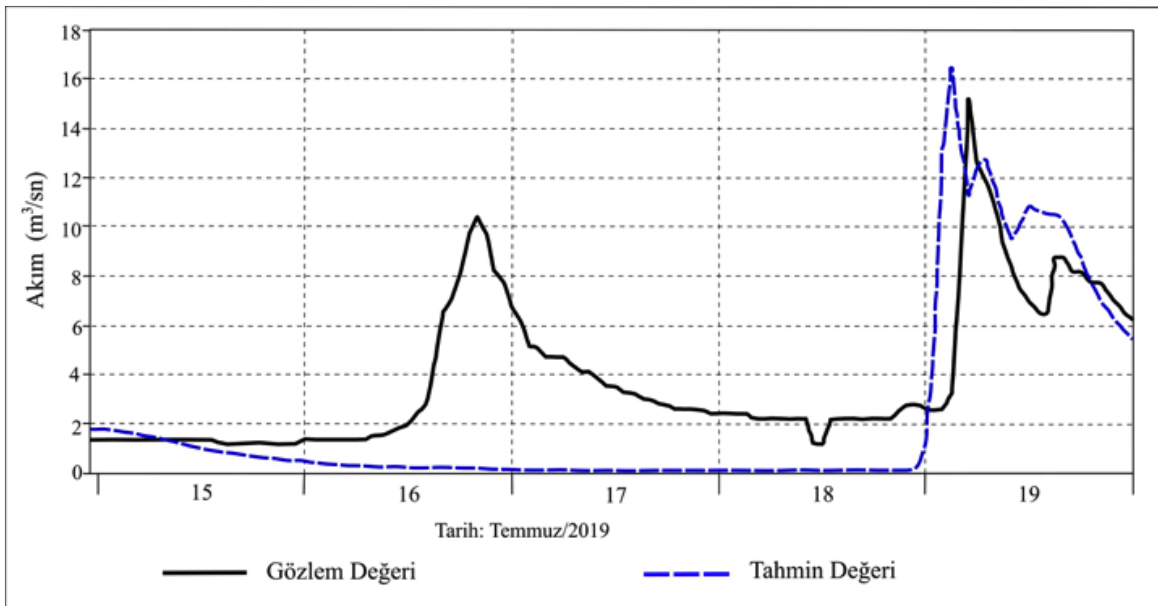
**Tablo 4.** Küçük Melen İğneler Havzası'nın hidrolojik parametreleri.

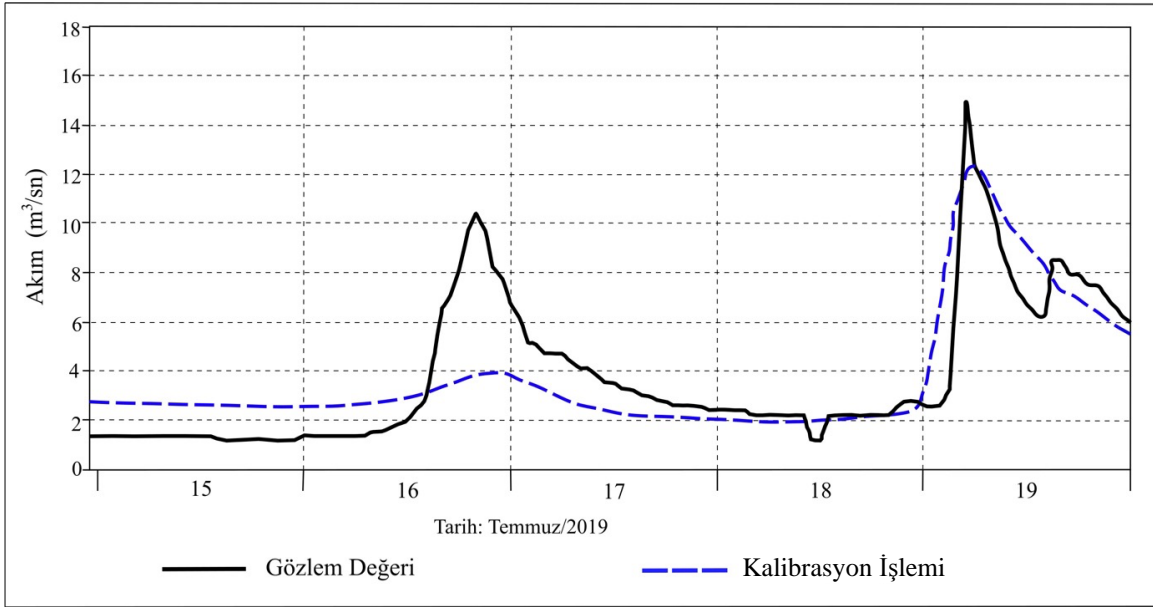
Alt Havza	$L$	$Y$	$T_c$ (Saat)	$T_c$ (Dakika)	$T_{lag}$	$S$	$I_a$ (mm)
1	14039.7	33.96	3.08	184.8	110.90	146.13	29.23
2	9749.5	31.97	2.02	120.9	72.56	110.58	22.12
3	8479.27	28.55	1.77	106.0	63.59	96.44	19.29
4	10102.58	29.38	2.39	143.5	86.11	131.55	26.31
5	7523.02	29.92	1.79	107.3	64.37	121.57	24.31
6	4032.10	30.4	0.86	51.7	31.03	81.49	16.30
7	9429.76	28.71	2.02	120.9	72.55	105.37	21.07
8	8014.39	27.56	1.74	104.6	62.73	98.88	19.78
9	7373.39	33.95	1.57	94.0	56.37	110.79	22.16
10	10275.32	37.64	2.43	145.8	87.45	162.46	32.49
11	3440.15	25.19	0.93	55.9	33.56	99.96	19.99
12	9537.26	34.34	2.06	123.7	74.19	126.07	25.21
13	17983.34	45.96	3.39	203.2	121.90	158.27	31.65
14	14570.48	38.97	2.87	172.1	103.28	138.46	27.69
15	2457.47	30.49	0.60	36.2	21.70	87.81	17.56
16	10022.74	32.74	2.58	154.5	92.72	164.80	32.96
17	8708.72	26.8	1.76	105.9	63.53	87.40	17.48
18	1876.48	21.94	0.57	34.1	20.48	86.76	17.35

Şekil 5, HEC-HMS model yapısını göstermektedir. Buna göre, Küçük Melen İğneler Havzası'nın çıkış noktasındaki en yüksek akım değerleri ve taşkın pik değerleri hidrograf üzerinde görülmektedir. Hidrografi grafiğine göre, 14–15 Temmuz 2019 tarihleri arasında gözlem değerleri ile tahmin değerleri arasındaki fark çok düşüktür. 16 Temmuz 2019 tarihinde gözlem değerinin yüksek olduğu ve  $10 \text{ m}^3$  değerine çıktığı görülmekte olup, tahmin değeri gözlem değerinin altında kalmış en düşük değeri almıştır. 18 Temmuz 2019 tarihinde ise, gözlemlenen değer  $2 \text{ m}^3$ 'e ulaşmış olmasına rağmen, tahmin değeri hala gözlem değerinin altında en düşük değerde gözlenmektedir. 19 Temmuz 2019 tarihinde ise, gözlem değeri ile tahmin değeri yaklaşık olarak benzer akım değerleri göstermektedir.

Hidroloji modelleme çalışmalarında kalibrasyon işlemi, gerçek akış değerlerini yansıtmak için zorunluluk gerektiren bir süreçtir (Gupta ve ark., 1998). Bu sebeple,

çalışmada HEC-HMS yağış-akış modelinin kalibrasyon işlemini gerçekleştirebilmek için Küçük Melen İğneler Havzası'na ait 14–20 Temmuz 2019 tarihli saatlik akım verisi kullanılmıştır. Havzanın  $T_c$ ,  $S$  ve  $I_a$  değerlerinde çeşitli düzenlemeler yapılarak, taşkın pik seviyesinin hem zamansal hem de  $\text{m}^3/\text{sn}$  cinsinden miktarının gerçek ölçüm değerlerine göre doğru bir şekilde tahmin edilmesi sağlanmıştır (Şekil 6). Hidrografi grafiğine göre, 14–15 Temmuz 2019 tarihleri arasında gözlem değerleri ile tahmin değerleri arasındaki fark yine aynı şekilde çok düşüktür. 16 Temmuz 2019 tarihinde gözlem değerinin yüksek olduğu ve  $10 \text{ m}^3$  değerine çıktığı noktada tahmin değeri  $4 \text{ m}^3$  olarak gözlenmektedir. 18 Temmuz 2019 tarihinde ise, gözlem değeri ve tahmin değeri  $2 \text{ m}^3$ 'dür. 19 Temmuz 2019 tarihine gelindiğinde gözlem değeri ile tahmin değeri benzer akım değerleri göstermektedir.

**Şekil 5.** Küçük Melen İğneler Havzası, kalibrasyon gerçekleştirilmeden önceki hidrografi grafiği.



**Şekil 6.** Küçük Melen İğneler Havzası, kalibrasyon gerçekleştirildikten sonraki hidrografi grafiği.

Tablo 5’de gözlemlenen taşkın pik değeri 05:00’da 14.8 m<sup>3</sup>/sn iken, tahmin edilen taşkın pik değeri 07:00’da 12.3 m<sup>3</sup>/sn olarak hesap edilmiştir. Gözlemlenen toplam akım değeri 1660.7 m<sup>3</sup>’dür. Tahmin edilen toplam akım değeri 1659.6 m<sup>3</sup>’dür. Bu değerler, HEC-HMS modeli sonucunun, gerçek ölçüm değerlerine yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Kalibrasyon işleminin güvenilirliği model performans kriterlerinin hesap edilmesiyle sağlanmaktadır. Bu çalışmada, NSE, PBIAS ve RMSE model performans ölçümlerinden faydalanılmıştır. Çalışmanın model performans değerleri Tablo 6’da gösterilmektedir. NSE model performans sonucu 0.657’dir. Hidrolojik çalışmalarda kullanılan model performans ölçeğine göre performans derecesi “iyi” olarak değerlendirilmektedir. Buna göre,

taşkın pik tahmin değerinin geçerli bir sonuca sahip olduğu ifade edilebilmektedir. 0.05 olarak hesap edilen PBIAS değeri, model performans ölçeğine göre, “çok iyi” performans derecesine sahiptir. Gözlem değeri ile tahmin değeri arasındaki küçük farkın, gözlem değerinin altında bir değer aldığını göstermektedir. RMSE değeri 0.6 olarak hesap edilmiştir. Model performans ölçeğinde, performans derecesi “iyi” olarak gözlenmektedir. Bu durum hata değerinin sıfıra yakın bir değerde olmasını ve modeli doğru bir şekilde tahmin ettiğini ifade etmektedir.

Sonuç olarak, model performans ölçümleri doğru bir model sonucu vermiştir. Bu da HEC-HMS modelinin özellikle taşkın çalışmalarında uygulanabilir ve güvenilir bir yöntem olduğunu açık bir şekilde göstermektedir.

**Tablo 5.** Gözlemlenen ve tahmin edilen taşkın pik değeri ve toplam akım değerleri sonuçları.

Kalibrasyon zaman periyodu	Gözlemlenen			Tahmin edilen		
	Taşkın pik değeri (m <sup>3</sup> /sn)	Pik zamanı	Toplam akım değeri (m <sup>3</sup> )	Taşkın pik değeri (m <sup>3</sup> /sn)	Pik zamanı	Toplam akım değeri (m <sup>3</sup> )
14–20 Temmuz 2019	14.8	05:00	1660.7	12.3	07:00	1659.6

**Tablo 6.** Çalışmada kullanılan model performans sonuçları.

Kalibrasyon zaman periyodu	Model performans sonuçları		
	NSE	PBIAS	RMSE
14–20 Temmuz 2019	0.657	0.05	0.6
Kalibrasyondan önce	-0.372	-41.35	1.2

#### 4. Sonuç

Dünyada taşkınların görülme sıklığı, etkisi ve süresinde artışlar gözlenmektedir. İklim değişikliği taşkınlarında meydana gelen bu artışların temel sebeplerinden bir tanesini oluşturmaktadır. Doğal sürecinde gerçekleşen iklim değişikliğinin, deniz seviyesinin yükselmesi, sıcaklıklarda artış, buzullarda azalma, afetlerin sıklığında ve şiddetinde artış, sıcak hava dalgalarında artış gibi çok yönlü etkileri tespit edilmiştir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017). Türkiye de iklim değişikliği etkisi altında

olup, son zamanlarda taşkınlardan oldukça fazla etkilenen ülkeler arasında yer almaktadır. Ülkenin fiziksel nitelikleri yönünden akarsu havzalarının büyüklükleri, jeolojik ve topografik nitelikleri, kullanım durumu ve koşulları, toprak özellikleri ile orman örtüsü ve erozyon koşulları, mecrâ eğim ve uzunlukları gibi parametreler taşkınların gerçekleşme olasılığını etkileyen önemli doğal etkenler arasında yer almaktadır (Kılıçer ve Özgüler, 2002; Demir ve Ülke Keskin, 2022). Bununla birlikte, sanayileşme ve sektör çeşitliliğinin beraberinde getirdiği kentleşme etkinliği, akarsu havzalarının türlü kesimlerinde

gerçekleşen insan faaliyetlerinin çeşitliliği ve yoğunluğundaki artış, taşkınların daha büyük ve sık olarak görülmesine neden olmaktadır (Kılıçer ve Özgüler, 2002; Demir ve Ülke Keskin, 2022). Bu taşkınların sektörler ve topluluklar üzerinde geniş kapsamlı ve ciddi etkilerin ortaya çıkmasına neden olur (Manizabayo ve ark., 2024). Taşkına sebep olan bu etkenlerin değerlendirilmesi, havza bazlı taşkın çalışmalarının gerçekleştirilmesi, taşkınlardan korunma ve taşkın zararlarının en aza indirilmesi açısından önemlidir. Bu sebeple, taşkınları kapsamlı bir şekilde inceleme ve tahmin etme, yağış-akış süreçlerinin doğru bir şekilde belirlenebilme kapasitesine sahip yeni hidrolojik modellerin uygulanması gerekliliği artmıştır (Versiani ve ark., 2009; Chang ve ark., 2009; Ho ve Umitsu, 2011; Pui ve ark., 2011; Chau ve ark., 2013; Peker ve ark., 2024, Unel 2023).

Çalışmalarda başarılı bir şekilde kullanılan HEC-HMS, hidrolojik modellerden biridir. Oleyiblo ve Li (2010) Misai Havzası ve Wan'a Havzası'nda gerçekleştirdikleri çalışmalarında gözlemlenen ve tahmin edilen akış değerleri arasında iyi bir uyum elde edene kadar değerlerinin düzenlenmesini sağlamış, her iki havza için taşkın pik değerlerini doğru bir şekilde tahmin etmişlerdir. Araştırmacılar çalışmalarında, HEC-HMS modelinin basit bir yapıya sahip olmasına rağmen, taşkın tahmini için güçlü bir araç olduğunu vurgulamışlardır. Aynı şekilde Ranjan ve Singh (2022)'de, Punpun Nehri Havzası için geliştirdikleri HEC-HMS tabanlı yağış-akış modelinde kalibrasyon ve model performans sonuçlarını ( $R^2$ , NSE, PBIAS ve RSR) değerlendirmişlerdir. HEC-HMS tabanlı yağış-akış modelinin iyi sonuç verdiğini ve havzadaki akarsu akışını tahmin etmek için kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Gumindoga ve ark. (2017)'de Zimbabve'deki ölçüm yapılmış ve ölçüm yapılmamış Yukarı Manyame Alt Havzası'ndaki akışı tahmin etmek için HEC-HMS modelinden faydalanmışlar, modelin kalibrasyon ve performans sonuçlarından, başarılı tahmin sonuçlarına ulaşabilmişlerdir. Akış tahmininde, HEC-HMS modelinin uygunluğunu göstermişlerdir. Bir başka çalışma, tipik bir kentleşme havzası olan Pu Nehir Havzası'nda Yu ve Zhang (2023) tarafından HEC-HMS modelinin uygulanabilirliğini ve arazi kullanım değişikliklerinin havza akışı üzerindeki etkisini analiz etmek için gerçekleştirilmiştir. HEC-HMS modelinin kentleşme havzası için uygun olduğunu ve kentleşme öncesi performans sonuçlarının kentleşme sonrası performans sonuçlarına göre, daha iyi sonuç verdiğini bulmuşlardır. Peker ve ark. (2024) Mersin, Göksu Nehri Havzası'nda, HEC-HMS ve Hidrolojik Mühendislik Merkezi'nin Nehir Analizi Sistemi (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System, HEC-RAS) kullanarak yapılan taşkın modelleme ve taşkın tehlike haritalandırılması için Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni birleştirdikleri çalışmalarında, HEC-HMS sonuçlarının gözlemlenen ölçümlerle tutarlı olduğunu belirterek, güvenilir ve uygulanabilir bir model olduğunu göstermişlerdir. Bu çalışma, Coğrafi Bilgi Sistemleri'ni HEC-HMS modeli ile birleştirerek Küçük Melen İğneler Havzası'nda uygunluğunu analiz etmiştir. Yağış-akış modeli oluşturabilmek için gerekli hidrolojik bilgiler toprak grupları, arazi sınıflandırılması ve sayısal yükseklik modeli kullanılarak elde edilmiştir. Küçük Melen İğneler Havzası'na ait, 14–20 Temmuz 2019 tarihli saatlik akım verisi HEC-HMS yağış-akış modelinin kalibrasyon işlemi için kullanılmıştır. Gözlemlenen taşkın pik değeri ile

tahmin edilen taşkın pik değeri arasında  $2.5 \text{ m}^3/\text{sn}$ 'lik, gözlemlenen toplam akım değeri ve tahmin edilen akım değeri arasında  $1.1 \text{ m}^3/\text{lük}$  fark çıkmaktadır. Bu değerler, HEC-HMS modeli sonucunun, gerçek ölçüm değerlerine yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Çalışmanın model performans sonuçları incelendiğinde, NSE değeri, 0.657, PBIAS değeri 0.05 ve son olarak RMSE değeri 0.6 ile model performans ölçüğüne göre sırasıyla "iyi", "çok iyi" ve "iyi" olarak performans dereceleri göstermektedir.

Sonuç olarak, HEC-HMS modeli kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışma yukarıda verilen araştırmacıların sonuçlarını destekler niteliktedir. HEC-HMS modeli, taşkın çalışmalarında uygulanabilir ve güvenilir bir yöntemdir. Ayrıca, Küçük Melen İğneler Havzası'na özgü taşkın olaylarının karakteristiklerini detaylı bir şekilde ortaya koyan bu çalışma, bölge yöneticileri, planlamacılar ve karar alıcılar için önemli bir kaynak oluşturarak, taşkınların etkilerini azaltmaya yönelik karar destek sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Dünyada iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte taşkınların artış gösterdiği bir dönemde, bu tür çalışmaların önemi daha da belirgin hale gelmektedir. HEC-HMS gibi güçlü hidrolojik modellerin kullanımı, gelecekteki taşkın risklerinin yönetimi ve planlanması açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bu bağlamda, bu çalışma, taşkınları anlama ve bu olumsuz doğal olayların etkilerini en aza indirme çabalarına katkıda bulunmak amacıyla önemli bir adım olarak değerlendirilebilmektedir.

### Bilgilendirme/Teşekkür

Bu çalışma Doç. Dr. Olgü AYDIN danışmanlığında 21/06/2022 tarihinde tamamlanan "Küçük Melen İğneler Havzası'ndaki Taşkınların Hidrolojik Modelleme Yöntemiyle (HEC-HMS) Belirlenmesi" başlıklı yüksek lisans tezi esas alınarak hazırlanmıştır (Yüksek Lisans/Ankara Üniversitesi, Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi, Ankara, Türkiye, 2022).

### Araştırmacıların katkı oranı

**Tolga Ergül:** Veri kütüphanesi, Metodoloji, Düzenleme, Sonuçların hazırlanması ve yorumlanması

**Olgü Aydın:** Kavramsallaştırma, Metodoloji belirleme, Danışmanlık ve denetim, Yazım-ilk taslak hazırlığı, Yazım-gözden geçirme ve düzenleme

### Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

### Kaynakça

- Akkaya, Y. (2019). Melen Çayı Havzası'nın coğrafi potansiyeli ve sürdürülebilirlik açısından havza yönetimi. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Altunel, A. O., & Kara, F. (2023). Tracing the culprits over the destruction of three coastal communities during a rouge rainstorm on August 2021 in north central Türkiye. *Ocean & Coastal Management*, 241, 106630. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106630>

- Altunel, A. O. (2023). The effect of DEM resolution on topographic wetness index calculation and visualization: An insight to the hidden danger unraveled in Bozkurt in August, 2021. *International Journal of Engineering and Geosciences*, 8(2), 165–172. <https://doi.org/10.26833/ijeg.1110560>
- Amil, T. A. (2018). Determining of different inundated land use in Salyan Plain during 2010 the Kura River flood through GIS and remote sensing tools. *International Journal of Engineering and Geosciences (IJEG)*, 3(3), 080–086. <https://doi.org/10.26833/ijeg.412348>
- Arnell, N. W., & Gosling, S. N. (2016). The impacts of climate change on river flood risk at the global scale. *Climatic Change*, 134, 387–401. <http://doi.org/10.1007/s10584-014-1084-5>
- Barbaros, F. (2022). Batı Karadeniz Havzası yağış değişkenliklerinin entropi tabanlı bir yaklaşımla değerlendirilmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 12(1), 344–356. <https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.995514>
- Bora, E. (2016). İklim değişikliği etkileri altında risk tabanlı tasarım. Yüksek Lisans Tezi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi.
- Brown, A., E., Zhang, L., McMahon, T. A., Western, A. W., & Vertessy, R. A. (2005). A review of paired catchment studies for determining changes in water yield resulting from alterations in vegetation. *Journal of Hydrology*, 310(1–4), 28–61. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.12.010>
- Chadli, K., Kirat, M., Laadoua, A., & El Harchaoui, N. (2016). Runoff modeling of Sebou watershed (Morocco) using SCS curve number method and geographic information system. *Modelling Earth Systems and Environment*, 2(158), 1–8. <https://doi.org/10.1007/s40808-016-0215-6>
- Chang, H., Franczyk, J., & Kim, C. (2009). What is responsible for increasing flood risks? the case of Gangwon province, Korea. *Natural Hazards*, 48, 339e354. <http://doi.org/10.1007/s11069-008-9266-y>
- Chau, V. N., Holland, J., Cassells, S., & Tuohy, M. (2013). Using GIS to map impacts upon agriculture from extreme floods in Vietnam. *Applied Geography*, 41, 65e74. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.03.014>
- Cred, U. (2020). Human Cost of Disasters. An Overview of the Last 20 Years: 2000–2019. CRED, UNDRR, Geneva.
- Çelik, H., Şengönül, K., Akyüz, F., Altunel, O., Dağcı, M., & Esin, A. (2012). Sedimentation problems and suggested solutions of Istanbul's drinking water dams: a case study of Alibey Dam. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University*, 62(2), 113–127.
- Daide, F., Afgane, R., Lahrach, A., Chaouni, A. A., Msaddek, M., & Elhasnaoui, I. (2021). Application of the HEC-HMS hydrological model in the Beht watershed (Morocco), E3S Web of Conferences, 314, 05003. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202131405003>
- Derdour, A., Bouanani, A., & Babahamed, K. (2018). Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS in a semi-arid region: case study in Ain Sefra watershed, Ksour Mountains (SW Algeria). *Journal of Water Land Development*, 36(I–III), 45–55. <http://doi.org/10.2478/jwld-2018-0005>
- Demir, V., Beden, N., & Ülke Keskin, A. (2021). Taşkın modelleme yöntemlerinin gözden geçirilmesi ve karşılaştırılması. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (28), 1013–1021. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1010220>
- Demir, V., & Ülke Keskin, A. (2022). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149–162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.918502>
- Demir, V., & Ülke Keskin, A. (2022). Taşkın Tehlike Haritalarının Oluşturulması (Samsun, Mert Irmağı Örneği). *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1), 47–54. <https://doi.org/10.56130/tucbis.1120501>
- Demir, V., & Ülke Keskin, A. (2022). Taşkınların ekonomik zararlarının değerlendirilmesi (Samsun-Mert Irmağı Havzası). *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(2), 663–678. <https://doi.org/10.29137/umagd.1090447>
- de Salis, H. H. C., da Costa, A. M., Vianna, J. H. M., Schuler, M. A., Künne, A., Fernandes, L. F. S. & P. F. A. L. (2019). Hydrologic modeling for sustainable water resources management in urbanized karst areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(2542), 1–19. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142542>
- Duan, Q., Sorossian, S. & Gupta, V. K. (1994). Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models. *Journal of Hydrology*, 158, 265–284. [http://doi.org/10.1016/0022-1694\(94\)90057-4](http://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90057-4)
- Eisner, S., Flörke, M., Chamorro, A., & Daggupati, P. (2017). An ensemble analysis of climate change impacts on streamflow seasonality across 11 large river basins. *Climatic Change*, 141(3), 401–417. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1844-5>
- Erendil, M. (2003). Geological features of Anatolian Peninsula. *MTA Genel Müdürlüğü Yayını*, 209.
- Gebre, S. L. (2015). Application of the HEC-HMS model for runoff simulation of Upper Blue Nile River Basin. *Hydrology Current Research*, 6(2), 1–8. <http://doi.org/10.4172/2157-7587.1000199>
- Gilroy, K. L. & McCuen, R. H. (2012). A nonstationary flood frequency analysis method to adjust for future climate change and urbanization. *Journal of Hydrology*, 414. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.10.009>
- Giorgi, F., Raffaele, F., & Coppola, E. (2019). The response of precipitation characteristics to global warming from climate projections. *Earth System Dynamics*, 10, 73–89. <https://doi.org/10.5194/esd-10-73-2019>
- Gumindoga, W., Rwasoka, D. T., Nhapi, I. & Dube, T. (2017). Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: application of the HEC-HMS model. *Physics and Chemistry of the Earth*, 100, 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.05.002>
- Gupta, H. V., Sorooshian, S. & Yapo, P. O. (1998). Toward improved calibration of hydrologic models: multiple and noncommensurable measures of information.

- Water Resources Research*, 34(4), 751–763. <http://doi.org/10.1029/97WR03495>
- Gupta, H. V., Beven, K. J., & Wagener, T. (2006). Model calibration and uncertainty estimation. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. <https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa138>
- Haddah, A. (2022). Extreme rainfall-runoff events modeling using HEC-HMS model for Oued El Hachem Watershed, Northern Algeria. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics*, 69, 45–57. <http://doi.org/10.2478/heem-2022-0004>
- Hawkins, R. H., Ward, T. J., Woodward, D. E., & Van Mullem, J. A. (2008). Curve number hydrology state of the practice. The American Society of Civil Engineers. ISBN-10:0784410046
- Ho, L., & Umitsu, M. (2011). Micro-landform classification and flood hazard assessment of the Thu Bon alluvial plain, central Vietnam via an integrated method utilizing remotely sensed data. *Applied Geography*, 31, 1082e1093. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.01.005>
- Hong, Y., & Adler, R. F. (2008). Estimation of global SCS curve numbers using satellite remote sensing and geospatial data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(2), 471–477. <https://doi.org/10.1080/01431160701264292>
- İrcan, M. R., Kale, M. M. & Duman, N. (2024). Morfometrik analizlerle taşkın duyarlılık değerlendirilmesi: Şanlıurfa örneği. *Geomatik*, 9(3), 361–374. <http://doi.org/10.29128/geomatik.1506840>
- İspirli, M. N. (2019). HEC-HMS model programı kullanılarak dağlık havzalarda kar erimesine etki eden parametrelerin belirlenmesi ve Kırkgöze Çipak Havzası'nın hidrolojik modellenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaatz, J. A. (2014). Development of a HEC-HMS model to inform river gauge placement for a flood early warning system in Uganda. Master's Thesis. Master of Engineering in Civil and Environmental Engineering at the Massachusetts Institute of Technology.
- Kacar, T. (2017). Aras Havzası'nda HEC-HMS ile hidrolojik modelleme ve akım tahmini. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kay, A. L., Davies, H. N., Bell, V. A. & Jones, R. G. (2008). Comparison of uncertainty sources for climate change impacts: flood frequency in England. *Climate Change*, 92(1–2), 41–63. <http://doi.org/10.1007/s10584-008-9471-4>
- Kazeyılmaz-Alhan, C. M., Yalçın, İ., Javanshour, K., Aytekin, M., & Gülbaz, S. (2021). A hydrological model for Ayamama watershed in Istanbul, Turkey, using HEC-HMS. *Water Practice & Technology*, 16(1), 154–161. <https://doi.org/10.2166/wpt.2020.108>
- Kocuyigit, M. B., Akay, H., & Yanmaz, A. M. (2017). Estimation of hydrologic parameters of Kocanaz Watershed by a hydrologic model. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(4), 42–50. <https://doi.org/10.24107/ijeas.342039>
- Kılıçer, Ü., & Özgüler, H. (2002). Türkiye'de taşkın durumu. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 420–421–422, 142–144.
- Krause, P., Boyle, D. P. & Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5, 89–97. <https://doi.org/10.5194/adgeo-5-89-2005>
- Manizabayo, P., Ngwijabagabo, H., Nzayisenga, I., Nzamwita, S., Amani, L., Uwitonze, E., & Gilbert, K. M. (2024). Assessment of flood susceptibility utilizing remote sensing and geographic information systems: A case study of Mpazi sub-catchment in the city of Kigali. *Advanced GIS*, 4(1), 31–41. Retrieved from <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/agis/article/view/1356>
- Milly, P. C. D., Wetherald, R. T., Dunne, K. A., & Delworth, T. L. (2002). Increasing risk of great floods in a changing climate. *Nature*, 415, 514–517. <https://doi.org/10.1038/415514a>
- Namara, W. G., Damise, T. A., & Tufa, F. G. (2020). Rainfall runoff modeling using HEC-HMS: the case of Awash Bello Sub-Catchment, Upper Awash Basin, Ethiopia. *International Journal of Environment*, 9(1), 68–86. <https://doi.org/10.3126/ije.v9i1.27588>
- Oğuz, E., Oğuz, K., & Öztürk, K. (2022). Düzce bölgesi taşkın duyarlılık alanlarının belirlenmesi. *Geomatik*, 7(3), 220–234. <https://doi.org/10.29128/geomatik.972343>
- Oleyiblo, J. O., & Li, Z. (2010). Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. *Water Science and Engineering*, 3(1), 14–22. <https://doi.org/10.3882/j.issn.1674-2370.2010.01.002>
- Omar, F. O., & Rasul, A. (2023). Assessing hydrological modeling approaches: a review of the soil conservation service curve number and the soil and water assessment tool. *Advanced GIS*, 3(2), 47–52. Retrieved from <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/agis/article/view/981>
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı. (2017). *Taşkın yönetimi*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- Peker, İ. B., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in flood modeling and flood hazard mapping. *Sustainability*, 16(3), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su16031226>
- Ponce, V. M., & Hawkins, R. H. (1996). Runoff curve number: has it reached maturity?. *Journal of Hydrologic Engineering*, 1(1), 11–19. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)10840699\(1996\)1:1\(11\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)10840699(1996)1:1(11))
- Pui, A., Lal, A., & Sharma, A. (2011). How does the interdecadal Pacific oscillation affect design floods in Australia?. *Water Resources Research*, 47(5). <http://doi.org/10.1029/2010WR009420>
- Ranjan, S., & Singh, V. (2022). HEC-HMS based rainfall-runoff model for Punpun river basin. *Water Practice & Technology*, 17(5), 986–1001. <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.033>

- Sahu, S. K. (2016). Application of HEC-HMS model for runoff simulation. Bachelor's Thesis. Department of Civil Engineering National Institute of Technology.
- Sankarasubramanian, A., & Upmanu, L. (2003). Flood quantiles in a changing climate:seasonal forecasts and causal relations. *Water Resources Research*, 39(5), 1134. <http://doi.org/10.1029/2002WR001593>
- Saplıoğlu, K., & Çoban, E. (2013). Karadeniz bölgesi yağış serilerinin trend analizi. VII. Ulusal Hidroloji Kongresi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Shrestha, M., Acharya, S. C., & Shrestha, P. K. (2017). Bias correction of climate models for hydrological modelling-are simple methods still useful?. *Meteorological Applications*, 24, 531–539. <http://doi.org/10.1002/met.1655>
- Sok, K., & Oeurng, C. (2016). Application of HEC-HMS model to assess streamflow and water resources availability in stung sangker catchment of Mekong' Tonle Sap Lake Basin in Cambodia. *Preprints*, 2016120136, <https://doi.org/10.20944/preprints201612.0136.v1>.
- Soulis, K. X., Valiantzas, J. D., Dercas, N., & Londra, P. A. (2009). Investigation of the direct runoff generation mechanism for the analysis of the SCS-CN method applicability to a partial area experimental watershed. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(5), 605–615. <http://doi.org/10.5194/hess-13-605-2009>
- Şengün, M. (2006). Anadolu'nun kenet kuşakları ve jeolojik evrimine irdelemeli ve eleştirel bir bakış. *Maden Tetkik ve Arama Dergisi*, 133, 1–26.
- Tan, W. J., Khor, J. F., Ling, L., & Huang, F. (2018). Exploratory research of new curve number system. International Conference on Civil and Environmental Engineering. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186507005>
- 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(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/hydrology6010021>
- Tokgöz, S., & Partal, T. (2020). Karadeniz Bölgesinde yıllık yağış ve sıcaklık verilerinin yenilikçi şen ve mann-kendall yöntemleri ile trend analizi. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 10(2), 1107–1118. <https://doi.org/10.21597/jist.633368>
- Torabi, S. A., Sedghi, H., Porhemmat, J., & Babazadeh, H. (2018). The simulation of flood hydrograph in natural and urban basins. *Open Journal of Geology*, 8, 641–646. <http://doi.org/10.4236/ojg.2018.87037>
- Ünel, F. B., Kuşak, L., Yakar, M., & Doğan, H. (2023). Coğrafi bilgi sistemleri ve analitik hiyerarşi prosesi kullanarak Mersin ilinde otomatik meteoroloji gözlem istasyonu yer seçimi. *Geomatik*, 8(2), 107–123, 1–19.
- Unel, F. B., Kusak, L., & Yakar, M. (2023). GeoValueIndex map of public property assets generating via Analytic Hierarchy Process and Geographic Information System for Mass Appraisal: GeoValueIndex. *Aestimium*, 82, 51-69
- Waseem, M., Mani, N., Andiego, G., & Usman, M. (2017). A review of criteria of fit for hydrological models. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(11), 1765–1772.
- Winsemius, H. C., Aerts, J. C. J. H., van Beek, L. P. H., Bierkens, M. F. P., Bouwman, A., Jongman, B., adijk, J. C. J., Ligtoet, W., Lucas, P. L., van Vuuren, D. P., & Ward, P. J. (2016). Global drivers of future river flood risk. *Nature Climate Change*, 6, 381–385. <https://doi.org/10.1038/nclimate2893>
- Versiani, B. R., de Melo Franco Carneiro, R., Amaral, I. R., & Finzi Quintão, C. M. (2009). Maximum flood regionalization in large basins: study case of the Alto São Francisco region-Minas Gerais, Brazil. *Hydrological Processes*, 23(22), 3201–3206. <http://doi.org/10.1002/hyp.7399>
- Yılmaz, C. B., Demir, V., Sevimli, M. F., Demir, F., & Yakar, M. (2021). Trend analysis of temperature and precipitation in Mediterraneanregion. *Advanced GIS*, 1(1), 15–21. Retrieved from <https://publish.mersin.edu.tr/index.php/agis/article/view/60>
- Younis, S. M. Z., & Ammar, A. (2018). Quantification of impact of changes in land use-land cover on hydrology in the upper Indus Basin, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 21(3), 255–263. <http://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.001>
- Yu, X., & Zhang, J. (2023). The Application and applicability of HEC-HMS model in flood simulation under the condition of river basin urbanization. *Water*, 15(12), 1–14. <https://doi.org/10.3390/w15122249>
- URL-1: <https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search#/metadata/446ed430-8383-11db-b9b2-000d939bc5d8>
- URL-2: <https://earthexplorer.usgs.gov>
- URL-3: <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>

