



Yenicegöruce Havzası'ndaki yağış-akış ilişkisinin HEC-HMS hidrolojik modeli ile belirlenmesi

Determination of rainfall-runoff relationship in Yenicegoruce Basin with HEC-HMS hydrologic model

Buket MESTA¹, Pınar Gökçe KARGI², İpek TEZYAPAR³, M. Tamer AYVAZ⁴, Recep Kaya GÖKTAŞ⁵,
Elçin KENTEL⁶, Ulaş TEZEL⁷

¹Yer Sistem Bilimleri, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
buket.mesta@metu.edu.tr

^{2,4}İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, Denizli, Türkiye.
pgkargi@gmail.com; tayvaz@pau.edu.tr

^{3,5}Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye.
ipek.tezyapar@gmail.com; rkaya.goktas@kocaeli.edu.tr

⁶İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Üniversitesi, Ankara, Türkiye.
ekentel@metu.edu.tr

⁷Çevre Mühendisliği Bölümü, Çevre Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
ulas.tezel@boun.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 05.03.2019, Kabul Tarihi/Accepted: 24.09.2019

* Yazışılan yazar/Corresponding author

doi: 10.5505/pajes.2019.75133

Özel Sayı Makalesi/Special Issue Article

Öz

Bu çalışmanın amacı, Ergene Nehri'nin Meriç Nehri ile birleştiği noktanın menbasında bulunan E01A012 - Yenicegöruce Akım Gözlem İstasyonu'nun (AGI) alanı 10,508 m² olan su toplama havzasındaki yağış-akış ilişkisinin A.B.D. Ordu Mühendisleri Birliği (U.S. Army Corps of Engineers) tarafından geliştirilmiş olan HEC-HMS yazılımı kullanılarak belirlenmesidir. Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 115Y064 no'lu "Ergene Havzası Su Kalitesi Yönetimi İçin Kirletici Parmak İzine Bağlı Coğrafi Bilgi Sistemi Bazlı Karar Destek Sistemleri Geliştirmesi" başlıklı projenin bir parçası olarak gerçekleştirilmiştir. İlk olarak havza ve civarında ölçülmüş olan günlük yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler ile günlük akış verileri toplanmıştır. Ardından havzanın arazi kullanımı, hidrolojik toprak grupları ve sayısal yükseklik verileri gibi havza karakteristiklerini gösteren veriler toplanmış ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) ortamında derlenmiştir. CBS ortamında derlenmiş olan sayısal haritalar havzanın özelliklerinin belirlenmesi için WMS'e aktarılmıştır ve ardından havzaya ait HEC-HMS hidrolojik modeli kurulmuştur. Kurulan modelin, 1997-2002 arasındaki günlük veriler kullanılarak kalibrasyonu, 2003-2005 yılları arasındaki günlük veriler kullanılarak doğrulaması yapılmıştır. Kurulmuş olan hidrolojik modelin Yenicegöruce AGI için Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı (NSE) kalibrasyon ve doğrulama aşamaları için sırasıyla 0.8 ve 0.75 olarak hesaplanmıştır. Yenicegöruce havzasının D01A008, E01A006 ve E01A012 AGI'leri ile temsil edilen Hayrabolu, Lüleburgaz ve İnanlı alt-havzaları için de hidrolojik modeller kurulmuş ve kalibre edilmiştir. Model performansları NSE ve korelasyon gibi istatistiksel ölçütler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yenicegöruce Havzası, Hidrolojik model, Yağış-akış ilişkisi, HEC-HMS

Abstract

The goal of this study is to model rainfall-runoff process using HEC-HMS developed by U.S. Army Corps of Engineers for the 10,508 km² catchment that has E01A012-Yenicegoruce stream gage at its outlet which is located just at the upstream of the point where Meric and Ergene Rivers meet. This study is conducted as a part of 115Y064 numbered "Development of a geographical information systems based decision-making tool for water quality management of Ergene watershed using pollutant fingerprints" project funded by TÜBİTAK. First, meteorological parameters such as daily precipitation and temperature, and daily streamflow data that are observed in and around the study catchment are collected. Then land use, hydrologic soil groups and digital elevation data of the catchment are collected and integrated into Geographic Information System (GIS) environment. Digital maps compiled in GIS environment were transferred into WMS for the calculation of basin parameters, and then the hydrological model for the basin is developed in HEC-HMS using these data. The model is calibrated using daily streamflow values of 1997-2002 and validated for 2003-2005 data. The model results obtained at the Yenicegoruce stream gage has Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) values of 0.8 and 0.75 for calibration and validation, respectively. Hydrological models for Hayrabolu, Luleburgaz and Inanlı sub-catchments represented by stream gages D01A008, E01A006 and E01A012, respectively are developed and calibrated as well. Model performances are evaluated using statistical measures such as NSE values and correlations.

Keywords: Yenigoruce basin, Hydrological model, Rainfall-runoff relationship, HEC-HMS

1 Giriş

Ergene Havzası, Istranca Dağları'ndan doğup Meriç Nehri'yle birleşerek Saroz körfezine dökülen 283 km uzunluğundaki Ergene Nehri'ni çevreleyen bir havzadır. Havzada yoğun tarım faaliyetleri bulunmasına rağmen son 20 yılda endüstriyel faaliyetler önemli ölçüde artmıştır. Hem tarım hem de

endüstriyel faaliyetler dolayısıyla Ergene Nehri'nin su kalitesi bozulmuştur. Ergene Nehri suları genelde tarımda sulama amaçlı kullanılmakta, bölgede içme ve kullanma suyu ihtiyacı büyük oranda yeraltı su kaynaklarından karşılanmaktadır. Fakat giderek artan nüfus ve endüstriyel faaliyetler sonucunda yeraltı su seviyelerinde ciddi düşüşler gözlenmekte, yeraltı suyu kaynaklarının gelecekteki içme ve kullanma suyu

İhtiyaçlarını karşılayamaması riski ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla havzanın su kaynaklarının modellenmesi ilerideki kullanımların planlanması açısından önemlidir. Bu çalışmanın amacı Ergene Nehri'nin Meriç Nehri ile birleştiği noktanın menbasında bulunan E01A012 No'lu Yenicegözü Akım Gözlem İstasyonu'nun (AGİ) alanı 10,508 m² olan su toplama havzasındaki yüzey sularının modellenmesidir. Havzadaki yağış-akış ilişkisi A.B.D. Ordu Mühendisleri Birliği (U.S. Army Corps of Engineers) tarafından geliştirilmiş olan HEC-HMS yazılımı [1] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

HEC-HMS yazılımı dünyanın farklı yerlerinde farklı büyüklüklerdeki havzalarda hem olay bazlı (event-based) [2],[3] hem de sürekli (continuous) (örneğin [4]-[6]) hidrolojik modellerin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Chu ve Steinman [7] Michigan'da bulunan ve su toplama alanı 191.64 km² olan Mona Gölü havzasının hidrolojik modelini HEC-HMS yazılımı kullanarak geliştirmişler ve geliştirilen modellerin hem olay bazlı hem de sürekli simülasyonlarda gözlemlenmiş değerlerle uyumlu sonuçlar ürettiğini raporlamışlardır. Chea ve Oeurng [8] HEC-HMS yazılımını kullanarak Kamboçya'da bulunan Tonle Sap Gölü havzasındaki yağış-akış ilişkisini modellemiş ve kurulan modelin başarılı sonuçlar ürettiğini vurgulamışlardır. Bir diğer çalışmada HEC-HMS yazılımı, Du ve diğ. [9] tarafından şehirleşmenin Çin'deki Qinhuai nehrinin yıllık akımlarına ve sel olaylarına etkisini araştırmakta da kullanılmıştır. Benzer şekilde tropik, kurak ve yarı kurak gibi farklı iklim bölgeleri için gerçekleştirilen pek çok farklı çalışma HEC-HMS modeli sel olaylarının tahmini amacıyla başarılı bir şekilde kullanılmıştır [10]-[12]. HEC-HMS modeli Anderson ve diğ. tarafından atmosfer modellemesi sonuçları ile birlikte kullanılarak sel olayı uyarı ve önlem sistemi tahmin sürecinde kullanılmıştır [10]. Buna ek olarak HEC-HMS modelinin WMS modelleme yazılımı ile beraber kullanılarak SCS Eğri numarası metoduna dayalı olarak kurak havzalarda yağış akış modellemesinde kullanımı Al-Zahrani ve diğ. tarafından gerçekleştirilmiştir [12].

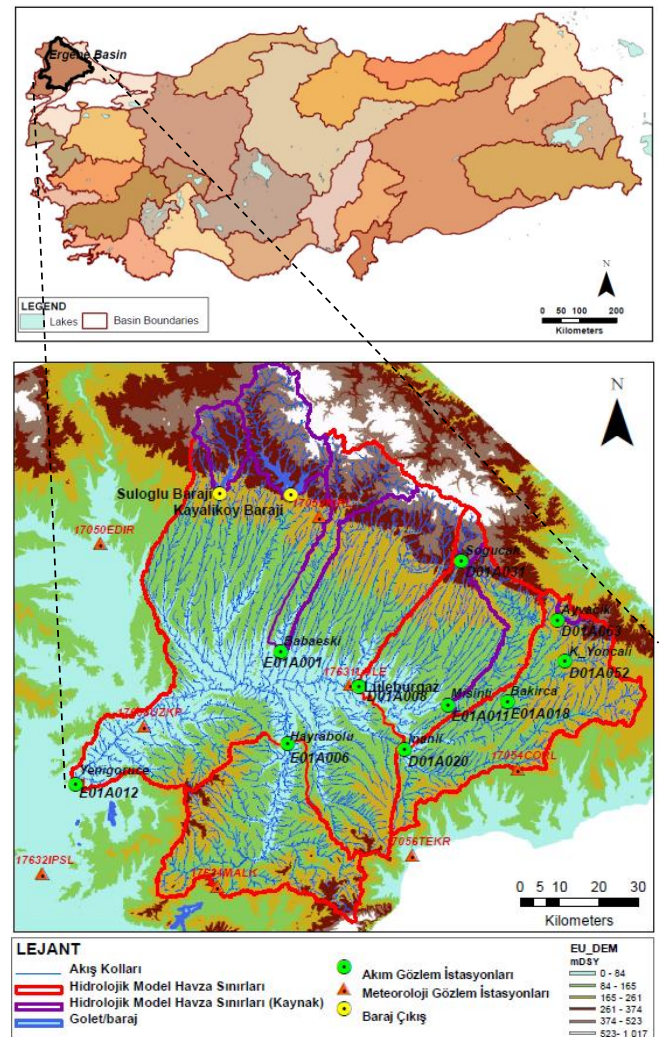
Yaygın olarak değilse de, HEC-HMS yazılımı Türkiye'deki bazı havzalar için hidrolojik model geliştirilmesinde de kullanılmıştır. Örneğin Yener ve diğ. [13] HEC-HMS yazılımını kullanarak Yuvacık havzası için hidrolojik model geliştirmişler ve bu modelin Yuvacık barajı işletiminde kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Yakın zamanda gerçekleştirilmiş olan bir diğer çalışmada Koçyiğit ve diğ. [14] Batı Karadeniz Bölgesi'nde bulunan Kocamaz havzası için HEC-HMS yazılımı ile bir hidrolojik model kurarak havzanın hidrolojik parametrelerini tahmin etmişlerdir. Benzer şekilde bu çalışmada, Ergene Nehri üzerinde bulunan Yenicegözü AGİ havzası için HEC-HMS ile yağış-akış modellemesi gerçekleştirilmiştir. Bir sonraki aşamadaysa oluşturulan hidrolojik model, hidrolik ve taşınım modelleri ile entegre bir şekilde kullanılarak Ergene Nehri'nin su kalitesi araştırılacaktır.

2 Çalışma alanı

Çalışma alanı Marmara Bölgesi'nde konumlanmakta olup Türkiye'deki 25 ana su toplama havzasından biri olan Meriç-Ergene Havzasında yer almaktadır. Çalışma alanının konumlandığı Ergene Havzası'nda baskın arazi kullanımı tarım olmakla beraber havzada 1990 yılı sonrasında artan sanayi işletmeleri havzanın doğu-kuzey doğu bölümüne düşen ve Ergene Nehri'nin üst kollarının drene ettiği Çorlu Çerkezköy kesiminde yoğunlaşmaktadır [15]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait 17631 No'lu Lüleburgaz Meteorolojisi

Gözlem İstasyonu'na ait 1997-2017 dönemine ait sıcaklık ve yağış verilerine göre havzaya ait yıllık ortalama sıcaklık 14.4 °C ortalama yıllık toplam yağış ise 570 mm'dir.

Bu çalışmada DSI tarafından işletilmekte olan E01A012 no'lu Yenicegözü AGİ havzası için bir hidrolojik model oluşturulmuştur. AGİ'ye ait 10,000 km²'yi aşkın su toplama havzasında baskın arazi kullanım tipi tarım alanları olup ortalama 640 mm yıllık yağış gözlenmektedir (ÇŞB, 2008). Çalışma alanının sayısal yükseklik haritası, hidrolojik modelin havza sınırları, akış kolları, akım gözlem ve meteoroloji gözlem istasyonlarının yerleri Şekil 1'de verilmiştir. Hidrolojik modelin kurulmasında takip edilen aşamalar bir sonraki bölümde açıklanmıştır.



Şekil 1: Yenicegözü Havzasına (40° 48' 1.02" N- 42° 05' 31.03" N, 26° 27' 27.8627"E - 28° 11' 54.84"E) ait topoğrafik harita.

3 Hidrolojik modelin kurulması

Hidrolojik modelin kurulabilmesi için yapılması gereken ilk işlem havza sınırlarının belirlenmesidir. Havzanın topoğrafyasını gösteren sayısal yükseklik haritası EU Copernicus Programme çerçevesinde Avrupa Çevre Ajansı (Avrupa Çevre Ajansı - European Environmental Agency, EEA) tarafından güncellenen ve mekansal çözünürlüğü 25 m olan EU-DEM v1.1 [16] kullanılarak çıkarılmış ve Şekil 1'de verilmiştir.

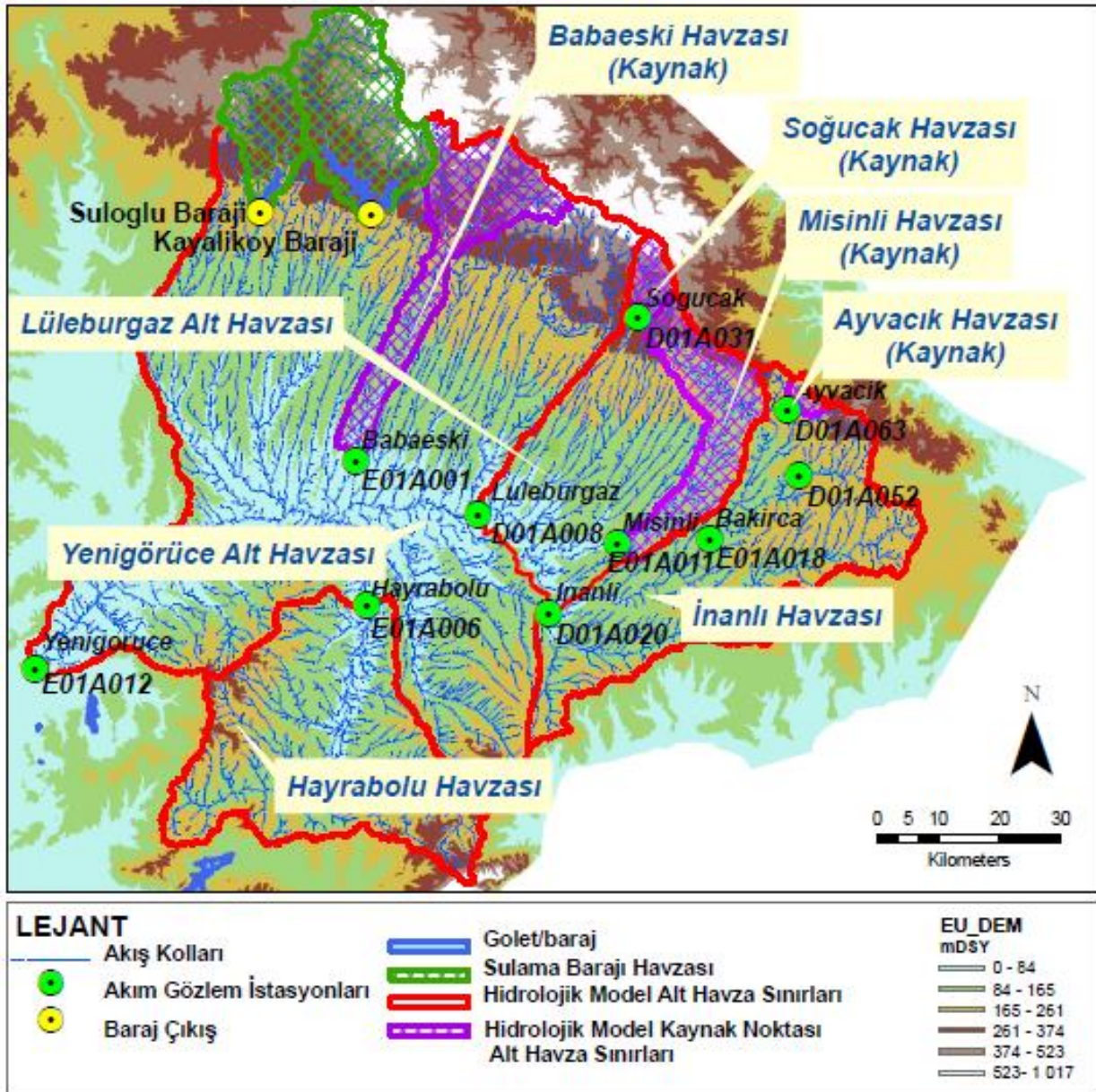
Sayısal yükseklik verileri kullanılarak belirlenmiş olan akış kolları da aynı şekil üzerinde gösterilmiştir.

Yenicegözüce havzası çıkışlarında İnanlı, Lüleburgaz, Hayrabolu akım gözlem istasyonları bulunan 4 temel alt-havzaya bölünmüştür. Buna ek olarak, İnanlı havzası içerisindeki Ayvacık (D01A063) AGİ'yi besleyen havza, Lüleburgaz alt-havzasında yer alan, çıkışında Misinli (E01A011) ve Soğucak (D01A031) AGİ'leri bulunan küçük yağış alanlı havzalar ve Yenicegözüce alt-havzası drenaj alanı içerisindeki Süloğlu ve Kayalıköy sulama barajı havzaları ile Babaeski (E01A001) AGİ havzası modelde kaynak noktaları olarak tanımlanmıştır. Kaynak noktalarına ait veriler, sulama barajı işletme verileri ve Ayvacık, Misinli, Soğucak ve Babaeski AGİ'lerine ait DSİ (Devlet Su İşleri) akım ölçüm verilerine dayalı olarak belirlenmiştir. Hidrolojik model alt-havzaları Hayrabolu, İnanlı ve Lüleburgaz alt-havzaları olarak işaretlenmiştir. Hidrolojik model kaynak noktalarına ait alt-havzalar ise

Ayvacık, Soğucak, Misinli ve Babaeski alt-havzası olarak isimlendirilmiş ve Şekil 2'de gösterilmişlerdir.

Bahse konu alt-havzaların tamamından toplanan akımlar Yenicegözüce havzası çıkışında yer alan E01A012 No'lu AGİ'de ölçülmektedir. Yenicegözüce havzasını besleyen bu alt-havzalara ait morfolojik bilgiler Tablo 1'de sunulmuştur.

HEC-HMS ile hidrolojik modelleme farklı yağış-akış modelleri kullanılarak yapılabilmektedir. Bu modeller arasında en yaygın kullanılanlardan biri Amerikan Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilmiş olan SCS-CN yöntemidir [17]. SCS-CN ampirik yapıdaki bir model olup havzanın özelliklerine bağlı olarak geliştirilmiş eğri numarası (curve number - CN) değerlerine bağlı olarak yağıştan akışa geçen su miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu yöntem kullanılarak akışa geçen su miktarının hesaplanabilmesi için çalışma sahasına ait arazi kullanımı, hidrolojik toprak grupları ve meteoroloji verilerine ihtiyaç duyulmaktadır.



Şekil 2: Yenicegözüce havza sınırları, alt-havzaları ve akım kolları.

Tablo 1: Yenicegözüce Havzası ve alt-havzalarının morfometrik özellikleri.

| Morfometrik Parametre | Yenicegözüce Havzası | Hayrabolu Havzası | Süloğlu Sulama Barajı Havzası | Kayalıköy Sulama Barajı Havzası | Babaeski Havzası | Lüleburgaz Havzası | Misinli Havzası | Soğucak Havzası | Ayvacık Havzası | İnanlı Havzası |
|----------------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Havza alanı (km ²) | 5033.3 | 1389.8 | 205.7 | 493.9 | 484.9 | 930.3 | 385.5 | 73.6 | 26.0 | 1379.1 |
| Havza çevresi (km) | 767.0 | 269.9 | 88.7 | 145.3 | 238.0 | 212.5 | 181.2 | 49.1 | 33.0 | 331.8 |
| Ortalama havza yüksekliği (m) | 139.9 | 161.0 | 339.0 | 405.1 | 309.5 | 131.7 | 186.6 | 439.1 | 240.2 | 165.7 |
| Ortalama havza eğimi | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.11 | 0.09 | 0.03 | 0.04 | 0.10 | 0.06 | 0.04 |
| Maksimum akış kolu uzunluğu (km) | 173.9 | 85.2 | 29.5 | 52.0 | 75.9 | 71.4 | 66.2 | 16.4 | 8.1 | 90.6 |
| Maksimum akış kolu eğimi | 0.004 | 0.009 | 0.009 | 0.009 | 0.008 | 0.003 | 0.007 | 0.042 | 0.018 | 0.002 |

Bu proje kapsamında kullanılmak üzere belirlenen ve hem güncel verileri hem de uzun yıllar verisi bulunan Meteoroloji İstasyonları (Mİ) ve AGİ'lerin yerleri ve veri aralıkları sırasıyla Tablo 2 ve Tablo 3'te sunulmuştur. Hidrolojik modelin en önemli girdilerinden biri olan yağış verileri Şekil 1'de verilen meteoroloji istasyonlarının noktasal verileri Thiessen poligon metodu ile alansal veriye çevrilerek elde edilmiştir.

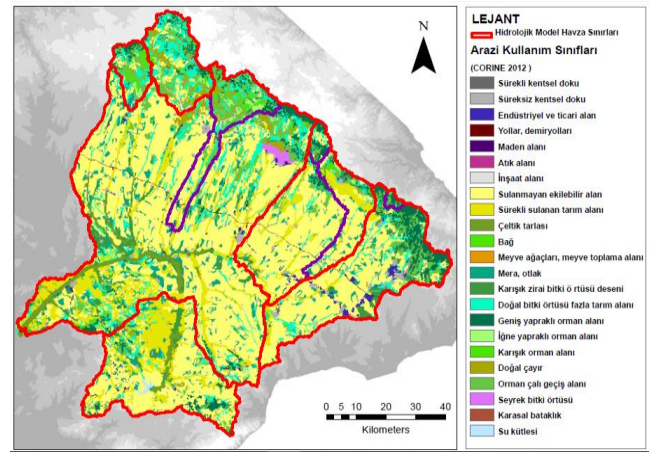
Yapılan modelleme çalışması kapsamında arazi kullanım verileri Corine (2012) [20] verilerinden temin edilmiştir. Corine verilerinde her bir arazi kullanım bölgesi farklı bir renk kodu ile temsil edilmekte ve ilgili bölgelere bu kodlara ait renkler atanarak arazi kullanım haritası elde edilebilmektedir. Çalışma sahası için bu kapsamda elde edilmiş arazi kullanım haritası Şekil 3'te verilmiştir.

Tablo 2: Yenicegözüce havzası ve civarında bulunan Mİ ve veri aralıkları

| İstasyon No | İstasyon Adı | Veri Aralığı (günlük) | | |
|-------------|------------------|-----------------------|-------------------|------------|
| | | Toplam Yağış | Ortalama Sıcaklık | Güneşlenme |
| 17634 | Malkara | 1980-2018 | 1985-2016 | 1985-2011 |
| 17632 | İpsala | 1963-2018 | 1963-2016 | 1971-2012 |
| 17631 | Lüleburgaz Tigem | 1960-2018 | 1960-2016 | 2006-2006 |
| 17608 | Uzunköprü | 1962-2018 | 1965-2016 | 1976-2012 |
| 17056 | Tekirdağ | 1960-2016 | 1960-2016 | 1983-2018 |
| 17054 | Çorlu | 1960-2018 | 1960-2016 | 2005-2006 |
| 17052 | Kırklareli | 1960-2016 | 1963-2016 | 1999-2018 |
| 17050 | Edirne | 1960-2016 | 1960-2016 | 1971-2018 |

Tablo 3: Yenicegözüce havzası ve civarında bulunan AGİ ve veri aralıkları.

| İstasyon No | İstasyon Adı | Akarsu | Veri Aralığı |
|-------------|--------------|-----------|--|
| D01A008 | Lüleburgaz | Ergene | 1957-1975, 1981-2015 |
| D01A020 | İnanlı | Ergene | 1962-1978, 1981-2016 |
| D01A031 | Soğucak | Soğucak | 1965-2016 |
| D01A052 | K. Yoncalı | Manika | 1977-1989, 1993-2001, 2003-2005, 2007, 2009-2011, 2015 |
| D01A063 | Ayvacık | Ayvacık | 1988-2015 |
| E01A001 | Babaeski | Şeytan | 1959-2016 |
| E01A006 | Hayrabolu | Hayrabolu | 1970-2016 |
| E01A011 | Misinli | Anaçay | 1989-2007, 2010-2015 |
| E01A012 | Yenicegözüce | Ergene | 1997-2005 |
| E01A018 | Bakırca | Ergene | 2006-2007, 2010-2015 |
| D01A057 | Ferre-Kupuru | Meriç | 1986-2010, 2016 |



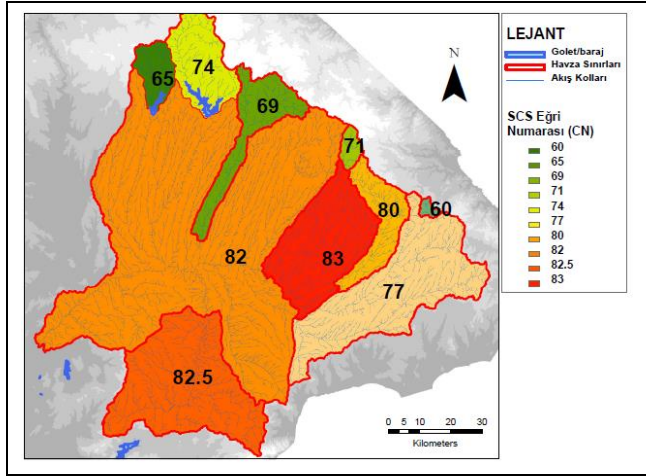
Şekil 3: Yenicegözüce havzası arazi kullanım haritası.

Bu aşamadan sonra SCS-CN yöntemi ile çalışma sahasına ait eğri numarasının saptanması amacıyla hidrolojik toprak gruplarının belirlenmesi gerekmektedir. SCS-CN yöntemi kapsamında toprak A, B, C ve D gibi hidrolojik gruplara ayrılmaktadır. Genel olarak A grubu düşük akım potansiyeline (yüksek sızma kapasitesi), D grubu ise yüksek akım potansiyeline (düşük sızma kapasitesi) sahip toprak gruplarını temsil etmektedir [18]. Çalışma sahasına ait hidrolojik toprak gruplarıysa European Soil Data Center (ESDAC) tarafından oluşturulmuş olan 250 m çözünürlüklü toprak özellikleri haritaları [18] ve Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (ABD Tarım Bakanlığı-United States Department of Agriculture, USDA) yaklaşımı [20], [21] kullanılarak çıkartılmıştır.

Daha sonra arazi kullanımı verileri ile hidrolojik toprak grubu verilerinin bir arada kullanılması ve GVC-FAO [18] kaynağında verilen yöntem uygulanması ile çalışma sahasındaki eğri numaraları WMS (Watershed Modeling System) [19] hidrolojik modelleme yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Yenicegözüce havzası alt-havzalarına ait ağırlıklı CN değerleri Şekil 4'te sunulmuştur.

Yenicegözüce havzasında yer alan Süloğlu ve Kayalıköy barajları sulama ve taşkın koruma amaçlı işletilmektedir. Söz konusu barajlara ait aylık işletme verileri ile Misinli (E01A011), Soğucak (D01A031), Babaeski (E01A001) ve Ayvacık (D01A063) AGİ günlük akım verileri kaynak havzaların çıkışlarında gözlenen akımları temsil etmek üzere hidrolojik modele aktarılmıştır. Dolayısıyla, kurulmuş olan hidrolojik model, Şekil 2'de Yenicegözüce, Lüleburgaz, İnanlı ve

Hayrabolu alt-havzaları olarak gösterilmiş olan 4 havzaya ait yağış-akış ilişkisini modellemektedir.



Şekil 4: Yenicegözüce havzası için CN analiz sonucu.

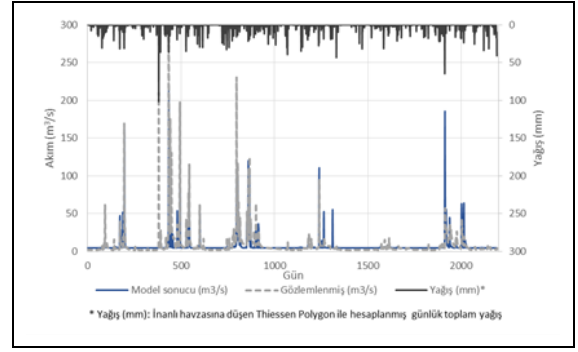
4 Kalibrasyon ve doğrulama sonuçları

Yenicegözüce havzasında yer alan AGİ ve Mİ'lere ait günlük veriler incelenerek tüm istasyonlar için ortak olan 1997-2002 su yılları hidrolojik modelin kalibrasyonu, 2003-2005 su yılları ise doğrulaması için kullanılmak üzere seçilmiştir. Hidrolojik modelin kalibrasyonu ve doğrulaması Lüleburgaz (D01A008), İnanlı (D01A020), Hayrabolu (E01A006), Yenicegözüce (E01A012) günlük akım verilerine dayalı olarak yapılmıştır.

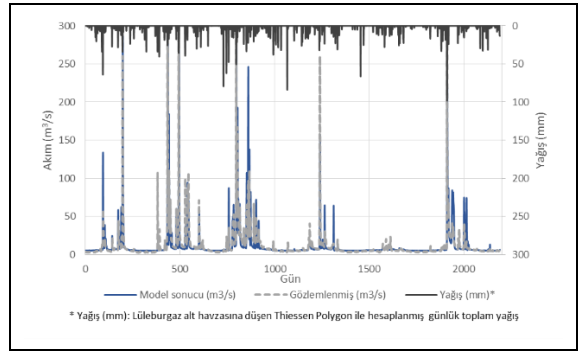
Model kalibrasyonu aşamalı olarak gerçekleştirilmiş olup öncelikli olarak İnanlı alt-havzasına ait yağış-akış ilişkisi ve havzada toplanan yüzey suları D01A020 no'lu AGİ ölçümleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Havza içerisinde yer alan Ayvacık (D01A063), Soğucak (D01A031) ve Misinli (E01A011) AGİ'lerdeki günlük akım verileri kaynak deşarjı olarak tanımlanmıştır ve D01A008 no'lu Lüleburgaz AGİ'si günlük akım verileri kullanılarak Lüleburgaz alt-havzası akımları kalibre edilmiştir. Bunu takiben Hayrabolu alt-havzası E01A006 no'lu AGİ ölçümleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Son olarak, Babaeski (E01A001) AGİ günlük akımları ve Süloğlu ve Kayalıköy barajları günlük deşarj verilerinin kaynak olarak alındığı Yenicegözüce havzası genelinden toplanan yüzey suyu E01A012 no'lu Yenicegözüce AGİ noktasında günlük akım gözlem verilerine dayalı olarak kalibre edilmiştir. Dolayısıyla kurulmuş olan hidrolojik model İnanlı (D01A020), Lüleburgaz (D01A008), Hayrabolu (E01A006) ve Yenicegözüce (E01A012) AGİ'lerinden geçen akımları tahmin etmektedir. 1997-2002 su yılları arasındaki kalibrasyon dönemine ait İnanlı, Lüleburgaz, Hayrabolu ve Yenicegözüce AGİ için günlük sonuçlar Şekil 5 ile Şekil 8 arasındaki grafiklerde karşılaştırılmıştır.

Kurulmuş olan hidrolojik modelin performansı kalibrasyon dönemi dışındaki bir doğrulama dönemi için modelin çalıştırılmasıyla test edilmiştir. 2003-2005 yılları arasındaki doğrulama dönemine ait dört AGİ için elde edilen günlük akımlar ve bunların gözlem verileri ile karşılaştırılması Şekil 9 ile Şekil 12 arasında sunulmuştur.

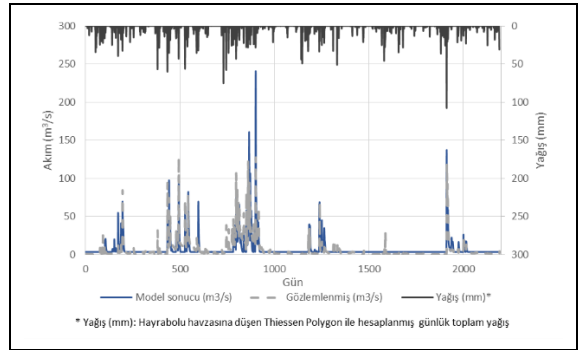
Kalibrasyon ve doğrulama dönemlerine ait günlük akımlar için model performansını gösteren istatistikler İnanlı, Lüleburgaz, Hayrabolu ve Yenicegözüce AGİ'leri için Tablo 4'te verilmiştir. Model performansının değerlendirilmesinde Korelasyon katsayısı (CORR), NSE ve R² kriterleri kullanılmıştır.



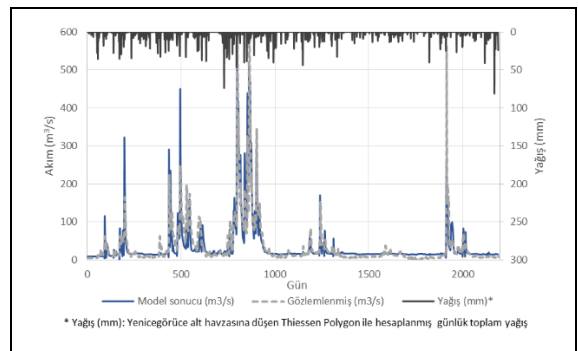
Şekil 5: İnanlı (D01A020) AGİ için günlük gözlemlenmiş akımlar ve model sonuçlarının karşılaştırılması-Kalibrasyon (1997-2002).



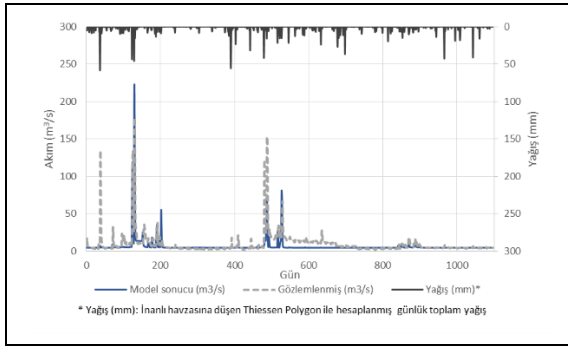
Şekil 6: Lüleburgaz (D01A008) AGİ için günlük gözlemlenmiş akımlar ve model sonuçlarının karşılaştırılması-Kalibrasyon (1997-2002).



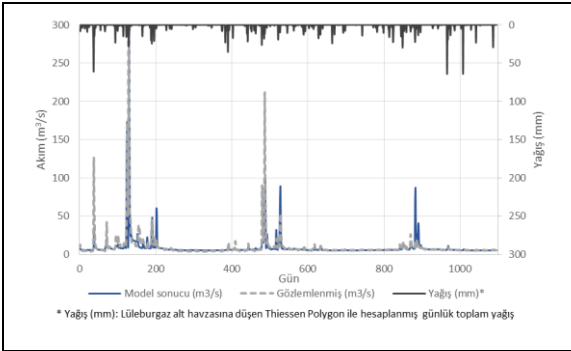
Şekil 7: Hayrabolu (E01A006) AGİ için günlük gözlemlenmiş akımlar ve model sonuçlarının karşılaştırılması - Kalibrasyon (1997-2002).



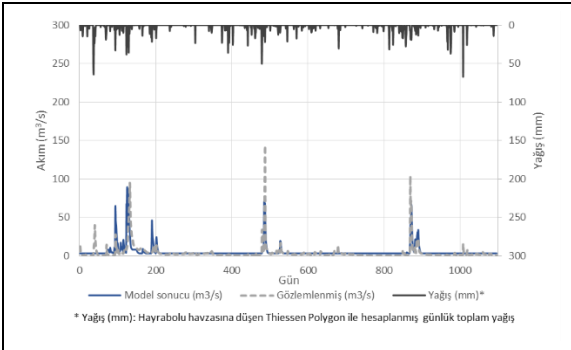
Şekil 8: Yenicegözüce (E01A012) AGİ için günlük gözlemlenmiş akımlar ve model sonuçlarının karşılaştırılması-Kalibrasyon (1997-2002).



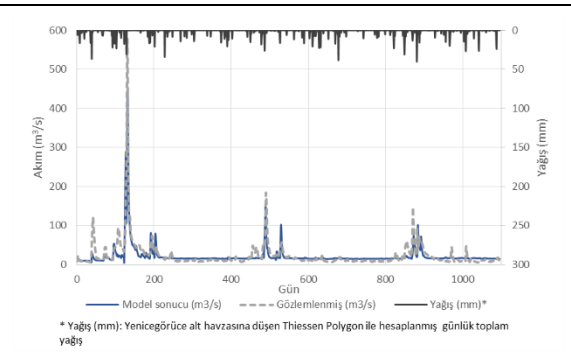
Şekil 9: İnanlı (D01A020) AGİ için günlük gözlemlenmiş akımlar ve model sonuçlarının karşılaştırılması-doğrulama (2003-2005).



Şekil 10: Lüleburgaz (D01A008) AGİ için günlük gözlemlenmiş akımlar ve model sonuçlarının karşılaştırılması-doğrulama (2003-2005).



Şekil 11: Hayrabolu (E01A006) AGİ için günlük gözlemlenmiş akımlar ve model sonuçlarının karşılaştırılması-doğrulama (2003-2005).



Şekil 12: Yenicegözü (E01A012) AGİ için günlük gözlemlenmiş akımlar ve model sonuçlarının karşılaştırılması-doğrulama (2003-2005).

Tablo 4: Kalibrasyon ve doğrulama dönemleri için model performans istatistikleri.

| | Kalibrasyon (1997-2002) | | | Doğrulama (2003-2005) | | |
|-------------------------|----------------------------|------|----------------|--------------------------|------|----------------|
| | CORR | NSE | R ² | CORR | NSE | R ² |
| İnanlı (D01A020) | 0.78 | 0.61 | 0.61 | 0.65 | 0.36 | 0.42 |
| Lüleburgaz (D01A008) | 0.78 | 0.61 | 0.61 | 0.89 | 0.77 | 0.78 |
| Hayrabolu (E01A006) | 0.82 | 0.58 | 0.67 | 0.65 | 0.35 | 0.43 |
| Yenicegözü (E01A012) | 0.90 | 0.80 | 0.80 | 0.87 | 0.75 | 0.76 |

5 Sonuçlar

Bu çalışma kapsamında su toplama havzası 10,508 m² olan ve çıkışında Yenicegözü AGİ bulunan havza için HEC-HMS yazılımı kullanılarak bir hidrolojik model kurulmuştur. Modelde İnanlı, Lüleburgaz ve Hayrabolu alt-havzaları tanımlanmış ve bu havza çıkışlarında bulunan AGİ ölçümleri kullanılarak kalibre edilmiştir. Modelin doğrulaması 2003-2005 yılları arasındaki veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. NSE eksi sonsuz ile bir arasında değerler olabilir ve mükemmel modeli gösteren en iyi değer birdir. Moriasi ve diğ. (2007) [28] havza modelleri kullanılan farklı çalışmaları derlemiştir. Bu çalışmalarda genellikle 0.50-0.65 arasında hesaplanan NSE değerlerinin kabul edilebilir, 0.65-0.75 arasındaki değerler ise iyi olduğunu raporlamışlardır. Santhi ve diğ. (2001) [29] ve Van Liew ve diğ. (2003) [30] ise 0.6'dan yüksek R² değerlerinin kabul edilebilir olduğunu belirtmiştir. İnanlı, Lüleburgaz ve Hayrabolu alt-havzalarını içine alan Yenicegözü havzasındaki yağış-akış ilişkisi doğrulama dönemi için NSE değeri 0.75, R² değeri ise 0.76 olacak şekilde tahmin edilebilmektedir. Bu değerler hidrolojik modelin oldukça iyi bir performansta çalıştığını göstermektedir. Ancak Lüleburgaz hariç diğer iki alt-havza (İnanlı ve Hayrabolu) için model performansı yeterince iyi değildir. Dolayısıyla Yenicegözü havzasındaki yağış-akış ilişkisi oldukça iyi bir şekilde tahmin edilebilmesine rağmen alt-havza basında sonuçlar geliştirilmeye açıktır. İlerleyen aşamalarda modele havzadaki sulamalar ve endüstriyel su kullanımları ve deşarjları ile ilgili bilgiler entegre edilerek modelin alt-havza bazında da performansının iyileştirilmesi planlanmaktadır. Elde edilen sonuçların, özellikle Yenicegözü havzası için, havzadaki su kaynaklarının kullanımının etkili bir şekilde planlanmasına destek olacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın aynı zamanda Türkiye'de son yıllarda gerçekleştirilmeye başlanmış olan hidrolojik model kurulması, kalibre edilmesi ve doğrulanması çalışmalarına örnek yeni bir çalışma olarak da ulusal literatüre katkıda bulunacağına inanılmaktadır.

6 Teşekkür

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenen 115Y064 No.lu "Ergene Havzası Su Kalitesi Yönetimi İçin Kirletici Parmak İzine Bağlı Coğrafi Bilgi Sistemi Bazlı Karar Destek Sistemleri Geliştirme Projesi" başlıklı proje kapsamında gerçekleştirilmiştir.

7 Kaynaklar

- [1] The Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center. "HEC-HMS". <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/> (01.07.2018).

- [2] Knebl MR, Yang ZL, Hutchison K, Maidment DR. "Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC-HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event". *Journal of Environmental Management*, 75, 325-336, 2005.
- [3] Shahid MA, Boccardo P, Usman M, Albanese A, Qamar MU. "Predicting peak flows in real time through event based hydrologic modeling for a trans-boundary river catchment". *Water Resources Management*, 31, 793-810, 2017.
- [4] Fleming M, Neary V. "Continuous hydrologic modeling study with the hydrologic modeling system". *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(3), 175-183, 2004.
- [5] Gyawali R, Watkins DW. "Continuous hydrologic modeling of snow-affected watersheds in the Great Lakes Basin using HEC-HMS". *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(1), 29-39, 2013.
- [6] Halwatura D, Najim MMM. "Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment". *Environmental Modelling and Software*, 46, 155-162, 2013.
- [7] Chu X, Steinman A. "Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS". *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(1), 119-124, 2009.
- [8] Chea S, Oeurng C. "Flow simulation in an ungaged catchment of Tonle Sap Lake Basin in Cambodia: Application of the HEC-HMS model". *Water Utility Journal*, 17, 3-17, 2017.
- [9] Du J, Qian L, Rui H, Zuo T, Zheng D, Xu Y, Xu CY. "Assessing the effect of urbanization on annual runoff and flood events using an integrated hydrologic modeling system for Qinhui River basin, China". *Journal of Hydrology*, 464-465, 127-139, 2012.
- [10] Anderson ML, Chen ZQ, Kavvas ML, Feldman A. Coupling "HEC-HMS with atmospheric models for prediction of watershed runoff". *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(4), 312-318, 2002.
- [11] Razi MAM, Ariffin J, Tahir W, Arish NAM. "Flood estimation studies using hydrologic modeling system (HEC-HMS) for Johor River, Malaysia". *Journal of Applied Sciences*, 10(11), 930-939, 2010.
- [12] Al-Zahrani M, Al-Areeq A, Sharif HO. "Estimating urban flooding potential near the outlet of an arid catchment in Saudi Arabia". *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 672-688, 2017.
- [13] Yener MK, Sorman AU, Sorman AA, Sensoy A, Gezgin T. "Modeling studies with HEC-HMS and runoff scenarios in Yuvacik Basin, Turkey". *International Congress on River Basin Management*, Antalya, Turkey, 22-24 March 2007.
- [14] Kocyyigit MB, Akay H, Yanmaz AM. "Estimation of hydrologic parameters of Kocanaz Watershed by a hydrologic model". *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 9(4), 42-50, 2017.
- [15] Kahraman AC, Özkul M, Marmara Belediyeler Birliği. "Koruma Eylem Planı. Durum Değerlendirme Raporu II". İstanbul, Türkiye, 2018.
- [16] Özdemir, H. "SCS CN Yağış-akış modelinin CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle uygulanması: Havran Çayı Havzası örneği (Balıkesir)". *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5(2), 1-12, 2007.
- [17] Copernicus Land Monitoring Service (CLMS). "EU-DEM v1.1". <https://land.copernicus.eu/pan-european/satellite-derived-products/eu-dem/eu-dem-v1.1> (01.07.2018).
- [18] Soil Conservation Service (SCS). "Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10". Soil Conservation Service, USDA, Washington, DC, USA, 1985.
- [19] European Commission. "CORINE Land Cover". Technical Guide, 1994.
- [20] European Soil Data Centre (ESDAC). "3D Soil Hydraulic Database of Europe at 1 km and 250 m resolution". <https://esdac.jrc.ec.europa.eu> (01.07.2018).
- [21] United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. "Part 630 Hydrology National Engineering Handbook. Chapter 7 Hydrologic Soil Groups". 2007.
- [22] USDA. "Urban Hydrology for Small Watersheds". Technical Release, 55, 2-6, 1986.
- [23] GVC-FAO (2017) "GVC FAO Database", <http://www.gvcfao-database.org>
- [24] Aquaveo, LLC. "WMS Downloads". <https://www.aquaveo.com/downloads-wms> (01.07.2018).
- [25] Öztürk D, Batuk F. "SCS yüzey akış eğri numarasının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi". *TUFUAB V. Teknik Sempozyumu*, Antalya, Türkiye, 23-25 Şubat 2011.
- [26] Sælthun NR. Nordisk Ministerraad. "Climate Change Impacts on Runoff and Hydropower in the Nordic Countries: Final Report from the Project, Climate Change and Energy Production". Copenhagen, Denmark, 1998.
- [27] St-Hilaire, A. "Floods in A Changing Climate: Hydrologic Modelling". Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2014.
- [28] Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith, TL. "Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations". *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(3), 885-900, 2007.
- [29] Santhi C, Arnold JG, Williams JR, Dugas WA, Srinivasan R, Hauck LM. "Validation of the SWAT model on a larve river basin with point and nonpoint sources". *Journal of American Water Resources Association*, 37(5), 1169-1188, 2001.
- [30] Van Liew MW, Arnold JG, Garbrecht JD. "Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between models". *Trans ASAE*, 46(6), 1539-1551, 2003.