

## Koyunbaba Barajı'nın Hidrolojik Davranışının İncelenmesi

İsmael Ali MOHAMED<sup>1</sup>, Eren YURDAKUL<sup>2\*</sup>, Cihan DOĞRUÖZ<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Çankırı Karatekin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Çankırı, Türkiye  
<sup>1</sup> ismael.ali.med2@gmail.com, <sup>2</sup> erenyurdakul@karatekin.edu.tr, <sup>3</sup> cihandogruoz@karatekin.edu.tr

(Geliş/Received: 17/04/2023;

Kabul/Accepted: 14/07/2023)

**Öz:** Koyunbaba Barajı, Çankırı ilinin Şabanözü ilçesinde yer alan ve sulama, evsel ve endüstriyel amaçlar için su kaynağı olarak hizmet veren bir su depolama tesisidir. Barajın su kaynağı potansiyeli, iklim değişikliği, arazi kullanım değişiklikleri ve diğer insan kaynaklı faaliyetler gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Su kaynaklarının en iyi şekilde kullanılmasını sağlamak için, barajın su mevcudiyetini doğru bir şekilde tahmin edebilecek ve su yönetimi kararlarına rehberlik edebilecek güvenilir bir hidrolojik model geliştirmek gerekmektedir. Bu çalışmada, Koyunbaba Barajı için bir hidrolojik model geliştirmek adına ArcGIS ve HEC-HMS kullanılmıştır. Çalışmada ilk adım, topografik veriler, arazi kullanım haritaları ve hidrolojik veriler de dahil olmak üzere barajın su toplama alanına ilişkin verilerin toplanmasını ve analizini içermektedir. Toplanan veriler, daha sonra ArcGIS ile bir sayısal yükseklik modeli (DEM) oluşturmak için kullanılmıştır. Bir sonraki adım ise geçmiş hidrolojik veriler kullanılarak HEC-HMS modelinin kalibrasyonunu ve doğrulanmasını içermektedir. Kalibre edilen model, kuraklık ve sel gibi farklı iklim senaryoları altında barajın su kaynağı potansiyelini simüle etmek için kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda akışın pik zamanı, debisi ve hacim değerleri paylaşılmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Hidrolojik modelleme, HEC-HMS simülasyonu, model kalibrasyonu, ArcGIS, su kaynağı.

### Examination of Hydrological Behavior of Koyunbaba Dam

**Abstract:** Koyunbaba Dam is a water storage facility located in Şabanözü town of Çankırı city, Türkiye. The dam serves as a source of water supply for irrigation, domestic, and industrial purposes. The dam's water resource potential is subject to various factors such as climate change, land use changes, and other anthropogenic activities. In order to ensure the optimal utilization of water resources, it is necessary to develop a reliable hydrological model that can accurately predict the dam's water availability and guide water management decisions. In this study, ArcGIS and HEC-HMS were used to develop a hydrological model for Koyunbaba Dam. The first step involved collecting and analyzing data on the catchment area of the dam, including topographic data, land use maps and hydrological data. The collected data was then used to create a digital elevation model (DEM) using ArcGIS. The next step involved calibration and validation of the HEC-HMS model using historical hydrological data. The calibrated model was used to simulate the water resource potential of the dam under different climate scenarios such as drought and flood. Peak time, flow rate and volume values are given as a result of the simulation.

**Key words:** Hydrological modeling, HEC-HMS simulation, model calibration, ArcGIS, water resource.

### 1. Giriş

Su yönetimi, tarımdan insan tüketimine kadar tüm sektörlerde önemli bir zorluktur. Su kaynaklarının verimli kullanımını iyileştirmek ve çevresel sorunları azaltmak için barajlarda havza su kaynakları yönetimi küresel olarak giderek daha önemli hale gelmektedir [1]. Tüm su yönetimi uygulamalarının ayrılmaz bir parçası olan hidrolojik modelleme analizleri, karar vericilere bilimsel destek sağlamak ve mevcut finansman durumları için hedeflenen önlemlerde ve senaryo tabanlı tahminler kullanılarak problem çözmede hayati bir rol oynamaktadır. Ancak hidrolojik modeller mekânsal ve zamansal kısıtlamalarla sınırlıdır. Bu modeller, çıkıştaki yağışa bağlı olarak bir su havzasındaki akış bileşenlerini simüle etmektedir; bazıları akış zaman serileri oluşturabilirken diğerleri çıkış hidrografları sağlamak için yağış olaylarını işlemektedir [2].

HEC-HMS (Hidrolojik Mühendislik Merkezi – Hidrolojik Modelleme Sistemi) programı genel olarak havzaya dair hidrolojik modellemede kullanılan, literatüre katkı sunmuş bir programdır [3]. HEC-HMS kullanılarak yarı kurak bir bölgede hidrolojik modelleme çalışmasında, HEC-HMS modelinin güvenilirliğini ve verimliliğini değerlendirmek için 1978'den 2007'ye kadar kuzeybatı Çin'deki Hailiutu havzasındaki akış simülasyonu gerçekleştirilmiştir [4]. Bostanlı Havzası'ndaki yapısal taşkın kontrol önlemlerinin etkinliğini değerlendirmek için HEC-HMS modelini kullanmıştır. Yavuz vd. [5] tarafından yapılmış çalışmada, Yuvacık baraj rezervuarının yönetiminde yardımcı olmak üzere HEC-HMS hidrolojik modelinin bir tasarımı

\* Sorumlu yazar: [erenyurdakul@karatekin.edu.tr](mailto:erenyurdakul@karatekin.edu.tr). Yazarların ORCID Numarası: <sup>1</sup> 0009-0009-9391-5181, <sup>2</sup> 0000-0001-9633-5005, <sup>3</sup> 0000-0002-7487-4822

uygulanmıştır. Oleyiblo ve Li [6] Çin'deki Misai ve Wan'an su havzaları için DEM (sayısal yükseklik modeli) ve yağış verilerine dayanarak bir HEC-HMS modeli oluşturmuştur. Bu model sel tahmininde başarıyla kullanılmıştır. Tramblay [7] rezervuar yönetimini iyileştirmek amacıyla, Makhazine Barajı'nda gelen sellerin nicel tahmini için HEC-HMS modelini kullanmıştır. HEC-HMS modelinin, baraj gibi hidrolik yapıların davranışını modellemeyi mümkün kıldığını belirtmiştir. Modelde Makhazine Barajı, bir çıkışı ve depolanan su miktarını simüle etmeyi sağlayan bir rezervuarla temsil edilmiştir. Dourdour vd. [8] HEC-HMS modelini kullanarak Ain Sefra havzasının yarı kurak bölgesinde yağış-akış simülasyonu hazırlamıştır. Çalışmada, meteorolojik model için frekans fırtınası kullanılmış, kayıp oranını hesaplamak için SCS-CN (Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası) seçilmiş ve akış oranını simüle etmek için SCS (Toprak Koruma Servisi) birim hidrograf yöntemi uygulanmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama çalışmalarından sonra, simüle edilen pik deşarjların gözlenen değerlere çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

ArcGIS, Esri tarafından geliştirilen güçlü bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımıdır ve son yıllarda hidrolojik modellemede giderek daha fazla kullanılmaktadır. ArcGIS'in sıklıkla kullanıldığı alanlardan biri de taşkın modellemesidir. Araştırmacılar, taşkın riskini analiz etmek [9], taşkın su baskınlarını modellemek [10] ve iklim değişikliğinin taşkın sıklığı ve yoğunluğu üzerindeki etkilerini simüle etmek [11] için ArcGIS programını kullanmaktadır. Ayrıca ArcGIS, sellerin mekânsal dağılımını analiz etmek [12], farklı sel yönetim stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek [13] ve sel tehlikesi bölgelerini haritalamak [14] için kullanılmıştır.

Çalışmada, Koyunbaba Barajı baseni için pik deşarj hidrografi modellemesi HEC-HMS modeli kullanılarak geliştirilmiştir. Bu amaçla, ArcGIS kullanılarak havzanın fiziksel ve iklimsel özellikleri belirlenmiş ve daha sonra HEC-HMS modeli kullanılarak simülasyonlar oluşturulmuştur.

## 2. Çalışma Alanı

Koyunbaba Barajı, Ankara ve Çankırı illeri sınırında, Kızılırmak havzasının drenaj alanında yer almaktadır. Baraj, Terme Çayı beslemektedir. Baraj, Kalecik ilçesine bağlı Koyunbaba köyünün yaklaşık üç kilometre kuzeyinde 33°18'D – 40°10'K koordinatlarında inşa edilmiştir [15]. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 1'de verilmektedir.

Kalecik ilçesinde Terme Çayı üzerinde inşa edilen 228 milyon m<sup>3</sup> depolama kapasiteli Koyunbaba Barajı'nın 102.910 dekar araziye sulaması beklenmektedir. Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılında inşaatına başlanan baraj, 2014 yılında su tutmaya başlamıştır. Koyunbaba Barajı'nın teknik özellikleri Tablo.1'de verilmektedir. Baraj 51,32 m yüksekliğe ve 228 hm<sup>3</sup> toplam depolama kapasitesine sahiptir.

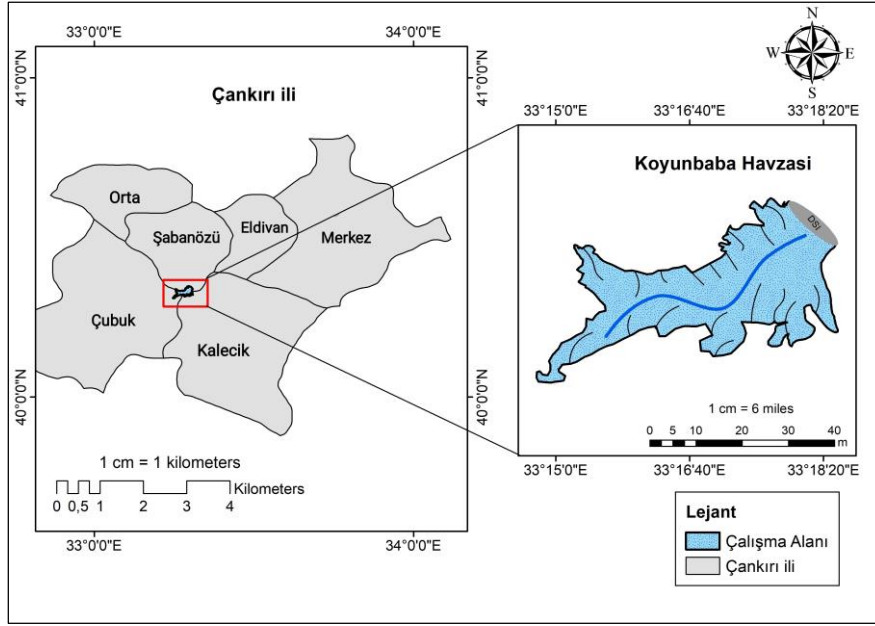
**Tablo 1.** Koyunbaba Barajı'nın teknik özellikleri.

Koyunbaba Barajı'nın teknik özellikleri	
Gövde tipi	Ön yüzü beton kaplı, kum-çakıl dolgu tipinde
Temelden yüksekliği	51,35 m
Dolgu hacmi	1,70 hm <sup>3</sup>
Depolama hacmi	228 hm <sup>3</sup>

## 3. Materyal ve Yöntem

### 3.1. Veriler

HEC-HMS hidrolojik modeli, ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin (USACE) Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından geliştirilmiştir. Model, infiltrasyon, birim hidrograflar ve hidrolojik yönlendirme gibi hidrolojik analiz prosedürlerini bir araya getirmektedir. HEC-HMS ayrıca evapotranspirasyon, kar erimesi ve toprak nemi hesabı gerektiren sürekli simülasyon yapabilmektedir.



Şekil 1. Çalışma alanı lokasyon haritası.

HEC-HMS, tüm havzayı hidrolojik ve hidrolik bileşenlerin birbirine bağlı bir sistemi olarak temsil ederek bir havzanın yağış-akış tepkisini simüle etmek için diğer girdilerle birlikte tasarım fırtınası hyetografını ve birim hidrograflarını kullanmaktadır. Ayrıca, çeşitli Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) verileriyle çalışmak ve hidrolik mühendisliğinde CBS teknolojisinin kullanımını kolaylaştırmak için tasarlanmıştır. HEC-HMS modelinde, hidrolik yapılar için farklı kısımları değerlendirmek amacıyla geçmiş veriler veya tasarım fırtınaları için oluşturulan veriler kullanılarak yağış tanımlanabilir. Kullanıcı tarafından belirlenen bir birim hidrograf, daha sonra yüzey akışını elde etmek için modelde kullanılabilir. HEC-Geo-HMS, ArcGIS yazılımının bir uzantısı olup, coğrafi verilerin türetilmesinde yardımcı olarak hizmet vermek üzere geliştirilmiştir [15]. HEC-Geo-HMS kullanılarak mekânsal analiz yapmak, alt havzaları ve akarsuları tanımlamak, hidrolojik modellere girdiler oluşturmak, raporlar hazırlamak ve arka plan harita dosyaları, raster parametre dosyaları ve doğrudan HEC-HMS modeline aktarılabilen toplu veya dağıtılmış havza modelleri oluşturmak mümkündür [16,17].

Bu çalışma için ihtiyaç duyulan ana veriler arazi kullanım bilgileri, sayısal yükseklik modeli, gözlemlenen yağış ve akış verileri ve havzanın hidrolik yapısının özellikleridir. Koyunbaba Barajı'nın gerekli özellikleri USGS (United States Geological Survey-ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu) web sitesinden dijital formatta elde edilmiştir. 1981-2021 yılları arasında Devlet Su İşleri tarafından bir meteoroloji istasyonu (D15A177) ve bir debi gözlem istasyonu eş zamanlı olarak işletilmiştir.

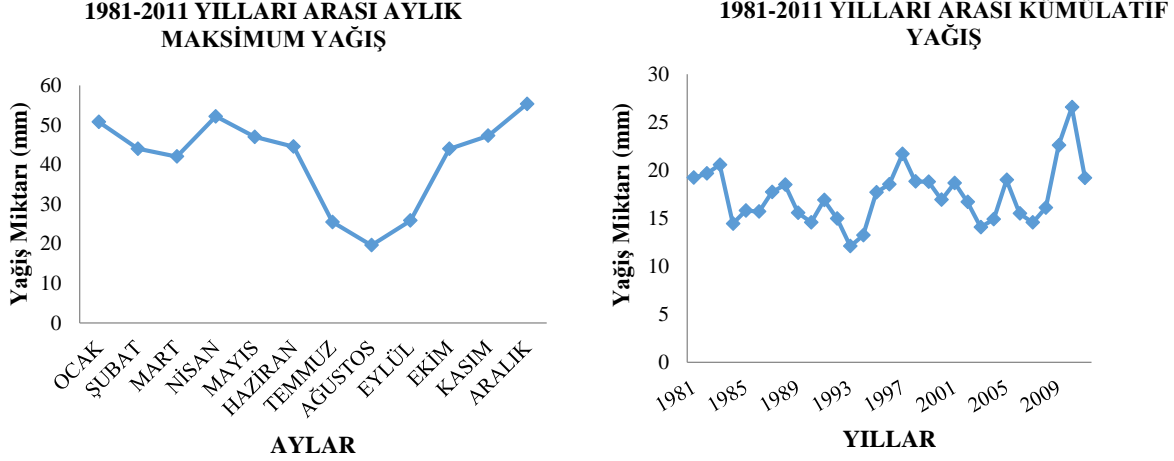
Tablo 2. Meteoroloji istasyonunun özellikleri.

İstasyon Adı	İşleten Kuruluş	Kotu(m)	Yıllık Ortalama Yağış(mm)	Gözlem Periyodu	Yıl Sayısı
D15A177	DSİ	778	106	1981-2021	40

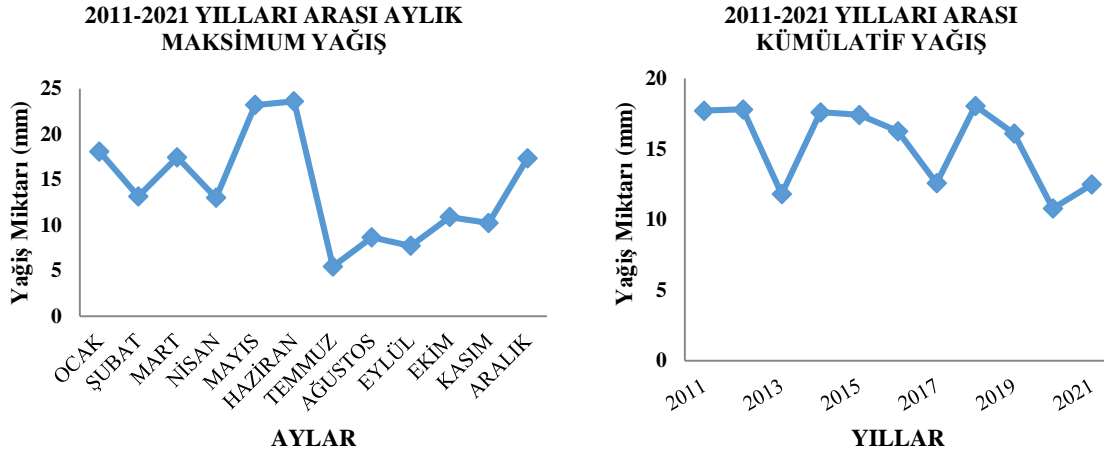
Koyunbaba'daki sıcaklık, yüzey akışı ve yağış miktarı aşağıdaki şekillerde verilmiştir. Bu veriler AGİ (akım gözlem istasyonu) 'den elde edilmiştir. D15A177 AGİ'de yıllık ortalama yağış 1981-2011 yılları arasında 40,65 mm/gün ölçülmüştür. 15A177 AGİ'nin 1981-2011 yılları arasında aylık maksimum yağış miktarları Şekil 2'de ve 1981-2011 yılları arasında yıllık toplam yağış miktarları Şekil 3'te gösterilmiştir. D15A177 MGİ (meteoroloji gözlem istasyonu)'de yıllık ortalama sıcaklık 1981-2011 yılları arasında 8,20°C olarak ölçülmüştür. D15A177 MGİ'nin 1981-2011 yılları arası sıcaklık değerleri ve 2011-2021 yılları arası sıcaklık değerleri (°C) Şekil 4'te gösterilmiştir.

### 3.2. Yöntem

Bu çalışmada ilk adım ArcGIS kullanılarak havzanın nehir eğimi, havza merkezi, en uzun akış yolu, merkezi en uzun akış yolu ve havza drenaj alanı gibi fiziksel ve iklimsel özelliklerinin belirlenmesidir. ArcGIS model uzantısı olarak başlangıçta DEM kullanılmaktadır. Havzanın özellikleri ayrı ayrı ele alınmıştır. ArcGIS programı tarafından işletilen HEC-GeoHMS işlemleri sonucunda havzanın şeması oluşturulmuştur (Şekil 5).



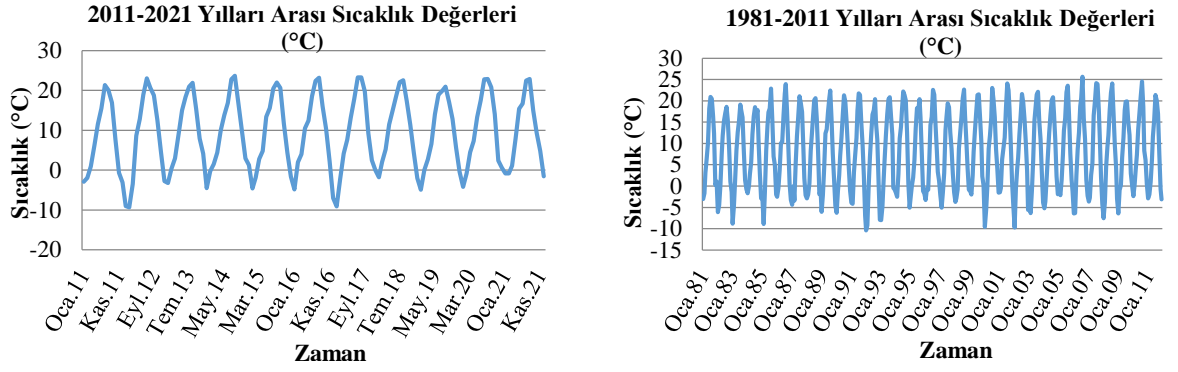
Şekil 2. 1981-2011 yılları arasında aylara göre maksimum yağış miktarları.



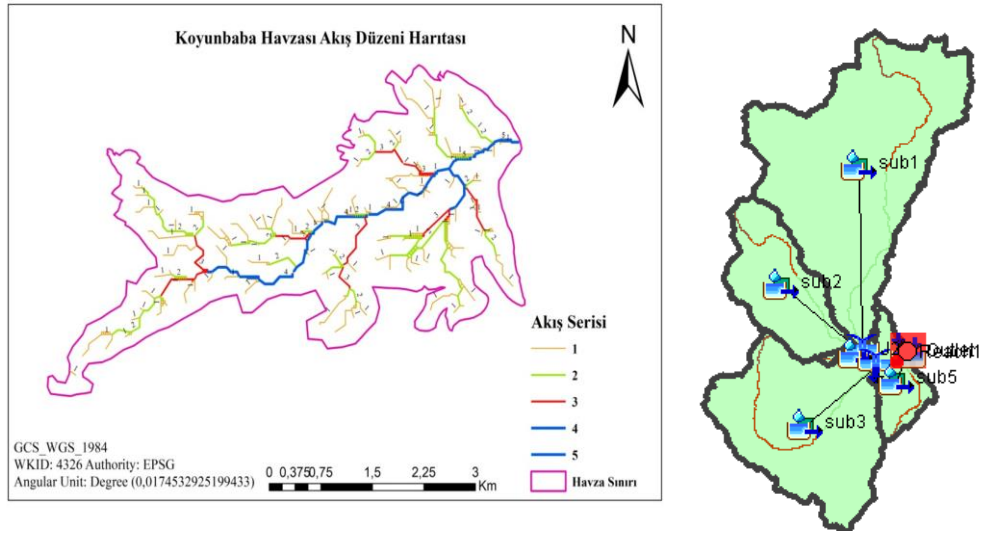
Şekil 3. 2011-2021 yılları arasında aylara göre maksimum yağış miktarları.

HEC-HMS model çalışması ile havzanın hidrolojik döngüsü kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır. Model için kullanılan yöntemler ile meteorolojik parametre ilişkilendirilerek debi tahmini oluşturulmuştur. Sonuçlar gerçek gözlemlerle karşılaştırılmış ve modelin performansı belirlenmiştir. HEC-HMS ile oluşturulan havza şeması Şekil 5'te görselleştirilmiştir.

Havzadaki kayıp oranlarını belirlemek için SCS-CN (Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası) yöntemi seçilmiştir. SCS CN metodu, yağıştan kaynaklanan yüzeysel akış miktarını yaklaşık olarak belirlemek için etkili bir yöntemdir. Yöntem, yağış miktarı ve CN (eğri numarası) gerektirmektedir. CN, araştırma alanının hidrolojik toprak grubuna ve arazi kullanımına dayanmaktadır. Yağış miktarı ve CN katsayısına bağlı olarak oluşturulan modelden su miktarının hesabında yararlanılmıştır. Boyutsuz bir parametre olan CN, 0 ile 100 değerleri arasında değişmektedir. Ortalama CN yağış akış modeli Denklem 1 ve 2'de verilmiştir.



Şekil 4. 1981-2011 ve 2011-2021 yılları arası sıcaklık değerleri (°C).



Şekil 5. Havzanın akış düzeni ve fiziksel temsili.

$$Q = \frac{(P-la)^2}{(P-la)+S} \quad (1)$$

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2)$$

Bu çalışma için CN değerleri çalışma alanının toprak haritasından belirlenmiştir. Bu değerler ArcGIS yazılımı kullanılarak elde edilmiştir.

**Tablo 3.** ArcGIS'dan çıkarılmış eğri numarası değerleri.

Adı	Bölge kodu	Alan (km <sup>2</sup> )	CN (eğri sayısı)
Sub-1	1	370,83	82,091
Sub-2	2	113,24	81,915
Sub-3	3	220,97	80,185
Sub-4	4	7,1279	75,856
Sub-5	5	46,31	79,379

$T_c$  (konsantrasyon zamanı), yüzey akışının su havzasındaki hidrolik olarak en uzak noktadan çıkışa ulaşması için gereken süredir. Çalışmada transform metot için lag time (gecikme süresi) Denklem 3 ile hesaplanmıştır.  $T_c$  ile lag time ilişkisini gösteren formül aşağıda verilmiştir.

$$T_c = \frac{l^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1.140V^{0.5}} \quad \text{Lag} = 0,6 \times T_c \quad (3)$$

Her bir havza için gecikme süresi hesaplamalarının sonuçları Tablo 4'te verilmiştir.

**Tablo 4.** Konsantrasyon süresi ( $T_c$ ) ve lag time süresi hesaplamalarının sonuçları.

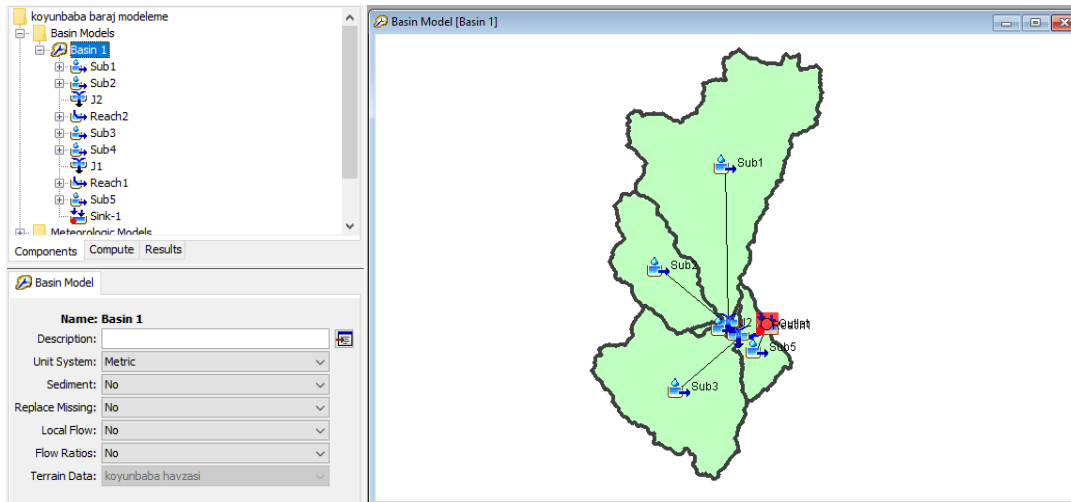
Name	CN	L (km)	Y (mm)	S	L (ft)	Y (%)	$T_c$	Lag (sa)	Lag (dk)
Sub-1	82,09	46,71	0,190	2,182	149894	19,02	6,251	3,750	225,04
Sub-2	81,91	25,22	0,261	2,208	80925	26,14	3,275	1,965	117,93
Sub-3	80,18	31,46	0,190	2,471	100944	18,98	4,848	2,909	174,54
Sub-4	75,86	7,53	0,126	3,183	24164	12,61	2,159	1,295	77,74
Sub-5	79,38	12,85	0,137	2,598	41233	13,68	2,861	1,716	103,00

Koyunbaba Barajı için HEC-HMS modelinde uygulanan yöntemler, girdi ve çıktı parametreleri aşağıda verilmiştir:

- Kayıp yöntemi (Loss Method): SCS Curve Number (Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası)
- Dönüştürme yöntemi (Transform Method): SCS Unit Hydrograph (Toprak Koruma Servisi Birim Hidrografi)
- Yönlendirme yöntemi: Muskingum

#### 4. Bulgular ve Tartışma

HEC-HMS, Koyunbaba havzasının çıkış noktasını baraj olarak kabul ederek havza alanını tanımlamak için kullanılmıştır. Sayısal Arazi Modeli'nin (DEM) HEC-HMS tarafından daha ileri düzeyde işlenmesi sonucunda Tablo 5 ve Şekil 6'da gösterildiği gibi beş alt havza, iki yönlendirme bölümü, iki bağlanma noktası ve havzanın ana fizyografik özellikleri elde edilmiştir.



**Şekil 6.** HEC-HMS ortamında havzanın fiziksel temsili (HEC-HMS, v.4.7.1).

Tablo 5'te 5 alt havzanın özellikleri verilmektedir. 1 numaralı alt havzanın 46,71 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahip olduğu ve çok yüksek bir gecikme süresine sahip olduğu (225,05 dk) tablodan görülmektedir.

**Tablo 5.** Alt havzaların özellikleri.

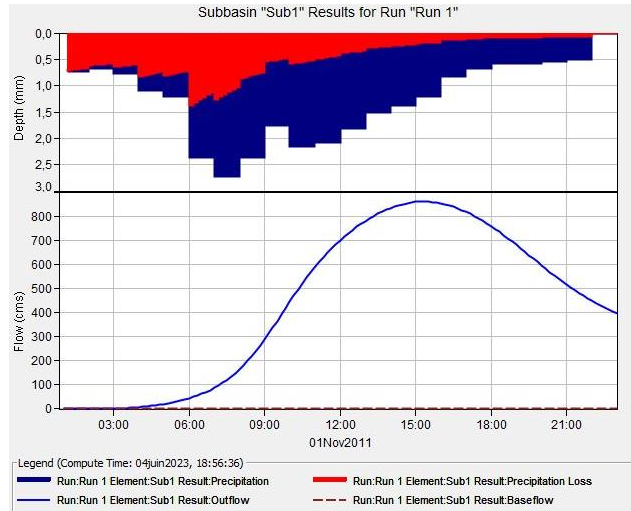
Alt havzalar	Yüzey alanı (km <sup>2</sup> )	CN (eğri sayısı)	Lag-time (dk)	Eğim %
Sub-1	46,71	82,10	225,05	19,02
Sub-2	25,22	81,91	117,93	26,13
Sub-3	31,46	80,18	174,54	18,97
Sub-4	7,53	75,86	77,75	12,60
Sub-5	12,88	79,38	103,00	13,67

Şekil 7, birinci alt havzasının (Sub-1) taşkın hidrografını göstermektedir. Yükselme eğrisi 5 saat boyunca stabildir. Toprağın doygunluğunu ifade eden eğrinin hızlı bir şekilde yükselmesinden sonra, saat 15:00'te pik noktasına 987,00 m<sup>3</sup>/s'lik bir akışla ulaşmaktadır. Bu havza 46,71 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir.

Şekil 8 ise ikinci alt havzasının (Sub-2) taşkın hidrografını göstermektedir. Yükselme eğrisi 5 saat boyunca stabildir, toprağın doygunluğu anlamına gelen eğrinin hızlı bir şekilde yükselmesinden sonra, saat 13:10'da pik noktasına 327,00 m<sup>3</sup>/s'lik bir akışla ulaşır. Bu havza 25,22 km<sup>2</sup>'lik bir alana sahiptir. SUB2 alt havzasının pik zamanı SUB1 alt havzasının pik zamanından 1 saat 50 dakika daha öncedir. Şekil 9, 10 ve 11'de SUB3, SUB4 ve SUB5 havzalarının taşkın hidrograflarını göstermektedir.

Şekil 12, çıkıştaki taşkın hidrografını göstermektedir. Simüle edilen akış 1834,00 m<sup>3</sup>/s düzeyindedir ve pik zamanı saat 20:40'ı işaret etmektedir. Bu durum, Koyunbaba Baraj havzasının 124,798 km<sup>2</sup>'lik geniş yüzeyinden kaynaklanmaktadır.

Tablo 6'da belirtildiği üzere, maksimum 1834 m<sup>3</sup>/s akış, Koyunbaba havzasında özellikle yoğun yağış dönemlerinde önemli taşkınlar yaşanabileceğini göstermektedir. En yoğun saat olan 20:40 için 74 mm'lik akış hacmi, havzanın bu dönemlerde önemli miktarda su biriktirebileceğine işaret etmektedir.

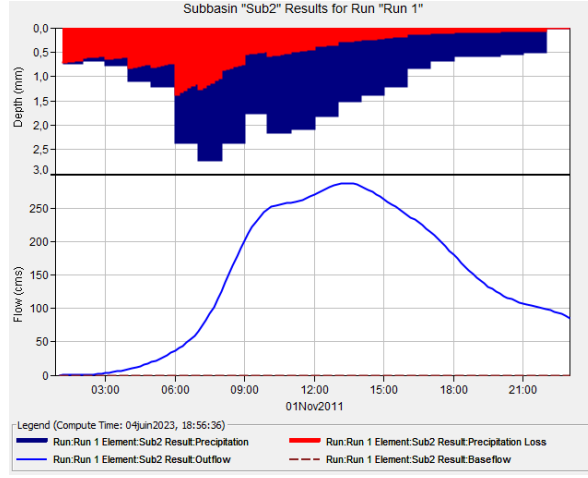


**Şekil 7.** Birinci alt havzada (Sub-1) gözlenen ve simüle edilen taşkın hidrografı.

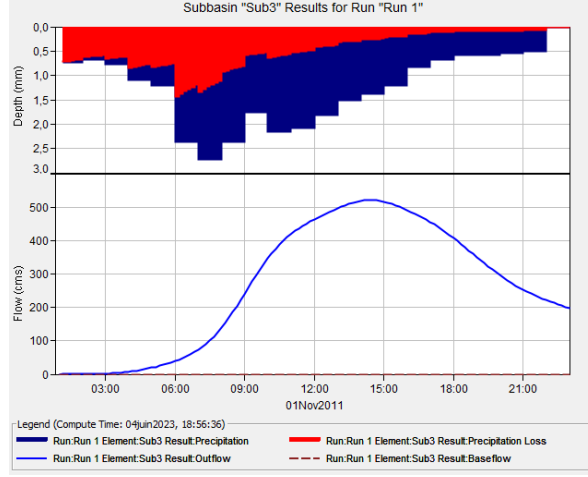
**Tablo 6.** Çıkıştaki akışın simülasyon sonuçları.

Pik Zamanı	Pik akış (m <sup>3</sup> /s)	Akış hacmi (mm)
20:40	1834,00	74,00

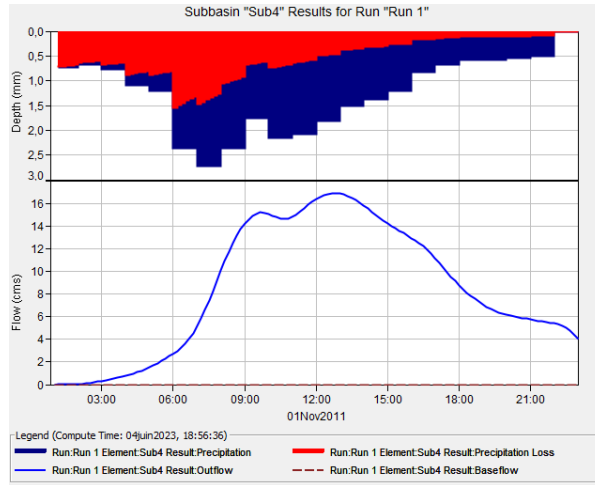
## Koyunbaba Barajı'nın Hidrolojik Davranışının İncelenmesi



Şekil 8. İkinci alt havzada (Sub-2) gözlenen ve simüle edilen taşkın hidrografı.

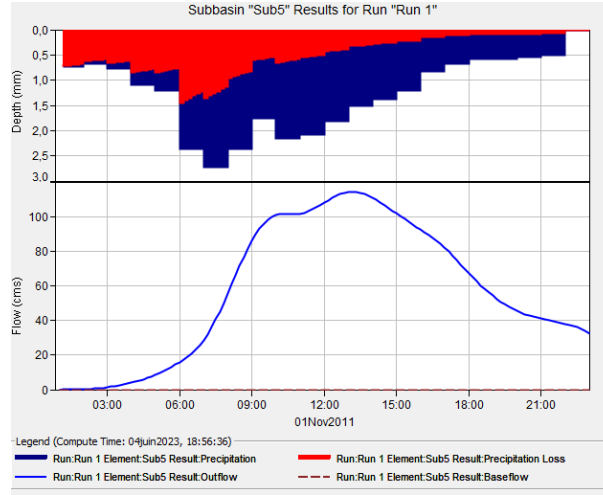


Şekil 9. Üçüncü alt havzada (Sub-3) gözlenen ve simüle edilen taşkın hidrografı.

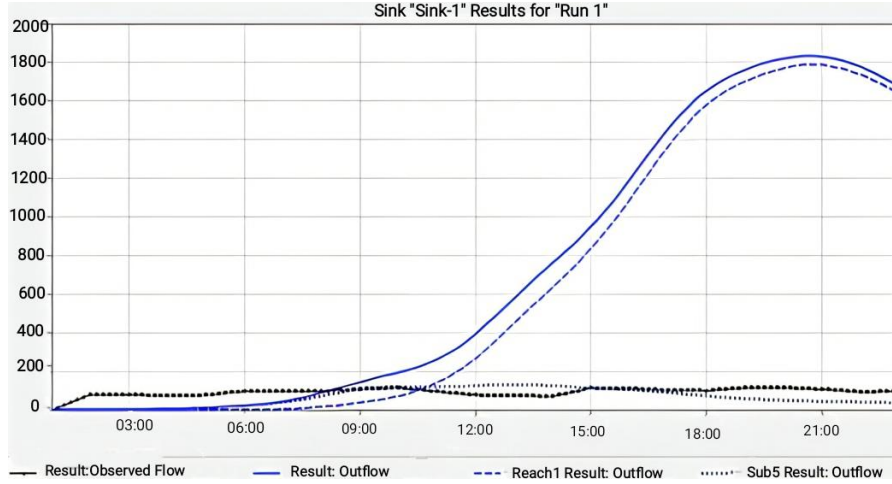


Şekil 10. Dördüncü alt havzada (Sub-4) gözlenen ve simüle edilen taşkın hidrografı.





Şekil 11. Beşinci alt havzada (Sub-5) gözlenen ve simüle edilen taşkın hidrografı.



Şekil 12. Basen çıkışında gözlemlenen pik deşarj hidrografı.

#### 4.1 Model kalibrasyonu

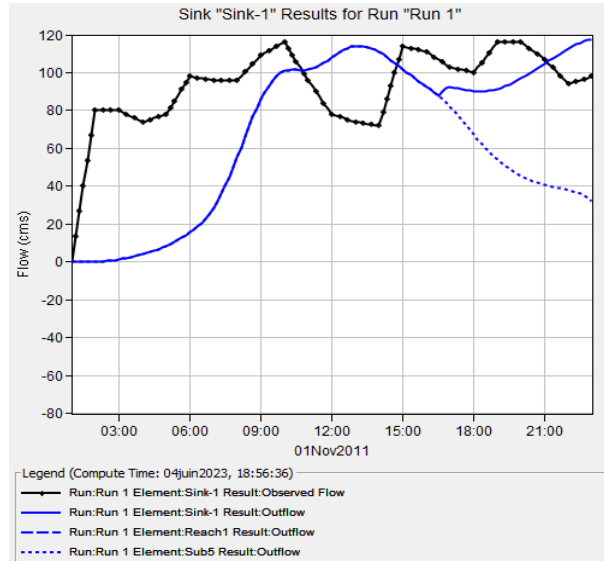
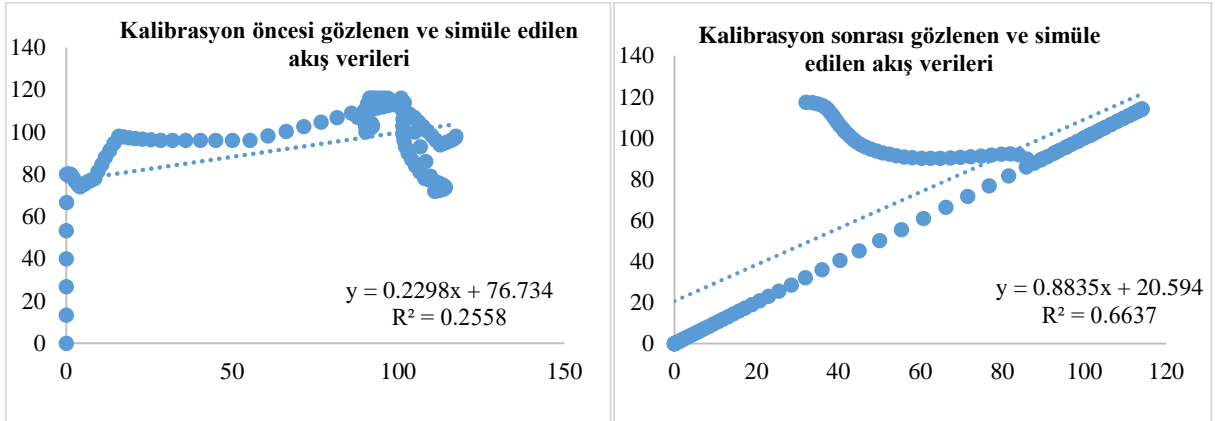
Model, Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası (SCS CN) yöntemi kullanılarak kalibre edilmiştir. SCS CN yönteminde eğri sayısı ve Toprak Koruma Servisi birim hidrografı (SCS UH) dönüşüm yöntemindeki gecikme süresi hassas parametreler olarak belirlenmiş ve kalibrasyon bu değerlere göre yapılmıştır. Sonuç Tablo 7, 8, ve Şekil 13 ve 14'te özetlenmiştir.

Tablo 7. SCS CN kaybı yöntemi için kalibrasyon sonucu.

Ölçü	Simülasyon	Gözlenen	Fark
Toplam hacim (mm)	7,48	9,76	2,28
Pik akış (m <sup>3</sup> /s)	117,4	116,0	1,40
Pik zamanı	1 Kasım 2011,23:00	1 Kasım 2011,10:00	

**Tablo 8.** SCS CN kayıp oranı yöntemine göre kalibre edilmiş model parametreleri.

Alt havza	Eğri Numarası (CN)	Gecikme Süresi (Lag time-dk)
Sub-1	73,88	202,54
Sub-2	73,72	106,14
Sub-3	72,17	157,09
Sub-4	68,27	69,97
Sub-5	71,44	92,70

**Şekil 13.** Kalibrasyondan sonra SCS CN için simüle edilen ve gözlemlenen akış verileri.**Şekil 14.** Kalibrasyondan öncesi/sonrası gözlenen ve simüle edilen akış verilerinin korelasyonu.

SCS CN yöntemi kullanılarak HEC-HMS'de kalibre edilen hidrolojik model, 117,4 m<sup>3</sup>/s'lik bir pik deşarj ve 7,48 mm'lik bir hacim hesaplanan sonuçlar vermiştir. Gözlenen akışın pik deşarjı 116,0 m<sup>3</sup>/s ve hacmi 9,76 mm'dir. RMSE (Kök Ortalama Karekök Hatası) standart sapması 2,2 olup hesaplanan ve gözlenen değerler arasında bir fark olduğunu gösterirken Nash-Sutcliffe katsayısı 0,46 olup orta düzeyde bir uyum olduğunu göstermektedir. Modelin doğruluğunu artırmak için daha fazla araştırma ve iyileştirme yapılması gerekmektedir.

## 5. Sonuç

HEC-HMS kullanılarak geliştirilen hidrolojik model, havzadaki su akışını simüle ederek çevredeki değişikliklerden nasıl etkilenileceğine yönelik sonuçlar almamızı sağlamıştır. Model, yağış ve arazi kullanımı gibi çeşitli faktörlere ilişkin verilerin girilmesiyle suyun havza boyunca hareketini simüle etmiştir. Model, baraja akan su miktarını, taşkın olayları sırasında en yüksek akış hızını ve hacmini öngörmemizi sağlamıştır. 1834 m<sup>3</sup>/s'lik maksimum debi, Koyunbaba havzasında yoğun yağış dönemlerinde önemli taşkınlar yaşanabileceğini göstermektedir. Bu maksimum deşarjın yağış verilerine ve HEC-HMS modelinde kullanılan diğer değişkenlere dayanan bir tahmin olduğunu belirtmek önemlidir. Havzadaki gerçek koşullara bağlı olarak sonucun değişebileceği dikkate alınmalıdır.

En yoğun saat olan 20:40 için 74 mm'lik akış hacmi, havzanın bu dönemlerde önemli miktarda su biriktirebileceğini göstermektedir. Bu durum sel riskini artırabilir ve havzadaki arazilere ve altyapıya önemli ölçüde zarar verebilme potansiyeline sahiptir.

SCS CN kayıp oranı yöntemi kullanılarak HEC-HMS'de kalibre edilen hidrolojik model gerçeğe yakın sonuçlar göstermektedir, hesaplanan ve gözlemlenen değerler arasındaki farklar ise daha fazla iyileştirme ve araştırma yapılması gerektiğini göstermektedir. Tutarsızlıkların nedenlerinin ele alınması ve potansiyel iyileştirmelerin göz önünde bulundurulmasıyla, daha iyi su yönetimi kararları için modelin doğruluğu ve güvenilirliği artırılabilir.

Simülasyon sonuçları, Koyunbaba havzası için alınabilecek kararlarda kullanılmak üzere ilgili merciler tarafından kullanılabilir. Araştırma sonuçlarının, taşkın riskini en aza indirme ve bölgedeki insanları ve altyapıyı korumak konusunda alınacak kararlarda yardımcı bir unsur olacağı düşünülmektedir.

## Kaynaklar

- [1] Xiong, L, Guo S. A two-parameter monthly water balance model and its application. *J Hydrol* 1999; 216, 111-123.
- [2] Ogden FL, Garbrecht J, DeBarry, P A, Johnson LE. GIS and distributed watershed models. II: Modules, interfaces, and models. *Journal of Hydrologic Engineering* 2001; 6(6), 515-523.
- [3] Wang M, Zhang L, Baddoo TD. Hydrological Modeling in A Semi-Arid Region Using HEC-HMS. *Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering* 2016; 5(3), 105-115.
- [4] Gül GO, Harmancıoğlu N, & Gül A. A combined hydrologic and hydraulic modeling approach for testing efficiency of structural flood control measures. *Natural hazards* 2010; 54(2), 245-260.
- [5] Yavuz O, Uysal G, Sensoy A, Sorman AA, Akgun T, Gezgin T. Using HEC-HMS as a decision support system to minimize the downstream flooding risk in Yuvacık Dam basin. *Conf. on Water Observation and Information Systems*; 28 May 2012; Macedonia. 1-7.
- [6] Oleyiblo JO, Li ZJ. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. *Water Science and Engineering* 2010; 3(1), 14-22.
- [7] Trambly Y. Modelisation Des Crues Dans Le Bassin Du Barrage Makhazine 2012; Maroc.
- [8] Dourdour A, Bouanani A, Babahamed K. Hydrological modeling in semi-arid region using hec-hms model. Case study in Ain Sefra watershed, Ksour mountains (SW-Algeria). *Journal of Fundamental and Applied Sciences* 2017; 9(2), 1027-1049.
- [9] Ahiablame LM, Engel BA, Chaubey I, Fedders JM. Evaluating the impacts of urbanization on flooding in a rural-urban watershed using ArcGIS. *Environmental Modeling & Assessment* 2017; 22(3), 219-231.
- [10] Zhang J, Wu S, Li J, Li H, Li Y. A GIS-based flood inundation model for small-scale urban catchment with an inlet. *J Hydrol* 2019; 11(10), 205-215.
- [11] Mekonnen G, Yasuda H, Takeuchi K. Assessment of climate change impacts on the frequency and intensity of flood hazards in a tropical river basin in Ethiopia. *Hydrol Earth Syst Sci* 2018; 22(11), 5813-5828.
- [12] Gonzalez MR, Galarza M, Santillan D. Spatial and temporal distribution of floods in a tropical Andean basin. *Nat Hazard* 2017; 87(1), 183-201.
- [13] Sun H, Wang J, Wei J, Liu Y. Integrated flood risk assessment using multi-criteria decision-making methods and GIS: A case study in Luanhe River Basin. *China Environmental Earth Sciences* 2018; 77(3), 109.
- [14] Shahid S, Chung ES, Wang XJ. Mapping of flood hazard zones in the Jakarta Metropolitan area, Indonesia, using ArcGIS. *Nat Hazard* 2018; 90(3), 1223-1240.
- [15] Köle MM. Koyunbaba Barajı'ndan Akış Aşağıya Bırakılması Gereken Çevresel Akış Miktarının Değerlendirilmesi. *Coğrafi bilimler dergisi* 2014; 12(2), 149-159.
- [16] Feldman AD. Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual. Davis, USA: US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, 2000.
- [17] Bedient PB, Huber WC. *Hydrology and Floodplain Analysis*. NY, USA: Prentice Hall, 2019.