

**ARAS HAVZASI'NDA HEC-HMS İLE  
HİDROLOJİK MODELLEME VE AKIM TAHMİNİ  
Yüksek Lisans Tezi**

**Tufan KACAR**

**Eskişehir, 2017**

**ARAS HAVZASI'NDA HEC-HMS İLE  
HİDROLOJİK MODELLEME VE AKIM TAHMİNİ**

**Tufan KACAR**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı  
Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN**

**Eskişehir  
Anadolu Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Kasım, 2017**

## JÜRİ ve ENSTİTÜ ONAYI

Tufan KACAR'ın "Aras Havzası'nda HEC-HMS ile Hidrolojik Modelleme ve Akım Tahmini" başlıklı tezi 03/11/2017 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Anadolu Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği"nin ilgili maddeleri uyarınca, İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Unvanı - Adı Soyadı	İmza
Üye (Tez Danışmanı) : Yrd. Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN	.....
Üye : Doç. Dr. Mehmet Ali KÖKPINAR	.....
Üye : Doç. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN	.....

.....

Enstitü Müdürü

## ÖZET

### ARAS HAVZASI'NDA HEC-HMS İLE HİDROLOJİK MODELLEME VE AKIM TAHMİNİ

Tufan KACAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kasım, 2017

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Ali Arda ŞORMAN

Küresel ısınma, artan nüfusla birlikte artan su ihtiyacı, kuraklık ve taşkın gibi olaylarla mücadele etmenin yolu su kaynaklarının etkin yönetiminden geçmektedir. Bu yolda hidrolojik modeller kullanılabilir, uydu görüntülerinden faydalanılabilir ve akım tahminleri yapılabilir.

Bu çalışmada Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'ndeki Aras Nehri'nin membasında yer alan Kayabaşı Havzası üzerinde çalışılmıştır. 2008 - 2015 yıllarına ait hidro-meteorolojik veriler kullanılarak HEC-HMS programı vasıtasıyla "Soil Moisture Accounting" ve "Deficit and Constant" kayıp metotlarıyla sürekli modelleme yapılmıştır. Modelleme kalibrasyonundan alınan NSE performans değerleri 0.63 - 0.74; validasyonda ise 0.61 - 0.67 aralığındadır. Akım verilerinin yanısıra uydu görüntülerinden çıkarılan kar kaplı alan ile kar su eşdeğeri verileri karşılaştırılmış ve tutarlılık analizi yapılmıştır. Analizin doğruluk oranı kalibrasyonda %91.2, validasyonda %94.8'dir. Ayrıca 2015 yılının Mart - Haziran ayları üzerinde WRF sayısal hava tahmin verileriyle akım tahmini gerçekleştirilmiştir. Hidrolojik modellemenin 1 ve 2 günlük hava tahmin verileriyle elde edilen NSE performans değerleri sırasıyla 0.70 ve 0.75'dir.

Yapılan uygulamalar ve sonuçları uygulamalı hidroloji alanında bir örnek, Kayabaşı Havzası ya da benzer kar ağırlıklı havzalar için bir öngörü niteliğindedir.

**Anahtar Kelimeler:** Aras Havzası, Hidrolojik Modelleme, HEC-HMS, Akım Tahmini, Uydu Görüntüleri

**ABSTRACT**  
**HYDROLOGICAL MODELLING AND STREAMFLOW FORECASTING**  
**WITH HEC-HMS FOR ARAS BASIN**

Tufan KACAR

Department of Civil Engineering

Anadolu University, Graduate School of Sciences, November, 2017

Supervisor: Asst. Prof. Ali Arda ŞORMAN

The way of striving against the facts such as global warming, growing water demand by growing population, drought and flood goes through effective management of water sources. Hydrological models could be deployed, satellite images could be utilised and streamflow forecasting could be executed on this way.

Kayabaşı Basin which is located on the headwaters of Aras River in Eastern Anatolia Region of Turkey is selected for this study. HEC-HMS continuous modeling approach using "Soil Moisture Accounting" and "Deficit and Constant" loss methods are executed with hydro-meteorological data of 2008 - 2015 water years. Modeling NSE performance values for calibration are in the range of 0.63 - 0.74; for validation 0.61 - 0.67. In addition to discharge, snow water equivalent and snow covered area data derived from satellite images are used for consistency analysis. Success ratio of the analysis are %91.2 for calibration, %94.8 for validation. Moreover, streamflow is forecasted with WRF numerical weather prediction data for March - June months of 2015. NSE performance values of the hydrological modelling acquired for 1-day and 2-day forecast data are 0.70 and 0.75 respectively.

The study performed and the results achieved serve as examples in applied hydrology and have a prediction value for Kayabaşı Basin and to similar snow dominated basins.

**Key Words:** Aras Basin, Hydrological Modeling, HEC-HMS, Runoff Forecast, Satellite Images

03/11/2017

## **ETİK İLKE ve KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalardan bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Anadolu Üniversitesi tarafından kullanılan "bilimsel intihal tespit programı"yla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

## TEŞEKKÜR

Anadolu Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde ondan başka yüksek lisans yapmak istediğim bir öğretmen olmadığını belirterek, danışman öğretmenim Yrd. Doç. Dr. A. Arda ŞORMAN'a lisans yıllarımda olduğu gibi yüksek lisansımda da yaptığı rehberlikten dolayı şükranlarımı sunuyorum.

Danışman öğretmenimin güzel eşi Doç. Dr. Aynur ŞENSOY ŞORMAN'a tez sunumuma katıldığı ve sonrasındaki düzeltmelerde yardımcı olduğu için teşekkür ederim. Ayrıca tez jürimdeki bir diğer isim Doç. Dr. M. Ali KÖKPINAR'a da sunumuma geldiği için teşekkür ederim.

2 yıllık yüksek lisansı 3.5 yılda bitirdiğim halde desteğini çekmeyen ve öğretmenimle görüşmeye bile gelip süreci yakından takip eden babam Sedat KACAR'a; beni hiçbir zaman unutmuyarak İzmir'den Eskişehir'e yaptığı yiyeceklerden yollayan, ziyaretime gelen ve ben yokken köpeğime annelik yapan annem Gülferah KACAR'a; benimle internet üzerinden çevrimiçi oyunlar oynayarak ve ziyarete gelerek özlemimi bir nebze olsun gideren kardeşim Kerem KACAR'a teşekkürü bir borç bilirim.

Sevgili kız arkadaşım İnş. Müh. Rukiye ASLAN'a olabildiğince yanımda olduğu ve motivasyon olarak düştüğümde beni ayağa kaldırdığı için teşekkür ederim.

Tez için bana ilk kaynak sağlayan ve ihtiyacım olduğunda her zaman yardıma hazır olduğunu bildiğim SOMET Özel Eğitim ve Rehabilitasyon Merkezi Müdürü Selahittin UYANIK'a teşekkür ederim.

Köpek, insanın tutamayacağı sözü tutar. Yaptığım hataları koşulsuz affeden, beden dili ve sorumluluk bilincimi geliştiren, beni daha iyi bir insan yapan, bana baktığında bir oyuncağım canlanmış gibi hissettiren çok sevdiğim köpek dostum Tommy'e teşekkür ediyorum. Sonsuza kadar yaşasın.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	iv
ETİK İLKE ve KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ .....	v
TEŞEKKÜR .....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
TABLOLAR DİZİNİ .....	ix
GÖRSELLER DİZİNİ .....	x
GRAFİKLER DİZİNİ .....	xi
KISALTMALAR DİZİNİ .....	xiii
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Çalışmanın Önemi .....	1
1.2. Çalışmanın Amacı .....	2
1.3. Çalışmanın İçeriği .....	2
<b>2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİ .....</b>	<b>3</b>
2.1. Aras .....	3
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri .....	5
2.3. Hidro-meteorolojik Veriler .....	10
2.4. Kar Kaplı Alan .....	15
2.5. Kar Su Eşdeğeri .....	16
2.6. Tahmin Verileri .....	18
<b>3. HEC-HMS .....</b>	<b>22</b>
3.1. Kayıp Metodu (Loss Method) .....	26
3.2. Dönüşüm Metodu (Transform Method) .....	29
3.3. Baz Akışı Metodu (Baseflow Method) .....	32
3.4. Sıcaklık İndeksi Metodu (Temperature Index Method) .....	33
3.5. Akım Tahmin Modülü .....	35
<b>4. MODEL UYGULAMASI .....</b>	<b>37</b>
4.1. Model Parametrelerini Belirleme .....	37
4.1.1. Kayıp metodu parametreleri .....	37



4.1.2. Dönüşüm metodu parametreleri .....	39
4.1.3. Baz akışı metodu parametreleri .....	40
4.1.4. Kar erimesi metodu parametreleri .....	41
4.2. Kalibrasyon - Validasyon .....	42
4.3. Kar Kaplı Alan - Kar Su Eşdeğeri .....	53
4.4. Akım Tahmini .....	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	64
KAYNAKÇA .....	67
ÖZGEÇMİŞ	

## TABLULAR DİZİNİ

<b>Tablo 2.1.</b> Kayabaşı Havzası'nın yükseklik bantları .....	5
<b>Tablo 2.2.</b> Kayabaşı Havzası bakı dağılımı .....	7
<b>Tablo 2.3.</b> Kayabaşı Havzası'nın eğim dağılımı .....	8
<b>Tablo 2.4.</b> Kayabaşı Havzası'nın arazi kullanımı dağılımı .....	9
<b>Tablo 2.5.</b> Kayabaşı Havzası'nda kullanılan istasyon bilgileri .....	10
<b>Tablo 2.6.</b> Kayabaşı Havzası 2008-2015 su yılları değerlendirmesi .....	14
<b>Tablo 3.1.</b> Toplanma süresi denklemlerinin katsayı tablosu .....	31
<b>Tablo 4.1.</b> SMA kayıp metodu parametrelerinin değer aralıkları .....	38
<b>Tablo 4.2.</b> NSE değerine göre en iyi performansı veren SMA değerleri .....	39
<b>Tablo 4.3.</b> Linear Reservoir baz akışı metodu parametrelerinin değer aralıkları .....	40
<b>Tablo 4.4.</b> Constant Monthly baz akışı metodu değer aralıkları .....	41
<b>Tablo 4.5.</b> Sıcaklık indeksi metodu parametrelerinin değer aralıkları .....	42
<b>Tablo 4.6.</b> SMA metodunda kalibrasyon sonucu NSE değerleri .....	42
<b>Tablo 4.7.</b> Yıl setlerinde kalibrasyon ve validasyon sonucu NSE değerleri (SMA) .....	43
<b>Tablo 4.8.</b> Deficit metodunda kalibrasyon sonucu NSE değerleri .....	48
<b>Tablo 4.9.</b> Yıl setlerinde kalibrasyon ve validasyon sonucu NSE değerleri (Deficit) .....	48
<b>Tablo 4.10.</b> KKA - KSE tutarlılık analizi .....	57
<b>Tablo 4.11.</b> KKA - 5, KSE - 1 eşik değerleriyle tutarlılık analizi .....	57
<b>Tablo 4.12.</b> Gözlenen (KKA - 0) ve Model (KSE - 0) karlı - karsız gün sayıları .....	59
<b>Tablo 4.13.</b> Model performans yüzdeleri (KKA - 0, KSE - 0) .....	59
<b>Tablo 4.14.</b> Gözlenen (KKA - 5) ve Model (KSE - 1) karlı - karsız gün sayıları .....	60
<b>Tablo 4.15.</b> Model performans yüzdeleri (KKA - 5, KSE - 1) .....	60

## GÖRSELLER DİZİNİ

<b>Görsel 2.1.</b>	Haritada Aras Nehri .....	3
<b>Görsel 2.2.</b>	Kayabaşı Havzası'nın Google Earth ile gösterimi .....	4
<b>Görsel 2.3.</b>	Kayabaşı Havzası'nın yükseklik bandı haritası .....	5
<b>Görsel 2.4.</b>	Kayabaşı Havzası'nın baki haritası .....	7
<b>Görsel 2.5.</b>	Kayabaşı Havzası'nın eğim haritası .....	8
<b>Görsel 2.6.</b>	Kayabaşı Havzası'nın arazi kullanım haritası .....	9
<b>Görsel 2.7.</b>	Kayabaşı Havzası'nda kullanılan meteorolojik istasyonlar .....	10
<b>Görsel 2.8.</b>	25 Şubat 2009 tarihli MODIS kar kaplı alan görüntüsü .....	16
<b>Görsel 2.9.</b>	Avrupa'nın 17 Mart 2016 tarihli SSMI/S KSE uydu görüntüsü ..	17
<b>Görsel 2.10.</b>	Palandöken SPA ölçümlerinden çıkarılan KSE grafiği .....	18
<b>Görsel 3.1.</b>	HEC-HMS modelinde örnek bir havza şeması .....	23
<b>Görsel 3.2.</b>	SMA algoritmasının kavramsal şeması .....	27
<b>Görsel 3.3.</b>	HEC-HMS modelinde SMA kayıp metodu parametreleri .....	28
<b>Görsel 3.4.</b>	HEC-HMS modelinde Deficit kayıp metodu parametreleri .....	29
<b>Görsel 3.5.</b>	HEC-HMS modelinde Clark Unit Hydrograph dönüşüm metodu parametreleri .....	30
<b>Görsel 3.6.</b>	HEC-HMS modelinde Linear Reservoir baz akışı metodu parametreleri .....	32
<b>Görsel 3.7.</b>	HEC-HMS modelinde Constant Monthly baz akışı metodu parametreleri .....	33
<b>Görsel 3.8.</b>	HEC-HMS modelinde Sıcaklık İndeksi Metodu parametreleri ..	34
<b>Görsel 3.9.</b>	ATI - Meltrate çizelgesi .....	35
<b>Görsel 3.10.</b>	HEC-HMS modelinde akım tahmin girdileri .....	35

## GRAFİKLER DİZİNİ

<b>Grafik 2.1.</b>	Kayabaşı Havzası'nın hipsometrik eğrisi .....	6
<b>Grafik 2.2.</b>	2008-2015 su yıllarında havzaya düşen toplam yağış grafiği .....	11
<b>Grafik 2.3.</b>	2008-2015 su yıllarında havzanın aldığı aylık ortalama toplam yağış grafiği .....	11
<b>Grafik 2.4.</b>	2008-2015 su yıllarında havzanın aylık ortalama sıcaklık grafiği	12
<b>Grafik 2.5.</b>	2008 - 2015 su yıllarında havzanın aylık sahip olduğu ortalama akım grafiği .....	12
<b>Grafik 2.6.</b>	Kayabaşı Havzası'nın 1 günlük düzeltilmiş WRF tahmin ve gözlenen ortalama sıcaklık grafiği (Mart - Haziran 2015) .....	19
<b>Grafik 2.7.</b>	Kayabaşı Havzası'nın 2 günlük düzeltilmiş WRF tahmin ve gözlenen ortalama sıcaklık grafiği (Mart - Haziran 2015) .....	20
<b>Grafik 2.8.</b>	Kayabaşı Havzası'nın 1 günlük WRF tahmin ve gözlenen toplam yağış grafiği (Mart - Haziran 2015) .....	20
<b>Grafik 2.9.</b>	Kayabaşı Havzası'nın 2 günlük WRF tahmin ve gözlenen toplam yağış grafiği (Mart - Haziran 2015) .....	21
<b>Grafik 2.10.</b>	Kayabaşı Havzası'nın 1 ve 2 günlük WRF tahmin ile gözlenen toplam yağış verilerinin birikimli grafiği (Mart - Haziran 2015).	21
<b>Grafik 4.1.</b>	2008-2011 kalibrasyon hidrografi (SMA) .....	44
<b>Grafik 4.2.</b>	2012-2015 validasyon hidrografi (SMA) .....	45
<b>Grafik 4.3.</b>	2012-2015 kalibrasyon hidrografi (SMA) .....	46
<b>Grafik 4.4.</b>	2008-2011 validasyon hidrografi (SMA) .....	47
<b>Grafik 4.5.</b>	2008-2011 kalibrasyon hidrografi (Deficit) .....	49
<b>Grafik 4.6.</b>	2012-2015 validasyon hidrografi (Deficit) .....	50
<b>Grafik 4.7.</b>	2012-2015 kalibrasyon hidrografi (Deficit) .....	51
<b>Grafik 4.8.</b>	2008-2011 validasyon hidrografi (Deficit) .....	52
<b>Grafik 4.9.</b>	2012 su yılına ait KKA - KSE grafiği .....	53
<b>Grafik 4.10.</b>	2013 su yılına ait KKA - KSE grafiği .....	54
<b>Grafik 4.11.</b>	2014 su yılına ait KKA - KSE grafiği .....	54
<b>Grafik 4.12.</b>	2015 su yılına ait KKA - KSE grafiği .....	55
<b>Grafik 4.13.</b>	2008-2015 KSE grafiği .....	56
<b>Grafik 4.14.</b>	Tutarlılık analizinde denenen eşik değerlerin tutarlılık grafiği ....	58

<b>Grafik 4.15.</b> WRF verileriyle yapılan akım tahmini ile gözlenen akımın hidrografi (2015) .....	62
<b>Grafik 4.16.</b> Gözlem verisiyle yapılan akım tahmini ile gözlenen akımın hidrografi (2015) .....	63

## KISALTMALAR DİZİNİ

<b>AC</b>	: Accuracy
<b>AMSR-E</b>	: Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System
<b>ASCE</b>	: American Society of Civil Engineers
<b>ATI</b>	: Antecedent Temperature Index
<b>DSİ</b>	: Devlet Su İşleri
<b>DSS</b>	: Data Storage System
<b>EİE</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
<b>EUMETSAT</b>	: European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites
<b>FAA</b>	: U.S. Federal Aviation Administration
<b>FAR</b>	: False Alarm Ratio
<b>GIS</b>	: Geographic Information Systems
<b>GW</b>	: Groundwater
<b>HEC-HMS</b>	: Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modelling System
<b>H-SAF</b>	: Satellite Application Facilities in Hydrology
<b>IMS</b>	: Ice Mapping System
<b>KKA</b>	: Kar Kaplı Alan
<b>KSE</b>	: Kar Su Eşdeğeri
<b>LBRM</b>	: Large Basin Runoff Model
<b>MGM</b>	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
<b>MODIS</b>	: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
<b>MSG-SEVIRI</b>	: Meteosat Second Generation - Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager
<b>NATO</b>	: North Atlantic Treaty Organization

<b>NESDIS</b>	: National Environmental Satellite, Data and Information Service
<b>NOAA</b>	: The National Oceanic and Atmospheric Administration
<b>NSE</b>	: Nash-Sutcliffe Efficiency
<b>SMA</b>	: Soil Moisture Accounting
<b>SPA</b>	: Snow Pack Analyser
<b>SR</b>	: Success Ratio
<b>SSMIS</b>	: Special Sensor Microwave Imager/Sounder
<b>TIFF</b>	: Tagged Image File Format
<b>WRF</b>	: Weather Research and Forecasting

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Çalışmanın Önemi

İnsanlar suya muhtaç oldukları için tarih boyunca su kaynakları insanların hareketlerinde ve kararlarında ana etkenlerden biri olmuştur. Günümüzde yaşanan küresel ısınmanın yol açtığı iklim değişimleri ve artan dünya nüfusu su kaynaklarını hem miktar hem de kalite bazında olumsuz etkilemektedir. Bu bağlamda yapılan hidrolojik çalışmalar ve teknolojik ilerlemeler büyük fayda sağlayabilir. Özellikle kar ağırlıklı bölgelerde yapılacak hidrolojik modelleme çalışmaları su kaynaklarının verimliliğini artıracak gibi akım tahminini mümkün kılar. Kuraklık ve taşkın gibi olumsuz koşulların etkilerini en aza indirir. Türkiye, hem nüfusa oranla Avrupa'nın en çok su tüketen ülkelerinden biri olması hem de dağlık bir ülke olmasıyla bu tarz çalışmalar için çok uygundur.

Su miktarı ve kalitesiyle ilgili uygulamalarda istatistik, yönetim, tahmin ve değerlendirme gibi yöntemler kullanıldığı için hidroloji bunlar gibi farklı alanları da kapsar. Hidrolojik veriler geçmiş ve gerçek zamanlı olarak toplanır, depolanır ve zamanı geldiğinde analizi yapılır. Analiz sonuçları temel olarak suyun insan ihtiyaçlarına göre kontrolü için kullanılır. Toplanan veriler ne kadar doğru ve güncelse, yapılan analiz sonuçları da o kadar güvenilir olur.

Türkiye'de bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir hidro-meteorolojik veritabanı olmadığı için veri paylaşımı yetersizdir. Bu durum yürütülen araştırma projelerinin ilerleyişini olumsuz etkiler. Ayrıca ülkenin doğusunun topografik ve meteorolojik durumu o bölge için hidro-meteorolojik veri toplanmasını zorlaştırır. Bu bölgedeki akımın büyük çoğunluğu kar erimesinden geldiği için, karla kaplı alanların gözlemi ve günlük meteorolojik veriler, bölgede yapılacak bir hidrolojik modellemede önemli rol alır.

Bölgenin arazi şartlarından ve özellikle karla kaplı olduğu zamanlardaki ulaşım zorluğundan dolayı veri toplanışına kesintisiz devam edilebilmesi için uzaktan kontrollü otomatik istasyonlara ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla 1996 yılında Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde NATO-Sfs projesiyle daha gelişmiş metotlarla kar ölçümlerine başlanmıştır. 1999 yılında Devlet Su İşleri (DSİ) ve Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü'nün (EİE) rehberliğinde otomatik meteorolojik istasyonlar bölgede yüksek kotlara kurulmuştur.



## 1.2. Çalışmanın Amacı

Bu tezin çalışma alanı olarak, daha önceden üzerinde herhangi bir hidrolojik modelleme çalışması yapılmamış olan, Doğu Anadolu Bölgesi'nin dağlık alanlarında yer alan, ileride önemli su yapılarının planlandığı, uluslararası sular kategorisine giren kar ağırlıklı Aras Havzası seçilmiştir.

Öncelikle havzanın özelliklerini saptamak ve haritalarla göstermek için coğrafi bilgi sistemleri analizleri yapılmıştır. Ardından havzayı temsil etmesi için hidrolojik modelleme sistemi HEC-HMS programının 4.1 versiyonu kullanılarak bir hidrolojik model oluşturulmuş, modelin kalibrasyonu ve validasyonu iki farklı kayıp metodu kullanılarak ("Soil Moisture Accounting" ve "Deficit and Constant") sağlanmıştır.

Hidrolojik modelin uydu görüntüleriyle de tutarlı olması amaçlanmıştır. Bu sebeple havzanın kar erime dönemini incelemek üzere MODIS ve IMS uydularından elde edilen kar kaplı alan verileri ile SSMI/S uydusundan, modelden ve kar ölçüm istasyonundan (Hacıömer) elde edilen kar su eşdeğeri verileri birlikte değerlendirilmiştir. Uydu, model ve yer ölçümü olmak üzere 3 farklı kaynaktan alınan kar verileri, Aras gibi kar ağırlıklı bir havzayı anlamada büyük rol oynamıştır.

Son olarak HEC-HMS ile yapılacak bir akım tahmininin nasıl sonuçlanacağını görmek için 1 ve 2 günlük meteorolojik tahmin verileriyle akım tahminleri yapılmıştır. Yapılan çalışmaların kazanımları, gelecekte havza üzerinde yapımı planlanan baraj inşaatlarına (Söylemez ve Karakurt Barajı) ya da başka projelere ve tezlere fayda sağlayabilir.

## 1.3. Çalışmanın İçeriği

Tez 5 bölümden oluşmaktadır. Bölümlerin içerikleri ana hatlarıyla şöyledir:

Çalışma alanının coğrafi, meteorolojik, kar kaplı alan, kar su eşdeğeri ve tahmin verileri 2. bölümde bulunabilir.

3. bölüm HEC-HMS programının metotlarını ve akım tahmin modülünü ele alır. Bölümün başında geçmişte yapılan yerli ve yabancı hidrolojik modelleme çalışmalarından bahsedilmiştir.

Model üzerinde yapılan uygulamalar ve kar kaplı alan - kar su eşdeğeri karşılaştırması 4. bölümde yer alır.

5. bölüm tezden çıkarılan sonuç ve önerilerden oluşmuştur.

## 2. ÇALIŞMA ALANI ve VERİ

### 2.1. Aras

Aras Nehri, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde doğup, Kura Nehri ile birleşerek Hazar Denizi'ne dökülen bir nehirdir (Görsel 2.1).

Aras Nehri; Bingöl Dağları'nın Erzurum il sınırları içinde kalan kuzey yamaçlarından doğar. Tekman Yaylası'nın bütün sularını toplayan ırmak, Sakaltutan Dağları'nın doğusundaki havza içerisinde kuzey yönünde akar. Sakaltutan Dağları ile Topçu Dağı arasında kalan, derin ve sarp Mescitli Boğazı'nı geçtikten sonra Pasinler Ovası'na iner. Burada Yukarı Pasin Havzası'nın sularını toplayarak gelen Hasankale (Pasinler) Çayı'nı alır ve kuzeydoğu yönünde akarak il sınırları dışına çıkar. [1]

Erzurum-Kars platosunun güneyindeki çöküntü alanlarda akarak Ermenistan sınırına ulaşır. Türkiye-Azerbaycan, Türkiye-Ermenistan ve Azerbaycan-İran sınırının bir bölümünü oluşturduktan sonra Azerbaycan'da Kura Nehri ile birleşir. 1072 km uzunluğunda, 102 bin km<sup>2</sup> havza alanına sahip nehir Kafkaslar'ın en büyük nehirlerinden biridir. Nehrin 548 km'si Türkiye sınırları içerisindedir. [1]



Görsel 2.1. Haritada Aras Nehri [1]

Orta Aras Havzası olarak tanımlanan ve Güney Kafkasya'ya tekabül eden coğrafyada bulunan Anadolu'da Iğdır ve Kars, Ermenistan, Azerbaycan'a bağlı

Nahçıvan ve Kuzeybatı İran gibi bölgeler arasında, İlk Tunç Çağı'ndan itibaren kültürel ve ekonomik bir işbirliğinin varlığı arkeolojik verilerden rahatlıkla anlaşılmaktadır. [2]

Ortaçağ'da ise Aras Havzası'nda bulunan Ani ile Kars'ta birçok medeniyetin değişik zamanlarda egemenlik kurduğu ve kültürel ilişkide bulunduğu görülmektedir. Bu bağlamda Ani Antik Kenti'nde yapılan kazılarda birçok medeniyete ait sikkeler, kentin imalathanelerinde ve dükkânlarında yapılan kazılarda tespit edilmiştir. Ani'nin tarihi İpek Yolu güzergâhında olduğu göz önüne alınırsa burada çok kültürlü bir ticari ve kültürel etkileşimin olduğu kanısına varılmaktadır. [3]

Bu çalışmada Aras Havzası'nın batısında, Erzurum il sınırları içerisinde,  $39^{\circ} 52'$  ve  $39^{\circ} 21'$  Kuzey Enlemleri ile  $39^{\circ} 41'$  ve  $39^{\circ} 37'$  Doğu Boylamları arasında yer alan, Aras'ın  $2764 \text{ km}^2$ 'lik alt havzası Kayabaşı Havzası üzerinde çalışılmıştır (Görsel 2.2). Havzanın kar ağırlıklı olması, yakın zamanda havza içi ve mansabında plan ve inşaat aşamalarında barajların olması ve daha önce bir hidrolojik modelleme çalışmasında yer almamış olması havzayı seçim nedenleridir.



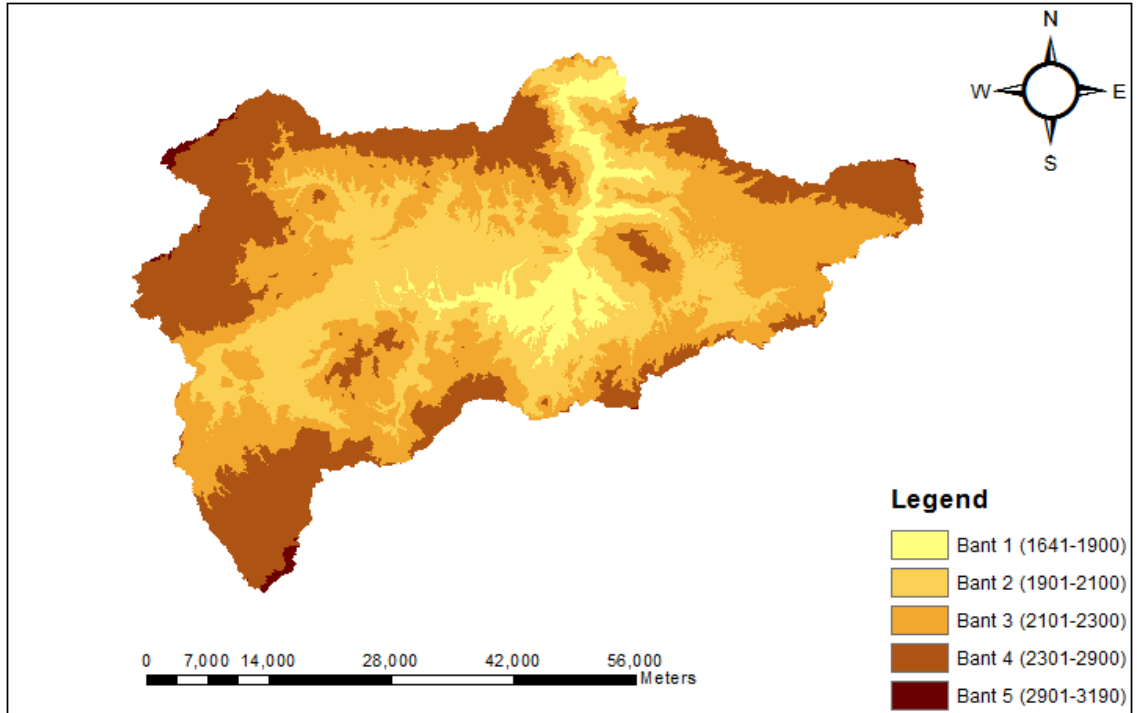
**Görsel 2.2.** Kayabaşı Havzası'nın Google Earth ile gösterimi

## 2.2. Coğrafi Bilgi Sistemi Analizleri

Kayabaşı Havzası üzerindeki yeryüzü şekillerinin yükseklikleri 1641 metre ile 3190 metre arasında değişir. Havzanın ortalama yüksekliği 2218 metredir. Bu yükseklik verisini HEC-HMS programına girdi haline getirmek için 1641-3190 metre yükseklik aralığı 5 yükseklik bandına bölünmüştür. Yükseklik bantları Tablo 2.1'de, yükseklik bandı haritası Görsel 2.3'te verilmiştir.

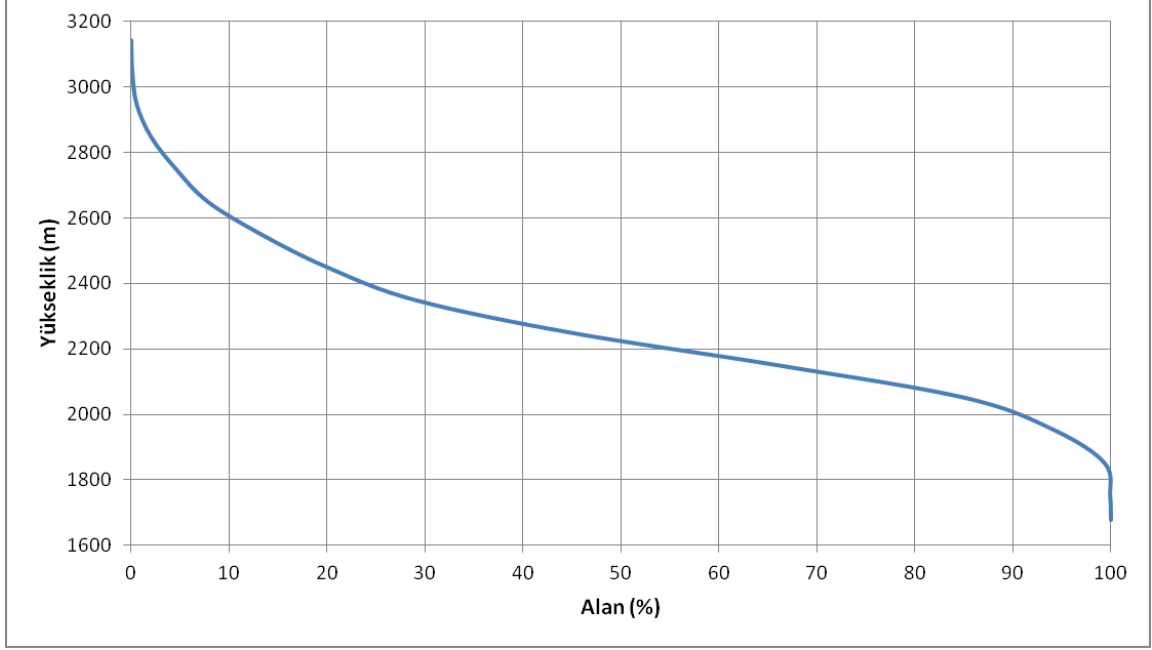
**Tablo 2.1.** Kayabaşı Havzası'nın yükseklik bantları

	Yükseklik (m)	Alan (km <sup>2</sup> )	Alan (%)
<b>Bant 1</b>	1641-1900	157.86	5.71
<b>Bant 2</b>	1900-2100	775.31	28.05
<b>Bant 3</b>	2100-2300	1027.14	37.16
<b>Bant 4</b>	2300-2900	788.40	28.52
<b>Bant 5</b>	2900-3190	15.61	0.56
	Toplam	2764.31	100



**Görsel 2.3.** Kayabaşı Havzası'nın yükseklik bandı haritası

Bu alandaki yüksekliklerin birikimli dağılım fonksiyonuna hipsometrik eğri denir. Kayabaşı Havzası'nın Grafik 2.1'de görülen hipsometrik eğrisi, ArcGIS programında oluşturulan poligon haritası kullanılarak elde edilmiştir.

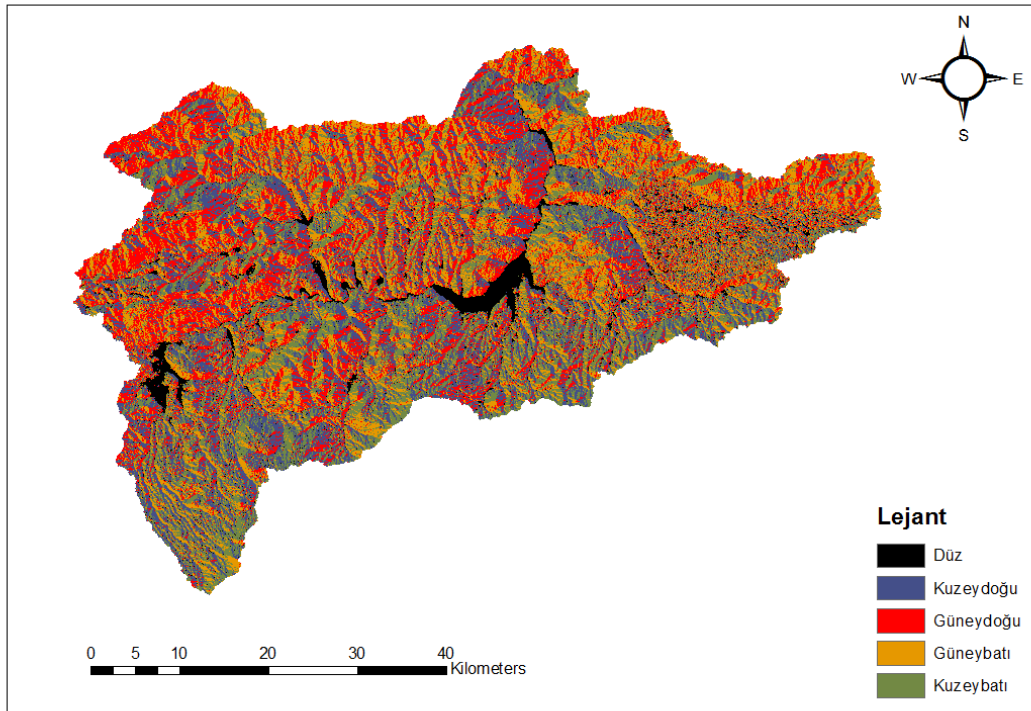


**Grafik 2.1.** Kayabaşı Havzası'nın hipsometrik eğrisi

Bakı, bir bölgedeki dağların Güneş ışınlarını alışı yönünü belirttiği için bir havza üzerindeki terleme, buharlaşma ve akışı etkilemektedir ve kar erimesinde önemli bir rolü vardır. ArcGIS programı üzerinden havzanın bakı haritası (Görsel 2.4) ve verileri (Tablo 2.2) çıkarılmıştır.

**Tablo 2.2.** Kayabaşı Havzası bakı dağılımı

Bakı	Alan (km <sup>2</sup> )	Alan (%)
Düz	118,08	4,27
Kuzeydoğu	671,19	24,28
Güneydoğu	680,36	24,61
Güneybatı	665,51	24,07
Kuzeybatı	629,15	22,75
Toplam	2764,31	100

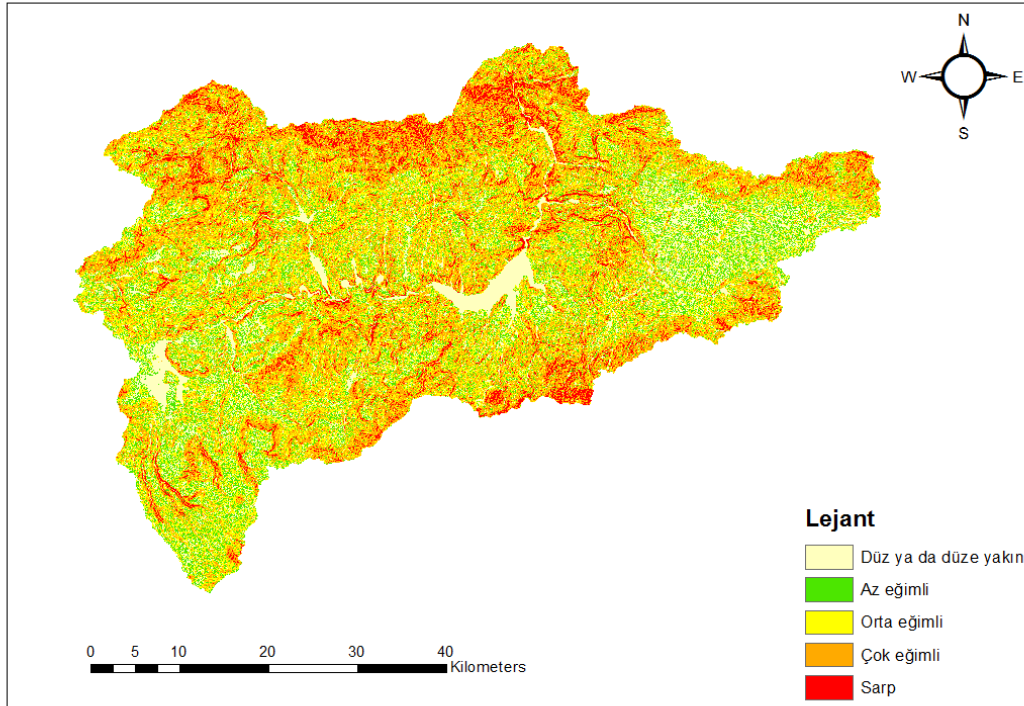


**Görsel 2.4.** Kayabaşı Havzası'nın bakı haritası

Bir havzada belli bir bölgedeki eğim, oradaki yeryüzü şekillerinin ne kadar sarp veya ne kadar düz olduğunu ifade eder. Eğimin suyun akış hızına büyük etkisi vardır. Ayrıca bakıyla birlikte eğim, bir havzanın aldığı yağışın havza üzerindeki dağılımını şekillendirdiği gibi, Güneş ışınlarının ne sıklıkta ve hangi açıda alındığını belirlediği için kar erimesinde de büyük rol oynar. Kayabaşı Havzası'nın alanının yarısından fazlası %10 ve üzerinde eğime sahip olduğu için, yükseklik aralığı da göz önünde bulundurulunca bölgenin dağlık ve engebeli bir arazi yapısına sahip olduğu söylenebilir. Yine ArcGIS programı havzanın eğim haritasını (Görsel 2.5) elde etmek üzere kullanılmıştır.

**Tablo 2.3.** Kayabaşı Havzası'nın eğim dağılımı

Eğim (Yüzde)	Alan (km <sup>2</sup> )	Alan (%)
0-5 (Düz ya da düze yakın)	363,61	13,15
5-10 (Az eğimli)	459,57	16,62
10-20 (Orta eğimli)	881,01	31,87
20 - 40 (Çok eğimli)	842,98	30,49
>40 (Sarp)	217,10	7,85
Toplam	2764,31	100

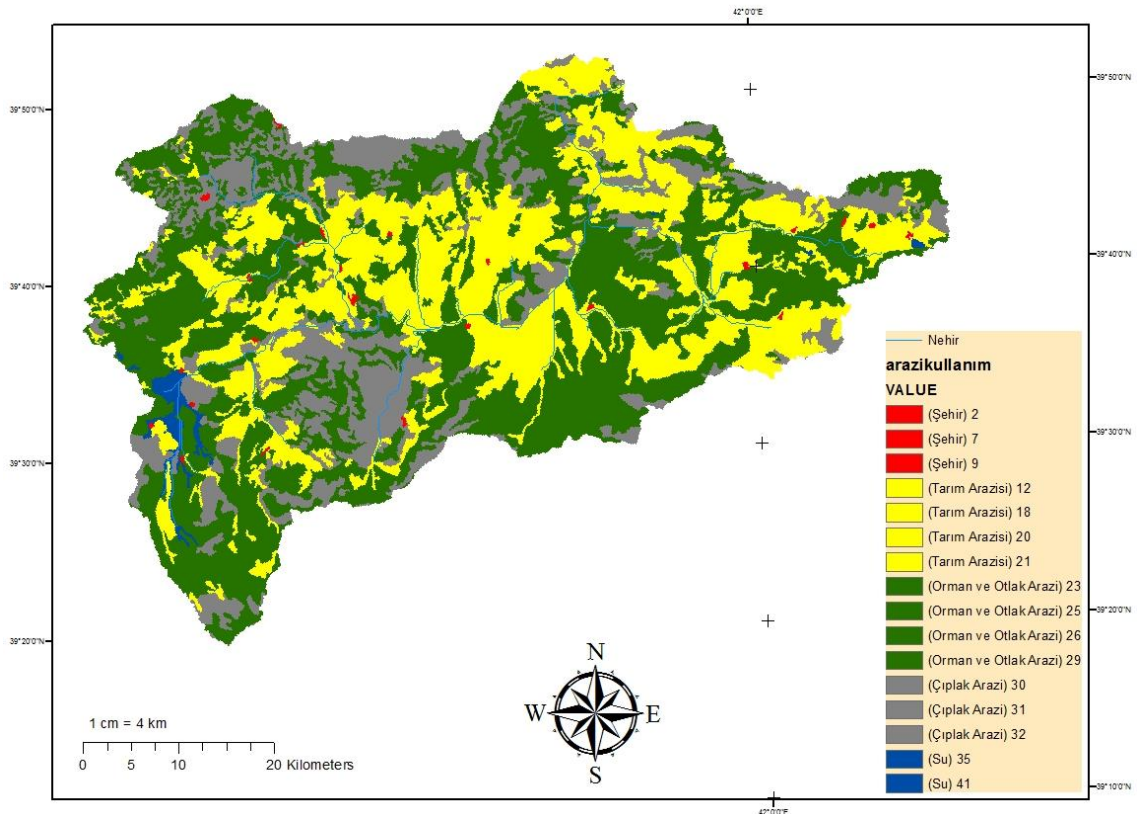


**Görsel 2.5.** Kayabaşı Havzası'nın eğim haritası

Bir havzanın arazi kullanımının, havzaya düşen suyun akım potansiyelinin ve sızma kapasitesinin hesaplanmasında etken bir rolü vardır. Örneğin çıplak bir arazi bütün yağışı alırken yoğun bitki örtüsüne sahip bir arazide bitkiler yağışa karşı bir bariyer vazifesi görür ve yağışın bir kısmının yere düşmesini engeller. Altlık olarak Corine haritası [4] kullanılan ve ArcGIS kullanılarak kestirilen Kayabaşı Havzası'nın arazi kullanım haritası Görsel 2.5'te görülmektedir. Buna göre havzanın sahip olduğu tarım, orman ve otlak arazileri havzanın toplam alanının %70'inden fazlasına sahiptir.

**Tablo 2.4.** Kayabaşı Havzası'nın arazi kullanımı dağılımı

Sınıflandırma	Alan (km <sup>2</sup> )	Alan (%)
Şehir	8,29	0,3
Tarım Arazisi	879,60	31,82
Orman ve Otlak	1309,74	47,38
Çıplak Arazi	539,59	19,52
Su	27,09	0,98
Toplam	2764,31	100



**Görsel 2.6.** Kayabaşı Havzası'nın arazi kullanım haritası



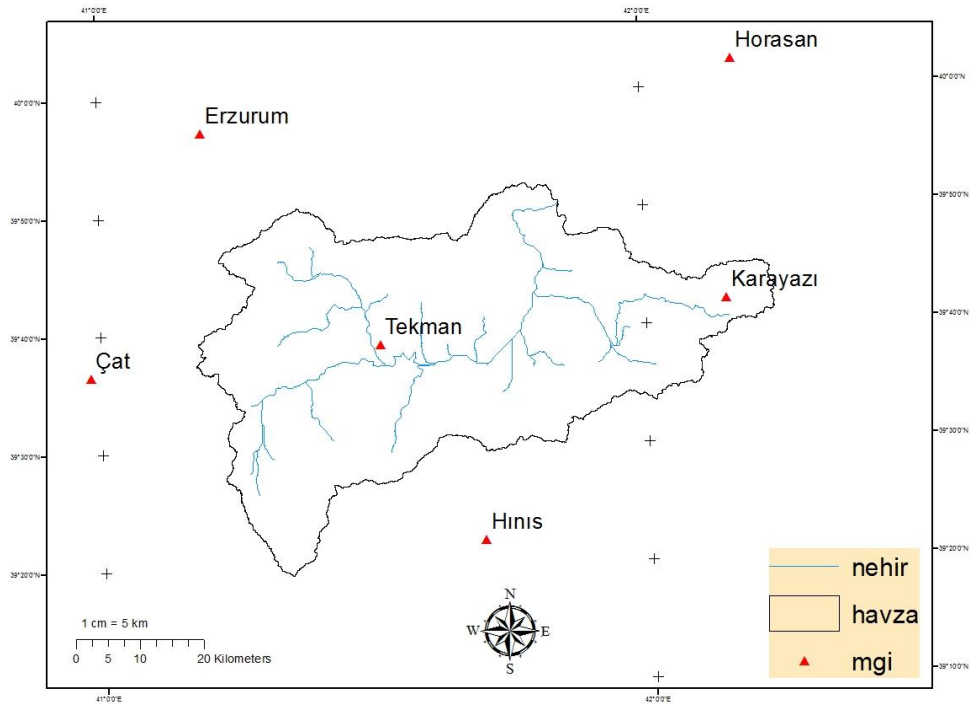
### 2.3. Hidro-meteorolojik Veriler

Hidrolojik çalışmaları ve uygulamaları yürütmek için hidro-meteorolojik verilere sahip olmak gerekir. Bu verilere su potansiyelinin öngörülmesini gerektiren her çalışmada ihtiyaç duyulabilir. Verilerin miktarı ve kalitesi, gerekli öngörünün yapılmasına olanak tanıyacak yeterlilikte olmalıdır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ), Türkiye'de hidro-meteorolojik verilerin toplamı arşivlenmesini üstlenen kurumlardır.

Kayabaşı Havzası'nda kullanılan yağış ve sıcaklık verileri, ikisi havzanın içinde, dördü çevresinde konuşlanan altı ölçüm istasyonunun ağırlıklı ortalamaları alınarak elde edilmiştir. İstasyonların bilgileri Tablo 2.4'te, konumları Görsel 2.6'da gösterilmiştir.

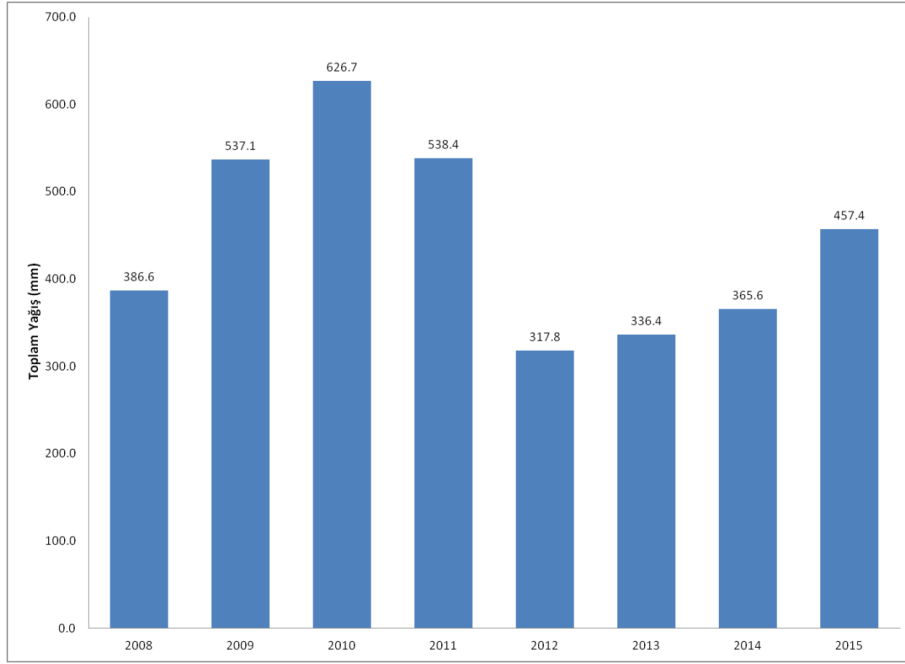
**Tablo 2.5.** Kayabaşı Havzası'nda kullanılan istasyon bilgileri

İstasyon	İstasyon Numarası	Yükseklik (m)	X Koordinatı (UTM WGS84)	Y Koordinatı (UTM WGS84)
Hınıs	17740	1715	732225.68	4361170.65
Erzurum	17096	1758	687048.57	4424825.45
Çat	18203	1907	669976.19	4386345.4
Tekman	18370	1980	715577	4391684.65
Karayazı	18204	2246	770001	4399243
Horasan	17690	1540	770506	4436825

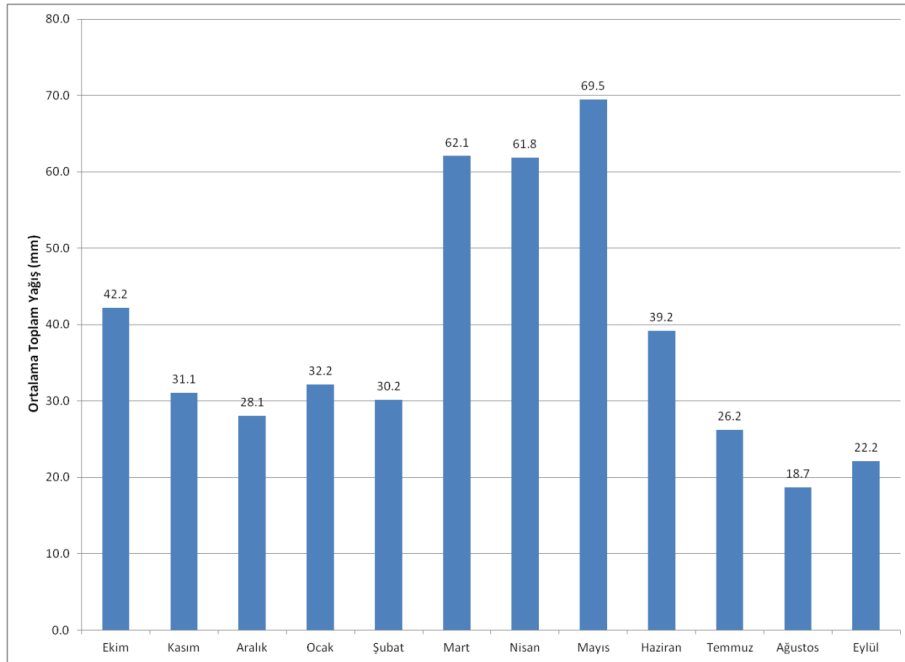


**Görsel 2.7.** Kayabaşı Havzası'nda kullanılan meteorolojik istasyonlar

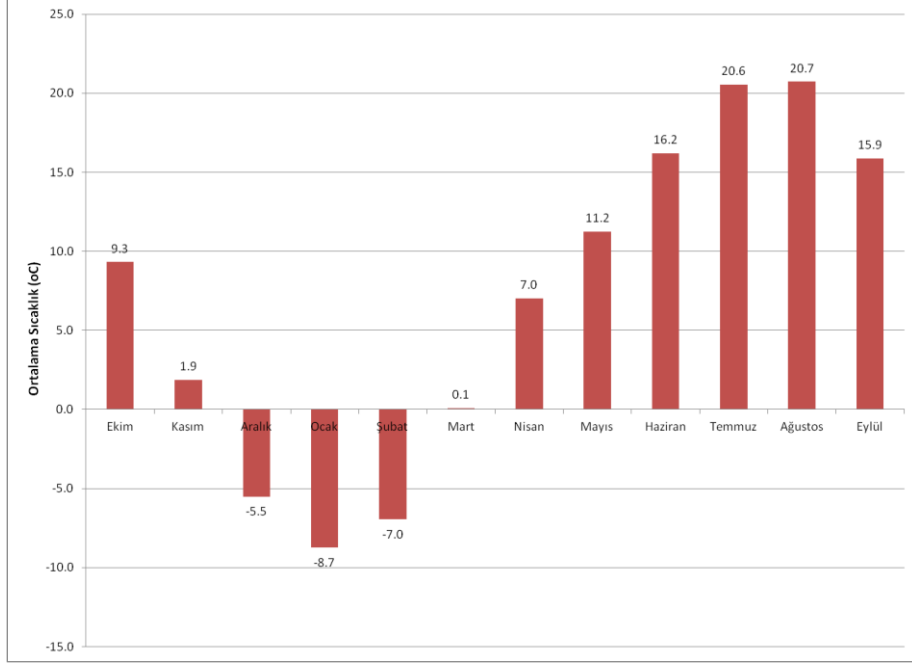
Yapılan analizlerde ve model üzerindeki çalışmalarda, 2008 - 2015 su yılları arasında havza üzerindeki meteorolojik istasyonlardan elde edilen günlük toplam yağış ve ortalama sıcaklık verileri ile havza çıkışında 1641 m kotunda bulunan, Devlet Su İşleri'nin işlettiği D24A096 numaralı Kayabaşı Akım Gözlem İstasyonu'ndan (AGİ) alınan akım verileri kullanılmıştır. Bu verilerle oluşturulmuş grafikler Grafik 2.2, Grafik 2.3, Grafik 2.4 ve Grafik 2.5'te gösterilmiştir.



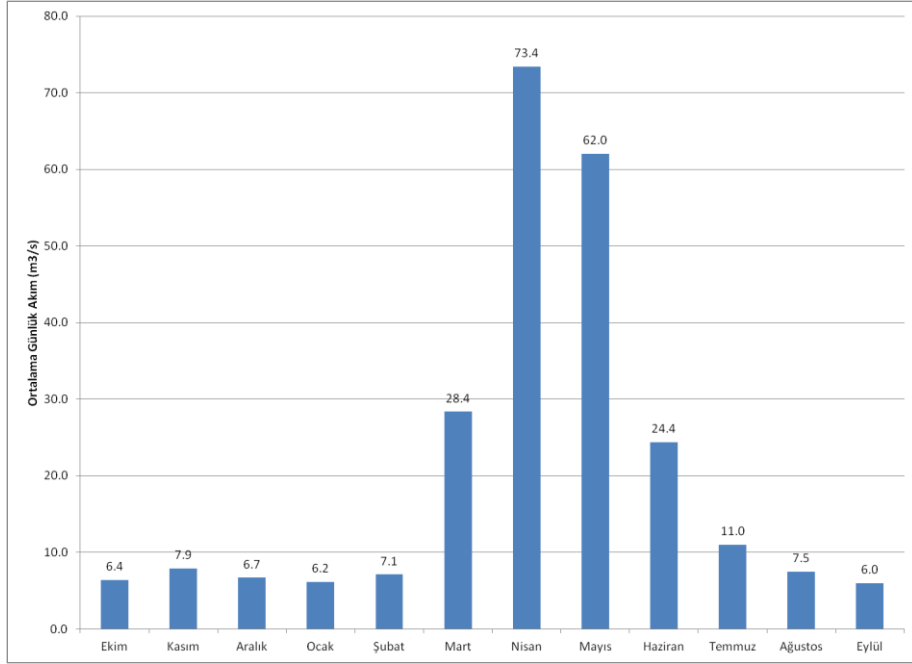
**Grafik 2.2.** 2008 - 2015 su yıllarında havzaya düşen toplam yağış grafiği



**Grafik 2.3.** 2008-2015 su yıllarında havzanın aldığı aylık ortalama toplam yağış grafiği



**Grafik 2.4.** 2008-2015 su yıllarında havzanın aylık ortalama sıcaklık grafiği



**Grafik 2.5.** 2008 - 2015 su yıllarında havzanın aylık sahip olduğu ortalama akım grafiği

Bu grafikler birbirleriyle ilişkilendirilerek incelendiğinde havzayı yorumlamada yardımcı olur. Havzaya bir yılda düşen ortalama toplam yağış 445,73 mm'dir. Grafik 4'e göre Aralık, Ocak ve Şubat aylarında sıcaklık sıfırın altında seyrettiği için o aylarda yağışın kar şeklinde düştüğü anlaşılabilir. Ardından Mart ayında sıcaklığın artmasıyla yağın karın erimeye başlamasından ve en çok yağışın bahar aylarında düşmesinden mütevellit en fazla akım değeri Nisan'da olmak üzere yüksek akım değerleri Mart, Nisan, Mayıs ve Haziran aylarında gözlenir. Ayrıca bahar aylarındaki yağışın kendisi akıma katıldığı gibi yerdeki karın erime hızını arttırarak da akıma katkı yapar. Havzadaki kar erime olayı çok yüksek yerlerinde Temmuz ayına kadar sürebilir. Havzanın en az yağış aldığı aylar Temmuz, Ağustos ve Eylül'dür.

Bölgenin karakteristik özelliğinden dolayı çevresindeki diğer havzalarda olduğu gibi Kayabaşı Havzası da çoğunlukla kar yağışından beslenen bir havzadır ve bir yılın yarısı süresince havzada kar görülebilir. İlkbahar aylarında havzadaki karın erimeye başlamasıyla artan akım değerleri taşkınlara sebep olabilir. Havzada meydana gelen bir taşkın, sulamada veya enerji üretiminde kullanılacak suyun kaybına neden olur.

Su yıllarını ve model sonuçlarını yorumlamada yardımcı olması için hidro-meteorolojik veriler, su yıllarını kuru, ıslak ve normal olarak adlandırmak için analiz edilmiştir. Bu analizde toplam yağış, yağmur, kar, debi ve ortalama sıcaklık değerleri ölçüt alınmıştır. 2008'den 2015'e 8 yılın ölçüt değişkenlerinin( $x$ ) ortalamaları( $\bar{x}$ ) ve standart sapmaları( $\sigma$ ) hesaplanmıştır. Değerlendirme aşağıda verilen denklemlere göre yapılmıştır.

$$\text{Eğer } x > (\bar{x} + \sigma): \text{Islak} \quad (2.1)$$

$$\text{Eğer } x < (\bar{x} - \sigma): \text{Kuru} \quad (2.2)$$

$$\text{Eğer } (\bar{x} - \sigma) \leq x \leq (\bar{x} + \sigma): \text{Normal} \quad (2.3)$$

**Tablo 2.6.** Kayabaşı Havzası 2008-2015 su yılları değerlendirmesi

<b>Su Yılı</b>	<b>Toplam Yağış (mm)</b>		<b>Toplam Kar (mm) T&lt;0</b>		<b>Toplam Yağmur (mm) T&gt;0</b>		<b>Toplam Debi (m3/s)</b>		<b>Ortalama Sıcaklık (oC)</b>		<b>Durum</b>
<b>2008</b>	386.6	Normal	92.3	Normal	294.3	Normal	5690.3	Normal	6.1	Normal	Normal
<b>2009</b>	537.1	Normal	110.2	Islak	426.9	Normal	8171.4	Normal	6.5	Normal	Normal
<b>2010</b>	626.7	Islak	58.3	Kuru	568.4	Islak	12468.3	Islak	9.5	Sıcak	Islak
<b>2011</b>	538.4	Normal	80.3	Normal	458.1	Normal	8367.7	Normal	7.2	Normal	Normal
<b>2012</b>	317.8	Kuru	93.8	Normal	224.0	Kuru	5701.0	Normal	4.8	Soğuk	Kuru
<b>2013</b>	336.4	Kuru/Normal	90.7	Normal	245.7	Kuru/Normal	7376.4	Normal	6.9	Normal	Normal
<b>2014</b>	365.6	Normal	50.4	Kuru	315.2	Normal	3912.9	Kuru	6.3	Normal	Kuru
<b>2015</b>	457.4	Normal	101.2	Normal	356.2	Normal	8487.9	Normal	7.1	Normal	Normal
<b>Ortalama</b>	445.8		84.7		361.1		7522.0		6.8		
<b>Standart Sapma</b>	112.2		20.7		116.8		2570.5		1.3		
<b>Ort + StSapma</b>	557.91		105.3		477.9		10092.5		8.1		
<b>Ort - StSapma</b>	333.59		64.0		244.3		4951.5		5.5		

## 2.4. Kar Kaplı Alan

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) bir dizi dedektör elemanlardan ve optiklerden oluşan geçiş izli bir tarama aynasıyla, Dünya'nın yüzeyini ve bulutlarını 36 parçalı imge halinde sağlayan ve bu şekilde görüntüleme yapan tayfsal bir ışınımölçerdir. Terra ve Aqua adlı iki uydu üzerine yerleştirilmiştir ve 2000 yılında Terra, 2002 yılında Aqua uydusundan gözleme başlanmıştır.[6]

MODIS aygıtları Dünya'nın aynı parçasını sabah 10:30 ve öğlen 13:30 (yerel saat) olmak üzere iki kere görüntüler. Bu uygulama, günlük kar gözlemine imkan sağlar ve bulutların boyutu ve konumu 3 saat içinde değişebildiği için daha temiz görüntü alma olasılığını artırır.[7]

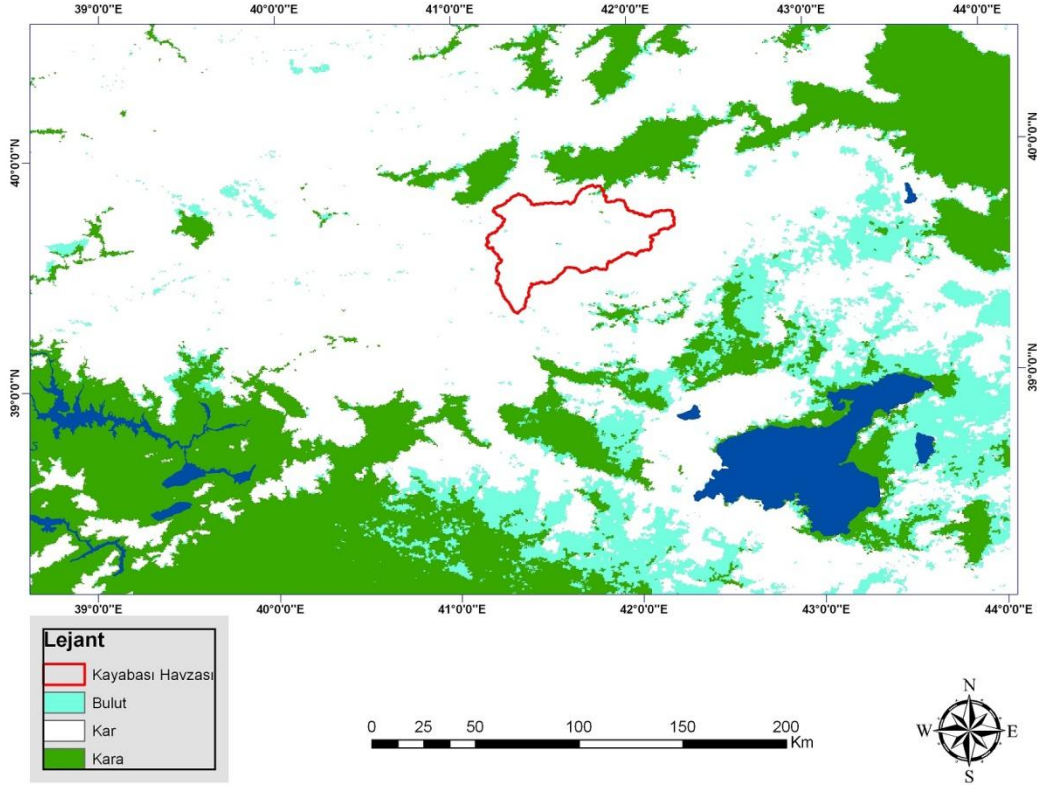
NOAA/NESDIS (The National Oceanic and Atmospheric Administration/National Environmental Satellite,Data and Information Service) 1966'dan beri interaktif çoklu sensörlü kar ve buz haritalama sistemiyle (IMS) kar ve buz örtüsü görüntüleme en uzun kayıt tarihine sahiptir. IMS yaygın bir coğrafik sistem dahilinde çeşitli veri kaynaklarını kullanarak meteorologların kar örtüsünü kayda geçirmesine imkan sağlamak üzere dizayn edilmiştir. [8]

IMS ürününün üç versiyonu vardır. İlk çıkan 1.1 versiyonu 1997'den 2004'e kadar 24 km'lik uzamsal çözünürlüklü haftalık veri sağlamıştır. 2004 - 2014 yılları arasında kullanılan ikinci versiyon 1.2, günlük veri sağlamıştır ve 4 km çözünürlüklüdür. 2014'te getirilen son versiyon 1.3, 1 km çözünürlüğündedir ve gündüzdür. Eski tarihlerde başlayıp halen devam eden çalışmaların devamlılığı için eski versiyonların çözünürlüğündeki görüntüler elde edilebilir. [8]

Çoşkun (2016) çalışmasında 2008 - 2011 yıllarına ait 500 m uzamsal çözünürlüklü günlük MODIS görüntüleri ile 4 km uzamsal çözünürlüklü günlük IMS görüntülerini kullanmıştır. MODIS görüntülerinde bulutlar karları engellediği için birtakım filtreleme işlemleri uygulanmıştır. IMS görüntüleri çeşitli uydulardan harmanlandığı için herhangi bir filtrelemeye gerek duyulmamıştır. Görüntüleri ArcGIS platformunda da kullanabilmek için TIFF (İmlenmiş resim dosyası biçimi) formatına almıştır. Orijinal görüntüler bütün Kuzey Yarımküre'ye ait olduğu için görüntüleri çalışma alanını içinde tutacak şekilde kesmiştir. [8]

Bu çalışmada MODIS ve IMS verileri birlikte kullanılmıştır. MODIS'in bulutlardan etkilendiği bilindiği üzere, bir su yılının kar yağışlı zamanlarında, kar

yağışından dolayı hava bulutlu olacağından IMS verileri kullanılırken, diğer zamanlarda MODIS verilerine yer verilmiştir. Kayabaşı Havzası'nın da gösterildiği örnek bir MODIS görüntüsü Görsel 2.7'de verilmiştir.

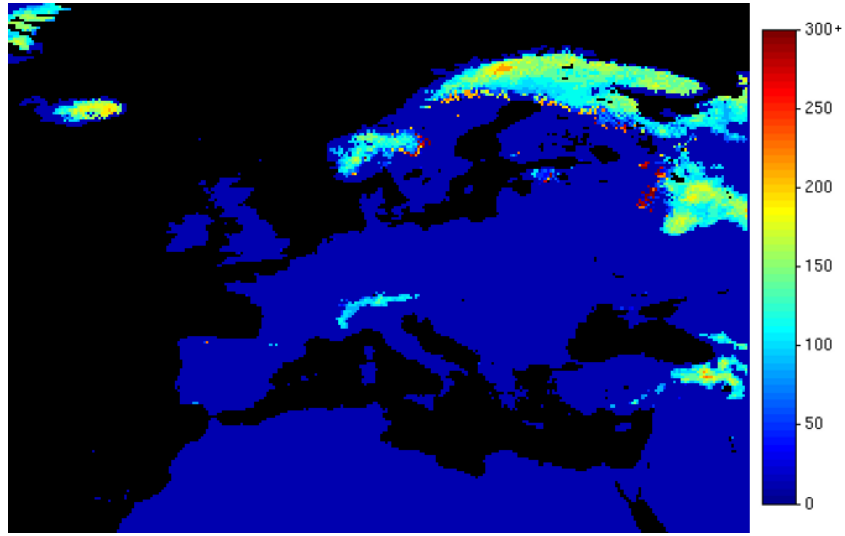


Görsel 2.8. 25 Şubat 2009 tarihli MODIS kar kaplı alan görüntüsü

## 2.5. Kar Su Eşdeğeri

Optik uydular geniş bölgeler için karla kaplı alanları mekansal ve zamansal olarak oldukça iyi tespit edebilmekte, ancak kar örtüsü altındaki su eşdeğeri hakkında bilgi verememektedir. Kar derinliğinin uydulardan ölçülebilmesi ve buradan kar su eşdeğerine çevrilebilmesi için dalga boyları yüzeyden daha derine inebilen pasif mikrodalga uydular ve bunlara bağlı model algoritmaları kullanılmaktadır. Karla kaplı alanların tespitinde kullanılan MSG-SEVIRI uydu algoritmasının geliştirildiği EUMETSAT destekli Hidrolojide Uydu Görüntülerinin Kullanımı (Satellite Application Facilities in Hydrology, H-SAF) projesi kapsamında aynı zamanda pasif mikrodalga uydusu olan Advanced Microwave Scanning Radiometer-Earth Observing System (AMSR-E) uydu görüntülerinden Avrupa bazında kar su eşdeğer algoritması geliştirilmiştir. Ekim 2011'de AMSR-E uydusunun arızalanması üzerine, yerine SSMI/S (Special Sensor Microwave Imager/Sounder) uydusu kullanılmaya başlanmıştır. [9]

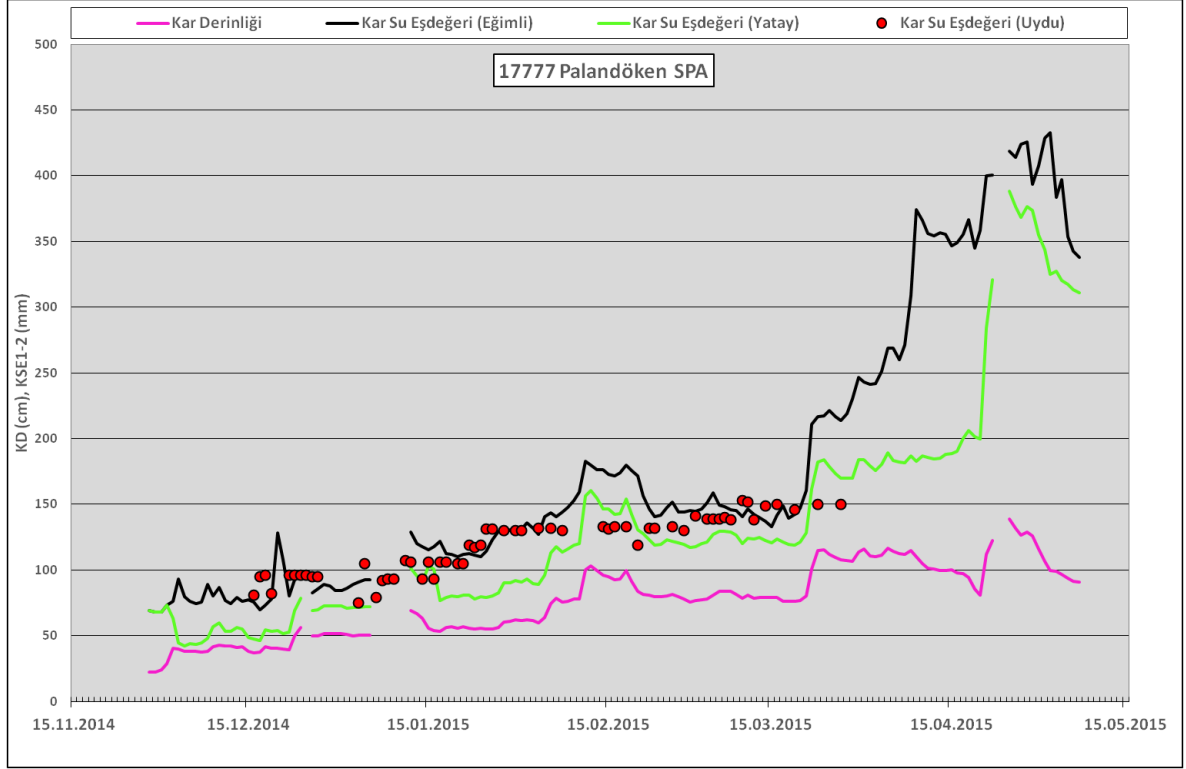
Pasif mikrodalga uydular çalıştıkları dalga boyu nedeniyle optik uydular gibi buluttan etkilenmemektedir. Ancak bu avantajının yanı sıra optik uydular kadar yüksek mekansal çözünürlük sağlayamamakta ve ayrıca yine çalıştıkları dalga boyu sebebiyle kar erimeye başlayıp sulu kar halini aldıktan sonra yansıma değerlerini kaybetmektedir. Bundan dolayı SSMI/S görüntüleri kar sezonunda, karın henüz erimeye geçmediği dönemler olan Ocak - Mart ayları arasında dikkate alınmaktadır. [9]



**Görsel 2.9.** Avrupa'nın 17 Mart 2016 tarihli SSMI/S KSE (mm) uydu görüntüsü

Günümüzdeki kar odaklı hidrolojik çalışmalarda kar su eşdeğeri tespiti, işin anahtar görevidir. Kar su eşdeğerinin zamansal ve mekansal olarak niceliğini belirlemek, hidro-enerji üretimi ve ülkemizde özellikle Kartalkaya, Uludağ ve Palandöken gibi kar turizmi olan yerlerde doğal afet risk değerlendirmesi için zaruri bir ihtiyaçtır. SPA (Snow Pack Analyser) bir bölgedeki karın karakteristiğini anlamak için geliştirilmiş otomatik yerinde ölçüm sistemidir. Karın yoğunluğunu, kar su eşdeğerini ve su muhtevasını gerçek zamanlı ölçer. [10]





**Görsel 2.10.** Palandöken SPA ölçümlerinden çıkarılan KSE grafiği

Görsel 2.9'da, Kayabaşı Havzası'nın yakınında, maksimum yüksekliği 3271 m olan Palandöken Dağı'nda 2610 metreye kurulmuş bir SPA cihazıyla 2015 su yılı içerisinde yapılmış ölçümlerden elde edilen grafik verilmiştir. Kar su eşdeğerinin Nisan sonunda 400 mm'ye kadar çıktığı görülmektedir. Kayabaşı Havzası'nın 2015 yılına ait modelden elde edilen en yüksek kar su eşdeğeri 145.2 mm'dir. Bu farkın sebebi SPA'nın tek bir nokta için değer okurken modelin bütün havza için değer vermesidir. Yani SPA'nın kar su eşdeğeri 2610 metreyi temsil ederken, modelin değeri Kayabaşı Havzası'nın yaklaşık 2200 metrelik ortalama yüksekliğinin kar su eşdeğeridir.

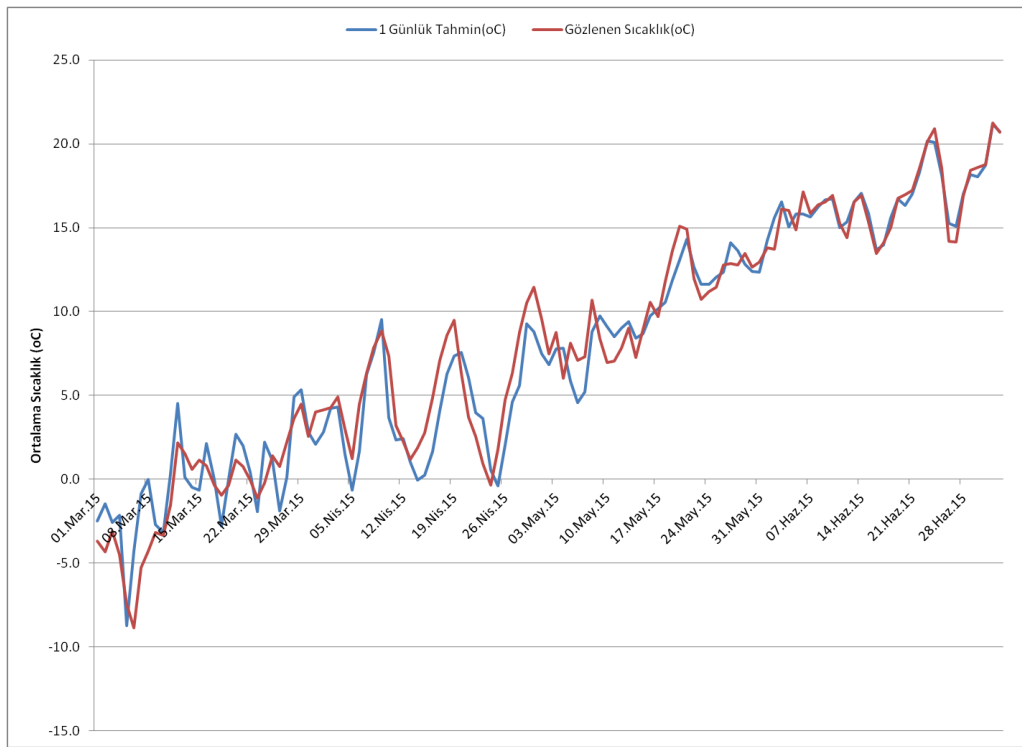
## 2.6. Tahmin Verileri

Güncel hava durumu değerleri ölçüm istasyonlarından, gelecek hava durumu tahmin değerleri ise oluşturulan atmosferik modellerden elde edilir. Türkiye'de hava tahminlerini sağlayan resmi kurum Meteoroloji Genel Müdürlüğü'dür.

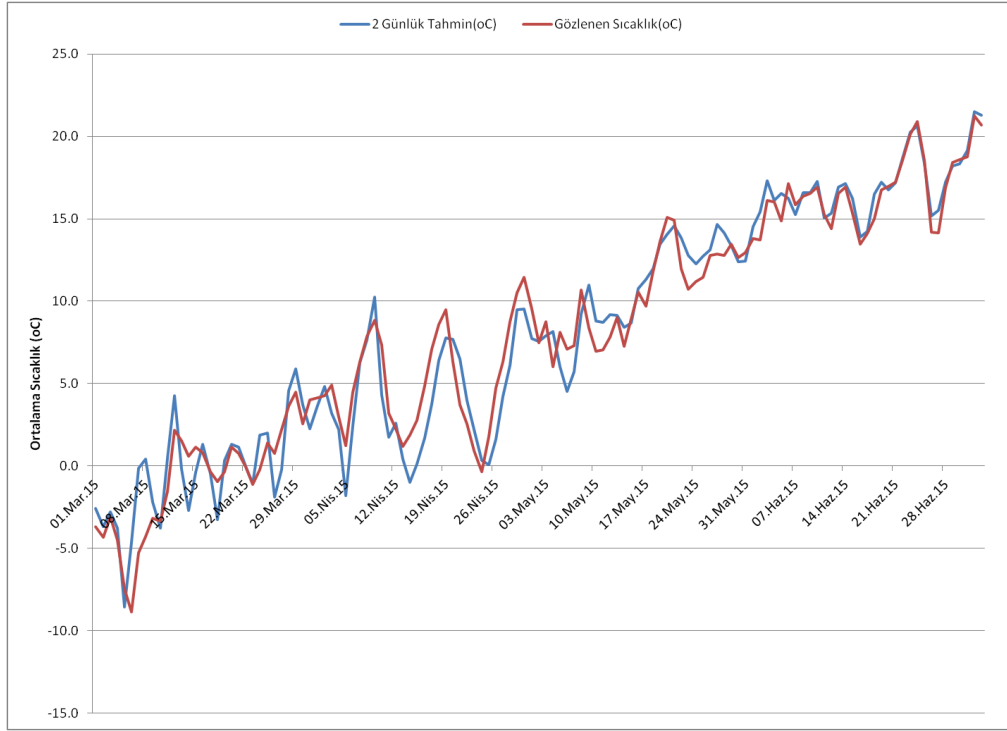
Sayısal hava tahminleri tahmin işlemine göre olasılıksal ya da kesin değerlerdir. Tahmin olasılıksal işlem üzerinden yapıldıysa birden fazla olası sonuç içerir. Kesin tahmin işleminde tek bir tahmin değeri vardır. Bu çalışmada 2015 yılı için WRF (Weather Research and Forecasting) modelinden elde edilmiş Kayabaşı Havzası'na ait 1 ve 2 günlük kesin sayısal hava tahmin verileri, hidrolojik modelde akım tahmini için

kullanılmıştır. WRF modeli, atmosferik araştırma ve tahmin ihtiyaçları için dizayn edilmiş yeni nesil orta ölçekli sayısal hava tahmini sistemidir. [5]

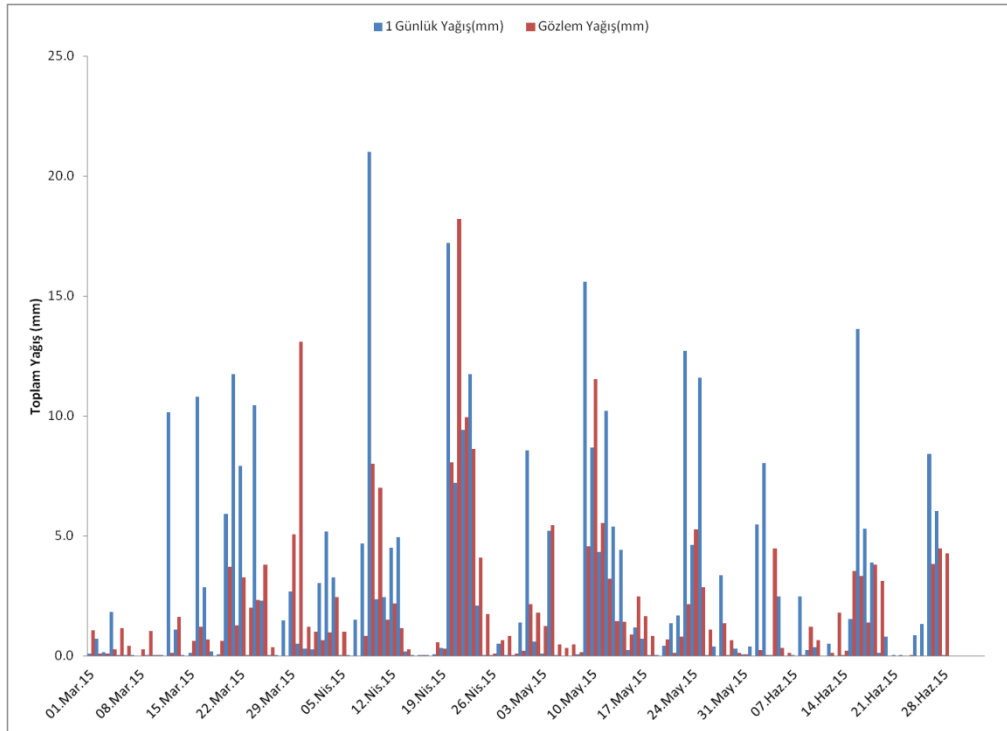
WRF modelinden elde edilen 1 ve 2 günlük ortalama sıcaklık tahminleri üzerinde, gözlenmiş yer verileriyle uyumu artırmak adına lineer eğilimli düzeltme yapılmıştır. Bu işlem 2013 ve 2014 yer verileriyle WRF modelinden elde edilen veriler arasında lineer bir ilişki kurularak 2015 verilerine uygulanmıştır. Buna göre +6 derece altındaki verilere 5.16, +6 üzeri verilere 3.23 eklenmiştir. Geçmiş yer verileriyle karşılaştırmasındaki tutarsızlığı sebebiyle yağış verilerinde herhangi bir düzeltmeye gidilmemiştir.



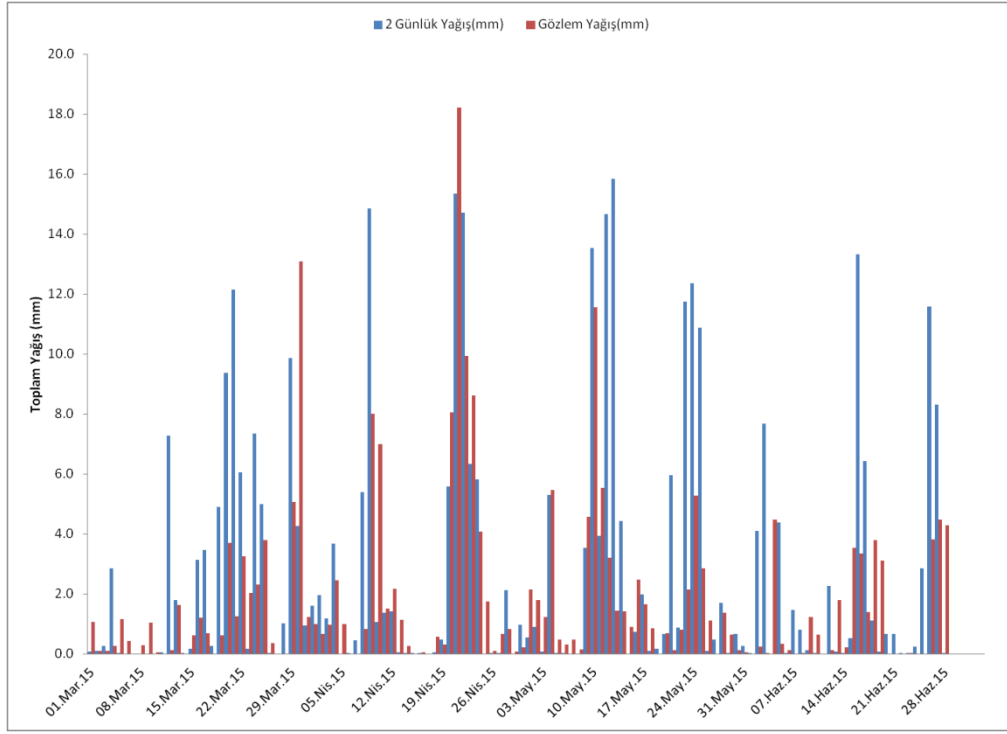
**Grafik 2.6.** Kayabaşı Havzası'nın 1 günlük düzeltilmiş WRF tahmin ve gözlenen ortalama sıcaklık grafiği (Mart - Haziran 2015)



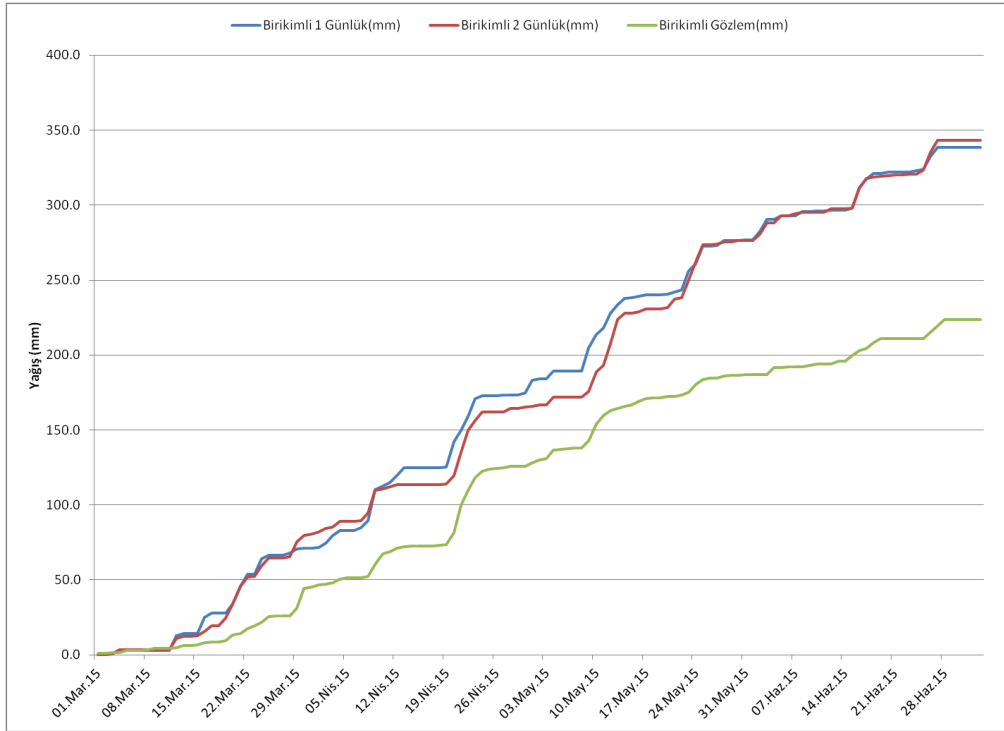
**Grafik 2.7.** Kayabaşı Havzası'nın 2 günlük düzeltilmiş WRF tahmin ve gözlenen ortalama sıcaklık grafiği (Mart - Haziran 2015)



**Grafik 2.8.** Kayabaşı Havzası'nın 1 günlük WRF tahmin ve gözlenen toplam yağış grafiği (Mart - Haziran 2015)



**Grafik 2.9.** Kayabaşı Havzası'nın 2 günlük WRF tahmin ve gözlenen toplam yağış grafiği (Mart - Haziran 2015)



**Grafik 2.10.** Kayabaşı Havzası'nın 1 ve 2 günlük WRF tahmin ile gözlenen toplam yağış verilerinin birikimli grafiği (Mart - Haziran 2015)

### 3. HEC-HMS

Hidrolojik çalışmalar Antik Mısır Medeniyeti'ne kadar dayanan eski bir iştir fakat asıl yağış-akım modellemeleri 19. yüzyılda drenaj sistemleri, şehir kanalizasyon ve rezervuar dolu savak dizaynları için debi planlamasının ana ihtiyaçlardan biri olmasıyla gelişmiştir. Yağış yükseklik ölçümlerinden taşkın pik debisini bulmak için kullanılan rasyonel metodun temellerini Mulvaney (1850) atmıştır. [11]

Sherman'ın (1932) hidrolojik analizlerdeki birim hidrograf konsepti büyük bir adımdır ve sonrasında yapılan atılımlara önyak olmuştur. 20. yüzyılın sonlarına doğru gerçekleşen bilgisayarlı otomasyon devrimiyle hidroloji için yapılan bilgisayar uygulamalarında büyük ölçekli analizler mümkün kılınmıştır. [12]

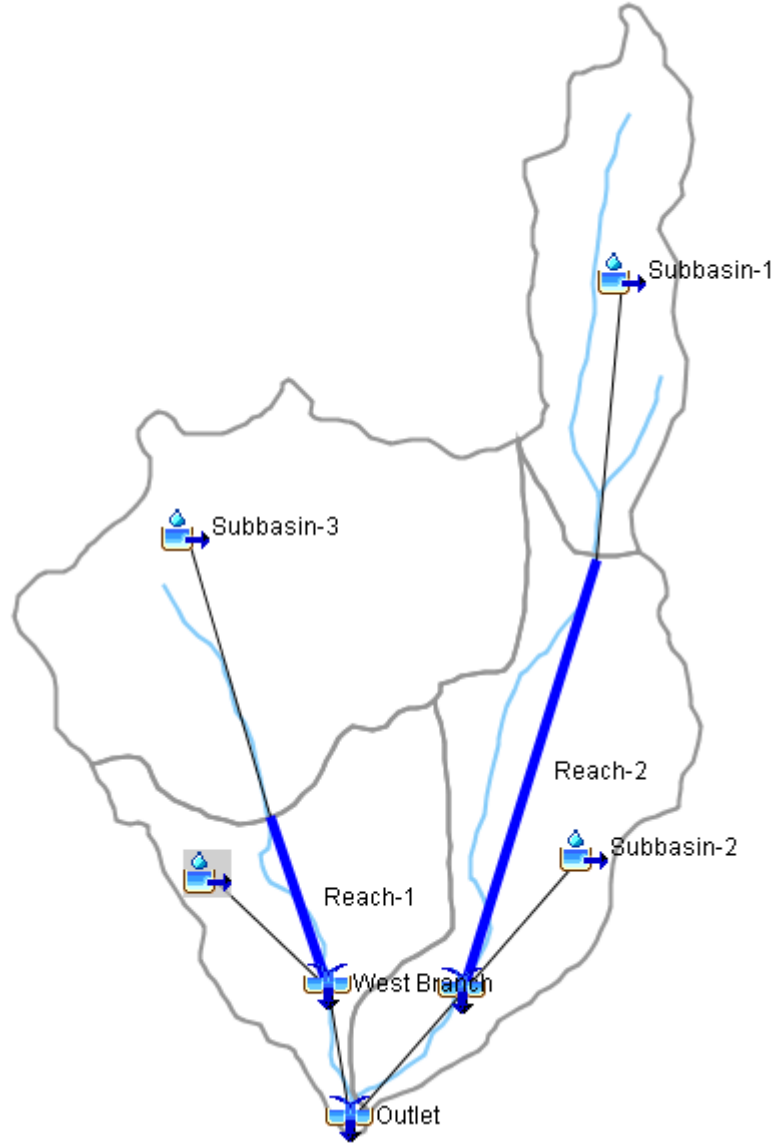
Hidrolojik işlemleri tanımlayan kompleks teoriler, bilgisayar simülasyonlarıyla uygulanabilir hale gelmiştir ve muazzam miktarlardaki gözlem verileri, hidrolojinin daha iyi anlaşılmasını sağlayan özet istatistik değerlerine dönüşmüştür. Dendritik havzalarda olay bazlı ya da sürekli yağış-akım simülasyonu yapmak için geliştirilen ücretsiz yazılım HEC-HMS, bilgisayar simülasyon programlarından birisidir. [13]

HEC (Hydrologic Engineering Center) ilk olarak 1968'de HEC-1 programını çıkarmıştır. Bu programın geniş bir kesim tarafından kabul görmesinin sebeplerinden ilki yağış, süzülme, yüzey akışı, yeraltı akışı ve rezervuar simülasyonlarını bir araya getirerek sağladığı kapsamlı hidrolojik döngü tanımıdır. HEC-1 öncesinde bu bileşenlerin her biri için ayrı bir yazılım paketi gerekliydi. Programın tercih edilme sebeplerinden ikincisi ise sağladığı ayrıntılı dökümantasyonu ile süregelen bakımıdır. Üçüncüsü, metotları çok hızlı ve otomatik olarak deneme fırsatı verdiğinden, program üzerinde çalışan mühendislere metotların manüel hesaplamaları yerine hidrolojik işleyişe odaklanma fırsatı sunmuştur. [14]

1980'lerde HEC-1'e ilave olarak daha detaylı hidrolik analizler yapabilen HEC-2 programı çıkarılmıştır. Programdaki veri depolama sistemi, HEC-1'de oluşturulan zaman serilerini HEC-2'ye aktarmaya olanak sağlamıştır. [14]

1991'de başlatılan "NexGen" adlı araştırma ve geliştirme projesi kapsamında HEC-1'in kullandığı FORTRAN yazılım dili C++ diline taşınmıştır. Bu yeni yazılım diliyle birlikte HEC-HMS Versiyon 1.0 ortaya çıkmıştır. Bu yeni versiyon hala olay bazlı olmasına rağmen yeni dili çok uzun hidrograflara olanak sağladığı için birkaç günlük simülasyonlar yapılabilmektedir. Versiyon 2.0'de kullanıcının kayıp metodu

seçimine bağlı olarak olay bazlı ya da sürekli simülasyonlar yapılmaya başlanmıştır. İşletim sistemleri C++ yerine Java programlama dilini desteklemeye başladığında bir kez daha programda dil değişikliğine gidilmiştir ve sonucunda Versiyon 3.0 çıkmıştır. Son olarak 2010'da sedimantasyon ve su kalitesi simülasyonlarındaki geliştirmelerle, bu çalışmada da kullanılan Versiyon 4.0 oluşturulmuştur. [14]



**Görsel 3.1.** HEC-HMS modelinde örnek bir havza şeması

Olay bazlı hidrolojik modelleme, bir havzanın tek bir yağış olayına tepkisini gösterir. Özellikle olay bazlı saatlik simülasyonlar gibi küçük ölçekli modellemeler, detaylı hidrolojik işlemleri anlamada ve daha sonra büyük ölçekli sürekli bir

modellemede ve akım tahminlerinde kullanılacak ilgili parametre setlerini tanımlamada çok işe yarar. [15]

Sürekli hidrolojik modelleme, hidrolojik süreci kuru ve ıslak durumları birlikte olacak şekilde sentezler ve günlük, aylık ve mevsimsel akım simülasyonları için uygundur. HEC-HMS bu uzun periyotlarda havzanın toprak nemi dengesini hesaplamak için SMA (Soil Moisture Accounting) algoritmasını kullanır. Böylece zaman serisindeki uzun dönemli yağış, toprak kaybı, terleme ve buharlaşmayı simüle ederek akımları yeniden oluşturabilir. [16]

Şensoy, ve diğerleri (2003) HEC-1 programında olay bazlı fiziksel tabanlı bir hidrolojik model oluşturarak Yukarı Karasu Havzası'nda 3 yıllık bir yağış - kar erimesi simülasyonu yapmıştır. Kar erimesi ile sıcaklık, derece-gün faktörüyle ilişkilendirilmiştir. Modele kar kütesinin hesabı, kar su eşdeğeri ile yaptırılmıştır. Kar su eşdeğeri verileri için her yağış olayı başında yer doğrulamalı kar verisi ile uydu görüntülerinden elde edilen kar erime eğrileri karşılaştırılmıştır. [17]

Fleming ve Neary (2004) GIS (Geographic Information Systems) ve HEC-HMS programlarını, SMA metodu parametrelerinin kalibrasyonunu ve modellemesini yapmak için birlikte kullanmıştır. Amerika'da Cumberland Havzası'nda yaptıkları bu çalışma, HEC-HMS merkezli GIS model performansının büyük ölçüde geliştiğini ve mükemmel işlediğini göstermiştir. [18]

Yener, ve diğerleri (2006) Yuvacık baraj rezervuarının yönetimi için HEC-HMS Versiyon 3.0'te atmosferik ve hidrolojik bir model uygulaması geliştirmiştir. Çalışmalarında yarı dağılımlı bir kar bileşeni ile exponential kayıp metodu kullanılmıştır.[19]

Chu ve Steinman (2009) Amerika Batı Michigan'da bulunan Mona Gölü Havzası'nda, olay bazlı ve sürekli yaklaşımları birleştirerek bir modelleme yapmıştır. Olay bazlı model, parametre kalibrasyonu için kullanılmıştır ve belirlenmiş parametreler sürekli modelde kullanılmıştır. Bu çalışmalarını, olay bazlı modellemedeki ayrıntılı veri kullanımının, sürekli modelin performansını geliştiren iyi kalibre edilmiş ve güvenilir parametre setlerini sağlamasıyla sonuçlanmıştır. [16]

Yılmaz, ve diğerleri (2012) sürekli model simülasyonunu Türkiye Yukarı Fırat Havzası'nda uygulamıştır. Kar erimesini hesaplamayı hedefleyerek kar-akım ilişkisini kavramsallaştırmak için sıcaklık indeksi/derece/gün yaklaşımını kullanmışlardır. "Initial

and constant loss method"u kullandıkları uygulamaları, düşük kotlardaki bir dizi meteorolojik istasyonla kısıtlıdır. [20]

Gyawali ve Watkins (2013) SMA ve sıcaklık indeksi elemanlarını HEC-HMS üzerinde Great Lakes Havzaları'nı modellemek için kullanmıştır. Çalışmalarında fiziksel parametreleri değerlendirmek için coğrafi veri tabanlarından yararlanmışlardır. Geçmişteki sıcaklık, yağış ve akım değerleriyle aldıkları sonuçları LBRM (Large Basin Runoff Model) ile karşılaştırmışlardır. [21]

De Silva, Weerakoon ve Herath (2014) Sri Lanka Kelani River Havzası'nda hem olay bazlı hem de sürekli hidrolojik modellemeyi barındıran bir çalışma yürütmüştür. Olay bazlı yaklaşımda aşırı yağış olayları hem kalibrasyon hem validasyonda kullanılmıştır. Olay bazlı modellemeyi destekleyen saha verilerinin sürekli modelleme için parametre çıkarımında etkili olduğu gösterilmiştir. [22]

Kikine (2017) HEC-HMS kullanarak Karasu Havzası üzerinde "Soil Moisture Accounting" kayıp metodundan yararlanarak 2015 yılı için deterministik akım tahmini yapmıştır. Model parametre kalibrasyonunda hem olay bazlı hem de sürekli yaklaşımla çalışmıştır. Modelin kar su eşdeğeri ve toprak nemi sonuçlarını uydu ürünleriyle kontrol etmiştir. Çalışması, uygulamalı hidroloji alanında özellikle uygulama bölgesi için önemli bir örnektir. [23]

Sürekli modelleme birkaç ayı ya da birkaç yılı kapsayan uzun bir zaman dilimini kapsar. Olay bazlı modelleme ise tek bir yağış olayını aldığı için havza alanına bağlı olmak üzere belki birkaç gün olabilir. Bu iki yaklaşım arasındaki temel farklar yeraltı suyu sızıntısı ile terleme-buharlaşmadır. Bunlar olay bazlı modellemede ihmal edilebilirken sürekli modellemede toprağın kuruma sürecinin tanımlanması gerektiği için çok önemlidir. [24]

Modeller çeşitli kriterlere göre sınıflandırılabilir. En sık kullanılan sınıflandırma, matematiksel modeli oluşturan bilgi merkezli sınıflandırmadır. Modelden çıktı almak için girdiler üzerinde ilgili fiziksel, kimyasal ve biyolojik işlemleri uygulayan modeller kavramsal olarak adlandırılır. Herhangi bir dönüştürme işlemi uygulamadan girdileri ve çıktıları gözlemlerden elde eden modeller ampirik kategorisine girer.

Diğer bir sınıflandırma havzanın mekansal değişkenlerine göre yapılır. Havzanın karakteristiğinin ve işlemlerdeki mekansal değişkenler tek tek ele alınırsa dağılımlı model, önemsenmiyor ya da havzanın tümü için ortalama bir değer alınıyorsa tümsel model grubuna girer. Tümsel modellerde havza homojen olarak kabul edilir ve yağışın



havzaya eşit bir şekilde düştüğü varsayılır. Ayrıca arazi kullanımı, bitki örtüsü ve toprak türü gibi özelliklerin de havza boyunca değişmediği farzedilir. Dağılımlı modeller ise havzadaki yağış-akım sürecinin analizi için mekansal parametrelerin değişebilirliğini dikkate alır. Ek olarak havzadaki meteorolojik durumun değişkenliğini de hesaba katar.

HEC-HMS havza modeli, meteorolojik model ve kontrol belirtimi olarak 3 ana bileşenle karşımıza çıkar. Havza modelinde hidrografi oluşturmak için kayıp (loss), dönüşüm (transform) ve baz akım (baseflow) metodları belirlenir. Her bir metot bir çok seçeneğe sahiptir. Uygulamanın amacına, havzanın durumuna ve eldeki veriye göre uygun metotlar seçilir. Meteorolojik model zaman serilerine bağlı yağış, sıcaklık ve debi değerleri içindir. Bu değerler programın Veri Depolama Sistemi (DSS) ile daha sonra yeniden kullanıma hazır bir şekilde beklemesi için depolanabilir. Kontrol bileşeninde ise simülasyonun çalışma zaman aralığı belirtilir.

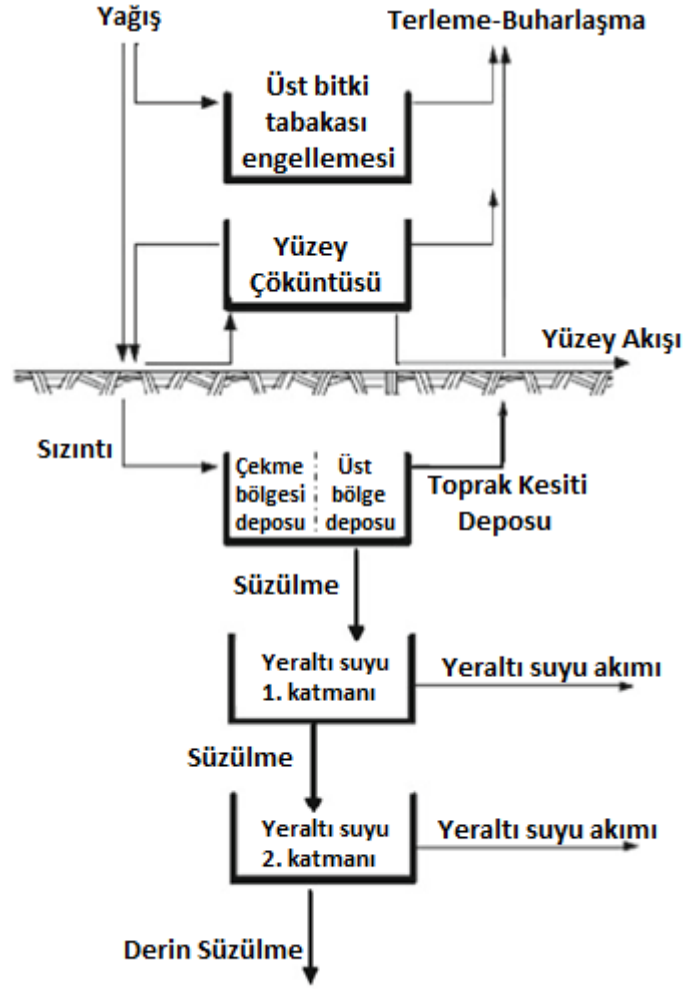
HEC-HMS programı üzerinde yapılan simülasyon çalışmaları Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) sonuçlarına göre değerlendirilmiştir. Bu parametre  $-\infty$  ile 1 arasında bir değer alabilir. Rakam  $-\infty$ 'a doğru gittikçe model kötüleşirken, 1'e yaklaştıkça model performansı iyileşir. Denklem 3.1'de NSE'nin hesaplanma yöntemi görülmektedir. "G" gözlem verisini, "M" model verisini, " $\bar{G}$ " gözlem verilerinin ortalamasını temsil eder.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (G-M)^2}{\sum_{i=1}^n (G-\bar{G})^2} \quad (3.1)$$

### 3.1. Kayıp Metodu (Loss Method)

Süzülme HEC-HMS'te kayıp metodunda modellenir ve yüzey akım simülasyonunda büyük rol oynar. Süzülme oranı bir zaman fonksiyonudur ve hem pik debiyi hem de hidrograf hacmini azımsanamayacak şekilde etkiler. Kayıp metodları akım tahmininde kullanılabildiği gibi taşkın tahmini simülasyonlarında da kullanılabilir. HEC-HMS'teki kullanılabilir kayıp metodu seçenekleri Deficit and Constant, Exponential, Green and Ampt, Gridded Deficit and Constant, Gridded Green and Ampt, Gridded SCS Curve Number, Gridded Soil Moisture Accounting, Initial and Constant, SCS Curve Number, Smith Parlange ve Soil Moisture Accounting metodlarıdır.

SMA (Soil Moisture Accounting) metodunun kayıpların simülasyonunu yaparken kullandığı Görsel 3.2'de görülebilen 5 farazi depolama kabı vardır. Suyun kaplar arasındaki hareketinde kapların ilk doluluk oranları ve süzme oranları dikkate alınır.[18]



Görsel 3.2. SMA algoritmasının kavramsal şeması

Üst bitki tabakası engellemesi ağaç, çalı... vs. gibi bitki örtüsü tarafından tutulan ve yeryüzüyle buluşamayan yağışı ifade eder. Bir yağış gerçekleştiğinde ilk olarak bu kabı doldurur. Bu katmanın alabileceği su kapasitesi dolmadan su diğer katmanlara geçemez. Bu tabakada tutulan suyun çıkışı ancak terleme - buharlaşmayla gerçekleşir.

Yüzey çöküntüsü deposu havzanın sıg yüzeylerinde tutulan sulardır. Buraya Görsel 3.2'den de anlaşıldığı gibi üst bitki tabakasından hiç su gelmez. Hacmini yağışla ve sızıntı fazlası sularla doldururken yine sızıntı ve buharlaşmayla boşaltır. Yüzey çöküntüsü kabındaki su sızıntı oranını aştığı için alt katmana sızamıyorsa yüzey akışına katılır.

Toprak kesiti deposu, toprağın üst tabakasında tutulan sulardan beslenir. Yüzeyden sızan su buraya gelir. Buradan su çıkışı terleme - buharlaşmayla ve alt tabakaya sızılmayla gerçekleşir. Toprak kesiti kendi içinde çekme bölgesi ve üst bölge

olarak ikiye ayrılmıştır. Üst bölgedeki su toprağın gözeneklerinde durur ve burdan süzülmeyle ya da terleme - buharlaşmayla ayrılır. Çekme bölgesindeki su toprağa yapışık haldedir ve ancak terleme - buharlaşma yoluyla ayrılabilir. Terleme - buharlaşma ilk olarak üst bölgede gerçekleşmeye başlar.

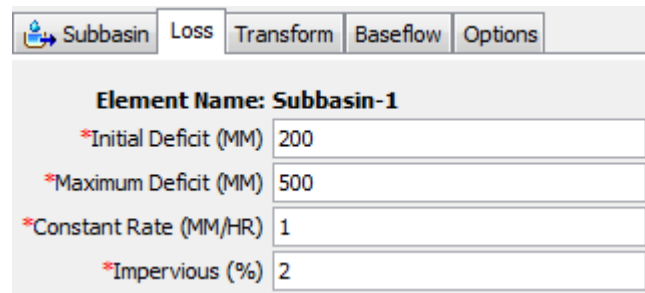
SMA'da yeraltı suyu katmanlarında su yatay akar. Bir SMA modeli bir ya da iki yeraltı katmanına sahip olabilir. Su, toprak kesitinden buraya süzülür. Bir yeraltı katmanında meydana gelen su kaybı, yeraltı su akımından ya da başka bir yeraltı katmanına süzülmeden olabilir. Görsel 3.2'de su, toprak kesiti deposundan yeraltı suyu 1. katmanına süzülür, buradan yeraltı suyu 2. katmanına süzülür ve buradan da süzülen su, derin süzülme olarak adlandırılır. Derin süzülme sistemden kayıp olarak algılanır çünkü SMA'da akifer yoktur.

SMA algoritmasının 14 parametresi vardır (Görsel 3.3). İlk üç parametre (Soil, Groundwater 1 and Groundwater 2) toprak katmanlarının başlangıç doluluk oranlarını temsil eder. Sonraki dört parametre (Max infiltration, Impervious, Soil storage and Tension Storage) toprak neminin değişimini yürüten verilerdir. Son yedi parametre (Soil Percolation, GW 1 Storage, GW 1 Percolation, GW 1 Coefficient, GW 2 Storage, GW 2 Percolation, GW 2 Coefficient) toprağın ikinci ve üçüncü katmanlarındaki suyun hareketini simüle eder.

Basin Name: Basin 1	
Element Name: Subbasin-1	
*Soil (%)	20
*Groundwater 1 (%)	20
*Groundwater 2 (%)	20
*Max Infiltration (MM/HR)	1.8
*Impervious (%)	0.0
*Soil Storage (MM)	110
*Tension Storage (MM)	50
*Soil Percolation (MM/HR)	0.7
*GW 1 Storage (MM)	40
*GW 1 Percolation (MM/HR)	0.4
*GW 1 Coefficient (HR)	300
*GW 2 Storage (MM)	40
*GW 2 Percolation (MM/HR)	0.5
*GW 2 Coefficient (HR)	400

Görsel 3.3. HEC-HMS modelinde SMA kayıp metodu parametreleri

Programın diğerkayıp metotlarından biri olan Deficit and Constant metodu, olay bazlı olan Initial and Constant kayıp metodunun sürekli varyasyonudur. Görsel 3.4'te görüldüğü üzere Deficit and Constant metodunu kullanmak için başlangıç kaybının ve sabit kayıp oranıyla geri kazanım oranı toplamının belirtilmesi gerekir. Yağışsız periyotlarda nem eksiği, başlangıç ayrılma hacmiyle yağış hacminin farkına, geri kazanım hacminin eklenmesiyle hesaplanır ve sürekli olarak takip edilir. Geri kazanım oranı olarak buharlaşma ve süzülmenin toplamı kadar bir değer atamak gerekir. Bu metodun Initial and Constant metodundan farkı, uzun süreli yağışsız bir dönemden sonra başlangıç kaybının geri kazanılabilesidir.



The screenshot shows the 'Loss' tab in the HEC-HMS software. The 'Element Name' is 'Subbasin-1'. The parameters are as follows:

Parameter	Value
*Initial Deficit (MM)	200
*Maximum Deficit (MM)	500
*Constant Rate (MM/HR)	1
*Impervious (%)	2

Görsel 3.4. HEC-HMS modelinde Deficit and Constant kayıp metodu parametreleri

### 3.2. Dönüşüm Metodu (Transform Method)

Bir yağış olayı süresine ve şiddetine göre etkili yağışla sonuçlanırsa yüzey akışına dönüşür. Su havza boyunca yerçekimi kuvvetiyle aşağı yönlü hareket eder ve bu hareket ötelenme olarak adlandırılır. Bu akışa karşı sürtünme kuvveti ve havza üzerindeki dolu savaklar sönümleme yaparlar.

HEC-HMS'te yüzey akışı hesabı, gözlem yağışına dönüşüm metodunun uygulanmasıyla yapılır. Programın sağladığı dönüşüm metotları arasında Clark Unit Hydrograph, Kinematic Wave, ModClark, SCS Unit Hydrograph, Snyder Unit Hydrograph, User-Specified S Graph ve User-Specified Unit Hydrograph dönüşüm metotları vardır.

Clark (1945) su akışının havza üzerindeki hareketinin bir zaman - alan eğrisiyle açıklanabileceğini söylemiştir. Bu, havzanın bir yerine düşen yağışın havza çıkışına katılımının bir zaman fonksiyonu olduğunu gösteren eğridir. HEC-HMS'te Clark Unit Hydrograph metodundaki toplanma zamanı (time of concentration) ötelemeyi, depolama katsayısı (storage coefficient) sönümlemeyi temsil eder (Görsel 3.5). [25]

Subbasin	Loss	Transform	Baseflow	Options
<b>Basin Name: Basin 1</b>				
<b>Element Name: Subbasin-1</b>				
*Time of Concentration (HR)	6			
*Storage Coefficient (HR)	100			
Time-Area Method:	Default			

**Görsel 3.5.** HEC-HMS modelinde Clark Unit Hydrograph dönüşüm metodu parametreleri

Toplanma zamanı, havzanın çıkışına en uzak noktaya düşen yağışın çıkışa ulaşma süresidir ve pik debi hesabında kullanılan parametrelerden biridir. Kayabaşı havzası için toplanma süresi 3 farklı şekilde FAA (U.S. Federal Aviation Administration), Kirpich ve Kerby denklemleriyle hesaplanmıştır.[26] FAA en çok kullanılan, Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu (ASCE) tarafından önerilen denklemdir. 1940'ta oluşturulan Kirpich denklemi bu üçlü arasında en eski olandır. Kayabaşı için toplanma süresi 6 saat alınmıştır.

$$\text{FAA equation: } T_c = G (1.1 - c) L^{0.5} / (100 S)^{1/3} = 517,94 \text{ dakika} \quad (3.1)$$

$$\text{Kirpich equation: } T_c = G k (L / S^{0.5})^{0.77} = 392,88 \text{ dakika} \quad (3.2)$$

$$\text{Kerby equation: } T_c = G (L r / S^{0.5})^{0.467} = 335,01 \text{ dakika} \quad (3.3)$$

$c$  = Rational Method akım katsayısı = 0,3 (Tablo 3.1)

$G$  = Sabit değer FAA:  $G=1.8$ , Kirpich:  $G=0.0078$ , Kerby:  $G=0.8268$

$k$  = Kirpich faktörü = 1 (Tablo 3.1)

$L$  = Havzadaki en uzun su yolu = 123,417 km

$r$  = Kerby katsayısı = 0,3 (Tablo 3.1)

$S$  = Su yolunun eğimi (m/m) =  $2800-1650/123417=0,0093$

$t$  = Taşınım süresi (dakika)

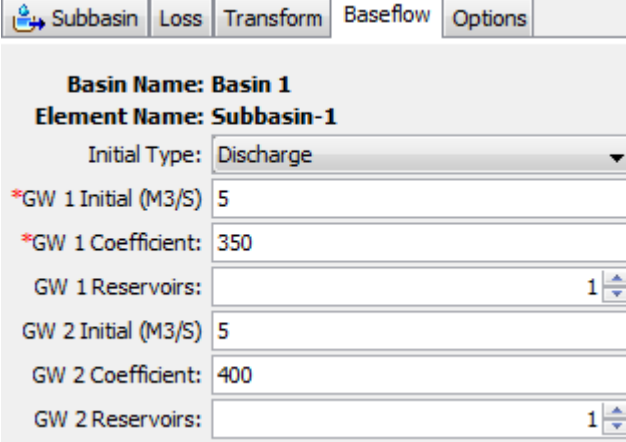
**Tablo 3.1.** Toplanma süresi denklemlerinin katsayı tablosu [26]

<b>Yer Örtüsü</b>	<b>Rational Method akım katsayısı (FAA)</b>
Çimenlik	0.05 - 0.35
Orman	0.05 - 0.25
Ekili toprak	0.08-0.41
Çayır	0.1 - 0.5
Parklar, Mezarlıklar	0.1 - 0.25
Gelişmemiş bölgeler	0.1 - 0.3
Otlak	0.12 - 0.62
Yerleşim bölgesi	0.3 - 0.75
İş alanları	0.5 - 0.95
Endüstriyel alanlar	0.5 - 0.9
Asfalt sokaklar	0.7 - 0.95
Tuğla sokaklar	0.7 - 0.85
Tepeler	0.75 - 0.95
Beton sokaklar	0.7 - 0.95
<b>Yer Örtüsü</b>	<b>Kirpich Faktörü</b>
Doğal kanallarda akım	2.0
Çıplak toprakta ya da yol kenarı hendeğinde akım	1.0
Beton ya da asfalt yüzeylerde akım	0.4
Beton kanallarda akım	0.2
<b>Yer Örtüsü</b>	<b>Kerby Katsayısı</b>
Kozalaklı orman, yoğun çimenlik	0.80
Kışın yapraklarını döken orman	0.60
Sıradan ortalama çimenlik	0.40
Zayıf çimenlik	0.30
Düz çıplak sıkıştırılmış toprak, taşsız	0.10
Düz yol yüzeyi	0.02

### 3.3. Baz Akışı Metodu (Baseflow Method)

Yağışın bir kısmı, yeraltı su tablasına kadar süzülür. Yeraltı su tablasına ulaştığı gibi yatay hareket etmeye başlar. Bu su kütlesi baz akışı olarak adlandırılır. Yüzey akışına göre çok daha yavaş hareket eder ve taşkın pikleri üzerinde bir etkisi yoktur.[27]

HEC-HMS programı kullanıcılara Bounded Recession, Constant Monthly, Linear Reservoir, Nonlinear Bousinessq ve Recession baz akışı metotlarını sağlar. Constant Monthly metodu oldukça basit bir şekilde her aya sabit bir baz akışı değeri atanarak kullanılabilir. Bu çalışmada Deficit kayıp metodu Constant Monthly baz akışı metoduyla birlikte çalıştırılmıştır. Linear Reservoir metodu, SMA kayıp metoduyla birlikte en iyi çalışan baz akışı metodudur. Bu baz akışı metodu, suyun iki yeraltı tabakası boyunca hareketini tasvir eder. Görsel 3.6'da görülen parametrelerden Initial olarak adlandırılanlar simülasyonun başlangıcındaki yeraltı akımı debilerini gösterir. Coefficient adlı parametreler ise yeraltı tabakalarının zaman sabitleridir ve alt havzaların tepki süreleri hakkında fikir verir.



Subbasin	Loss	Transform	Baseflow	Options
<b>Basin Name: Basin 1</b>				
<b>Element Name: Subbasin-1</b>				
Initial Type: Discharge				
*GW 1 Initial (M3/S) 5				
*GW 1 Coefficient: 350				
GW 1 Reservoirs: 1				
GW 2 Initial (M3/S) 5				
GW 2 Coefficient: 400				
GW 2 Reservoirs: 1				

Görsel 3.6. HEC-HMS modelinde Linear Reservoir baz akışı metodu parametreleri

Subbasin	Loss	Transform	Baseflow	Options
<b>Basin Name: Basin 1</b>				
<b>Element Name: Subbasin-1</b>				
*January (M3/S)	5			
*February (M3/S)	5			
*March (M3/S)	20			
*April (M3/S)	40			
*May (M3/S)	20			
*June (M3/S)	5			
*July (M3/S)	5			
*August (M3/S)	5			
*September (M3/S)	5			
*October (M3/S)	5			
*November (M3/S)	5			
*December (M3/S)	5			

Görsel 3.7. HEC-HMS modelinde Constant Monthly baz akışı metodu parametreleri

### 3.4. Sıcaklık İndeksi Metodu (Temperature Index Method)

Kar ağırlıklı havzalar üzerinde yapılan taşkın alarm sistemlerinde ve taşkından korunma yapılarında kar erimesi tahminleri can alıcı noktadır. Sıcaklık İndeksi, güncel ve geçmiş kar örtüsü üzerinden kar erimesini simüle etmek ve erime oranını hesaplamak için kullanılır. Kar erimesini sadece kolayca ölçülebilen meteorolojik bir değişken olan hava sıcaklığını kullanarak bulur. Radyasyonun kar erimesi üzerinde önemli sayılabilecek bir etkisi olmasına rağmen Sıcaklık İndeksi Metodu'nda yer almaz.



Temperature Index	
<b>Met Name: Met 1</b>	
*PX Temperature (C)	1.5
*Base Temperature (C)	1
*Wet Meltrate (MM/DEG C-DAY)	4
Rain Rate Limit (MM/DAY)	3.5
ATI-Meltrate Coefficient:	0.95
*ATI-Meltrate Function:	Table 1
Meltrate Pattern:	--None--
Cold Limit (MM/DAY)	0
ATI-Coldrate Coefficient:	0
ATI-Coldrate Function:	--None--
Water Capacity (%)	5
Groundmelt Method:	Constant Value
Groundmelt (MM/DAY)	0

**Görsel 3.8.** HEC-HMS modelinde Sıcaklık İndeksi Metodu parametreleri

Görsel 3.8'de görülen Sıcaklık İndeksi Metodu parametrelerinden PX Temperature, yağışın yağmur ya da kar olarak düştüğünü belirleyen eşik değerdir. Base Temperature, kar erimesinin başlayacağı eşik değeri gösterir. Wet Meltrate, yağmur oranının Rain Rate Limit'ten yüksek olduğu zamanlardaki erime oranını verir. Rain Rate Limit, yağmurun kar erimesine etki etmeye başladığı minimum yağmur oranıdır. ATI-Meltrate Coefficient, güncel erime oranı indeksinden erime oranını hesaplar. Cold Limit, yüksek yağış değerlerinin görüldüğü zamanlarda kar örtüsünde meydana gelen hızlı değişimleri gösterir. ATI-Coldrate Coefficient, bir zaman aralığından diğerine geçişte öncül kar muhtevsındaki güncellemeyi yansıtır. Water Capacity, akışa geçmeden önce birikmiş eriyik su miktarını temsil eder. Groundmelt ise yerin ısınmasının kar erime oranına katkısını verir.

Bu metodu kullanmak için ayrıca bir öncül sıcaklık indeksi - erime oranı (ATI-Meltrate) fonksiyonu oluşturmak gerekir. Bu fonksiyonun çizelgesi Görsel 3.9'da paylaşılmıştır. Görseldeki ATI başlıklı kolon sıcaklıkların eklenik halidir. Bu çizelgeye göre sıcaklık toplamı 100'e ulaşana kadar erime oranı 2 mm, 100'den 300'e gelene kadar 3 mm ve 300'e ulaştığında 4 mm alınır.

ATI (DEG C-DAY)	Meltrate (MM/DEG C-DAY)
0.0	2.0
100.0	3.0
200.0	3.0
300.0	4.0

Görsel 3.9. ATI - Meltrate çizelgesi

### 3.5. Akım Tahmin Modülü

Akım tahminlerinde ele alınan havzanın güncel hidrolojik ve meteorolojik verileri, tahminin hassasiyet derecesini belirlemede baş etkindir. HEC-HMS programı akım tahmini için içerisinde bir akım tahmin modülü barındırır (Görsel 3.9). Bu modül havza modeli, meteorolojik model ve zaman girdileriyle çalışır. Ayrıca kayıp, baz akışı ve dönüşüm metodu ayarlarını da içerir. Tahmin simülasyonunun, istenilen tahmin bitiş tarihinden en az 24 saat önce başlatılması gerekir.

**Forecast Alternative**

**Name: Alternative 1**

Description:

DSS File: C:\Users\TUFAN\Desktop\21

Basin Model:

Meteorologic Model:

\*Start Date (ddMMMYYYY) 01Oct2014

\*Start Time (HH:mm) 00:00

\*Forecast Date (ddMMMYYYY) 28Jun2015

\*Forecast Time (HH:mm) 00:00

\*End Date (ddMMMYYYY) 03Jul2015

\*End Time (HH:mm) 00:00

Time Interval:

Loss Rate Config:

Transform Config:

Baseflow Config:

Routing Config:

Görsel 3.10. HEC-HMS modelinde akım tahmin girdileri

Hesaplanan akım sonuçları asla mükemmel değildir çünkü sonuçların hassasiyeti modelin kalitesine, tahmincinin melekeseine, havza durumu malumatına, meteorolojik verilerin doğruluğuna ve başka birçok faktöre göre değişebilir. Modülün harmanlama

(blending) özelliği, hesaplanan akımı ayarlamak için gözlenen akımı kullanan sistematik bir metot sunar. Burada gözlenen akımla hesaplanan akım arasındaki geçişi sağlayan Step, Taper ve None olmak üzere üç farklı seçenek bulunur. Step seçeneğinde hesaplanan akıma tahmin tarihinden bitiş tarihine kadar sabit bir düzeltme uygulanır. Tahmin tarihinde gözlenen akımla hesaplanan akımın farkı alınır. Bu fark hesaplanan akıma tahmin tarihinden bitiş tarihine kadar eklenir. Gözlenen akım hesaplanan akımdan büyükse fark pozitifdir. Taper seçeneğinde hesaplanan akıma tahmin tarihinden sonra azalan bir düzeltme uygulanır. Gözlenen akımla hesaplanan akımın tahmin tarihindeki farkı hesaplanır. Bu fark tahmin tarihinde hesaplanan akıma eklenir. Daha sonra fark, belirtilen süre boyunca lineer olarak azalır. Sürenin sonunda uygulanan düzeltme sıfır olur. None seçeneği seçildiğinde herhangi bir düzeltme uygulanmaz. [28]

## 4. MODEL UYGULAMASI

### 4.1. Model Parametrelerini Belirleme

Model parametreleri, HEC-HMS üzerinde yapılan kalibrasyon çalışmasında belirlenir. Model kalibrasyonu, gözlenen akımlarla modelin çıkardığı simülasyon akımları örtüşene kadar yapılan ayarlama işlemidir.

Kanopi (Canopy), bitki örtüsü tarafından tutulan yağışı temsil eder. HEC-HMS programı Dynamic, Gridded Simple ve Simple olmak üzere üç farklı kanopi metodu sunar ancak bu çalışmanın alanı çoğunlukla çayırdan ve çıplak araziden oluştuğu için bu metotlardan birinin kullanılma gereği duyulmamıştır.

Yüzey depolaması (Surface Method), yüzey çöküntülerinde biriken suyu ifade eder. Kayabaşı Havzası gibi 2764 km<sup>2</sup>'lik büyük bir alanda bu etki görmezden gelinemez.

Kayıp metodu olarak sürekli simülasyonlardaki performansı sebebiyle SMA tercih edilmiştir. SMA metodunun, çalışmada yer verilmeyen kanopi ve yüzey depolamasını algoritmasında bulundurması da bu tercihte etkili olmuştur. Dönüşüm ve baz akışı metodu olarak, SMA ile diğer metotlardan daha uyumlu çalıştıklarından dolayı Clark Unit Hydrograph ve Linear Reservoir kullanılmıştır. Kikine'nin (2017) yaptığı çalışma bu seçimlere rehber olmuştur. [23]

Ayrıca kayıp metodu olarak, olay bazlı simülasyonlarda kullanılan Initial and Constant metodunun sürekli varyasyonu Deficit and Constant metodu da uygulanmıştır. Bunun yanında baz akışı metodu olarak Constant Monthly kullanılırken dönüşüm metodu olarak yine Clark Unit Hydrograph tercih edilmiştir.

Tüm metotların parametre atamaları, olabilecekleri değer aralığında deneme-yenilme yöntemiyle manüel olarak yapılmıştır. Bunu yaparken HEC-HMS programının sunduğu performans kriterlerinden Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) göz önünde bulundurulmuştur. NSE, 1 mükemmel model performansı olmak üzere  $-\infty$  ve 1 arasında değer alır.

#### 4.1.1. Kayıp metodu parametreleri

Kikine'nin (2017) Kayabaşı Havzası'na komşu Karasu Havzası'ndaki çalışmasında kullandığı SMA kayıp metodu parametrelerinin değer aralıkları Tablo 4.1'de gösterilmiştir. [23]

**Tablo 4.1.** SMA kayıp metodu parametrelerinin değer aralıkları

<b>Parametreler</b>	<b>Değer Aralığı</b>
Max Infiltration (mm/hr)	0,01 - 20
Soil Storage (mm)	0 - 120
Tension Storage (mm)	0 - 75
Soil Percolation (mm/hr)	0,01 - 10
GW1 Storage (mm)	0 - 75
GW1 Percolation (mm/hr)	0,01 - 1
GW1 Coefficient (hr)	100 - 1000
GW2 Storage (mm)	0 - 75
GW2 Percolation (mm/hr)	0,01 - 1
GW2 Coefficient (hr)	100 - 1000

Buna göre Kayabaşı Havzası üzerinde 2008 - 2015 arasındaki sekiz su yılını tek tek ve iki dizi halinde ele alarak yapılan kalibrasyon çalışmasında NSE değerine göre en iyi performansı veren SMA değerleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

**Tablo 4.2.** NSE değerine göre en iyi performansı veren SMA değerleri (2008 - 2015)

<b>Parametreler</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>	<b>2008-2011</b>	<b>2012-2015</b>
Max Infiltration (mm/hr)	1	2	1	7	1,7	0,7	2	1	1	1,3
Soil Storage (mm)	110	120	100	120	100	100	110	92	110	110
Tension Storage (mm)	60	55	70	60	37	55	50	50	50	50
Soil Percolation (mm/hr)	0,5	10	2	0,8	0,35	0,2	7	0,5	0,7	0,3
GW1 Storage (mm)	40	70	75	35	70	75	12	50	40	40
GW1 Percolation (mm/hr)	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,35	0,4	0,4	0,4	0,4
GW1 Coefficient (hr)	300	300	400	250	250	300	250	300	300	300
GW2 Storage (mm)	40	30	60	40	20	30	32	40	40	30
GW2 Percolation (mm/hr)	0,5	0,3	0,4	0,6	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
GW2 Coefficient (hr)	400	700	500	350	400	400	400	400	400	400

#### **4.1.2. Dönüşüm metodu parametreleri**

Clark Unit Hydrograph metodu etkili yağışın akışa dönüşümünü iki parametreyle sağlar. Toplanma süresi (time of concentration) havzadaki suyun en uzak noktadan çıkış

noktasına gelene kadar geçen süreyi saat olarak temsil eder. Storage coefficient, depolama etkilerini hesaplamakta kullanılır.

Toplanma süresi Kayabaşı Havzası için FAA, Kirpich ve Kerby denklemleriyle hesaplanmış ve sonunda 6 saat alınmasına karar verilmiştir (bkz. Sayfa 29). Storage coefficient (depolama katsayısı) 2008'den 2015'e NSE gözetilerek deneme-yanılma yöntemiyle yapılan kalibrasyon çalışmalarında 90-200 saat arasında değer almıştır.

#### 4.1.3. Baz akışı metodu parametreleri

HEC-HMS programındaki baz akışı bileşeni, yeraltı suyunun toplam akışa katılımını açıklayan kısımdır. Bu çalışmada linear reservoir ve constant monthly baz akışı metotları kullanılmıştır.

Linear Reservoir metodu parametrelerinin değer aralıkları Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Bu baz akışı metodu, SMA kayıp metodu gibi yeraltı tabakasını GW1 ve GW2 olmak üzere iki katman olarak göz önünde bulundurur. Ayrıca baz akışı metodunun GW Coefficient için istediği değerler SMA kayıp metodu bileşeninde GW Coefficient için yazılan değerlerle aynıdır. SMA kayıp metodunun ve Linear Reservoir baz akışı metodunun birlikte iyi çalışmasının sebepleri bunlardır.

**Tablo 4.3.** Linear Reservoir baz akışı metodu parametrelerinin değer aralıkları (2008 - 2015)

Parametreler	Değer Aralığı
GW1 Initial (m3/s)	1-5
GW1 Coefficient	250-400
GW1 Reservoirs	1
GW2 Initial (m3/s)	1-5
GW2 Coefficient	350-700
GW2 Reservoirs	1

GW Reservoirs, baz akımını birden fazla rezervuar arasında dolaştırmaya yarar ve 1'den 3'e kadar bir değer alabilir. Bu çalışmada her yeraltı katmanı tek bir rezervuar olarak düşünülmüş ve 1 alınmıştır.

Deficit and Constant kayıp metoduyla kullanılan Constant Monthly baz akışı metodunda her ayın sabit bir baz akışı değeri vardır. 2008'den 2015'e ayların aldığı baz

akışı değerleri Tablo 4.4'te paylaşılmıştır. En yüksek değerlerin görüldüğü Mart, Nisan ve Mayıs ayları kar erimesinin gerçekleştiği aylara denk gelmektedir.

**Tablo 4.4.** Constant Monthly baz akışı metodu değer aralıkları (2008-2015)

<b>Ay</b>	<b>Baz Akışı (m<sup>3</sup>/s)</b>
Ekim	5-7
Kasım	5-7
Aralık	5-7
Ocak	5-7
şubat	5-15
Mart	10-25
Nisan	30-50
Mayıs	20-55
Haziran	5-35
Temmuz	5-10
Ağustos	5-10
Eylül	5-7

#### **4.1.4. Kar erimesi metodu parametreleri**

Kar erimesi bileşeninde kullanılan sıcaklık indeksi metodu, kar erimesi simülasyonunda bir takım sıcaklık değerlerine ve katsayılara ihtiyaç duyar. 2008'den 2015'e sekiz senenin üzerinde yapılan kalibrasyon sonunda elde edilen değerler Tablo 4.5'te verilmiştir.



**Tablo 4.5.** Sıcaklık indeksi metodu parametrelerinin değer aralıkları (2008-2015)

Parametreler	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2008-2011	2012-2015
PX Temperature (oC)	2	2	0	0,4	1	0,5	1	1	1,1	1,2
Base Temperature (oC)	-3	-0,5	-0,5	0	0	0	0	0	-0,5	0
Wet Meltrate (mm/ oC-gün)	1	1	2	4	4	5	4	4	1	4
Rain rate limit (mm/gün)	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ATI-Meltrate coefficient	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Water capacity (%)	1	2	10	5	5	10	5	5	5	6
Groundmelt (mm/day)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

#### 4.2. Kalibrasyon - Validasyon

Kalibrasyon aşamasında öncelikle, ele alınan bütün yıllar üzerinde HEC-HMS programında tek tek kalibrasyon çalışması yapılarak kullanılan metotların uyumu ve eldeki verilerin kalitesi incelenmiştir. Tablo 4.6'da SMA metodunda 2008-2015 su yıllarının kalibrasyon çalışmaları sonucu, metotlarla hesaplanan akımın gözlenen akımla uyumunu temsil eden Nash-Sutcliffe Efficiency değerleri görülmektedir.

**Tablo 4.6.** SMA metodunda kalibrasyon sonucu NSE değerleri

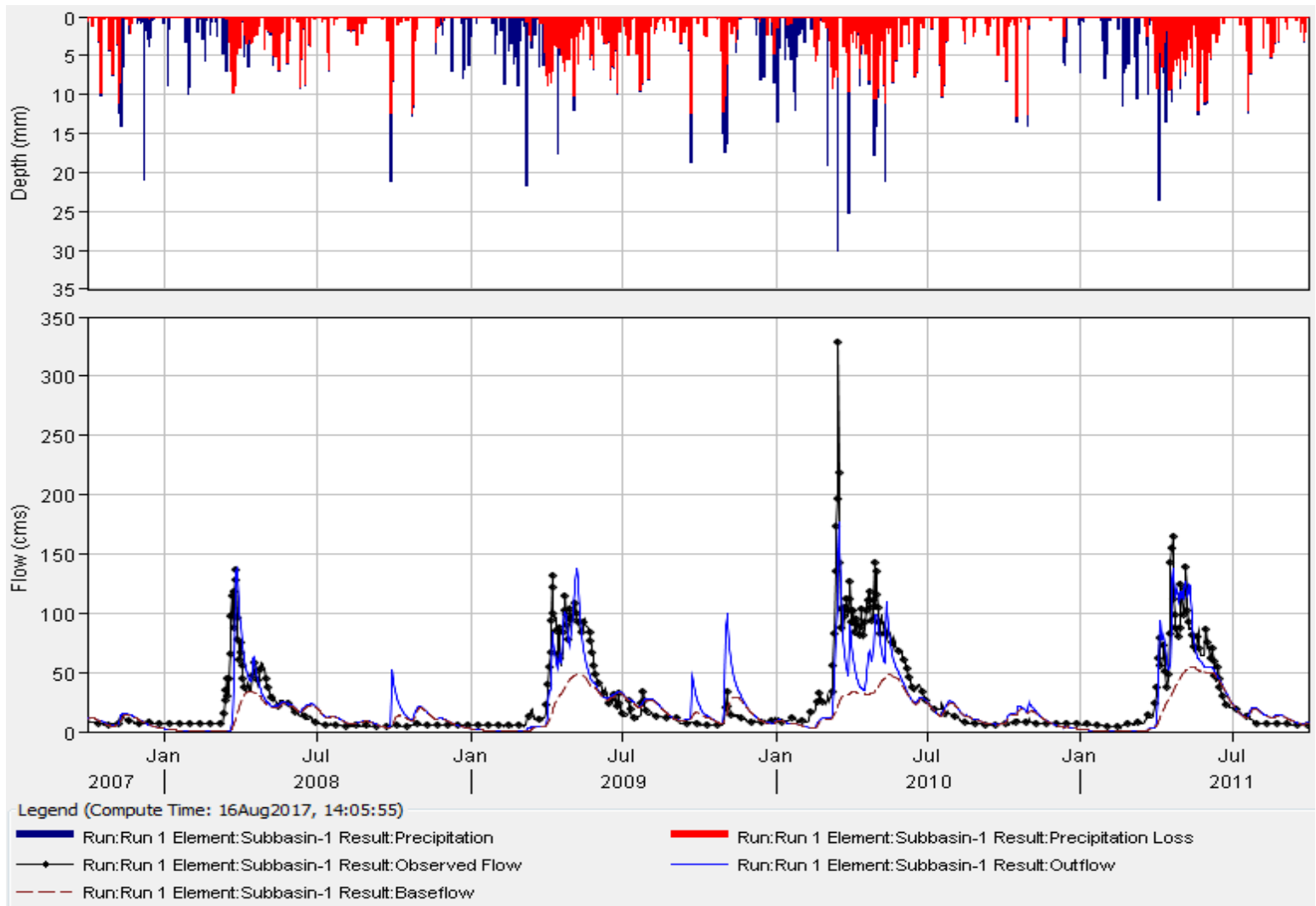
Su Yılı	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
NSE	0.640	0.849	0.752	0.847	0.875	0.759	0.570	0.903

Kalibrasyon - validasyon çalışmalarında üzerinde çalışılan yıl setinin bir bölümü kalibrasyon, diğer bölümü validasyon için kullanılır. Çalışmada 2008-2011 yıllarında kalibrasyon çalışması yapılıp elde edilen değerlerle 2012-2015 yıllarında validasyon yapılmıştır. Ardından bunun tersi de denenerek 2012-2015 validasyon değerleri 2008-2011 yıllarında validasyon yapmak için kullanılmıştır. Çalışmaların NSE rakamları Tablo 4.7'de verilmiştir.

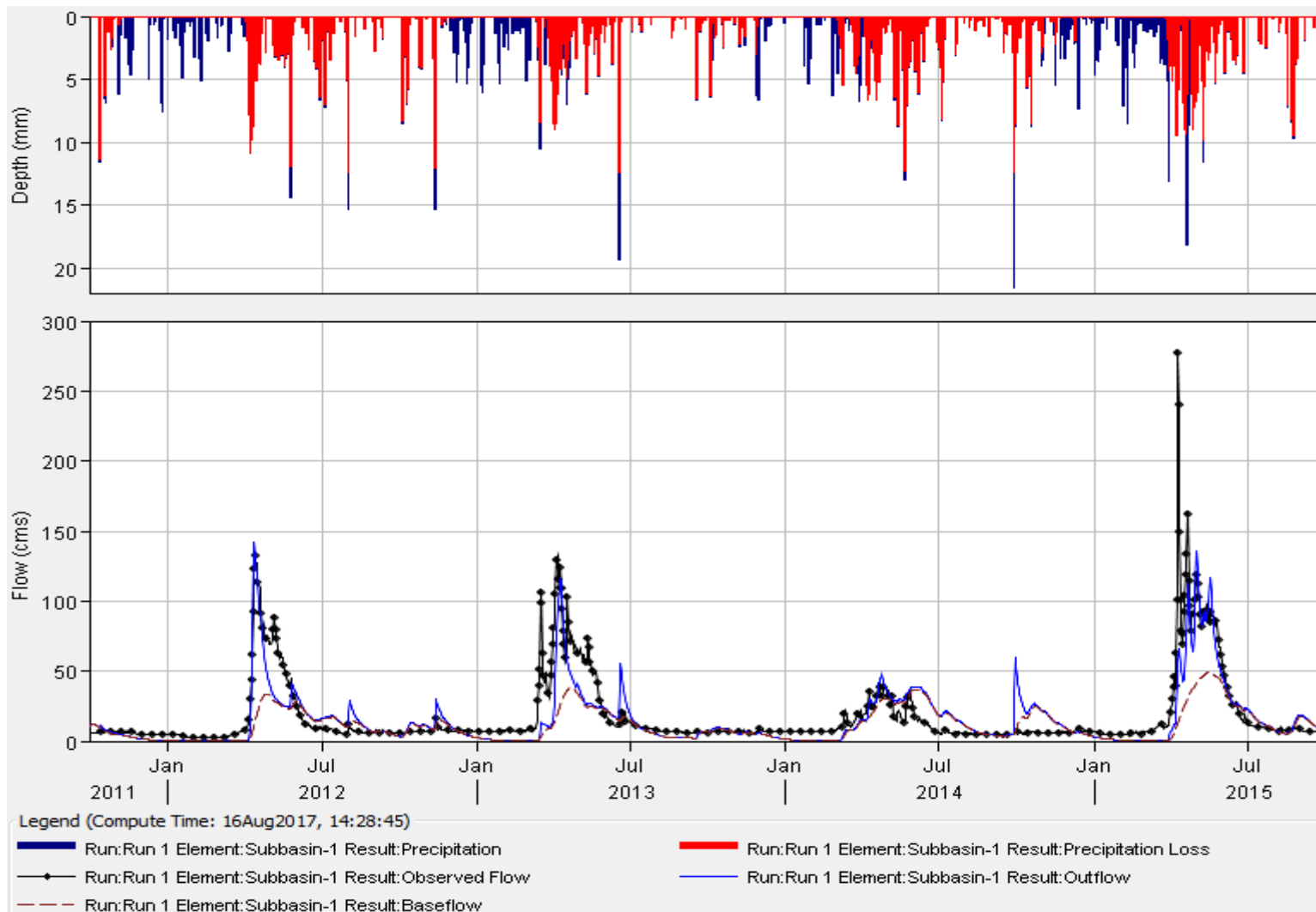
**Tablo 4.7.** Yıl setlerinde kalibrasyon ve validasyon sonucu NSE değerleri (SMA)

<b>Su Yılları</b>	2008-2011 Kalibrasyon	2012-2015 Validasyon	2012-2015 Kalibrasyon	2008-2011 Validasyon
<b>NSE</b>	0.735	0.613	0.754	0.673

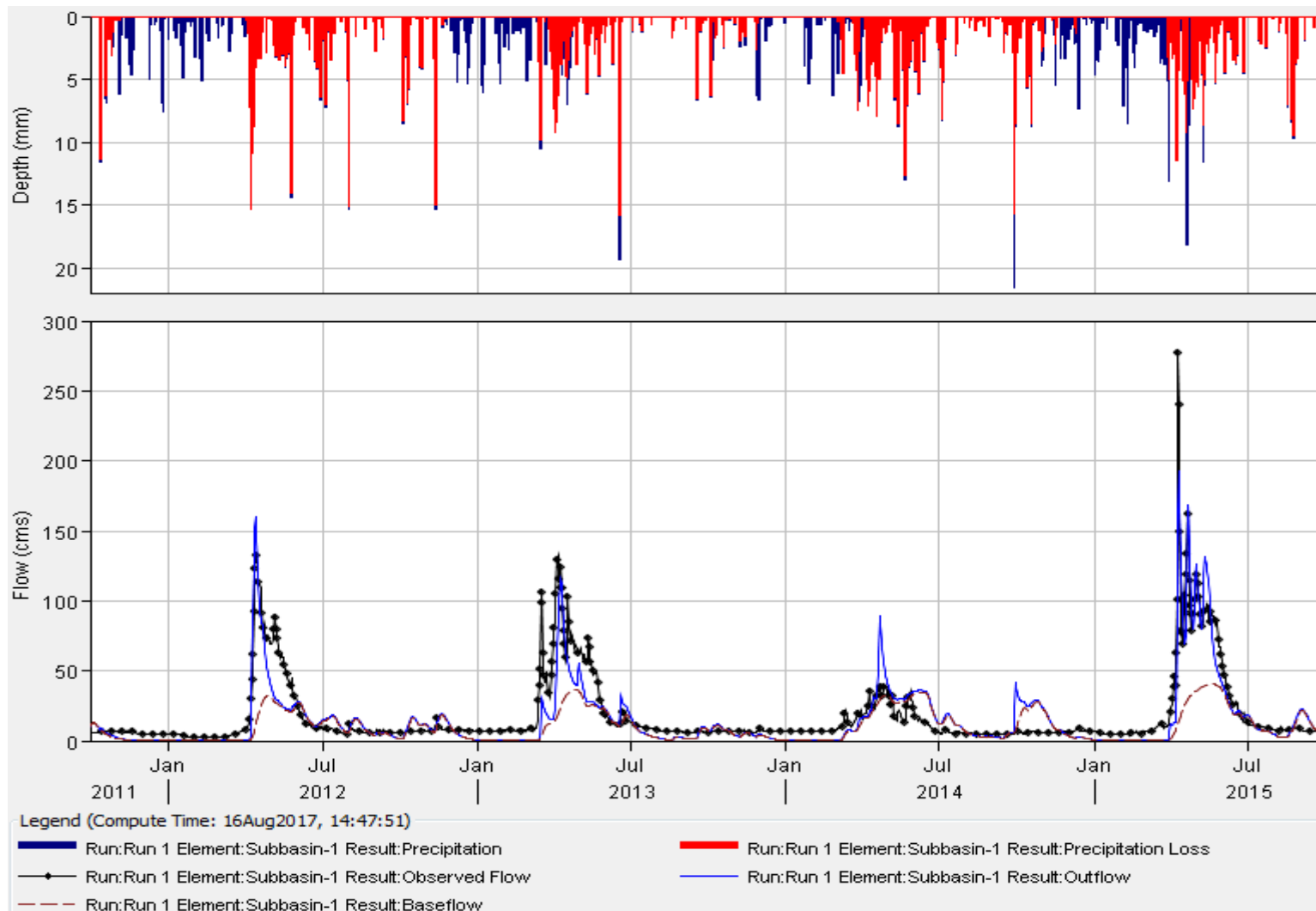
Tablo 4.7'deki sonuçlardan kalibrasyon çalışmasının 0.73-0.75, validasyon çalışmasının 0.61-0.67 bandında olduğu görülmektedir. Böylece veri seti, kalibrasyon ve validasyon için belli aralıklarda olup modelleme güvenilirliğini göstermektedir.



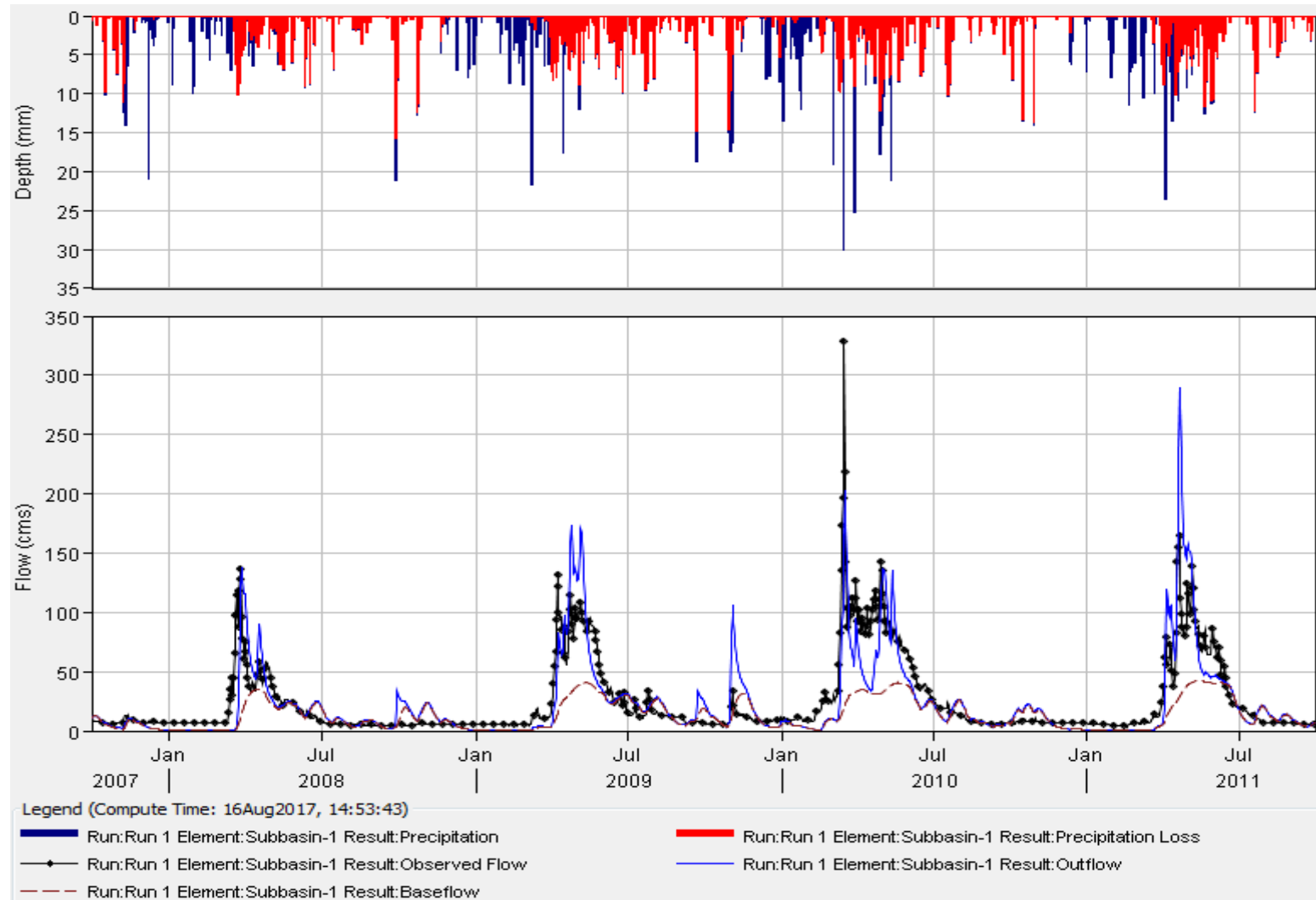
**Grafik 4.1.** 2008-2011 kalibrasyon hidrografi (SMA)



**Grafik 4.2.** 2012-2015 validasyon hidrografi (SMA)



**Grafik 4.3.** 2012-2015 kalibrasyon hidrografi (SMA)



**Grafik 4.4.** 2008-2011 validasyon hidrografi (SMA)

Kalibrasyon - validasyon alışmaları Deficit and Constant kayıp metodu kullanılarak bir kez daha tekrarlanmıştır. NSE sonuçları Tablo 4.8 ve 4.9'da verilmiştir.

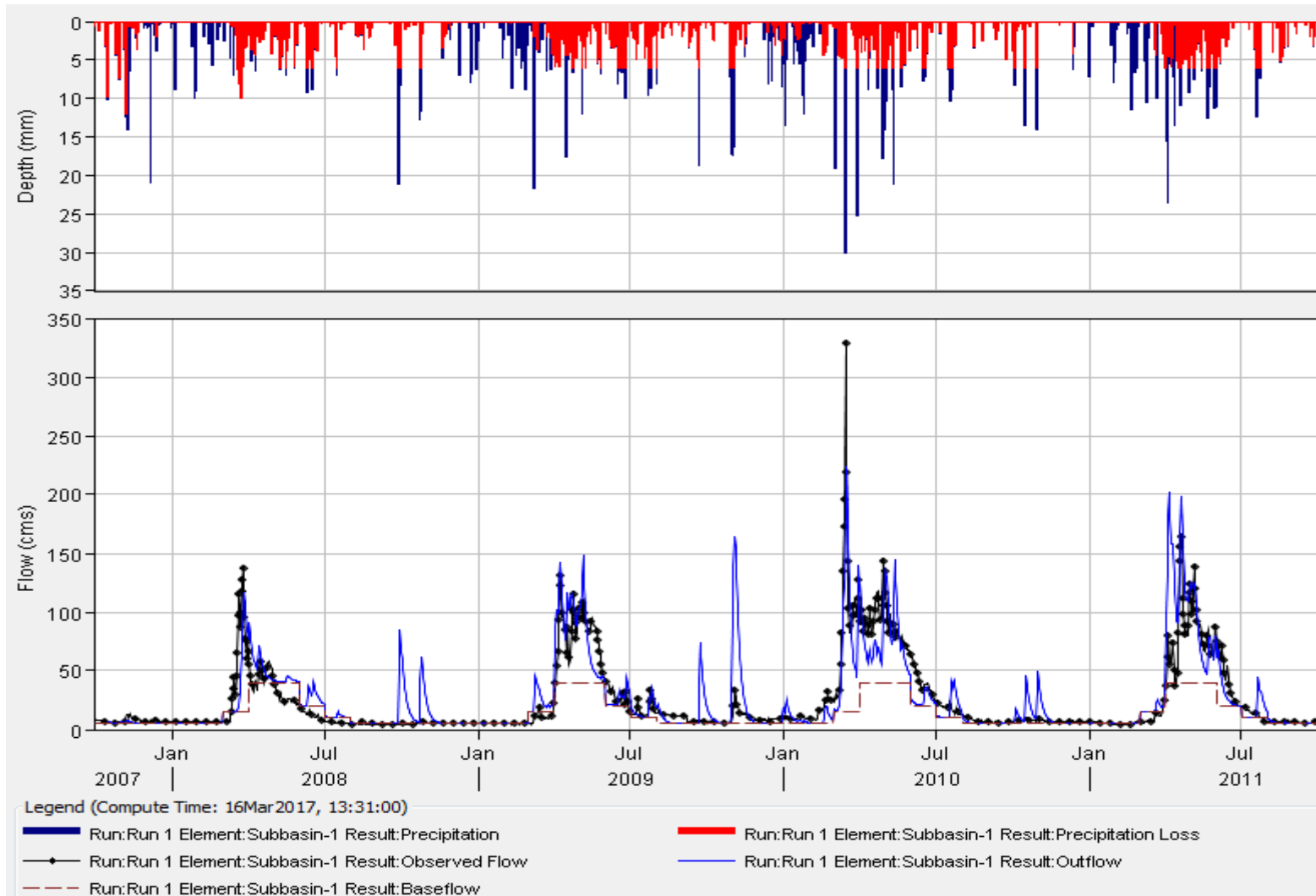
**Tablo 4.8.** Deficit metodunda kalibrasyon sonucu NSE değerleri

<b>Su Yılı</b>	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>NSE</b>	0.766	0.831	0.830	0.926	0.843	0.821	0.846	0.920

**Tablo 4.9.** Yıl setlerinde kalibrasyon ve validasyon sonucu NSE değerleri (Deficit)

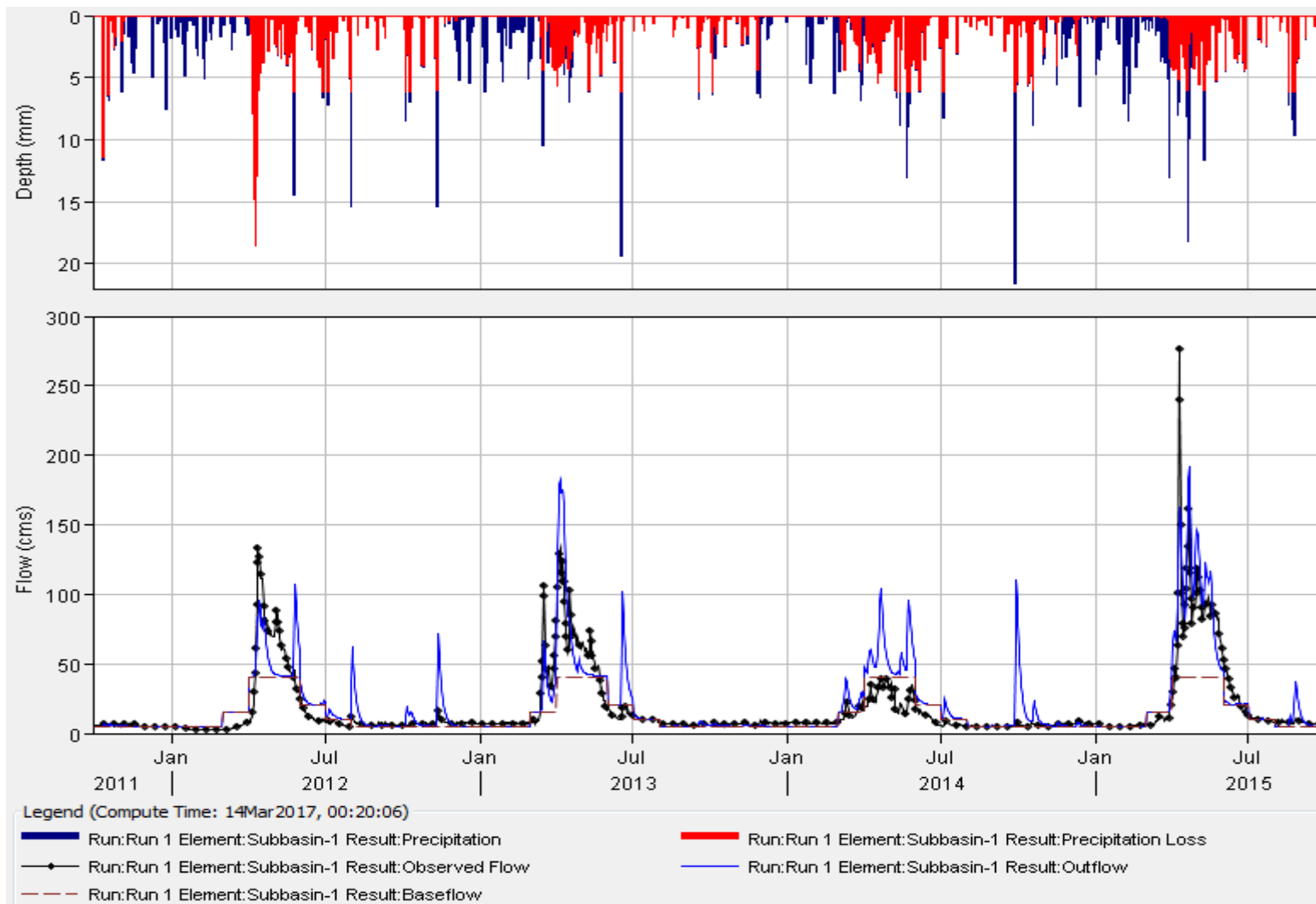
<b>Su Yılları</b>	2008-2011 Kalibrasyon	2012-2015 Validasyon	2012-2015 Kalibrasyon	2008-2011 Validasyon
<b>NSE</b>	0.629	0.672	0.791	0.632

Tablo 4.9'daki sonuçlara göre kalibrasyon 0.63-0.79, validasyon 0.63-0.67 aralığındadır. Aralıkların yine az olup güvenilir görünmesine rağmen SMA ile yapılan kalibrasyon ve validasyon sonuçları kadar iyi olmadığı için tahmin çalışmasının SMA ile yapılması daha doğru olacaktır.

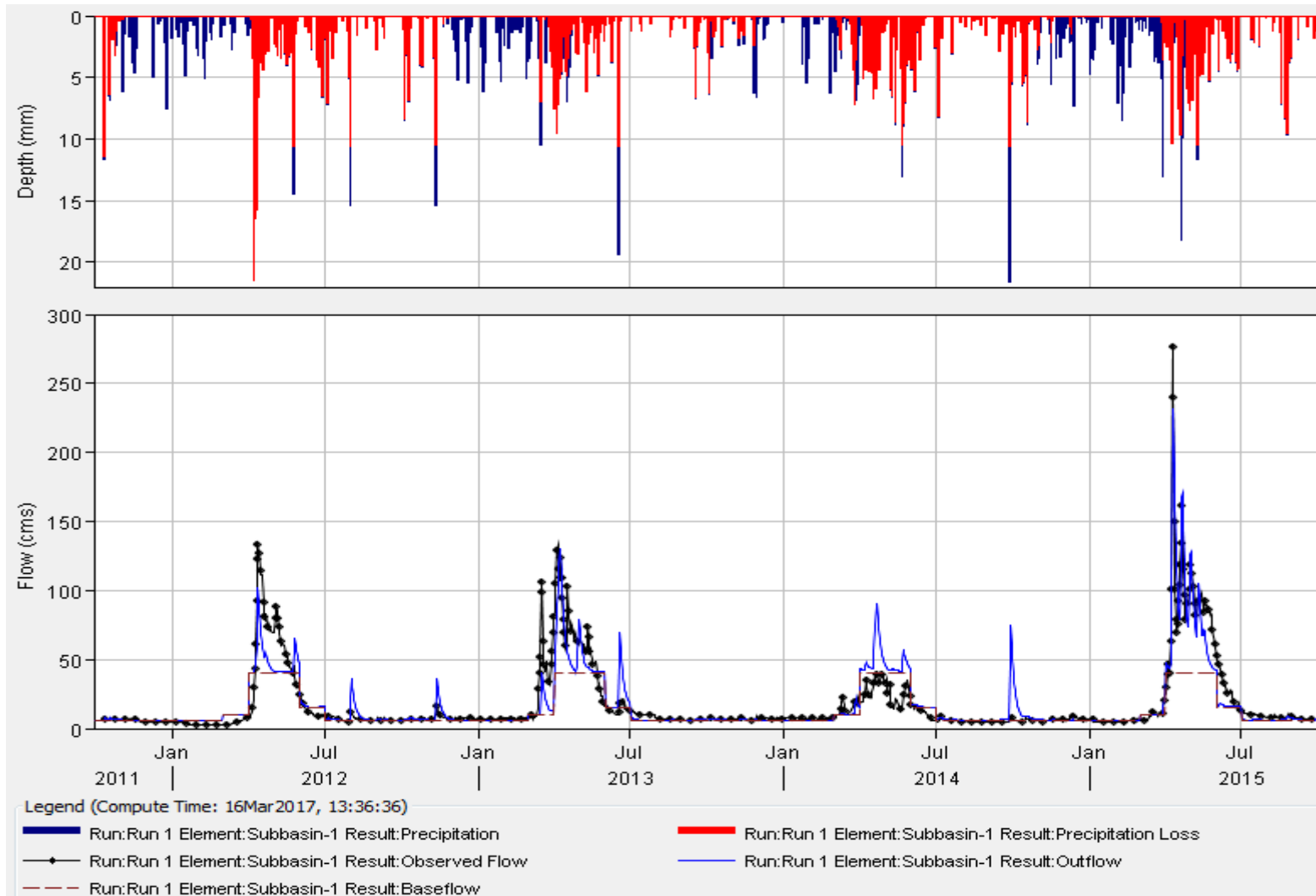


**Grafik 4.5.** 2008-2011 kalibrasyon hidrografi (Deficit)

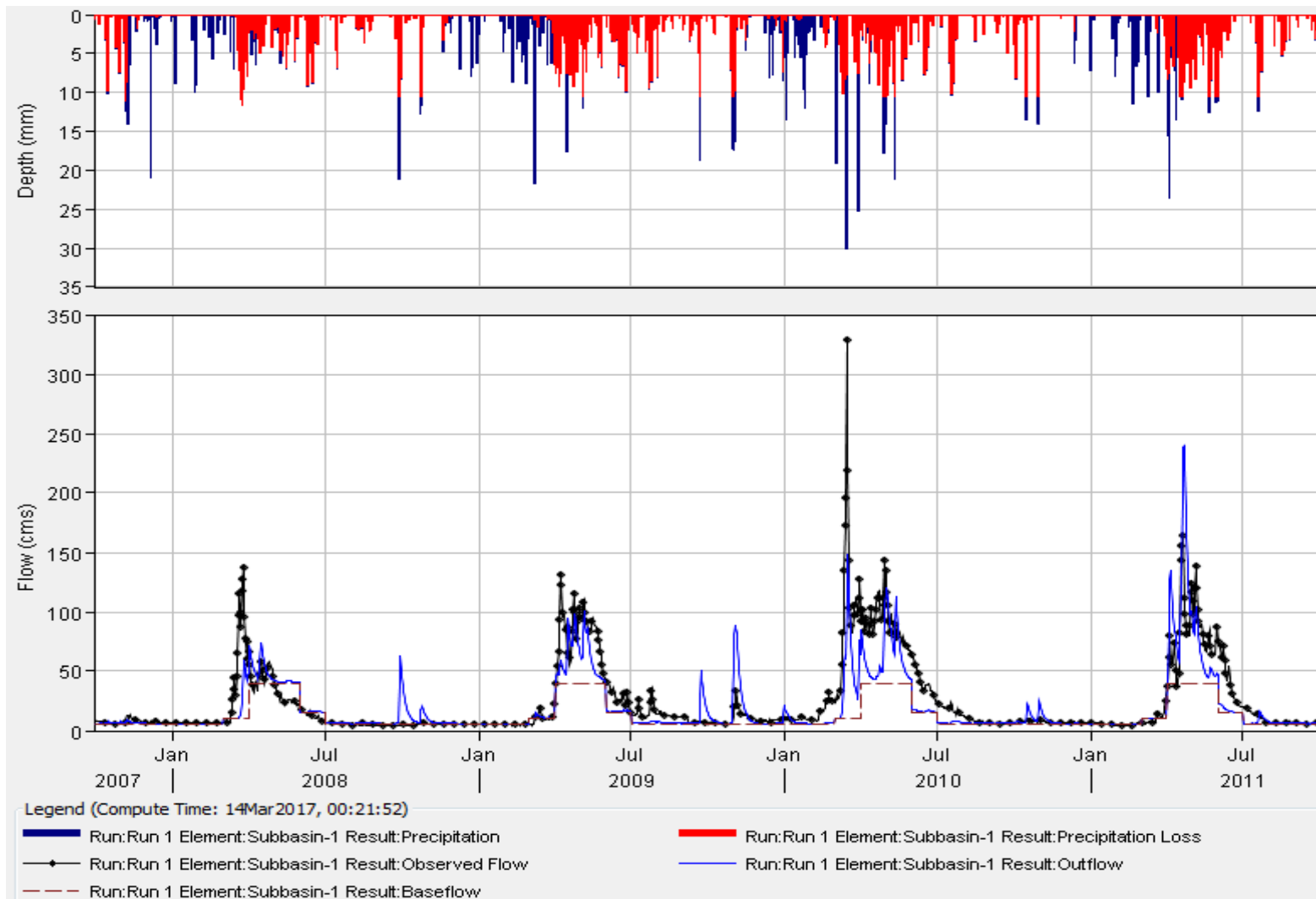




**Grafik 4.6.** 2012-2015 validasyon hidrografi (Deficit)



**Grafik 4.7.** 2012-2015 kalibrasyon hidrografi (Deficit)

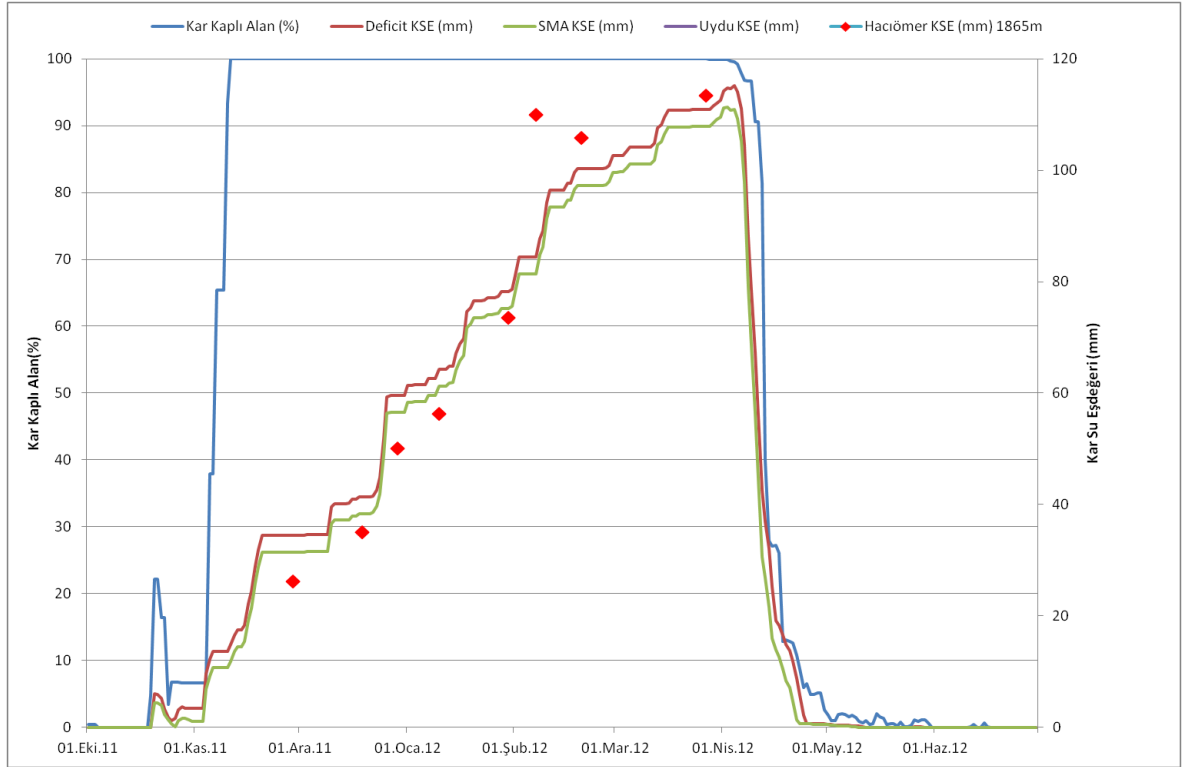


**Grafik 4.8.** 2008-2011 validasyon hidrografi (Deficit)

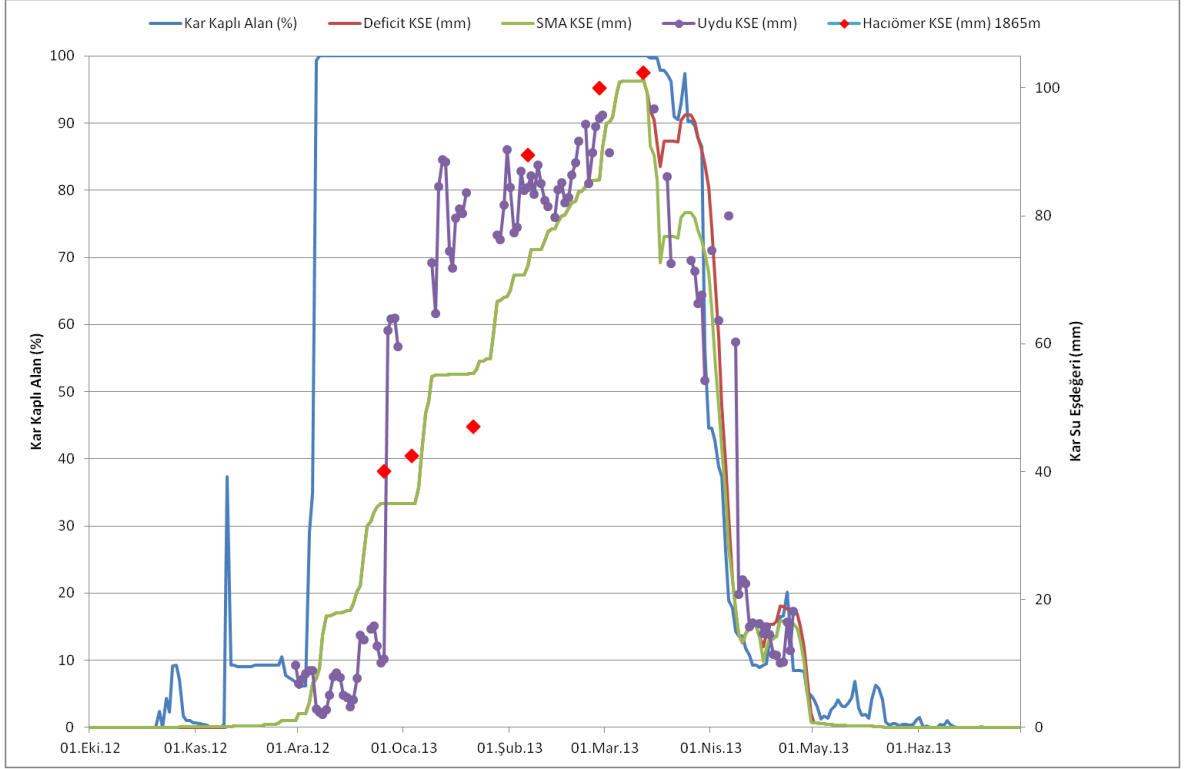
### 4.3. Kar Kaplı Alan - Kar Su Eşdeğeri

Kar ağırlıklı havzalarda yapılan kar erime modellemelerinde, KKA (kar kaplı alan) ve KSE (kar su eşdeğeri) gözardı edilmemesi gereken iki parametredir. KKA değerleri MODIS ve IMS görüntülerinden, KSE değerleri SSMI/S uydusundan ve yapılan kalibrasyon çalışmalarında HEC-HMS modelinden elde edilmiştir. KKA ve KSE değerleri farklı birimlerde olmasına rağmen eş zamanlı oldukları için birlikte değerlendirilebilir.

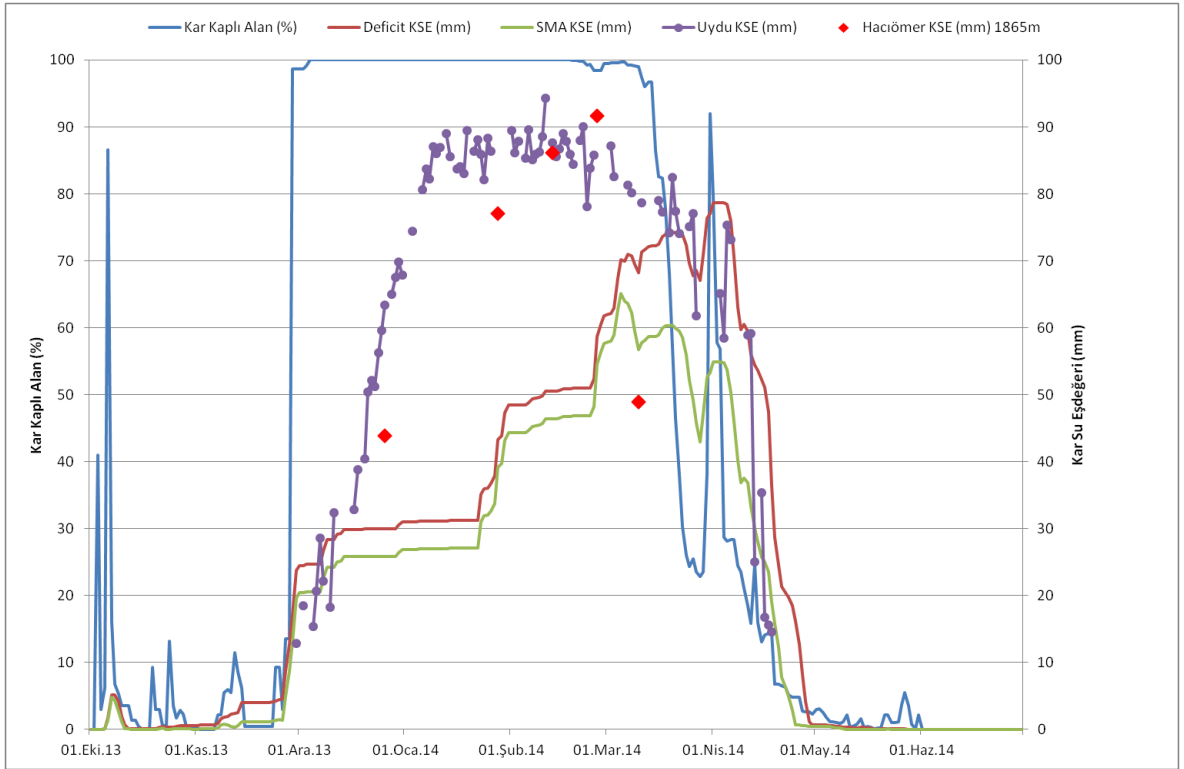
SMA ve Deficit olmak üzere iki farklı kayıp metoduyla yapılan kalibrasyon çalışmalarından havza geneli için iki farklı KSE serisi elde edilmiştir. SSMI/S uydusundan elde edilen KSE verileri sadece 2013, 2014 ve 2015 yıllarına aittir ve uydunun zaman zaman yaşadığı aksaklıklar sebebiyle sürekli değildir. 2012-2015 yıllarına ait KKA ve KSE verilerinden oluşturulmuş grafikler aşağıda görülmektedir. Bu grafiklere ayrıca Hacıömer yer istasyonunda ölçülen kar su eşdeğeri verileri de eklenmiştir.



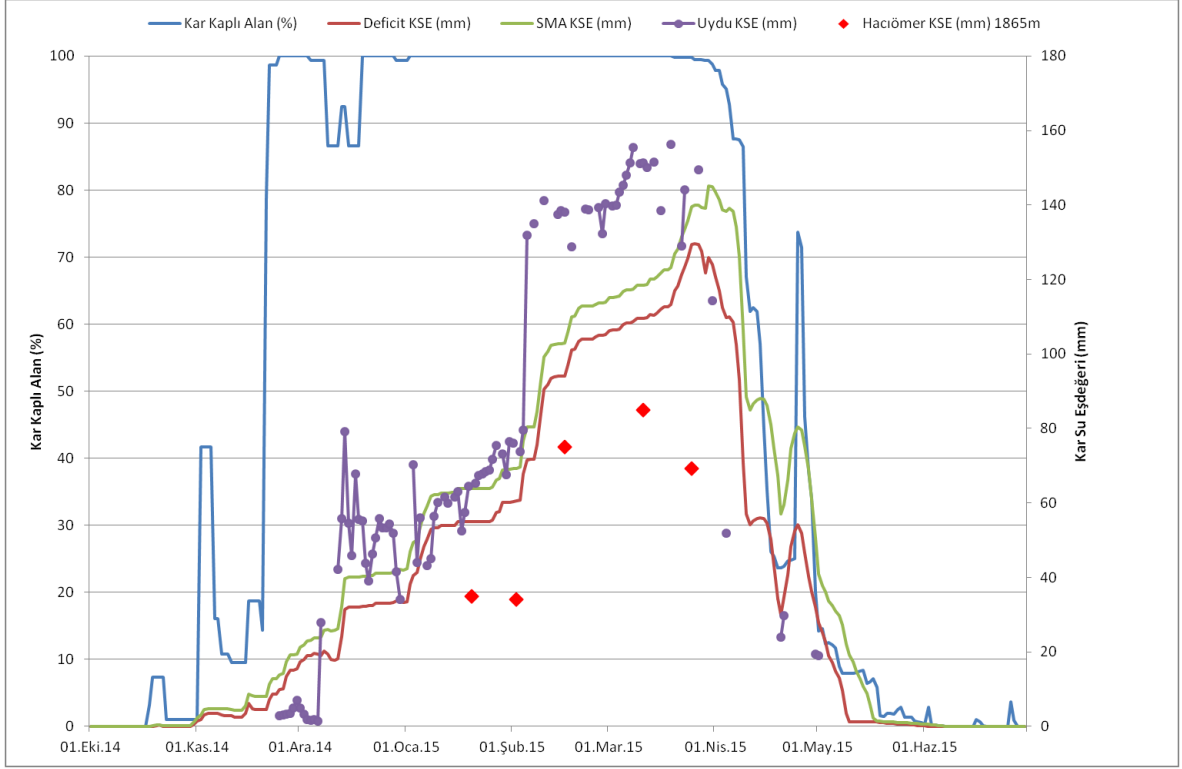
Grafik 4.9. 2012 su yılına ait KKA - KSE grafiği



**Grafik 4.10. 2013 su yılına ait KKA - KSE grafiği**

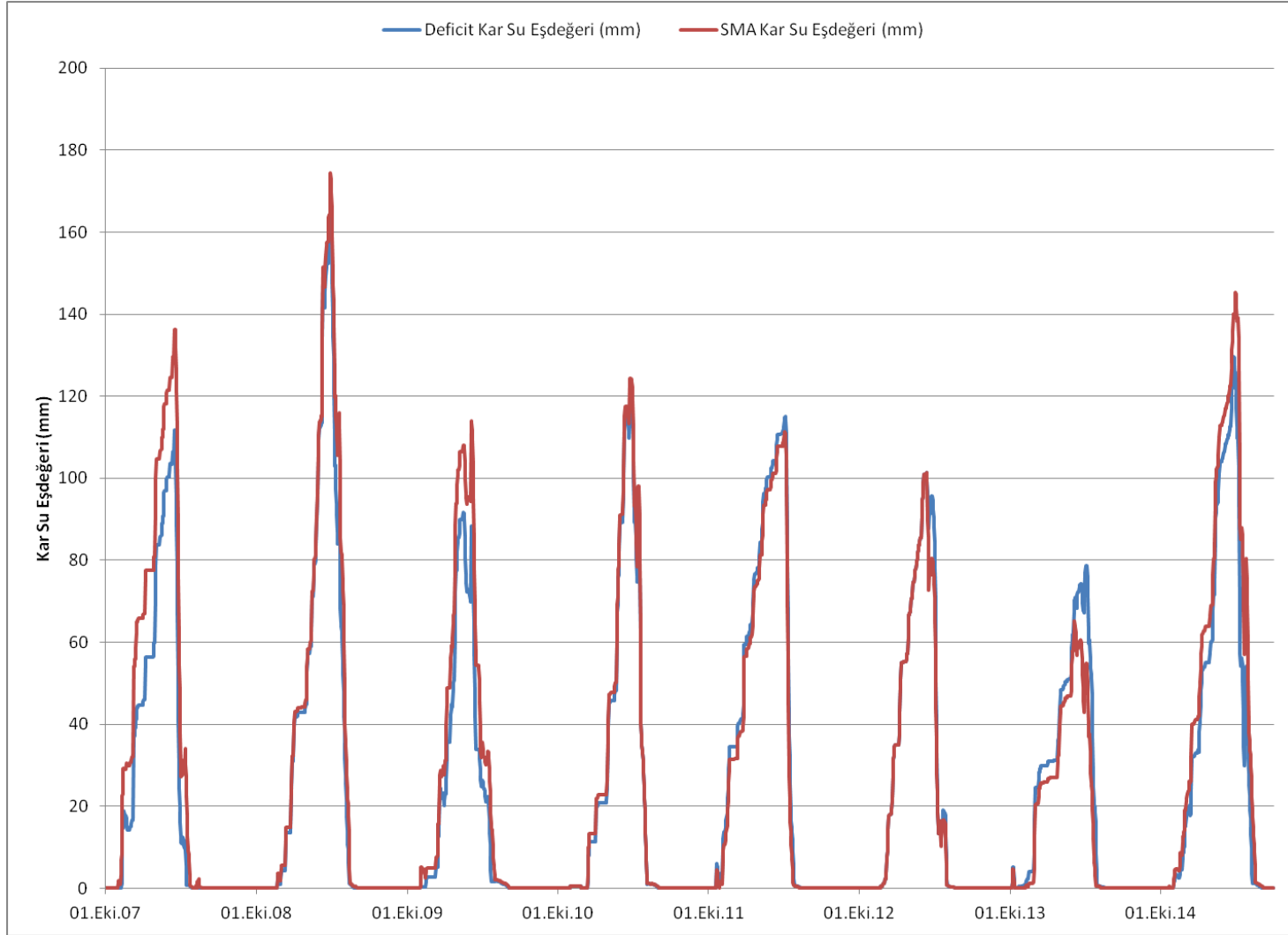


**Grafik 4.11. 2014 su yılına ait KKA - KSE grafiği**



**Grafik 4.12.** 2015 su yılına ait KKA - KSE grafiği

Grafikler incelendiğinde farklı kaynaklardan elde edilen KSE değerlerinin gösterdikleri hareketlerin birbirleriyle ve kar kaplı alanla benzediği açıkça görülmektedir. Kar kaplı alan grafiği, havza alanının ne kadarının karlı olduğunu gösterir ve havzanın her yerine kar düştükten sonra eriyene kadar 100'de sabit kalır. Bu kaynakların en az birinden elde edilecek grafikte en azından havzaya karın ne zaman yağmaya ve erimeye başlayacağı rahatça tahmin edilebilir. Özellikle 2012 yılında Hacıömer istasyonu verileriyle model verilerinin gösterdiği güzel uyum göze çarpmaktadır. 2008-2015 KSE değerleri Grafik 4.13'te verilmiştir.



**Grafik 4.13.** 2008-2015 KSE grafiği

Tutarlılık çalışmaları kalibrasyon ve validasyon yıl setleri üzerinde, KKA ve KSE'nin ikisinin de kar gösterdiği, ikisinin de göstermediği ve birinin gösterip diğerinin göstermediği olmak üzere dört kriterle yürütülmüştür.

**Tablo 4.10.** KKA - KSE tutarlılık analizi

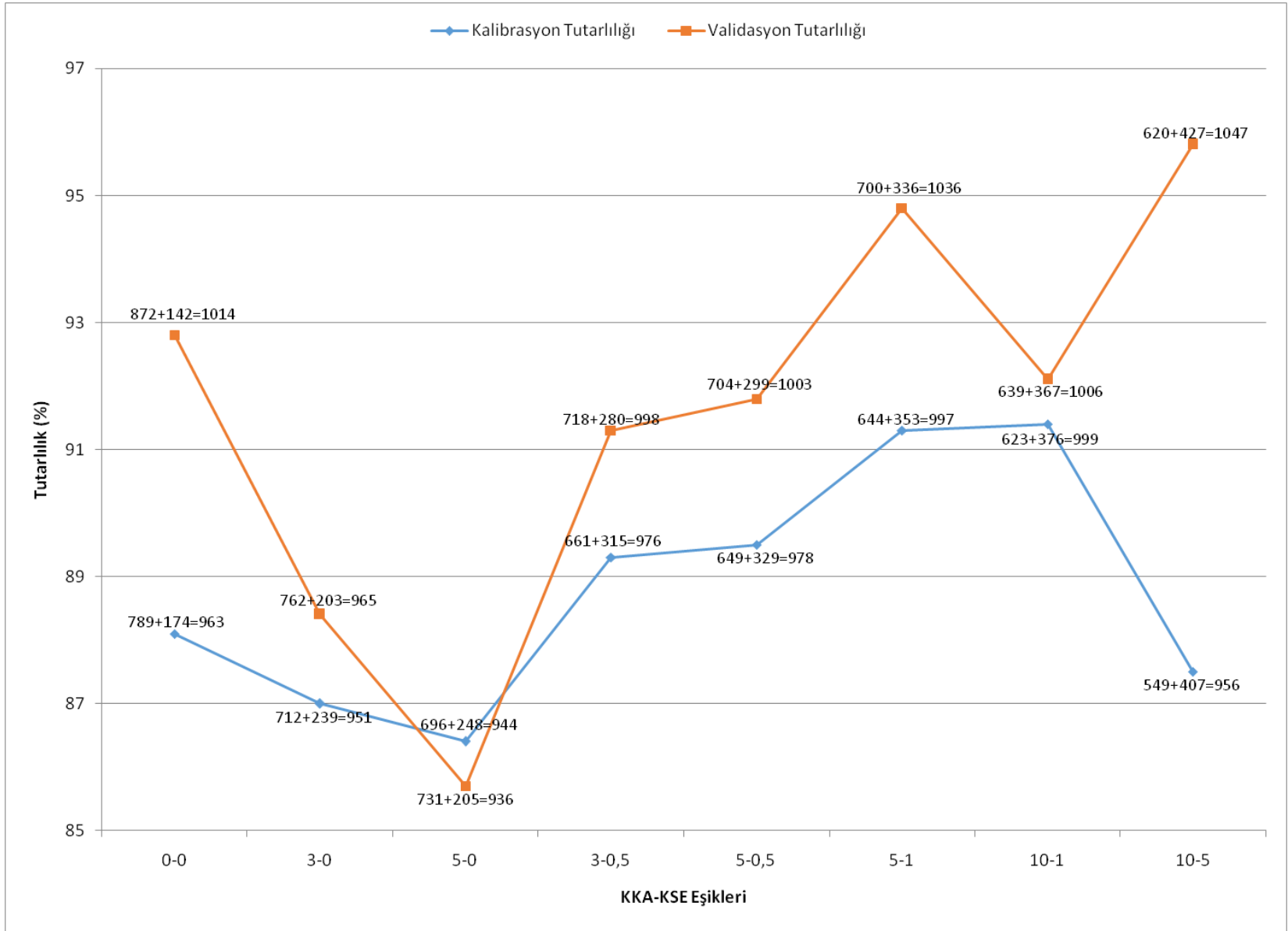
Kar Kaplı Alan (%)	Kar Su Eşdeğeri (mm)	Kalibrasyondaki gün sayısı	Kalibrasyondaki tutarlılık(%)	Validasyondaki gün sayısı	Validasyondaki tutarlılık (%)
>0	>0	789	72.2	872	79.8
0	0	174	15.9	142	13.0
>0	0	106	9.7	66	6.0
0	>0	24	2.2	13	1.2
<b>Toplam</b>		1093	100.0	1093	100.0

Bu karşılaştırmada, KKA %2'yken KSE'nin 0 mm göstermesi gibi yüzeysel hataları ve küçük uyumsuzlukları ortadan kaldırıp tutarlılık oranlarını artırmak için farklı eşik değerleri denenmiştir. Bu denemelerin sonucunda en verimli eşik değerleri KKA için %5, KSE için 1 mm olarak saptanmıştır. Bu eşik değerleri KKA için %5'in, KSE için 1 mm'nin altındaki tüm değerlerde havzada kar yok anlamına gelir.

**Tablo 4.11.** KKA - 5, KSE - 1 eşik değerleriyle tutarlılık analizi

Kar Kaplı Alan (%)	Kar Su Eşdeğeri (mm)	Kalibrasyondaki gün sayısı	Kalibrasyondaki tutarlılık(%)	Validasyondaki gün sayısı	Validasyondaki tutarlılık (%)
≥5	≥1	644	59.0	700	64.0
<5	<1	353	32.3	336	30.8
≥5	<1	84	7.7	34	3.1
<5	≥1	12	1.0	23	2.1
<b>Toplam</b>		1093	100.0	1093	100.0





**Grafik 4.14.** Tutarlılık analizinde denenen eşik değerlerin tutarlılık grafiği

Denenen bütün eşik değerleriyle elde edilen tutarlılık değerlerinden Grafik 4.11 oluşturulmuştur. Bu grafikteki her noktanın yanında yazılı olan sayılar, KKA ve KSE'nin birlikte kar var gösterdiği gün sayısı, kar yok gösterdiği gün sayısı ve onların toplamıdır.

Yapılan tutarlılık analizinde elde edilen değerler tutarlılık denklemlerine tabi tutularak model performansı göz önüne serilmiştir. Accuracy (AC) uyuşum seviyesidir, 0 - 100 aralığında değer alır ve 100 en iyi değerdir. Bias Score (BIAS) alabileceği en iyi değeri 100 olmak üzere gözlemdaki karlı gün sayısı ile modeldeki karlı gün sayısı arasındaki uyuşmadır. False alarm ratio (FAR) 0 - 100 aralığında, en iyi değeri 0 olan, gözlemda gerçekleşmeyen, model karlı gün oranıdır. Success ratio (SR) 0 - 100 aralığındadır, en iyi skoru 100'dür, modelin doğru çıkan karlı gün oranıdır.

$$AC = \frac{hits+correct\ negatives}{total} \quad (4.1)$$

$$BIAS = \frac{hits+false\ alarms}{hits + misses} \quad (4.2)$$

$$FAR = \frac{false\ alarms}{hits+false\ alarms} \quad (4.3)$$

$$SR = \frac{hits}{hits+false\ alarms} \quad (4.4)$$

**Tablo 4.12.** Gözlenen (KKA - 0) ve Model (KSE - 0) karlı - karsız gün sayıları

	Gün Sayısı		Gözlenen		
			Karlı	Karsız	Toplam
Kalibrasyon	Model	Karlı	789	24	813
		Karsız	106	174	280
		Toplam	895	198	1093
Validasyon	Model	Karlı	872	13	885
		Karsız	66	142	208
		Toplam	938	155	1093

**Tablo 4.13.** Model performans yüzdeleri (KKA - 0, KSE - 0)

	Kal.	Val.
AC	88.1	92.8
BIAS	90.8	94.3
FAR	3.0	1.5
SR	97.0	98.5

**Tablo 4.14.** Gözlenen (KKA - 5) ve Model (KSE - 1) karlı - karsız gün sayıları

	Gün Sayısı		Gözlenen		
			Karlı	Karsız	Toplam
Kalibrasyon	Model	Karlı	644	12	656
		Karsız	84	353	437
		Toplam	728	365	1093
Validasyon	Model	Karlı	700	23	723
		Karsız	34	336	370
		Toplam	734	359	1093

**Tablo 4.15.** Model performans yüzdeleri (KKA - 5, KSE - 1)

	Kal.	Val.
AC	91.2	94.8
BIAS	90.1	98.5
FAR	1.8	3.2
SR	98.2	96.8

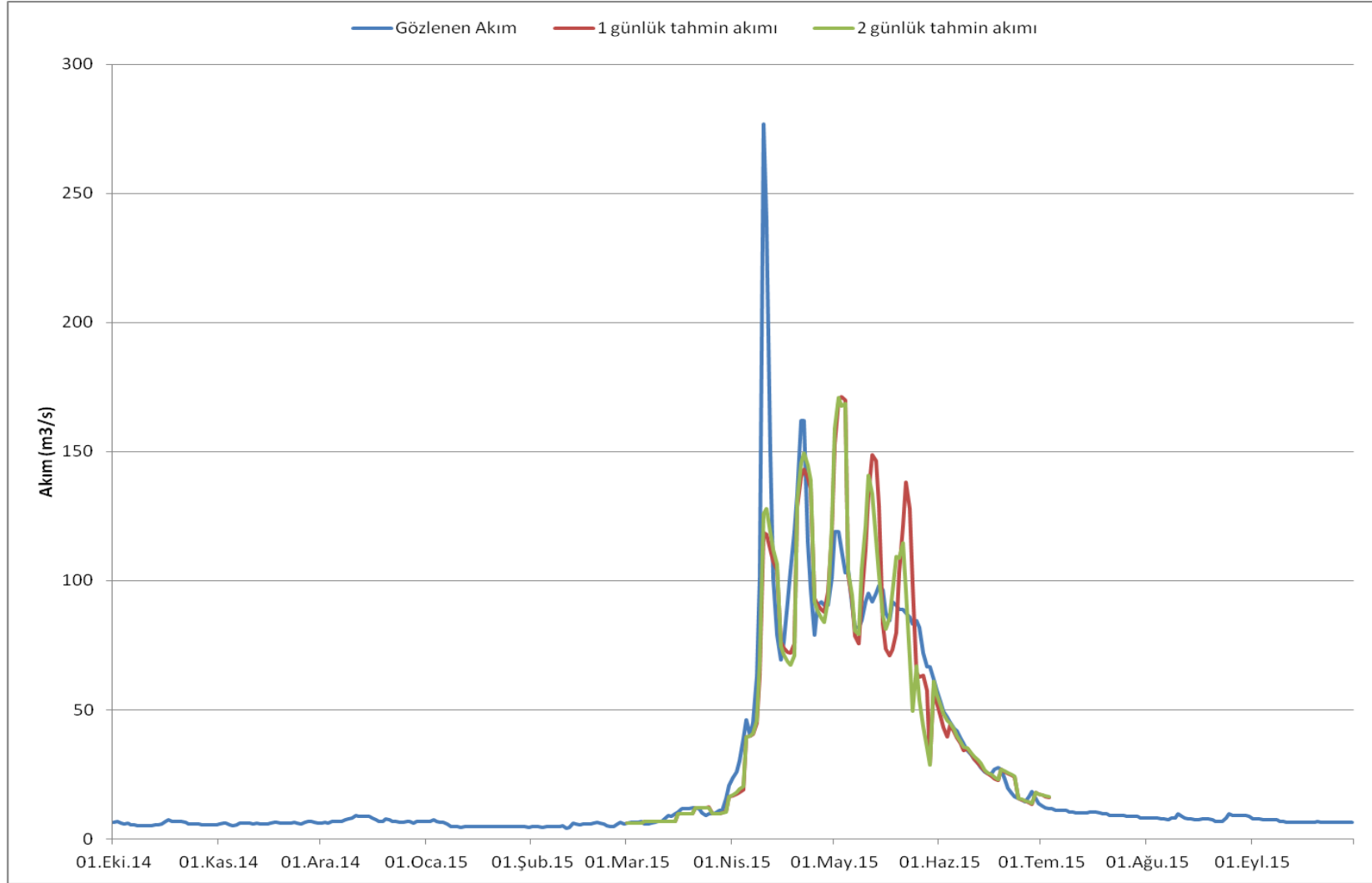
Denenen eşik değerlerinden en iyisinin KKA için %5 ve KSE için 1 mm olduğu Grafik 4.14'te açıkça anlaşılmaktadır. Hem kalibrasyon hem de validasyon için tutarlılık artışı gösteren tek ikilidir. Model performansını gösteren sonuçlar da bunu destekler niteliktedir. Ayrıca bölüm 4.2'de akıma göre yapılan verimlilik çalışmalarının dışında bu bölümde kara göre yapılan çalışmaların da başarılı olması modelin güvenilirliğinin bir kanıtıdır.

#### 4.4. Akım Tahmini

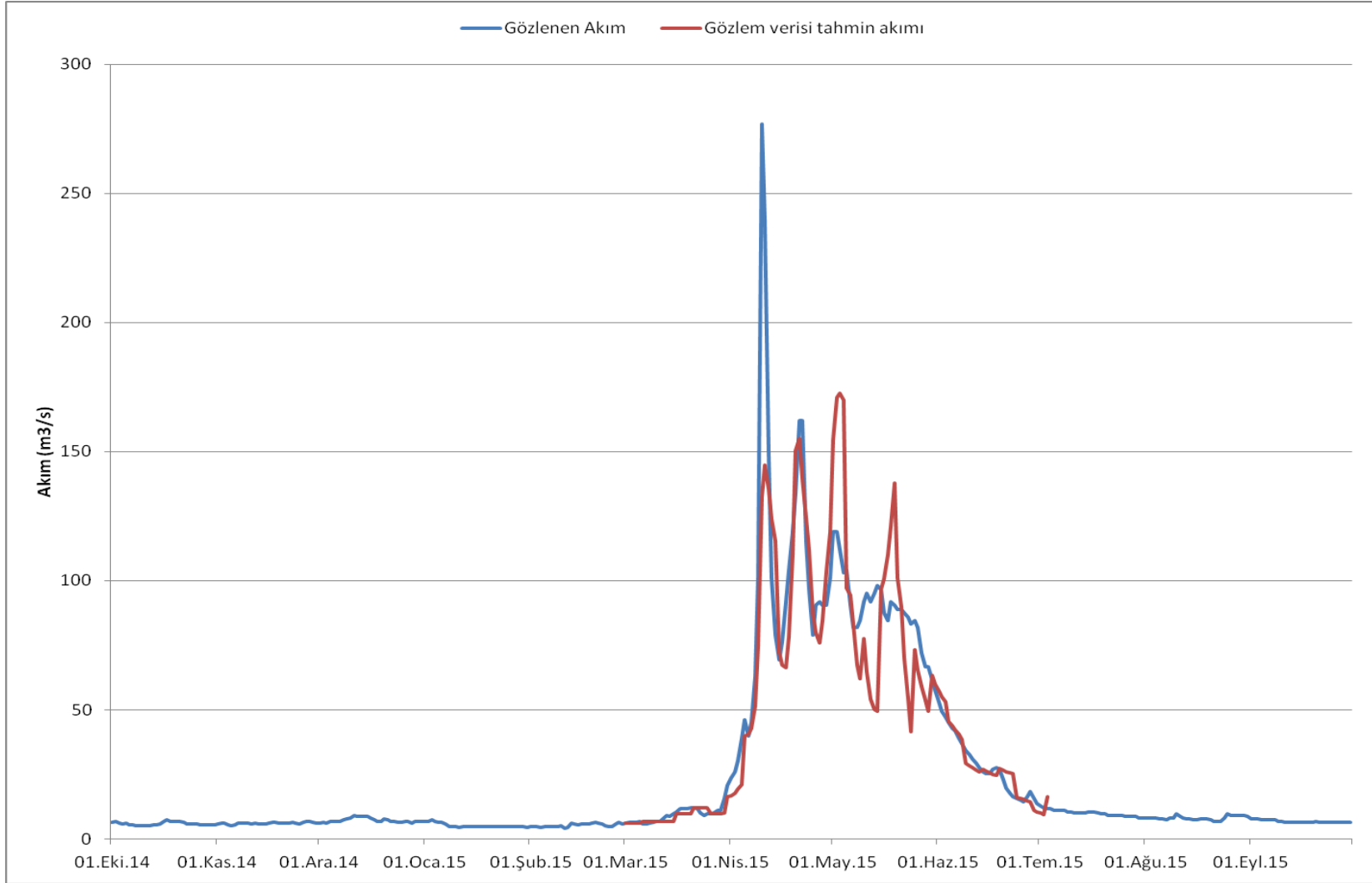
Akım tahmini çalışması HEC-HMS programının tahmin modülü vasıtasıyla yapılmıştır. Elimizdeki en uzun ve sağlıklı WRF verileri 2015 yılına ait olduğu için akım tahmini bu yıl üzerinde yapılmıştır. Tahmin periyodu olarak, Kayabaşı Havzası'nın kar erime dönemi olduğu için en yüksek akım değerlerinin görüldüğü Mart - Haziran tarih aralığı belirlenmiştir. Gerçek akım değerlerinden sapmamak için modüle 5 günlük tahminler yaptırılmış ve her 5 günde bir akım değerleri gözlenen değerlerle güncellenmiştir.

Akım tahmini çalışması, 1 ve 2 günlük WRF tahmin verileri ve gözlem verileri ile üç sefer yürütülmüştür. Elde edilen akım tahmin değerleriyle oluşturulan akım - zaman grafikleriyle 2015 su yılı hidrografi Grafik 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Çalışmanın başarı oranını temsil etmesi adına manüel olarak NSE hesabı yapılmıştır. Buna göre 1 ve 2 günlük meteorolojik tahmin verileriyle ve gözlem verileriyle yürütülen akım tahminlerinin başarı değerleri sırasıyla 0.704, 0.749 ve 0.773'tür.

Gözlem verilerinin akım değerleri piklerde yüksek kalıp gözlenene daha yakın olduğu için daha yüksek NSE sonucunu vermiştir. Fakat burada asıl farkedilmesi gereken, 1 veya 2 günlük tahmin verileriyle neredeyse gözlem verisi kadar başarılı akım tahmini yapılabilmesidir. Buna göre havza içinde ya da mansabında yapılabilecek bir baraj işletmesi veya taşkın hesabı için bu sonuçlardan faydalanılabileceği gibi böyle bir model kullanılabilir.



**Grafik 4.15.** WRF verileriyle yapılan akım tahmini ile gözlenen akımın hidrografi (2015)



**Grafik 4.16.** Gözlem verisiyle yapılan akım tahmini ile gözlenen akımın hidrografi (2015)

## 5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Kayabaşı Havzası üzerindeki en yüksek nokta 3000 metrenin üzerindedir. Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nin karakteristik özelliklerini taşıyan bu yer 2218 metre ortalama yükseltili, dağlık ve kar ağırlıklı bir alandır. Havzanın 2764 km<sup>2</sup>'lik toplam alanının yalnızca %29,7'si düz ya da az eğimlidir. Kar erimesi bu tip havzaların hidrolojik dengesinde çok önemli bir elemandır. Havzanın coğrafik özellikleri kar erimesini değerli kıldığı gibi, kar örtüsünün görüntülenmesini ve verilere ulaşılabilirliği de bir o kadar zorlaştırmaktadır.

Havzada yapılan inceleme ve çalışmalar 2008'den 2015'e kadar olan sekiz yıl üzerinde yapılmıştır. Yıllar hidrolojik çalışmalarda alışıldığı üzere su yılı olarak ele alınmıştır; dolayısıyla bir su yılı, önceki yılın 1 Ekim'inde başlayıp su yılının 30 Eylül'ünde biter. Bu yılların verilerine göre havzaya bir yılda düşen ortalama toplam yağış 445,7 mm'dir. Havzanın en çok yağış aldığı ve en yüksek akım değerlerinin okunduğu aylar ilkbahar aylarıdır. Ayrıca kışın yağın kar da bu aylarda eriyip akıma katılır. Sekiz su yılı içinde yapılan değerlendirmeye göre 2010 yılı en ıslak ve sıcak, 2012 yılı en kuru ve soğuk yıldır.

Sürekli hidrolojik modellemeler hem ıslak hem de kuru dönemleri hesaba kattığı için olay bazlı modellemelere nazaran havza üzerinde daha kapsamlı bir bilgiye ulaşılmasına olanak sağlar. Bu çalışmadaki sürekli modellerde HEC-HMS'te yer alan kayıp metotları olarak "Soil Moisture Accounting" (SMA) ve "Deficit and Constant" (DC) metotları denenmiştir. SMA birçok parametre isteyen, sürekli modelleme için çok uygun bir metottur. DC ise fazla parametre istemez ve basittir. SMA metodu suyun havza üzerindeki hareketini DC metodundan daha detaylı ele alır. 8 yıldan oluşan modelleme periyodu 2008-2011 kalibrasyon ve 2012-2015 validasyon bölümleri olarak ikiye ayrılmıştır. SMA metoduyla yapılan çalışmada elde edilen Nash Sutcliffe verimlilik değerleri kalibrasyon için 0,735, validasyon için 0,613'dir. DC kullanılarak yapılan çalışmada kalibrasyon değeri 0,629, validasyon değeri 0,672'dir.

Yüzde kar kaplı alan değerlerini elde etmek için MODIS ve IMS uydu görüntülerinden faydalanılmıştır. MODIS uydusu bulutlardan olumsuz etkilenirken IMS birkaç uydudan harmanlanmış görüntüler sunduğu için çok daha az etkilenir. Bunun için çalışma yeri küçükse MODIS, büyükse ve çoğu zaman üzerinde bulut oluyorsa IMS görüntüleri kullanılmalıdır. Ya da bu çalışmada olduğu gibi havzaya kar yağmaya

başladığı ve biriktiği kısımlarda havza bulutlu olacağı için IMS, karın eridiği kısımda ise MODIS görüntüleri dikkate alınabilir.

Kalibrasyon çalışmaları sonucunda HEC-HMS modelinden, Kayabaşı Havzası geneli adına günlük ortalama KSE değerleri elde edilmiştir. KSE değerleri KKA değerleri ile aynı birimde olmamasına rağmen aynı havza üzerinde eş zamanlı oldukları için karşılaştırılarak bir tutarlılık analizi yürütülebilmektedir. Bu analizi en verimli haline getirmek ve küçük sayılardaki uyumsuzluğu ortadan kaldırmak için 0 yerine KKA'da %5, KSE'de 1 mm eşik değeri olarak alınmıştır. Sonuçlar doğruluk oranını (AC) kalibrasyonda %91,2 ve validasyonda %94,8 olarak göstermektedir.

1 ve 2 günlük WRF tahmin verileriyle 2015 su yılı üzerinde yapılan akım tahminlerinden çıkarılan Grafik 4.9'a göre Nisan'da akımın yükselmeye başlaması ile Haziran'daki düşüşü uyum göstermektedir. Gözlenen akım hidrografi pik yaptığında tahmin akım değerleri de kendi tepe noktalarını oluşturmuş fakat gözlenen maksimum akım değerinin epey altında kalmıştır. Ayrıca gözlenen akımda görülmediği halde Mayıs ayında iki atım ve bir düşüş yaptığı görülmektedir. 1 ve 2 günlük WRF tahmin verileriyle yapılan akım tahminleri için hesaplanan NSE değerleri sırasıyla 0.704 ve 0.749'dur. Buna bakılarak 2 günlük tahmin verileriyle yapılan akım tahmininin, 1 günlük verilerle yapıldığına nazaran daha tutarlı olduğu söylenebilir. Bu durum pik değerlerindeki farklardan kaynaklanmaktadır.

Modele gözlem verileriyle akım tahmini yaptırıldığında yine akımın başlangıç yükselmesi ve son düşüşünün uyum gösterdiği görülür (Grafik 4.10). Mayıs ayındaki hareketler dışında üç akım tahmini de birbirine benzer niteliktedir. Diğerlerinden farklı olarak gözlem verileriyle yapılan akım tahmini bu ayda bir atım ve iki düşüş göstermiştir. 0.773'lük NSE değeriyle en başarılı akım tahmini uygulamasıdır. Ayrıca gözlem akım çizgisinin artan ve azalan hareketlerinde tahmin akım çizgisinden uzaklaşmasına bakılarak, eğer tahmin modülü 5 günlük çalıştırılıp 5 günde bir veri güncellemesi olmasa ya da bu aralık uzatılsa, akım çizgileri arasındaki mesafenin daha fazla olacağı veya önüne geçilemez bir hal alacağı öngörülebilir. Ayrıca veri güncellemesinin 5 günden daha sık yapıldığı bir durumda başarı oranının artacağı da söylenebilir. Akım tahmin modülünün gözlem verisiyle çalıştırılmasının sonucunda bile en yüksek gözlenen akım değerinin çok altında kalınması, istasyonların yetersizliği olarak yorumlanabilir.



Model, akımın yanı sıra kar modülüyle de sınındığı için başarılı bir hidrolojik modelleme çalışması yürütüldüğü söylenebilir. Gelecekte aynı havza üzerinde yapılacak bir hidrolojik modelleme çalışmasında tam dağılımlı (gridded) bir metot kullanılarak başarı oranları kıyaslanabilir.

Akım tahmini çalışması daha uzun süreli (15 gün kadar) bir tahmin verisiyle olasılıklı tahmin (Ensemble Prediction System) olarak denenebilir. Ayrıca akım gözlemi olmayan havzalarda kar ve/veya toprak nemi (uydu ya da yer ölçümü) verileri gözetilerek hidrolojik modelleme gerçekleştirilebilir.

## KAYNAKÇA

- [1] <https://tr.wikipedia.org/wiki/Aras>
- [2] Yardimciel, Ayhan. (2015). "Orta ve Son Tunç Çağı'nda Orta Aras Havzası", Kafkas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Kars, s. 23-27.
- [3] Tuysuz, C., Deniz, A., Yardimciel, A. (2015). "Ortaçağ'dan Cumhuriyet'e Siyasi ve İktisadi Gelişmelerle Kars'ta Sivil Mimari", Eser Ofset Basım Dağıtım, Erzurum, s.18.
- [4] <https://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>
- [5] <http://www.wrf-model.org>
- [6] Barnes, W.L., Pagano, T.S. & Salomonson, V.V. (1998). "Prelaunch characteristics on the moderate resolution imaging spectroradiometer on EOS-AMI", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36, 1088-1100.
- [7] Hall, D.K. & Riggs, G.A. (2007). "Accuracy Assessment of the MODIS snow products", Hydrological Processes, 21, 1534-1547.
- [8] Çoşkun, C. (2016). "Comparative Analysis of Various Satellite Products Through Hydrological Modeling", Master of Science Thesis, Anadolu University Department of Civil Engineering.
- [9] Şorman, A. A. & Şorman Ş. A. (2011). "Yukarı Fırat Havzası'nda arazi ölçümleri, uydu teknolojileri, hava tahmin verileri ve hidrolojik modeller kullanılarak kar potansiyelinin dönemsel ve akımların günlük tahmini", Proje No:108Y161, Aralık 2011, Eskişehir.
- [10] Sommer, W. & Fiel, R. (2009). "Snow Pack Analyser for snow water equivalent and liquid water content", Sommer Mess-Systemtechnik, Strassenhaeuser 27, A-6842 Koblach, Austria.
- [11] Mulvaney, T.J. (1850). "On the use of self-registering rain and flood gauges", Trans. Inst. Civ. Eng. Ireland, 4(2), 1-8.
- [12] Sherman, L.K. (1932). "Streamflow from rainfall by the unit-graph method", Engineering News Record, 108, 501-505.
- [13] Chow, V.T., Maidment, D.R. & Mays, L.W. (1988). "Applied Hydrology", McGraw-Hill Book Company.
- [14] Scharffenberg, W. & Pak, J.H. (2009). "History of The HEC-Hydrologic Modeling System", Water for Future, Vol 42, No 11.

- [15] Yener, M.K. (2006). "Semi-distributed hydrologic modeling studies in Yuvacık basin", Master of Science Thesis, Ankara:Middle East Technical University.
- [16] Chu, X. & Steinman, A. (2009). "Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS", *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 0733-9437, 1-119.
- [17] Şensoy, A., Tekeli, A.E., Şorman, A.A. & Şorman, A.Ü. (2003). "Simulation of event based snowmelt runoff hydrographs based on snow depletion curves and the degree-day method", Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- [18] Fleming, M. & Neary, V. (2004). "Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System", *Journal of Hydrologic Engineering*,9(3), 175-183.
- [19] Yener, M.K., Şensoy, A., Şorman, A.A. & Şorman, A.Ü. (2006). "HEC-HMS model application in Yuvacık Dam reservoir, Turkey", *Hydrology in Mountain Regions: Observations, Processes and Dynamics*, IAHS Publ. 326, 2009.
- [20] Yılmaz, A., Imteaz, M., Ogwuda, O. (2012). "Accuracy of HEC-HMS and LBRM models in simulating snow runoffs in Upper Euphrates Basin", *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 342-347.
- [21] Gyawali, R. & Watkins, D.W. (2013). "Continuous Hydrologic Modeling of Snow Affected Watersheds in the Great Lakes Basin Using HEC-HMS", *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(1), 29-39.
- [22] De Silva M.M.G.T., Weerakoon, S.B. & Herath, S. (2014). "Modeling of Event and Continuous Flow Hydrographs with HEC-HMS: Case Study in the Kelani River Basin, Sri Lanka", *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(4), 800-806.
- [23] Kikine, D.B. (2017). "Hydrological Modeling and Forecasting Using HEC-HMS Soil Moisture Accounting for a Snow Dominated Basin in Turkey", Master of Science Thesis, Eskişehir, 2017.
- [24] Scharffenberg, B. (2008). "Introduction to HEC-HMS. Watershed Modeling with HEC-HMS", California Water and Engineering Forum, Sacramento, CA.
- [25] Clark, C.O. (1945). "Storage and the unit hydrograph: Transactions", ASCE, 110, 1419-1488.
- [26] <https://www.lmnoeng.com/Hydrology/TimeConc.php>

- [27] Singh, V.P. (1988). "Hydrologic Systems - Rainfall-Runoff Modeling", Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- [28] HEC-HMS User's Manual, Version 4.1, July 2015, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.