



T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVZA JEOMORFOLOJİSİ VE YAĞIŞ-AKIŞ
SÜREÇLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA
YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ

KÜBRA ÖZDEMİR

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KAHRAMANMARAŞ 2022

T.C.
KAHRAMANMARAŞ SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HAVZA JEOMORFOLOJİSİ VE YAĞIŞ-AKIŞ
SÜREÇLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA
YÖNTEMLERİ İLE BELİRLENMESİ

KÜBRA ÖZDEMİR

Bu tez,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS
derecesi için hazırlanmıştır.

KAHRAMANMARAŞ 2022

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada, alıntı yapılan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Kübra ÖZDEMİR



Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

HAVZA JEOMORFOLOJİSİ VE YAĞIŞ-AKIŞ SÜREÇLERİNİN UZAKTAN ALGILAMA YÖNTEMLERİYLE BELİRLENMESİ (YÜKSEK LİSANS TEZİ)

KÜBRA ÖZDEMİR

ÖZET

Endüstri sektörünün gelişmesi, artan dünya nüfusu, küresel ısınma ve buna bağlı olarak iklimsel değişimler su kaynaklarının miktarını, kalitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Suyun canlı hayatı için vazgeçilmez bir unsur olması su kaynaklarının yönetimini ve planlanmasını gerekli kılmaktadır. Bu amaç doğrultusunda hidrolojik modeller kullanılarak yağış-akış ilişkisi belirlenebilmekte, taşkın ve kuraklık analizi yapılabilmektedir. Bu tez çalışmasında, Gaziantep ve Kilis illeri arasında yer alan Afrin Köprüsü Havzasında uzaktan algılama yöntemleri kullanılarak akarsu morfolojisi ve yağış-akış ilişkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Havza jeomorfolojisini belirlemek amacıyla Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı Arc-GIS ve HEC-GeoHMS yazılımları kombineli olarak kullanılmıştır. Ayrıca, toprak ve Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü (AKAÖ) haritaları sırasıyla 250-m ve 100-m mekânsal çözünürlüklü ORNL-DAAC ve CORINE veri kaynaklarından yararlanarak elde edilmiştir. Yağış-akış simülasyonları ise 2012 ve 2013 su yıllarına ait hidrometeorolojik veriler kullanılarak HEC-HMS ile belirlenmiştir. Havza ve civarındaki yağış istasyonlarının uniform dağılmamasından dolayı Thiessen yöntemi kullanılarak yağış verileri elde edilmiştir. Akım hacminin belirlenmesi için ABD Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası (SCS-CN) yöntemi kullanılmıştır. Günlük verilerle 2012 su yılı için on bir farklı amaç fonksiyonu ile kalibre edilen model parametreleri, 2013 su yılı için doğrulanmıştır. Ortalama mutlak hata, ortalama bağıl hata, ortalama karekök hata, Pearson korelasyon katsayısı olmak üzere dört farklı istatistiksel kriter kullanılarak modelin genel performansı değerlendirilmiştir. Hidrografın dalgalanması, tepe akış değerleri ve pik debi zamanlamaları simülasyonlarla tahmin edildiği gözlemlenmiştir. Genel olarak oluşturulan modelin, kalibrasyon ve doğrulama dönemlerinde gözlemlenen veriler ile uyumlu olduğu sonucuna varılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Afrin Köprüsü Havzasında planlama ve yönetim çalışmalarına yarar sağlayabileceği düşünülmektedir. CBS teknolojilerinin kullanılmasıyla akım verisi olmayan havzalarda modelin uygulanabilirliği denenebilir.

Anahtar Kelimeler: HEC-HMS, HEC-GeoHMS, SCS-CN, Yağış-Akış Modellemesi
Uzaktan Algılama

Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ağustos / 2022

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Muhammet Ömer DİŞ

Sayfa sayısı: 106

**DETERMINATION OF BASIN GEOMORPHOLOGY AND RAINFALL-RUNOFF
PROCESSES BY REMOTE SENSING METHODS
(MASTER'S THESIS)**

KUBRA OZDEMIR

ABSTRACT

The development of the industrial sector, the increasing world population, global warming, and climatic changes affect the quantity and quality of water resources negatively. The fact that water is an indispensable element for living life makes it necessary to manage and plan water resources. For this purpose, rainfall-runoff relationship can be determined, flood and drought analysis can be performed by using hydrological models. In this thesis, it is aimed to determine the stream morphology and rainfall-runoff relationship using remote sensing methods in the Afrin Bridge Basin, located between Gaziantep and Kilis provinces. In order to determine the basin geomorphology, Geographic Information Systems (GIS) based Arc-GIS and HEC-GeoHMS software were used in holistic sense. In addition, soil and Land Use/Land Cover (LULC) maps were obtained using ORNL-DAAC and CORINE data sources with 250-m and 100-m spatial resolution, respectively. Rainfall-runoff simulations were determined by HEC-HMS using hydrometeorological data of 2012 and 2013 water years. Due to the non-uniform distribution of precipitation stations in and around the basin, this data sets were obtained using the Thiessen method. The US Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) method was used to determine the streamflow volume. The model parameters calibrated using eleven different objective functions for 2012 water year with daily data sets, and verified for 2013 water year. The overall performance of the model was evaluated using four different statistical criteria: mean absolute error, mean relative error, root mean square error, and Pearson correlation coefficient. It has been observed that the fluctuation of the hydrograph, peak flow values and timings are estimated by simulations. In general, it was concluded that the model was compatible with the observed data during the calibration and validation periods. The results obtained may benefit the planning and management studies in the Afrin Bridge Basin. By using GIS technologies, the applicability of the model can be tested over ungauged basins.

Keywords: HEC-HMS, HEC-GeoHMS, SCS-CN, Rainfall-Runoff Modeling, Remote Sensing

Kahramanmaras Sutcu Imam University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering, August / 2022

Major Advisor: Assistant Professor Muhammet Omer DIS

Page number: 106

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans eğitimimin her aşamasında önerileriyle, bilgi ve birikimleriyle bana yol gösteren, kendisiyle çalışmaktan onur duyduğum, değerli danışman hocam sayın Dr. Öğretim Üyesi Muhammet Ömer DİŞ' e, sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım. Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve birikimlerini bana aktaran KSÜ İnşaat Mühendisliği Bölümündeki tüm hocalarıma saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Başta merhum babam Ökkeş Özdemir olmak üzere beni bu günlere getiren, yetiştiren, maddi manevi desteklerini hiçbir zaman benden esirgemeyen, hayatımın her anında yanımda olan Aileme; sonsuz sabır ve anlayışları için dostlarıma teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	3
3. METODOLOJİ.....	10
3.1 Çalışma Alanı	11
3.2 SCS-CN Metodu.....	14
3.2.1 Eğri Numarasını Etkileyen Faktörler.....	16
3.3 HEC-HMS	21
3.4 Meteorolojik Veri Setleri.....	24
3.4.1 Yağış.....	24
3.4.2 Evapotranspirasyon	27
3.5 Performans Değerlendirme İndisleri	29
3.5.1 Ortalama Mutlak Hata (MAE: Mean Absolute Error).....	29
3.5.2 Ortalama Bağlı Hata (MRE: Mean Relative Error).....	30
3.5.3 Ortalama Karekök Hata (RMSD: Root Mean Square Deviation)	30
3.5.4 Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC: Pearson Correlation Coefficient)	30
4. HAVZA JEOMORFOLOJİSİNİN BELİRLENMESİ	32
4.1 Havza Sınırının ve Eğri Numarasının Elde Edilmesi	32
4.1.1 Havza Sınırının Belirlenmesi	32
4.1.2 Eğri Numaralarının Elde Edilmesi	37
4.2 Havza Jeomorfolojisinin Belirlenmesi	45

	Sayfa No
4.2.1 Sayısal Yükseklik Haritasının Elde Edilmesi.....	45
4.2.2 SYM Boşlukların Doldurulması.....	47
4.2.3 Akış Yönünün Belirlenmesi	47
4.2.4 Akış Toplamının Bulunması.....	47
4.2.5 Akış Bölümleme ve Alt Havzaların Oluşturulması.....	50
4.2.6 Alt Havzalar Poligon Oluşturma ve Drenaj Hattı Belirleme.....	50
4.2.7 Havzanın Eğimi	55
5. HİDROMETEOROLOJİK MODELLEME	57
5.1 HEC-GeoHMS’ de Proje Oluşturma	57
5.2 Havza İşleme	57
5.3 Hidrolojik Parametreler	60
5.3.1 Sızma (Kayıp) Yöntemi.....	60
5.3.2 Yüzeysel Akım (Dönüşüm) Yöntemi	62
5.3.3 Taşkın Öteleme.....	63
5.4 HMS Dosyası Oluşturma.....	64
5.5 Kalibrasyon ve Doğrulama.....	65
6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR.....	68
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR.....	81
ÖZGEÇMİŞ.....	90

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 3.1 Metodolojide kullanılan akış şeması	10
Şekil 3.2 Çalışma alanının konumu	12
Şekil 3.3 Afrin Köprüsü Havzası ve Akım Gözlem İstasyonu.....	13
Şekil 3.4 Yukarı Afrin Barajı (Keçik, 2021)	14
Şekil 3.5 Yağış-akış bağıntısı eğrisi (TR -55, 1986)	16
Şekil 3.6 Süzülme-tutulma ve yağış fazlası ilişkileri (Chow ve ark.,1988)	21
Şekil 3.7 HEC-HMS’ nin kullanıcı ara yüzü (HEC-HMS, v.4.1.)	22
Şekil 3.8 HEC-HMS havza modelinde bileşenler (HEC-HMS, v.4.1.)	22
Şekil 3.9 Simülasyonun başlama ve bitiş tarihi ve saati zaman aralığının oluşturulması (HEC-HMS, v.4.1.)	24
Şekil 3.10 Çalışma havzası çevresindeki yağış istasyonları.....	25
Şekil 3.11 Thiessen poligon yöntemi	26
Şekil 3.12 HEC-HMS modelinde kullanılan buharlaşma ve tava katsayısı parametreleri..	29
Şekil 4.1 Türkiye’ deki dilim numaraları (Çabuk ve ark., 2018)	33
Şekil 4.2 Sayısal yükseklik modelinde yer alan boşluklar ve boşlukların doldurulması (Güreşçi ve ark., 2012)	34
Şekil 4.3 D8 algoritması kodları (Anonim,2020)	34
Şekil 4.4 Hücrelerdeki kümülatif birikim değerlerinin hesaplanması (Maidment, 2002)...	35
Şekil 4.5 Afrin Köprüsü Havzasının drenaj ağı noktası ve sınırları.....	36
Şekil 4.6 Afrin Köprüsü Havzasının arazi kullanım haritası.....	38
Şekil 4.7 Afrin Köprüsü Havzasını arazi kullanım haritasının yeniden sınıflandırılması....	40
Şekil 4.8 Afrin Köprüsü Havzasının toprak haritasının sınıflandırılması	42
Şekil 4.9 Afrin Köprüsü havzasının eğri numaraları	44
Şekil 4.10 Afrin Köprüsü havzasının sayısal yükseklik haritası	46
Şekil 4.11 Afrin Köprüsü havzasının akış yönü haritası	48
Şekil 4.12 Afrin Köprüsü havzasının kümülatif akış toplamı	49

	Sayfa No
Şekil 4.13 Akış bölümlleme	51
Şekil 4.14 Alt havzaların raster olarak tanımlanması.....	52
Şekil 4.15 Alt havzaların poligon olarak tanımlanması	53
Şekil 4.16 Drenaj çizgisi.....	54
Şekil 4.17 Afrin Köprüsü havzasının eğim haritası.....	56
Şekil 5.1 Afrin Köprüsü Havzası için proje alanı ve çıkış noktası.....	58
Şekil 5.2 Afrin Köprüsü Havzasının alt havzaları.....	59
Şekil 5.3 HEC-HMS modelinde SCS –CN yönteminde girdi parametreleri.....	61
Şekil 5.4 Muskingum Metodunda kullanılan parametreler	64
Şekil 5.5 Havzanın temsili.....	64
Şekil 5.6 Kalibre edilen hidrolojik parametreler	66
Şekil 6.1 Yağış-akış ilişkisini gösteren dağılım grafiği.....	69
Şekil 6.2 Günlük çözünürlüklü yağış ve akış verileriyle eklenik frekans dağılımı.....	70
Şekil 6.3 Haftalık yağış ve akış hareketli ortalamalarının eklenik frekans dağılımı.....	71
Şekil 6.4 Kalibrasyon ve doğrulama periyotları için gözlemlenen ve tahmin edilen hidrograflar	74
Şekil 6.5 kalibrasyon ve doğrulama dönemlerinde kullanılan amaç fonksiyonların istatistiksel metotlar kullanılarak karşılaştırılması	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 3.1 Hidrolojik toprak grupları ve özellikleri (Özer, 1990; Öztürk, 2011).....	18
Çizelge 3.2 CORINE arazi kullanım türleri (Başyigit, 2004)	19
Çizelge 3.3 HEC-HMS havza modelinde fiziksel elemanlar (HEC-USACE, 2018)	23
Çizelge 4.1 Afrin Köprüsü havzası arazi kullanım dağılımı	39
Çizelge 4.2 Afrin Köprüsü havzasının sızma derecelerine göre dağılımı	41
Çizelge 4.3 Hidrolojik Toprak Gruplarına Göre Eğri Numarası (Halley ve ark., 2000).....	43
Çizelge 4.4 Afrin Köprüsü havzası eğim dağılımı	55
Çizelge 5.1 Afrin Köprüsü Havzasının alt havza alanları	60
Çizelge 5.2 HTG' na göre eğri numarası ve geçirimsizlik yüzdesi (Halley ve ark., 2000). 62	
Çizelge 5.3 Alt havzaların eğri numaraları ve geçirimsizlik yüzdeleri	62
Çizelge 5.4 Alt havza karakteristikleri	63
Çizelge 5.5 HEC-HMS' de yer alan amaç fonksiyonları (HEC-USACE, 2018)	67
Çizelge 6.1 Kalibrasyon döneminde amaç fonksiyonların kullanılarak pik debi, pik debi zamanı, hacim değerlerinin gözlemlenen değerler ile karşılaştırılması	75
Çizelge 6.2 Doğrulama döneminde amaç fonksiyonların kullanılarak pik debi, pik debi zamanı, hacim değerlerinin gözlemlenen değerler ile karşılaştırılması	76

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
AMC	: Başlangıç Nemlilik Durumu (Antecedent Moisture Condition)
AMC I	: Başlangıç Nemlilik Durumu - Koşul 1-Kuru
AMC II	: Başlangıç Nemlilik Durumu - Koşul 2-Orta
AMC III	: Başlangıç Nemlilik Durumu - Koşul 3-Nemli
Arc-GIS	: Havacılık Keşif Kapsamı-Coğrafi Bilgi Sistemi (Aeronautical Reconnaissance Coverage- Geographic Information System)
BH	: Birim Hidrograf
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CLC	: CORINE Arazi Örtüsü (CORINE Land Cover)
CN	: Eğri Numarası (Curve Number)
CN (I)	: Eğri Numarası -Koşul 1-Kuru
CN (II)	: Eğri Numarası -Koşul 2-Orta
CN (III)	: Eğri Numarası -Koşul 3-Nemli
CWC	: Merkez Su Komisyonu (Central Water Commission)
DSİ	: Devlet Su İşleri
ET	: Evapotranspirasyon
F	: Akış Başladıktan Sonra Fiili Tutulma Yüksekliği (mm)

FLAC	: İlk Gecikme Oto Korelasyonu (First Lag Auto Correlation)
HEC-HMS	: Hidrolojik Mühendislik Merkezi - Hidrolojik Modelleme Sistemi (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System)
HEC-GeoHMS	: Hidrolojik Mühendislik Merkezi - Mekansal Hidrolojik Modelleme Uzantısı (Hydrologic Engineering Center - Geospatial Hydrologic Modeling Extension)
HTG	: Hidrolojik Toprak Grupları
HYSOG	: Küresel Hidrolojik Toprak Grupları (Global Hydrologic Soil Groups)
I_a	Başlangıçta Tutulan Yağış Miktarı
k	: Aylık Tüketim Katsayısı
L	: Akarsu Havzasının Hidrolik Uzunluğu
MAE	: Ortalama Mutlak Hata (Mean Absolute Error)
MAR	: Maksimum Mutlak Kalıntı (Maximum of Absolute Residuals)
MGİ	: Meteoroloji Gözlem İstasyonu
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MRE	: Ortalama Bağlı Hata (Mean Relative Error)
n	: Toplam Gözlem Sayısını
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
NASH	: Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (Nash-Sutcliffe Coefficients of Efficiency)
NRCS	: Doğal Kaynakları Koruma Servisi (Natural Resources Conservation Service)

NM	: Nelder ve Mead Yöntemi
P	: Yağış Yükseklik Miktarı (mm)
p	: Yıllık Gündüz Saatlerinin Ortalama Günlük Yüzdesi
PEDV	: Debi Hacmindeki Hata Yüzdesi (Percent Error in Discharge Volume)
PWRMSE	: Pik Ağırlıklı Karesel Ortalama Hata (Peak-Weighted RMSE)
PEPD	: Pik Debideki Hata Yüzdesi (Percent Error in Peak Discharge)
PCC	: Pearson Korelasyon Katsayısı (Pearson Correlation Coefficient)
RMSD	: Ortalama Karekök Hata (Root Mean Square Deviation)
ORNL-DAAC	: Oak Ridge Ulusal Laboratuvarı Dağıtılmış Aktif Arşiv Merkezi (Oak Ridge National Laboratory - Distributed Active Archive Center)
Q_p	: Pik Debi (m ³ /s)
Q	: Yüzey Akış Yüksekliği (mm)
Q_o	: Gözlemlenen Akım Verileri (m ³ /s)
$\overline{Q_o}$	: Gözlemlenen Tüm Akım Değerlerinin Ortalaması (m ³ /s)
Q_s	: HEC-HMS Modelinin Simülasyon Akış Verileri (m ³ /s)
$\overline{Q_s}$	: Tüm Simüle Edilmiş Akış Değerlerinin Ortalaması (m ³ /s)
S	: Potansiyel Maksimum Tutulan Yağış Yüksekliği Miktarı (mm)
SAR	: Mutlak Kalıntıların Toplamı (Sum of Absolute Residuals)
SCS	: Toprak Koruma Servisi (Soil Conservation Service)
SSR	: Kalıntı Kareleri Toplamı (Sum of Squared Residuals)

SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
T_L	: Gecikme Zamanı (Lag Time)
T_{ort}	: Ayın Ortalama Günlük Sıcaklığı (°C)
UG	: Tek Değişkenli Gradyan Yöntemi
USACE	: ABD Ordu Mühendisleri Birliği (U.S. Army Corps of Engineers)
USDA	: ABD Tarım Bakanlığı (United States Department of Agriculture)
USGS	: ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu (United States Geological Survey)
UTM	: Evrensel Ters Merkatör (Universal Transverse Mercator)
TWE	: Zamansal Ağırlıklı Hata (Time Weighted Error)
λ	: Başlangıçta Tutulan Yağış Miktarı Hesabında Kullanılan Oran Sabiti

1. GİRİŞ

Su canlıların hayatını devam ettirebilmesi açısından gerekli bir unsurdur. Dünyamızda nüfusun giderek artması ve iklimsel değişimlerin yaşanması; su kaynaklarının azalmasına, niteliğinin bozulmasına sebep olmaktadır (Kacar, 2017). Endüstri sektörünün gelişmesi de su kalitesini ve miktarını etkilemektedir. Suyun bu kadar önemli olması sebebiyle su kaynaklarının iyi planlanması ve yönetilmesi gerekmektedir. Ayrıca, olası taşkın veya kuraklık durumunda can ve mal kayıplarını önlemek için planlama çalışmalarının yapılması gerekmektedir.

Havzalarda taşkın ve kuraklık durumlarını benzeşim yöntemleriyle bilgisayar ortamında simüle etmek amacıyla birçok yazılım programları geliştirilmiştir. Bu yazılımlardan en yaygın olarak kullanılanlardan birisi de ABD Kara Kuvvetleri Mühendisleri tarafından geliştirilen Hidrolojik Modelleme Sistemidir (HEC-HMS). HEC-HMS, havzalarının hidrolojik aşamalarını simüle etmek amacıyla tasarlanmış bir yazılım programıdır. HEC-HMS yazılımı akış yönlendirme, yüzeysel akım, sızma gibi nice yöntemleri kapsamaktadır (HEC-USACE, 2018).

Bu çalışma kapsamında, çalışma alanında yağış-akış modellemesi, mevcut su potansiyelini tahmin etmek amacıyla HEC-HMS yazılımı ile modelleme yapılacaktır. HEC-HMS’ de yağış-akış senaryosu için pek çok yöntem bulunmaktadır (SCS, 1956). ABD Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası (US Soil Conservation Service: SCS–Curve Number: CN) metodu, yağış kaynaklı yüzey akışının tahmin edilmesinde sıkça tercih edilmektedir (Hokr ve ark., 2003).

SCS-CN metodunda CN değerinin belirlenmesinde geleneksel metotların kullanılması ekonomik olmamasının yanı sıra uğraştırıcı olması vakit kaybına sebep olmaktadır. Çalışma alanına ait CN değerlerini belirlerken geleneksel yöntemler yerine Uzaktan Algılama (UA) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak gerekli verilere erişim hızlı ve kolay olacaktır (Öztürk ve Batuk, 2011). Bu çalışmada, CN değerinin tespiti için CBS ve UA teknikleri kullanılacaktır.

Havza modellerinin oluşturulmasına yardımcı olmak üzere bir CBS yardımcı ürünü geliştirilmiştir. Bu yardımcı ürün, Coğrafi Hidrolojik Modelleme Uzantısıdır (Hydrologic engineering Center Geospatial Hydrologic Modeling System: HEC-GeoHMS). HEC-GeoHMS ve Arc-GIS (Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System) programları havza ve meteorolojik modeller oluşturmak için kullanılabilir (HEC-

USACE, 2018). Bu amaçla, Arc-GIS yazılımı kullanılarak çalışma alanının havza özellikleri (havza sınırı, drenaj ağı, alt havzalar vb.) belirlenecektir.

Çalışma alanı olarak Kilis Afrin Köprüsü Havzası seçilmiştir. Seçilen çalışma alanında daha önce hidrolojik modelleme yapılmamış olması, mevcut su potansiyelinin önem arz etmesinden dolayı seçilmiştir. HEC-HMS de simüle edilen modelleme ile akış verilerinin kalibrasyonu ve doğrulama çalışmaları, sonrasında ise oluşturulan hidrolojik modelin istatistiksel değerlendirmesi yapılacaktır. Akış hacmini belirlemek için SCS-CN metodu kullanılacaktır. Arc-GIS ve HEC-GeoHMS kombineli bir şekilde kullanılarak havza özellikleri belirlenecek ve bu özellikler HEC-HMS' ye aktarılacaktır.

Bu tez çalışmasında, HEC-HMS ve Arc-GIS yazılımları kullanılarak yapılan daha önceki çalışmalar *Bölüm 2' de Literatür Araştırması* başlığı altında bahsedilmiştir. Çalışma alanının konumu, Akım Gözlem İstasyonlarından (AGİ) debi değerleri, Meteoroloji Gözlem İstasyonlarından (MGİ) ise elde edilen yağış, sıcaklık verilerinin temin edilip değerlendirilmesi, çalışmada kullanılacak performans indisler *Bölüm 3' te Metodoloji* başlığı altında verilmiştir. Çalışma alanına ait parametrelerin belirlenmesi, Arc-GIS, HEC-GeoHMS ve HEC-HMS yazılımlarının kombineli olarak kullanılmasıyla hidrolojik modelleme için gereken aşamalardan işlem adımları ve hidrolojik modelleme çalışmaları sırasıyla *Bölüm 4' te ve Bölüm 5' te* başlığı yer almaktadır. *Bölüm 6' da* yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar *Bulgular ve Tartışmalar* başlığı altında yer almaktadır. Çalışmanın sonucu ve ilerideki çalışmalara yönelik öneriler *Bölüm 7' de Sonuç ve Öneriler* başlığı altında yer almaktadır.

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Derdour ve ark. (2018) HEC-HMS' yi yağış-akış sürecini simüle etmek amacıyla Cezayir' de bulunan Ain Sefra Havzasında kullanmışlardır. Kayıp oranı için SCS-CN, birim hidrograf modeli olarak SCS birim hidrograf yöntemlerini seçmişlerdir. Gözlemlenen akış ile simüle edilen akış arasındaki uyumu belirlemek amacıyla Nash ve Sutcliffe (NSE) istatistiksel metodunu kullanmışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlar HEC-HMS' nin benzer havza özelliklerine sahip diğer ölçülemeyen havzalarda da kullanılabilecek potansiyeli olduğunu göstermiştir.

Wałęga (2013) yaptığı çalışmada HEC-HMS programında ani sel olayını simüle etmeyi amaçlamıştır. Çalışma alanı olarak Polonya' da bulunan Wislok Nehrinin sağ kolu olan Stobnica Nehri Havzasını seçmiştir. HEC-HMS' nin farklı hidrolojik koşullarda güvenilir sonuçlar verdiğini, çok çeşitli hesaplama kriterleri içermesi ve HEC-GeoHMS ile uyumlu çalışması nedeniyle çok faydalı bir program olduğu sonucuna varmıştır.

Tassew ve ark. (2019) yaptıkları çalışmada HEC-HMS' yi Etiyopya' daki Mavi Nil Bölgesinin yukarısındaki Gilgel Abay Havzasındaki akış simülasyonu için kullanmışlardır. Öncelikle havza özelliklerini belirlemek için Sayısal Yükseklik Modelini (SYM) kullanmışlardır. Daha sonra ise belirlenen bu havza özelliklerini altlık olarak kullanmak üzere arka plan dosyası olarak HEC-HMS' ye aktarmışlardır. Ancak bazı alt havzaların gözlem istasyonları bulunmaması sebebiyle bu alt havzalar için Thiessen Poligon Yöntemi kullanılarak yağış değerlerini tahmin etmişlerdir. Modelin simülasyonunun daha iyi performans göstermesi amacıyla standartlaşmış eğri sayıları yerine, yerel-bölgesel CN kullanılmasının daha doğru olacağı sonucuna varmışlardır.

Györi ve Haidu (2011) HEC-HMS' yi Arad Bölgesindeki (Romanya) Monoroştia Havzasında 2010 Ağustos' da meydana gelen ani sel felaketini modellemek amacıyla kullanmışlardır. SCS kayıp metodu ve SCS dönüşüm metodunu birlikte kullanmışlardır. Yağış-akış modeli için HEC-HMS' de girdi verisi olarak kullanılması gereken havza özellikleri Arc-GIS ortamında belirlenmiştir. Sonrasında Arc-GIS ve HEC-GeoHMS ile belirlenen havza özellikleri ise HEC-HMS' ye aktarılmıştır. Çalışma sonucunda, HEC-HMS' nin yağış-akış senaryolarını iyi şekilde tahmin edebilme yeteneğine sahip olduğu ifade edilmiştir.

Ramly ve Tahir (2016) tarafından Malezya' nın başkentine yakın Klang-Ampang Nehri Havzasında taşkın benzeşimleri için HEC-HMS[^]yi kullanmışlardır. HEC-HMS' de akış tahmini için kullanılan girdi parametreleri Arc-GIS ve HEC-GeoHMS programlarında üretilmiştir. Sayısal yükseklik modellerinin Arc-GIS' de ön işleme araçlarının kullanılmasıyla; havza alanı, havzanın bitki örtüsü ve arazi kullanımına bağlı olarak alt-havzalara bölünmesi ve akış ağı gibi havza özellikleri belirlenmiştir. HEC-HMS' de kayıp metodu olarak SCS-CN ve birim hidrograf modeli olarak ise SCS birim hidrograf modeli seçilmiştir. Elde edilen akım simülasyonları gözlemlerle kıyaslanmış olup, Nash-Sutcliffe katsayısı 0,86, ortalama karekök hata değeri ise 25,3 olarak bulunmuştur. Gözlemlenen istatistiksel metotların sonucunda kalibre edilen modelin iyi bir simülasyon sağladığı saptanmıştır.

De Silva ve ark. (2013) Sri Lanka' da Kelani Nehri Havzasında hidrografın modellenmesi ile literatüre iki şekilde katkı sağladığını ifade etmişlerdir. İlk olarak HEC-HMS' nin çevre ve iklim raporu bulunmayan havza alanında uygulanabilirliği araştırılmış, ikinci olarak ise benzer iklim ve topografik özelliklere sahip herhangi bir havza için HEC-HMS' de model parametrelerinin seçiminde, model kalibrasyonu ve doğrulaması çalışılmıştır. Sonuç olarak yaptıkları çalışmanın olası taşkın durumlarında erken uyarı mekanizmalarının geliştirilmesi yönüyle HEC-HMS' nin çok yararlı bir program olduğu belirtmişlerdir.

Jyothi ve Vishnu (2017) HEC-HMS' yi Hindistan' da Kerala ilinde Thuthapuzha Havzasında yağış-akış modellemesi için kullanmışlardır. Çalışmada, akışı simüle etmek amacıyla SCS dönüşüm metodu, akış hacmini hesaplamak adına SCS-CN metodu kullanılmışlardır. Çalışmanın sonucunda, akarsu akımının modellenmesi için CN ve gecikme zamanının en hassas parametreler olduğunu ortaya koymuşlardır.

Mandal ve Chakrabarty (2016) HEC-HMS programını kullanarak ani taşkın riski bulunan Hindistan' daki Teesta Nehri Havzasında erken uyarı sistemi geliştirmeyi, olası can ve mal kayıplarını önlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaçla, Hindistan Meteoroloji Müdürlüğünden alınan son taşkın verilerine bağlı olarak yağış-akış simülasyonları yapılmıştır. Modelin uygulanabilirlik potansiyelini anlamak amacıyla bazı noktalar belirlemişler ve bu noktalarda yağış verilerine dayanarak yağış-akış simülasyonları oluşturmuşlardır. Çalışmanın olası can ve mal kaybını önlemek adına faydalı olduğu ortaya konulmuştur.

Choudhari ve ark. (2014) HEC-HMS' yi, Hindistan' ın Odisha şehrinin Balijore Nala Havzasında yağış-akış süreçlerini tahmin etmek amacıyla kullanmışlardır. Havza modeli için CBS ortamında hazırlanan altlıklar, HEC ortamında doğrudan akış için SCS birim hidrograf modeli kullanılarak model kalibrasyonu yapılmıştır. Performans çıktılarının değerlendirilmesi için Ortalama Bağıl Hata, (MRE: Mean Relative Error), Ortalama Karekök Hata (RMSE: Root Mean Square Error) istatistikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak havzadaki akışın ölçülmesi yerine, kalibre edilen HEC-HMS kullanımı akış verilerinin elde edilmesinde zaman ve paradan tasarruf etmeye yardımcı olabileceği ayrıca ölçüm istasyonu olmayan havzalarda da modelin kullanılabileceği sonucunu elde etmişlerdir.

Natarajan ve Radhakrishnan (2019) HEC-HMS programını Hindistan Truchirappali şehrinde bulunan Koraiyar Havzasında yağış bazlı akışları tahmin etmek amacıyla kullanmışlardır. Akış hacmini hesaplamak için SCS-CN ve SCS birim hidrograf metotlarını kullanmışlardır. Bu metotların seçilmesinde, bu yöntemlerin tüm çevre koşullarına uyum sağlaması ve az sayıda parametre gerekmesi sebebiyle tercih ettiklerini belirtmişlerdir. HEC-HMS için gereken hidrolojik parametreler için uzaktan algılama görüntü parametrelerini işlemişlerdir. Arazi kullanım haritası ve Doğal Kaynakları Koruma Servisi (NRCS) tarafından belirlenen hidrolojik toprak gruplarına bağlı olarak havzanın CN değerlerini belirlemişlerdir. Analizler için CBS' nin uzantısı olan HEC-GeoHMS' yi ve sayısal yükseklik haritasını kullanmışlardır. Nash-Sutcliffe verimliliği istatistik değerleri ile açıklanan sonuçlar, gözlemlenen ve simüle edilen akış arasındaki uyumun iyi olduğunu göstermiştir.

Kalita (2008) yaptığı çalışmada, ölçüm yapılamayan havzalarda birim hidrograf ve havza modelleriyle taşkın tasarımı için HEC-HMS' nin kullanılabileme potansiyelinin araştırılmasını amaçlamıştır. Çalışma alanı olarak Hindistan kuzeydoğu kesimindeki Kuzey Brahmaputra ve Güney Brahmaputra olarak belirlenmiştir. HEC-HMS' de üretilen birim hidrografla, Hindistan Merkez Su Komisyonu tarafından belirlenen birim hidrografi karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, HEC-HMS' nin güvenle kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Kumar ve ark. (1991) uzaktan algılama teknolojisi ve uydu verilerini kullanarak Hindistan' da Batı Bengal' in Midnapore bölgesinde yer alan Kaliaghai Nehri Havzasının akış eğri numarasını bulmayı amaçlamışlardır. SCS-CN metodunu çok sayıda veriye ihtiyaç duymaması, uygulanmasının kolay olması nedeniyle tercih ettiklerini belirtmişlerdir. Çalışmada, Arazi Kullanımı/Arazi Örtüsü (AKAÖ), Hidrolojik Toprak Grupları (HTG) ve

SCS tablolarından elde edilen veriler ile ilişkilendirilerek, havzanın akış eğri numarası bulunabileceği saptanmıştır. Uzaktan algılama ve SCS modelinin birlikte kullanılmasıyla, bir havzanın planlama ve yönetim stratejilerine yardımcı olabileceğini belirtmişlerdir.

Ibrahim-Bathis ve Ahmed (2016) HEC-HMS modelini Hindistan’ da Doddahalla Bölgesinin havza hidrolojisini belirlemek amacıyla kullanmışlardır. Havzada, hidrolojik verilerin az olması ve var olan verilerin ise güvenilir olmaması sebebiyle bu çalışma yapılmıştır. Akış hacmini hesaplamak hedefiyle, SCS-CN ve SCS birim hidrograf yöntemleri kullanılarak HEC-HMS’ de simülasyon oluşturma amaçlanmıştır. Benzeşimler için öncelikle havza özelliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla, Arc-GIS ve HEC-GeoHMS yazılımları kullanılmıştır. Alt havzalarının her birinin eğri numaraları elde edilip, bulunan eğri numaraları HEC-HMS’ de kullanılmıştır. HEC-HMS ile simüle edilen modellemede doğrulama yapabilmek için komşu havzalardaki yağış verileri kullanılmıştır. Doğrulama sonucunda, kullanılan modelin güvenilir olduğu ve diğer benzer özelliklere sahip havzalar için de fayda sağlayacağı ifade edilmiştir.

Yener ve ark. (2007) çalışmalarında, Marmara Bölgesinde bulunan Yuvacık havzasının akım senaryolarını belirlemek amacıyla HEC-HMS programı kullanmışlardır. Bu havzanın modellenmesi ile Yuvacık Barajının rezervuarının işletim konusunda fikir sahibi olmayı planlamışlardır. Yuvacık Havzası akım gözlem istasyonlarına göre üç alt havzaya ayrılmıştır. Bu havzaların infiltrasyon kaybı ve baz akım parametreleri saatlik simülasyonlarla kalibre edilmiştir. Ancak topraktaki sızma durumu, arazi kullanım verilerinin eksikliği sebebi ile tahmin edilen pik debi ile Devlet Su İşleri (DSİ) gözlemleri arasında fark oluşmuştur. Kalibre edilen model parametreleri gelecekteki su yılı verileri ile ele alınarak modelde tekrar doğrulama yapılması gerektiğini; gerekirse bölgedeki ilk zemin nemi dağılımı dikkate alınarak model parametrelerinin güncellenmesi ile de doğrulanması gerektiği sonucunu elde etmişlerdir. Ayrıca evapotranspirasyonu model kalibrasyonlarına dahil etmediklerini, gelecekteki çalışmalarda dahil edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir.

Bora ve Onuşluel-Gül (2019) HEC-HMS’ yi Ankara ilinde bulunan Güvenç Havzasının taşkın analizi için kullanmışlardır. Çalışmada, 30 m mekânsal çözünürlüklü SYM verilerinin HEC-GeoHMS ortamında işlenmesi, arazi kullanım bilgilerinin oluşturulması ve belirlenen havza özelliklerinin HEC-HMS’ ye giriş verisi olarak aktarılması gibi taşkın analizi için öncelikli süreçler yapılmıştır. Yapılan analizde, kayıp oranı için SCS-CN metodu uygulanarak gözlem istasyonlarından elde edilen akım verileri tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, gözlemlenen ve tahmin edilen verilerin uyumlu olduğu ifade edilmektedir.

Akay ve Baduna-Koçyiğit (2018) HEC-HMS' yi Batı Karadeniz' de bulunan Akçay Havzasında hidrolojik modelleme yapmak amacıyla kullanmışlardır. Havzanın akım verilerinin olmamasından mütevellit yağış-akış ilişkisi için gerekli hidrolik parametrelerin belirlenmesi maksadıyla komşu havzanın akım verileri kullanılmıştır. Arc-GIS yazılımında 1/25.000 ölçekli münhane haritaları işlenerek, havza yedi alt havzaya ayrılmıştır. Toprak Koruma Servisi tarafından oluşturulan havzaya ait toprak ve AKAÖ haritaları kullanılarak her alt havzanın CN değerleri saptanmıştır. Elde edilen bu parametreler, HEC-HMS yazılımında girdi verisi olarak kullanılmıştır. 2008 ve 2009 yıllarına ait fırtına verileri kullanılarak bu yıllara ait birim hidrograflar oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda, küçük drenaj alanına sahip havzalarda, hidrolojik parametrelerin Arc-GIS olanakları ile modellenebileceği belirtilmiştir.

Karadağ (2012) çalışmasında, Arc-Hydro Modülünü kullanarak Antalya ilinde bulunan Kovada Gölünün alt havza sınırlarını belirlemeyi amaçlamıştır. Çalışmasında su kaynaklarının yönetim ve planlama aşamalarında havzanın sınırı, alt havzaları ve havza özelliklerinin bilinmesinin önemli olduğunu vurgulamıştır. Arc-Hydro modülünün güvenilir sonuçlar verdiği, gerekli verilere rahat ve hızlı erişim sağladığını gözlemlemiştir.

Mesta ve ark. (2018) HEC-HMS' yi kullanarak Ergene Nehri ile Meriç Nehrinin birleştiği noktanın mansabında bulunan Yerigörüş Havzasının yağış-akış ilişkisini HEC-HMS ile belirlemeyi amaçlamışlardır. Metot olarak Toprak Koruma Servisi tarafından oluşturulan SCS-CN kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, havzanın arazi kullanım özellikleri CORINE (2012) haritalarından elde edilmiştir. Havzada bulunan AGİ' lere göre havza dört alt havzaya bölünmüş, sonrasında her alt havzanın sınırları belirlenmiştir. Akabinde, HTG, AKAÖ, SYM gibi havza morfolojik verileri CBS ortamında derlenmiştir. CBS ortamında belirlenen havza, HEC-HMS' ye aktararak bir hidrolojik model oluşturulmuştur. Alt havzaların çıkışlarında bulunan AGİ' lere göre yağış-akış senaryoları kalibre edilmiştir. Doğrulama sonucunda, İnanlı, Lüleburgaz ve Hayrabolu alt havzaları için NSE değerleri sırasıyla 0,36, 0,73, 0,05; bu alt havzaları içine alan Yenigörüş Havzasında ise 0,72 elde edilmiştir. Benzeşimden elde edilen model sonuçlarının genel manada iyi bir performansa sahip olduğu ifade edilmiş; ancak, alt havzaların ikisinde (İnanlı ve Hayrabolu) yapılacak olan gelecek çalışmalarda sulama ve endüstriyel su kullanımı bilgilerinin dâhil edilmesinin, simülasyon sonuçlarına pozitif etkisi olacağı belirtilmiştir.

Öztürk ve Batuk (2011) çalışmaları kapsamında, UA ve CBS kullanarak Güney Marmara Havzasında yüzey akış eğri numarasının bulmayı amaçlamışlardır. Uygulama esnasında kullanıcıların SCS-CN metodu akış bilgisi olmayan havzalarda sıkça kullanmakta olduğunu, ancak AKAÖ bilgilerinin elde edilmesinde sorun yaşandığını belirtmişlerdir. Bu amaç doğrultusunda, çalışma alanı için Arc-GIS programı kullanılarak CN değerleri, HTG, arazi kullanım özellikleri belirlenmiştir. Arazi bilgileri uydu görüntülerinin Arc-GIS yazılımında sayısallaştırılmasıyla elde edilmiştir. Yüksek çözünürlüklü bu görüntülerin kullanılması AKAÖ sınıflarının, eğri numarasını ve buna bağlı olarak elde edilen yağış-akış senaryolarının sonuçlarının doğruluk oranını artırdığını ifade etmişlerdir.

Eraydın ve ark. (2015), CBS ve UA sistemlerinin kullanılmasıyla Muğla sınırlarında bulunan Eşen Havzasının taşkın modelleme çalışmasını yapmayı ve havza özelliklerini bulmayı amaçlamışlardır. Araziye ait münhanileri oluşturmak amacıyla ASTER-DEM verileri kullanılmıştır. Sonrasında havzanın eğimi, alanı, drenaj ağı, sınırları gibi havza özellikleri belirlenmiştir. Drenaj ağlarında bulunan akım gözlem istasyonlarının yağış verileri ile Devlet Su İşleri ve Elektrik İşleri Daire Başkanlığından alınan değerleri karşılaştırmışlardır. CBS teknolojisinin küçük alanlı alt havzalarda daha iyi sonuç verdiği sonucuna varmışlardır.

Köseoğlu ve Özdemir (2013) yaptıkları çalışmada, Rize ilinin hidrolojik özelliklerinin belirlenmesi, yönetim planlaması doğrultusunda karar vermek amacıyla bu çalışmayı yapmışlardır. Coğrafi bilgi sistemlerinin kolay ulaşılabilir olması ve CBS ile doğru sonuçlar elde edilebilmesi sebebiyle tercih edilmiştir. 30 m çözünürlüğe sahip hücrelerden oluşan SYM veri setlerinin Arc-GIS yazılımında işlenmesiyle havza özelliklerini belirlemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda, havza tespitinde 30 m' lik çözünürlüğe sahip görüntüler yerine daha yüksek çözünürlüğe sahip, örneğin 5-10 m çözünürlüklü gibi, görüntülerin kullanılmasının daha doğru olacağı sonucuna varmışlardır. Dijital yükseklik verilerinin uygun coğrafi bilgi sistem yazılımlarıyla tüm Türkiye' de uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

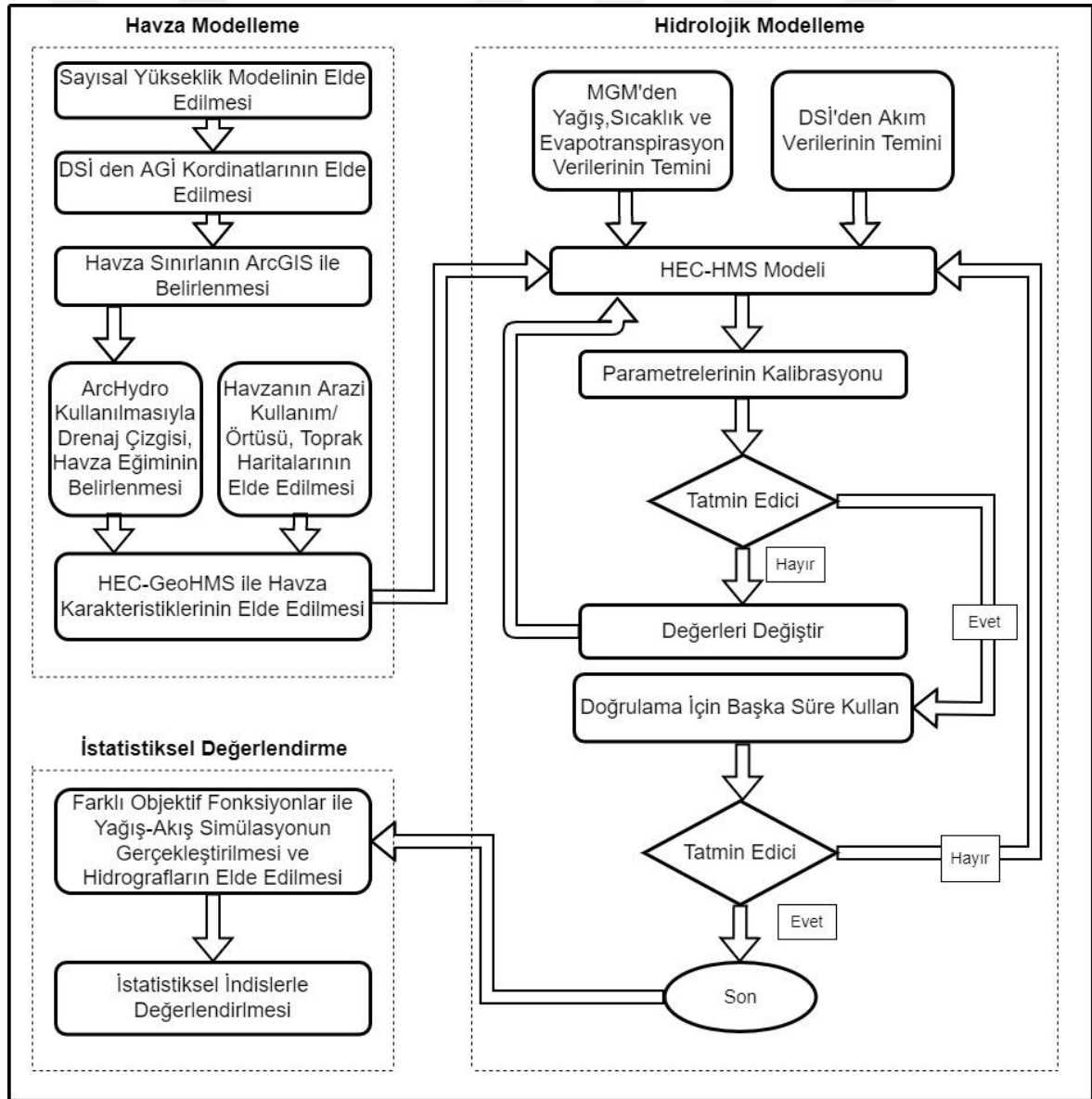
Özdemir (2007) yaptığı çalışmada, taşkına sebep olabilecek akış hacmini SCS-CN metoduyla bulmayı amaçlamıştır. Çalışma alanı olarak Havran Çayı Havzasının alt havzaları olan Bent, Kışla, Küçükçay derelerini seçmiştir. Ancak, bu alt havzalarda AGİ bulunmamaktadır. Bu amaçla, küçük alt havzaların toprak bilgisinin, arazi kullanım bilgileri CBS ortamında türetilmiştir. Bu alt havzalar için akım verilerinin tahmininin ampirik formüllerle bulunması, Havran Çayı Havzasında olası taşkın tahmini için önemli olduğu

belirtilmiştir. Havran Ovası için taşkınlardan korunma amaçlı yapılan baraj, oluşabilecek taşkınlara büyüklüğünü azaltabileceğini belirtmiştir. Ancak Bent, Kışla, Küçükçay alt havzalarında ise meydana gelebilecek taşkınlara önlenemeyeceği sonucuna varılmıştır. Çalışmada, kar erimeleri ve diğer kaynaklardan gelebilecek akım verileri dikkate alınmamıştır. Bu faktörlerinde dikkate alınmasıyla sonuçların daha doğru olabileceği belirtilmiştir.



3. METODOLOJİ

Bu tez çalışması üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, Arc-GIS ve HEC-GeoHMS yazılımlarının kombineli kullanılmasıyla havza jeomorfolojisi belirlenmiş ve havza modellemesi tamamlanmıştır. İkinci aşamada, elde edilen havza karakteristikleri arka plan dosyası olarak HEC-HMS' ye aktarılarak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve DSİ veri tabanından elde edilen hidrolojik verilerin HEC-HMS yazılımında kullanılmasıyla yağış-akış simülasyonu oluşturulmuştur. Üçüncü aşamada ise, farklı amaç (objektif) fonksiyonları yardımıyla kalibrasyon parametrelerinden elde edilen hidrograflar birçok istatistiksel indislerle ek olarak grafiklerle değerlendirilerek yağış-akış hidrograflarının performansları değerlendirilmiştir (Şekil 3.1).

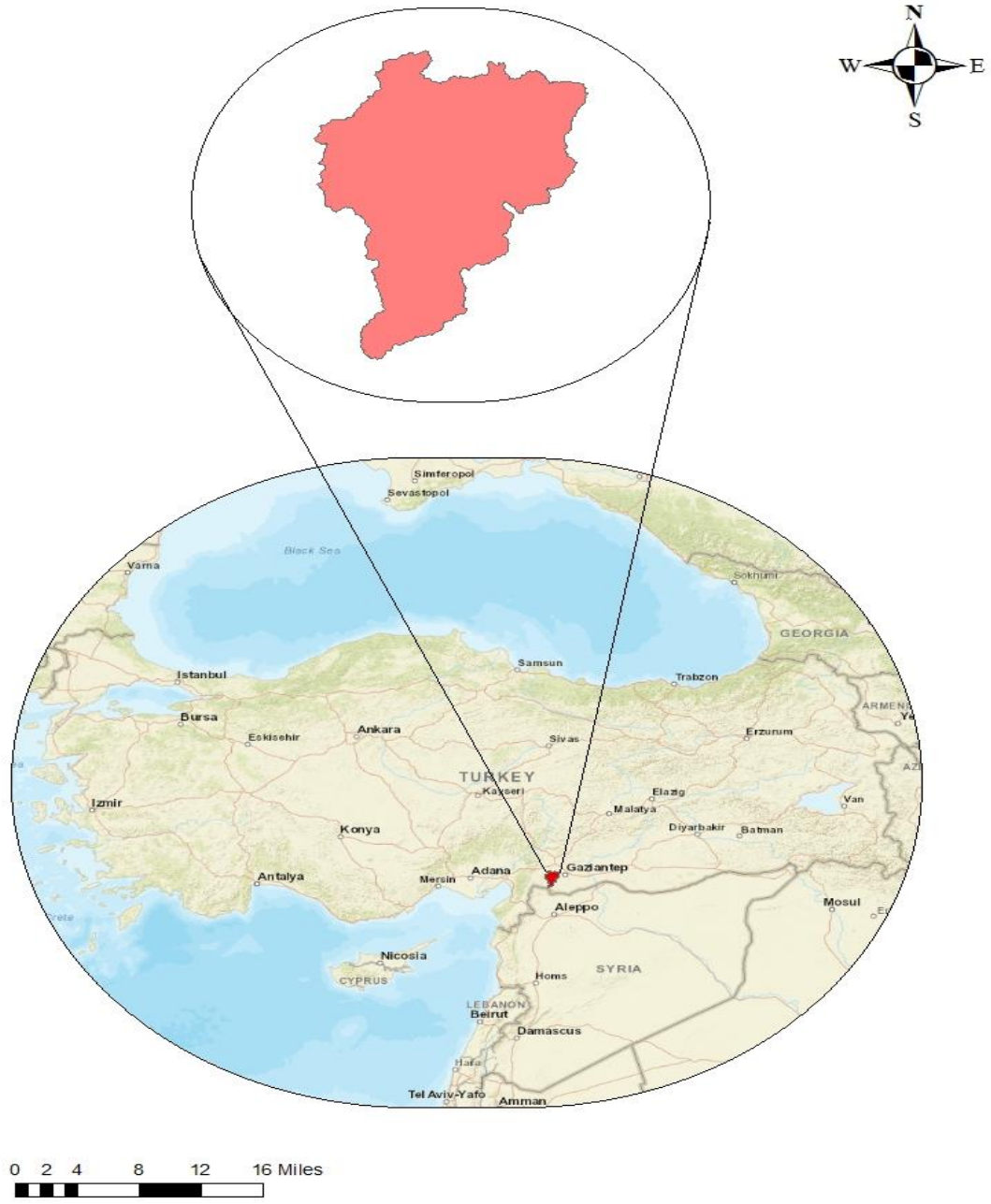


Şekil 3.1 Metodolojide kullanılan akış şeması

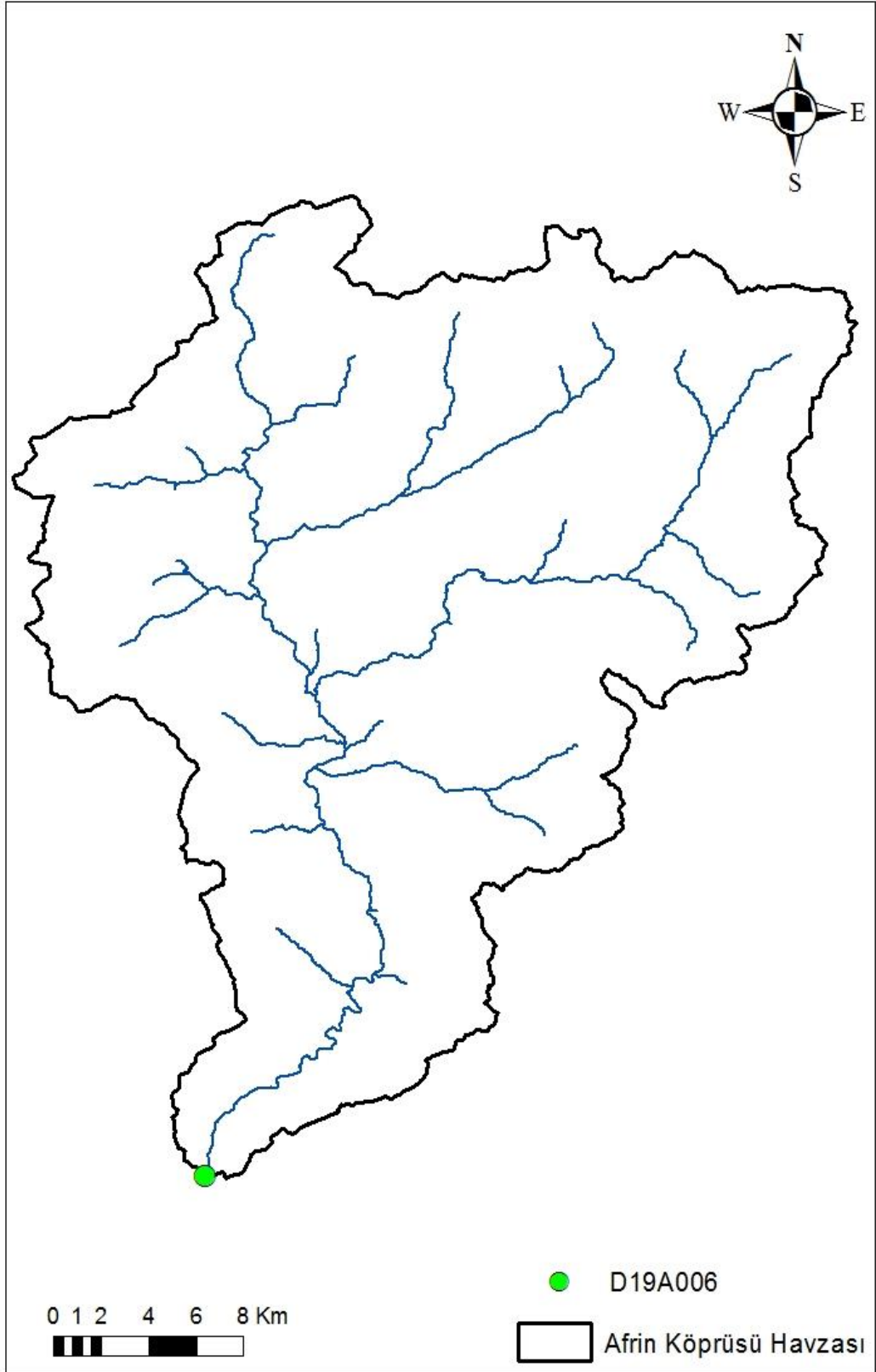
3.1 Çalışma Alanı

Bu analizde, çalışma alanı olarak Afrin Köprüsü Havzası seçilmiştir. Afrin Köprüsü Havzası Gaziantep ve Kilis illerinin sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 3.2). Toplam drenaj alanı 619 km²' dir. Havzanın yükselti aralığı 400 m ile 1500 m arasında değişmektedir. Havzanın çıkış noktası 36° 48' 27" K ve 36° 58' 55" D koordinatları üzerinde bulunmaktadır. Havza çıkışında DSİ' nin işlettiği D19A006 akım gözlem istasyonu bulunmaktadır (Şekil 3.3). Çalışma alanının büyük bir kısmı tarım arazilerinden oluşmaktadır.

Tarım ve Orman Bakanlığı' na göre, Suriye' den Türkiye' ye sığınmacıların gelmesiyle bölgede nüfusun artması dolayısıyla Kilis' te içme ve kullanma suyuna olan talebin arttığını belirtmektedir (Anonim, 2021a). Kilis' te içme suyu sağlamak amacıyla Afrin Köprüsü alt havzasında bulunan Kara Afrin deresi üzerinde Yukarı Afrin Barajı yapılmıştır. Yukarı Afrin Barajı Gaziantep ilinin Şahinbey ilçesinin Akbayır köyünün 2 km kuzeybatısında yer almaktadır. Yukarı Afrin Barajı 60 m yüksekliğinde, kil çekirdekli toprak dolgu barajıdır. 04.06.2015-11.10.2019 tarihleri arasında baraj inşası tamamlanmıştır (Şekil 3.4). 38 milyon metreküplük su biriktirme hacmi olan Yukarı Afrin barajının 2050 yılına kadar içme suyu sağlayabileceği ifade edilmiştir. Baraj, Kilis iline 19 milyon metreküp içme suyunu 43 km' lik isale hattının tamamlanmasıyla sağlamıştır (Keçik, 2021). Afrin Köprüsü Havzası, daha önce yağış-akış benzeşimlerinin bilgisayar ortamında modellenmemesi ve mevcut su potansiyelinin önemli olması sebeplerinden ötürü çalışma alanı olarak seçilmiştir.



Şekil 3.2 Çalışma alanının konumu



Şekil 3.3 Afrin Köprüsü Havzası ve Akım Gözlem İstasyonu



Şekil 3.4 Yukarı Afrin Barajı (Keçik, 2021)

3.2 SCS-CN Metodu

Akarsulara ait akım verileri, akarsu üzerlerinde bulunan AGİ'lerden elde edilmektedir (Özdemir, 2007). Bu verilerin bulunmaması durumunda ya da daha uzun periyotlarda veri setlerine ihtiyaç duyulması halinde, yağış-akış tahminleri amacıyla bilgisayar modellemesinden faydalanılmaktadır. HEC-HMS yazılımında birçok yağış-akış modellemesi yapılabilmektedir. Bu modellerden en yaygın olarak kullanılan 1972 yılında ABD Toprak Koruma Servisi tarafından geliştirilen SCS-CN metodudur.

SCS-CN deney ve gözlem yoluyla oluşturulan, havzanın toprak grubu, bitki örtüsü gibi özelliklerine bağlı bir metottur. Yağıştan kaynaklı akış hacminin tespitinde CN değerleri kullanılmaktadır. Bu yöntemde çalışma havzasının evapotranspirasyon, yağış gibi meteorolojik verilerine, AKAÖ ve HTG gibi havza özelliklerine gereksinim duymaktadır. SCS metodu için kullanılan denklemler aşağıda verilmiştir (SCS, 1964, 1972; Mesta ve ark., 2018):

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad P > I_a \text{ halinde} \quad (3.1)$$

$$Q = 0 \quad P < I_a \text{ halinde} \quad (3.2)$$

$$I_a = \lambda S \quad (3.3)$$

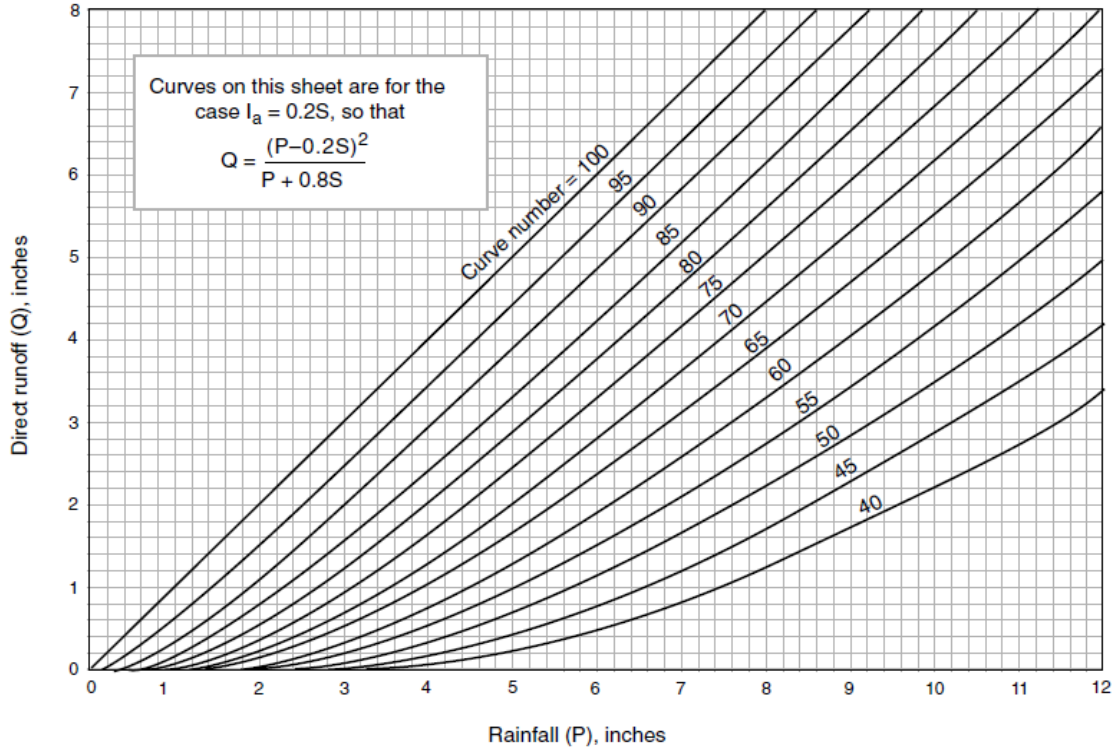
$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.4)$$

Formülde yer alan Q yüzey akış yüksekliğini (mm), P yağış yükseklik miktarını (mm), I_a başlangıçta tutulan yağış miktarını (mm), CN eğri numarasını, λ başlangıçta tutulan yağış hesabında kullanılan sabiti ve S potansiyel maksimum tutulan yağış miktarını (mm) göstermektedir. Birçok küçük tarımsal havzalarda yapılan çalışmalar ile, I_a 'nın aşağıdaki ampirik denkleme yaklaştığı bulunmuştur:

$$I_a = 0.2S \quad (3.5)$$

Akış hesaplamaları için öncelikle CN değerleri bulunmalıdır. Bu amaçla HEC-GeoHMS yazılımı kullanılarak eğri numaraları bulunmaktadır. Havza için eğri numarası ve yağış miktarı belirlendiğinde akış miktarı Denklem 3.1' den 3.4' e kadar eşitliklerin çözülmesiyle veya Şekil 3.5 ile belirlenebilir.

CN değerleri AKAÖ çeşidine, başlangıç nem koşullarına, HTG' ye bağlıdır. Bu değerler 0-100 arasında değişirken, ekseriyetle 55-95 aralığında yer almaktadır (Hawkins, 1998; Özcan, 2017).



Şekil 3.5 Yağış-akış bağıntısı eğrisi (TR -55, 1986)

3.2.1 Eğri Numarasını Etkileyen Faktörler

Eğri numarasını etkileyen faktörler; başlangıç toprak nemi, arazi kullanımı/örtüsü ve hidrolojik toprak grubudur.

3.2.1.1 Başlangıç toprak nemi (AMC)

SCS-CN yönteminde, CN değerini etkileyen faktörlerden birisi de toprağın yağış başladığı andaki nem içeriğidir. Bu yöneme göre toprak; nem içeriklerine göre (AMC: Antecedent Moisture Condition) kuru (AMC-I), normal (AMC-II) ve nemli (AMC-III) olmak üzere üçe olarak ayrılır. AMC-I, AMC-II, AMC-III durumlarının her biri için farklı eğri numarası değerleri kullanılması tavsiye edilmiştir. Örneğin, AMC-I için CN (I); AMC-II için CN (II); AMC-III için CN (III). Bu CN değerlerinin hesaplanması Denklem 3.6, 3.7 ve 3.8' de gösterilmiştir (SCS, 1972; Chow, 1988; Neitsch ve ark., 2001; Apaydın, 2007).

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad \text{Koşul 1 (Kuru)} \quad (3.6)$$

$$CN(II) = \frac{25400}{S + 254} \quad \text{Koşul 2 (Orta)} \quad (3.7)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad \text{Koşul 3 (Nemli)} \quad (3.8)$$

3.2.1.2 Hidrolojik toprak grubu (HTG)

Özer (1990) çalışmasında toprak gruplarını, toprağın sızma oranlarına göre A, B, C ve D olarak dört gruba ayırmıştır. Ayrıca, toprak grubu özelliklerinin bilinmesinin hidrolojik analiz çalışmalarında önemli olduğu belirtmiştir. Sızma oranlarına göre ayrılan hidrolojik toprak grupları ve özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Hidrolojik toprak grupları ve özellikleri (Özer, 1990; Öztürk, 2011)

Zemin Grubu	Zemin Grubu Özellikleri
A	Tamamen nemlendirilmeleri halinde çok yüksek sızma, çok düşük akış potansiyeline sahip çok kumlu ve çakıllı toprakları kapsamaktadır.
B	Tamamen nemlendirilmeleri halinde orta sızma derecesine, normal düzeyde akış potansiyeline sahip A grubu topraklara göre daha az kumlu toprakları ifade etmektedir.
C	Tamamen nemlendirilmeleri halinde düşük sızma, yüksek akış potansiyeline sahip kili toprakları kapsamaktadır.
D	Tamamen nemlendirilmeleri halinde çok düşük sızma, çok yüksek akış potansiyeline sahip şişme özelliği yüksek olan toprakları kapsamaktadır.

3.2.1.3 Arazi kullanımı/örtüsü (AKAÖ)

Arazi yüzeyinin yapay alanlar ve doğal alanlarla (bağlar, meralar, çayırliklar ormanlık alanlar, su alanları vb) kapsanması “Arazi örtüsü” olarak tanımlanmaktadır. İnsanların arazi ile ilgili ilişkileri ve kullanımları “Arazi kullanımı” olarak tanımlanmaktadır (Ferreira ve ark., 1999; Lillesand ve Kiefer, 2000; Jansen ve deGregorio, 2004; Li ve Yeh, 2004; Öztürk ve Batuk, 2011). Çizelge 3.2’ de CORINE arazi kullanımı/örtüsüne bağlı olarak düzeyler verilmiştir.

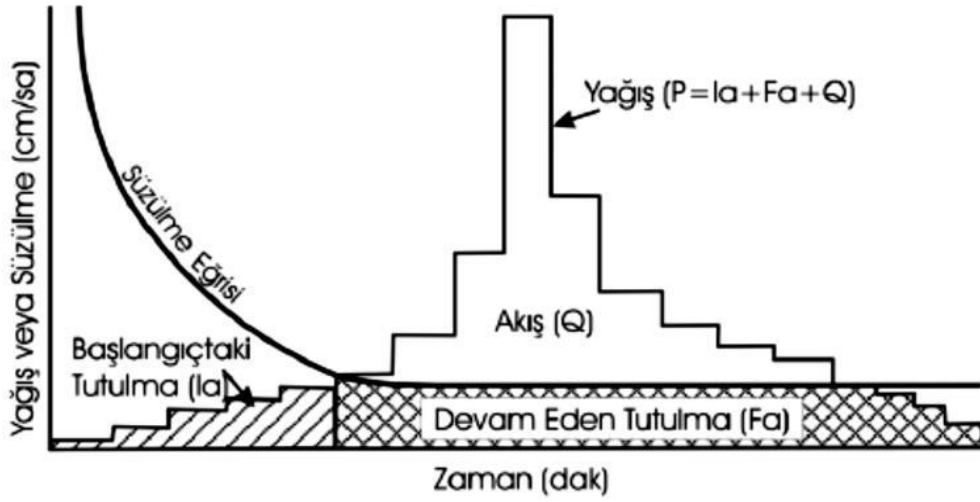
Çizelge 3.2 CORINE arazi kullanım türleri (Başyigit, 2004)

Düzey 1	Düzey 2	Düzey 3
1.Yapay Yüzeyler	1.1.Şehir Yapısı	1.1.1.Devamlı Şehir Yapısı
		1.1.2. Devamlı Olmayan Şehir Yapısı
	1.2. Endüstriyel, ticari ve taşıma birimleri	1.2.1. Endüstriyel veya ticari birimler
		1.2.2.Karayolu ve demiryolları ve ilgili alanlar
		1.2.3. Limanlar
		1.2.4. Hava alanları
	1.3. Maden çöp ve inşaat alanları	1.3.1. Maden çıkarım alanları
		1.3.2. Boşaltım alanları
		1.3.3. İnşaat sahaları
	1.4.Tarım dışı yapay yeşil alanlar	1.4.1. Yeşil yerleşim alanları
		1.4.2. Spor ve dinlenme alanları
2.Tarım Alanları	2.1. Ekime uygun alanlar	2.1.1. Sulanmayan tarımsal araziler
		2.1.2. Daimî sulanan araziler
		2.1.3. Pirinç tarlaları
	2.2. Sürekli ürünler	2.2.1. Bağlar
		2.2.2. Meyve bahçeleri
		2.2.3. Zeytinlik alanlar
	2.3. Meralar	2.3.1. Meralar
		2.4.1 Daimî ürünlerle birlikte bulunan senelik ürünler
		2.4.2. Karışık tarım alanları
		2.4.3. Doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları
3.Orman ve Yarı Doğal Alanlar	3.1. Ormanlar	2.4.4. Orman tarımı arazileri
		3.1.1. Geniş yapraklı ormanlar
		3.1.2. Kozalaklı ağaç ormanlar
		3.1.3. Karışık ormanlar

3.Orman ve Yarı Doğal Alanlar	3.2. Funda ve/veya otsu bitkilerin birleşimi	3.2.1. Doğal çayırliklar
		3.2.2. Fundaliklar
		3.2.3. Sklerofil bitki örtüsü
		3.2.4. Geçici orman- çalılık
	3.3. Bitki örtüsü az ya da hiç olmayan açık alanla	3.3.1. Sahiller, kumsallar ve kum düzlükleri
		3.3.2. Çıplak kayalık
		3.3.3. Seyrek bitkili alanlar
		3.3.4. Yanmış alanlar
		3.3.5. Buzullar ve kalıcı kar
4.İslak Alanlar	4.1. Karasal bataklıklar	4.1.1. İç bataklıklar
		4.1.2. Turbalıklar
	4.2. Denize yakın ıslak alanlar	4.2.1. Tuz bataklığı
		4.2.2. Tuzlalar
		4.2.3. Gel-git olayı ile oluşan düzlükler
5.Su Yapıları	5.1. İçsel sular	5.1.1. Su yolları
		5.1.2. Su kütleleri
	5.2. Deniz suları	5.2.1. Kıyı lagünleri
		5.2.2. Haliçler (Nehir ağızları)
		5.2.3. Deniz ve okyanus

3.2.1.4 Başlangıçta tutulan yağış miktarı

Havza yüzeyine düşen yağışın tamamı akışa geçmez. Yağışın bir kısmı, akışa geçmeden önce toprağı nem durumuna bağılı olarak toprak tarafından tutulur ve depolanır. Toprak tarafından tutulan bu su, başlangıçtaki tutulan yağışı ifade etmektedir (Şekil 3.6). I_a birçok parametreye bağılı olması sebebiyle sabit bir değeri yoktur. Çoğunlukla I_a değeri, S değerinin 0,2 katı olarak kabul edilir (SCS, 1987; Apaydın 2004a, 2004b; Apaydın, 2007; Özcan, 2017).

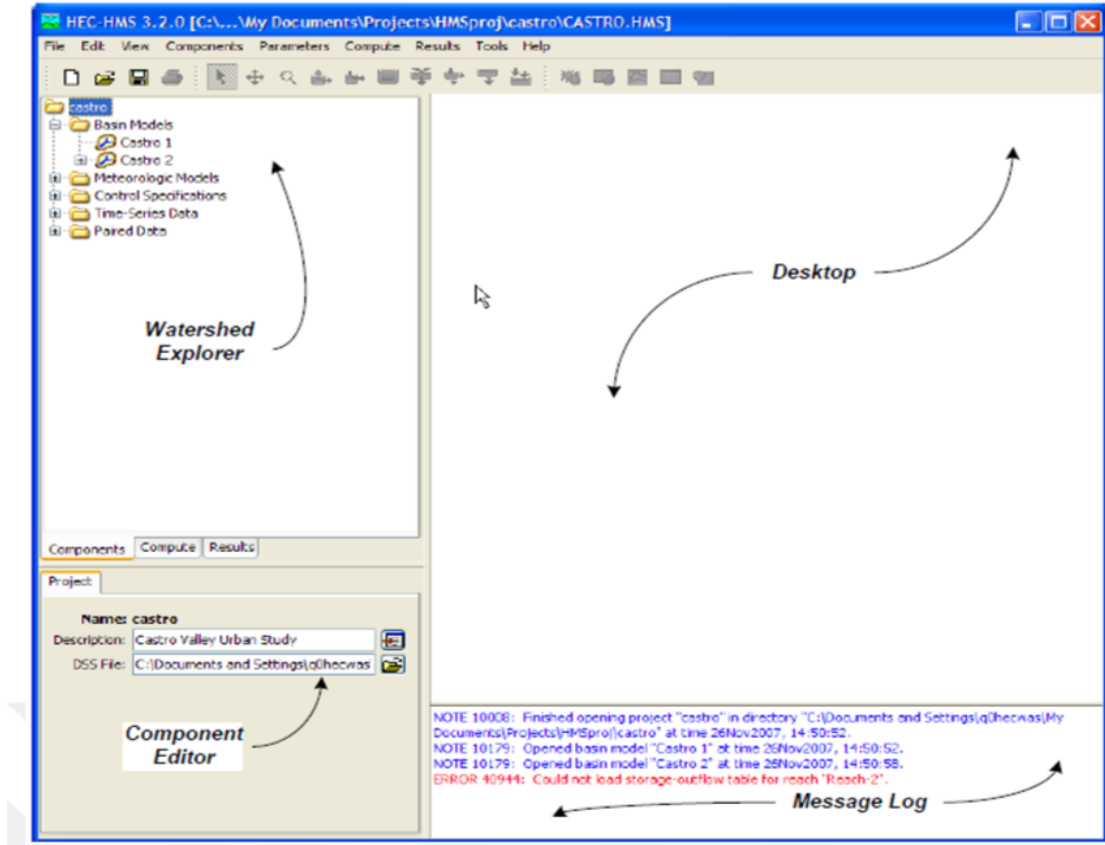


Şekil 3.6 Süzülme-tutulma ve yağış fazlası ilişkileri (Chow ve ark.,1988)

3.3 HEC-HMS

Hidrolojik modelleme, su kaynaklarında akım tahminlerinin yapılması, buna bağlı olarak planlama ve yönetim kararlarının alınmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Küresel ısınmanın olumsuz etkileri, su miktarının azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum, hidrolojik benzeşimlerle modelleme çalışmalarının yapılmasına ve geliştirilmesine sebep olmuştur (Uğurluoğlu, 2017). Havza yönetim ve planlama çalışmalarında, taşkın ve kuraklık analizi, akım tahmini ve hidrolojik model oluşturmada UA ve CBS teknolojileri önemli bir yere sahiptir (Dingman, 2002; Taş ve Şorman, 2020). Hidrolojik modelleme için birçok yazılım geliştirilmiş olup en yaygın olarak kullanılanlardan birisi ise HEC-HMS yazılımıdır. HEC-HMS ile birlikte diğer yazılımların ortak kullanımı, hidrografların elde edilmesini, mevcut su miktarının planlaması, şehirleşmenin su miktarına etkisi, akış tahmini, olası taşkınlar can ve mal kayıplarını azaltma, taşkın ovasının düzenlemesi gibi hidrometeorolojik çalışmaları mümkün hale getirmiştir (HEC-USACE, 2018).

HEC-HMS sürekli ve olay bazlı simülasyonlarda, akışı simüle edebilmesi, yazılımın sade ara yüze sahip olması ve yaygın olarak kabul edilen yöntemlerin kullanımı nedeniyle birçok hidrolojik çalışmada popüler hale gelmiştir (Halwatura, 2013; Tassew, 2019). Bu model dendritik (ağaçsı) havza sistemlerinin yağış-akış süreçlerini bilgisayar ortamında simülasyonlar yardımıyla tahmin etme kapasitesine sahiptir ve modelin ara yüzü Şekil 3.7’de gösterilmiştir (HEC-USACE, 2018).



Şekil 3.7 HEC-HMS’ nin kullanıcı ara yüzü (HEC-HMS, v.4.1.)

Hidrometeorolojik bir model olan HEC-HMS, havza ve meteorolojik modelin oluşturulması ve kontrol özelliklerinin ayarlanması olmak üzere üç ana bileşenden meydana gelir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8 HEC-HMS havza modelinde bileşenler (HEC-HMS, v.4.1.)

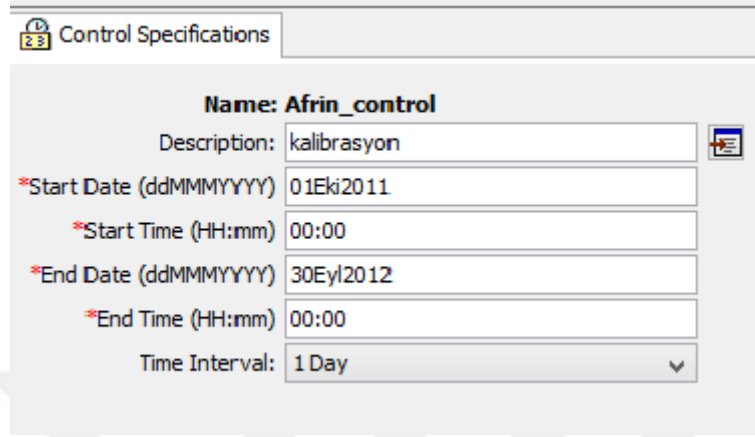
Havza modelinde, havzanın fiziksel görünümü, alt havzalar, bağlantı noktaları, akış kanalları, rezervuar gibi hidrolojik elemanların atanmasıyla elde edilmektedir (Çizelge 3.3). Belirlenen her bir alt havza için taban akımı, kayıp ve dönüşüm metotları belirlenmelidir. Her bir metot için farklı girdi verilerine ihtiyaç duyulmaktadır (HEC-USACE, 2018).

Çizelge 3.3 HEC-HMS havza modelinde fiziksel elemanlar (HEC-USACE, 2018)

Hidrolojik Eleman	Açıklama
Alt Havza (Subbasin) 	Alt havza, fiziksel havzayı temsil etmek için kullanılır. Yağış verisi eklendiğinde, alt havzadan çıkan akış, yağış kayıplarının çıkarılması, yüzey akışının hesaplanması ve taban akışı eklenmesi ile hesaplanmaktadır.
Akış Kanalı (Reach) 	Akış kanalı havza modelinde akışı iletmek için kullanılır. Akış kanalına giren akış, bir veya daha fazla memba kolundan gelebilir.
Bağlantı Noktası (Junction) 	Bağlantı noktası, farklı membalardan gelen akışı birleştirmede kullanılır. Bağlantı noktasına giren akış, bir veya daha fazla kaynak elemanından gelebilir. Çıkan akış ise, tüm girenleri toplayarak hesaplanır.
Kaynak (Source) 	Kaynak elemanı, havza modelinde bulunan su kaynaklarını modelde temsil etmek için kullanılır. Kaynak elemanına giren akış yoktur. Kaynaktan çıkan akış ise, kullanıcı tarafından tanımlanır.
Gömülüm (Sink) 	Membadan gelen bir veya daha fazla akış gelebilir. Ancak, elamanın mansabından çıkan akış yoktur.
Hazne (Reservoir) 	Hazne, bir haznenin neden olduğu bir hidrografın tutulmasını ve zayıflatılmasını modellemek için kullanılır. Rezervuara giren akış, bir veya daha fazla memba elemanından gelebilir. Rezervuardan çıkan akış, üç öteleme yönteminden biri kullanılarak hesaplanabilir.
Derivasyon (Diversion) 	Derivasyon, ana kanaldan ayrılan akışı modellemek için kullanılır. Derivasyona giren akış, bir veya daha fazla akarsudan elemanından gelebilir. Derivasyondan çıkan akış, yönlendirilen ve yönlendirilmeyen akıştan oluşur.

HEC-HMS' de diğer ana bileşen meteorolojik model yöneticisidir. Meteorolojik model yöneticisinde yağış, evapotranspirasyon ve kar erimesi gibi meteorolojik model girdileri yer almaktadır. Kontrol yöneticisinde ise simülasyonun başlangıcı, bitişi ve zaman

aralığı belirlenir. Farklı tarih veya saatlerde gerçekleştirmek istenen her simülasyon olayı için çoklu kontrol özellikleri oluşturulabilmektedir (Şekil 3.9). Bir yağış-akış benzeşim simülasyonu, havza ve meteorolojik modelinin oluşturulmasına ek olarak kontrol özelliklerinin tamamlanmasından meydana gelir.



Şekil 3.9 Simülasyonun başlama ve bitiş tarihi ve saati zaman aralığının oluşturulması (HEC-HMS, v.4.1.)

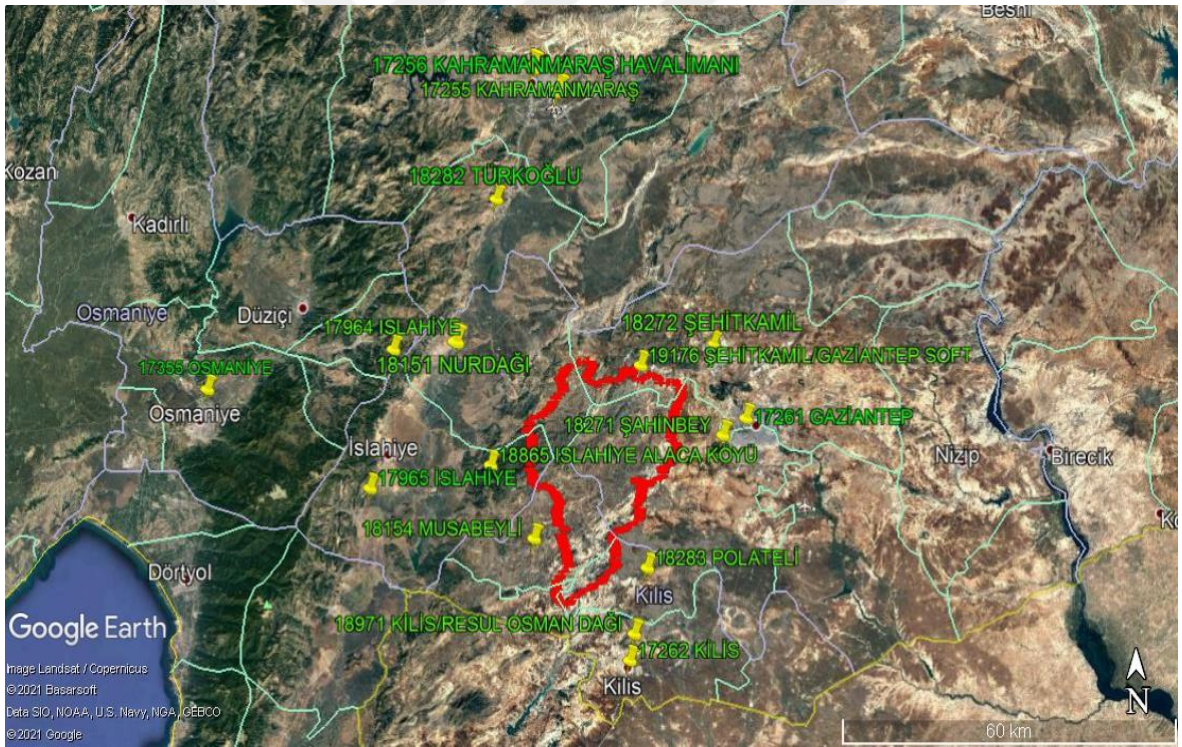
3.4 Meteorolojik Veri Setleri

Hidrolojik çalışmalarda gerekli yağış, akış ve sıcaklık gibi hidrometeorolojik veriler için MGM ve DSİ kurumlarının arşivleri kullanılmaktadır. Hidrolojik çalışmada kullanılacak yöntemler için gerekli meteorolojik verilere ve bu verilerin miktarına karar verilmelidir (Doğan, 2018). Afrin Köprüsü Havzasına ait akım verilerini DSİ’ den; sıcaklık ve yağış gibi verileri ise havza civarında bulunan MGM’ ye ait istasyonlardan elde edilmiştir. Çalışma havzasında DSİ’ ye ait iki adet AGİ bulunmaktadır. AGİ’ lerden biri havza içerisinde, diğeri havza çıkışında bulunmaktadır. Ancak çalışma havzası içerisinde bulunan D19A033 nolu AGİ, baraj inşaatının başlamasından dolayı 2016 yılında sökülüştür. Bu sebeple havza çıkışında yer alan D19A006 nolu Afrin Köprüsü istasyonundan günlük akım verileri elde edilmiştir.

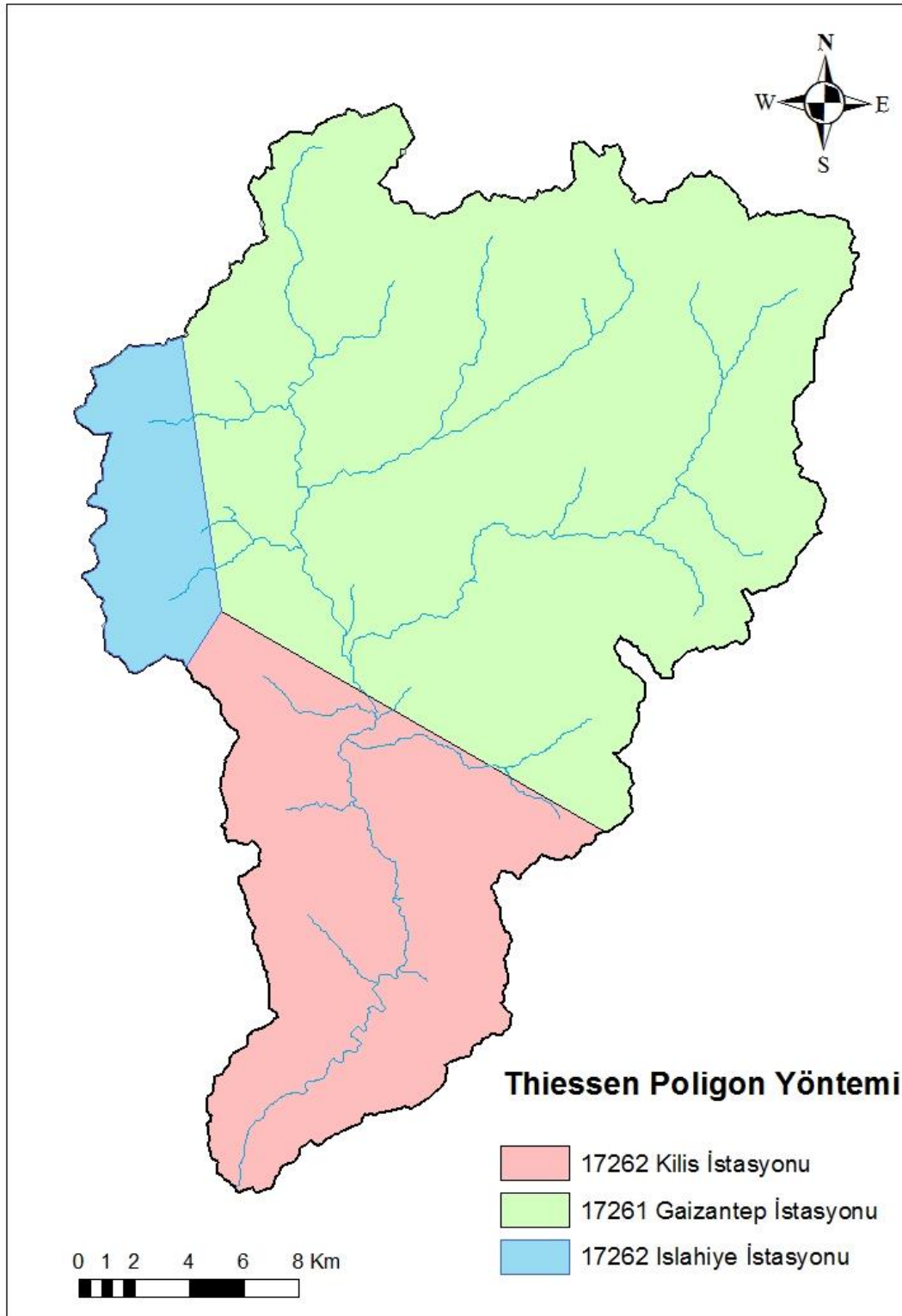
3.4.1 Yağış

Meteoroloji Genel Müdürlüğüne ait, havza çevresinde 16 adet yağış istasyonundan yağış verileri temin edilmiştir. Bu istasyonların yeri Şekil 3.10’ da gösterilmektedir. Ancak bu istasyonlardan bazılarında uzun yıllara ait verilerin bulunmamasından ve/veya havza hidrolojisini yansıtmadığından dolayı bu çalışmada Gaziantep (17261), İslâhiye (17965), Kilis (17262) yağış istasyonlarına ait yağış verileri kullanılacaktır.

Yağış istasyonlarından elde edilen yağış verilerinin değerlendirilmesinde farklı yöntemler bulunmaktadır (Pektaş, 2012; Yanmaz, 2013; Ercan, 2016). Bu yöntemler aritmetik ortalama yöntemi, Thiessen yöntemi, izohiyet yöntemidir. Yer şekilleri ve iklim şartlarının olumsuz etkilerinden dolayı yağış istasyonlarının yerleşimi düzenli olmayabilir. Bu etkiler göz önünde bulundurulduğunda Thiessen yöntemi, aritmetik ortalama yöntemine göre daha iyi netice vermektedir (Ulugür, 1972; Görcelioğlu, 1983). Bu tez çalışmasında yağış istasyonlarının üniform dağılmaması sebebiyle Thiessen yöntemini kullanılmıştır. Thiessen yöntemi Arc-GIS yazılımının *Thiessen Poligon oluşturma aracı* kullanılarak istasyonların etki alanlarına göre havzayı alt havzalara ayrılmıştır (Şekil 3.11). Elde edilen alt havzaların alanı öznitelik tablosunda yer alır ve toplam havza alanına bölünür. Böylece her alt havzanın etki değerleri hesap edilebilir (Uğurluoğlu, 2017). Hesaplanan bu etki değerlerinin, etkilediği yağış istasyonundaki yağış verileri ile çarpılmasıyla ortalama alansal yağış değerleri bulunmuştur.



Şekil 3.10 Çalışma havzası çevresindeki yağış istasyonları



Şekil 3.11 Thiessen poligon yöntemi

3.4.2 Evapotranspirasyon

Evapotranspirasyon (ET), su kütlelerinden kayıplara ek olarak su havzasındaki bitkilerin büyümesine bağlı olarak bitkinin terleme ve buharlaşma yolu ile kaybettiği toplam su miktarını ifade eder (Anonim, 2021b). ET su kaynaklarının planlama ve yönetim faaliyetleri, bütçe planlamaları konusunda çok önemli bir parametredir. ET' nin bilinmesi herhangi bir bölgeye veya uygulamaya ne kadar ne zaman ve nasıl su tedarik edileceğine dair somut bir fikir sağlamaya ek olarak su kaynağının israfı önlenir (Poyen ve ark., 2018). Kütle transferine dayalı, radyasyon bazlı, sıcaklığa bağlı, bunların kombinasyonuna baz alan ve su bütçesi yöntemleri olmak üzere buharlaşmanın hesaplanması ve ölçülmesi için pek çok yöntem bulunmaktadır (Xu ve Singh, 2001).

Gelen yağışların %50' sinin hatta bölge ve iklime bağlı olarak %60' ının tekrar atmosfere dönmesinden ET sorumludur; bu yüzden hidrometeorolojik benzeşimlerde ET' nin hesaba katılması önem arz eder. HEC-HMS modelinde ET hesaplamalarında birçok modül mevcuttur ve bunlardan birisi de aylık ortalama metodudur. Aylık ortalama yöntemi, ölçülen tava buharlaşması verileriyle çalışılmak üzere tasarlanırsa da veri setlerinin düzenli olarak her ay olmadığından; buharlaşma verilerinin nasıl toplandıklarına bakılmaksızın, tipik olarak her ay buharlaşan suyun ortalama derinliği olarak sunulur (HEC-USACE, 2018). Bu bağlamda gerek meteorolojik verilerin kısıtlı olması gerekse hesap kolaylığı noktasında sıcaklığa bağlı buharlaşma verileriyle temin edilmesi daha kolaydır.

Elağca (2020), Ceyhan Havzasında bulunan Ballıkaya alanında buharlaşma verilerinin olmaması sebebiyle, girdi değişkeni olarak sadece sıcaklık gerektiren buharlaşma yöntemlerini uygulamıştır. Sıcaklığa bağlı olarak Blaney - Criddle, Kharrufa ve bu modellerin modifiyeli yaklaşımlarının uygulanabilirliğini araştırmıştır. Bu çalışma neticesinde, bölgede buharlaşma tahminlerinde bu yöntemlerin içerisinde en iyi sonucun Kharrufa (1985) yaklaşımı ile elde edildiğini ifade edilmiştir. Bu çalışmada da evapotranspirasyon verilerinin olmaması ve Ballıkaya Havzasının çalışma alanına yakınlığı sebebiyle Elağca' nın (2020)'de elde ettiği buharlaşma değerleri kullanılacaktır.

Kharrufa Metodu:

1985 yılında Kharrufa tarafından modellenen bu denklem, buharlaşmanın sıcaklık ve gündüz saatlerinin korelasyonu sonucu oluşmuştur (Denklem 3.9). Burada EP , potansiyel evaporasyon miktarını, p , yıllık gündüz saatlerinin ortalama yüzdesini (%); T_a , ortalama hava sıcaklığını ($^{\circ}C$) ifade etmektedir (Xu ve Singh, 2001).

$$EP = 0.34 * p * T_a^{1.3} \quad (3.9)$$

HEC-HMS' de aylık ortalama yöntemi için iki adet girdi parametresi bulunmaktadır. Bu parametreler buharlaşma ve tava katsayısıdır. Buharlaşma verileri için önceden de belirtildiği gibi Kharrufa metodu ile bulunacaktır. Aylık ortalama yöntemi için diğer girdi parametresi tava (pan) katsayısıdır. Tava katsayısı, Penman tavasındaki buharlaşmanın göl buharlaşmasına oranı olarak tanımlanmaktadır. Penman tavasındaki buharlaşma miktarı ile göl (hazne) yüzeyindeki buharlaşma miktarı aynı olmamaktadır. Bu durumu düzeltmek amacıyla tava katsayısı elde edilen buharlaşma değerleri ile çarpılır (HEC-USACE, 2018). Meteoroloji istasyonlarında nisan ve ekim ayları arasında buharlaşma yükseklikleri ölçülmektedir. Bu durum buharlaşma yüksekliklerinin tam olarak bilinmemesine sebep olmaktadır. Diğer havzalarda yapılan çalışmalarda tava katsayıları 0,6-0,8 arasında değerler almaktadır. Genellikle 0,7 değeri kullanılmaktadır (Özbek, 1989; Yıldız ve Gürer, 2014). Şekil 3.12' de çalışma alanı için kullanılan aylık ortalama buharlaşma (mm/ ay) ve tava (pan) katsayıları verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, tipik Akdeniz iklimine sahip bölgede buharlaşma miktarları yazın pik yaparken, kışın minimum seviyelere inmektedir. Maksimum (minimum) buharlaşma miktarı Temmuz (Ocak) ayında 275,4 (20,5) mm/ay' dır.

Monthly Average		
Met Name: Afrinkoprusuhavzası		
Month	Rate (MM/MONTH)	Coefficient
January	20,464	0,7
February	35,026	0,7
March	67,638	0,7
April	107,8778705	0,7
May	167,1428961	0,7
June	232,0051876	0,7
July	275,4426562	0,7
August	260,5968291	0,7
September	202,9162259	0,7
October	119,755471	0,7
November	56,9743424	0,7
December	27,7685286	0,7

Şekil 3.12 HEC-HMS modelinde kullanılan buharlaşma ve tava katsayısı parametreleri

3.5 Performans Değerlendirme İndisleri

Gözlem ve tahminlerin korelasyonu, kullanılan metotların gözlemlere yakınlığı performans değerlendirme indisleri ile ölçülebilmektedir (Yılmaz, 2015). Bu amaçla, çalışmada model performanslarını irdeleyebilmek için Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Bağıl Hata (MRE), Ortalama Karekök Hata (RMSD), Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC) olmak üzere dört farklı istatistiksel kriter kullanılmıştır.

3.5.1 Ortalama Mutlak Hata (MAE: Mean Absolute Error)

MAE, modeldeki hataların (yönlerini dikkate almadan) ortalama büyüklüğünü ölçer ve her tekil hatanın ortalamada eşit olarak ağırlıklandırıldığı doğrusal bir skordur (Denklem 3.10). Bu indis iki değişken arasındaki mutlak hata değerlerinin toplamı olup aralığı 0' dan ∞ a kadardır. Burada, değerin sıfıra yakınsaması simülasyon performanslarının mükemmelliğine işaret ederken, i sembolü her bir zaman adımını, n toplam veri nokta sayısını ve Q_s (Q_o) simülasyon (gözlem) debi değerlerini ifade eder.

$$MAE (m^3/sn) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Q_{s,i} - Q_{o,i}| \quad [0 \sim \infty] \quad (3.10)$$

3.5.2 Ortalama Bağlı Hata (MRE: Mean Relative Error)

Modelin simülasyon değerleri ile gözlemlenen değerlerinin arasındaki ortalama hatayı ölçer. Ortalama bağlı hata $-\infty$ ve $+\infty$ arasında değişir. $+\infty$ a yaklaşan değerler tahmin değerinin gözlemlenen değerden fazla olduğunu, $-\infty$ a yaklaşan değerler tahmin değerinin gözlemlenen değerden az olduğunu göstermektedir. $MRE=0$ olması tahmin değerler ile gözlemlenen değerler arasında mükemmel uyum olduğu göstermektedir (Dis ve ark, 2015). MRE Denklem 3.11' deki gibi hesaplanmaktadır ve denklemde kullanılan simgeler için Denklem 3.10' daki tanımlamaların aynısı geçerlidir.

$$MRE (-) = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})}{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}} \quad [-\infty \sim \infty] \quad (3.11)$$

3.5.3 Ortalama Karekök Hata (RMSD: Root Mean Square Deviation)

Ortalama Karekök Hata, modelin simülasyon değerleri ile gözlemlenen değerleri arasındaki tahmin hatasını ölçer. RMSD Denklem 3.12' de hesaplanırken, denklemde kullanılan simgeler Denklem 3.10' da açıklanmıştır. RMSD değerleri 0 ile $+\infty$ arasında yer alır. Burada, RMSD' nin sifıra yakınsaması, gözlemlenen ve simüle edilen değerler arasındaki hatanın minimize olduğunu gösterirken, $RMSD=0$ durumu hata olmadığını gösterir (Ritter ve Carpena, 2013).

$$RMSD (m^3/sn) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - Q_{o,i})^2}{n}} \quad [0 \sim +\infty] \quad (3.12)$$

3.5.4 Pearson Korelasyon Katsayısı (PCC: Pearson Correlation Coefficient)

Korelasyon katsayısı, iki sayısal ölçüm arasındaki ilişkinin olup olmadığını, ilişki varsa ilişkinin yönü ve büyüklüğünü belirten katsayıdır. Bu katsayı, $[-1 \sim 1]$ arasında bir değer alırken; bu katsayının $PCC=0$ değerinde olması ölçüm yapılan iki sayısal ölçüm arasında bir ilişkinin olmadığını göstermektedir. PCC Denklem 3.13 ile hesaplanabilir.

$$PCC (-) = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)(Q_{o,i} - \bar{Q}_o)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - \bar{Q}_s)^2 \sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2}} \quad [-1 \sim 1] \quad (3.13)$$

Denklem 3.10' daki kullanılan singeler için Denklem 3.13' teki tanımlamaların aynısı geçerlidir. Ek olarak $\overline{Q}_s$ simüle edilen debilerin ortalamasını, $\overline{Q}_o$ gözlemlenen debilerin ortalamasını ifade eder.



4. HAVZA JEOMORFOLOJİSİNİN BELİRLENMESİ

4.1 Havza Sınırının ve Eğri Numarasının Elde Edilmesi

4.1.1 Havza Sınırının Belirlenmesi

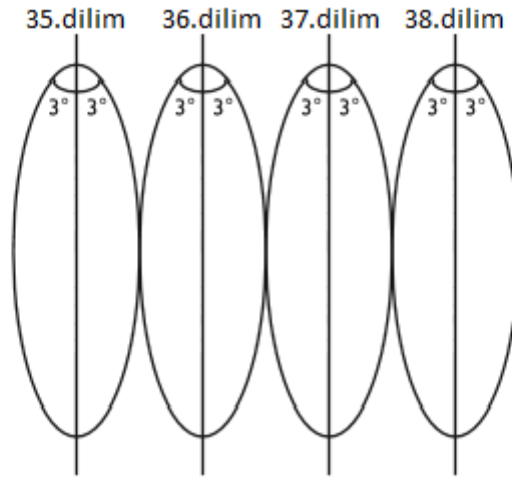
Üzerine düşen yağış sularını belirli bir akarsu kesitine gönderen ve bir su ayırım çizgisiyle ayrılan alana, hidrolojik ve topoğrafik üniteye akarsu havzası denilmektedir (Ersoy, 2016). Havzalar, su kaynaklarının mevcut su potansiyelini ve niteliğini koruma, suda yaşayan canlıların hayatlarını devam ettirebilmesi, olası taşkın kuraklık gibi doğal afetlerdeki, mal ve can kayıplarını önleme gibi amaçlar doğrultusunda yönetilmesi ve planlanması gereken bir hidrolojik yapıdır (Williams ve ark., 1997; Köseoğlu ve Özdemir, 2013).

Sayısal yükseklik modelinin CBS yazılımına aktarılmasıyla havzanın sınırları ve diğer özellikleri belirlenmektedir. SYM, belirli aralıklarla yapılan yükseklik verilerinin kullanılmasıyla arazi yüzeyi üç boyutlu olarak tanımlayan bir modeldir. SYM verileri raster veri formatına sahip olup, her piksel belirli bir yükseklik verisine sahiptir (Güreşçi ve ark., 2012). SYM’deki işlenmemiş verilerdeki boşluk ve çukurlarının giderilmesi, akış yönünün tayin edilmesi, akış birikiminin belirlenmesi işlemlerinden sonra havzanın fiziksel temsili, drenaj ağları, suyu drene ettiği noktalar gibi havza özellikleri belirlenebilmektedir (DeMers, 2002; Köseoğlu ve Özdemir, 2013). Bu işlem adımları raster formatındaki hücrelere ve bu hücrelerle komşu hücrelerin ilişkilerine dayanmaktadır (Aslan ve ark., 2004; Köseoğlu ve Özdemir, 2013).

Bu çalışmada kullanılan sayısal yükseklik modeli verileri 30 m çözünürlüklü gridlerden (hücrelerden) oluşmaktadır. SYM verileri Amerika Birleşik Devletleri Jeoloji Araştırmaları (USGS) kurumunun web sitesinden elde edilmiştir (Anonim, 2019a). Elde edilen sayısal yükseklik modelinde hidrolojik modelleme yapmadan önce çalışma alanı için projeksiyon dönüşümü yapılmalıdır. Bilindiği üzere dünyanın küre şekline sahip olması, üç boyuttan iki boyutlu düzleme aktarılırken haritada birçok bozulmaların meydana gelmesine sebep olmaktadır. Bu bozulmaları minimize etmek amacıyla matematiksel bağıntılar kullanılmakta olup bu işleme projeksiyon denilmektedir. Harita çiziminde kullanılan düzlemsel, silindirik ve konik projeksiyon olmak üzere üç farklı projeksiyon sistemi bulunmaktadır (Çabuk ve ark., 2018).

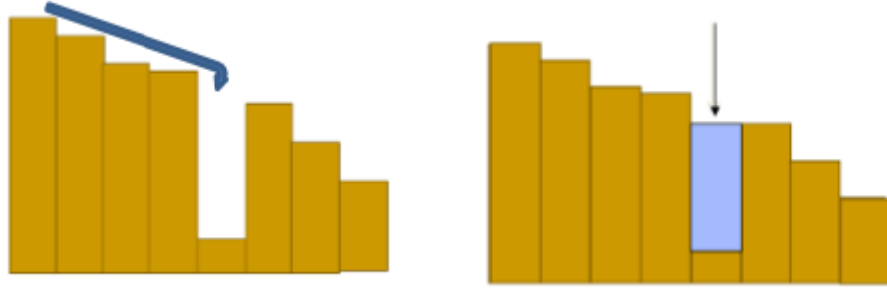
Silindirik projeksiyonlar, dünyanın etrafının silindir şeklinde bir kağıtla sarıldığı varsayılan, dünya merkezinden bir ışık kaynağının kâğıda iz düşürülmesi neticesinde haritaların oluşmasını sağlayan projeksiyonlardır (Çabuk ve ark., 2018). Silindirik projeksiyonların birçok çeşidi bulunmakla beraber, ülkemizde sıklıkla kullanılan Universal Transversal Merkator (UTM) projeksiyonu bu çalışmada kullanılacaktır.

UTM projeksiyonu, Amerikan Askeri Servisi tarafından üretilmiş, Türkiye’ de de çokça kullanılan bir projeksiyon türüdür. UTM projeksiyonunda, 180 derece meridyeninden başlamak üzere Dünya, 6 derecelik boylam aralıklı 60 dilime ayrılmıştır. UTM projeksiyonda sisteminde Türkiye için geçerli dört dilim bulunmaktadır. Bu dilim numaraları 35, 36, 37 ve 38’ dir (Çabuk ve ark., 2018) (Şekil 4.1). Çalışma alanı ABD Savunma Bakanlığı tarafından oluşturulan Dünya Jeodezik Sisteminden (WGS1984), UTM projeksiyonuna (ED1950) dönüştürülecektir. Böylece üç boyutlu yeryüzü iki boyutlu düzleme aktarılırken oluşması muhtemel hatalar en aza indirilmiş olacaktır. Çalışma alanının konumuna uygun olarak 37. dilim seçilmiştir.



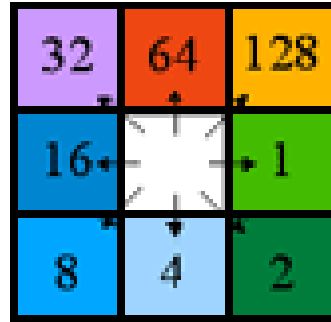
Şekil 4.1 Türkiye’ deki dilim numaraları (Çabuk ve ark., 2018)

Projeksiyon dönüşümü yapıldıktan sonra, SYM’ de yer alan hücrelerdeki hatalar *Boşluk Doldurma* aracı tarafından düzeltilir. Boşluk hatalarının giderilmesi sonucunda su yüksek olan hücre değerinden az olan hücre değerine doğru akacak böylece suyun akışı sağlanacaktır (Şekil 4.2). Sayısal yükseklik modelinde yer alan boşluklar giderildikten sonraki adımda ise akış yönü belirlenecektir.



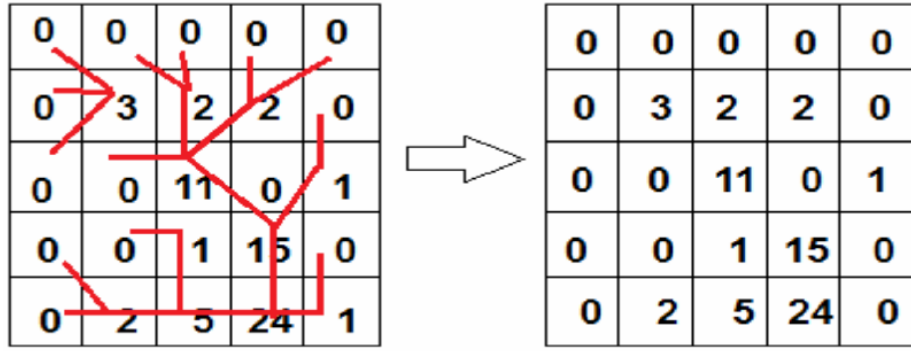
Şekil 4.2 Sayısal yükseklik modelinde yer alan boşluklar ve boşlukların doldurulması (Güreşçi ve ark., 2012)

SYM verilerindeki boşluk doldurma işleminden sonra için akış yönü hesaplanacaktır. Jenson ve Domingue (1988) çalışmalarında her bir hücrenin yükseklik değerinin olduğunu, suyun komşu hücreler arasındaki en büyük hücre değerinden en düşük hücre değerine doğru akacağını ifade etmişlerdir ve hücreleri D8 algoritmasına göre kodlamışlardır. Her hücrenin sekiz yönü bulunmaktadır ve bu yönler rakamlarla (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ve 128) ifade edilmektedir (Köseoğlu ve Özdemir, 2013; Anonim, 2020) (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 D8 algoritması kodları (Anonim,2020)

Elde edilen akış yönü verisi kullanılarak, hücrelerdeki kümülatif birikim değerleri hesaplanmıştır. Bu işlem adımının gerçekleşmesi ile havzadaki drenaj ağı tespit edilebilmektedir (Köseoğlu ve Özdemir, 2013). Şekil 4.4' te örnek bir hücrenin drenaj ağı ve akım yönüne bağlı olarak birikim değerleri gösterilmiştir. Sıfır değeri o hücrede akış bulunmadığını, 24 değeri ise en fazla kümülatif birikimin olduğu hücreyi ifade etmektedir (Köseoğlu ve Özdemir, 2013).



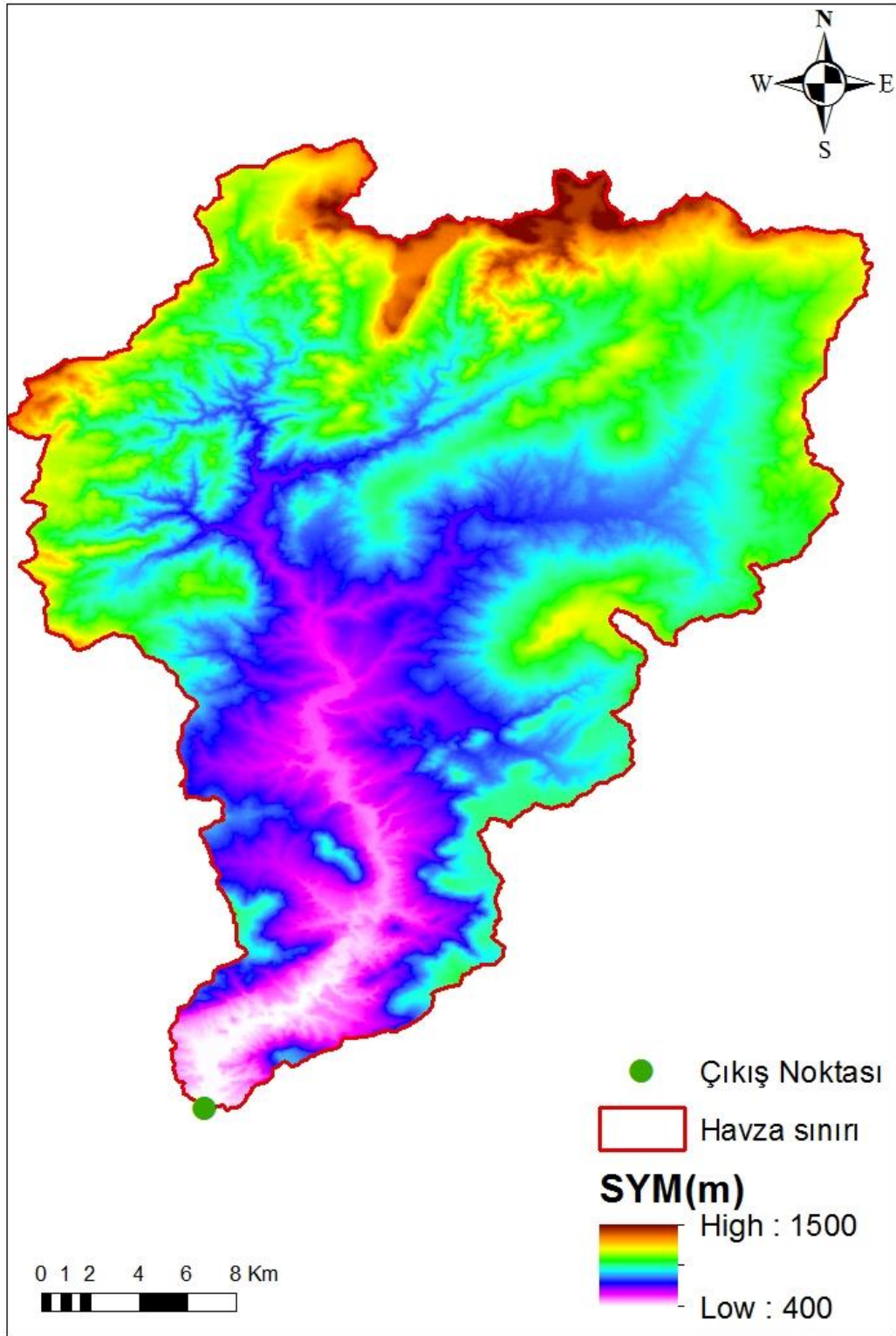
a) Akış Yönleri

b) Hücrelerdeki Akış Birikim değerleri

Şekil 4.4 Hücrelerdeki kümülatif birikim değerlerinin hesaplanması (Maidment, 2002)

Havzanın çıkış noktasını belirlemek amacıyla DSİ rasatlar bilgi sisteminden alınan AGİ noktalarının koordinatları Arc-GIS yazılımına manuel olarak girilir. Çıkış noktası (drenaj noktası) atanmasıyla bu noktaya doğru akacak akarsu ve ilgili havza belirlenir. Çıkış noktası belirlenen havza, raster veri formatından vektör veri formatına dönüştürülmelidir. Vektör verilerinde mekânsal veriler; nokta, çizgi ve kapalı çokgen ile ifade edilir. Raster verilerinde ise mekân hücrelerden oluşmakta ve her hücrenin bir değeri bulunmaktadır (Irwin ve ark., 2014; Elağca, 2020). Hücre boyutları küçüldükçe çözünürlük değeri artmaktadır.

Son adım olarak ise akış toplamı verileri kullanılarak *clip* işlemi uygulanır ve havza sınırı belirlenir (Şekil 4.5). Şekil 4.5’ te görüldüğü üzere havzaya ait en düşük kot değeri pembe renk ile en yüksek kot değeri ise kahverengi ile gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği gibi kuzeyden güneye doğru havza rakımı azalmaktadır ve AGİ noktası güney sınırında bulunmaktadır.



Şekil 4.5 Afrin Köprüsü Havzasının drenaj ağı noktası ve sınırları

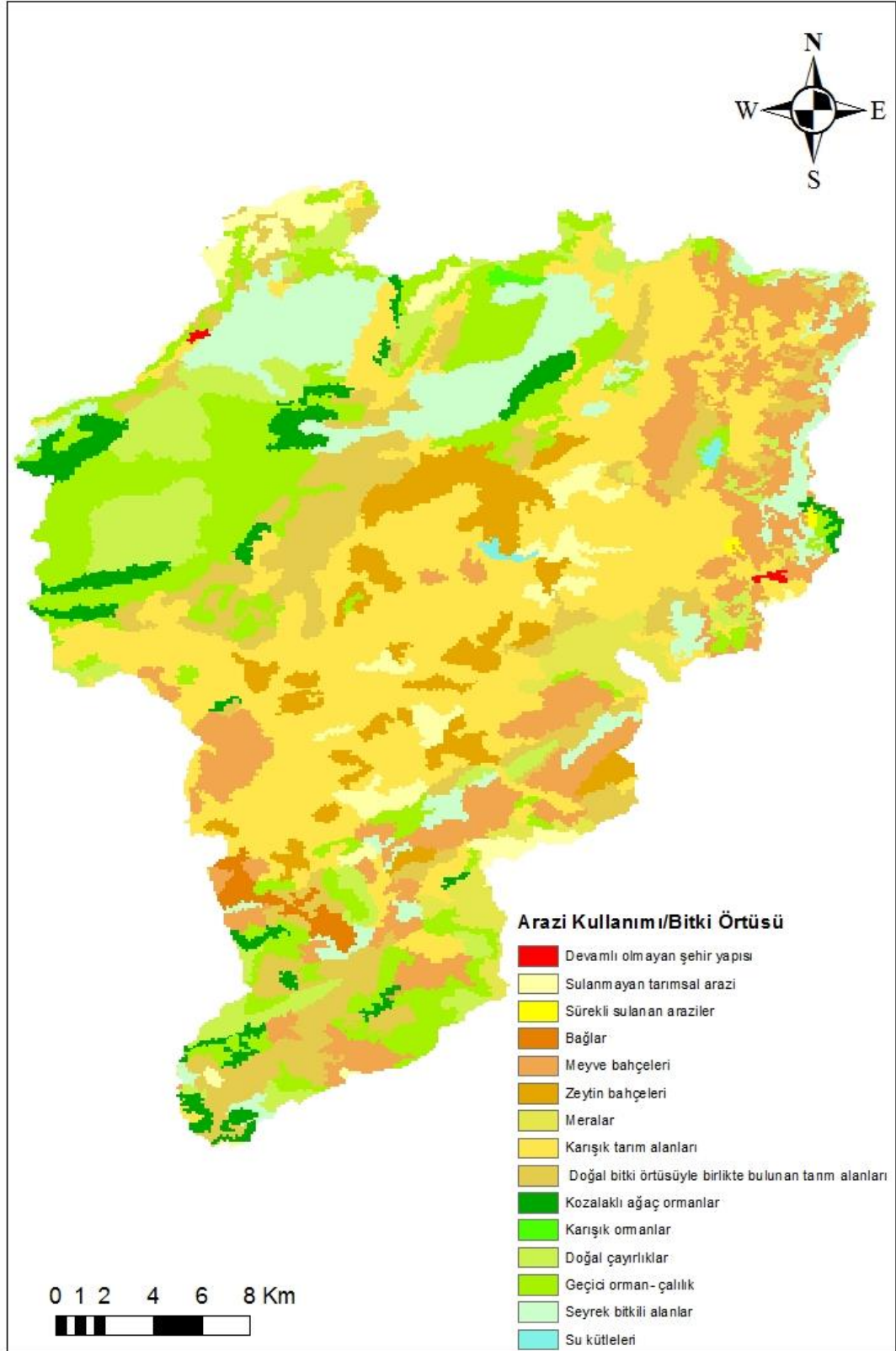
4.1.2 Eğri Numaralarının Elde Edilmesi

Eğri numarasının Arc-GIS yazılımında elde edilebilmesi için aşağıdaki verilerin önceden temin edilmesi gerekmektedir.

- Çalışma alanı olarak belirlenen havzanın Arc-GIS ortamında betimlenmesi
- Arazi Kullanımı / Arazi Örtüsü Haritası
- Toprak zemin cinsi haritası

AKAÖ haritası, Kopernik Arazi İzleme Servisinin (Copernicus Land Monitoring Service) veri tabanında yer alan raster ve vektör formatında bulunan CORINE verilerinin kullanılmasıyla elde edilecektir (Anonim, 2012). Bu çalışmada, 100 m mekânsal çözünürlüklü CORINE (2012) haritası raster formatında olup CBS ortamına yüklenmiştir.

Arazi Kullanımı/ Arazi Örtüsünün bilinmesi havzaya ait akım potansiyelinin ve sızma kapasitesinin bilinmesinde oldukça önemlidir. Bu amaçla, çalışma alanının AKAÖ haritası belirlenir. Devamlı olmayan şehir yapısı, sulanmayan tarımsal arazi, sürekli sulanan araziler, bağlar, meyve bahçeleri, zeytin bahçeleri, meralar, karışık tarım alanları, doğal bitki örtüsü ile birlikte bulunan tarım alanları, geniş yapraklı ormanlar, kozalaklı ağaç ormanlar, karışık ormanlar, doğal çayırliklar, geçici orman-çalılık, seyrek bitkili alanlar su kütleleri olmak üzere AKAÖ haritası on beş sınıfa ayrılmıştır (Şekil 4.6).

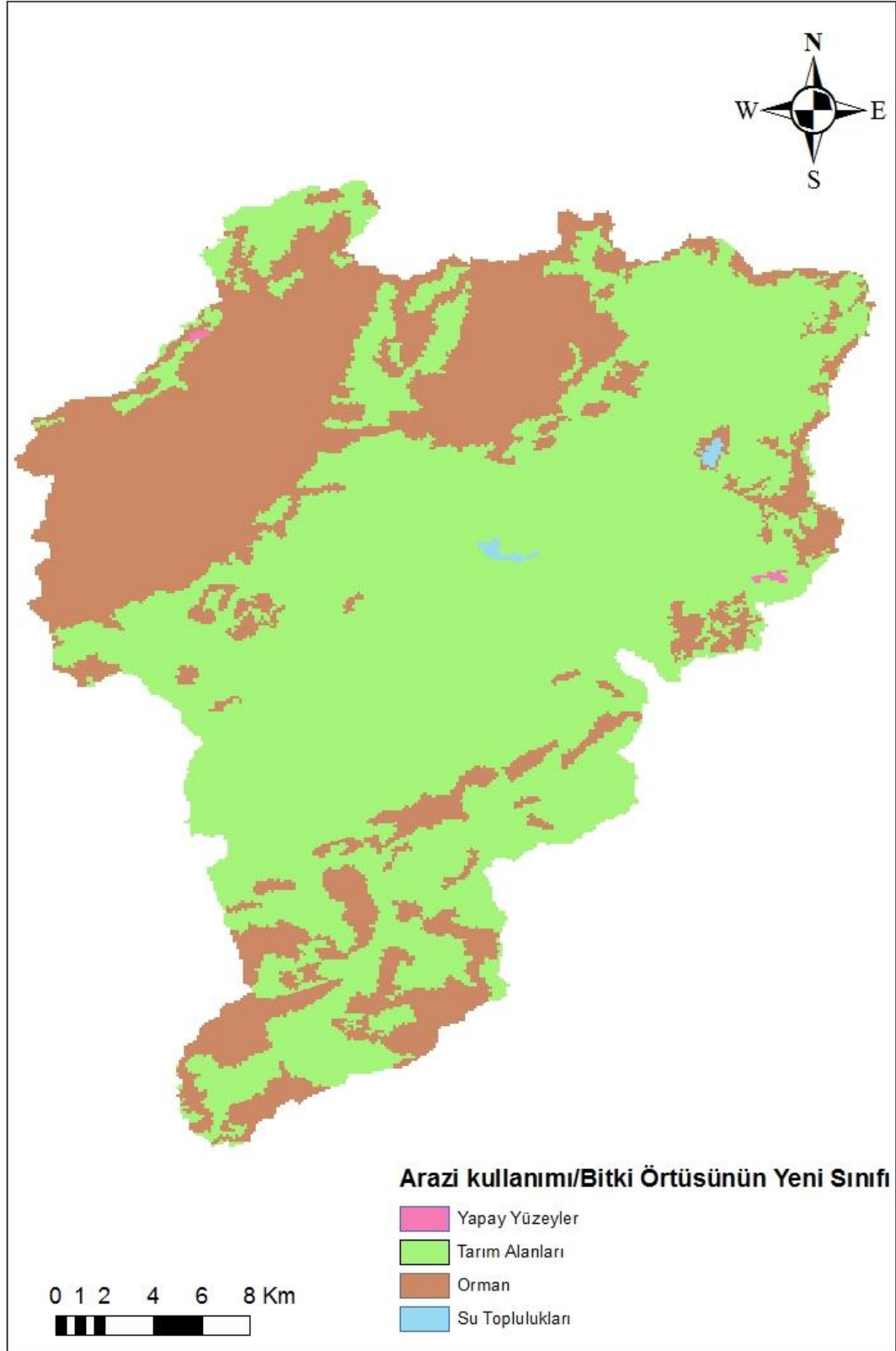


Şekil 4.6 Afrin Köprüsü Havzasının arazi kullanım haritası

Çalışma alanının arazi kullanım haritasını Başyigit (2004)' in belirttiği CORINE tablosuna (Çizelge 3.2) uygun olarak yeniden sınıflandırılması AKAÖ haritalarını yorumlamada da kolaylık sağlayacaktır. Arazi kullanım haritasının öznitelik tablosundan yararlanılarak oluşturulan Çizelge 4.1 ve Şekil 4.7' den de görüldüğü üzere havza alanının %64,79' u tarım arazilerinden, %34,90' ı ormanlık alanlardan, %0,2' si su alanlarından %0,09' u şehir yapısından oluşmaktadır. Havzanın büyük bir bölümü tarım arazilerden oluşmaktadır. Ormanlık alanlar havzanın çoğunlukla doğusunda ve güneyinde yer almakta, tarım alanları havzanın orta bölgesinde bulunmaktadır. Yapay yüzeyler ise çok az alan kaplamakta olup havzanın doğusunda batısında yer almaktadır (Şekil 4.7).

Çizelge 4.1 Afrin Köprüsü havzası arazi kullanım dağılımı

Sınıflandırma	Alan (km ²)	Alan (%)
Yapay yüzeyler	0,58	0,09
Tarım alanları	401,04	64,79
Ormanlık alanlar	215,98	34,90
Su alanları	1,25	0,20
Toplam	619	100



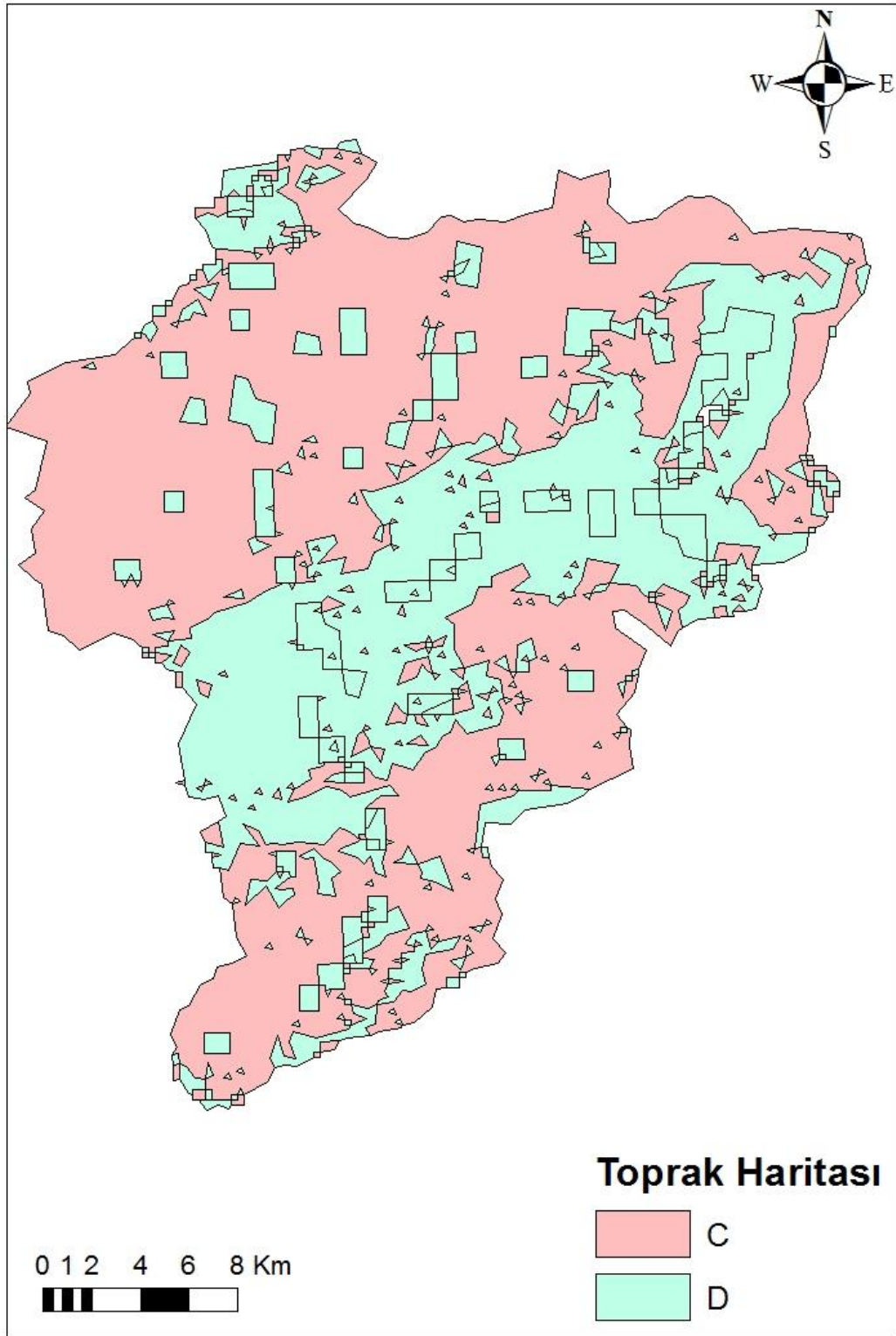
Şekil 4.7 Afrin Köprüsü Havzasını arazi kullanım haritasının yeniden sınıflandırılması

Diğer bir veri olan toprak zemin cinsi haritası için, eğri numarasına dayalı 250 m mekânsal çözünürlüklü küresel hidrolojik toprak grupları (HYSOGs250m) haritası NASA tarafından kurulan Oak Ridge Ulusal Laboratuvarının paylaştığı aktif arşiv merkezinin (ORNL-DAAC) veri tabanından elde edilmiştir (Anonim, 2019b).

Çalışma alanına ait zemin cinsini belirlemek amacıyla ORNL-DAAC veri tabanından elde edilen toprak haritası eklenir. Havza alanının bu haritadan kesilmesinden sonra haritada projeksiyon dönüşümü yapılmıştır. Toprak haritası *Metodoloji* bölümünde Çizelge 3.1’ de de belirtildiği gibi dört grupta sınıflandırılabilir. Toprak haritası öznitelik tablosunda, sızma derecelerine göre A (Düşük Akış Potansiyeli), B (Normal Akış Potansiyeli), C (Yüksek Akış Potansiyeli) ve D (Çok Yüksek Akış Potansiyeli) olmak üzere gruplara ayrılabilir (Şekil 4.8). Şekilden de görüldüğü üzere, Afrin Köprüsü Havzası infiltrasyon kapasitesinin az olduğu C ve D sınıflarından meydana gelmiştir. Çizelge 4.2’ de de görüldüğü gibi havzanın %59,98 (40,02)’ i hidrolojik toprak gruplarından C (D) grubuna aittir. Havzanın çoğunluğunun C grubuna ait olması havzanın sızma derecesinin az ve yüksek akış potansiyeli içerdiğini göstermektedir.

Çizelge 4.2 Afrin Köprüsü havzasının sızma derecelerine göre dağılımı

Hidrolojik Toprak Grupları	Alan (km ²)	Alan (%)
A	0	0
B	0	0
C	371,28	59,98
D	247,72	40,02
Toplam	619	100



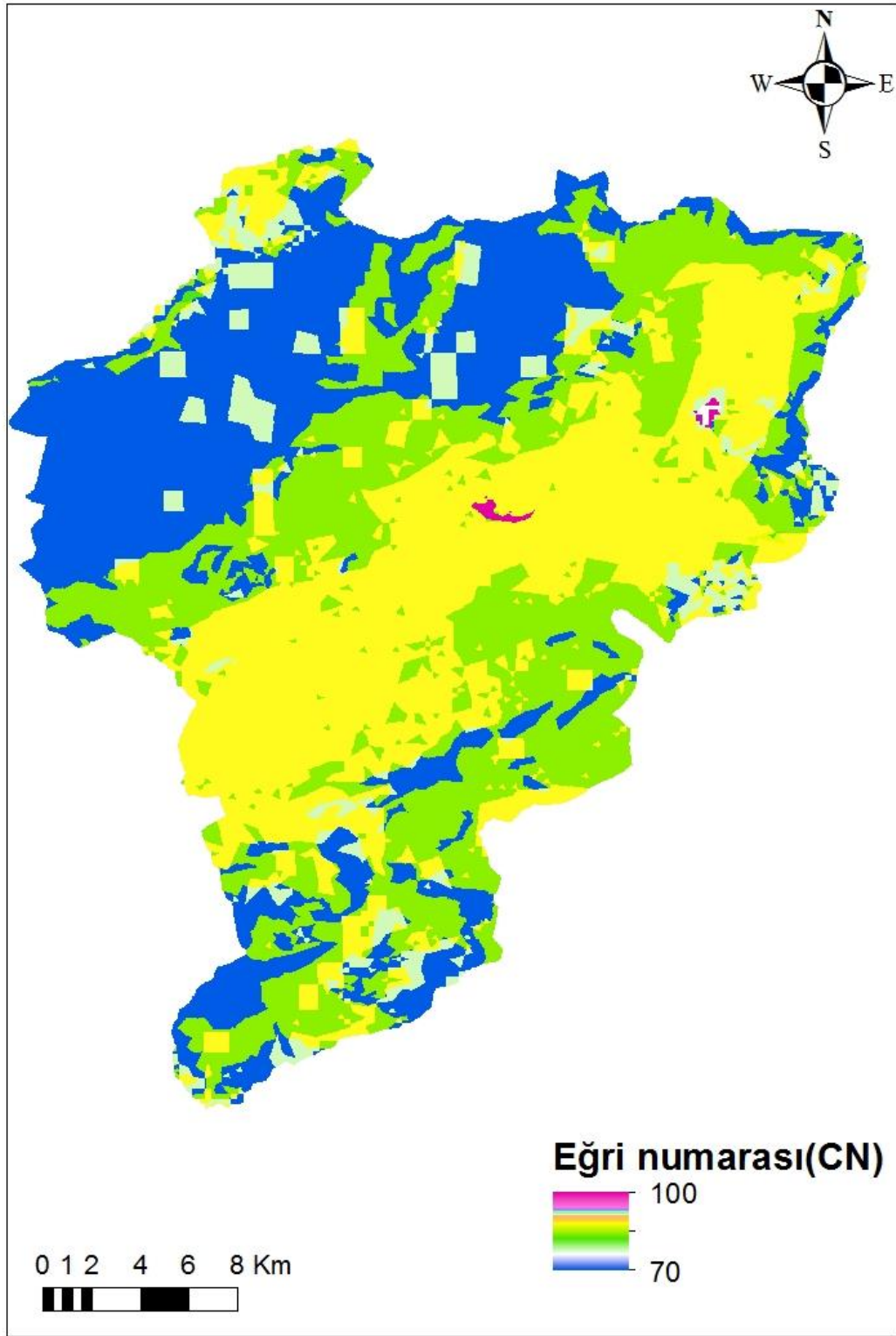
Şekil 4.8 Afrin Köprüsü Havzasının toprak haritasının sınıflandırılması

Yeniden sınıflandırılmış olan AKAÖ (Şekil 4.7) ve HTG (Şekil 4.8) haritaları raster veri formatından vektör veri formatına dönüştürülür. Vektör formatına dönüştürülmüş olan bu iki harita ise akabinde birleştirilir. Birleştirilen bu haritada Halley ve ark. (2000) da belirttiği CN tablosu oluşturularak su alanları, orman alanları, tarım alanları, yerleşim yerleri alanları için eğri numaraları değerleri girilir (Çizelge 4.3). Daha sonra ise HEC-GeoHMS kullanılarak çalışma alanının CN değerleri bulunur (Şekil 4.9).

Çizelge 4.3 Hidrolojik Toprak Gruplarına Göre Eğri Numarası (Halley ve ark., 2000)

Arazi Kullanımı/Örtüsü	Hidrolojik Toprak Gruplarına Göre Eğri Numarası			
	A	B	C	D
Yerleşim (Orta yoğunluklu)	57	72	81	86
Tarım alanları	67	77	83	87
Sık orman, koru	30	58	70	77
Su/Sulak Alanlar	100	100	100	100

Afrin Köprüsü Havzası için eğri numaraları 70 ile 100 değerleri arasındadır (Şekil 4.9). Havzaya ait en düşük eğri numaraları mavi renk ile gösterilirken, en yüksek eğri numaraları ise pembe renk ile gösterilmektedir. Şekilden de fark edileceği üzere D grubunun daha dominant olduğu tarım bölgeleri olan havzanın orta kısımlarındaki CN değerleri, kuzey ve mansaba yakın güney bölgesindeki CN değerlerinden daha büyük değerler aldığı gözlemlenmektedir. Bölgedeki hidrolojik toprak grubundan kaynaklı yüksek CN değerleri, tarım bölgelerindeki olası taşkın riskini oluşturmaktadır. Elde edilen eğri numaraları yağış-akış ve kayıp ilişkisini analiz etmek amacıyla geliştirilen SCS-CN yönteminde kullanılacaktır.



Şekil 4.9 Afrin Köprüsü havzasının eğri numaraları

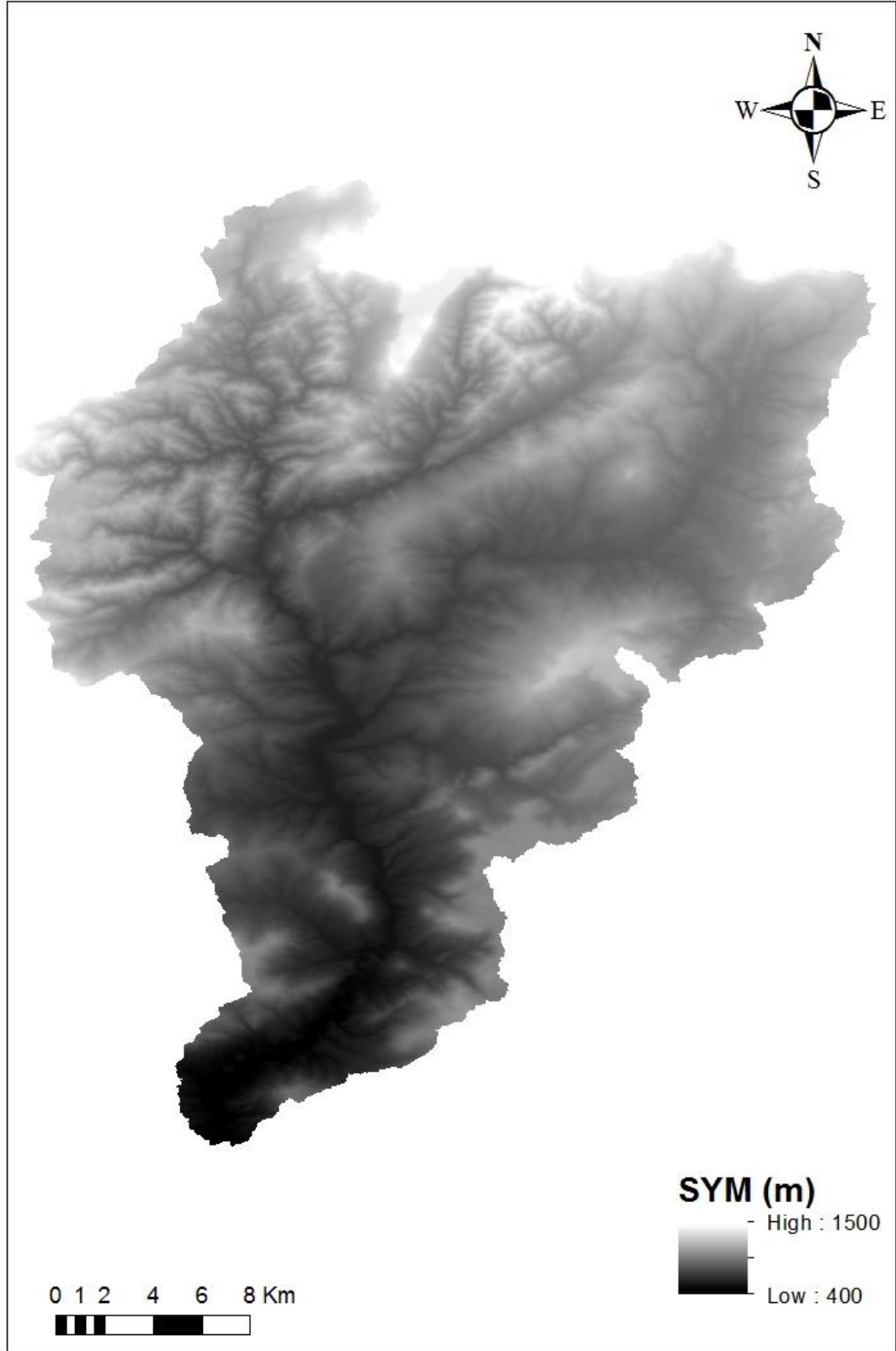
4.2 Havza Jeomorfolojisinin Belirlenmesi

Çalışmanın bu bölümünde havza özelliklerini belirlemek amacıyla Arc-GIS yazılımının uzantısı Arc-Hydro Modülü kullanılmıştır. Bu amaçla, aşağıdaki işlem adımları yapılarak arazi verileri ön işleme tamamlanır.

- Sayısal yükseklik haritasının elde edilmesi
- SYM verilerindeki boşlukların doldurması
- Akım yönünün belirlenmesi
- Akış toplamının bulunması
- Akış tanımlama
- Akış bölümlenme ve alt havzaların belirlenmesi
- Alt havzalar poligon oluşturma ve drenaj hattını belirleme
- Havzanın eğiminin bulunması

4.2.1 Sayısal Yükseklik Haritasının Elde Edilmesi

Havza parametrelerinin Arc-GIS yazılımında belirlenmesinde yazımına girdi verisi olarak SYM kullanılmaktadır. DSİ rasatlar verileri dikkate alınarak çalışma alanındaki akım gözlem istasyonları koordinatları kullanılarak sayısal yükseklik modeli elde edilerek Arc-GIS yazılımına yüklenir. Afrin Köprüsü Havzasının sayısal yükseklik modeli şekil 4.10' da gösterilmiştir. Havzanın minimum kot değeri 400 metre, maksimum kot değeri 1500 metredir. Havzada rakım değerleri güneyden kuzeye doğru artmaktadır.



Şekil 4.10 Afrin Köprüsü havzasının sayısal yükseklik haritası

4.2.2 SYM Boşlukların Doldurulması

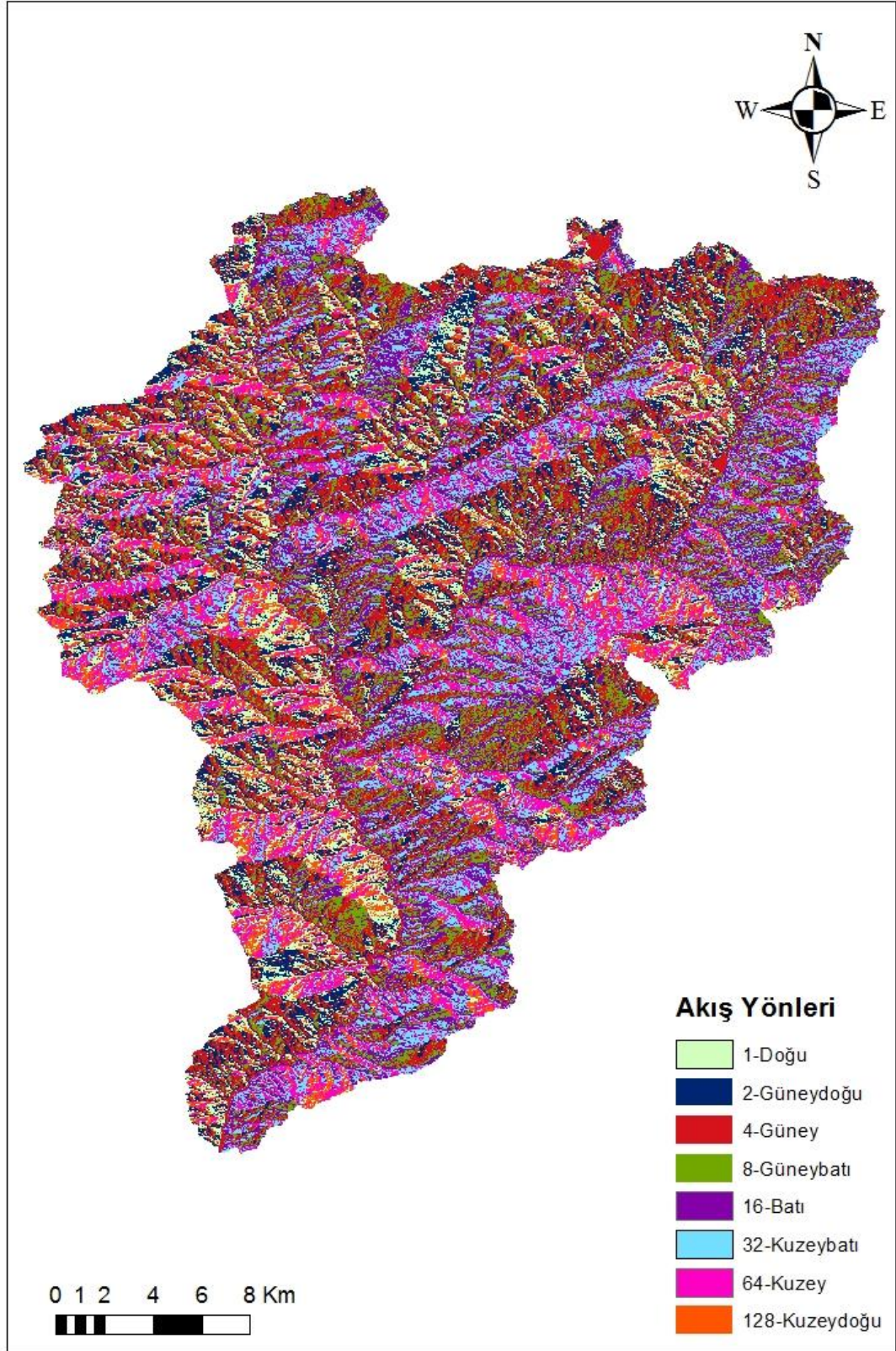
Sayısal yükseklik modelindeki hücrelerdeki boşluk ve çukurlar suyun bir hücreden diğer hücreye akışına engel olabilir. Bu boşlukların düzeltilmesi amacıyla SYM verilerine boşluk doldurma işlemi uygulanır. Böylece yüzey akışının kesintisiz olması sağlanır.

4.2.3 Akış Yönünün Belirlenmesi

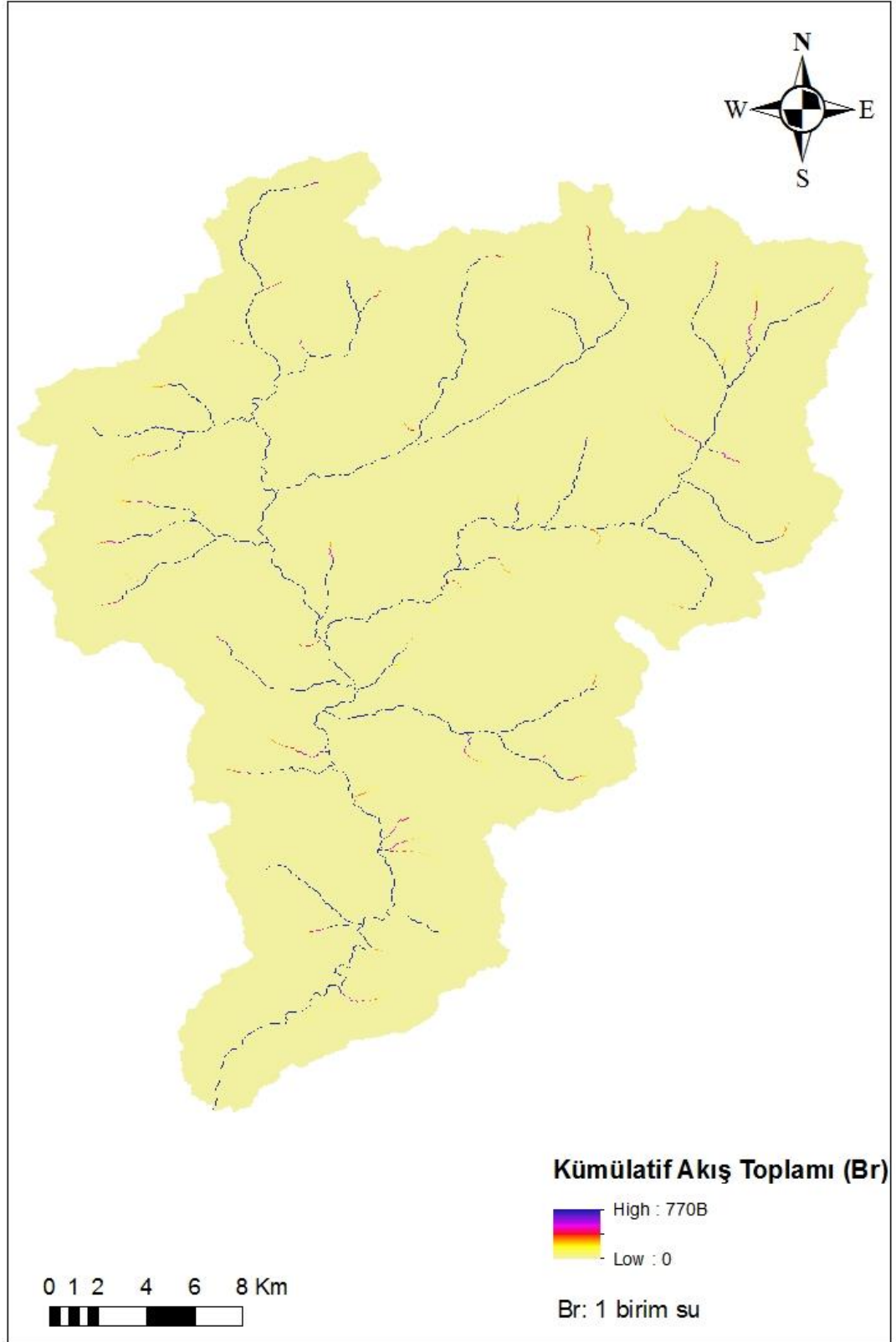
SYM verilerindeki boşluk doldurma işleminden sonra akış yönü belirlenir. Hücreler D8 algoritmasına göre kodlanarak her rakam bir yönü ifade etmektedir. Bu algoritmaya göre 1 rakamı Doğu, 2 rakamı Güneydoğu, 4 rakamı Güney, 8 rakamı Güneybatı, 16 rakamı Batı, 32 rakamı Kuzeybatı, 64 rakamı Kuzey ve 128 rakamı Kuzeydoğu yönlerini ifade eder. Afrin Köprüsü Havzası için akış yönleri şekil 4.11’ de gösterilmiştir. Elde edilen akış yönü verisi kullanılarak akış toplamı elde edilecektir.

4.2.4 Akış Toplamının Bulunması

Akış yönü verilerinin kullanılmasıyla kümülatif akış toplamı verileri elde edilmektedir. Kümülatif akış toplamında her bir hücrenin bir birim su bulundurduğu varsayılır. Afrin Köprüsü Havzası için akış toplamı şekil 4.12’ de gösterilmiştir. Akış toplamının en büyük olduğu değerler mavi renk ile daha az olan değerler ise pembe ve sarı renk ile gösterilmiştir (Şekil 4.12). Bu işlem adımı akış toplama verisinin girdi verisi olarak işlenmesiyle akış tanımı elde edilmektedir. Çalışma alanına göre varsayılan eşik değeri alanına uygun olarak akım tanımlaması yapılmaktadır.



Şekil 4.11 Afrin Köprüsü havzasının akış yönü haritası



Şekil 4.12 Afrin Köprüsü havzasının kümülatif akış toplamı

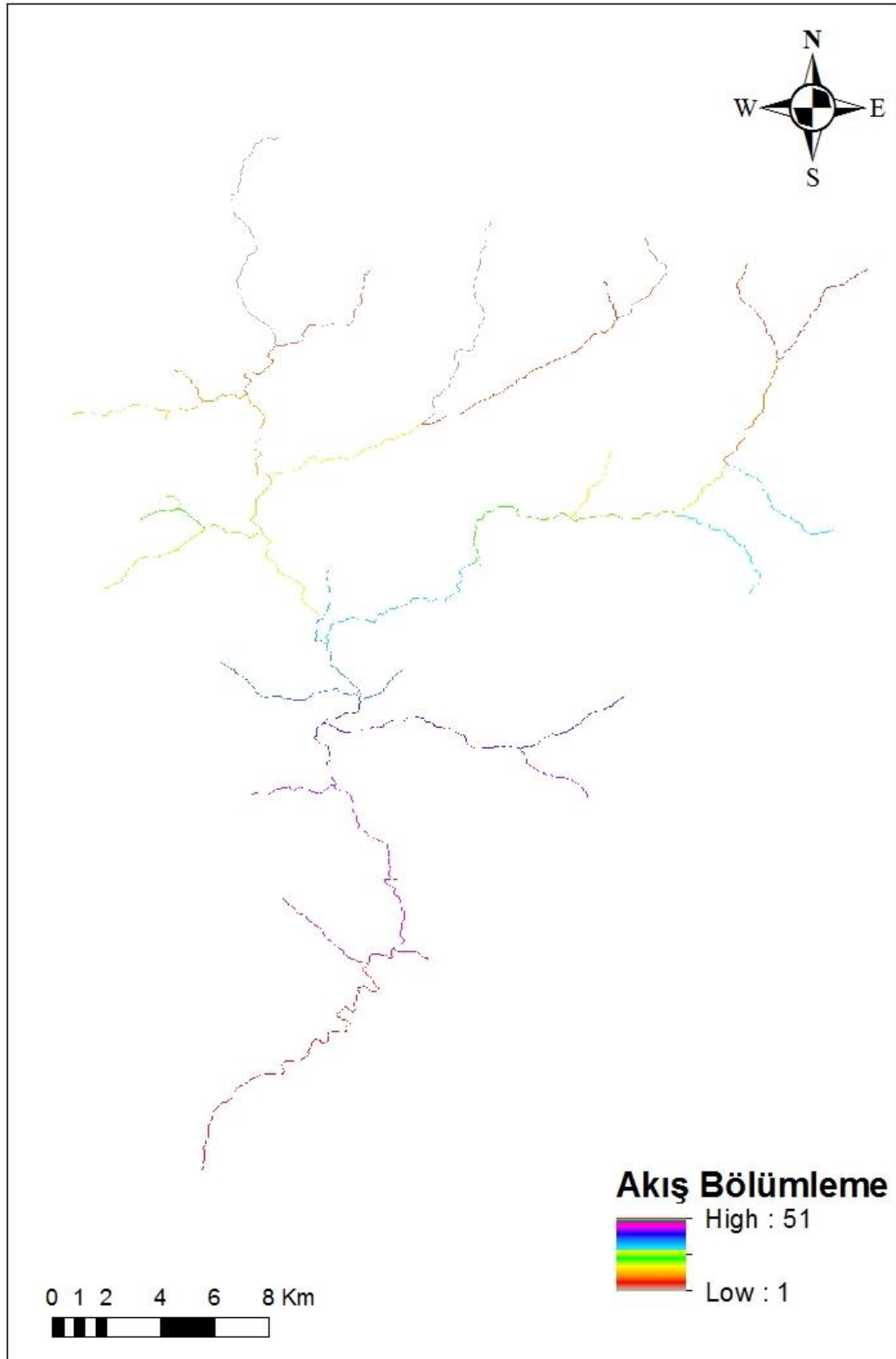
4.2.5 Akış Bölümleme ve Alt Havzaların Oluşturulması

Bu işlem adımında akış tanımı ve akış yönü verileri girdi verisi olarak kullanılmasıyla akış bölümleme verisi elde edilmektedir. Şekil 4.13' te de görüleceği üzere aynı hücresel değere sahip hücreler bir arada ve aynı renkte gösterilmektedir. Hücrelerdeki değerlerin değişmesiyle nehir kolları bölümlere ayrılmakta ve farklı renk ile gösterilmektedir (Merwade, 2011; Karadağ, 2012). Çalışma alanı için kullanılan akış bölümleme sayısı 51' dir.

Alt havzalar; akış yönü ve akış bölümleme verileri kullanılarak elde edilmektedir. Bölümlenen her bir akarsu kolu için alt havza tanımlanır. Böylece akış bölümleme sayısı kadar yani 51 alt havza tanımlanır. Tanımlanan bu alt havzalar raster veri formatında olup bir sonraki adımda vektör veri formatına dönüştürülecektir (Şekil 4.14).

4.2.6 Alt Havzalar Poligon Oluşturma ve Drenaj Hattı Belirleme

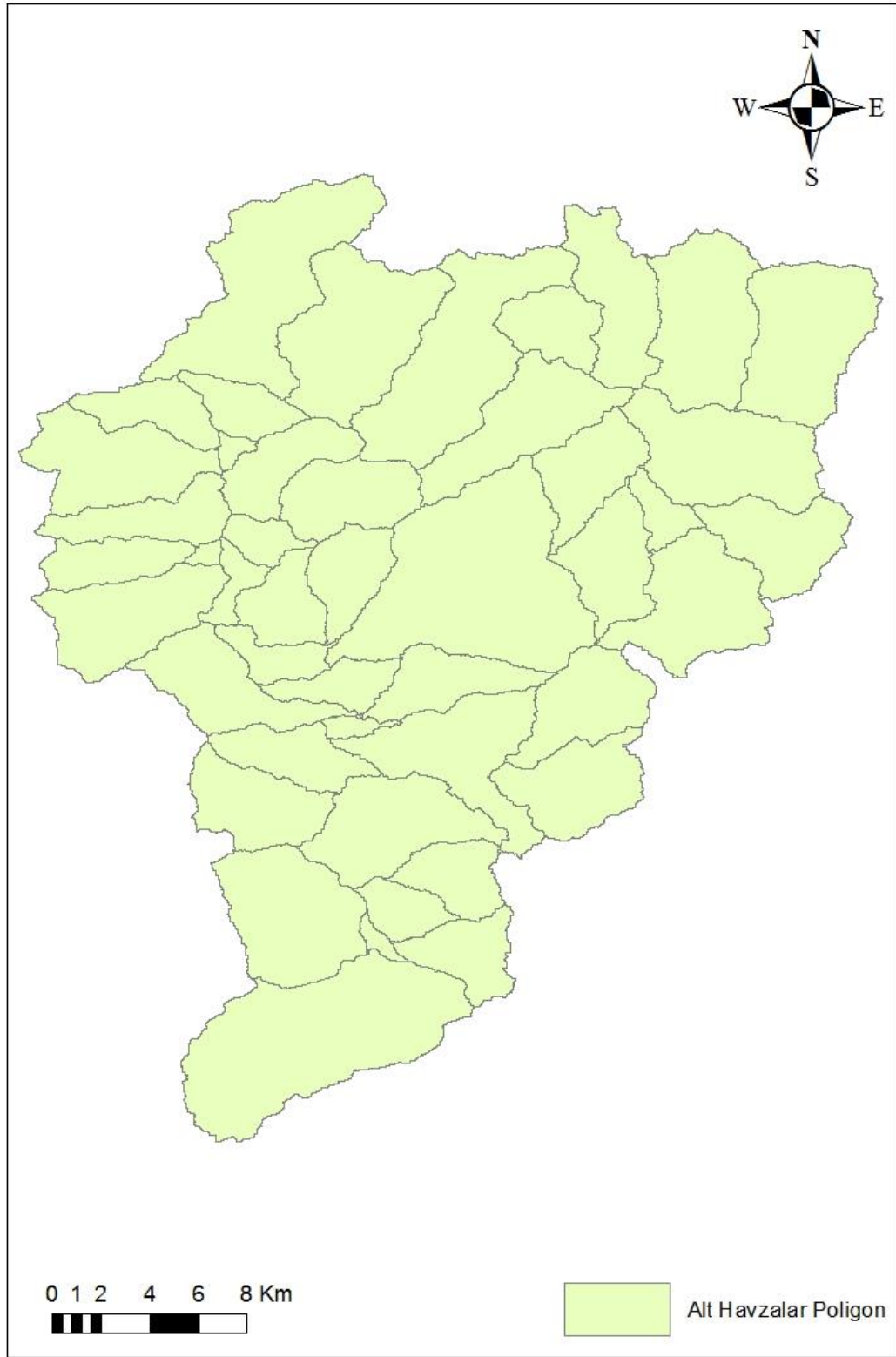
Bu işlem adımı, raster veri formatında olan alt havzaların vektör veri formatına dönüştürülüp poligonlaştırılması işlemidir (Şekil 4.15). Akış bölümleme ve akış yönü verilerinin girdi verisi olarak kullanılmasıyla havza alanının drenaj hattı belirlenir. Böylece suyun toplandığı drenaj ağı betimlenmiş olur (Şekil 4.16). Bu işlem sonrasında HEC-HMS' de modellenecek olan akarsu kolları (*reach*) sayısı ve güzergahı belirlenir.



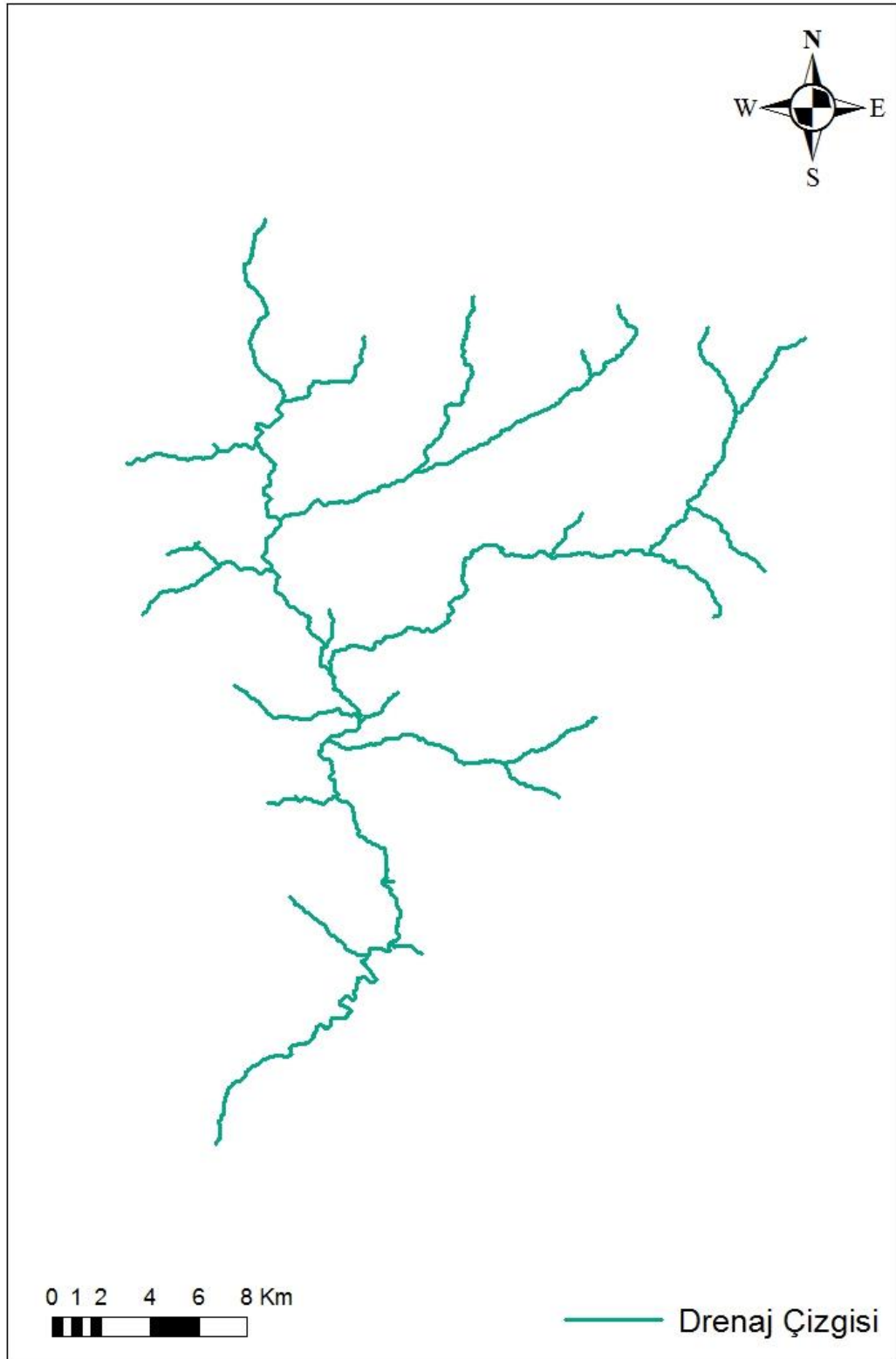
Şekil 4.13 Akış bölümleme



Şekil 4.14 Alt havzaların raster olarak tanımlanması



Şekil 4.15 Alt havzaların poligon olarak tanımlanması



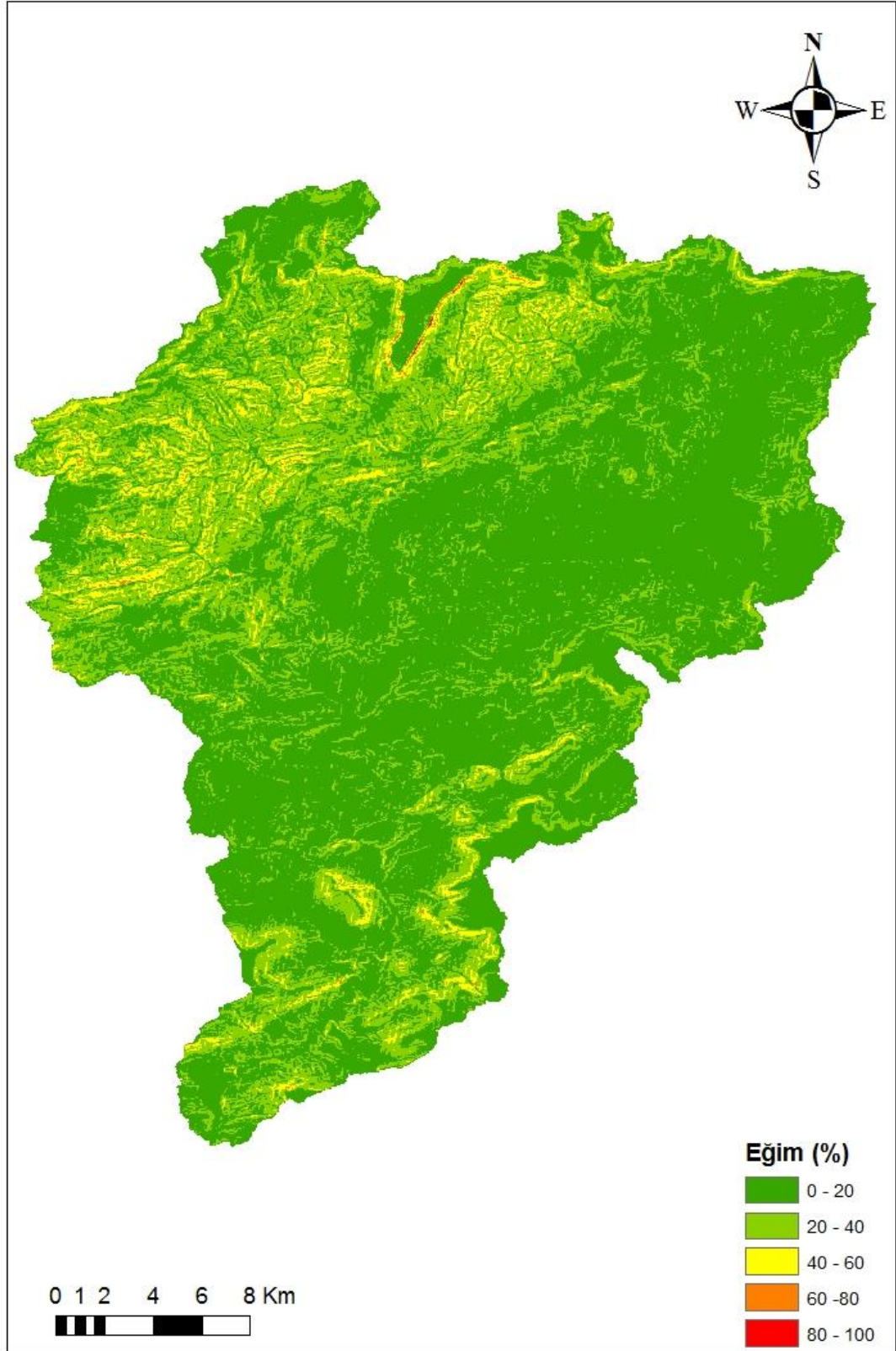
Şekil 4.16 Drenaj çizgisi

4.2.7 Havzanın Eğimi

SYM' nin Arc-GIS yazılımında işlenmesiyle havzanın eğimi de elde edilmektedir (Şekil 4.17). Havzanın eğimi suyun akışını belirleyen önemli bir unsurdur. Çizelge 4.4' te görüldüğü gibi Afrin Köprüsü Havza alanının büyük bir kısmı %0-40 aralığa sahip eğimdedir. %0-20 (20-40) eğim aralığı, Şekil 4.17' de de görüleceği üzere, koyu yeşil (açık yeşil) renkte gösterilmekte olup, %40-60 aralığı ise sarı renk ile gösterilmiştir. Orta eğimli bölgeler, havzanın kuzeybatısında ve güneyinde dominant olarak görülmekteyken, dik ve çok dik alanlar Afrin Köprüsü Havzasında neredeyse hiç oluşmamıştır.

Çizelge 4.4 Afrin Köprüsü havzası eğim dağılımı

Sınıflandırma	Eğim (%)	Alan (km^2)	Alan (%)
Düze yakın	0-20	404,64	65,37
Az eğimli	20-40	180,19	29,11
Orta eğimli	40-60	32,97	5,33
Dik	60-80	1,13	0,18
Çok dik	80-100	0,07	0,01
	Toplam	619	100



Şekil 4.17 Afrin Köprüsü havzasının eğim haritası

5. HİDROMETEOROLOJİK MODELLEME

HEC-HMS' de yapılacak olan hidrolojik modellemeye girdi verisi elde etmek amacıyla Arc-GIS ve HEC-GeoHMS birlikte kullanılmaktadır. HEC-GeoHMS çalışma alanının mekânsal verilerini HEC-HMS yazılımına kolayca aktarmak üzere geliştirilmiştir.

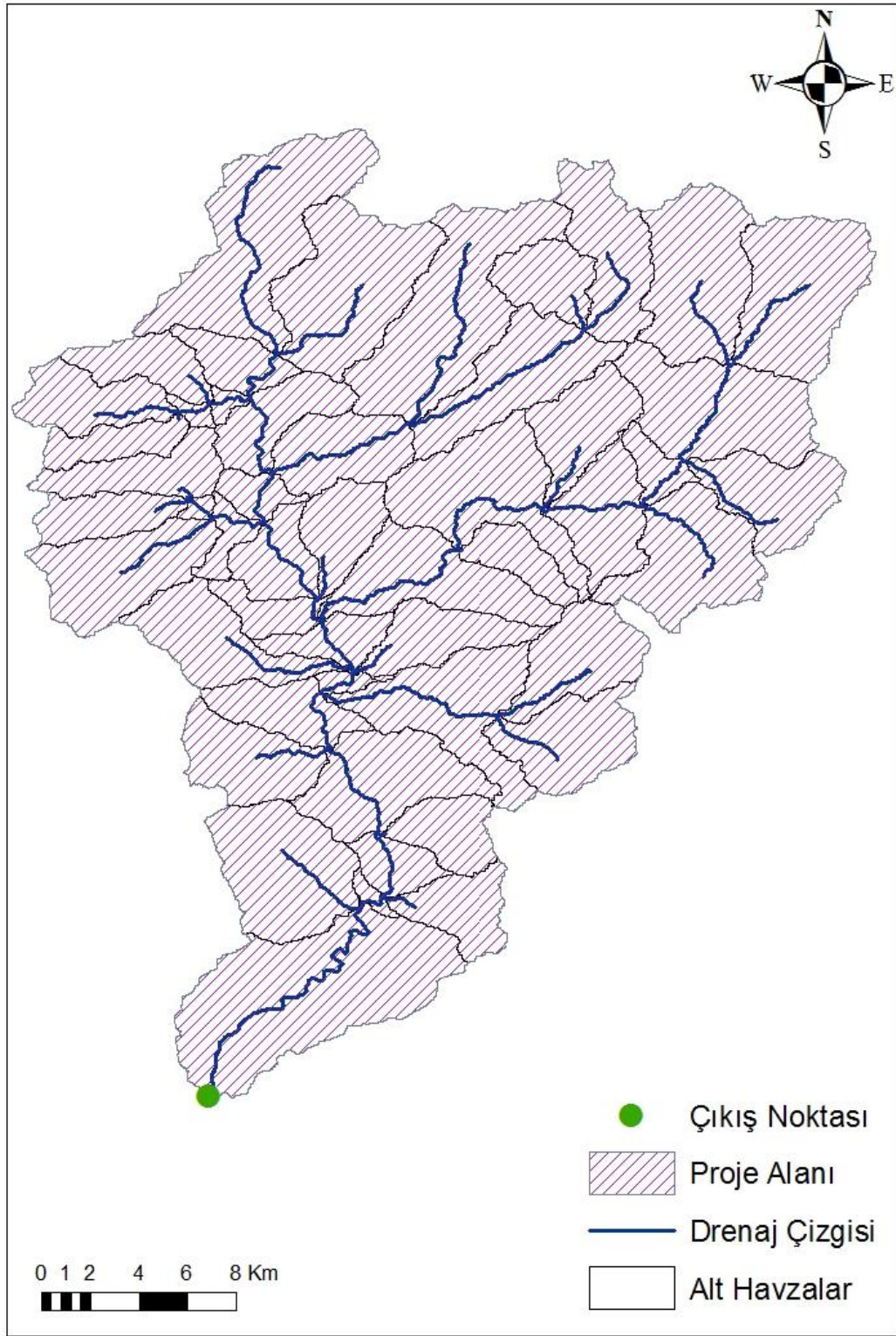
5.1 HEC-GeoHMS' de Proje Oluşturma

HEC-GeoHMS' de proje oluşmak için *proje kurulum* menüsünden *yeni proje başlat* seçeneği seçilir. HEC-GeoHMS *proje kurulum* menüsü, havza çıkışını tanımlamak ve HEC-HMS projesi için havzayı tanımlamak gibi araçlara sahiptir. Aynı uzamsal veriler kullanılarak HMS havza modelleri geliştirilebildiğinden, bu modeller iki özellik sınıfı tanımlanarak yönetilir: *Proje Noktası (Project Point)* ve *Proje Alanı (Project Area)*. *Proje Noktası* ve *Proje Alanı* aracılığıyla modellerin yönetimi, kullanıcıların HMS havza modellerinin zaten oluşturulduğu alanları görmelerini ve kullanıcıların farklı akış ağı eşiğine sahip modelleri yeniden oluşturmalarını sağlar (Merwade, 2019). Proje alanı oluşturulduktan sonra Afrin Köprüsü Havzası için DSI' den alınan AGİ koordinatlarına uygun olarak *Çıkış noktası* oluşturulur. Daha sonra *Proje Kurulum* menüsünden *Proje oluşturma* aracılığıyla Afrin Köprüsü için proje oluşumu tamamlanır (Şekil 5.1).

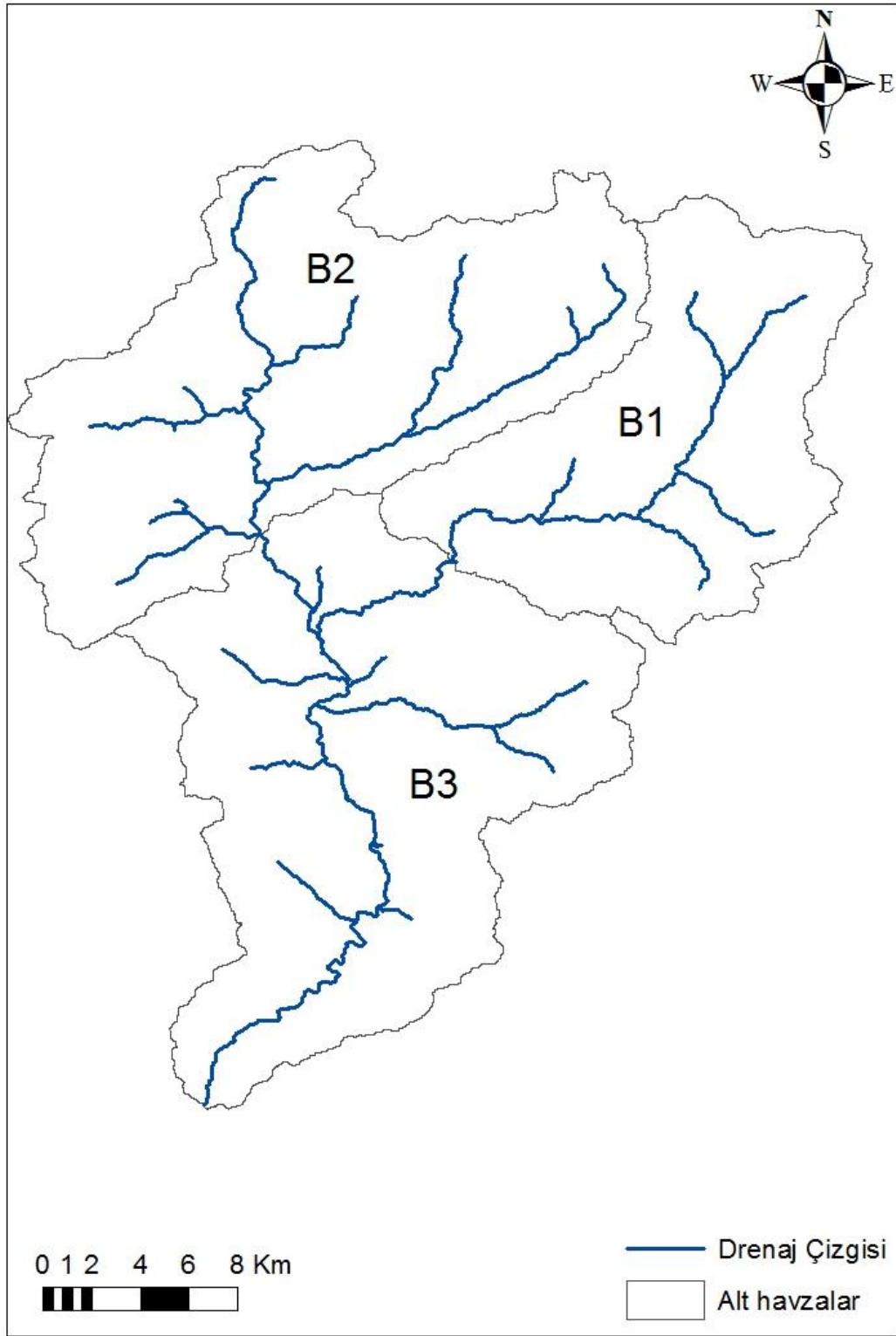
5.2 Havza İşleme

Şekil 4.14' ten de görüldüğü üzere alt havza sayısı 51 olan Afrin Köprüsü havzasında hidrolojik modelleme çalışması yapılamaz. Çünkü 51 alt havza için ayrı ayrı birçok veriye (yağış, sıcaklık, buharlaşma, akış vb.) ihtiyaç duyulur. Her bir havzaya ait verilerin temin edilememesinden dolayı *Havza Birleştirme* işlemi yapılır. Proje oluşumu tamamlandıktan sonra *Havza İşleme* menüsünden *Havza Birleştirme* ögesi seçilmelidir (Şekil 5.2).

Her bir alt havzanın alanı, alt havza verisinin öznitelik tablosundan elde edilmektedir. Çizelge 5.1' den de görüldüğü üzere en büyük (küçük) havza alanı B3 (B1) havzasına ait olup 242,5 (152,6) km² dir.



Şekil 5.1 Afrin Köprüsü Havzası için proje alanı ve çıkış noktası



Şekil 5.2 Afrin Köprüsü Havzasının alt havzaları

Çizelge 5.1 Afrin Köprüsü Havzasının alt havza alanları

Alt havza adı	Alt havza alanı (km^2)
B1	152,6
B2	223,9
B3	242,5
Toplam	619

5.3 Hidrolojik Parametreler

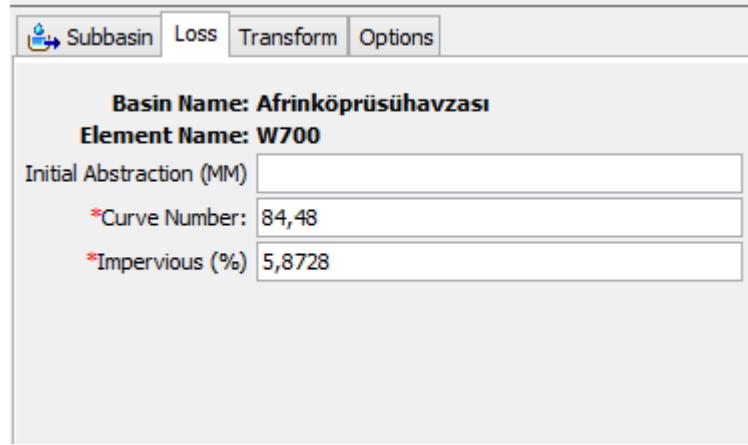
HEC-GeoHMS yazılımında bazı hidrolojik parametrelerin tahmini yapılabilmektedir. HEC-GeoHMS sayesinde bulunabilen bu parametreler HEC-HMS' ye aktarılan dosyada bulması kullanıcılara zaman açısından büyük ölçüde kolaylık sağlamaktadır.

Hidrolojik parametrelerin seçimi için HEC-GeoHMS' de *Parametreler* menüsü altında *HMS işlemleri* ögesi çağrılır. Daha sonra alt havzalar için kayıp, dönüşüm, taşkın öteleme ve taban akışı yöntemleri açılan menüden belirlenir.

5.3.1 Sızma (Kayıp) Yöntemi

HEC-HMS' de sızma oranının belirlenmesinde on iki farklı yöntem bulunmaktadır. Bu çalışmada düşük girdi veri gereksinimleri nedeniyle SCS-CN yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemde girdi parametreleri CN değerleri, Geçirimsiz Alanlar Yüzdesi ve Başlangıçta Tutulan Yağış Miktarıdır (Şekil 5.3). CN değerinin elde edilmesi önceki bölümlerde detaylıca açıklanmıştır.

Başlangıçta tutulan yağış miktarının hesaplanması Denklem 3.5' te verilmiştir. Ancak HEC-HMS' de I_a değerinin girilmemesi durumunda, bu değeri S' nin %20 si kadar hesaplar (HEC-USACE, 2018).



Subbasin	
Basin Name:	Afrinköprüsühavzası
Element Name:	W700
Initial Abstraction (MM)	
*Curve Number:	84,48
*Impervious (%)	5,8728

Şekil 5.3 HEC-HMS modelinde SCS –CN yönteminde girdi parametreleri

Halley ve ark. (2000) farklı toprak grupları ve arazi kullanımlarına göre geçirimsiz alan yüzdeliğini içeren Çizelge 5.2' yi önermiştir. Önerilen bu çizelgeye göre HEC-GeoHMS' deki *Raster* dan *Alt Havza Parametreleri* işlemi yapılarak CN değerleri ve geçirimsizlik yüzde değerleri her bir alt havza için hesaplanır ve öznitelik tablosuna kaydedilir (Çizelge 5.3). Eğri numarası değerinin yüksek olması, geçirimsizlik yüzdesinin yüksek olduğunu, CN değerinin düşük olması ise geçirimsizlik yüzdesinin düşük olduğunu ifade etmektedir.

Çizelge 5.2 HTG' na göre eğri numarası ve geçirimsizlik yüzdesi (Halley ve ark., 2000)

Arazi Kullanımı/ Arazi Örtüsü	Geçirimsizlik Yüzdesi (%)	Hidrolojik Toprak Gruplarına Göre Eğri Numarası			
		A	B	C	D
Yerleşim (Yüksek yoğunluklu)	65	77	85	90	92
Yerleşim (Orta yoğunluklu)	30	57	72	81	86
Yerleşim (Düşük yoğunluklu)	15	48	66	78	83
Ticari Alanlar	85	89	92	94	95
Endüstriyel alanlar	72	81	88	91	93
Tarım alanları	5	67	77	83	87
Çayır, otlak	5	30	58	71	78
Sık orman, koru	5	30	55	70	77
Seyrek orman, koru	5	43	65	76	82
Su / Sulak alanlar	100	100	100	100	100

Çizelge 5.3 Alt havzaların eğri numaraları ve geçirimsizlik yüzdeleri

Alt Havza Adı	Geçirimsizlik (%)	Eğri Numarası
B1	5,87	84,49
B2	5,03	75,01
B3	5	82,48

5.3.2 Yüzeysel Akım (Dönüşüm) Yöntemi

Dönüşüm yöntemi ile havzadaki aşırı yağışların, yüzeysel akıma dönüşümü gerçekleştirilir. HEC-HMS yazılımında sekiz farklı dönüşüm yöntemi bulunur (HEC-USACE, 2018). Bu çalışmada SCS birim hidrograf yöntemi kullanılacaktır. SCS birim hidrograf yöntemi, sadeliği ve uygulama kolaylığı nedenleriyle çoğunlukla tercih edilmektedir. Hidrografın üretilmesi için gerekli olan parametreler HEC-GeoHMS kullanılarak hesaplanan gecikme süresi, T_L ve havza alanlarıdır (Györi ve Haidu, 2011). Hiyetograf grafiğinin kütle merkeziyle hidrografın pik noktası arasındaki zamana gecikme

zamanı olarak tanımlanır (HEC-USACE, 2018). Gecikme zamanı parametresi, alt havza verisinin öznitelik tablosundan elde edilmektedir. Havza gecikme süresi Denklem 5.1 kullanılarak her bir havza için hesaplanarak bulunmuştur.

$$T_L = \frac{L^{0,8} * (S + 1)^{0,7}}{1900 * W^{0,5}} \quad (5.1)$$

Formülde yer alan, L suyun havzadan çıkışa aktığı en uzun yol (ft), W havzanın eğimi (%), S potansiyel Maksimum Tutulan Yağış miktarı (in) olarak ifade edilmektedir. Çizelge 5.4’ te her bir alt havzaya ait karakteristikler ve gecikme süreleri yer almaktadır.

Çizelge 5.4 Alt havza karakteristikleri

Havza Adı	L (ft)	S(in)	W (%)	T_L (Saat)	T_L (Dakika)
B1	85818,38	1,84	12,59	2,72	163,35
B2	83123,17	3,33	26,31	2,47	148,17
B3	135330,4	2,12	16,76	3,63	218,12

5.3.3 Taşkın Öteleme

Taşkın dalgasının akarsu kesitine girdiği andaki debisi ile mansabındaki debisi havza özelliklerinde bağlı olarak değişmektedir. Bu debi değişiminin zamana göre hesaplanması taşkın ötelenmesi olarak isimlendirilir (Atalay, 2008). Başka bir ifade ile taşkın öteleme, pik debinin oluşum zamanını öteler ve pik debi miktarının azalmasına sebep olmaktadır (Ülke, 2003). Taşkın öteleme hesapları yapılan bir akarsuda, meydana gelebilecek taşkın zamanı tahmin edilebilmektedir.

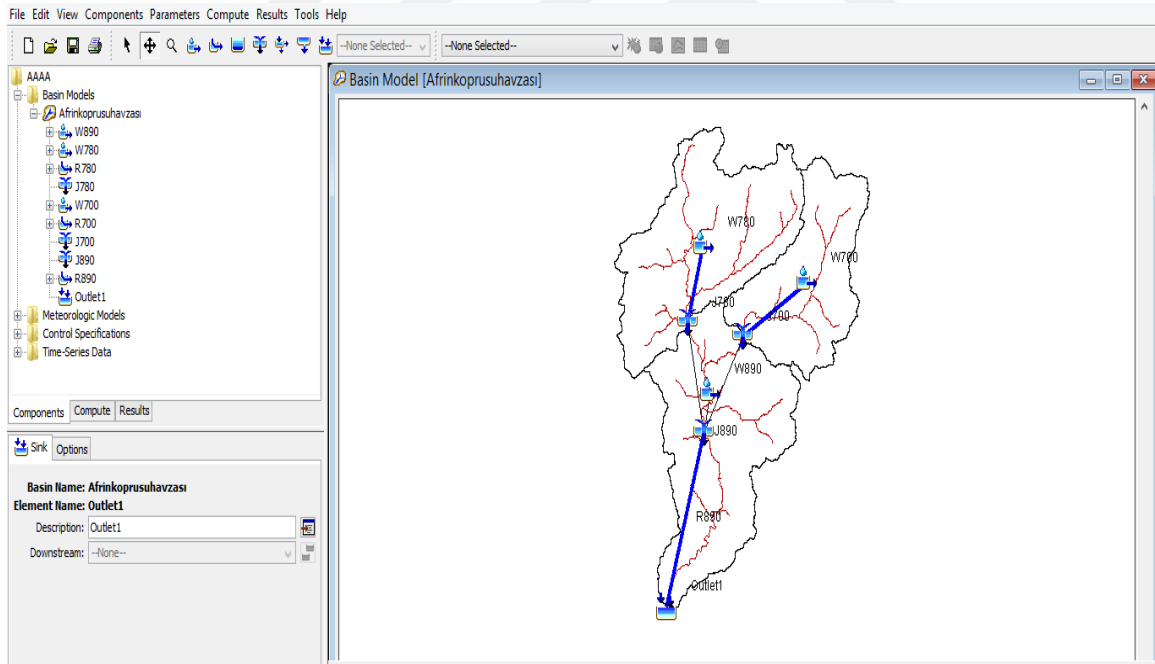
Bu çalışmada, taşkın ötelenmesini belirlemek için Muskingum Metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde girdi parametreleri K ve X değerleridir (Şekil 5.4). Muskingum Modelinde başlangıçta nehir ve akım özellikleri bilinmediğinden K ve X parametreleri için sabit değerler girilir (Chow, 1959; Ünsal, 1978 Shultz, 1992; Ülke, 2003). Ancak kalibrasyon işlemiyle K ve X parametrelerinin kalibre edilmesi sonucunda, çalışma alanına özgü K ve X parametre değerleri elde edilebilmektedir. K parametresi, akımın nehir boyunca yolculuk süresi, X parametresi ise ağırlık faktörü olarak tanımlanır. K parametresi başlangıçta 1 saat olarak belirlenir. X parametresi ise, diğer taraftan, 0 ile 0,5 değerleri arasında yer alır ve genellikle $X=0,25$ değeri kullanılır (HEC-USACE, 2018).

Reach		Routing		Options	
Basin Name: Afrinkoprusuhavzası					
Element Name: R780					
*Muskingum K (HR)	1				
*Muskingum X:	0,25				
Subreaches:	1				

Şekil 5.4 Muskingum Metodunda kullanılan parametreler

5.4 HMS Dosyası Oluşturma

HEC-GeoHMS yazılımının kullanılmasıyla havzanın hidrolojik modellerinin belirlenmesinin ardından sonra, HEC-GeoHMS' de .hms uzantılı dosya oluşturulur. .hms uzantılı olarak oluşturulan dosya HEC-HMS yazılımına çağırılır. Arka plan haritası olarak alt havza sınırları, akım çizgileri eklenmesi ile akış kanalı ve bağlantı noktası gibi fiziksel elemanlar kullanılarak bilgisayar ortamına aktarılır (Şekil 5.5).



Şekil 5.5 Havzanın temsili

5.5 Kalibrasyon ve Doğrulama

Bir havza için kalibre edilmiş ve doğrulanmış hidrolojik bir model, havzadaki su kaynaklarının kullanımı ile ilgili çeşitli tasarım, planlama ve yönetim fonksiyonları için kullanılabilir (Jyothi ve ark., 2017). Kalibrasyon işlemi havzanın durumuna bağlı olarak doğru parametreyi bulma sürecidir (Madsen ve ark., 2002; Doğan, 2018). Hidrolojik modelin kullanılabilirliği, modelin ne kadar iyi kalibre edildiğine bağlıdır. Bu nedenle, kalibrasyon aşamalarının özenli yapılması hidrolojik modelin doğruluğunu büyük ölçüde etkilemektedir (Gupta ve ark.,1999).

Hidrolojik modelleme çalışmalarında optimizasyon işlemi, otomatik ve manuel kalibrasyon olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Manuel kalibrasyon işlemi yorucu olup zaman kaybına sebep olabilmektedir; bu durum ise daha karmaşık hidrolojik modellerin yaygın kullanımını engelleyen bir faktör olmaktadır. 1960-1970 yıllarında bazı araştırmacılar manuel kalibrasyonun zaman alıcı ve uğraştırıcı olması gibi nedenlerden ötürü, bu süreci hızlandırılabilirlik amacıyla yöntemler araştırmışlardır (Gupta ve ark.,1999). Bu çalışmada manuel kalibrasyonun zaman alıcı ve yorucu olması sebepleriyle otomatik kalibrasyon seçilmiştir. Otomatik yöntemlerde, parametreler belirli kalibrasyon kriterlerinin optimizasyonu için farklı amaç (objektif) fonksiyonları kullanılarak bir arama düzenine göre otomatik olarak ayarlanmaktadır (Madsen, 2003).

Tek Değişkenli Gradyan (UG) ve Nelder Mead (NM) yöntemleri, HEC-HMS programında en uygun parametre değerlerini bulmak için kullanılabilen iki otomatik arama yöntemidir. UG yöntemi, diğer parametreleri sabit tutarken her seferinde bir parametreyi değerlendirir ve tahmin eder. Nelder ve Mead (1965) tarafından önerilen NM yöntemi ise, tüm parametreleri aynı anda değerlendirir ve hangi parametrenin ayarlanacağını belirler (Darlane ve ark., 2019). Bu çalışmada, UG ve Nelder Mead yöntemleri kullanılmış olup UG otomatik kalibrasyon yönteminin daha iyi sonuç vermesi sebebi ile UG yöntemi seçilmiştir. UG yaklaşımı ile farklı amaç fonksiyonları kullanılarak HEC-HMS' de hidrolojik parametreler kalibre edilmiştir. Kalibre edilen hidrolojik parametreler CN, T_L , I_a , K ve X' dir (Şekil 5.6).

Optimized Parameter Results for Trial "Test"					
Project:AAAA			Optimization Trial:Test		
Start of Trial: 01Eki2011, 00:00			Basin Model: AAAA		
End of Trial: 30Eyl2012, 00:00			Meteorologic Model:Afrinkoprusuhavzası		
Compute Time:25Kas2021, 11:02:37					
Element	Parameter	Units	Initial Value	Optimized Value	Objective Function Sensitivity
R.700	Muskingum - K	HR	1	0,79851	0
R.700	Muskingum - x		0,25	0,50000	0
R.780	Muskingum - K	HR	1	0,80361	0
R.780	Muskingum - x		0,25	0,50000	0
R.890	Muskingum - K	HR	1	0,39695	0
R.890	Muskingum - x		0,25	0,50000	0
.All Subbasins.	SCS Curve Number - Curv...		1,00	0,13028	0
.All Subbasins.	SCS Curve Number - Initia...		1,00	6,0956	0
W.700	SCS Unit Hydrograph - La...	MIN	163,3478408	163,35	0
W.780	SCS Unit Hydrograph - La...	MIN	148,1718291	148,17	0
W.890	SCS Unit Hydrograph - La...	MIN	218,1169171	218,12	0

Şekil 5.6 Kalibre edilen hidrolojik parametreler

HEC-HMS' de otomatik kalibrasyon için 14 farklı amaç fonksiyonu bulunmaktadır. Bu fonksiyonlar, modelin iyi kalibre edilip/edilmediğini göstermektedir. Bu çalışmada, on dört amaç fonksiyonu model üzerinde kullanılmış ve kalibrasyonda iyi sonuçlar veren on biri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan bu amaç fonksiyonları, İlk Gecikme Oto Korelasyonu (FLAC), Kalıntıların Maksimum Mutlağı (MAR), Kalıntı Kareleri Ortalaması (MSR), Nash-Sutcliffe (NASH), Debi Hacmindeki Hata Yüzdesi (PEDV), Pik Debideki Hata Yüzdesi (PEPD), Pik Ağırlıklı Karesel Ortalama Hata (PWRMSE), Mutlak Kalıntıların Toplamı (SAR), Kalıntı Kareleri Toplamı (SSR), Zaman Ağırlıklı Hata (TWE) ve Ortalama Karekök Hatadır (RMSE) (Çizelge 5.5). Çizelgeden de görüleceği üzere, kullanılan tüm bu amaç fonksiyonları ile simülasyonlardaki farklı boyuttaki hataları minimize etmesi amaçlanmaktadır.

Optimizasyon işlemi sonucunda, kalibre edilen hidrolojik parametrelerin kalibrasyon dönemi haricindeki sürede doğrulamasının yapılmasına doğrulama (validasyon) adı verilir. Diğer bir deyişle, modelin ve optimize edilen parametrelerin güvenilirliğinin test edilmesidir (Sorooshian ve Gupta, 1995; Doğan, 2018). Kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları, Afrin Köprüsü akım gözlem istasyonunda gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyon çalışması 2012 su yılı (1 Ekim 2011-30 Eylül 2012), doğrulama ise 2013 su yılı (1 Ekim 2012-30 Eylül 2013) için tercih edilmiştir. Seçilen amaç fonksiyon yöntemleri kullanılarak her bir amaç fonksiyonu için tahmin edilen ve gözlemlenen debi değerleri ve ölçülen yağış verileri karşılaştırılmış;

grafiklere ek olarak farklı istatistiksel indisler kullanarak model çıktılarının doğruluğu sınanmıştır.

Çizelge 5.5 HEC-HMS’ de yer alan amaç fonksiyonları (HEC-USACE, 2018)

Amaç Fonksiyon	Kısaltması	Açıklama
İlk Gecikme Oto Korelasyonu (First Lag Autocorrelation)	FLAC	Kalıntıların sistematik sapmasını en aza indirme
Kalıntıların Maksimum Mutlağı (Maximum of Absolute Residuals)	MAR	Gözlemlenen ve simüle edilen değerlerin arasındaki en büyük tekil mesafeyi en aza indirme
Kalıntı Kareleri Ortalaması (Mean of Squared Residuals)	MSR	Gözlemlenen ve simüle edilen arasındaki ortalama mesafeyi, daha büyük ağırlıktan daha büyük hataları kadar en aza indirme
Nash-Sutcliffe	NASH	Boyutsuz Nash-Sutcliffe verimlilik istatistiğini en üst düzeye çıkarma
Debi Hacmindeki Hata Yüzdesi (Percent Error in Discharge Volume)	PEDV	Gözlemlenen ve simüle edilen hacim arasındaki farkı en aza indirme
Pik Debideki Hata Yüzdesi (Percent Error in Peak Discharge)	PEPD	Gözlenen ve simüle edilen pik debi değeri arasındaki farkı en aza indirme.
Pik Ağırlıklı Karesel Ortalama Hata (Peak-Weighted RMSE)	PWRMSE	Gözlenen ve simüle edilen ortalama mesafeyi, ortalamadan daha büyük akışlara daha büyük ağırlıkla en aza indirme
Ortalama Karekök Hata (Root Mean Square Error)	RMSE	Gözlemlenen ve simüle edilen arasındaki tahmin hatasını en aza indirme
Mutlak Kalıntıların Toplamı (Sum of Absolute Residuals)	SAR	Gözlemlenen ve simüle edilen arasındaki ortalama mesafeyi en aza indirme
Kalıntı Kareleri Toplamı (Sum of Squared Residuals)	SSR	Gözlemlenen ve simüle edilen arasındaki ortalama mesafeyi, ortalamadan daha büyük ağırlıktan daha büyük hataları en aza indirme
Zaman Ağırlıklı Hata (Time-Weighted Error)	TWE	Optimizasyon zaman aralığının sonuna doğru hatalara daha fazla ağırlık verirken, başlarındaki hatalara daha az ağırlık verme

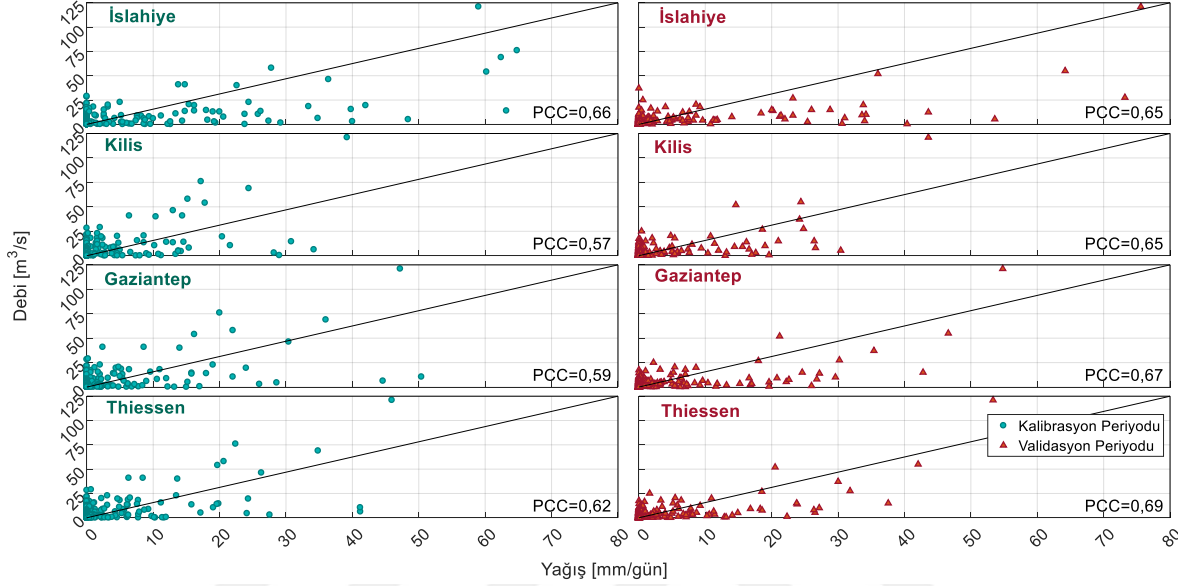
6. BULGULAR VE TARTIŞMALAR

Bölgedeki istasyonlarda ölçülen yağış ve bu yağıştan dolayı oluşan akış arasındaki ilişkiyi incelemek maksadıyla kalibrasyon ve doğrulama süreleri için dağılım diyagramları (scatter plot) kullanılmıştır. Bu diyagramda, eğilim çizgisine (1:1 doğrusu) yakınlık yağış ve akış ilişkisinin çok iyi olduğunu göstermektedir. Ayrıca, yağış ve akış arasındaki ilişki, Pearson Korelasyon Katsayısı ile ifade edilmiştir. PCC sayısının +1 değerlerine yaklaşması, yağış ve akış arasındaki ilişkinin güçlü olduğunu ifade etmektedir. Şekil 6.1’ de görüldüğü üzere, tüm istasyonlarda ve Thiessen metoduna göre elde edilen yağış verilerine göre, yağış değeri artarken debi değerinin arttığı; dolayısıyla, ekstrem yağışların büyük debilere neden olduğunu göstermektedir. Bu durum birçok debi değerlerinin sadece yağıştan etkilendiğini ifade etmektedir.

İslâhiye istasyonunda kalibrasyon ve doğrulama süreleri için korelasyon sayıları sırasıyla 0,66 ve 0,65’ tir. Bu istasyonun iki su yılında yapılan simülasyonlar boyunca yağış-akış değerlerini, diğer istasyonlara göre daha iyi karşıladığını ifade etmektedir. Ek olarak, doğrulama döneminde görülen pik debi değerlerinin eğilim çizgisi üzerinde/yakınında olması taşkın olayları için İslâhiye istasyonunun önemini göstermektedir. Kilis istasyonunda ise kalibrasyon ve doğrulama süresi için PCC değerleri sırasıyla 0,57 ve 0,65’ tir. Doğrulama dönemindeki yağışların, kalibrasyona göre havzada daha büyük akışlara neden olabileceğinin ve kalibrasyondaki su kayıplarının ise doğrulamaya nazaran daha çok olabileceğinin göstergesidir. Diğer bir ihtimal olarak ise Afrin Köprüsü Havzasının civarında olan bu istasyon, bölgenin ekstrem yağışlarını da tam olarak yansıtmamış olabilir. Son olarak, Gaziantep istasyonunda kalibrasyon ve doğrulama süresi için korelasyon sayıları sırasıyla 0,59 ve 0,67 olup Kilis İstasyonuyla benzer sonuçlar elde edilmiştir. Gerek yağış istasyonlarının üniform dağılmaması gerekse yer şekilleri ve iklim şartlarının olumsuz etkilerinden dolayı Thiessen yöntemi ile de havzanın ortalama yağışları elde edilerek Afrin Köprüsü debi değerleri ile kıyaslanmıştır. Thiessen yönteminde kalibrasyon ve doğrulama süreleri için PCC değerleri 0,62 ve 0,69’ dur. Bu yöntemin diğer istasyonlara karşı daha iyi sonuç verdiği ekstrem yağış-akış değerlerinin 1:1 çizgisine daha yakınlaştığı görülmektedir (Şekil 6.1).

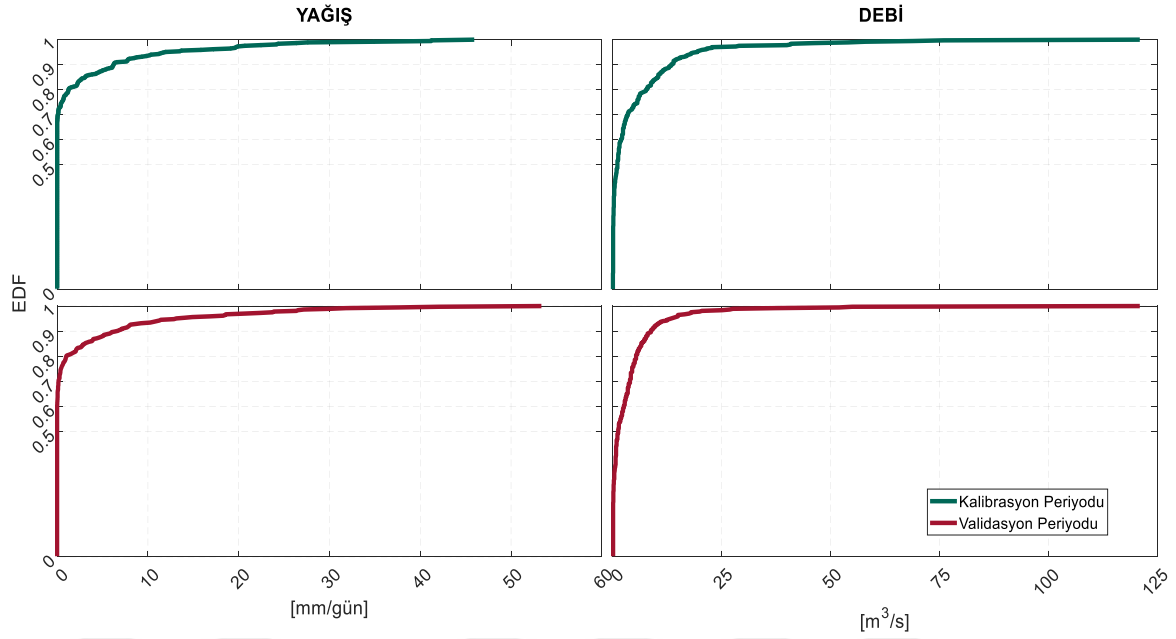
Buna ek olarak Şekil 6.1’ e genel manada göz atıldığında, kalibrasyon ve doğrulama periyotlarında oluşan bazı yağış değerlerine karşılık gelen debi değerlerinin normalden oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu farkın taban akışının ve/veya gecikme zamanının

önemini ortaya koymaktadır. Bu durumun aksine, bazı debi değerleri diğer veri setlerine göre çok düşükken, bu verilere karşılık gelen yağış değerlerinin yüksek olması ise başlangıç toprak nem koşulu ve/veya sızmadan kaynaklı olabileceğini göstermektedir. Bu iki koşul için kalibrasyon parametrelerinden olan AMC ve dolayısıyla CN, I_a ve T_L 'nin önemi bir kez daha ortaya konulmaktadır.



Şekil 6.1 Yağış-akış ilişkisini gösteren dağılım grafiği

Şekil 6.2 kalibrasyon (mavi grafik) ve doğrulama (kırmızı grafik) periyotları olmak üzere, günlük Eklenik Dağılım Fonksiyonunu (EDF) göstermektedir. Şekildeki grafik bir su yılı boyunca yağış (debi) verilerinin kümülatif olarak toplanmasıyla birinci (ikinci) kolondaki EDF grafiği elde edilmiştir. Elde edilen grafiklere göre, yağmur olmayan günlerin kalibrasyon döneminin %67,49' unu, doğrulama dönemi için ise %60,82' sini oluşturduğu görülmektedir. Ayrıca, ekstrem yağış değerlerinin 20 mm'den büyük olduğu günlerin sayısı bir su yılı içindeki yüzdeliğine bakıldığında, kalibrasyon (doğrulama) periyodu boyunca %2,5 (%3)'dur. Debinin çok az olduğu ($Q < 1 \text{ m}^3/\text{s}$) günlerde ise kalibrasyon dönemi için %48,63' ünü, doğrulama dönemi için ise %46,85' ini oluşturduğu görülmektedir. Pik debi değerleri ($Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$) için EDF grafiği incelendiğinde ise, kalibrasyon su yılı için %15,57'sini oluştururken, doğrulama dönemi için bu oran %7,67'ye düşmüştür. Ayrıca, EDF sonuçlarındaki yüzdelikler incelendiğinde hem kalibrasyon hem de doğrulama dönemlerinde yağmur olmayan günlerde debi değerlerinin olduğu görülmektedir. Bu durum taban akışı ve/veya gecikme zamanının sonucu olabileceğini göstermektedir.

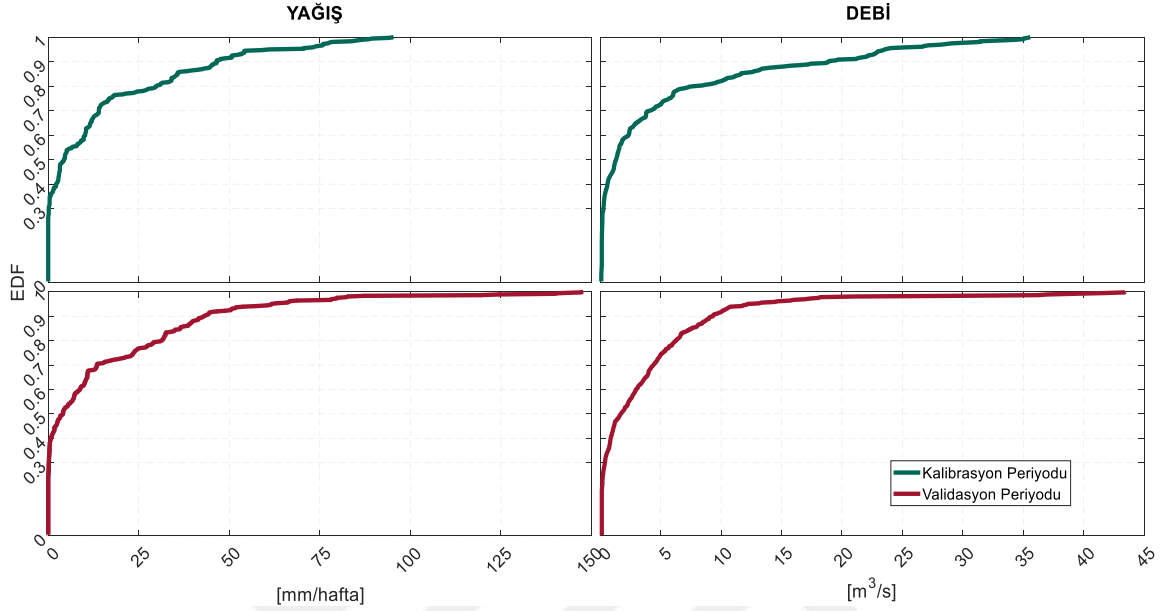


Şekil 6.2 Günlük çözünürlüklü yağış ve akış verileriyle eklenik frekans dağılımı

Veri döneminde yağışların haftalık bazda nasıl dağıldığını incelemek, olay bazlı yağış-akışları değerlendirmek, baz akım ve hidrografın yükselme/alçalma eğrilerinin zamansal etkilerini minimize etmek üzere hareketli ortalamalardan oluşan EDF grafikleri de elde edilmiştir. Günlük hareket ile bir haftalık pencere oluşturulup; yağışın, P , (1. Kolon) kümülatif ve debinin, Q , (2. Kolon) ortalama değerleri hesap edilerek kalibrasyon (1.Satır) ve doğrulama (2.Satır) periyotları için Şekil 6.3 'de sunulmuştur. Çalışma alanındaki yedi günlük pencereler, şiddetli yağış-akış olaylarını mümkün olduğunca kapsayacak şekilde seçilmiştir.

Grafikten de görüleceği üzere, kalibrasyon (doğrulama) dönemi boyunca hiç yağmur olmayan hafta sayısı 2012 (2013) su yılının %26,67 (%24,51)' sini oluşturmaktadır. Ekstrem yağışlar noktasından kalibrasyon (doğrulama) periyodu boyunca incelendiğinde ise, kümülatif yağışların 20 mm, 40 mm ve 60 mm' den büyük olduğu haftalık pencereler 2012 (2013) su yılının sırasıyla %23,33, %13,33 ve %5,00 (%27,3, %11,98 ve %5,57)' ini oluşturmaktadır. Debinin çok az olduğu ($Q < 1 \text{ m}^3/\text{s}$) haftaların ise kalibrasyon (doğrulama) döneminin %45,00 (%42,34)' ini oluşturduğu görülmektedir. Yine EDF grafiklerinin hareketli ortalamalarına bakıldığında, kalibrasyon (doğrulama) periyodu boyunca debinin büyük olduğu ($Q > 10 \text{ m}^3/\text{s}$) ve çok büyük olduğu pik değerlerin bir yılın sırasıyla ($Q > 20 \text{ m}^3/\text{s}$) %17,78 (%8,36) ve %8,89 (%1,95)'unu oluşturduğu gözlemlenmektedir. Buna göre, kalibrasyon süresi boyunca meydana gelen taşkın olaylarının doğrulama periyoduna kıyasla daha benzer yağışlar almasına karşın, debi değerleri bakımından incelendiğinde daha şiddetli

ve görülme frekansının yüksek olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum toprağın ilk doygunluğu olan AMC ve dolayısıyla CN parametrelerinin önemine dikkat çekmektedir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 Haftalık yağış ve akış hareketli ortalamalarının eklenik frekans dağılımı

Seçilen amaç fonksiyon yöntemleri kullanılarak her bir objektif fonksiyon için tahmin edilen ve gözlemlenen debi değerleri ve ölçülen yağış verileri ile Şekil 6.4 elde edilmiştir. Kırmızı renkli eğri kalibrasyon döneminde simüle edilen hidrografi mavimsi renkli eğri ise doğrulama döneminde tahmin edilen hidrografi temsil etmektedir. Yeşil renkli bar grafikleri ise kalibrasyon ve doğrulama döneminde ölçülen yağış hiyetografını göstermektedir. Şekil 6.4'te görüldüğü üzere, gözlemlenen ve simüle edilen hidrografın alçalma ve yükselme eğrileri birbirlerine benzemektedir. En büyük debi değerlerinin en büyük yağış değerlerine denk gelmesi, hacimsel dalgalanmaların baraj, regülatör gibi sanatsal yapıların tahribatı, kar erimesi gibi durumlardan değil; sadece yağıştan kaynaklı olduğunu göstermektedir. Bu durumu Şekil 6.1'de gösterilen dağılım diyagramındaki bulguları desteklemektedir.

Kalibrasyon döneminde, gözlemlenen debi hidrografında beş adet pik noktası görülmektedir ve simülasyonda da aynı zamanlarda bu pik noktaları tahmin edilmiştir. Bu durum 11 amaç fonksiyonu için geçerli olup sadece miktarları değişmiştir. Ayrıca, kalibrasyon döneminde, gözlemlenen akışın beşinci pik noktasına karşılık gelen yağışın (22 mm) dördüncü pik noktasına karşılık gelen yağıştan (26 mm) daha düşük olmasına rağmen; gözlemlenen akışın dördüncü pik noktasına göre yüksek olduğu görülmektedir. Bu durumun

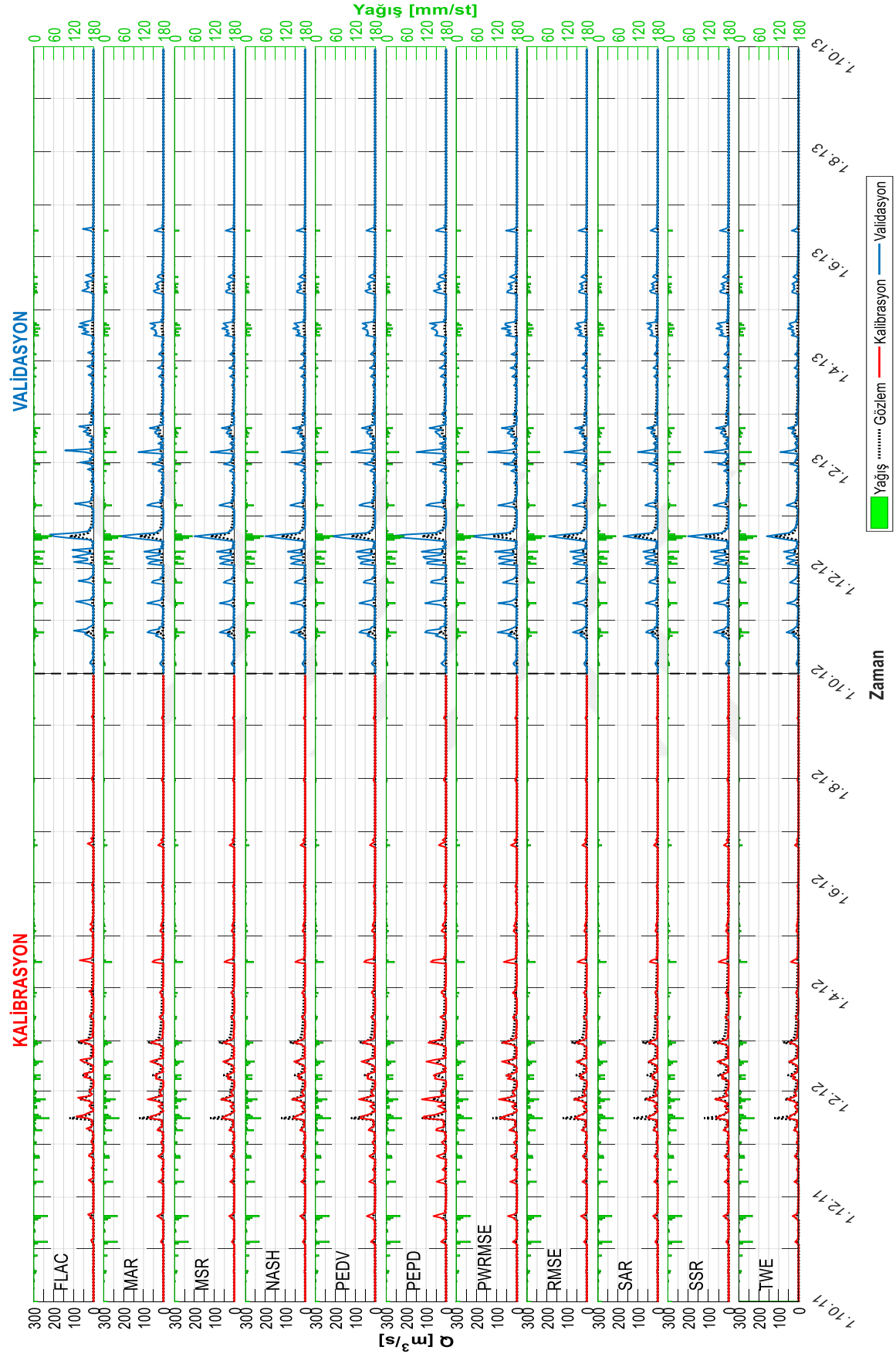
sebebi dördüncü pik akışına karşılık gelen yağıştan sonra, toprağın doymuş olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir (Şekil 6.4).

2012 su yılı kalibrasyon periyodu boyunca, PEPD amaç fonksiyonu, pik debileri referans olarak modeli kalibre ettiğinden pik debileri en iyi tahmin eden amaç fonksiyonudur. Diğer amaç fonksiyonların tahmin edilen pik değerleri, gözlemlenen pik değerlerinden daha düşüktür. TWE' nin pik debiyi tahmin etmede en başarısız amaç fonksiyonu olduğu da gözlemlenmiştir. Kalibrasyon döneminde ilk üç ayda (Ekim, Kasım ve Aralık) oluşan yağışların yeterince akış bırakmadığı görülmüştür. Bu durumun başlangıç nem koşullarından kaynaklı olduğu düşünülmektedir. Yağışın en çok görüldüğü ayın ocak ayı, en yüksek akım değerinin görüldüğü ayın yine ocak ayı olduğu görülmektedir. Bu durum ekim, kasım ve aralık aylarındaki yağışlardan toprağın doymuş ve yağışın akışa daha çok geçtiğini göstermektedir. Ayrıca, akım hacmi tahminleri kalibrasyon boyunca incelendiğinde ise en iyi tahmin eden PEDV amaç fonksiyonudur. PEPD ve PWRMSE gözlemlenen akım hacminden daha fazla tahmin etmişlerdir. Diğer amaç fonksiyonları ise gözlemlenen akım hacminden daha az akım değeri tahmin etmişlerdir (Şekil 6.4).

Kalibrasyon çalışmasında kullanılan parametreler (eğri sayısı, başlangıçta tutulan yağış miktarı, gecikme zamanı, Muskingum yönteminde kullanılan akımın seyahat süresi ve ağırlık faktörü) doğrulama dönemi boyunca sabit tutularak her bir amaç fonksiyonu için gözlemlenen debi ile doğrulamasını yapmak amacıyla 2013 su yılı simülasyonları valide edilmiştir. Doğrulama döneminde, ilk iki ayda (Ekim, Kasım) görülen pik yağışların yeterince akış bırakmadığı görülmektedir. Bu durumun sebebi başlangıç nem koşulları, gözlemlenen yağış ve akış verilerindeki belirsizlikler olarak öngörülmektedir. Yağışın en çok görüldüğü ayın aralık ayı, en yüksek akım değerinin ise yine bu ayda olduğu gözlemlenmektedir. Bu durum ekim ve kasım aylarındaki yağışlardan toprağın doymuş ve infiltrasyon kayıplarının minimize olduğunun göstergesidir (Şekil 6.4). Doğrulama döneminde, kalibrasyon sonuçlarının aksine, pik debi ve pik debi zamanı en iyi şekilde TWE amaç fonksiyonu ile elde edilirken; en kötü sonuçlar PEPD ile elde edilmiştir. Sonuçlar akım hacmi bakımından incelendiğinde ise, genel manada tüm amaç fonksiyonları gözlem değerlerinden fazla tahmin etmiştir. 2013 su yılı için en fazla tahmin PEPD ile elde edilirken; en yakın tahmin SAR amaç fonksiyonu ile tahmin edilmiştir (Şekil 6.4). Bu ise Şekil 6.3' de elde edilen bulguları destekleyici nitelikte olup, bölge 2012 ve 2013 su yıllarında benzer yağışlar alsa da aynı nitelikte akımlar meydana getirmemiştir.

Çizelge 6.1 ve 6.2 sırasıyla kalibrasyon ve doğrulama dönemleri için HEC-HMS' de gerçekleştirilen hidrometeorolojik simülasyona ait bulguların her bir amaç fonksiyonuna ait ortalama debisi, standart sapması gibi klasik istatistiklerini; ayrıca, hacim, pik debi, pik debi zamanı gibi model çıktılarını göstermektedir. Çizelge 6.1' den de anlaşılaçağı üzere, gözlem (5,01 m³/s) değerlerine en yakın ortalama PEDV (5,00 m³/s) amaç fonksiyonuyla elde edilmiş, ortalamaya göre dağınıklığın ifadesi olan simülasyon standart sapması (11,89 m³/s) yine gözlem değerleriyle (11,04 m³/s) uyum içerisinde. Genel anlamda sonuçlar ortalama bakımından incelendiğinde, diğ er tüm amaç fonksiyonları (PEPD hariç olmak üzere) gözlem ortalamalarından az olup, standart sapmaları 7,92 ile 12,54 m³/s arasında değişmektedir.

Şekil 6.4' ü destekleyici nitelikte olan Çizelge 6.1'den de görüleceğı üzere, kalibrasyon döneminde gözlemlenen pik debi zamanını (16 Ocak 2012) en iyi tahmin eden FLAC (17 Ocak 2012) amaç fonksiyonudur. Pik debi zamanının oluşumunu diğ er amaç fonksiyonların tamamı ise, 10 günlük gecikme ile 27 Ocak 2012 olarak tahmin etmişlerdir. İsminden de anlaşılaçağı üzere FLAC amaç fonksiyonu burada gecikme zamanı parametresini ve pik debi oluşum zamanını tahmin ederken daha iyi performans sergilemiştir. Ayrıca, gözlenen ve simüle edilen pik debi değ eri arasındaki farkı en aza indirmeyi amaçlayan PEPD amaç fonksiyonu ise, pik debiyi birebir tahmin etmiştir. Diğ er amaç fonksiyonları pik debiyi, gözlemlenen pik debiden daha az tahmin etmişler ve en başarısız tahmin TWE amaç fonksiyonu tarafından gerçekleşmiştir. Diğ er taraftan, hacim bakımından sonuçlar incelendiğinde ise, oluşabilecek farkı en aza indirmeyi amaçlayan PEDV amaç fonksiyonu gözlemlenen değ erin aynısını vererek üstün bir tahmin performansı sergilerken, diğ er bütün amaç fonksiyonları (PEPD hariç) daha az tahminde bulunmuştur (Çizelge 6.1).



Şekil 6.4 Kalibrasyon ve doğrulama periyotları için gözlemlenen ve tahmin edilen hidrograflar

Çizelge 6.1 Kalibrasyon döneminde amaç fonksiyonların kullanılarak pik debi, pik debi zamanı, hacim değerlerinin gözlemlenen değerler ile karşılaştırılması

Yöntem	Ortalama	Standart Sapma	Hacim	Pik Debi	Pik Debi Zamanı
[-]	[m^3/s]	[m^3/s]	[mm]	[m^3/s]	[-]
FLAC	4,77	11,64	244,03	85,2	17.01.2012
MAR	4,75	11,30	242,82	78,8	27.01.2012
MSR	3,93	9,34	200,91	66,4	27.01.2012
NASH	3,93	9,34	200,91	66,4	27.01.2012
PEDV	5,00	11,89	256,2	81,1	27.01.2012
PEPD	7,43	17,74	380,24	121	27.01.2012
PWRMSE	5,32	12,54	272,25	88,8	27.01.2012
RMSE	3,82	9,01	195,68	63,7	27.01.2012
SAR	3,47	7,92	177,35	55,5	27.01.2012
SSR	3,93	9,34	200,91	66,4	27.01.2012
TWE	4,22	8,23	215,88	57	27.01.2012
Gözlem	5,01	11,04	256,2	121	16.01.2012

Şekil 6.3 ve Şekil 6.4’ deki bulguları destekler nitelikte olarak, Çizelge 6.2’ den de görüleceği üzere, 2013 su yılında gözlemlenen ortalama debi değeri $3,86 m^3/s$ olarak tespit edilirken; tüm amaç fonksiyonlarındaki ortalama debi değerleri bu değerden oldukça fazla olup $8,28-13,34 m^3/s$ arasında değişmektedir. Standart sapma bakımından incelendiğinde ise gözlem verileri simülasyonlara nazaran ortalama etrafında kümelenirken ($8,59 m^3/s$), amaç fonksiyonlarıyla elde edilen tahmin değerlerindeki $17,19 m^3/s$ ile $30,98 m^3/s$ arasında değişen yüksek standart sapma değerleri ortalama etrafındaki yayılımının bir göstergesidir. Doğrulama döneminde, simüle edilen hidrografta pik debi zamanı tüm amaç fonksiyonlarında (FLAC için 21 Aralık 2012) aynı günde (20 Aralık 2012) meydana gelmiştir. Pik debiyi tüm amaç fonksiyonları gözlemlenen pik debi miktarından daha fazla tahmin etmiş olup, %31,65 farkla en yakın değer TWE amaç fonksiyonu ile elde edilmiştir. Doğrulama süresi boyunca, akım hacmini ise yine tüm amaç fonksiyonları gözlemlenen akım hacminden daha fazla tahmin etmiştir. Akım hacmini %32,36 farkla en iyi tahmin eden SAR amaç fonksiyonudur (Çizelge 6.2).

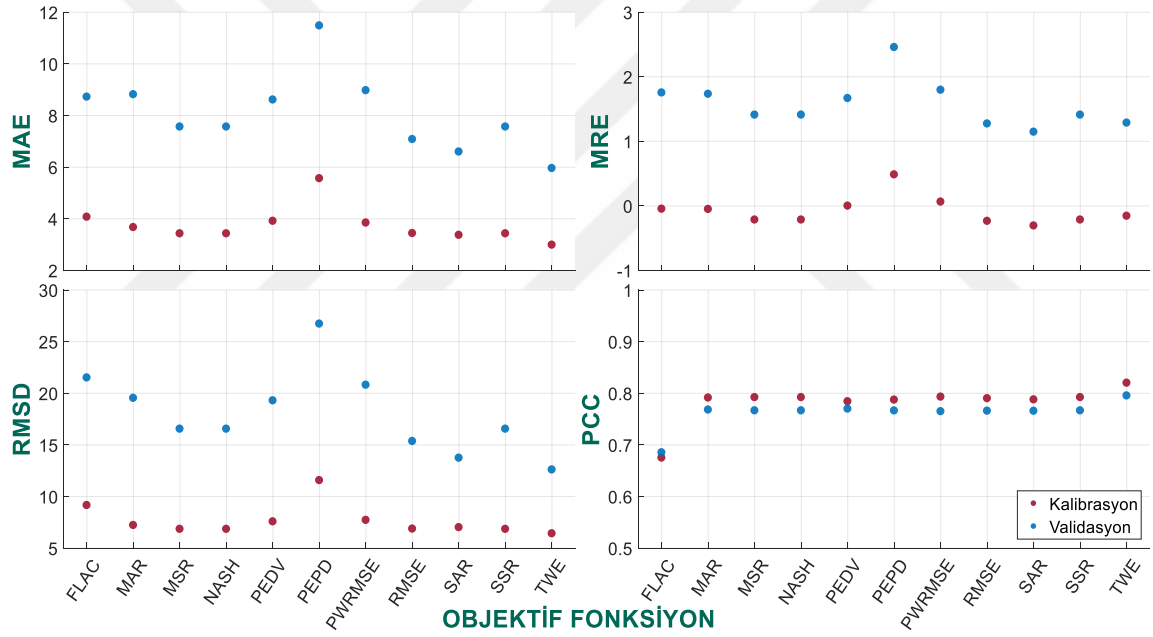
Çizelge 6.2 Doğrulama döneminde amaç fonksiyonların kullanılarak pik debi, pik debi zamanı, hacim değerlerinin gözlemlenen değerler ile karşılaştırılması

Yöntem	Ortalama	Standart		Pik Debi	Zamanı
		Sapma	Hacim		
[-]	[m^3/s]	[m^3/s]	[mm]	[m^3/s]	[-]
FLAC	10,63	25,35	786,41	218,5	21.12.2012
MAR	10,55	24,13	781,26	225,1	20.12.2012
MSR	9,30	21,22	675,56	200	20.12.2012
NASH	9,30	21,22	675,56	200	20.12.2012
PEDV	10,29	23,98	781,66	222,6	20.12.2012
PEPD	13,34	30,98	1061,26	285,2	20.12.2012
PWRMSE	10,79	25,41	823,01	238,9	20.12.2012
RMSE	8,77	20,05	643,39	189,1	20.12.2012
SAR	8,28	18,37	599,85	171,8	20.12.2012
SSR	9,30	21,22	675,56	200	20.12.2012
TWE	8,82	17,19	666,12	159,3	20.12.2012
Gözlem	3,86	8,59	453,21	121	20.12.2012

Modelin 2012 ve 2013 su yıllarındaki akım tahminlerinde başarı performansını genel manada değerlendirmek amacıyla, hidrograf grafiklerine ve çizelgelere ek olarak dört farklı istatistiksel parametre kullanılmıştır. Şekil 6.5’ te de görüleceği üzere, ortalama mutlak hata, ortalama bağıl hata, ortalama karekök hata, Pearson korelasyon katsayısı gibi her bir istatistiksel metot için kalibrasyon ve doğrulama döneminde kullanılan amaç fonksiyonların performansı karşılaştırılmıştır. Şekil genel manada incelendiğinde, MRE, MAE ve RMSD grafikleri birbirlerine benzemekte olup, kalibrasyon dönemi boyunca model performansı doğrulama döneminden daha iyidir.

MAE istatistiksel indisi baz alınarak yapılan kıyaslamaya göre, kalibrasyon ve doğrulama boyunca gözlem ve tahmin arasındaki mutlak hataların maksimumu PEPD amaç fonksiyonu kullanılarak elde edilen simülasyonlar verirken; en iyi sonuçlar TWE amaç fonksiyonu ile yakalanmıştır. Diğer taraftan, MRE değerleri kalibrasyon dönemi boyunca, PEPD amaç fonksiyonu hariç ($MRE=0,48$), diğer amaç fonksiyonların sıfır değerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bu durum toplam su hacminin iyi tahmin edildiğinin göstergesidir. 2013 su yılı bakımından incelendiğinde ise, bütün amaç fonksiyonları ile elde

edilen tahminler, gözlem değerlerini fazla tahmin eğiliminde ve MRE değerleri 1,27 ile 2,46 arasında değişmektedir. MAE sonuçlarına benzer şekilde MRE istatistiğine göre de yine en fazla tahminleri PEPD ile elde edilmiştir. Sonuçlar RMSD istatistiği bakımından incelendiğinde ise, kalibrasyon döneminde 6,42 ile 11,57 m³/s, doğrulama döneminde ise 12,60 ile 26,72 m³/s değerleri arasında yer almaktadır. Her iki su yılında da gözlem ve simülasyon değerleri arasındaki tahmin hataların bakımından en yüksek RMSD değerleri PEPD ile, en düşük değerler ise TWE amaç fonksiyonu ile elde edilen tahminlerdir. Kalibrasyon ve doğrulama dönemi boyunca PCC değerleri 0,7 ve 0,8 değerleri arasında olup birbirine yakın değerler almaktadır. Bu durum ölçülen ve simüle edilen değerler arasında pozitif yönlü ilişki olduğunu göstermektedir. Hem kalibrasyon hem de doğrulama döneminde en düşük PCC değerlerine FLAC amaç fonksiyonu ile en yüksek PCC değerlerine ise TWE amaç fonksiyonu ile ulaşılmıştır (Şekil 6.5).



Şekil 6.5 kalibrasyon ve doğrulama dönemlerinde kullanılan amaç fonksiyonların istatistiksel metotlar kullanılarak karşılaştırılması

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında uzaktan algılama yöntemleri ile Afrin Köprüsü havzasının morfolojisi incelenmiş ve HEC-HMS yazılımı kullanılarak havzanın yağış-akış süreçleri simüle edilerek modelin kullanılabilirliği test edilmiştir. Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada havza modellemesi, ikinci aşamada hidrolojik modelleme, üçüncü aşamada modelin istatistiksel performansı değerlendirilmiştir.

Sayısal yükseklik modelinin Arc-GIS yazılımında işlenmesiyle havza sınırı, akış ağı, eğimi gibi Afrin Köprüsü havzası için havza parametreleri belirlenmiştir. Ek olarak, toprak ve arazi kullanımı/ arazi örtüsü haritaları ORNL-DAAC ve CORINE veri kaynaklarından elde edilmiştir. Daha sonra HEC-HMS yazılımının uzantısı olan HEC-GeoHMS' nin kullanılmasıyla havzanın eğri numarası, gecikme süresi, alt havzaları ve alanları bulunmuştur. Elde edilen parametreler, HEC-HMS' de hidrolojik modelleme çalışmalarında kullanılmak üzere arka plan dosyası olarak HEC-HMS' ye aktarılmıştır.

Sızma (kayıp) yöntemi olarak SCS-CN metodu kullanılmıştır. Bu metotta CN değerleri her bir alt havza için HEC-GeoHMS yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. CN, hidrolojik toprak gruplarına, arazi kullanımına ve arazi örtüsüne bağlıdır. Yüzey akış analizi için sadeliği nedeniyle SCS birim hidrograf yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde ise hidrografın üretilmesi için gerekli olan gecikme süresi, HEC-GeoHMS yardımıyla hesaplanmıştır. Taşkın ötelenmesini belirlemek için Muskingum metodu kullanılmıştır. Bu yöntemde K ve X olmak üzere iki girdi parametresi vardır. Burada, K parametresi, bir dalganın akarsu kesiti boyunca geçtiği seyahat süresidir. X ise ağırlık faktörünü ifade etmektedir.

Bu çalışmada gereksinim duyulan akım verileri Devlet Su İşlerinden; sıcaklık ve yağış verileri ise Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir. Havza çevresinde bulunan 16 adet yağış istasyonundan, bazılarında uzun yıllara ait verilerin bulunmamasından ve/veya havza hidrolojisini yansıtmadığından dolayı bu çalışmada Gaziantep (17261), İslâhiye (17965), Kilis (17262) yağış istasyonlarına ait yağış verileri kullanılmıştır. Bu istasyonların üniform dağılmaması, yer şekilleri ve iklim şartlarının olumsuz etkilerinden dolayı Thiessen yöntemi kullanılarak havzanın alansal yağışı hesaplanmıştır. Yağış-akış arasındaki ilişkiyi incelemek amacıyla her iki su yılı için dağılım diyagramları kullanılmıştır. Diyagramlara ek olarak yağış-akış arasındaki ilişki korelasyon sayısı ile ifade edilmiştir.

Thiessen yöntemi diğer üç istasyona göre daha iyi sonuç vermiştir. Aylık ortalama evaporasyon değerleri Kharrufa metoduyla hesaplanmıştır.

Hidrolojik modelleme çalışmalarında kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları için su yılı ele alınmıştır. Kalibrasyon çalışması 2012 su yılı, doğrulama için ise 2013 su yılı için tercih edilmiştir. Hidrometeorolojik benzeşimlerde otomatik kalibrasyon yöntemi, manuel kalibrasyon yöntemi gibi zaman alıcı olmaması sebebiyle seçilmiştir. Otomatik kalibrasyon yöntemlerinden Tek Değişkenli Gradyan metodunun Nelder Mead metoduna göre daha iyi sonuç vermesi sebebiyle UG yöntemi seçilmiştir.

HEC-HMS model parametrelerinin optimizasyonları için on dört farklı amaç fonksiyonu yer almaktadır. Bu çalışmada en iyi sonuç veren, ilk gecikme oto korelasyonu, kalıntıların maksimum mutlağı, kalıntı kareleri ortalaması, Nash-Sutcliffe, debi hacmindeki hata yüzdesi, pik debideki hata yüzdesi, pik ağırlıklı karesel ortalama hata, mutlak kalıntıların toplamı, kalıntı kareleri toplamı, zaman ağırlıklı hata, ortalama karekök hata amaç fonksiyonları kullanılmıştır. Bu amaç fonksiyonları kullanılarak hidrograflar oluşturulmuş, sonrasında modelin başarı performansını değerlendirmek amacıyla istatistiksel metotlar kullanılmıştır.

Kalibrasyon döneminde, oluşturulan model pik debi zamanını en iyi FLAC amaç fonksiyonu tahmin etmiş olup gözlemlenen pik debi zamanından bir gün sonrayı tahmin etmiştir. PEPD pik debiyi en iyi tahmin eden amaç fonksiyonu olup diğer amaç fonksiyonları gözlemlenenenden daha düşük değerde tahmin etmiştir. Pik debiyi tahmin etmede en başarısız amaç fonksiyonu ise TWE' dir. Akım hacmini en iyi tahmin eden PEDV amaç fonksiyonudur. PEPD ve PWRMSE amaç fonksiyonları akım hacmini, gözlemlenen akım hacminden daha fazla tahmin etmişlerdir. Diğer amaç fonksiyonları ise gözlemlenen akım hacminden daha az tahmin etmişlerdir.

Doğrulama döneminde, simüle edilen hidrografta pik debi zamanı tüm amaç fonksiyonlarında hemen hemen aynı günde meydana gelmiştir. Pik debiler tüm amaç fonksiyonlarında gözlemlenen pik debi değerlerinden daha fazla tahmin edilmiştir. En iyi tahmini yapan TWE amaç fonksiyonudur. Ek olarak, akım hacmini tüm amaç fonksiyonları gözlemlenen akım hacminden daha fazla tahmin ederken en iyi tahmini SAR amaç fonksiyonu yapmıştır.

Modelin genel başarı performansını değerlendirmek amacıyla ortalama mutlak hata, ortalama bağıl hata, Pearson korelasyon katsayısı ve ortalama karekök hata istatistiksel

kriterleri kullanılmıştır. MAE, MRE, RMSD grafikleri genel olarak incelendiğinde birbirine benzer olduğu görülmektedir. Hem kalibrasyon hem de doğrulama dönemlerinde MAE, RMSD indislerinin en yüksek değeri PEPD amaç fonksiyonunda, en düşük değerinin TWE amaç fonksiyonunda olduğu görülmektedir. MRE değeri PEPD amaç fonksiyonu hariç (0,48) diğer amaç fonksiyonlarında sıfır değerine yakın olduğu görülmektedir. Bu durum toplam su hacminin iyi tahmin edildiğinin göstergesidir. RMSD kalibrasyon döneminde doğrulama dönemine göre daha iyi sonuç vermiştir. PCC hem kalibrasyon hem de doğrulama döneminde 0.7 ile 0.8 değerleri arasında yer alırken en düşük değerine FLAC amaç fonksiyonu ile ulaşmıştır. Genel olarak her iki dönemde de gözlemlenen ve tahmin edilen değerler arasında pozitif yönde bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Kalibrasyon ve doğrulama dönemlerinde görülen bazı pik yağışların yeterince akış bırakmadığı görülmektedir. Bu durumun sebebi başlangıç toprak nem koşulları olarak yorumlanabilir. Ayrıca, çalışma alanında içme suyuna duyulan ihtiyacın artması sebebiyle Yukarı Afrin barajı inşa edilmiştir. Çalışma havzasında daha önce hidrolojik modelleme çalışması yapılmamış olması ve bölgedeki mevcut su potansiyelinin önem arz etmesi, bu çalışmayı önemli kıldığı düşünülmektedir. HEC-HMS modelinin ücretsiz ve sade bir ara yüze sahip olması, diğer yazılımlarla birlikte kullanım kolaylığı sağlaması kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Çalışmada, yağış-akış analizlerinde günlük yağış değerleri dikkate alınarak yağıştan kaynaklı akım değerleri dikkate değerlendirilmiştir. İlerideki çalışmalarda, günlük yağış verilerine ek olarak kar erimeleri ve akıma dâhil olan yer altı suyunun etkisi de dikkate alınabilir böylece daha realist sonuçlar elde edilebilir. Ek olarak, çalışmada kullanılan SYM, AKAÖ ve HTG haritalarının uydu görüntülerinin mekânsal çözünürlüklerinin daha yüksek olması CN değerini etkileyeceğinden sonuçların daha doğru çıkmasını sağlayabilir. Elde edilen sonuçların Afrin Köprüsü havzasında planlama ve yönetim çalışmalarına yarar sağlayabileceği düşünülmektedir. CBS teknolojilerinin kullanılmasıyla akım verisi olmayan havzalarda da modelin uygulanabilirliği denenebilir.

KAYNAKLAR

- Akay, H., Baduna Koçyiğit M., (2018). Ölçüm alınmayan bir havzada yağış akış ilişkisinin bir hidrolojik model yardımıyla belirlenmesi: Akçay havzası örneği. *III. Uluslararası Mesleki ve Teknik Bilimler Kongresi*, 22-24 Haziran, 2018, Gaziantep, 2154-2159.
- Apaydın, A., (2004a). *Çakıloba-Karadoruk akifer sisteminin (Beypazarı Batısı-Ankara) beslenme koşullarının araştırılması*. Doktora Tezi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Ankara. 167s.
- Apaydın, A., (2004b). SCS-CN yöntemi ve arazi kapasitesi değerleri kullanılarak yağıştan süzülme ve yeraltı suyu besleniminin tahmini, DSİ Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltıları Dairesi Başkanlığı, Yeraltıları Semineri Ek Bildiriler Kitabı, *DSİ*, Ankara.
- Apaydın, A., (2007). Yeraltısu besleniminin eğri numarası (SCS-CN) yöntemi ile hesaplanması: Çakıloba-Karadoruk akifer sisteminde (Beypazarı-Ankara) örnek uygulama. *Yerbilimleri*, 28(3), 159-172.
- Aslan, Ş.T., Gündoğdu, K.S., Demir, A.O., (2004). Sayısal Yükseklik Modelinden Yararlanılarak Bazı Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi: Bursa Karacabey İnkaya Göleti Havzası Örneği. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1), 167-180.
- Atalay, O., (2008). *Taşkın Hidrograflarının elde edilmesiyle ilgili yöntemlerin karşılaştırılması*. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi. Kocaeli. 100s.
- Başıyigit, L., (2004). CORINE Arazi Kullanım Sınıflandırma Sistemine Göre Arazi Kullanım Haritasının Hazırlanması: Isparta Örneği. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10 (4), 366-374.
- Bora, E., Onuşluel Gül, G., (2019). Modeling of Floods in Güvenç Basin, Ankara using Hec-Hms. *Turkish Journal of Water Science and Management*, 3 (1), 44-47.

- Choudhari, K., Panigrahi, B., Paul, J. C., (2014). Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 5(2), 253.
- Chow, V. T., (1959). *Open channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Company New York, USA, 680s.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W., (1988), *Applied hydrology*, McGraw Hill, Book Company, New York.
- Çabuk, A., Çabuk, K. M., Aksoy, T., Şimşek, B., Güney, Y., Avdan, U., Uyguçgil, H., Çömert, R., (2018). *Coğrafi bilgi sistemlerine giriş*. Anadolu Üniversitesi Yayını No: 3752, Açıköğretim Fakültesi Yayını No: 2567, Eskişehir, 190s.
- Darlane, A., Bagheri, R., Karami, F., Javadianzadeh, M., (2019). Developing heuristic multi-criteria auto calibration method for continuous HEC-HMS in snow-affected catchment. *International Journal of River Basin Management*, 1814-2060. doi:<https://doi.org/10.1080/15715124.2019.1576696>
- DeMers, M.N., (2002). *GIS Modeling In Raster*. (Chapter 3) Map Algebra. John Wiley And Sons, Inc., New York.
- Derdour, A., Bouanani, A., Babahamed, K., (2018). Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS in a semi-arid region: Case study in Ain Sefra watershed, Ksour Mountains (SW Algeria). *Journal of water and land development*, 36 (1), 45-55.
- De Silva, M. M. G. T., Weerakoon, S. B., Herath, S., (2013). 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.
- Dingman, S. L., (2002). *Physical Hydrology*. Waveland Press, Inc., USA.
- Dis, M. O., Anagnostou E., Zac, F., Vergara, H., Hong, Y., (2015). Evaluating Multi-Scale Flow Predictions for the Connecticut River Basin. *Hydrol Current Res*, 6 (208). doi:[10.4172/2157-7587.1000208](https://doi.org/10.4172/2157-7587.1000208)

- Doğan, Y.O., (2018). *Çoruh Havzası' nda çok kriterli hidrolojik modelleme tahmin çalışması*. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. 146s.
- Elağca, A., (2020). *HEC-HMS modelini kullanarak yağış-akış süreci simülasyonu*. Yüksek Lisans Tezi. Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Kahramanmaraş. 105s.
- Eraydın, E., Çoşkun, H. G., Ağirlioğlu, N., (2015). Uzaktan algılama ve CBS yöntemleri kullanılarak akış eğri numaralarından Eşen çayı havzası için taşkınların belirlenmesi. *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*, 21-23 Mayıs, 2015, Konya, 429-436.
- Ercan, B., (2016). *Determination Of The Rainfall-Runoff Relationship For Kızılırmak Basin*. Yüksek Lisans Tezi. Gaziantep Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gaziantep. 81s.
- Ersoy, İ., (2016). Taşkınlarda bütüncül havza yaklaşımında havza amenajman planlarının önemi.4. *Ulusal taşkın sempozyumu*, Kasım 25-27, 2016, Rize, 1-36.
- Ferreira, F., Sevenhuysen P., Treurnich J., (1999). Satellite earth observation to detect urban land use change. <http://www.ngo.grida.no/soesa/nsoer/issues/land/inform.html>
- Görcelioğlu, E., (1983). Havza ortalama yağışının bulunmasında yeni bir yöntem. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 33(1), 222-237.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., Yapo, P. O., (1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of hydrologic engineering*, 4(2), 135-143.
- Güreşci, N. G., Seyrek, K., Sargın, A. H., (2012). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Hidroloji Uygulamaları, *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknoloji Dairesi Başkanlığı, CBS Şube Müdürlüğü*
- Györi, M. M., Haidu, I., (2011). Unit Hydrograph Generation for Ungauged Subwatersheds. Case Study: the Monoroştia River, Arad County, Romania. *Geographia Technica*, 6(2), 23-29.

- Halley, M. C., White, S. O., Watkins, E. W., (2000). ArcView GIS extension for estimating curve numbers, *ESRI User Conference-2000*, San Diego, California.
- Halwatura, D., Najim, M. M. M., (2013). Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environmental modelling & software*, 46, 155-162.
- Hawkins, R. H., (1998). Local sources for runoff curve numbers. *Eleventh Annual Symposium of the Arizona Hydrological Society*. September 23-26, Tucson, AZ.
- HEC-USACE, Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual Version 4.3, (2018). US Army Corps of Engineers. *Hydrologic Engineering Center*. Davis, CA, USA. September.
- Hokr, M., Marsyka, J., Sotner, O., (2003). Problems and modelling in forecasting of floods. *Proceedings of SIMONA 2003 Workshop*, Technical University of Liberec.
- Ibrahim-Bathis, K., Ahmed, S. A., (2016). Rainfall-runoff modelling of Doddahalla watershed-an application of HEC-HMS and SCN-CN in ungauged agricultural watershed, *Arabian Journal of Geosciences*, 9(3), 170.
- Irwin, S., Srivastav, R., Simonovic, S. P., (2014). Instruction for Watershed Delineation in an Arc-GIS Environment for Regionalization Studies. Department of Civil and Environmental Engineering, *Western University*, Canada. May. ISBN: (print) 978-0-77143071-8; (online) 978-0-7714-3072-5.
- Jansen, L.J.M., de Gregorio, A., (2004). Obtaining Land-use information from a remotely sensed land cover map: Results from a case study in Lebanon, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 5(2):141-157.
- Jyothi, M. Vishnu, B., (2017). Modelling the hydrology of watershed by using HEC-HMS. *International Journal of Engineering Science and Computing*, 7 (6), 13129-13132.
- Kacar, T., (2017). *Aras havzasında HEC-HMS ile hidrolojik modelleme ve akım tahmini*. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Eskişehir. 84s.

- Kalita, D. N., (2008). *A study of basin response using HEC-HMS and subzone reports of CWC*. In Proceedings of the 13th National Symposium on Hydrology. National Institute of Hydrology, Roorkee, New Delhi.
- Karadağ, A. A., (2012). Kovada Gölü alt havza sınırlarının belirlenmesi. *Düzce Üniversitesi Ormancılık Dergisi*, 8 (1), 58-76.
- Kayser, M., (2009). *Coğrafi bilgi sistemleri ile buharlaşma haritası oluşturulması*. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 212s.
- Keçik, M., (2021). Kişisel İletişim. DSİ 20. Bölge Müdürlüğü, Havza Yönetimi, İzleme ve Tahsisler Şube Müdürlüğü, Kahramanmaraş, Türkiye. 28.05.2021
- Kharrufa, N.S., (1985). *Simplified Equation for Evapotranspiration in Arid Region*. Beitrage Zur Hydrologie, Sonderheft 5-1, Kirchztan, S., pp. 39–47.
- Köseoğlu, G., Özdemir, B., (2013). CBS teknolojilerinin havza sınırlarının belirlenmesinde karar destek mekanizması olarak kullanılması. *Coğrafyacılar Derneği Yıllık Kongresi Bildiriler Kitabı*. 19-21 Haziran, 2013, İstanbul, 238-245.
- Kumar, P., Tiwart, K. N., Pal, D. K., (1991). Establishing SCS runoff curve number from IRS digital database. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 19 (4), 245-252.
- Li, X., Yeh, A.G., (2004). Analyzing spatial restructuring of land-use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 69(4): 335-354.
- Lillesand, M.T., Kiefer, W.R., (2000). Remote Sensing and Image Interpretation, *John Wiley & Sons*, New York.
- Madsen, H., Wilson, G., Ammentorp, H.C. (2002). Comparison of different automated strategies for calibration of rainfall-runoff models. *Journal of Hydrology*, 261 (1), 48-59.
- Madsen, H., (2003). Parameter estimation in distributed hydrological catchment modelling using automatic calibration with multiple objectives. *Advances in Water Resources*, 26 (2), 205-216.

- Maidment, D. R., (2002). *Archydro GIS For Water Resources*, Esri Press, California.
- Mandal, S. P. Chakrabarty, A., (2016). Flash flood risk assessment for upper Teesta river basin: using the hydrological modeling system (HEC-HMS) software. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2 (2), 59.
- Merwade,V., (2011). *Terrain Processing and HMS-Model Development using GeoHMS*. Purdue University.
- Mesta, B., Kargı, P. G., Tezyapar, İ., Ayvaz, M. T., Göktaş, R. K., Kentel, E., Tezel, U., (2018). Yenigözü Havzası' ndaki Yağış-Akış İlişkisinin HEC-HMS Hidrolojik Modeli ile Belirlenmesi. *Uluslararası Kentsel Su ve Atıksu Yönetimi Sempozyumu (UKSAY)*, October 25-27, 2018, Denizli, 201-207.
- Nash, C.H., Sutcliffe J.V., (1970). River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I-A. Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, 10, 282-290.
- Natarajan, S., Radhakrishnan, N., (2019). Simulation of extreme event-based rainfall–runoff process of an urban catchment area using HEC-HMS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 5 (4), 1867-1881.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., Williams, J. R., (2011). *Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*. Technical Report, Texas Water Resources Institute, College Station, 1- 647.
- Nelder, J.A., R. Mead., (1965). A simplex method for function minimization. *Computer Journal*, 7: 308–313.
- Özcan, O., (2017). Taşkın tespiti için farklı yöntemlerle değerlendirilmesi: Ayamama Deresi örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 3(1), 9-27.
- Özbek, T., (1989). *Hidroloji*. Gazi Üniversitesi Yayınları, Ankara, 211s.
- Özdemir, H., (2007). SCS-CN Yağış-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 5 (2), 1-12.

- Özer, Z., (1990). Su yapılarının projelendirilmesinde hidrolojik ve hidrolik esaslar (Teknik rehber). Ankara. *Tarım Orman ve Köyişleri Bakanlığı, Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı*.
- Öztürk, D., Batuk, F., (2011). SCS yüzey akış eğri numarasının uzaktan algılama ve coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi. *Uluslararası Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Sempozyumu*. 23 Şubat 2011, Antalya
- Pektaş, A. O. (2012). *Büyük Havzalarda Akış Katsayısının Hesaplanması*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 192s.
- Poyen, F.B., Kundu, P., Ghosh, A. K., (2018). Temperature based ET Method Selection for Burdwan District in WB, INDIA. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(16), 12753-12763.
- Ramly, S., Tahir, W., (2016). Application of HEC-GeoHMS and HEC-HMS as rainfall–runoff model for flood simulation. *ISFRAM 2015*, Springer, Singapore, 181-192.
- Ritter, A., Muñoz-Carpena, R., (2013). Performance evaluation of hydrological models: Statistical significance for reducing subjectivity in goodness-of-fit assessments. *Journal of Hydrology*, 480 (1): 33–45.
- Shultz, M. J., (1992). Comparison of flood routing methods for a rapidly rising hydrograph routed through a very wide channel. Doctoral dissertation. The University of Texas at Arlington. 146s.
- Soil Conservation Service (SCS), (1956, 1964, 1971, 1972, 1985, 1987). Hydrology, National Engineering Handbook, Supplement A, Section 4, Chapter 10, Soil Conservation Service, U.S.D.A., Washington, D.C.
- Sorooshian, S., Gupta, V.K. (1995). Model calibration. V.P. Singh (Editör), Computer models of watershed hydrology. *Water Resources Publication*. 1144s.
- Tassew, B. G., Belete, M. A., Miegel, K., (2019). Application of HEC-HMS Model for Flow Simulation in the Lake Tana Basin: The Case of Gilgel Abay Catchment, Upper Blue Nile Basin, Ethiopia. *Hydrology*, 6 (1), 21.

- Taş, E., Şorman, A.A., (2020) Dağlık bir havzada uydu verisi destekli hidrolojik modelleme. *Uludağ University Journal of The Faculty of Engineering*, 25(2), 813-830.
- TR-55, Soil Conservation Service. Urban Hydrology for Small Watersheds (Technical Release 55), (1986). Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture. Washington DC. June.
- Uğurluoğlu, A., (2017). *Su havzalarında hidrolojik modelleme: Manyas gölü yukarı havzası uygulaması*. Uzmanlık Tezi. Orman ve Su İşleri Bakanlığı. Ankara. 151s.
- Ulugür M. E., (1972). *Su Muhendisliği*. Çağlayan Kitabevi. İstanbul, 350s.
- Ülke, A., (2003). *Muskingum metodu kullanılarak taşkın ötelenmesi*. Doktora Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Isparta. 105s.
- Ünsal, İ., (1978). *Değişken akımların hidroliği*. Matbaa Teknisyenleri Basımevi. İstanbul, 289s.
- Wałęga, A., (2013). Application of HEC-HMS programme for the reconstruction of a flood event in an uncontrolled basin. *Journal of Water and Land Development*, 18 (9), 13-20.
- Williams, J. E., C. A. Wood, M. P. Dombeck. Eds. (1997). Watershed Restoration: Principles And Practices Bethesda (MD). *American Fisheries Society*
- Xu, C. Y., Singh, V. P., (2001). Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. *Hydrological processes*, 15(2), 305-319.
- Yanmaz, A. M. (2013). *Applied Water Resources Engineering*. 4th Edition. Çankaya-Ankara: Tarcan Matbaacılık Yay. San.644s.
- Yıldız, F., Gürer, İ., (2014). Sultansazlığı sulak alanı için buharlaşma yöntemlerinin karşılaştırılması. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part c: Tasarım ve Teknoloji*, 2 (3), 247-254.
- Yener, M. K., Sorman, A. U., Sorman, A. A., Sensoy, A., Gezgin, T., (2007). Modeling studies with HEC-HMS and runoff scenarios in Yuvacik Basin, Türkiye. *Int. Congr. River Basin Manage*, 4, 621-634.

- Yılmaz, M. U., (2015). *Performans ağırlıklı yöntemlerle aylık akımların tahmini: Orta Fırat Havzası Uygulaması*. Doktora Tezi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. İstanbul. 115s.
- Anonim, (2012). Downloading CORINE Land cover data website. URL: <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2012?tab=download> (Erişim Tarihi: 04.11.2019)
- Anonim, (2019a). Downloading digital elevation model data website. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov> (Erişim Tarihi: 18.10.2019)
- Anonim, (2019b). Downloading Global hydrological soil groupsdata website. URL: https://daac.ornl.gov/cgi-bin/dsviewer.pl?ds_id=1566 (Erişim Tarihi: 04.11.2019)
- Anonim, (2020). Arc-GIS Pro official website. URL: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/main/welcome-to-the-arcgis-pro-app-help.htm> (Erişim Tarihi: 10.10.2020)
- Anonim, (2021a). Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM). URL: <https://mgm.gov.tr/genel/buharlasma.aspx?s=3> (Erişim Tarihi: 20.03.2021)
- Anonim, (2021b). TRT haber web sitesi. URL: [Yukarı Afrin Barajı yarın açılıyor - Son Dakika Haberleri \(trthaber.com\)](https://www.trthaber.com) (Erişim Tarihi:10.06.2021)