



T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



HEC-HMS KULLANARAK JUBA NEHRİ
HAVZASI'NIN YAĞIŞ AKIŞ
SİMÜLASYON MODELLEMESİ

YAHYE AHMED DAUD
YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Ağustos-20220
KONYA

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Yahye Ahmed Daud tarafından hazırlanan “HEC-HMS Kullanarak Juba Nehri Havzasının Yağış Akış Simülasyon Modellemesi” adlı tez çalışması 02/08/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Meral BÜYÜKYILDIZ

.....

Danışman

Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN

.....

Üye

Doç. Dr. Ş. Yurdağül KUMCU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun/.../20.. gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim KALAYCI
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

İmza

Yahye Ahmed DAUD

Tarih: 02.08.2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HEC-HMS KULLANARAK JUBA NEHRİ HAVZASININ YAĞIŞ AKIŞ SİMÜLASYON MODELLEMESİ

YAHYE AHMED DAUD

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Hidrolik Anabilim Dalı

Danışman: PROF. DR. MEHMET EMİN AYDIN

2022, 99 Sayfa

Jüri

Danışman Prof. Dr. Mehmet Emin Aydın

Doç. Dr. Meral Büyükyıldız

Doç. Dr. Ş. Yurdağül Kumcu

Yağış-akış modellemesi, su kaynakları planlaması, geliştirme, tasarım, işletme ve yönetim dahil olmak üzere çok çeşitli çevresel ve su kaynakları sorunlarının ele alınmasında ana araç haline gelmiştir. Yağış akış modellemesi Sel, kuraklık, su kaynaklarının uygun yönetimi; yüzey ve yeraltı suyunun doğru kullanımı, hidrolik yapıların güvenilir tasarımı ve havzaların potansiyel suyunun gerekçelendirilmesine önemlidir. Bu çalışmada Juba havzasının HEC-HMS'le uygulanabilirliği Yağış-akış modellemesi değerlendirilmiştir. Modeli geliştirmek için Arc-GİS, Hidrolojik Mühendislik Merkezi'nin Hidrolojik Modelleme Sistemi (HEC-HMS) ve Uzantısı, HEC-GeoHMS kullanılmıştır. Bu çalışmanın iki amacı vardır: Birincisi, Somali Havzalarına HEC-HMS uygulanabilirliğini test etmek ikincisi ise Juba nehri havzasının potansiyel akışını araştırmak. İlk olarak, havzanın arazi karakteristikleri 12.5m çözünürlüklü SYM' den çıkarılır ve havzanın hidrolojik parametreleri HEC-GeoHMS aracılığıyla işlenir ve son olarak sürekli yağış akışı modelli HEC-HMS tarafından simüle edilir. HEC-HMS model çıktıları Nash-Sutcliffe Verimliliği (NSE), Determinasyon Katsayısı (R2) ve Yüzde Biası (PBIAS) kullanılarak performanslarına değerlendirilmiştir. Kayıp, dönüşüm, Baz akışı ve Yönlendirme hesaplama yöntemleri için sırasıyla Soil Moisture Accounting, Clark Unit Hydrograph, Constant Monthly ve Muskingum yöntemleri kullanılmıştır. HEC-HMS parametreleri 1/Ocak/2006 - 31/Aralık/2011 tarihleri arasında kalibre edilmiştir; daha sonra model, 01/Ocak/2012 - 31/Aralık/2015 tarihleri arasındaki dönemde doğrulanmıştır. HEC-HMS model değerlendirmesinden elde edilen sonuç, NSE, PBIAS ve R2'nin kalibrasyon için sırasıyla 0.71, 0.26 ve 0.75 ve doğrulama için sırasıyla 0.54, -0.16 ve 0.72 olduğunu göstermiştir. Bunlar, HEC-HMS modelinin Juba Havzası'nın akışının simülasyonu için iyi performans gösterilmiştir.

Anahtar Kelimeler: HEC-HMS, Juba Havzası, Yağış Akış Modelleme, Sürekli Modelleme

ABSTRACT

MS THESIS

RAINFALL RUNOFF SIMULATION MODELING FOR JUBA RIVER BASIN USING HEC-HMS

Yahye Ahmed DAUD

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
NECMETTİN ERBAKAN UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: PROF. DR. MEHMET EMİN AYDIN

2022, 99 Pages

Jury

Advisor Prof. Dr. Mehmet Emin Aydın

Assoc. Prof. Dr. Meral Büyükyıldız

Assoc. Prof. Dr. Yurdagül Kumcu

Rainfall-runoff modeling has become a main tool in addressing a wide spectrum of environmental and water resources problems, including water resources planning, development, design, operation, and management. Flooding; droughts, proper management of water resources; proper use of surface and groundwater; reliable design of hydraulic structures and justifying the potential water of basins. In this study the applicability Rainfall-runoff modelling of Juba basin is assessed. Arc-GIS, Hydrologic Engineering Centre's Hydrologic Modelling System (HEC-HMS) and its Extension HEC-GeoHMS are used to develop the model. There are two goals of this study the first one is test the applicability of HEC-HMS to the Somali Basins and to investigate the potential runoff of Juba river Basin. Firstly, terrain characteristic of the basin is extracted from 12.5m resolution DEM, then hydrologic parameters of the basin are processed through HEC-GeoHMS finally continuous rainfall-runoff model are simulated by the HEC-HMS. The HEC-HMS model output was evaluated using Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE), Coefficient of determination (R²), and Percent Bias (PBIAS). Soil Moisture Accounting Clark Unit Hydrograph and Muskingum methods were used for loss, transformation and routing calculations, respectively. HEC-HMS parameters are calibrated between 1/January/2006 - 31/December/2015; then, the model is validated the period between of 01/January/2012 - 31/December/2015. The result from the HEC-HMS model evaluation showed that NSE, PBIAS and R² were 0.71, 0.26 and 0.75, respectively for calibration and 0.54, -0.16, and 0.72 respectively for validation. These indicated that the HEC-HMS model performed well for simulation of the runoff of the Basin.

Keywords: HEC-HMS, Juba Basin, Rainfall Runoff modelling, Continues Modelling.

ÖNSÖZ

Öncelikle ve en çok Yüce Allah'ıma şükrediyorum, çünkü onun sayesinde refahımı elde ettim ve çalışma zamanımdaki ve hayatımdaki her engeli aştım. Daha sonra en derin şükranlarımı danışmanım Prof. Dr. Mehmet Emin AYDIN tez çalışma süresinde cömertliği ve nezaketi için. Tez hazır olması, yardım etmeye, yapıcı yorumları ve çok değerli önerileri olmadan gerçekleştirilemezdim; bunlar çok takdir edilmektedir. Aileme, özellikle de hayatımın ilham kaynağı olan sevgili Anneme ve Babama en büyük şükranlarımı borçluyum; eğitime olan tutkunuz bu çalışmanın tamamlanmasına büyük katkıda bulunmuştur; bu tam size göre. Son olarak başından sonuna kadar yanımda duran tüm insanlara teşekkür ediyorum.

Yahye Ahmed DAUD
KONYA-2022

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı:.....	1
1.2. Tezin Önemi	2
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Yağış-Akış Modelleme.....	5
2.2. HEC-HMS	5
2.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS).....	7
2.2.2. HEC-GeoHMS.....	7
2.3. HEC-HMS Uygulamaları	7
2.4. Araştırmada Kullanılan İstatistiksel Standartlar	11
2.4.1. Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSVK).....	12
2.4.2. Korelasyon katsayısı (R^2)	12
2.4.3. Ortalama bağıl hata (PBIAS).....	12
3. MATERYAL VE METOT HEC-HMS ÖZELLİKLERİ	14
3.1. HEC-HMS Özellikleri.....	14
3.2. On İşleme.....	17
3.2.1. Proje Oluşturma	19
3.3. Havza modeli	19
3.3.1. Kayıp Metodu “Toprak Nemi Muhasebesi (SMA)”	19
3.3.2. Dönüşüm Metodu (Transform Method)	21
3.3.3. Baz akışı metodu (Baseflow method).....	22
3.3.4. Yönlendirme yöntemi (Routing method).....	22
3.4. Meteorolojik Model	23
3.5. Veri Girişi	23
3.6. Kontrol Özellikleri	23
3.7. Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması	23
3.8. Duyarlılık analizi	25
3.9. Çalışma Alanı	27

3.9.1. İklim.....	27
3.9.2. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü.....	29
3.9.3. Çalışma alanının toprak özellikleri	30
3.10. Hidrolojik veri setleri.....	32
3.10.1. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM).....	32
3.10.2. Yağış ve akış verileri	32
3.10.3. Havzanın alansal yağış istasyonları	33
3.10.4. Yağmur ölçerlerin homojenlik testi	34
3.10.5. Yağış verilerinin Tutarlılık testi.....	35
3.10.6. Akış verilerinin homojenlik testi	38
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Havza ön işleme.....	40
4.1.1 Hatasız sayısal yükseklik modeli oluşturma.....	40
4.1.2.Akış yönü belirlenmesi ve Akış birikimi.....	41
4.1.3. Akış tanımı.....	44
4.1.4. Akış bölümlenme ve alt havzaların belirlenmesi.....	44
4.1.5. Alt havzalar poligon oluşturma ve drenaj hattı işleme	44
4.2 HMS Proje Oluşturma	50
4.2.2 Havza işleme.....	50
4.2.3. Alt havza özellikleri.....	53
4.2.4 HMS Dosyası Oluşturma	54
4.3. Hidrolojik parametrelerin belirlenmesi.....	54
4.3.1. Kayıp metodu parametreleri	55
4.3.2. Dönüşüm metodu parametreleri.....	57
4.3.3. Baz akışı metodu parametreleri	58
4.3.4. Yönlendirme yöntemi	58
4.4. Kalibrasyon ve Doğrulama Modeli.....	59
4.4.1. Kalibrasyon.....	59
4.4.2. Doğrulama	60
4.5 Gözlemlenen ve Simüle edilen Aylık Ortalama Akışın Karşılaştırılması	61
4.6.Yüzey akış potansiyeli	62
4.6. Duyarlılık analizi	63
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	67
5.1 Sonuçlar	67
5.2 Öneriler	68
6. KAYNAKLAR	69
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	77

TABLolar DİZİNİ

Tablo 2.1. Ampirik Kavramsal ve Fiziksel modellerin özellikleri (Jan Sitterson1 ve Ark,2017).....	4
Tablo 2. 2. Anı Modelleme simülasyon çalışmaları	8
Tablo 2. 3. Sürekli modelleme simülasyon çalışmaları	10
Tablo 2. 4. Juba Havzası modelleme için performans değerlendirme kriterleri (Moriassi ve Ark 2015)	13
Tablo 3. 1.Seçilen HEC-HMS yöntemlerinin listesi.....	15
Tablo 3. 2. HEC-HMS Modelinin Sınırlama Parametreleri (Kaynak: (Arlen & Feldman, 2000)	26
Tablo 3. 3. Çalışma alanının arazi örtüsü	29
Tablo 3. 4. Çalışma alanının toprak tipleri	31
Tablo 3. 5. Çalışma verileri ve kaynağı	33
Tablo 3. 6. Juba Havzanın YGI,OYGI ve AGİ özellikleri.	34
Tablo 4. 0-1. SMA kayıp metodu parametreleri	56
Tablo 4. 0-2. Juba Havzası için SMA model parametresi ayarlanmıştır	56
Tablo 4. 0-3. Juba Havzası için Clark birim hidrograf parametreleri.....	57
Tablo 4. 0-4. baz akışı değerleri	58
Tablo 4. 0-5. Muskingum parametrelerin değerleri	59
Tablo 4. 0-6. Alt Havzaların Ortalama aylık simüle edilmiş akışı (m ³ /s).....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hidrolojik süreçler için HEC-HMS simülasyonuna genel bakış (USACE, 2000)	6
Şekil 3.2. HEC-GeoHMS ve HEC-HMS arasındaki ilişkiye genel bakış (usace, 2000)	17
Şekil 3.3 .HEC-GeoHMS ile ön işleme akış şeması (USACE, 2013)	18
Şekil 3.4.SMA algoritmasının kavramsal şeması Kaynak: Bennett, 1998	20
Şekil 3.5. HEC-HMS modelinde SMA kayıp metodu parametreleri	21
Şekil 3.6.Kalibrasyon prosedürünün şeması (USACE, 2000)	24
Şekil 3.7. Juba havzası haritası	27
Şekil 3.8. İklimsel verilerin aylık ortalama değerlerinin değişimi	28
Şekil 3.9. Çalışma alanının arazi örtüsü Haritası	30
Şekil 3.10.Çalışma alanının toprak haritası	31
Şekil 3.11.Çalışma alanının toprak haritası	32
Şekil 3.12.Çalışma alanındaki gözlem istasyonlarının yeri	34
Şekil 3.13. Havzanın Yağış istasyon verilerinin Homojenik test	35
Şekil 3.14. luuq y.istasyonu ‘un Çift toplam eğrisi	37
Şekil 3.15 Bardere y.istasyonu ‘un Çift toplam eğrisi	37
Şekil 3.16 Busar.istasyonu ‘un Çift toplam eğrisi	37
Şekil 3.17 Burdubo y.istasyonu ‘un Çift toplam eğrisi.....	37
Şekil 3.18 Bardere Akış gözlem istasyon verilerin homojenlik testi.....	39
Şekil 4.1. Boşluk doldurma gösterimi	40
Şekil 4.2. Juba havzanın düzeltilmiş sayısal yükseklik modeli	41
Şekil 4.3. Akış yönü.....	42
Şekil 4.4. Akış birikimi.....	43
Şekil 4.5. Akış tanımı	45
Şekil 4.6 Akış bölümleri	46
Şekil 4.7 Alt havzaları tanımı	47

Şekil 4.8 Alt havzalar poligonları	48
Şekil 4.9 Drenaj çizgisi	49
Şekil 4.10 Juba Havzası Çıkış Noktası	51
Şekil 4.11. Juba alt havzaları	52
Şekil 4.12. Juba alt havzalarının özellikleri	53
Şekil 4.13. Juba havzanın HEC-HMS dosyası oluşturma (HEC-HMS, v.4.7).....	54
Şekil 4.14. Kalibrasyon dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen günlük akışı (2006-2012)	60
Şekil 4.15 Doğrulanma dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen günlük akışı (2006-2012)	61
Şekil 4.16 Kalibrasyon dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen Aylık Ortalama Akışın Karşılaştırılması akış (2006-2011)	62
Şekil 4.17 doğrulanma dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen Aylık Ortalama Akışın Karşılaştırılması akış (2012-2015)	62
Şekil 4.18 Jubabasin'deki değişim parametresinin duyarlılık analizinden elde edilen model sonuçları (toplam akış hacmi (%))	64
Şekil 4.19 Juba havzasındaki Tepe akışı (%) değişim parametresinin duyarlılık analizinden elde edilen model sonuçları	64
Şekil 4.20 W550 alt havzası Kalibrasyon dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen grafiği (2006-2011)	65
Şekil 4.21. J159 kavşağı Kalibrasyon dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen grafiği (2006-2011)	65
Şekil 4.22.W550 alt havzası doğrulanma dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen grafiği (2006-2011)	66
Şekil 4.23 J159 kavşağı doğrulanma dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen grafiği (2006-2011)	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Q	: Yüzey Akış Yüksekliği
Q_o	: Gözlemlenen Akım Verileri
$\overline{Q_o}$: Gözlemlenen Tüm Akım Değerlerinin Ortalaması
Q_s	: HEC-HMS Modelinin Simülasyon Akış Verileri
S	: Su deposu
S_k	: Artık kütlesi
\bar{X}	: Ortalama

Kısaltmalar

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AGİ	: Akım Gözlem İstasyonu
Arc-GIS	: Aeronautical Reconnaissance Coverage Geographic Information System (Havacılık Keşif Kapsamı-Coğrafi Bilgi Sistemi)
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
HEC-HMS	: Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (Hidrolojik Mühendislik Merkezi - Hidrolojik Modelleme Sistemi)
SWALIM	: Somalia Water And Land Information Management
NSVK (NSCE)	: Nash-Sutcliffe Verimlilik Katsayısı (Nash-Sutcliffe Coefficients of Efficiency)
OBH (MRE)	: Ortalama Bağıl Hata (Mean Relative Error)
PBIAS	: Percent bias (Yüzdesi önyargı)
UTM	: Universal Transverse Mercator (Evrensel Ters Merkatör)
USACE	: U.S. Army Corps of Engineers (ABD Ordu Mühendisleri Birliği)
YGİ	: Yağış Gözlem İstasyonu

1. GİRİŞ

Yağış-akış modellemesi, çeşitli parametrelerin duyarlılığı nedeniyle araştırması zor olan fiziksel bir olgudur. Esas olarak Meteoroloji, topografya, Jeoloji, toprak ve arazi kullanım modeline bağlı olan yüzey akışının değerlendirilmesi, hidrolik yapıların doğru planlanması ve bölgedeki doğal tehlikelerin hafifletilmesi için gereklidir.

Yağış-akış simülasyonu, havza yönetiminde kullanılan önemli hidrolojik parametrelerden biridir. Havzalardaki akışın yanlış değerlendirilmesi, barajlar, dolu savaklar, kanal iyileştirmeleri, taşkın kanalları ve köprüler gibi hidrolik yapıların tasarımında bazı sorunlara sebep olmaktadır. Bu nedenle, yağış akışının simülasyonu, akış tahmini için uygun bir çözümdür. Şimdiye kadar, nehirlerin akış yoğunluğunun tahmin edildiği birçok model ve yağış akışını tahmin edilmesi ve simülasyonu için farklı yollar bulunmaktadır.

Hidrolojik modellemenin farklı teknikleri, amaçları ve veri kullanılabilirliğine dayalı farklı çalışmalarda çeşitli yazılımlar aracılığıyla geliştirilmiştir. HEC-HMS, yağış akış modellemesi için Dünyanın farklı bölgelerindeki hidrolojik çalışmalarda çok popüler ve yaygın olarak kullanılan yazılımlardan biridir. Bu yazılım, ABD Ordusu Mühendisler Birliği Hidrolojik Mühendislik Merkezi tarafından nehir akışını grafiksel bir ara yüzle simüle etmek için geliştirilmiştir. (USACE, 2018) HEC-HMS Hidrolojik Mühendislik Merkezi'nin HEC-1 programının yerini alan yeni nesil bir yazılımdır. Literatür bölümünden de görülebileceği üzere HEC-HMS hem sürekli hem de olay bazlı hidrolojik modellemelerinde test edilmiştir

1.1. Tezin Amacı:

HEC-HMS, dünyadaki birçok havza için test edilmiş ve kalibre edilmiştir, ancak Somali'de bu model ile yapılan az sayıda çalışma bulunmaktadır. Somali'de planlama ve yönetim amaçlı hidrolojik modellerin kullanımı ve geliştirilmesi Havzaları son senelerde başlanmıştır. Bu çalışmanın temel amacı, Hidrolojik Mühendislik Merkezi-hidrolojik modelleme sistemi (HEC-HMS) kullanarak Juba Nehri havzasının su potansiyelinin belirlenmesidir. Buna göre HEC-HMS parametrelere bu çalışmada, 2006-2015 dönemi için juba Nehri havzasının günlük yağış ve akış verilerine dayanarak yıllık HEC-HMS modeli simülasyonu kullanmaktır. Bu çalışmanın diğer amaçları ise HEC-HMS model kurulumu için parametre seçimini anlamak ve sürekli simülasyonların gereksinimlerini araştırmaktır. Çalışmanın sürekli simülasyonlar için HEC-HMS modeli ile havza

modellemesi için rehberlik sağlaması beklenmektedir. Bu nedenle bu çalışmanın bulguları Somali'deki diğer havzalar için hidrolojik modellerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

1.2. Tezin Önemi

Canlıların ve toplumun bütün kesimlerinin su taleplerinin sağlanmasının planlanması ve sudan gelen olumsuz etkilerin kontrol altına alınması insan refahı, ekonomik büyüme ve çevrenin korunması önemlidir. Bir ülkenin ya da bir bölgenin su problemlerini çözmek için iki hususun göz önüne alınması gerekmektedir. Birincisi ülkenin bütün kesimlerinin su talebinin karşılanabilmesinin incelenmesidir. Evsel, endüstriyel ve tarımsal su talepleri hem miktar hem de kalite olarak ne kadar iyi karşılanırsa ülkenin Sosyo ekonomik durumu o kadar iyi olur. Diğer yandan su kaynakları etkin bir şekilde kullanılmazsa ve suyun fiziksel, kimyasal ve biyolojik kalitesi korunmazsa kirleticiler kuraklık ve sorunları ortaya çıkacaktır. İkincisi ise taşkınlardır. Akarsu yataklarına gelen fazla sular taşkınlara sebep olmaktadır. Taşkınlar doğal kaynaklara ve çevrenin kalitesine zarar vermektedir ve dolaylı olarak yoksulluğun artmasına katkıda bulunur, bu da hem doğal hem de insani sistemlerin zayıflığını artırır. Somali Federal Cumhuriyeti kurak ve yarı kurak iklimli bir ülkedir ve nüfusun çoğunluğu yağmurla beslenen tarıma bağlıdır. Doğu Afrika'daki kurak ve yarı kurak iklimli ülkelerde yetersiz yağışlar, yüksek nüfus artışı ve su kaynakların optimum kullanımı problemleri vardır. Doğal felaketlerden olan taşkınlar ve kuraklıklar gerek dünyada gerekse Somali de çok büyük mal ve can kayıplarına sebep olmaktadır. Somali'nin coğrafi konumu, bakımsız çevresi, iklimi ve ülkedeki siyasi istikrarsızlık nedeniyle kuraklıklara ve taşkınlara karşı alınan önlemler yetersizdir. Somali toprakları üzerinde kuraklıkların ve taşkınların olumsuz etkileri vardır. Juba Havzası düzensiz yağışlar ve yüksek sıcaklıklara sahiptir. Yağış olayları genellikle seyrek, kısa süreli ve yüksek yoğunluklu fırtına olarak ortaya çıkar ve bu da aşırı yağışların havza alanı boyunca hızla su basmasına neden olur ve sonra Juba nehri'nin su baskını ile sonuçlanır. Bu nedenle, yağış akış modellemesi önemlidir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Yağış-Akış Modellemesi

Yağış akışı modelleme sistemi (YAMS), çeşitli yağış, iklim ve arazi kullanımı kombinasyonlarının yüzey suyu akışı, sediment verimi ve genel havza hidrolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmek için geliştirilmiş modüllerle tasarımı bir modelleme sistemidir. 1960' lardan bu yana çok sayıda havza modeli geliştirilmiştir. Crawford ve Linsley (1966) tarafından Stanford Watershed Modelling (SWM), çok faktörü sanal bir havza oluşturmak için hidrolojik süreçlerin bileşenlerini entegre etmek için ilk girişim oldu. Aynı anda, diğer modeller Dawdy ve O'Donnell (1965) tarafından geliştirilmiştir, HEC-1 Hidrolojik Mühendislik Merkezi ise ABD ordu mühendisleri tarafından geliştirilmiştir.

Son yıllarda sayısal simülasyon ve istatistiksel simülasyon ve geliştirilen bilgisayar teknolojilerinin gelişmesi ile havza modellerinin sayısı hızla artmıştır. Günümüzde CBS, uzaktan algılama teknikleri ve veri tabanı yönetim sistemlerinin kullanılmasıyla havza modelleri çok daha güçlü hale gelmekte ve modeller geliştirilmeye ve iyileştirilmeye devam etmektedir (Singh & Woolhiser, 2002). Havza ölçekli modeller kullanılan modelleme yaklaşımlarına göre sınıflandırılabilir. En kritik sınıflandırmalardan biri : ampirik modeller, kavramsal modeller ve fiziksel temelli modellere dayanmaktadır (Sitterson ve ark., 2017).

Ampirik modeller veriye dayalı modellerdir ve regresyon ve korelasyon modellerini kullanarak girdiler ve çıktılar arasındaki fonksiyonel ilişkileri tanımlayan matematiksel denklemleri içerirler Kavramsal modeller ise yarı ampirik denklemler kullanılarak bir havzadaki fiziksel elementleri ve hidrolojik süreçleri temsil eden bağlantılı rezervuarlardan oluşur. Öte yandan, fiziksel modeller mekânsal dağılıma ve fiziksel özellikleri tanımlayan parametrelerin değerlendirilmesine dayanmaktadır (Devia, ve ark 2015). Ampirik, kavramsal ve Fiziksel modellerin özellikleri Tablo 2. 1.de sunulmuştur.

Tablo 2. 1. Ampirik Kavramsal ve Fiziksel modellerin özellikleri (Jan Sitterson1 ve Ark,2017)

	Ampirik	Kavramsal	Fiziksel
Yöntem	Doğrusal olmayan girişler ve çıkışları arasında ilişki	Basitleştirilmiş denklemler havzanın su deposunu temsil eder	Fiziksel yasalar gerçeğe dayalı denklemler hidrolojik tepkiler
Güçlü Yönler	Az sayıda gerekli parametreler, daha doğru, hızlı ol Çalışma süresi	Kalibre edilmesi kolay, basit model yapısı	Mekânsal içerir ve geçici Değişkenlik, çok iyi ölçek
Zayıf Yönler	Arasında bağlantı yok fiziksel havza, giriş veri bozulması dikkate almıyor	Havzanın içindeki mekânsal değişkenlik Dikkate almaz	Çok sayıda parametreler ve kalibrasyon gereklidir, site spesifik
En İyi Kullanım	Ölçülmemiş olarak su havzaları, akıntı Gereken tek çıktı	Hesaplamalı olduğunda zaman veya veriler sınırlıdır.	Harika verilere sahip olun küçük bir kullanılabilirlik ölçek
Örnekler	Eğri Numarası, yapay sinir Ağlar	HSPF, TOPMODEL, HBV, Stanford	MIKE-O, KINEROS, VIC PRMS

Havza ölçekli modeller toplu, yarı dağınık veya dağınık modeller olarak sınıflandırılabilir. Toplu modeller havza parametrelerini tek birim olarak basitleştirir, yarı dağınık ve dağınık modeller ise havzanın süreçlerinin, sınırlarının ve özelliklerinin mekânsal değişkenliğini içerir (Daniel ve ark., 2011).

Modeller deterministik veya stokastik olarak da sınıflandırılmaktadır. Stokastik model, tek bir girdi seti için farklı çıktılar üretebilir. Deterministik model ise tek bir çıktı verecektir. Deterministik modeller matematiksel bilinen ilişkilerle çıktı elde ederken, stokastik modeller istatistiksel olarak dağıtılmış girdilerle bir dizi çıktı elde etmektedir (Melone ve ark., 2005).

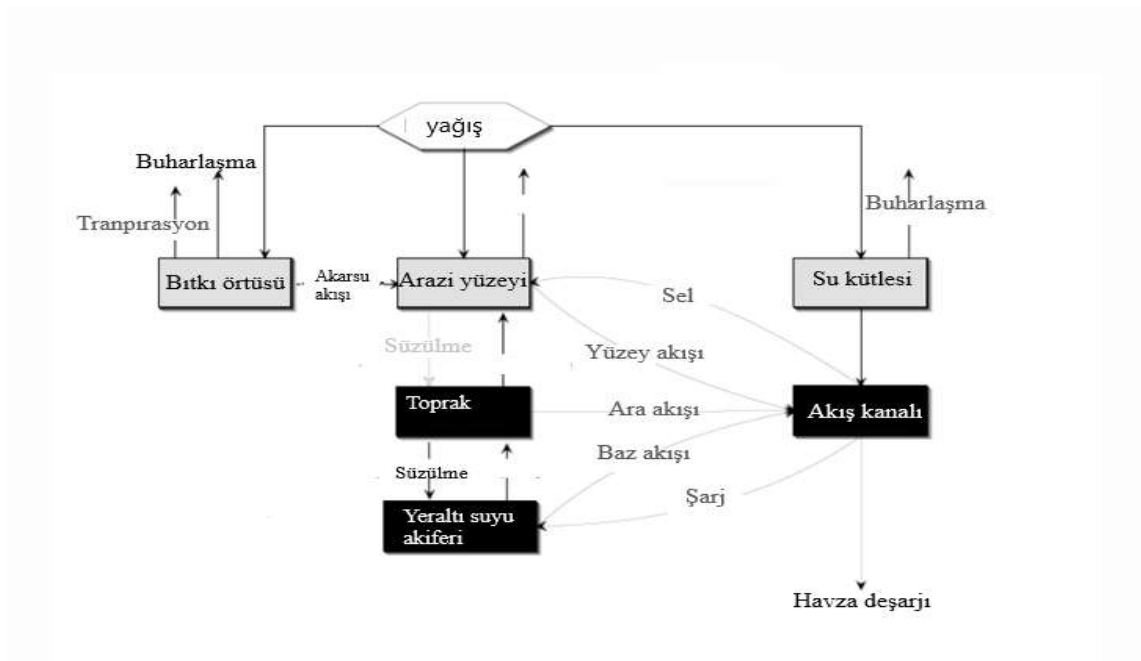
Başka bir sınıflandırma, modelin zaman içerip içermediğine bağlı olabilir. Sorooshian ve ark. (2007) Olay bazlı ve sürekli hidrolojik modellerdir. Olay bazlı hidrolojik modelleme, bir havzanın bireysel bir yağış olayına nasıl tepki verdiğini ortaya çıkarır. Örneğin, yüzey akışının miktarı, pik, pike erişime zamanı, tespit, Buna karşılık, sürekli hidrolojik modelleme, hidrolojik süreçleri ve fenomenleri, yani havzanın çeşitli yağmur olaylarına sentetik tepkilerini ve hem ıslak hem de kuru koşulları içeren daha uzun bir süre boyunca kümülatif etkilerini sentezler. (Chu ve Steinman, 2009).

Bu modeller arasındaki temel farklar, olaya dayalı modelde evapotranspirasyon ve yeraltı suyu sızıntısının göz ardı edilebilmesidir, ancak sürekli model, toprak kurummasının daha iyi yansımaları için bu süreçleri içermelidir (Scharffenberg ve Harris 2008). Kaba ölçekli sürekli modelleri, ince ölçekli olay tabanlı modellerle karşılaştırıldığında daha büyük veri kümeleri gerektirmektedir (Chu & Steinman, 2009). Havza modellemesi için yazılım aracı seçimi seçilen modelleme yaklaşımlarına göre yapılmalıdır. Giriş ve çıkış gereksinimleri, model yetenekleri, uzamsal ölçekler ve modelin doğruluğu dikkate alınmalıdır (Singh & Frevert, 2006). HEC-HMS veri kullanılabilirliği, model yetenekleri ve uygulama kolaylığı nedeniyle yağış-akış modelleme uygulaması için bu çalışmaya seçilmiştir.

2.2. HEC-HMS

HEC-HMS, 1998 yılında ABD Ordusu Mühendisler Birliği tarafından havza sistemlerindeki hidrolojik süreçleri simüle etmek için tasarlanmış güvenilir bir modeldir (USACE, 2018). HEC-HMS, yağış akışını simüle etme ve hidrolojik süreçleri yönlendirme yeteneğine sahiptir. Hem kavramsal hem de ampirik yöntemleri içeren deterministik, yarı dağınık bir model olarak sınıflandırılabilir ve farklı havza türlerini temsil edebilen bir modelleme sistemidir. HEC-HMS hem kısa hem de uzun süreli olayları simüle edebildiği ve büyük veya küçük, kentsel veya doğal havzalarda kullanılabilirdiği için hidrolojik çalışmalar arasında popüler bir yazılımdır (Halwatura & Najim, 2013; Verma, Jha, & Mahana, 2010). Havzalardaki bütünleşik su kaynakları yönetimi ve taşkın tahmininde taşkın piklerinin tahmin edilmesi için bir model uygulanabilir. Ayrıca evapotranspirasyon, kar erimesi ve toprak nemi muhasebesini hesaplama yetenekleri ile sürekli analiz için de uygundur (USACE, 2010). Ayrıca, HEC-GeoHMS olarak adlandırılan HEC-HMS'nin özel uzantısı, çalışma alanının mekânsal verilerini içe aktarmak için kullanılabilir (Ali ve ark, 2011).

Hidrolojik süreçlerin geliştirilmesi, modelleme uygulamalarında kritik öneme sahiptir. Yağışın önemli bir kısmı evapotranspirasyon yoluyla atmosfere geri döner. Evapotranspirasyon bitki örtüsünden, arazi yüzeyinden ve su kütlelerinden oluşur. Öte yandan, bitki örtüsüne düşen yağışların bir kısmı, buharlaşmadan önce, yapraklardan düşer veya saplardan ve dallardan aşağı akar ve sonra toprağa ulaşır. Ayrıca, yağışların bir kısmı kara yüzeylerinden ve su kütlelerinden zemine sızabilir. Bu karmaşık hidrolojik döngünün yönetilebilir parçalara ayrılmasıyla çalışma alanının bir modeli geliştirilmiştir. HEC-HMS, matematiksel bir modelle herhangi bir kütleyi veya akıyı temsil eder. HEC-HMS, su dengesini hesaplamak için süreçler arasındaki ana mekanizmaları ve bağlantıları simüle eder (USACE, 2000). **Şekil 2.1**, HEC-HMS'de kullanılan hidrolojik süreçleri ve bunlar arasındaki ilişkileri temsil etmektedir.



Şekil 2.1. Hidrolojik süreçler için HEC-HMS simülasyonuna genel bakış (USACE, 2000)

Havza davranışını kavramsal olarak temsil eden tüm hidrolojik bileşenler için geniş matematiksel model seçenekleri bu programa dahil edilmiştir. Program, akış hacmini hesaplama modeli, doğrudan akış / temel akış kanalı akışı modeli ve kümülatif kayıpları hesaba katmak için alternatif modeller gibi akış sürecinin her bir bileşenini temsil etmek için ayrı bir model kullanır, örneğin: SCS CN kayıp modeli. Daha sonra, yağıştan kayıpları (sızma, depolama, kesme, buharlaşma vb.) çıkararak akış hacmini hesaplar. (Fleming & Brauer,2016).

HEC-HMS modeli, bu işlem bileşenlerinin her biri için modelleme yaklaşımına göre kategorize edilebilen isteğe bağlı yöntemler sağlar. Her yöntemde havzanın özelliklerine göre, topraklar ve arazi kullanımı ile ilgili bazı giriş verilerine ihtiyacı vardır. Yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler simülasyon için temel giriş verileridir. HEC-HMS, dünya çapında çeşitli havzalarda yaygın olarak kullanılmaktadır, çünkü anlaşılması ve kullanımı kolay bir modeldir.

2.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS)

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), gerekli ölçekte yükseklik, eğim, yön ve profil eğrilikleri dahil olmak üzere topoğrafik bilgilerin göreceli olarak kolaylıkla elde edilmesine yardımcı olabilen bir uygulamadır. Çevresel niteliklerin analizi ve yorumlanması için CBS yöntemleri arazi değerlendirmesinde ve diğer çevresel çalışmalarda kullanılabilir (Peter ve Rachael, 1998). Haritalama, CBS' yi arazi kullanımını doğrudan ve / veya dolaylı olarak etkileyebilecek çoğu arazi özelliğinin mekânsal değişkenliğini anlamak için özellikle yararlı kılar. Bu teknik, arazinin orijinal özelliklerinden QL gibi önemli özellikleri elde etmek için kullanılabilir. (Peter & Rachael, 1998). Çukurlardan elde edilen Toprak karakteristikleri gibi nokta verileri, haritalama birimleri içindeki değerlerin ortalaması alınarak veya CBS enterpolasyonu yapılarak kolayca alan verilerine dönüştürülebilmektedir. (Peter & Rachael, 1998).

2.2.2. HEC-GeoHMS

HEC-GeoHMS, CBS ve HEC-HMS arasında bir arayüz aracıdır. HEC-GeoHMS, doğrudan HEC-HMS ile kullanılacak hidrolojik girdiler oluşturmak için ArcGIS'te bulunan bir jeo-uzamsal hidroloji araç setidir. HEC-GeoHMS, mekansal bilgiyi görselleştirmeye, DEM (Dijital Yükseklik Modeli) ve CBS verilerinden havza fiziksel özelliklerini çıkarmaya, mekansal analiz yapmaya, hidrolojik parametreler geliştirmek için alt havzaları ve akarsuları tanımlamaya ve hidrolojik modellerin girdilerine oluşturulmasını sağlar. (Matthew & James, 2013).

2.3. HEC-HMS Uygulamaları

HEC-HMS modelleri tüm dünyada birçok havza için test edilmiş ve kalibre edilmiştir. Farklı yöntem kombinasyonları kullanan HEC-HMS modellerinin uygulanabilirliğini test etmek için çalışmalar yapılmaktadır. Havzalarda meydana gelen yağış, infiltrasyon ve evapotranspirasyon gibi hidrolojik süreçleri havzanın arazi

örtüsüne, büyüklüğüne, topografyasına, toprak tiplerine ve diğer özelliklerine bağlı olarak etkilendirir. (Deng, Zhang, Li, & Pan, 2015; Zare, ve ark, 2016; Chiang, Chen, ve ark, 2016). Model geliştiren araştırmacılar farklı yöntemlerle farklı alanlarda tatmin eden sonuçlar elde etmiş ve modellerini arazi kullanım değişikliklerini, yeniden ağaçlandırmayı, iklim değişikliği etkilerini, sel riski değerlendirmesini, gelecek tahminlerini, model karşılaştırmasını ve araç geliştirmeyi incelemek için kullanılmıştır. HEC-HMS'nin bazı uygulamaları, kullanılan yöntemlerle birlikte Tablo 2. 2'de Olay bazlı modelleme yaklaşım için verilmiştir.

Tablo 2. 2. Olay bazlı Modelleme simülasyon çalışmaları

Kaynak	Konum	Çalışma alanı (km ²)	Kayıp metodu	Dönüştürme metodu	Baz akış metodu	Öteleme metodu
Martino, & Zimbone, 2016)	İtalya	795	Çoklu	SCS UH	Constant Monthly	Hiç kimse
(Choudhari, ve ark, 2014)	Hindistan	16	SCS CN	SCS UH	Exp. Recession	Muskingum
(Derdour, ve Ark, 2018)	Cezayir	1,957	SCS CN	SCS UH	Hiç kimse	Muskingum
(De Moraes, ve Ark, 2018)	Brezilya	1,276	SCS CN	SCS UH	Hiç kimse	Muskingum -Cunge
(Chu ve Steinman, 2009)	ABD	192	SCS CN	Clark's UH	Recession	Çoklu
(Tassew ve Ark, 2019)	Etiyopya	1,609	SCS CN	SCS UH	Hiç kimse	Muskingum
(De Silva, Ve Ark, 2014)	Sri Lanka	2,230	Green and Ampt	Clark's UH	Recession	Hiç kimse
(Jin, ve Ark, 2015)	Çin	270	Çoklu	Çoklu	Hiç kimse	Muskingum
(Oleyiblo ve Li, 2010)	Çin	797	Initial Constant	SCS UH	Exp. Recession	Muskingum -Cung
(Zeleeuw & Melesse, 2018)	Etyopya	55	SCS CN	Çoklu	Constant Monthly	Muskingum

Olay bazlı modelleme çalışmaları için, "SCS CN" kayıp yöntemi ile başarılı şekilde geliştirilmiş birçok model bulunmaktadır, (Choudhari ve ark. (2014), Derdour ve ark. (2018), Moraes ve ark. (2018), Tassew ve ark. (2019), Kaffas & Hrissanthou (2014), Fang ve ark. (2018), Adilah & Nuramirah (2019) ve Koneti (2018), ABD'de ise baz akışı orolal recession ile kayıp metodu olarak "SCS CN" ve öteleme metodu olarak "Clark's UH" uygulanarak daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Başka bir çalışmada Oleyibl & Li (2010), güney Çin'de bulunan bir çalışma alanında kayıp yöntemi olarak "initial and constant" ve dönüşüm yöntemi olarak "SCS UH" ile daha güvenilir sonuçlar elde edildiğini göstermiştir. Jin ve ark. (2015) tarafından yürütülen çalışmada, "SCS CN" kayıp yönteminin, kuzey Çin'in yarı kurak bölgelerinde akışı tahmin etmede "Initial and Constant" yönteminden daha iyi performans gösterdiğini bulunmuştur.

Zema ve ark. (2017) İtalya'da bulunan bir havza için "SCS CN", "Initial and Constant" ve "Green and Ampt" yöntemlerini karşılaştırmıştır ve sonuçlar "SCS CN" yönteminin "Initial and Constant" yöntemle karşılaştırıldığında nispeten daha iyi performans gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca "Green and Ampt" yönteminin yağış kayıplarının hesaplanmasında başarılı olmadığı tespit edilmiştir. Öte yandan, De Silva ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışma, "Green and Ampt" yönteminin Sri Lanka'da bulunan havzalara uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada Ani modelleme simülasyon için literatürde sunulan başarılı uygulamaları ve veri kullanılabilirliği nedeniyle SCS CN yöntemi kullanılmıştır. Ayrıca Zelelew & Melesse (2018) tarafından yapılan çalışmaya göre "SCS ve Initial constant" kayıp metodları olarak "SCS UH" ve "Clark's UH" ise dönüştürme metodları olarak kullanılmıştır ve sonuçlar Etiyopya'nın kuzeybatısında yer alan bir çalışma alanı için "SCS UH" yönteminin "Initial and Constant" yöntemle daha güvenilir olduğunu göstermiştir.

Azam ve ark. (2017), Kore'de yapılan bir sel riski çalışmasında "Clarks UH" ve "Synder UH" nin etkinliğini karşılaştırmış ve "Clark'ın UH" in akışları "Synder UH" dan daha iyi simüle ettiği sonucuna varmışlardır. Jin ve ark. (2015) "Kinematik Dalga" ve "SCS UH" dönüşüm yöntemlerini karşılaştırmış ve "Kinematik Dalga" modelinin uzun süreli yağış durumları için taşkın pik zamanını tahmin etme konusunda daha başarılı olduğunu vurgulamıştır, "SCS UH"ın ise kısa yağış süresiyle nispeten daha iyi performans gösterdiğini belirtmiştir. SCS UH dönüştürme yöntemi, bu çalışmada hem Ani hem de sürekli simülasyon için seçilmiştir, Çünkü giriş olarak sadece gecikme süresi gerektirir ve önceki çalışmalar yöntemin mükemmel performansa sahip olduğunu bildirmiştir. Çalışmalar ayrıca, Ani tabanlı bir model için kısa bir zaman adımı

kullanmanın geçici fırtına olaylarını kaçırma olasılığını azalttığını göstermiştir (Boughton & Droop, 2003). **Tablo 2. 2'**de verilen Ani modelleme uygulamaların çoğu saatlik zaman adımlarıyla, bazıları ise günlük ve 15 dakikalık zaman adımlarıyla gerçekleştirilmektedir. HEC-HMS'nin bazı uygulamaları, Kullanılan yöntemlerle birlikte Tablo 2. 3'te sürekli yaklaşım için verilmiştir.

Tablo 2. 3.Sürekli modelleme simülasyon çalışmaları

Kaynak	Konum	Çalışma alanı(km ²)	Kayıp metodu	Dönüştürme metodu	Baz akış metodu	Öteleme metodu
(Gebre, 2015)	Etiyopya	5,125	Deficit and Constant	Synder UH	Exp. Recession	Hiç kimse
(Gyawali & Watkins, 2013)	ABD	5,273	SMA	Hiç kimse	Hiç kimse	Hiç kimse
(Gumindoga, ve Ark 2017)	Zimbabw e	3600	Deficit and Constant	Synder UH	Hiç kimse	Muskingum
(Moraes, ve Ark, 2018)	Brezilya	1,276	SCS CN	SCS UH	Hiç kimse	Muskingum -Cunge
(Halwatura & Najim, 2013)	Sri Lanka	380	Deficit and Constant	Synder UH	Recession	Hiç kimse
(Bhuiyan, McNairn, & Powers, 2017)	Kanada	545	SMA	SCS UH	Recession	Muskingum
(Azmat, Choi, Kim, & Liaqat, 2016)	Pakistan	33,867	Deficit and Constant	SCS UH	Constant Monthly	Hiç kimse
(De Silva, ve Ark 2014)	Sri Lanka	2,230	SMA	Clark's UH	Recession	Hiç kimse
(Verdhen, Chahar, & Sharma, 2013)	Hindistan	350	Deficit and Constant	Clark's UH	Recession	Lag
(Fleming & Neary, 2004)	ABD	22.83	SMA	Clark's UH	Hiç kimse	Hiç kimse

Sürekli modeller için yapılan çalışmalarda, "SMA (Soil moisture accounting)" ve "Deficit and Constant" yöntemlerinin hem büyük hem de küçük havzalar için uzun vadeli sürekli simülasyonlar için uygulanabilir tek kayıp yöntemleri olduğunu dolaylı olarak kanıtlamıştır (Halwatura & Najim, 2013; De Silva, ve ark, 2014; Fleming ve Neary, 2004; Chu & Steinman, 2009). Her iki yöntem için de birçok uygulama vardır. Örneğin, Chu & Steinman (2009), Fleming & Neary (2004), De Silva et al. (2014), Bhuiyan (2017), Gyawali & Watkins (2013) Soil Moisture Accounting "SMA" yöntemiyle ve Verdhen et al. (2013), Azmat ve ark. (2016), Gebre (2015), Gumindoga ve ark. (2017), Halwatura & Najim (2013) "Deficit and Constant" yöntemiyle başarılı bir şekilde modeller geliştirmiştir.

Tablo 2. 3'te verilen tüm sürekli simülasyon modeli uygulamaları, daha kısa zaman adımları uzun süreler için hesaplamada zorluklara neden olduğundan dolayı günlük zaman adımları kullanılarak yürütülmektedir ve sürekli simülasyonların hedefi tasarım akışını tahmin etmek olduğundan gereksiz olacaktır (Boughton & Droop, 2003).

Bu çalışmada sürekli simülasyon modelleme için, Soil moisture accounting "SMA" diğer kayıp yöntemlerden daha titiz olduğundan dolayı kayıp yöntem olarak seçilmiştir. Önceki çalışmalar, simülasyonların sonuçlarının konuma özgü olduğunu ve farklı yöntem kombinasyonlarının belirli bir çalışma alanı için farklı tepki verebileceğini göstermiştir. Hidrolojik süreçler için yöntem seçimi veri kullanılabilirliğine, çalışma alanına ve mühendislik kararına bağlıdır (USACE, 2000). Kayıp, dönüşüm, baz akışı ve öteleme yöntemleri, çalışma alanındaki hidrolojik süreçlerin tanımlanması için en kritik bileşenlerdir.

2.4. Araştırmada Kullanılan İstatistiksel Standartlar

Model kalibrasyonu ve validasyonu, havzalarda hidrolojik süreçlerin geçerli bir şekilde temsil edilmesini sağlamak için sonuçların doğruluğunun incelenmesini gerektirir. Juba Havzası model performanslarının değerlendirilmesi için, model simülasyonlarının uygunluğunun iyiliğini değerlendirmek için üç istatistiksel ölçüt vardır. Bunlar ise Nash-Sucliffe verimliliği katsayısı (NSVK), Korelasyon katsayısı (R^2) ve Ortalama bağlı hata (PBIAS).

2.4.1. Nash-Sutcliffe verimlilik katsayısı (NSVK)

Nash-Sutcliffe verimliliği (NSVK) normalde, verilerin ölçülen (gözlemlenen) sapmasına kıyasla kalan varyansın (simüle edilmiş değeri) göreceli büyüklüğünü dikkate alarak modelin öngörme yeteneğini değerlendirmek için kullanılır. (Nash ve Sutcliffe, 1970) matematiksel olarak şöyle verilmiştir:

$$NSVK = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad [-\infty, 1] \quad (2.1)$$

2.4.2. Determinasyon katsayısı (R²)

Korelasyon Katsayısı (R²) simüle edilen ve ölçülen veriler arasındaki eş doğrusallık derecesini tanımlar. Ayna anda, R², model tarafından açıklanan ölçülen verilerdeki sapma oranını açıklar. (Krause, et al., 2005). Bu değer 0 ile 1 arasında değişir ve az hata varyansı ve modelin simülasyonu gerçekleştirme yeteneğini gösteren daha yüksek değerlerdir. R² Serisi model değerlendirmesi için yaygın olarak kullanılmaktadır (Legates ve McCabe, 1999). Korelasyon katsayısı matematiksel olarak şöyle verilmiştir:

$$R = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_s - \bar{Q}_s)(Q_o - \bar{Q}_o)^2]}{[[\sum_{i=1}^n (Q_s - \bar{Q}_s)^2][\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2]]} \quad (2.2)$$

2.4.3. Bias Yüzdesi (PBIAS)

Bias yüzdesi (PBIAS), simüle edilen verilerin ve gözlemlenen karşılıklarından daha büyük veya daha küçük olma ortalama eğilimini ölçer. PBIAS en uygun değeri ise 0.0'dır. PBIAS pozitif değerler eksik tamını gösterirken, negatif değerleri ise fazla tahmini göstermektedir.

$$\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{o,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2} \quad [-\infty, \infty] \quad (2.3)$$

Burada, Q_s simüle edilmiş değerleridir. Q_g : gözlem değerleridir.

Moriasi ve ark. (2007) havza modellerinin performans değerlendirilmesi ile ilgili çalışmaları derlemiştir. Ayrıca, Moriasi ve ark. (2015), performans yöntemlerinin ve karşılık gelen performans değerlendirme kriterlerinin bir listesini yeniden oluşturmak için önceki çalışmayı ortaya çıkan çalışmalarla güncellemiştir. “Nash-Sutcliffe verimliliği katsayısı,” “Bias yüzdesi (PBIAS),” ve Determinasyon katsayısı (R^2)” yöntemleriyle akar su akışı için önerilen liste Tablo 2. 4'te verilmiştir. Singh ve ark. (2004), Ayrıca, Santhi ve ark. (2001) ve Van Liew ve ark. (2003), 0.5'ten yüksek "Korelasyon" değerlerinin tatmin edici olduğunu belirtmişlerdir.

Tablo 2. 4.Juba Havzası modelleme için performans değerlendirme kriterleri (Moriasi ve Ark 2015)

Yöntem	Çok iyi	İyi	Tatmin edici	Tatmin Edici Değil
NSE	$NSE > 0.80$	$0.70 < NSE \leq 0.8$	$0.50 < NSE \leq 0.70$	$NSE \leq 0.50$
R^2	$R^2 > 0.85$	$0.75 < R^2 \leq 0.85$	$0.60 < R^2 \leq 0.75$	$R^2 \leq 0.60$
PBIAS	$PBIAS < \pm 5$	$\pm 5 \leq PBIAS < \pm 10$	$\pm 10 \leq PBIAS < \pm 15$	$PBIAS \geq \pm 15$

3. MATERYAL VE METOT

3.1. HEC-HMS Özellikleri

HEC-HMS, dendritik havza sistemlerinin yağış-akış süreçlerini simüle etmek için tasarlanmıştır (USACE, 2018). Bu yazılım, zaman değişkenli veri kümelerini depolamak ve yönetmek için hidrolojik süreçleri hesaplayabilir ve simüle edebilir bir uygulamadır. HEC-HMS Hidrolojik sistem bileşenlerini ve çıktıları görüntüleme yeteneğini gösteren grafiksel bir kullanıcı ara yüzüne sahiptir (Halwatura & Najim, 2013).HEC-HMS, akış hacmini, doğrudan akışı, öteleme, baz akışını temsil etmek için ayrı modellere sahiptir ve hidrolojik süreçleri hesaplamak için ayrı araçlara sahiptir. USACE (2018) model geliştirme Kullanım Kılavuzuna göre dört ana bileşene basitleştirilmiştir.

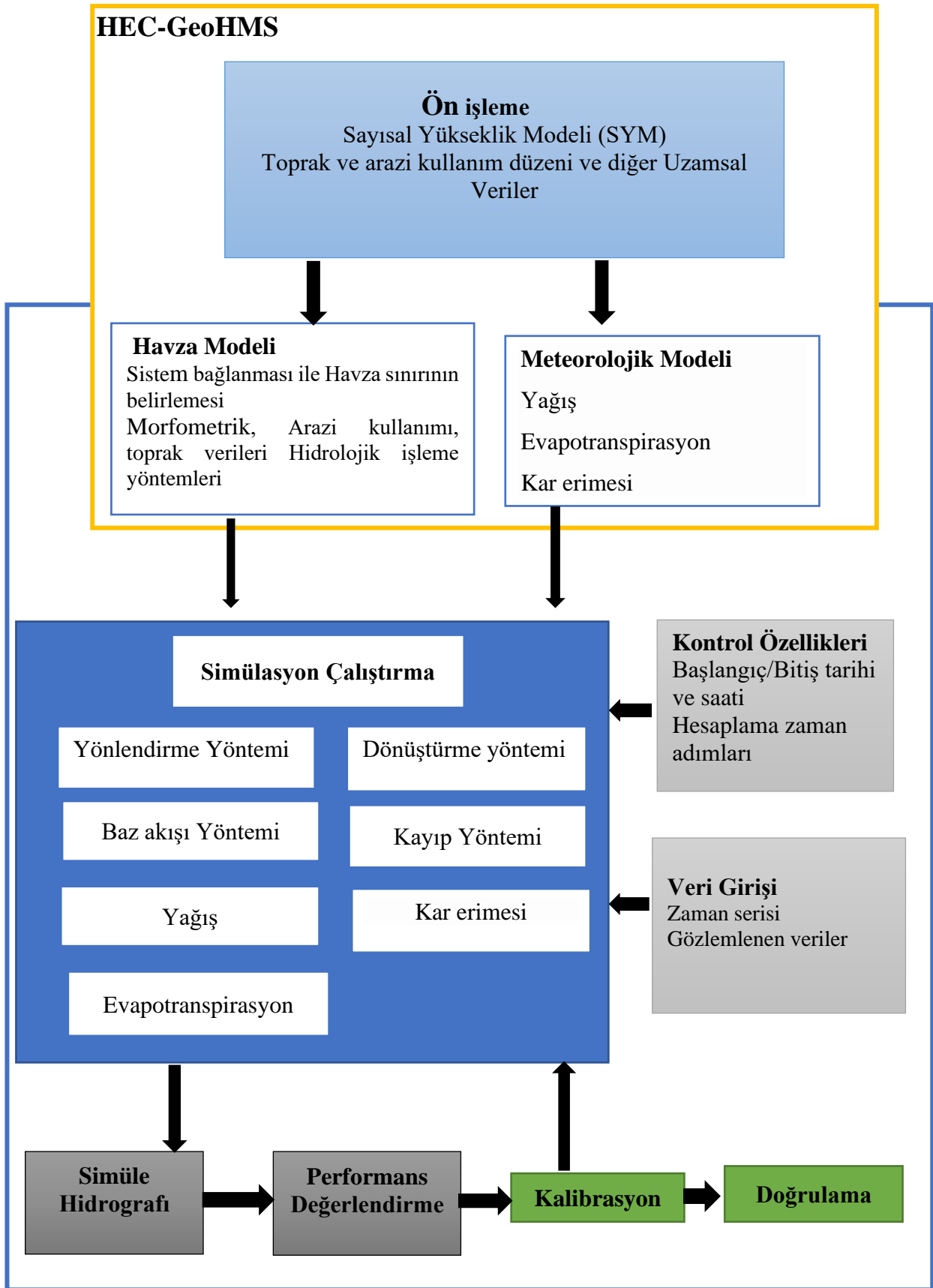
- Havza modeli : Bu bileşen, havza karakteristiklerini ve kayıp, dönüşüm, baz akışı, öteleme yöntemleri gibi akış süreçlerinin temsilini içeren havza fiziksel tanımınıdır. Havza modeli ayrıca rezervuarlar, kaynaklar ve Haznelar (Sinks) gibi diğer unsurları da içermektedir.
- Meteorolojik model.: Bu bileşen yağış, evapotranspirasyon ve kar erimesini tanımlanmasını sağlar.
- Veri Girişi. Bu bileşen, kullanıcının başlangıç koşulları, sınır koşulları veya parametreler için gerekli verileri zaman serisi verileri, kılavuzlu veriler ve eşleştirilmiş veriler olarak eklemesine olanak tanır.
- Kontrol özellikleri. Bu bileşen simülasyonları kontrol etmesini sağlar.

HEC-HMS modelinin geliştirilmesindeki ilk adım, havzanın ve alt havzalarının özelliklerini tanımlamaktır. Havza modeli, havzayı tanımlayan sistem bağlantısını ve fiziksel verileri içermektedir. Daha sonra meteorolojik modelde yağış ve Akış yöntemleri tanımlanmıştır. Bir model, sonuç üretmek için havza modelini, meteorolojik modeli ve kontrol özelliklerini birleştirerek çalışmasını gerekmektedir. Bir havzanın fiziksel özelliklerinin geliştirebilmesi için mekânsal veriler ve havza özellikleri elde etmek, alt havzaları ve akarsuları tanımlamak ve hidrolojik modeller için girdiler oluşturmak için jeo-uzamsal hidroloji araçları vardır. Bu araçlardan biri, Brigham Young Üniversitesi Çevresel Modelleme Araştırma Laboratuvarı tarafından ve ABD Ordusu Mühendisler Birliği Su Yolları Deney İstasyonu ile iş birliği içinde geliştirilen ve şu anda Aquaveo LLC tarafından geliştirilmekte olan Havza Modelleme Sistemi'dir (WMS) (Robinson, ve ark. (2019). Diğer bir araç, Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisler Birliği (USACE) tarafından Çevre Sistemi Araştırma Enstitüsü (USACE, 2013) ile ortaklaşa

geliştirilen HEC-GeoHMS'dir. Bu çalışma için HEC-GeoHMS kullanılarak havza ve meteorolojik model hazırlanmış ve çalışmanın bu kısmı ön işleme olarak adlandırılmıştır. HEC-HMS model yapısı Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Bu çalışmada sürekli hidrolojik maddelleme geliştirilmiştir. Yaklaşım için seçilen yöntemlerin listesi **Tablo 3. 1**'de verilmiştir. Şekil 3.1'de verilen model yapısının ana bileşenleri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

Tablo 3. 1.Seçilen HEC-HMS yöntemlerinin listesi

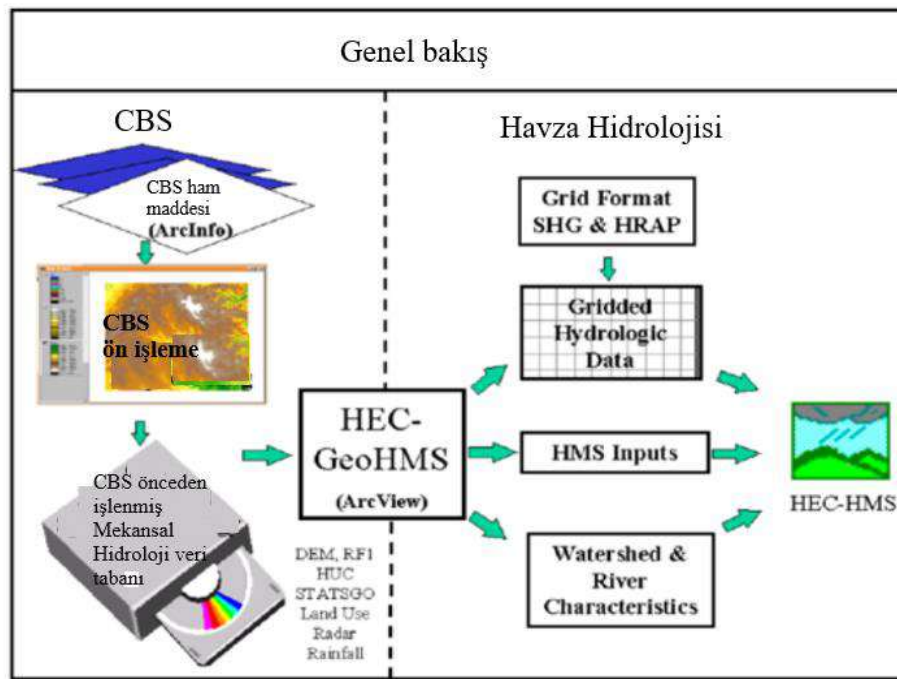
Model türü	Kayıp Yöntemi	Dönüştürme Yöntemi	Baz akış Yöntemi	Öteleme Yöntemi
Sürekli hidrolojik modelleme.	Soil moisture accounting	Clark Unit Hydrograph	Monthly Continues method	Muskingum method



Şekil 3.1. HEC-HMS model yapısı

3.2. Ön İşleme

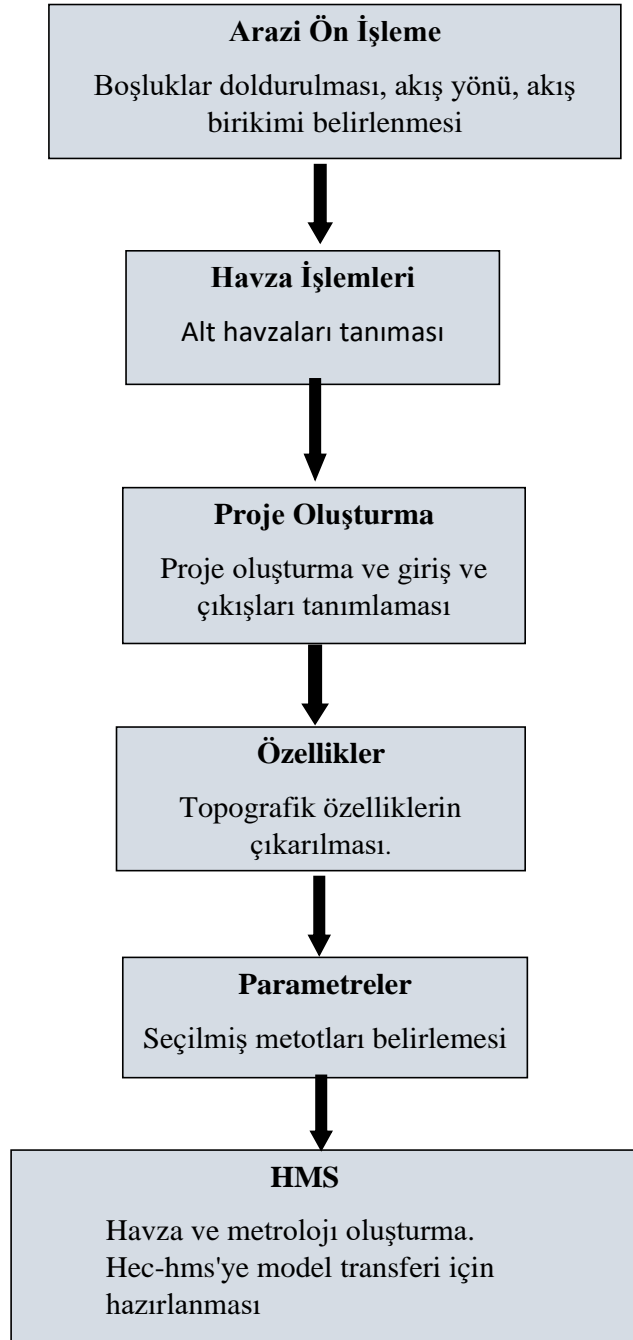
ArcGIS 10.1 (ArcView-ESRI) ile çalışan kamu malı bir uzantı olan HEC-GeoHMS, arazi ön işleme, havza işleme ve hidrolojik parametre tahminlerini gerçekleştirmek için kullanılır. Çalışmanın ön işleme aracı olarak HEC-GeoHMS'yi kullanmayı seçerseniz, proje bu araçta oluşturulacak ve simülasyon işlemleri için HECHMS'ye dönüştürülecektir. Havza modeli ve meteorolojik model için temelleri bu araçta üretilecektir. HEC GeoHMS ve HEC-HMS arasındaki ilişkiye genel bakış Şekil 3.'de gösterilmiştir (USACE, 2000).



Şekil 3.2. HEC-GeoHMS ve HEC-HMS arasındaki ilişkiye genel bakış (usace, 2000)

Bu çalışmada havza modeli ilk olarak HEC-GeoHMS kullanılarak oluşturulmuştur. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Çalışma alanının akarsu ağını türetmek ve havzaları birbirine bağlı alt havzalara tanımlamak için kullanılır, çünkü her bir alt havza eğim, alan ve konum gibi topografik özelliklere sahiptir (Ali, ve ark, 2011). Ayrıca, HEC-GeoHMS, kullanıcının hidrolojik işlemi hesaplama yöntemlerini seçmesini sağlar. Seçilen yöntemlere göre, arazi kullanım bilgileri, hidrolojik toprak grubu ve uzay ve zamanda değişen yağış olayları gibi diğer girdiler dahil edilebilir. Örneğin, SCS CN" yöntemi (USDA, 1986), hem arazi kullanımını hem de hidrolojik toprak gruplarının tanımlanan her bir alt havza için eğri numaraları üretmesini gerektirir. Uzamsal dağılıma

bağlı diğer işlemler HEC-GeoHMS kullanılarak gerçekleştirilebilir. Ön işleme, birkaç alt adımla altı ana adımda gruplandırılabilir. Bu alt adımlar HEC-GeoHMS'ye komutlarla birlikte dahil edilmiştir (USACE, 2013). HEC-GeoHMS'nin ön işleme için akış şeması Şekil 3.3'te verilmiştir. HEC-GeoHMS'nin akış şeması ön işleme için 'te verilmiştir. Bu araçların uygulama detayları bu bölümde temsil edilmektedir.



Şekil 3.3. .HEC-GeoHMS ile ön işleme akış şeması (USACE, 2013)

Bu çalışmada ön işleme yaparken seçilen yöntemlere göre farklı veri kümeleri gerekmektedir. Genellikle havza gelişiminin çoğu süreçler aynıdır, Akış yönü, akış birikimi, akış tanımı ve akış bölümlendirme adımları yaptıktan sonra, proje oluşturma adımına ulaşmaktadır.

3.2.1. Proje Oluşturma

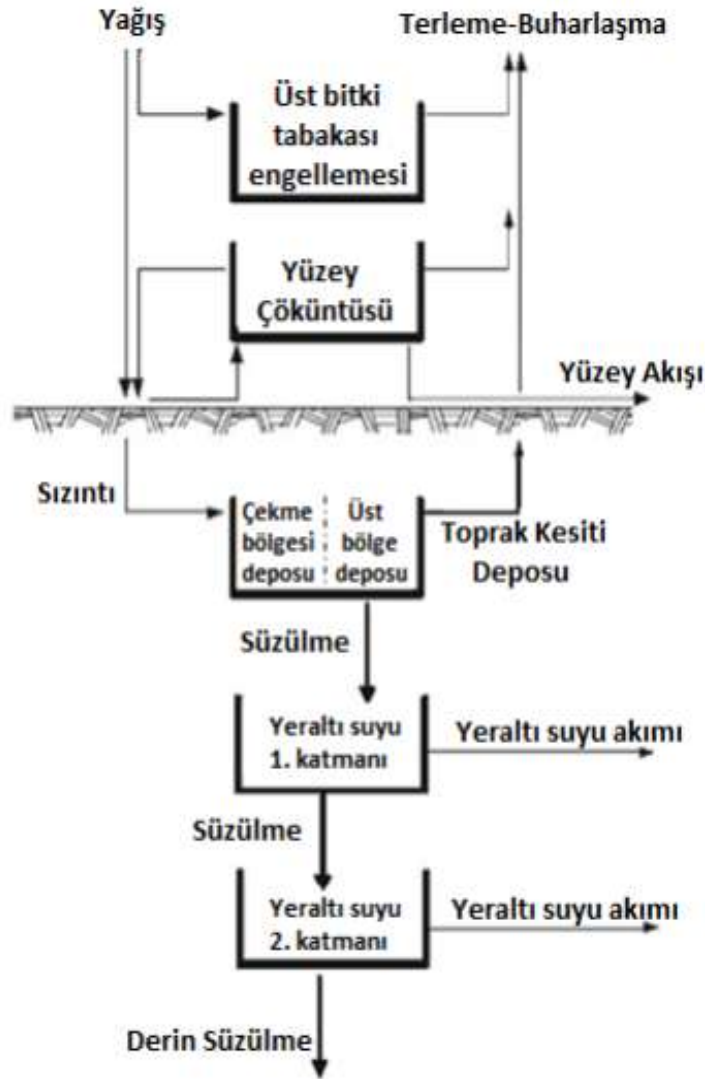
HEC-HMS'deki Model Kurulumu, simülasyonları çalıştırmak için gerekli olan Havza ve Meteorolojik Modellerden oluşur. Model Kurulumunun ana bileşenleri aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır

3.3. Havza modeli

HEC-GeoHMS, uzamsal verileri kullanarak havzayı tanımlar ve bir havza modeli oluşturur. Havza modeli, alt havzalar, erişimler, kavşaklar, kaynaklar, Hazneleri, rezervuarlar ve saptırmalar gibi tanımlanmış bileşenlerle HEC-GeoHMS'den HEC-HMS'ye dönüştürülecektir. Çalışma alanının dere ve topografyası dışında, havza modeli, kayıp yöntemi gibi hidrolojik süreçlerin gerçekleştirilmesini içerir. Bu çalışmada daha önce de belirtildiği gibi, uzun vadeli sürekli simülasyon modelleme yaklaşımı uygulanmaktadır. Kayıp yöntemi için "Soil Moisture Accounting "SMA," yöntemi seçilmiştir, "Muskingum" ve "Monthly Continouse" ise öteleme ve Baz Akış metodu olarak seçilmiştir. Dönüştürme metodu olarak ise Clark Unit Hydrograph seçilmiştir. Seçilen yöntemlerin mekanizmaları ve formasyonları aşağıdaki bölümlerde açıklanmaktadır.

3.3.1. Kayıp Metodu (Loss Method)

Bu çalışmada kayıp metodu olarak Soil Moisture Accounting "SMA" kullanmıştır. HEC-HMS'de bir havzada zaman içinde meydana gelen hidrolojik işlemlerin uzun vadeli simülasyonuna uygun olan ampirik bir modeldir. Hem yüzey hem de yeraltı katmanları boyunca su hareketini ve depolamayı simüle eder. Depolama bileşenleri, yüzey tabakasında üst bitki tabakası engellemesi (gölgelik) ve çöküntü depolamayı içerirken, yeraltı tabakasında ise toprak profili ve yeraltı suyu tabakasını içerir. Bu yöntemde yer alan akış bileşenleri, yağış, evapotranspirasyon, yüzey akışı ve yüzey altı tabakasında infiltrasyon ve perkolasyondur. SMA, Şekil 3.4'te açıklanan gerçek hidrolojik süreci göstermektedir:



Şekil 3.4. SMA algoritmasının kavramsal şeması (Bennett, 1998)

Toprak Nemi Hesabı Kayıp Yöntemi, topraktaki su hareketinin dinamiklerini temsil etmek için üç katman kullanır. Katmanlar toprak depolama, üst yeraltı suyu ve alt yeraltı suyunu sınıflandırmıştır. Yeraltı suyu katmanları akifer proseslerini temsil edecek şekilde tasarlanmamıştır; sığ akışlar arası süreçleri temsil etmek için kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Toprak tabakası bir üst bölgeye ve bir gerilim bölgesine bölünmüştür. Toprak suyu sadece üst bölgeden sızarken, gerilim bölgesindeki su sızmaya karşı dirençlidir. Üst yeraltı suyundaki alt yeraltı suyuna süzülür. Bu şekilde kullanıldığında, su taban akışına girmek için üst yeraltı suyundan ve alt yeraltı suyundan yanal olarak hareket edebilir. Alt yeraltı suyundan sızan su, temel akışına girmek ve akiferin şarjı

olarak arazi yüzeyini terk etmek arasında bölünebilir. SMA algoritmasının Şekil 3.5 gösterildiği gibi 14 parametresi vardır

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

Şekil 3.5. HEC-HMS modelinde SMA kayıp metodu parametreleri

3.3.2. Dönüşüm Metodu (Transform Method)

HEC-HMS'deki dönüşüm tahmin modelleri, havzadaki aşırı yağışın doğrudan akış sürecini simüle eder. Bu çalışmada uzun vadeli modellemesi, Clark Birim Hidrograf yöntemi, aşırı yağışı her bir alt havzanın çıkışında akışa dönüştürmek için seçilmiştir. Clark Birim Hidrograf yöntemde, aşırı yağışın çevrilmesi ve zayıflatılması süreçleri, akışın bir havzadan hareketine kontrol ediyor. Çevrilme, akışın yerçekimine tepki olarak havza boyunca aşağı doğru hareketidir, zayıflama ise havza boyunca fazlalık depolandığı için deşarjın azalma büyüklüğüdür (Straub, 2000). Modelde yerleşik zaman alanı eğrisi, çeviren hidrografını geliştirir bir yağış patlamasından kaynaklanır ve sonuçta ortaya çıkan çeviren hidrografi, alt havza boyunca depolama zayıflama etkilerini hesaba katmak için doğrusal bir rezervuar boyunca yönlendirilir (Straub, 2000). Bu yöntem için ana giriş parametreleri konsantrasyon zamanı ve depolama katsayısıdır. Konsantrasyon zamanı,

çeviren hidrografının geliştirilmesinde kullanılırken, depolama katsayısı, depolama değişikliklerini açıklayan doğrusal rezervuarda kullanılır. Bu çalışmada Clark Birim Hidrograf yönteminin gerekli parametrelerinin değerleri kalibrasyon ile tahmin edilmiştir.

3.3.3. Baz akışı metodu (Baseflow method)

Yeraltı su tablasına kadar süzülen ve yer altı su tablasına ulaştığında hareket etmeye başlayan su kütlelerine baz akış suyu denir. Baz akış suyu yüzey akışından daha az hareket eder ve taşkın piklerinde bir etkisi yoktur. HEC-HMS’de üç alternatif baz akış modeli içerir: Constant monthly yöntemi, Exponential recession yöntemi ve Linear-reservoir yöntemidir. Bu çalışmada Baz akış için Constant Monthly yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemde her bir alt havza için aylık parametreler değerlendirilmelidir. Her bir alt havza aylık parametresinin değerleri, kalibrasyon yoluyla tüm alt havzaların deneme yanılma yöntemiyle belirlendi.

3.3.4. Öteleme metodu (Routing method)

"Muskingum" öteleme yönteminde kütle dengesi kullanılarak akarsu erişimi boyunca yönlendirilir. Bu matematiksel formülasyon McCarthy (1938) tarafından geliştirilmiştir. Doğrusal yöntem hesaplarının, giriş ve çıkışın etkisi arasındaki erişim ve ağırlık andırma için geçiş süresi ekleyerek taşkın dalgası sırasında depolamayı artırdığını ve azalttığını varsayar (USACE, 2018).

Bu yöntemin matematiksel formülasyonunun türetilmesi aşağıdaki denklemlerde verilmiştir.

$$\frac{dS}{dt} = I - Q \quad (3.1)$$

$$S = K. (XI + (1 - X)Q) \quad (3.2)$$

Burada S: su depolaması, t: zamanr (saat), I: giren akım (m³/sn), Q: çıkan akım (m³/sn), K: depolama katsayısı ve X: ağırlıklandırma faktörüdür (3.1 ve 3.2. denklemler sırasıyla kütle dengesini ve kanal depolama hacmini temsil eder.

Depolama hacmi, yukarı akış girişinin ve aşağı akış çıkışının basit doğrusal birleşimidir. K parametresi dalga hareket süresini yansıtır ve x parametresi hareket halindeki bir difüzyon dalgasının taşkın tepe zayıflamasını ve hidrograf şeklinin düzleşmesini yansıtır. İki model parametresi, K ve x, gözlemlerden belirlenebilir (Song, Kong, & Zhu, 2011).

3.4. Meteorolojik Model

Meteorolojik model, alt havzalar meteorolojik sınır koşullarını hazırlamak için iklim verilerinin modele dahil edilmesini gerektirir. Yağış, evapotranspirasyon ve kar erimesi meteorolojik modelin ana bileşenleridir. HEC-HMS, bu bileşenleri bütünleştirmek için çeşitli yöntemler sunar. Bu çalışma için yağışlar spesifik değerler olarak dahil edilecektir.

3.5. Veri Girişi

Veri türleri, zaman serisi verilerini, eşleştirilmiş verileri ve havzanın gerektirdiği kılavuz verilerini içerir ve meteorolojik modellerin gerçekleştirilmesi için seçilen yöntemlere göre hidrolojik süreçler içerir. Örneğin, meteorolojik model için yağış gözlemleri gereklidir ve " Modified-Puls routing" yöntemi ile akış hesaplaması için bir depolama-deşarj ilişkisi gereklidir (USACE, 2018).

3.6. Kontrol Özellikleri

Kontrol özellikleri, simülasyonun ne zaman başlayıp ne zaman duracağını ve simülasyon aralıklarını belirlenmesini sağlar. Modelleme yaklaşımına göre farklı kontrol özellikleri kullanılabilir. Matematiksel hesaplamalar, tanımlanmış zaman pencereleri ve zaman aralıklarına dayanmaktadır (USACE, 2018).

3.7. Model Kalibrasyonu ve Doğrulaması

Kalibrasyon, simüle edilen sonuçlar gözlemlenen değerlere yeterince yakın olana kadar modelin parametrelerini makul aralıklarda ayarlama işlemidir (Zeckoski ve ark, 2015). Doğrulama ise kalibre edilmiş modelin parametrelerde daha fazla ayarlama yapmadan bir dizi gözlemi yeniden üretebilmesini veya gelecekteki koşulları tahmin edebilmesini sağlama sürecidir (Zheng ve ark.2012).HEC-HMS, en iyi parametre değerlerini aramak için bir modüle sahiptir. Üretilen hidrografi ölçülen hidrografa karşılaştırarak, yazılım uyum iyilik endeksini hesaplar, Algoritma, amaç fonksiyonu

olarak da bilinen indeksin en iyi değerini veren model parametrelerini arar. Bu arama, maksimum mutlak, hata ortalama mutlak hata, RMSE, vb. gibi çeşitli amaç fonksiyonlara göre yapılabilir. Gözlemlenen ve hesaplanan parametrelerin uyumu kabul edilemezse, parametreler uyumlu olana kadar ayarlanır ve kalibrasyon devam eder. Tatmin edici bir uyum elde edildiğinde en iyi parametre, değerler rapor edilir. Kalibrasyon prosedürünün şeması Şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Kalibrasyon prosedürünün şeması (USACE, 2000)

Bu çalışmada HEC-HMS modeli, modelin öngörülebilirliğini artırmak için Bardere akım gözlem istasyon verileri kullanılarak kalibre edildi ve bu da modelin güvenilirliğine daha fazla güven duyulmasını sağlamıştır. HEC-HMS'de, her yöntemin modellenmesi (kayıp yöntemi, dönüştürme yöntemi, baz akışı ve öteleme yöntemi), simüle edilmiş akış hidrografları elde etmek için girdi olarak parametrelere ve değerlere ihtiyaç duyar. Parametrelerin değerleri, akarsu ve havza özelliklerinin gözlemlenmesi ve ölçülmesiyle tahmin edilir, ancak bazıları tahmin edilemez (Sintayehu, 2015). Gerekli parametreler tam olarak tahmin edilemediğinde, parametreler kalibre edilir. Gözlemlenen

ve simüle edilen akış hidrografının en iyi uyumunu sistematik olarak araştırarak, Juba nehir alt havzasının her bir alt havzası için kalibre edilmiş değerler belirlendi. Modelin manuel olarak kalibre edilmesinden sonra optimum değerlerin elde edilmesi için otomatik ve hata yöntemi (error Method) uygulanmıştır (Arlen & Feldman, 2000). Otomatik kalibrasyon iki yöntemdir: Univariate Gradient (UG), ve Nelder ve Mead (NM).

UG yöntemi, modeldeki her değişkeni ayrı ayrı değerlendirir ve tahmin eder, diğer tüm değişkenler sabit kalır. NM yönteminde, tüm değişkenleri aynı anda değerlendirmek ve hangi değişkenlerin ayarlanması gerektiğini belirlemek için Downhill simpleks yöntemi kullanılır (Scharffenberg & Fleming, 2005). Bu çalışmada parametreleri bir kerede optimize etmek için NM yöntemi kullanılmıştır. Bu çalışmada havzanın yağış ve akış verilerinin (2006-2011) döneminden kalibrasyon ve (2012-2015) döneminden itibaren doğrulama kullanılmıştır. Validasyon, hidrolojik model performansını bağımsız veri serileri ile test etme kriteridir (Vaze J, 2011). Doğrulama süresi boyunca, parametreler değiştirilmeden kalibre edilmiş model için uygunluk iyiliği istatistikleri de hesaplandı. Tablo 3-2, her yöntemin parametrelerinin sınırlarını özetler.

3.8. Duyarlılık analizi

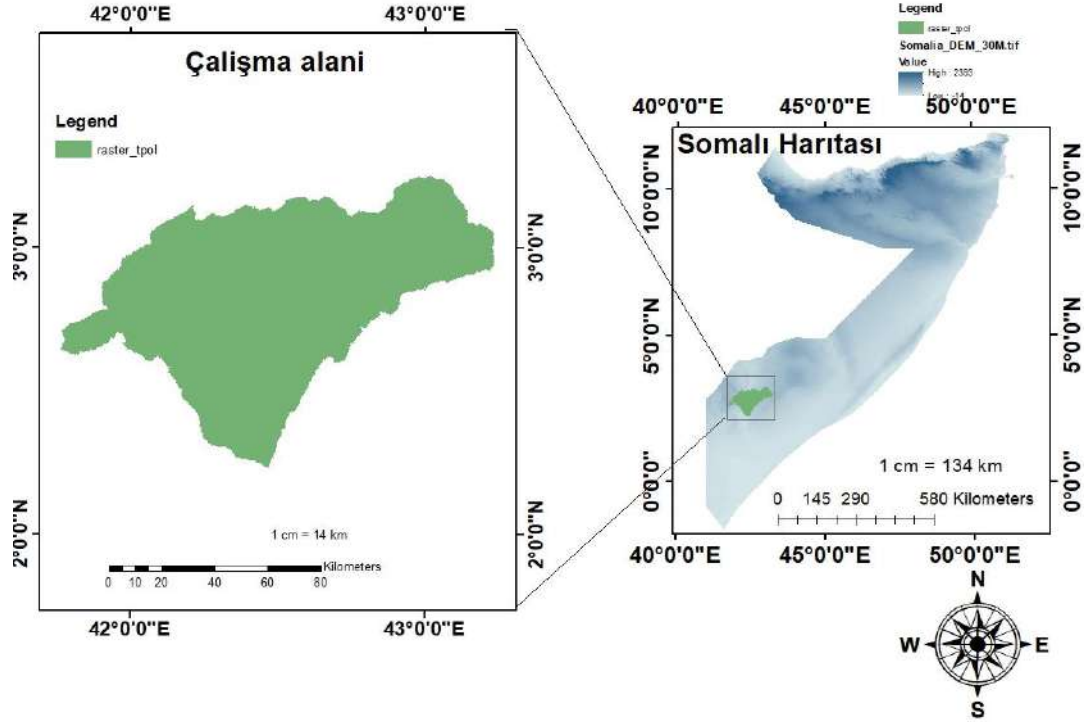
Duyarlılık analizi, hangi model parametrelerinin model çıktısı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğunu belirleyen ve model parametrelerini, model tahminindeki genel hataya katkılarına göre sınıflandıran bir analizdir. (Haan, 2002)'ye göre, duyarlılık yerel veya küresel olabilir, her parametreyi ayrı ayrı belirlemek ve modelin diğer parametrelerini sabit tutmak için yerel bir duyarlılık analizi olsa da, küresel duyarlılık ise modelin parametreleri aynı anda değişebilir. Genel olarak, bu iki duyarlılık analizi yönteminden biri, duyarlılık parametrelerini analiz etmek için yerel veya küresel duyarlılık analizini kullanabilir (Cunderlik & Simonovic, 2004). Bu çalışmada lokal duyarlılık analizi yöntemi seçilmiştir. HEC-HMS'de 28 parametre Tablo 3. 2'de listelenmiştir. Duyarlılık analizi, yıllık ortalama akış hacmindeki yüzde değişimini ve taban çizgisinden tepe akış hızını kontrol etmek için % 5'lik aralıklarla % ± 25 ' aralığındaki çeşitli parametrelerin değerleri değiştirilerek gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3. 2. HEC-HMS Modelinin Sınırlama Parametreleri (Kaynak: (Arlen & Feldman, 2000))

Modelleme	Yöntem	Parametre	Birim	Minimum	Maksimum
Canopy	Simple Canopy	Initial storage	%	0.01	100
Kayıp	Soil Moisture Accounting (SMA)	Max storage	Mm	0.01	100
		GW1 percolation	Mm/hr	0.01	500
		GW1 storage coefficient	mm	0.01	1000
		GW2 storage coefficient	mm	0.01	1000
		GW2 percolation	mm/hr	0.01	500
		GW1 storage	mm	0.01	1500
		GW2 Storage	mm	0.01	1500
		GW1 content	%	0.001	100
		GW2 content	%	0.001	100
		Soil Content	%	0.001	100
		Max Infiltration	Mm/hr	0.01	500
		Soil percolation	Mm/hr	0.01	500
		Soil storage	mm	0.01	1500
Dönüştürme	Clark UH	Time concentration	hrs	0.0167	1000
		Storage coefficient		0.02	1000
Baz akışı	Constant monthly	January to December	M ³ /s	0	-
Öteleme	Muskingum	K	hrs	0.016	150
		X		0.001	0.5

3.9. Çalışma Alanı

Juba nehri havzası Şekil 3.7 gösterdiği gibi, Gedo bölgesindeki güney Somali'de yer almaktadır. Gedo bölgesi, Etiyopya'nın Somali bölgesi, Kenya'daki Kuzey Doğu Eyaleti ve Somalinin Bakol, Bay, Orta Juba ve Aşağı Juba bölgeleri ile sınıra sahiptir. Somali'nin başkentinden yaklaşık 345 km uzaklıktadır ve $2^{\circ} 04' 30''$ K ve $3^{\circ} 12' 00''$ K enlemleri ile $42^{\circ} 50' 00''$ D ve $43^{\circ} 02' 30''$ D boylamları arasında uzanır. Juba havzası 7986.52 km^2 drenaj alanına sahiptir.

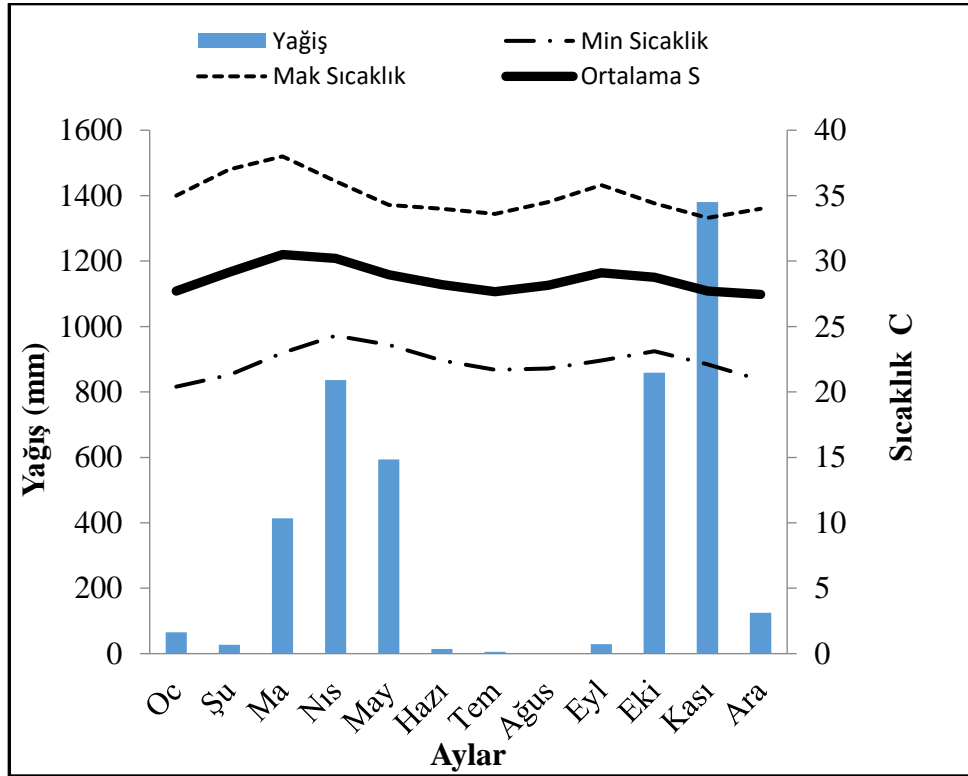


Şekil 3.7. Juba havzası haritası

3.9.1. İklim

Somali'nin coğrafi konumu, kırılğan doğası, iklimi ve ülkedeki siyasi istikrarsızlık nedeniyle kuraklıklara karşı alınan önlemler yetersizdir. Somali toprakları üzerinde kuraklıkların olumsuz etkileri vardır. Somali'nin güneyindeki nehir havzası bölgelerinin iklimi tropikal/ kurak ile kuru/alt nemlidir ve İntertropikal yakınsama bölgesinin (ITCZ) kuzeydoğu ve Güneydoğu hava akışlarından etkilenir. Kuzey-doğu ve Güney-Doğu hava kütleleri intertropikal yakınsama bölgesinde (ITCZ) buluşur ve sonuç olarak havayı yukarı doğru yükseltir ve yağmur üretir. ITCZ Afrika genelinde kuzeyden güneye yıllık rüzgâr hareket etkilendirir aynı anda Somali'de dört farklı mevsim oluşturmasına yol açar, iki kuru mevsim ile değişen iki yağışlı mevsimdir. 2001'den

2019'a kadar on dokuz yıllık iklim verileri, Somali'de Tarım Bakanlığı metrolojik istasyonunu analiz etmiştir. İlkbahar ve sonbahar, sıcak hava koşulları ile karakterize edilen çalışma alanının yağışlı mevsimleridir. Toplam yağış miktarı büyük ölçüde değişir ve ilkbahar toplam ortalama yağışın çoğunu sağlar. Şekil 3.8'de gösterildiği gibi iklim değişikliği vardır. Juba alt havzasının minimum ve maksimum sıcaklığı sırasıyla 20.4°C (Ocak) ve 34 °C (Mart) olmaktadır.



Şekil 3.8. İklimsel verilerin aylık ortalama değerlerinin değişimi

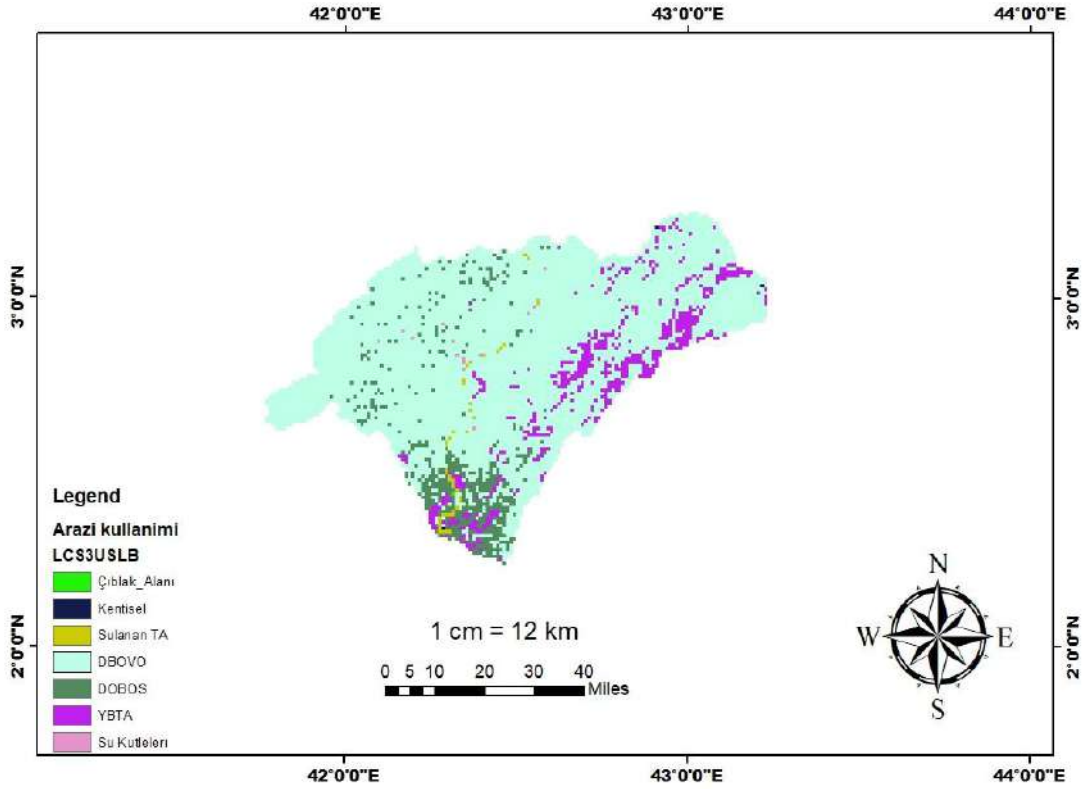
Çalışma alanındaki yağışları düzensizdir. Etiyopya sınırındaki Gedo bölgesinde yıllık ortalama toplam yağış miktarı 160-1380 mm arasındadır (Monaci, et al., 2007). Yağış genellikle geçici ve mekânsal olarak düzensiz olan yoğun, kısa yağmur fırtınaları şeklinde meydana gelmektedir. Gedo Bakol ve Hiran bölgeleri Somalinin diğer bölgelere göre en yüksek evapotranspirasyon potansiyele sahiptir (2500 mm / yıl) değişmektedir, bölgelerin geri kalanında ise 2000 mm / yıl ile 1500 mm / yıl arasında değişmektedir. Yıllık yağış miktarı (P), potansiyel evapotranspirasyonun (PET) çok altındadır ve yılın çoğunda büyük bir nem açığı vardır (Monaci, et al., 2007).

3.9.2. Arazi kullanımı ve arazi örtüsü

Arazi kullanımı ve örtüsü, akış tahmin etmek için en önemli değişkenlerden biridir. Uydu görüntüsü LANDSAT-8'den indirilmiş ve ERDAS IMAGINE ve Google Earth kullanarak sınıflandırmak için Maksimum Olasılık algoritması kullanmıştır. Çalışma alanının arazi örtüsü Yedi kategoriye ayrılır. Doğal bitki örtüsü ve otlak, Doğal odunsu bitki örtüsü seyrek, sulanan tarım arazi, yağmurla beslenen tarım arazi, Kentsel ve su kütleleri bulunur. Çalışma alanının arazi örtüsü çoğunlukla bitki örtüsü ve otlaktır. Juba alt havzasındaki meralar keçi, koyun, sığır ve deve gibi hayvanları desteklemektedir. Diğer kapsama türleri arasında şehirler ve kentsel alanlar (yerleşim alanları, kasabalar ve havaalanları), çıplak alanlar (çıplak toprak ve kum) ve doğal su kütleleri bulunur. Tablo 3. 3 her arazi kullanım kategorisinin alan kapsamını ve yüzde alanını göstermektedir.

Tablo 3. 3. Çalışma alanının arazi örtüsü

Numara	Sınıflandırma Adı	Alan (Km ²)	Alan(%)
1	Doğal odunsu bitki örtüsü seyrek	877.7182	10.99
2	Doğal bitki örtüsü ve otlak	6384.421	79.94
3	Sulanan tarım arazi	29.55012	0.37
4	Yağmurla beslenen tarım arazi	380.1584	4.76
5	Çıplak alanlar	299.4945	3.75
6	Kentsel	13.57708	0.17
7	Su kütleleri	1.597304	0.02
	Toplam	7986.52	100



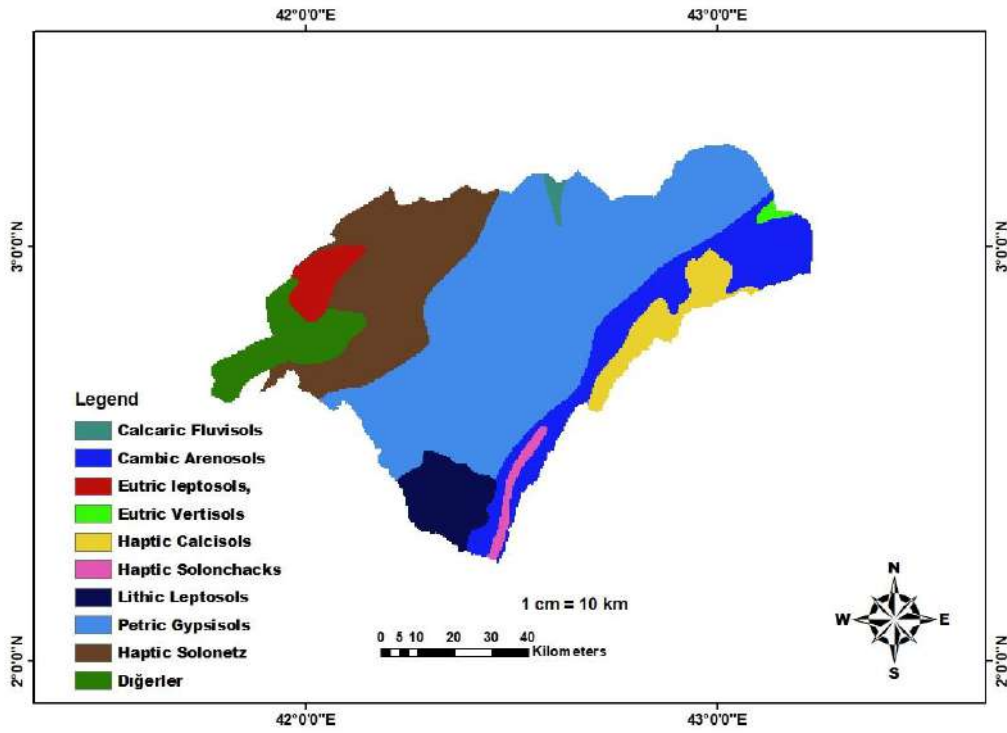
Şekil 3.9. Çalışma alanının arazi örtüsü Haritası

3.9.3. Çalışma alanının toprak özellikleri

FAO-SWALIM, 2012 yılında FAO toprak sınıflandırma yöntemini kullanarak Somali'nin toprak haritasını hazırlamıştır. Çalışma alanının toprak haritası, ArcGIS kullanılarak FAOSWALIM'den alınan şekil dosyasından alınmıştır. Juba Alt Havzası'nda Şekil 3.10'da gösterildiği gibi Dünya Gıda ve Tarım örgütü Arazi sınıflandırma grubuna göre dokuz toprak tipi tanımlanmıştır. Bunlar ise Calcaric Fluvisols, Cambic Arenosols, Eutric leptosols, Eutric Vertisols, Haptic Calcisols, Haptic Solonchacks, Haptic Solonetz, Lithic Leptosols, ve Petric Gypsisols. Her toprak türü, HWSD yazılımı kullanılarak toprak dokusunun (kum, kil ve tınlı) yüzde içeriği ve ayrıca her toprak tipinin alan kapsamı ve çalışma alanındaki yüzdesi Tablo 3. 4'de tanımlanmıştır.

Tablo 3. 4. Çalışma alanının toprak tipleri

Nu	Toprak adı	Doku	Kum (%)	Silt (%)	Kil (%)	Alan (Km2)	Alan(%)
1	Calcaric Fluvisols	Loam	41	39	20	833.8	10.44
2	Cambic Arenosols	Sand	89	6	5	571.8	7.16
3	Eutric leptosols,	Loam	50	30	20	2255.4	28.24
4	Eutric Vertisols	Clay	21	25	54	34.3	0.43
5	Haplic Calcisols	Loam	43	32	25	718.8	9
6	Haplic Solonchacks	Sandy Clay Loam	52	27	21	175.7	2.2
7	Lithic Leptosols	Clay Loam	43	29	28	1109.3	13.89
8	Petric Gypsisols	Loam	50	31	19	2278.6	28.53
9	Haplic Solonetz	Loam	47	27	21	8.8	0.11
	Toplam					7986.5	100

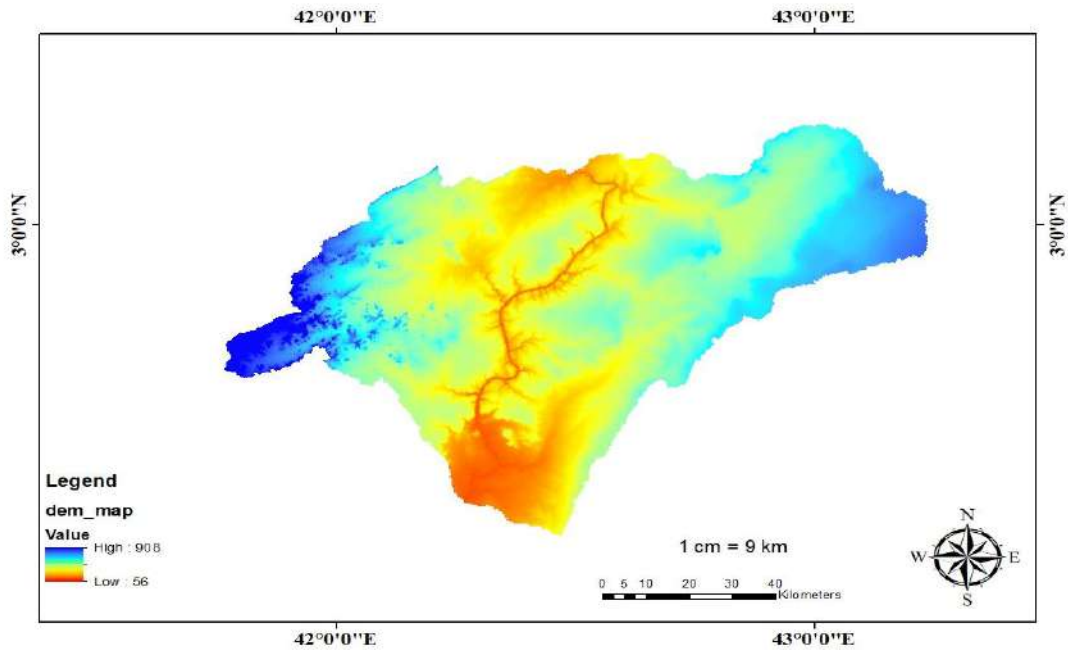
**Şekil 3.10.** Çalışma alanının toprak haritası

3.10. Hidrolojik veri setleri

Hidrolojik bir modelin başarısı kritik olarak onu kurmak ve sürmek için mevcut verilere bağlıdır. Juba alt havzasının tam hidrolojik analizi için meteoroloji istasyonlarından farklı veriler toplanmıştır.

3.10.1. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), akış ağının simülasyonu için temel bir veri kümesidir, Alaska web sitesinden indirilmiş ve ArcGIS için bir girdi olarak kullanılmıştır. Çalışma alanının indirilen SYM tipi, Şekil 3.11'de gösterildiği gibi 12,5 metrelik ALOS POLAR RTC çözünürlüğüdür.



Şekil 3.11. Çalışma alanının Sayısal Yükseklik Modeli

3.10.2. Yağış ve akış verileri

(2006 - 2015) ' den itibaren istasyonlar için meteorolojik verilerin günlük verileri SWALİM'DEN elde edilmiştir. Akış verileri, HEC-HMS modelinin kalibrasyonu ve doğrulanması için kullanılmıştır. 2006'dan 2015'e kadar gözlemlenen akış verileri, SWALİM'den (Somali Su ve Arazi Bilgi Yönetimi) elde edilmiştir, Tablo 3. 5'te bu çalışmanın tüm gerekli verileri ve kaynağı verilmiştir.

Tablo 3. 5. Çalışma verileri ve kaynağı

Veriler	Veri kaynağı
Sayısal Yükseklik modeli	ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu'ndan (USGS)
Toprak verileri	SWALIM
Arazi kullanımı	SWALIM
Yağış verileri	SWALIM
Akım verileri	SWALIM
Meteorolojik veriler	Somali tarım ve orman bakanlığı

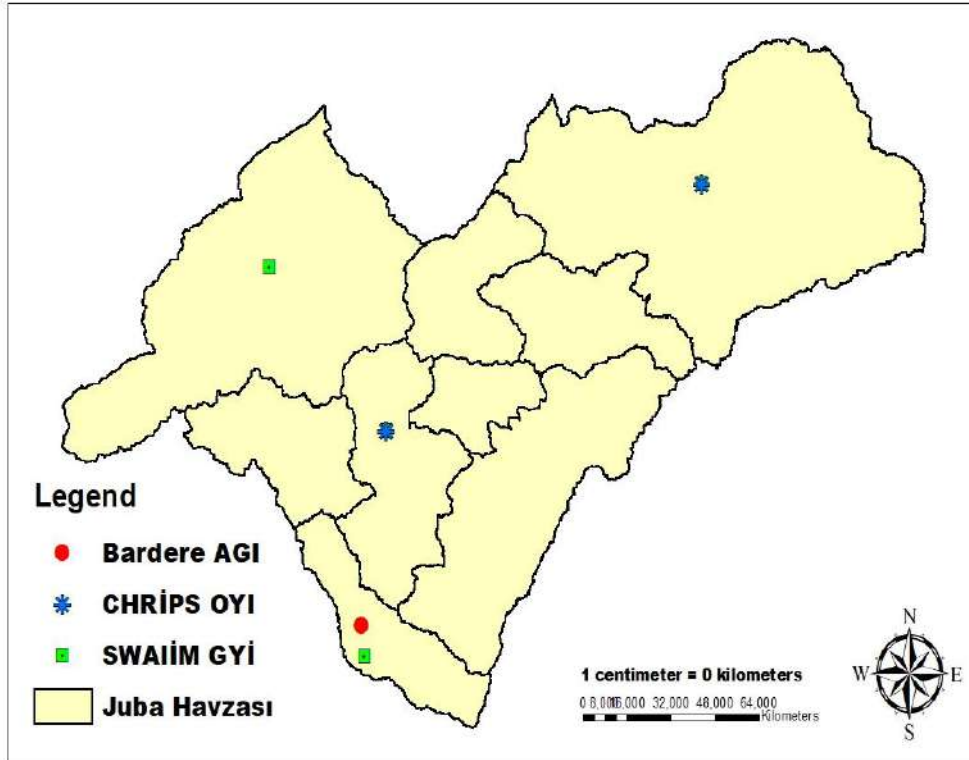
3.10.3. Havzanın alansal yağış istasyonları

Juba alt havzasında sadece iki yağış istasyonu vardır, bunlar Bardere yağış ve Luuq yağış istasyonlarıdır. Bu iki istasyon, havzanın geniş alanı nedeniyle HEC-HMS modelinde son derece doğru akışı simüle etmek için yeterli değildir. Ayrıca alt havzada bulunan diğer yağmur göstergeleri işlevsel değildir. Bu nedenle, son derece doğru akışı simüle etmek için ekstra yağmur göstergelerine ihtiyaç duyulmaktadır. Mevcut tek seçenek, CHRIPS uydu verilerinden çalışma alanına ekstra otomatik yağmur ölçerler eklemektir. CHIRPS verileri, Afrika'daki diğer uydu verileriyle karşılaştırıldığında, tarihsel olarak Afrika'daki en yüksek çözünürlüklü (0,05, 0,05) uydu verilerine sahiptir.

Çalışma alanındaki CHRIPS yağış verileri, uzun süre boyunca İklim servisi web sitesinden raster formatında indirilmiştir. Daha sonra yağış verileri, Spyder 3.5 yazılımı kullanılarak ızgara CHRIPS raster formatından havzadaki iki konumda CSV formatında veriler olarak çıkarılmıştır. Bu yerler mevcut işlevsel olmayan meteoroloji istasyonlarına göre seçilmiştir. Çalışmada kullanılan SWALİM kurumu tarafından kurulan ve işletilen mevcut yağış gözlem istasyonları (YGİ), CHRİPS sitesi tarafından otomatik yağış gözlem istasyonları (OYGİ) ve havzanın tek akım gözlem istasyonu (AGİ) özellikleri Tablo 3. 6' da verilmiştir. YGİ, OYGİ ve AGİ istasyonlarının Juba Havzası üzerinde konumu Şekil 3.12 ' de verilmiştir.

Tablo 3. 6. Juba Havzasının YGI,OYGI ve AGİ özellikleri.

Sıra	Ist. Adi	İst. Enlemleri	İst. Boylamları	Gözlem yılları	Veri Zaman
1	Bardere	2° 20' 23.6034"	42° 16' 52.1394"	2006-2015	Günlük
2	Busar	3° 1' 58.605"	42° 51' 20.6526"	2006-2015	Günlük
3	Burdubo	2° 40' 14.9586"	42° 19' 7.6866"	2006-2015	Günlük
4	Luuq	2° 54' 33.6096"	42° 7' 7.932"	2006-2015	Günlük
5	Bardere (AGİ)	2° 20' 23.6034"	42° 16' 52.1394"	2006-2015	Günlük

**Şekil 3.12.** Çalışma alanındaki gözlem istasyonlarının yeri

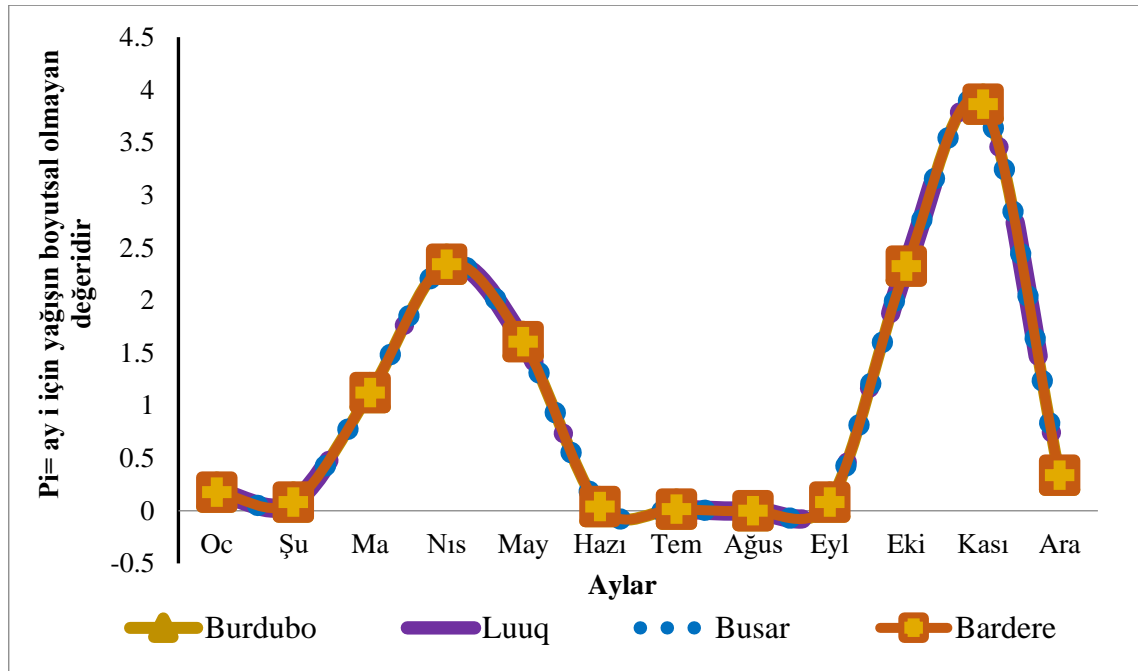
3.10.4. Yağmur ölçerlerin homojenlik testi

Herhangi bir hidro-meteorolojik çalışmada kullanılmadan önce kaydedilen yağış veri serilerinin homojenliğini test etmek önemlidir (Firat, ve ark., 2017) . Bu nedenle güvenilirlik ve kalite için hidroloji ve su kaynakları süreçlerinin modellenmesinde

kullanılacak verilerin istatistiksel olarak test edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, alan yağış tahmininin analizi için ve temsili meteoroloji istasyonunun seçilmesi için, grup istasyonlarının homojenliğinin kontrol edilmesi esastır ve havza üzerindeki seçilen düzeltilmiş CHRIPS uydu istasyonlarının homojenliği ve gözlemlenen istasyonların aylık yağış kayıtları, boyutsuzlaştırma denklemi 3.3 ile gerçekleştirilmiştir.

$$P_i = \frac{\bar{P}_i}{\bar{P}} \times 100\% \quad (3.3).$$

Burada P_i = ay i için yağışın boyutsal olmayan değeridir. \bar{P}_i = yıl boyunca istasyonda aylık ortalama yağış \bar{P} istasyonun yıllık ortalama yağış miktarı.



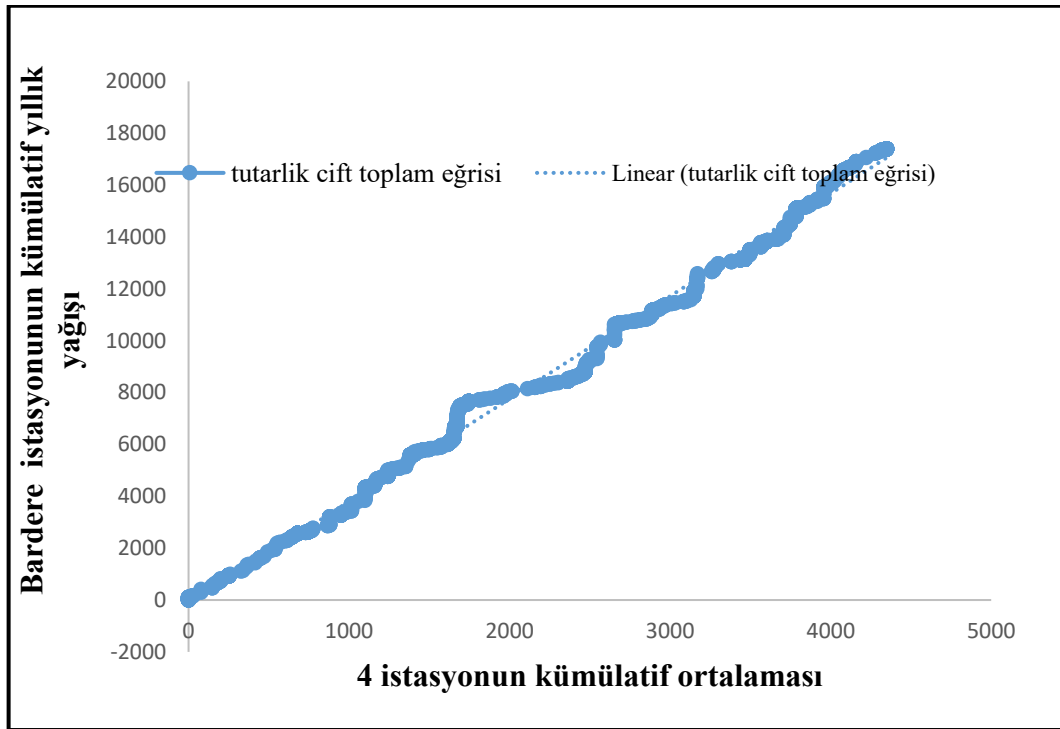
Şekil 3.13. Havzanın Yağış istasyon verilerinin Homojenlik test

Şekil 3.13. Gösterildiği gibi, yağışlı mevsimlerde meydana gelen maksimum yağış istasyonları homojenliğini gösteren dört gözlem istasyonlarda Mart-Mayıs ve Eylül-Kasım aylarıdır.

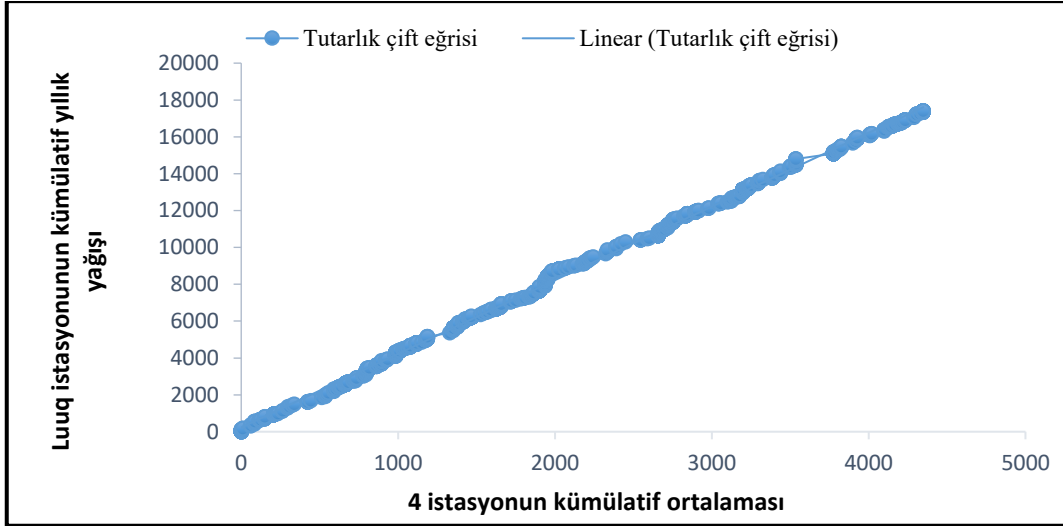
3.10.5. Yağış verilerinin tutarlılık testi

Havza yağmur ölçer istasyonlarının kaydının kontrol edilmesi sürecinde, çeşitli nedenlerle kayıt döneminde meydana gelebilecek önemli bir değişikliğe uğramış ise, istasyonun yağış verilerinde tutarsızlık ortaya çıkacaktır (Alemshet, vd., 2020). Bu çalışma için kaydedilen verilerin tutarlılık testi çift toplam eğrisi (double mass curve)

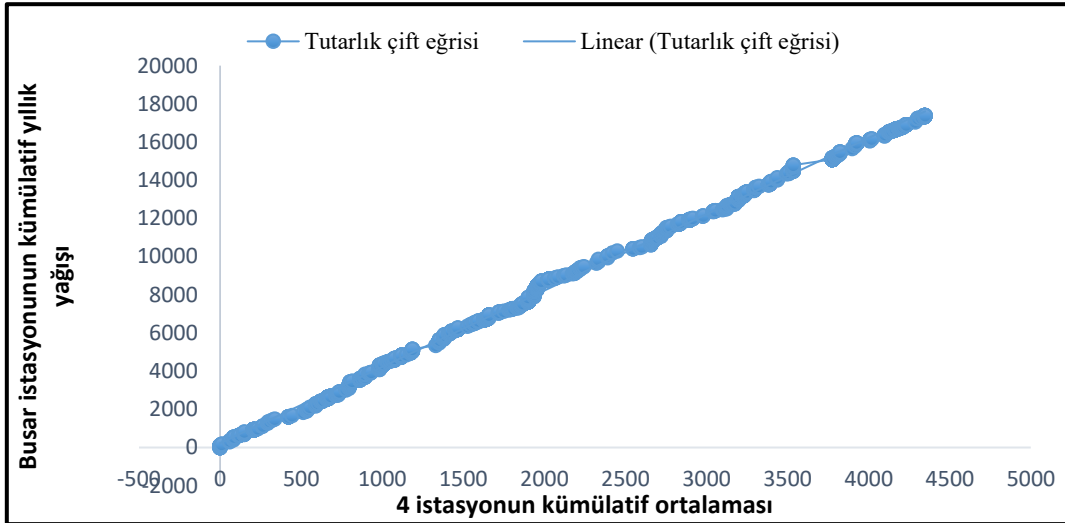
tekniki ile kontrol edilmiştir. Bu yöntem, istasyonların uzun süreler boyunca bölgesel tutarlılığa sahip olduğunu varsayar. Tutarsızlık, çevredeki istasyonlarda biriken ortalamaya karşı ilgili sahada biriken yağış verilerinin çizilmesiyle tespit edilmiştir. Genellikle yağış verilerinin tutarlılığını kontrol etmek ve eğimdeki ani değişiklikleri denetlemek için kullanılır. Periyodik veriler uygun bir eş zamanlı dönemle orantılı ise eğim değişiklikleri önemli kabul edilir ve tutarsız olan bu veriler istasyonlar arasında korelasyon katsayısı kullanılarak orantılanarak ayarlanabilir. Tutarlılık değeri orantılı olarak ayarlanarak, dört istasyonun tümü için çift kütleli bir eğri grafiği yapıldı. Şekillerde (3.14,3.15,3.16 ve 3.17) gösterdiği gibi, tüm istasyonların tutarlı olduğu ve her istasyonun yıllık kümülatif yağış miktarı ile dört istasyonun da yıllık ortalama kümülatif yağış değerleri iyidir.



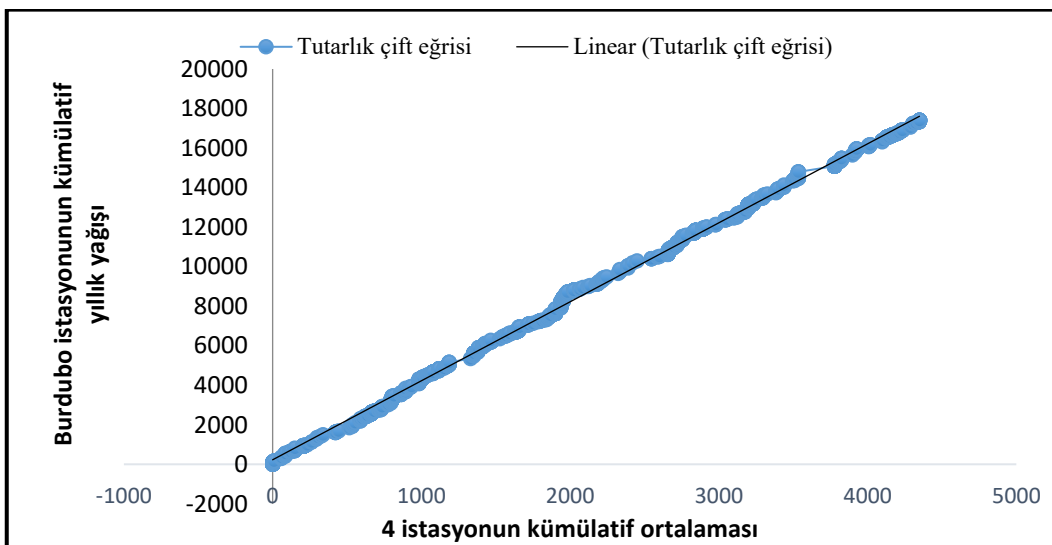
Şekil 3.14. Bardere y.istasyon'un Çift toplam eğrisi



Şekil 3.15. luuq yağış istasyonunun Çift toplam eğrişi



Şekil 3.16. Busar yağış istasyonunun Çift toplam eğrişi



Şekil 3.17. Burdubo yağış istasyonunun Çift toplam eğrişi

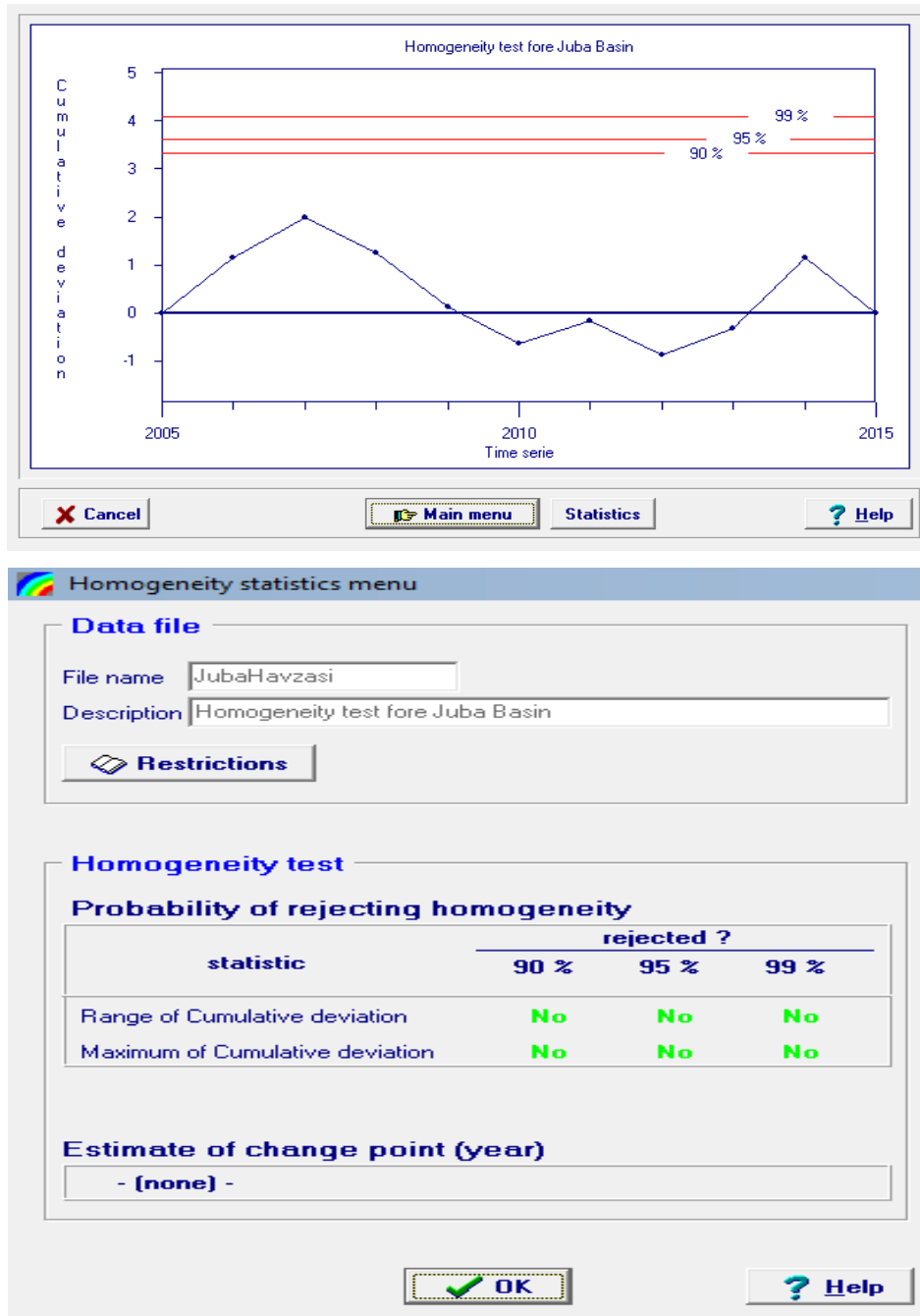
3.10.6. Akış verilerinin homojenlik testi

Yağmur olaylarını takip eden ardışık günler boyunca negatif akışlar ve sürekli gözlemler gibi gerçekçi olmayan kayıtları doğrulamak için, Bardhere veri kalitesi testinin akış akışı önemliydi. Rainbow yazılımı, akış kaydının homojenliğini değerlendirmek için tasarlanmıştır ve ortalama akış kaydından kümülatif sapmalara dayanan bir homojenlik testi sağlar (Yusoff & Hashim, 1996).

$$S_k = \sum_i^k (X_i - \bar{x}) \quad (3.4)$$

Burda S_k : artık kütedir, ve X_i : X_1, X_2, \dots, X_n serilerinin kayıtlarıdır, \bar{X} ise ortalamadır.

Başlangıç değeri ve son değeri sifıra eşittir. Çizim yaparken (aynı zamanda bir artık kütle eğrisidir) ortalamadaki değişiklikler kolayca tespit edilir. X_i Normalin üzerindeki bir kayıt için $S_k = i$ artarken, normalin altındaki bir kayıt için ise $S_k = i$ azalır. Homojen bir kayıt için, X_i 'nin sapmalarında sistematik bir model olmadığı için X 'in sıfır civarında dalgalanması beklenebilir, çünkü $X, k = 1, \dots, n$. Şekil 3.18'de gösterildiği gibi homojenlik için aşağıdaki grafikte kümülatif sapma, homojenliğin reddedildiği yatay çizgilerden birini %90, 95 ve 99 olasılıkla geçmektedir. Olasılığın reddedilmesi, istasyonun kabul edilebilir olduğunu gösterir. Rainbow yazılımı için kullandığımız hidrolojik analiz zaman serisi verileri 2006-2015 yılları arasında Bardere hidrolojik istasyonunda akar su akışı homojen ve sürekli olmuştur.



Şekil 3.18 Bardere akış gözlem istasyon verilerinin homojenlik testi

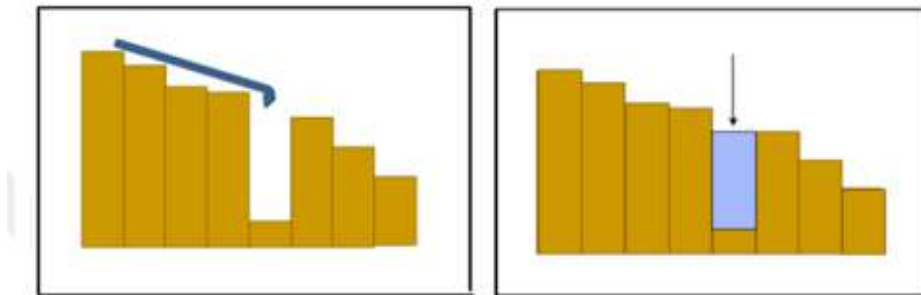
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Havza ön işleme

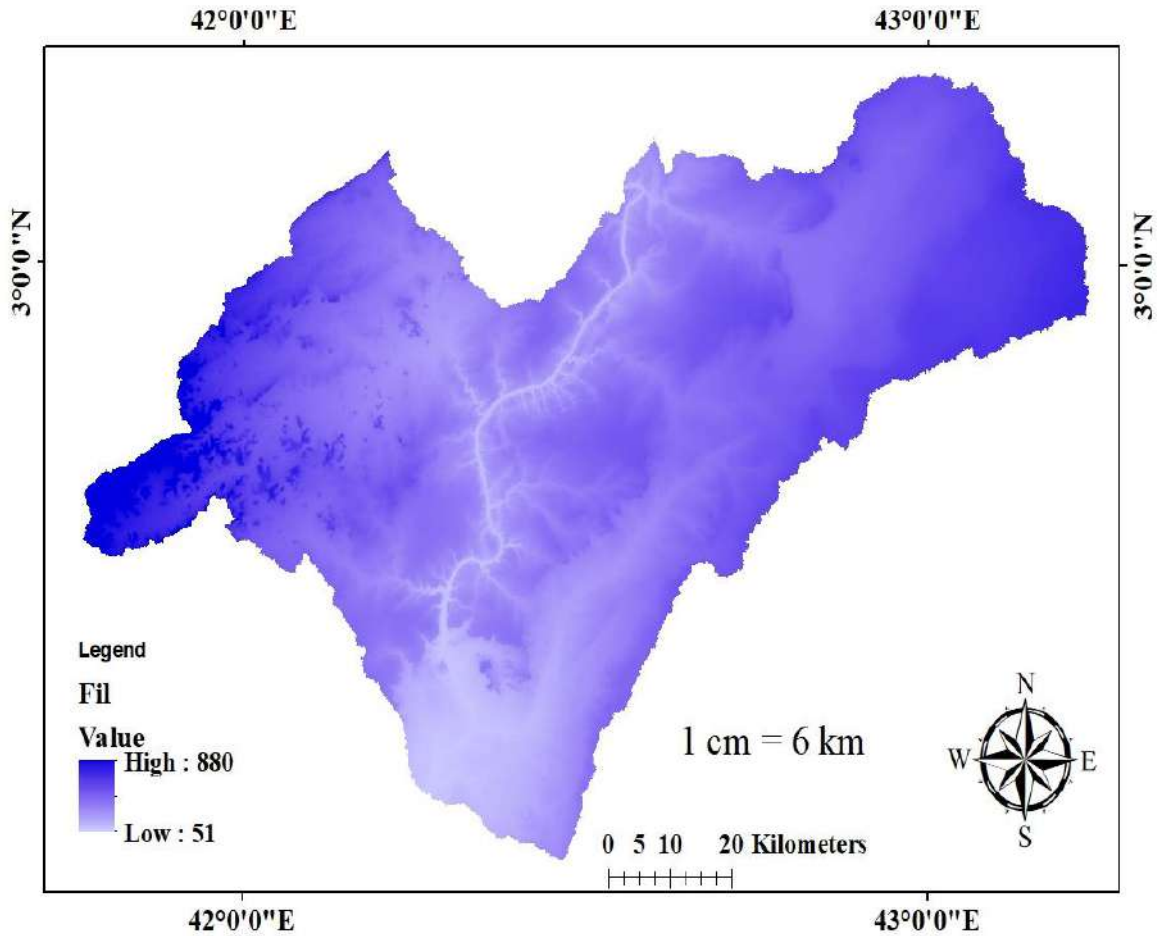
Juba Nehri Havzası'nın Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), HEC-GeoHMS uzantısı ve Mekânsal Analist ile Arcview platformu altında havza ön işlemesi için girdi olarak gereklidir. Havza ön işlemenin amacı, arazinin ilk analizini yapmak ve veri kümesini daha sonraki işlemler için hazırlamaktır. Havza ön işleme, boşluklar doldurulması, akış yönü, akış birikimi, akış tanımı, akış bölümlendirme, havza sınırlandırılması, havza poligon işleme, akış bölünme işleme ve havza birleştirme dahil olmak üzere adım adım olarak yapılmıştır ve bundan sonra çalışma alanı için bir çıkış nokta seçilip Juba Havzası isimli yeni bir proje oluşturulmuştur.

4.1.1 Hatasız sayısal yükseklik modeli oluşturma

SYM, her zaman hidrolojik modelleme çalışmaları gerçekleşmesinde büyük rol oynar. SYM hücreleri üretilirken, bazı hücreler komşu hücrelere kıyasla beklenmedik bir şekilde yüksek veya düşük yükseklik değerlerine sahiptir. Bu sorunlar hata olarak kabul edilir. Hatasız SYM, akış yönlerini belirlemek için SYM'nın boşluk hücreleri en yüksek ve düşük hücreleri seviyesinin çok farklı olmamak için Boşluk Doldurma aracı (fill sinks) tarafından düzeltilmiştir. Bu durumda Şekil 4.1'de gösterildiği gibi düzeltilir ve aynı anda Juba havzasının düzeltilmiş SYM sı Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Boşluk doldurma gösterimi



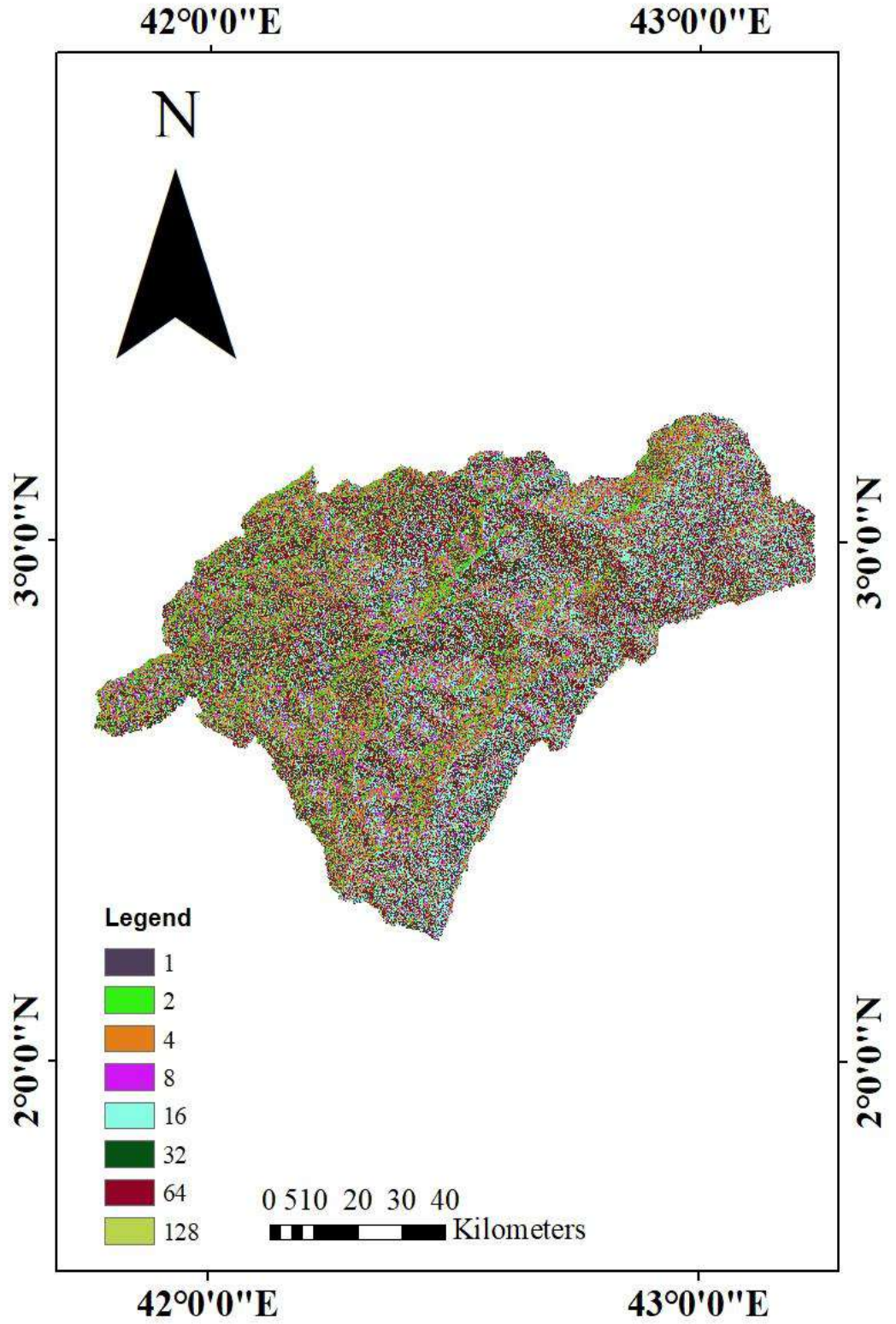
Şekil 4.2. Juba havzasının düzeltilmiş sayısal yükseklik modeli

Juba havzasının Şekil 4.2 gösterildiği gibi minimum yüksekliği 51 metredir, maksimum yüksekliği ise 880 metredir. Hidrolojik olarak düzeltilmiş SYM, çalışma alanı için akış yönü ve akış birikimi dosyalarını üretmek için yardımcı olmuştur.

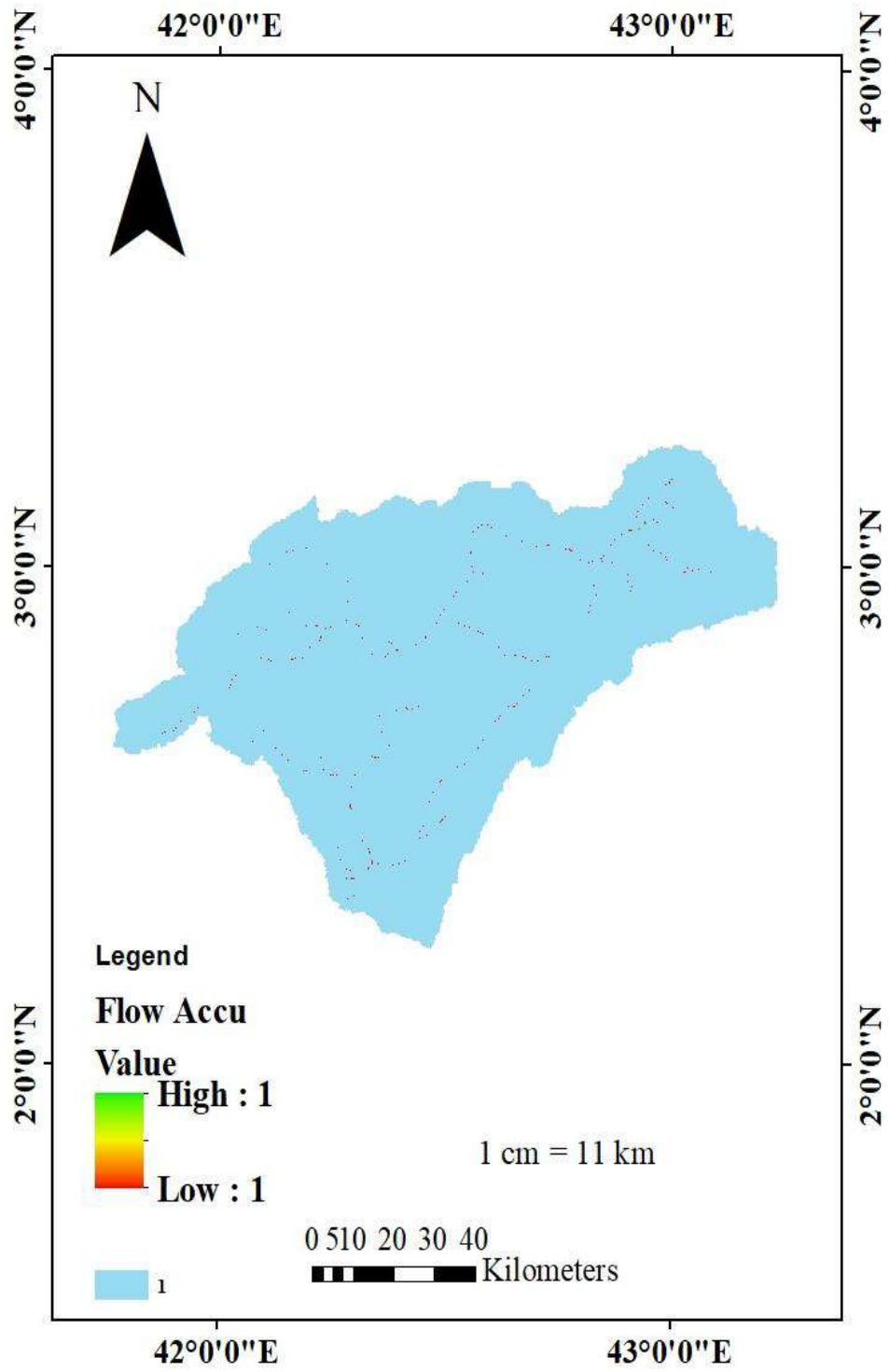
4.1.2. Akış yönü belirlenmesi ve Akış birikimi

Akış yönünün düzenli bir şekilde belirlenmesi, bir havzanın drenaj yapısını belirlemenin temelidir. Bu adım, her arazi hücresi için en dik inişin yönünü tanımlanmıştır. Benzer bir pusula için, Sekiz noktalı dökme algoritması aşağıdaki gibi sekiz Olası ayrılmıştır ve: 1(Doğu), 2(Güneydoğu), 4(Güney), 8(güneybatı), 16(Batı), 32(kuzeybatı), 64(Kuzey) ve 128(kuzeydoğu) yönlendirilmiştir. (Ercan ve Yüce, 2016). Juba havzasındaki akış yönleri Şekil 4.3'te gösterilmiştir.

Akış birikimi belirli bir hücreye boşalan geliş yönündeki hücrelerin sayısını belirler. Belirli bir hücredeki yukarı akış drenaj alanı, akışın çarpılmasıyla hesaplanabilir hücre alanına göre birikim değeridir. Şekil 4.4



Şekil 4.3. Akış yönü



Şekil 4.4. Akış birikimi

4.1.3. Akış tanımı

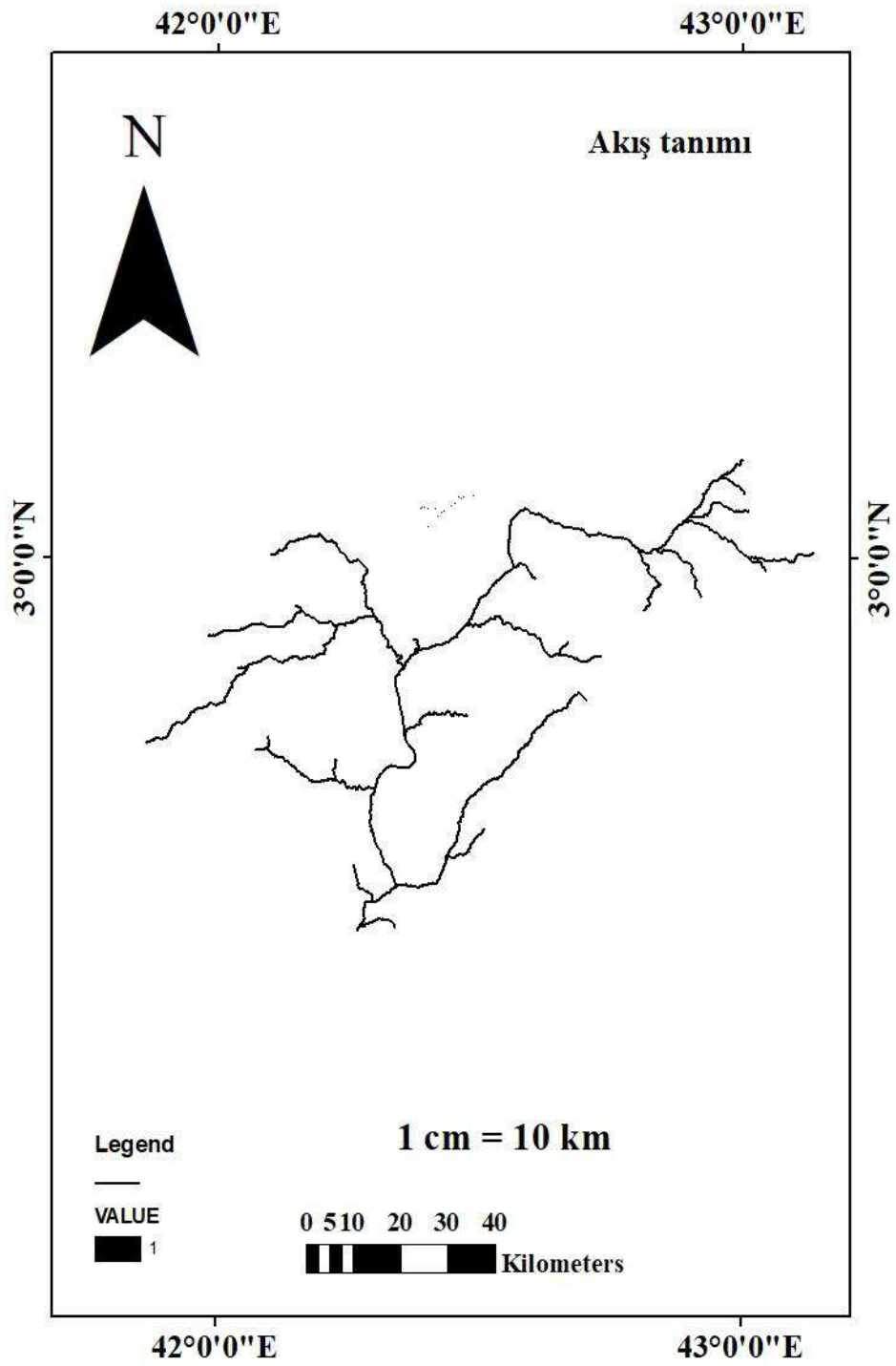
Bu adım, kullanıcı tanımlı eşikten daha büyük akış birikimine sahip tüm hücreleri, akış ağına ait hücreler olarak sınıflandırır. Kullanıcı tarafından belirtilen eşik, kare uzaklıktaki birimlerde bir alan olarak, örneğin mil kare olarak veya bir hücre sayısı olarak belirtilebilir. Belirli bir hücrenin akış birikimi, bir akışın başlatılması için kullanıcı tanımlı eşiği aşmalıdır. Varsayılan değer, tüm havzadaki en büyük drenaj alanının yüzde biri (%1) 'dir. Seçilen eşik ne kadar küçük olursa, Geo-HMS tarafından tanımlanan alt havzaların sayısı da o kadar büyük olur. Şekil 4.5'te çalışma alanına ait akış tanımının gösterilmektedir.

4.1.4. Akış bölümlenme ve alt havzaların belirlenmesi

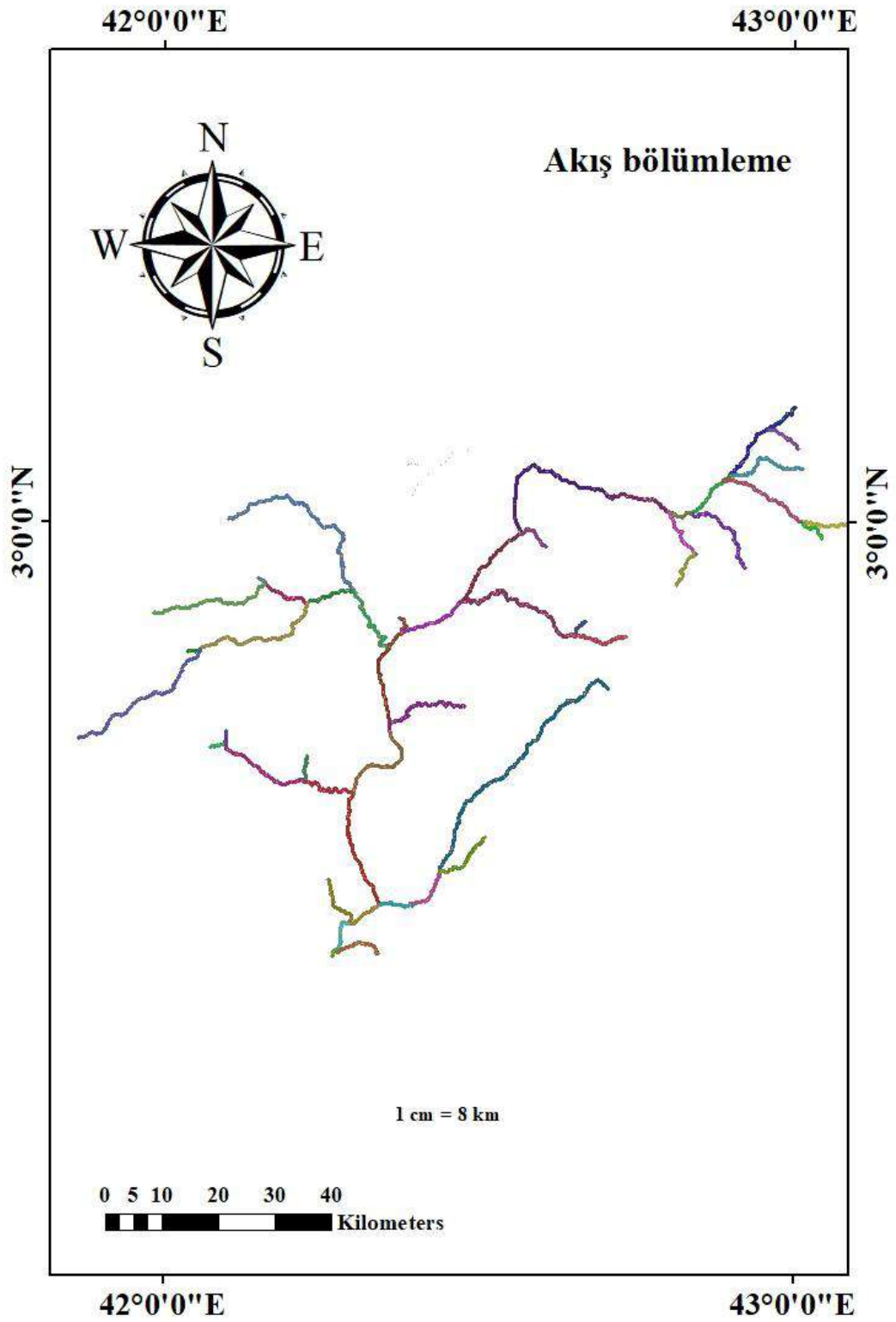
Akış bölümleri veya bağlantıları, iki akışının birbirini birleştiren nokta (kavşak) ,bir kavşağı ve bir çıkışı veya bir kavşağı ve drenaj bölmesini birbirine bağlayan bölümleridir. Juba havzasının üretilen akış bölümleri sayısı 56'dır. Akım bölümleri belirdikten sonra, ızgara esaslı alt havzalar tanımlanmıştır. Her akar su kolu bir havzaya üretiyor. Bu nedenle alt havzaların sayısı ve üretilen akım bölümleri sayısı eşit olur ve Juba havzasının alt-havzaları 56'dır.Şekil 4.6 ve Şekil 4.7'de Juba havzanın üretilen akış bölümleri ve alt havzaları sırasıyla göstermektedir.

4.1.5. Alt havzalar poligon oluşturma ve drenaj hattı işleme

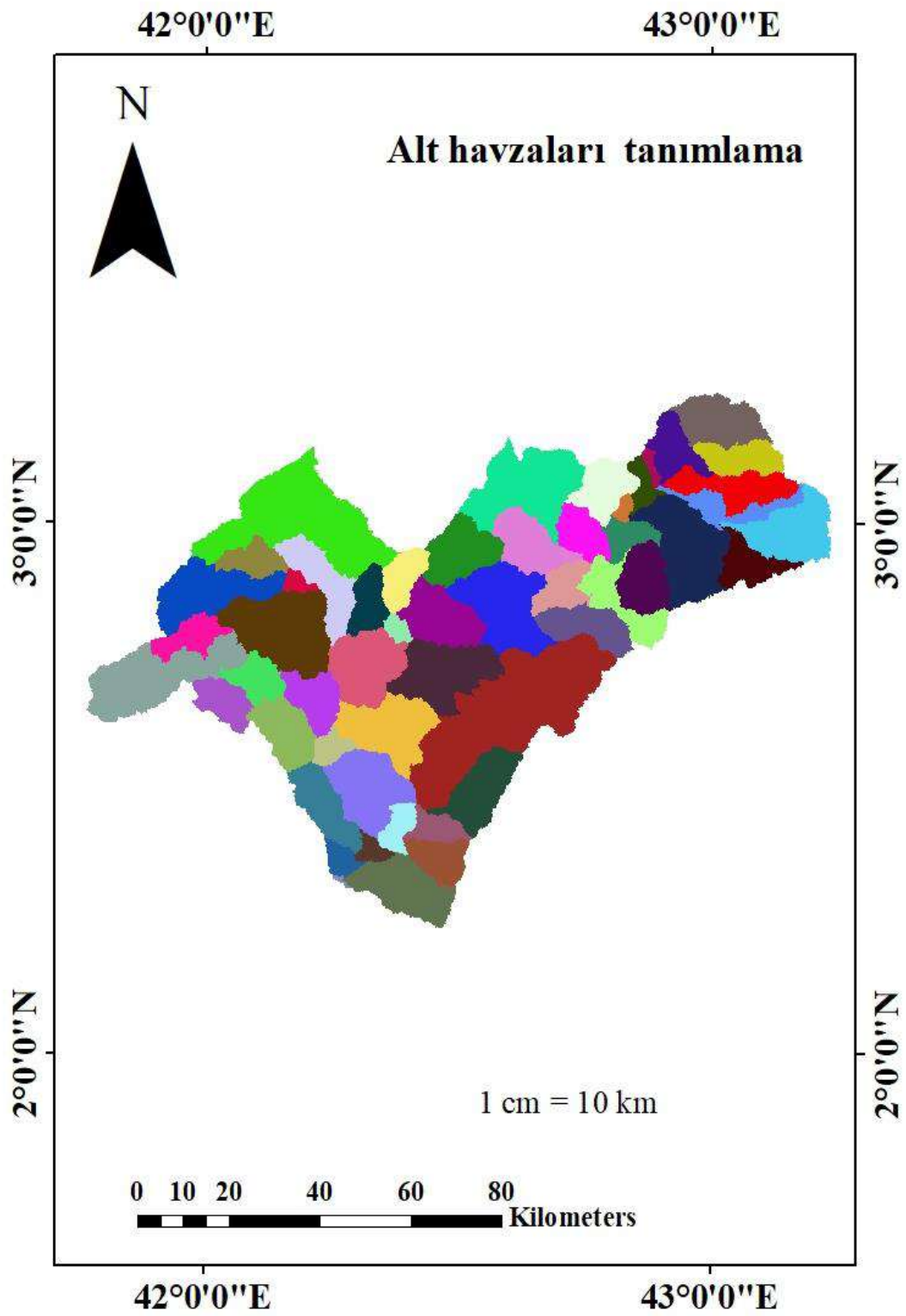
Bu adım, önceki adımda hesaplanan havza ızgarasını kullanarak alt havzaların vektör katmanını oluşturmuştur. Çalışma alanının vektör formatında alt havzalar Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Drenaj hattı işleme, her akış birleşmesinde yukarı akış alt havzalarını toplar. Bu gerekli bir adımdır ve alt havzaları etkileşimli olarak tanımlamak ve veri ayıklamayı geliştirmek için hesaplama performansını artırmak için gerçekleştirilir. Toplam su havzalarının sayısı, akış tanımını eşiğine bağlıdır. Juba havzasının drenaj hattı işlemi Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



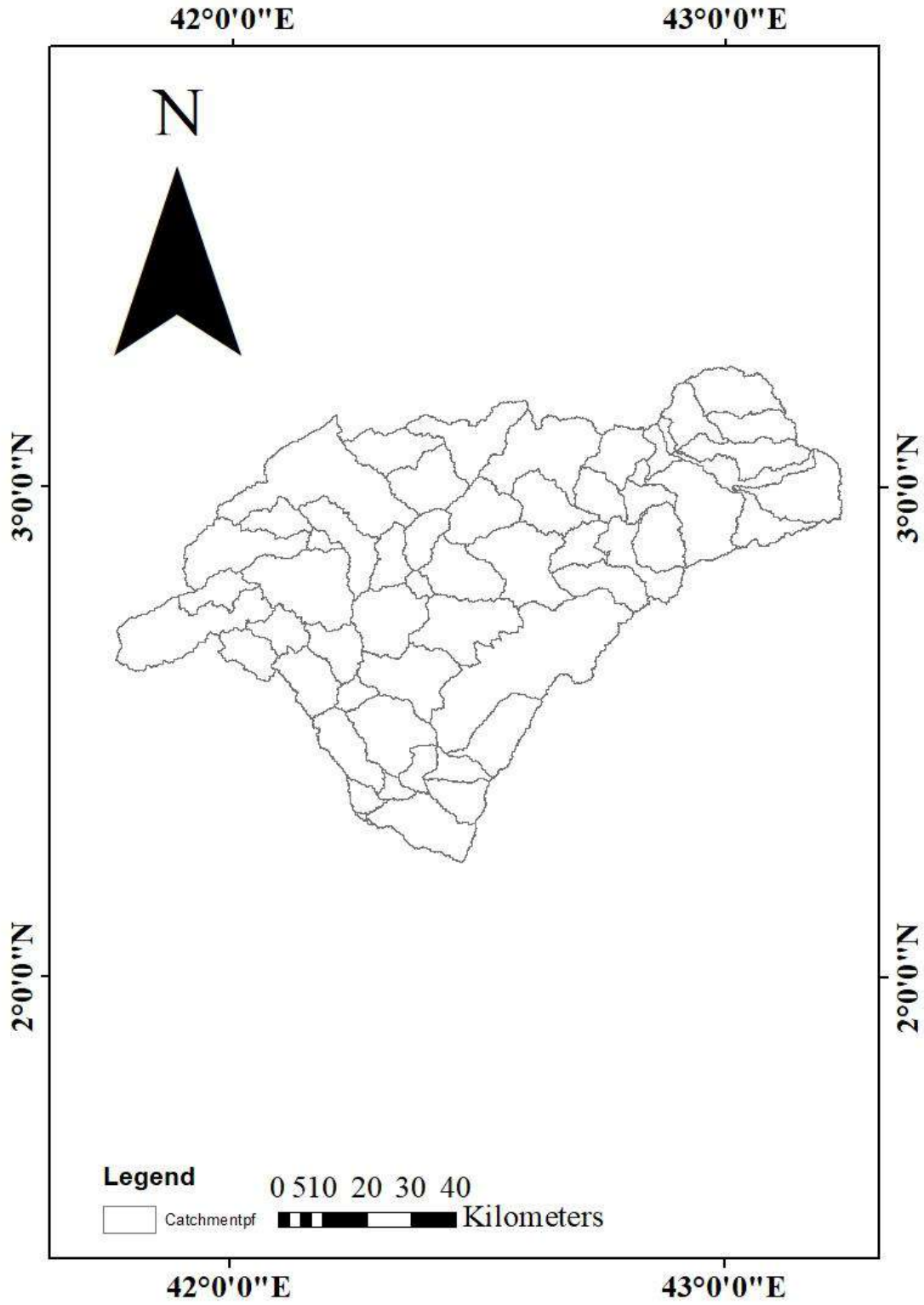
Şekil 4.5. Akış tanımı



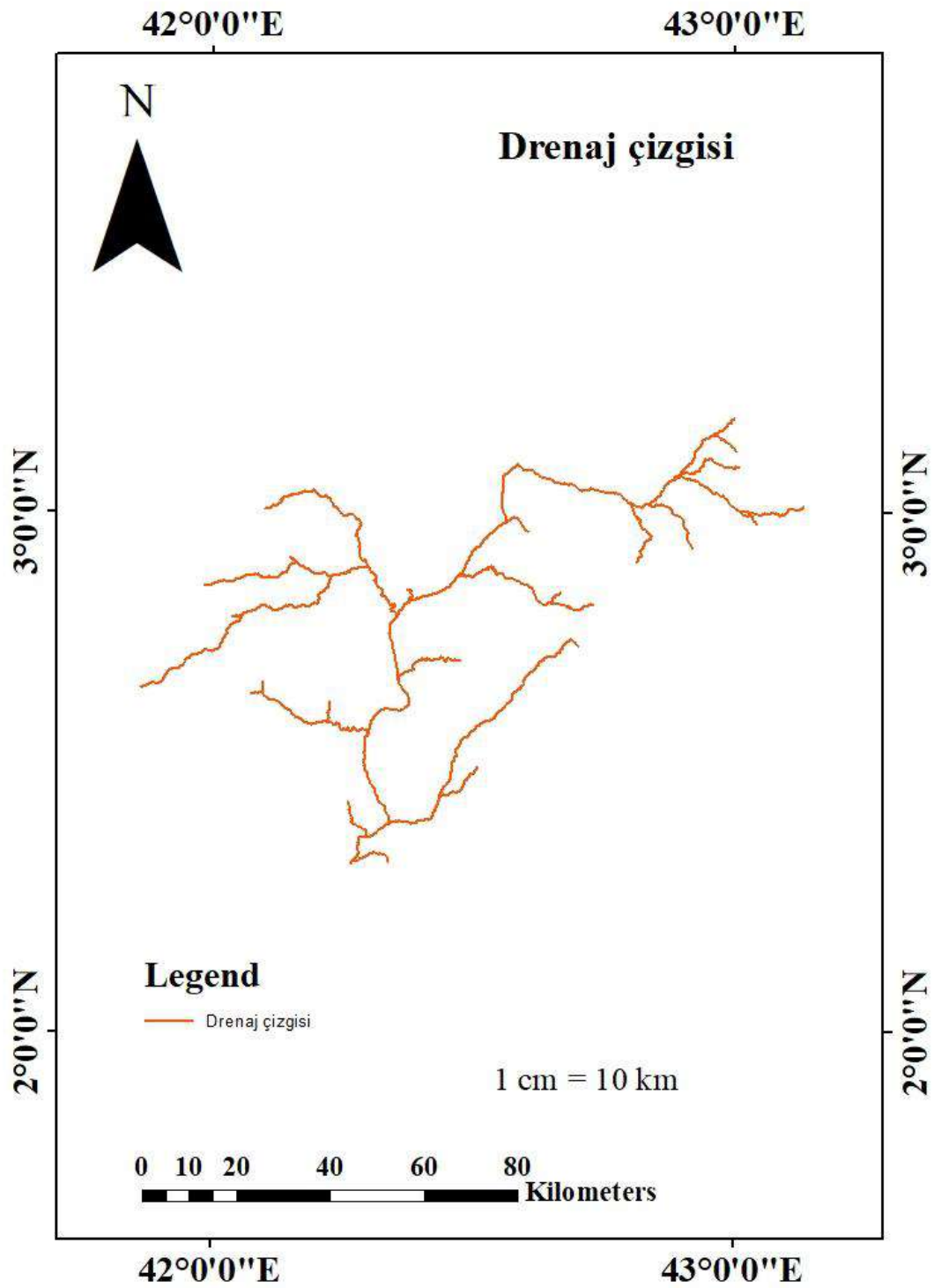
Şekil 4.6. Akış bölümleri



Şekil 4.7. Alt havzaları tanımı



Şekil 4.8 Alt havzalar poligonları



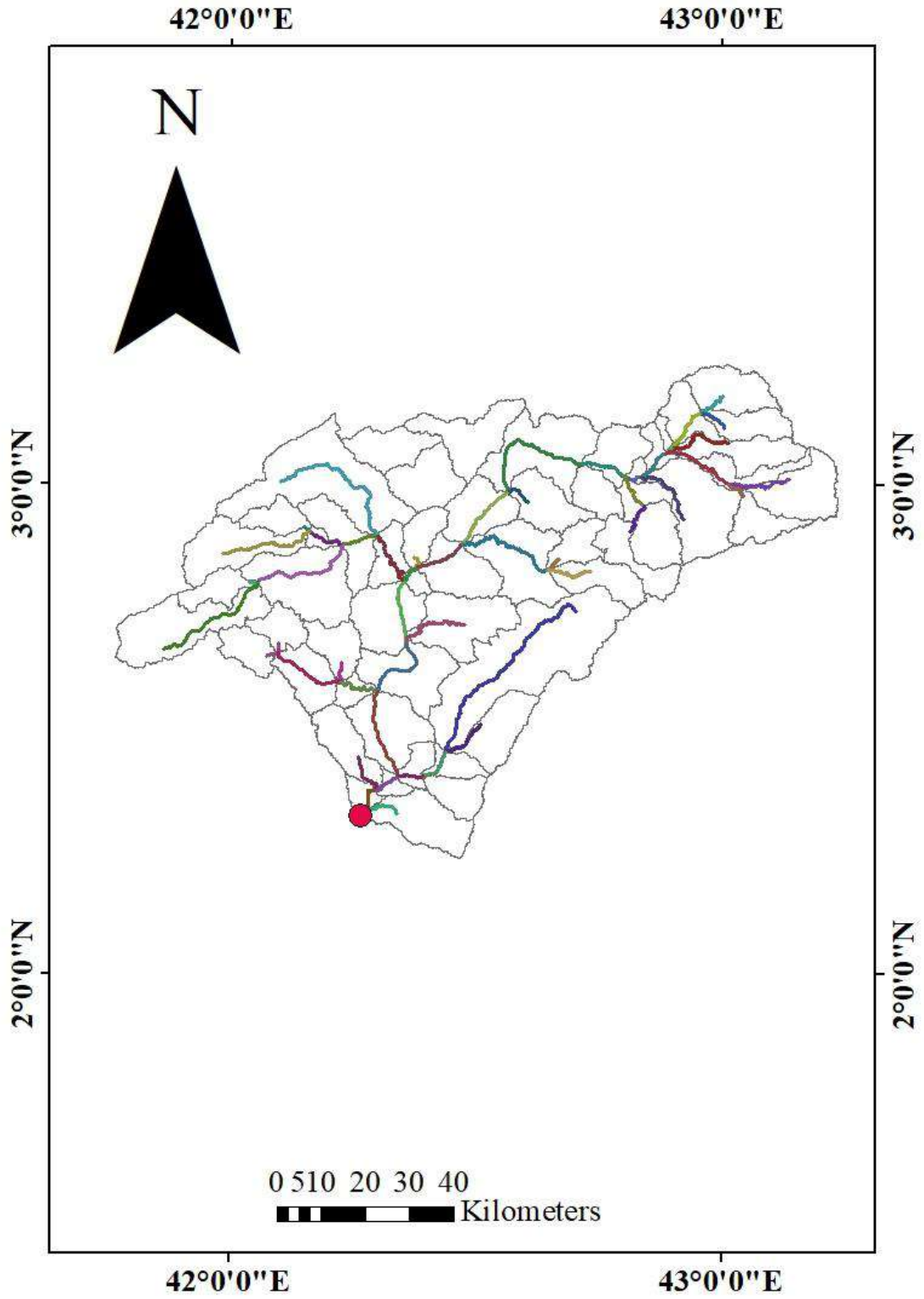
Şekil 4.9. Drenaj çizgisi

4.2 HMS Proje Oluşturma

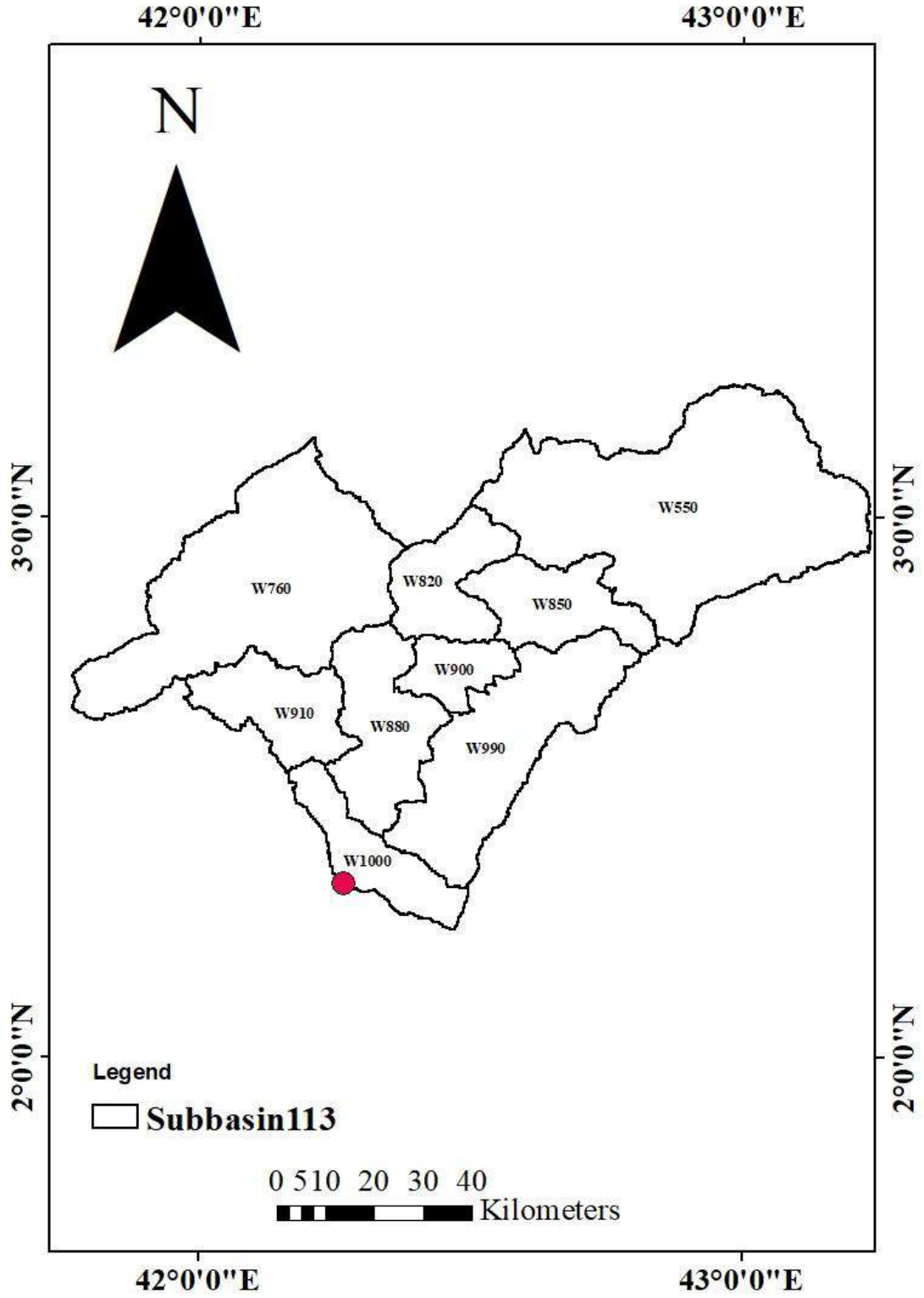
Öncelikle GeoHMS'de bir proje alanı tanımlanmıştır. Ana Görünüm belgesinde, HMS Proje Kurulumu menüsü yeni Proje Başlat öğesi kullanılarak yeni bir HMS projesi oluşturulmuştur.Çıkış Noktasını Belirtme aracı kullanılarak, SWALİM'den alınan Bardere Akım gözlem istasyonu ile aynı koordinat verilerine sahip akış ızgarasına tıklanarak Juba havzası için bir çıkış noktası tanımlanmıştır. Juba havzası çıkış noktası belirtiminden sonra HMS Proje Ayarları menüsü kullanarak Juba havzası proje alanı oluşturulmuştur. Juba havzanın tanımlanmış çıkış noktası Şekil 4.10'da gösterilmiştir.

4.2.2 Havza işleme

Havza ön işleme adımlarının sonunda HEC-GeoHMS'deki toplanmış alt havzaların sayısı, Bölüm 4.1.3'te verilen akış tanımı eşiğine bağlı olarak değişir. Havzanın akış ağı ne kadar ayrıntılı tanımlanırsa (yani eşik ne kadar düşük olursa), GeoHMS tarafından otomatik olarak o kadar fazla sayıda alt havza üretilir. Şekil 4.7'den de görüldüğü gibi Juba Havzası için üretilen alt havza sayısı 56'dır. Açıkçası, bu alt havzaların hepsi hidrolojik modelleme çalışmalarında kullanılmamaktadır. Çünkü toplanması pratik olarak imkânsız olan alt havzaların her biri için karşılık gelen akış ve yağış verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle, GeoHMS'nin mevcut havza işleme araçları kullanılarak 56 alt havza daha fazla işlenmelidir ve bu 56 alt havzaları birleştirip sayı olarak daha az, alan olarak ise daha büyük mevcut yağış ve akış istasyonlara göre yeni alt havzalar tekrar tanımlanmıştır, bu yeni alt havzaların sayısı 8'tir. Juba havzanın yeni Alt havzaların Şekil 4.11'de gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Juba Havzası Çıkış Noktası

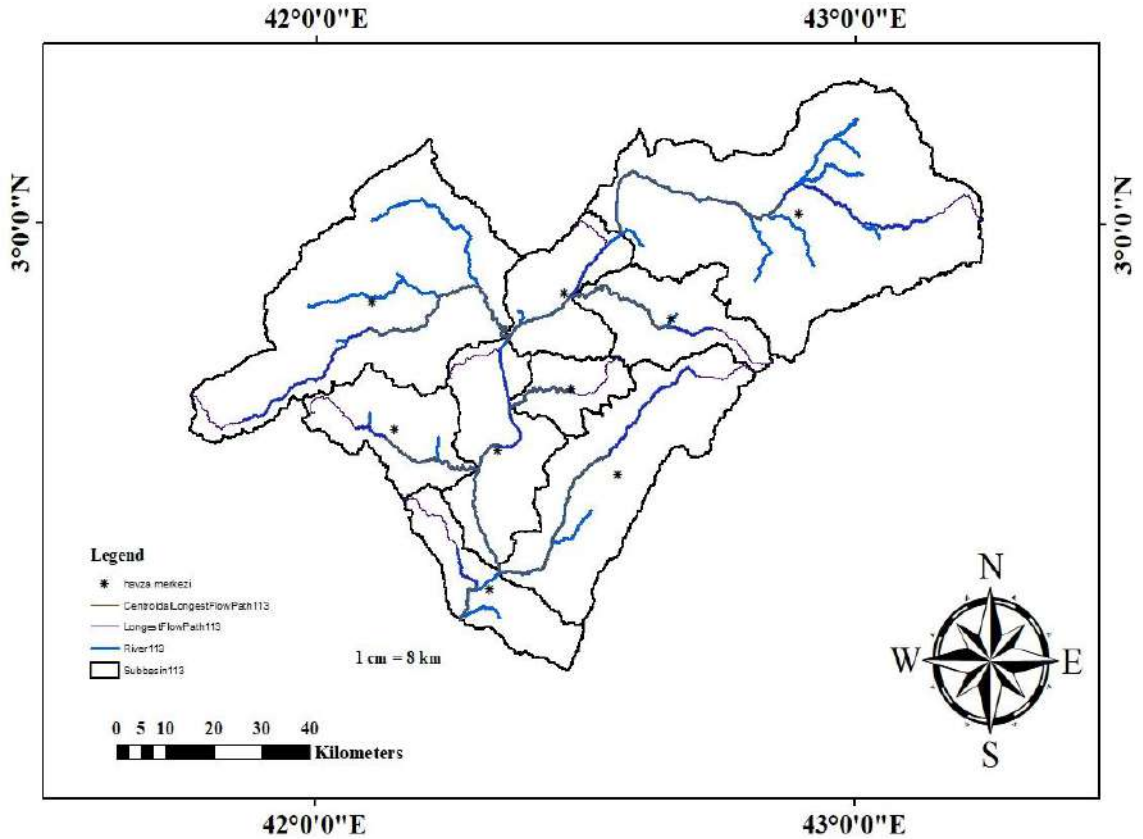


Şekil 4.11. Juba alt havzaları

4.2.3. Alt havza özellikleri

CBS ortamında alt havzaların üretilmesinden sonraki adım, alt havzaları özelliklerinin belirlenmesidir. Alan (A) ve Çevre (P) doğrudan her bir alt havzanın havza şekil dosyalarından bulunabilir ve yükseklik bilgileri her bir alt havzanın SYM'si kullanılarak sunulabilirken, alt havzaların eğim ve yön bilgileri Sayısal Yükseklik Modellerinden üretilir.

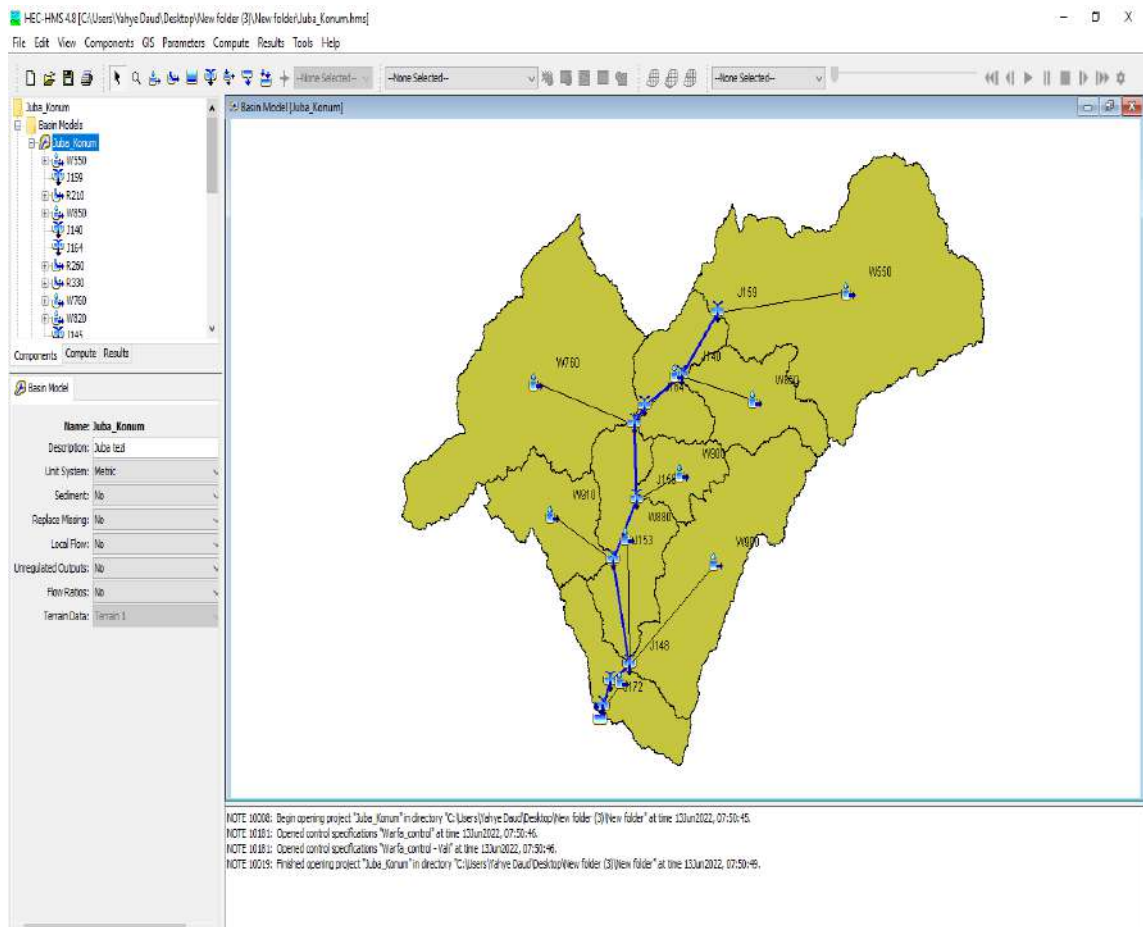
GeoHMS'nin ProjView dokümanında Havza Özellikleri menüsü kullanılarak en uzun akış yolu, havza merkezi (akış yolu yöntemi ile) ve merkezci akış yolu belirlenir. En uzun akış yolu öznelik verileri havzanın çıkışından en uzun ana değeri verir, havzanın en uzak noktasına kadar olan kanal uzunluğu (L) akışa, kanal eğimlerine, Se ve S1085'e katkıda bulunmaktadır; burada Se, en uzun akış yolunun uç noktaları ile S1085 arasındaki eğimdir, en uzun ana kanal uzunluğunun %10 ila %85'i arasındaki eğimdir. Juba Alt havzalarının özellikleri Şekil 4.12'de gösterilmektedir.



Şekil 4.12 Juba alt havzalarının özellikleri

4.2.4 HMS Dosyası Oluşturma

HEC-GeoHMS'de gerçekleştirilen son işlem alt havza haritalarının oluşturulmasıdır. Bu haritalar HEC-HMS'de arka plan katmanları olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada GeoHMS'de hidrolojik model oluşturulmadığından, arka plan haritalarının herhangi bir hidrolojik anlamı yoktur, sadece havzanın havza sınırlarını ve nehir dallarını göstermektedir. Varsayılan birim sistemi için metrik birim sistemi seçilmiştir. HEC-HMS projesi havza dosyası eklendikten sonra Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Juba havzının HEC-HMS dosyası oluşturma (HEC-HMS, v.4.7)

4.3. Hidrolojik parametrelerin belirlenmesi

Juba Havzasına ait yağış ve akım gözlem istasyonlarının verileri kullanılarak 2006-2015 dönemleri simüle edilerek sürekli model geliştirilmiştir. Juba Havzası'nın model simülasyonunun her metod parametreleri özellikleri aşağıdaki bölümlerde belirlenmiştir.

Kanopi deposu, bitki örtüsü tarafından yağış kesişmesini tanımlar. HEC-HMS modeli, Dinamik, Izgaralı ve Basit yöntemler olmak üzere üç kanopi yöntemi vardır. Bu çalışmada çoğunlukla Doğal bitki örtüsü ve otlak kapsayan arazidir Juba havzasının arazi kullanım haritasında Basit Kanopi yöntemi seçilmiştir. Juba havzının Kanopi alt havzaların parametrelerinin değeri 0 ve 0.30dur

4.3.1. Kayıp metodu parametreleri

Kayıp metodu için SMA metodu seçilmiştir. SMA diğer metotlara göre sürekli simülasyonlarda tutarlılığı ve iyi performansı nedeniyle seçilmiştir. Öte yandan, SMA'nın kalibre edilmesi gereken çok sayıda giriş parametresine ihtiyacı vardır. SMA yöntemiyle toprak nemi bileşeni, toprak profilinden yeraltı suyu katmanlarına su hareketini simüle etmek için yağışa dayanır. SMA, yüzey akışını, yeraltı suyu akışını, derin süzülme ve evapotranspirasyonun bir sonucu olarak kayıpları simüle etmek için 14 parametre kullanır. Bu parametrelerden üçü Toprak (%), Yeraltı Suyu 1 (%) ve Yeraltı Suyu 2 (%) toprağın başlangıç nem koşullarını temsil eder. Toprağın kuruluğu değiştikçe toprağın başlangıç koşulları her uygulama dönemi için farklı olabilir. Bu nedenle, başlangıç parametrelerinin kalibrasyonu, simülasyon çalışması için model başlangıç tarihinden önceki yağış koşullarına göre belirlenir. Geçirimsizlik yüzdesi arazi kullanım haritasından elde edilir. Bu nedenle, SMA parametrelerinden on tanesi kayıp yöntemi için kalibre edilir. Başlangıç parametre değeri aralıkları hem HEC-HMS kullanım kılavuzu hem de literatürde yapılan önceki çalışmalar kullanılarak tanımlanmıştır, SMA kayıp metodu parametrelerinin değeri aralıkları Tablo 4.1'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. SMA kayıp metodu parametreleri

Parametreler	Değer Aralığı
Max Infiltration (mm/hr)	0,01 - 20
Soil Storage (mm)	0 - 120
Tension Storage (mm)	0 - 75
Soil Percolation (mm/hr)	0.01 - 10
GW1 Storage (mm)	0 - 75
GW1 Percolation (mm/hr)	0.01 - 1
GW1 Coefficient (hr)	100 - 1000
GW2 Storage (mm)	0 - 75
GW2 Percolation (mm/hr)	0.01 - 1
GW2 Coefficient (hr)	100 - 1000

Buna göre Juba Havzası üzerinde 2006 - 2015 arasındaki dokuz su yılını sürekli modelleme için yapılan kalibrasyon çalışmasında Araştırmada Kullanılan İstatistiksel Standartlar değerine göre en iyi performansı veren SMA değerleri **Tablo 4.2'**de verilmiştir

Tablo 4.2. Juba Havzası için SMA model parametre ayarlanması

Parametreler	Değer	Minı	Mak
Max Infiltration (mm/hr)	2.32	1.16	5.64
Soil Storage (mm)	27.98	13.99	56.95
Tension Storage (mm)	0.69	0.35	2.38
Soil Percolation (mm/hr)	0.13	0.06	1.25
GW1 Storage (mm)	30.10	15.05	61.21
GW1 Percolation (mm/hr)	0.08	0.04	1.16
GW1 Coefficient (hr)	15.04	7.52	31.09
GW2 Storage (mm)	40.24	20.12	81.48
GW2 Percolation (mm/hr)	0.07	0.03	1.13
GW2 Coefficient (hr)	200.00	100.00	4000.00

4.3.2. Dönüşüm metodu parametreleri.

Clark birim hidrografi, fazla yağışı doğrudan akışa dönüştürmek için iki parametre kullanır. Time of concentration (hr), suyun bir havzadaki en uzak noktadan havzanın çıkışına akması için gereken süreyi tanımlar. Storage coefficient (hr) ise depolama etkilerini hesaba katmak için kullanılır. Topografik analiz ile ilgili olarak, time of concentration (Tc) hesaplamak için birkaç denklem kullanılabilir. Yapılan hesaplamalardan Tc'nin 12 -18 saat arasında olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, Juba Havzası geniş havza alanı nedeniyle, bu parametrenin sonuçlar üzerinde çok hassas olduğu gözlenmektedir. storage coefficient, deneme yanılma prosedürüne göre belirlenir. Parametre değerleri **Tablo 4.3**'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3. Juba Havzası için Clark birim hidrograf parametreleri.

Alt havza	Time of Concentration (HR)	Storage Coefficient (HR)
W550	58.605	226.96
W850	62.29	218.51
W760	8.6315	145.8
W820	24.329	303.03
W900	5.3859	110.96
W910	192.57	125.25
W990	278.42	182.53
W880	237.23	159.55
W1000	13.853	190.24

4.3.3. Baz akışı metodu parametreleri

Baz akış bileşeni, yeraltı suyunun toplam akış katkısını açıklar. Bu çalışmada uygulanan baz akış yöntemi constant monthly baz akışıdır. Constant monthly baz akış yöntemi, yılın her ayı için sabit bir baz akışının belirlenmesine olanak tanır. Alt havza içindeki kütleyi korumaz. Öncelikle, baz akışın her ay için sabit bir akışla güzel bir şekilde yaklaştırıldığı alt havzalarda sürekli simülasyon için tasarlanmıştır. Juba Havzının 2006-2015 dönemi için aldığı baz akışı değerleri Tablo 4. 4'te gösterilmiştir. En yüksek değerlerin görüldüğü Eylül ve Ekim ayları en fazla yağış gerçekleştiği aylara denk gelmektedir.

Tablo 4. 4. Baz akışı değerleri

Aylar	Baz Akışı (m ³ /s)
Ocak	10-14
Şubat	12-15
Mart	5-7
Nisan	4-8
Mayıs	20-25
Haziran	24-26
Temmuz	22-28
Ağustos	35-40
Eylül	45-50
Ekim	45-50
Kasım	15-20
Aralık	15-20

4.3.4. Öteleme yöntemi

Muskingum yaklaşımı, tipik bir akış erişimi için döngülü depolama-çıkış eğrisi sorununu ele alır.Nehrin yükselip yükselmediğine bağlı olarak aynı çıkışa sahip bir nehirde meydana gelen farklı depolama hacimleri vardır. Bu nedenle muskingum yöntemi depolamayı hem giriş hem de çıkışla ilişkilendirir. Muskingum öteleme yöntemi, bir akıştaki depolama hacminin zaman içinde bir anda ulaştığı ağırlıklı giriş ve çıkışın doğrusal bir fonksiyonu olduğu varsayımına dayanır. Muskingum öteleme yönteminin iki parametresi vardır K ve X'tir. Juba havzasının öteleme yöntemi parametrelerinin değerleri Tablo 4. 5'te gösterilmiştir.

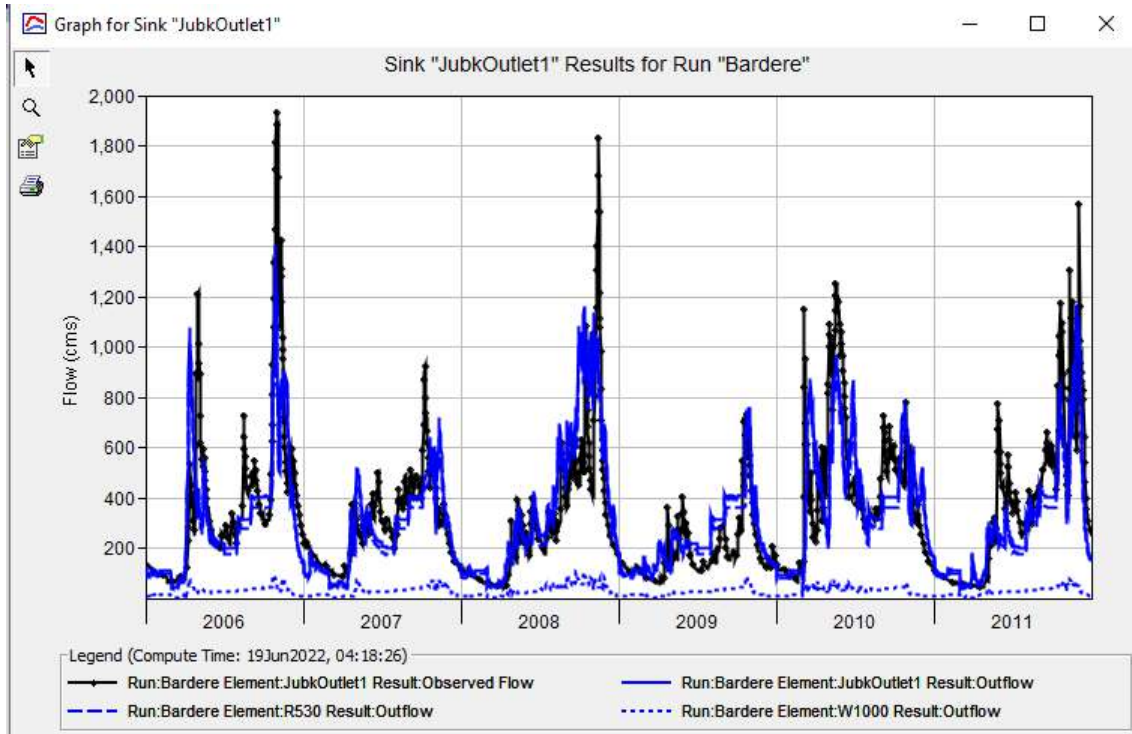
Tablo 4. 5. Muskingum parametrelerin değerleri

Muskingum öteleme yöntemi		
Reaches	K(hr)	X
R210	0.4758	0.01417
R260	0.5489	0.01752
R330	0.7575	0.0220
R340	1.022	0.02395
R420	1.10	0.02178
R460	1.265	0.01949
R500	1.243	0.01858
R510	1.387	0.0103
R530	1.464	0.0044870

4.4. Kalibrasyon ve Doğrulama Modeli

4.4.1. Kalibrasyon

HEC-HMS modelinin Juba havzasındaki (2006-2011) dönem kalibrasyon sonuçları. El deneme ve otomatik kalibrasyondan sonra, modelin en uygunluğu değerlendirilmiştir. NSE, PBIAS ve R^2 değerleri sırasıyla 0.71, 0.26 ve 0.75, olarak hesaplanır, tüm parametreleri ayarlandıktan sonra model performansı değerlendirildi. Sonuçlar, gözlemlenen ve hesaplanan akış değerleri arasında Model için performans nitel derecelendirmeleri Tablo 2.4'e göre "iyi" seviye olarak sınıflandırılabilir. Gözlemlenen ve simüle edilen akışların kalibrasyon periyodu Şekil 4.14'te gösterilmiştir,

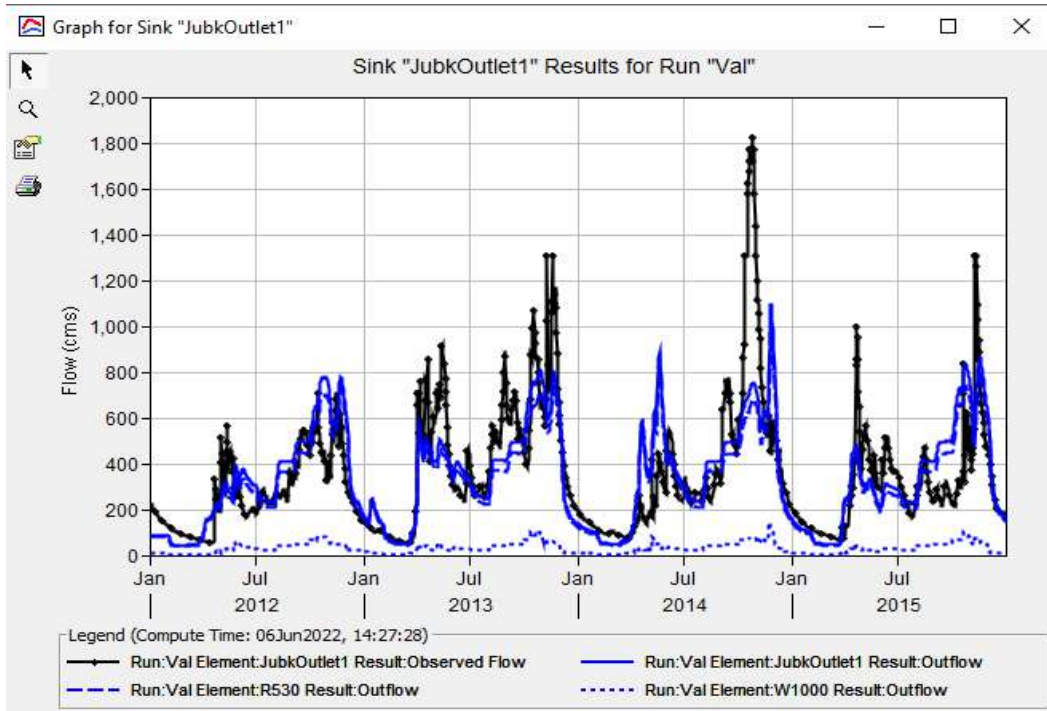


Şekil 4.14. Kalibrasyon dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen günlük akışı (2006-2011)

4.4.2. Doğrulama

1 Ocak 2012 ile 31 Aralık 2015 tarihleri arasında Juba havzası için model doğrulaması Şekil 4.15'te gösterilmiştir. Doğrulama dönemi için, simüle edilen tepe akışlarının zamanlaması genellikle gözlemlenen akışlarınkilerle uyumludur. NSE, PBIAS ve R² değerleri sırasıyla 0.54, -0.16 ve 0.72 olarak hesaplanır. Model için performans nitel derecelendirmeleri Tablo 2.4'e göre "kabul edilebilir" seviye olarak sınıflandırılabilir.

Kalibrasyon ve doğrulama dönemleri için istatistiksel ölçümün karşılaştırılması, kalibrasyon periyodu boyunca hidrolojik modelin periyoduna kıyasla iyi bir performansını göstermiştir. Bu sonuçlar, modelin performansının kalibrasyon döneminde doğrulama dönemine kıyasla daha iyi performans gösterdiği sonuçlarla (Moriasi, et al., 2007) tutarlıdır.

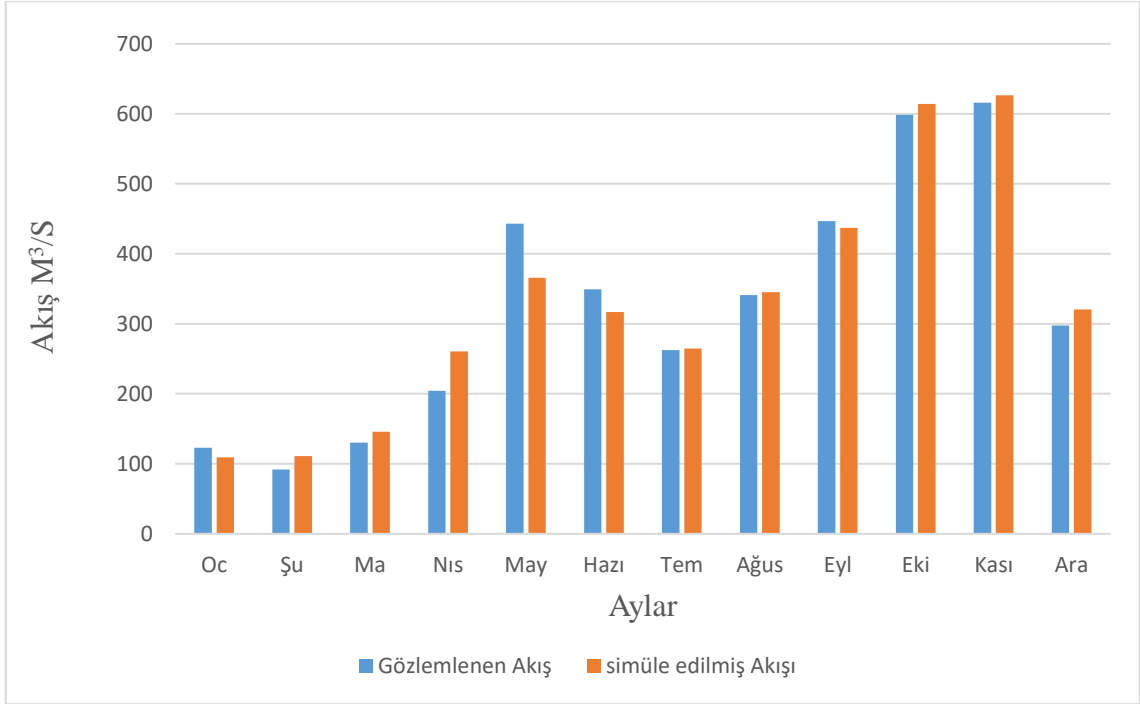


Şekil 4.15. Doğrulama dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen günlük akışı (2012-2015)

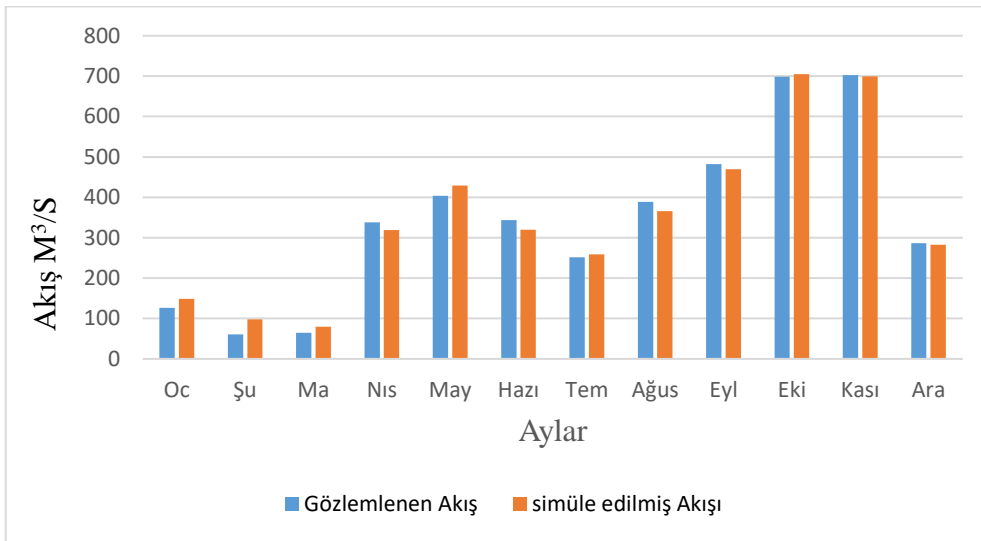
4.5 Gözlemlenen ve Simüle edilen Aylık Ortalama Akışın Karşılaştırılması

Kalibrasyon periyodu ve doğrulama periyodunda simüle edilen ve gözlemlenen aylık ortalama akışın bu bölümde karşılaştırılmıştır. Öncelikle günlük simüle edilmiş akış hacimleri kalibrasyon ve doğrulama periyotlarında sürekli modelin aylık akışa dönüştürülmesi ve ardından her ayın ortalama debisinin hesaplanmasıdır. Bu karşılaştırmaların sonuçları Şekil 4.16'da kalibrasyon dönemi ve Şekil 4.17'de doğrulama dönemi için verilmiştir.

Kalibrasyon dönemi grafiği, Ocak, Mayıs, Haziran, Eylül aylarının aylık ortalama simüle edilmiş akışının gözlemlenen akıştan daha düşük olduğunu göstermektedir. Şubat, Mart, Nisan, Temmuz, Ağustos, Ekim, Kasım ve aralık aylarında ise simüle edilmiş akışın gözlemlenen akıştan daha yüksek olduğunu göstermektedir. Doğrulama dönemi grafiği ise; Ocak, Şubat Mart, Mayıs, ve Ekim aylarının aylık ortalama simüle edilmiş akışının gözlemlenen akıştan daha yüksek olduğunu Haziran, Temmuz, Ağustos, Eylül, Kasım ve Aralık aylarında ise gözlemlenen akışı simüle edilen akıştan daha yüksek olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.16. Kalibrasyon dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen Aylık Ortalama Akışın Karşılaştırılması akış (2006-2011)



Şekil 4.17. doğrulanma dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen Aylık Ortalama Akışın Karşılaştırılması akış (2012-2015)

4.6.Yüzey akış potansiyeli

Yüzey akış potansiyeli, bir havzanın her bir alt havzasında HEC-HMS modeli aracılığıyla uygulanan, akan akışının simüle edilmiş değerinden analiz edilmesidir. Model önce başarıyla çalıştırıldı ve gözlemlenen akış verileri model kalibrasyonu ve

doğrulaması için kullanıldı. Su mevcudiyeti değerlendirmesi, HEC-HMS simüle edilmiş çıktılarında elde edilen her bir alt havzadaki suyun potansiyelini anlamak ve havzanın su talebiyle karşılaştırmaktır. Her bir alt havzanın aylık ortalama simüle edilmiş akarsu akış sonuçları Tablo 4. 6'de verilmiştir.

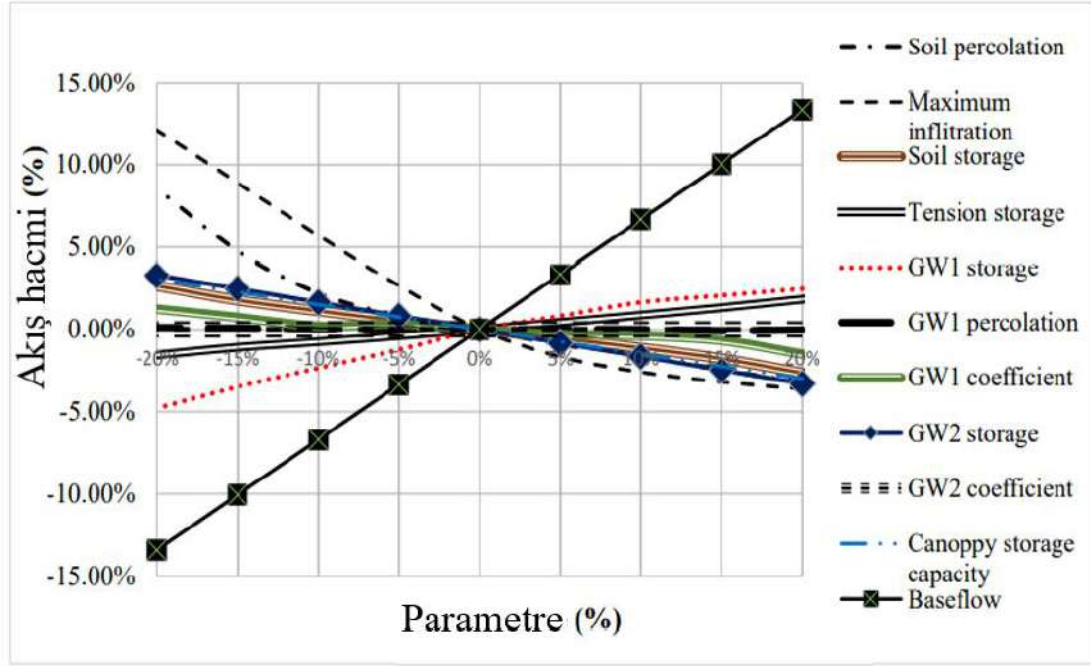
Tablo 4. 6. Alt Havzaların Ortalama aylık simüle edilmiş akışı (m³ /s)

Alt Havzaları	Ocak	Şu	Ma	Nıs	May	Hazı	Tem	Ağus	Eyl	Eki	Kası	Ara
W550	15.8	13.6	32.9	67.4	80.3	59.2	36.4	43.2	54.1	105.5	150.3	61.5
W850	10.8	12.1	11.5	17.9	30.5	30.3	24.4	37.8	47.9	61.9	44.0	25.0
W760	11.5	12.5	31.8	54.6	59.0	45.6	28.1	47.3	57.4	115.9	115.8	42.7
W820	11.7	12.3	10.2	15.9	31.4	31.1	25.2	36.4	46.5	55.9	41.2	25.5
W900	10.3	12.0	8.7	10.3	25.8	26.4	24.3	36.0	46.2	54.0	29.9	18.3
W910	10.6	12.0	11.5	16.3	31.9	29.1	27.0	37.1	47.4	60.5	43.1	25.1
W990	11.8	13.0	18.8	33.6	49.8	33.2	30.6	41.0	55.1	65.2	83.2	39.5
W880	10.8	12.0	13.0	20.1	36.1	31.5	29.2	37.8	48.7	63.8	51.9	31.5
W1000	10.7	12.3	11.6	22.0	30.5	27.2	28.4	37.0	44.8	55.3	42.3	16.2

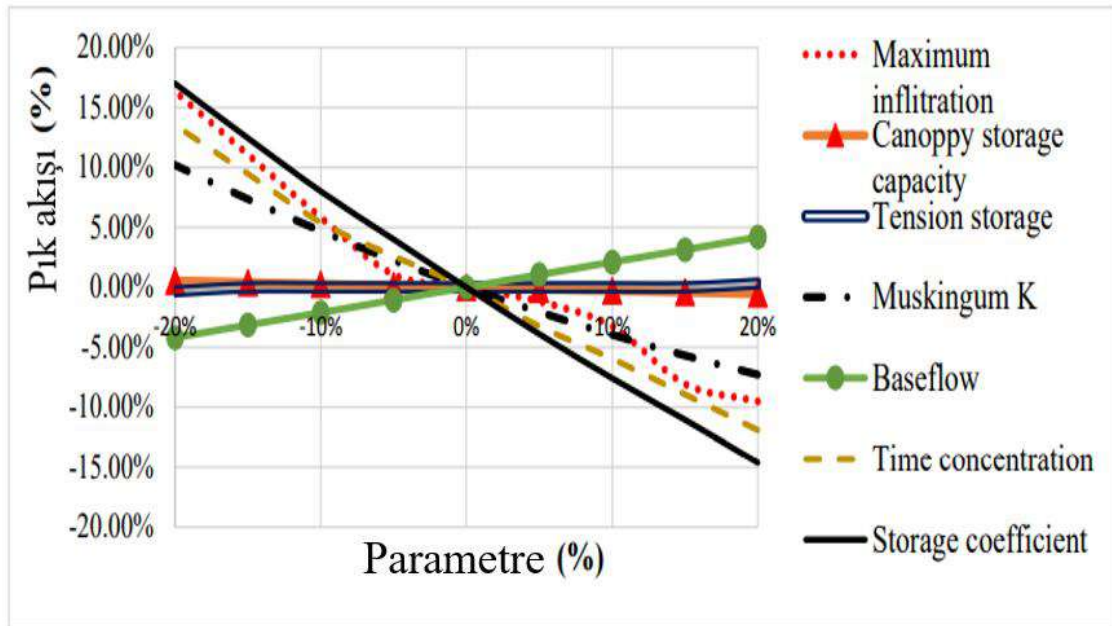
4.6. Duyarlılık analizi

Şekil 4-1'de gösterildiği gibi, giriş parametrelerinin Juba alt havzasındaki toplam akış hacmi nasıl etkilendiğini gösterilmiştir. maximum soil infiltration, impervious, Baz akışı, Canopy storage capacity, GW1 storage, GW2, ve Soil percolation simüle edilen akış hacmi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. En hassas parametreler, hedeflenen objektif fonksiyonu en aza indirmeyi amaçlayan gözlemlenen ve simüle edilmiş verilerin karşılaştırılması yoluyla model kalibrasyonu ile değiştirilir (White & Chaubey, 2005).

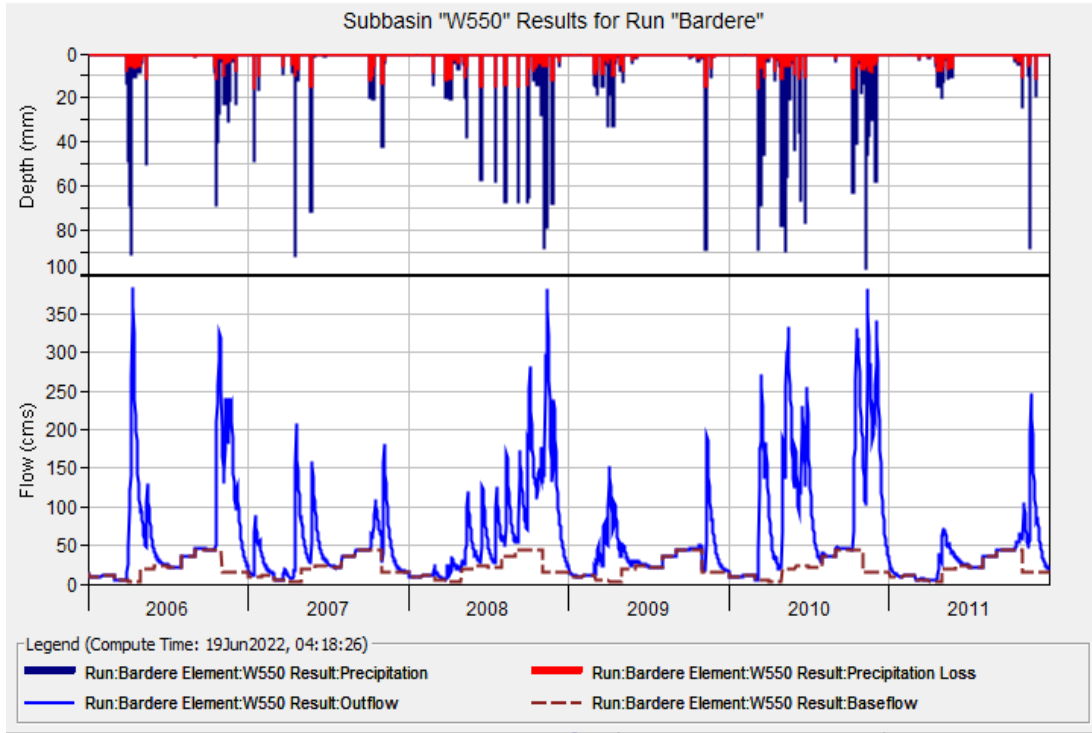
Şekil 4-2, giriş parametrelerinin Juba havzasının tepe akış tepkileri üzerindeki etkisini göstermektedir. Geçirimsiz, maksimum infiltrasyon, k-Muskingum, zaman konsantrasyonu, depolama katsayısı Maximum infiltration, k-Muskingum, Time concentration, Storage coefficient, ve baz akışı, pik akış için en hassas parametrelerdir.



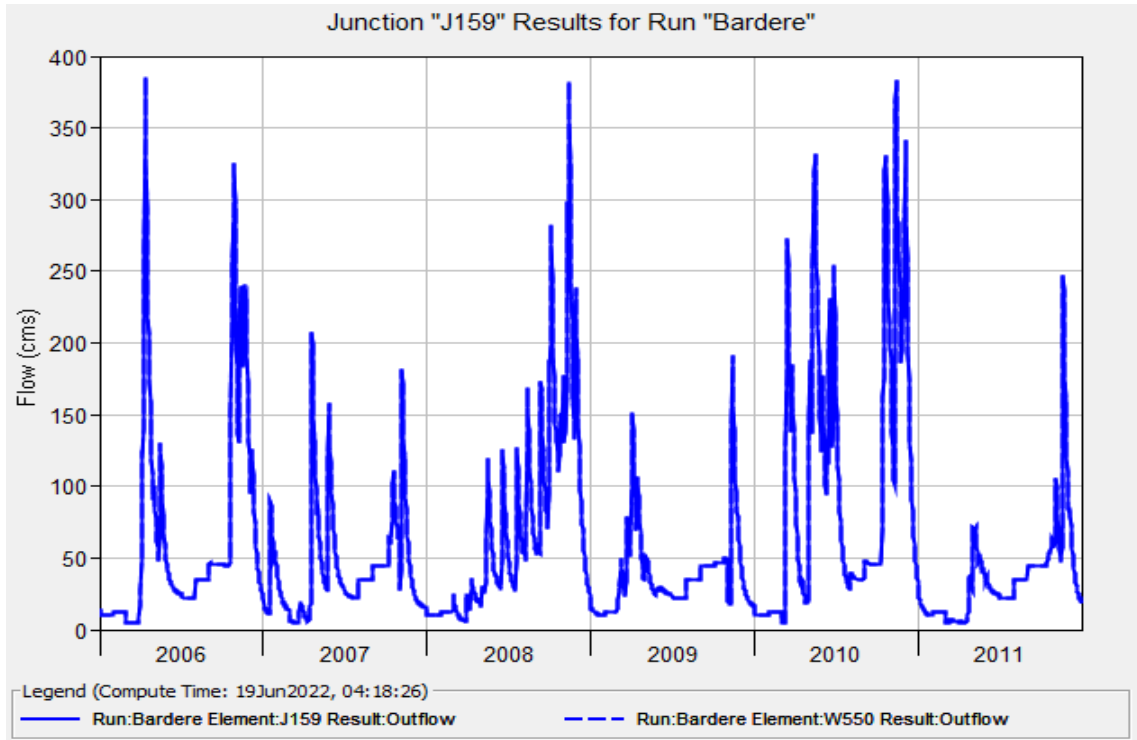
Şekil 4.18. Juba Havza'daki değişim parametresinin duyarlılık analizinden elde edilen model sonuçları (toplam akış hacmi (%))



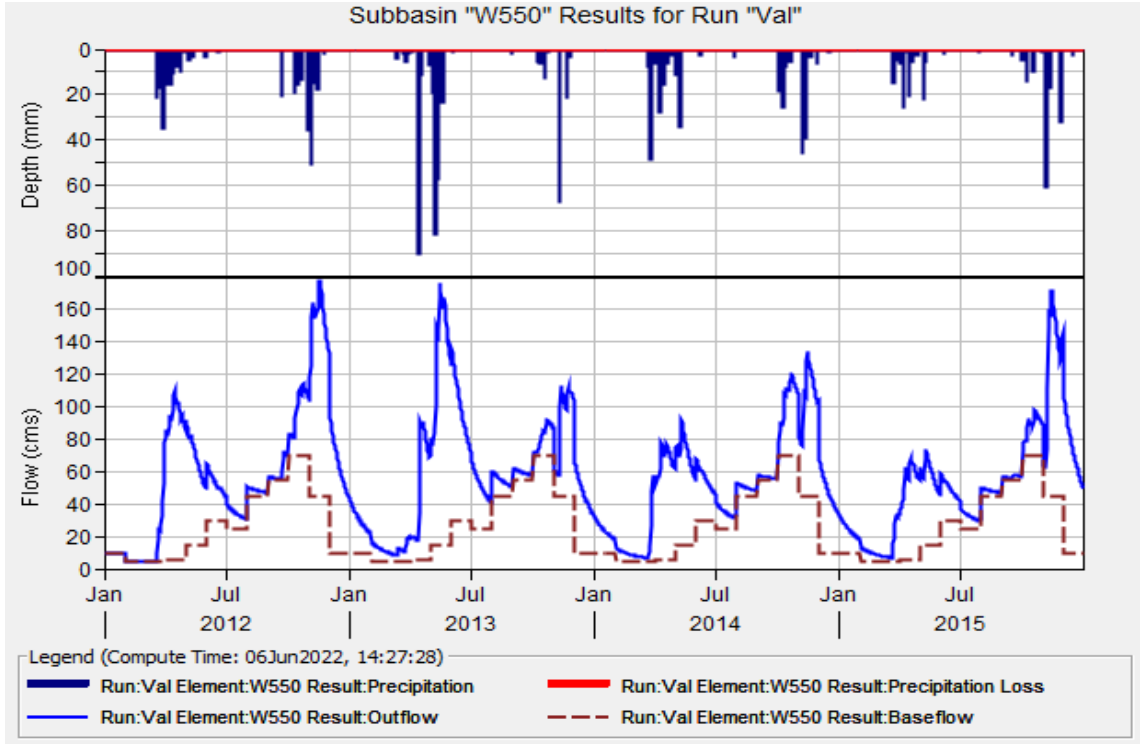
Şekil 4.19. Juba havzasındaki Tepe akışı (%) değişim parametresinin duyarlılık analizinden elde edilen model sonuçları



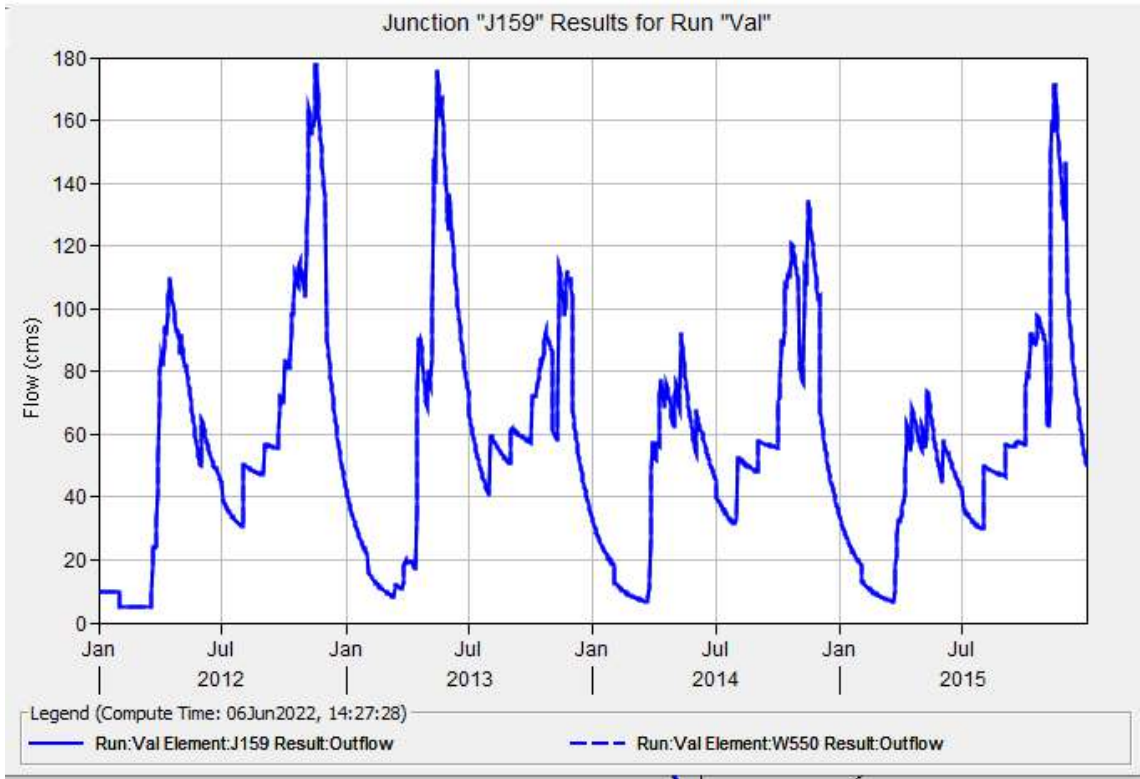
Şekil 4.20. W550 alt havzası Kalibrasyon dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen grafiği (2006-2011)



Şekil 4.21. J159 kavşağı Kalibrasyon dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen grafiği (2006-2011)



Şekil 4.21. W550 alt havzası doğrulanma dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen grafiği (2006-2011)



Şekil 4.23. J159 kavşağı doğrulanma dönemi için gözlemlenen ve simüle edilen grafiği (2006-2011)

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

Havza için HEC-HMS modeli, model için uzamsal veri girişleri oluşturmak için ArcGIS'deki HEC-GeoHMS modülü kullanılarak geliştirilmiştir. Bu çalışmadan aşağıdaki ana sonuçlara elde edilmiştir:

Model, HEC-HMS'nin Juba Havzası'ndaki Sürekli hidrolojik simülasyonlar için kullanışlı bir araç olduğunu göstermektedir. Modelde Kayıp yöntemi için "Soil Moisture Accounting "SMA," yöntemi seçilmiştir, "Muskingum" ve "Monthly Continouse" yöntemleri Baz Akış ve öteleme için seçilmiştir, dönüştürme yöntemi için ise Clark Unit Hydrograph seçilmiştir.

Toprak nemi izlemedeki gelişmeler nedeniyle son zamanlarda daha popüler hale gelen HEC-HMS'de toprak nemi muhasebesi ile sürekli hidrolojik modelleme çalışmada kullanmıştır ve modele girdi olarak dokuz yıl boyunca (2002-2015) günlük yağış ve günlük akış veri değerleri kullanılarak uygulanmaktadır. Sürekli bir hidrolojik modellemenin temel avantajı hem ıslak hem de kuru dönemleri hesaba katan uzun zaman aralıklarına belirlenmesidir. Modelleme dönemi kalibrasyon (2006-2011) ve doğrulama (2012-2015) bölümlerine ayrılmıştır.

HEC-HMS modeli sonuçlarından, deşarjın orantılı geçirimsiz yüzde ve baz akışı arttırdığı tespit edilmiştir. Yerel duyarlılık analizi, toprak infiltrasyonu hızının, zaman konsantrasyonunun, Muskingum, geçirimsiz ve Constant and Monthly, akış akışının simülasyonu için en hassas parametreler olduğunu göstermektedir.

Nash-Sutcliffe model verimliliği, korelasyon katsayısı ve yüzde bias performans değerlendirmesi, kalibrasyon ve doğrulama için kullanılmıştır; hepsi hidrolojik süreçlerin simülasyonu için modelin iyi performansını gösterir.

Su mevcudiyeti değerlendirmesinin sonucu, yağıştaki zamansal değişkenlik nedeniyle yüksek zamansal akış değişkenliğini gösterilmiştir. Havzanın akış istasyonları yüksek akış üreten özelliklerini göstermiştir. Yüksek akış hacimleri Mayıs, Ekim ve Kasım aylarında gösterilirken, Ocak, Şubat, Mart ve Temmuz aylarında çok az akış hacmi sergilenmektedir. Böylece, akış miktarı aydan aya değişir.

5.2 Öneriler

Bu çalışmanın yağış-akış modellemesinin sonuçları, juba havzasında daha fazla model geliştirme için kullanılabilir önemli girdilere katkıda bulunmaktadır. Juba Havzının potansiyel olarak kullanılabilir suyunun artırılması için bir yönetim şeması oluşturulması gerekmektedir.

Doğru hidro-meteorolojik veri kullanılabilirliği modelleme için çok önemlidir. Otomatik istasyonlar veri sağlar ancak düzenli olarak kontrol edilmesi ve toplanan verilerin kalitesi yerel koşullar göz önünde bulundurularak kontrol edilmelidir. Ayrıca tüm yılın su mevcudiyetini iyileştirmek için Juba havzasında barajlar ve diğer nehir saptırmaları inşa edilmeli ve kurak aylarda hidroloji su açıkları ve yağışlı mevsimlerde fazlalık nedeniyle sürekli akışı düzenlemelidir.

Kalibrasyon ve Doğrulama Sonuçları Bölümünde açıklandığı gibi, belirsizliği azaltmak için çalışma alanı özgü verilerin kullanılması son derece gereklidir. Bu nedenle Somali'de hidrometeorolojik gözlem istasyonu sayısının artırılması daha güvenilir veri setlerinin oluşturulması açısından önemlidir.

Bu çalışma, Juba havzasının ve Somali'nin diğer havzalarının gelecekteki hidrolik yapıları için iyi bir başlangıç noktası olacak ve daha geniş çaplı bölgesel ve ulusal çalışmalara yol açacağını umuyoruz. Çalışmanın, Çevre ve su kaynakları yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi, planlanması ve uygulanması aşamalarında ulusal karar vericilere bir karar destek mekanizması sağlaması beklenmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Adilah, A. & Nuramirah, S., 2019, Estimating flow rate in gauged and ungauged stations in Kuantan river basin using Clark method in Hec-HMS. *Earth and Environmental Science*, 244(1). doi:10.1088/1755-1315/244/1/012014
- Ali, M.ve ark., 2011, Simulation of the impacts of land-use change on surface runoff of Lai Nullah Basin in Islamabad, Pakistan. *Landscape and Urban Planning*, 102(4), 271-279.
- Alemshet, B., ve ark. (2020,. Evaluation of satellite precipitation products using HEC-HMS model. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2015–2032.
- Arlen, D. & Feldman., 2000, Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technica Reference Manual. In US Army Corps of Engineers (USACE) Hydrologic Engineering Center, HEC. Davis, CA, USA.: US Army Corps Engineers.
- Azam, M. Kim, H. & Maeng, S., 2017, Development of flood alert application in Mushim stream watershed Korea. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 21, 11-26. doi:10.1016/j.ijdr.2016.11.008.
- Azmat, M. ve ark., 2016, Hydrological modeling to simulate streamflow under changing climate in a scarcely gauged cryosphere catchment. *Environmental Earth Sciences*, 75(3), 1-16.
- Bennett, T. H., 1998, Development and application of a continuous soil moisture accounting algorithm for the HEC-HMS (Doctoral dissertation, Department of Civil and Environment Engineering, University of California).
- Bhuiyan, H. A. ve ark., 2017, Application of HEC-HMS in a cold region watershed and use of RADARSAT-2 soil moisture in initializing the model. *Hydrology*, 4(1), 9.
- Boughton, W. & Droop, O., 2003, Continuous simulation for design flood estimation—a review. *Environmental Modelling & Software*, 18, 309-318. doi:10.1016/S1364-8152(03)00004-5.
- Chen, W. ve ark., 2016, Land use/land cover change and driving effects of water. *Environment Earth Science*, 75(1027). doi:https://doi.org/10.1007/s12665-016-5809-9.
- Chiang, S.ve ark., 2022, Comparison of Rainfall-Runoff Simulation between Support Vector Regression and HEC-HMS for a Rural Watershed in Taiwan. *Water*, 14(2), 191.

- Choudhari, K. ve ark., 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.
- Chu, X. & Steinman, A., 2009, Event and continuous hydrologic modeling with HEC-HMS. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(1), 119-124.
- Chu, X. & Steinman, A., 2009. Event and continuous hydrologic modeling with HEC-HMS. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 135(1), 119-124.
- Crawford, N. H. and R.K. Linsley., 1996, "Digital Simulation in Hydrology'Stanford Watershed Model 4".
- Cunderlik, J. & Simonovic, S. P., 2004, Calibration, Verification and Sensitivity analysis of the HEC-HMS Hydrologic Model. ONTARIO: University of Western Ontario .
- Daniel, E. ve ark., 2011, Watershed modeling and its applications: A state-of-the-art review. *The Open Hydrology Journal*, 5(1).
- Dawdy DR. O. Donnell, T., 1965, Mathematical models of catchment behavior. *Journal of the Hydraulics Division*. Jul;91(4):123-37.
- De Moraes, ve ark., 2018, Effects on runoff caused by changes in land cover in a Brazilian southeast basin: evaluation by HEC-HMS and HEC-GEOHMS. *Environmental earth sciences*, 77(6), 1-14.
- De Silva, M. ve ark., 2014, Modeling of event and continuous flow hydrographs with HEC-HMS: Case study in the Kelani River Basin, Sri Lanka. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(4), 800-806.
- Deng, Z. Zhang, X. Li, D. & Pan, G., 2015, Simulation of land use/land cover change and its effects on the hydrological characteristics of the upper reaches of the Hanjiang Basin. *Environment Earth Science*, 1119-1132. doi:<https://doi.org/10.1007/s12665-014-3465-5>.
- Derdour, A. ve ark., 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*.
- Devia ve ark., 2015, "A review on hydrological models." *Aquatic procedia* 4 1001-1007.
- Ercan, B., Yüce, M. I., (2016). Delineation of Watershed Boundaries by GIS: Case of the Kizilirmak Basin. *International Conference on Natural Science and Engineering (ICNASE'16.)* March 19-20, Kilis, Turkey.

- Fang, G. Yuan, Y. Gao, Y. Huang, X. & Guo, Y., 2018, Assessing the Effects of Urbanization on Flood Events with Urban Agglomeration Polders Type of Flood Control Pattern Using the HEC-HMS Model in the Qinhuai River Basin, China. *Water*, 10(8), 2130-2138. doi:10.3390/w10081003.
- Firat, M. ve ark 2017, Missing data analysis and homogeneity test for Turkish precipitation series. *Indian Academy of Sciences*, pp. 707–720.
- Fleming, M. & Neary, V., 2004, Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic. *Journal of Hydrological Engineering*, 9(3), 175-183. doi:10.1061/(ASCE)1084-0699(2004)9:3(175).
- Gebre, S. L., 2015, Application of the HEC-HMS model for runoff simulation of Upper Blue Nile River Basin. *Hydrology: Current Research*, 6(2), 1.
- Gumindoga, W.ve ark., 2017, Ungauged runoff simulation in Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application of the HEC-HMS model. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 100, 371-382.
- Gyawali, R., & Watkins, D. W., 2013, Continuous hydrologic modeling of snow-affected watersheds in the Great Lakes basin using HEC-HMS. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(1), 29-39.
- Haan, C., 2002, *Statistical methods in hydrology* (Second ed.). Iowa State Press. Ames, 200-210.
- Halwatura, D. and Najim, M., 2013, Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environmental modelling & software*, 46, 155-162.
- Jin, H., ve ark., 2015, Flood-runoff in semi-arid and sub-humid regions, a case study: A simulation of Jianghe watershed in northern China. *Water*, 7(9), 5155-5172.
- Kaffas, K. & Hrisanthou, V., 2014, Application of a continuous Rainfall-Runoff model to the basin of Kosynthos river using the hydrological software HECHMS. *Global Nest Journal*, 16(1), 188-203. doi:10.30955/gnj.001200.
- Krause, P. ve ark., 2005, Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*, 5, 89-97.
- Legates, D. R. & McCabe Jr, G. J., 1999, Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 35(1), 233-241.

- Matthew, J. & James, H., 2013, HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modelling Extension. In Institute of water Resources. US Army Corps of Engineers.
- McCarthy, G., 1938, The Unit Hydrograph and Flood Routing. Providence: U.S. Army Corps of Engineers.
- Melone, F. Barbetta, S. Diomede, T. Peruccacci , S. Rossi , M. Tessarolo , A. & Verdecchia , M., 2005, Review and selection of hydrological models – Integration of hydrological models and meteorological inputs. Gennaio: Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica Contract No. 12.
- Monaci, L. Downie, M. & Oduori., 2007, Land Cover of Selected Study Areas In Somaliland and Southern Somalia. Project Report N L-03, pp. 5-103.
- Moriasi, D. Arnold, J. Van Liew, M. & Bingner, R., 2007, Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50(3), 885–900. doi:10.13031/2013.23153.
- Moriasi, D. Gitau, M., Pai, N. & Daggupati, P., 2015, Hydrologic and Water Quality Models: Performance Measures and Evaluation Criteria. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 58, 1763-1785.
- Nash, J. E. & Sutcliffe, J. V., 1970, River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *Journal of hydrology*, 10(3), 282-290.
- Oleyiblo, J. ve Li, Z., 2010. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. *Water Science and Engineering*, 3(1), 14-22.
- Peter, A. B. & Rachael, A. M., 1998, Principles of Geographical Information System. OXFORD: OXFORD UNIVERSITY PRESS.
- Robinson, D. ve ark., 2019, Two-Dimensional Hydraulic Modeling for Highways in the River Environment: Reference Document (No. FHWA-HIF-19-061). Federal Highway Administration (US).
- Santhi, C. Arnold, J. Williams, J. Dugas, W. Srinivasan, R. & Hauck, L., 2001, Validation of the SWAT Model on a Large River Basin with Point and Nonpoint Sources. *Journal of the American Water Resources Association* 37(5), 37(5), 1169-1188. doi:10.1111/j.1752-1688.2001.tb03630.
- Scharffenberg, W. & Fleming, M., 2005, Hydrologic Modeling System HEC-HMS user's Manual vol version 3. Davis: US Army Corps Engineers.

- Scharffenberg, W. & Harris, J., 2008, Hydrologic engineering center hydrologic modeling system, HEC-HMS: interior flood modeling. In World Environmental and Water Resources Congress 2008: Ahupua'A (pp. 1-3).
- Singh, J. Knapp, H. & Demissie, M., 2004, Hydrologic modeling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT. *Journal of the American Water Resources Association*, 41(2), 343-360. doi:10.1111/j.1752-1688.2005.tb03740.x.
- Singh, V. & Frevert, D., 2006, *Watershed Models*. Boca Raton: Taylor & Francis. doi:10.1016/b978-0-12-409548-9.11165-0.
- Singh, V.P. and Woolhiser, D.A., 2002, Mathematical modeling of watershed hydrology. *Journal of hydrologic engineering*, 7(4), pp.270-292.
- Sintayehu, L. G., 2015, Application of the HEC-HMS Model for Runoff Simulation of Upper Blue Nile River Basin. *Hydrology Current Research*, 1-8.
- Sitterson, J. ve ark., 2017. A survey of precipitation data for environmental modeling. *iEMSs*. 1-9
- Song, X. Kong, F. & Zhu, Z., 2011, Application of Muskingum routing method with variable parameters in ungauged basin. *Water Science and Engineering*, 4, 4(1), 1-12. doi:10.3882/j.issn.1674-2370.2011.01.001.
- Sorooshian, S. Wheeler, H. & Sharma, K., 2007, *Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas (International Hydrology Series)*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:https://doi.org/10.1017/CBO9780511535734.
- Straub, T. D. Melching, C. S. & Kocher, K. E., 2000, Equations for Estimating Clark Unit Hydrograph Parameters for Small Rural Watersheds in Illinois. In W.-R. I. 00–4184m, U.S. Department Of The Interior U.S. Geological Survey In cooperation with the Illinois Department of Natural Resources. Office of Water Resources.
- Tassew, B. ve ark., 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.
- USACE. 2000, *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) Technical Reference Manuel*. CA, USA: Hydrologic Engineering Center: Davis.
- USACE. 2010, *Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) User's Manuel: Version 3.1.0*. CA, USA: Hydrologic Engineering Center: Davis.
- USACE. 2013, *Geospatial Hydrological Modeling Extension (HEC-GeoHMS) User's Manual: Version 10.1*. CA, USA: Hydrologic Engineering Center: Davis.

- USACE. 2018, Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) User's Manual: Version 4.3.0. CA, USA: Hydrologic Engineering Center: Davis.
- Van Liew, ve ark., 2003, Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between models. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 46(6), 1539-1551. doi:10.13031/2013.15643.
- Vaze J, J. P., 2011, *Guidelines for Rainfall-Runoff Modelling: Towards Best Practice Model Application*. Bruce, Australia.: eWater Cooperative Research Centre.
- Verma, A. Jha, M. & Mahana, R., 2010, Evaluation of HEC-HMS and WEPP for simulating watershed runoff using remote sensing and geographical information system. *Paddy Water Environment*, 8(2), 131-144.
- Yusoff, S., & Hashim, R. (1996). *Transactions on Ecology and the Environment* (Vol. 11). *WIT Press*. Retrieved from www.witpress.com. ISSN 1743-3541
- Zare, M. ve ark., 2016, The impact of land use change on runoff generation in an urbanizing watershed in the north of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75(18), 1-20.
- Zeckoski, R. Ve ark., 2015, Hydrologic and water quality terminology as applied to modeling. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 1619-1635. doi:10.13031/trans.58.10713.
- Zezelew, D. and Melesse, A., 2018, Applicability of a spatially semi-distributed hydrological model for watershed scale runoff estimation in Northwest Ethiopia. *Water*, 10(7), 923.
- Zema, D. ve ark., 2017, Comparing different infiltration methods of the HEC-HMS model: the case study of the Mésima Torrent (Southern Italy). *Land Degradation & Development*, 28(1), 294-308.
- Zheng, C. ve ark., 2012, MT3DMS: Model use, calibration, and validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55, 1549-1559. doi: 10.13031/2013.42263

EKLER

EK-1 Genel Özet Sonuçları Tablosu

Genel Özet Sonuçları Tablosu, her öge için özet sonuçları gösterir. Aşağıdaki şekli 1. ve 2. Kalibrasyon ve doğrulanma Sırasında Juba Havzasının Genel Özet Sonuç Tablolarına göstermektedir.

Global Summary Results for Run "Bardere" — □ ×

Project: Juba_Konum Simulation Run: Bardere

Start of Run: 01Jan2006, 00:00 Basin Model: Juba_Konum
 End of Run: 31Dec2011, 00:00 Meteorologic Model: Juba_Konum
 Compute Time: 19Jun2022, 04:18:26 Control Specifications: Bardere_control

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W550	2328.9170	385.4	13Apr2006, 00:00	4886.50
J159	2328.9170	385.4	13Apr2006, 00:00	4886.50
R210	2328.9170	385.7	13Apr2006, 00:00	4886.49
W850	497.3550	122.3	29Oct2006, 00:00	11253.14
J140	2826.2720	449.4	13Apr2006, 00:00	6006.87
J164	2826.2720	449.7	13Apr2006, 00:00	6006.86
R260	2826.2720	449.7	13Apr2006, 00:00	6006.86
R330	2826.2720	450.2	13Apr2006, 00:00	6006.85
W760	1803.4860	514.4	03Nov2008, 00:00	5455.64
W820	455.0610	93.3	22Oct2010, 00:00	11930.25
J145	5084.8190	966.3	28Oct2006, 00:00	6341.46
R340	5084.8190	966.5	28Oct2006, 00:00	6341.45
W900	245.8986	89.7	23Oct2008, 00:00	19440.78
J156	5330.7176	1042.9	28Oct2006, 00:00	6945.70
R420	5330.7176	1041.7	28Oct2006, 00:00	6945.69
W910	487.5910	115.8	29Nov2011, 00:00	11407.25
J153	5818.3086	1136.5	28Oct2006, 00:00	7319.58
R460	5818.3086	1132.8	28Oct2006, 00:00	7319.57
W990	1085.9820	155.8	01Oct2008, 00:00	6907.66
W880	657.0020	134.3	01Dec2011, 00:00	9298.34
J148	7561.2926	1333.2	28Oct2006, 00:00	7432.35
J170	7561.2926	1326.8	28Oct2006, 00:00	7432.33
J172	7561.2926	1327.4	29Oct2006, 00:00	7432.32
R500	7561.2926	1326.8	28Oct2006, 00:00	7432.33
R510	7561.2926	1327.4	29Oct2006, 00:00	7432.32
R530	7561.2926	1334.5	29Oct2006, 00:00	7432.31
W1000	425.2240	106.0	12Oct2008, 00:00	12573.00
JubkOutlet1	7986.5166	1406.0	29Oct2006, 00:00	7706.01

Şekil 1. Juba havzının Kalibrasyon dönemi için Genel Özet Sonuçları Tablosu

Global Summary Results for Run "Val"

Project: Juba_Konum Simulation Run: Val

Start of Run: 01Jan2012, 00:00 Basin Model: Juba_Konum
End of Run: 31Dec2015, 00:00 Meteorologic Model: Juba_Konum
Compute Time: DATA CHANGED, RECOMPUTE Control Specifications: Val_control

Show Elements: All Elements Volume Units: MM 1000 M3 Sorting: Hydrologic

Hydrologic Element	Drainage Area (KM2)	Peak Discharge (M3/S)	Time of Peak	Volume (MM)
W550	2328.9170	177.5	17Nov2012, 00:00	3083.03
J159	2328.9170	177.5	17Nov2012, 00:00	3083.03
R210	2328.9170	176.5	18Nov2012, 00:00	3081.74
W850	497.3550	101.3	15May2014, 00:00	8491.78
J140	2826.2720	248.7	15Nov2015, 00:00	4033.77
J164	2826.2720	247.7	16Nov2015, 00:00	4032.77
R260	2826.2720	247.7	16Nov2015, 00:00	4032.77
R330	2826.2720	246.6	17Nov2015, 00:00	4031.78
W760	1803.4860	444.9	14May2014, 00:00	3564.31
W820	455.0610	83.8	22Oct2014, 00:00	9100.94
J145	5084.8190	602.1	14May2014, 00:00	4319.64
R340	5084.8190	585.2	15May2014, 00:00	4318.95
W900	245.8986	77.8	21Nov2014, 00:00	15423.66
J156	5330.7176	632.9	15May2014, 00:00	4831.20
R420	5330.7176	622.2	16May2014, 00:00	4830.54
W910	487.5910	109.9	15Apr2014, 00:00	8596.86
J153	5818.3086	693.8	16May2014, 00:00	5146.16
R460	5818.3086	686.0	17May2014, 00:00	5145.57
W990	1085.9820	282.6	23Nov2014, 00:00	4834.92
W880	657.0020	135.4	15Apr2014, 00:00	6805.55
J148	7561.2926	993.0	23Nov2014, 00:00	5245.19
J170	7561.2926	991.4	24Nov2014, 00:00	5244.72
J172	7561.2926	985.0	25Nov2014, 00:00	5244.28
R500	7561.2926	991.4	24Nov2014, 00:00	5244.72
R510	7561.2926	985.0	25Nov2014, 00:00	5244.28
R530	7561.2926	974.8	26Nov2014, 00:00	5243.84
W1000	425.2240	142.8	23Nov2014, 00:00	9558.79
JubkOutlet1	7986.5166	1095.2	25Nov2014, 00:00	5473.58

Şekil 2. Juba Havzanın doğrulanma dönemi için Genel Özet Sonuçları Tablosu.