HEC-HMS MODEL PROGRAMI KULLANILARAK DAĞLIK HAVZALARDA KAR ERİMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ VE KIRKGÖZE ÇİPAK HAVZASI´NIN HİDROLOJİK MODELLENMESİ

Muhammet Nuri İSPİRLİ

Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik Bilim Dalı
Dr. Öğr. Üyesi Selim ŞENGÜL
2019
Her hakkı saklıdır

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HEC-HMS MODEL PROGRAMI KULLANILARAK DAĞLIK HAVZALARDA KAR ERİMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ VE KIRKGÖZE ÇİPAK HAVZASI´NIN HİDROLOJİK MODELLENMESİ

Muhammet Nuri İSPİRLİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Hidrolik Bilim Dalı

ERZURUM
2019

Her hakkı saklıdır

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAY FORMU

HEC-HMS MODEL PROGRAMI KULLANILARAK DAĞLIK HAVZALARDA KAR ERİMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ VE KIRKGÖZE ÇİPAK HAVZASI'NIN HİDROLOJİK MODELLENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Selim ŞENGÜL danışmanlığında, Muhammet Nuri İSPİRLİ tarafından hazırlanan bu çalışma 04/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı–Hidrolik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği/[redacted] (.../...)** ile kabul edilmiştir.

Başkan:	Prof. Dr. Reşat ACAR	*İmza:*
Üye:	Doç. Dr. Fatih TOSUNOĞLU	*İmza:*
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Selim ŞENGÜL	*İmza:*

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun 25/07/2019 tarih ve 30/59 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Mehmet KARAKAN
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

HEC-HMS MODEL PROGRAMI KULLANILARAK DAĞLIK HAVZALARDA KAR ERİMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ VE KIRKGÖZE ÇİPAK HAVZASI´NIN HİDROLOJİK MODELLENMESİ

Muhammet Nuri İSPİRLİ

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Hidrolik Bilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selim ŞENGÜL

Bu çalışmada, Türkiye´nin doğusunda bulunan Kırkgöze-Çipak Havzası üzerinde çalışılmıştır. Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bölümü´nden temin edilen havzaya ait hidro-meteorolojik veriler ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) ile Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS)´de sürekli simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

HEC-HMS modelinin kar yağışının etkili olduğu havzalarda uygulanabilirliği amaçlanmıştır. Karın birikme ve erime süreçlerinde etkili olan Sıcaklık İndeksi parametreleri ve hidrolojik çevrim elemanlarına etki eden diğer parametreler belirlenmiştir. Kar kütlesinin birikme ve erime süreçlerinde elde edilen kar su eşdeğeri benzetimleri istasyon konumlarında noktasal ölçekte r^2=0,84-0,98 ve RMSE=1,02-3,89 olarak bulunurken, ortak alansal yaklaşımla r^2=0,76-0,98 ve RMSE=1,27-3,01 aralıklarında elde edilmiştir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla zamansal ve mekânsal olarak dağıtılmış parametrelerle havza akış benzetimini en ideal seviyede elde etmek amacıyla havza modeli hazırlanmıştır. Sürekli simülasyon için Toprak Nem Hesabı (Soil Moisture Account, SMA), Basit Kanopi (Simple Surface), Basit Yüzey (Simple Surface) ve Clark Birim Hidrograf yöntemleri seçilmiştir. Alt havzalar için meteorolojik sınır koşullarının hazırlanması görevini yürüten meteorolojik modelde de Belirlenmiş Piranograf (Specified Pyranograph), FAO56, Gage Weights, Penman Monteith ve Sıcaklık İndeksi (Temperature Index) yöntemleri seçilmiştir. Simülasyon sonucunda elde edilen akışlar DSİ 21-01, DSİ 21-152 ve DSİ 21-168 nolu akım gözlem istasyon konumlarından elde edilen debi benzetimleri ile kalibre edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. DSİ 21-01 numaralı havza çıkış noktasında r^2=0,84 ve RMSE=2,00 olarak elde edilmiştir.

2019, 160 sayfa

Anahtar Kelimeler: HEC-HMS modeli, Dağlık Havza, Kar Erimesi, Sıcaklık İndeksi, ATI, Kırkgöze-Çipak Havzası

ABSTRACT

Master Thesis

DETERMINATION OF PARAMETERS AFFECTING SNOW MELTING IN MOUNTAIN BASINS USING HEC-HMS MODEL PROGRAM AND HYDROLOGIC MODELING OF KIRKGÖZE ÇIPAK BASIN

Muhammet Nuri İSPİRLİ

Atatürk University
Graduade School of Naturel and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assist Prof. Dr. Selim ŞENGÜL

In this study, Kırkgöze-Çipak Basin in the east of Turkey were studied. Continuous simulations were carried out in Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) and hydrometeorological data and digital elevation model (DEM) of the basin obtained from the Civil Engineering Hydraulics Department of the Faculty of Engineering of Atatürk University and the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS).

The HEC-HMS model is intended for applicability in basins where snowfall is effective. Parameters of the Snowmelt Temperature Index affecting snow accumulation and melting and the parameters of other hydrological cycle elements have been determined. Snow water equivalent statistics obtained from the accumulation and melting simulations of the snowpack were found between the intervals as r^2 = 0,84-0,98 and RMSE = 1,02-3,89 for the point scale at station locations, and with the common spatial approach, r^2 = 0,76-0,98 and RMSE = 1,27-3,01. By using Geographical Information Systems (GIS), a basin model was prepared in order to obtain basin flow simulations at the most ideal level for temporally and spatially distributed parameters. Soil Moisture Account (SMA), Simple Canopy, Simple Surface and Clark Unit Hydrograph were used for continuous simulations. Specified Pyranograph, FAO56, Gage Weights, Penman Monteith and Temperature Index methods have been selected in the meteorological model to carry out the meteorological boundary conditions of the subbasins. The results obtained from the simulations were calibrated in accordance with the real values of three flow observation stations (DSİ 21-01, DSİ 21-152 and DSİ 21-168) located in the basin area. Statistical results for flow simulations of main watershed outlet (DSİ 21-01) were obtained as r^2 = 0,84 and RMSE = 2,00.

2019, 160 pages

Keywords: HEC-HMS, Mountainous Basin, Snowmelt, Temperature Index, ATI, Kırkgöze-Çipak Basin

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma süresince bilgisi ve tecrübesiyle beni yönlendirirken sabrını ve desteğini hiçbir zaman esirgemeyerek bana olan inancını derinden hissettiren çok değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Selim ŞENGÜL´e teşekkürü bir borç bilirim.

Tez çalışması sürecinde sağladığı olanaklardan ötürü Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölüm Başkanlığı´na teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince varlığıyla moral motivasyon ve destek sağlamış olan kıymetli dostum M. Tevfik EŞREFOĞLU´na içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Bu günlere gelmemde maddi manevi destekleri ile dualarını eksik etmeyen başta annem Emine İSPİRLİ olmak üzere ablam Yasemin DAŞÇI, dedem Nuri İSPİRLİ ve babaannem Cevahir İSPİRLİ´ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu günleri görmek nasip olsa ziyadesiyle gurur duyacağından şüphe etmediğim merhum babam İsmail İSPİRLİ´ye bana bırakmış olduğu hayat görüşü için tüm sevgimle teşekkür ederim.

Muhammet Nuri İSPİRLİ
Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET i
ABSTRACT ii
TEŞEKKÜR iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ viii
ŞEKİLLER DİZİNİ x
ÇİZELGELER DİZİNİ xiv
1. GİRİŞ 1
2. KURAMSAL TEMELLER 4
2.1. Hidrolojik Modellerin Tanımlanması 4
2.2. Hidrolojik Modellerin Önemi 5
2.3. Hidrolojik Modellerin Tarihçesi 6
2.4. Hidrolojik Modellerin Gelişimi 7
2.4.1. Modernleşme periyodu 7
2.4.2. Ampirizm periyodu 7
2.4.3. Rasyonalizasyon periyodu 8
2.4.4. Teori periyodu 9
2.5. Hidrolojik Model Tipleri 11
2.6. HEC-GeoHMS 13
2.6.1. Genel bakış 13
2.6.2. HEC-GeoHMS teknik kabiliyetleri 14
2.6.3. Program özellikleri 15
2.6.3.a. Veri yönetimi 15
2.6.3.b. Arazi önişlemleri 16
2.6.3.c. Havza işlemleri 18
2.6.3.d. Nehir ve alt havza karakteristikleri 20
2.6.3.e. Hidrolojik parametre tahminleri 21
2.6.3.f. Hidrolojik model sistemi 23
2.7. HEC-HMS 25
2.7.1. Havza modeli 27

2.7.1.a. Basit kanopi (Simple canopy) 31
2.7.1.b. Basit yüzey (Simple surface) 32
2.7.1.c. Toprak nemi hesaplama (Soil moisture accounting) kayıp metodu 33
2.7.1.d. Clark birim hidrografı 45
2.7.1.e. Aylık sabit taban akışı yöntemi (Constant monthly baseflow) 49
2.7.2. Meteorolojik model 50
2.7.2.a. Belirtilen piranograf yöntemi (Specified pyranograph) 54
2.7.2.b. FAO56 yöntemi ile uzun dalga boylu radyasyon tahmini 56
2.7.2.c. Gage weight yöntemi ile yağışın alansal dağılımının belirlenmesi 58
2.7.2.d. Penman Mounteith 62
2.7.2.e. Sıcaklık indeksi yöntemi (Temperature index) 63
2.7.3. Kontrol kartları (Control specifications) 71
2.7.4. Veri girişi; zaman serileri, eşleştirilmiş veri çiftleri ve ızgaralı veriler 71
2.8. Literatür Özeti 72
3. MATERYAL ve YÖNTEM 86
3.1 Çalışma Alanı 86
3.2. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) 87
3.3. Hidro-Meteorolojik Veriler 88
3.4. Jeoloji ve Hidrojeoloji 89
3.5. Topografya 91
3.6. Toprak Özellikleri ve Arazi Kullanımı 95
3.7. HEC-GeoHMS 96
3.7.1. Arazi ön işlemleri 96
3.7.1.a. Çukurlukların doldurulması (Fill Sink) 97
3.7.1.b Akış yönleri (Flow Direction) 97
3.7.1.c. Akış birikimleri (Flow Accumulation) 98
3.7.1.d. Akarsu ağının belirlenmesi (Stream Definition) 99
3.7.1.e. Akışın bölümlere ayrılması (Stream segmentation) 99
3.7.1.f. Alt havza alanlarının belirlenmesi (Catchment grid delineation) 100
3.7.1.g. Alt havza sınırlarının poligonal temsili (Catchment polygons processing) 101
3.7.1.h. Akarsu ağının vektörel temsili (Drainage line processing) 101

3.7.1.i. Alt Havzaların birbirleri ile ilişkilendirilmesi (Adjoint catchment processing) 102
3.7.2. Proje oluşturma 103
3.7.3. Havza karakteristiklerinin belirlenmesi 104
3.7.3.a. Nehir uzunluğu (River lenght) 104
3.7.3.b. Nehir eğimi (River slope) 105
3.7.3.c. Havza eğimi (Basin slope) 105
3.7.3.d. En uzun akış yolu (Longest flow path) 106
3.7.3.e. Havza geometrik merkezi (Basin centroid) 106
3.7.3.f. Havza merkezi yüksekliği (Basin centroid elevation) 107
3.7.3.g Merkezi en uzun akış yolu (Centroidal longest flow path) 107
3.7.4. Havza parametrelerinin belirlenmesi 108
3.7.4.a. HMS proseslerinin belirlenmesi (Select HMS processes) 108
3.7.4.b. Nehirlerin otomatik isimlendirilmesi (River auto name) 109
3.7.4.c. Alt havzaların otomatik isimlendirilmesi (Basin auto name) 109
3.7.5. HMS 109
3.7.5.a. Harita birim sistemi seçimi (Map to HMS units) 110
3.7.5.b. Verilerin kontrolü (Check data) 110
3.7.5.c. HMS şematiği (HMS schematic) 110
3.7.5.d. HMS lejantları (HMS legend) 111
3.7.5.e. Coğrafi koordinat atanması (Add coordinates) 111
3.7.5.f. HEC-HMS girdi dosyalarının hazırlanması (Prepare data for model export) 111
3.7.5.g. HEC-HMS görsel altlığının hazırlanması (Background shape file) 112
3.7.5.h. Havza modeli (Basin model) 112
3.7.5.i. Meteorologic model 112
3.7.5.j. Nihai HMS proje dosyasının oluşturulması (Create HMS project) 116
3.8. HEC-HMS 117
3.8.1. Havza modeli ile ilgili parametrelerin belirlenmesi 118
3.8.1.a. Kanopi metot 118
3.8.1.b. Yüzey metodu 119
3.8.1.c. Kayıp metodu 119

3.8.1.d. Dönüşüm metodu 120
3.8.1.e. Taban akışı metodu 122
3.8.2. Meteorolojik model ile ilgili parametrelerin belirlenmesi 122
3.8.2.a. Kısa dalga boylu radyasyon metodu 122
3.8.2.b. Uzun dalga boylu radyasyon metodu 123
3.8.2.c. Yağış metodu 123
3.8.2.d. Evapotranspirasyon metodu 124
3.8.2.e. Kar erimesi metodu 125
4. ARAŞTIRMA BULGULARI 138
4.1. Sıcaklık İndeksine Ait Sonuçlar 138
4.2. Havza Model Parametreleri ve Kalibrasyon Sonuçları 142
4.3. HEC-HMS Simülasyon Sonuçları 147
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER 151
5.1. Sonuçlar 151
5.2. Öneriler 154
KAYNAKLAR 155
ÖZGEÇMİŞ 161

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

mm	Milimetre
º	Derece

Kısaltmalar

AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
ATI	Antecedent Temperature Index
ATIMR	Antecedent Temperature Index–Melt Rate
BH	Birim Hidrograf
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CN	Curve Number
CWMS	Corps Water Management System
DHI	Denmark Hydraulic İnstitute
DSPM	Distributed Snow Process Model
ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc.
ET	Evapotransprasyon
GAWSER	The Guelph All-Weather Sequential-Events Runoff
GLERL	Great Lakes Çevre Araştırma Laboratuvarı
HBV	Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning Model
HSPF	Hydrological Simulation Program - FORTRAN
HEC-GeoHMS	Hydrologic Engineering Center - Geospatial Hydrologic Modeling Extension
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System
LBRM	The Large Basin Runoff Model
NOAA	Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi
PRMS	Precipitation Runoff Model

RMSE	Root Mean Square Error
SCS	Soil Conservation Service
SMA	Soil Moisture Accounting (Toprak Nem Hesabı)
SRM	Snowmelt Runoff Model
SSARR	Streamflow Synthesis and Resevoir Regulation
SSURGO	Soil Survey Geographic
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
SWAT	Soil and Water Assessment Tool
SWE	Snow Water Equivalent
USDA	Birleşik Devletler Tarım Departmanı
UTM	Universal Transverse Mercator
VIC	Variable Infiltration Capacity
WMS	Watershed Modeling System

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Hidrolojik sistem 5
Şekil 2.2. Akış hidrograf kavramı 8
Şekil 2.3. Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması 13
Şekil 2.4. Kesişim noktasına göre alt havza bölme 19
Şekil 2.5. Meteorolojik model oluşturma seçenekleri 25
Şekil 2.6. Basit kanopi metodu bileşen düzenleyicisi 31
Şekil 2.7. Basit yüzey metodu bileşen düzenleyicisi 33
Şekil 2.8. SMA algoritmasının kavramsal şeması 34
Şekil 2.9. ET´nin çekme bölgesi depolamasının bir fonksiyonu olarak gösterimi 35
Şekil 2.10. Zamanın başlangıcında toprak profil deposuna karşı potansiyel sızma oranı 37
Şekil 2.11. Toprak nemi hesaplama bileşen düzenleyicisi 43
Şekil 2.12. Clark birim hidrograf bileşen düzenleyicisi 48
Şekil 2.13. Aylık sabit taban akışı bileşen düzenleyicisi örneği 49
Şekil 2.14. Tüm alt havzalar için bir bileşen editörüyle belirtilen pyranograf kısa dalga yöntemini kullanan bir meteorolojik model örneği 55
Şekil 2.15. Her bir alt havza için kısa dalga radyasyonu zaman serisi istasyonunun belirlenmesi 55
Şekil 2.16. Tüm alt havzalar için bir bileşen editörüyle FAO56 yöntemini kullanan bir meteorolojik model örneği 57
Şekil 2.17. FAO56 yönteminde saat dilimi merkezi meridyenin girilmesi 57
Şekil 2.18. Alt havza için temsili yükseklik belirtme 58
Şekil 2.19. Gage Weight yağış metodu için seçeneklerin seçilmesi 59
Şekil 2.20. Gage Weight yağış yöntemini kullanarak, tüm alt havzalar, yağış ölçüm istasyonları ve her bir alt havza için ayrı bir bileşen düzenleyici kullanan bir meteorolojik model örneği 59
Şekil 2.21. Ortalama yıllık yağış derinliği kullanılarak her bir alt havzaya ilişkin indekslerin belirtilmesi 60

Şekil 2.22. Yağış ölçüm istasyonları için isteğe bağlı toplam derinlik ve indekslerin belirtilmesi 60
Şekil 2.23. Toplam fırtına istasyonunun oluşturulması ve toplam fırtına derinliği ve isteğe bağlı indeksin girilmesi 61
Şekil 2.24. Bir alt havza için kullanılacak yağış ölçüm istasyonlarının seçimi 61
Şekil 2.25. Seçilen istasyonlar için derinlik ve zaman ağırlıklarının girilmesi. 61
Şekil 2.26. Penman Monteith evapotranspirasyon yöntemini, her bir alt havza için bir bileşen editörü ile kullanan meteorolojik bir model örneği 63
Şekil 2.27. Bir alt havza için Penman Monteith özelliklerinin girilmesi 63
Şekil 2.28. Tüm alt havzalar, her bir alt ve her bir yükseklik bandı için bir bileşen editörü içeren sıcaklık indeksi kar erimesi yöntemini kullanan bir meteorolojik model örneği 64
Şekil 2.29. Meteorolojik modeldeki Sıcaklık İndeksi bileşen düzenleyicisi 65
Şekil 2.30. Bir alt havza için sapma oranının belirtilmesi 68
Şekil 2.31. Sıcaklık indeksi yükseklik bandının özelliklerinin belirlenmesi 69
Şekil 3.1. Kırkgöze-Çipak Havzası´nın konumu ve SYM 86
Şekil 3.2. Kırkgöze-Çipak Havzasına ait SYM 87
Şekil 3.3. Meteorolojik istasyonlar ve AGİ´lerin havzadaki konumları 89
Şekil 3.4. Kırkgöze-Çipak havzası için; a) jeoloji haritası, b) arazi aplikasyonu, c) A-A` jeolojik kesiti 90
Şekil 3.5. Kırkgöze-Çipak havzası için sayısallaştırılmış jeoloji haritası 91
Şekil 3.6. Kırkgöze-Çipak havzasınına ait hipsometrik eğri (Rölatif alan (%) - Rölatif yükseklik (%)) 92
Şekil 3.7. Yağışların yüksekliğe göre daha etkin dağıtılabilmesi için belirlenen zonlar 93
Şekil 3.8. Kırkgöze-Çipak Havzası bakı haritası 94
Şekil 3.9. Kırkgöze-Çipak Havzası eğim haritası 94
Şekil 3.10. Kırkgöze-Çipak Havzası arazi kullanım haritası 95
Şekil 3.11. Kırkgöze-Çipak Havzası toprak özellikleri haritası 96
Şekil 3.12. Çukurlukları doldurulmuş yeni SYM 97
Şekil 3.13. Havza geneli akış yönlerinin gösterimi 98
Şekil 3.14. Havza geneli akış birikimlerinin gösterimi 98

Şekil 3.15. Akarsu ağının seçilen eşik değerine göre belirlenmesi 99
Şekil 3.16. Bölümlere ayrılmış akışın gösterimi 100
Şekil 3.17. Raster formatında oluşturulan alt havzaların gösterimi 100
Şekil 3.18. Alt havza sınırlarının poligonal temsili 101
Şekil 3.19. Akarsu ağının vektörel temsili 102
Şekil 3.20. Birbirleriyle bağlantılı akarsu kolları ve alt havzalar 102
Şekil 3.21. Çıkış noktasına göre belirlenen havza alanı 103
Şekil 3.22. Oluşturulan projeye göre havza modeli 103
Şekil 3.23. En uzun akış yolu 106
Şekil 3.24. Alt havza merkezleri ve Drain ID´leri 106
Şekil 3.25. Merkezi en uzun akış yolu 108
Şekil 3.26. Üç ana alt havza 109
Şekil 3.27. Havza hidrolojik ağı 110
Şekil 3.28. Havzanın simgesel gösterimi 111
Şekil 3.29. HEC-HMS arayüzü 117
Şekil 3.30. Kısa dalga radrasyonu dağılımı 122
Şekil 3.31. FAO56 başlangıç meridyen değeri 123
Şekil 3.32. FAO56 hava basınç tipi ve yükseklik değerlerinin girilmesi 123
Şekil 3.33. Gage Weight yöntemi 124
Şekil 3.34. Penman Monteith yöntemi 125
Şekil 3.35. Köşk İstasyonu (2019 metre) için SSARR ve KÖŞK ATIMR eğrileri ile hata oranları 135
Şekil 3.36. Güngörmez İstasyonu (2454 metre) için SSARR ve GÜNGÖRMEZ ATIMR eğrileri ile hata oranları 135
Şekil 3.37. Radar İstasyonu (2891 metre) için SSARR ve RADAR ATIMR eğrileri ile hata oranları 136
Şekil 3.38. Noktasal ve alansal ATIMR eğrileri 137
Şekil 4.1.a. Köşk İstasyonu için hesaplanan ve modellenen noktasal ATI gidişat değerleri ile Kar Su Eşdeğeri (SWE) yüksekliklerinin karşılaştırmalı grafiği 138

Şekil 4.1.b. Güngörmez İstasyonu için hesaplanan ve modellenen noktasal ATI gidişat değerleri ile Kar Su Eşdeğeri (SWE) yüksekliklerinin karşılaştırmalı grafiği 139
Şekil 4.1.c. Radar İstasyonu için hesaplanan ve modellenen noktasal ATI gidişat değerleri ile Kar Su Eşdeğeri (SWE) yüksekliklerinin karşılaştırmalı grafiği 139
Şekil 4.2.a. Köşk istasyonu için ortak alansal ATIMR fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen kar su eşdeğeri benzetimi 140
Şekil 4.2.b. Güngörmez istasyonu için ortak alansal ATIMR fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen kar su eşdeğeri benzetimi 141
Şekil 4.2.c. Radar istasyonu için ortak alansal ATIMR fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen kar su eşdeğeri benzetimi 141
Şekil 4.3.a. Karasu-Çipak (DSİ 21-01) Akım Gözlem İstasyonu konumuna ait gözlenmiş ve simüle edilmiş debiler 148
Şekil 4.3.b. Köşk Dere-Köşk (DSİ 21-152) Akım Gözlem İstasyonu konumuna ait gözlenmiş ve simüle edilmiş debiler 149
Şekil 4.3.c. Büyük Çay-Karagöbek (DSİ 21-168) Akım Gözlem İstasyonu konumuna ait gözlenmiş ve simüle edilmiş debiler 150

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. HEC-HMS´deki Hidrolojik Elemanlar 28
Çizelge 2.2. HEC-HMS´de akım oluşturmak için kullanılan yöntemler 29
Çizelge 2.3. HEC-HMS Meteorolojik Model Metotları 50
Çizelge 2.4. Havza ve meteorolojik model kurulumunda kullanılan veri tipleri 71
Çizelge 3.1. HEC-HMS simülasyonu için meteorolojik zaman serileri 88
Çizelge 3.2. Kırkgöze havzası hipsometrik değerleri 93
Çizelge 3.3 Nehir Uzunlukları ve Eğimleri 104
Çizelge 3.4. Alt havza eğimleri 105
Çizelge 3.5. Merkez yükseklikleri ile enlem ve boylam değerleri 107
Çizelge 3.6. Kırkgöze-Çipak Havzası hipsometrik değerleri 114
Çizelge 3.7. Ölçüm istasyonu bulunmayan yükseklik zonlarında yağış yüksekliğinin belirlenmesi için kullanılan algoritma 115
Çizelge 3.8. Arazi tipine göre kanopi değerleri 118
Çizelge 3.9. Standart yüzey depolama değerleri 119
Çizelge 3.10. SMA kayıp metodu parametreleri başlangıç değerleri 120
Çizelge 3.11. Kerby Eşitliği katsayıları 121
Çizelge 3.12. Alt havzalara ait Tc parametreleri 121
Çizelge 3.13. ATIMR´nin bir fonksiyonu olarak erime hızının tablolandırılması 126
Çizelge 3.14. Kırkgöze-Çipak Havzası alansal-ortak ATIMR fonksiyonu 137
Çizelge 4.1. 2009-2011 yılları arasındaki kar birikme ve erime dönemleri için noktasal ve alansal ATIMR fonksiyonları kullanılarak modellenen ve gözlenen Kar Su Eşdeğeri (SWE) için r^2 ve RMSE değerleri 140
Çizelge 4.2. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Kanopi Metot parametreleri 142
Çizelge 4.3. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Yüzey Metot parametreleri 143
Çizelge 4.4. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Dönüşüm Metodu parametreleri 144
Çizelge 4.5. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Kayıp Metot parametreleri 145
Çizelge 4.6. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Taban Akışı Metot parametreleri 146
Çizelge 4.7. Akım gözlem istasyonlarındaki debi benzetimlerine ait r^2 ve RMSE değerleri 147

Çizelge 5.1. Noktasal ve alansal-ortak ATIMR eğrileri 152
Çizelge 5.2. 2009-2011 yılları arasındaki kar birikme ve erime dönemleri için noktasal ve alansal ATIMR fonksiyonları kullanılarak modellenen ve gözlenen Kar Su Eşdeğeri (SWE) için r^2 ve RMSE değerleri..... 153
Çizelge 5.3. Akım gözlem istasyonlarındaki debi benzetimlerine ait r^2 ve RMSE değerleri..... 153

1. GİRİŞ

Canlılığın varoluş kaynağı olan su, tarih boyunca yaşam alanı seçiminde en önemli kriter olmuştur. Susuz ortamlarda canlılığın devamı olmazken, taşkın riski altındaki bölgelerde de yaşam sürekli tehlike altında olacaktır. Bu nedenle tarih boyunca su kaynakları etkili kullanılmaya çalışılmıştır. Ancak giderek artan dünya nüfusu ve küresel ısınma neticesinde su kaynakları üzerinde nitelik ve nicelik bakımından olumsuz etkiler gözlenmektedir. Bu nedenle su kaynaklarının etkin kullanımı konusunda yapılan hidrolojik çalışmalar ve teknolojik ilerlemeler konunun daha iyi anlaşılmasına büyük yarar sağlamaktadır. Özellikle kar yağışının hakim olduğu dağlık havzalarda yapılacak olan hidrolojik modelleme çalışmaları neticesinde elde edilen akım tahminleriyle su kaynakları nicelik olarak daha doğru değerlendirilir. Ayrıca akım tahminlerine dayanan hidrolojik modellerin desteklediği planlamalar sonucunda, kuraklık ve taşkınların etkileri en aza indirgenerek su kaynakları yönetiminin verimliliği arttırılmaktadır.

Tüm hidrolojik modeller, gerçek dünya sisteminin basitleştirilmiş karakteristikleridir. Hali hazırda araştırmacılar tarafından çok çeşitli hidrolojik modeller kullanılmaktadır, ancak bu modellerin uygulamaları büyük ölçüde modellemenin yapıldığı amaca bağlıdır. Birçok hidrolojik model, gerçek dünya sistemini yöneten hidrolojik süreçler hakkındaki bilgi ve anlayışı geliştirmek için yalnızca araştırma amaçlı kullanılmaktadır. Hidrolojik modeller gerçek dünya sisteminin fiziksel, ekolojik, ekonomik ve sosyal yönlerinin etkileşimlerini göz önünde bulundurarak karar vericilerin planlama ve işletim için en etkili kararı almalarını sağlamayı amaçlayan simülasyon ve tahmin araçları olarak geliştirilir ve kullanılır. Aynı zamanda hidrolojik modellerinin içerdiği diğer uygulamalara örnek olarak; gerçek zamanlı taşkın tahmini ve uyarısı, taşkın frekans tahmini, taşkın güzergahı ve su baskını tahmini, iklim ve arazi kullanım değişikliği ve entegre havza yönetiminin etki değerlendirmesi verilebilir.

Türkiye üç tarafı denizlerle çevrili olmasına karşın ortalama yüksekliği 1100 metrenin üzerinde olan bir coğrafyaya sahiptir. Yüksekliğin artmasıyla kış aylarında yağışların büyük bölümünün kar olarak düştüğü bölgelerde, kar erimesi su kaynakları için hayati

önem taşımaktadır. Kar erimesinden meydana gelen akış ülkenin doğu bölgelerinde oldukça etkilidir. Bölgede kurulan baraj rezervuarlarının yıllık su hacimlerinin büyük bölümünün kış aylarında meydana gelen yağışlardan ve ilkbaharda ise kar erimesinden ve kar örtüsü üzerine düşen yağmurdan kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu nedenle kar potansiyelinin oldukça yüksek olduğu Doğu Anadolu Bölgesi´nde yapılacak olan kar erimesine dayalı hidrolojik model çalışmaları su kaynaklarının planlanması ve ekonomik olarak işletilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modelling System), kar erimesine dayalı akış tahmin ve benzetimi için güçlü bir araçtır. Model Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı fiziksel havza karakterizasyonunu ve alt havza bazlı meteorolojik sınır koşullarının belirlemesi ile hidrolojik simülasyon, akım tahmini ve model optimizasyonu imkanı sağlar.

Bu çalışmada, HEC-GeoHMS (Hydrologic Engineering Center - Geospatial Hydrologic Modeling Extension) ile çalışma alanı olarak seçilen Kırkgöze-Çipak Havzası´nın sınırları belirlenmiş, karakterizasyonu yapılmış ve HEC-HMS için havza ve meteorolojik girdiler oluşturulmuştur. HEC-GeoHMS bir CBS yazılımı olan ARCGIS eklentisidir. ARCGIS platformunun sağlamış olduğu geniş CBS olanakları kullanılarak havzaya ait akarsu ağı ve drenaj alanı belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen havza alanı hidrolojik parametre dağılımında homojenitenin sağlanması açısından alt havzalara bölünmüş ve her bir alt havza için eğim, en uzun akış yolu ve geometrik merkez bulunmuştur.

Kar erimesinin etkili olduğu çalışma alanında akış benzetimlerini etkili bir şekilde ortaya koymak için bir kar erime yöntemi olarak modelde sunulan Sıcaklık İndeksi Yöntemi seçilmiştir. Sıcaklık İndeksi Yöntemi ile doğru debi benzetimlerine ulaşmak için kar su eşdeğeri benzetimlerinin hassas bir şekilde yapılması gerekir. Erime oranının kar kütlesindeki erimenin başladığı andan itibaren biriken ısının kümülatif günlük sıcaklık derecesinin bir fonksiyonu olarak tanımlandığı Sıcaklık İndeksi Modelinde, mevsim boyunca erime miktarının ayarlaması için, Önceden Belirlenmiş Sıcaklık

İndeksi-Erime Oranı (ATIMR: Antecedent Temperature Index–Melt Rate) fonksiyonunun kullanılması oldukça makul bir yöntem sağlar. Bu sebeple havza üzerinde bulunan üç adet meteoroloji istasyonu için noktasal olarak ATIMR eğrileri ayrı ayrı elde edilmiş ve kar su eşdeğerleri benzeştirilmiştir. Daha sonra debi benzetimlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılan yöntemin tüm havzada sadece tek bir ATIMR fonksiyonunun kullanılmasından ötürü elde edilen noktasal ATIMR eğrileri yardımıyla havza genelini temsil edecek genelleştirilmiş ortak bir ATIMR eğrisi elde edilmiş ve model kurulmuştur.

Tez kapsamında HEC-HMS Modelinin Türkiye´de Doğu Anadolu Bölgesi´ndeki kar erimesinin etkili olduğu dağlık havzalara uygulanabilirliği amaçlanarak kar erimesine ve akışa etki eden parametreler belirlenmiştir. Bu çalışmada 2009 ve 2011 kar erime sezonlarını içerecek şekilde CBS metotları ve HEC-HMS model programı kullanılarak kar erimesinin etkili olduğu Kırkgöze – Çipak havzası ile alt havzalarının hidrolojik çevrime etki eden parametreleri incelenmiş ve debi benzetimlerinde bulunulmuştur.

2. KURAMSAL TEMELLER

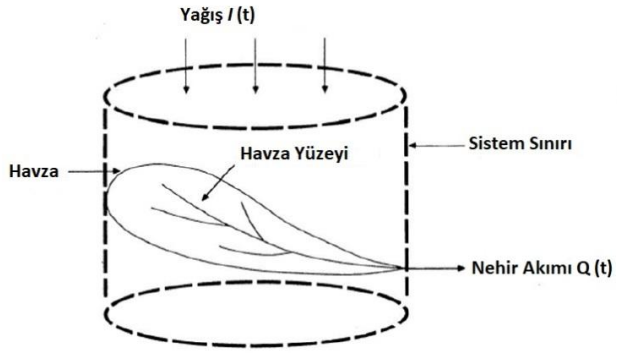
2.1. Hidrolojik Modellerin Tanımlanması

Su, yeryüzünün en canlı maddesidir, tüm canlıların temel öğesi ve yeryüzünün yüzeyini sürekli şekillendiren büyük bir güçtür. Aynı zamanda yeryüzünün insan varlığı için iklimlendirilmesinde ve uygarlığın ilerlemesini etkilemede önemli bir faktördür. Dünyadaki suyunun tüm safhalarını inceleyen hidroloji, insanlar ve çevre için büyük önem taşımaktadır. Hidrolojinin pratik uygulamaları hidrolik yapıların tasarımı, işletilmesi, su temini, atık su arıtımı ve bertarafı, sulama, drenaj, hidroelektrik üretimi, taşkın kontrolü, denizcilik, erozyon ve sediment kontrolü, tuzluluk kontrolü, kirlilik azaltımı, regrasyonel alanlarda suyun kullanımı, balık ve vahşi yaşam koruması gibi konulara dayandırılmıştır. Uygulamalı hidrolojinin rolü, bu görevlerde yer alan sorunların analiz edilmesine yardımcı olmak ve su kaynaklarının planlanması ve yönetimi için rehberlik sağlamaktır (Chow 1988).

Su bilimciler yeryüzünün suları, bunların dağılımı ve döngüleri, fiziksel ve kimyasal özellikleri ve canlılar, özellikle de insanlar ile etkileşim dahil olmak üzere çevre ile etkileşimleriyle ilgilenirler. Hidroloji tüm su bilimlerini kapsayabilir ya da yeryüzü ile atmosfer arasındaki suyun sonsuz döngüsünün hidrolojik döngü gibi tanımlandığı düşünülebilir. Hidrolojik bilgi, yeryüzündeki su kaynaklarının kullanımına ve kontrolüne uygulanır; ve bu uygulamalar için hidrolojik modellerin kullanılması gerekmektedir (Chow 1988).

Hidrolojik modeller gerçek dünya sisteminin basitleştirilmiş birer temsilidirler (Moradkhani and Sorooshian 2008). En iyi model gerçeğe en yakın sonuç veren modeldir. Modeller çoğunlukla sistem (Şekil 2.1) davranışını tahmin etmek ve çeşitli hidrolojik süreçleri anlamak için kullanılır. Bir model, modelin özelliklerini tanımlayan çeşitli parametrelerden oluşur. Bir akış modeli, akışın tahmin edilmesinde havza özelliklerinin tanımlanması için kullanılan çeşitli parametrelerin bir fonksiyonu olarak,

yardımcı bir dizi denklem olarak tanımlanabilir. Tüm modeller için gerekli olan iki önemli girdi; yağış verileri ve drenaj alanıdır. Bunların yanı sıra toprak özellikleri, bitki örtüsü, su havzası topoğrafyası, toprak nem içeriği, yeraltı suyu akiferlerinin özellikleri gibi havza özellikleri de göz önünde bulundurulmaktadır. Hidrolojik modeller günümüzde su ve çevre kaynakları yönetimi için önemli ve gerekli bir araç olarak kabul edilmektedir (Gayathri 2015).



Şekil 2.1. Hidrolojik sistem (Chow 1988)

2.2. Hidrolojik Modellerin Önemi

Su havzalarındaki hidrolojik elemanlar için işletme sisteminin tanımlanması, çoğu durum için kolay bir olay değildir. Bu nedenle, hidrolojik modeller, havza sistemleri için tüm ayrıntılı verileri anlamak ve havza süreçlerini kolayca kontrol etmek için gereklidir. Ayrıca, iklim değişikliği gibi havza özelliklerinde meydana gelen değişikliklere bağlı olarak havza tepkilerini tahmin etmek için hidrolojik modeller kullanılmaktadır (Baird and Wilby 1999).

Taşkın gibi fiziksel olayların tanımlanması ve arazi planlama sınırlandırması arasında doğrudan bağlantı içeren nehir havzası ana planı gibi düzenleme ve planlama araçlarının gelişiminden dolayı simülasyon ve tahmin modelleri ile çevresel planlama seçimlerinin desteklenmesi gerekmektedir. Böyle bir modelleme sistemine olan ihtiyaç alandaki ulusal ve bölgesel düzenlemelere göre zamanında sel alarmından, sel riski altındaki alanların sınırlandırılması ile havza ölçeğinde su bütçesinin programlanmasına kadar

nehir havzası planlama ve yönetiminin gerektirdiği birçok faaliyet tarafından teşvik edilir ve hatta bazen zorunlu hale gelir (Razi *et al.* 2010). Sınırlı ya da hiç veri bulunmayan havzalarda, akış oluşumu süreçlerinin nicel olarak anlaşılması, tahmin edilmesi ve çıkışa aktarılması, hidrolojinin en zorlu alanlarından birini temsil etmektedir. Taşkın tahmin tasarımı için geleneksel teknikler rasyonel yöntem, ampirik yöntemler, taşkın frekans yöntemi, birim hidrograf teknikleri ve havza modellerini içerir. Birim hidrograf teknikleri ve havza modelleri tasarım taşkın pik dizaynının büyüklüğüne ek olarak taşkın hidrografının tasarımını tahmin etmek için de kullanılabilir (Kalita 2008). Hidrolojik modelleme, yağış nedeniyle havzada gerçekleşecek hidrolojik tepkinin tahmin edilmesi için yaygın olarak kullanılan bir araçtır. Modelin seçimi havzaya ve havzadaki hidrolojik tahminin amacına bağlıdır (Hunukumbura *et al*. 2008).

Hidrolojide yağış-akış süreçlerini modellememizin birçok farklı nedeni vardır. Ancak asıl neden, hidrolojik ölçüm tekniklerinin sınırlamalarının bir sonucudur. Hidrolojik sistemler hakkında bilmek istediğimiz her şeyi ölçemeyiz. Aslında, uzay ve zamanda yalnızca sınırlı bir ölçüm tekniğine ve ölçüm yelpazesine sahibiz. Bu nedenle, gelecekteki hidrolojik değişimin olası etkilerini değerlendirmek için hem mekan hem de zamandaki mevcut ölçümlerden, özellikle ölçümlerin bulunmadığı yerlerde ve ölçümlerin mümkün olmadığı durumlarda ekstrapolasyon araçlarına ihtiyacımız vardır. Farklı tipteki modeller sayısal ekstrapolasyon veya tahmin aracı olarak karar vermede yardımcı olur (Beven 2000).

2.3. Hidrolojik Modellerin Tarihçesi

Chow (1964)´a göre hidrolojinin tarih boyunca sekiz ana dönemi vardır:

- Spekülasyon dönemi (Milattan sonra 1400´den önce)
- Gözlem periyodu (1400 ila 1600 arası)
- Ölçüm periyodu (1600 ila 1700 arası)
- Deneyim periyodu (1700´den 1800´e kadar)

- Modernizasyon periyodu (1800´den 1900´e kadar)
- Ampirizm periyodu (1900´den 1930´a kadar)
- Rasyonalizasyon periyodu (1930´dan 1950´ye kadar)
- Teorikleştirme periyodu (1950´den günümüze)

2.4. Hidrolojik Modellerin Gelişimi

Hidrologlar tarafından hidrolojik modellerin gelişmesi ve pek çok uygulaması sağlanmıştır. Xu (2003) en önemli gelişmeleri şöyle sıralamıştır:

2.4.1. Modernleşme periyodu

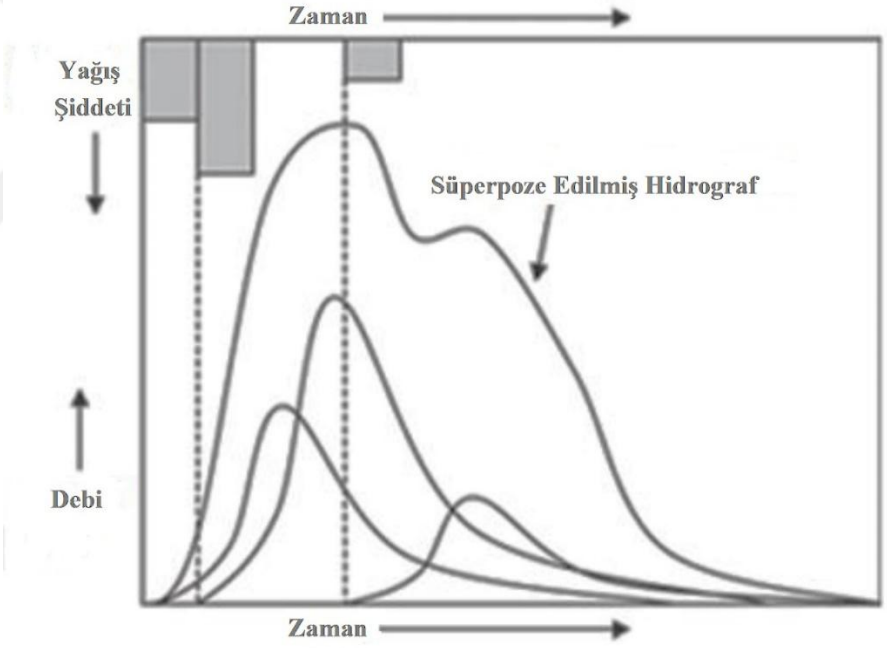
Modernizasyon periyodu (1800´den 1900´e kadar), kentsel kanalizasyon tasarımı, arazi ıslahı, drenaj sistemleri tasarımı ve hidrolojik model uygulamalarında rezervuar dolusavak tasarımı gibi çok önemli kullanımlara sahip yağış-akış modellerinde önemli gelişmeler göstermektedir. Bu dönemde rasyonel yöntem kavramı Mulvaney tarafından 1850 yılında önerilmiştir. Rasyonel yöntem, yağış akış katsayısı ve havza alanını kullanarak havzalardaki pik debinin hesaplanması için kullanılır (Rahman *et al.* 2011).

2.4.2. Ampirizm periyodu

Ampirizm periyodu (1900´den 1930´a kadar), tekdüze olmayan dağıtılmış havzalar ve büyük boyutlu su havzaları için uygulanacak rasyonel yöntemde birçok değişiklik içermektedir. Modifikasyon, havzaların topoğrafyası nedeniyle farklı toplanma zamanlarını hesaplamak için Manning formülünü kullanan transfer fonksiyonuna dayanmaktadır (Guo 2001).

2.4.3. Rasyonalizasyon periyodu

Rasyonalizasyon döneminde (1930´dan 1950´ye kadar), hidrologlar yeni yağış-akış modellerini tanıtmışlardır. Sherman (1932)´de temel olarak süperpozisyon prensiplerine dayanan birim hidrograf modelini tanıtmıştır (Şekil 2.2) (Allahwani 2016). Birim hidrograf, havza üzerinde tekdüze olarak meydana gelen bir birim derinlikteki yağış fazlalığından ve belirli bir süre için tekdüze bir hızdan kaynaklanan doğrudan akışın hidrografı olarak tanımlanır. Hidrologlar, akış teorisini temel alan birim hidrograf kavramını kullanarak, akış hacmini zamanın bir fonksiyonu olarak hesaplayabilmişlerdir (Beven 2011).



Şekil 2.2. Akış hidrograf kavramı

2.4.4. Teori periyodu

Teori periyodu (1950´den günümüze), SCS (Soil Conservation Service) boyutsuz sentetik hidrograf yöntemi gibi hidrolojik sistemin basitleştirilmiş bir temsili ile fazla yağıştan akışın hesaplanmasıyla oluşan kavramsal yağış-akış modellerinin oluştuğu dönemdir. Bundan sonra akış, akarsu hidrografını hesaplamak için su havzasının çıkışına yönlendirilmiştir (Krause *et al.* 2005).

Teori periyodu boyunca, popüler yağış-akış modellerinden bir kaçı şu şekilde sıralanabilir:

- Dawdy ve O'Donnell Model: 1965 yılında, küçük drenaj alanları için deşarj hacmini ve en yüksek akım hızını tahmin etmek için geliştirilen ilk yağış-akış modellerinden biridir.
- Stanford Model IV: Hidrolojik, hidrolik ve su kalitesi süreçlerinin sürekli, dinamik bir olay veya sabit durum simülatörüdür.
- Sacramento Model: Günlük yağışlardan ve potansiyel evapotranspirasyon verisinden günlük akımı oluşturmak için kullanılan sürekli bir yağış-akış modelidir. Su haznesindeki su dengesini simüle etmek için toprak nemi hesaplamasını kullanır.
- HBV (Hydrologiska byråns vattenbalansavdelning model) Model: İsveç´te geliştirilmiştir ve havza ölçeğinde hidrolojik süreçlerin kavramsal tanımlamalarını içeren bir yağış-akış modelidir.
- Tank Model: Süreç odaklı, yarı dağıtılmış veya birikimli sürekli simülasyon modelidir.
- TOPMODEL Model: Fiziksel, dağıtımlı ve sürekli bir hidrolojik simülasyon modelidir.
- SWAT (Soil and Water Assessment Tool) Model: Bu model karmaşık fiziksel tabanlı bir modeldir. Su ve sediment sirkülasyonunu ve tarım üretimini, meteorolojik ölçümleri bulunmayan havzalarda, kimyasallarla test etmek ve tahmin etmek için tasarlanmıştır. Uzun vadeli simülasyonlar yapmakta etkilidir.

- MIKE Model: Nehirler, göller, rezervuarlar, sulama kanalları ve diğer iç su sistemlerinde modelleme koşulları için çok yönlü ve modüler bir mühendislik aracıdır. Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHI) tarafından tasarlanmıştır.
- VIC (Variable Infiltration Capacity) Model: Hem enerji hem de su dengesi denklemlerini kullanan yarı dağıtılmış ızgara tabanlı bir hidrolojik modeldir. Yağış, minimum ve maksimum günlük sıcaklık ve rüzgar hızı modelin ana girdileridir ve model her ızgarada birçok arazi örtüsü tipine izin verir. İnfiltrasyon, akış, taban akışı vb. süreçler çeşitli ampirik ilişkilere dayanmaktadır. Aşırı akım (Hortonian akışı) ve doygun aşırı akım (Dunne akışı) sızmasıyla yüzey akışı üretilir. VIC toprak heterojenitesini ve yağışı göz önüne alarak doygun aşırı akımı simüle eder. Üç katmandan oluşur. Üst tabaka hızlı toprak buharlaşmasına izin verir, orta tabaka yağış olaylarına toprağın dinamik tepkisini gösterir ve toprak neminin davranışını karakterize etmek için alt tabaka kullanılır.
- WMS (Watershed Modeling System) Model: Hidrolojik analiz için kapsamlı bir ortamdır. Brigham Young Üniversitesi Çevre Modelleme Araştırma Laboratuvarı, US Army Corps of Engineers Su Yolları Deney İstasyonu ile birlikte geliştirilmiştir.
- SRM (Snowmelt Runoff Model) Model: Literatürde "Martinec Modeli" olarak adlandırılmaktadır. Martinec tarafından geliştirilmiştir ve kar erimesinin önemli bir akış faktörü olduğu, dağlık havzalarda günlük akımı simüle ve tahmin etmek için tasarlanmıştır.
- The Guelph All-Weather Sequential-Events Runoff (GAWSER) Model: Model, yağış ve/veya kar erimesi girdilerinden kaynaklanan toplam akışı tahmin etmek için kullanılan fiziksel temelli deterministik bir hidrolojik modeldir. Hem sürekli hem de olaya dayalı modlarda çalışabilir. Yükleme havuzlarını modellemek için kullanılabilir ve kirletici birikimini, sürüklenmesini ve taşınmasını öngörebilir. Sürekli modelleme için gereken iklim girdi verileri, günlük maksimum ve minimum sıcaklıkları, günlük toplam yağış ve saatlik yağışları içerir.
- Hydrological Simulation Program - FORTRAN (HSPF): Gelişimine 1980´lerde başlamıştır ve halen mevcut olan en kapsamlı, esnek havza hidrolojisi ve su kalitesi modellerinden biri olarak kabul edilmektedir. Hem nokta hem de nokta kirlilik kaynakları dahil olmak üzere, yüzey, toprak ve akarsu süreçlerinin entegre bir bağlantısı

ile su havzasında hem hidrolojik / hidrolik hem de su kalitesi süreçlerinin sürekli ve dinamik fırtına olaylarını simüle edebilen birkaç modelden biridir. HSPF, hem düzenleyici hem de planlama uygulamalarını destekleyen su kalitesi modellemesi için avantajlar sunmaktadır.

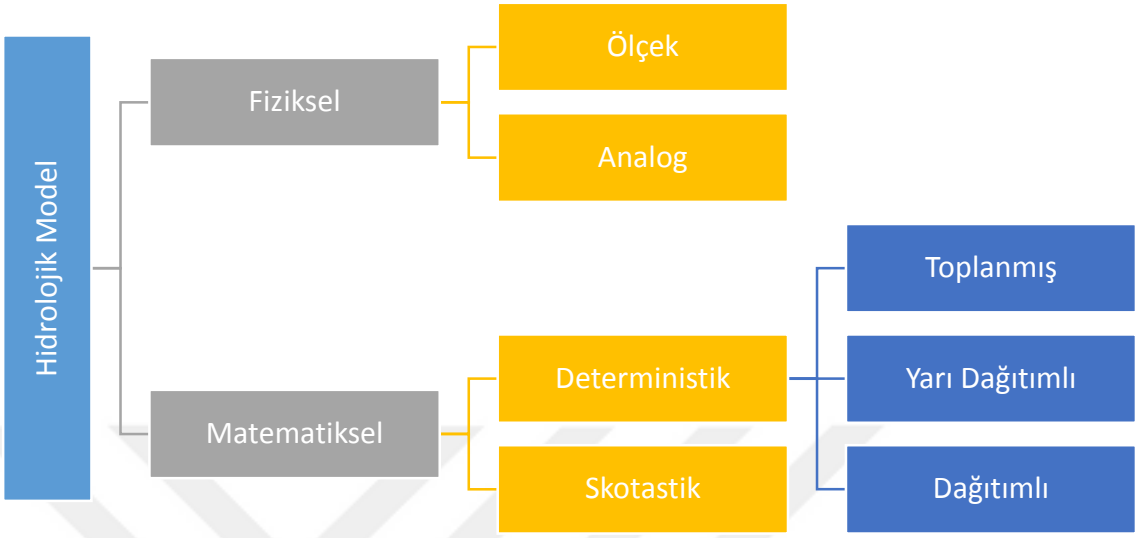
- HEC-HMS (Hydrologic Engeneering Center – Hydrologic Modelling System) Model: Hidrolojik Modelleme Sistemi (HEC-HMS), dendrtik (yani, havzadaki nehir ağı, bir ağaca benzer şekilde dallanma biçimindedir) havza sistemlerinin tam hidrolojik süreçlerini simüle etmek için tasarlanmıştır. Yazılım, toprak sızması, birim hidrograf ve hidrolojik yönlendirme gibi birçok geleneksel hidrolojik analiz prosedürünü içerir. HEC-HMS ayrıca, evapotranspirasyon, kar erimesi ve toprak nemi muhasebesi dahil olmak üzere sürekli simülasyon için gerekli prosedürleri içerir. Lineer yarı dağılımlı akış dönüşümünü (ModClark) kullanan ızgara bazlı akış simülasyonu için gelişmiş özellikleri de bünyesinde bulundurmaktadır.
- LBRM (The Large Basin Runoff Model) Model: Büyük Havza Akış Modeli (LBRM), 1980´lerde Büyük Okyanus Havzası´nda hidrolojik simülasyonlar ve su kaynakları uygulamaları gerçekleştirmek için Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) ve Great Lakes Çevre Araştırma Laboratuvarı (GLERL) tarafından geliştirilmiştir.

2.5. Hidrolojik Model Tipleri

Hidrolojik modeller, entegre su kaynakları planlama ve yönetimi için sürdürülebilir çözümler sağlamada yaygın olarak kullanılan gerçek hidrolojik döngünün basitleştirilmiş sunumlarıdır. Hidrolojik modeller, yeteneklerine ve sınırlamalarına göre sınıflandırılabilir. Chow *et al.* (1988)´a göre hidrolojik modeller, fiziksel ve soyut (matematiksel) olmak üzere iki geniş kategoriye ayrılabilir (Şekil 2.3). Fiziksel temelli bir model, havzanın fiziksel sürecini içeren gerçek olgunun matematiksel olarak idealleştirilmiş bir gösterimidir (Devia *et al.* 2015). Fiziksel modeller iki gruba ayrılabilir; ölçekli modeller ve analog modeller. Ölçek modeli, sistemin önemli yönleri arasındaki ilişkileri koruyan gerçek sistemin fiziksel bir temsilidir. Analog modeller,

çalışılmakta olan süreci temsil etmek için benzer yöntemlere dayanmaktadır (örneğin elektrik akışı su akışıyla aynı temel prensipleri takip eder).

Mantıksal programlama dilleri ve uzay ile zamandaki hidrolojik döngünün toprak fazını açıklamak için matematiksel kavramlar kullanılarak geliştirilen modellere soyut (matematiksel) modeller denir (Jajarmizadeh *et al.* 2012). Shaw *et al.* (2010) ve Chow *et al.* (1988), matematiksel bir modelin deterministik veya stokastik olarak sınıflandırılabileceğini söylemişlerdir. Deterministik modellerde sonuçlar, rastgele değişkenler göz önüne alınmadan, durumlar ve olaylar arasındaki bilinen ilişkilerle belirlenir. Başka bir deyişle, deterministik model tek bir girdi değeri için aynı çıktıyı üretecektir ve rastgeleliği hesaba katmayacaktır. Stokastik bir modelde ise, rastgele olan tek bir girdi seti için farklı çıktı değerleri üretilebilir. Cunderlik (2003), deterministik modellerin üç geniş kategoriye ayrılabileceğini belirtmiştir: toplanmış (Lumped), dağıtılmış ve yarı dağıtılmış modeller. Toplanmış modeller, tüm havzadaki ortalamaları temsil eden durum değişkenleriyle havzayı bir bütün olarak ele alır (Beven, 2001). Dağıtılmış modeller, havzanın hücrelere veya ızgara ağına bölündüğü ve su havzadan drene olana kadar bir hücreden diğerine aktığı kabulü ile yerel ortalamaları temsil eden durum değişkenlerine sahiptir (Xu 2002). Arnold *et al.* (1998) dağıtılmış modellerin genellikle parametreleştirme için geniş miktarda veri gerektirdiğini belirtmiştir. Ayrıca, Geethalakshmi *et al.* (2008) veri eksikliği nedeniyle hidrolojik havzaların tam olarak anlaşılmasının tamamen dağıtılmış modellerle elde edilemeyeceğini belirtmiştir. Bununla birlikte, toplanmış modeller, arazi kullanımını ve hidrolojik sürecin mekansal değişkenliğini hesaba katmamaktadır (Ghaffari 2011). Her iki mekansal temsil türünün bazı avantajlarına sahip olan bir modele yarı dağıtılmış model denir. Yarı dağıtılmış model kısmen, havzanın alt havzalara bölünmesiyle alandaki çeşitliliği açıklar. Bu model, toplanmış modelle karşılaştırıldığında fiziksel olarak daha temellidir, ancak tam olarak dağıtılmış modelden daha az veri gerektirir (Jajarmizadeh *et al.* 2012). Bu model kategorisi ayrıca olaya dayalı ve sürekli hidrolojik modellere ayrılabilir. Olay temelli modeller, nispeten kısa bir süre için tek bir hidrolojik olayı (örneğin fırtına, sel, toprak nemi) hesap ederken, sürekli hidrolojik modeller çok sayıda durum değişkenini (örn. toprak nemi, yüzey depolaması) daha uzun süre için simüle eder (Samandy 2017).



Şekil 2.3. Hidrolojik Modellerin Sınıflandırılması (Samandy 2017)

2.6. HEC-GeoHMS

2.6.1. Genel bakış

Son yıllarda, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) alanındaki ilerlemeler, havza sistemlerinin hidrolojik modellemesini geliştirmek için birçok olanak sunmuştur. Kamu kurumlarının, ticari satıcıların ve özel şirketlerin internet üzerinden mekânsal bilgileri paylaşıma açmasıyla, CBS´nin hidrolojik modelleme ile entegrasyonu kolaylaşmış bunun neticesi olarak hidrolojik süreçler güçlü mekansal algoritmalar ile birleştirilmiş ve havzaları incelemek için uygun maliyetli bir alternatif ortaya çıkmıştır. Toplanmış (Lumped) ve dağıtılmış hidrolojik parametrelerin gelişimi için mekânsal analiz gerçekleştirme yeteneği, sadece zaman ve emek tasarrufu sağlamakla kalmaz, aynı zamanda geleneksel yöntemlere göre doğruluğu da artırır. Buna ek olarak CBS, hidrolojik modellemede radarlarla ölçülen yağışların kullanımını artırmak ve havzanın bir ızgara seviyesinde modellenmesi için ileri mekânsal analiz teknikleriyle geliştirilmiştir. Izgara temelli modellemede yağış ve infiltrasyon, geleneksel havza ortalama yöntemlerinden daha fazla ayrıntı sağlayacak şekilde hesaplanabilir. Bu ileri modelleme teknikleri, zaman

alıcı veri manipülasyonlarını mekansal operasyonlar kullanılarak verimli bir şekilde üretebildiği için mümkün hale gelmiştir. Örneğin, havza ortalamasını veya ızgara tabanlı parametreleri hesaplamak için mekânsal bilgi katmanlarını gerçekleştirme olanağı, hidrolojik parametrelerin hesaplanması için çok önemlidir.

HEC-GeoHMS, sınırlı CBS tecrübesi olan mühendisler ve hidrologlar için bir jeo-uzamsal hidroloji araç takımı olarak geliştirilmiştir. Program mekansal bilgilerin görselleştirilmesine, su havzası özelliklerinin belirlenmesine, mekansal analizlerin gerçekleştirilmesine, alt havzaların ve akışların tanımlanmasına, hidrolojik modeller için girdi oluşturulmasına ve rapor hazırlanmasına olanak tanımaktadır. HEC-GeoHMS ile HEC-HMS de doğrudan kullanılabilecek hidrolojik girdiler oluşturulabilir (HEC-GeoHMS Kullanıcı Klavuzu, 2013).

2.6.2. HEC-GeoHMS teknik kabiliyetleri

Hidrolojik modeller, büyük havzalar üzerinde hidrolojik parametrelerin ortalamasının yapıldığı geleneksel yaklaşımdan ziyade daha ayrıntılı olarak alt havzalarla temsil edilerek geliştirilebilir. Radar yağışlarının ve mekansal verilerin mevcudiyeti ile daha küçük alt havza alanları veya havzanın bir ızgara sistemi kullanarak temsil edilmesiyle hidrolojik modellemede daha ayrıntılı bir sunum gerçekleştirilebilir. HEC-GeoHMS her iki modelleme yaklaşımının ihtiyaçlarını karşılamak için tasarlanmıştır (HEC-GeoHMS Kullanıcı Klavuzu, 2013).

HEC-GeoHMS, HEC-HMS tarafından bir hidrolojik model geliştirmek için kullanılabilecek arka plan harita dosyaları, havza model dosyaları, meteorolojik model dosyaları ve ızgara hücrelerine ait parametre dosyalarını oluşturur. Havza model dosyası hidrolojik elemanlar ve bunların hidrolojik bağlantılarını, topografik özellikler kullanılarak tahmin edilebilecek alt havza alanlarını ve diğer hidrolojik parametreleri içermektedir. Hidrolojik parametrelerin tahmin edilmesine yardımcı olmak için HEC-GeoHMS nehirlerin ya da kuru derelerin ve bunlara ait alt havzaların fiziksel özelliklerini içeren tablolar oluşturabilir (HEC-GeoHMS Kullanıcı Klavuzu, 2013).

HEC-GeoHMS Versiyon 10.2´deki özellikler, kullanıcının Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) haritalarını Albers-Equal Area, Universal Transverse Mercator (UTM), Transverse Mercator, Lambert ve State Plane Coordinate System dahil olmak üzere bir dizi koordinat sisteminde ve projeksiyonunda analiz etmesini sağlar. Ayrıca kullanıcıların akış ağının araziye uygulanması için daha karmaşık bir "yakma" tekniğini kullanmasına da izin verir. Bu, akış ağlarını ve havza sınırlarını daha iyi belirlemek için sıralı bir dizi işlem olarak gerçekleştirilir. Hidrolojik parametre tahminiyle ilgili olarak HEC-GeoHMS kullanıcıya bazı hidrolojik parametrelerin başlangıç değerlerini tahmin etmede yardımcı olacak araçlar da içerir.

2.6.3. Program özellikleri

HEC-GeoHMS 10.2, Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI) firmasının bir ürünü olan ArcGIS 10.2 eklentisidir. Bu eklentinin ArcGIS´de çalışması için ArcGIS´in Spatial Analist araç kutusuna sahip olması gerekmektedir. Aşağıda belirtilen program özellikleri, HEC-GeoHMS´nin işlevselliği ve kullanım kolaylığını göstermektedir.

2.6.3.a. Veri yönetimi

Hec-GeoHMS, kullanıcının programdan türetilen CBS verilerini yönetmesine yardımcı olan bir dizi yönetim görevi gerçekleştirir. Veri yönetimi özelliği, tematik CBS veri katmanlarını ve isimlerini kullanıcı için büyük ölçüde şeffaf bir şekilde izler. Belirli bir işlemi gerçekleştirmeden önce, veri yöneticisi operasyon için uygun tematik veri girişlerini sunacak ve onay için kullanıcıyı yönlendirecektir. Diğer zamanlarda, veri yönetimi özelliği çeşitli projelerin yerlerini yönetir ve ayrıca hata kontrolünü ve tespitini gerçekleştirir (Yener 2006).

2.6.3.b. Arazi önişlemleri

HEC-GeoHMS arazi verilerini (örn. Sayısal yükseklik modeli (SYM)) giriş olarak kullanarak arazi önişleme ve akarsu ağlarını türetmek için bir dizi adımdır. Adım adım veya toplu olarak arazi ön işlenmesini sağlar. Adım adım gerçekleşen süreçte, kullanıcı genellikle çıktıları inceleme ve veri kümesine uygun şekilde düzeltme yapma olanağına sahiptir. Toplu işlem, arazinin ön işlemesinin katılımsız olarak gerçekleştirilmesine izin verecektir.

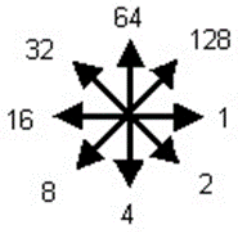
Aşağıda anlatılan CBS algoritmalarını uygulayarak, arazi, her işlemden sonra veri kümelerinin türetildiği adım adım gerçekleştirilebilecek bir süreçte işlenebilir. Sonuçlar üzerinde daha fazla kontrol mümkündür çünkü kullanıcı sonuçları doğrular ve ilerlemeden önce karar verebilir.

- **Fill Sink:** Çukursuz SYM, çukur hücrelerinin yüksekliğinin çevresindeki arazinin seviyesine çıkartılmasıyla oluşturulur. Çukurlar genellikle SYM´de hata olarak kabul edilir. Örneğin, üçe üç hücreli bir grupta, merkez hücre sekiz komşu hücreye kıyasla en düşük yüksekliğe sahipse, merkez hücrenin yüksekliği bir sonraki en düşük hücreye eşit şekilde artacaktır. Çukurlukları doldurmak suyun arazi boyunca akmasına izin verir. Bu varsayım, genellikle büyük bir fırtına olayının küçük çöküntüleri doldurması ve çukurluklara akan herhangi bir artan su miktarının çukurlukları aştığı zaman da geçerlidir.

Hidrolojik olarak düzeltilmiş SYM, alt havzaların ve akarsu ağlarının tanımlanması için başlangıç noktası olarak kullanılır. Adım adım yaklaşımla, her adım çıktı ızgarasını veya vektör katmanını üretmek için kullanılacak girişlerin bir listesini sunan programla başlar. Adım adım prosedür sıralı olarak gerçekleştirilirse, program otomatik olarak işleme için doğru veri girişini sunacaktır. Bazı durumlarda, belirli adımlar tekrarlandığında veya sırayla gerçekleştirildiğinde, yapılacak işlem için girdi olarak kullanılan veri setlerinin kullanıcı tarafından doğrulanması yapılacak işlemlerin doğruluğu için önemlidir.

- **Flow Direction**: Bu adım, her bir arazi hücresi için en dik iniş yönünü tanımlar. Bir pusula gibi, sekiz noktalı döküm algoritması aşağıdaki sekiz olası yönü belirtir:

1=Doğu, 2=Güneydoğu
4=Güney, 8=Güneybatı
16= Batı, 32=Kuzeybatı
64=Kuzey, 128=Kuzeydoğu



- **Flow Accumulation:** Bu adım, belirli bir hücreye membasından drene olan hücre sayısını belirler. Belirli bir hücrede memba drenaj alanı, akış biriktirme değerinin ızgara hücre alanı ile çarpılmasıyla hesaplanabilir.
- **Stream Defination:** Bu adım, tüm hücreleri kullanıcı tarafından tanımlanan eşikten daha büyük bir akış birikimiyle akış ağına ait hücreler olarak sınıflandırır. Kullanıcı tarafından belirlenen eşik, kilometrekare veya hücre sayısı cinsinden alan olarak belirtilebilir. Belirli bir hücre için akış birikimi, başlatılacak bir akış için kullanıcı tanımlı eşiği geçmelidir. Varsayılan değer, tüm SYM´deki en büyük drenaj alanının yüzde 1´idir (%1). Seçilen eşik ne kadar küçükse, bir sonraki adımda tanımlanan alt havzaların sayısı o kadar fazladır.
- **Stream Segmentation:** Bu adım, akış ızgarasını bölümlere ayırır. Akış bölümleri veya bağlantılar, iki ardışık kavşağı, bir kavşağı ve bir çıkışı veya bir kavşağı ve drenaj bölmesini bağlayan bir akışın bölümleridir.
- **Catchment Grid Delination:** Bu adım, her nehir segmenti için bir alt havza tanımlar.
- **Catchment Poligon Processing:** Bu adım, önceki adımda hesaplanan havza ızgarasını kullanarak bir alt havza vektör tabakası oluşturur.
- **Drainage Line Processing:** Bu adım bir vektör nehir katmanı oluşturur.
- **Adjoint Catchment Processing:** Bu adım, her bir nehir kesişiminde alt havzaların membalarını birleştirir. Bu etkileşimli olarak tanımlanan alt havzalarda hesaplama performansını geliştirmek gerekli bir adımdır ve bir HEC-GeoHMS projesini

tanımlarken veri çıkarımını geliştirmek için gerçekleştirilir. Bu adımın herhangi bir hidrolojik önemi yoktur.

Proje Kurulumu menüsü, bir HEC-HMS projesi oluşturmak için gerekli bilgileri geliştirmek için kullanılacak olan verilerin çıkarılmasından sorumludur. Bu bilgilerin çıkarılmasına yönelik yaklaşım, havza mansabında bir çıkış noktasının belirlenmesini içerir. Havza çıkış noktası tanımladıktan sonra, HEC-GeoHMS, çıkış noktasının üstündeki drenaj alanı için arazi ön işleme araçlarını kullanarak oluşturulan veri kümelerinden verileri çıkaracaktır. Daha sonra HEC-GeoHMS, alt havza ve nehir tanımlamalarını iyileştirmek, alt havza ve nehirlerin fiziksel özelliklerini çıkarmak, model parametrelerini tahmin etmek ve HEC-HMS için girdi dosyaları hazırlamak için kullanılabilir.

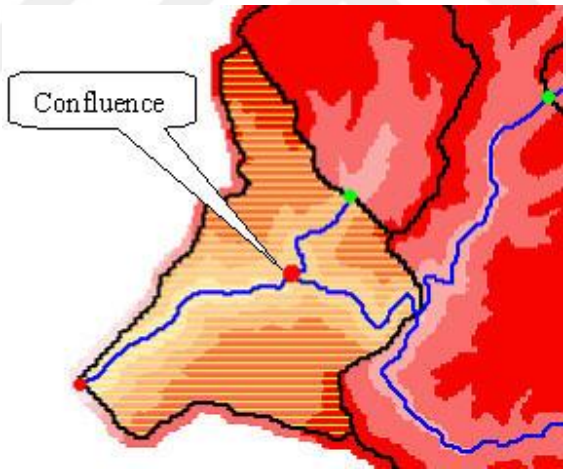
2.6.3.c. Havza işlemleri

Arazi ön işlemesi tamamlandıktan ve yeni bir proje oluşturulduktan sonra, Havza İşleme menüsü alt havza tanımlamalarını revize etmek için kullanılabilir. Alt havza ve nehir rota tanımlamalarının özelleştirilmesi, bilginin gerekli olduğu, örneğin akım gözlem istasyonlarının (AGİ) konumu, taşkın hasar merkezlerini, çevresel endişeler ile hidrolojik ve hidrolik kontrol noktalarını içermelidir. Havza işleme araçları kullanıcının alt havzaları etkileşimli olarak birleştirmesine veya daha özel olarak parçalamasına olanak tanır.

- **Basin Merge:** Havza İşleme menüsünün altında, Havza Birleştirme menü öğesi, birden fazla alt havzayı birlikte bir alt havzaya birleştirir. Bu araç, işlemin sonucunu onaya sunarak kullanıcı için işlemi kabul etme veya iptal etme olanağı sağlar.
- **Basin Subdivision:** Bir havza Alt Havza Bölme aracıyla alt bölümlere ayrılabilir. Bir alt havza, mevcut veya mevcut olmayan akış ağına göre bölünebilir.
- **River Merge:** Alt havzalar birleştirildiğinde veya daha küçük parçalara ayrıldığında, genellikle nehir segmentleri oluşturulur. Örnek olarak, iki alt havzanın bir alt havzaya birleştirilmesi sonucu alt havzada birden çok nehir parçasına neden olabilir.

Bir HEC-HMS projesi oluştururken, bu iki bölüm ayrı yönlendirme erişimi olarak ele alınacaktır. Kullanıcı birden fazla erişimle yönlendirmeyi modellemek isterse, kullanıcının her iki erişim için de yönlendirme parametrelerini geliştirmesi gerekecektir. Bununla birlikte, kullanıcı yönlendirmeyi tek bir erişim ile modellemeyi planlıyorsa, kullanıcının her iki akış segmentini birleştirmesi gerekecektir.

- **River Profile:** Nehir profili aracı, eğim noktalarını seçmek için yararlı olabilecek eğimler ve dereceli kırılmalar hakkında bilgi sağlar. Nehir profili, arazi modeli boyunca arazi modelinden yükseklik değerlerinin çıkarılmasıyla oluşturulur. Nehir profilleri Nehir Profili aracı kullanılarak oluşturulabilir.
- **Split Basin at Confluences:** Kesişim Noktasından Havza Ayırma aracı, kullanıcının tüm kesişimlerde bir alt havzayı alt gruplara ayırmasına izin verir. Şekil 2.4´de gösterilen durum için, Alt Havza Bölme aracı yerine bu araç kullanılmalıdır.



Şekil 2.4. Kesişim noktasına göre alt havza bölme

- **Import Batch Points:** Mevcutta varsa havzaya ait özel konumların (AGİ konumları, meteorolojik ölçüm istasyonlarının konumları vb.) havza üzerinde tanımlanmasıdır.
- **Delineate Batch Point:** Halihazırda havzaya ait özel konumlar yoksa manuel olarak belirlenmesidir.

2.6.3.d. Nehir ve alt havza karakteristikleri

HEC-GeoHMS, hidrolojik parametreleri tahmin etmek için kullanılabilecek nehirlerin ve alt havzaların çeşitli topografik özelliklerini hesaplar. Kullanıcı, hidrolojik parametreleri tahmin etmeden önce fiziksel özellikleri literatürdeki yayınlar ile karşılaştırmalı ve doğrulamalıdır. Nehir ve alt havza fiziksel özellikleri, bir elektronik tablo ve diğer programlar ile gerektiği zaman kullanılmak üzere dışa aktarılabilen öznitelik tablolarında depolanır.

- **River Length:** Bu adım, nehir tabakasında seçilen veya tüm yönlendirme için ulaşılan nehir uzunluğunu hesaplar. Nehir katmanının öznitelik tablosuna "RivLen" adlı bir alan eklenir ve değerler ile doldurulur. "RivLen" birimleri SYM birimlerinden alınır.
- **River Slope:** Bu adım, bir nehir erişiminin memba ve mansap yönünde yükselmesine bağlı eğimi hesaplar. Memba ve mansap yönünde yükseklik ve eğim, nehir tabakasının öznitelik tablosuna "ElevUP", "ElevDS" ve "Slp" sütunlarıyla eklenir.
- **Basin Slope:** Bu işlev, havzadaki ortalama havza eğimini hesaplar. Eğer hesaplanırsa, bu CN Lag (Curve Number) gecikme zaman parametresinin hesaplanması için kullanılır (Parametreler menüsü altında bulunur). Havza eğimi, her bir alt havza için bir eğim ızgarasındaki değerlerin ortalaması alınarak belirlenir. Eğim ızgarası, Arc Hydro Tools araç çubuğundaki Slope aracı kullanılarak oluşturulabilir.
- **Longest Flowpath:** En Uzun Akış Yolu aracı en uzun akış uzunluğu, memba yüksekliği, mansap yüksekliği ve uç noktalar arasındaki eğim gibi bir dizi fiziksel özelliği hesaplar. Bu özellikler en uzun akış yolu katmanında saklanır. Bu katmanın özellik tablosu aşağıdaki alanları içerir:

  -DrainID: İlişkili alt havzanın hidro ID´sidir

-LengthDown: En uzun akış yolunun başlangıcından alt havza çıkışına kadar olan uzunluk

-LongestFL: En uzun akış yolunun uzunluğu

-Slp: En uzun akış yolunun eğimi

-ElevUP: En uzun akış yolunun memba yüksekliği

-ElevDS: En uzun akış yolunun mansap yüksekliği

-Elev10: En uzun akış yolu uzunluğunun yüzde 10´unda yükseklik

-Elev85: En uzun akış yolu uzunluğunun yüzde 85´inde yükseklik

-Slp1085: En uzun akış yolu uzunluğunun yüzde 10 ve 85´inde bulunan noktalar arasındaki en uzun akış yolunun eğimi

- **Basin Centroid:** Havza merkez aracı, her bir alt havzanın geometrik merkezinin belirlenmesi için kullanılan bir araçtır.
- **Centroid Elevation:** Bu işlem, bir SYM kullanarak her bir merkez noktası için yüksekliği hesaplar. Yükseklikler, merkez katmanının öznitelik tablosunda saklanır.
- **Centroidal Longest Flow Path:** Bu adımda merkezi en uzun akış yolu alt havzanın merkezine en yakın en uzun akış kolu üzerindeki bir noktadan başlanarak hesaplanır ve bulunan uzunluk değerleri HEC-HMS hidrolojik modelinde kullanılmak üzere öznitelik tablosuna işlenir

2.6.3.e. Hidrolojik parametre tahminleri

Nehirlerin ve alt havzaların fiziksel özelliklerinin çıkarılmasından sonra, kullanıcılar bir dizi hidrolojik parametreyi tahmin etme olanağına sahiptir. Parametreler, toprak ve arazi kullanım veri tabanlarını kullanarak alt havza ortalama ve ızgara tabanlı değerler olarak tahmin edilebilir. Havza geçiş süresi ve Muskingum-Cunge yönlendirme parametreleri gibi diğer hidrolojik parametreler, arazi, araştırma verileri ve yağış verisinden elde edilebilir.

Program kayıp yöntemleri, Muskingum-Cunge ve kinematik dalga yönlendirme parametreleri, alt havza geçiş süresi ve alt havza gecikme süresi için bir dizi

parametrenin tahmin edilmesinde yardımcı olabilir. Parametreler menüsündeki araçlar alt havza ve nehir katmanları için öznitelik tablolarını dolduracaktır. Bu bilgi, HEC-GeoHMS tarafından oluşturulan HEC-HMS model dosyasında yer alacaktır, böylece modelin parametrelendirilmesi sırasında kullanıcı zamanından tasarruf edilecektir. Kullanıcı, bu tahmini hidrolojik parametreleri yayınlanan bilgilerle karşılaştırmalı ve doğrulamalıdır. CBS veri kaynakları kullanılarak hesaplanan parametre değerleri, ilk tahminler olarak değerlendirilmelidir. Model parametrelerini iyileştirmek için HEC-HMS modelinin kalibrasyonu ve validasyonu kullanılmalıdır.

- **Selecet HMS Processes:** Bu araç, kullanıcıların çalışmada kullanılacak HEC-HMS modelleme yöntemlerini seçmesine izin verir. Bu bilgi alt havza ve nehir katmanları için öznitelik tablolarında kaydedilir ve HEC-GeoHMS tarafından oluşturulan HEC-HMS proje dosyalarına dahil edilir.
- **River Auto Name:** Bu işlem nehirleri membadan mansaba doğru sırayla adlandırır. Adlandırma kuralı, "R" harfini ve bir sayıyı birleştirir. Örneğin, membadaki nehir R500 ile başlar ve daha sonra R490, R480, R470, vs. mansap yönünde ilerleyerek gelir. Bu aracın amacı, elemanları hızlıca adlandırmaktır. Kullanıcı, varsayılan adları daha açıklayıcı bir adla değiştirilebilir.
- **Basin Auto Name:** Bu işlem alt havzaları membadan mansaba doğru sırayla adlandırır. Adlandırma kuralı, "W" harfini ve bir sayıyı birleştirir. Örneğin, membadaki alt havza, W500 ile başlar ve daha sonra W490, W480, W470, vb. mansap yönünde ilerleyerek gelir. Bu aracın amacı, hızlı bir şekilde alt havzaları adlandırmaktır. Kullanıcı, varsayılan adları daha açıklayıcı isimlere değiştirilebilir.
- **Grid Cell Processing:** Izgara Hücre İşleme aracı kullanıcı sadece, radar yağışları ve ızgaralı kayıp yöntemleri gibi ızgaralı yağış kullanmayı planlıyorsa kullanılmalıdır. Yağış verileri veya varsayımsal fırtınalar kullanılıyorsa bu araç gerekli değildir. Izgara hücre işleme aracı havzanın ızgara tabanlı bir temsilini oluşturur. Bu araç, kullanıcı alt havza isimlerini değiştirdikten sonra kullanılmalıdır.
- **Subbasin Parameters from Raster:** Bu araç bir raster katman üzerinde çalışır ve her bir alt havza için ortalama hidrolojik parametreleri hesaplar. Bu araç HEC-HMS´de kayıp yöntemleri için ilk parametre tahminlerini hesaplamak için kullanılabilir.

- **Subbasin Parameter from Features:** Bu işlev poligonlar üzerinde çalışır ve her bir alt havza için ortalama hidrolojik parametreyi hesaplar. Alt havza katmanın öznitelik tablosu, hesaplanan ortalama parametre değerleri ile doldurulur. Özellikler aracından alt havza parametreleri kullanılmadan önce, kullanıcı parametre özelliği katmanını HEC-GeoHMS projesi coğrafi veri tabanına aktarmalı ve her özelliğe benzersiz kimlikler atamalıdır. Parametre özellik katmanı, HEC-GeoHMS projesiyle aynı harita projeksiyonunda olmalıdır.
- **Muskingum-Cunge and Kinematic Wave Parameters:** Bu araç Muskingum-Cunge ve Kinematik Wave yönlendirme parametrelerinin manuel olarak girilmesini kolaylaştırır.
- **Time of Concentration:** Havza geçiş süresi Süresi, Doğal Kaynak Koruma Hizmeti (NRCS) TR-55 metodolojisine göre tahmin edilir.

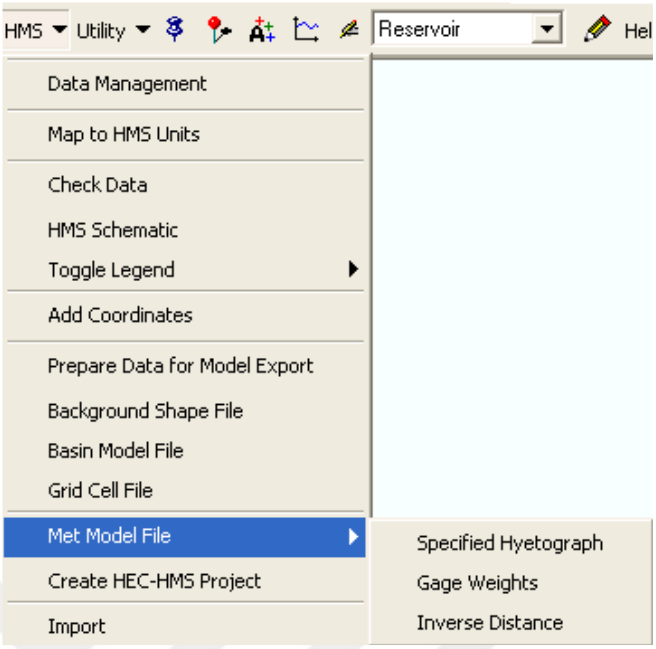
2.6.3.f. Hidrolojik model sistemi

HEC-GeoHMS, HEC-HMS için arka plan dosyaları, havza modeli dosyası, ızgara-hücre parametre dosyası ve meteorolojik model dosyaları gibi bir dizi hidrolojik girdi geliştirir. Aşağıda HEC-HMS model dosyalarının nasıl üretildiği anlatılacaktır.

- **Map to HMS Unit:** Bu adım, nehir ve alt havzaların fiziksel özelliklerini, kullanıcı tarafından seçilen bir birim sistemine dönüştürür. Kullanıcı harita birimlerini İngiliz veya Uluslararası Sistem (SI) birimlerine dönüştürme seçeneğine sahiptir.
- **HMS Data Check:** Bu adım, modelin hidrolojik yapısının tutarlılığı için veri kümelerini kontrol eder. Örneğin, program nehir adlarına ve alt havzalara yönelik aynı adların kullanılıp kullanılmadığını kontrol eder. Buna ek olarak, program alt havzalarda nehir ağlarının bağlanmasını ve alt havza merkezlerinin varlığını kontrol eder. Bu, hidrolojik eleman isimlerinin ve hidrolojik eleman bağlantılarının yerleştirilmesi için gereklidir. Genel olarak, program akış segmentleri, alt havzalar ve çıkış noktaları arasındaki ilişkiyi takip eder.
- **HEC-HMS Basin Shematic:** HMS havza şeması, HEC-HMS modelinin CBS temsilidir. Bu araç, HEC-HMS model elemanlarını içeren ve bağlantılarını gösteren

basit bir hidrolojik ağ oluşturacaktır. Bu adım, hidrolojik bağlantıyı gösteren bir HMS katmanı, alt havza ve akarsu birleşim konumlarını gösteren HMS düğümü katmanını oluşturur. Alt havzaların düğüm konumları alt havzanın merkezine yerleştirilir.

- **HMS Legend:** Bu araç, HMS Düğümü ve HMS Bağlantısı katmanlarındaki nokta ve çizgi özelliklerini temsil etmek için HEC-HMS öğesi simgelerini kullanır. Kullanıcı, HMS Legend ve Regular Legend arasında geçiş yapma seçeneğine sahiptir.
- **Add Coordinates:** Bu adım, coğrafi koordinatları HMS Düğümü ve HMS Bağlantısı katmanlarındaki özelliklere ekler. Koordinatlar, özellik tablolarına eklenir. Koordinatların eklenmesi, CBS verilerinin tescilli olmayan bir ASCII formatına aktarılmasını sağlar ve yine de jeo-spatial bilgiyi korur.
- **Prepare Data for Model Export:** Bir HMS havza modeli dosyası, hidrolojik elemanları, bunların bağlanabilirliklerini ve ilgili parametreleri içeren hidrolojik veri yapısını içerir. HEC-GeoHMS, hidrolojik parametrelerin bir kısmını HMS havza model dosyasına ihraç edebilir; ancak kullanıcı HEC-HMS´ye aktarıldıktan sonra havza modelini parametreleştirmeyi bitirmelidir.
- **Background Shape File:** Arka plan şekil dosyaları, alt havza sınırlarını ve nehir özelliklerinin coğrafi bilgilerini depolar.
- **Basin Model File:** Havza modeli hidrolojik elemanları, bunların bağlantılarını ve ilgili coğrafi bilgileri bir HEC-HMS projesine yüklenebilen bir ASCII metin dosyasında depolar.
- **Grid-Cell File:** Bu araç, HEC-HMS´nin ızgara yağışlar, ızgara kayıp metodu veya ModClark yağış-akış dönüşümü yöntemini kullanması için ihtiyaç duyduğu ızgara hücre parametre dosyasını üretir.
- **Meteorologic Model:** HEC-GeoHMS´de meteorolojik model dosyaları oluşturmak zorunlu bir adım olmamasına rağmen Gage Weight ve Inverse Distance yöntemleri ile meteorolojik model oluşturulabilir. HEC-GeoHMS, Şekil 2.5´de gösterildiği gibi meteorolojik bir model oluşturmak için üç seçenek içerir. Bu model seçenekleri bir meteorolojik model dosyası (* .met uzantısı) ve bir gage dosyası (* .gage uzantısı) oluşturur. Gage dosyası meteorolojik model tarafından kullanılan yağış istasyonları listesi içerir.



Şekil 2.5. Meteorolojik model oluşturma seçenekleri

- **Create HEC-HMS Project:** Bir HEC-HMS projesi oluşturmak için Create HEC-HMS Projesi aracının kullanılması isteğe bağlıdır. Create HEC-HMS Project aracı bir alt dizin oluşturur ve bu alt dizine HEC-GeoHMS tarafından oluşturulan tüm HEC-HMS proje dosyalarını kopyalar. Bu havza, meteorolojik, gage, ızgara hücresi ve arka plan harita dosyalarını içerir. Ayrıca, HEC-HMS proje bilgilerini içeren * .HMS dosyasını oluşturur.

2.7. HEC-HMS

HEC-HMS (Hydrologic Engeneering Center-Hydrologic Modelling System), hidrolojik modelleme için U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center tarafından geliştirilen bir bilgisayar yazılımıdır. Dendtrik havzalardaki (yani, havzadaki nehir ağı, bir ağaca benzer şekilde dallanma biçimindedir) yağış-akış süreçlerini simüle etmek için tasarlanmıştır. Büyük nehir havzaları veya küçük şehir havzaları için kullanılabilir. Program tarafından üretilen hidrograflar, su mevcudiyeti, kentsel drenaj, akış tahmini, gelecekteki kentleşme etkisi, rezervuar dolu savak tasarımı, sel tahribatı azaltma, taşkın yatağı düzenlemesi ve sistem işletme çalışmaları için kullanılabilir.

Program, birçok farklı su havzasını temsil edebilen genelleştirilmiş bir modelleme sistemidir. Su havzası modeli, hidrolojik döngüyü yönetilebilir parçalara ayırarak ve ilgili havza etrafında sınırlar oluşturarak inşa edilmiştir. Döngüdeki herhangi bir kütle veya enerji akışı matematiksel bir model ile temsil edilebilir. Çoğu durumda, her bir akımı temsil etmek için birkaç model seçeneği mevcuttur. Programda yer alan her matematiksel model, farklı ortamlarda ve farklı koşullar altında uygundur. Doğru seçimi yapmak, havza hakkında bilgi, hidrolojik çalışmanın amaçları ve mühendislik yargısını gerektirir.

Program, veri tabanı, veri girişi yardımcı programları, hesaplama motoru ve sonuç raporlama araçlarını içeren tamamen entegre bir çalışma ortamına sahiptir. Grafiksel kullanıcı ara yüzü, programın farklı bölümleri arasında kesintisiz harekete izin verir.

HEC (Hydrologic Engineering Center) ilk olarak 1968´de HEC-1 programını çıkarmıştır. 1980´lerde HEC-1´e ilave olarak daha detaylı hidrolik analizler yapabilen HEC-2 programı çıkarılmıştır. Programdaki veri depolama sistemi, HEC-1´de oluşturulan zaman serilerini HEC-2´ye aktarmaya olanak sağlamıştır (Scharffenberg *et al.* 2009).

1991´de başlatılan "NexGen" adlı araştırma ve geliştirme projesi kapsamında HEC-1´in kullandığı FORTRAN yazılım dili C++ diline taşınmıştır. Bu yeni yazılım diliyle birlikte HEC-HMS Versiyon 1.0 ortaya çıkmıştır. Bu yeni versiyon hala olay bazlı olmasına rağmen yeni dili çok uzun hidrograflara olanak sağladığı için birkaç günlük simülasyonlar yapılabilmektedir. Versiyon 2.0´de kullanıcının kayıp metodu seçimine bağlı olarak olay bazlı ya da sürekli simülasyonlar yapılmaya başlanmıştır. İşletim sistemleri C++ yerine Java programlama dilini desteklemeye başladığında bir kez daha programda dil değişikliğine gidilmiştir ve sonucunda Versiyon 3.0 çıkmıştır. Son olarak 2010´da sedimantasyon ve su kalitesi simülasyonlarındaki geliştirmelerle Versiyon 4.0 oluşturulmuştur (Scharffenberg and Park 2009).

HEC-HMS yağış, sızma, yüzey akışı, yeraltı akışı ve rezervuar benzetimlerini bir araya getirerek kapsamlı hidrolojik döngü tanımlamayı sağlar. Döngü tanımlamasını gerçekleştirirken dört ana unsuru bünyesinde barındırması gerekmektedir. Bunlar; havza modeli, meteorolojik model, simülasyon zaman aralığı ile meteorolojik zaman serileri ve gerektiğinde eşleştirilmiş veri çiftleridir. HEC-HMS metotları çok hızlı ve otomatik olarak deneme fırsatı verir ve bu program üzerinde çalışanlara metotların manuel hesaplamaları yerine hidrolojik işleyişe odaklanmaları için fırsat sunar (Scharffenberg and Park 2009; Kacar 2017).

2.7.1. Havza modeli

Havza modeli bir HEC-HMS projesinin ana bileşenlerinden biridir. Havza modelinin temel amacı, atmosferik koşulları havzadaki belirli yerlerde akışa dönüştürmektir. Hidrolojik elemanlar havzayı yönetilebilir parçalara ayırmak için kullanılır. Akarsu sisteminin bir temsilini oluşturmak için bu elemanlar bir dendritik ağda birbirine bağlanırlar ve hesaplamalar membadan mansaba doğru ilerlemeli olarak gerçekleştirilir. Hidrolojik elemanlar Çizelge 2.1´de sunulmuştur.

Çizelge 2.1. HEC-HMS´deki Hidrolojik Elemanlar

Sembol	Eleman Adı	Tanımlama
	Alt Havza	Havzadaki yağış-akış hesaplamalarında kullanılan elemandır
	Erişim	Havza modelinde akarsu akışlarını mansaba iletmek için kullanılır
	Bağlantı	Alt havzalardan ve memba erişimlerinden gelen akışları birleştirmek için kullanılır
	Kaynak	Havza modeline, modellenen bölgenin sınırlarını dışından gelen bir akımdan akış sağlamak için kullanılır. Kaynak elemanının girişi yoktur ve çıkış kullanıcı tarafından tanımlanır
	Çıkış	Havza çıkışını temsil etmek için kullanılır.
	Rezervuar	Bir rezervuarın veya gözaltı havuzunun neden olduğu bir hidrografın belirlenmesi ve zayıflatılmasını modellemek için kullanılır
	Ayrım	Ana kanaldan akışın soyutlamasını modellemek için kullanılır

Tanımlanan alt havzalar genellikle akış girdisi olmayan ve yalnızca akış çıktısına sahip olan öğelerdir. Alt havzalar heterojen özellikteki havzaların doğru temsil edilmesini sağlar. Havza modelinde akım oluşturmanın yollarından biridir. Akışı oluşturmak için Çizelge 2.2´deki yöntemler uygulanır. Bu çalışmada seçilen yöntemler Çizelge 2.2´de koyu renkle gösterilmiştir.

Çizelge 2.2. HEC-HMS´de akım oluşturmak için kullanılan yöntemler

Hidrolojik Eleman	Hesaplama Tipi	Metot
Alt Havza	Üst Bitki Tabakası Tutması	Dynamic Canopy
		Gridded Simple Canopy
		Simple Canopy
	Yüzey Tutması	Gridded Simple Surface
		Simple Surface
	Kayıp	Deficit and Constant Loss
		Exponential Loss
		Green and Ampt Loss
		Gridded Deficit Constant Loss
		Gridded Green and Ampt Loss
		Gridded SCS Curve Number Loss
		Gridded Soil Moisture Accounting
		Initial and Constant Loss
		SCS Curve Number Loss
		Smith Parlange Loss
		Soil Moisture Accounting Loss
	Dönüşüm	**Clark Unit Hydrograph Transform**
		Kinematic Wave Transform
		ModClark Transform
		SCS Unit Hydrograph Transform
		Snyder Unit Hydrograph Transform
		User-Specified S-Graph Transform
		User-Specified Unit Hydrograph Transform
	Taban Akışı	Bounded Recession Baseflow
		Constant Monthly Baseflow
		Linear Reservoir Baseflow
		Nonlinear Boussinesq Baseflow
		Recession Baseflow

Çizelge 2.2´de sunulan hesaplama tipleri aşağıda sırasıyla tanımlanmaktadır.

Üst bitki tabakası tutması (kanopi), alt havzalara dahil edilebilen bileşenlerden biridir ve toprak yüzeyindeki bitkilerin varlığını temsil eder. Bitkiler yağışı durdurarak zemin yüzeyine ulaşan yağış miktarını azaltır. Fırtına yağışları sırasında buharlaşan suyu durdururlar. Bitkiler ayrıca, terleme ile topraktaki suyu tüketirler. Buharlaşma ve terleme terimleri genellikle evapotranspirasyon olarak birleştirilir. Kanopi yönteminin seçilmesi isteğe bağlıdır, ancak hidrolojik model çatısı altında sürekli simülasyon uygulamaları için kullanılmalıdır.

Yüzey tutması, alt havza öğesine dahil edilebilecek bileşenlerden biridir. Yüzeydeki çukurluklarda birikebilecek suyun yer yüzeyinde temsil edilmesini sağlar. Bir otopark gibi geçirimsiz bir yüzeyin çukurluk depolaması genellikle sıfıra yakındır. Ancak, bir tarım alanı için çukurluk depolama, toprak işleme için koruma uygulamaları kullanıldığında oldukça büyük olabilir. Yüzey tutması yoksa direk ya da kanopiden gelen yağış yüzeye etki eder. Net yağış yüzey tutma deposunda birikir ve toprak su kabul etme kapasitesine sahip olduğunda toprağa sızar. Yağış oranı sızma oranını aştığında yüzey akışı başlar ve yüzey depolama alanı doldurulur. Yüzey depolamada bulunan su yağış durduktan sonra sızabilir ve potansiyel evapotranspirasyona maruz kalır. Bir yüzey metodu seçmek isteğe bağlıdır ve genellikle sürekli simülasyon uygulamaları için kullanılır.

Bir alt havza elemanı kavramsal olarak sızmayı, yüzey akışını ve yüzeysel süreçleri birbirleriyle olan etkileşimleri ile temsil ederken, gerçek sızma hesaplamaları alt havzanın içinde yer alan bir kayıp yöntemi ile gerçekleştirilir. Bazı yöntemler öncelikli olarak belirli bir durumu (event) simüle etmek için kullanılırken bazıları sürekli simülasyonları gerçekleştirmek için tasarlanmıştır. Tüm yöntemler kütleyi korur. Yani, yüzeyde kalan sızma ve yağış toplamı, her zaman gelen toplam yağışa eşit olacaktır.

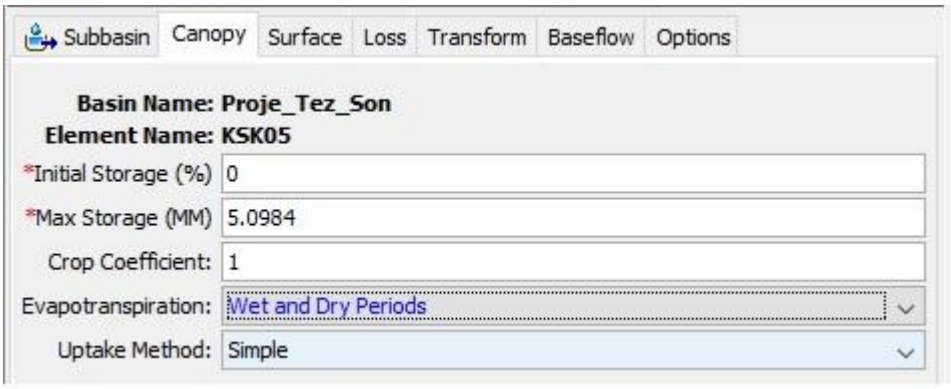
Havzalar yağışı akışa dönüştüren sistemlerdir. Yağmurlar veya kar erimesi sonunda meydana gelecek toplam akış hacminin bilinmesi ay, yıl gibi uzunca zaman aralıklarındaki akımların hesabı için gereklidir. Taşkınların ve kurak devrelerin incelenmesinde ise akımın zaman içindeki değişimini gösteren hidrografı bilmek gerekir (Bayazıt 1995). Hidrograflar alt havza içinde yer alan bir dönüşüm yöntemi ile gerçekleştirilir.

Taban akışı yer altı akışı ile yüzey altı akışının gecikmeli (akarsuya uzun bir zaman sonra ulaşan) kısmından meydana gelir. Yer altında hareket ettiğinden hızı çok yavaştır, akarsuya erişmesi uzun zaman alır. Buna karşılık akarsuyu sürekli olarak beslediği için yağışsız sürelerde akarsuyun başlıca beslenme kaynağı olur. Taban akışının katkısı önemli olan akarsular yıl boyunca kurumaz, bu akarsularda taşkın debisinin ortalama

debiye oranı fazla büyük değildir. Alt havza içinde yer alan bir taban akışı yöntemiyle taban akışı hesaplamaları gerçekleştirilir. Bazı yöntemler öncelikli olarak sürekli simülasyon için tasarlanırken, bazıları da kısmi olayları (event) simüle etmek için tasarlanmıştır.

2.7.1.a. Basit kanopi (Simple canopy)

Bu yöntem kanopinin basit bir temsilidir. Kanopi depolama kapasitesi doldurulana kadar tüm yağışları engeller. Depo doldurulduktan sonra, yüzeyin herhangi bir temsili dahil edilmediyse, diğer tüm yağış yüzeye veya doğrudan toprağa düşer. Tüm potansiyel evapotranspirasyon, depolamadaki su tüketilene kadar kanopi deposunu boşaltmak için kullanılacaktır. Potansiyel evapotranspirasyon, kanopi deposundan ve daha sonra yüzey ve toprak bileşenlerinden evapotranspirasyon miktarını belirlemek için bitki katsayısı (crop coefficient) ile çarpılır. Sadece kanopi depolama boşaldıktan sonra kullanılmayan potansiyel buharlaşma, yüzey ve toprak bileşenleri tarafından kullanılacaktır. Bileşen düzenleyicisi, Şekil 2.6´da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Basit kanopi metodu bileşen düzenleyicisi

Bileşen düzenleyicisindeki parametreler aşağıda sırasıyla tanımlanmaktadır.

Kanopinin başlangıç koşulu (Initial storage (%)), simülasyonun başlangıcında su dolu kanopi depolama yüzdesi olarak belirtilmelidir.

Kanopi depolaması (Max Storage (MM)), yüzeye düşmeden önce yapraklar üzerinde tutulabilecek maksimum su miktarını temsil eder. Depolama miktarı, etkili bir su derinliği olarak belirtilmiştir.

Bitki katsayısı (Crop Ceofficient), topraktan gerçekten çıkarılacak su miktarını hesaplarken potansiyel evapotranspirasyona (meteorolojik modelde hesaplanan) uygulanan bir orandır.

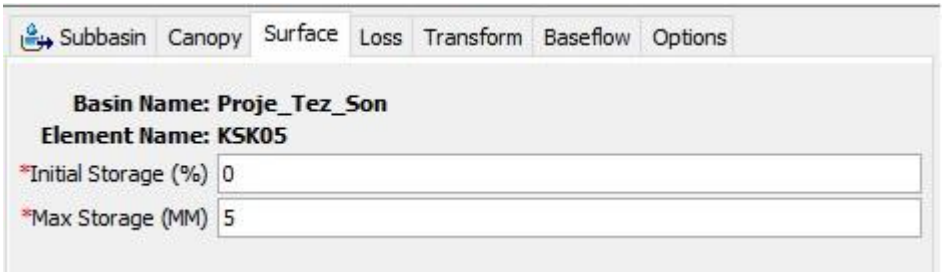
Kanopi, yalnızca depolamadan su buharlaştırmak ve yağış olmaksızın kuru zaman periyotları sırasında topraktan su çıkarmak üzere ayarlanabilir. HEC-HMS programının önceki sürümlerinde sadece kurak dönemlerde evapotranspirasyon hesaplamaları gerçekleştirken 4.1 sürümünden sonra hem kuru hem de ıslak dönemlerde bu hesabı gerçekleştirilebilmektedir. Eşzamanlı yağış ve evapotranspirasyon için bu seçimi yapmak, uzun bir zaman aralığı kullanıldığında veya bir kar erimesi simülasyonu sırasında sonuçları iyileştirebilir.

Suyun topraktan çıkarılması (Uptake Method) için iki yöntem vardır. Basit yöntem (Simple Method), suyu potansiyel evapotranspirasyon hızında çıkarır ve eksiltme sabiti (Deficit Constant) veya toprak nemi hesaplaması (SMA) kayıp yöntemleri ile kullanılabilir. Gerginlik Azaltma (Tension Reduction) yöntemi, toprak nem hesaplama yöntemi (SMA) ile kullanılabilir ve yerçekiminin etkili olduğu toprağın ara bölgesinden (gravity zone) potansiyel evapotranspirasyon oranında su çıkarır, ancak kapiler gerilim bölgesinden (tension zone) çıkarıldığında oranı azaltır. Basit (Simple) veya Gerilim Azaltma (Tension Reduction) yöntemi seçilmedikçe topraktan su çekilmez.

2.7.1.b. Basit yüzey (Simple surface)

Bu yöntem, toprak yüzeyinin basit bir temsilidir. Tüm yağışlar ya da düşen yağışın toprak yüzeyine ulaşması, yüzeyin depolama kapasitesi doldurulana kadar devam eder. Su depolamada mevcut olduğunda toprağa sızar. Yani, depolama kapasitesi dolu olmasa bile su sızacaktır. Depolama kapasitesi doldurulduğunda yüzey akışı oluşturulacak ve

düşen yağış oranı sızma oranını aşacaktır. Bileşen Düzenleyicisi, Şekil 2.7´de gösterilmiştir.



Şekil 2.7. Basit yüzey metodu bileşen düzenleyicisi

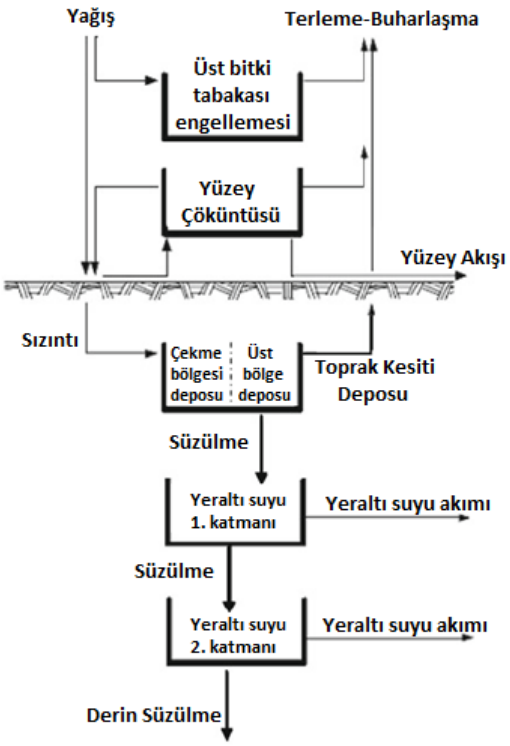
Bileşen düzenleyicisindeki parametreler aşağıda sırasıyla tanımlanmaktadır.

Yüzeyin başlangıç durumu (Initial Storage (%)), simülasyonun başında su dolu yüzeyin halihazırdaki depolanma oranı olarak belirtilmelidir.

Yüzey depolama (Max Storage (MM)), yüzey akışı başlamadan önce toprak yüzeyinde tutulabilecek maksimum su miktarını temsil eder. Depolama miktarı, etkili bir su derinliği olarak belirtilmiştir.

2.7.1.c. Toprak nemi hesaplama (Soil moisture accounting) kayıp metodu

Toprak nemi hesaplama (SMA) modeli, Leavesley *et al.* (1983)´in Yağış-Akış Modelleme Sisteminden sonra şekillenmiş ve Bennett (1998)´de ayrıntılı olarak açıklanmıştır. Model, suyun hareketini ve depolanmasını bitki örtüsünde, toprak yüzeyinde, toprak profilinde ve yeraltı su tabakalarında simüle eder. Model verilen yağış ve potansiyel evapotranspirasyon (ET) ile havza yüzey akışını, yeraltı suyu akışını, ET´ye bağlı kayıpları ve tüm havzadaki derin sızıntıyı (dip perkolasyonu) hesaplar (HEC-HMS Teknik Notlar, 2000).



Şekil 2.8. SMA algoritmasının kavramsal şeması

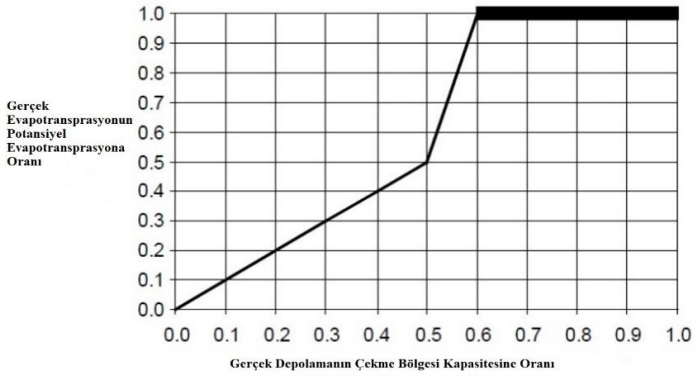
SMA modeli, Şekil 2.8´de gösterildiği gibi, bir dizi depolama katmanı ile havzayı temsil etmektedir. Katmanların içeriye doğru akması, çıkışları ve kapasiteleri, bu depolama bileşenlerinin her birinde kaybolan veya her birine eklenen suyun hacmini kontrol etmektedir.

Mevcut depolama içerikleri simülasyon sırasında hesaplanır ve fırtınalar sırasında ve arasında sürekli olarak değişir. SMA modelindeki farklı depolama katmanları şunlardır:

Üst Bitki Tabakası Tutma Deposu: Üst bitki tabakası tutması (kanopi) ağaçlar, çalılar ve çimenler üzerinde tutulan ve toprak yüzeyine ulaşamayan yağışları temsil eder. Yağış, bu katmana giren tek akıştır. Yağış meydana geldiğinde, ilk önce kanopi depolamasını doldurur. Yağış bu depo doldurulduktan sonra, diğer depolama hacimlerini doldurmak için mevcut olur. Kanopi tutma deposundaki su, buharlaşmayla giderilene kadar tutulur.

Yüzey Tutma Deposu: Yüzey tutma deposu sığ yüzey çöküntülerinde tutulan su hacmidir. Bu depolamaya girişler, kanopi deposu tarafından tutulamayan ve sızma (infiltrasyon) oranını aşan yağışlardan gelir. Bu depodan çıkışlar sızıntıya ve ET´ye bağlı olabilir. Zamanın başlangıcındaki yüzey tutma deposundaki herhangi bir içerik sızma için kullanılabilir. Sızma için mevcut su sızma oranını aşıyorsa, yüzey tutma depolaması doldurulur. Yüzey tutma deposu hacmi aşıldığında fazla su yüzey akışına katkıda bulunur.

Toprak Profil Deposu: Toprak profil deposu toprağın üst tabakasında depolanan suyu temsil eder. Giriş, yüzeyden olan sızmadır. Çıkışlar, bir yeraltı suyu katmanına sızmayı ve ET ile olan çekilmeyi içerir. Toprak profili üst bölge ve çekme bölgesi olarak iki bölgeye ayrılmıştır. Üst bölge, toprak profilinin ET´ye ve/veya perkolasyona giden su kaybına neden olan kısmı olarak tanımlanır. Çekme bölgesi, suyu sadece ET´ye verecek alan olarak tanımlanır. Üst bölge, toprağın gözeneklerinde tutulan suyu temsil eder. Çekme bölgesi, toprak parçacıklarına bağlı suyu temsil eder. ET, ilk olarak üst bölgede son olarak da çekme bölgesinde oluşur. Ayrıca ET Şekil 2.9´da gösterildiği gibi, çekme bölgesinden ortaya çıkan potansiyel oranın altına düşürülmüştür. Bu, toprak parçacıklarına bağlı suyun çıkarılmasında artan doğal direncin bir göstergesidir. ET ayrıca, belirtilen kış aylarında, terleme bitimini yıllık olarak gösteren, üst bölgede mevcut olan hacim ile sınırlandırılabilir.



Şekil 2.9. ET´nin çekme bölgesi depolamasının bir fonksiyonu olarak gösterimi (Bennett 1998)

Yer Altı Suyu Deposu: SMA´daki yeraltı suyu tabakaları yatay geçiş süreçlerini temsil etmektedir. SMA modeli, ya bir ya da iki katmanı içerebilir. Su, toprak profilinden yeraltı suyu depolamasına girer. Perkolasyon oranı, kullanıcı tarafından belirlenen maksimum sızma oranının ve suyun aktığı katmanlardaki mevcut depolamanın bir fonksiyonudur. Yeraltı suyu depolama katmanındaki kayıplar yeraltı suyu akışına veya bir tabakadan diğerine sızmaya bağlıdır. Toprak profilinden gelen sızma, ilk katmana girer. Saklanan su daha sonra yeraltı su tabakası 1´den yeraltı su tabakası 2´ye veya yeraltı su tabakası 2´den derin sızmaya kadar perkole olabilir. İkinci durumda, bu su sistemden kayıp olarak kabul edilir; akifer akışı SMA´da modellenmemiştir.

SMA modeli, depolama hacimleri arasındaki gelen ve çıkış akışlarını hesaplar. Bu akışlar aşağıdaki gibi olabilir:

Yağış: Yağış, depo sistemi için bir girdidir. Yağış ilk önce kanopi tutma deposunu doldurur ve daha sonra artan miktar sızma için kullanılır.

Sızma: Sızma, zemin yüzeyinden toprak profiline giren sudur. Bir zaman aralığında sızma için mevcut olan su, kanopi deposundan artan yağış ve halihazırda yüzey deposunda bulunan sudan gelir.

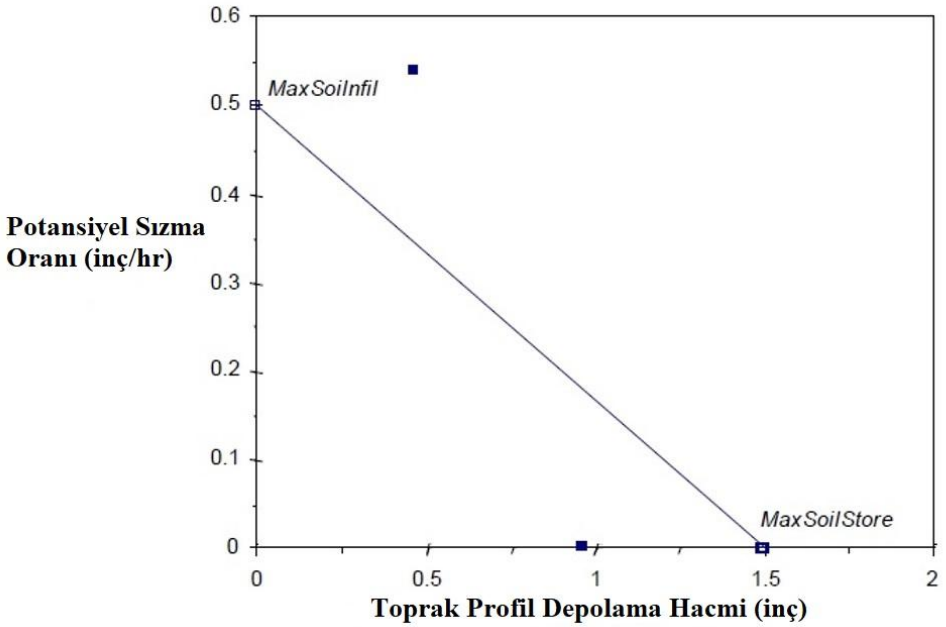
Bir zaman aralığı boyunca sızma hacmi sızma için mevcut su hacminin, toprak profil durumunun (kapasite oranı) ve belirtilen maksimum sızma oranının bir fonksiyonudur. Analizdeki her bir aralık için, SMA modeli potansiyel sızma hacmini PotSoilInfil olarak hesaplar:

$$\text{PotSoilInfil} = \text{MaxSoilInfil} - \frac{\text{CurSoilStore}}{\text{MaxSoilStore}} \text{MaxSoilInfil} \qquad (2.1)$$

MaxSoilInfil = maksimum sızma oranı
CurSoilStore = zaman adımının başında toprak deposundaki hacim
MaxSoilStore = toprak deposunun maksimum hacmi

Gerçek infiltrasyon oranı ActInfil, PotSoilInfil´in minimumu ve sızma için mevcut su hacmidir.

Sızma için mevcut olan su hesaplanan sızma oranını aşarsa, fazlalık yüzey tutma deposuna katkıda bulunur.



Şekil 2.10. Zamanın başlangıcında toprak profil deposuna karşı potansiyel sızma oranı

Şekil 2.10 MaxSoilInfil = 0.5 inç / hr ve MaxSoilStore = 1.5 inç ile bir örnek kullanarak bunların ilişkilerini göstermektedir. Gösterildiği gibi toprak profil deposu boş olduğunda, potansiyel sızma maksimum sızma oranına eşittir ve toprak profili dolduğunda potansiyel sızma sıfırdır.

Perkolasyon: Perkolasyon, suyun toprak profilinden yeraltı su tabakalarına ve oradan da derin bir akifere doğru hareket etmesidir.

SMA modelinde, toprak profili depolaması ve bir yeraltı suyu tabakası veya iki yeraltı suyu tabakası arasındaki sızma oranı, kaynaktaki ve alıcı tabakalardaki hacime bağlıdır.

Kaynak katman neredeyse dolduğunda ve alıcı katman neredeyse boş olduğunda oran en yüksektir. Tersine, alıcı tabaka neredeyse dolduğunda ve kaynak katmanı neredeyse boş olduğunda, sızma oranı daha azdır. SMA modelinde, toprak profilinden yeraltı suyu katmanı 1´e süzme oranı şu şekilde hesaplanır:

$$\text{PotSoilPerc} = \text{MaxSoilPerc}\left(\frac{\text{CurSoilStore}}{\text{MaxSoilStore}}\right)\left(1 - \frac{\text{CurGwStore}}{\text{MaxGwStore}}\right) \quad (2.2)$$

PotSoilPerc = potansiyel toprak sızma oranı
MaxSoilPerc = kullanıcı tarafından belirlenen maksimum sızma oranı
CurSoilStore = zaman adımının başında hesaplanan toprak depolaması
MaxSoilStore = toprak profili için kullanıcı tarafından belirlenen maksimum depolama miktarı
CurGwStore = zaman basamağının başlangıcında üst yeraltı suyu tabakası için hesaplanan yeraltı suyu depolaması
MaxGwStore = yeraltı suyu tabakası 1 için kullanıcı tarafından belirlenen maksimum yeraltı suyu depolaması

Denklem 2.2 ile hesaplanan potansiyel sızma oranı, potansiyel sızma hacmini hesaplamak için zaman adımı ile çarpılır. Perkolasyon için mevcut su, toprak deposu başlangıç değeri ile sızmanın toplamına eşittir. Potansiyel hacminin minimum miktarı ve mevcut hacim, yeraltı suyu tabakası 1´e perkole olur.

Benzer bir denklem, PotGwPerc´i, yer altı suyu katmanı 1 den 2´ye potansiyel perkolasyonu hesaplamak için kullanılır:

$$\text{PotGwPerc} = \text{MaxPercGw}\left(\frac{\text{CurGwStore}}{\text{MaxGwStore}}\right)\left(1 - \frac{\text{CurGwStore}}{\text{MaxGwStore}}\right) \quad (2.3)$$

MaxPercGw = kullanıcı tarafından belirlenen maksimum sızma oranı

CurGwStore = yeraltı suyu tabakası 2 için hesaplanan yeraltı suyu depolaması MaxGwStore = yeraltı suyu tabakası 2 için kullanıcı tarafından belirlenen maksimum yeraltı suyu depolaması

Gerçek sızma miktarı, yukarıda açıklandığı gibi hesaplanır.

Yeraltı su tabakalarının yokluğunda doğrudan toprak profilinden derin akifere sızma için, tabaka 2 kullanılmadığında tabaka 1´den sızma veya tabaka 2´den sızma için, oran sadece kaynak katmanındaki depolama hacmine bağlıdır. Bu durumlarda, sızma oranları şu şekilde hesaplanır:

$$\mathrm{PotSoilPerc} = \mathrm{MaxSoilPerc}\frac{\mathrm{CurSoilStore}}{\mathrm{MaxSoilStore}} \tag{2.4}$$

ve

$$\mathrm{PotGwPerc} = \mathrm{MaxPercGw}\frac{\mathrm{CurGwStore}}{\mathrm{MaxGwStore}} \tag{2.5}$$

sırasıyla gerçek sızma hacimleri yukarıda açıklandığı gibi hesaplanır.

Yüzey ve Yeraltı Suyu Akışı: Yüzey akışı, sızma oranını aşan ve yüzey deposundan taşan sudur. Bu su hacmi doğrudan akar; ortaya çıkan akış hidrografı, dönüşüm metotlarıyla hesaplanır.

Yeraltı suyu akışı, zaman aralığının sonunda her bir yeraltı suyu katmanından gelen yeraltı suyu akışlarının toplamıdır. Akış oranı şu şekilde hesaplanır:

$$\mathrm{GwFlow}_{t+1} = \frac{\mathrm{ActSoilPerc}+\mathrm{CurGw_i Store}-\mathrm{PotGw_i Perc}-\frac{1}{2}\mathrm{GwFlow_t}*\mathrm{TimeStep}}{\mathrm{RoutGw_i Store}+\frac{1}{2}\mathrm{TimeStep}} \tag{2.6}$$

$GwFlow_t$ ve $GwFlow_{t+1}$ = sırasıyla t ve t + 1 zaman aralığının başlangıcında yeraltı suyu akış oranı
ActSoilPerc = toprak profilinden yeraltı suyu katmanına gerçek perkolasyon
$PotGw_iPerc$ = i. yeraltı suyu katmanından potansiyel perkolasyon
$RoutGw_iStore$ = i. yeraltı suyu deposundan yeraltı suyu akış yönlendirme katsayısı
TimeStep = simülasyon zaman adımı

Diğer terimler daha önce tanımlandığı gibidir. Havzadan salınan yeraltı suyu akışının hacmi olan GwVolume, modelin zaman aralığı üzerindeki oranın ayrılmaz bir parçasıdır. Aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{GwVolume} = \frac{1}{2}(\text{GwFlow}_{t+1} + \text{GwFlow}_t) * \text{TimeStep} \quad (2.7)$$

Bu hacim taban akışı benzetimini simüle etmek için doğrusal bir rezervuar modeline akış olarak verilebilir.

Evapotransprasyon (ET): ET, kanopi tutması, yüzey ve toprak profili depolarından su kaybıdır. SMA modelinde potansiyel ET talebi aylık tava buharlaşma derinliklerinden hesaplanmakta olup, aylık değişken tava düzeltme katsayıları ile çarpılarak zaman aralığına ölçeklendirilmektedir.

Potansiyel ET hacmi önce kanopi tutması sonra yüzey tutması ve en son toprak profilinden karşılanır. Toprak profilinde, potansiyel ET öncelikle üst bölgeden, sonra çekme bölgesinden karşılanır. Potansiyel ET bir zaman aralığındaki bir depolama biriminden tam olarak elde edilmediyse, elde edilmemiş potansiyel ET hacmi, bir sonraki kullanılabilir depodan doldurulur.

ET tutma deposu, yüzey deposu veya toprak profilinin üst bölgesi olduğunda, gerçek ET potansiyel ET´ye eşdeğerdir. Gerilim bölgesinden potansiyel ET çekildiğinde, gerçek ET aşağıdaki gibi hesaplanan potansiyelin yüzdesidir:

$$\text{ActEvapSoil} = \text{PotEvapSoil} * \text{f}(\text{CurSoilStore}, \text{MaxTenStore}) \quad (2.8)$$

ActEvapSoil = toprak deposundan hesaplanan ET
PotEvapSoil = hesaplanan maksimum potansiyel ET
MaxTenStore = kullanıcı tarafından belirlenen toprak deposunun çekme bölgesindeki maksimum depolama

Denklem 2.8´deki f (•) fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanır:

Toprak profilindeki mevcut depolama maksimum çekme bölgesi deposunu aştığı sürece (CurSoilStore / MaxTenStore > 1), su üst bölgeden bire bir oranda kanopi ve yüzey tutmasından kaynaklanan kayıplarla aynıdır.

Toprak profil bölgesindeki su hacmi çekme bölgesine ulaştığında, f (•) perkolasyona benzer şekilde belirlenir. Bu, Şekil 2.9´da gösterildiği gibi, depolamadaki suyun miktarı (ve dolayısıyla kılcal kuvvet) azaldıkça, toprak profilinden azalan ET oranı kaybını temsil eder (HEC-HMS Teknik Notlar, 2000).

SMA modelindeki her zaman adımı için depolama katmanlarına giren ve çıkan akış hesaplanır. Her zaman adımındaki hesaplamaların sırası, aşağıdaki gibi yağış veya ET oluşumuna bağlıdır:

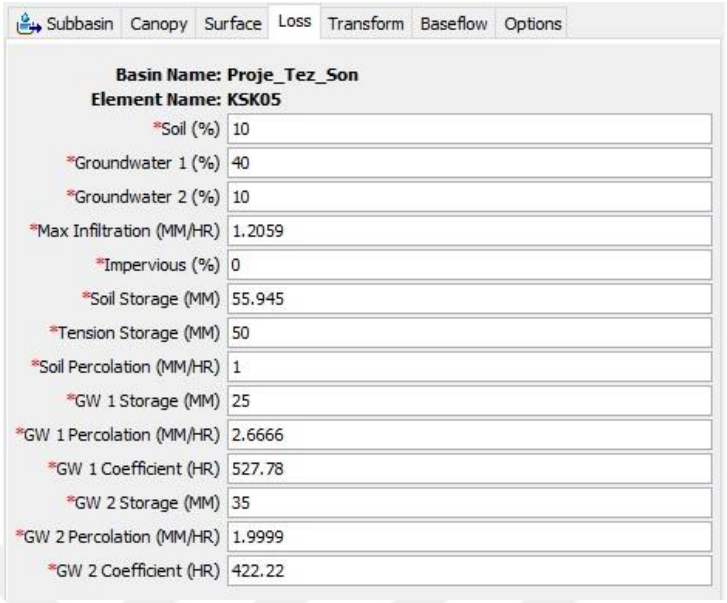
Yağışın meydana geldiği zaman aralığında ET modellenmez. Yağış, ilk olarak kanopi tutma depolamasını doldurur. Kanopi tutma deposu dolduktan sonra yüzey deposunda bulunan suyla birleşen yağış sızma için kullanılabilir. Mevcut hacim mevcut toprak deposundan daha büyükse veya hesaplanan potansiyel sızma hızı, bu hacmin belirlenen zaman adımında tüketilmesi için yeterli değilse, fazlalık yüzey tutma deposuna gider. Yüzey tutma deposu dolduğunda oluşan fazlalık yüzey akışıdır.

Sızan su, ilk önce çekme bölgesini doldurarak toprak deposuna girer. Toprak profilindeki su, çekme bölgesine değil ilk yeraltı suyu katmanına perkole olur. Yeraltı suyu akışı yeraltı suyu katmanı 1´den yönlendirilir ve daha sonra kalan su, yeraltı suyu katmanı 2´ye perkole olabilir. Katman 2´de oluşan perkolasyon, derin bir akifere doğrudur ve modelde kaybolur.

Yağış meydana gelmezse ET modellenir. Potansiyel ET önce kanopi deposundan daha sonra yüzey deposundan karşılanır. Son olarak potansiyel ET hala yüzey kaynaklarından tatmin olmazsa su üst toprak profil deposundan çıkarılır. Model, daha sonra yağış dönemleri için yukarıda açıklandığı gibi devam eder.

SMA model parametreleri, gözlenen verilerle kalibrasyon ile belirlenir. Bu iteratif işlemde aday parametre değerleri önerilir ve bu parametreler yağış ve evapotranspirasyon girdileri ile gerçekleştirilir. Elde edilen hesaplanmış hidrograf, aynı dönem için gözlemlenen bir hidrograf ile karşılaştırılır. Eşleşme tatmin edici değilse, parametreler ayarlanır ve işlem tekrarlanır.

Toprak nem hesabı (Soil Moisture Accounting, SMA) kayıp metodu, topraktaki su hareketinin dinamiklerini temsil etmek için üç katman kullanır. Kanopi yöntemi ve yüzey metodu ile birlikte kullanılmalıdır. Kanopi toprağın suyunu çıkardıkça toprak tabakası yağış olayları arasında kuruyacaktır. Kanopi yöntemi seçilmediği sürece topraktan su çekimi olmayacaktır. Yüzeysel toprak tabakası yağmur durduktan sonra suyun sızmasına izin verir. Yüzey metodu seçilmezse sızma genellikle azalır. Toprak nemi hesaplama yöntemindeki katmanlar arasında toprak depolama, üst yeraltı suyu ve daha düşük yer altı suları bulunur. Toprak tabakası, kapiler gerilim ve yerçekiminin etkili olduğu ara toprak katmanı deposuna ayrılır. Yeraltı suyu tabakaları akifer süreçlerini temsil edecek şekilde tasarlanmamıştır; sığ ara akış süreçlerini temsil etmek için kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Yöntem, ıslanma ve kuruma döngüleri sağlar ve evapotranspirasyonu hesaplamak için bir kanopi yöntemi seçildiği sürece sürekli simülasyonun uzun periyotları için kullanılabilir. Bileşen Düzenleyicisi, Şekil 2.11´de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Toprak nemi hesaplama bileşen düzenleyicisi

Bileşen düzenleyicisindeki parametreler aşağıda sırasıyla tanımlanmaktadır.

Toprağın başlangıç nemi (Soil (%)), simülasyonun başlangıcında su dolu toprak yüzdesi olarak belirtilmelidir. Üst ve alt yeraltı su tabakalarının başlangıç nemi (Groundwater 1 (%), Groundwater 2 (%)) da belirtilmelidir.

Maksimum infiltrasyon oranı (Max Infiltration (MM/HR), yüzey depolamadan toprağa sızmada sızma üst sınırını ayarlar. Bu, infiltrasyonda üst sınırdır; belirli bir zaman aralığında gerçek sızma, bir yüzey yöntemi seçilirse, yüzeyin ve toprağın doğrusal bir fonksiyonudur. Seçilen bir yüzey metodu olmadan, su daima maksimum oranda sızacaktır.

Doğrudan bağlı geçirimsiz alan (Impervious (%)) olan alt tabanın yüzdesi belirtilebilir. Alt havzanın bu kısmındaki tüm yağışlar fazla yağış olur ve doğrudan akışa maruz kalır.

Toprak depolama (Soil Storage (MM)), toprak tabakasında mevcut toplam depolama alanını temsil eder. Toprak hesaplarını ortadan kaldırmak ve sızan suyun doğrudan yeraltı sularına geçmesi isteniyorsa sıfır olabilir.

Kapiler gerilim depolaması (Tension Storage (MM)), topraktaki yer çekimi etkisi altında olmayan su depolama miktarını belirtir. Mevcut toprak depolaması kapiler gerilim deposunu aştığında, toprak tabakasından üst yeraltı su tabakasına doğru perkolasyon gerçekleşecektir. Gerilim deposundaki su sadece evapotranspirasyon ile giderilir. Tanım gereği, gerilim depolama, toprak depolamadan daha az olmalıdır.

Toprak perkolasyonu (Soil Percolation (MM/HR)), toprak deposundan üst yeraltı suyuna perkolasyonun üst sınırını belirler. Gerçek perkolasyon oranı, topraktaki mevcut depolamanın ve üst yeraltı suyundaki mevcut depolamanın doğrusal bir fonksiyonudur.

Yeraltı suyu 1 deposu (GW 1 Storage (MM)), üst yeraltı suyu katmanındaki toplam depolamayı temsil eder. Üst yeraltı suyu tabakasını ortadan kaldırmak ve suyu topraktan doğrudan daha alttaki yeraltı suyu katmanına geçirmek isteniyorsa sıfır olabilir.

Yeraltı suyu 1 sızma oranı (GW 1 Percolation (MM/HR)), üst yeraltı suyundan alt yeraltı suyuna doğru perkolasyonun üst sınırı belirler. Gerçek sızma oranı, üst ve alt yeraltı su katmanlarındaki mevcut depolamanın doğrusal bir fonksiyonudur.

Yeraltı suyu 1 katsayısı (GW 1 Coefficient (HR)), depodaki suyu yanal çıkışa dönüştürmek için doğrusal bir rezervuarda zaman gecikmesi olarak kullanılır. Yanal çıkış, taban akışı olmak için kullanılabilir.

Yeraltı suyu 2 deposu (GW 2 Storage (MM)), alt yeraltı suyu katmanındaki toplam depolamayı temsil eder. Alt yeraltı suyu tabakasını ortadan kaldırmak ve suyu üst yeraltı suyu tabakasından doğrudan derin perkolasyona geçirmek isteniyorsa sıfır olabilir.

Yeraltı suyu 2 sızma oranı (GW 2 Percolation (MM/HR)), sistemden derin perkolasyona suyun perkolasyonunun üst sınırını ayarlar. Gerçek sızma oranı, alt yeraltı su katmanındaki mevcut depolamanın doğrusal bir fonksiyonudur.

Yeraltı suyu 2 katsayısı (GW 2 Coefficient (HR)), depodaki suyu yanal çıkışa dönüştürmek için doğrusal bir rezervuarda zaman gecikmesi olarak kullanılır. Yeraltı suyu 1 katsayısı genellikle daha büyük bir değerdir. Yanal akış da benzer şekilde taban akışı haline getirilebilir (HEC-HMS Kullanıcı Klavuzu, 2016).

2.7.1.d. Clark birim hidrografı

Clark modeli, artık yağışların akışa dönüşümünde iki kritik süreci açıkça temsil ederek bir su havzası için birim hidrografı (BH) türetmektedir:

- Artık yağışın kaynağından drenaj yoluyla havza çıkışına ötelenmesi veya hareketi
- Havza boyunca depolanan artık yağıştan ötürü deşarj kapasitesinin sönümlenmesi veya azaltılması.

Suyun havza boyunca (toprakta, yüzeyde ve kanallarda) kısa süreli depolanması, artık yağışın akışa dönüştürülmesinde önemli bir rol oynar. Doğrusal rezervuar modeli, bu depolama etkilerinin genel bir temsilidir. Bu model süreklilik denklemiyle başlar:

$$\frac{dS}{dt} = I_t - O_t \tag{2.9}$$

Burada dS/dt = t anında depolamadaki suyun değişim hızı; I_t = t anında depolamaya giren ortalama akım; ve O_t = t anında depolamadan çıkan akımdır.

Doğrusal rezervuar modeli ile t anındaki depolama şu şekilde çıkışa bağlıdır:

$$S_t = RO_t \tag{2.10}$$

Burada R = sabit bir doğrusal rezervuar parametresi. Basit bir sonlu fark yaklaşımı kullanarak denklemlerin birleştirilmesi ve çözülmesi ile:

$$O_t = C_A I_t + C_B O_{t-1} \tag{2.11}$$

elde edilir.

Burada C_A, C_B = öteleme katsayılarıdır. Katsayılar şu şekilde hesaplanır:

$$C_A = \frac{\Delta t}{R+0.5\Delta t} \tag{2.12}$$

$$C_B = 1 - C_A \tag{2.13}$$

t periyodu süresince ortalama çıkış akımı:

$$\overline{O_t} = \frac{O_{t-1}+O_t}{2} \tag{2.14}$$

Clark modeli kullanıldığında, havzadaki tüm depolanmanın bir araya getirilmiş doğrusal rezervuar etkileri ile temsil edilmiş olur. Dolayısıyla, kavramsal olarak, rezervuarın havza çıkışında olduğu düşünülebilir.

Bir araya getirilen toplanmış (Lumped) model depolamasına ek olarak, Clark modeli suların havza çıkışına varması için gereken süreyi de hesaba katar. Bu hesap, suyun uzak noktalardan lineer rezervuara gecikmeli, fakat sönümleme olmaksızın ötelendiği bir doğrusal kanal modeli ile gerçekleştirilir (Dooge 1959). Bu gecikme, zaman-alan histogramı ile dolaylı olarak temsil edilir. Bu, havza çıkış noktasında zamanın bir fonksiyonu olarak akışa katkıda bulunan havza alanını belirtmektedir. Hesaplanan zaman adımında, alan birim derinlik ile çarpılır ve Δt´ye bölünürse, elde edilen sonuç doğrusal rezervuara giren gelen akımdır (I_t).

Denklem 2.11´in ve Denklem 2.14´ün yukarıda tanımlandığı şekilde gelen akım debileri ile yinelenmesi sonucunda ortalama çıkış akımı $\overline{O_t}$ değerleri elde edilir. Ancak, Denklem 2.11´de belirtilen gelen akıma ait ordinat değerleri bir birim artık yağıştan meydana gelen yüzey akımı değerleridir. Bahsi geçen bu rezervuar çıkış akımlarının ordinatları aslında bir birim hidrograftır (BH).

Denklemlerin çözümü tekrarlayıcı olduğu için, dışarı akışın teorik olarak sonsuz bir süre devam edeceği unutulmamalıdır. Program, çıkış hacmi 0,995 inç veya mm´yi aşana kadar birim hidrograf ordinatlarını hesaplamaya devam eder. Birim hidrograf ordinatları daha sonra bir birim derinliğe tam olarak eşit bir hacimde bir birim hidrograf üretmek için derinlik ağırlıklı bir değerlendirme kullanılarak ayarlanır.

Clark modelinin uygulanması şunları gerektirir:

- Zaman-alan histogramının özellikleri.
- Depolama katsayısı, R.

Belirtildiği gibi, doğrusal ötelenmeli model özellikleri bir zaman-alan histogramı tarafından dolaylı olarak tanımlanmaktadır. HEC (Hydrologic Engineering Center)´de yapılan çalışmalarda, havzaya özgü bir ilişki geliştirilebilmesine rağmen, tipik bir zaman-alan ilişkisine uydurulan yumuşatılmış bir fonksiyonun, çoğu su havzasında birim hidrograf türetimi için yeterli bir zamansal dağılımı temsil edebileceği gösterilmiştir. Programın standart olarak yaptığı tipik zaman-alan ilişkisi şu şekildedir:

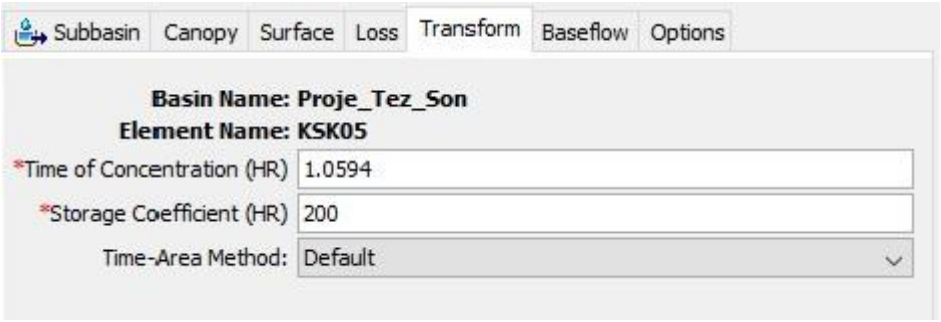
$$\frac{A_t}{A} = \begin{cases} 1.414\left(\frac{t}{t_c}\right)^{1.5} & t \le \frac{t_c}{2} \\ 1 - 1.414\left(1 - \frac{t}{t_c}\right)^{1.5} & t \ge \frac{t_c}{2} \end{cases} \qquad (2.15)$$

Burada A_t = t anında katkıda bulunan kümülatif havza alanı; A = toplam havza alanı; ve t_c = havza geçiş süresini temsil etmektedir. Bu uygulama sadece t_c parametresine

bağlıdır ve bu parametre kalibrasyon yoluyla tahmin edilebilir (HEC-HMS Teknik Notlar, 2000).

Havza depolama katsayısı R, çıkış noktasına akarken havzadaki artık yağışın geçici depolanmasının bir indeksidir. Aynı zamanda, meteorolojik istasyon, yağış ve akım gözlem istasyonu akış verileri mevcutsa, kalibrasyon yoluyla tahmin edilebilir. R zaman biriminde olmasına rağmen, fiziksel anlamda bunun için sadece niteliksel bir anlam vardır. Clark (1945) R´nin, hidrografın kuyruk kısmının dönüm noktasındaki akışın zamana bağlı türevi ile hesaplanabileceğini belirtmiştir .

Clark birim hidrografı, sentetik birim hidrograf yöntemidir. Bu, kullanıcının geçmiş gözlemlenen hidrografların analizi yoluyla bir birim hidrografı geliştirmesi gerekmediği anlamına gelir. Bunun yerine, programa yerleştirilmiş bir alan eğrisi (zaman-alan eğrisi), bir fırtına yağışından kaynaklanan ötelenmiş hidrografını geliştirmek için kullanılır. Ortaya çıkan ötelenmiş hidrograf, alt taban boyunca depolama zayıflama etkilerini hesaba katmak için doğrusal bir rezervuardan yönlendirilir. Bileşen Düzenleyicisi Şekil 2.12´de gösterilmiştir.



Şekil 2.12. Clark birim hidrograf bileşen düzenleyicisi

Bileşen düzenleyicisindeki parametreler aşağıda sırasıyla tanımlanmaktadır.

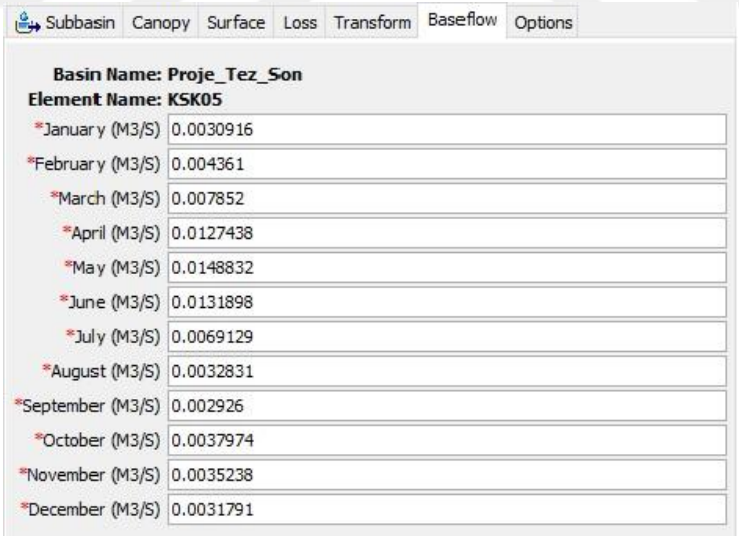
Havza geçiş süresi (Time of Concentration (HR)), alt havzadaki maksimum dolaşma süresini tanımlar. Ötelenmiş hidrografın geliştirilmesinde kullanılır.

Depolama katsayısı (Storage Coefficient (HR)), depolama etkilerini hesaplayan lineer rezervuarda kullanılır. Depolama katsayısı, havza geçiş süresinin ve depolama katsayısının toplamına bölünür ve boyutsuz bir oran olarak tanımlanabilir. Birçok çalışma, bu boyutsuz oranın bir bölge üzerinde nispeten sabit olduğunu göstermiştir (HEC-HMS Kullanıcı Klavuzu, 2016).

2.7.1.e. Aylık sabit taban akışı yöntemi (Constant monthly baseflow)

Aylık sabit taban akışı yöntemi, yılın her ayı için sabit bir taban akışının belirlenmesini sağlar. Öncelikle taban akışının her ay için sabit bir akışla güzel bir şekilde taban akışını temsil ettiği alt havzalarda sürekli simülasyon için tasarlanmıştır. Bileşen Düzenleyici, Şekil 2.13´de gösterilmiştir (HEC-HMS Kullanıcı Klavuzu, 2016).

Yılın her bir ayı için bir taban akışı değeri girilmelidir.



Şekil 2.13. Aylık sabit taban akışı bileşen düzenleyicisi örneği

2.7.2. Meteorolojik model

Meteorolojik model bir projedeki ana bileşenlerden biridir. Temel amaç, alt havzalar için meteorolojik sınır koşullarının hazırlanmasıdır. Meteorolojik bir model oluşturulmadan önce en az bir havza modeli oluşturulması gerekmektedir. Birçok farklı havza modeliyle meteorolojik bir model kullanılabilir. Bununla birlikte, meteorolojik model tarafından hesaplanan sonuçlar havza modellerinde bulunan alt havzalar ile eşleştirilecektir. Farklı havza modellerinde bulunan alt havzalar aynı ada sahipse, her ikisi de meteorolojik modelden aynı sınır koşullarını alacaklardır. Alt havzaların dikkatlice adlandırılması, her biri için doğru sınır koşullarının hesaplanması için gereklidir.

Meteorolojik model, bir alt havza elemanı için gerekli yağış girdisini hesaplar. Meteorolojik model, hem noktasal hem de ızgara bazlı yağışlardan faydalanabilir ve evapotranspirasyon ile birlikte donmuş ve sıvı yağış modelleme kabiliyetine sahiptir. Meteorolojik model işlevleri Çizelge 2.3´te sunulmuş olup bu çalışmada kullanılan metotlar koyu renkle ifade edilmiştir (HEC-HMS Kullanıcı Klavuzu, 2016).

Çizelge 2.3. HEC-HMS Meteorolojik Model Metotları

Hesaplama Tipi	Metot
Kısa Dalga Boylu Radrasyon	Bristow Campbell
	FAO56
	Gridded Shortwave
	Hargreaves
	Specified Pyranograph
Uzun Dalga Boylu Radrasyon	**FAO56**
	Gridded Longwave
	Satterlund
	Specified Pyrgeograph
Yağış	Frequency Storm
	Gage Weights
	Gridded Precipitation
	HMR 52 Storm
	Inverse Distance
	Hypothetical Storm
	Specified Hyetograph

Çizelge 2.3. (devam)

	Standard Project Storm
Evapotransprasyon	Annual Evapotranspiration Gridded Penman Monteith Gridded Priestley Taylor Hamon Hargreaves Monthly Average
	Penman Monteith Priestley Taylor Specified Evapotranspiration
Kar Erimesi	Gridded Temperature Index **Temperature Index**

Çizelge 2.3´te sunulan hesaplama tipleri aşağıda sırasıyla tanımlanmaktadır.

Kısa dalga radyasyonu, güneş ışınları tarafından görünürden ultraviyole ışınlarına kadar değişen dalga boyları ile üretilen radyant bir enerjidir. Kısa dalga radyasyonu bu nedenle dünya yüzeyinde belirli bir yer için sadece gündüz saatleriyle ilişkilidir. Enerji dünya atmosferinin zirvesine yıl boyunca ve yıllar arasında çok az değişiklik gösteren bir akı (Watt/m^2) ile ulaşır. Sonuç olarak akı genellikle hidrolojik simülasyon amaçları için bir sabit olarak alınır. Gelen radyasyonun bir kısmı atmosferin üstünden yansırken bazıları bulutlarla yansıtılır. Yine aynı şekilde gelen radyasyonun bir kısmı atmosfer tarafından emilir ve bazıları bulutlar tarafından emilir. Albedo, atmosfere geri yansıyan kara yüzeyine gelen kısa dalga radyasyonu fraksiyonudur. Kara yüzeyi üzerinde yansıtılmayan veya emilmeyen ve kara yüzeyi tarafından yansıtılmayan kısa dalga radyasyon, evapotranspirasyon ve kar erimesi gibi hidrolojik süreçleri tetiklemek için kullanılabilir. Meteorolojik modelde yer alan kısa dalga radyasyon yöntemi yalnızca su tüketimi veya evapotranspirasyon için enerji dengesi yöntemleri kullanıldığında gereklidir. Mevcut seçenekler, basitten karmaşıklığa kadar bir dizi ayrıntıyı kapsamaktadır. Zaman serisi veya ızgara girişi için basit belirlenmiş yöntemler mevcuttur. Her bir seçenek yansıyabileceği veya emilebileceği üzere yer yüzeyine ulaşan net kısa dalga radyasyonu üretir.

Uzun dalga boylu radyasyon, tüm cisimler tarafından verilen radyant enerjiyi temsil eder. Arazi yüzeyinin atmosfere yaydığı enerjiyi ve ayrıca bulutların ve boş gökyüzünün kara yüzeyine doğru yaydığı enerjiyi içerir. Net uzun dalga radyasyonu atmosferden kara yüzeyine doğru ya da kara yüzeyinden atmosfere doğru olabilir. Net uzun dalga radyasyonunun yönü, mevcut koşullara ve sıcaklıklara bağlıdır. Uzun dalga boylu radyasyon sadece enerji dengesi evapotranspirasyon yöntemleri kullanıldığında gereklidir. Bu Penman Monteith evapotranspirasyon yöntemini içerir. Bütün canlı ve cansız kütleler uzun dalga radyasyonu yayarlar. Hidrolojik uygulamalarda uzun dalga radyasyonunun önemli kaynakları, atmosferin kendisi ve atmosferde yerel olarak mevcut olabilecek herhangi bir bulutu içerir. Bulutlar genellikle daha yüksek bir ısı içeriğine ve berrak bir atmosfere göre daha yüksek bir sıcaklığa sahiptirler ve bu nedenle bulutlu günlerde fazladan uzun süreli uzun dalga radyasyonu vardır. Atmosferin ve bulutların kara yüzeyine net bir uzun dalga radyasyon kaynağı olup olmadığı, kara yüzeyine göre sıcaklıklarına bağlıdır. Çoğu durumda net uzun dalga radyasyonu gündüz saatlerinde ve gece saatlerinde dışarıya doğru gelir. Meteorolojik modelde yer alan mevcut seçenekler basitten karmaşığa bir dizi ayrıntıyı kapsamaktadır. Bir zaman serisi veya ızgara girişi için belirtilen yöntemler mevcuttur. Her seçenek, arazi yüzeyine gelen aşağı yönde uzun dalga radyasyonu üretir. Toprak yüzeyi tarafından emilim ve radyasyon her bir alt havza elemanı içinde hesaplanır.

Yağış, kara yüzeyine düşen sudur. Atmosferdeki su buharının toz parçacıkları gibi havadaki çekirdeklerde yoğunlaştığı zaman ortaya çıkar. Yoğunlaşma, havadaki çekirdeklerin ağırlıklarının rüzgarın sürükleme kuvvetini aştığı yani sürüklenmenin olmadığı durumlarda devam eder. Yağış, yoğunluk ve mekansal boyutta tipik özelliklere sahip olan stratiform (yağışın şiddeti sürekli ve üniform olan katmanlı yayınık bulutlardan olan yağış), konveksiyon ve siklon gibi farklı tipte fırtınalardan kaynaklanabilir. Yağış, yağmur olarak bilinen sıvı formun yanı sıra, karla karışık yağmur, kar ve dolu gibi çeşitli donmuş formları içerir. Çoğu hidrolojik amaç, yağmur ve karı dikkate alarak sınırlandırılabilir. Yağmur veya kar durumunun belirlenmesi meteorolojik modelin kar erimesi bölümünde ayrıca yapılır. Meteolojik modelde yer alan yağış yöntemi, bir havza modelinde alt havza elemanları bulunduğunda gereklidir.

Mevcut seçenekler arasında istasyon ölçümleri, hacim-süre verilerini kullanan istatistiksel metot, fırtına yağış dizaynı seçenekleri ve radar yağışlarını kullanan ızgara bazlı metot bulunur. Her seçenek alt havzaya düşen bir yağış hiyetografi oluşturur.

Evapotranspirasyon, zemin yüzeyinden buharlaşma ile bitki örtüsüyle terleme arasındaki kombinasyondur. Hem bitki örtüsünün yüzeyinden hem de toprak yüzeyinden serbest suyun buharlaşmasını içerir. Aynı zamanda bitki kök sistemi ile topraktan çıkarılan bitki örtüsü süreci olan terlemeyi de içerir. Buharlaşma veya terleme ile su, kara yüzeyinden veya alt yüzeyden atmosfere geri döndürülür. Buharlaşma ve terleme birlikte alınsa bile, terleme buharlaşmadan çok daha fazla suyun hareketinden sorumludur. Birleşik evapotranspirasyon çoğu zaman yağışın %50 veya hatta %60´ının atmosfere geri döndürülmesinden sorumludur. Potansiyel evapotranspirasyon da denilen teorik evapotranspirasyon, atmosferik koşullara dayanarak arazi yüzeyinde neler olabileceğinin üst sınırı olarak işlev görür. Her durumda, meteorolojik model potansiyel evapotranspirasyonu hesaplar ve alt havzalar toprak su sınırlamalarına dayanarak gerçek evapotranspirasyonu hesaplar. Meteorolojik modelde yer alan evapotransprasyon yöntemi, sadece alt havzalarda sürekli simülasyon kayıp yöntemleri kullanılırken gereklidir. Sürekli kayıp yöntemi kullanılırsa ve meteorolojik modelde hiçbir evapotransprasyon belirtilmezse, alt havzalarda evapotransprasyon sıfır alınır.

Kar erimesi metodu, yağışın yağmur veya hava sıcaklığı kullanılarak kar olup olmadığını belirler. Kombine yağmur ve kar toplam derinliğinin tahmin edilmesinden yağış yöntemi sorumludur. Yağış miktarı yağış yöntemiyle belirlendikten sonra, yağış durumu, kar erime metodu ile belirlenir. Daha sonra kar erime yöntemi kış mevsiminde kar kütlesinin birikimini ve erimesini modeller. Kar erimesi yöntemleri, yaz mevsiminde de yağışların genellikle yağmur olarak yağdığı ve kar kütlesi birikmediği durumlarda da kullanılabilir. Kar erimesi, meteorolojik model alt havzalar içeren havza modelleri ile kullanıldığında ve havza yağışları kar olarak ya da hem yağmur hem de kar olarak gerçekleştiğinde gereklidir. Alt havzalardan herhangi biri ModClark ızgara bazlı dönüşüm yöntemini kullanıyorsa, bir ızgara bazlı kar eritme yöntemi kullanılmalıdır. Bazı kar erime yöntemleri, her bir alt havza için ve her bir alt havzadaki

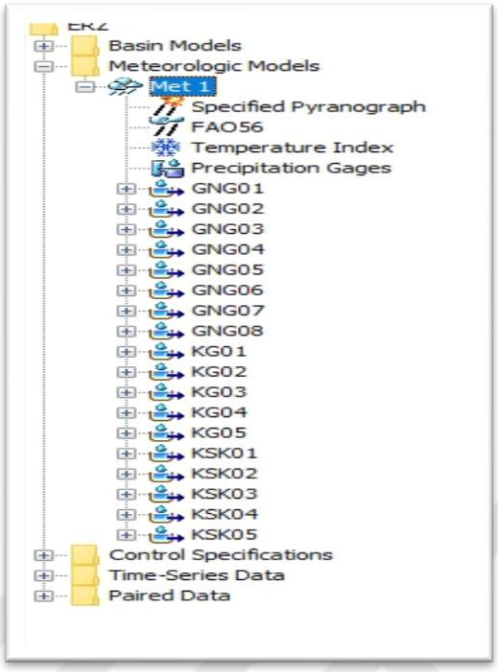
yükseklik bantları için parametre verileri gerektirir. Diğer yöntemler, tüm alt havzalar için aynı verileri kullanır.

Yağış genellikle kara yüzeyindeki hava sıcaklığı donma noktasının altında olduğunda kar olarak gerçekleşir. Genel olarak, hava sıcaklığı donma noktasının altında kaldığı sürece kar, kara yüzeyi üzerinde birikecektir. Bazı su havzalarında kar yağışı, kış aylarında kar deposunda birikerek yıllık hidrolojik çevrimin bir parçası halini alır. Kar kütlesi statik değildir çünkü günlük sıcaklık dalgalanmalarına yanıt olarak sürekli buz kristali dönüşümlerine uğrarlar. Kar kütlesinin bozulması veya erimesi atmosferik koşullar kar kütlesinin sıcaklığını donma noktasına yükseltmek için yeterli enerjiyi aktardığında ve daha sonra karı buz için füzyon ısısından geçirerek sıvı suya dönüştürdüğünde ortaya çıkar. Kar kütlesinin su içeriğini ölçmenin en yaygın yolu kar su eşdeğeridir. Kar su eşdeğeri, kar kütlesinin bir birim kolonunun erimesinden kaynaklanan suyun derinliğidir. Meteorolojik modele dahil edilen kar erime yöntemi, yalnızca simülasyon sırasında hava sıcaklığı donma noktasının altında olduğunda veya bir simulasyonun başlangıcında bir kar kütlesi mevcut olduğunda gereklidir. Çalışmada kullanılan versiyonda mevcut olan tek seçenek, kar kütlesi enerjisinin kavramsal bir temsilini içeren bir sıcaklık indeksi yaklaşımıdır. Toprak yüzeyinde bulunan sıvı suyu hesaplar ve daha sonra infiltrasyon ve yüzey akışına maruz bırakır (HEC-HMS Kullanıcı Klavuzu, 2016).

2.7.2.a. Belirtilen piranograf yöntemi (Specified pyranograph)

Bir piranometre, gelen solar kısa dalga radyasyonunu ölçebilen bir araçtır. Bunlar, temel meteorolojik gözlem istasyonlarının bir parçası değildir, ancak ilk sıra istasyonlarında yer alabilirler. Bu yöntem, bir piranometreden gözlemlenen değerleri içe aktarmak için kullanılabilir veya harici bir model tarafından üretilen tahminlerin ithal edilmesi için kullanılabilir.

Belirtilen piranograf yöntemi, meteorolojik modeldeki tüm alt havzalar için parametre verileri içeren bir bileşen düzenleyici içerir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Tüm alt havzalar için bir bileşen editörüyle belirtilen pyranograf kısa dalga yöntemini kullanan bir meteorolojik model örneği

Bileşen düzenleyicisi meteorolojik modeldeki tüm alt havzalar için ayrı ayrı kısa dalga boylu radyasyon zaman serilerinin girilmesini sağlar (Şekil 2.15). Her bir alt havza için zaman serisi seçilmelidir. Geçerli seriler seçim listesinden seçilebilir.

Specified Pyranograph

Met Name: Met 1

Subbasin Name	Gage
GNG01	GUNGORMEZ SOLAR
GNG02	KOSK SOLAR
GNG03	KOSK SOLAR
GNG04	GUNGORMEZ SOLAR
GNG05	GUNGORMEZ SOLAR
GNG06	KOSK SOLAR
GNG07	KOSK SOLAR
GNG08	KOSK SOLAR
KG01	GUNGORMEZ SOLAR
KG02	RADAR SOLAR
KG03	KOSK SOLAR
KG04	GUNGORMEZ SOLAR
KG05	KOSK SOLAR
KSK01	RADAR SOLAR
KSK02	KOSK SOLAR
KSK03	RADAR SOLAR
KSK04	KOSK SOLAR
KSK05	KOSK SOLAR

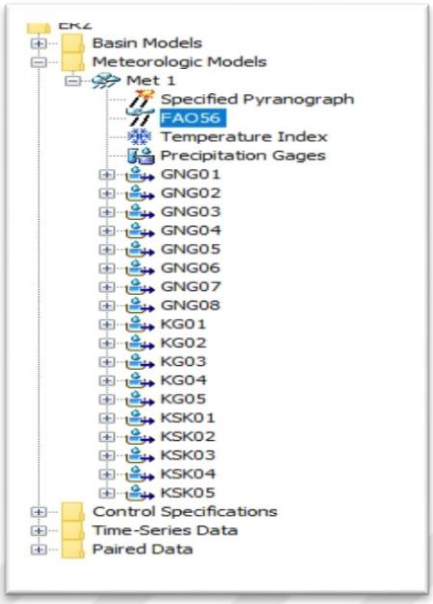
Şekil 2.15. Her bir alt havza için kısa dalga radyasyonu zaman serisi istasyonunun belirlenmesi

2.7.2.b. FAO56 yöntemi ile uzun dalga boylu radyasyon tahmini

FAO56 yöntemi Allen *et al.* (1998) tarafından ayrıntılı olarak açıklanan algoritmayı uygular. Algoritma, alt havzanın koordinatlarını, yılın Jülyen gününü ve aralığın ortasındaki zamanı kullanarak, simülasyonun her bir zaman aralığı için güneş sapmasını ve güneş açısını hesaplar. Güneş değerleri, her bir alt havza için açık gökyüzü radyasyonunu hesaplamak için kullanılır. Hesaplanan kısa dalga radyasyonu daha sonra toprağa ulaşan kısa dalga radyasyonunun oranını tahmin etmek için hesaplanan açık gökyüzü radyasyonuna bölünür. Son olarak, toprağa ulaşan kısa dalga radyasyonunun fraksiyonu, Stefan-Bolrzman denklemine dayanarak aşağıya doğru azalım gösteren uzun dalga radyasyonundaki azalım miktarını hesaplamak için buhar basıncı ile birleştirilir.

FAO56 yöntemi, meteorolojik modeldeki tüm alt havzalar için parametre verileri içeren bir bileşen düzenleyici içerir (Şekil 2.16).

Her bir alt havzada atmosferik değişkenler için bir hava sıcaklığı ve bir rüzgar hızı zaman serisi seçilmelidir. Ek olarak su buharı, bağıl nem veya çiğ noktası zaman serileri ile belirtilmelidir.



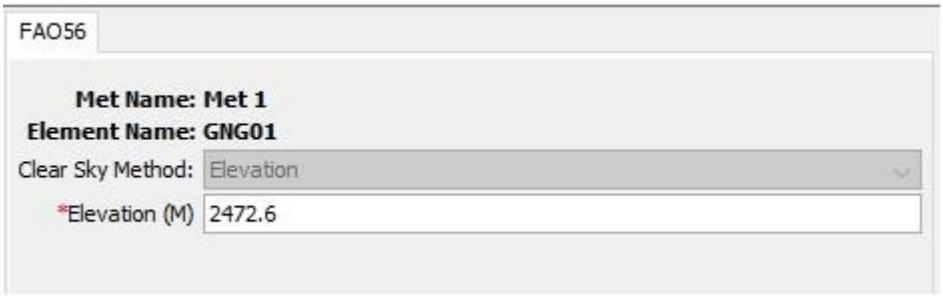
Şekil 2.16. Tüm alt havzalar için bir bileşen editörüyle FAO56 yöntemini kullanan bir meteorolojik model örneği

Meteorolojik modeldeki tüm alt havzalar için bir bileşen düzenleyicisi zaman diliminin merkezi meridyenini içerir (Şekil 2.17). Saat dilimi meridyeni manuel olarak belirtilmelidir. Merkez meridyeni yerel saat diliminin merkezindeki boylamdır. Sıfır boylamın batısındaki meridyenler negatif, sıfır boylamın doğusundaki meridyenler pozitif olarak belirtilmelidir. Meridyen, program ayarlarına bağlı olarak ondalık derece veya derece, dakika ve saniye cinsinden belirtilebilir.

Şekil 2.17. FAO56 yönteminde saat dilimi merkezi meridyenin girilmesi

Bileşen düzenleyicisi meteorolojik modeldeki her bir alt havza için açık gökyüzü siyah cisim radyasyonundan farklılıkları hesaba katmak için gereken parametre verilerinin girilmesi için kullanılır (Şekil 2.18). Versiyon 4.2.1´de açık gökyüzü radyasyonundan

farkları hesaplamak için tek yöntem yükseliğe dayanmaktadır. Her bir alt havza için temsili bir yükseklik girilmelidir.



Şekil 2.18. Alt havza için temsili yükseklik belirtme

2.7.2.c. Gage weight yöntemi ile yağışın alansal dağılımının belirlenmesi

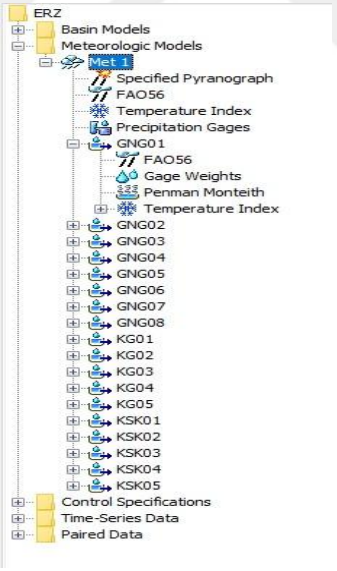
Gage Weight yöntemi, ölçüm verisi bulunan ve bulunmayan yağış ölçüm istasyonları ile çalışmak üzere tasarlanmıştır. Yağış ölçüm istasyonları tipik olarak, meydana gelen yağışı ölçer ve ardından ham veriler 1 saat gibi normal bir zaman periyoduna dönüştürülür. Ölçüm verisi bulunmayan yağış ölçüm istasyonları genellikle toplam fırtına yağışlarının yüksekliğini tahmin etmeyi sağlar. İsteğe bağlı olarak, her bir yağış ölçüm istasyonuna ve alt havzaya bir indeks derinliği atanabilir. İndeks, yıllık veya aylık yağışlarda bölgesel dağılımı ayarlamak için kullanılır.

Yöntem yağış ölçüm istasyonu verilerinin işlenmesi için çeşitli seçenekler sunar (Şekil 2.19). İndeksleme seçeneği, yağış şekillerinde bölgesel eğilimler olduğunda istasyon verilerini ayarlamak için kullanılır. İndeks seçeneğini kullanmak, her yağış ölçüm istasyonu ve her bir alt havza için bir indeks değerinin belirtilmesini gerektirir. Ortalama yıllık yağış toplamı genellikle bir istasyondaki indeks olarak kullanılırken bir alt havza alanı üzerindeki tahmini ortalama yıllık yağış genellikle bir alt havza için indeks olarak kullanılır. Alternatif olarak, aylık ortalama değerler her istasyon ve her alt havzada kullanılabilir. Toplam geçersiz kılma (total override) seçeneği, her bir istasyondaki yağış derinliğini ayarlamak için kullanılır. Toplam geçersiz kılma olmadan, bir istasyondaki toplam derinlik, ölçüm verilerindeki değerlerin toplamı

anlamına gelmektedir. Geçersiz kılma değeri ile, zaman serisindeki değerler, belirtilen toplam değere eşit bir toplama sahip olacak şekilde orantılı olarak ayarlanır.

Şekil 2.19. Gage Weight yağış metodu için seçeneklerin seçilmesi

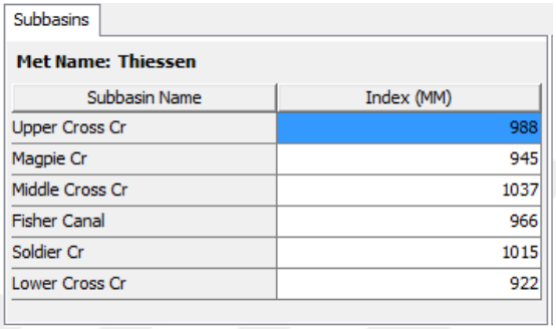
Yöntemde, meteorolojik modeldeki tüm alt havzalar ve yağış ölçüm istasyonlarının parametre verilerinin düzenlenmesi için bir bileşen düzenleyici bulunur. Meteorolojik modeldeki her bir alt havza içinde ayrı bir bileşen düzenleyicisi olup bu editörle yağış ve ölçüm bileşenlerine kolaylıkla erişim sağlanır (Şekil 2.20).



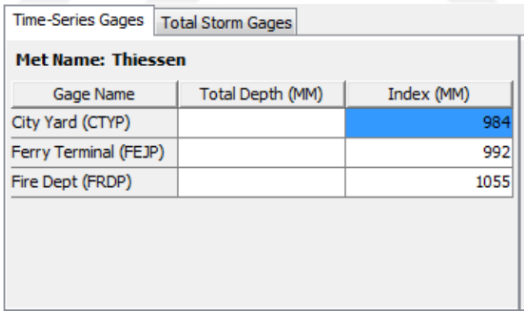
Şekil 2.20. Gage Weight yağış yöntemini kullanarak, tüm alt havzalar, yağış ölçüm istasyonları ve her bir alt havza için ayrı bir bileşen düzenleyici kullanan bir meteorolojik model örneği

Meteorolojik modeldeki seçenekler menüsü altındaki indekleme seçeneği aktif duruma getirilirse (Şekil 2.19), her bir alt havza için isteğe bağlı indekslerin girilmesi için yeni bir pencere açılır (Şekil 2.21). Şayet hem indeksleme hemde toplam geçersiz kılma

seçenekleri aktif duruma getirilirse açılan pencere Şekil 2.22´deki gibi olur. İsteğe bağlı indeksi ve toplam geçersiz kılmayı kullanmak için her bir alt havza ve yağış ölçüm istasyonu için bir indeks değeri ve toplam yağış yüksekliği girilmelidir. Toplam derinlik girilmezse, derinlik, yağış ölçüm istasyonunda gerçekte kaydedilen verilerin toplamı olacaktır.

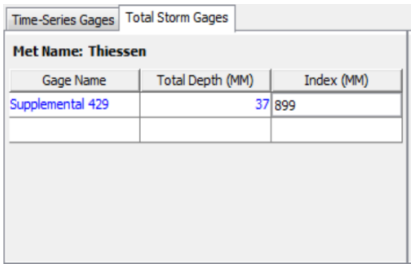


Şekil 2.21. Ortalama yıllık yağış derinliği kullanılarak her bir alt havzaya ilişkin indekslerin belirtilmesi



Şekil 2.22. Yağış ölçüm istasyonları için isteğe bağlı toplam derinlik ve indekslerin belirtilmesi

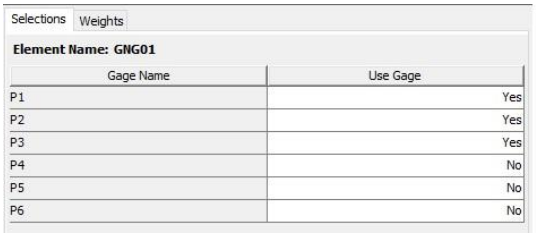
Hem indeksleme hem de toplam geçersiz kılma seçeneklerinin aktif duruma getirilmesi ölçüm verisi bulunmayan bir yağış ölçüm istasyonu için veri girişine olanak sağlar (Şekil 2.23)



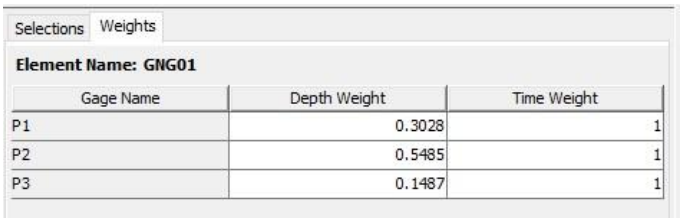
Şekil 2.23. Toplam fırtına istasyonunun oluşturulması ve toplam fırtına derinliği ve isteğe bağlı indeksin girilmesi

Bileşen düzenleyicisi meteorolojik modeldeki her bir alt havza için yağış ölçüm istasyonu seçmek ve seçilen her bir istasyon için ağırlık girilmesi için kullanılır (Şekil 2.24).

"Weights" sekmesi, bir alt havzada seçilen her istasyon için ağırlıkların belirtildiği yerdir (Şekil 2.25). Her istasyon için bir derinlik ağırlığı, zaman serileri için bir zaman ağırlığı girilebilir. Derinlik veya zaman ağırlıkları için girilen değerler simülasyon sırasında otomatik olarak normalleştirilir. Ağırlıkların değerleri programdan ayrı olarak elde edilmelidir. Ağırlıkları hesaplamak için Thiessen Poligonları veya ters mesafe gibi yöntemler kullanılabilir.



Şekil 2.24. Bir alt havza için kullanılacak yağış ölçüm istasyonlarının seçimi



Şekil 2.25. Seçilen istasyonlar için derinlik ve zaman ağırlıklarının girilmesi.

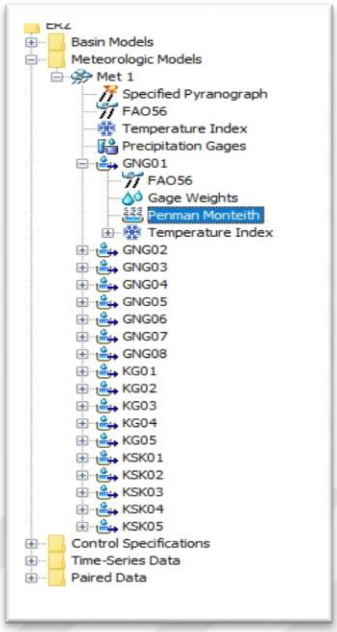
2.7.2.d. Penman Mounteith

Allen *et al.* (1998) tarafından ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, günlük zaman aralığından daha kısa zaman aralıklarında evapotranspirasyon hesaplamaları gerçekleştirebilmek için Penman Monteith denklemleri kullanılır. Denklemler, bir enerji dengesi ile kütle aktarımı arasındaki kombinasyona dayanmaktadır. Mümkün olan maksimum evapotranspirasyon, bitki örtüsü üzerinde hava akarken sürtünmeden dolayı aerodinamik bir direnç ile yönetilir. Yaprak yüzeylerindeki ve topraktaki su buharı akışındaki kısıtlamaları hesaba katan aerodinamik dirençlere seri halde bir toplu yüzey direnci eklenir. Parametreleme tamamen atmosferik koşullara bağlıdır.

Penman Monteith yöntemi meteorolojik modelde kısa dalga boylu radyasyon ve uzun dalga boylu radyasyon yöntemlerinin kullanımını gerektirir. Allen *et al.* (1998) algoritması, Belirtilen Piranograf kısa dalga boylu radyasyon ve FAO56 uzun dalga boylu radyasyon metodu seçildiğinde en iyi sonucun alınabilceğini belirtmiştir. Kısa dalga boylu radyasyon verisi mevcut olmadığında, Allen *at al.* (1998) Hargreaves kısa dalga boylu radyasyon yönteminin kullanımını önermiştir.

Penman Monteith yönteminde, meteorolojik modeldeki her bir alt havza için parametre verilerini içeren bir bileşen düzenleyicisi ile evapotransprasyon bileşen editörüne erişim sağlanır (Şekil 2.26).

Her bir alt havza için atmosferik değişkenlerde bir hava sıcaklığı ve rüzgar hızı zaman serisi seçilmelidir. Ek olarak su buharı, bağıl nem veya çiğ noktası sıcaklık değerlerinden birisi ile belirtilmelidir.



Şekil 2.26. Penman Monteith evapotranspirasyon yöntemini, her bir alt havza için bir bileşen editörü ile kullanan meteorolojik bir model örneği

Her alt havza için bileşen düzenleyici Penman Monteith denklemlerinde kullanım için atmosferik parametre verilerini içerir (Şekil 2.27). Zemin yüzeyindeki enerji dengesini hesaplamak için bir referans albedo gereklidir. Varsayılan olarak 0.23 değeri yaygın olarak kullanılır.

Şekil 2.27. Bir alt havza için Penman Monteith özelliklerinin girilmesi

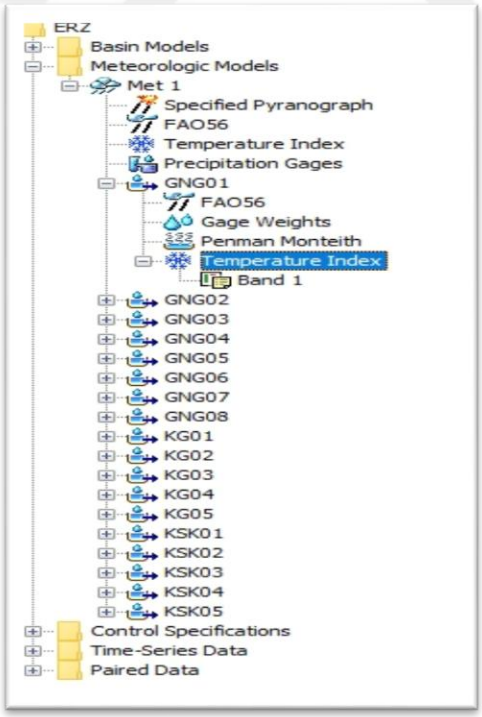
2.7.2.e. Sıcaklık indeksi yöntemi (Temperature index)

Sıcaklık indeksi yöntemi, bir kar kütlesinin modellenmesi için derece-gün yaklaşımının bir uzantısıdır. Derece güne tipik bir yaklaşım, donma noktasının üzerindeki her bir derece için sabit bir miktarda kar erimesine sahip olmaktır. Bu yöntem, kar paketinde

depolanan soğuk enerjinin, geçmiş koşulların sınırlı bir hafızası ve donma derecesinin üzerindeki her bir derece için erime miktarını hesaplayan diğer faktörlerin kavramsal bir sunumunu içerir. Kar paketi iç koşulları ve atmosferik koşullar değiştikçe erime katsayısı da değişir.

Sıcaklık İndeksi yöntemi, meteorolojik modelde genel olarak tüm alt havzalar ve özel olarak alt havzaların her biri için parametre verilerini içeren bir bileşen düzenleyici içerir. Her bir alt havza maksimum on olmak şartıyla en az bir yükseklik bandına sahip olmalıdır. Her bir yükseklik bandı için ayrı bir bileşen editörü bulunur. Bir kar tanesi simgesi kullanılarak sıcaklık indeksi bileşen editörlerine erişim sağlanabilir (Şekil 2.28).

Her bir alt havza için atmosferik değişkenlerin temsil edilebilmesi için bir hava sıcaklığı istasyonu seçilmelidir. Hava sıcaklığı için seçilen istasyona ait yükseklik değeri belirtilmelidir.

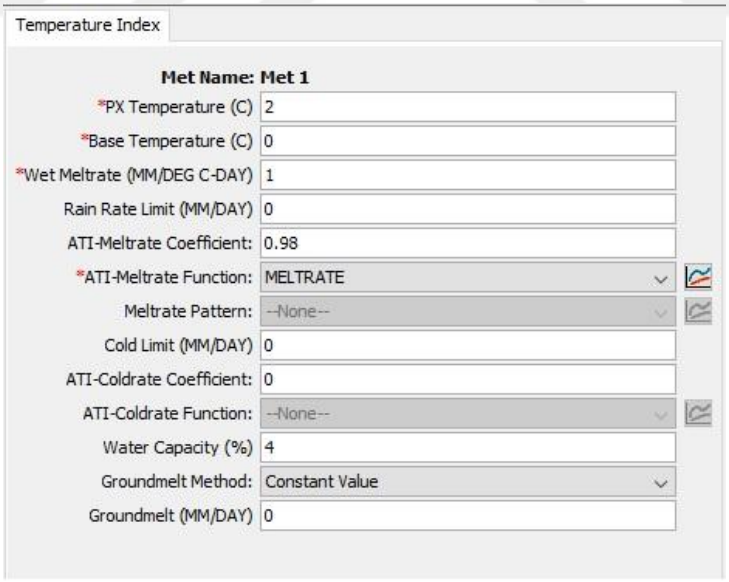


Şekil 2.28. Tüm alt havzalar, her bir alt ve her bir yükseklik bandı için bir bileşen editörü içeren sıcaklık indeksi kar erimesi yöntemini kullanan bir meteorolojik model örneği

Meteorolojik modeldeki tüm alt havzalar için bileşen düzenleyicisi, kar erimesi yöntemi için parametre verilerinin çoğunu içerir (Şekil 2.29). Şekil 2.29´da gösterilen bileşen düzenleyicisinde bulunan parametreler aşağıda sırayısla tanımlanmaktadır.

PX sıcaklığı (PX Temperature (C)), yağışın yağmur mu yoksa kar mı olduğunu ayırt etmek için kullanılır. Hava sıcaklığı belirtilen sıcaklıktan düşük olduğunda, yağışların kar olduğu kabul edilir. Hava sıcaklığı belirtilen sıcaklığın üstüne çıktığında, herhangi bir yağışın yağmur olduğu kabul edilir. Bu değer 1 °C´ye kadar olabilir.

Taban sıcaklığı (Base Temperature (C)) ile hava sıcaklığı arasındaki fark, kar erimesi hesaplamalarında kullanılan Sıcaklık İndeksi´ni tanımlar. Erime oranı, kar erimesi miktarını tahmin etmek için hava sıcaklığı ile taban sıcaklığı arasındaki fark ile çarpılır. Hava sıcaklığı taban sıcaklığından azsa, erime miktarı sıfırdır. Tipik olarak, taban sıcaklığı 0 °C alınabilir.



Şekil 2.29. Meteorolojik modeldeki Sıcaklık İndeksi bileşen düzenleyicisi

Islak erime miktarı (Wet Meltrate (MM/DEG C-DAY)), yağış oranının, yağmur oranı sınırından büyük ve yağışların yağmur gibi düştüğü zaman aralıklarında kullanılır. Kar paketi üzerine yağmur yağarken kar paketinin erime hızını temsil eder.

Yağmur oranı sınırı (Rain Rate Limit MM/DAY) kuru erime ve ıslak erime arasında ayrım yapar. Islak erime, yağmur oranı sınırından daha büyük oranlarda yağmur yağdığında uygulanır. Yağmur yüksekliği, yağmur oranı sınırının altındaysa erime oranı yağış yokmuş gibi hesaplanır. Herhangi bir değer girilmezse varsayılan 0 mm/gün değeri kullanılır, bu da en ufak bir yağış izinin bile ıslak erime oranının kullanılmasına yol açtığı anlamına gelir.

Yağış yüksekliği Yağmur Oranı Limiti´nden daha düşük olduğu zaman aralıklarında bir erime oranı hesaplanmalıdır (ATI-Meltrate Coefficient). Hesaplamalar önceden belirlenmiş bir sıcaklık indeksi-erime oranı fonksiyonundan alınacak olan erime oranı kullanılarak başlatılır. Erime oranı belirlenirken kar kütlesindeki birikimli sıcaklık indeksi değerinin bir saatlik zaman dilimi sonrasındaki değeri bir azaltma faktörü ile bir miktar sönümlenir. Azaltma faktörünün varsayılan katsayısı olarak genellikle 0,98 değeri kullanılır.

Zamanla değişen erime oranını hesaplamak için önceden tanımlanarak belirlenmiş bir sıcaklık indeksi erime oranı fonksiyonu (ATI-Meltrate Function) kullanılır. Bu ön tanımlı fonksiyon, kar erime yönteminde kullanılmadan önce Eşleştirilmiş Veri Yöneticisi´nde ayrı olarak tanımlanmalıdır. Bu fonksiyonda, bir simülasyon sırasında karşılaşılacak erime oranı indeksi değerleri aralığı boyunca kullanılacak değişken erime oranları tanımlamalıdır. Kuru koşullar için erime oranı tipik olarak 1 ila 4 mm/derce C-gün arasında değişir.

İsteğe bağlı olarak, erime oranı indeksinden hesaplanan erime oranı şekli düzenlenebilir (Meltrate Pattern). Zamanının bir fonksiyonu olarak tanımlanarak erime oranının yüzdesi olarak kullanılan bir erime oranı şekli belirlenebilir. Çevre şartlarına uygun bir erime oranı fonksiyonu yazılmamış ise, eriyik sadece önceden tanımlanmış genel bir sıcaklık indeksi-erime oranı fonksiyonundan hesaplanacaktır. Erime oranı şekli, kar erime yönteminde kullanılmadan önce Eşleştirilmiş Veri Yöneticisi´nde ayrı olarak tanımlanmalıdır.

Soğuk Limit (Cold Limit (MM/DAY)) değeri aşırı yağış yükseklikleri sırasında kar kütlesinin maruz kaldığı sıcaklıktaki hızlı değişiklikleri hesaba katar. Yağış yüksekliği belirtilen soğuk sınır değerini aştığında, önceden belirlenmiş bir soğuk içerik indeksi yağış sıcaklığına ayarlanır. Sıcaklık taban sıcaklığının üzerindeyse, soğuk içerik indeksi taban sıcaklığına ayarlanır. Sıcaklık taban sıcaklığının altındaysa, soğuk içerik indeksi mevcut aktüel sıcaklığa ayarlanır. Yağış yüksekliğinin soğuk sınırın altında olması durumunda, soğuk içerik indeksi, önceden belirlenen bir indeks yardımıyla hesaplanır. Herhangi bir değer girilmezse 0 mm/gün varsayılan değeri kullanılır, bu da en ufak bir kar yağışı izinin bile soğuk içeriği sıfırlayacağı anlamına gelir.

Önceden belirlenen sıcaklık indeksi soğuk içerik katsayısı (ATI-Coldrate Coefficient), önceki bir soğuk içerik indeksini belirli bir zaman aralığından sonra gelen diğer bir zaman aralığı için arta kalan etkisinin güncellenmesi amacıyla kullanılır. Bu katsayı daha önceden bahsedilen erime indeksi değerini güncellemek için kullanılandan farklı bir indekstir. Hiçbir değer girilmezse, varsayılan 0,5 değeri kullanılır.

Mevcut soğuk içerik indeksinden soğuk bir içeriği hesaplamak için önceden belirlenen sıcaklık indeksi soğuk oran fonksiyonu(ATI-Coldrate Function) kullanılır. İşlev, kar erimesi yönteminde kullanılmadan önce Eşleştirilmiş Veri Yöneticisi´nde ayrı olarak tanımlanmalıdır. Fonksiyon, bir simülasyon sırasında karşılaşılacak soğuk içerik indeks değerleri aralığı boyunca kullanılacak uygun değerlerle tanımlanmış olmalıdır. Soğuk oran tipik olarak 1.22 ile 1.32 mm / derece C-gün arasında değişen değerler alır.

Maksimum sıvı su kapasitesi (Water Capacity (%)), infiltrasyon veya akış için toprak yüzeyinde sıvı su bulunmadan önce kar paketinde birikebilecek erimiş su miktarını belirtir. Tipik olarak, kar paketinde tutulan maksimum sıvı su, daha yüksek olmasına rağmen, kar su eşdeğerinin %3-5´i oranındadır. Sıvı su karda sadece kar kütlesi sıcaklığı 0°C olduğunda tutulabilir; bu noktada soğuk içerik sıfırdır. Maksimum, kar su eşdeğerinin yüzdesi olarak girilir.

Zeminden gelen ısı (Groundmelt Method), özellikle kar paketi sadece kısmen donmuş veya tamamen donmamış zemin üzerinde biriktiğinde, kar erimesine neden olabilir. Bu durumlarda, sıcak zemin kar kütlesi tarafından yalıtılmıştır. Ilık zeminden gelen ısı, kar kütlesinin tabanının erimesine neden olur. Kar kütlesinin donmamış zeminle temastan dolayı erimesini belirlemek için iki yöntem mevcuttur. Sabit bir değer girilebilir; paketin üzerindeki atmosfer koşullarına veya yılın zamanına bakılmaksızın, aynı miktarda eriyik kar kütlesi için hesaplanır. Yıllık bir desen alternatif olarak girilebilir; bu desen, yıl içindeki zamanın bir fonksiyonu olarak zemine temastan kaynaklanan erime oranını belirtir. İlgili desen, kar erime yönteminde kullanılmadan önce Eşlenmiş Veri Yöneticisi´nde tanımlanmalıdır.

Her bir alt havza için bileşen düzenleyicisi, her bir yükseklik bandı için hava sıcaklığının ayarlanabilmesi için gerekli parametre verilerini içerir (Şekil 2.30). Her alt havzada yüksekliğe bağlı olarak belirli bir sapma oranı (Lapse Rate (DEG C/1000 M)) tanımlanmalıdır. Her bir yükseklik bandının sıcaklığı, zaman serisi ölçüm istasyonunda kaydedilen sıcaklık, zaman serisi ölçüm istasyonunun yüksekliği, alt havza için sapma oranı ve yükseklik bandının yüksekliği kullanılarak hesaplanmaktadır. Her bir yükseklik bandı için ayarlanan sıcaklık, belirlenen sıcaklık istasyonu değerine bir düzeltme farkı eklenerek hesaplanır; bu fark, bant yüksekliği ve ölçüm istasyonu kotu arasındaki farkla çarpılan bir sapma oranı ile hesaplanır. Hava sıcaklığı yüksek kesimlerde alçak kesimlere göre daha düşükse, sapma oranı negatif olmalıdır.

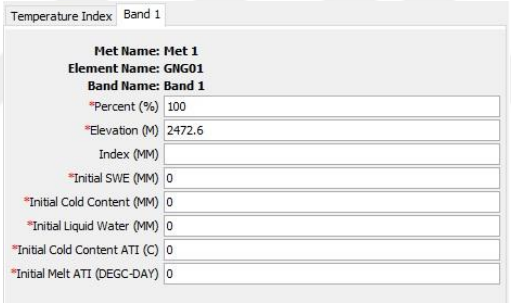
Şekil 2.30. Bir alt havza için sapma oranının belirtilmesi

İsteğe bağlı bir yağış indeksi (Index (MM)) kullanılabilir. İndeksi kullanabilmek için, alt havzaların tümünün her bir yükselik bandı için tanımlanması gerekmektedir. Alt havza için indeks oranı ve bir yükseklik bandındaki indeks, her bir yükseklik bandının

yağışını ayarlamak için kullanılır. İndeksleme, yağıştaki orografik eğilimleri ayarlamak için kullanılan bir yöntemdir.

Her bir alt havza, bir veya daha fazla yükseklik bandına ayrılır; her bandın kendi parametre verileri vardır. Çok az arazi varyasyonu olan bir alt havzayı temsil etmek için bir yükseklik bandı kullanılabilir. Büyük yükseklik varyasyonlarına sahip alt havzalar için çoklu yükseklik bantları kullanmalıdır. Belirlenen yükseklik bandlarına erişim bileşen düzenleyicisi tarafından sağlanır (Şekil 2.31).

Şekil 2.31´de gösterilen bileşen düzenleyicisinde bulunan parametreler aşağıda sırayısla tanımlanmaktadır.



Şekil 2.31. Sıcaklık indeksi yükseklik bandının özelliklerinin belirlenmesi

Her bir alt havzanın içindeki yükseklik bandının yüzdesi (Percent (%)) belirtilmelidir. Yükseklik bantlarının bitişik olmasına gerek yoktur. Tüm alt havzalardaki yüzdelerin toplamı 100´e eşit değilse, her bir yükseklik bandı için belirtilen yüzde değeri otomatik olarak normalize edilir. Kullanılabilecek yükseklik bantlarının sayısıyla ilgili bir sınırlama yoktur, ancak en az bir tanesi gereklidir. Tipik olarak, küçük yükseklik farkları olan su havzalarında sadece bir bant kullanılır. Dağlık havzalar genellikle her bir alt havza için birkaç bant gerektirir.

Her bir yükseklik bandı için ortalama yükseklik (Elevation (M)) girilmelidir. Tipik olarak, belirtilen yükseklik, bandın alan ağırlıklı yükseltisi veya bandın en yüksek ve en alçak noktalarının ortalaması olacaktır.

Her bir yükseklik bandının yağışı ayarlanmak istenirse, opsiyonel yağış indeksi (Index (MM)) bir bütün olarak alt havza için bir indeks değeri ile birlikte girilmelidir. Genel olarak, yağış, su havzalarında daha yüksek kotlarda artar.

Simulasyon zamanının başlangıcında bulunan ilk kar su eşdeğeri (Initial SWE (MM) girilmelidir. Bu bilgi genellikle, kar su eşdeğerinin gerçek ölçümlerinden interpolasyon yoluyla belirlenir. Kar olmadığı takdirde bu değer sıfır olarak alınabilir.

Simülasyonun başlangıcında bulunan ilk soğuk içerik (Initial Cold Content (MM)) girilmelidir. Kar kütlesinin sıcaklığını 0 °C´ye (32 °F) yükseltmek için gerekli olan ısıyı temsil eder ve donmuş suyun mm (veya inç) değerine eşdeğer bir sayı olarak ifade edilir. Simülasyonun başlangıcında kar yoksa, sıfır olarak ayarlanabilir. Eğer mevcutta bir kar kütlesi varsa, kar yoğunluğu, kar derinliği, karın ısı kapasitesi ve donma noktasının altındaki derece sayısı birbirleri ile çarpılarak tahmin edilebilir

Simülasyonun başlangıcında kar kütlesi içinde tutulan sıvı su (Initial Liquid Water (MM)) girilmelidir. Sıvı su karda ancak kar kütlesi sıcaklığı 0 °C (32 °F) olduğunda kalabilir. Bu değerin tam olarak belirlenmesi için iki durum vardır. Birinci durum kar kütlesinin olmadığı durumdur ve bu durumda bu değer sıfır olarak alınabilir. İkinci bir durum ise, hava sıcaklığının birkaç gün boyunca sürekli olarak donma noktasının altına düştüğü ve sıfıra ayarlanabileceği durumudur.

Önceden belirlenen sıcaklık indeksi-soğuk içeriğinin başlangıç değeri (Initial Cold Content ATI (C)), kar kütlesinin yüzeyine yakın olan karın sıcaklığı ile ilgilidir. Simülasyon zamanının başlangıcında yaklaşık kar kütlesi sıcaklığına ayarlanmalıdır. Başlangıç sıcaklığı bilinmiyorsa, 0 °C´ye (32 °F) ayarlanabilir.

Erime oranının mevsimsel değişimi, önceden belirlenen sıcaklık indeksi fonksiyonu (Initial Melt ATI (DEGC-DAY)) ile ilişkilidir. İlişkilendirilen bu indeks önceden belirlenmiş sıcaklık indeksi (ATI) birikiminde başlangıç değeri olarak düşünülebilir. Bu önceden belirlenmiş sıcaklık indeksi fonksiyonu, kar kütlesi olgunlaştıkça ve

yaşlandıkça erime oranının değişmesine izin verir. Simülasyonun başlangıcında yerde kar yoksa, bu terim sıfır olarak ayarlanabilir. Simülasyon reel hava sıcaklıklarının sürekli olarak toprak sıcaklığının altında olduğu durumlarda, soğuk bir periyot sırasında veya sonunda başlıyorsa yine bu terim sıfır olarak ayarlanabilir. Aksi takdirde, hava sıcaklığının daha önceden 0 °C´nin üzerine çıktığı günden simülasyon zaman başlangıcına kadar biriken derece günlerin kümülatif toplamı olarak hesaplanmalıdır.

2.7.3. Kontrol kartları (Control specifications)

Kontrol kartları, bir projedeki ana bileşenlerden biridir. Temel amaçları, simülasyonların ne zaman başlayıp durduğunu ve simülasyonda hangi zaman aralığının kullanılacağını kontrol etmektir (HEC-HMS Teknik Notlar,2000).

2.7.4. Veri girişi; zaman serileri, eşleştirilmiş veri çiftleri ve ızgaralı veriler

Zaman serisi verileri, eşleştirilmiş veriler ve ızgara verileri (Çizelge 2.4), genellikle bir havzada ve meteorolojik modelleme yöntemlerinde parametre veya sınır koşulları olarak istenmektedir.

Çizelge 2.4. Havza ve meteorolojik model kurulumunda kullanılan veri tipleri

Zaman Serisi Verileri	**Eşleştirilmiş Veri Çiftleri**	**Izgaralı Veriler**
Yağış	Depolama-Deşarj	Yağış
Deşarj	Yükseklik-Depolama	Sıcaklık
Bölge/Alan	Yükseklik-Alan	Radyasyon
Sıcaklık	Yükseklik-Deşarj	Bitki Katsayısı
Radrasyon	Gelen Akım-Kollara Ayrılma	Depolama Kapasitesi
Rüzgar Hızı	Çap-Yüzde	Percolasyon Oranı
Hava Basıncı	Kesişim Bölgesi	Depolama Katsayısı
Nem	Birim Hidrograf	Nem Kaybı
Rakım	Yüzde	Geçirimsiz Alan
Bitki Katsayısı	Süre-Yağış	SCS Eğri Numarası
Kar Su Eşdeğeri	ATI-Erime Oranı	Nem
Sediment Yükü	ATI- Soğuk Oran	Soğuk İçerik
Konsantrasyon	Zemin Eritmesi	Soğuk İçerik ATI
Yüzde	Kümülatif olasılık	Erime Oranı ATI

Çizelge 2.4. (devam)

Evapotransprasyon	Gelen Akım-Gecikme Zamanı	Sıvı Su
Güneşlenme Süresi	Çıkan Akım-Sönümleme	Kar Su Eşdeğeri
	Yükseklik-Genişlik	Su İçeriği
	Yükseklik-Çevre	Su Potansiyeli
	Örnek Parametre Değerleri	Rüzgar Hızı
	Alan-Azaltım	
	Yüzde	

2.8. Literatür Özeti

Yılmaz *et al.* (2012) toplanmış kavramsal hidrolojik modellerin doğruluğunu değerlendirmek için, kar erimesi süreçlerini hesaplamada sıcaklık indeksi yaklaşımını kullanan iki model programıyla Yukarı Fırat Havzası´nın kar erimesi-akış sonuçlarını simüle etmişlerdir. Bu amaçla HEC-HMS ve LBRM (Large Basin Runoff Model) model programları kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlar istatistiksel açıdan değerlendirilmiş ve havza için performanslarının yeterli olduğu bildirilmiştir.

Strapazan *et al. (2017)* Romanya´daki Black Nehri´nin sol kolu olan Covasna Nehri için HEC-HMS ile bir akış simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Nehir havzası ArcHydro ve HEC-GeoHMS ile modellenmiştir. Çalışmada uzun süreli simülasyon hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında SCS CN (Soil Conservation Service Curve Number) kayıp metodu ve SCS UH (Soil Conservation Service Unit Hydrograph) ile Synder birim hidrograf dönüşüm metotları uygulanmıştır. Synder birim hidrograf yönteminin SCS birim hidrograf yöntemine göre simüle edilen verilerle gerçek veriler arasında daha iyi bir eşleşme gerçekleştirdiği belirtilmiştir.

Vafakhah *et al.* (2018) İran´da küçük ölçekli Amameh havzası için HEC-HMS ile farklı kayıp metotlarının (Initial and Constant, SCS Curve Number ve Green-Ampt) performanslarını değerlendirmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada topoğrafya, arazi kullanımı, drenaj ağı ve hidrolojik toprak grupları haritalarından elde edilen

parametrelerden yağış simülatörü kullanılarak sızma oranları ölçülmüştür. Modellerin tüm havzadan gözlenen çıkış hidrograflarının simülasyonundaki performansları, HEC-HMS ortamındaki 28 yağış-akış olayı için değerlendirilmiştir.

Akay vd (2018) Batı Karadeniz Bölgesi´nde sıkça taşkın yaşanan bir havzadaki hidrolojik süreçleri simüle etmek için HEC-HMS model programını kullanmışlardır. Bölge dik yokuşlu dağlık bir alanda olup yıl boyunca yüksek yağış almaktadır. Havzada hidrolojik parametrelerin kalibrasyonu ve doğrulanması için üç adet akım gözlem istasyonu verisi bulunmaktadır. Havzadaki geniş kalibrasyon ve hidrolojik parametrelerin doğrulanmasında çoklu akım gözlem istasyon verilerinin kullanım etkilerini toplamak için farklı seneryolarda simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, ölçümü bulunmayan bir komşu havzada hidrolojik parametrelerin tahmininde kalibre edilmiş iç akım gözlem istasyonlarının akım verilerinin kullanım performansı değerlendirilmiştir. Kalibrasyon ve doğrulama için çoklu akım gözlem istasyonlarının verilerinin kullanılmasının, doğrudan akım hidrografı için tatmin edici sonuçlar verdiği, ancak pik debi tahminlerinin düzelmediği bulunmuştur.

Unduche *et al.* (2018) Kanada´daki Shellmouth rezervuarına akan Üst Assiniboine Nehri´ne dört taşkın modelini (WATFLOOD, HBV-EC, HSPF ve HEC-HMS) uygulamış, kalibre etmiş ve operasyonel taşkın tahmin aracı olarak kullanılacak etkinlikleri ve doğrulukları için test etmişlerdir. Model sonuçlarından dört modelin de akışları oldukça doğru bir şekilde simüle edebildiği ve operasyonel taşkın tahmininde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

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

Yener (2006) yüksek lisans tezinde Yuvacık baraj rezervuarının yönetimi için HEC-HMS´de hidrolojik bir model uygulaması geliştirmiştir. Çalışmada yarı dağılımlı bir kar bileşeni ile eksponansiyel kayıp metodu kullanılmıştır.

Allahwani (2016) yüksek lisans tez çalışmasında Türkiye´nin batısında bulunan Küçük Menderes Havzası´nda HEC-HMS modelleme sistemi ve coğrafi bilgi sistemleri kullanarak sürekli hidrolojik modellemenin bir uygulamasını gerçekleştirmiş ve modelin parametrelerini tahmin etmiştir. Çalışmada 1965-1988 yılları arası dikkate alınarak hem ortalama günlük akış modeli hem de ortalama aylık akış modelinin kalibrasyon ve doğrulama çalışmaları yapılmıştır.

Kacar (2017) yüksek lisans tezinde Türkiye´nin Doğu Anadolu Bölgesi´ndeki Aras Nehri´nin membasında yer alan Kayabaşı Havzası üzerinde 2008-2015 yıllarına ait hidro-meteorolojik verileri kullanarak HEC-HMS programı vasıtasıyla ´Soil Moisture Accounting´ ve ´Deficit and Constant´ kayıp metotlarıyla sürekli modelleme çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada 2015 yılının mart-haziran ayları üzerinde WRF (Weather Research and Forecasting) sayısal hava tahmin verileriyle akım tahmini gerçekleştirilmiştir.

Şengül (2011) doktora tez çalışmasında BASINS programını farklı Coğrafi Bilgi Sistemleri algoritmalarıyla destekleyerek çalışma alanı olarak seçilen Kırkgöze Havzası´nın alansal karakterizasyonu yapmış ve HSPF uygulaması için model girdilerini oluşturmuştur. HSPF model programı ile havza ve iklim karakterizasyonu yapılarak havzada kar birikmesi-erimesi ve akış davranışları simüle edilmiştir.

Şenocak (2011) doktora tezinde Kırkgöze Havzası´nda SRM (Snowmelt Runoff Model) kar erime akış modelini coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve uzaktan algılama teknikleri kullanarak gerçekleştirmiştir. Çalışmada kar örtülü alanların belirlenmesinde MODIS görüntüleri güncel olarak kullanılmış ve Landsat, RADARSAT-1 ve ALOS-PALSAR uydu görüntülerinin de kar örtülü alanların belirlenmesindeki etkileri araştırılmıştır.

Mandal *et al.* (2016) Sikkim´in tamamını ve Batı Bengal´in Darjeeling Bölgesi´nin bir bölümünü kapsayan üst Teesta nehir havzasında HEC-HMS ile simülasyon modeli oluşturmuşlardır. Havzada geçmiş yağış olayına dayalı ani taşkın simülasyonu gerçekleştirilmiş ve ani taşkın analizinde çok yardımcı olan noktasal taşkın hacmi, deşarj ve pik deşarj süresi ve taşkın oluşumundaki bazı bilgiler elde edilmiştir. Havzanın muhtemel ani taşkın bölgesi olması sebebiyle yapılan simülasyonlar havzadaki insanlar için erken uyarı sistemi oluşturmayı hedeflemiştir.

Hu *et al.* (2006) Amerika da Kuzey Havzası´nın Kızıl Nehri´ne gelecekteki taşkın zararlarını azaltmak için, rezervuar yönetim ve düzenleme asistanı olarak CWMS (Corps Water Management System) geliştirmişlerdir. CWMS modelinin önemli bir bileşeni olan işlevsel rezervuar tahminleri için ızgara bazlı kar erimesi ve yağış-akış modellemesinde HEC-HMS ve DSPM (Distributed Snow Process Model) kullanmışlardır. Model kurulumu, kalibrasyonu ve doğrulanması tanımlanmıştır. Çalışmada özellikle DSPM ve HEC-HMS´nin model kurulum / kalibrasyon ve sürekli tahmin işlemleri için bilgi gereksinimlerine odaklanılmış ve bu gereksinimlerin pratik ve işlevsel ortamda nasıl karşılanabileceğini gösterilmiştir.

Teng *et al.* (2017) Taunton Nehri Havzası´nda yağış akış hidrolojik modeli ve nehir taşkın modellemesini HEC-HMS ve PRMS (Precipitation Runoff Modeling System) ile gerçekleştirmişlerdir. Bu iki modelin performansı 2010 yılı akış periyotlarında gözlemlenen ve model simülasyonları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir. Eğer model parametreleri düzgün kalibre edilirse fırtına yağış durumları süresince yağış akış tahminlerinin her iki model için de iyi olacağını belirtmişlerdir.

Azmat *et al.* (2016) geçerli ve olası iklim değişikliği seneryoları altında Pakistan´ın neredeyse hiç ölçüm bulunmayan Jhelum Nehri Havzası´nda sürekli yağış-akış ve kar erimesi-akış simülasyonunu gerçekleştirmek için HEC-HMS ve SRM modellerinin doğruluklarını karşılaştırmışlardır. Her iki modelin verimini açıklamak için TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) yağış verileri ve MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) karla kaplı alan verilerini kullanmışlardır. 2000-2005 arası

5 yıllık gözlemlenen nehir akım verileri kalibrasyon, 2007-2010 arası 3 yıllık verilerde doğrulama için kullanılmıştır. Doğrulama periyodunda yıllık ve kar erimesi sezonu için gözlemlenen ve simüle edilen nehir akımları arasında iyi bir benzetim elde edilmiştir.

Davtalab *et al.* (2017) İran´da Karkheh Nehri Havzsı´nda HEC-HMS´yi uygulamışlar ve SMA (Soil Moisture Accounting) ve kar erimesi derece-gün parametreleri ile sürekli hidrolojik model kalibrasyonunu kolaylaştırmayı hedeflemişlerdir. Çalışmada büyük, veri yönünden fakir, hidroklimatik olarak değişken havzaların süreç temelli anlayışını geliştirmek için parametre tahmin prosedürleri tartışılmıştır. Olay temelli bir kalibrasyon tekniği, sürekli hidrolojik modelin manuel kalibrasyonunu kolaylaştırmak için kalibrasyon süresini azaltarak pratik bir strateji olarak uygulanmıştır. Sunulan kalibrasyon stratejisi, temel hidrolojik veya meteorolojik parametrelerin tanımlanmasına ve sınıflandırılmış kalibrasyon periyodu olaylarında (örn. erken sonbahar, bahar ve kış olayları) önceden ayarlanmış hassasiyet testlerinin yapılmasına dayandırılmış (örn. erken sonbahar, ilkbahar ve kış olayları) ve parametre değerlerinin daha iyi bir tahminini almak için kullanılmıştır.

Khatri *et al.* (2018) yaptıkları çalışmada, çoğunlukla Nepal´deki Budhigandaki Havzası´ndan kar erimesiyle elde edilen akışın modellenmesi için Nepal Hidroloji ve Metroloji Bölümü´nden toplanan meteorolojik veriler ile MODIS Aqua (MYD10A2) ve Terra (MOD10A2) 8 günlük maksimum karla kaplı alan verileri havzadaki kar örtüsü alanını elde etmek için kullanılmıştır. Akışın modellenmesi HEC-HMS ve SRM modelleri kullanılarak yapılmıştır. Bu modellerin performansı, iyi bilinen üç değerlendirme kriteri NSE, r^2 ve PEV (hacimce yüzde hatası) kullanılarak değerlendirilmiştir. NSE, r^2 ve PEV değerleri SRM için %0.944, 0.944 ve 0.3, HEC-HMS için %0.778, 0.785 ve −1.83 olarak bulunmuştur. Benzer şekilde validasyon döneminde, NSE, r^2 ve PEV ortalama değerleri SRM modeli için sırasıyla %0.811, 0.816 ve %2.0 ve HEC-HMS için %0.773, 0.777 ve %3.5 olarak bulunmuştur. Modellerin duyarlılık analiz sonuçları, sabit kayıp oranının HEC-HMS modeli için çok hassas parametreler olduğunu gösterirken, akış katsayısının SRM modeli için en hassas parametreler olduğunu ortaya koymuştur. İki model arasındaki karşılaştırmada, SRM

modelinin HEC-HMS modeline kıyasla biraz daha iyi simülasyon sonuçları verdiği belirtilmiştir.

Halwatura *et al.* (2013) HEC-HMS 3.4 modelini Sri Lanka havzalarından Attanagalu Oya Nehri Havzası ve kolları için uzun vadeli akış verileri üretmek, üretilen verileri kalibre etmek ve doğruluklarını onaylamak için kullanmışlardır. Çalışmada, Attanagalu Oya Havzası´na dağılmış beş yağmur ölçme istasyonundan yirmi yıllık günlük yağış verisi ve Henarathgoda tarımsal meteoroloji istasyonundan aynı yılki aylık buharlaşma verileri ve 2005´ten 2010´a kadar Dunamale´deki günlük akış verileri kullanılmıştır. Akış simülasyonu için giriş verisi olarak ihtiyaç duyulan CBS katmanları, ArcGIS 9.2 kullanılarak hazırlanmış ve 2005´ten 2007´ye kadar günlük akış verileri kullanılarak Dunamale alt havzasının HEC-HMS 3.4 kalibrasyonunda kullanılmıştır. Model, üç farklı metot ayarlanarak kalibre edilmiştir. Model parametreleri değiştirilerek model kalibrasyonu, çalışma havzasına en uygun simülasyon yöntemini belirlemek için SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number) kayıp yöntemi, Deficit Constant kayıp yöntemi (Snyder birim hidrograf yöntemi ve Clark birimi hidrograf yöntemi) için ayrı ayrı yapılmıştır. Kalibre edilen model, yeni bir yağış-akış veri seti ile doğrulanmıştır (2008-2010). Her yöntemden simüle edilen akışlar, performans katsayısı, bağıl hata ve artık yöntem kullanılarak istatistiksel olarak test edilmiş ve Snyder birim hidrograf yönteminin Clark birim hidrograf yönteminden daha güvenilir sonuçlar verdiği ve kayıp yöntemi olarak, SCS-CN yönteminin iyi performans göstermediği belirtilmiştir.

Meenu *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada gelecekteki olası iklim değişikliği senaryolarının Tungabhadra Barajı´nın üst kısmındaki Tunga-Bhadra Nehri´nin havza alanının hidrolojisi üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. HEC-HMS 3.4 çalışma alanının hidrolojik modellemesi için kullanılmıştır.

Zema *et al.* (2016) en uygun sızma yönteminin seçiminin, modelin farklı çevresel koşullar altında uygulanabilirliğini basitleştirdiğini belirtmişlerdir. HEC-HMS´nin akış tahmin kapasitesinin mevcut sızma yöntemleriyle değerlendirilmesi için uygun bir vaka çalışması Güney İtalya´ya özgü yarı kurak sellerdir; bunlar küçük ve aralıklı su

sahalarıdır, genellikle yüksek oranda su baskınlarına ve aşındırıcı olaylara maruz kalırlar. Çalışmada SCS-CN, Green-Ampt ve Initial and Constant infiltrasyon yöntemlerinin akış hacmini ve pik debiyi öngörmedeki HEC-HMS performansını Güney İtalya´nın çıkışında değerlendirmişlerdir. On dört yağış-akış olayı HEC-HMS ile simüle edilmiş ve ilgili gözlemler nicel bir yaklaşımla karşılaştırılmıştır.

Gyawali *et al.* (2013) SMA ve HEC-HMS´de bulunan sıcaklık indeksi (derece-gün) kar erimesi modellerini farklı iklim ve arazi kullanım özelliklerine sahip üç büyük göl havzasına (Kalamazoo, Maumee ve St. Louis) uygulamışlardır. Havzası ve alt havza modelleri, ölçülen yağış ölçümleri, gözlemlenen kar suyu eşdeğeri verileri ve jeo uzamsal veritabanları kullanılarak tahmin edilen fiziksel temelli parametreler kullanılarak günlük adımda kalibre edilmiş ve doğrulanmıştır. Sonuçlar, tarihsel koşullar için Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi (NOAA) Büyük Havza Akış Modeli´nden (LBRM) elde edilen alan ölçekli çıktılarla karşılaştırılmıştır. HEC-HMS modelinde özellikle kar erimesinin etkin olduğu St. Louis Havzası için daha fazla işlem temelli kar algoritmasının faydalarına ek olarak, HEC-HMS modellerinin uzamsal çözünürlüğünden kaynaklanan mütevazı iyileşmeleri açığa çıkarılmıştır. Bununla birlikte, hem LBRM hem de HEC-HMS modelinin kışın sonlarında ve ilkbaharın ilk akışlarında pik debileri çoğaltmakta zorlandığı ortaya koyulmuştur.

Divín *et al.* (2016) Çek Cumhuriyeti´nde Starozuberský Nehri Havzası´nda yükseklik modellerini karşılaştırmak için, farklı girdilerle üç senaryo geliştirmişlerdir. Bu modellerin karşılaştırılmasına dayanarak, hidrolojik modelleme için en uygun veri kaynağını seçmişlerdir. Arazi kullanımındaki değişimi simüle etmek için, mevcut arazi kullanımına ve yirminci yüzyılın ellili yıllarına ait tarihsel verilere dayanan iki senaryo oluşturmuş ve yağış-akış simülasyonu için HEC-HMS, taşkın simülasyonu için HEC-RAS kullanılmıştır. Simülasyon verileri, HEC-GeoHMS ve HEC-GeoRAS gibi ESRI ArcGIS uzantıları kullanılarak hazırlanmıştır.

Azmat *et al.* (2015) Pakistan´ın Mangla Havzası´nda bir yağış-akış modeliyle su kaynaklarının kullanılabilirliğini araştırmak ve bunun mini-hidroelektrik üretimi

üzerindeki etkilerini ortaya çıkarmayı amaçlamışlardır. Mangla Havzası Himalaya ve Pir Panjal alanları kar ve buzullarından beslenen neredeyse hiç meteorolojik ölçümü bulunmayan bir havzadır. Günlük akım tahminleri havzanın ölçümü bulunmayan kısmı için gözlemlenmiş ve TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) yağış verileri ile CBS uygulama tabanlı hidrolojik modelleme sistemi HEC-HMS aracılığıyla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar HEC-HMS´nin kar beslemeli buzullaşmış havzada günlük akımları 0.71-0.80 aralığında Nash-Sutcliffe (NSE) katsayılarıyla etkili bir şekilde üretebildiğini göstermiştir.

Verma *et al.* (2009) HEC-HMS ve WEPP hidrolojik modellerini kullanarak yağış-akış modellemesi yapmışlardır. Doğu Hindistan´ın Üst Baitarani Nehri Havzası´nda yapılan çalışmada CBS ve uzaktan algılama teknikleri ile muson sezonu (Haziran-Ekim) günlük yağış verileri ve buna karşı (1999-205) 6 yıllık akım verileri kullanılmıştır. Genel olarak, HEC-HMS modelinin Doğu Hindistan´ın Baitarani Nehri Havzası´nda günlük akışı simüle etmek için WEPP modelinden daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır.

Chu *et al.* (2009) Batı Michigan´da Mona Gölü Havzası´nda HEC-HMS ile olay bazlı ve sürekli hidrolojik model uygulaması gerçekleştirmişlerdir. Spesifik olarak, olay modelini kalibre etmek, doğrulamak ve model parametrelerini tanımlamak için dört yağış olayı seçilmiştir. Kalibre edilmiş parametreler daha sonra sürekli hidrolojik modelde kullanılmıştır. HEC-HMS´de SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number) ve SMA (Soil Moisture Accounting) yöntemleri sırasıyla olay ve sürekli modellerde yüzey akışını simüle etmek için kullanılmış ve iki yağış akış modeli arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Simülasyonlar, havzadaki miktar, değişkenlik ve akış kaynakları hakkında hidrolojik detaylar sağlamıştır. Model çıktısı, yoğun alan verileriyle desteklenen ince ölçekli (5 dakikalık zaman aşamalı) olay hidrolojik modellemesinin, daha doğru ve iyi kalibre edilmiş parametreler sağlayarak kaba ölçekli (saatlik zaman aşamalı) sürekli modellemeyi geliştirmek için yararlı olduğunu göstermektedir.

Skhakhfa *et al.* (2016) Cezayir´in doğusundaki El Berda Havzası´ndaki yazın kuruyan Ressoul deresi için bir sel tahmin modeli sunmuşlardır. Simüle edilen sonuçların genel tutarlılığını sağlamak için, özellikle verilerin kıt olduğu veya sınırlı ve güvenilmez olduğu bölgelerde bir doğrulama süreci geliştirme gerekliliğinden çıkışta ölçülen modeli hidrograf üzerinden kalibre etmiş ve doğrulamışlardır. Kalibrasyon ve doğrulama işlemleri farklı veri setleri (CN, SCS Lag ve Muskingum K) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. HEC-HMS kullanılarak türetilen gelişmiş sel modelinin performansının değerlendirilmesi, 1´e yakın bir korelasyon katsayısı, r^2 ve Nash-Sutcliffe verimi sağlamıştır. Çalışma evapotranspirasyon sürecinin ihmal edilebilir olduğu modellemesi ile sınırlandırılmıştır. Kalibre etmek için iki ve modeli doğrulamak için bir adet olmak üzere çeşitli kısa süreli sel olayları test edilmiştir.

Bobál *et al.* (2015) kar erimesi-akış simülasyonu için Çek Cumhuriyeti´ndeki operasyonel uygulamada kullanılan HYDROG ve HEC-HMS modellerini değerlendirmişlerdir. Her iki modelde de verilen kullanım amacını karşılamak için sıcaklık indeksi yöntemi uygulanmıştır. HYDROG modeli aslında sıcaklık indeksi yönteminin temel uygulaması olsa da, HEC-HMS kar örtüsünün soğuk içeriği, aktif yüzeyin üstündeki kar erimesi, kar örtüsünün ısıl yetersizliği, ısıl faktörün değişkenliği gibi incelenen süreci etkileyen diğer faktörlerin hesaplamaya dahil edilmesine ve araştırma alanının veya nehir alt havzalarının irtifa bölgelerine bölünmesine izin verir. Simülasyonlar 2006-2009 yıllarında meydana gelen gelen bölümler üzerinde Ostravice Nehri´nin membasında gerçekleştirilmiştir. Her ne kadar sıcaklık indeksi yöntemi, bir günden daha kısa bir süre boyunca akışın simüle edilmesi için yaygın olarak tavsiye edilmese de, verilen alandaki her iki modelden elde edilen sonuçlar, uygun girdi verilerinin yanı sıra parametreleştirmenin de iyi sonuçlara yol açabileceğini kanıtlamıştır.

De Silva *et al.* (2014) HEC-HMS kullanarak Sri Lanka´daki Kelani Nehri Havzası´nda olay bazlı ve sürekli hidrolojik modelleme çalışması yapmışlardır. Model parametrelerini kalibre etmek için Kasım 2005´teki bir aşırı yağış olayını, Nisan-Mayıs 2008, Mayıs-Haziran 2008 ve Mayıs 2010´daki aşırı yağış olaylarını ise olay bazlı

modeli doğrulamak için kullanmışlardır. Kalibre edilmiş doğrudan akış ve baz akış parametreleri daha sonra sürekli hidrolojik modelde kullanılmıştır. Olay bazlı modellemede infiltrasyon kaybını hesaba katmak için Green and Ampt kayıp yöntemi kullanılırken sürekli modellemede Soil Moisture Accounting yöntemi kullanıldı. Clark birim hidrografı yöntemi ve Recession baz akış yöntemi, sırasıyla doğrudan akış ve baz akışını simüle etmek için kullanılmıştır. Sonuçlar, HEC-HMS´nin havzadaki akışları olaya dayalı simülasyonlar için 0,91 ve sürekli simülasyonlar için 0,88 Nash-Sutcliffe verimleriyle yüksek bir doğrulukta üretme kabiliyetini göstermektedir. Simüle edilmiş nehir akışları, yoğun saha verileri tarafından desteklenen olaya dayalı hidrolojik modellemenin, sürekli hidrolojik modelleme için kalibre edilmiş parametrelerin türetilmesinde faydalı olduğunu doğrulamaktadır. Çalışma, tropikal ülkelerdeki orta ölçekli nehir havzalarında afet azaltma, taşkın kontrolü ve su yönetiminde HEC-HMS uygulamasını göstermektedir.

Ibrahim-Bathis *et al.* (2016) güney Hindistan´daki Krishna Havzası´nın bir parçası olan Doddahalla Havzası´ndaki suyun sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla CBS ve uzaktan alıglama ile entegre HEC-HMS simülasyonu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada 3 saatlik Tropical Rainfall Measuring Mission ve günlük Indian Meteorological Department yağış veri setleri ile alt havza tanımlama ve akış ağı oluşumu için Cartosat-1 CartoDEM (30 m) verileri kullanılmıştır. Ayrıca toprak ve arazi kullanım haritalarının hazırlanması için Indian Remote Sensing Satellite Linear Imaging, Self Scanning sensors (LISS-III, 24 m) ve Survey of India (SOI) görüntüleri de kullanılmıştır. Simülasyon için SCS-CN kayıp yöntemi ve dönüşüm yöntemi olarakda SCS birim hidrografı uygulanmıştır. Muskingum-Cunge modeli, kanal yönlendirme olarak kullanılmış olup model, saha gözlem verileri ve komşu Hoovinahole Havzası´ndan tahliye verileri kullanılarak doğrulanmıştır.

Lu (2009) yapmış olduğu yüksek lisans tez çalışmasında Üst Waimakariri havzasını on alt havzaya bölmüş, fiziksel ve hidrolojik karakterleri kullanarak HEC-HMS havza model parametrelerini tahmin etmiştir. Her bir alt havza için Ortalama Hava Yağışını (Mean Aerial Precipitation (MAP)), coğrafi bilgi sistemi araçlarıyla radardan ızgara-

hücre bazlı yağış tahmini için bir kaplama analizi ile birlikte Thiessen Poligonları yöntemi ile hesaplamıştır. HEC-HMS paketinde yer alan otomatik kalibrasyon-optimizasyon prosedürü, simülasyon ve gözlemlenen akışlar arasında bir sapma gösteren vakalara uygulanmıştır.

Gumindoga *et al.* (2016) Zimbabwe´deki ölçümü bulunan ve bulunmayan Üst Manyame alt havzalarında (on adet) HEC-HMS modelini akış simülasyonu için uygulamışlardır. Model parametrelerini tahmin etmek için gerekli geometrik ve hidrolojik parametrelerin belirlenmesi için uzaktan algılama ve CBS tekniklerini kullanmışlardır. Ölçümü bulunan alt havzalardan parametre transferine dayalı ölçümü bulunmayan alt havza simülasyonu için Synder Birim Hidrograf yöntemini kullanmışlardır. Marimba ve Mukuvisi alt havzaları 2004-2010 simülasyon periyodu için verisi tam ölçümü bulunan alt havzalarmış gibi göz önünde bulundurulmuştur. Kalibre edilmiş model kurulumunu sekiz adet büyütülmüş alt havzaya ekstrapolasyon uygulamadan önce, model parametresi aktarılabilirliğinin uygulanabilirliği, proxy yakalama yaklaşımı kullanılarak test edilmiş ve Nash Sutcliffe (NSE) ve Bağıl Hacim Hatası (RVE) kriteri kullanılarak değerlendirilmiştir. Sonuçların, modelin kalibrasyon havzası akışını ve kalibrasyon için tepe akışlarını başarıyla öngördüğünü göstermiştir.

Verdhen *et al.* (2013) HEC-HMS kar erimesi modelinin güvenilirliğini, Manali üzerindeki Alt Himalayaların Pirpanjal aralığındaki Beas alt havzasında, alt havzayı karakterize eden fiziksel parametre ve değişkenlerin zamansal ve mekansal analizi ile sıcaklık indeksi yöntemini kullanarak test etmişlerdir (1900 m rakım). Basit sıcaklık indeksi yönteminden günlük ve haftalık simülasyon sonuçları, 0.7´nin üzerindeki r^2 ile tatmin edici bulunmuştur. Model simülasyonu, ATI Cold/Melt rate fonksiyonlarının çalıştırılmasının önemli olduğunu ve meteorolojik model indeksinin (mm) model simülasyonları için önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

Saleh *et al.* (2011) İran´ın Tahran şehrindeki Kan Havzası´nda HEC-HMS modelinin kullanılması ve akış kayıplarının değerlendirilmesi için farklı yöntemlerin (Green&Ampt, Initial and Constant ve Deficit and Constant) sonuçları kullanılarak

çeşitli objektif fonksiyonlar (pik debi ve hacimlerde yüzde hata) göz önünde bulundurmuş ve yöntemleri sınıflandırmaya çalışmışlardır. Bu şekilde çalışmada, objektif fonksiyonlara dayalı olarak, gözlenen ve simüle edilen deşarjların yüzdesi arasında en az fark bulunan yöntem ilk tercihte, diğer yöntemler ise sonraki tercihlerde yer alacak şekilde sıralanmıştır. Sonuçlar, altı olay arasında Initial and Constant kayıp yönteminin, Green&Ampt ve Deficit and Constant yöntemlerinden daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

Bennett *et al.* (2000) HEC-HMS ile Gürcistan´daki Tifton ve Teksas´daki Riesel yakınlarındaki havzalarda sırasıyla 11 ve 7 yıllık periyotlarda simülasyon gerçekleştirmişlerdir. Simülasyonlarda SMA kayıp yöntemi uygulanmış ve bir havzada zaman içinde meydana gelen ve zamanla değişen hidrolojik süreçlerin uzun süreli sürekli simülasyonu değerlendirilmiştir. Çalışmada ayrıca SMA yönteminde kullanılan hesaplama adımları ve denklemleri detaylandırılmıştır.

Bui (2011) yüksek lisans tez çalışmasında Colorado´nun güneyindeki San Juan Dağları´ndan gelen ve New Mexico boyunca akan Rio Grande Nehri Havzası´nda farklı iklim değişikliği senaryoları altında gelecekteki ortalama akışı tahmin etmek için HEC-HMS model programını kullanmıştır. 1971-2000 dönemi için bir HEC-HMS hidrolojik modelini kalibre etmek için Del Norte, Colorado´dan Elephant Butte, New Mexico´ya kadar Rio Grande´ye bağlı bölgelerin tarihsel akışı, yağış ve sıcaklık verilerini toparlamıştır. İklimsel Genel Sirkülasyon Modeli (GCM) tarafından oluşturulan gelecekteki iklim değişikliği senaryoları ile ilişkili sıcaklık ve yağış projeksiyonu ile Rio Grande için kalibre edilmiş hidrolojik model ile gelecekteki iklim değişikliği hidrografını üretmek için çalışmıştır.

Bhuiyan *et al.* (2017) Kanada Manitoba´da Sturgeon Creek Havzası´nda taşkın tahmini için HEC-HMS hidrolojik modelinde RADARSAT-2 ile türetilen toprak nem verilerinin etkili kullanımını değerlendirmişlerdir. Manitoba´da ilkbahar taşkınları genel olarak hem kış yağışlarından hem de bir önceki yılın sonbaharındaki toprak nem koşullarından etkilenmektedir. Simülasyonda SMA ve sıcaklık indeksi algoritmaları kullanılır. Olay

bazlı ve sürekli HEC-HMS simülasyonlarından elde edilen sonuçlar, modelin Manitoba´da taşkın tahmini için uygun olduğunu göstermektedir. Olay bazlı simülasyonlar için ilk toprak nemini ayarlamak için Manitoba Tarım alanı araştırmasından ve RADARSAT-2 uydusundan toprak nemi verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, bir kar erimesi olayında pik debiyi yakalamak için uydu verilerinin kullanılmasının faydasını doğrulamaktadır. SMA parametrelerinin duyarlılık analizi yapılmış ve hangi parametrelerin modelin performansı üzerinde önemli bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar, toprak nem depolamasının en hassas parametre olduğunu göstermektedir. Bir kar erimesi olayında ilk toprak neminin duyarlılık analizi, kümülatif akış ve pik debinin, modelin başlangıçtaki toprak nemi ayarından oldukça etkilendiğini göstermektedir. Bu nedenle, diğer kar baskın Manitoba havzalarında hidrolojik modelleme için RADARSAT-2 türevi toprak nemini kullanma potansiyeli olduğu belirtilmiştir.

Samady (2017) yüksek lisans tez çalışmasında Teksas merkezinde Travis ve Lyndon B. Johnson Göllerine katkıda bulanan havzalar için fiziksel bazlı bir model olan HEC-HMS´yi SMA (Soil Moisture Accounting) algritmalarını kullanarak parametrelendirmiş, kalibre etmiş ve doğrulamıştır. Havzalar toplam 15 alt havzaya bölünmüş ve alt havzalar için SMA paramatrelerinden yüzey çöküntü depolama, kanopi depolama, üst toprak katmanı depolama, çekme bölgesi depolama ve perkolasyon oranı National Land Cover Database 2011 (NLCD 2011) ve Soil Survey Geographic Database (SSURGO) verilerinin ortak kullanımıyla elde edilmiştir. Geriye kalan SMA parametreleri ise tarihi akış serileri ve kalibrasyonla belirlenmiştir. Çalışmanın istatistiksel analiz sonuçları, simüle edilmiş akışların ve gözlenen akışların makul derecede iyi korelasyon gösterdiğini göstermektedir.

Bournaski *et al.* (2006) Bulgaristan ile Yunanistan ülkeleri arasında sınır aşan bir nehir olan ve Yunanistan´da Nestos olarak bilinen Mesta nehrinin ortak yönetim konusunun HEC-HMS hidrolojik modeli ile desteklenmesi konusundaki Bulgar çabalarını ele almışlardır. Çalışmada sadece sürekli hidrolojik simülasyon sunulmuştur. Ortak Mesta-Nestos nehir havzasının HEC-HMS hidrolojik model gelişiminin ana adımları

sunulmuştur. Mesta-Nestos ile ilgili bir dizi HEC-HMS alt modeli için uygulanan parametrelendirme ve kalibrasyon metodolojileri tartışılmıştır. Kalibrasyon, bölgenin günlük yağış ve akış verileri kullanılarak yapılmış ve sunulan raporda, Mesta nehrinin AB çerçevesinde ortak yönetimi için Bulgaristan ve Yunanistan arasındaki işbirliğini ve gelecekteki entegre nehir havzası yönetimini önermişlerdir.

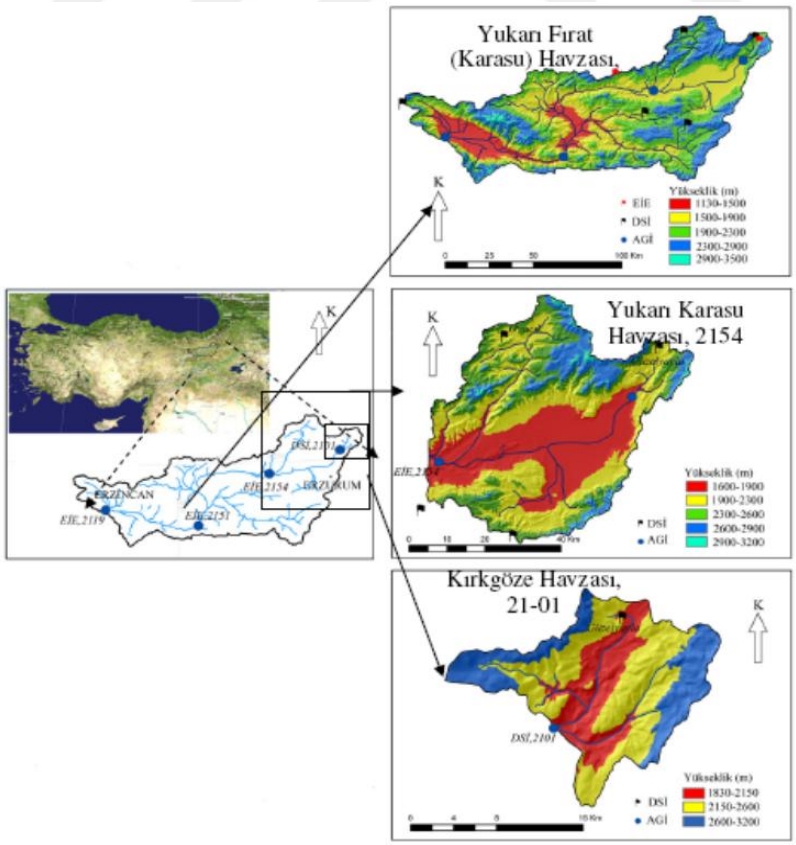
Singh *et al.* (2015) Hindistan´daki Vamsadhara Nehri Havzası´ndaki dere akışını modellemek için HEC-HMS´de SMA algoritmasını kullanmışlardır. Havzanın mekânsal alanı, topoğrafya, arazi kullanımı ve toprak bakımından havza heterojenitesini hesaba katacak şekilde daha küçük alt havzalara ayrılmıştır. HEC-HMS´deki SMA algoritması 1984 ile 1989 arasındaki veriler kullanılarak kalibre edilmiş ve 1990 ila 1993 arasındaki dönem için sürekli bir zaman ölçeğinde doğrulanmıştır. HEC-HMS modelinin Vamsadhara Nehri Havzası´ndaki performansını belirlemek için istatistiksel ve görsel değerlendirme yapılmıştır. Genel olarak, HEC-HMS kavramsal modelindeki SMA prosedürü tatmin edici bir şekilde gerçekleştirilmiş ve Vamsadhara Nehir Havzası´nda uzun süreli akış modellemesi için kullanılabilir olduğu ortaya konulmuştur.

Yavuz vd (2012) Türkiye´nin Marmara Bölgesi´nin doğusunda yer alan Yuvacık Barajı Havzası´nda rezervuar yönetimi için bir karar destek sistemi geliştirmek üzere yaptıkları çalışmada yağış-akış simülasyonu için HEC-HMS model sistemini kullanmışlardır. Barajın nispeten küçük bir rezervuar kapasitesine ve sınırlı mansap kanal şartlarına sahip olmasından; bu kanallar taşkın riskiyle karşı karşıyadır. Bu riskle başa çıkmak için, kar modülüne sahip HEC-HMS hidrolojik modeli 2007-2011 su yılları arasında uygulanmıştır. Yağış, kar erimesi ve 2007 - 2010 su yılları arasında meydana gelen fırtına olayları, modelin dört alt havzasında kalibrasyon için kullanılmıştır. Eksponansiyel kayıp ve taban akışı model parametreleri, model performansının yüzde pik ve simüle edilmiş ve gözlemlenen debinin hacim farkına göre değerlendirilerek kalibre edilmiştir. Ardından, model parametreleri 2011 su yılının geçerliliği için kullanılacak mevsimlere ayrılmıştır. Hacim ve tepe akış farkı olarak validasyon sonuçları ±%30 sınırlarında bulunmuştur.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1 Çalışma Alanı

Kırkgöze-Çipak Havzası Türkiye´nin Erzurum ili sınırları içinde Yukarı Karasu Havzası´nın kuzeydoğusunda yer almaktadır ve 242,7 km^2´lik drenaj alanına sahiptir (Şekil 3.1). Havza kotu 1823 m ile 3140 m arasında değişmektedir. Havza, kuzeyde Kızılkilise Yaylası, güneyde Tüy Komları, doğuda Kargapazarı silsilesi ve batıda Sarıçağıl Tepesi ile çevrelenmiştir. Yukarı Fırat Havzası´nı doğu-batı yönünde kat eden Karasu Nehri Yukarı Karasu Havzası´nın kuzeydoğusundaki Güvercin ve Kandilli Dağlarından kaynaklanan Köşk, Büyükçay ve Yeşildere derelerinin birleşmesinden sonra Karasu adını almaktadır. Karasu Çayı, Karasu Nehri´nin başlangıcıdır (Şenocak 2011).

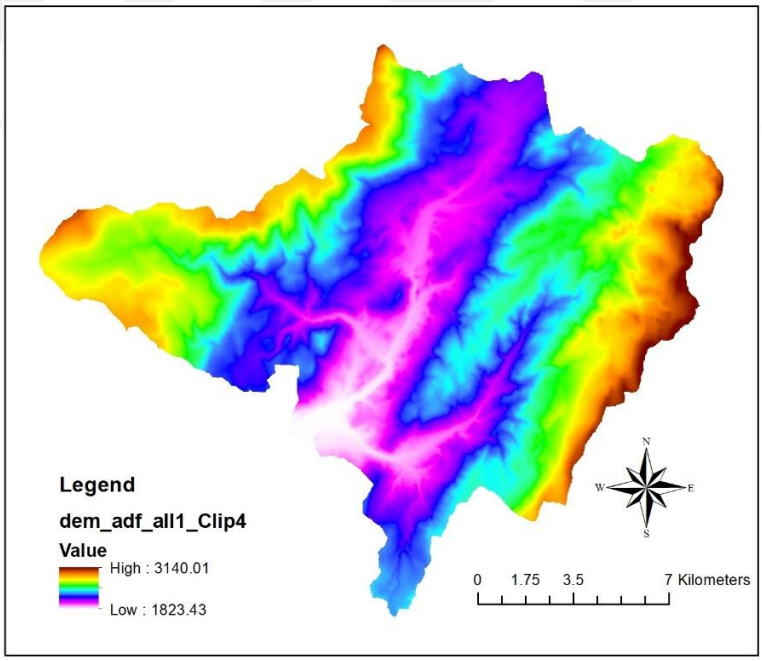


Şekil 3.1. Kırkgöze-Çipak Havzası´nın konumu ve SYM (Şenocak 2011)

Bölge yılda 150 gün karla kaplıdır ve yağışın önemli kısmı kar şeklinde düşmektedir. Havzaya ait geçmiş çalışmaların bulunması, şehir merkezine olan yakınlığı ve kontrollü bir havza olması bu alanın seçilmesinde etkin rol oynamıştır.

3.2. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

HEC-HMS programında fiziksel tabanlı hidrolojik simülasyon gerçekleştirmek için bir havza modeline ihtiyaç duyulmaktadır. Havza modelini oluşturmak için HEC-GeoHMS programı kullanılmıştır. Bu programda havza modeli oluşturmak için en temel gereksinim havzaya ait sayısal yükseklik modelidir (SYM). Çalışmanın yapıldığı Kırkgöze-Çipak havzasına ait SYM Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Bölümü´nden temin edilmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Kırkgöze-Çipak Havzasına ait SYM

3.3. Hidro-Meteorolojik Veriler

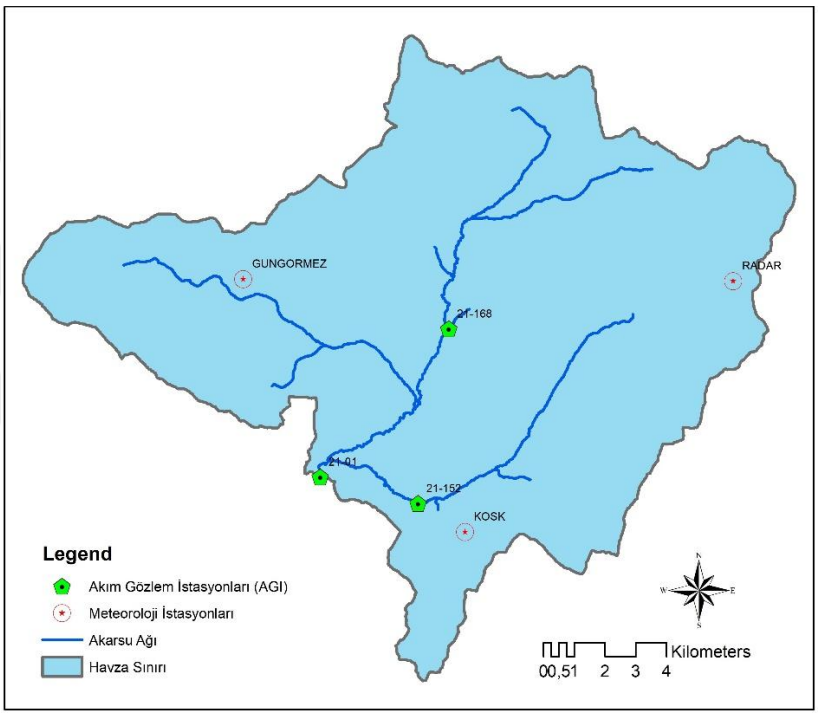
Hidrolojik simülasyonlar gerçek havza sistemlerinin basit birer temsilleridirler. HEC-HMS kullanılarak böyle bir temsiliyeti gerçekleştirmek için programa meteorolojik zaman serilerinin girilmesi gerekmektedir. Program kar erimesinde sıcaklık indeksi (Temperature Index) metodunu kullanmaktadır. Sıcaklık indeksi metodu derece gün metodunun özelleştirilmiş bir halidir. Ayrıca programda yağış-akış simülasyonlarında yağış kayıplarının büyük bir bölümüne sebep olan evapotranspirasyon da birkaç farklı metotla modellenebilir (Çizelge 2.3). Çalışmada Penman Monteith metodu seçilmiştir. Seçilen bu iki yöntem neticesinde HEC-HMS´de modelleme yapabilmek için Çizelge 3.1´de verilen meterolojik zaman serilerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Çizelge 3.1. HEC-HMS simülasyonu için meteorolojik zaman serileri

Zaman Serileri
Solar Radyasyon
Yağış
Hava Sıcaklığı
Rüzgar Hızı
Nem

Havzada 2019 m (Köşk), 2454 m (Güngörmez) ve 2891 m (Radar) kotlarında üç adet otomatik meteoroloji ve kar gözlem istasyonu bulunmaktadır (Şekil 3.3). Bu istasyonlar maksimum rüzgar hızı (m/sn), rüzgar yönü, ortalama hava sıcaklığı (° C), ortalama hava nemi (%rh), hava basıncı (mbar), ortalama toprak sıcaklığı (° C), güneş radyasyonu (W/m^2), ortalama albedo, yağış (mm), kar yüksekliği (cm), kar yoğunluğu (gr/cm^3) ve kar su eş değeri (cm) zaman serilerini 15 dakikalık periyotlar halinde vermektedir. Acar ve ark., 2009a; Acar et al., 2009b havza içerisindeki istasyonlardan alınan iklim verilerinin yeterli, kaliteli ve gerçek zamanlı toplanabildiğini göstermişlerdir. HEC-HMS ile yapılacak olan hidrolojik simülasyonlar için Köşk, Güngörez ve Radar meteoroloji istasyonlarından temin edilen 2009-2011 yıllarına ait ölçümler kullanılmıştır.

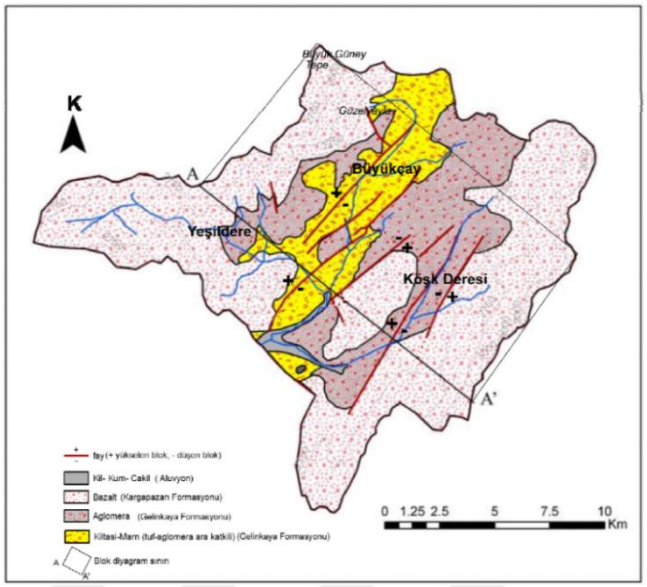
Çalışma alanında, Karasu-Çipak (21-01), Büyükçay-Karagöbek (DSİ, 21-168) ve Köşk Dere-Köşk (21-152) olmak üzere üç adet akım gözlem istasyonu bulunmakta ve bu istasyonlarda düzenli olarak hidrometrik ölçümler yapılmaktadır. HEC-HMS ile yapılan simülasyonlarda debi benzetimlerini gerçekleştirmek amacıyla bu akım gözlem istasyonları (AGİ) kayıtlarından yararlanılarak kalibrasyon yapılmıştır. Meteorolojik istasyonlar ve akım gözlem istasyonlarının konumu Şekil 3.3´de gösterilmiştir.



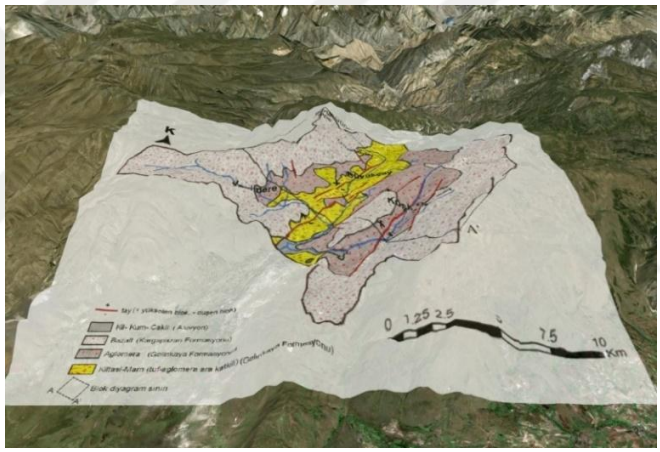
Şekil 3.3. Meteorolojik istasyonlar ve AGİ´lerin havzadaki konumları

3.4. Jeoloji ve Hidrojeoloji

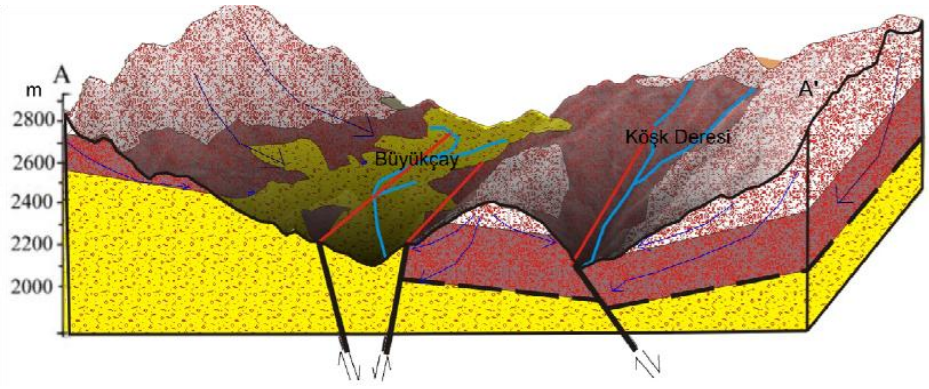
Çalışma alanının üst kotları bazaltlar tarafından çevrelenmiştir. Bu yapılar birkaç volkanizma sonucu oluşmuşlardır, bu nedenle diğer volkaniklerle karmaşık bir yapı göstermektedir. İçerisinde bulunan yeraltı suyunu küçük mevsimsel kaynaklar halinde boşaltırlar veya tüf ve aglomeradan oluşan yan formasyona aktarırlar (Şekil 3.4). Bölgede bazaltların altında yaygın halde tüf ve aglomeralar görülmektedir. Bu tüf ve aglomeralar bazalt, andezit ve tüf içerikli köşeli ve çeşitli boylarda çakıl ve blokların ince taneli volkaniklerle çimentolanması sonucu oluşmuşlardır.



a)



b)



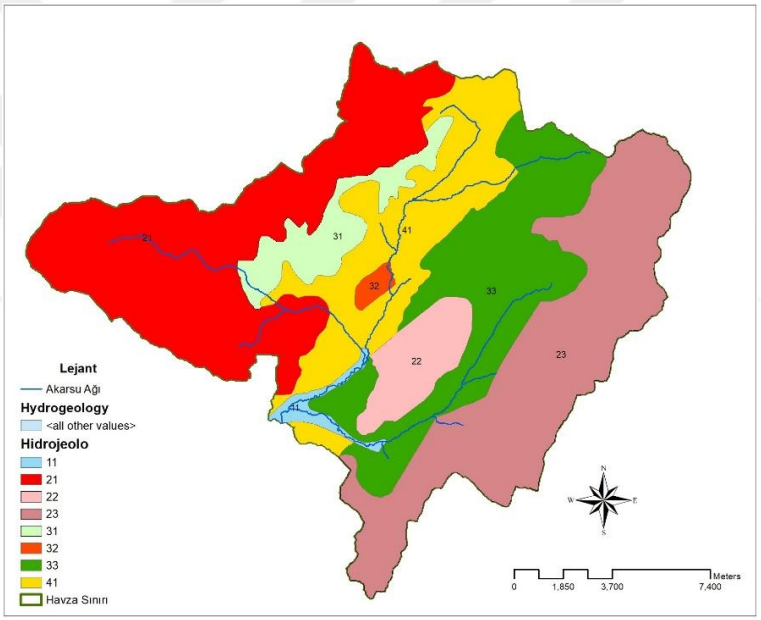
c)

Şekil 3.4. Kırkgöze-Çipak havzası için; a) jeoloji haritası, b) arazi aplikasyonu, c) A-A` jeolojik kesiti (Anonim 1978; Şengül 2011)

Çeşitli yönde faylı ve çatlaklı olan aglomeralar, çatlak zonlarında az miktarda yeraltı suyu taşımaktadır. Bölgede aglomeraların altında uyumsuzlukla gelen tüf ve aglomera

katkılı kiltaşı ve marn tabakası yer almaktadır. Üstündeki formasyonlara göre daha geçirimsiz bir yapı sunan kil ve marn tabakası sınırında küçük mevsimsel kaynaklar gözlenmektedir (Pekkan 2009).

CBS kullanılarak sayısallaştırılan jeoloji haritası jeoreferanslanarak arazi üzerindeki konumuna yerleştirilmiş ve Şekil 3.5´de gösterildiği gibi kodlanmıştır. Buna göre 11 kodu ile kil-kum-çakıl (alüvyon) tabakası, 21, 22 ve 23 kodlamaları ile Bazalt-Kargapazarı formasyonu, 31, 32 ve 33 kodları ile aglomera tabakası ve 41 kodu ile de kiltaşı-marn tabakası sayısallaştırılmıştır.



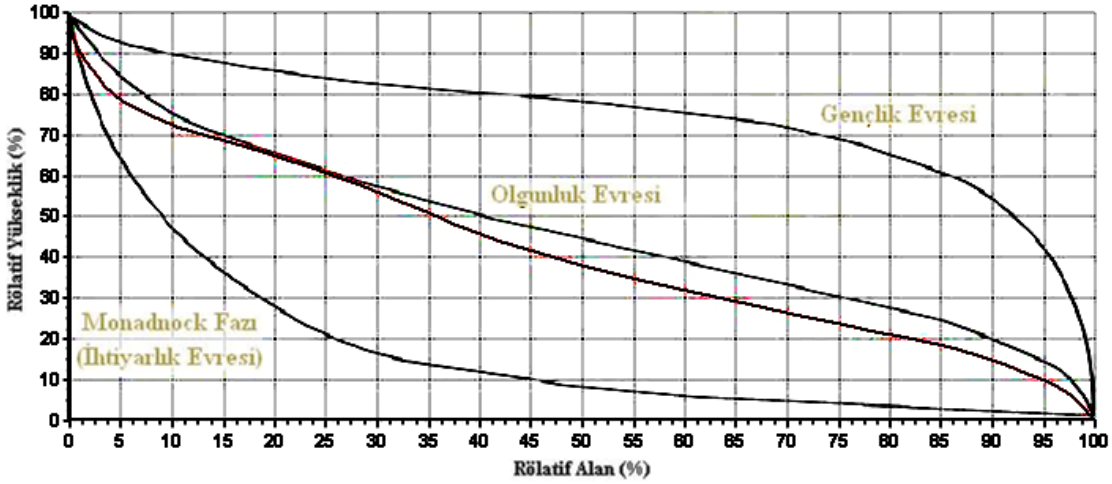
Şekil 3.5. Kırkgöze-Çipak havzası için sayısallaştırılmış jeoloji haritası

3.5. Topografya

Yükseklik farkının büyük olduğu havzalarda düşük seviyeleri temsil eden istasyonlardan elde edilen verilerin kullanılması havza geneli için hesaplanan yağış girdisinin gerçek değerinden küçük değerler almasına neden olabilir. Bu nedenle yağışın yükseklik değişimine göre ekstrapole edilmesi ve zonların hipsometrik yüksekliğine göre değerler alması önemlidir. Bunun için farklı yüksekliğe sahip istasyonlardan alınan

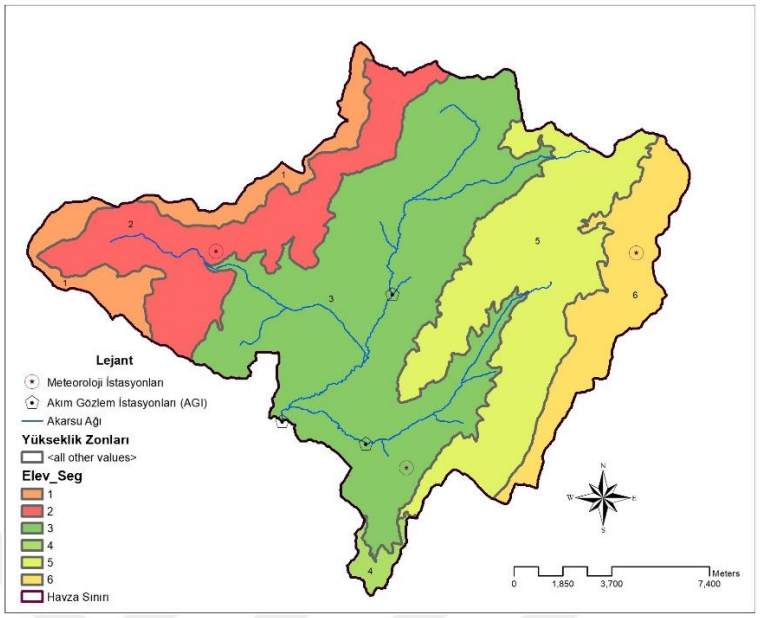
yağış değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Kar yağışının etkili olduğu havzalarda bir yükseklik gradyanıyla yağış verilerinin zonların ortalama hipsometrik yüksekliklerine ekstrapole edilmesi, örneğin her 100 metrede %3-4, önerilir (Martinec *et al.* 2007).

Hipsometrik eğri grafiği alt havzanın jeomorfolojik durumunun bir ölçüsünü sağlar (Şekil 3.6).



Şekil 3.6. Kırkgöze-Çipak havzasınına ait hipsometrik eğri (Rölatif alan (%) - Rölatif yükseklik (%)) (Şenocak 2011)

SYM´nin CBS programlarıyla, sorgulanabilen raster veriye dönüştürülmesiyle havza üç ayrı yükseklik zonuna ayrılmıştır. Havzanın en düşük ve en yüksek kotları sırasıyla 1823 m ve 3140 m´dir. Yani toplamda 1317 m civarında bir kot farkı mevcuttur. Kar hidrolojisi çalışmalarında dağlık havzalar için önerilen 500 metrede bir zon oluşturulması tavsiyesi göz önüne alınarak havza üç farklı zona ayrılmıştır (Çizelge 3.2). Yağışların yüksekliğe ve arazi topolojisine göre daha etkin dağıtılabilmesi için belirlenen zonlar 6 farklı poligon alanına ayrılmıştır (Şekil 3.7).

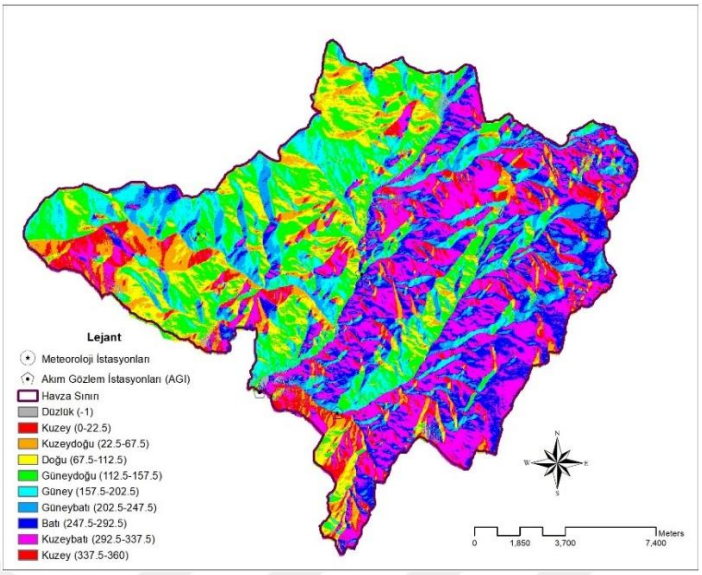


Şekil 3.7. Yağışların yüksekliğe göre daha etkin dağıtılabilmesi için belirlenen zonlar

Çizelge 3.2. Kırkgöze havzası hipsometrik değerleri

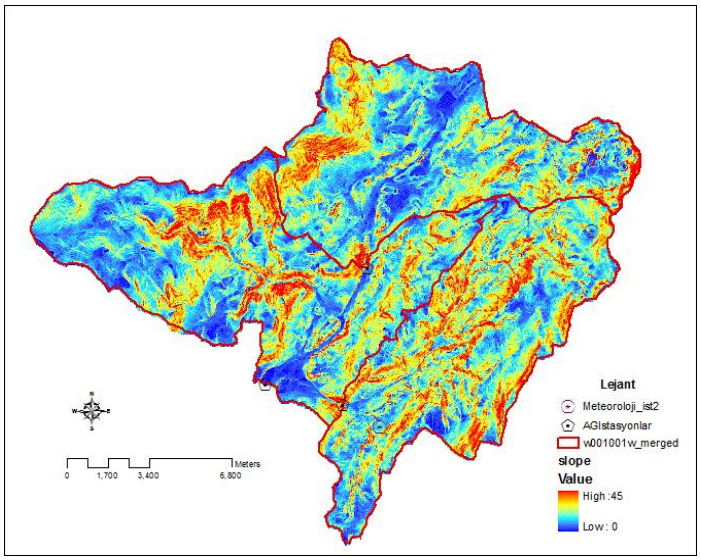
Zon (Poligon no)	Yükseklik (m)	Yükseklik Farkı (m)	Alan (km^2)	Alan (%)	Ortalama Hipsometrik Yükseklik (m)
A (3)	1823-2262	439	102,906	42,40	2109
B (2,4,5)	2262-2704	442	97,515	40,18	2459
C (1,6)	2704-3140	436	42,295	17,42	2794
Havza	1823-3140	1317	242,716	100,00	2325

Bakı, bir havza üzerindeki topografik şekillerin güneş ışınlarını alış yönünü belirtir. Bu nedenle havza üzerindeki ısınma farklılıklarını etkilemektedir ve kar erimesinde önemli bir rolü vardır. SYM kullanılarak CBS yardımıyla havzanın bakı haritası (Şekil 3.8) çıkarılmıştır.



Şekil 3.8. Kırkgöze-Çipak Havzası bakı haritası

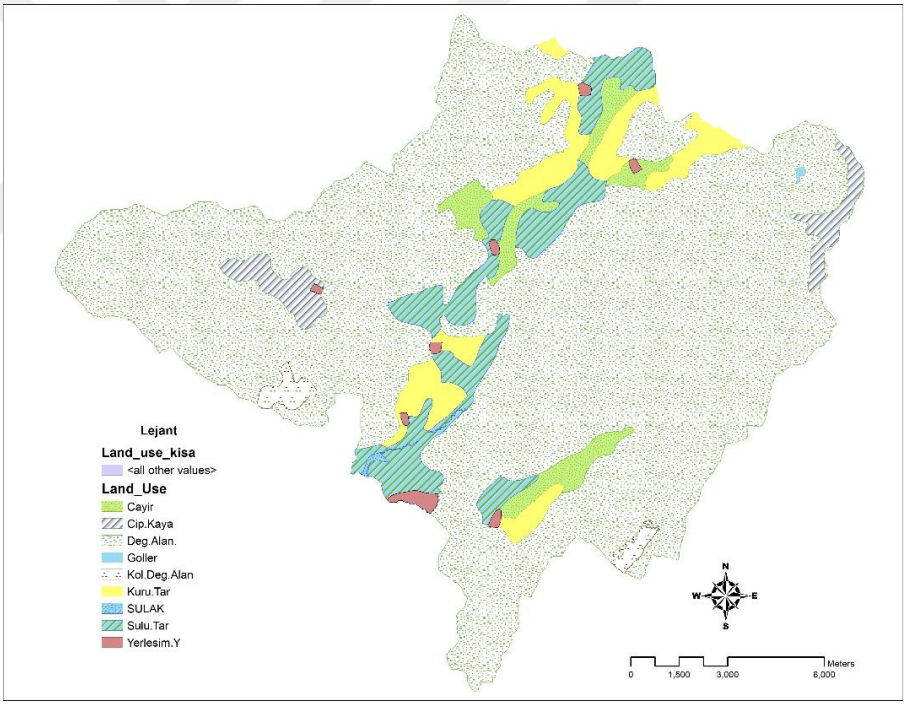
Eğim bir havzadaki yeryüzü şekillerinin ne kadar sarp veya ne kadar düz olduğunu ifade eder. Eğimin suyun akış hızı üzerindeki etkisi büyüktür. Ayrıca bakıyla birlikte eğim, bir havzanın aldığı yağışın havza üzerindeki dağılımını şekillendirdiği gibi, güneş ışınlarının ne sıklıkta ve hangi açıda alındığını belirlediği için kar erimesinde de etkili rol oynamaktadır (Kacar 2017). SYM kullanılarak CBS yardımıyla havzanın eğim haritası çıkarılmıştır (Şekil 3.9).



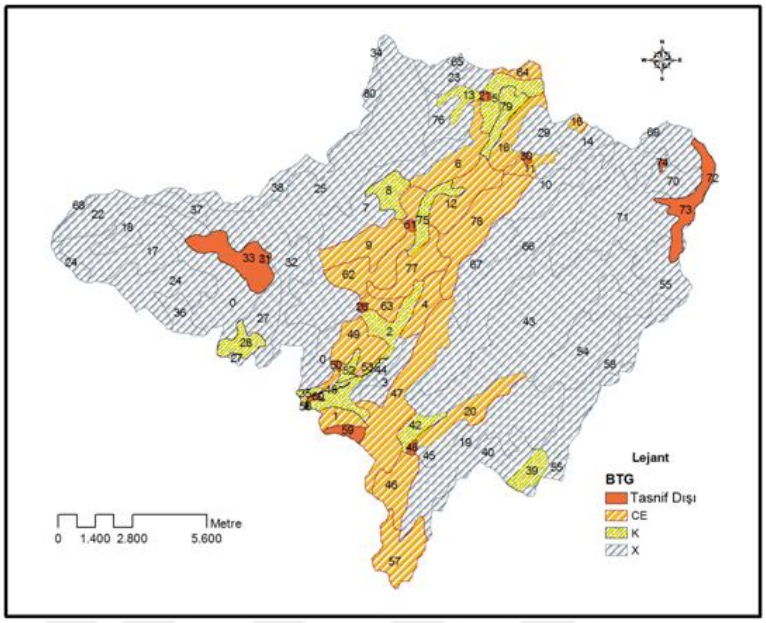
Şekil 3.9. Kırkgöze-Çipak Havzası eğim haritası

3.6. Toprak Özellikleri ve Arazi Kullanımı

Bir havzanın arazi kullanımı ve toprak özellikleri havzaya düşen suyun akım potansiyelinin ve sızma kapasitesinin hesaplanmasında etkin rol oynar. Örneğin çıplak bir arazide kanopi tutmasından bahsedilmezken yoğun bitki örtüsüne sahip arazide gelen yağışın bir kısmı bitkiler tarafından tutulmaktadır. Aynı şekilde kayalık ya da killi bir zeminde sızma miktarı çok azken kumlu bir zeminde bu durum bir hayli fazladır. Havzaya ait arazi kullanımı ve toprak özellikleri bilgileri Erzurum Valiliği Coğrafi Bilgi Sistemleri Birimi´nden temin edilmiş ve arazi kullanım haritası (Şekil 3.10) ve toprak özellikleri haritası (Şekil 3.11) CBS yardımıyla sınıflandırılmıştır.



Şekil 3.10. Kırkgöze-Çipak Havzası arazi kullanım haritası



Şekil 3.11. Kırkgöze-Çipak Havzası toprak özellikleri haritası

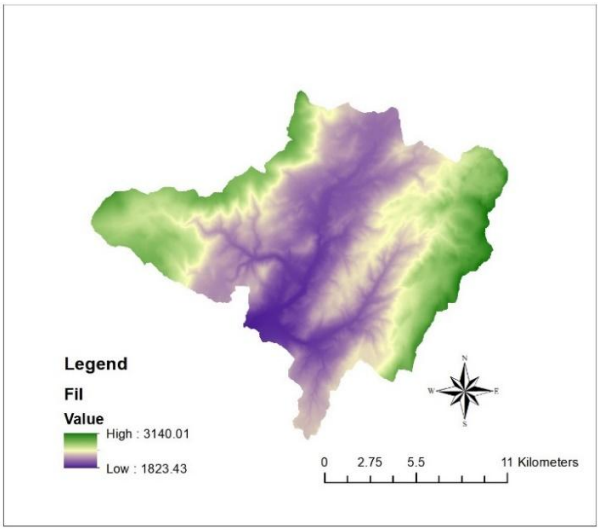
3.7. HEC-GeoHMS

3.7.1. Arazi ön işlemleri

Çalışmada kullanılan HEC-HMS model programının ana bileşenlerinden biri havza modelidir. Havza modeli oluşturulmaya, HEC-GeoHMS´de arazi üzerinde bir dizi ön işlem yapılarak başlanır. Bu kapsamda havzaya ait drenaj alanı elde edilirken çukurlukların doldurulması (fill sink), akış yönleri (flow direction), akış birikimleri (flow accumulation), akarsu ağının belirlenmesi (stream definition), akışın bölümlere ayrılması (stream segmentation), alt havza alanlarının belirlenmesi (catchment grid delineation), alt havza sınırlarının poligonal temsili (catchment polygons processing), akarsu ağının vektörel temsili (drainage line processing), alt havzaların birbirleri ile ilişkilendirilmesi (adjoint catchment processing) işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu işlemler neticesinde elde edilen veri setleri daha sonra alt havzalara yönelik akışların tanımlanması işlemlerinde kullanılır.

3.7.1.a. Çukurlukların doldurulması (Fill Sink)

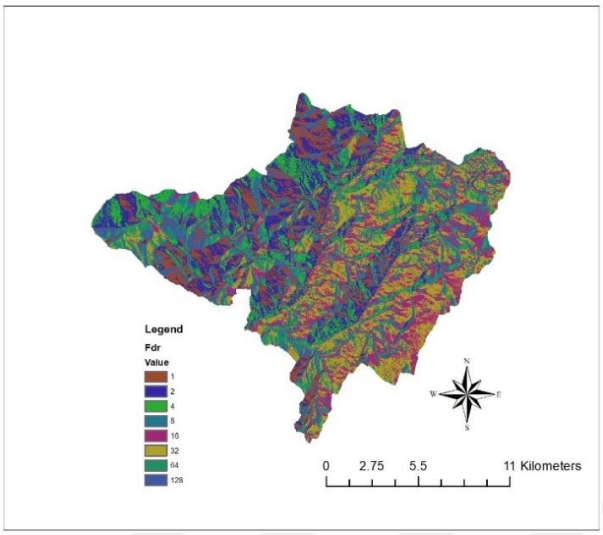
Bu işlem sayısal yükseklik modelinde çöküntü ve çukurlukların doldurulması ve akış yönlerinin doğru tahmin edilmesi için gerçekleştirilen adımdır. İşlem neticesinde çukurlukları doldurulmuş yeni SYM elde edilmiştir (Şekil 3.12).



Şekil 3.12. Çukurlukları doldurulmuş yeni SYM

3.7.1.b Akış yönleri (Flow Direction)

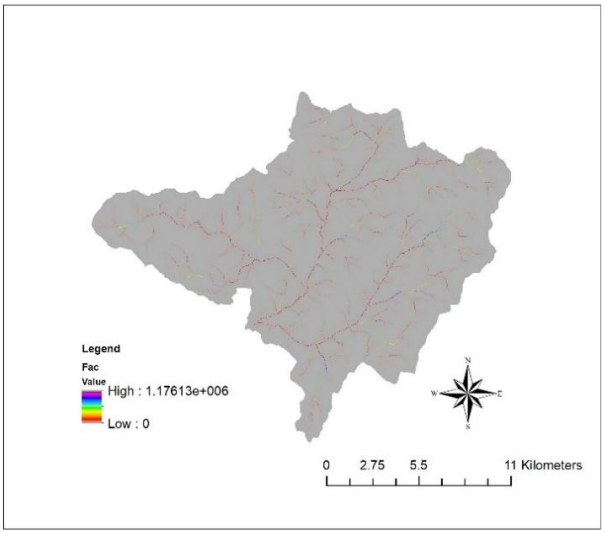
Akış yönleri, havza yüzeyi üzerinde akan suyun yönünü temsil eder (Şekil 3.13). Pusulaya benzer sekiz noktalı yön algoritması, aşağıdaki sekiz olası yönü belirtir: 1 (doğu), 2 (güneydoğu), 4 (güney), 8 (güneybatı), 16 (batı), 32 (kuzeybatı), 64 (kuzey) ve 128 (kuzeydoğu).



Şekil 3.13. Havza geneli akış yönlerinin gösterimi

3.7.1.c. Akış birikimleri (Flow Accumulation)

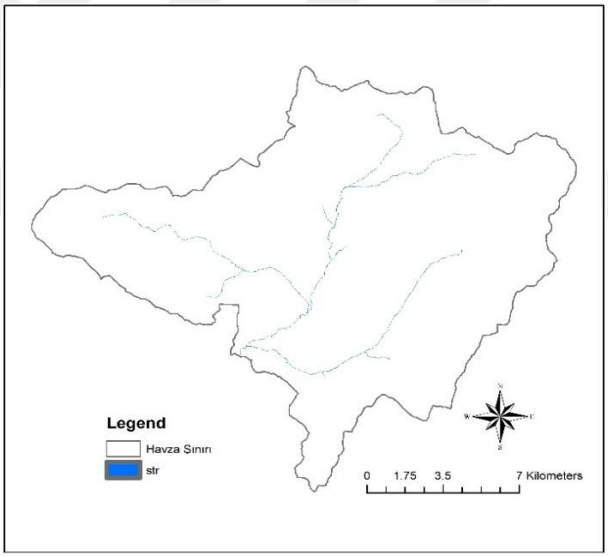
Bu adım ile verilen bir hücreye deşarj olan memba niteliğindeki hücre sayısı belirlenir. Belirli bir hücrede memba drenaj alanı, akış birikim değeri ile hücre alanının çarpılmasıyla hesaplanabilir. Havzaya ait akış birikimleri Şekil 3.14´de gösterilmiştir.



Şekil 3.14. Havza geneli akış birikimlerinin gösterimi

3.7.1.d. Akarsu ağının belirlenmesi (Stream Definition)

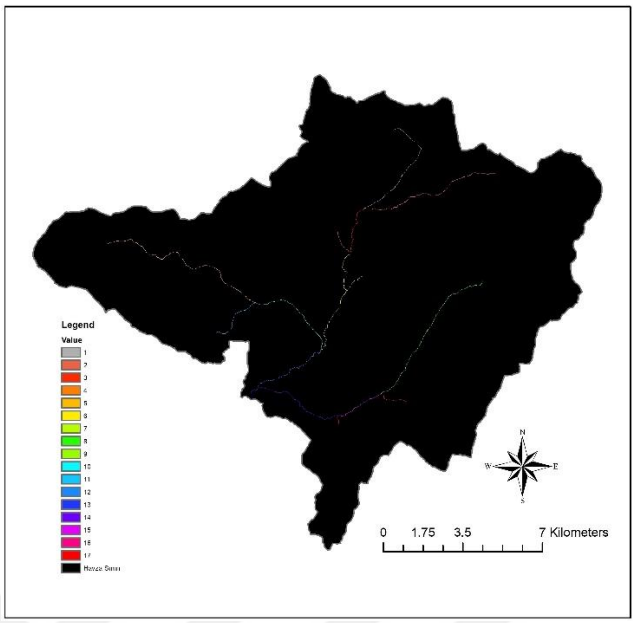
Bu adımda akış birikimlerine bağlı olarak belirlenen bir eşik değerine göre akarsu ağı oluşturulur. Eşik değeri alansal olarak belirtilebileceği gibi hücre sayısı olarak da verilebilir. Belirli bir hücre için akış birikimi, başlatılacak bir akış için tanımlanacak olan eşik değerini geçmelidir. Varsayılan değer, havzadaki en büyük drenaj alanının %1´idir. Seçilen eşik ne kadar küçükse, Geo-HMS tarafından tanımlanan alt havzaların sayısı o kadar fazladır. Bu çalışmada eşik değeri olarak 10 km^2 seçildiğinde sayısal olarak elde edilen akarsu ağının gerçek akarsu ağı ile örtüştüğü görülmüştür (Şekil 3.15).



Şekil 3.15. Akarsu ağının seçilen eşik değerine göre belirlenmesi

3.7.1.e. Akışın bölümlere ayrılması (Stream segmentation)

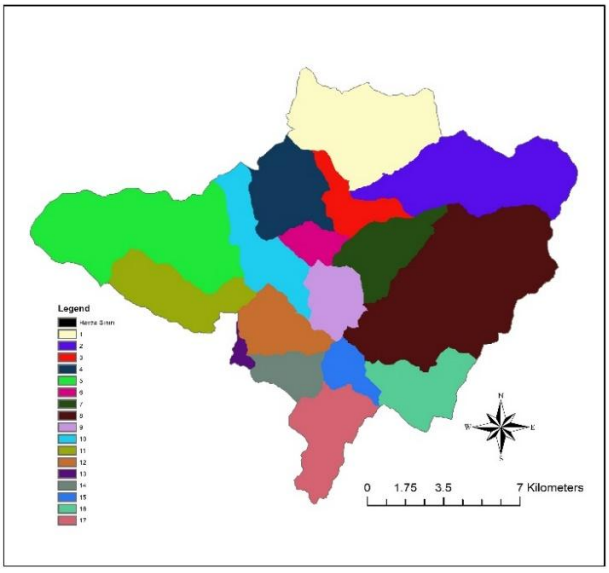
Bu adım, akışı bölümlere ayırır. Akış bölümleri veya bağlantıları, iki ardışık su kavşağını, bir kavşağı ve bir çıkışı veya bir kavşağı ve drenaj bölmesini bağlayan bir akışın bölümleridir. Bölümlere ayrılmış akış Şekil 3.16´da gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Bölümlere ayrılmış akışın gösterimi

3.7.1.f. Alt havza alanlarının belirlenmesi (Catchment grid delineation)

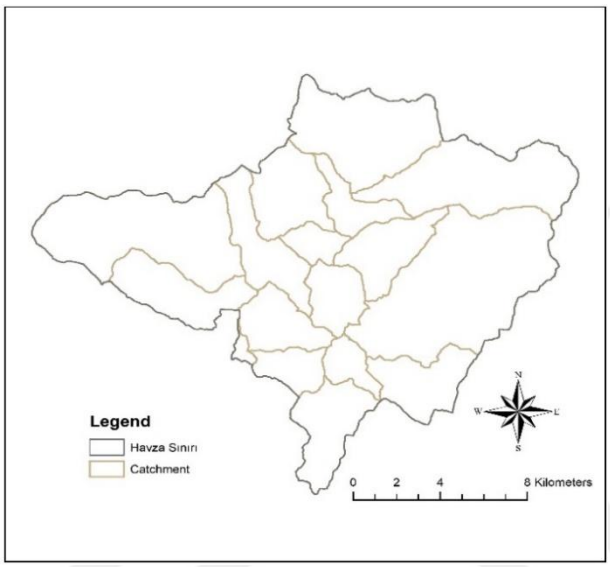
Bir önceki adımda tanımlanan her bir akarsu kolu için raster formatında bir alt havza oluşturulmuştur (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Raster formatında oluşturulan alt havzaların gösterimi

3.7.1.g. Alt havza sınırlarının poligonal temsili (Catchment polygons processing)

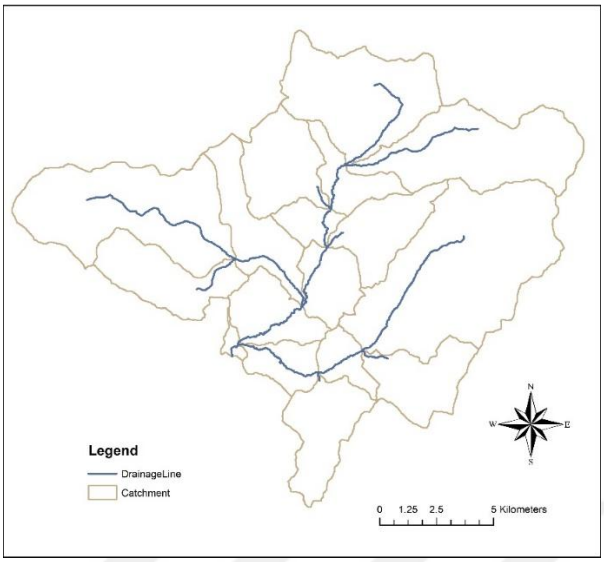
Burada bir önceki adımdan elde edilen ızgara tabanlı alt havzaların sınırları poligonal olarak belirlenmiştir (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Alt havza sınırlarının poligonal temsili

3.7.1.h. Akarsu ağının vektörel temsili (Drainage line processing)

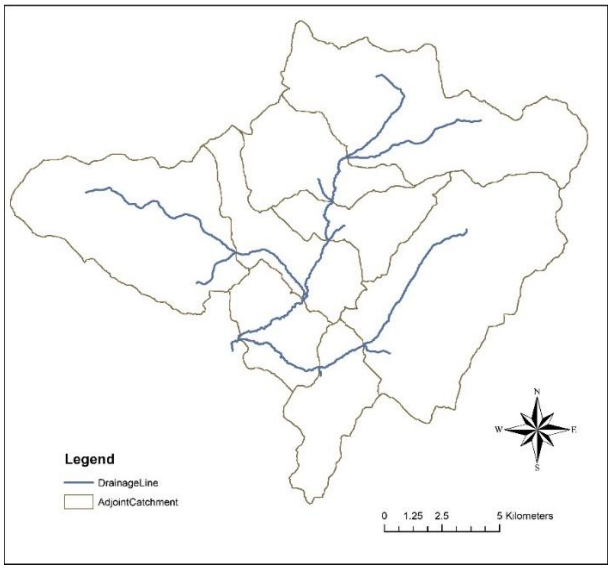
Bu adımda raster formatındaki ızgara tabanlı akışlar doğrusal vektörlere dönüştürülmektedir (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Akarsu ağının vektörel temsili

3.7.1.i. Alt Havzaların birbirleri ile ilişkilendirilmesi (Adjoint catchment processing)

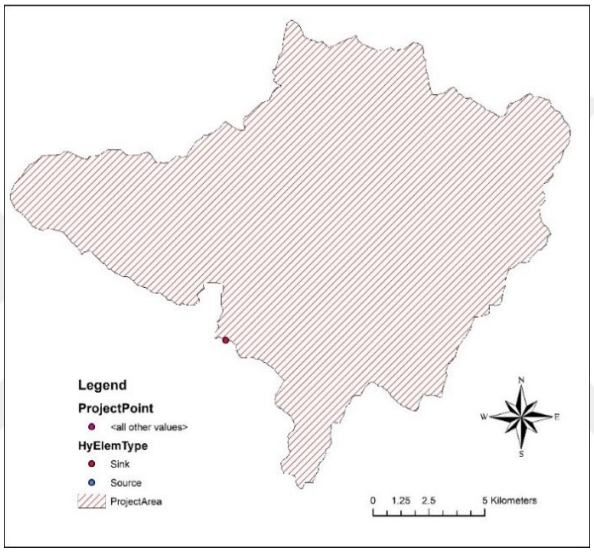
Bu adımda akarsu kollarının ve onlara ait alt havzaların birbirleri ile membada ve mansapta ne şekilde etkileşimde oldukları tespit edilerek hidrolojik hesaplamaların sürekliliğinin sağlanması hedeflenmektedir (Şekil 3.20).



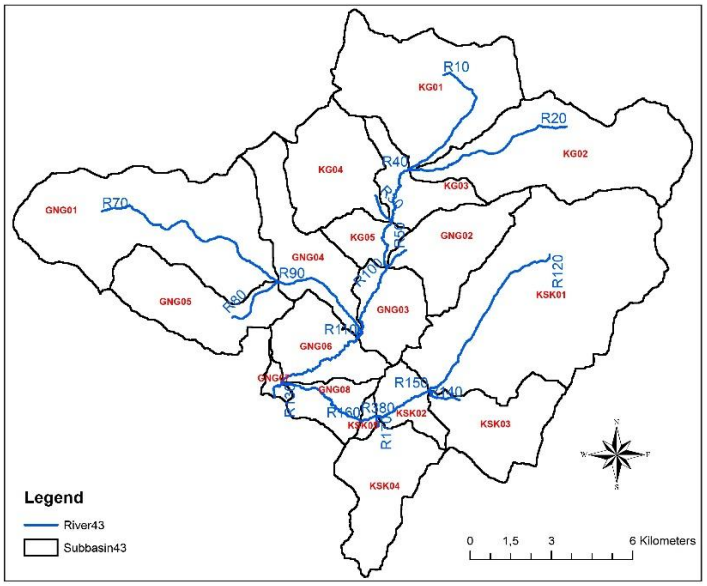
Şekil 3.20. Birbirleriyle bağlantılı akarsu kolları ve alt havzalar

3.7.2. Proje oluşturma

Arazi ön işlemleriyle gerekli olan veri setleri elde edildikten sonra HEC-GeoHMS´de proje oluşturma adımına geçilmiştir. Havzaya ait çıkış noktası seçilmesiyle havza alanı belirlenmiştir (Şekil 3.21). Belirlenen alan doğrultusunda proje oluşturulmuştur (Şekil 3.22).



Şekil 3.21. Çıkış noktasına göre belirlenen havza alanı



Şekil 3.22. Oluşturulan projeye göre havza modeli

3.7.3. Havza karakteristiklerinin belirlenmesi

HEC-HMS modelinde havza modeli için gerekli ön verileri hazırlamak üzere havza geometrik özellikleri aşağıdaki sıra ile oluşturulmuştur.

3.7.3.a. Nehir uzunluğu (River lenght)

Bu adımda akım kollarının uzunluğu CBS yardımıyla belirlenmiş olup, belirlenen uzunluklar nehir katmanı öznitelik tablosunda 'RivLen' sütununa aktarılmıştır (Çizelge 3.3).

Çizelge 3.3 Nehir Uzunlukları ve Eğimleri

OBJECTID	Shape	Name	RivLen	Slp	ElevUP	ElevDS
1	Polyline	R10	5.938,487	0.01960	2.109,530	1.993,114
2	Polyline	R20	7.145,075	0.04335	2.302,915	1.993,114
3	Polyline	R30	1.298,102	0.04295	2.012,087	1.956,329
4	Polyline	R40	2.692,820	0.01366	1.993,114	1.956,329
5	Polyline	R50	2.256,352	0.01578	1.956,329	1.920,715
6	Polyline	R60	1.126,020	0.04651	1.973,094	1.920,715
7	Polyline	R70	8.922,416	0.06319	2.571,228	2.007,378
8	Polyline	R80	2.676,788	0.05133	2.144,799	2.007,378
9	Polyline	R90	4.684,453	0.02835	2.007,378	1.874,544
10	Polyline	R100	3.434,448	0.01344	1.920,715	1.874,544
11	Polyline	R110	4.243,079	0.01069	1.874,544	1.829,154
12	Polyline	R120	7.956,509	0.04705	2.349,232	1.974,856
13	Polyline	R130	837,016	0.00684	1.829,154	1.823,428
14	Polyline	R140	1.433,634	0.10786	2.129,500	1.974,856
15	Polyline	R150	2.557,201	0.02611	1.974,856	1.908,077
17	Polyline	R170	460,788	0.02987	1.921,846	1.908,077
18	Polyline	R380	695,265	0.02176	1.908,077	1.892,944
19	Polyline	R160	4.067,615	0.01568	1.892,944	1.829,154

3.7.3.b. Nehir eğimi (River slope)

CBS yardımıyla memba ve mansap yükseklikleri belirlenen nehirlerin eğimleri hesaplanmış ve nehir katmanı öznitelik tablosuna aktarılmıştır (Çizelge 3.3). Tabloda ‘Slp’ sütunu eğimi, ‘ElevUP’ sütunu nehir memba yüksekliğini ve ‘ElevDS’ sütunu da nehir mansap yüksekliğini belirtmektedir.

3.7.3.c. Havza eğimi (Basin slope)

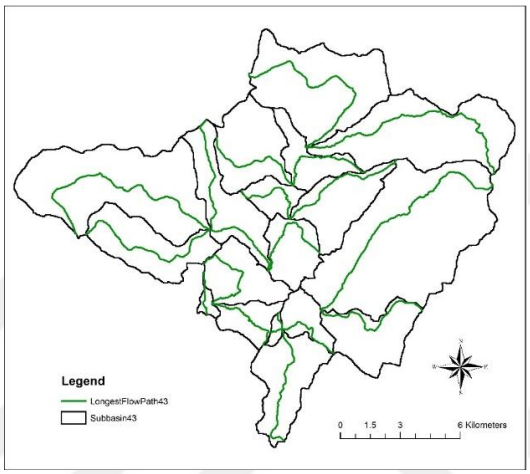
Bu adımda alt havzalar için eğimler CBS ye hesaplattırılmış ve alt havza öznitelik tablosunda ‘BasinSlope’ sütununa aktarılmıştır (Çizelge 3.4).

Çizelge 3.4. Alt havza eğimleri

OBJECTID	Shape	Name	BasinSlope
1	Polygon	KG01	0.03345
2	Polygon	KG02	0.10118
3	Polygon	KG03	0.24028
4	Polygon	KG04	0.17228
5	Polygon	GNG01	0.12353
6	Polygon	KG05	0.28780
7	Polygon	GNG02	0.17028
8	Polygon	KSK01	0.12178
9	Polygon	GNG03	0.15426
10	Polygon	GNG04	0.31988
11	Polygon	GNG05	0.21169
12	Polygon	GNG06	0.14459
13	Polygon	GNG07	0.14478
14	Polygon	GNG08	0.11068
15	Polygon	KSK02	0.31076
16	Polygon	KSK03	0.25626
17	Polygon	KSK04	0.05363
18	Polygon	KSK05	0.33426

3.7.3.d. En uzun akış yolu (Longest flow path)

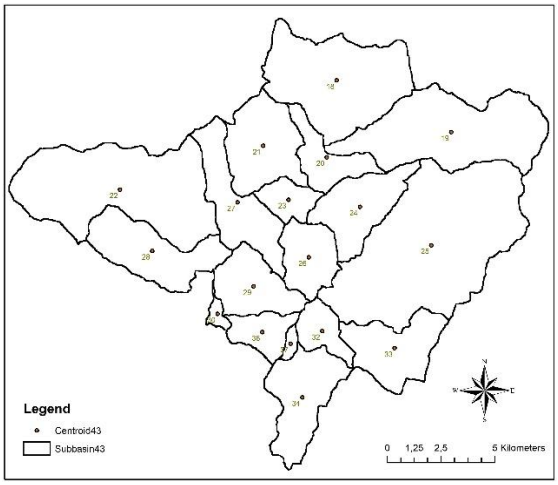
Bu adımda alt havzalarda bulunan akarsu kolları için kuru derelerde göz önüne alınarak en uzun akış yolu hesaplatılmıştır. İşlem memba ve mansap yükseklikleri ve her ikisi arasındaki eğimin belirlenmesi ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. En uzun akış yolu

3.7.3.e. Havza geometrik merkezi (Basin centroid)

Burada alt havzaların her birinin geometrik merkez noktaları belirlenmiştir (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Alt havza merkezleri ve Drain ID´leri

3.7.3.f. Havza merkezi yüksekliği (Basin centroid elevation)

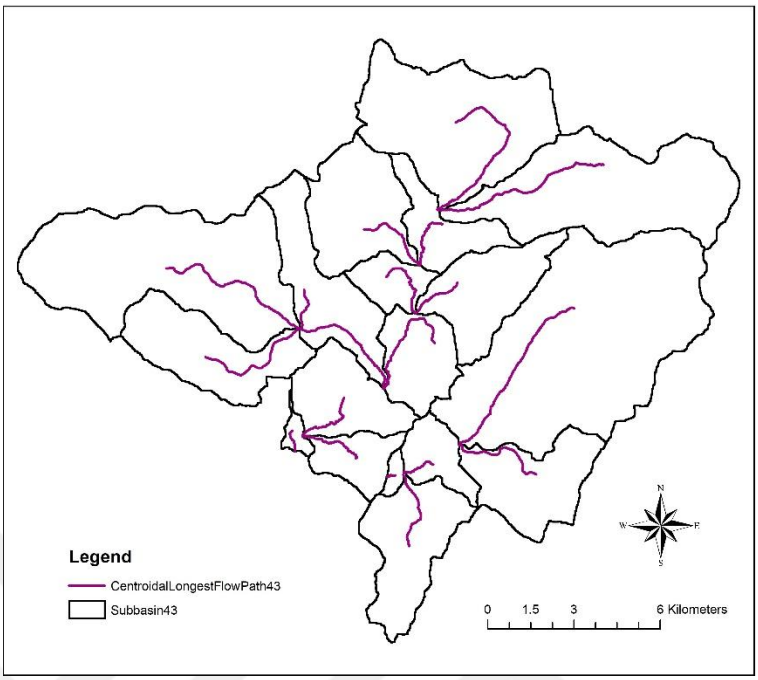
SYM kullanılarak her bir merkezin yüksekliği hesaplatılmış ve merkez katmanı öznitelik tablosunda 'Elevation' sütununa aktarılmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Merkez yükseklikleri ile enlem ve boylam değerleri

OBJECTID	DrainID	Elevation	LatDMS	LongDMS
1	18	2155,730957	40_12_19	41_27_13
2	19	2460	40_10_56	41_30_56
3	20	2016,52124	40_10_24	41_26_49
4	21	2212,135254	40_10_43	41_24_45
5	22	2472,599609	40_9_43	41_20_2
6	23	2032,446411	40_9_21	41_25_32
7	24	2306,951172	40_9_8	41_27_52
8	25	2580	40_8_7	41_30_10
9	26	2053,374512	40_7_54	41_26_9
10	27	2262,282959	40_9_20	41_23_52
11	28	2324,365479	40_8_10	41_21_2
12	29	1880,01001	40_7_12	41_24_19
13	30	1830,57312	40_6_32	41_23_7
14	36	1870,044678	40_6_3	41_24_34
15	32	1952,62793	40_6_2	41_26_31
16	33	2464,941895	40_5_33	41_28_53
17	34	2120	40_4_23	41_25_49
18	37	1905,071045	40_5_45	41_25_28

3.7.3.g Merkezi en uzun akış yolu (Centroidal longest flow path)

Bu adımda merkezi en uzun akış yolu alt havzanın merkezine en yakın en uzun akış kolu üzerindeki bir noktadan başlanarak hesaplanır ve bulunan uzunluk değerleri HEC-HMS hidrolojik modelinde kullanılmak üzere öznitelik tablosuna işlenir (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. Merkezi en uzun akış yolu

3.7.4. Havza parametrelerinin belirlenmesi

HEC-HMS´de hidrolojik simülasyon için gerekli olan havza modelinde tercih edilecek yöntemler ve bu yöntemlerin parametrelendirilmesi için gerekli adımlar aşağıdaki sıra dahilinde gerçekleştirilmiştir.

3.7.4.a. HMS proseslerinin belirlenmesi (Select HMS processes)

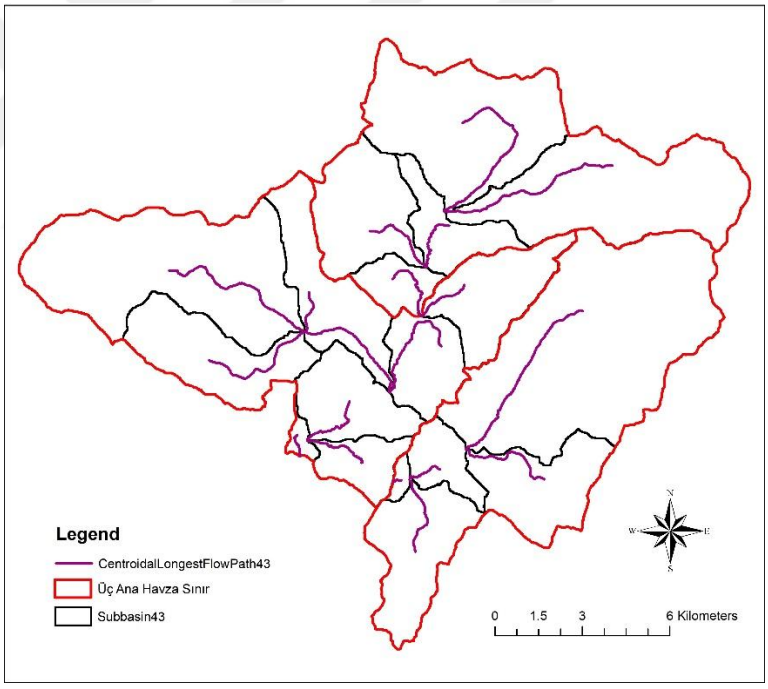
HEC-HMS havza modeli için kayıp, dönüşüm, taban akışı ve akarsu gecikme süreleri için gerekli hesaplamaların yapılması için ilgili yöntemlerin parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ancak model kurulumu yapılırken kullanıcak metotlar birden fazla olduğu için hangisinin debi benzitimi açısından uygun olduğuna model kurulumu aşamasında deneme yanılma ile karar verileceğinden bu adımdaki seçimler boş bırakılmıştır.

3.7.4.b. Nehirlerin otomatik isimlendirilmesi (River auto name)

Nehirler otomatik olarak isimlendirilmiştir. Nehir isimleri Çizelge 3.3 ve Şekil 3.22´de görülmektedir.

3.7.4.c. Alt havzaların otomatik isimlendirilmesi (Basin auto name)

Bu adımda alt havza isimleri otomatik olarak adlandırılmış fakat daha sonra havza, üzerinde bulunan 3 AGİ ye göre 3 ana bölüme (Şekil 3.26) ayrıldığı için verilen isimler düzenlenmiştir. Havza isimleri Çizelge 3.4 ve Şekil 3.22´de görülmektedir.



Şekil 3.26. Üç ana alt havza

3.7.5. HMS

HEC-HMS´de havza modeli oluşturmak için gerekli verilerin HEC-GeoHMS´den uygun formatta aktarılabilmesi amacıyla son aşama olan HMS bölümü aşağıdaki adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir.

3.7.5.a. Harita birim sistemi seçimi (Map to HMS units)

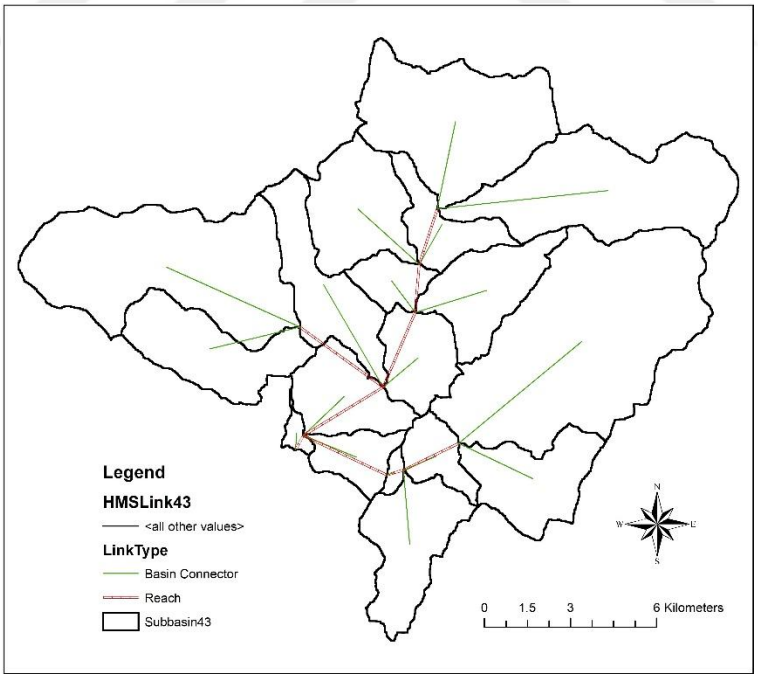
HEC-HMS de kullanılacak olan birim sistemi SI birim sistemi olarak seçilmiştir.

3.7.5.b. Verilerin kontrolü (Check data)

Modelin hidrolojik yapısını tanımlamak için kullanılan veri setlerinin tutarlığı gözden geçirilmiş ve olası hatalar kontrol edilmiştir.

3.7.5.c. HMS şematiği (HMS schematic)

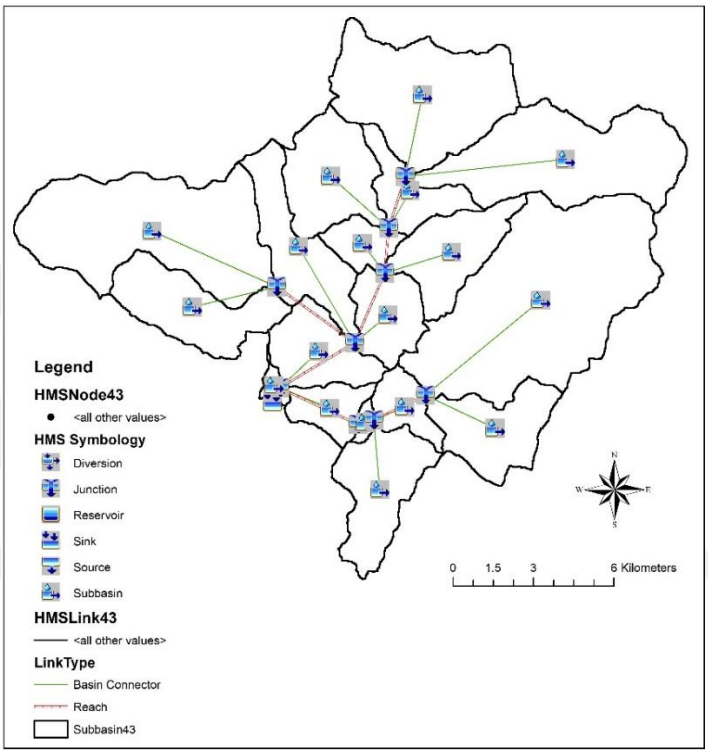
Havza modelini oluşturan temel elemanlar olan alt havzalar ve akarsu ağının hidrolojik olarak gösterimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.27).



Şekil 3.27. Havza hidrolojik ağı

3.7.5.d. HMS lejantları (HMS legend)

Tanımlanan hidrolojik ağda elemanların HEC-HMS tarafından kullanılan simgeleri yerleştirilmiştir (Şekil 3.28).



Şekil 3.28. Havzanın simgesel gösterimi

3.7.5.e. Coğrafi koordinat atanması (Add coordinates)

Havza elemanlarına coğrafi koordinat değerleri tanımlanmıştır.

3.7.5.f. HEC-HMS girdi dosyalarının hazırlanması (Prepare data for model export)

Alt havza ve nehir katmanları için öznitelik tablolarında depolanan parametre verileri toplanarak HEC-HMS havza model dosyasına aktarılmıştır.

3.7.5.g. HEC-HMS görsel altlığının hazırlanması (Background shape file)

HEC-HMS de altlık olarak kullanılmak için alt havza sınırları ve nehir ağları oluşturulmuştur.

3.7.5.h. Havza modeli (Basin model)

HEC-HMS projesine yüklenebilecek bir ASCII metin dosyasındaki hidrolojik unsurlar, bunların bağlantıları ve ilgili coğrafi bilgiler oluşturulmuştur.

3.7.5.i. Meteorologic model

Meteorolojik model tanımlaması HEC-GeoHMS´de yapılması zorunlu bir işlem değildir. Opsiyonel olan bu işlem alt havzalar için meteorolojik sınır şartlarının belirlenmesini sağlar. HEC-GeoHMS´de meteorolojik model için üç seçenek mevcuttur. Bunlar Specified Hyetograph, Gage Weights ve Inverse Distance´dir. Çalışmada Gage Weights yöntemi seçilmiştir.

Gage Weights yöntemi özünde Thiessen Poligonları yöntemi ile yağışı dağıtmaktadır ve bu da yüksekliğe değil alana bağlı bir dağılımdır. Fakat unutulmaması gerekir ki dağlık havzalarda, havzayı temsil eden alansal yağışın hesaplanması oldukça zordur. Havzanın büyüklüğüne ve topoğrafik özelliklerine bağlı olarak, yağış değerleri çok değişken olabilmektedir. Bu değişkenliği yansıtabilmek için modellenen havzada ölçüm istasyonlarının alan ve yükseklik bakımından havzayı temsil etme kabiliyetlerinin yüksek olması gerekmektedir. Eğer havzada yeterince ölçüm istasyonu yoksa bu durumda yağış değerlerinin yükseklikle değiştiği veya havzanın her yerinde eşit yağış değerlerinin gerçekleştiği kabul edilebilir.

Yükseklik farkının büyük olduğu havzalarda, düşük seviyeleri temsil eden istasyonlardan elde edilen verilerin kullanılması, havza geneli için hesaplanan yağış

girdisinin gerçektekinden düşük değerler almasına neden olabilir. Bu nedenle, yağışın yükseklik değişimine göre ekstrapole edilmesi ve zonların hipsometrik yüksekliğine göre değerler alması önemlidir. Bu yüzden, farklı yüksekliğe sahip istasyonlardan alınan yağış değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bir yükseklik gradyanıyla yağış verilerinin zonların ortalama hipsometrik yüksekliklerine ekstrapole edilmesi, örneğin her 100 metrede %3-4, önerilir (Martinec *et al.* 2007).

Yağış gözlemleri, meteoroloji istasyonlarında noktasal olarak yapılır. Yeryüzünde her bir noktaya gözlem istasyonu kurarak sonsuz sayıda gözlem yapmak ekonomik, teknik ve personel olanakları bakımından imkânsızdır. Bu nedenle, bu gözlemler sınırlı sayıdaki istasyonlarda yapılabilmektedir. Yağış gözlemlerine ihtiyaç duyulan noktalarda genellikle gözlem verisi bulunamamakta yada gözlem değerleri eksik olmaktadır. Böyle durumlarda, matematiksel ve istatistiksel yöntemler kullanılarak eksik veriler tamamlanmakta ve yağış tahminleri yapılabilmektedir.

Su kaynaklarının geliştirilmesine yönelik çalışmalarda noktasal yağış değerleri yerine, belirli bir alan üzerine düşen ortalama alansal yağış derinliğinin kullanılması tercih edilmektedir (Creutin and Obled 1982).

Yağış verilerinin diğer meteorolojik verilerle birlikte zamansal olarak uyum içinde olması, modelin gerekli iterasyonları doğru ve güvenilir olarak yapabilmesi açısından önemlidir. Bu nedenle, meteorolojik verilerin alansal dağılımı yapılırken, istasyon konumları da dikkate alınarak yükseklik ve bakıya göre yapılandırılan genel bir gruplandırma eş zamanlı atmosferik homojenitenin sağlanabilmesi bakımından daha uygun görülmüştür. Bu nedenle 1 ve 2 numaralı yükseklik zonlarındaki meteorolojik değişkenler Güngörmez istasyonu, 3 ve 4 numaralı yükseklik zonlarındaki meteorolojik değişkenler Köşk istasyonu, 5 ve 6 numaralı yükseklik zonlarındaki meteorolojik değişkenler ise Radar istasyonu değişkenleri esas alınarak dağıtım gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.7).

Bu çalışmada yağış verileri havzaya zonal bazda, yükseklikle doğru orantılı olacak şekilde dağıtılmıştır. Çizelge 3.6´da herbir zonun hipsometrik yükseklikleri ve bu zonların içerisinde bulunan meteoroloji istasyonlarının kotları verilmiştir.

Çizelge 3.6. Kırkgöze-Çipak Havzası hipsometrik değerleri

Zon	Hipsometrik Yükseklik (m)	Meteoroloji İstasyonu	Meteoroloji İstasyonu Yüksekliği (m)
1	2777,236		
2	2509,433	Güngörmez	2444
3	2098,651	Köşk	2042
4	2297,814		
5	2454,838		
6	2856,015	Radar	2887

2, 3, ve 6 numaralı zonların hipsometrik ortalamalarının sırasıyla Güngörmez, Köşk ve Radar istasyonlarının yüksekliklerine yakın olmaları nedeniyle bu zonlardaki ortalama alansal yağış hesaplamalarında doğrudan ilgili istasyonlardaki yağış yükseklikleri alınmıştır.

Diğer zonlarda hipsometrik yükseklikler esas alınarak, yağışın artan veya azalan yönde değerler alması için bir dizi algoritma çalıştırılmıştır. Öncelikle, her bir istasyondaki 15´er dakikalık yağış serileri günlük toplam yağış serilerine dönüştürülmüştür. 1, 4 ve 5 numaralı zonlardaki günlük yağış yükseklikleri, Şekil 3.7´de verilen istasyon konumları göz önünde bulundurularak hazırlanan Çizelge 3.7´deki akış şemasına göre analiz edilerek belirlenen kurallar dâhilinde hesaplanmıştır.

1, 4 ve 5 numaralı zonlar için günlük yağış yükseklikleri hesaplandıktan sonra, elde edilen bu yükseklikler sırasıyla 2, 3 ve 6. zonun günlük toplam yağış yükseklikleriyle oranlanarak, yağış katsayıları elde edilmiştir. Bu katsayılar günlük toplam yağış yüksekliğinden 15 dakikalık zaman aralığına geçiş için kullanılır. 1. zonun 15 dakikalık yağış değerlerini elde etmek için hesaplanan ilk yağış katsayısı 2. zonun 15´er dakikalık yağış serileri ile çarpılır. Bu işlemler sırasıyla 4. ve 3. zonlar ile 5. ve 6. zonlar için de

gerçekleştirilir. Böylece atmosferik homojenite bozulmadan 1, 4 ve 5. zonların yağış yükseklikleri ve zamanlamaları sırasıyla 2, 3 ve 5. zonlardan alınan ölçümler referans alınarak ayarlanmış olur.

Çizelge 3.7. Ölçüm istasyonu bulunmayan yükseklik zonlarında yağış yüksekliğinin belirlenmesi için kullanılan algoritma (Şengül 2011)

1. Zon Köşk ve Güngörmez istasyonlarının ekstrapolasyonuyla hesaplanır	***1.Kural:*** Her iki istasyonunda da yağış gözlenmesi durumunda Köşk ve Güngörmez istasyonlarındaki günlük toplam yağış miktarı istasyon yüksekliklerinden ortalama zon yüksekliğine lineer olarak ekstrapole edilmiştir. Şayet ekstrapolasyon sonucu negatif ise zonal yağış yüksekliği sıfır alınır. (Köşk>0 ve Güng.>0 ise Trend uygulanır. Eğer Trend<0 ise 1.Zon=0 alınır.) ***2.Kural:*** Köşk istasyonunda yağış yok, Güngörmez istasyonunda yağış varsa 1.Zondaki yağış yüksekliği Güngörmez istasyonuna eşittir. (Köşk=0 ve Güng.>0 ise 1.Zon=Güng.) **NOT:** Karın sürüklenerek birikmesinden ötürü, 1. Ve 2.Zonda gerek duyulan yerlerde Radar istasyonunda ölçülen yağış yükseklikleri kullanılabilir.
4. Zon Köşk ve Radar istasyonlarının enterpolasyonuyla hesaplanır	***1. Kural:*** Köşk=0 ise 4.Zon=0 ***2. Kural:*** Radar=0 ise 4.Zon=Köşk ***3. Kural:*** Köşk>0 ve Radar>0 ise Trend uygulanır. Eğer Trend<Koşk ise 4.Zon=Köşk
5. Zon Köşk ve Radar istasyonlarının enterpolasyonuyla hesaplanır	***1.Kural:*** Köşk=0 ve Radar>=5 mm ise Trend uygulanır. ***2. Kural:*** Köşk=0 ve Radar<5 mm ise 5.Zon=0 ***3. Kural:*** Köşk<5 mm ve Radar>0 ise 5.Zon=0 ***4.Kural:*** Köşk>=5 mm ve Radar=0 ise Radar istasyonunun meteorolojik verileri kontrol edilerek Trend uygulanır. ***5. Kural:*** Köşk>0 ve Radar>0 ise Trend uygulanır.

Yaz aylarında yağışölçerdeki suyu tahliye eden sifon yapısının, su biriktirme haznesine giren yağışı tahliye ederken beraberinde buharlaşma olmaması için konulan yağ tabakasını da tahliye ettiği, bu nedenle yağışölçerlerde bir miktar buharlaşma olduğu yapılan istasyon gözlemlerinden tespit edilmiştir. Ancak, sağanak yağışlar başladıktan bir müddet sonra haznenin sifon seviyesine kadar dolduğu andan itibaren yağışölçerden alınan veriler sağlıklı olarak değerlendirilebilir.

Kış aylarında, Radar istasyonunda soğuk havanın ve aşırı yağışın etkisi ile yağışölçerdeki seyrelen antifirizin belirli bir zaman sonra donması; Güngörmez istasyonunda ise antifiriz donmasa bile hazneden tahliye edilen yağış miktarını ölçen hareketli terazi milinin donarak sıkışması nedeniyle görevini yerine getirememesinden ötürü, kısmi olarak sağlıklı veri elde edilememiştir. Köşk istasyonundan alınan veriler incelendiğinde ise, hava sıcaklığının nispeten diğer istasyonlardan sıcak olması nedeniyle donma olayının gerçekleşmediği gözlenmiş dolayısıyla, kış aylarında diğer istasyonlardan çok daha sağlıklı yağış verisi temin edildiği gözlemlenmiştir. Özellikle Radar ve Güngörmez istasyonlarında karşılaşılan problemlerden ötürü yağışölçerlerden alınan verilerin direkt yağış verisi olarak kullanılması uygun bulunmamıştır.

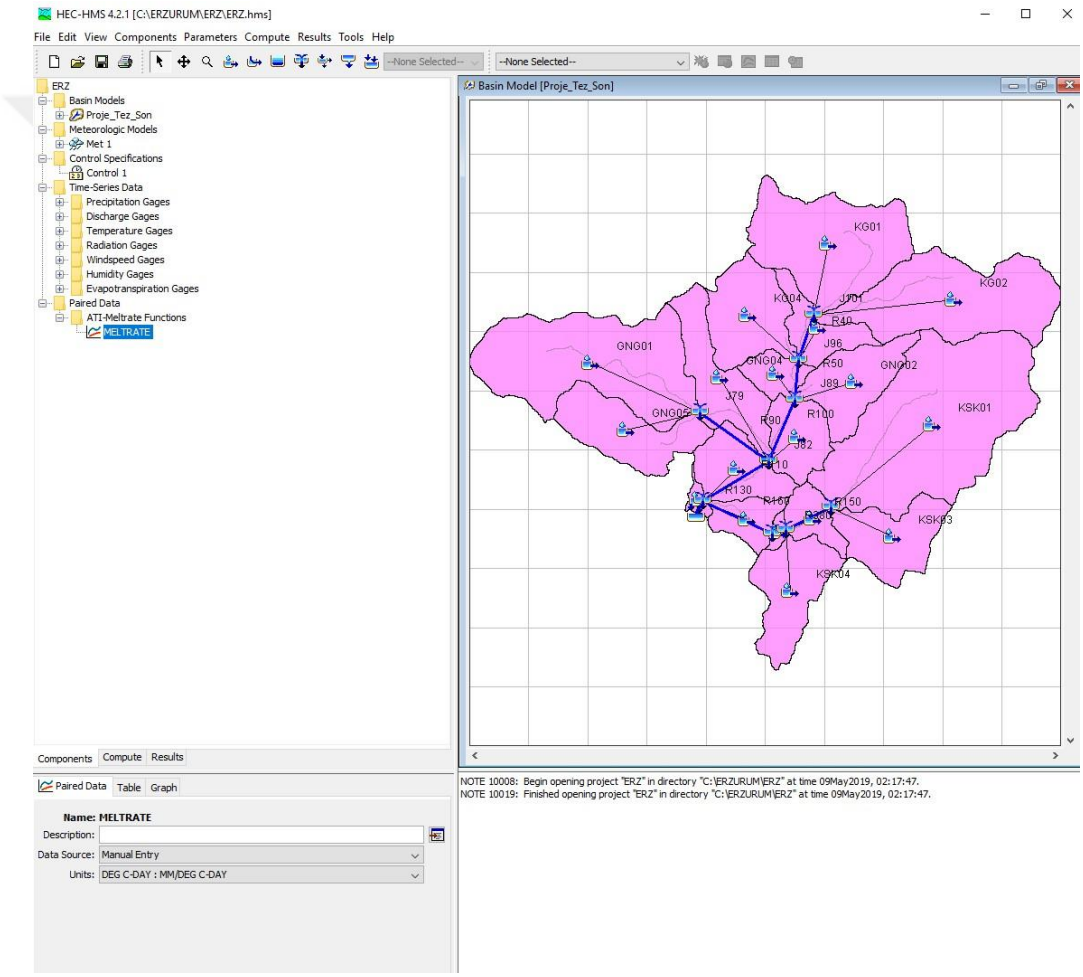
Kışın, kar birikme döneminde yağış serileri oluşturulurken, kar yastıklarından elde edilen kar su eşdeğeri (SWE Snow Water Equivalent) yüksekliklerinin 24 saatlik ortalamalarının farkları alınmıştır. Bu günlük ortalamalar arasındaki fark pozitif ise, o gün için SWE farkı istasyona yağış olarak eklenmiştir. Yağışın zamanlaması eşzamanlı albedo ve hava nemi verileri ile korelasyonlu olarak ayarlanmış, gün içindeki dağılımına ise ölçülen SWE´nin gün içindeki artış miktarlarına bakılarak karar verilmiştir.

3.7.5.j. Nihai HMS proje dosyasının oluşturulması (Create HMS project)

Üretilen tüm verileri HMS´de kolayca açmak için *.HMS uzantılı proje dosyası oluşturulmuştur.

3.8. HEC-HMS

HEC-HMS de fiziksel tabanlı sürekli bir simülasyon gerçekleştirmek için havza verileri, meteorolojik veriler, simülasyon zaman aralığı ve meteorolojik zaman serilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Havza ve meteorolojik model HEC-GeoHMS´de yukarıda anlatıldığı gibi oluşturulmuş ve HEC-HMS´ye aktarılmıştır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29. HEC-HMS arayüzü

Havza modeli ve meteorolojik model HEC-HMS´ye aktarılmış olmasına rağmen bu modeller içerisinde kullanılacak metotlar seçilmemiştir. Bu metotlar Çizelge 2.2´de gösterilmiş olup HEC-HMS içerisinde seçilecektir.

3.8.1. Havza modeli ile ilgili parametrelerin belirlenmesi

Havza modelinde kanopi tutması ve yüzey tutması metotları ile yağışın durdurulması, kayıp metodu ile sızma, dönüşüm metoduyla birim hidrograf benzetimi ve taban akışı metoduylada taban akışı benzetimi gerçekleştirilmektedir. Bölüm 2.7.1´de bahsedildiği gibi sürekli simülasyon için kanopi, yüzey, kayıp, dönüşüm ve taban akışı metotlarının her birinden uygun bir yöntem seçilmiş olmalıdır. Bu çalışmada seçilen yöntemler ve uygulama detayları aşağıda sırası ile verildiği şekildedir.

3.8.1.a. Kanopi metot

Çalışmada sürekli simülasyon hedeflendiği için Basit Kanopi (Simple Canopy) yöntemi seçilmiştir. Simülasyon başlangıcında parametreleri 2.7.1.a´da belirtilen bu yönteme ait başlangıç depolama yüzdesi ve maksimum depolama miktarı girilmelidir. Çizelge 3.8´de literatürdeki arazi tipine göre seçilebilecek maksimum kanopi değerleri görülmektedir. Havza geneli otlak olduğu için maksimum depolama başlangıç değeri 2,5 mm ve başlangıç depolama yüzdesi de yaz aylarında simülasyona başlandığı için sıfır olarak ayarlanmış ve simülasyona başlanmıştır.

Çizelge 3.8. Arazi tipine göre kanopi değerleri (Donigian and Davis 1978)

Arazi Örtüsü	**Maksimum Tutulma (mm)**
Otlak	2,5
Tarım	2,5-6,5
Seyrek Orman Örtüsü	3,8
Sık Orman Örtüsü	5,0

3.8.1.b. Yüzey metodu

Çalışmada sürekli simülasyon hedeflendiği için Basit Yüzey (Simple Surface) yöntemi seçilmiştir. Simülasyon başlangıcında parametreleri 2.7.1.b´de belirtilen bu yönteme ait başlangıç depolama yüzdesi ve maksimum depolama miktarı girilmelidir. Çizelge 3.9´da literatürdeki arazi tipine göre seçilebilecek standart depolama değerleri görülmektedir. Havza genelinde eğimler (Çizelge 3.3) değişken olduğundan maksimum depolamanın başlangıç değeri olarak 5 mm ve başlangıç depolama yüzdesi de yaz aylarında simülasyona başlandığı için sıfır olarak ayarlanmış ve simülasyona başlanmıştır.

Çizelge 3.9. Standart yüzey depolama değerleri (Bennett 1998)

Tanımlama	**Eğim, %**	**Yüzey Depolama, mm**
Geçirimsiz	NA	3,2 – 6,4
Dik, sarp	>30	1
Yumuşak, orta	5 – 30	12,7 – 6,4
Düz	0 – 5	50,8

3.8.1.c. Kayıp metodu

HEC-HMS sürekli simülasyon için iki farklı kayıp (sızma) metodu sunar. Bunlar Deficit and Constant ve Toprak Nem Hesabı (Soil Moisture Accounting SMA) yöntemleridir. Çalışmada SMA yöntemi seçilmiştir. Bu seçimin nedeni SMA´nın diğer yönteme göre toprak katmanlarını daha detaylı ele alması ve debi benzetimleri için uygun bir parametrelendirmeye sahip olmasıdır. SMA da bulunan parametreler bölüm 2.7.1.c´de tanımlanmıştır. Bu parametreler genellikle Birleşik Devletler Tarım Departmanı´nın (USDA) Soil Survey Geographic (SSURGO) veritabanında bulunan toprak özellikleri ve arazi kullanımı haritalarından elde edilmektedir. Simülasyon Türkiye´de

gerçekleştirildiği ve havzaya ait böyle bir haritalandırma bulunmadığı için parametrelerin başlangıç değerlerinin belirlenmesinde literatürde yapılan çalışmalar referans alınmıştır. Bu bağlamda Yukarı Fırat Havzası´nda yapılan çalışmalar değerlendirilmiş ve Çizelge 3.10´da ki başlangıç değerleri alınmıştır.

Çizelge 3.10. SMA kayıp metodu parametreleri başlangıç değerleri (Kikine 2017)

Parametre	**Değer**
Max Infiltration (mm/hr)	2
Impervious (%)	0
Soil Storage (mm)	100
Tension Storage (mm)	50
Soil Percolation (mm/hr)	0,6
GW 1 Storage (mm)	30
GW 1 Percolation (mm/hr)	0,4
GW 1 Coefficient (hr)	300
GW 2 Storage (mm)	40
GW 2 Percolation (mm/hr)	0,3
GW 2 Coefficient (hr)	400

3.8.1.d. Dönüşüm metodu

Birim hidrograf, akarsu havzasına belli bir zaman süresince sabit bir şiddette düşen, birim yükseklikte (1cm) artık yağışın meydana getireceği dolaysız akışın hidrografıdır (Bayazıt 1995).

HEC-HMS´de yüzey akışı hesabı gözlem yağışına dönüşüm metodu uygulanmasıyla yapılır. Çalışmada Clark Birim Hidrograf yöntemi kullanılmıştır. Parametreleri bölüm 2.7.1.d tanımlanan yönteme ait Tc parametresi alt havzaların tümü için Denklem 3.1´de verilen Kerby eşitliğiyle hesaplanmış ve Çizelge 3.12´de sunulmuştur. Yönteme ait diğer parametre olan Storage Coefficient (hr) değeri ise başlangıçta tüm alt havzalar için 200 olarak alınmıştır.

$$Tc = G(L*r/S^{0.5})^{0.467} \quad (3.1)$$

G = 0.8268 (sabit değer)

L = En uzun su yolu

r = Kerby katsayısı (Çizelge 3.11)

S = Su yolunun eğimi (m/m)

Çizelge 3.11. Kerby Eşitliği katsayıları

Yer Örtüsü	**Kerby Katsayısı**
Kozalaklı orman, yoğun çimenlik	0,80
Kışın yapraklarını döken orman	0,60
Sıradan ortalama çimenlik	0,40
Zayıf çimenlik	0,30
Düz çıplak sıkıştırılmış toprak, taşsız	0,10
Düz yol yüzeyi	0,02

Çizelge 3.12. Alt havzalara ait Tc parametreleri

Alt Havza	**Tc**	**Storage Coefficient (hr)**
KSK05	1.06	200
KSK04	2.65	200
KSK03	2.16	200
KSK02	1.69	200
GNG08	2.06	200
GNG07	1.19	200
GNG06	2.19	200
GNG05	2.64	200
GNG04	2.95	200
GNG03	2.17	200
KSK01	3.32	200
GNG02	2.44	200
KG05	2.06	200
GNG01	3.45	200
KG04	2.01	200
KG03	2.13	200
KG02	3.34	200
KG01	3.10	200

3.8.1.e. Taban akışı metodu

Sürekli simülasyon gerçekleştirmek için HEC-HMS´nin sunduğu taban akışı yöntemlerinden Constant Monthly yöntemi seçilmiştir. Simülasyon başlangıcı yaz aylarında olduğundan yönteme ait başlangıç değeri olarak akım gözlem istasyonlarından elde edilen kurak akım değerleri başlangıç taban akışı olarak girilmiştir.

3.8.2. Meteorolojik model ile ilgili parametrelerin belirlenmesi

3.8.2.a. Kısa dalga boylu radyasyon metodu

Meteorolojik modelde yer alan kısa dalga radyasyon yöntemi kar erimesi ve evapotranspirasyon için enerji bütçesi yöntemleri seçilirse gereklidir. Çalışmada Penman Monteith evapotranspirasyon yöntemi seçildiği için bir de kısa dalga radyasyon yöntemi seçme gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu sebeple Specified Pyranograph yöntemi seçilmiştir. Bu yöntem havza üzerinde bulunan meteorolojik istasyonlardan elde edilen kısa dalga radyasyon verilerini ya da harici bir program vasıtasıyla elde edilen verilerin modele girilmesini sağlar. Havza üzerinde bulunan üç meteorolojik istasyondan elde edilen veriler alt havzalara istasyonların bakı ve lokasyonlarına göre dağıtılmıştır (Şekil 3.30).

Specified Pyranograph

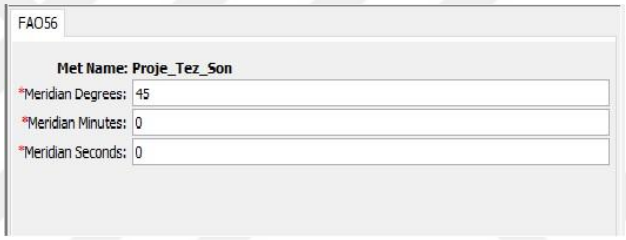
Met Name: Proje_Tez_Son

Subbasin Name	Gage
GNG01	Gungormez Solar
GNG02	Kosk Solar
GNG03	Kosk Solar
GNG04	Gungormez Solar
GNG05	Gungormez Solar
GNG06	Kosk Solar
GNG07	Kosk Solar
GNG08	Kosk Solar
KG01	Gungormez Solar
KG02	Radar Solar
KG03	Kosk Solar
KG04	Gungormez Solar
KG05	Kosk Solar
KSK01	Radar Solar
KSK02	Kosk Solar
KSK03	Radar Solar
KSK04	Kosk Solar
KSK05	Kosk Solar

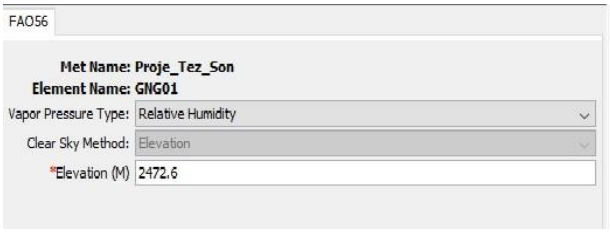
Şekil 3.30. Kısa dalga radrasyonu dağılımı

3.8.2.b. Uzun dalga boylu radyasyon metodu

Çalışmada kullanılan evapotranspirasyon yönteminin bir gerekliliği olarak uzun dalga boylu radyasyon yöntemi de seçilmelidir. Bu nedenle FAO56 uzun dalga radyasyon yöntemi seçilmiştir. Yöntemin girdileri ilgili havzaya ait saat diliminin merkezi meridyeni ve alt havzalar için hava basınç tipi ile yüksekliğinin belirlenmesidir. Çalışmada havza saat dilimi başlangıç meridyeni olarak 45° doğu boylamı alınmıştır (Şekil 3.31). Ayrıca alt havzların tamamı için hava basınç tipi olarak rölatif hava nemi (%) seçilmiş ve HEC-GeoHMS tarafından belirlenen alt havza merkez yükseklikleri (Çizelge 3.5) girdi olarak kullanılmıştır (Şekil 3.31).



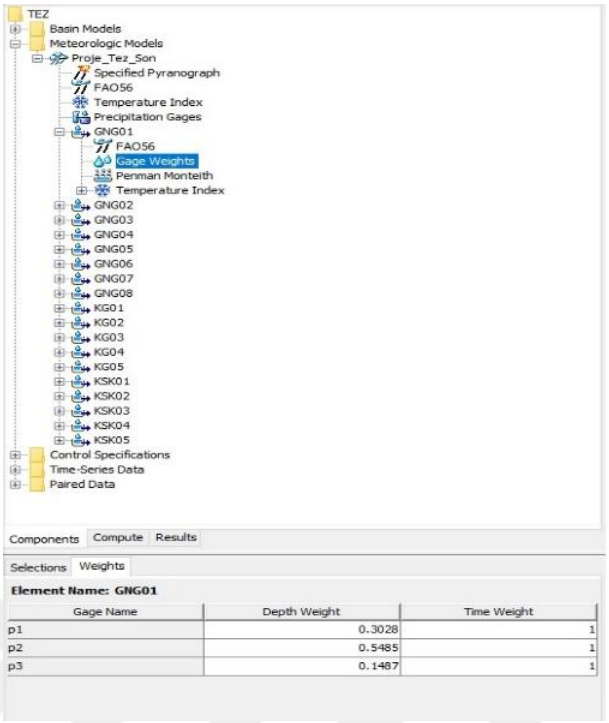
Şekil 3.31. FAO56 başlangıç meridyen değeri



Şekil 3.32. FAO56 hava basınç tipi ve yükseklik değerlerinin girilmesi

3.8.2.c. Yağış metodu

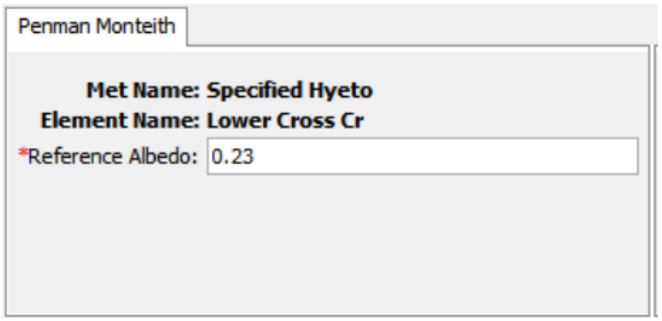
HEC-GeoHMS tarafından yağışların zonal bazda dağıtımı yapılarak oluşturulan meteorolojik model programa girilmiştir (Şekil 3.33). HEC-HMS içerisinde herhangi bir değişiklik yapılmamıştır.



Şekil 3.33. Gage Weight yöntemi

3.8.2.d. Evapotranspirasyon metodu

Evapotranspirasyon hesapları kısa süreli simülasyonlarda önemli olmamasına rağmen sürekli simülasyonlar için oldukça kritik bir öneme sahiptir. Çünkü evapotranspirasyonla meydana gelen su kayıpları şayet doğru modellenmezse bu durum debi benzetimlerinin sağlanmasını oldukça güçleştirir. Bu nedenle modelde Penman Monteith yöntemi seçilmiş ve hesaplamalara evapotranspirasyonda dahil edilmiştir. Yöntem girdi olarak yanlızca referans albedo değerine ihtiyaç duymaktadır. Bu değer ilgili istasyon verilerine bakılarak simülasyon başlangıç tarihinde okunan 0.23 değeri esas alınarak girilmiştir (Şekil 3.34).



Şekil 3.34. Penman Monteith yöntemi

3.8.2.e. Kar erimesi metodu

Çalışma alanı olarak seçilen Kırkgöze-Çipak Havzası dağlık bir havzadır. Dağlık havzlarda yağışların büyük çoğunluğu kar olarak düşmektedir. Kar mevsimi boyunca düşen kar bahar aylarında eriyerek akış oluşumuna büyük katkı sağlamaktadır. HEC-HMS´de bu durum göz önüne alınarak meteorolojik modele bir kar erime yöntemi dahil edilmiştir. Programda mevcutta iki adet kar erimesi modelleme seçeneği bulunmaktadır. Bunlar sıcaklık indeksi ve ızgara tabanlı sıcaklık indeksi yöntemleridir. Bu çalışmada sıcaklık indeksi yöntemi seçilmiştir. Yönteme ait açıklamalar Bölüm 2.7.2.e´de kapsamlı olarak ele alınmıştır. Bölüm 2.7.2.e´de anlatılan parametreler ve alınan başlangıç değerleri Şekil 2.29´da gösterilmiştir. Sayısal olarak alınan değerlerin yanında kar erimesinde sıcaklık indeksi kullanan modeller genellikle kar kütlesinin erime oranının gösterilmesini gerektirir. Erime oranı veya diğer bir ifadeyle erime hızı farklı şekillerde ifade edilebilir. Örneğin erime oranındaki değişim, karın erimeye başladığı ardışık sıcak günlerdeki kümülatif hava sıcaklıkları birikiminin bir fonksiyonu olarak ifade edilir. Bu durumda Önceden Belirlenmiş Sıcaklık İndeksi-Erime Hızı´nı belirten ATIMR (Antecedent Temperature Index–Melt Rate) fonksiyonu kullanılır. Bu fonksiyon ile erime periyodu başlangıcından itibaren herhangi bir zaman dilimi için toplanarak hesaplanan bir birikimli sıcaklık değerine karşın, o zamana kadar eriyerek olgunlaşan karın ilgili zaman dilimi içinde hangi oranda; yani ne kadarlık bir hızla eriyeceği belirlenmiş olur.

Kar fiziğinin anlaşılması adına, erime oranının kar kütlesi içindeki metamorfik süreçler nedeniyle kar mevsimi boyunca zamanla kısmen arttığını söyleyebiliriz. Bu durum buz kristallerinin birleşmesi ile zaman geçtikçe kar paketinin dışına daha fazla su salınması ile açıklanabilir.

Önceki modelleme çalışmaları tipik olarak erime oranını karakterize etmek için USACE (USACE 1991) tarafından sağlanan varsayımsal bir ATIMR eğrisine dayanmaktadır. Varsayılan eğri 1991´de SSSARR modeline dahil edilmiştir. SSARR kılavuzu (USACE 1991), Çizelge 3.13´te gösterilen ATIMR değerlerini vermektedir.

Çizelge 3.13. ATIMR´nin bir fonksiyonu olarak erime hızının tablolandırılması

ATIMR: derece F-gün (derece C-gün)	**Erime Oranı: in/derece F-gün (cm/derece C-gün)**
0 (0)	0.025 (0.12)
100 (55.56)	0.03 (0.13)
200 (111.11)	0.05 (0.23)
300 (166.67)	0.04 (0.18)
1,000 (555.56)	0.04 (0.18)

(İngiliz birim sistemindeki değerler için SSARR Modeli kılavuzu Ek D,syf.17)

Çizelge 3.13´ün varsayılan ATIMR fonksiyonunu kullanan birçok çalışma, kalibrasyon sırasında erime oranını modifiye ederek değiştirmiştir. Ancak ATIMR eğrisini doğrudan tahmin etmek için herhangi bir veri kullanmamıştır. Bazı durumlarda, varsayılan ATIMR eğrisi kar paketi simülasyonları için bir başlangıç noktası olarak alınmış ve kalibrasyon işlemi sırasında benzetilmiş sonuçları iyileştirmek için eğri değiştirilmiştir. Diğer durumlarda, varsayılan ATIMR eğrisi değişmeden kullanılmış ve zaman içinde değişen oranla, ATIMR eğrisinden alınan erime oranına ilave bir oran uygulanmıştır.

Önceden belirlenen sıcaklık indeksi olan ATI´nin formülü verilmesine rağmen, SSARR kılavuzunda varsayılan ATIMR eğrisini üretmek için uygulanan yaklaşım tarif edilmemektedir. Bunun yerine, SSARR kılavuzunda Çizelge 3.13´de verilen değerler hakkında aşağıdaki yorumda bulunulmuştur (Ek D, SSARR kılavuzunun 47. sayfası): “0.02 inç / derece gün gibi bir değer ATIMR = 0 için iyi bir başlangıç değeri gibi

görünüyor.” Ancak yine buna rağmen Çizelge 3.13 değerleri 0.025 in / derece F-gün´lük bir erime hızında başlamaktadır.

Çizelge 3.13´te sunulan ve SSARR kılavuzundan alınan İngiliz birim sistemindeki değerlerin metrik sisteme dönüştürülmesinde kullanılacak algoritma da dikkat edilmesi gereken önemli bir diğer husustur. Bu noktada ATIMR=0 derece F-gün değerinin model programları tarafından değerlendirmeye alındığında metrik sistem karşılığı olarak direk birim çevirmeye gidilmemeli ilgili ATIMR değerlerinin karın erime sürecinin başlamasından sonra eklenen sıcaklığın bir fonksiyonu olduğu gözden kaçırılmamalıdır. Bu bakış açısıyla ilgili değer karın erime sıcaklığını 0 °C kabul edecek olursak ATIMR değerleri 32 °F´ın üzerine eklenecek sıcaklık değerlerini temsil etmektedir. Erime oranı için ise birim dönüşümleri yapılırken temsil edilen ifadenin belirli bir sıcaklık indeksi değerinde kar kütlesinde biriken enerjiye karşılık gelen erimenin miktarını değil, ilgili indekste meydana gelen erimenin biriktirilen enerjiye bağlı oransal bir değeri temsil ettiği dikkate alınmalıdır. Bu bakış açısı ile örneğin ATIMR = 200 derece F-gün değerinin metrik karşılığı ATIMR = 200*5/9= 111.11 derece C-gün olarak; yine bu indeks değerine karşılık gelen 0.05 inç/derece F-gün erime oranı değerinin metrik karşılığı da 0.05 inç = 0.127 cm olmak üzere 0.127*200/111.11 = 0.23 cm/derece C-gün olarak bulunmuş olur.

Yaklaşan bahar mevsimi ile kar kütlesi için erime periyodu başladığında (ATIMR = 100 olabilir), erime oranı doğada erimeye başlayan kar kütlesini simüle edebilecek kadar yüksek olmalıdır. Bu nedenle, Çizelge 3.13´te ATIMR = 100 derece F-gün için 0.03 inç/derece F-gün değerine kadar bir artış verilmiştir.

Erime periyodu ilerledikçe ve kar kütlesi olgunlaştıkça, erime oranı belli bir değere kadar yükselebilir. Çizelge 3.13´te erime mevsiminin sonundaki en yüksek değerden sonra erimeyi azaltmaya yönelik bir argüman gözlenmiştir ancak literatürde bu argümanın doğasına ait hiçbir ayrıntı bulunmamaktadır. Çizelge 3.13, ATIMR = 200 derece F-gün´de, erime hızının maksimum 0.05´e yükseldiğini ve 300 derece F-gün ve üzerindeki ATIMR değerleriyle 0.04´e düştüğünü göstermektedir. SSARR klavuzunda

yüksek ATIMR´de azalan erime hızı için hiçbir gerekçe sunulmamış olmakla birlikte benzeri bir davranışa bu çalışmada da rastlanılmıştır.

Yayınlanmış literatüre veya arazi verilerine atıfta bulunmadan, genelleştirilmiş varsayımsal bir ATIMR eğrisinin nasıl üretildiğini belirlemek mümkün değildir. Çizelge 3.13´te verilen değerler, yazarlar tarafından sağlanan ama dökümantasyonu paylaşılmayan saha verilerinin veya metodolojinin sonuçlarının belgelendirmesiyle sağlanan bir ATIMR fonksiyonunun kavramsallaştırması gibi görünmektedir. Çizelge 3.13, kar erimesi modelleme çalışmalarının başlangıcında, 1991 yılında uygulanan sağlam mühendislik kararından da kaynaklanmış olabilir. Ancak bugün, kar erimesi tahminlerinin güvenilirliğini belirlemek için bu parametreyi tekrar gözden geçirmek gerekir (Fazel K. *et all*, 2014).

Dikkatli bir literatür taraması sonucunda Fazel *et al.* (2014) haricinde gözlemlenen verileri kullanarak ATIMR parametresinin resmi bir doğrulamasını yapan hiçbir çalışma ortaya konmamıştır. Bu çalışma ile Fazel *et al.* (2014) metodolojisi kullanılarak Türkiye´deki kar erimesinin etkin olduğu nehir akımlarının daha iyi simüle edilebilmesi maksadıyla yüksek dağlık alanlarda farklı yükselti ve bakılarda kurulan üç farklı meteoroloji istasyonundan elde edilen veriler kullanılarak bölgeye ait erime karakteristikleri noktasal ve ortalama alansal olarak ortaya konulmak istenmiş, aynı zamanda kar ile ilgili bölgesel çalışmaların daha güvenilir ve hızlı adımlarla yapılabilmesi amaçlanarak konu ile ilgili olarak yerli literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Yöntem olarak Kırkgöze – Çipak havzasındaki üç adet meteoroloji ve kar gözlem istasyonundan alınan saatlik sıcaklık ve kar su eşdeğeri (Snow Water Equivalent : SWE) verileri hata analizi metodları eşliğinde kullanılarak sahaya ve bölgeye özgü ATIMR eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen karakteristik eğriler optimize edilerek HEC-HMS model programında işletilmiş ve oluşturulan kar erime modelinin simülasyon sonuçları 2009-2011 yılları için gözlenmiş SWE değerleri ile karşılaştırılarak sunulmuştur. Sonuçta istasyon bazlı olarak noktasal eğriler ve bölgedeki diğer dağlık alanlarda

kullanılmak üzere literatürdeki SSARR değerleri yerine kullanılabilecek alansal ölçekte genelleştirilmiş ortak bir alansal eğri elde edilmiştir.

Konumları Şekil 3.3´te belirtilen istasyonlarda her 15 dakikada bir ölçülen sıcaklık ve SWE değişkenlerinin zaman aralıkları HEC-HMS model programında kullanılmak üzere birer saatlik zaman dilimlerine yükseltilmiştir. Karın birikme ve erime dönemlerinin yeterli doğrulukta simüle edilebildiğini gösterebilmek için seçilen üç yıllık zaman periyodu yeterli bulunmuştur. Erime oranı; kar su eşdeğerindeki (SWE) değişim ve hava sıcaklığı ile orantılı olarak aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{Erime Oranı} = \begin{cases} 0 & \text{eğer } \Delta SWE = SWE_{t+1} - SWE_t \geq 0 \text{ veya } \dfrac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik} \leq 0 \\ \dfrac{|SWE_{t+1} - SWE_t|}{\dfrac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}} & \text{değilise} \end{cases} \tag{3.2}$$

Denklemde: SWE = kar su eşdeğeri, cm; erime oranı = erime oranı, cm/°C-gün; T_t=gözlenen hava sıcaklığı, °C; $T_{eşik}$=karın erimeye başladığı eşik sıcaklığı, genellikle 0°C olarak alınır.

Erime oranı, karın erimeye başladığı anda yani havanın ısındığı veya diğer bir tabir ile havanın eşik değeri üzerindeki sıcaklık değerlerinde SWE´deki negatif bir değişikliğe (erimeye) bağlı olarak tüm gün boyunca hesaplanır. Kar su eşdeğeri genellikle kış mevsiminde artış ve bahar mevsiminde ise azalma eğilimindedir. Bu nedenle Denklem 3.2´de de bahsi geçtiği üzere SWE´deki değişim genel olarak birikim periyodunda pozitif, erime periyodunda ise negatiftir. SWE´deki negatif bir değişim, karın eridiğini ve kar kütlesini terk ettiğini gösterir.

Erime oranını tek başına kavramsal olarak tüm gün boyunca kar kütlesindeki erimenin toplam miktarı olarak tanımlayabiliriz. Erime oranı hesabı günlük periyotta gerçekleştiğinden ötürü sıcaklığın da aynı zamanda tüm gün boyunca bir mantıksal

şema ile toplanması gerekmektedir. Ölçülmüş saatlik verileri kullanarak ilgili hesabı gerçekleştirebilmek için aşağıdaki yaklaşım kullanılmıştır:

$$\begin{aligned} &Eğer\ T_t - T_{eşik} \geq 0, \\ &Isınan\ derece-gün = \frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik} \end{aligned} \tag{3.3}$$

Isınan derece-gün´leri erime sıcaklığı olarak kabul edebileceğimiz 0 °C´nin üzerindeki sıcaklıkların genellikle hüküm sürdüğü günler olarak tanımlayabiliriz.

Birikimli ısınan derece-günler, erime oluşumuna neden olan elverişli ortam koşullarının bir benzetimidir. ATIMR fonksiyonu, erime oranını birikimli ısınan derece-gün sayısıyla ilişkilendirir. Başka bir ifadeyle ATIMR fonksiyonu, eriyen kar kütlesinin zamanla olgunlaşmasıyla birlikte kütlenin erime oranındaki artış eğilimini simüle eder.

Kümülatif birikimli ısınan derece-günler ise önceden belirlenmiş bir sıcaklık indeksi (Antecedent Temperature Index : ATI) denklemi ile gerçekleştirilir (USACE 1991).

$$\begin{aligned} &Eğer\ SWE \geq 0, \\ &ATI_t = ATI_{t-1} \times (ATI\ Azalma\ Faktörü)^{\Delta t} + (T_t - T_{eşik}) \times \Delta t \end{aligned} \tag{3.4}$$

Denklemde ATI_t değeri hava sıcaklığının eşik sıcaklığı (genellikle ≥ 0°C olarak kabul edilebilir) üzerine çıkması ile hesaplanmaya başlanılır ve değeri pozitif değer aralığında dalgalanır; ATI Azaltma Faktörü = 0.98 (USACE 1991); Δt = 1/24 gün = 1 saat; T_t = gözlenmiş sıcaklık, °C; $T_{eşik}$ = genellikle 0 °C´dir.

ATI değerleri saatlik periyotta kümülatif olarak toplanmaya başlandığında her gün için saat 24:00´deki değer ilgili gün için ATI değeri olarak alınmıştır. Çünkü her günün son saati, gün boyunca kümülatif olarak toplanarak o güne ait ısınan derece-gün değerini yansıtmaktadır.

Denklem 3.4´deki ısınan derece-gün değeri $(T_t - T_{eşik}) \times \Delta t$ terimi ile temsil edilmektedir. Hava sıcaklığının eşik değeri üzerindeki değerleri bu terimi pozitif, eşik değerinin altındaki değerleri ise bu terimi negatif yapar. İlgili terim bir önceki zaman dilimindeki ATI değerinin bir miktar azaltılmış olan değerine eklenir. ATI_{t-1} değeri zaman serisi boyunca her adımda bir azaltma faktörü ile çarpılırken serinin kendinden sonra gelen bir zamandaki değerin hesaplanmasında geçmiş ısınan günlerin birikme üzerindeki etkisini azaltacak yönde bir etki yapar. Böylelikle ATI zaman serisinin birikimi üzerinde mevcut ısınan derece-gün değeri etkisinin denklem içinde dinamik olarak biraz daha etkin olmasına izin verilir.

Erime oranı, ATI ile ilişkilendirildiğinde erime oranı da mevsimin ilerlemesiyle birlikte kar kütlesinde meydana gelen değişikliklerin bir göstergesi haline gelir. Doğada mevsim boyunca kar kütlesinde meydana gelen fiziksel değişikliklerin bir fonksiyonu olarak değişen erime oranının gerekçesi olarak şunları ifade edebiliriz: İlk olarak kar kütlesinin metamorfik olarak erime periyodu boyunca değişimi kristallerin birleşmesine neden olur, bu da kar kütlesi yoğunluğundaki bir artış dahil bazı fiziksel özelliklerin değişmesine neden olur. İkinci olarak erime periyodu boyunca gelen güneş ışınlarının kar yüzeyinden yansıyan yüzdesi olan albedo değerindeki kademeli düşüşü, kısa dalga radyasyon emiliminde bir artışa yola açar ve böylece kar kütlesinin olgunlaşmasını kolaylaştıran bir etkisi olur.

Bu çalışmada her bir meteoroloji istasyonu konumundaki nihai karakteristik ATIMR eğrisi elde edilirken farklı yıllardaki iklim verileri bütünleşik olarak kullanıldığından ötürü doğanın davranışını olabildiğince iyi simüle edebilmek maksadıyla ölçülmüş veriler üzerinde bir hata analizi öngörülmüştür. Karakteristik ATIMR eğrisi elde edilirken erime oranları zaman serileri için herhangi bir zamanda meydana gelen bir ölçüm hatasının zaman serisi boyunca sonraki değerleri üzerinde de etkisinin taşınacağı düşünülerek Fazel K. *et al.* (2014) çalışmasında önerilen yayılımlı hata analizi tekniği (Bombardelli and García 2003) uygulanmıştır. Buna göre:

$$\text{Erime Oranı Hatası} = \frac{\partial \text{Erime Oranı}}{\partial SWE}\, hata(SWE) + \frac{\partial \text{Erime Oranı}}{\partial\left(\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}\right)}\, hata\left(\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}\right) \qquad (3.5)$$

Denklemde hata(SWE) = kar su eşdeğeri ölçüm cihazındaki hata; $\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}$ = termometre sensöründeki ölçüme bağlı olarak ısınan derece-gün değerindeki hata miktarlarını ifade etmektedir. Denklem 3.2 ve 3.5 birleştirilip Denklem 3.5 difransiyelleri alınırsa aşağıdaki Denklem 3.6 formu elde edilir.

$$\text{Erime Oranı Hatası} = \begin{cases} 0 & eğer\ \Delta SWE = SWE_{t+1} - SWE_t \geq 0\ veya\ \frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik} \leq 0 \\ \frac{hata(SWE_t) - hata(SWE_{t+1})}{\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}} + \frac{SWE_{t+1} - SWE_t}{\left(\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}\right)^2}\, hata\left(\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}\right) & değil\ ise \end{cases} \qquad (3.6)$$

İstasyonlarda kullanılan basınç ölçen manometrelerin kar yastıkları üzerindeki hassasiyetini 3,048 mm, sıcaklık sensörünün ölçüm hassasiyetini ise 1°C olarak kabul edebiliriz. Bu nedenle, tek bir sıcaklık gözlemindeki potansiyel hata artı veya eksi 1°C olurken tek bir kar su eşdeğeri derinliği gözlemindeki potansiyel hata ise artı veya eksi 3,048 mm olmaktadır. Bir gün için ısınma derece-gün değerinin tahmini için birden fazla sıcaklık değeri kullanır. Isınma derece-gün değeri 24 sıcaklık gözlemi birleştirerek hesaplanır ve bu ölçümlerin her birinde hata dikkate alınmalıdır. Her sıcaklık gözlemindeki hata, pozitif veya negatif olabilir. Hataların rastlantısal olduğu ve sistematik olmadığı varsayımıyla çalışılırsa, 1 günde ortalama olarak gözlenen sıcaklık değerlerinin 12´sinin gerçek değerden yüksek olacağı ve yine gözlenen sıcaklık değerlerinin 12 değerinin düşük olacağı varsayımı yapılır. Bu varsayım, bazı pozitif hataların bazı negatif hataları iptal etmesine yol açarak, 0´dan büyük ancak 1 Derece-Gün´den küçük bir değer ile o gün için net bir hata verir. Olumlu ve olumsuz hataların bu kısmi iptali nedeniyle, ısınmakta olan bir gün için ısınma derece-gün hatası, ısınma derece-gün´ün hata analizi için 0.5 Derece-Gün olarak ayarlanması uygun görülmüştür (Fazel K. *et al.* 2014). Bu nedenle:

$$
\begin{aligned}
&hata(SWE_{t+1}) \equiv 3,048\ mm \\
&hata(SWE_t) \equiv 3,048\ mm \\
&hata\left(\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}\right) \equiv 0.5\ ^{\circ}C - gün
\end{aligned}
\tag{3.7}
$$

olarak kabul edildiğinde Denklem 3.6´in ilk iki terimi birbirini götürerek şu şekilde basitleşir:

$$
\text{Erime Oranı Hatası} = \begin{cases} 0 & eğer\ \Delta SWE = SWE_{t+1} - SWE_t \geq 0\ veya\ \frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik} \leq 0 \\ \dfrac{SWE_{t+1} - SWE_t}{\left(\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} T_t - T_{eşik}\right)^2}\ 0.5 & değil\ ise \end{cases}
\tag{3.8}
$$

Önceden belirlenmiş sıcaklık indeksi (Antecedent Temperature Index : ATI) değerleri için gerçekleştirilecek hata analizinde de yine yayılımlı hata analizi tekniği kullanılırsa:

$$
hata\ ATI = \frac{d(ATI)}{dT}\, hata(Sıcaklık)
\tag{3.9}
$$

burada hata(Sıcaklık) = sıcaklık sensöründeki hata, olmak üzere Denklem 3.4 ile Denklem 3.9 birleştirildiğinde

$$
\begin{aligned}
&Eğer\ ATI_t > 0\ ise; \\
&hata\ ATI = (ATI\ Azalma\ Faktörü)^{\Delta t} \times \frac{d(ATI_{t-1})}{d(Sıcaklık)} \times hata(Sıcaklık) + \frac{d[(T_t - T_{eşik}) \times \Delta t]}{d(Sıcaklık)} \times hata(Sıcaklık)
\end{aligned}
\tag{3.10}
$$

Denklem 3.10´daki ifade şu şekilde yazılabilir:

$$
hata\ ATI_{t-1} = \frac{d(ATI_{t-1})}{d(Sıcaklık)} \times hata(Sıcaklık)
\tag{3.11}
$$

Denklem 3.10 ve 3.11 birleştirilirse ve daha basit olarak yazılırsa:

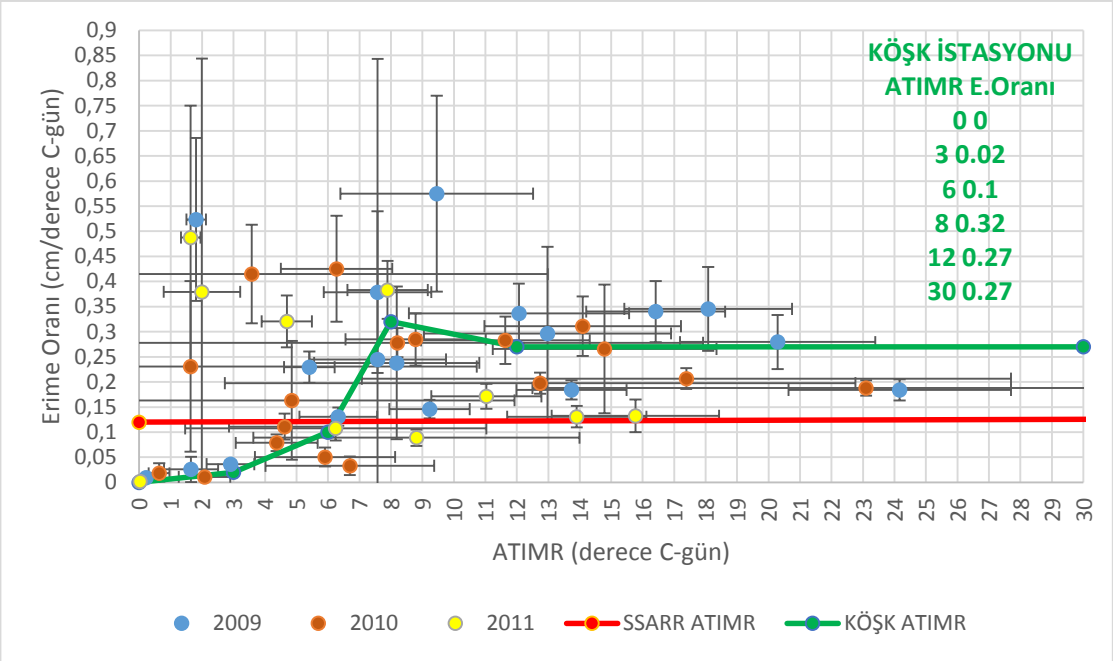
$$\begin{aligned} &Eğer\ ATI_t > 0\ ise; \\ &hata\ ATI = 0.98^{\Delta t} \times hata(ATI_{t-1}) + \Delta t \times hata(Sıcaklık) \end{aligned} \tag{3.12}$$

Nihai olarak sıcaklık sensörünün hassasiyeti 1°C olduğu için ATI değeri için hata miktarı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

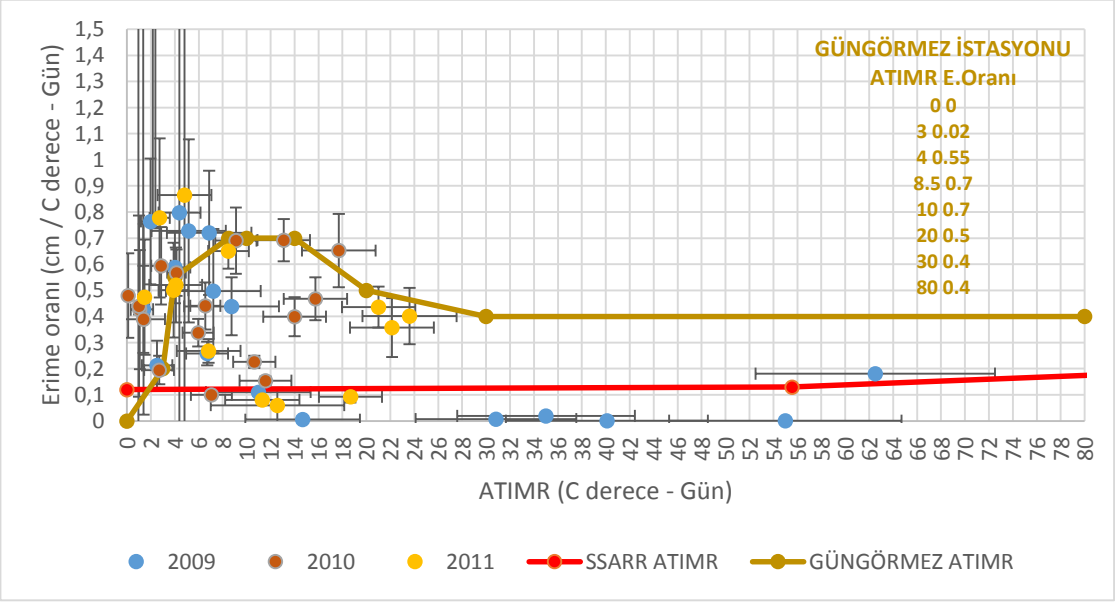
$$\begin{aligned} &Eğer\ ATI_t > 0\ ise; \\ &hata\ ATI = 0.98^{\Delta t} \times hata(ATI_{t-1}) + \Delta t \times 0.5 \end{aligned} \tag{3.13}$$

HEC-HMS kullanılarak varsayılan SSARR eğrisine karşı performansı test etmek ve gözlenen SWE değerlerinin en iyi benzetimlerinin oluşturulabilmesi için erime oranları ile ATI değerlerinin saçılım diyagramı üzerindeki hata oranları ve genel davranış göz önünde tutularak el ile uygun kalibrasyon çizgileri çizilmiştir. Bu çizgiler birbirini takip edecek şekilde birleştirilerek her bir istasyon için üç yıllık periyotta en iyi SWE benzetimini sağlayan eğri ilgili istasyon için en uygun ATIMR eğrisi olarak kabul edilmiştir. Sıfır ATI veya sıfır erime hızı olan herhangi bir gün, ATIMR grafiğinden çıkarılmıştır. Grafik üzerindeki değerlerin hesaplamaları her yılın erime ve birikme mevsimleri boyunca ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sonuçlar üç yıl boyunca üst üste aynı grafik eksen takımı üzerinde gösterilerek gerek yıl içinde zamansal olarak, gerekse tüm yıllar boyunca mekânsal olarak erime ve birikme karakteristiklerinin aynı grafik üzerinde gözlenerek nihai ATIMR eğrisi için uygun bir karar verilmesi sağlanmıştır.

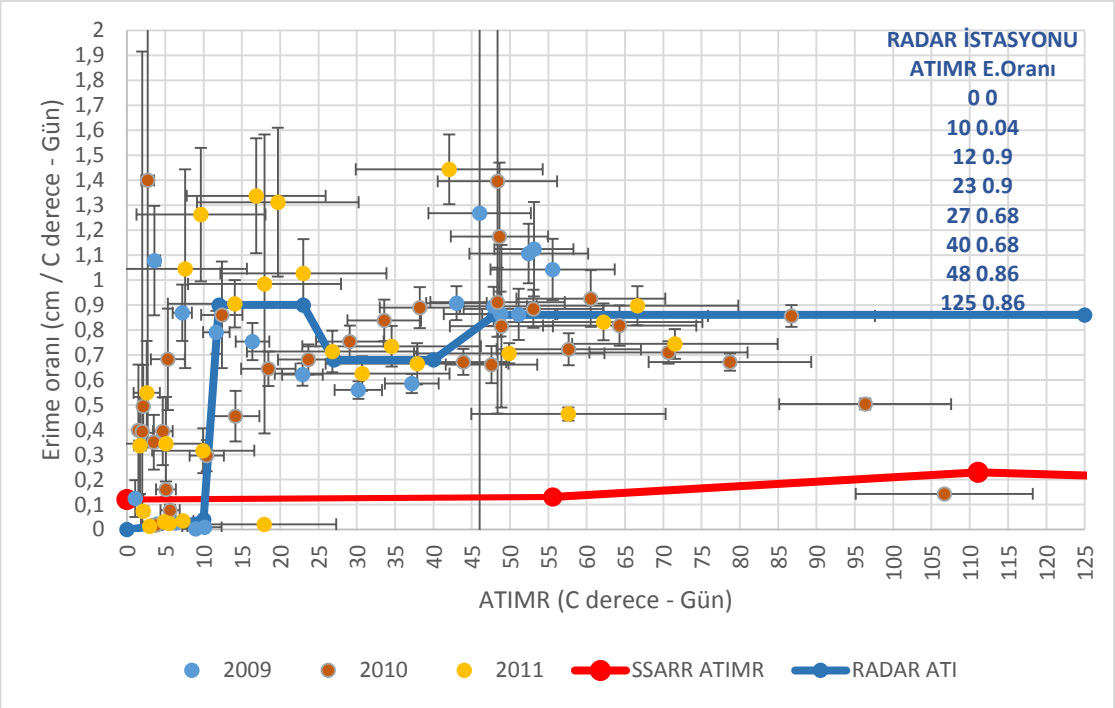
Şekil 3.35, Şekil 3.36 ve Şekil 3.37´de sırasıyla Kırkgöze-Çipak havzası düşük, orta ve yüksek yükseklik zonlarını temsil eden Köşk, Güngörmez ve Radar İstasyonları için 2009-2011 yılları arasında üç ardışık erime mevsimi için hesaplanan ATIMR değerleri, hesaplanan hatalar ile birlikte ayrı ayrı verilmiştir. Şekil üzerinde yine varsayımsal SSARR fonksiyonu ve ilgili lokasyonlar için elde edilen noktasal ATIMR fonksiyonlarının eğrileri sonradan HEC-HMS gibi model programları ile yapılacak çalışmalarda modelleyicilerin kullanılabilmesi için detaylarıyla sunulmuştur.



Şekil 3.35. Köşk İstasyonu (2019 metre) için SSARR ve KÖŞK ATIMR eğrileri ile hata oranları



Şekil 3.36. Güngörmez İstasyonu (2454 metre) için SSARR ve GÜNGÖRMEZ ATIMR eğrileri ile hata oranları

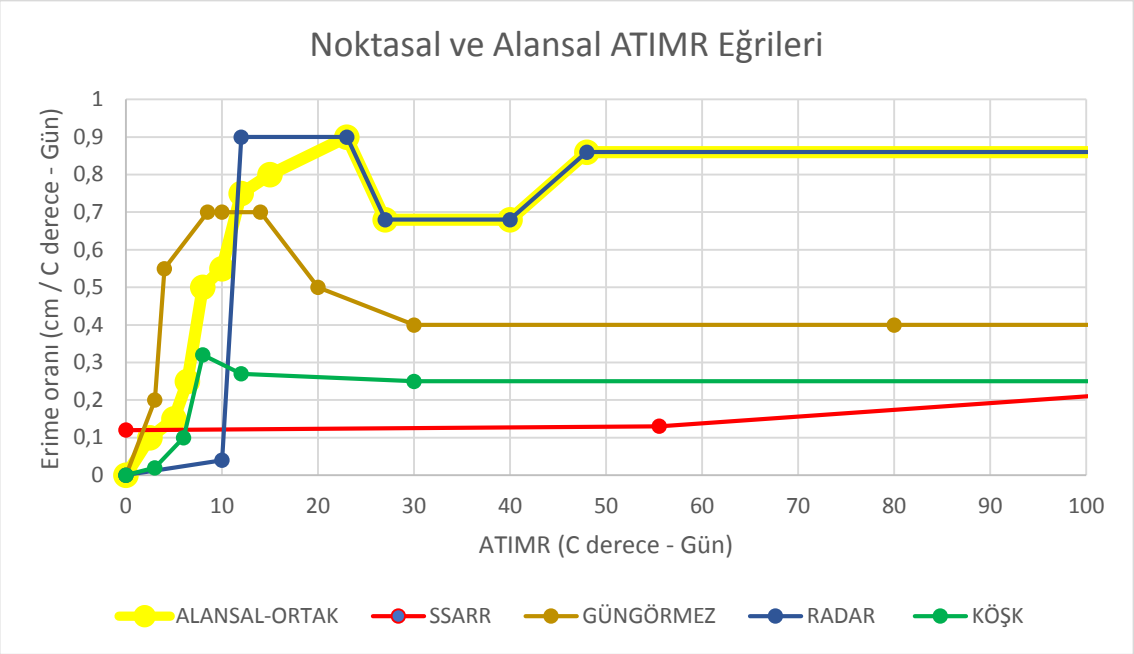


Şekil 3.37. Radar İstasyonu (2891 metre) için SSARR ve RADAR ATIMR eğrileri ile hata oranları

HEC-HMS´de bir havza modeli ile yanlızca bir meteorolojik model çalıştırılabildiği için bulunan noktasal ATIMR eğilerinin alansal olarak tüm havzayı temsil edebilecek şekilde revize edilmesi gerekliliği oluşmuştur.

Alansal ATIMR fonksiyonu elde edilirken noktasal ATIMR fonksiyonlarının her üçünü de iyi bir şekilde temsil edebilmesi gerekmektedir. Bunun için arazi ve kar yüksekliklerine bağlı olarak noktasal değerler ortak bir şekilde incelenmelidir. Aynı zaman periyodunda farklı yüksekliklerdeki Köşk, Güngörmez ve Radar istasyonlarında biriken kar kütlelerinin birikim miktarındaki artışa bağlı olarak ortak ATIMR fonksiyonunda birikimli olarak artış gösteren ATI değerlerinin, düşük rakımdan yüksek rakıma doğru, artan değerleri orantısal olarak irdelenmiştir. Örneğin düşük rakımdaki Köşk İstasyonu´nda, kar kütlesinin az olmasına ve erkenden erimesine bağlı olarak sınırlı bir ATI değerine kadar birikim söz konusu iken alansal ATI´nin bu sınırı aşan değerleri için sırasıyla daha yüksekteki istasyonların ATI değerleri ile orantısal olarak

devam edilmiştir (Şekil 3.38). Kırkgöze-Çipak Havzası için elde edilen nihai alansal ATIMR fonksiyonunun değerleri Çizelge 3.14´te sunulmuştur.



Şekil 3.38. Noktasal ve alansal ATIMR eğrileri

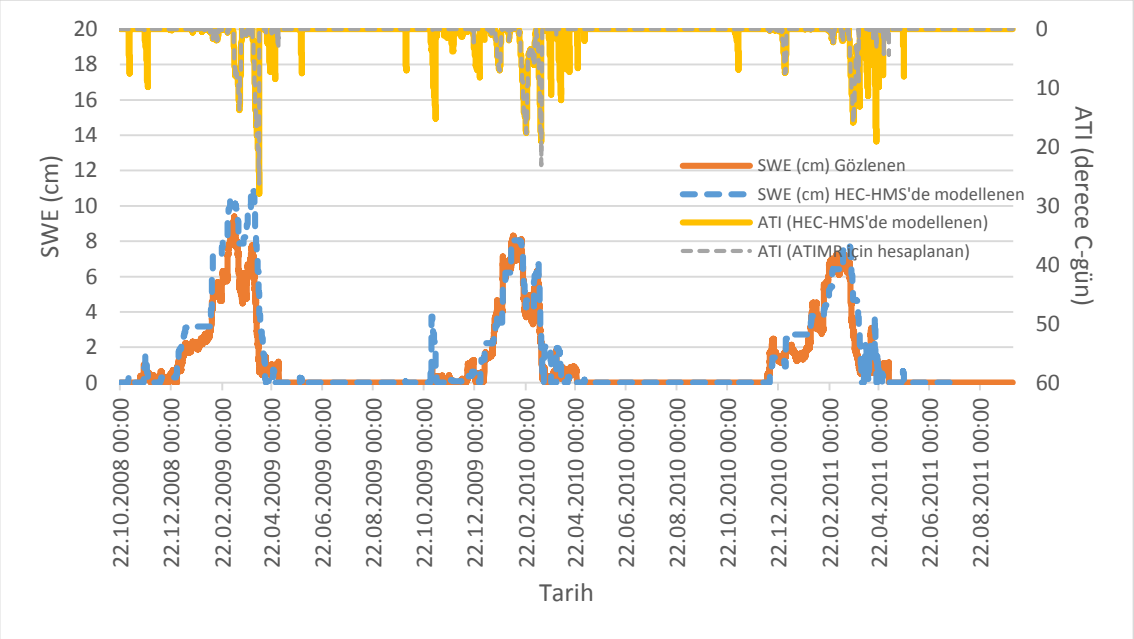
Çizelge 3.14. Kırkgöze-Çipak Havzası alansal-ortak ATIMR fonksiyonu

ATIMR (C derece - Gün)	**0**	**2.5**	**5**	**6.4**	**8**	**10**	**12**	**15**	**23**	**27**	**40**	**48**	**400**
Erime oranı (cm/C derece - Gün)	0.00	0.10	0.15	0.25	0.50	0.55	0.75	0.80	0.90	0.68	0.68	0.86	0.86

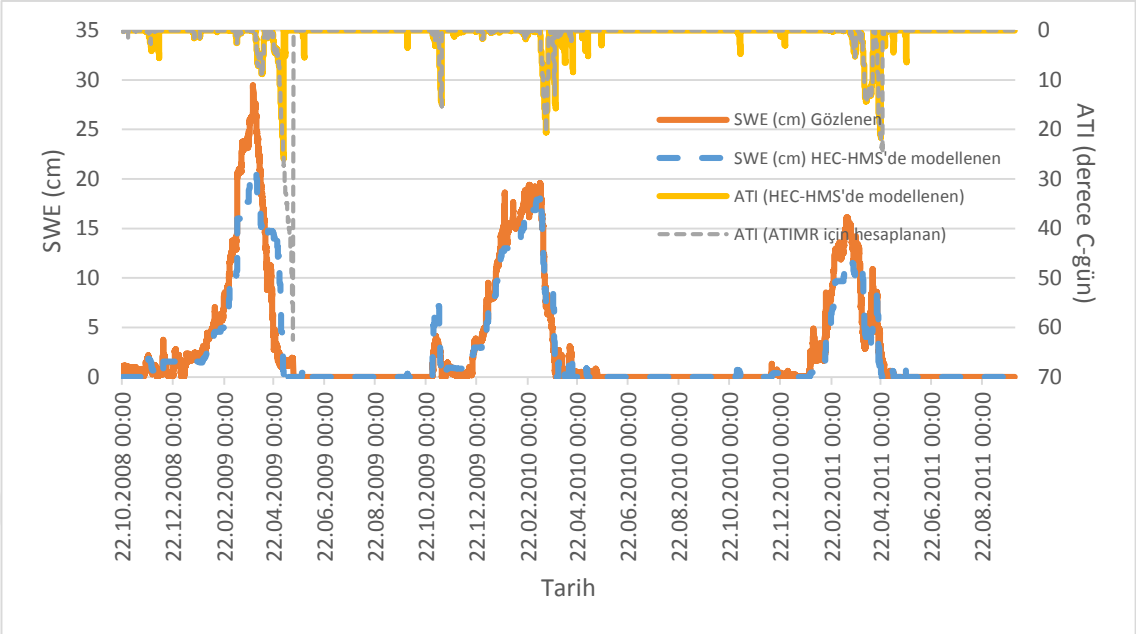
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Sıcaklık İndeksine Ait Sonuçlar

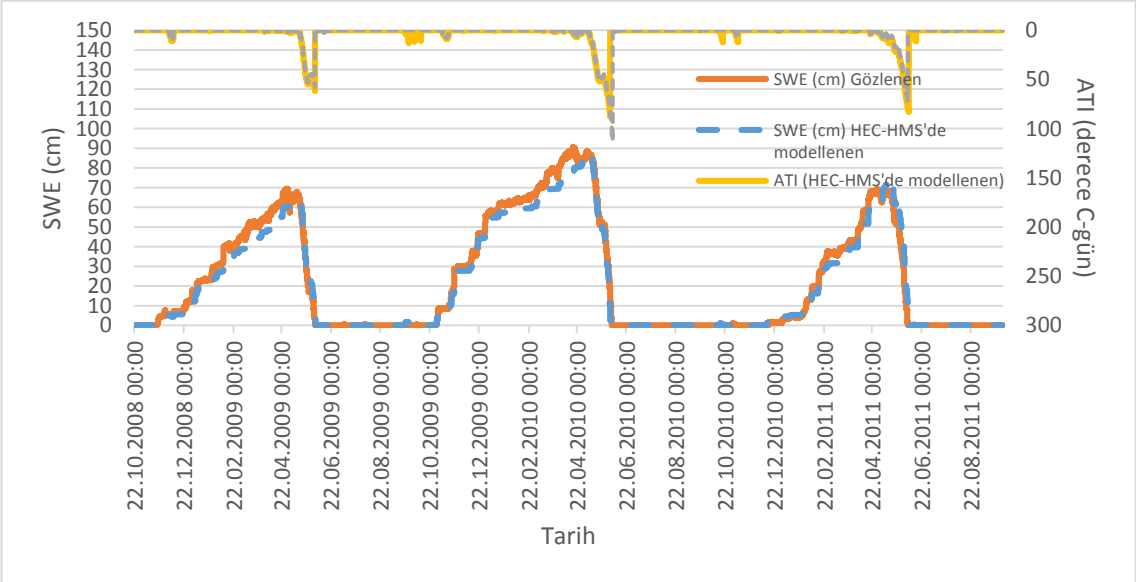
Çalışma kar yağışının etkili olduğu bir havzada gerçekleştirildiği için simülasyonlara kar erimesi yöntemi de dahil edilmiştir. Sıcaklık indeksi yöntemiyle gerçekleştirilen bu modellemede öncelikle havza üzerinde bulunan Köşk, Güngörmez ve Radar Meteoroloji İstasyonları´na yönelik noktasal kar su eşdeğeri benzetimleri için ATIMR eğrileri elde edilmiştir. Daha sonra ilk olarak elde edilen bu noktasal eğrilerle HEC-HMS´de her bir istasyon konumunda kar su eşdeğeri benzetimleri yapılmıştır (Şekil 4.1.a,b,c).



Şekil 4.1.a. Köşk İstasyonu için hesaplanan ve modellenen noktasal ATI gidişat değerleri ile Kar Su Eşdeğeri (SWE) yüksekliklerinin karşılaştırmalı grafiği



Şekil 4.1.b. Güngörmez İstasyonu için hesaplanan ve modellenen noktasal ATI gidişat değerleri ile Kar Su Eşdeğeri (SWE) yüksekliklerinin karşılaştırmalı grafiği



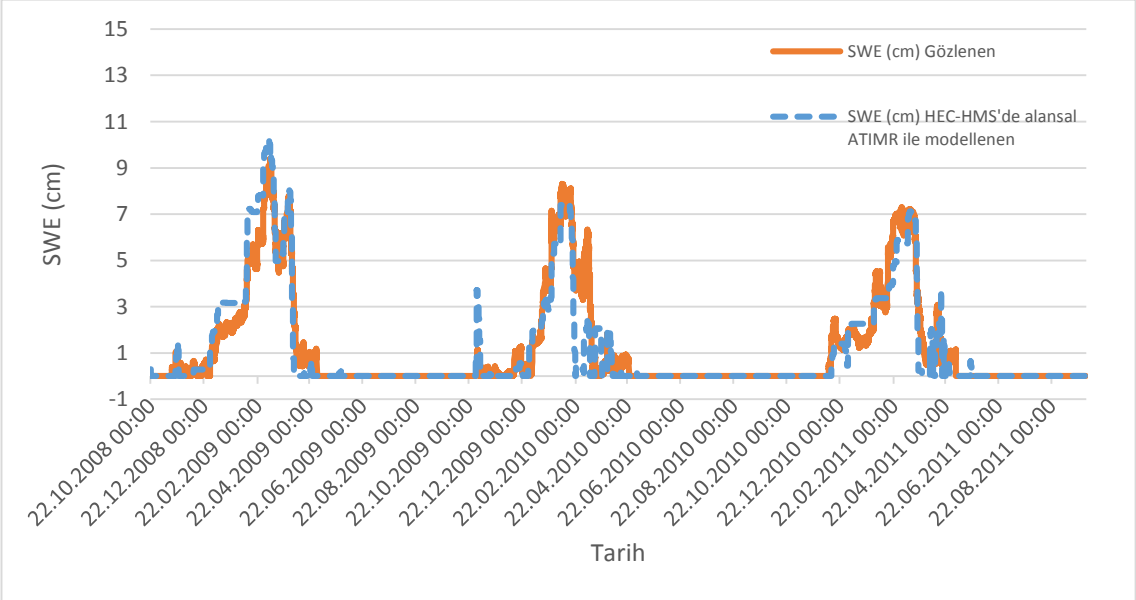
Şekil 4.1.c. Radar İstasyonu için hesaplanan ve modellenen noktasal ATI gidişat değerleri ile Kar Su Eşdeğeri (SWE) yüksekliklerinin karşılaştırmalı grafiği

Noktasal olarak kar su eşdeğeri benzetimleri yapıldıktan sonra havza genelinde kullanılacak olan ortak alansal ATIMR eğrisi, Matlab'de Curve Fitting araç kutusu

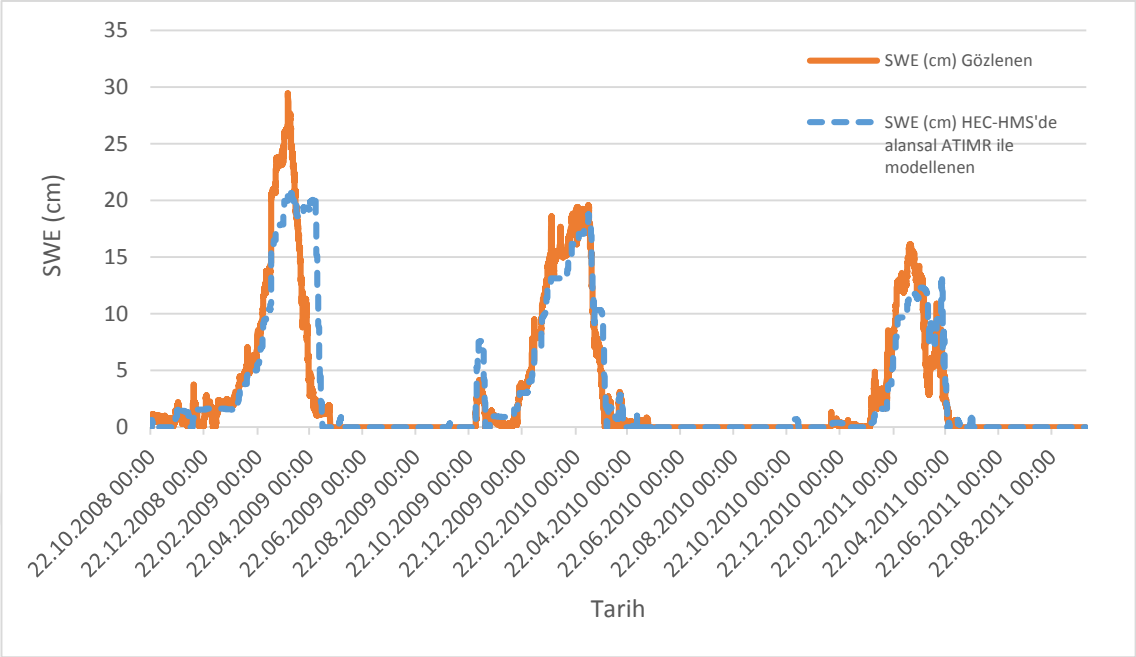
kullanılarak belirlenen RMSE ve r^2 değerleride göz önünde bulunudurularak elde edilmiş (Çizelge 4.1) ve üç istasyon için kar su eşdeğeri benzetimlerine bakılmıştır (Şekil 4.2.a,b,c).

Çizelge 4.1. 2009-2011 yılları arasındaki kar birikme ve erime dönemleri için noktasal ve alansal ATIMR fonksiyonları kullanılarak modellenen ve gözlenen Kar Su Eşdeğeri (SWE) için r^2 ve RMSE değerleri

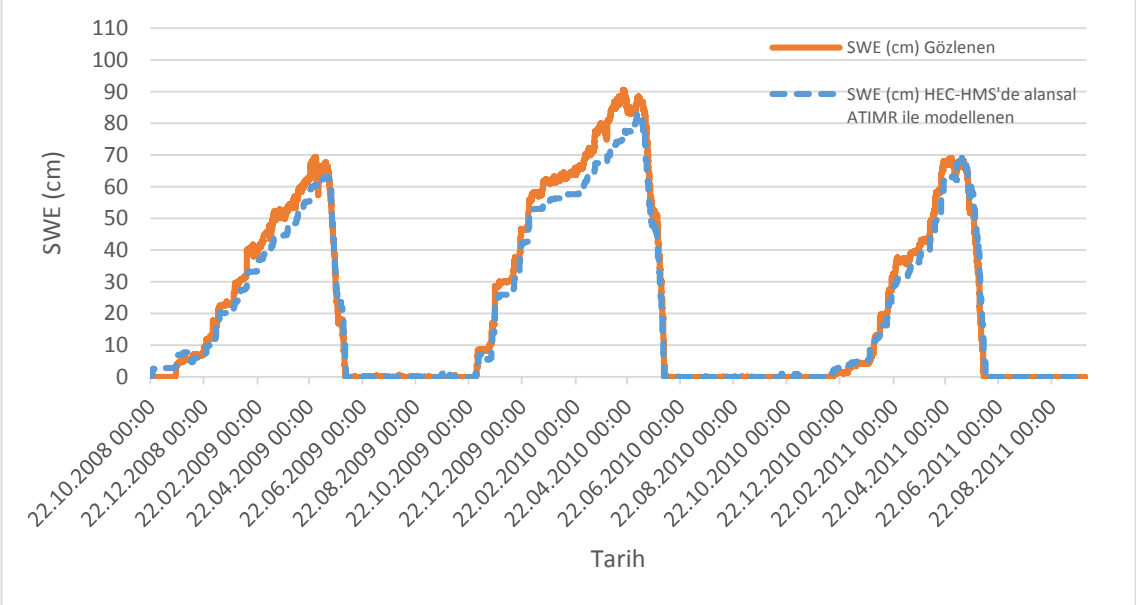
İstasyon	Noktasal r^2	Noktasal RMSE	Alansal r^2	Alansal RMSE
Köşk	0,8407	1,02	0,7603	1,2689
Güngörmez	0,8658	2,61	0,7327	3,3484
Radar	0,9771	3,89	0,9830	3,0143



Şekil 4.2.a. Köşk istasyonu için ortak alansal ATIMR fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen kar su eşdeğeri benzetimi



Şekil 4.2.b. Güngörmez istasyonu için ortak alansal ATIMR fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen kar su eşdeğeri benzetimi



Şekil 4.2.c. Radar istasyonu için ortak alansal ATIMR fonksiyonu kullanılarak gerçekleştirilen kar su eşdeğeri benzetimi

Ortak alansal ATIMR fonksiyonu ile hesaplanan kar su eşdeğeri benzetimlerinin zamansal ve istatistiksel ölçekte reel değerleri iyi bir şekilde simüle ettiği gözlenmiş

olup bu fonksiyonun ideal bir yağış-akış benzetimi için yeterli olduğu sonucuna varılmıştır.

4.2. Havza Model Parametreleri ve Kalibrasyon Sonuçları

HEC-HMS modelinde sürekli simülasyon gerçekleştirirken havzaya ait fiziksel parametrelerin zamansal ve mekânsal dağılımının gerçekleştirildiği CBS tabanlı havza modeline ait yöntemlerin başlangıç parametreleri debi benzetimleri esas alınarak RMSE tutarlılığında kalibrasyona tabi tutulmuştur. Kalibrasyon neticesinde elde edilen Kanopi Metodu parametreleri, Yüzey Metodu parametreleri, Dönüşüm Metodu parametreleri, Kayıp Metodu parametreleri ve Taban Akışı Metodu parametreleri sırasıyla Çizelge 4.2-4.6´da sunulmuştur.

Çizelge 4.2. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Kanopi Metot parametreleri

Subbasin	Initial Storage (%)	Max Storage (MM)	Crop Coefficient	Uptake Method
KSK05	0	5.0984	1.0	Simple
KSK04	0	5.4361	1.0	Simple
KSK03	0	5.7614	1.0	Simple
KSK02	0	6.1154	1.0	Simple
GNG08	0	6.055	1.0	Simple
GNG07	0	6.3294	1.0	Simple
GNG06	0	6.5172	1.0	Simple
GNG05	0	6.6137	1.0	Simple
GNG04	0	8.1075	1.0	Simple
GNG03	0	7.855	1.0	Simple
KSK01	0	7.4345	1.0	Simple
GNG02	0	6.8434	1.0	Simple
KG05	0	6.3648	1.0	Simple
GNG01	0	5.8279	1.0	Simple
KG04	0	5.1513	1.0	Simple
KG03	0	4.4276	1.0	Simple
KG02	0	2.5174	1.0	Simple
KG01	0	2.6774	1.0	Simple

Çizelge 4.3. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Yüzey Metot parametreleri

Subbasin	**Initial Storage (%)**	**Max Storage (MM)**
KSK05	0	5
KSK04	0	5
KSK03	0	6.6667
KSK02	0	6.6667
GNG08	0	6.6667
GNG07	0	6.6667
GNG06	0	6.6667
GNG05	0	6.6667
GNG04	0	6.6667
GNG03	0	6.6667
KSK01	0	6.6667
GNG02	0	6.6667
KG05	0	6.6667
GNG01	0	6.6667
KG04	0	6.6667
KG03	0	6.6667
KG02	0	6.6667
KG01	0	6.6667

Çizelge 4.4. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Dönüşüm Metodu parametreleri

Subbasin	**Time of Concentration (HR)**	**Storage Coefficient (HR)**
KSK05	1.0594	300
KSK04	2.6509	300
KSK03	2.1564	300
KSK02	1.687	300
GNG08	2.0592	80
GNG07	1.1902	80
GNG06	2.1949	80
GNG05	2.6371	80
GNG04	2.948	80
GNG03	2.1698	80
KSK01	3.3197	300
GNG02	2.4366	80
KG05	2.061	80
GNG01	3.4497	80
KG04	2.0147	80
KG03	2.1296	80
KG02	3.3376	80
KG01	3.1002	80

Çizelge 4.5. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Kayıp Metot parametreleri

Subbasin	Soil (%)	Groundwater 1 (%)	Groundwater 2 (%)	Max Infiltration (MM/HR)	Impervious (%)	Soil Storage (MM)	Tension Storage (MM)	Soil Percolation (MM/HR)	GW 1 Storage (MM)	GW 1 Percolation (MM/HR)	GW 1 Coefficient (HR)	GW 2 Storage (MM)	GW 2 Percolation (MM/HR)	GW 2 Coefficient (HR)
KSK05	10	40	10	1.2059	0	55.95	50	0.06	25	2.6666	527.78	35	1.9999	422.22
KSK04	10	40	10	1.5088	0	45.56	44.889	0.06	25	2.6666	555.56	35	1.9999	444.44
KSK03	10	40	10	1.784	0	65.27	47.778	0.06	25	2.6666	583.33	35	1.9999	466.67
KSK02	10	40	10	1.9589	0	77.53	46.667	0.06	25	2.6666	611.11	35	1.9999	488.89
GNG08	10	40	10	1.8271	0	96.41	45.556	0.06	33.333	3.5555	444.44	35	2.6665	355.56
GNG07	10	40	10	1.6957	0	88.07	44.444	0.06	33.333	3.5555	472.22	35	2.6665	377.78
GNG06	10	40	10	1.5597	0	80.9	43.333	0.06	33.333	3.5555	500	35	2.6665	400
GNG05	10	40	10	1.4454	0	71.53	42.222	0.06	33.333	3.5555	527.78	35	2.6665	422.22
GNG04	10	40	10	0.94847	0	71.06	41.111	0.06	33.333	3.5555	555.56	35	2.6665	444.44
GNG03	10	40	10	0.81837	0	64.6	40	0.06	33.333	3.5555	583.33	35	2.6665	466.67
KSK01	10	40	10	2.1804	0	90.53	38.889	0.06	33.333	3.5555	277.78	35	2.6665	222.22
GNG02	10	40	10	0.74329	0	50.66	37.778	0.06	33.333	3.5555	611.11	35	2.6665	488.89
KG05	10	40	10	1.9084	0	89.22	36.667	0.06	33.333	3.5555	305.56	35	2.6665	244.44
GNG01	10	40	10	0.62507	0	52.2	35.556	0.06	33.333	3.5555	638.89	35	2.6665	511.11
KG04	10	40	10	1.9132	0	96.31	34.444	0.06	33.333	3.5555	333.33	35	2.6665	266.67
KG03	10	40	10	1.9595	0	104.7	33.333	0.06	33.333	3.5555	361.11	35	2.6665	288.89
KG02	10	40	10	2.0433	0	114.2	32.222	0.06	33.333	3.5555	388.89	35	2.6665	311.11
KG01	10	40	10	1.9376	0	104.7	31.111	0.06	33.333	3.5555	416.67	35	2.6665	333.33

Çizelge 4.6. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen Taban Akışı Metot parametreleri

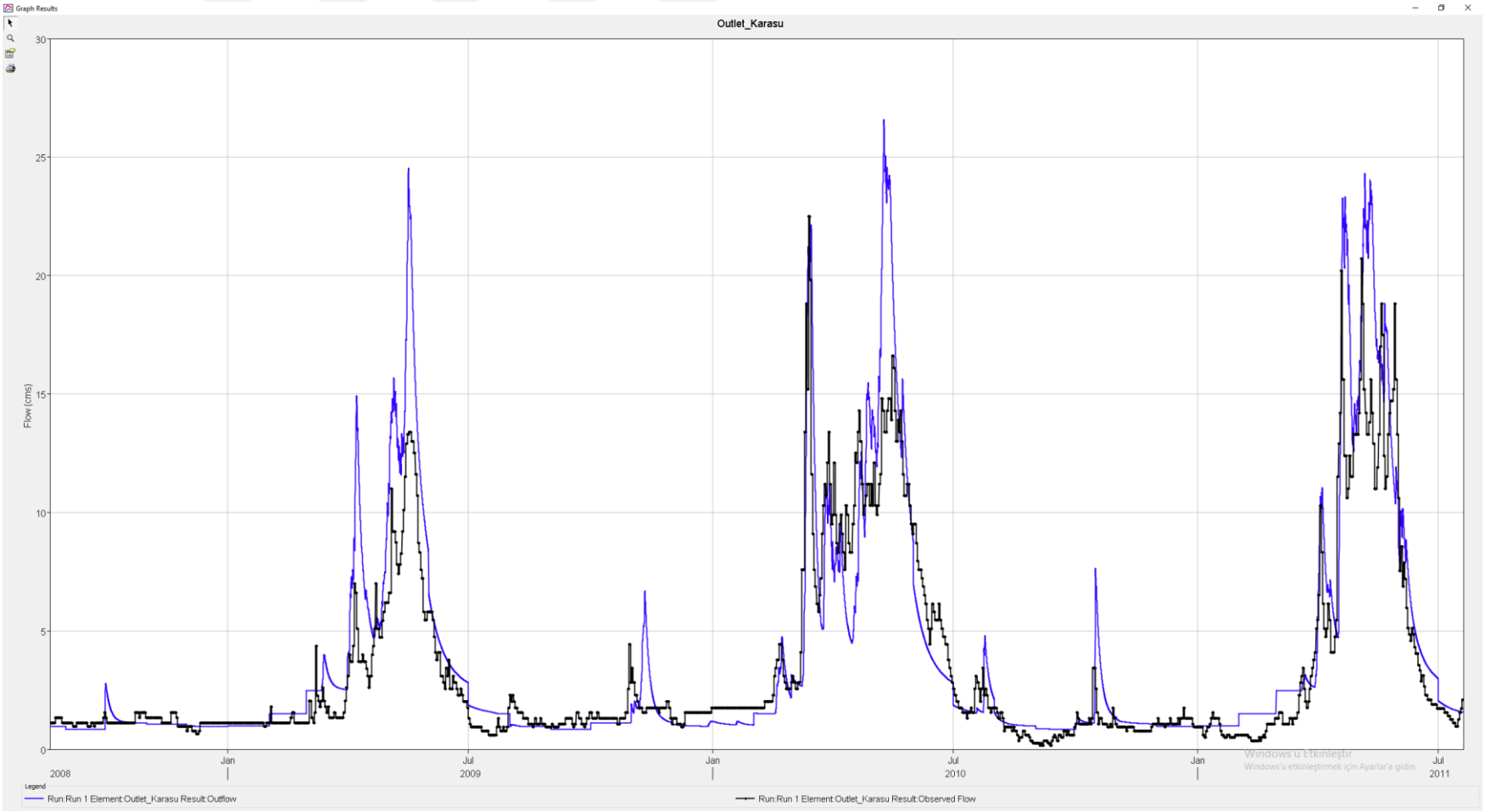
Subbasin	January Baseflow (M3/S)	February Baseflow (M3/S)	March Baseflow (M3/S)	April Baseflow (M3/S)	May Baseflow (M3/S)	June Baseflow (M3/S)	July Baseflow (M3/S)	August Baseflow (M3/S)	September Baseflow (M3/S)	October Baseflow (M3/S)	November Baseflow (M3/S)	December Baseflow (M3/S)
KSK05	0.003092	0.004361	0.007852	0.012744	0.014883	0.01319	0.006913	0.003283	0.002926	0.003797	0.003524	0.003179
KSK04	0.046044	0.06495	0.11694	0.1898	0.22166	0.19644	0.10296	0.048896	0.043579	0.056557	0.052482	0.047348
KSK03	0.042199	0.059526	0.10718	0.17395	0.20315	0.18003	0.094359	0.044813	0.039939	0.051833	0.048099	0.043394
KSK02	0.017381	0.024518	0.044145	0.071647	0.083676	0.074154	0.038865	0.018458	0.016451	0.02135	0.019811	0.017873
GNG08	0.020622	0.031737	0.051877	0.078365	0.096925	0.039611	0.026956	0.019826	0.017476	0.022872	0.02156	0.019765
GNG07	0.004229	0.006508	0.010638	0.01607	0.019876	0.008123	0.005528	0.004066	0.003584	0.00469	0.004421	0.004053
GNG06	0.038874	0.059825	0.09779	0.14772	0.18271	0.074668	0.050813	0.037372	0.032942	0.043114	0.040641	0.037258
GNG05	0.055022	0.084676	0.13841	0.20908	0.2586	0.105683	0.071921	0.052896	0.046626	0.061024	0.057523	0.052735
GNG04	0.05034	0.077472	0.12664	0.19129	0.2366	0.09669	0.065802	0.048395	0.042659	0.055832	0.052629	0.048248
GNG03	0.032483	0.04999	0.081714	0.12344	0.15267	0.062393	0.04246	0.031228	0.027526	0.036027	0.03396	0.031133
KSK01	0.17378	0.24514	0.44138	0.71636	0.83663	0.741435	0.388598	0.184553	0.164483	0.21346	0.19808	0.17871
GNG02	0.046353	0.071335	0.1166	0.17614	0.21786	0.089033	0.06059	0.044562	0.03928	0.051409	0.04846	0.044426
KG05	0.017833	0.027339	0.043228	0.060677	0.056185	0.027346	0.019826	0.015471	0.013704	0.018409	0.017833	0.016464
GNG01	0.13708	0.21096	0.34483	0.52089	0.64426	0.263295	0.179183	0.131783	0.11616	0.15203	0.14331	0.13138
KG04	0.05628	0.086279	0.13642	0.19149	0.17731	0.086303	0.06257	0.048824	0.043248	0.058096	0.05628	0.051958
KG03	0.028841	0.044215	0.069911	0.098132	0.090866	0.044226	0.032065	0.02502	0.022163	0.029772	0.028841	0.026626
KG02	0.11471	0.17586	0.27806	0.39031	0.36141	0.175905	0.12753	0.099518	0.088148	0.118414	0.11471	0.1059
KG01	0.10783	0.16531	0.26138	0.36689	0.33973	0.165353	0.11988	0.093548	0.08286	0.11131	0.10783	0.09955

4.3. HEC-HMS Simülasyon Sonuçları

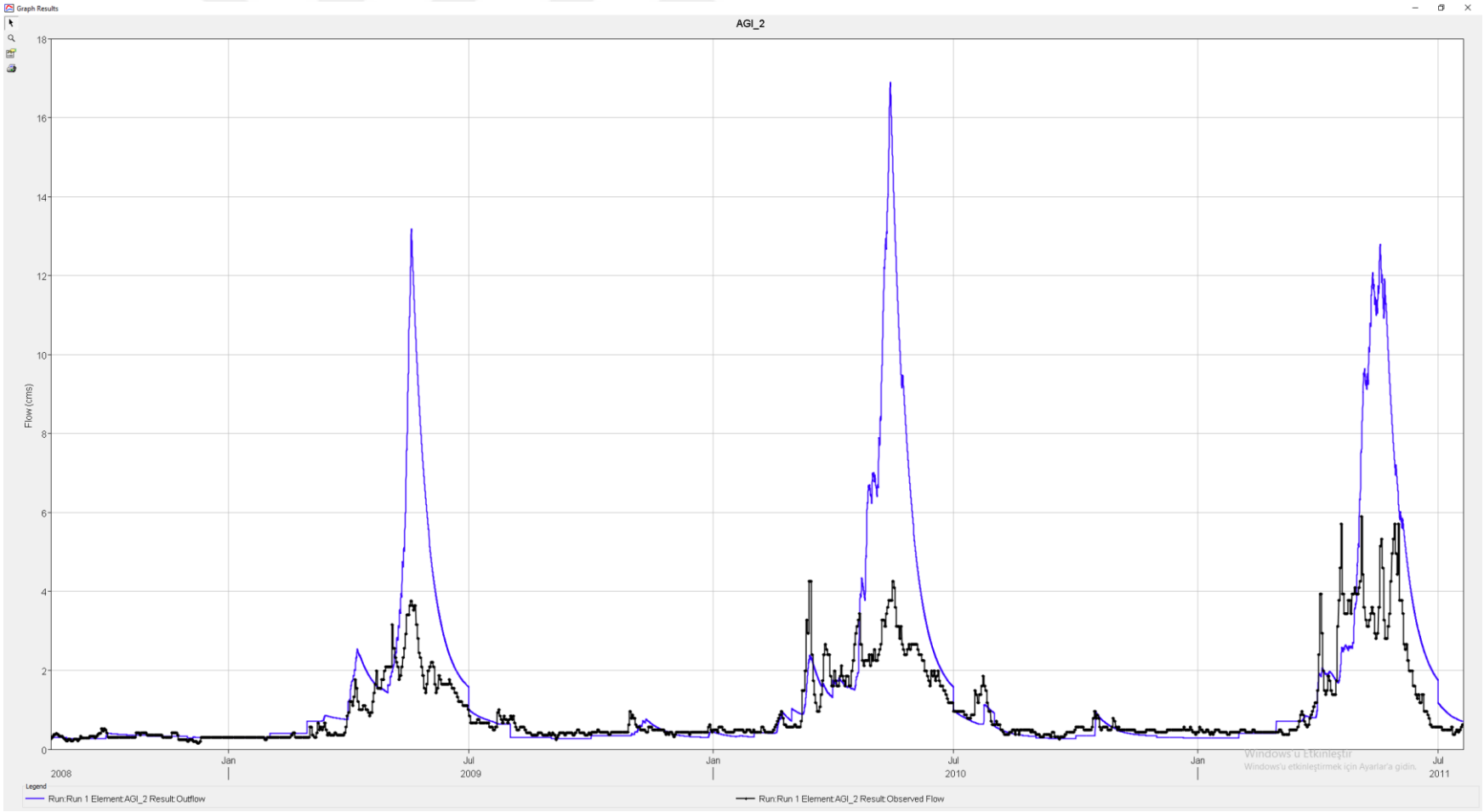
Kalibrasyonlar sonucunda Köşk Dere-Köşk (DSİ 21-152), Büyük Çay-Karagöbek (DSİ 21-168) ve Karasu-Çipak (DSİ 21-01) akım gözlem istasyonu noktalarından elde edilen en iyileştirilmiş nihai debi simülasyon sonuçları gözlenmiş değerlerle birlikte Şekil 4.3.a,b,c´de sunulmuştur. Hidrolojik simülasyon sonucunda elde edilen akışlar ile simülasyonun gerçekleştirildiği havzada bulunan akım gözlem istasyonlarından elde edilen akışlar arasındaki benzerlik, simülasyon doğruluğu ve güvenilirliği açısından oldukça önemlidir. Gerçekleştirilen üç yıllık zaman periyoduna ait simülasyonların zamansal ve istatistiksel ölçekte gerçek değerleri havza bazında oldukça iyi bir şekilde simüle ettiği gözlenmiştir. Akım gözlem istasyonlarındaki debi benzetimlerine ait r^2 ve RMSE değerleri Matlab Curve Fitting araç kutusu ile belirlenmiş ve Çizelge 4.7´de sunulmuştur.

Çizelge 4.7. Akım gözlem istasyonlarındaki debi benzetimlerine ait r^2 ve RMSE değerleri

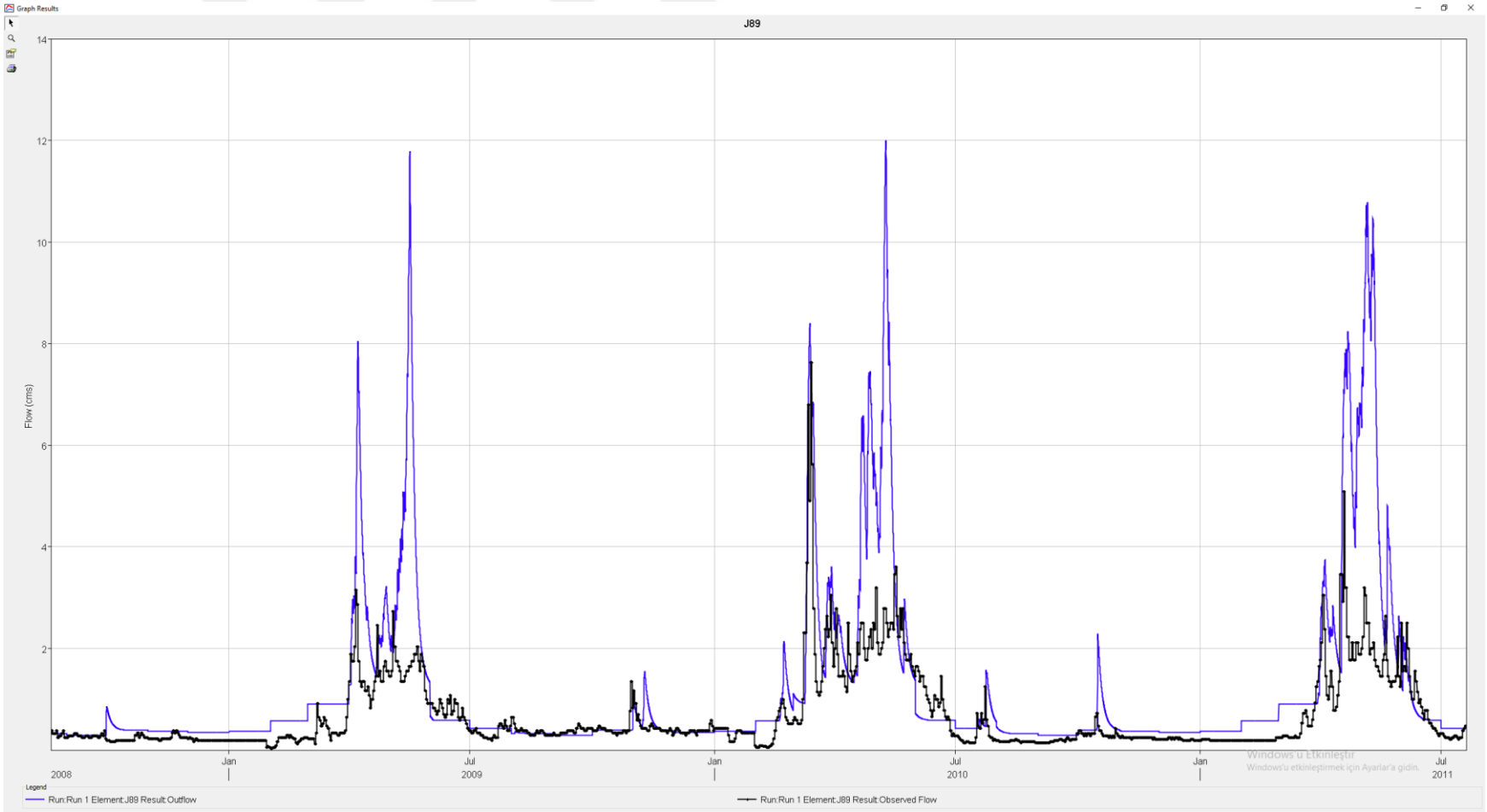
İSTASYON	r^2	RMSE
21-01 (Karasu-Çipak)	0,84	2,00
21-152 (Köşk Dere-Köşk)	0,66	1,53
21-168 (Büyükçay-Karagöbek)	0,59	1,13



Şekil 4.3.a. Karasu-Çipak (DSİ 21-01) Akım Gözlem İstasyonu konumuna ait gözlenmiş ve simüle edilmiş debiler



Şekil 4.3.b. Köşk Dere-Köşk (DSİ 21-152) Akım Gözlem İstasyonu konumuna ait gözlenmiş ve simüle edilmiş debiler



Şekil 4.3.c. Büyük Çay-Karagöbek (DSİ 21-168) Akım Gözlem İstasyonu konumuna ait gözlenmiş ve simüle edilmiş debiler

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada CBS tabanlı HEC-GeoHMS ile havza karakterizasyonu ön işlemleri gerçekleştirilmiş, havza modeli ve meteorolojik model oluşturulmuş ve elde edilen çıktılar hidrolojik simülasyon programı olan HEC-HMS uygulaması için girdi olarak kullanılmıştır. Yıllık toplam akımların önemli bir bölümünün (%70-80) kar erimelerinden oluştuğu, Kırkgöze - Çipak havzası ve alt havzalarının akımları için kurulan model ile 2009 ve 2011 yılları simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanı olarak seçilen Kırkgöze - Çipak havzasının sınırları HEC-GeoHMS programıyla belirlenmiş, karakterizasyonu yapılmış ve HEC-HMS uygulaması için model girdileri oluşturulmuştur. Havza ve alt havza sınırlarının belirlenmesi aşamasında, havza dış sınırı, yüzeysel akarsu ağı, en uzun akış yolu vb. belirlenmesi ile elde edilen havza bütününün alt havzalara bölünmesi ve bu alt havzalara ait fiziksel parametrelerin belirlenmesi işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sonraki aşamada alt havzaların iklim karakterizasyonuna yönelik meteorolojik model tanımlaması yapılmıştır. HEC-GeoHMS´nin hidrolojik model yapılandırılmasında kullanılan havza sınırlarının belirlemesinde, havzanın karakterizasyonu gibi ön işlemlerin gerçekleştirilmesinde ve havzanın fiziksel özelliklerinin görselleştirilmesinde güçlü bir araç olduğu belirlenmiştir.

Havzada kar erimesi modellenmesi için seçilen Sıcaklık İndeksi yönteminde kar su eşdeğeri benzetimi için en etkili parametre olan erime oranı fonksiyonu öncelikli olarak havzada bulunan üç meteroloji istasyonunun konumlarında noktasal olarak elde edilmiştir. Daha sonra noktasal olarak elde edilen bu eğriler havza genelini temsil edecek tek bir eğriye indirgenmiştir. Bu çalışma ile Türkiye´deki kar erimesinin etkin olduğu nehir akımlarının daha iyi simüle edilebilmesi maksadıyla bölgeye ait erime karakteristikleri noktasal ve ortalama alansal temsiliyete sahip olacak şekilde fiziksel

tabanlı olarak ortaya konulmak istenmiş, aynı zamanda kar ile ilgili bölgesel çalışmaların daha güvenilir ve hızlı adımlarla yapılabilmesi amaçlanarak konu ile ilgili olarak yerli literatüre katkı sağlanması hedeflenmiştir.

Çizelge 5.1. Noktasal ve alansal-ortak ATIMR eğrileri

Noktasal ATIMR Eğrileri						Alansal-Ortak ATIMR Eğrisi	
Köşk İstasyonu (2019 m)		Güngörmez İstasyonu (2454 m)		Radar İstasyonu (2891 m)		Havza Geneli	
ATIMR (C derece-gün)	Erime Oranı (cm/C derece-Gün)	ATIMR (C derece-gün)	Erime Oranı (cm/C derece-Gün)	ATIMR (C derece-gün)	Erime Oranı (cm/C derece-Gün)	ATIMR (C derece-gün)	Erime Oranı (cm/C derece-Gün)
0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
3	0,02	3	0,02	10	0,04	2,5	0,10
6	0,10	4	0,55	12	0,90	5	0,15
8	0,32	8,5	0,70	23	0,90	6,4	0,25
12	0,27	10	0,70	27	0,68	8	0,50
30	0,27	20	0,50	40	0,68	10	0,55
		30	0,40	48	0,86	12	0,75
		80	0,40	125	0,86	15	0,80
						23	0,90
						27	0,68
						40	0,68
						48	0,86
						400	0,86

Noktasal ve alansal olarak yapılan kar su eşdeğeri benzetimlerinin (Çizelge 5.1) r^2 ve RMSE değerleri Çizelge 5.2´de sunulmuştur. Çizelge 5.2´de sunulan değerler göz önüne

alındığında kar yağışının etkili olduğu çalışma havzası için debi benzetiminin yapılabilmesi adına en önemli adımlardan biri olan kar su eşdeğeri benzetimi için gerekli parametrelerin iyi bir şekilde tespit edilerek erime ve birikme periyodunun oldukça başarılı bir şekilde modellendiği görülmektedir.

Çizelge 5.2. 2009-2011 yılları arasındaki kar birikme ve erime dönemleri için noktasal ve alansal ATIMR fonksiyonları kullanılarak modellenen ve gözlenen Kar Su Eşdeğeri (SWE) için r^2 ve RMSE değerleri

İstasyon	Noktasal r^2	Noktasal RMSE	Alansal r^2	Alansal RMSE
Köşk	0,8407	1,02	0,7603	1,2689
Güngörmez	0,8658	2,61	0,7327	3,3484
Radar	0,9771	3,89	0,9830	3,0143

Havza geneli kar su eşdeğeri benztimlerinin başarılı bir şekilde elde edilmesinden sonra HEC-HMS ile hidrolojik model oluşturulmuş ve bu modele ait debi çıktıları Köşk Dere-Köşk (DSİ 21-152), Büyük Çay-Karagöbek (DSİ 21-168) ve Karasu-Çipak (DSİ 21-01) akım gözlem istasyonu gözlenmiş verileri ile benzeştirilerek model kalibrasyonu gerçekleştirilmiştir. Kalibrasyonlar sonucunda elde edilen debi benzetimlerine ait r^2 ve RMSE değerleri Çizelge 5.3´de sunulmuştur.

Çizelge 5.3. Akım gözlem istasyonlarındaki debi benzetimlerine ait r^2 ve RMSE değerleri

İSTASYON	r^2	RMSE
21-01 (Karasu-Çipak)	0,84	2,00
21-152 (Köşk Dere-Köşk)	0,66	1,53
21-168 (Büyükçay-Karagöbek)	0,59	1,13

Çalışma havzası olarak seçilen Kırkgöze-Çipak Havzası yüzey alanı olarak küçük olmasına rağmen yükseklik farkı oldukça fazla olan bir havzadır. Böylesi bir havzada meteorolojik değişkenliğin fazla olması kaçınılmazdır. Hidrolojik model çalışmalarında havza geneli meteorolojik veri dağılımının arazide gerçekleşen reel değerlerle uyum içerisinde olması yapılacak olan simülasyonların doğruluğu ve güvenilirliği açısından

oldukça önemlidir. Havza içinde uygun rakım ve lokasyonda konumlandırılmış olan Köşk, Güngörmez ve Radar Meteoroloji İstasyonları´nın varlığı yapılan çalışmada meteorolojik değişken dağılımınının olabildiğince gerçeğe yakınsanmasını sağlamış olup aynı zamanda HEC-HMS´den elde edilen hidrolojik model parametrelerinin güvenilirliğini de en üst düzeyde sağlamaktadır.

Gelen akım hidrograflarının gözlenmesi ve yapılan istatiksel analizler sonucunda havza çıkışında (DSİ 21-01) debi benzetimlerinin diğer AGİ´lere (DSİ 21-152, DSİ 21-168) göre daha iyi olduğu görülmüştür. Bu durumun havzanın genel jeolojik formasyonları, zemin özellikleri ve yeraltı suyu modellenmesinde lineer davranış göstermemesi sonucunda arazinin karstik bir yapıya sahip olduğudu sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak, bu çalışmada HEC-HMS hidrolojik modeli ile çalışma havzası için elde edilen oldukça iyi r^2 ve RMSE değerleriyle 3 yıllık periyotta debi benzetimlerinin simüle edilebileceği gösterilmiş olup, elde edilen model parametreleri benzer dağlık havzalarda gerçekleştirilecek hidrolojik modeller için kaynak teşkil edebilecektir.

5.2. Öneriler

- SMA kayıp metodu için uygun formattaki arazi kullanımı ve toprak özellikleri haritalarının elde edilmesi ile nihai debi benzetimleri daha da iyileştirebilir.
- Meteorolojik veriler ızgara tabanlı dağıtılabilirse sonuçlar daha da iyileştirilebilir.

KAYNAKLAR

Acar, R., Şenocak, S., Şengül, S., Coşkun, T. Balık Şanlı, F., 2009a. Erzurum Kırkgöze Havzasında Kar Erimesine Etki Eden Meteorolojik Ölçümlerin Üç İstasyonda Karşılaştırılması. III. Ulusal Kar Kongresi, Erzurum Toprak ve Su Kaynakları Araştırma Enstitüsü, Erzurum, 89-97.

Acar, R., Şenocak, S. Şengül, S., 2009b. Snow Hydrology Studies in the Mountainous Eastern Part of Turkey. The IEEM International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong, China, 1578-1582.

Akay, H., Koçyiğit, M.B., Yanmaz, A.M., 2018. Effect Of Multiple Stream Gauging Stations On Calibration Of Hydrologic Parameters And Estimation Of Hydrograph Of Ungauged Neighboring Basin, Arabian Journal of Geosciences, 11, 282.

Allahwani, Y.A.M., 2016. Application Of Continuous Hydrologic Modeling In Küçük Menderes River Basin, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. "Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements." FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Rome, Italy.

Anonim, 1978. Erzurum Projesi Mühendislik Jeolojisi Planlama Raporu. DSİ Genel Müdürlüğü, Jeoteknik Hizmetler ve Yeraltı Suları Dairesi Başkanlığı yayını, s. 48.

Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., Williams, J. R., 1998. Large Area Hydrologic Modeling And Assessment Part I: Model Development, JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34(1), 73-89.

Azmat, M., Laio, F., Poggi, D., 2015. Estimation of Water Resources Availability and Mini-Hydro Productivity in High-Altitude Scarcely-Gauged Watershed, Water Resources Management, 29(14), 5037-5054.

Azmat, M., Choi, M., Kim, T., Liaqat, U.W., 2016. Hydrological modeling to simulate streamflow under changing climate in a scarcely gauged cryosphere catchment, Environmental Earth Sciences, 75:186.

Baird, A. J., Wilby, R. L., 1999. Eco-Hydrology: Plants And Water In Terrestrial And Aquatic Environments, USA:Psychology Press.

Bayazıt, M., 1995. Hidroloji, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.

Bennett, T.H., 1998. Development And Application Of A Continuous Soil Moisture Accounting Algorithm For The Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), MS thesis, Dept. of Civil and Environmental Engineering, University of California, Davis.

Bennett, T.H., Peters, J.C., 2000. Continuous Soil Moisture Accounting in the Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000 July 30-August 2, 2000, Minneapolis, Minnesota, United States.

Beven, K. J., 2000. Rainfall-Runoff Modelling, The Primer, John Wiley and Sons Ltd., England.

Beven, K., 2001. How Far Can We Go in Distributed Hydrological Modelling?, Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 5(1), 1-12.

Beven, K. J., 2011. Rainfall-Runoff Modeling: The Primer, USA, John Wiley & Sons.

Bhuiyan, H.A.K.M., McNairn, H., Powers, J., Merzouki, A., 2017. Application of HEC-HMS in a Cold Region Watershed and Use of RADARSAT-2 Soil Moisture in Initializing the Model, Hydrology, 4, 9.

Bobál, P., Podhorányi, M., Mudron, I., Holubec, M., 2015. Mathematical Modelling of the Dynamics of Mountain Basin Snow Cover in Moravian-Silesian Beskydy for Operational Purposes[1], Water Resources, 42(3), 302-312.

Bombardelli, F. A., and García, M. H., 2003. "Hydraulic design of large-diameter pipes." J. Hydraul. Eng., 10.1061/(ASCE)0733-9429 (2003)129:11(839), 839–846.

Bournaski, E., Ivanov, I., Eleftheriadou, E., Mylopoulos, Y., 2006. Towards Integrated Water Resources Management of the Mesta/Nestos Catchment by HEC-HMS modelling.

Bui, C.M., 2011. Applıcatıon Of HEC-HMS 3.4 In Estımatıng Streamflow Of The Rıo Grande Under Impacts Of Clımate Change, Yüksek Lisans Tezi, The University of New Mexico Albuquerque, New Mexico.

Chow, V. T., 1964. Handbook of applied hydrology, New York: McGraw-Hill.

Chow, V.T., Maidment, D.R., Mays, L.W., 1988. Applied Hydrology, McGraw,Inc.: New York, USA.

Chu, X., Steinman, A., 2009. Event and Continuous Hydrologic Modeling with HEC-HMS, Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 135(1), 119-124.

Clark, C.O., 1945. "Storage and the unit hydrograph." Transactions, ASCE, 110, 1419-1446.

Creutin, J.D.and Obled, C., 1982. Objective Analysis and Mapping Techniques for Rainfall Fields: An Objective Comparison. Water Resources Research, 18, 2, 413-431.

Cunderlik, J., 2003. Hydrologic Model Selection For The CFCAS Project: Assessment Of Water Resources Risk And Vulnerability To Changing Climatic Conditions, Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Western Ontario.

Davtalab, R., Mirchi, A., Khatami, S., Gyawali, R., Massah, A., Farajzadeh, M., Madani, K., 2017. Improving Continuous Hydrologic Modeling of Data-Poor River Basins Using Hydrologic Engineering Center´s Hydrologic Modeling System: Case Study of Karkheh River Basin, Journal Of Hydrologic Engineering, 22(8):05017011.

De Silva, M.M.G.T., Weerakoon, S.B., Herath, S., 2014. Modeling of Event and Continuous Flow Hydrographs with HEC–HMS: Case Study in the Kelani River Basin, Sri Lanka, Journal of Hydrologic Engineering, 19(4), 800-806.

Devia, G. K., Ganasri, B., Dwarakish, G., 2015. A Review On Hydrological Models, Aquatic Procedia, 4, 1001-1007.

Divín, J., Mikita, T., 2016. Effects Of Land Use Changes On The Runoff In The Landscape Based On Hydrologıcal Sımulatıon In Hec-Hms And Hec-Ras Usıng Dıfferent Elevatıon Data, Acta Unıversıtatıs Agrıculturae Et Sılvıculturae Mendelıanae Brunensıs, 64(3).

Donigian, A.S. and Davis, H.H., 1978. User´s Manual for Agricultural Runoff Management (ARM) Model, U.S. Environmental Protection Agency, EPA-600/3-78-080.

Dooge, J.C.I., 1959. A general theory of the unit hydrograph, Journal of Geophysical Research, 64(2), 241-256.

Fazel, K., William, A.S., Fabian, A.B., 2014. Assessment of the Melt Rate Function in a Temperature Index Snow Model Using Observed Data, Journal of Hydrologic Engineering, 19(7), 1275-1282.

Gayathri, K.D., Ganasri, B.P., Dwarakish, G.S., 2015. A Review on Hydrological Models, Internatıonal Conference On Water Resources, Coastal And Ocean Engıneerıng (Icwrcoe 2015).

Geethalakshmi, V., Kitterød, N., Lakshmanan, A., 2008. A Literature Review On Modeling Of Hydrological Processes And Feedback Mechanisms On Climate, Retrieved from

Ghaffari, G., 2011. The Impact Of DEM Resolution On Runoff And Sediment Modelling Results, Research Journal of Environmental Sciences, 5(8), 691.

Gumindoga, W., Rwasoka, D.T., Nhapi, I., Dube, T., 2016. Ungauged Runoff Simulation In Upper Manyame Catchment, Zimbabwe: Application Of The HEC-HMS Model, Physics and Chemistry of the Earth, 1-12.

Guo, J. C., 2001. Rational hydrograph method for small urban watersheds, Journal of Hydrologic Engineering, 6(4), 352-356.

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.

Halwatura, D., Najim, M.M.M., 2013. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment, Environmental Modelling and Software, 46, 155-162.

HEC-GeoHMS, 2013. Geospatial Hydrologic Modeling Extension, User´s Manual, Version 10.1.

HEC-HMS Technical Reference Manual, March 2013.

Hu, H.H., Kreymborg, L.R., Doeing, B.J., Baron, K.S., Jutila, S.A., 2006. Gridded Snowmelt and Rainfall-Runoff CWMS Hydrologic Modeling of the Red River of the North Basin, Journal Of Hydrologic Engineering, 11(2), 91-100.

Hunukumbura, P.B., Weerakoon, S.B., Herath, S., 2008. Runoff Modeling in the Upper Kotmale Basin. In: Hennayake, N., Rekha, N., Nawfhal, M., Alagan, R., Daskon, C. (Eds.), Traversing No Mans Land, Interdisciplinary Essays in Honor of Professor Madduma Bandara. University of Peradeniya, Sri Lanka, 169-184.

Hydrologic Modeling System HEC-HMS, 2016. User´s Manual, Version 4.2.

Ibrahim-Bathis, K., Ahmed, S.A., 2016. Rainfall-Runoff Modelling Of Doddahalla Watershed An Application Of HEC-HMS And SCN-CN In Ungauged Agricultural Watershed, Arabian Journal of Geosciences, 9:170.

Jajarmizadeh, M., Harun, S., Salarpour, M., 2012. A Review On Theoretical Consideration And Types Of Models in Hydrology, Journal of Environmental Science and Technology, 5(5), 249-261.

Kacar, T., 2017. Aras Havzası´nda HEC-HMS İle Hidrolojik Modelleme Ve Akım Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Kalita, D.N., 2008. A Study of Basin Response Using HEC-HMS and Subzone Reports of CWC, In: Proceedings of the 13th National Symposium on Hydrology, National Institute of Hydrology, Roorkee, New Delhi.

Khatri, H.B., Jain, M.K., Jain, S.K., 2018. Modelling of streamflow in snow dominated Budhigandaki catchment in Nepal, Journal of Earth System Science, 127:100.

Kikine, D.B., 2017. Hydrological Modeling And Forecasting Using HEC-HMS Soil Moisture Accounting For A Snow Dominated Basin In Turkey, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.

Krause, P., Boyle, D.P., Bäse, F., 2005. Comparison Of Different Efficiency Criteria For Hydrological Model Assessment, Advances in Geosciences, 5, 89-97.

Leavesley, G. H., Lichty, R.W., Troutman, B.M., and Saindon, L.G., 1983. Precipitation-runoff modeling system user´s manual, Water-Resources Investigations 83-4238. United States Department of the Interior, Geological Survey, Denver, CO.

Lu, X.F., 2009. Simulation of the Upper Waimakariri River Catchment by Observed Rain and Radar Reflectivity, Yüksek Lisans Tezi, Lincoln Üniversitesi.

Mandal, S.P., Chakrabarty, A., 2016. Flash Flood Risk Assessment For Upper Teesta River Basin: Using The Hydrological Modeling System (HEC-HMS) Software, Modeling Earth Systems and Environment, 2-59.

Martinec, J., Rango, A. and Ralph, R., 2007. The Snowmelt Runoff Model (SRM) User´s Manuel (Updated Edition for Windows). 172 p.

Meenu, R., Rehana, S., Mujumdar, P.P., 2011. Assessment of hydrologic impacts of climate change in Tunga–Bhadra river basin, India with HEC-HMS and SDSM, Hydrological Processes, 27, 1572-1589.

Moradkhani, H. and Sorooshian, S., 2008. General Review Of Rainfall-Runoff Modeling: Model Calibration, Data Assimilation, And Uncertainty Analysis, Hydrological Modeling And The Water Cycle, Springer, 291 p. ISBN 978-3-540-77842-4.

Pekkan, E., 2009. Yukarı Fırat Havzası´nda Kar Erimesi Sürecinin Uydu Görüntüsü Analizleri ve İzleyici Teknikleri ile İzlenmesi. Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hacettepe Üniversitesi, Ankara.

Rahman, A., Haddad, K., Zaman, M., Kuczera, G., & Weinmann, P. E., 2011. Design Discharge Estimation in Ungauged Catchments: A Comparison Between The Probabilistic Rational Method And Quantile Regression Technique For NSW, Australian Journal of Water Resources, 14(2), 127-139.

Razi, M.A.M., Ariffin, J., Tahir, T., Arish, A.M., 2010. Flood Estimation Studies Using Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) For Johor River, Malaysia, Journal of Applied Sciences 10, 930-939.

Saleh, A., Ghobad, R., Noredin, R., 2011. Evaluation of HEC-HMS Methods in Surface Runoff Simulation (Case Study: Kan Watershed, Iran), Advances in Environmental Biology, 5(6), 1316-1321.

Samady, M.K., 2017. Contınuous Hydrologıc Modelıng For Analyzıng The Effects Of Drought On The Lower Colorado Rıver In Texas, Yüksek Lisans Tezi, Michigan Teknoloji Üniversitesi.

Scharffenberg, W., Pak, J.H., 2009. History of The HEC-Hydrologic Modeling System, Water for Future, 42, 11.

Shaw, E. M., Beven, K. J., Chappell, N. A., Lamb, R., 2010. Hydrology in practice, CRC Press.

Singh, W.R., Jain, M.K., 2015. Continuous Hydrological Modeling using Soil Moisture Accounting Algorithm in Vamsadhara River Basin, India, Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering, 4(4), 398-408.

Skhakhfa, I.D., Ouerdachi, L., 2016. Hydrological Modelling Of Wadi Ressoul Watershed, Algeria, By HEC-HMS Model, Journal Of Water And Land Development, 31, 139-147.

Strapazan, C., Petrut, M., 2017. Application of Arc Hydro And HEC-HMS Model Techniques For Runoff Simulation In The Headwater Areas Of Covasna Watershed (Romania), Geographia Technica, 12(1), 95-107.

Şengül, S., 2011. Dağlık Havzalarda Hidrolojik Çevrime Etki Eden Parametrelerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve HSPF Model Programıyla İncelenmesi ve Erzurum-Kırkgöze Havzası Örneği, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Şenocak, S., 2011. Kar Erimesi Akış Modelinin (SRM), Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Uzaktan Algılama Teknikleride Kullanılarak Dağlık Bölgelerde Uygulaması ve Erzurum Kırkgöze Havzası Örneği, Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Teng, F., Huang, W., Ginis, I., 2017. Hydrological modeling of storm runoff and snowmelt in Taunton River Basin by applications of HEC-HMS and PRMS models, Nat Hazards, 91, 179-199.

Unduche, F., Tolossa, H., Senbeta, D., Zhu, E., 2018. Evaluation Of Four Hydrologic Models For Operational Flood Forecasting in a Canadian Prairie Watershed, Hydrological Sciences Journal, 63(8), 1133-1149.

U.S. Army Corps of Engineers, 1991. "SSARR model streamflow synthesis and reservoir regulation." User manual, North Pacific Division, Portland, OR, D-15–D-17.

Vafakhah, M., Nikche, A.F., Sadeghi, S.H., 2018. Comparative Effectiveness Of Different Infiltration Models In Estimation Of Watershed Flood Hydrograph, Paddy And Water Environment, 16, 411-424.

Verdhen, A., Chahar, B.R., Sharma, O.P., 2013. Snowmelt Runoff Simulation Using HEC-HMS in a Himalayan Watershed, World Environmental and Water Resources Congress 2013: Showcasing the Future © ASCE 2013.

Verma, A.K., Jha, M.K., Mahama, R.K., 2009. Evaluation of HEC-HMS and WEPP for simulating watershed runoff using remote sensing and geographical information system, Paddy and Water Environment, 8(2), 131-144.

Xu, C.Y., 2002. Hydrologic Models, Textbooks of Uppsala University, Department of Earth Sciences Hydrology.

Xu, C.Y., 2003. Hydrologic Models. Uppsala University Department of Earth, Air and Water Sciences, Uppsala, Sweden.

Yavuz, O., Uysal, G., Sensoy, A., Sorman, A.A., Akgun, T., Gezgin, T., 2012. Usıng Hec-Hms As A Decısıon Support System To Mınımıze The Downstream Floodıng Rısk In Yuvacık Dam Basın, BALWOIS 2012 – Ohrid Republic of Macedonia – 28 May, 2 June 2012.

Yener, M.K., 2006. Semi-Distributed Hydrologic Modeling Studies In Yuvacık Basin, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Yılmaz, A., Imteaz, M., Ogwuda, O., 2012. Accuracy of HEC-HMS and LBRM models in simulating snow runoffs in Upper Euphrates Basin, Journal of Hydrologic Engineering, 17(2), 342-347.

Zema, D.A., Labate, A., Martino, D., Zimbone, S.M., 2016. Comparıng Dıfferent Infıltratıon Methods Of The Hec-Hms Model: The Case Study Of The Mésıma Torrent (Southern Italy), Land Degradation and Development, 28, 294-308.

ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Erzurum´da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum´da tamamladı. 2009 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü´nden 2014 yılında mezun oldu. 2016 yılı Ocak ayında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı´nda yüksek lisans öğrenimine başladı.