



**AL-ADİM HAVZASI HİDROLOJİK
MODELİNİN KURULMASI VE AL-ADİM BARAJ
REZERVUARININ İŞLETME ÇALIŞMASI**

Ali Ahmed Abdulhadi ABDULMAWJOOD

**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

**AL-ADİM HAVZASI HİDROLOJİK MODELİNİN KURULMASI
VE AL-ADİM BARAJ REZERVUARININ İŞLETME ÇALIŞMASI**

Ali Ahmed Abdulhadi ABDULMAWJOOD

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Hidrolik Bilim Dalı**

**ERZURUM
2019**

Her hakkı saklıdır



**T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



TEZ ONAY FORMU

**AL-ADİM HAVZASI HİDROLOJİK MODELİNİN KURULMASI VE AL-ADİM
BARAJ REZARVUARININ İŞLETME ÇALIŞMASI**

Dr. Öğr. Üyesi Selim ŞENGÜL danışmanlığında, Ali Ahmed Abdulhadi ABDULMAWJOOD tarafından hazırlanan bu çalışma 04/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Hidrolik Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (/) 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 11 / 07 / 2019 tarih ve 28 / 89 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

AL-ADİM HAVZASI HİDROLOJİK MODELİNİN KURULMASI VE AL-ADİM BARAJ REZERVUARININ İŞLETME ÇALIŞMASI

Ali Ahmed Abdulhadi ABDULMAWJOOD

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

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Selim ŞENGÜL

Bu çalışmada, Al-adim Havzası, kısıtlı gözlem gerçekleştirilen bir havza örneği olarak alınmıştır ve debi tahminleri için gerekli meteorolojik verilerden sadece yağış yükseklikleri kullanılmıştır. Al-adim Barajı Dicle Nehri'nin bir kolu olan Al-adim kolu üzerinde kurulmuş olup Irak'ın Diyala ilinde bulunmaktadır. Havza sınırları üç ilde (Kerkük, Süleymaniye ve Diyala) yer almaktadır. HEC-HMS programı yardımıyla kurulan hidrolojik modelde SCS Yüzey Akış Eğri Numarası (CN) yöntemi ile akım tahminleri elde edilmiştir. CN hesaplamak için arazi kullanımı/örtüsü ve toprak tipi haritaları WMS programı kullanılarak temin edilmiş ve işlenmiştir. Ayrıca Al-adim Barajı rezervuar işletme çalışmalarını gerçekleştirebilmek ve hidroelektrik enerji potansiyelinin belirlenebilmesi amacıyla MATLAB programında bir simülasyon modeli geliştirilmiştir.

Havza model sonuçlarının ve rezervuar işletme çalışmalarının sonuçları r^2 ve NSE istatistiksel dağılımları ile değerlendirilmiş olup güvenilir sonuçlar elde edilmiştir. Havza modeli için $r^2=0.888$, $NSE=0.874$ değerleri elde edilmiştir. Rezervuar işletme çalışmaları için geliştirilen Simülasyon Model'ine girilen HEC-HMS'den elde edilen aylık akım debileri ile gözlenmiş debiler kullanılarak elde edilen değerlerin sonuçları arasında kurulan r^2 ve NSE değerlerinin her ikisi de 0.93'den büyük çıkmıştır. HEC-HMS'den elde edilen yeterli güvenilirlikteki çıktıların MATLAB'da kurulan simülasyon modelinde farklı alternatif hidrolojik senaryolar için girdi olarak kullanılabileceği belirlenmiştir.

2019, 119 sayfa

Anahtar Kelimeler: WMS, HEC-HMS, Al-adim, Hidrolojik Model, Eğri Numarası, Rezervuar İşletimi

ABSTRACT

Ms Thesis

ESTABLISHMENT OF THE HYDROLOGIC MODEL OF AL- ADHAİM BASIN AND OPERATION OF AL- ADHAİM DAM RESERVOIR

Ali Ahmed Abdulhadi ABDULMAWJOOD

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering
Department of Hydraulics

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Selim ŞENGÜL

In this study, Al-adhaim Basin was taken as an example of a basin with limited observation, only precipitation weights were used from the meteorological data for flow estimations. The Al-adhaim Dam is located on the Al-adhaim branch, a branch of the Tigris and is located in the Diyala province of Iraq. The basin outlines are located on three provinces (Kirkuk, Suleymaniyah and Diyala). In the hydrological model established with the help of the HEC-HMS program, flow estimations were obtained by SCS Surface Flow Curve Number (CN) Method. Land use/cover and soil type maps were obtained and processed by using the WMS program to calculate CN. In addition, a simulation model has been developed in MATLAB program in order to accomplish the reservoir operations of Al- adhaim Dam and also to determine the hydroelectric potential.

The results of basin model and reservoir operation studies were evaluated with r^2 and NSE statistical distributions and reliable results were obtained. For basin model, $r^2 = 0.888$, $NSE = 0.874$ values were obtained. The monthly flow rates obtained from the HEC-HMS imported into the Simulation Model developed for reservoir operation studies and the r^2 and NSE values between the values obtained by using observed flow rates were greater than 0.92. As a result, it has been determined that the outputs with sufficient reliability obtained from HEC-HMS can be used as input for different alternative hydrological scenarios to the simulation model established in MATLAB.

2019, 119 pages

Keywords: WMS, HEC-HMS, Al-adhaim, Hydrologic Model, Curve Number, Reservoir Operation

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca sadece çalışmalarına değil her konuda yardımcı olan, desteğini hiçbir zaman eksik etmeyen, çok değerli danışmanım, Sayın Dr. Öğr. Üyesi Selim ŞENGÜL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım süresince yardımlarına esirgemeyen Sayın Dr. Öğr. Üyesi Yousif H. AL-AQEELİ'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, bugüne kadar maddi, manevi her konuda hayatım boyunca destekleriyle her zaman yanımda olan, beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan, annem, babam ve kardeşlerim, son olarak ailemden ayırmadığım arkadaşlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ali Ahmed Abdulhadi ABDULMAWJOOD

Temmuz, 2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Çalışmanın Önemi	1
1.2. Çalışmanın Amacı	2
1.3. Çalışmanın İçeriği	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Eğri Numarası CN (Curve Number) Model İle İlgili Literatür Özeti	4
2.2. Fiziksel Tabanlı (WMS) Model İle İlgili Literatür Özeti.....	8
2.3. Fiziksel Tabanlı (HEC – HMS) Model İle İlgili Literatür Özeti.....	9
2.4. Fiziksel Tabanlı (MATLAB) Model İle İlgili Literatür Özeti	11
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	16
3.1. Materyal.....	16
3.1.1. Çalışma alanı	16
3.1.1.a. Al-adim Nehri, Al-adim Nehir Havzası ve Al-adim Alt Havzası'nın özellikleri.....	16
3.1.1.b. Al-adim Barajı.....	22
3.1.2. Hidro-meteorolojik veriler	25
3.1.2.a. Yağışlar.....	26
3.1.2.b. Sıcaklık.....	27
3.1.2.c. Buharlaşma	29
3.1.2.d. Rüzgâr hızı	30
3.2. Yöntem	31
3.2.1. CBS ve hidrolojik modelleme	34
3.2.2. Watershed modeling system (WMS)	35

3.2.3. Coğrafi bilgi sistemleri (CBS) vektör verileri	37
3.2.4. Dijital yükseklik modelleri (DEM'ler) veya ızgara yükseklik kümeleri.....	40
3.2.4.a. Dijital yükseklik modeli'nin (DEM) temini ve içe aktarımı	41
3.2.4.b. Akış yönü ve akış birikimlerinin hesaplayın hesaplanması	42
3.2.4.c. Havza çıkışının tanımlanması ve DEM'den elde edilen akım çizgilerinin vektörel poligonlara dönüştürülmesi	45
3.2.4.d. İç alt havza çıkış noktalarını tanımlaması	46
3.2.4.e. Havzaların tanımlanması	47
3.2.4.f. DEM havzalarını çokgenlere dönüştürme.....	48
3.2.4.g. Havzaya ait geometrik verilerini hesaplaması.....	48
3.2.5. Üçgen düzensiz ağlar (TIN'ler).....	49
3.2.6. WMS programı kullanılarak CBS özelliklerinin hidrolojik model hesaplanması	50
3.2.6.a. SCS eğrisi numaraları (CN).....	50
3.2.6.b. Hidrolojik toprak grupları	52
3.2.6.c. SCS gecikme süresinin hesaplanması.....	54
3.2.6.d. SCS birim hidrograf yöntemi	54
3.3. HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System).....	56
3.4. MATLAB	62
3.4.1. Su kaynakları matematiksel modeli	63
3.4.2. Model tanımı ve çalışma mekanizması	65
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	69
4.1. ArcMap.....	69
4.1.1. Sayısal yükseklik modeli (DEM) haritası	69
4.1.2. Eğim ve bakı haritaları	70
4.2. WMS 10.1	75
4.2.1. Sayısal yükseklik modelleme (DEM).....	75
4.2.2. Arazi kullanım haritası	77
4.2.3. Toprak tipi (soil texture).....	78
4.3. HEC-HMS	82
4.3.1. Havza modeli (basin model).....	83

4.3.2. Meteorolojik modeller (meteorologic models).....	83
4.3.3. Kontrol bilgisi (control information).....	84
4.3.4. Zaman serisi verileri (time series data)	85
4.3.5. Simülasyon sonuçları (simulation run).....	86
4.4. MATLAB-Simulink Kullanılarak Al-Adim Barajı Hidro Elektrik Tesis ve Rezervuarı İçin Gerçekleştirilen İşletme Çalışmaları.....	87
4.5. İstatistiksel Değerlendirmesi	90
4.5.1. Belirleme katsayısı (r^2)	91
4.5.2. Nash Sutcliffe efficiency (NSE).....	92
4.5.3. Model sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi.....	92
4.5.3.a. HEC-HMS sonuçlarının değerlendirilmesi	92
4.5.3.b. Simülasyon model (SM) sonuçlarının değerlendirilmesi	93
5. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER	95
5.1. Öneriler.....	98
5.2. Çalışmanın Sınırlamaları	99
KAYNAKLAR	100
EKLER.....	106
EK 1.....	106
EK 2.....	109
EK 3.....	112
ÖZGEÇMİŞ	119

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

A	Drenaj alanı
A.B.D.	Amerika Birleşik Devletleri
AGI	Association of Geographic Information
AGİ	Akım Gözlem İstasyonu
BASINS	Better Assessment Science Integrating Point and Non-Point Sources
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CN	Curve Number
DEM	Digital Elevation Model
EMRL-BYU	Environmental Modeling Research Laboratory of Brigham Young
GIS	Geographic Information System
GPS	Global Positioning system
HEC-HMS	Hydrologic Engineering Center-Hydrological Modeling system
L	Çıkıştan yukarı akış sınırına ana kanal boyunca havza uzunluğu
Lca	Ana kanal boyunca çıkıştan merkez noktaya kadar uzunluğu
Lo	Ortalama yüzeysel akış yolunun uzunluğu
MATLAB	Matrix-Laboratory yazılımı
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
NSE	Nash-Sutcliffe Efficiency
r^2	Belirleme katsayısı
S	Eğim
Sca	Ana kanal boyunca çıkış noktasından merkez noktaya kadar eğim
SCS	Soil Conservation Service
S_L	Ana kanal boyunca çıkış noktasından memba sınırına kadar eğim
SM	Simülasyon Modeli
SOP	Standart Operation Policy
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
TINs	Triangulated Irregular Networks
TOPAZ	Topographic Parameterization
USA	United State of America

US-ACEWES	US Army Corps of Engineers Waterways Experiment
UTM	Universal Transverse Mercator
WMS	Watershed Modeling System



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Al-adim Nehir ve Ana Havza alanı	17
Şekil 3.2. Al-adim havzası'nın yeri	18
Şekil 3.3. Al-adim havzasındaki barajlar yeri.....	21
Şekil 3.4. Barajın göre boyuna kesiti	222
Şekil 3.5. Al-adim Barajı	223
Şekil 3.6. Al-adim Barajı'na ait yükseklik-alan-depolama eğrisi.....	24
Şekil 3.7. Kerkük İstasyonu'na ait günlük yağış miktarları (1/1/1986-31/12/1996)	26
Şekil 3.8. Eş yağış yüksekliği eğrileri.....	27
Şekil 3.9. Kerkük İstasyonu'na ait aylık sıcaklık ortalaması değeri (1941-2001).....	28
Şekil 3.10. Sıcaklık dağılım haritası	29
Şekil 3.11. Kerkük istasyonuna ait aylık buharlaşma yüksekleri	30
Şekil 3.12. Su çevrimi.....	32
Şekil 3.13. Dünyadaki su dağılımı.....	33
Şekil 3.14. Irak'taki Dicle ve Fırat nehirlerinin su kaynakları	33
Şekil 3.15. Dijital yükseklik modeli (DEM) örneği.....	41
Şekil 3.16. Akım yönlerinin D8 algoritması ile belirlenmesi a) Yükseklikler, b) Akım yönlerinin kodları, c) Yüksekliklere uygun akım yönleri, d) Akım yönlerinin oklarla sembolik olarak gösterilmesi	43
Şekil 3.17. a) Akım birikme ızgarası, b) Akarsu kolu mertebelerini gösteren drenaj ağı	44
Şekil 3.18. Akış yönü ve akış birikimleri örneği	45
Şekil 3.19. Akış ağı ve çıkışı noktası örneği.....	46
Şekil 3.20. İç alt havza çıkış noktaları örneği	47
Şekil 3.21. Havzaların tanımlanması örneği	47
Şekil 3.22. Havzaların çokgenlere dönüştürmesi örneği	48
Şekil 3.23. Geometrik verileri hesaplanmış bir havza örneği	49
Şekil 3.24. Hidrolojik model birleşenleri (süreç akış şeması)	55
Şekil 3.25. HEC – HMS yazılımı (Sürüm 4.2.1) ara yüzü	56
Şekil 3.26. HEC–HMS'de oluşturulmuş alt havzalar için bir örnek.....	58

Şekil 3.27. HEC – HMS’de havza modeli veri penceresi.....	60
Şekil 3.28. HEC – HMS’de meteorolojik model penceresi	61
Şekil 3.29. HEC – HMS’de kontrol özellikleri penceresi.....	62
Şekil 3.30. Musul rezervuarı için Simulink tekniğini kullanarak gerçekleştirilmiş SM şeması	67
Şekil 4.1. Al-adim havzası eş yükselti haritası	69
Şekil 4.2. Havzanın DEM’den elde edilen 3 boyutlu görüntüsü	70
Şekil 4.3. Raster çözünürlüğünde eğim haritası	72
Şekil 4.4. Raster çözünürlüğündeki eğim haritasına ait histogram.....	72
Şekil 4.5. Al-adim Havzası için bakı haritası	73
Şekil 4.6. ArcMap kullanarak Al-adim Havzası’ndan akım yönleri	74
Şekil 4.7. İkili sistemde yönlerin gösterini	74
Şekil 4.8. WMS kullanarak elde edilen Al-adim Havzası için sayısal yükseklik modeli	75
Şekil 4.9. Al-adim Havzası için akım yönleri.....	76
Şekil 4.10. Al-adim Havzası ana akım ağları ve alt havza sınırları.....	76
Şekil 4.11. 38. zon için arazi kullanımı	77
Şekil 4.12. Al-adim Havzası için elde edilen arazi kullanımı.....	78
Şekil 4.13. 38. zon için toprak tipi	79
Şekil 4.14. Al-adim Havzası için elde edilen toprak tipi	80
Şekil 4.15. Al-adim Havzası’nın alt havza hesap detayları	82
Şekil 4.16. HEC-HMS’ta Al-adim Havzası alt havza sınırları	83
Şekil 4.17. Meteorolojik penceresi	84
Şekil 4.18. Kontrol bilgisinin penceresi.....	84
Şekil 4.19. Zaman serisi verilerinin penceresi	85
Şekil 4.20. Modelde kullanılan yağış serileri (mm/gün), Kerkük istasyonu	85
Şekil 4.21. Al-adim Havzası geneli için günlük yağış yükseklikleri ve günlük akım tahminleri	86
Şekil 4.22. Gözlenen ve hesaplanan akım ortalamaları (01Ocak1986 – 31Aralık1996)	87
Şekil 4.23. Simulink tekniğini kullanarak Al-adaim Rezervuarı için SM şeması	88

Şekil 4.24. Kullanılarak yapılan işletme çalışmaları a) arz edilen mansap talebinin %100'ü için b) arz edilen mansap talebinin %75'i için.....	89
Şekil 4.25. HEC-HMS'de simüle edilen debi değerleri kullanılarak yapılan işletme çalışmaları a) arz edilen mansap talebinin %100'ü için b) arz edilen mansap talebinin %75'i için	90
Şekil 5.1. Kullanılarak yapılan işletme çalışmaları arz edilen mansap talebinin %75'i için	97



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Al-adim havzasındaki barajlar özellikleri.....	20
Çizelge 3.2. Al-adim barajına ait yükseklik-alan-depolama tablosu	24
Çizelge 3.3. Al-adim Havzasında mansap su talebi	25
Çizelge 3.4. Kerkük İstasyonu'na ait sıcaklık (°C) kayıtları (1941-2001)	28
Çizelge 3.5. Kerkük istasyonuna ait rüzgâr hızı kayıtları (1941-2001).....	30
Çizelge 3.6. Yerküresindeki su miktarları, kaliteleri ve yüzdeleri	32
Çizelge 3.7. Eğri Numarası (CN)'nın, toprak tipi ve arazi kullanımı/örtüsü bilgilerine tayin edilmesi	51
Çizelge 3.8. Su geçirmeyen bir tabakanın 50 ila 100 santimetre derinliğinde (20 ve 40 inç) mevcut olması durumunda hidrolojik toprak gruplarının atanması için kriterler	53
Çizelge 3.9. Su geçirmeyen herhangi bir katmanın 100 santimetreden (40 inç) daha fazla bir derinlikte olması durumunda hidrolojik toprak gruplarının atanması için kriterler	53
Çizelge 3.10. HEC-HMS programının simgeleri.....	58
Çizelge 3.11. Simulink modeline ilişkin açıklama	68
Çizelge 4.1. Al-adim Havzası ve alt havzaları için hesap detayları.....	81
Çizelge 4.2. HEC-HMS'de simüle edilen ve gözlenen akım değerlerin istatistiksel değerleri.....	92
Çizelge 4.3. HEC-HMS'den elde edilen aylık akım debileri ile gözlenmiş debiler kullanılarak elde edilen SM sonuçlarının istatistiksel değerleri.....	94
Çizelge 5.1. Al-adim Havzası ve alt havzaları için havza karakteristikleri	95
Çizelge 5.2. HEC-HMS'de simüle edilen ve gözlenen akım değerlerin istatistiksel değerlendirmesi	96
Çizelge 5.3. HEC-HMS'den elde edilen aylık akım debileri ile gözlenmiş debiler kullanılarak elde edilen simülasyon Model sonuçlarının istatistiksel değerleri.....	98

1. GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Önemi

Su varlığımızın sırrıdır. Bu nedenle, bu sınırlı kaynağın optimal kullanımı, su kaynakları projelerinin genel olarak planlanması, yönetimi ve işletilmesinde temel bir amaçtır. İnsanlar suya muhtaç oldukları için tarih boyunca su kaynakları insanların kararlarında ve hareketlerinde ana etkenlerden biri olmuştur. Günümüzde yaşanan küresel ısınmanın yol açtığı iklim değişimleri ve artan dünya nüfusu su kaynaklarını hem miktar hem de kalite bazında olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu bağlamda, mevcut ve gelecekteki su kaynakları ile ilgili olarak yapılan hidrolojik çalışmaların coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama gibi modern yöntemlerle gerçekleştirilmek için konu ile alakalı yazılımların kullanımı büyük yarar sağlamaktadır. Özellikle kurak ve suyu az olan bölgelerde yapılacak hidrolojik modelleme çalışmaları ile su kaynaklarının iyi bir şekilde kullanılması sağlanarak kuraklık ve taşkın gibi olumsuz durumların etkileri en aza bir şekilde indirgenmiş olur.

Irak'taki yüzeysel su kaynaklarının yaklaşık %82'si yurt dışından gelmektedir. Bu nedenle, su kaynaklarının korunması ve özellikle ülke içi su kaynakların geliştirilmesi oldukça önem arz etmektedir.

Su miktarı ve kalitesiyle ilgili uygulamalarda istatistik, yönetim, tahmin ve değerlendirme gibi yöntemler kurulan hidrolojik model kapsamı içinde gerçekleştirilmelidir.

Hidrolojik veriler geçmiş ve gerçek zamanlı olarak toplanır, depolanır ve uygun bir yöntemle analiz edilir. Analiz sonuçları esas olarak mevcut veya gelecekteki suyun insan ihtiyaçlarına göre kontrol edilebilmesi için kullanılır. Toplanan veriler ne kadar doğru ve güncel ise yapılan analiz sonuçları da o derecede güvenilir olur.

Bu ölçüm ve veri toplama süreci, farklı su havzalarından ve işletilmesi için ölçüm istasyonlarının kurulmasını gerektirir ve bu istasyonların yapılması için büyük maliyetlere ihtiyaç duyulur. Irak'ta bilinen ve yaygın olarak kullanılan bir hidro-meteorolojik veritabanı olmadığı için veri paylaşımı yetersizdir. Bu nedenle havzaların su yönetimi amacıyla, tahmin edilebilen sonuçlar elde edebilmek için alternatif yöntemlerin kullanılması gerekir.

Coğrafi bilgi sistemleri ve uzaktan algılama yöntemleri ile elde edilen havza özelliklerinin hidrolojik olarak nispeten kapalı kutu modelleri ile entegre edilmesiyle özellikle kısıtlı gözlem gerçekleştirilen havzalarda su davranışı hakkında önemli bilgilere ulaşılabilir ve daha güvenilir öngörülerde bulunulabilir.

1.2. Çalışmanın Amacı

1. Al-adim Havzası'nın özelliklerinin, Aquaveo merkezi tarafından sağlanan elektronik harita modelleri (WMS ve ArcMap) kullanılarak elde edilmesi.
2. Al-adim Havzası'nın debi benzetimlerinin gerçekleştirilebilmesi için uygun bir hidrolojik yöntem belirlenerek HEC-HMS'de modellenmesi ile kurulan model sonuçlarının gözlenen değerlerle uygun istatistiksel yönetimler kullanarak değerlendirmesi.
3. Matlab kullanarak bir simülasyon modeli oluşturularak Al-adim baraj rezervuarında bir işletme çalışması gerçekleştirerek su seviyesi, depolama, rezervuar yüzey alanı, hidroelektrik güç değişikliklerinin incelenerek uygun işletme şartlarının belirlenmesi.
4. Al-adim Barajı'nda inşa edilecek olan hidroelektrik tesisin aylık bazda üretebileceği güvenilir hidroelektrik enerji miktarının tespit edilmesi.

1.3. Çalışmanın İçeriği

Bu tez çalışması 5 bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünü müteakiben ilgili bölümlerin içeriği şu şekildedir:

2. Bölümde bu çalışmada kullanılan yöntemler hakkında gerçekleştirilen literatür araştırmaları ayrı ayrı özetleri halinde sunulmuştur.
3. Bölümde ilk olarak Al-adim Havzası'nın mevcut coğrafi ve meteorolojik özellikleri ile Al-adim Barajı rezervuar alanı ile ilgili bilgiler sunularak bu bölümün son kısmında WMS, HEC-HMS, MATLAB programları kullanılarak uygulanacak olan yöntemler hakkında bilgi verilmiştir.
4. Bölümde havza için uygulanacak hidrolojik model verilerinin tamamlanması ile model çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar gözlenmiş verilerle karşılaştırılmıştır. Yine aynı şekilde rezervuar alanı için gerçekleştirilen farklı işletme çalışmaları ve sonuçları da bu bölüm içerisinde yer almaktadır.
5. Bölümde ise sonuç olarak mevcut çalışmadan elde edilen çıktılar eksiklikleri ile değerlendirilip anlamlandırılmıştır

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Hidrolojik olarak yağış akış süreçlerinin bir modelleme sürecine tabi tutulmasının temelinde hidrolojik ölçüm tekniklerinin sınırlandırılması bulunmaktadır. Nitekim hidrolojik sistemler hakkında bilmek istediğimiz her şeyi her an noktasal olarak ölçemiyoruz, yani mekânsal ve zamansal ölçekte yalnızca sınırlı ölçüm tekniklerine ve ölçüm yelpazesine sahibiz. Bu nedenle, gelecekteki hidrolojik değişimlerin olası etkilerinin değerlendirilmesi için hem mekân hem de zamandaki mevcut ölçümlerden uygun teknikler kullanabilen bazı ekstrapolasyon araçlarına ihtiyacımız vardır. Farklı tipteki modellerin sağlayacağı çeşitli kantitatif ekstrapolasyon veya kestirim araçları karar verme sürecine yardımcı olarak (Beven 2000) daha güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaklardır.

Yağış – akış ve hidrolojik olayının modellenmesi konusunda literatürde hâlihazırda GIS, WMS, HEC – HMS ve MATLAB modelleri ile gerçekleştirilmiş birtakım çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalardan konumuz ile ilgili olanları, dört ayrı başlık altında ilgili çalışmanın gerçekleştirildiği kronolojik sıralamaya göre aşağıdaki gibi özetlenebilir.

2.1. Eğri Numarası CN (Curve Number) Modeli İle İlgili Literatür Özeti

Eğri numarası prosedürünün tanımını hidrolojik gelişme sürecine bağlı olarak açıklamak faydalı olacaktır. Bu yüzyılın başında, araştırmacıların nehir hidrolojisini tanımlamak için toplam yağışa karşı toplam akış miktarını çizimleri yaygındı. Mead (1919), bu çizimlerin birçoğunun yıllık bazda oldukça faydalı bulmuş ancak mevsimler ya da aylar gibi kısa süreler içinde bu dağılımın saçılımı dağınıklık göstermektedir. Akış miktarının belirlenmesi için yağıştan daha fazlasına ihtiyaç duyulmuştur. Sherman (1942), her ay için ayrı eğrileri olan yağışa karşı akış ve önceki yağış için tablo ayarlaması yaparak ek bir bilgi vermeyi denemiştir. Bu durum olay bazlı durumlarla başa çıkabilmenin bir çabasıydı ancak verilerin dağılımının belirlenmesi halen daha önem arz etmekteydi. Kohler and Linsley (1951), yapmış oldukları çalışmada Sherman'ın yaklaşımı üzerine

çoklu korelasyon diyagramını genişletmişlerdir. Linsley *et al.* (1975), yapmış oldukları çalışmada çoklu korelasyon diyagramının yağış verilerinden artık yağış- zaman dağılımını tahmin etmek için kullanılabileceği bir yöntemi tarif etmiştir. Daha iyi bir yaklaşım olmadan kullanılmak üzere bunun sadece kaba bir tahmin olduğunu belirtmişlerdir. Eş eksenli korelasyon diyagramları, her bir havza için üretilmesi gerektiğinden bir dezavantajlara sahipti, bu nedenle ölçüm yapılmayan havzalarda kullanılamazdı. Mockus'un (1949)'un eğri sayılarına yol açan çalışmasına başladığında aklında eşeksenli grafiksel korelasyon diyagramları olduğunu gösterdiğine dair kanıt yoktur. Rallison (1980) ve Rallison and Miller (1982), yapmış olduğu çalışmada akış denklemin kökenini ve evrimini tanımlarken de bu mirasa işaret etmektedir. Mockus'un seleflerinin karşı karşıya olmadığı bir problem vardı, onun amacı küçük, ölçüm yapılmamış su havzalarında kullanım için bir prosedür geliştirmektir. Bu nedenle, bazı grafiklerin yerini alan tablolarla birlikte eş eksenli korelasyon diyagramlarının kullanıldığı prosedürü göz önünde bulundurmak uygun görünmektedir (Jr 1991).

Al-Gammdi (1991) yaptığı çalışmada uydu verilerinden eğri değerlerinin (CN) belirlenmesinde uydu verilerinin etkinliğinin test edilmesi için LandSat 14 uydu verilerini kullanarak Toprak Koruma Hizmeti (SCS) ile yüzey akışının hesaplanmasında kullanılan iki farklı yöntemi karşılaştırmayı amaçlamıştır. Geleneksel yöntem olarak adlandırılan ilk yöntem, toprak kaplamalarını ve kullanımlarını sınıflandırmak ve topraktaki hidrolojik kategorileri sınıflandırmak ve böylece CN değerlerini hesaplamak için uydu verilerinin otomatik olarak işlenmesine dayanır ve böylece optik harita adı verilen ikinci yöntem ile toprak üzerinde sınıflandırma veya bilgi gerektirmez. Yüzeysel akış denkleminin değerleri ve iki yöntemle de elde edilen sonuçlar büyük ölçüde aynıydı. Ayrıca, aynı çalışma alanı sonuçları bağımsız bir çalışma grubu tarafından elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılıp benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Sorman (1994) çalışmasının temel amacı, Suudi Arabistan Krallığı'nın güneybatısındaki Wadi Itwad içindeki küçük boyutlu havzalardaki tepe deşarjını tahmin etmek için uzaktan algılama tekniklerini ve hidrolojik model yaklaşımı birleştirmektir. Küçük havzalar için kırılmaların frekans ve mekânsal dağılımı toplanarak işlenir ve katmanlar, şekiller halinde

sunulur. Bunlar, Yanlış Renk Kompozit (FCC) alışmaları ve Landsat Tematik haritalayıcısının (TM-Thematic mapper) orantılı görüntüleri kullanılarak elde edilir.

Küçük havzalar için zirve deşarjları bir hidrolojik model (TR-55) uygulanarak tahmin edilir ve sonuçlar hidrolojide yaygın olarak kullanılan yöntem olan rasyonel formül uygulamasından elde edilen çıktılarla karşılaştırılır. Öte yandan, orta büyüklükteki havzalar için en yüksek deşarjlar, formül ve nokta frekans dağılım fonksiyonları ile belirlenir. Sonuç olarak işlenmiş Landsat Tematik haritalayıcı verilerinin renkli formda girdi parametreleri olarak gerekli bilgilerin sayısallaştırılmasının hidrolojik model uygulaması için oldukça uygun olduğunu gösterilmiştir. Model parametreleri, parametrik olmayan bilgileri temsil ederken litolojinin sayısallaştırılmış formu olan eğri numaraları, arazi kullanımı ve toprak oluşumu terimlerini kullanır.

Doğal Kaynakların Korunması Hizmetleri'nin (Natural Resources Conservation Service) eğri sayısı yöntemi birçok noktadan kaynak su kalitesi modelinde hidroloji algoritmalarının temeli olarak kullanılmasına rağmen, genel olarak tanınmayan ve yorumlanmasında sorun yaşanan önemli meseleler de vardır. Bu kullanım, bu değere bağlı olarak sonraki erozyon ve kirletici yükleme tahminlerinde muhtemel temel belirsizlik nedeni olan yöntemin hesapladığı akış değerinin anlamı hakkındaki yanlış anlamalara dayanmaktadır. Sonuç olarak, yönetim uygulamalarının su kalitesi üzerindeki etkileri ve mevcut noktasal olmayan kaynak su kalitesi modelleriyle desteklenebilecek sonuçlarda ve kararlarda bazı önemli kısıtlamalar bulunmaktadır. Ayrıca, ortaya çıkan sorunları ele almak için gereken ayrıntılı nicel ve mekânsal bilgileri sağlanamamaktadır. Model tahminlerini geliştirmek için asıl anahtar modellerin ilerinde bulunan hidrolojik algoritmaları iyileştirmektir. Eğri sayısı yönteminin kullanımı, taşkın hidrograf mühendisliği uygulamaları için günümüzde hala uygundur, ancak nokta dışı kaynak su kalitesi modellemesi için tüm akışı oluşturma işlemlerini simüle eden daha fiziksel temelli algoritmalar gerekir. Mekânsal olarak dağıtılmış hidrolojik modelleme bu amaca ulaşmada büyük bir potansiyele sahiptir (Garen and Moore 2005).

Uwizeyimana *et al.* (2019) düzensiz yağış düzenine ve kullanılmayan atıl bir yüzeysel akışa sahip olan, Ruanda'nın dışında Cyili alt havzasında gerçekleştirdikleri çalışmada, kurak bir ekolojik bölgede korunan bir havzada toplanabilecek mevcut yağmur suyunun değerlendirilmesini yapmışlardır. Çalışma alanındaki akıntı ve su ihtiyacını tahmin etmek amacıyla 1949'dan 2016'ya kadar kaydedilen günlük yağış verilerini içeren Toprak Konservasyon Servisi-Eğri Numarası yöntemi (SCS-CN), CROPWAT model versiyon 8 ve Hazen modeli ile uygulanmıştır. Çalışmanın sonucu olarak havzaya gelen yağmur suyunun yarıdan fazlasının yüzeysel akıma geçtiği bulunmuştur.

SCS Yüzey Akış Eğri Numarasının belirlenmesinde CBS ve Uzaktan Algılama teknolojilerinden yararlanma olanakları başka bir çalışmada Güney Marmara Havzası örneği üzerinde incelenmiştir. ArcGIS Model Builder kullanılarak Yüzey Akış Eğri Numarası, su tutma potansiyeli ve akış değerlerinin oluşturulması için bir model kurulmuş, bu araç kullanılarak Güney Marmara Havzası'nda arazi kullanımı/örtüsü bilgileri ve hidrolojik toprak gruplarına (HTG) bağlı olarak SCS Yüzey Akış Eğri Numarası, su tutma potansiyeli ve akış hesaplanmıştır. HTG'ler, büyük toprak grupları (BTG) ve toprak özelliklerinin kombinasyonuna (TOK) göre oluşturulmuştur. Arazi kullanımı/örtüsünün elde edilmesinde ASTER uydu görüntüleri, 1/25000 ölçekli standart topoğrafik haritalar ve 1/25000 ölçekli toprak veritabanı kullanılmıştır. Uydu görüntüsü üzerinden görsel yorumlama ile sayısallaştırma yapılarak arazi kullanımı/örtüsü bilgileri çıkarılmıştır. Çalışmada ayrıca arazi kullanımı/örtüsü bilgisindeki hataların SCS Yüzey Akış Eğri Numarası ve akış oranına etkisi, SCS Yüzey Akış Eğri Numarası'nın hesabında kullanılacak arazi kullanımı/örtüsü bilgisinden beklenen doğruluk, bu bilgilerin elde edilmesinde kullanılacak uydu görüntülerinin özellikleri ve yöntemler tartışılmıştır (Öztürk ve Batuk 2011).

İç Anadolu Bölgesi'nde yer alan Ankara-Güvenç, Haymana- Çatalkaya, Bilecik-Kurukavak ve Tokat-Uğrak olmak üzere dört adet su toplama havzasını kapsayan bir başka çalışmada, havzaların toprak, arazi kullanımı, bitki örtüsü fiziksel parametreleri ile gözlenen yıllık yağış ve akım verileri kullanılmıştır. Havzalarda yağışı akıma çeviren ve su depolama sistemlerine gelebilecek olan yüzey akışları tahmin etmede kullanılan yüzey

akış eğri numarası (YAEN) değerleri SCS-YAEN, S- Olasılık dağılım ve kısmi katkılı alan dağılım olmak üzere üç farklı yöntemle belirlenmiştir. Havzaların detaylı toprak serilerine göre belirlenmiş hidrolojik toprak grupları, arazi kullanım ve bitki örtüleri sayısallaştırılmış, Coğrafi bilgi sistemi ortamında SCS-YAEN'ları hesaplanmıştır. S- Olasılık dağılım yönteminde havzaların gözlenen yağış ve maksimum akım verileriyle önce %10, %50, %90 olasılıkla potansiyel su depolama (S) değerleri hesaplanmış ve S değerleri kullanılarak YAEN'ları belirlenmiştir. Havzalarda yüzey akışı oluşturan yağış öncesi topraktaki ilk tutulma (Ia) miktarları zamansal ve hacimsel olarak iki farklı yaklaşımla hesaplanmış ve topoğrafik indeks değeriyle birlikte kısmi katkılı alan dağılım yöntemiyle YAEN'ları bulunmuştur. Yüzey akışa etkili olan ilk tutulma katsayısı (λ) dört adet havzada her bir bireysel olay için hesaplanmıştır. Havzaların üç farklı yöntemle göre yüzey akış tahminleri yapılmış ve sonuçlar gözlenen akış verileriyle karşılaştırılmıştır. Kurukavak havzası hariç, diğer üç havzada SCS-YAEN ve S-Olasılık dağılım yöntemiyle bulunan YAEN'ları birbirleriyle uyumlu sonuçlar vermiştir. Kısmi katkılı alan dağılım yönteminde bulunan YAEN'ları dört havzada da diğer iki yöntemden farklı sonuçlar vermiştir. Bu yöntemde çalışılan dört havzada da S değerleri ıslak, kuru ve normal şartlara göre farklı gruplar oluşturmuştur. Gruplar arası fark özellikle kuru şartlarda en yüksek çıkmıştır. Gözlenen ve tahmin edilen yüzey akış değerleri arasındaki en yüksek ilişki dört havzada da S-Olasılık dağılım yönteminde bulunmuştur (TARIMSAL 2009).

2.2. Fiziksel Tabanlı (WMS) Modeli İle İlgili Literatür Özeti

Havza Modelleme Sistemi (Watershed Modeling System-WMS) hidrolojik analiz için kapsamlı bir ortamdır. US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station (US-ACEWES) ile birlikte Environmental Modeling Research Laboratory of Brigham Young University (EMRL-BYU) tarafından geliştirilmiştir (WMS, Kullanıcı Kılavuzu 2000).

Türkiye'nin kuzeyinde bulunan Rize ili havzalarında meydana gelen yağış fırtınası olaylarından yüzey ve tepe akımlarını tahmin etmek amacıyla hidrolojik ve taşkın modelleri kurulmuştur. En yüksek deşarj tespiti için WMS ve taşkın yatağı analizi için TuFlow'dan oluşan bir model kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonuçları İyidere Nehri'nin

üç iklim değişikliği senaryosuyla bağlantılı olarak bugün ve gelecekte taşkın riski ile karşılaşabileceğini ve rehabilitasyona ihtiyaç duyduklarını, buna karşın Çağlayan ve Tahiroğlu Nehirleri'nde ise sadece bugünün mevcut şartlarında taşkın oluştuğu belirtilmiştir. Araştırma ayrıca kaba çözünürlükteki grid verilerinin taşkın ovasında ve su derinliğinde aşırı tahmin değerlerine neden olabileceğini sonucunu ortaya koymuştur (Şen ve Kahya 2017).

Modern tekniklerin kullanıldığı yer altı sularının keşfi için sistematik planlama, bu hayati kaynağın uygun hale getirilmesi, korunması ve yönetimi için esastır. Elewa and Qaddah (2011) gerçekleştirdikleri çalışmada geliştirilmiş Thematic Mapper Plus (ETM +) görüntüleri, bir coğrafi bilgi sistemi (GIS), akarsu havzası modelleme sistemi (WMS) ve ağırlıklı mekânsal olasılık modellemesi (WSPM), Mısır Yarımadası'ndaki yeraltı suyu potansiyel alanlarını tanımlamak için birleştirilmişlerdir. Sekiz ilgili tematik katman, bir CBS'ye inşa edildi ve uygun derecelere atandı. Kabul edilen katmanlar: yağış, net yeraltı suyu şarjı, litoloji veya filtreleme, kaplama yoğunluğu, eğim, drenaj yoğunluğu, yeraltı sularına olan derinlik ve su kalitesidir. Tüm bu temalara yeraltı suyu potansiyeline olan önem derecelerine göre ağırlıklar verilmiş ve bunlara karşılık gelen ağırlıkları etkinlik faktörlerine göre elde edilmiştir. Yeraltı suyu potansiyel haritası nihai olarak WSPM tarafından üretilmiştir. Bu harita çok yüksek ile çok düşük arasında değişen beşinci yeraltı suyu potansiyeli sınıflarını içermektedir. Bu tarafsız GIS tabanlı modelin geçerliliği, sonuçları Mısır'ın yayınlanmış hidrojeolojik haritası ve uyumlu bir gerekçeye ulaştığı gerçek sondaj verimi ile ilişkilendirilerek test edilmiştir. Oluşturulan harita ile Sina Yarımadası'nın genel olarak orta düzeyde yeraltı suyu potansiyeline sahip olduğu ve bu sınıfın toplam alanın %47'sini temsil ettiği 33.120 km²'lik bir alanı kapsadığını belirtmişlerdir.

2.3. Fiziksel Tabanlı HEC – HMS Hidrolojik Modeli İle İlgili Literatür Özeti

HEC-HMS, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineers Center (USACE-HEC) tarafından dendritik su havzası sistemlerinin akış süreçlerini simüle etmek için tasarlanmış bir yazılım paketidir. HEC-HMS Sürüm 4.2.1 bir veritabanı ve veri giriş

programları ile dahili hesaplama motoru ve sonuç raporlama araçları kullanarak tamamen entegre bir çalışma ortamı sunmaktadır. HEC-HMS, yağış-akış modellemesinde dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Şensoy (2003), HEC-1 paketini Türkiye'nin doğusundaki Yukarı Karasu Havzası'na uygulamıştır.

Daly *et al.* (2000) HEC-HMS'yi Kaliforniya'daki Sacramento ve San Joaquin havzaları için yapılan mekânsal olarak dağılmış bir kar modelleme çalışmasında kullanmıştır.

Anderson *et al.* (2002), HEC-HMS'yi Kuzey Kaliforniya'daki Calaveras Nehri havzasındaki su havzasının tahmin edilmesi için atmosferik modellerle birleştirmiştir.

HEC-HMS, Fleming and Neary (2004) tarafından, toprak nemi muhasebe yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen sürekli bir modelleme çalışmasında kullanılmıştır.

Cunderlik and Simonovic (2004) Yukarı Thames Nehir Havzası çalışma alanında HEC-HMS model tekniklerini uygulamışlardır.

Hu *et al.* (2006) HEC-HMS'yi ABD Kuzey Havzası'nın Red River'ında yapılan bir kar erimesi ve yağış akış hidrolojik modelleme çalışmasında kullanmışlardır.

Yener (2006), çalışma alanı olarak seçtiği Yuvacık Havzası'nda, havzayı alt havzalara ayırmış ve alt havzalarda hidrolojik modelleme çalışmaları yapmıştır. Havza sınırlarının ve nehir hatlarının belirlenmesinde HEC-GeoHMS yazılımı kullanılmış ve hidrolojik modelleme çalışmalarında HEC-HMS yazılımı kullanılmıştır. Modelleme çalışmaları dört ana kısımdan oluşmaktadır: olay-temelli saatlik benzetimler, kar dönemi günlük benzetimler (simülasyonlar), sayısal hava tahmin verilerini kullanarak günlük akış tahminleri ve yağış-şiddet-tekerrür eğrilerinin kullanımıyla akış senaryolarının

oluşturulması. Çalışma sonucunda, ileriye yönelik tahmin edilen akımlarla gözlenen akımlar arasında uyumluluk olduğunu belirlemiştir.

Mesta *et al.* (2018) gerçekleştirdikleri çalışmada ilk olarak havza ve civarında ölçülmüş olan günlük yağış ve sıcaklık gibi meteorolojik veriler ile günlük akış verilerini toplamışlardır. Ardından havzanın arazi kullanımı, hidrolojik toprak grupları, ve sayısal yükseklik verileri gibi havza karakteristiklerini gösteren veriler toplanmış ve bu verileri CBS ortamında derlemişlerdir. Bu veriler kullanılarak havzaya ait HEC-HMS hidrolojik modeli kurulmuştur. Kurulan modelin, 1997-2002 yılları arasındaki günlük veriler kullanılarak da kalibrasyonu, 2003-2005 yılları arasındaki günlük veriler kullanılarak doğrulaması yapılmıştır. Kurulmuş olan hidrolojik modelin Yenigözüce AGİ için Nash-Sutcliffe Etkinlik Katsayısı (NSE) kalibrasyon ve doğrulama aşamaları için sırasıyla 0.8 ve 0.72 değerleri hesaplanmıştır. Yenigözüce havzasının D01A008, E01A006 ve E01A012 AGİ'leri ile temsil edilen Hayrabolu, Lüleburgaz ve İnanlı alt-havzaları için de hidrolojik modeller kurulmuş ve kalibre edilmiştir. Model performansları NSE ve korelasyon gibi istatistiksel ölçütler kullanılarak değerlendirilmiştir.

2.4. Fiziksel Tabanlı (MATLAB) Modeli İle İlgili Literatür Özeti

Kim *et al.* (2000), gerçek zamanlı birçok rezervuar işlemi için Koordineli Çoklu Rezervuar İşletim Modeli (CoMOM) adı verilen deterministik bir optimizasyon modelinin uygunluğunu değerlendirmiştir. CoMOM, Kore'deki Han Nehri Havzası'ndaki gerçek zamanlı bir operasyonel ortam için simülasyonda kullanılmıştır ve mevcut dönemin akışı $\pm 5\%$ 'lik bir hatayla tahmin edilebilirse, su tasarrufu açısından umut verici sonuçlar doğuracağını belirtilmişlerdir. Neelakantan and Pundarikanthan (2000), rezervuar işletme problemlerini verimli bir şekilde çözmek için simülasyon-optimizasyon modellerini bir araya getirme çabasıdadır. Chennai şehri su temini sorununun yaklaşık bir simülasyon modelini oluşturmak için bir geri yayımlı sinir ağı oluşturulmuştur. Mousavi *et al.* (2004), Karoon-Dez isimli çoklu-rezervuar sisteminin İran'da uzun vadeli çalışmasını planlamak için dinamik programlama (DP) optimizasyonu ve Taşkın Kontrol ve Koruma Sistemleri (HEC-5) simülasyon modelini geliştirmiştir. Chang *et al.* (2005),

çoklu rezervuar işletme kuralları için simülasyon tabanlı bir sinir ağı modeli geliştirmiştir. Sarı Nehir üstündeki birçok rezervuar sistemi kullanılmıştır. Chou *et al.* (2006), çoklu rezervuar sistemini simüle etmek için Şebeke Akışı Programlaması'na dayanan Su Kaynakları Tahsis Simülasyon Modeli (WRASIM-M) adlı bir simülasyon modelini geliştirmiştir. Babazadeh *et al.* (2007) Jiroft Barajı depolarının performansını simüle etmek için Hidroloji Mühendisliği Merkezi Rezervuar Sistemi Simülasyon Modelini (HEC-ResSim2.0) kullanmış ve bu su kaynağını değerlendirmiştir. Sistem değerlendirmesi için güvenilirlik, esneklik ve güvenlik açığı indeksleri kullanılmıştır.

Srivastava and Awchi (2009), Mula Rezervuarı'nın performansının iyileştirilmesi için su kullanım koşulları ve talepleri senaryolarını incelenmişlerdir. Rezervuarın depolanmasını değerlendirmek için yararlı bir strateji sağlamak amacıyla, doğrusal programlama (LP), (DP), yapay sinir ağları (YSA), riskten korunma kuralları (İK) ve simülasyon modeli kullanılarak birlikte iç içe geçmiş bir dizi model uygulamışlardır.

Wang *et al.* (2010) tarafından geliştirilen radyal temelli bir fonksiyonu olan sinir ağı (RBFNN) modeli yeni geliştirilen bir yöntemdir. Örnekler bir simülasyon modeli yoluyla elde edilmiş ve RBF sinir ağı, rezervuar işlem kurallarını türetmek için bir parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritması kullanılarak eğitilmiştir. Rani and Moreira (2010) bir simülasyon, optimizasyon ve kombine simülasyon-optimizasyon modelleme yaklaşımını tartışmış ve literatürde bildirilen uygulamalarına genel bir bakış sunulmuştur. Bu çalışmada, konuyla ilgili gelecekteki araştırmalar ve sistem yöneticilerinin sistemlerine uygulama için uygun bir metodoloji konusunda karar vermeleri için faydalı olabilecek tüm modelleri açıkça belirtmişlerdir.

Powersim Simulation yazılımı, Etiyopya'daki MelkaWakana Hidroelektrik Santralini modellemek ve incelemek için kullanılmıştır (Bosona and Gebresenbet 2010). Wurbs (2012), su kaynaklarının planlanması ve yönetimi alanında kullanılan ve bu amaca yönelik olan ve su kaynağı sistemlerini taklit edebilme ve aynı konudaki birçok önemli konuyu analiz etme yeteneğine sahip olan yazılım setini gözden geçirmişlerdir.

Rimac Nehri havzalarının rezervuar sisteminin bir modeli iki farklı hidrolojik dönem (kurak ve sulak periyot) için simüle edilmiştir (Robleto *et al.* 2012). İran'daki Zayandeh Rud isimli rezervuar sistemi için aylık işletme kurallarını belirlemek için, Ziaei *et al.* (2012) kombine optimizasyon (LINGO) ve simülasyon (HEC-ResSim) modellerini oluşturmuştur. Sistem davranışı, optimize edilmiş akış temelinde 47 yıl boyunca simüle edilmiştir.

Goodarzi *et al.* (2013 İran'ın güneyinde bulunan Doroudzan rezervuarı için en uygun işletme politikasını belirlemişlerdir. Optimizasyon modeli, gözlenen ve sentetik akış verilerine dayanarak çalıştırılmıştır. Bu sentetik akışlar Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak üretilerek optimum operasyonel parametreleri bulmak için LINGO optimizasyon tekniğini uygulanmıştır.

Fayaed *et al.* (2013) rezervuar sistemleri ile ilgili önemli sorunların çözümünde kullanılan simülasyon ve optimizasyon modelleme yöntemlerine genel bir bakıştan bahsetmişlerdir. Önerilen stokastik dinamik programlama (PSDP) ve (ANN), araştırmacılar tarafından önerilmiş ve daha güvenilir ve sağlam bir model elde etmek için rezervuar işletim sistemi simülasyonuna uygulanmış ve (PSDP-ANN) modeline dahil edilmiştir.

Jahandideh-Tehrani *et al.* (2014), İran'ın Karoon Havzası'nda bulunan bir hidroelektrik çoklu rezervuar sisteminin (Khersan 1, Karoon 4 ve Karoon 3) işletimi için Vensim'i kullanarak bir sistem dinamiği simülasyon modeli geliştirmişlerdir.

Kanada'nın Manitoba eyaletinde bulunan bir hidroelektrik rezervuar sistemi için bir simülasyon modeli, sistem dinamikleri (SD) prensibine dayanarak geliştirilmiştir (Teegavarapu and Simonovic 2014).

Manwan Rezervuarı'ndaki günlük ve aylık nehir debisi deşarjlarının Cheng *et al.* (2005) tarafından tahmin edilen nehir akışı deşarjlarının tahmin edilmesi yoluyla rezervuarların işletilmesiyle ilgili birçok yapan sinir ağı (YSA) modelinin kullanıldığı başka çalışmalar da vardır. Bu çalışmada modellerin performansı geleneksel bir modelle

karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, YSA modellerinin daha iyi doğruluk sağladığını göstermiştir. Ayrıca, aylık akış tahminlerinin doğruluk performansı (Wu *et al.* 2009) net dağıtık destek vektörleri regresyon (CDSVR) modelinin performansını diğer dört modelle karşılaştırarak çeşitli matematiksel araçları seçme, kullanma ve uygulama çerçevesinde, bu araçların seçiminde ve manipülasyonunda konu hakkında fazla deneyim sahibi olmayanlara yardımcı olabilmek için, Chau (2007), en son bilgi yönetimini (KM), yapay zeka teknolojisini geleneksel hidrolik ile entegre etmiştir.

Algoritmik modeller, hidrolojik süreçler için model manipülasyonun prototip bilgi tabanlı bir sisteminin Chen and Chau (2006) tarafından geliştirilmesiyle ve uygulanmasıyla, en son hibrit uzman sistem kabuğundaki hem nesne yönelimli programlama paradigması hem de üretim kuralları avantajları birleştirilerek sunulmuştur.

Aqeeli and AlMohseen (2013) gerçekleştirdikleri çalışmada hidroelektrik enerji üretiminde inşa edilecek sistemin gelecekteki kapasitesini araştırmak için Dicle Nehri Havzasının (Irak) bir parçası olan Fatha'nın kuzeyindeki bir depolama sistemi üzerinde bir çalışma yürütmüşlerdir. Matlab yazılımı tarafından sağlanan SIMULINK teknolojileri ile birleşik rezervuar sistemi birimleriyle (Mosul Barajı, Dokan Barajı, Bakhma Barajı ve Makhoul Barajı) çalışılmıştır. Depolama sisteminin beklenen gelecekteki performansı, gelecekteki beklenen girdilerden oluşacak akış için bir stokastik zaman serisi modeli kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu amaçta Thomas-Fiering modeli, incelenen depolama sisteminden hidroelektrik enerji üretmek için farklı girdi türleri sağlama görevini gerçekleştirmek için uygulanmıştır. Genel olarak, hidroelektrik enerji üretimi amacıyla Fatha'nın kuzeyindeki havzanın yıllık üretkenliği (20000GW-saat) olarak hesaplanmıştır. Irak'ın elektrik kapasitesine olan ihtiyacın yıllık 12GW olduğunu biliyorsak 1.1GW ile (Irak'ın toplam elektrik talebinin yaklaşık %10'u) entegre olarak üretilen Fatha'nın kuzeyindeki depolama sisteminden elde edilen hidroelektrik enerjinin bugünlerde çok önemli olduğu sonucuna varılmıştır.

Aqeeli *et al.* (2015), rezervuarın çalışması, girişler, depolar ve serbest bırakmalar arasında bir hacim dengesi sürecinin işletildiği bir prensibe dayanarak, Mosul rezervuarı için

kurdukları bir simülasyon modeline (SM), MATLAB ortamında Simulink tekniği kullanarak formülize edilmişlerdir. Bu modelin doğruluğunu test etmek için, gözlenen depo yükseklikleri ve simülasyon modelinden elde edilen değerlerle üretilen hidroelektrik değerleri karşılaştırılarak iki farklı performans değerlendirme kriteri (r^2 ve NSE) kullanılmıştır. R^2 ve NSE, yüksekliklerin karşılaştırılmasında sırasıyla 0.92 ve 0.87 iken, üretilen hidroelektriklerin karşılaştırılmasında sırasıyla 0.81 ve 0.77'dir. Sonuçlar, model performansının gerçek uygulamada kullanılabilmesi için uygundur. Bu çalışma ile simülasyon sürecinin yüksek hızda uygulanmasında ek olarak, rezervuar operasyonuna ilişkin simülasyon modelinin formülasyonundaki Simulink tekniğinin avantajları ve esnekliği ortaya konulmuştur.

Al-Aqeeli *et al.* (2018) tarafından gerçekleştirilen çalışmanın amacı, ilk olarak, bir aylık işletme süresine dayanan bir rezervuarın standart işletme politikasını (Standard Operating Policy-SOP) tanımlamak için tek bir rezervuar için bir simülasyon modeli (SM) geliştirmek ve Makhoul Rezervuarı'nın performansını değerlendirmektir. Sel riskini azaltmada Gelişmiş Simülasyon Modeli (Developed Simulation Model-DSM) kullanılır. Bu su deposu, Bağdat'ın yaklaşık 180 km yukarısında, Dicle Nehri üzerinde yer almaktadır. Rezervuarın taşkın riskini azaltmadaki performansı iki tasarım ve iki yıl boyunca toplanan taşkın dalgalarının kayıtları kullanılarak değerlendirilmiştir. İlk tasarım mevcut, ikincisi ise bölgenin dijital haritalarına dayalı olarak operasyonla depolamayı en üst düzeye çıkarmak suretiyle geliştirilmiştir. Rezervuarın aşağı akış akımları, söz konusu iki yıl içinde rezervuar bulunan ve rezervuar bulunmayan durumlar için karşılaştırılmıştır. İki tasarımdan kaynaklanan dört parametre karşılaştırılmıştır (depolama, yüzey alanı, yükseklik ve güç). Sonuç olarak tasarlanan rezervuarların taşkın riskini azaltmada etkisiz olacağını, ancak yükseltilmiş yeni tasarımın bunu yapma konusunda daha yetenekli olduğu gösterilerek daha fazla hidroelektrik güç sağlama yeteneğine sahip olacağını ortaya koymuşlardır. Rezervuar ayrıca sulama, balık gelişimi ve rekreasyon gibi amaçlara da hizmet edebilir. Geliştirilen bu DSM modeli kullanılarak, modelin rezervuarlar için kullanılan tekli depolama sistemi performans değerlendirilmesindeki etkinliği kanıtlamıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

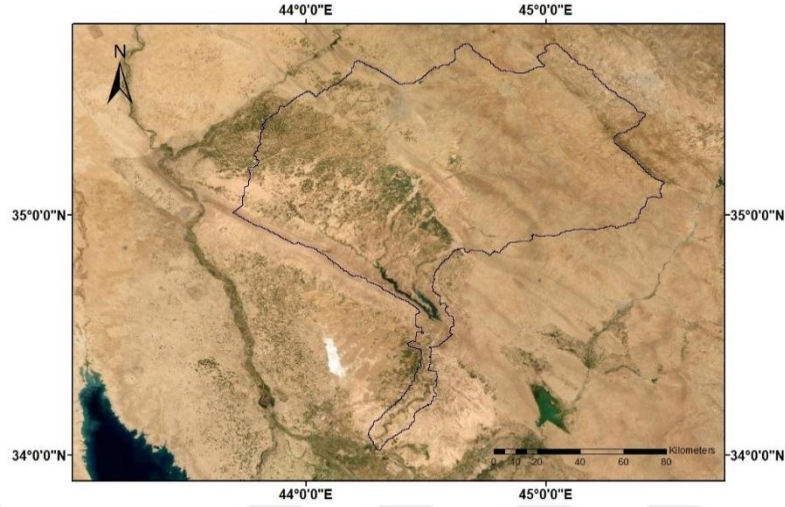
3.1.1.a. Al-adim Nehri, Al-adim Nehir Havzası ve Al-adim Alt Havzası'nın özellikleri

Al-adim Nehri, Irak'ın doğu bölgesinde doğup Dicle Nehri'ne dökülen bir nehirdir.

Al-adim Nehri'nin uzunluğu 230 km'dir. Havza sınırları doğuda Süleymaniye Şehri sınırlarında bulunan Kara Dağ, Sıkrma Dağ, Tasloca ve Şvan tepelerinden (1400 – 1800 m) başlamaktadır. Al-adim Nehri'nin Dicle Nehri'ne katıldığı nokta Beled Şehri'nin güneyinden 15km'lik bir mesafededir.

Al-adim Nehri Havzası (Şekil 3.1) Dicle Nehri'ne kavuşuncaya kadar 50-1800 m rakımları arasında olup tüm havza alanı (Al-adim Havzası) toplamda 13000 km²'dir. Bu çalışmada yağışın derlendiği alt havza alanı hesaplanırken Hamrin dağlarının doğu ve kuzeydoğusunda bulunmakta olan Al-adim Barajı'nın konumu esas alınmış olup toplam havza alanının yaklaşık %88.5'ine (11500 km²) tekabül etmektedir. Ana havzanın 4348 km²'si ormanlarla kaplı olup bu oran havzanın %38.5'ine tekabül etmektedir. Havza alanının %50'sinden fazlası kuru bölgede bulunmaktadır, bu kurak alanın yaklaşık %10'u Hamrin Dağları'nın batısındaki kuru çöl bölgelerinde yer almaktadır. Havzada, hem yıllık hem de aylık su temini tamamen yağışa bağlıdır. Yeraltı suyu akımı toplam yıllık akışın %1'inden fazla kaynak teşkil etmemektedir.

Dicle Havzası'nın Irak sınırları içinde kalan kısmından sadece Al-adim Nehri'nin bütün kolları ülke içinde doğarak Dicle Nehri'ne katılmaktadır.



Şekil 3.1. Al-adim Nehri ve Al-adim Nehir Havzası

Türkiye, Fırat Nehri'nin yıllık toplam akışının yaklaşık yüzde 90'ına katkıda bulunurken, geri kalan kısmı büyük ölçüde Irak'tan ve bir miktarı da Suriye'den kaynaklanmaktadır. Türkiye doğrudan Dicle Nehri'ne %38, Irak ise doğrudan %11 katkıda bulunmaktadır. Kalan miktarın büyük kısmı İran menşeli üç koldan Irak sınırlarına girerek Dicle Nehri'ne katılmaktadır (FAO 2004).

Yaşamı sürdürebilmek için gerekli olan suyu denetim altına almak, insanoğlunun temel sorunlarından biri olmuştur. Barajlar sellerden korunmak, ırmakların yönünü değiştirmek, su depolamak ve araziye sulamak gibi, su denetleme yöntemlerine ilişkin olarak kullanılagelmiştir. Bugün de barajlar, yüzyıllardan beri yüklendikleri bu işlevleri yerine getirirler. Çağımızda barajlar tarımsal su gereksiniminin karşılanması, içme, kullanma ve endüstri suyu gereksinimlerinin karşılanması gibi ihtiyaçların yanı sıra, hidroelektrik güç üretimi, kıraç toprakların tarıma elverişli hale getirilmesi, sellerin yol açacağı erozyonun ve nehir ağızlarındaki kum ve kil birikintilerini önlemesi gibi daha karmaşık amaçlarla da kullanılmaktadırlar.

Tarımsal amaçlı olarak, bitki su ihtiyacının doğal yağışlar ile karşılanamadığı dönemlerde, sulama sistemleri geliştirilerek bitki su ihtiyaçları karşılanır ve verim arttırılır. Ayrıca topraktaki su miktarı bitki kök bölgesinde belli bir yüzdeyi geçtiği takdirde bitki nefes alamaz ve kurur. Bu nedenle aşırı sulamadan kaçınılması gerekmekte olup ihtiyaç duyulan yerlerde drenaj sistemleri ile bitki kök bölgesinde taban suyu düşürülmelidir.

Enerji üretimi, sulama, içme ve kullanma suyu temini, taşkın koruma, rekreasyon vb. amaçlarla projeler yapılmadan önce teknik ve ekonomik yapılabilirliklerinin analiz edilmesi gerekmektedir.

Şekil 3.2’de çalışma alanının Irak sınırlarındaki konumu gösterilmektedir.



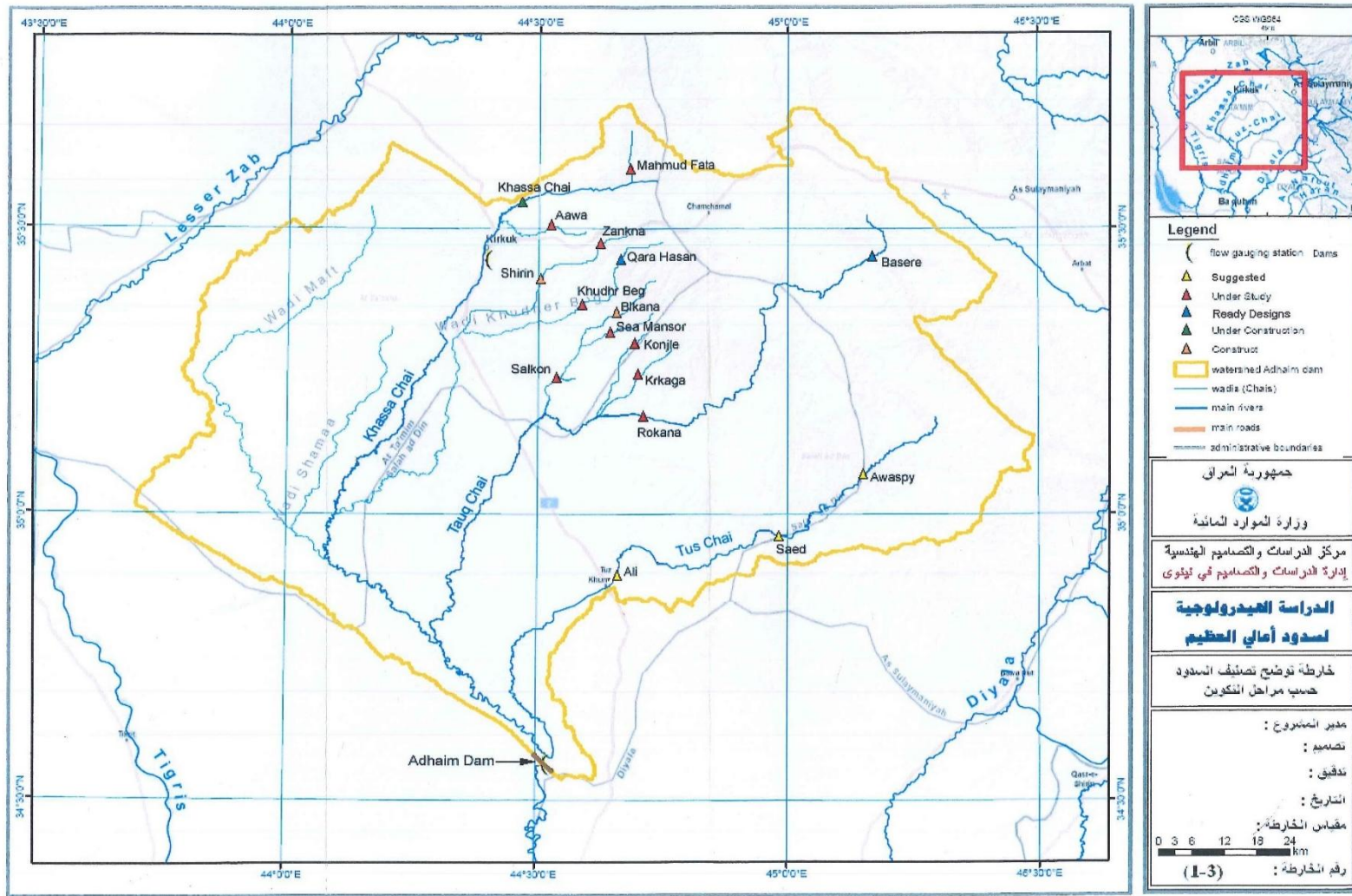
Şekil 3.2. Al-adim Havzası’nın yeri

Al-adim Havzası'nda Anjana bölgesinde Al-adim Barajı halihazırda kurulu olmakla beraber havzanın iç bölgelerinde yapımı tamamlanmış, tamamlanmakta olan ve henüz tasarım aşamasında olan birkaç tane daha küçük baraj mevcuttur (MWR, 2010). Bu küçük barajlara ait bilgiler Çizelge 3.1'de sunulmuş olup havza sınırları içindeki tüm barajların konumları Şekil 3.3'de gösterildiği gibidir.



Çizelge 3.1. Al-adim havzasındaki barajlar özellikleri (MWR, 2010)

		Baraj adı	Halihazırdaki durumu	Baraj havzasının alanı (km ²)	Maksimum depolama hacmi (m ³ * 1000)	Talveg kotu (m)	Maksimum rezervuar seviyesi (m)	Maksimum rezervuar alanı (m ² *1000)
Al-adim Nehri'nin Dalları	Tavuk Çayı	Salkon	Planlanmaktadır	128.64	38965.1	299.5	317	6807.6
		Sia Mansour	Planlanmaktadır	48.5	2984.4	467.5	485	424.6
		Rohanh	Planlanmaktadır	1841.6	122043.2	317.5	352	10398.5
		Kerkjah	Planlanmaktadır	116.77	1549.5	380.5	391.5	273.5
		Kongeli	Planlanmaktadır	68.69	2889.6	501.5	518	482.1
		Baasra	Tasarım Hazır	584.39	98785.9	645.5	716.5	5037.3
		Blkanh	2009'de tamamlandı	58.87	1499.6	482.5	498	273.5
	Hasa Çayı	Hasa Jay	2011'de tamamlandı	372.82	102926.9	444.5	495	6076.4
		Mahmud Fate	Planlanmaktadır	47.39	579.7	627.5	636.5	121.7
		Awa	Planlanmaktadır	11.37	887.5	509.5	521.5	887.5
		Zangana	Planlanmaktadır	29.12	471.5	632.5	648	85.9
		Şirin	2009'de tamamlandı	38.64	2905.4	364.5	383	486.7
		Kara Hassan	Tasarım Hazır	62.64	2511.7	647.5	668	314.9
		Hıdr Beck	Planlanmaktadır	21.67	2843.1	438.5	458	429.4
	Düz Çayı	Ao Sabi	Öneri	935.89	6847.5	440.5	453.5	1101
		Siid	Öneri	458.05	94094.8	359.5	400	7779.1
		Ali	Öneri	352.42	81480.4	231.5	265.6	9470.2



Şekil 3.3. Al-adim havzasındaki barajların yerleri (MWR, 2010)

3.1.1.b. Al-adim Barajı

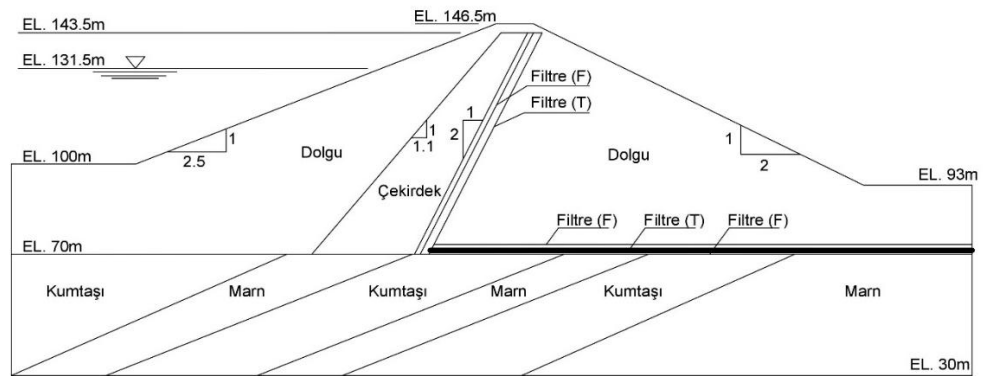
Baraj, Al-adim Nehri üzerinde, Diyala ilinin, Khalis ilçesinin idari sınırları içinde yer almaktadır, Al-adim ilçe merkezine 40 km, Zghitoun ve Tuz Çay bölgesi kavşağına 15 km uzaklıktadır.

Al-adim Havzası'nın dağlık Hamrin Tepeleri dizisi doğu ve kuzey-doğu yönünde uzanmakta olup bu sıra dağların ana akarsu kolunu kestiği Anjana bölgesinde 1929 yılında bir akım gözlem istasyonu kurulmuştur, ancak 1935 yılına kadar akım gözlemleri düzenli bir şekilde kaydedilememiştir. Bu bölge aynı zamanda havza sularının işletilebilmesi için en uygun baraj yeridir.

Bölgeyi topoğrafik ve jeolojik bakımından incelediğimizde denetim faaliyetlerini azaltmak için güvenilir temeller sağlayan marn katmanlarının aynı zamanda olası su kaçağı istikametinin zıt yönünde tabakalaştığı gözlenmiş olup bölge baraj gövdesi inşaatı için uygun bir yerdir.

Al-adim Barajı 3800 metre uzunluğunda, tepe genişliği 12 metre olan kil çekirdekli bir toprak dolgu barajdır (Fattah *et al.* 2014) (Şekil 3.4).

Baraj dolu savağının uzunluğu 562 metredir.



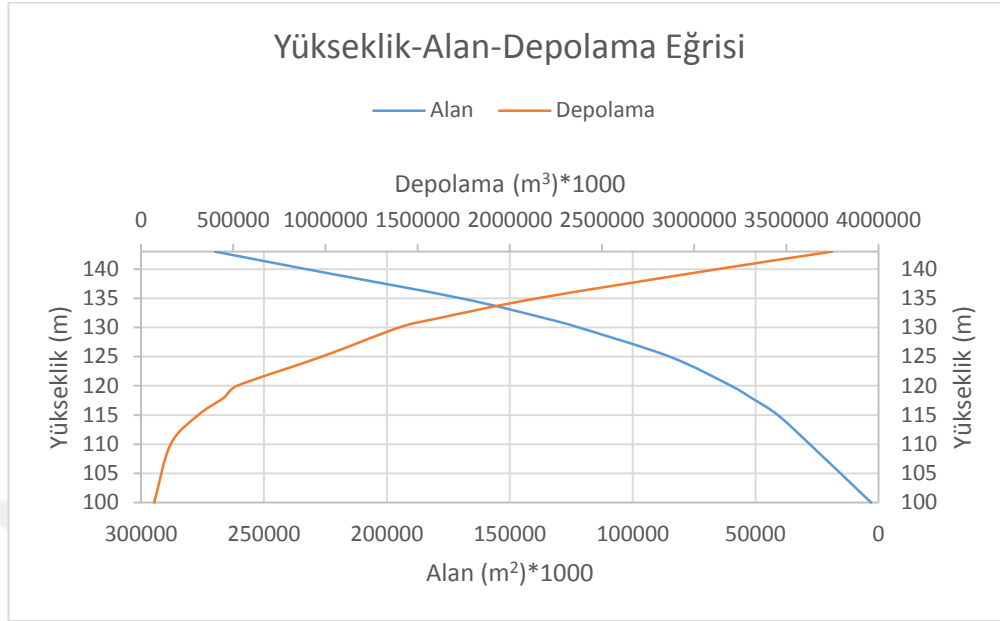
Şekil 3.4. Barajın göre boyuna kesiti

Barajın kuş bakışı görünümü (Şekil 3.5)'de verilmiştir.



Şekil 3.5. Al-adim Barajı

Bulundukları yerin topografyasına göre baraj haznelerinin biçim, boyut ve alan özellikleri hacim-yüzey eğrilerinden görülebilir. Bir barajın hacim-yüzey eğrisi ise o bölgenin tesviye eğrili haritalarından elde edilebilir. Bunun için baraj gövdesinin ekseni ile tesviye eğrileri arasında kalan alanlar planimetre ile haritadan ölçülür. Sonra her bir tesviye eğrisinin çevrelediği alan ile tesviye eğrisinin kotu arasında çizilen eğri, herhangi bir su kotunda ortaya çıkacak gölün yüzey alanını gösterir. Yüzey alanı eğrisi ile yükseklik ekseni arasında kalan alanın entegrasyonu ile bulunan hacim değerleri, su seviyelerine karşı gelen göl hacimlerini verir. Su seviyesi ile hacimler arasındaki eğri de aynı grafik üzerinde gösterilerek hacim-yüzey diyagramı elde edilir. Bu grafik baraj haznesini boyutlandırma ve işletme çalışmalarında sık sık kullanılır. Şekil 3.6 ve Çizelge 3.2'de sırasıyla Al-adim Barajı'na ait yükseklik-alan-depolama eğrisi ve ilgili değerleri gösterilmektedir. Al-adim Barajı rezervuarının çalışma seviyesi 131.5 m kotundadır.



Şekil 3.6. Al-adim Barajı'na ait yükseklik-alan-depolama eğrisi

Çizelge 3.2. Al-adim Barajı'na ait yükseklik-alan-depolama tablosu

Yükseklik (m)	Yüzey alanı (m²)*1000	Depolama hacmi (m³)*1000
100	3000	70000
110	28000	160000
115	41000	310000
118	52000	450000
120	60000	520000
125	85000	980000
130	122000	1400000
131.5	135000	1600000
135	170000	2150000
140	233000	3130000
143	270000	3750000

Al-adim Havzası'ndan sulama ve cansuyu ihtiyaçlarının karşılanması için mansap bölgenin su talebi ihtiyaçları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Al-adim Havzası'nda mansap su talebi (Ishak 1998)

Aylar	Su ihtiyacı ($\times 10^6 \text{ m}^3$)
Ocak	17.22
Şubat	54.67
Mart	83.38
Nisan	124.8
Mayıs	129.26
Haziran	193.19
Temmuz	179.45
Ağustos	131.4
Eylül	92.19
Ekim	88.23
Kasım	49.39
Aralık	19.9

3.1.2. Hidro-Meteorolojik veriler

Al-adim Havzası'nda iklim, Akdeniz iklimine benzer olarak tanımlanmaktadır (yazları sıcak ve kurak, kışları ılık ve yağışlı).

Hidrolojik çalışmaları ve uygulamaları yürütebilmek için hidro-meteorolojik verilere ihtiyaç duyulur. Bu verilerin miktarı ve kalitesi, gerekli öngörülerin hesabına olanak tanıyacak yeterlilikte olmalıdır. Irak Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Irak'daki hidro-meteorolojik verilerin toplanıp arşivlenmesini üstlenen kurumlardan birisidir.

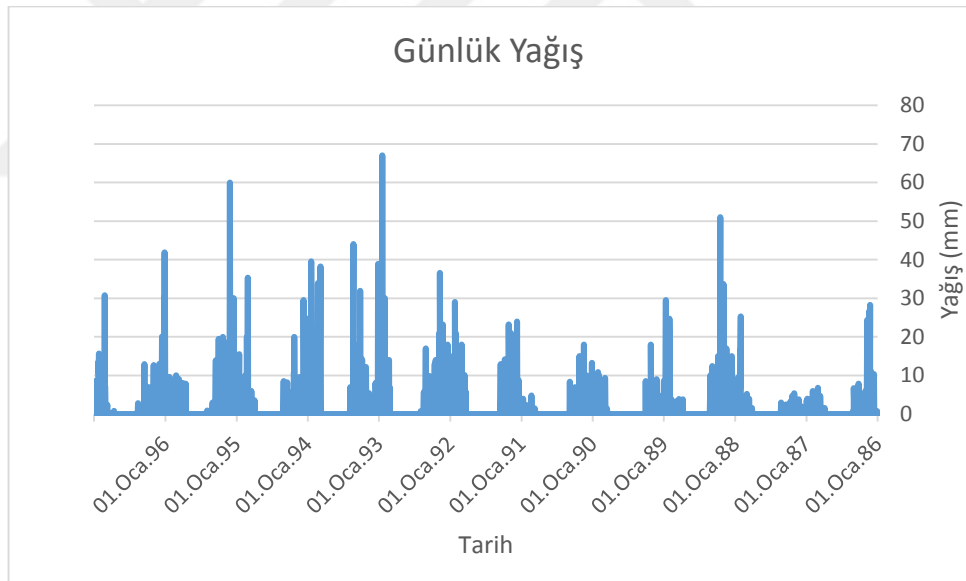
Bu çalışma kapsamında kullanılan hidro-meteorolojik veriler (yağmur, sıcaklık, buharlaşma, rüzgâr) MGM'den temin edilmiştir.

3.1.2.a. Yağışlar

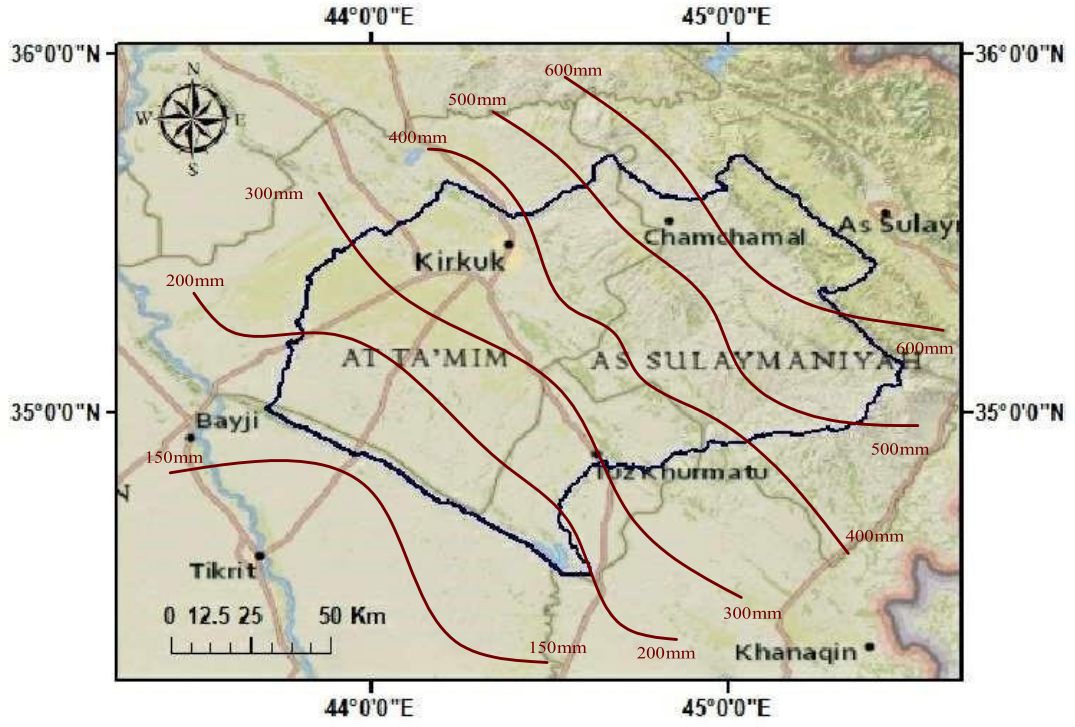
Kerkük İklim İstasyonu için 1/1/1986 - 31/12/1996 tarihleri arasındaki yağış verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir (Şekil 3.7).

Kerkük İklim İstasyonu'ndaki toplam yağış Anjana İstasyonu için ilgili aylık ve yıllık deşarj denklemlerine daha yakındır çünkü bu istasyon bölgeye coğrafi olarak daha yakındır ve Al-adim Nehri Havzası'nın merkezinde yer almaktadır (Farhan *et al.* 2018).

Genel olarak Al-adim havzası 150 mm ve 600 mm'lik eş yağış yüksekliği eğrileri arasında bulunur (Şekil 3.8).



Şekil 3.7. Kerkük İstasyonu'na ait günlük yağış miktarları (1/1/1986 – 31/12/1996)



Şekil 3.8. Eş yağış yüksekliği eğrileri

3.1.2.b. Sıcaklık

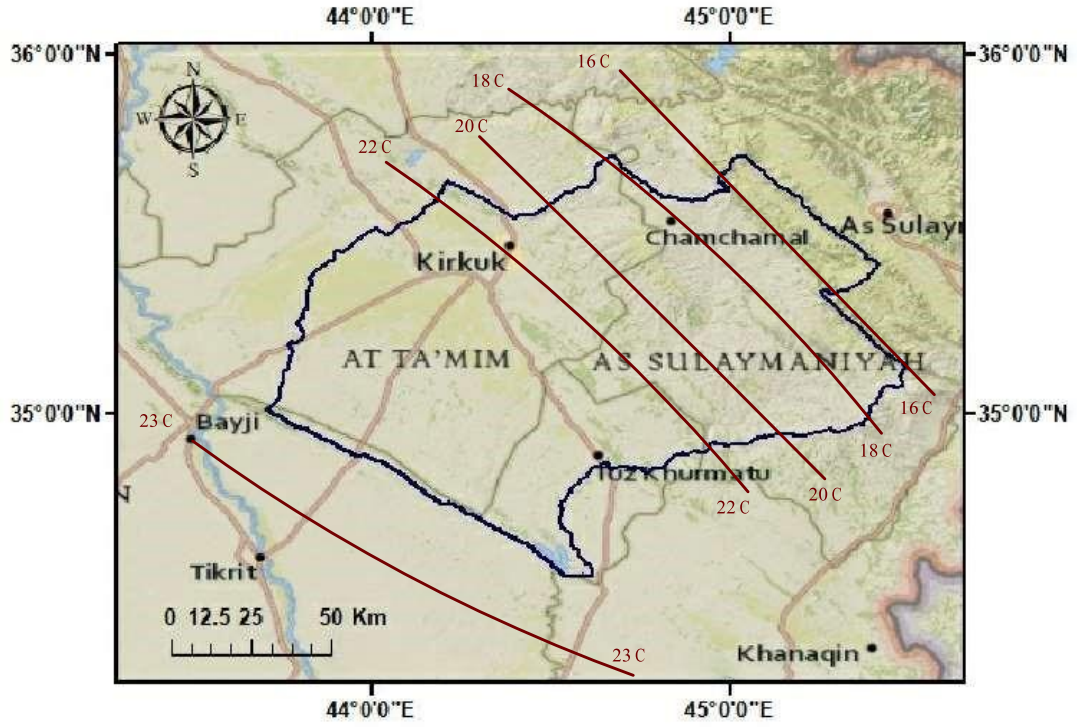
Çizelge 3.1’de Kerkük’teki hava istasyonu ölçümlerine göre ortalama sıcaklık 22.4°C ’dir. Bir aydaki en düşük sıcaklık aralığı Ocak ve Şubat ayları arasında -6.7°C ve en yüksek değerlere ulaşan Temmuz ayında ise 49.5°C olduğu görülmektedir (Şekil 3.9).

Şekil 3.10’da Al-adım Nehir Havzası genelindeki sıcaklık dağılım haritası gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. Kerkük İstasyonu'na ait sıcaklık (°C) kayıtları (1941 - 2001)

Aylar	Maksimum		Ortalama (1941-2001)	Minimum	
	Kesin (max)	Ortalama (max)		Kesin (min)	Ortalama (min)
Ocak	37.5	12.7	9.0	-6.7	5.1
Şubat	26.6	15.0	10.6	-6.7	7.1
Mart	34.6	18.3	14.4	-5.6	9.6
Nisan	39.6	25.1	20.4	-1.0	15.4
Mayıs	43.3	31.4	26.9	6.7	19.7
Haziran	47.8	37.5	32.8	13.9	27.2
Temmuz	49.5	41.4	36.2	20.0	29.9
Ağustos	49.4	40.7	36.3	18.4	28.8
Eylül	46.6	36.7	31.3	9.4	25.7
Ekim	41.4	39.4	24.5	1.1	19.3
Kasım	33.4	21.8	16.9	-2.0	10.5
Aralık	27.1	15.3	10.8	-6.1	7.0
Yıllık	49.5	27.1	22.4	-6.7	17.1

**Şekil 3.9.** Kerkük İstasyonu'na ait aylık sıcaklık ortalaması değeri (1941- 2001)

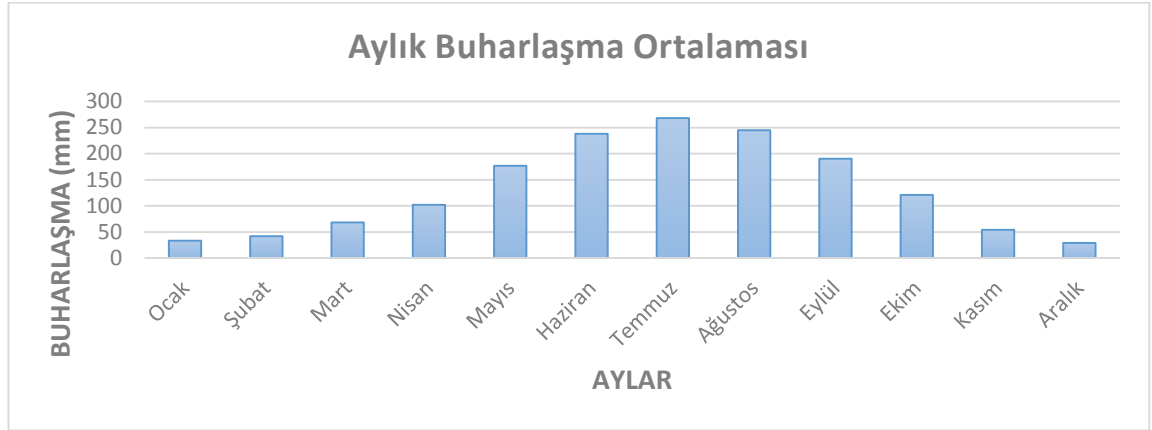


Şekil 3.10. Sıcaklık dağılım haritası

3.1.2.c. Buharlaşma

Ortalama buharlaşma değerleri Temmuz ayında en yüksek 279 mm, Aralık ayında en düşük 33 mm olup her ayın buharlaşma değerleri yıldan yıla değişmektedir. Şekil 3.11'de 1967-2001 dönemi için buharlaşma değerleri gösterilmektedir.

Hava istasyonundaki A sınıfı buharlaşma tavaından elde edilen yıllık buharlaşma hızı 2339.2 mm olup bu değer tava katsayısı olan 0.70 ile çarpıldığında 1637.456 mm değerine tekabül etmektedir.



Şekil 3.11. Kerkük istasyonuna ait aylık ortalama buharlaşma yükseklikleri (1941- 2001)

3.1.2.d. Rüzgâr hızı

Kerkük'teki hava istasyonlarının ölçümlerine göre rüzgâr hızının ortalama değeri 2.8 m/s'dir. Aylık rüzgâr hızı ise 3.3 - 2.3 m/s arasında değişmektedir.

Çizelge 3.5'te Kerkük İstasyonu'na ait rüzgâr hızı kayıtları 1941- 2001 periyodu için verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kerkük istasyonuna ait rüzgâr hızı kayıtları (1941- 2001)

Aylar	Maksimum (m/s)	Ortalama (m/s)
Ocak	25	2.7
Şubat	27.5	3.1
Mart	22.5	3
Nisan	26.5	3.1
Mayıs	30	3.3
Haziran	25	3
Temmuz	18	2.8
Ağustos	20	2.4
Eylül	15	2.7
Ekim	20	2.5
Kasım	16	2.4
Aralık	17.5	2.3

3.2. Yöntem

Su bilimi yada hidroloji, suların yerküre üzerindeki dağılımı ile suyun mekanik, fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini inceleyen disiplinler arası bir bilimdir.

Hidrolojinin en geniş tanımı 1962 senesinde USA Bilim ve Teknoloji Federal Konseyi Bilimsel Hidroloji Komisyonu tarafından önerilmiştir. Buna göre; "Hidroloji, yerküresinde (yani yeryüzünde, yeraltında ve atmosferde) suyun çevrimini, dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, çevreyle ve canlılarla karşılıklı ilişkilerini inceleyen temel ve uygulamalı bir bilimdir."

Hidrolojik çevrim, suyun okyanus ve denizlerden atmosfere, atmosferden yeryüzüne ve yeniden deniz ve okyanuslara ulaşması şeklindeki genel döngüsüne verilen isimdir. Hidrolojik döngünün bir başlangıç veya sonu yoktur. Hidrolojik çevrim yağış, buharlaşma ve terleme (evapotranspirasyon), yer üstü ve yer altı akışları olmak üzere 3 temel aşamada gerçekleşir (Şekil 3.12).

Su doğada çeşitli yerlerde ve çeşitli hallerde (sıvı, katı, gaz) bulunmakta ve yer kürenin çeşitli kısımları arasında durmadan dönüp durmaktadır. Suyun atmosferden toprağa ve yeryüzünden tekrar atmosfere dönmesi için takip ettiği yolların hepsine hidrolojik çevrim denir.

Hidrolojik çevrimi gözden geçirmeye atmosferden başlanacak olursa atmosferde buhar halinde bulunan su yoğunlaşarak yağış şeklinde yeryüzüne düşer. Karalar üzerine düşen suyun büyük bir kısmı (%60-75 kadarı) zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ve bitkilerden terleme yoluyla denizlere erişmeden atmosfere geri döner. Bir kısmı bitkiler tarafından alıkonur (tutma). Bir kısmı zeminden süzülerek yeraltına geçer (sızma). Geriye kalan su ise yerçekimi etkisi ile hareket ederek akarsulara ve bu yolla da denizlere ulaşır (yüzeysel akış). Yeraltına sızan su ise yeraltı akışı yoluyla sonunda yeryüzüne çıkarak yüzeysel akışa katılır. Denizlere ulaşan su da buharlaşarak atmosfere geri döner. Su ve gaz hallerinde doğanın çeşitli kısımları arasında çeşitli yollar izleyerek dönüp

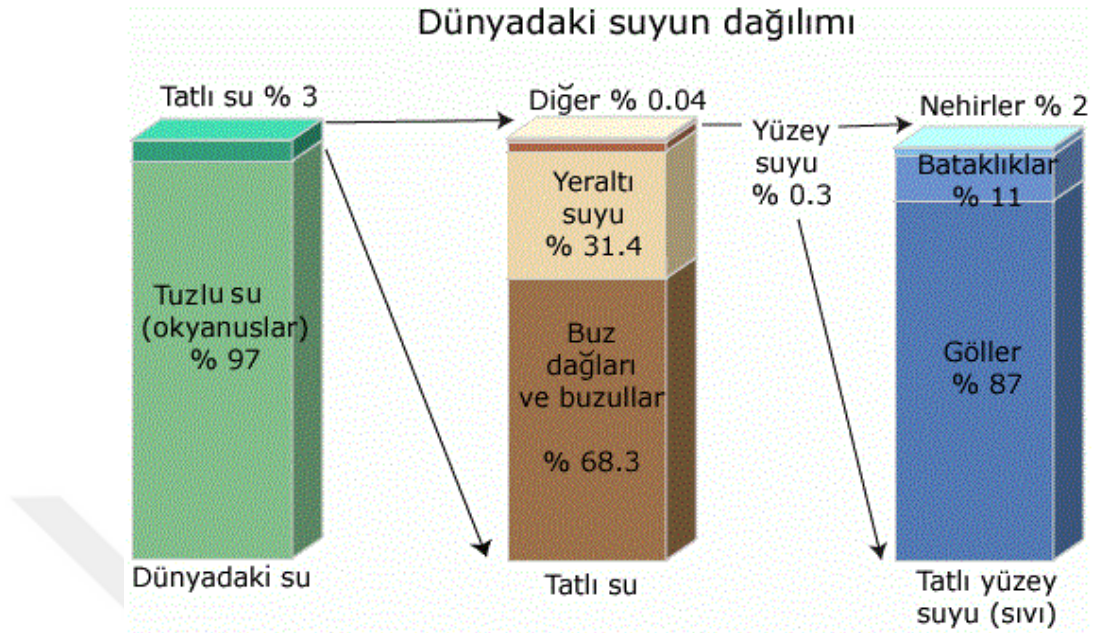
durmaktadır. Bu çevrim için gerekli enerji güneşten ve yerçekiminden sağlanır. Yerküresinin iklim sistemi ile yakından ilişkili olan hidrolojik çevrim günlük ve yıllık periyotları olan bir süreçtir (Çizelge 3.6), (Şekil 3.13).



Şekil 3.12. Su çevrimi

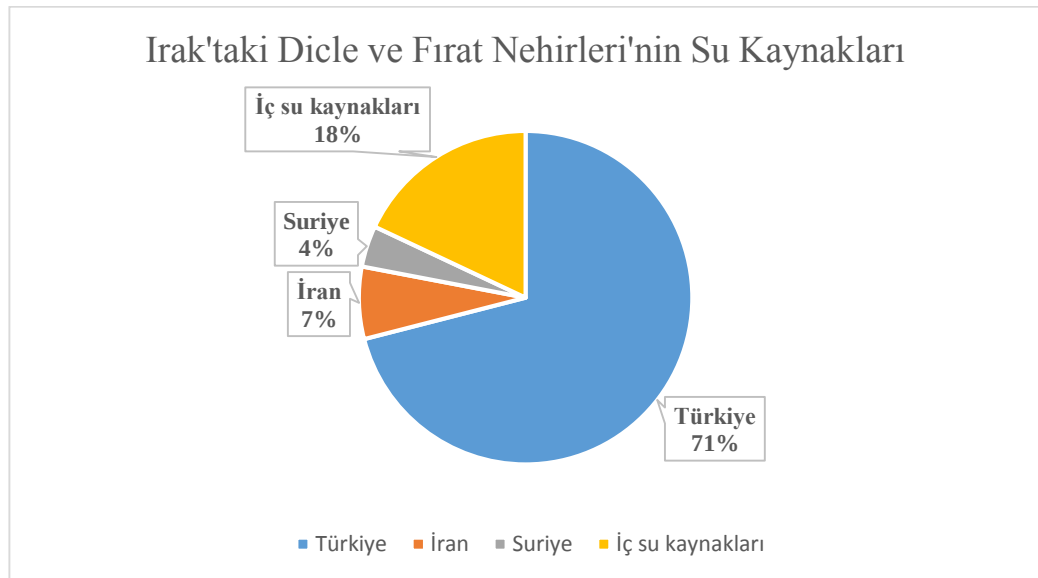
Çizelge 3.6. Yerküresindeki su miktarları, kaliteleri ve yüzdeleri (Gleick, 1996)

Su kaynağı	Kilometreküp olarak ifade edilen su hacmi	Tatlı su yüzdesi	Toplam su yüzdesi
Okyanuslar Denizler ve Körfezler	1,338,000,000	--	96.5
Buz tepeleri, Buzullar ve Kalıcı Kar	24,064,000	68.7	1.74
Yer altı suyu	23,400,000	--	1.7
Tatlı	10,530,000	30.1	0.76
Tuzlu	12,870,000	--	0.94
Toprak nemi	16,500	0.05	0.001
Zemin buzu ve sürekli don olan toprak	300,000	0.86	0.022
Göller	176,400	--	0.013
Tatlı	91,000	0.26	0.007
Tuzlu	85,400	--	0.006
Atmosfer	12,900	0.04	0.001
Bataklık suyu	11,470	0.03	0.0008
Nehirler	2,120	0.006	0.0002
Biyolojik Su	1,120	0.003	0.0001
Toplam	1,386,000,000	--	100



Şekil 3.13. Dünyadaki su dağılımı

Irak'taki yüzeysel su kaynaklarının yaklaşık %82'si yurt dışından gelir. Bu sular Türkiye, Suriye ve İran ülkelerinden gelmektedir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Irak'taki Dicle ve Fırat Nehirleri'nin su kaynakları

Kullanılan Programlar ve Yöntemler:

3.2.1. CBS ve hidrolojik modelleme

Dijital bilgisayarlar, eksiksiz bir sistem olarak simüle edilen karmaşık su problemlerini ortaya çıkarmıştır. 1970’li yıllardaki bilgisayar donanımı ve yazılım ilerlemesi, kapsamlı hidrolojik veri izleme çabaları ile birleştirilerek hidrolojide bir dizi modelin geliştirilmesi ve uygulanması için bir yol açmıştır (Bedient and Huber 2002).

Hydrologic Engineering Center-Hydrological Modeling System (HEC-HMS), Better Assessment Science Integrating Point and Non-Point Sources (BASINS) ve MIKE11 gibi bilgisayar modellerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Modeller, herhangi bir hidrolojik amaçla karar verme süreçleri için kritik bilgileri sağlar. Bu hidrolojik modeller, pratik hidrolojik problemler için uygun maliyetli çözümler üretmek için kullanılacak değerli yöntemlerdir. Bu modellerin diğer önemli bir avantajı ise herhangi bir alternatif şemanın hızlı bir şekilde test edilip karşılaştırılabilmesidir. CBS’nin hidrolojik modelleme entegrasyonu, mühendislik alanındaki kullanımlarını daha da güçlendirmiştir.

CBS kullanımı son on yılda iş, akademik ve hükümet kuruluşlarında önemli ölçüde büyümüştür. CBS için birçok tanım olsa da, Association of Geographic Information’a (AGI) göre “mekâna mekânsal olarak atıfta bulunulan verilerin saklanması, kontrolü, bütünleştirilmesi, manipüle edilmesi, analiz edilmesi ve gösterilmesi için bir sistemdir” şeklinde bir tanımlaması yapılabilir mevcuttur (Vivekanandan Murugan Sivaraman 2004).

Yukarıdaki tanımdan anlaşılabileceği gibi CBS, analitik bir araçtır ve sadece haritalar yapmak için bir bilgisayar sistemi olmadığını kanıtlamaktadır. CBS’nin en büyük avantajı, harita özellikleri arasındaki mekânsal ilişkileri belirlemenize izin vermesidir. Hidrolojik modelleme araştırması yaygın olarak kullanılan mekânsal veri kümeleri ve CBS araçları yardımıyla mekânsal veri özellikleri birbirine bağlanabilmektedir.

Örneğin, hangi ırmağın hangi havzaya aktığını ve hangi su bölümlerinin akışa ve akıma doğru aktığını bilmekteyiz. CBS ayrıca, mekânsal verileri belirli bir özellik hakkındaki özellik bilgisi ile ilişkilendirmek için kullanılmaktadır. Bir CBS haritasındaki her özellik, bir veri tabanında depolanan bir dizi öz niteliğe bağlıdır. Bu yetenek nedeniyle, bir özellik hakkında bilgi almak için sorgulamalar kullanılmaktadır. Yukarıdaki görevleri yerine getirmek için kullanılan yazılım programları, ESRI (Çevresel Sistemler Araştırma Enstitüsü) tarafından geliştirilen ArcView, ArcGIS ve ArcInfo'yu içerir. ArcView ve ArcGIS, haritalarıyla çalışmak için çok daha iyi bir görsel ortama sahiptir ve ağırlıklı olarak grafiksel menü seçenekleri ve kullanıcı tarafından oluşturulan komut dosyaları ve programlarıyla kullanılmaktadır.

3.2.2. Watershed Modeling System (WMS)

WMS, hidrolojik analiz için kapsamlı bir ortamdır. The U.S. Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station ile işbirliği içinde Brigham Young Üniversitesi Çevre Modelleme Araştırma Laboratuvarı tarafından geliştirilmiştir ve şu anda Aquaveo LLC tarafından geliştirilmektedir.

WMS, otomatik havza tanımlaması gerçekleştirmek amacıyla alan, eğim ve akış mesafeleri gibi önemli havza parametrelerini hesaplamak için bir takım gelişmiş araçlar sunmaktadır. Aynı zamanda, çeşitli hidrolik ve hidrolojik modeller için grafiksel bir kullanıcı arayüzü olarak hizmet vermektedir. Koordinat sistemlerinin yönetimi ile WMS, verileri gerçek dünya koordinatlarında gösterme ve üst üste bindirme yeteneğine sahiptir. Program ayrıca, arazi yüzeylerini görüntülemek, raporlar ve sunumlar için görüntüleri dışa aktarmak için birçok görüntüleme aracı sağlamaktadır.

Eski modellerin birçoğu (HEC-1, TR-55, TR-20, Rational, NFF, HMS, OC Hidroloji, MODRAT), tam bir SWMM arayüzünün eklenmesiyle hala geliştirilmekte ve tam olarak WMS sürüm 8.1 ile desteklenmektedir. Mekânsal olarak dağıtılmış bir modele işlevsel arayüz, GSSHA (daha önce CASC2D), WMS hidrolik arayüzü de HMS-RAS 4.0 beta ile uyumlu hale getirilerek WMS 8.1'de güncellenmiştir. RAS modeli sabit durum veya

kararsız olarak çalıştırılabilmekte ve tam taşkın yatağı analizi için taşkın yatağı uzantılarını ve taşkın dalgaları animasyonlarını tanımlamak için kullanılan sonuçlar WMS 8.1 aynı zamanda gelişmiş bir hidrolik alet kutusuna entegre edilmiş ve yaygın olarak kullanılan Federal Karayolları menfez tasarım modelinin HY-8'in en son sürümünü içermektedir.

WMS, öncelikle hidrolojik modelleri kurmak ve çalıştırmak için kullanılmaktadır. Yazılım, mühendislerin yararlı bulacağı ilave hidrolik ve hidrolojik araçlar sağlayacak şekilde genişlemiş olsa da, yazılımın orijinal odağı aynı kalmaktadır

WMS yazılımının önceki sürümlerinde bu çalışma gerçekleşirken bir takım eksiklikler ile karşılaşmıştır. Bu eksiklikler şu şekildedir:

1. Vadilerin akış yollarını gerçeği uygun olarak çizmek için önce DEM dosyalarının halici programlarda işlenmesi gerekmektedir.
2. DEM dosyaları program dışındaki özel sitelerden indirilmektedir.
3. Çalışmanın dizaynı ve görselleştirebilmesi için harici dosya işleme programları gerekmektedir (Google Earth, Global Mapper ve ARC-GIS gibi).
4. Shape file dosyaları ile uğraşmak, toprak tipi ve arazi kullanımı gibi detaylı dosyalarda zordur.

Bu çalışmada WMS yazılımı 10.1 sürümü seçilmiştir. Bu sürümün gözlenen artı ve eksileri aşağıdaki gibidir.

Artıları:

1. Farklı modelleme işlemlerinde kullanılan verileri içeren web siteleri ile doğrudan veri temin edebilme imkânı vardır. Temel veriler (DEM, arazi kullanımı, toprak tipi vb.) doğrudan program içinden çeşitli güvenilir web siteleri üzerinden indirilebilmektedir.
2. Srtm dosyası, convert simgesi ile direkt DEM'e dönüştürülebilmektedir.

3. CN eğrisinin sayısı gibi bazı hesaplamaları yapmak için ızgara tipi raster veri dosyalarıyla işlem yapmak daha kolaydır.
4. Çalışma alanının görselleştirilebilmesi için mevcut Google Earth'e benzer bir harita kullanılarak program içinde gözlem yapılabilir.

Eksileri:

WMS 10.1 kullanarak modelleme, diğer sürümlerden daha zor ve daha karmaşıktır.

WMS ile diğer benzer uygulamalar arasındaki fark, CBS tabanlı bir ortamda hidrolojik model geliştirme için dijital arazi verilerini manipüle etme kabiliyetidir. WMS, model geliştirme için aşağıda belirtilen üç birincil veri kaynağını kullanabilmektedir:

- Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) vektör verileri
- Dijital Yükseklik Modelleri (DEM'ler) veya IZGARA Yükseklik Kümeleri
- Üçgen Düzensiz Ağlar (TIN'ler)

3.2.3. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) vektör verileri

CBS vektör verileri, havzaları, akışları ve çıkışlar veya menfezler gibi kilit noktaları temsil etmek için WMS'de kullanılan noktaları, çizgileri ve çokgenleri içermektedir. WMS'de, bu CBS verisine özellik nesneleri denilmekte ve bunları kullanma araçları harita modülüne dahil edilmektedir. Özellik nesnesi verileri kendi başına hidrolojik analiz için bir havza modeli oluşturmak için veya TIN'ler ve DEM'lerle havza modellerinin geliştirilmesine eşlik eden bir model olarak kullanılabilir.

Çoğu zaman, dijital bir yükseklik verisi elde etmek ve bir hidrolojik model oluşturmadan önce otomatik bir havza karakterizasyonu gerçekleştirmek pratik olmamaktadır. Su havzası ve alt havza sınırları zaten bir CBS veya CAD veri tabanının bir parçası olarak bilinebilir saklanabilir veya akışları ve havzaları tanımlamak için mevcut bir haritayı

izlemek için ileriye dönük olarak depolanabilmektedir. WMS ile düzgün yapılandırılmış hidrolojik modeller otomatik olarak noktalardan, çizgilerden ve poligonlardan yaratılabilmektedir. Bu veriler genellikle zaten bir CBS’de geliştirilip depolandığından, ARC-INFO, ArcView veya DXF dosyalarından veri temini kolayca yapılabilmektedir.

WMS içindeki CBS verilerinden havza modelleri oluşturmak için atılan temel adımlar şunlardır:

1. Haritaların temini

Bir harita veya geliştirilmiş CBS veya CAD verileri elde edebilmek için ilk adım modellenecek akışları ve havzaları tanımlayan bir harita elde etmektir. Eğer böyle bir harita dijital olarak CAD çizimi olarak veya CBS veri tabanının bir parçası olarak mevcutsa, doğrudan alınabilmekte ve bir sonraki adıma geçilebilmektedir.

2. Haritaların sayısallaştırılması

Harita daha sonra WMS dışında bir tablet ve standart dijitalleştirme yazılımı kullanılarak dijital hale getirilebilmekte ve daha sonra bir CAD veya CBS dosyası olarak içe aktarılabilir veya WMS içerisinde "başlıklar" veya "ekran üzerinde dijitalleştirme" menüsü kullanılarak oluşturulabilmektedir. Dijitalleştirme işlemleri yapmak için aşağıdaki iki tercihten birisi tanımlanmalıdır:

1. WMS tarafından şekillendirilebilen dijital yükseklik verileri
2. WMS’ye okutulabilen ve arka plan haritası olarak kullanılabilecek taranmış bir TIFF görüntüsü
3. Özellik Nesnesi Topolojisi Oluşturma

Noktalara ve çizgilere doğru nitelik tipleri ve çizgilerden oluşturulan alt havzalar tanımlamak için çokgenler atanmalıdır.

CBS’de geliştirilen veriler kullanılıyorsa bazı düzenlemeler gerekebilmektedir. Bu, içe aktarılan verilerin havza modeli gelişimi için gereken verilerle ne kadar iyi eşleşeceğine bağlı olacaktır. WMS’de aşağıda gösterildiği gibi üç ana veri katmanı vardır:

- 1) Su havzası çıkışını ve herhangi bir alt havza çıkışını veya birleşme noktalarını temsil eden bir nokta katmanı
- 2) Bir akış ağını temsil eden bir çizgi katmanı
- 3) Su havzası sınırlarını temsil eden bir çokgen katmanı

Üç tabakanın hepsi mevcutsa, havza modeli topolojisinin yapısı devam edebilmekte ancak tabakalardan bir veya daha fazlası yoksa WMS içinden manuel olarak oluşturulmaları gerekmektedir. Örneğin, proje yalnızca alt havza sınırları içeren bir dosyaya sahipse, akış ağına dijitalleştirilmesi ve alt havzaların çıkış konumlarının tanımlanması gerekir.

WMS’de hatırlanması gereken önemli bir nokta, bir akış ağını tanımlamak için kullanılan vektörlerin bir yönünün olmasıdır. Her poligonal çizgi için (yay) bir başlangıç ve çizgi boyunca bir bitiş düğümü vardır ve “akış” bu yönde tanımlanmaktadır. WMS’de etkileşimli olarak çizgiler oluştururken, her zaman aşağı akıştan yukarı akışa kadar akışlar oluşturulmalıdır. Önceden başka bir program tarafından yaratılmış bir çizgi kümesi içe aktarıyorsa mansaptan membaya doğru olan bu sıranın WMS tarafından kullanılan şekli ile eşleşmemesi mümkündür. Bu durumda “Özellik Nesneleri” menüsündeki (Harita modülü) “Akışları Yeniden Sırala” komutu, gelen akış çizgilerinin doğru bir şekilde sıralamak için kullanılabilir.

4. Hidrolojik Modelin tanımlanması

Akarsu havzası modelinin temsili oluşturulduktan sonra, belirli bir hidrolojik modeli tanımlayan veriler bir dizi iletişim aracılığıyla girilebilmektedir. WMS, tüm hidrolojik modelleme girişlerinin dijital arazi verilerinden ayrı olarak tanımlanmasına izin verdiği için, özellik nesneleriyle geliştirilen havza modelinin ölçeklendirilmesi gerekli değildir. Alan ve uzunluk parametreleri, model arayüzü kullanılarak manuel olarak tanımlanabilmektedir.

3.2.4. Dijital yükseklik modelleri (DEM'ler) veya ızgara yükseklik kümeleri

Dijital bir yükseklik modeli (WMS'de tanımlandığı haliyle DEM), sabit bir x ve y aralıklı, iki boyutlu bir yükseklik noktaları dizisidir. DEM haritaları, yüzey tanımlaması için kullanılırken, basit veri yapısı ve geniş alana yayılabilmesi ile dijital arazi modellemesi ve havza karakterizasyonu için popüler bir kaynak haline gelmişlerdir. Puecker ve Douglas (1975) ve Garbrecht ve Martz (1995) dahil olmak üzere birçok araştırmacı DEM'lerden havza jeomorfolojisi çıkarmak için birçok yöntemler geliştirmişlerdir. WMS, bu yöntemlerin çoğunu içermektedir.

DEM yükselti haritalarının en yaygın şekli USGS dijital haritalarıdır. DEM'ler USGS: Ulusal Harita sitesinden ücretsiz olarak temin edilebilir. Diğer yükseklik verileri kaynakları federal, eyalet ve yerel devlet kurumlarını, üniversiteleri veya özel veri yayıncılarını içerebilmektedir. WMS, dijital yüksekliği standart USGS (eski tek dosya formatı veya yeni SDTS formatlı dosyalar), ARC-INFO / ArcView, ASCII ızgara, DTED ve GRASS ızgara formatlarında okunabilmektedir. DEM noktaları için akış yönleri ve akış birikimleri, TOPAZ (Drainage menüsünde TOPAZ Akış Verilerini Hesapla) algoritmaları kullanılarak hesaplanmaktadır. Bu program, akış yönünü belirlemek için sekiz noktadan bir dökme tekniği kullanmaktadır. Bu teknik, akışın komşuya doğru yönlendirileceğini belirtmektedir (yapısal bir ızgarada her nokta için sekiz komşu vardır). DEM noktası en düşük kotu ile hesaplanmaktadır. Algoritmalar tipik olarak çukurları

ortadan kaldırmak ve en düşük yükseklik birden fazla komşu nokta ile paylaşıldığında belirsizlikleri çözme işlevselliğini içermektedir.

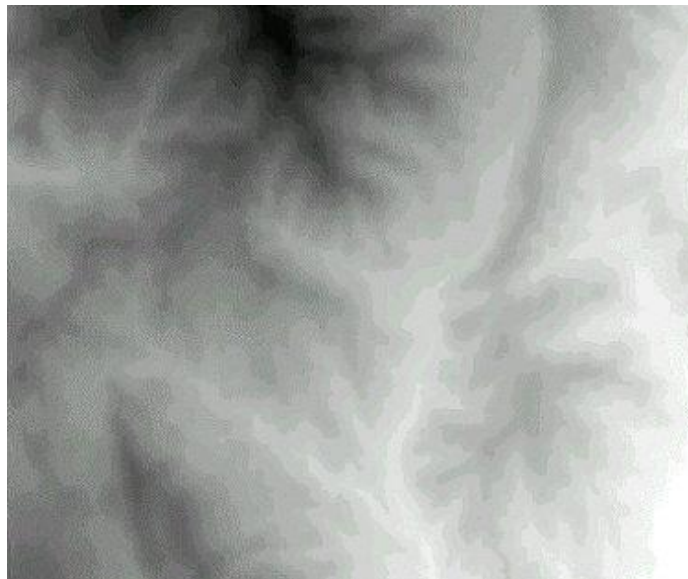
DEM'ler, daha sonra bir dizi yay ve poligona dönüştürülebilen havza ve alt havza sınırlarını belirlemek için kullanılabilir. DEM'ler ayrıca TIN'lere dönüştürülebilmekte ve hidrolik modeller geliştirmek için kullanılabilir. Ek olarak, DEM'ler eğri görünümde şekillendirilebilmekte ve görüntülenebilir. Bir TIN oluştururken arka plan yükseklik haritası olarak da kullanılabilirler.

Hidrolojik modeller geliştirmek ve DEM'leri kullanmak için tipik adımlar şunlardır:

3.2.4.a. Dijital yükseklik modeli'nin (DEM) temini ve içe aktarımı

Yukarıda bahsedildiği gibi, USGS DEM'leri internette indirilebilir veya devlet kurumlarından, üniversitelerden veya özel satıcılardan temin edilebilir.

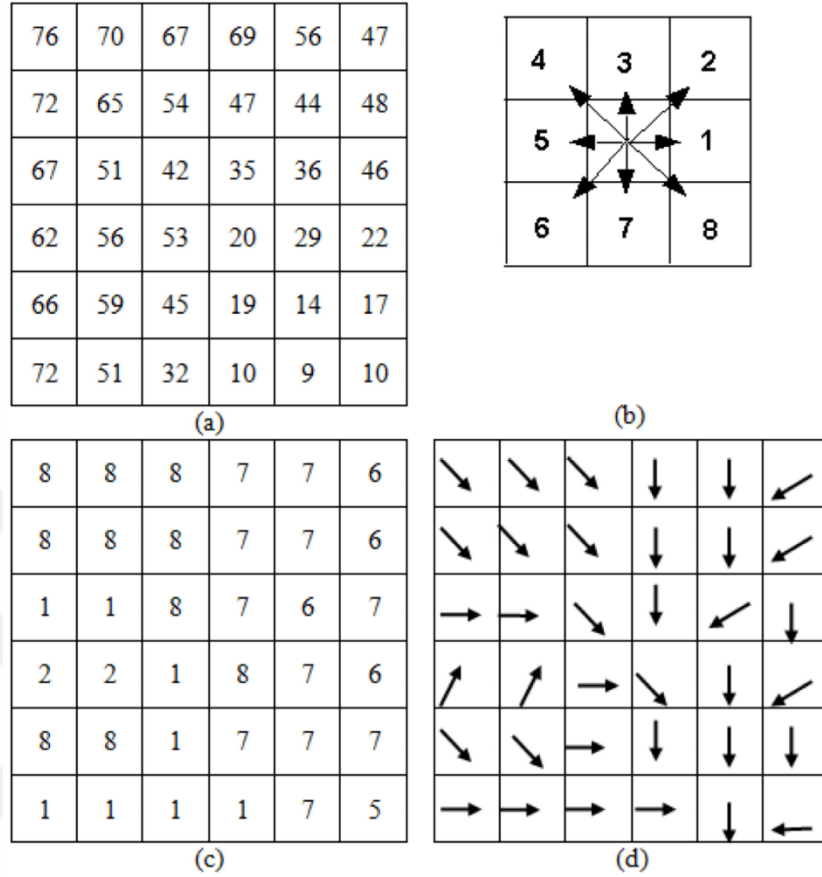
Şekil 3.15'te içe aktarıldıktan sonra görselleştirilen DEM haritası örneği sunulmuştur.



Şekil 3.15. Dijital yükseklik modeli (DEM) örneği

3.2.4.b. Akış yönü ve akış birikimlerinin hesaplanması

Akış yönlerinin belirlenmesi ızgaradaki her bir hücrenin akım yönleri bir araya getirilerek arazideki drenaj yönlerinin belirlenmesiyle elde edilmektedir. O'Callaghan and Mark (1984) tarafından geliştirilen D8 algoritması herhangi bir hücredeki akımın, aralarındaki eğimin en fazla olduğu, düşük kottaki komşusuna doğru gerçekleştiğini kabul eden tek akım yönlü bir algoritmadır. Bu algorithmada kenardakiler dışındaki her hücrenin sekiz komşusu vardır ve bunlar 1- Doğu, 2- Kuzeydoğu, 3- Kuzey, 4- Kuzeybatı, 5- Batı, 6- Güneybatı, 7- Güney, 8- Güneydoğu olarak kodlanmıştır. Alternatif olarak kullanılabilen Dinf yaklaşımında (Tarboton 1997) ise, üçgen petekler dikkate alınarak en fazla eğim olan yönde akış olduğu kabul edilmektedir. Akarsu ağının mevcut olduğu durumlarda ise, akım yönleri bir shape dosyası ile belirlenebilmektedir. Bu seçenek, mevcut akarsu ağı verilerinin havzanın sayısal yükseklik modelinden elde edilebilecek akarsu ağından daha kaliteli olması durumunda tercih edilmelidir. Şekil 3.16.a'da örnek bir yükselti ızgarası gösterilmektedir. Şekil 3.16.b'de yukarıda bahsedilen akım yönlerinin tümü (1- Doğu, 2- Kuzeydoğu, 3- Kuzey, vb.), Şekil 3.16.c'de ise Şekil 3.16.a'da verilen örnek yükselti ızgarası için gerçek akım yönleri gösterilmektedir. Şekil 3.16.c'de sayılarla ifade edilen akım yönleri; Şekil 3.16.d'de oklarla gösterilmiştir.



Şekil 3.16. Akım yönlerinin D8 algoritması ile belirlenmesi

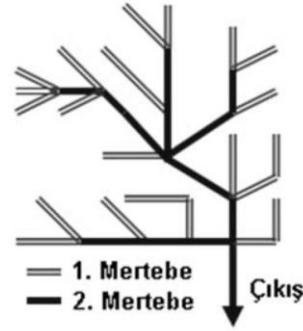
a) Yükseklikler, **b)** Akım yönlerinin kodları, **c)** Yüksekliklere uygun akım yönleri, **d)** Akım yönlerinin oklarla sembolik olarak gösterilmesi (Baloch ve Tanık 2009)

Akımı oluşturan drenaj alanının belirlenmesi akışı oluşturan drenaj alanındaki hücre sayısı özyinelemeli (iterasyon temelli) bir yöntemle belirlenmektedir (Mark 1988). Her hücrenin alana kendi katkısı bir olarak alınmakta ve toplam katkısı kendi katkısı ile membasından o hücreye drene olan hücrelerin katkıları ile toplanarak bulunmaktadır. Havzada kalibrasyon amacıyla bir çıkış noktası önceden belirlendiyse, drenaj alanı bu noktadan membaya doğru hesaplanmaktadır. Çıkış noktalarından başlayarak yapılan özyinelemeli değerlendirme, ızgaradaki tüm noktalar yerine sadece çıkış noktası için yapılmaktadır. Akım yönleri ızgarası kullanılarak; her hücre için, bu hücreye giren akımların ve hücrenin kendisinin toplamı ile hesaplanan bir akım birikme fonksiyonu tanımlanmaktadır. Akım yönleri ızgarası ile oluşturulan akım birikme ızgarası ve akarsu ağı Şekil 3.17’de gösterilmektedir. Strahler’in ağ mertebeleri, D8 akım yönleri ızgarası, her hücre için akım yönünü içerecek şekilde tanımlanmıştır. Bu işlev, akım yönü ağını

Strahler sistemine göre mertebelendirmektedir. Mansap kısmında olmayan hücrelerin mertebesi bir dir. Mertebeler birbirinden farklı iki veya daha çok akım yolu birleştiğinde ortaya çıkan yeni akım yolunun mertebesi, mimbadaki akım yollarından mertebesi en yüksek olana eşittir. Mertebelerin eşit olması durumunda ise, yeni oluşan akım yolunun mertebesi mimbasındakilerinden bir yüksektir. Şekil 3.16 ve Şekil 3.17.a'da gösterilen örnekteki akarsu kolu mertebeleri, Şekil 3.17.b'de akarsu drenaj ağı olarak ifade edilmektedir. Bu örnekte, ızgaradaki her hücrenin akarsu ağına katkısı olabilmesi için gerekli eşik alanın bir hücrenin alanına eşit alındığı unutulmamalıdır. Bu durumda, tüm hücreler akarsu ağının bir parçası olacaktır.

1	1	1	1	1	1
1	2	2	3	3	1
1	4	8	6	5	1
1	1	1	21	1	2
1	1	1	2	25	1
1	3	5	8	36	2

(a)

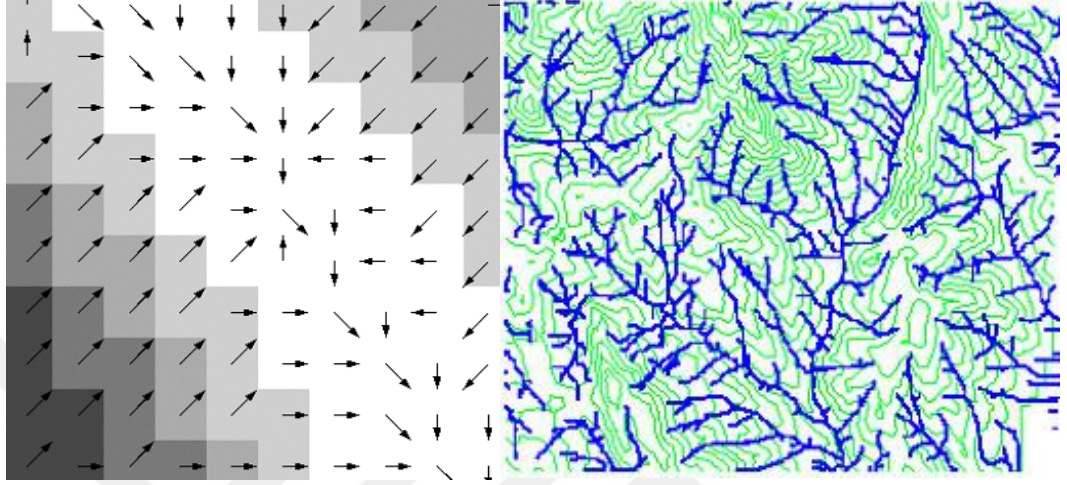


(b)

Şekil 3.17. a) Akım birikme ızgarası, **b)** Akarsu kolu mertebelerini gösteren drenaj ağı (Baloch ve Tanık 2009)

Akış yönleri, WMS ile dağıtılmış TOPAZ modelinin özel bir versiyonunu kullanarak aktif DEM bölgesinden hesaplanmaktadır. Her DEM noktası için akış yönü atandığında, TOPAZ her DEM noktasındaki de akış birikimlerini hesaplanmaktadır. Belirli bir DEM noktası için akış birikimi, akış yolları sonunda o noktadan geçen DEM noktalarının sayısı olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, bir akışın parçası olan DEM noktaları, tüm yukarı akış noktalarının akış yolları üzerinden geçeceğinden yüksek akış birikim değerlerine sahiptir. Akışlar, tüm DEM noktalarının aşağıda gösterildiği gibi kullanıcı tanımlı bir eşik değerinden daha büyük bir akış birikim değeriyle gösterilmesiyle kolayca tanımlanabilmektedir. Akış birikimleri, WMS'de akış yönlerinden hesaplanabilmekte

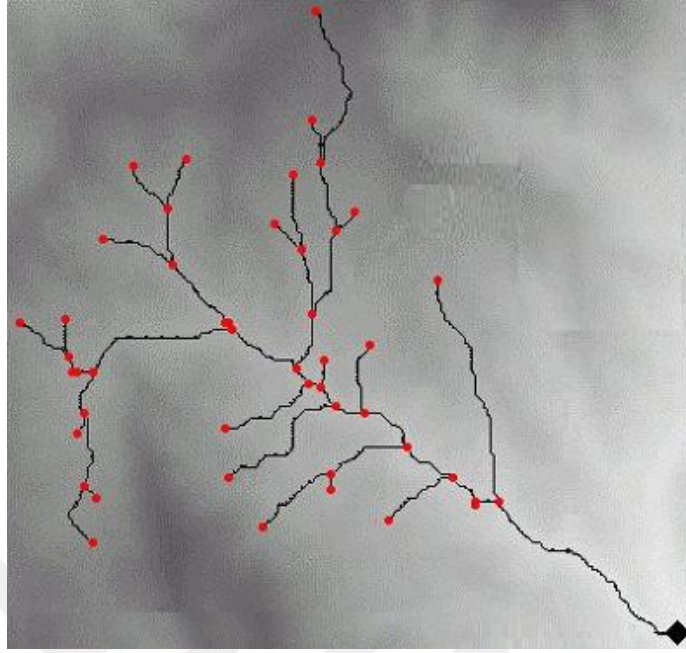
veya ARC-INFO, GRASS veya TOPAZ formatlı dosyalardan okunabilmektedir. (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Akış yönü ve akış birikimleri örneği

3.2.4.c. Havza çıkışının tanımlanması ve DEM'den elde edilen akım çizgilerinin vektörel poligonlara dönüştürülmesi

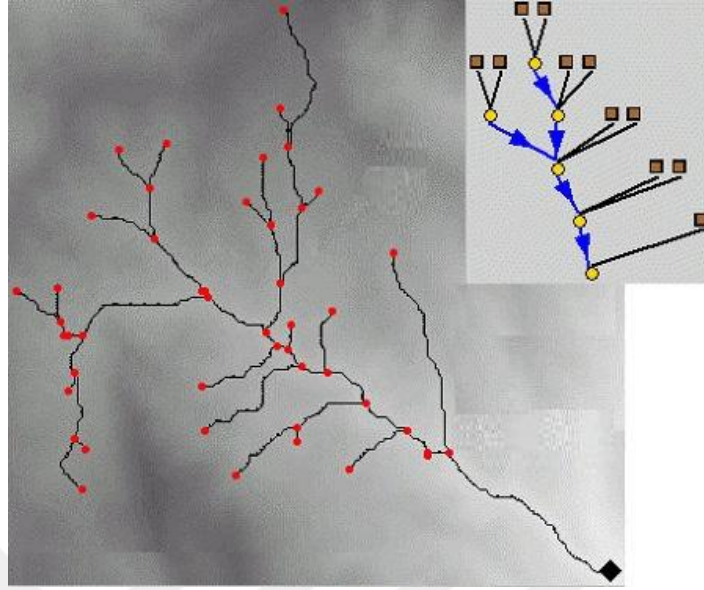
Akış birikimlerinin de yardımıyla, havza çıkışının yeri tespit edilmeli ve orada bir çıkış noktası oluşturulmalıdır. Daha sonra minimum bir eşik tanımlanmakta ve tanımlanmış çıkışlardan gelen DEM noktalarının tümü, vektörel bir akış ağını oluşturmak üzere birbirine bağlanmaktadır (Şekil 3.19).



Şekil 3.19. Akış ağı ve çıkış noktası örneği

3.2.4.d. İç alt havza çıkış noktalarının tanımlanması

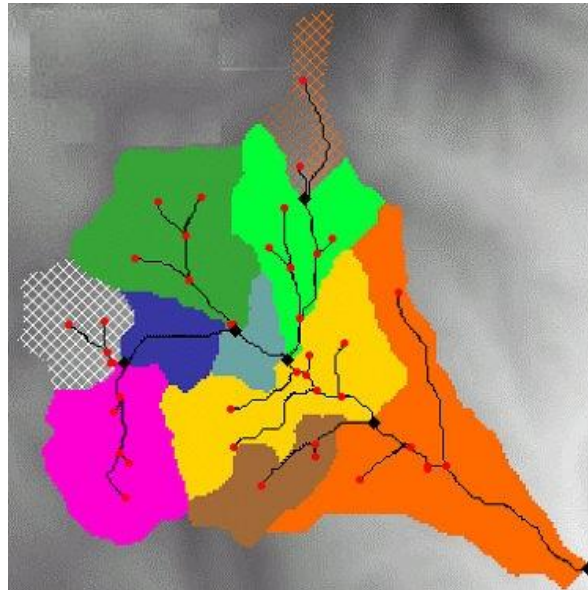
Eğer havza alt havzalara veya daha fazla alt bölümlere bölünmek isteniyorsa akım vektörü boyunca bulunan düğümler, özellik noktası/düğüm özellikleri diyalogu kullanılarak çıkış düğümlerine dönüştürülmelidir. Bu düğümler dönüştürülürken hidrolojik modelleme ağacı otomatik olarak güncellenmektedir (Şekil 3.20).



Şekil 3.20. İç alt havza çıkış noktaları örneği

3.2.4.e. Havzaların tanımlanması

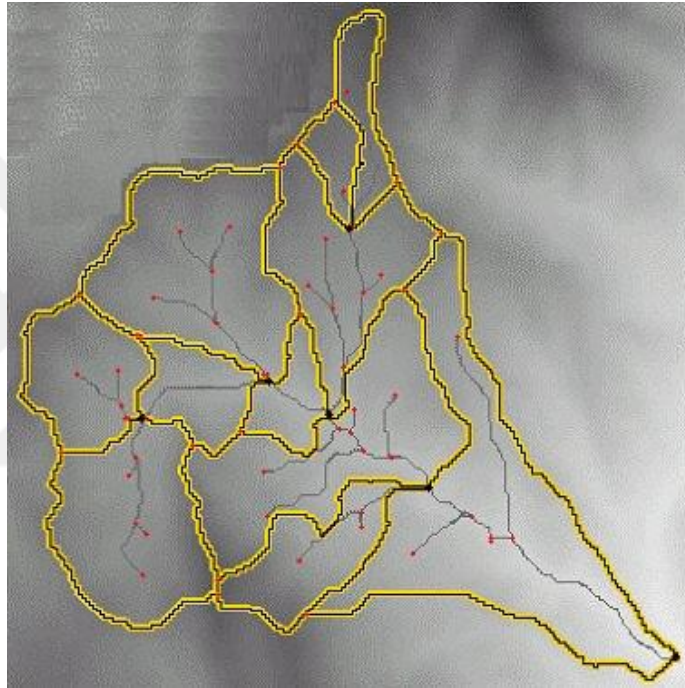
Akış ağındaki çıkışları ve akış yönlerini kullanarak, her çıkış için katkıda bulunan DEM noktalarına uygun bir havza tanıttıcısı atanmaktadır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21. Havzaların tanımlanması örneği

3.2.4.f. DEM havzalarını çokgenlere dönüştürme

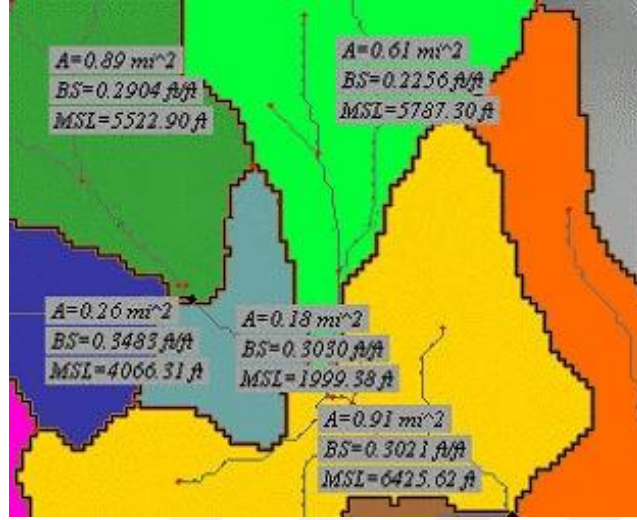
Akış birikimlerinin vektörel akış poligonlarına dönüştürüldüğüne benzer şekilde, farklı havza ID'lerine sahip DEM noktaları arasındaki sınırlar çokgen özelliklerine dönüştürülebilmektedir. Bir havzayı yüzlerce (veya binlerce) DEM hücresi yerine temsili tek bir çokgen ile ifade etmek çok daha etkilidir (Şekil 3.22).



Şekil 3.22. Havzaların çokgenlere dönüştürmesi örneği

3.2.4.g. Havzaya ait geometrik verilerin hesaplanması

Alt havzaların sınırları belirlendikten sonra, hidrolojik modelleme için önemli geometrik özellikler (alan, eğimler, akış mesafeleri vb.) DEM verilerinden hesaplanabilmektedir (Şekil 3.23).



Şekil 3.23. Geometrik verileri hesaplanmış bir havza örneği

3.2.5. Üçgen düzensiz ağlar (TIN'ler)

TIN'ler bir üçgen ağı oluşturmak için bir dizi xyz noktası (dağınık veya ızgara) bir araya getirilerek oluşturulmaktadır. TIN oluşturmak için kullanılan noktalar, bir eş yükselti haritasının (veya WMS içindeki taranmış bir resmin) dijitalleştirilmesi ile özellikli poligon ve çokgenlerden otomatik olarak üretilmesi veya mevcut DEM'ler veya TIN'ler kullanılarak elde edilebilmektedir. Arka plan yükseklik haritaları olarak TIN'ler, kontürlenebilmekte, haritalanmış görüntüler ve gizli yüzeyler kaldırılmış olarak eğik görünümde görüntülenebilmekte ve arazi yüzeyini daha iyi görselleştirmek ve anlamak için ayarlanabilecek başka görüntüleme seçeneklerine sahip olunabilmektedir. TIN'ler, öncelikle yükseklik verisi dönüşümünde, çeşitli yükseklik kaynaklarını birleştirmede, DEM'leri oluşturmada ve hidrolojik modeller için kesitleri ve diğer verileri çıkarmada kullanılmakta olup, WMS geliştiricileri hidrolojik modelleme için DEM'lerin kullanılmasını önermektedir. Bu çalışmada da TIN ağları ile değil DEM haritaları kullanılarak hidrolojik modelleme yoluna gidilmiştir.

3.2.6. WMS programı kullanılarak kurulacak hidrolojik model özelliklerinin hesaplanması

Yeryüzüne yağışlarla düşen suyun büyük bir kısmı zeminden ve su yüzeylerinden buharlaşma ile atmosfere geri dönmekte, bir kısmı bitkiler tarafından tutulmakta, bir kısmı zeminden sızarak yeraltına geçmekte ve geriye kalanı ise yüzeysel akış olarak yerçekimi etkisiyle hareket ederek akarsulara ve sonra denizlere ulaşmaktadır (Bayazıt 1999). Akım miktarı, sel ve taşkın oluşumunu doğrudan etkilemekte, yüksek akış olan alanlarda sel ve taşkın oluşumu da artmaktadır (Özdemir 1978; Özer 2008). Su depolama ve taşkın kontrol yapılarının projelendirilmesinde gerekli olan akış bilgisinin, akım değerlerinin kaydedilmediği havzalarda, dolaylı olarak elde edilmesinde Yüzey Akış Eğri Numarası (Soil Conservation Service – Curve Number (SCS-CN)) sıklıkla kullanılmaktadır. SCS-CN yöntemi kullanılarak akımların tahmin edilebilmesi için az sayıda veri gereksinimi ve sonuçlarının birçok çalışma için yeterli bulunmasından dolayı kolay uygulanabilir ve hızlı bir yöntem olarak tercih edilmektedir (Kumar *et al.* 1991; Chatterjee *et al.* 2001; Ashish *et al.* 2003; Gupta and Panigrahy 2008).

3.2.6.a. SCS eğrisi numaraları (CN)

ABD Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası (US Soil Conservation Service (SCS) Curve Number: CN), yağış verilerinden akışın belirlenebilmesi için kullanılabilir. Akışı elde etmek için gerekli veriler; yağış, toprak tipi ve arazi kullanımı haritalarıdır. Akış için kullanılan bağıntı şu şekildedir (Hokr *et al.* 2003).

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

$$I_a = 0.2S \quad (3.2)$$

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{(P+0.8S)} \quad (3.3)$$

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

Burada:

Q : Yüzey akış miktarı (mm)

P : Yağış miktarı (mm)

S : Su tutma potansiyeli (mm)

CN : Yüzey akış eğri numarası

olarak tanımlanmaktadır. Eğri numarası, birleşik havuzlarda, alt havzaların ağırlık ortalaması kullanılarak şu şekilde elde edilebilir:

$$CN_T = \frac{\sum_{i=1}^n CN_i * A_i}{A_T} \quad (3.5)$$

CN_T = Birleşik eğri numarası

A_i = Alt havza alanı

Bağıntılarda yer alan Yüzey Akış Eğri Numarası (CN), toprak tipi ve arazi kullanımı/örtüsü bilgilerine göre elde edilir Çizelge 3.7'deki veriler kullanılarak elde edilir.

Çizelge 3.7. Eğri Numarası (CN)'nın, toprak tipi ve arazi kullanımı/örtüsü bilgilerine göre tayin edilmesi

ARAZİ KULLANIMI/ÖRTÜSÜ	ORTALAMA GEÇİRİMSİZ ALAN (%)	HİDROLOJİK TOPRAK GRUPLARINA GÖRE EĞRİ NUMARASI			
		A	B	C	D
YERLEŞİM (YÜKSEK YOĞUNLUKLU)	65	77	85	90	92
YERLEŞİM (ORTA YOĞUNLUKLU)	30	57	72	81	86
YERLEŞİM (DÜŞÜK YOĞUNLUKLU)	15	48	66	78	83
TİCARİ ALANLAR	85	89	92	94	95
ENDÜSTRİYEL ALANLAR	72	81	88	91	93
ÇAKIL, TAŞ OCAĞI vb.	5	76	85	89	91
TARIM ALANLARI	5	67	77	83	87
AÇIK ALANLAR (PARK, ÇİM SAHA vb.)	5	39	61	74	80
ÇAYIR, OTLAK	5	30	58	71	78
SIK ORMAN, KORU	5	30	55	70	77
SEYREK ORMAN, KORU	5	43	65	76	82
SU / SULAK ALANLAR	100	100	100	100	100

3.2.6.b. Hidrolojik toprak grupları

Bir toprağın ya da toprak grubunun hidrolojik özellikleri, su toplama havzasının hidrolojik analizinde temel faktördür: Topraklar hidrolojik özelliklerine göre dört grup halinde sınıflandırılmaktadır.

Grup A (Düşük akış potansiyeli-iyi drenajlı): Tamamen ıslanmaları durumunda bile orta infiltrasyon derecesine sahip, derin ve iyiden aşırıya kadar drene olmuş, başlıca kumlu ve çakıllı topraklardır. Bu topraklar yüksek su geçirme potansiyeline sahiptir.

Grup B (Normal akış potansiyeli-orta drenajlı): Tamamen ıslanmaları durumunda orta infiltrasyon derecesine, orta derinden derine kadar derinliğe sahip, orta iyiden iyiye kadar drene olmuş, orta inceden orta kabaya kadar bünyeye sahip topraklardır. Bu topraklar orta derecede su geçirme potansiyeline sahiptir.

Grup C (Yüksek akış potansiyeli-düşük drenajlı): Tamamen ıslanmaları durumunda yavaş infiltrasyon derecesine, orta inceden inceye kadar bünyeye ve yavaş infiltrasyon derecesine sahip topraklardır. Bu topraklar yavaş su geçirme potansiyeline sahiptir.

Grup D (Çok yüksek akış potansiyeli-çok düşük drenajlı): Tamamen ıslanmaları durumunda çok yavaş infiltrasyon derecesine sahip, şişme potansiyeli yüksek killi topraklardır. Devamlı yüksek tabansuyu seviyesine sahip topraklar, yüzeye yakın kil peni ya da kil katına sahip topraklar, hemen hemen geçirimsiz materyaller üzerindeki sığ topraklar bu gruba girer. Bu topraklar çok yavaş su geçirme potansiyeline sahiptir (Özer 1990).

Bir toprağın hidrolojik toprak grubunu belirlemek için Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9'te verilen karar matrisi kullanılabilir.

Son olarak bir karar vermeden önce her iki tablo da kontrol edilmektedir. Eğer doymuş hidrolik iletkenlik verileri mevcutsa ve güvenilir olarak kabul edilirse, bu veriler toprağı uygun hidrolojik toprak grubuna yerleştirmek için su tablası derinlik bilgisi ile birlikte kullanılmalıdır. Bu veriler mevcut değilse, hidrolojik toprak grubu, toprağın tarladaki özelliklerine dikkat edilerek belirlenmektedir. Doku, sıkıştırma (kütle yoğunluğu), toprak yapısının gücü, kil mineralojisi ve organik madde gibi faktörler, toprak katmanındaki her katmanın hidrolik iletkenliğini tahmin ederken dikkate alınmaktadır (NRCS 2007).

Çizelge 3.8. Su geçirmeyen bir tabakanın 50 ila 100 santimetre derinliğinde (20 ve 40 inç) mevcut olması durumunda hidrolojik toprak gruplarının atanması için kriterler (NRCS 2007)

Toprak Özelliği	Hidrolojik toprak grubu A	Hidrolojik toprak grubu B	Hidrolojik toprak grubu C	Hidrolojik toprak grubu D
En az geçirgen tabakanın doymuş hidrolik iletkenliği	$>40.0 \mu\text{m/s}$ ($>5.67 \text{ in/h}$)	$\leq 40.0 \text{ to } >10.0 \mu\text{m/s}$ ($\leq 5.67 \text{ to } >1.42 \text{ in/h}$)	$\leq 10.0 \text{ to } >1.0 \mu\text{m/s}$ ($\leq 1.42 \text{ to } >0.14 \text{ in/h}$)	$\leq 1.0 \mu\text{m/s}$ ($\leq 0.14 \text{ in/h}$)
	ve	ve	ve	ve/veya
Su geçirimsiz katmana derinlik	50 to 100 cm [20 to 40 in]	50 to 100 cm [20 to 40 in]	50 to 100 cm [20 to 40 in]	$<50 \text{ cm}$ [$<20 \text{ in}$]
	ve	ve	ve	ve/ veya
Yeraltı suyu seviyesine derinlik	60 to 100 cm [24 to 40 in]	60 to 100 cm [24 to 40 in]	60 to 100 cm [24 to 40 in]	$<60 \text{ cm}$ [$<24 \text{ in}$]

Çizelge 3.9. Su geçirmeyen herhangi bir katmanın 100 santimetreden (40 inç) daha fazla bir derinlikte olması durumunda hidrolojik toprak gruplarının atanması için kriterler (NRCS 2007)

Toprak Özelliği	Hidrolojik toprak grubu A	Hidrolojik toprak grubu B	Hidrolojik toprak grubu C	Hidrolojik toprak grubu D
En az geçirgen tabakanın doymuş hidrolik iletkenliği	$>10 \mu\text{m/s}$ ($>1.42 \text{ in/h}$)	$\leq 10.0 \text{ to } >4.0 \mu\text{m/s}$ ($\leq 1.42 \text{ to } >0.57 \text{ in/h}$)	$\leq 4.0 \text{ to } >0.40 \mu\text{m/s}$ ($\leq 0.57 \text{ to } >0.06 \text{ in/h}$)	$\leq 0.40 \mu\text{m/s}$ ($\leq 0.06 \text{ in/h}$)
	ve	ve	ve	ve/veya
Su geçirimsiz katmana derinlik	$>100 \text{ cm}$ [$>40 \text{ in}$]	$>100 \text{ cm}$ [$>40 \text{ in}$]	$>100 \text{ cm}$ [$>40 \text{ in}$]	$>100 \text{ cm}$ [$>40 \text{ in}$]
	ve	ve	ve	ve/veya
Yeraltı suyu seviyesine derinlik	$>100 \text{ cm}$ [$>40 \text{ in}$]	$>100 \text{ cm}$ [$>40 \text{ in}$]	$>100 \text{ cm}$ [$>40 \text{ in}$]	$>100 \text{ cm}$ [$>40 \text{ in}$]

WMS’de bir havza için eğri sayısı (CN) hesaplanırken ilgili alan içindeki katmanlar (toprak tipi ve arazi kullanım kombinasyonları) ayrı ayrı değerlendirilir ve elde edilen farklı eğri sayılarının alan ağırlıklı bir ortalaması alınarak çalışma havzası için kullanılacak CN değeri elde edilir. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için gerekli olan girdiler arazi kullanım verileri ve toprak tipi verileridir.

WMS’de arazi kullanımı ve toprak tipi ile ilgili katmansal verileri hem poligonal hem de ızgara veri tipi olarak tanımlanabilmektedir. Çalışmada WMS’den temin edilen poligonal tipde veri katmanları Denklem 3.5 ile kullanılmıştır.

3.2.6.c. SCS gecikme süresinin hesaplanması

Gecikme süresi için en yaygın kullanılan olarak denklem SCS denklemidir (1972).

$$T_{LAG} = L^{0.8} \frac{(S+1)^{0.7}}{1900\sqrt{Y}} \quad (3.6)$$

Denklemde:

T_{LAG} = Gecikme süresi (saat)

L = Hidrolik uzunluğu (foot)

Y = Havza eğimi (%)

S = Su havzasında azami tutma

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3.7)$$

S: Su tutma potansiyeli (inç)

3.2.6.d. SCS birim hidrograf yöntemi

SCS tarafından yapılan araştırmalar, birim hidrograf tepe noktasının değerinin ve zamanının aşağıdakilerle ilişkili olduğunu göstermektedir:

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \quad (3.8)$$

A : Havza alanı

C : Sabit (2.08)

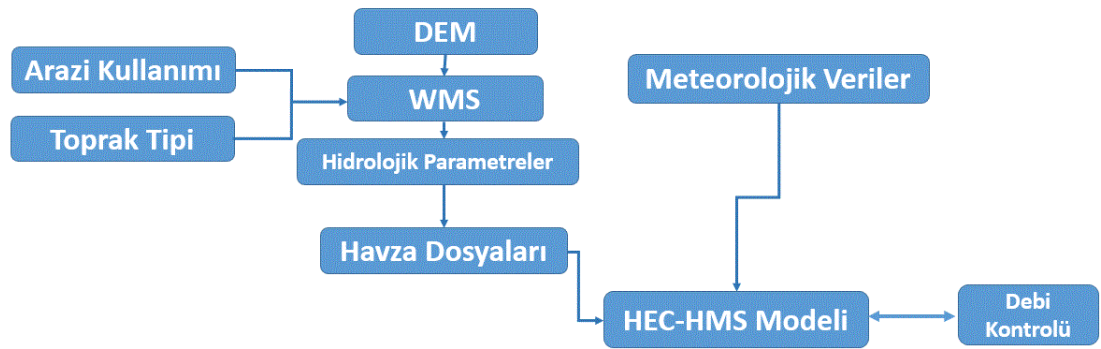
T_p : Pik değerin zamanı

Pik değerin zamanı (yükselme zamanı olarak da bilinir) aşağıdaki gibi artık yağış biriminin süresi ile ilgilidir:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + T_{lag} \quad (3.9)$$

Δt : Artık yağış süresi

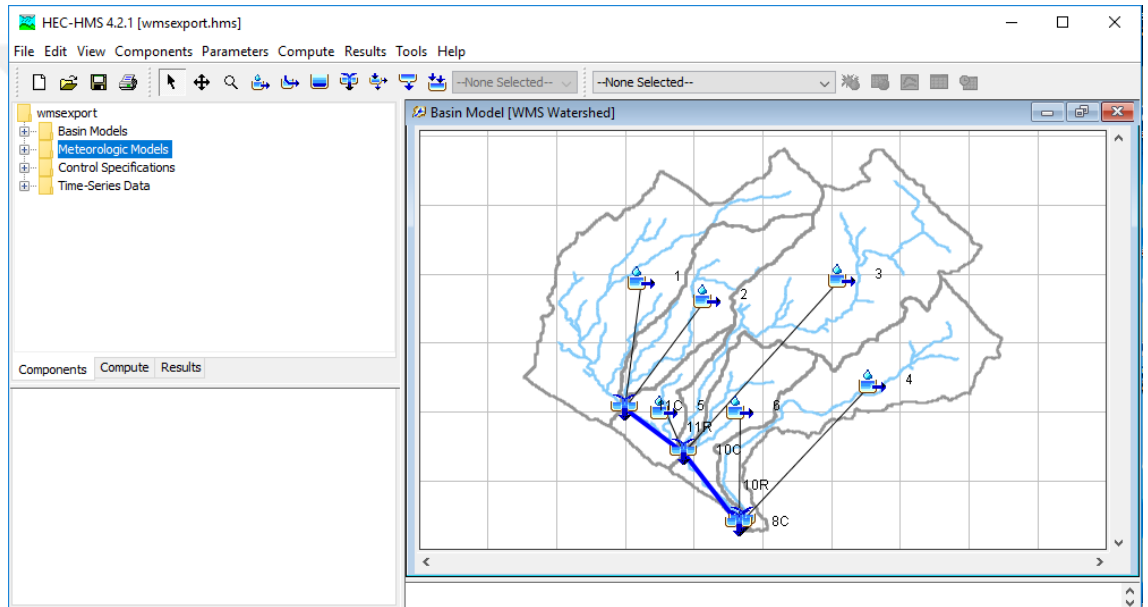
WMS elde edilecek olan SCS gecikme süresi HEC-HMS hidrolojik modelinde bir girdi olarak kullanılacaktır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24. Hidrolojik model birleşenleri (süreç akış şeması)

3.3. HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System)

HEC-HMS: The Hydrologic Engineering Center, U.S. Army Corps of Engineers (USACE-HEC) tarafından dendritik su havzası sistemlerinin akış süreçlerini simüle etmek için tasarlanmış bir yazılım paketidir. Programın halihazırdaki sürümü (Sürüm 4.2.1) ile bir veritabanı, veri giriş programları, hesaplama motoru ve sonuç raporlama araçları dahil olmak üzere tamamen entegre bir çalışma ortamı sunmaktadır (Şekil 3.25).



Şekil 3.25. HEC – HMS yazılımı (Sürüm 4.2.1) ara yüzü

Hesaplama motoru, hidrolojik simülasyon yazılımı ile 30 yıldan fazla bir deneyimi kullanıcılara aktarmaktadır. HEC-1 (HEC, 1998), HEC-1F (HEC, 1989), PRECIP (HEC, 1989) ve HEC-IFH (HEC, 1992)'den aktarılan birçok algoritma modernize edilmiş ve kapsamlı bir kütüphane oluşturmak için yeni simülasyon algoritmalarıyla birleştirilmiştir.

Kamu kurumlarında kişisel bilgisayarların çoğalması ve 1998 yılında ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin HEC-1 modelinin kullanıcı dostu grafiksel arayüze dayalı HEC-HMS modelini geliştirilmesi ile ortaya çıkmıştır. Arazi hidrolojistleri için oldukça faydalı bir araçtır.

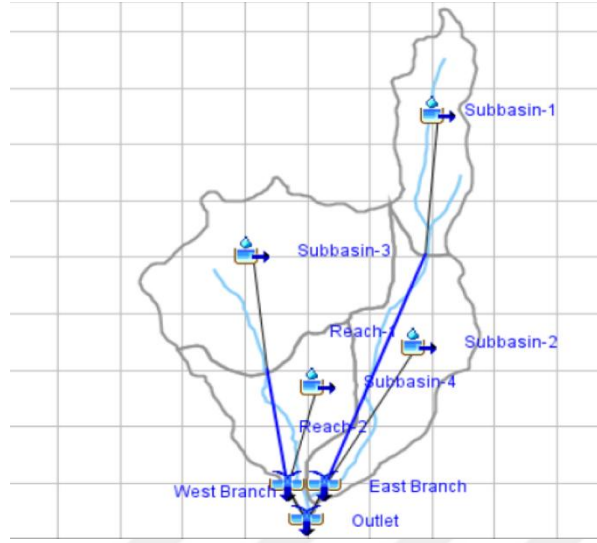
HEC-HMS dört ana bileşeni bir araya getirmektedir:

- 1) Yüzey akımının yanı sıra kanal yönlendirmesini de hesaplamak için kullanılan analitik bir modeldir.
- 2) Hidrolojik sistem bileşenlerinin etkileşimli özellikleriyle gösteren gelişmiş bir grafik kullanıcı arayüzü sunmaktadır.
- 3) Özellikle zaman değişkenli büyük veri kümelerinde depolama ve veri işletimi için etkili bir sistem sunmaktadır.
- 4) Model çıktılarının gösterilmesi ve raporlanması için etkili bir araçtır (Bajwa and Tim, 2002).

Gözlenmiş verilere göre yağış-akış modellerinin kalibrasyonu modelin tahmin edilebilirliğini geliştirmek için kullanılmaktadır. Model sonuçları, yağış-akış ölçümünden gözlemlenen değerlerle eşleştğinde, kullanıcılar kurulan modelin uygulanabilirliği daha fazla güven duymaktadır (Muthukrishnan *et al.* 2006).

HEC-HMS ile yapılan yağış akış simülasyonlarından elde edilen veri setlerinin güvenilir olabilmesi için, yerel veri setleri ışığında kalibrasyon ve doğrulama işlemlerinin yapılmış olan simülasyon sonuçlarının gerçek hayatta kullanılmasında etkin rol oynamaktadır.

Program, havza içerisinde su döngüsünü bir bütün olarak veya havzayı yönetilebilir alt havzalarına ayırarak modellemeyi gerçekleştirebilir (Şekil 3.26).



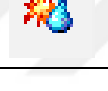
Şekil 3.26. HEC–HMS’de oluşturulmuş alt havzalar için bir örnek

HEC–HMS programı, Havza Modeli (Basin Model Manager), Meteorolojik Model (Meteorologic Model Manager) ve Kontrol Özellikleri (Control Specifications Manager) olmak üzere üç ana kısımda oluşmaktadır. Havza model bileşeni ile oluşturulan alt havza (Subbasin) elemanları, sembolleri ve açıklamaları Çizelge 3.10.’de verilmiştir.

Çizelge 3.10. HEC-HMS programının simgeleri

Hidrolojik Element	Açıklama
Subbasin 	Alt havza elemanı, fiziksel havzayı temsil etmek için kullanılır. Yağış verildiğinde, alt taban elemanından çıkış, yağış kayıplarının çıkarılması, fazla yağışın, alt çıkış çıkışındaki akış akışına dönüştürülmesi ve taban akışı eklenmesi ile hesaplanır.
Reach 	Erişim elemanı, havza modelinde mansap akışını iletmek için kullanılır. Ulaştırma elemanının içine akış, bir veya daha fazla yukarı akış hidrolojik elemanından gelebilir. İletimden kaynaklanan akış, gelen akım hidrografının çevrilmesi ve zayıflatılması ile hesaplanır.
Reservoir 	Rezervuar elemanı, bir rezervuar veya alıkoyma havuzunun neden olduğu bir hidrografın tutulmasını ve zayıflamasını modellemek için kullanılır. Rezervuar elemanının içine giriş, bir veya daha fazla yukarı akış hidrolojik elemanından gelebilir. Rezervuar elemanından çıkan çıkış iki şekilde hesaplanabilir. Kullanıcı bir depolama çıkışı girebilir, yükseklik-depolama-çıkış veya yükseklik-alan akışı ilişkisi veya kullanıcı bir yükseklik-depolama girebilir veya yükseklik-alan ilişkisi ve bir veya daha fazla çıkış yapısını tanımlar.

Çizelge 3.10. (devam)

Junction		Birleşim elemanı, birleşme elemanının yukarısında yer alan hidrolojik elemanlardan gelen yüzey akışını birleştirmek için kullanılır. Bağlantı elemanının içine akış, bir veya daha fazla yukarı akış elemanından gelebilir. Çıkış, bütün girişleri toplayarak ve varsayarak hesaplanır. Birleşim elemanında depolama yoktur.
Diversion		Derivasyon elemanı, ana kanaldan çıkan akış akımını modellemek için kullanılır. Derivasyon elemanının girişi bir veya daha fazla yukarı akış hidrolojik elemanından gelebilir. Derivasyon elemanından çıkan akış, yönlendirilen akış ve yönlendirilmeyen akıştan oluşur. Yönlendirilen akış, kullanıcıdan gelen girdi kullanılarak hesaplanır. Hem yönlendirilen hem de yönlendirilmeyen akışlar, saptırma elemanının aşağısındaki hidrolojik elemanlara bağlanabilir.
Source		Kaynak eleman havza modeline akış sağlamak için kullanılır. Kaynak elemanın girişi yoktur. Kaynak elemandan çıkış, kullanıcı tarafından tanımlanır.
Sink		Drenaj elemanı fiziksel havza çıkışını temsil etmek için kullanılır. Drenaj elemanına giriş, bir veya daha fazla yukarı akış hidrolojik elemanından gelebilir. Drenaj elemanından çıkış yok.
Run		Simülasyonu başlatmak için bir model çalışması kullanılır, bu düğme ancak tüm veri gereksinimlerini tamamladıktan sonra kullanılabilir.

Alt havza, hidrograf hesaplamalarında kullanılan ve model verilerinden olan kayıp yöntemi (loss method), dönüşüm (transform) ve taban akışı (baseflow) metotlarını içermektedir. Bu metotların her biri bir çok seçeneğe sahiptir. Bu seçeneklerin seçiminde, havzanın özellikleri, uygulamanın amacı ve eldeki verilere göre tercih edilmektedir (Şekil 3.27).

The screenshot shows the 'Subbasin' tab of the HEC-HMS software interface. The 'Basin Name' is 'WMS Watershed' and the 'Element Name' is '1'. The 'Description' field is empty. The 'Downstream' field is a dropdown menu. The 'Area (KM2)' field is marked with an asterisk. The 'Latitude' and 'Longitude' fields are split into Degrees, Minutes, and Seconds. The 'Canopy Method', 'Surface Method', 'Loss Method', 'Transform Method', and 'Baseflow Method' are all dropdown menus. The 'Loss Method' is currently set to 'SCS Curve Number' and the 'Transform Method' is set to 'SCS Unit Hydrograph'.

Şekil 3.27. HEC – HMS’de havza modeli veri penceresi

Kayıp metodu ile olay süresince meydana gelen kayıpların modellenmesi gerçekleştirilmektedir.

İnfiltrasyon sürecine bağlı kayıpların modellenmesi, loss method başlığı altında 11 farklı yönetim seçeneği vardır: Deficit and Constant, Exponential, Green and Ampt, Gridded Deficit Constant, Gridded Green Ampt, Gridded SCS curve number, Gridded Soil moisture accounting, Initial and Constant, SCS curve number, Smith parlange ve Soil moisture accounting metotlarından uygun olanı seçilerek gerçekleştirilmektedir. Bu çalışmada SCS Curve Number metodolojisi kullanılmıştır.

Dönüştürme metodu ile havza üzerindeki artık yağışlar havza çıkışında akım hidrografına dönüştürülmektedir.

HEC-HMS programında transform method başlığı altında, User-Specified unit hydrograph, User-Specified S-Graph, Clark’s unit hydrograph, Snyders’s unit

hydrograph, SCS unit hydrograph, ModClark ve Kinematic wave dönüşüm metotları yer almaktadır. Bu çalışmada SCS Birim Hidrograf metodu kullanılmıştır.

Düşen yağışın bir kısmı, yeraltına karışarak, yeraltısuyu akımını oluşturmaktadır. Taban akımı (baseflow), yeraltısuyu akımı olarak tanımlanmaktadır (Barut ve Gürpınar, 2005).

HEC–HMS model programında taban akımını modellemesi için Bounded recession, Constant monthly, linear reservoir, Nonlinear Boussinesq ve Recession metotları yer almaktadır. Bu çalışmada taban akış modeli kullanmamıştır.

Meteorolojik model, yağış, buharlaşma, kar erimesi ve radyasyon vb. verileri içermektedir çerçevesinde almaktadır. Şekil 3.28’de gösterilen meteorolojik model penceresi ile, modeldeki verilerin, alt havzalara atanması gerçekleştirilmektedir. Yağış verilerinin atanması, hiyetograf veya ağırlıklandırma yöntemi ile yapılmaktadır.

Meteorology Model	
Basins Options	
Met Name: WMS Meteorologic Data	
Description:	
Shortwave:	--None--
Longwave:	--None--
Precipitation:	Specified Hyetograph
Evapotranspiration:	Monthly Average
Snowmelt:	--None--
Unit System:	Metric
Replace Missing:	Abort Compute

Şekil 3.28. HEC–HMS’de kullanılan meteorolojik model penceresi

Kontrol özellikleri ile simülasyon olayının başlangıç ve bitiş zamanları ve sürekli modelleme uygulamasını gerçekleştirmek için gerçekli zaman aralığı belirlenmektedir (Şekil 3.29).

Control Specifications

Name: WMS Control Info

Description:

*Start Date (ddMMYYYY)

*Start Time (HH:mm)

*End Date (ddMMYYYY)

*End Time (HH:mm)

Time Interval: 15 Minutes

Şekil 3.29. HEC–HMS’de kontrol özellikleri penceresi

3.4. MATLAB

MATLAB program ortamı özellikle dinamik sistemleri modellemek, simüle etmek ve analiz etmek için etkileşimli, grafiksel (şablon arayüzü) bir ortam olan Simulink tekniğini sağlamaktadır. Simülasyon modeli (SM), bu şablonları modellenen sistemi (simüle edilmiş) gerçekçi bir şekilde temsil etmek için mantıksal olarak bağlayarak oluşturmaktadır. Ek olarak, Simulink tekniği, temel olarak vektörlerin ve matrislerin matematiksel olarak yüksek verimde kullanılmasını gerçekleştirebilen oldukça yüksek MATLAB potansiyelinden de faydalanabilmektedir. SM yapım sürecinin tamamlanmasından sonra, Loucks *et al.* (2005)’a göre programcılıkta sıklıkla kullanılan “what if ...?” yapısındaki farklı senaryolar içeren etkileşimli sorulara da cevaplar verebilmektedir. SM’nin, modelin performansları ile simüle edilen rezervuarın gerçek performansı arasında bir karşılaştırma yapmak için önceden tanımlanmış bir çalışma politikası kullanması gerektiği belirtilmelidir. Bu durumla özellikle bir su depolama sisteminin çalışması durumunda sıklıkla karşılaşılır. Farklı rezervuarların pratik sorunlarını çözmek için diğer modellerle birlikte SM kullanılması da dahil olmak üzere, depolama sistemlerinin çalışması hakkında birçok çalışma yapılmıştır.

3.4.1. Su kaynakları matematiksel modeli

Bir su depolama sisteminin bileşenleri arasındaki ilişkiler genellikle nispeten karmaşık yapıdadır. Bu ilişkiler süreklilik denklemi ve bazı fiziksel kısıtlamalar yoluyla o sistemin dinamiğini ifade etmektedir. Çoğu rezervuar sisteminin uygulamaları yapılan analizlerin çoğu su için kütlenin korunmasına dayanan hesaplama prosedürleridir. Kütlenin korunumu aynı zamanda suyun sıkıştırılamazlığı varsayımından ötürü hacmin korunmasını ifade etmektedir (Wurbs 2005), böylece her periyotta depo değişimi sırasında herhangi bir rezervuar için süreklilik denklemini (Denklem 3.10) olduğu gibi yazmak mümkündür (Loucks *et al.* 2005). Bu fiziksel kısıtlamalar, yükseklik-alan-depolama eğrisi; dipsavak, dolusavak ve enerji çıkış ağzındaki rezervuar çıkışlarının kapasiteleri; rezervuarın depolama kapasitesi ve akış yönündeki mansap kuyruk suyu derinliğinden kaynaklanmaktadır. İlgili denklem ve bahsi geçen kısıtlamalar herhangi bir su depolama sisteminin davranışını iyi bir şekilde ifade etmektedir.

$$S_{t+1} = S_t + I_t - R_t + Pr_t - Ev_t - Sp_t \quad (3.10)$$

S_{t+1}	(t + 1) süresindeki depolama hacmi
S_t	(t) süresindeki başlangıç depolaması
I_t	(t) süresindeki gelen akım
R_t	(t) süresindeki çıkan akım
Pr_t	(t) süresindeki rezervuara gelen yağış (t)
Ev_t	Süre zarfında rezervuardan buharlaşma (t)
Sp_t	Süre boyunca rezervuardaki sızıntı kayıpları (t) (ihmal edilmiştir)
t	Zaman periyodu (ay)

Yukarıdaki denklemde hacimleri hesaplamak için genellikle milyon metreküp (MCM) birimi kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, havzanın jeolojik katmanlarının dizilimi nedeniyle sızıntı gerçekleşmemektedir. Bu nedenle gözlenmiş sızıntı verisi olmayıp sızıntı hacmi ihmal

edilmiştir. SM'yi çalıştırmak için simülasyon zamanının başlangıcındaki ilk depolama hacmi ($t = 1$) önceden tanımlanmalıdır. Her bir zaman periyodunda başlangıç ve sondaki depoların ortalaması, simülasyon periyodu boyunca her zaman aralığında depoyu temsil etmek için hesaplanmaktadır. Yağış miktarı Pr_t ve buharlaşma Ev_t hacimleri aylık derinlik oranlarının her bir zaman aralığında başlangıç ve son depolama alanlarının ortalamasını temsil eden su yüzey alanı ortalaması ile çarpılarak hesaplanmaktadır. Bu alan her zaman diliminde depolamanın bir fonksiyonu olarak belirlenmektedir. MegaWatt ile ölçülen bir ayda üretilen hidroelektrik güç (P_t), Denklem 3.11'dan hesaplanabilmektedir (Loucks *et al.* 2005).

$$P_t = k * RP_t * H_t \quad (3.11)$$

P_t (t) zaman aralığında elde edilen güç (MegaWatt)

k Sabit (0.003)

RP_t (t) süresinde hidroelektrik istasyona bağlı tünellerden çıkan akım (MCM)

H_t Zaman dilimindeki ortalama su yükü (metre)

k sabitinin değeri, hidroelektrik santral veriminin %80 olduğu varsayıldıktan sonra hidroelektrik (denkleminin 3.11) türetilmesinden elde edilmiştir. Modern hidroelektrik santrallerin verimlilik aralığının %70 ile maksimum %90 arasında tasarlandığı (Kaltschmitt *et al.* 2007), göz önünde tutularak bu çalışmada, santral verimliliğinin ortalama bir değeri olan %80'e eşit olduğu varsayılmıştır. Hidroelektrik istasyon RP_t 'ye bağlı tünellerden salınım, her periyottaki toplam çıkış R_t miktarına ve bu tünellerin kapasitesine dayanarak aşağıdaki gibi belirlenmektedir.

- Eğer $R_t \leq PC$ ise, bu $RP_t = R_t$ olacaktır
- Eğer $R_t > PC$ ise, bu $RP_t = PC$ olacaktır

Burada PC , hidroelektrik istasyonuna bağlı tünellerin çıkış kapasitesidir.

H_t değeri, rezervuardaki depolamanın yükseltilmesi ile aşağı akış tahliye yüksekliği veya kuyruk suyu derinliği arasındaki dikey mesafedir. Bu yükseklik, her bir zaman diliminde başlangıçtaki ve sondaki yüksekliklerin ortalamasını temsil eder. Bu yükseklik, depolamanın bir fonksiyonu olarak belirlenir.

3.4.2. Model tanımı ve çalışma mekanizması

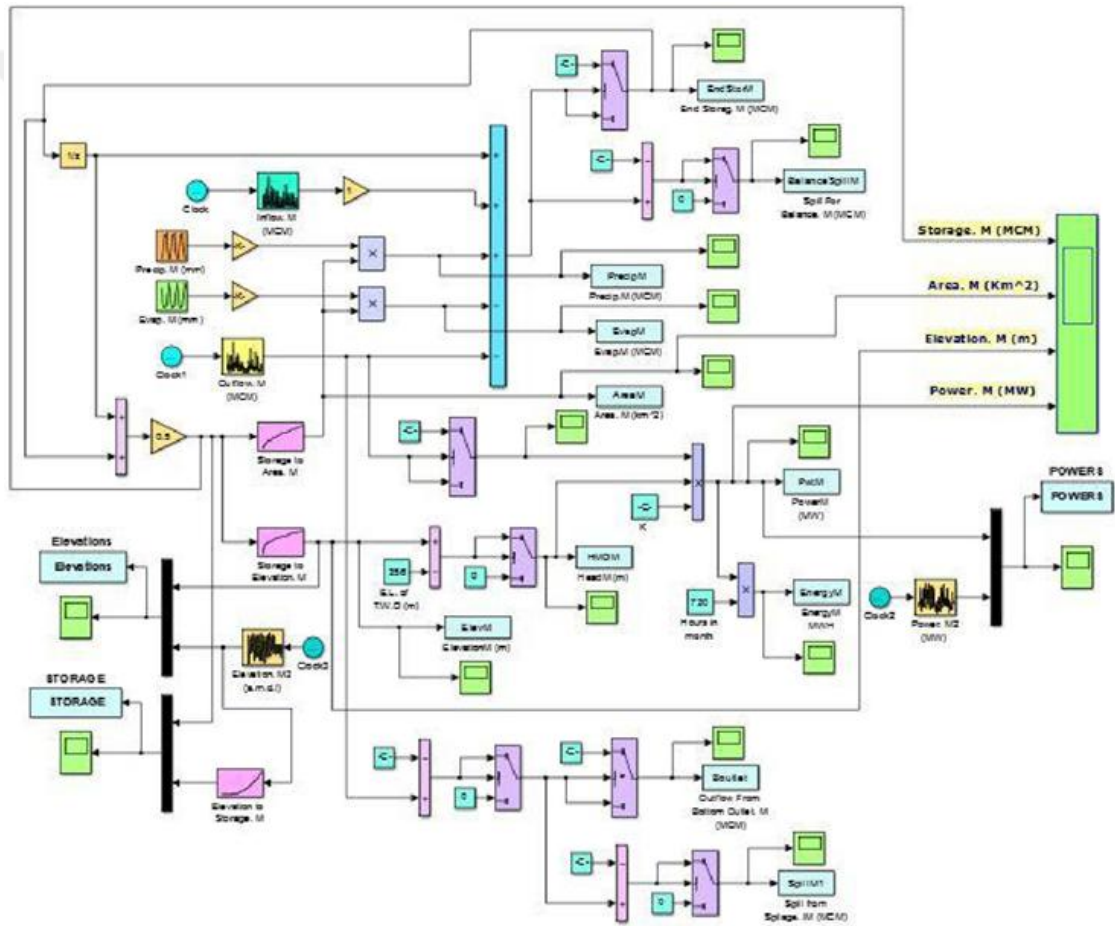
Bu çalışmada modifiye edilerek kullanılan simülasyon modeli Al-aqeeli *et al.* (2018) çalışması esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Al-aqeeli *et al.* (2018) tarafından geliştirilen model çatısı anlatılmakta olup Al-adim Havzası için modelde gerçekleştirilen iyileştirmeler ve modifikasyonlar Bölüm 4.4’de belirtilecektir.

Simülasyon modelini (SM) SIMULINK tekniğini (Şekil 3.30) kullanarak oluşturmak için, süreklilik (denklemine 3.10) ve fiziksel rezervuar özelliklerine bağlı kısıtlamalara güvenmekteyiz. Bu özellikler, yükseklik alanı depolama eğrisi, elektrik santrali çıkışlarının kapasitesi, dipsavak kapasitesi, dolusavak kapasitesi, rezervuarın depolama kapasitesi ve aşağı kuyruk suyu derinliğinden oluşmaktadır. Şekil 3.31, SM’nin binasında kullanılan ana blokları göstermektedir. Bu modelde girdi verileri beş blok olarak temsil edilmektedir. “Unit Delay” bloğu ile ilk depolama (ilk ayın başındaki depolama (S_t)) girişi ve her bir döngüde hesaplanan depolamanın bir sonraki zaman dilimine aktarımı gerçekleştirilmektedir. Sonraki iki “Lookup” bloğu gözlemlenen aylık gelen ve çıkan akımları temsil etmekte iken diğer iki blokta da (Repeating Table) aylık ortalama yağış ve buharlaşma miktarları derinlik olarak temsil edilmektedir. Bu beş blok, süreklilik denkleminin sağ tarafındaki beş elementi temsil etmek için kullanılmaktadır (Denklem 3.10). İlk beş blok Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de detaylı olarak gösterilmektedir. Bu beş blok süreklilik denklemini yapılandırmak için giriş verilerini kullanan matematiksel blokla (Sum Block) ilişkilendirilmiştir. Bu “Sum Block” ile süreklilik denkleminin sol tarafını temsil etmek için her ayın sonundaki S_{t+1} depolaması hesaplamaktadır. Bundan sonra hesaplanan S_{t+1} değeri “Unit Delay” bloğuna yönderilerek müteakip ikinci ayın (S_t) başlangıcındaki depo hacmi olarak kabul edilmektedir. Her ayın başında ve sonunda depolamaya (sırasıyla S_t ve S_{t+1}) dayanarak ortalama depolamayı hesaplamak için bir

başka matematiksel “Sum Block” ve “Gain” bloğu kullanılmıştır. Ortalama depolamaya ve yükseklik-alan depolama eğrisine dayanarak, model Şekil 3.30’de gösterilen 8. ve 9. “Lookup” bloğunu kullanmakta ve ilgili depolamaya ait su kotu ve yüzey alanını hesaplanmaktadır. Bu bloklar, hesaplanan ortalama depolarla ilgili yükseklikleri ve alanları elde etmek için enterpolasyon ve ekstrapolasyon işlemlerini uygulamaktadır. “Product” bloğu kullanılarak, depolama alanı sırasıyla yağış yüksekliği ve buharlaşma derinliği ile çarpılarak bu girdilerin süreklilik denkleminde kullanılabilmesi için hacimsel değerleri elde edilmiştir. Hidroelektrik güç denklemi (Denklem 3.11) için her bir aydaki su yükünün ve hidroelektrik istasyonuna bağlı tünellerden salınan su miktarının tanımlanması gerekmektedir. Bu nedenle, model “Sum” bloğunu kullanılarak kuyruk suyu derinliğini hesaplanan yükseklikten çıkartarak su yükünü hesaplamaktadır, ayrıca gözlenen çıkış debileri her bir çıkışın kapasitesine bağlı olarak üç bölüme ayrılmaktadır. Bu çıkışlar arasında güç çıkışları, dipsavak ve dolusavak akımları bulunmaktadır. Bu işlemlerin gerçekleştirilebilmesi için Şekil 3.30 ve Şekil 3.31’de gösterildiği gibi beş “Constant” bloğu, üç “Switch” bloğu ve iki “Sum” bloğu kullanılmıştır. Denklem 3.11’u kullanarak gücü çıktı olarak belirlemek için, “Product” bloğu bu denklemin elemanlarını çarpmak için kullanılmıştır, denklem sabiti (0.003) “Constant” bloğu ile temsil edilmiş olup su yükü ve santralin su tahliyesi daha önceden hesaplandığı şekli ile kullanılmıştır. Bu güç, her ayın enerjisini (megawatt-saat) bulmak için bir aydaki saat sayısı ile çarpılmaktadır.

Al-aqeeli *et al.* (2018) Musul rezervuarı için gerçekleştirdikleri simülasyon modelinde gözlemlenen rezervuar yükseklikleri SM’nin çalışmasından kaynaklanan yükselmelerle karşılaştırılması için, şekil 3.31’in 18. bloğunda gösterilen “Mux” adlı bloğu ek olarak tasarlamışlardır. Bu blokta yine aynı şekilde, kaydedilen güçler modelden kaynaklanan güçlerle karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmaları grafiksel olarak ve tablo şeklinde göstermek için sırasıyla “Scope” ve “To Workspace” blokları kullanılmıştır. Ancak Al-adim Barajı Hidroelektrik santrali henüz işletmeye açılmadığı için gözlemlenen güç, depolama, depolama yüksekliği ve rezervuar alanı ölçümleri bulunmamaktadır. Bu nedenle halihazırda yapılan bu çalışmada “Mux” bloğu kullanılmamıştır.

Model gerçek bir rezervuar işletimini simüle ettiğinde, bazı durumlarda, zamanın sonundaki depolama hacmi dolusavak kotunun üstündeki kabarma ile de bir miktar ile su içerebilir. Bu tarzdeki durumlar meydana gelmişse, aylık simülasyon sürecinin seyrini etkilememektedir. Bu yüzden, bu suyu modelden atmak için “Switch” bloğu kullanılmaktadır. Modelde kullanılan bloklar hakkında daha fazla ayrıntı için MATLAB’ın Simulink Kütüphane Tarayıcısı ziyaret edilebilir (<https://www.mathworks.com/>).



Şekil 3.30. Musul rezervuarı için Simulink tekniğini kullanarak gerçekleştirilmiş SM şeması (Al-aqeeli *et al.* 2015)

Çizelge 3.11. Simulink modeline ilişkin açıklama (Al-aqeeli *et al.* 2015)

	1. Unit Delay: İlk depolamayı girmek için (ayın başında depolama, S_t) ve her döngüde depolamayı eklemek için kullanılmaktadır
	2. Lookup (iç akım (MCM)): Gözlemlenen aylık iç akımı eklemek için kullanılmaktadır
	3. Repeating Table (Yağış, mm)): Aylık ortalama yağış yüksekliğini girmek için kullanılmaktadır
	4. Repeating Table (Buharlaşma (mm)): Aylık ortalama buharlaşma yüksekliğini girmek için kullanılmaktadır
	5. Lookup (Çıkış akımı) (MCM): Gözlemlenen aylık çıkış akımının miktarını eklemek için kullanılmaktadır
	6. Clock (Saat): Simülasyonu çalıştırmak için zaman belirticidir
	7. Gain: Herhangi bir veri diğer sabit bir miktarla doğrudan çarpmak için kullanılmaktadır
	8. Lookup (Depolamadan alana): Enterpolasyon ve ekstrapolasyon sistemi kullanılarak aylık alan ortalamasını aylık depo ortalamasından hesaplamak için kullanılmaktadır
	9. Lookup (Depolamadan Yüksekliğe): Enterpolasyon ve ekstrapolasyon kullanarak aylık yükseklik ortalama aylık depodan hesaplamak için kullanılmaktadır
	10. Lookup (Yükseklikten Depolamaya): Gözlemlenen aylık depolamayı gözlemlen aylık yükseklikten hesaplamak için kullanılmaktadır
	11. Lookup (Yükseklik 2): Gözlemlenen aylık yükseklik girişi için kullanılmaktadır
	12. Lookup (Güç 2): Gözlemlenen aylık güç girişi için kullanılmaktadır
	13. Switch (Anahtar): “If” yapısındaki şartlı durumlarda kullanılır, sabit bir değerın başka bir sabitten daha büyük veya daha küçük olup olmamasına bağlı olarak aynen geçip geçmemesine izin vermek için kullanılmaktadır
	14. Constant (Sabit): Değişmeyen herhangi bir sabit miktarı eklemek için kullanılmaktadır
	15. Sum (Toplam): Süreklilik denklemini matematiksel olarak uygulamak için kullanılmaktadır
	16. To Workspace (Tablolaştırma): Sonuçları Workspace’deki bir tablo haline göstermek için kullanılmaktadır, örnek olarak güç değerleri kullanılmıştır
	17. Scope (Kapsam): Simülasyon modelindeki tüm sonuçları tek bir şekil üzerinde grafiklerle göstermek için kullanılmaktadır
	18. Mux: Simülasyon Modeli (SM) tarafından üretilen değerlerin gözlenen değerlerle birleştirilmesi ve Scope bloğu kullanılarak aynı grafikte görüntülenmesi için kullanılmıştır

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

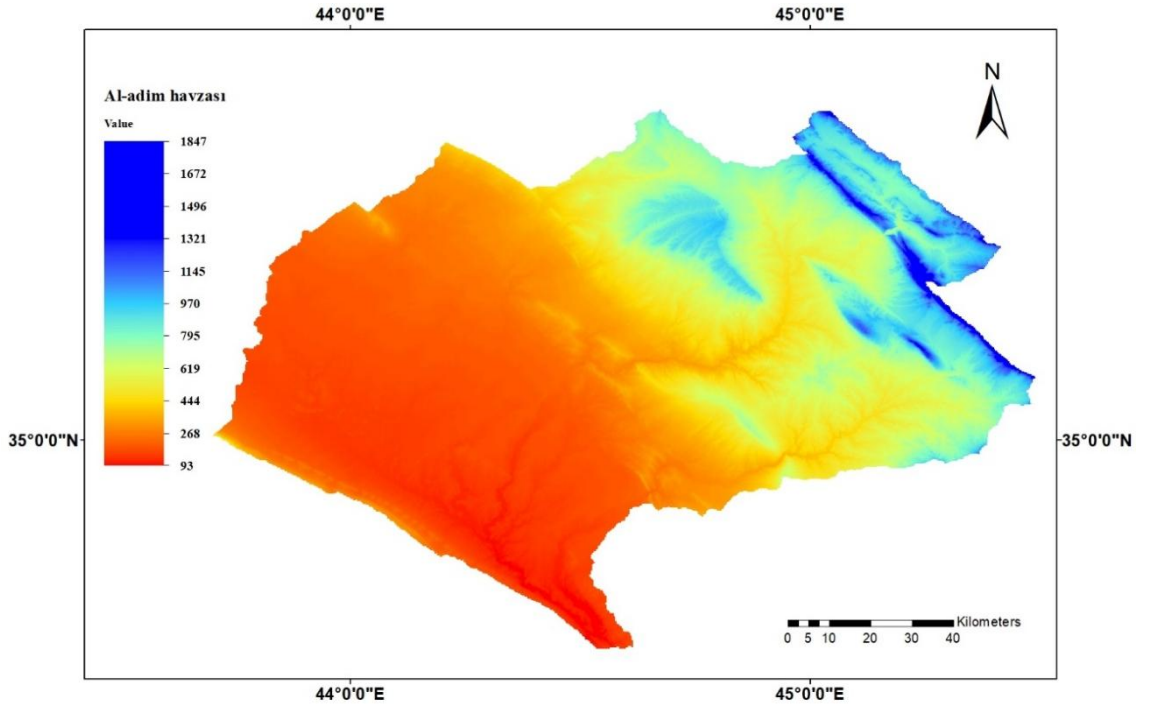
4.1. ArcMap Kullanarak Görsel Haritaların Elde Edilmesi

Çalışma alanının daha iyi bir şekilde görselleştirilebilmesi amacıyla ArcMap ortamından yararlanılmıştır.

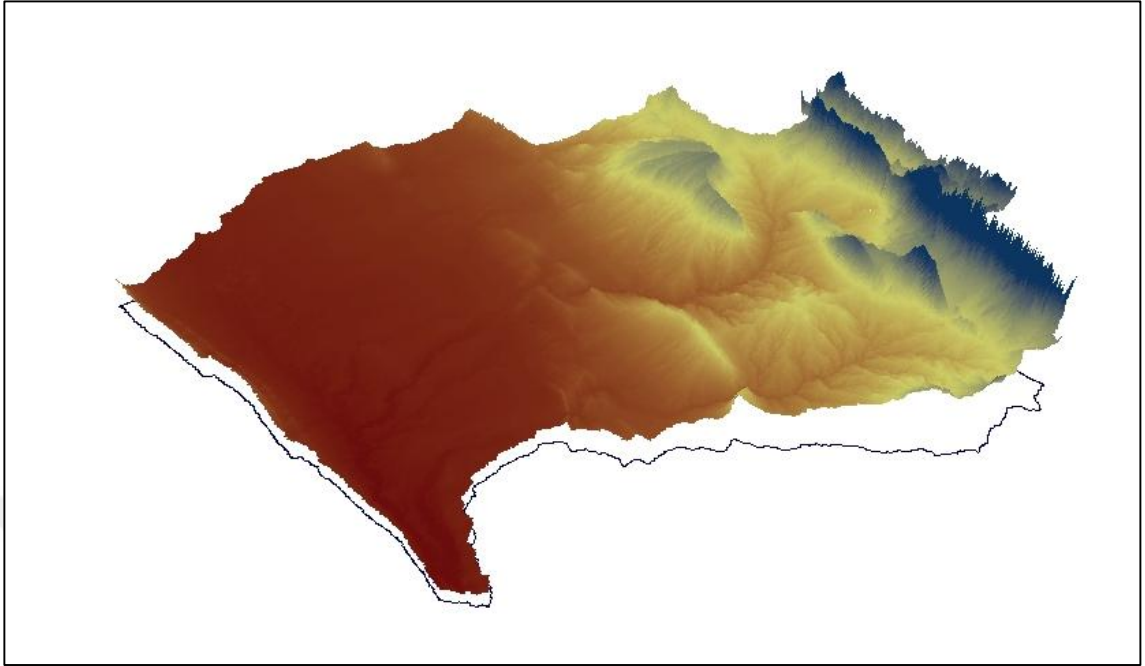
4.1.1. Sayısal yükseklik modeli (DEM) haritası

Bu çalışmada kullanılan DEM haritaları Open Topography'dan 30 metre çözünürlüklü olarak temin edilmiştir (Şekil 4.1). Bu harita ArcMap'te ihtiyaç duyulan yerlerde havza yükseklerinin gösterilmesi ve hesaplamaların gerçekleştirilebilmesi için kullanılmıştır.

Arazinin 3 boyutlu görüntüsü ArcScene eklentisi ile elde edilmiştir (Şekil 4.2).



Şekil 4.1. Al-adim Havzası eş yükselti haritası



Şekil 4.2. Havzanın DEM’den elde edilen 3 boyutlu görüntüsü

4.1.2. Eğim ve bakı haritaları

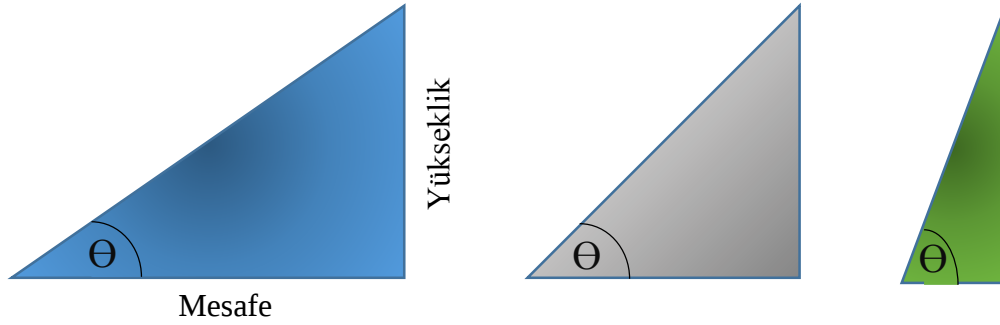
Havzaya ait drenaj karakteristiklerin belirlenmesinde eğim haritalarının rolü büyüktür. Eğim araçları her hücre ve komşuları arasındaki değişimin maksimum oranını hesaplar. Bu durumun hücre için anlamı en dik aşağı iniştir (hücre ve onun sekiz komşusu arasında mesafelerin yükseklikte maksimum değişimi). Çıktı eğim rasterindeki her hücre bir eğim değerine sahiptir. Eğim değeri ne kadar düşükse arazi o kadar düz, eğim değeri ne kadar yüksekse arazi o kadar diktir. Çıktı eğim rasteri eğimin yüzdesi veya eğimin derecesi olarak hesaplanabilir.

Eğim açısı 45 dereceye eşit olduğunda yükseklik gidiş mesafesine eşit olur. Yüzde olarak ifade edildiğinde, bu açının eğimi %100 dür. Eğim dikeye yaklaşırsa (90 derece), eğim yüzdesi sonsuzluğa yaklaşır.

$$\text{Eğim Açısı} = \Theta$$

$$\text{Eğim Yüzdesi} = \frac{\text{yükseklik}}{\text{mesafe}} \times 100$$

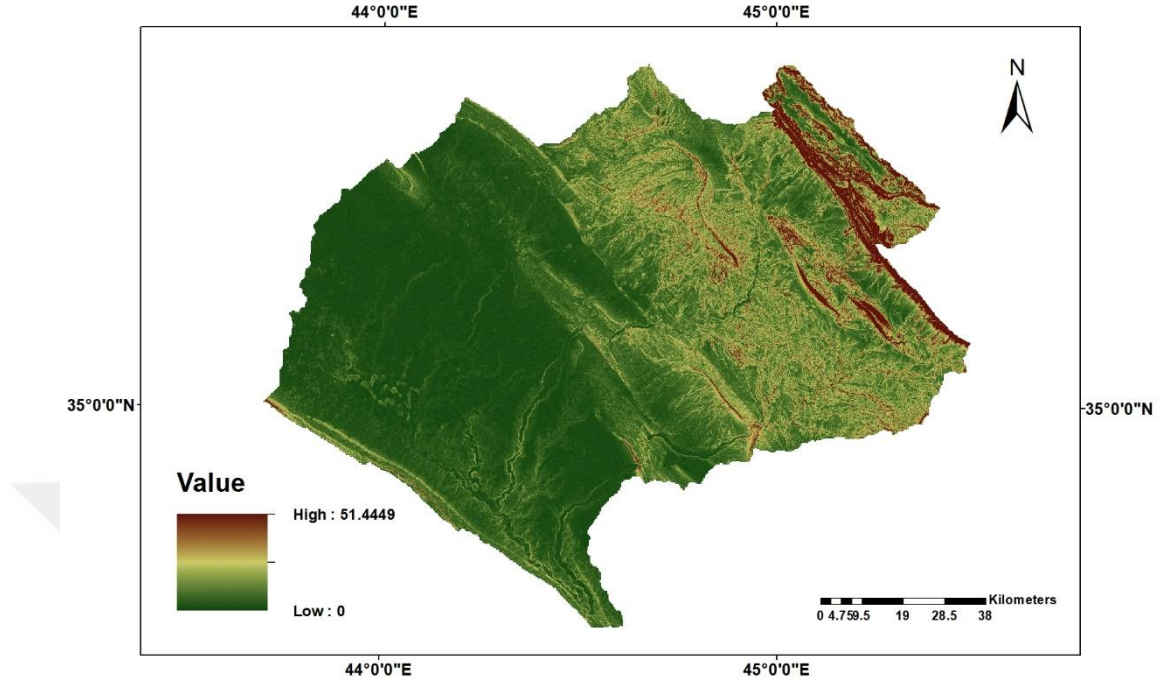
$$\tan \theta = \frac{\text{yükseklik}}{\text{mesafe}}$$



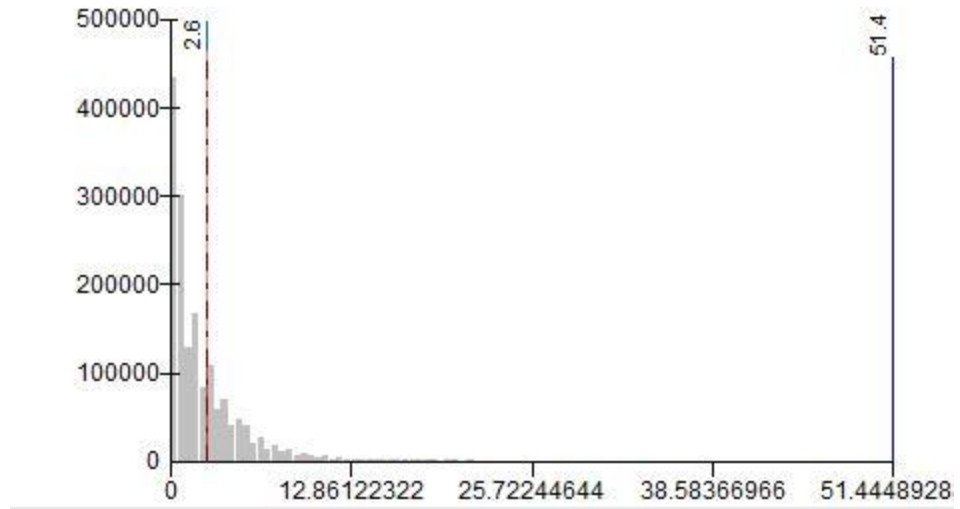
Eğim Açısı:	30	45	76
Eğim Yüzdesi:	58	100	375

Eğim Açısı	Eğim Yüzdesi %
0	0
10	18
20	36
30	58
40	84
50	119
60	173
70	275
80	567
90	∞

DEM'den elde edilen Al-adım havzasına ait eğim haritası Şekil 4.3'deki gibidir. Havza sınırları dâhilinde çıkarılan eğim haritasının histogramı ise Şekil 4.4'de verilmiştir.

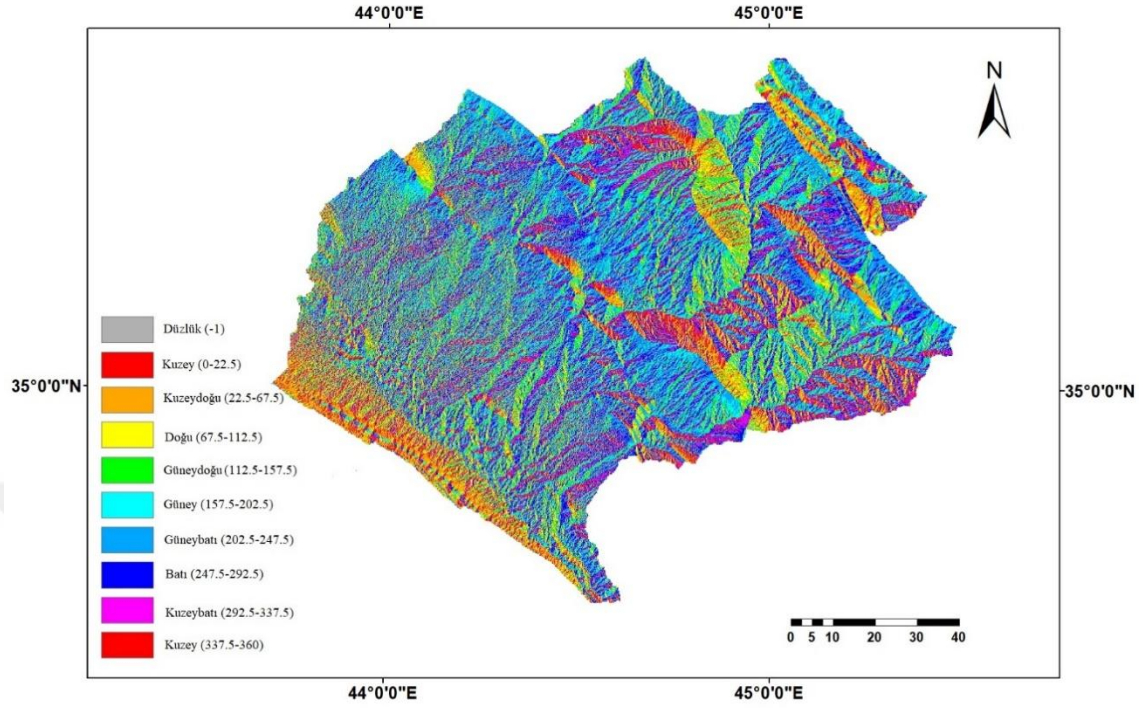


Şekil 4.3. Raster çözünürlüğünde eğim haritası



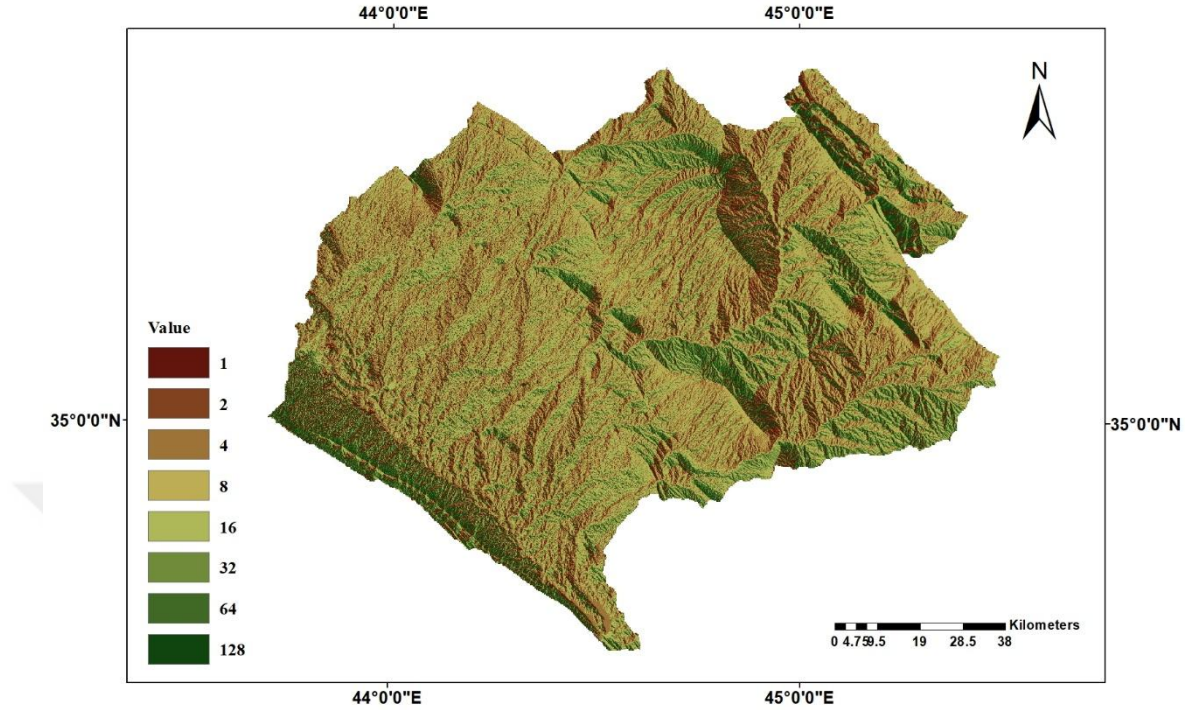
Şekil 4.4. Raster çözünürlüğündeki eğim haritasına ait histogram

Al-adım Havzası için baki haritası ArcMap'te yapılmış olup Şekil 4.5'deki gibidir.

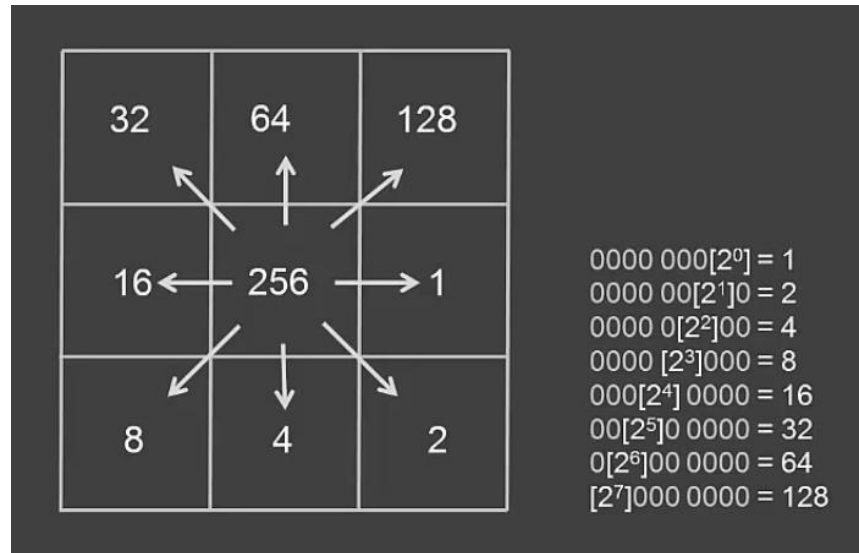


Şekil 4.5. Al-adım Havzası için bakı haritası

ArcMap programında akım yönleri de hesaplanmıştır (Şekil 4.6). Yönler 8 farklı değere verilir, Bu değerler 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 olup bu değerler sırasıyla doğu, güneydoğu, güney, güneybatı, batı, kuzeybatı, kuzey, kuzeydoğu yönlerini ifade etmektedir. ArcMap programı ikili sistemi kullanmakta olduğundan bu değerler 2 sayısının üstleri şeklindedir (Şekil 4.6 ve Şekil 4.7).



Şekil 4.6. ArcMap kullanarak Al-adim Havzası akım yönlerinin tespit edilmesi



Şekil 4.7. İkili sistemde yönlerin gösterimi

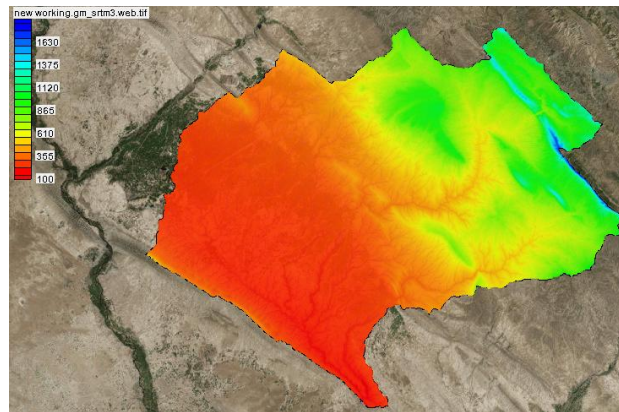
4.2. WMS 10.1

Çalışmada WMS 10.1 programı kullanılarak başlangıçta Al-adim Havzası'nın havza sınırları belirlenmiştir. Program sunucuları (program server) tarafından sağlanan veriler (DEM haritaları, arazi kullanım haritası ve toprak tipi haritası) kullanılarak havza için CN eğri numarasının değerini bulmak hedeflenmiştir.

4.2.1. Sayısal yükseklik modelleme (DEM)

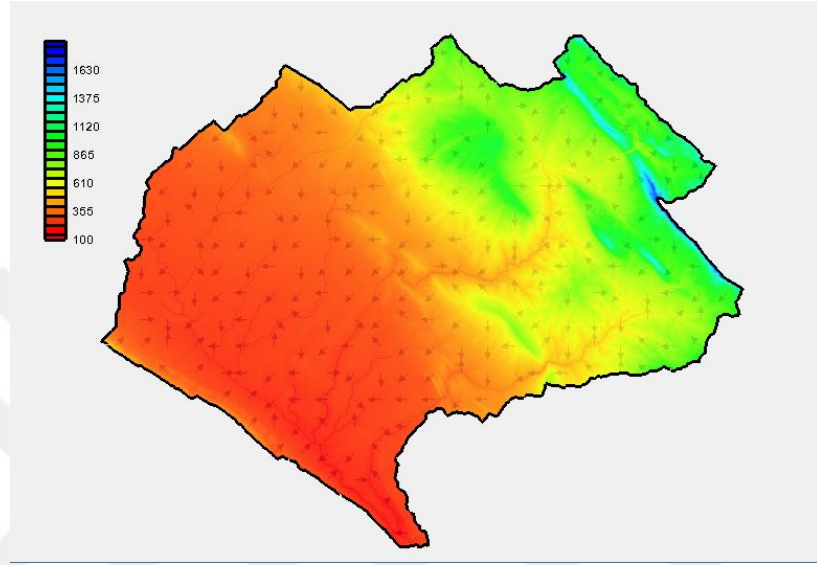
WMS 10.1 programı kullanıcılar için bir dizi sayısal yükseklik modelleri sunmaktadır. Bunlardan bazıları Amerika Birleşik Devletleri'ne özgü olmakla birlikte (10 metre çözünürlükte) program ara yüzü kullanılarak diğer dünya ülkeleri için de değişken çözünürlüklerde bir dizi sayısal yükseklik modelleri temin edilebilir.

Bu çalışmada SRTM Worldwide Elevation Data (3-arc-second resolution) haritaları 30 metre hassasiyetinde kullanılmıştır (Şekil 4.8).

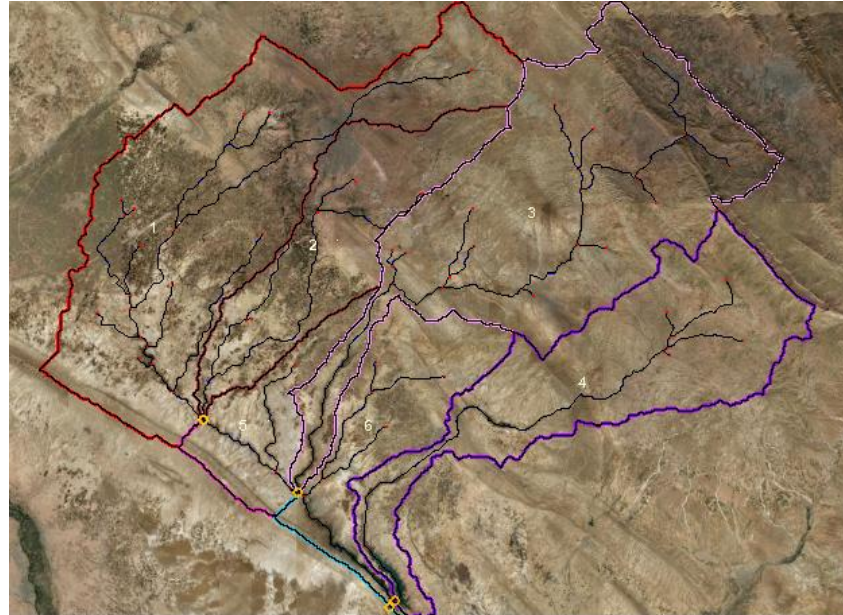


Şekil 4.8. WMS kullanarak elde edilen Al-adim Havzası için sayısal yükseklik modeli

DEM haritası elde edildikten sonra havza karakteristiklerini belirlemek amacıyla havzanın akım yönleri tespit edilmiş olup (Şekil 4.9) ana havza 6 alt havzaya bölünmüştür (Şekil 4.10).



Şekil 4.9. Al-adım Havzası için akım yönleri



Şekil 4.10. Al-adım Havzası ana akım ağları ve alt havza sınırları

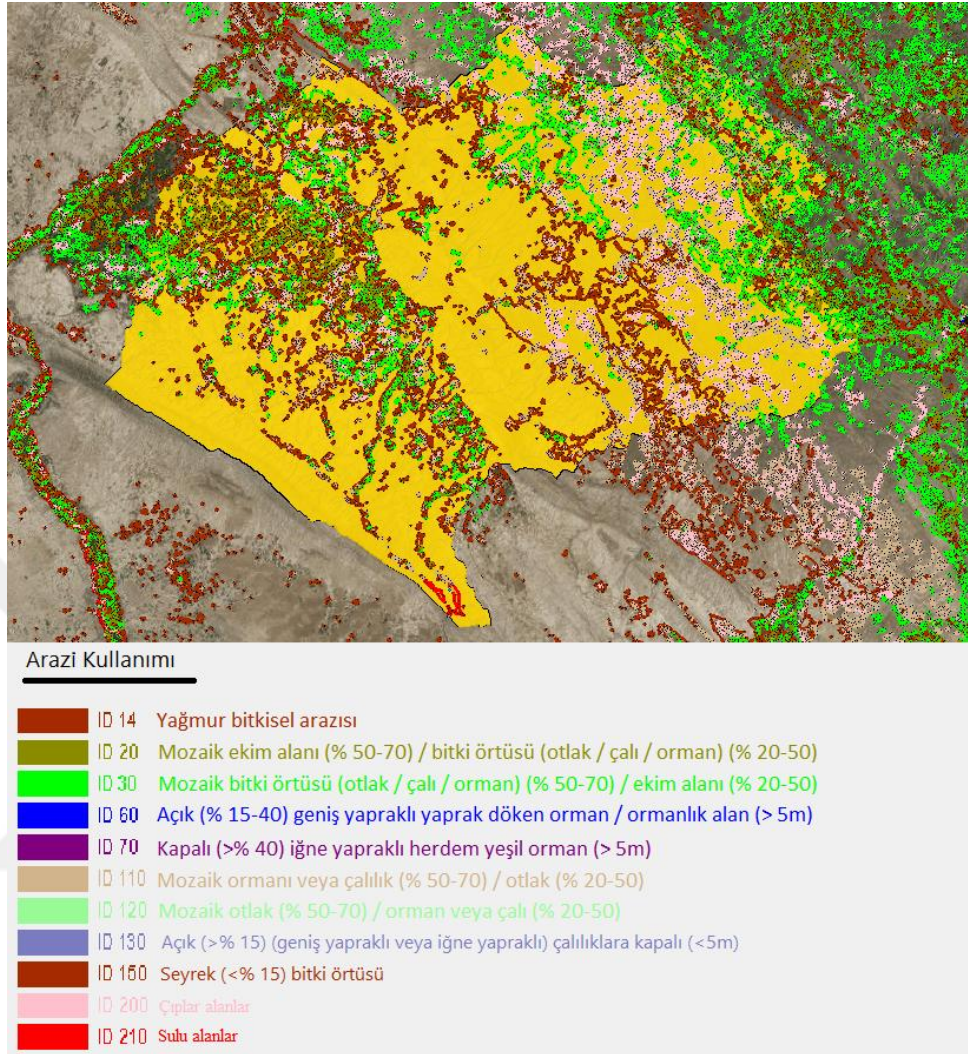
4.2.2. Arazi kullanım haritası

WMS 10.1 programı bir dizi arazi kullanımı modeli sunmaktadır. Bunlardan bazıları Amerika Birleşik Devletleri'ne özgü olmakla birlikte (Land Use Shapefile (US only)) program ara yüzü kullanılarak diğer dünya ülkeleri için global çözünürlükte haritalar da temin edilebilir. Bu çalışmada global arazi örtüsü haritalarından faydalanılmıştır.

Arazi kullanım verilerini indirilirken program tüm zona ait haritayı indirir. Bu çalışmada 38. Zona ait arazi kullanım haritası (Şekil 4.11) kullanılarak Al-adim Havzası'na ait arazi kullanım temin edilmiştir (Şekil 4.12).



Şekil 4.11. 38. zon için arazi kullanımı



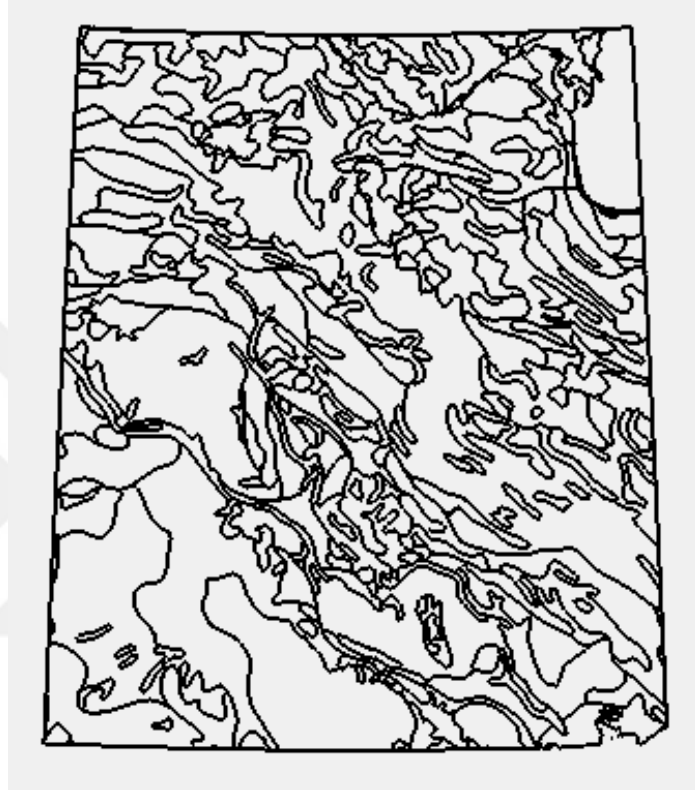
Şekil 4.12. Al-adim Havzası için tenin edilen arazi kullanımı

4.2.3. Toprak tipi (soil texture)

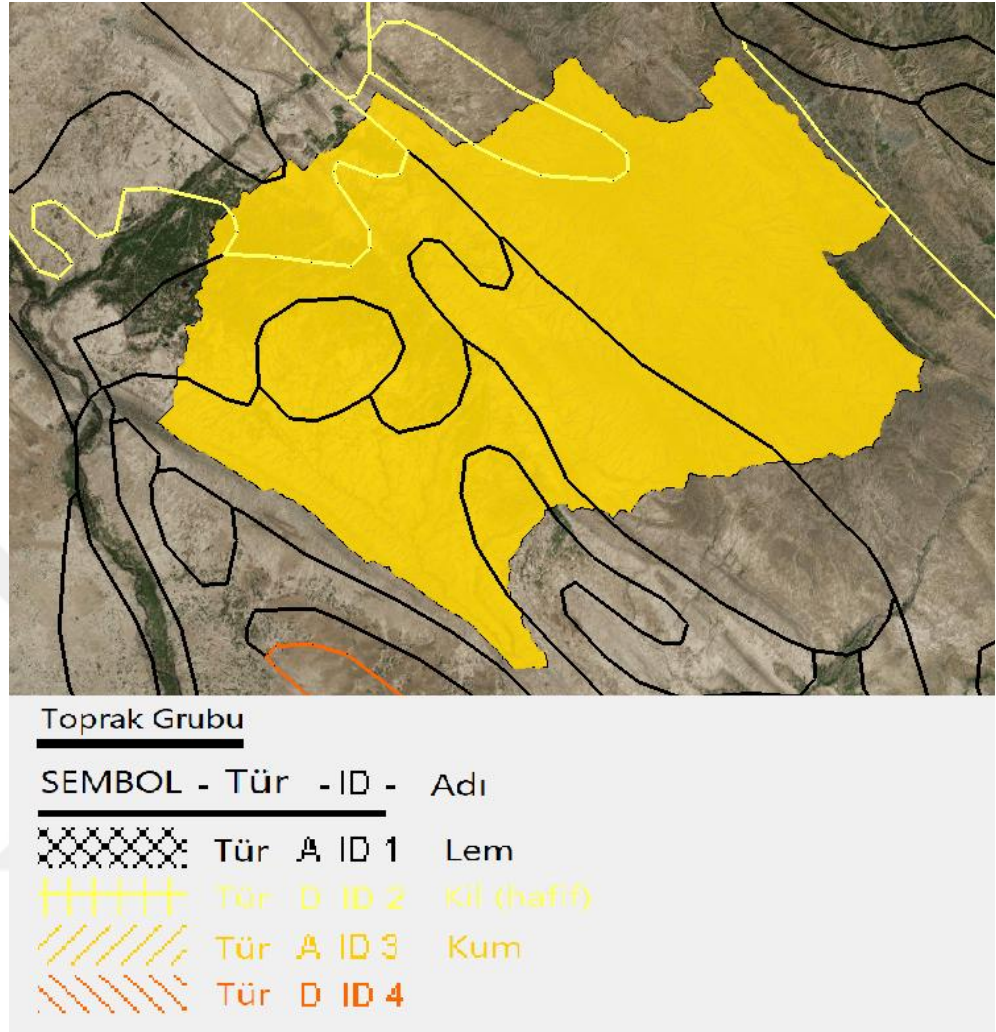
WMS 10.1 programı bir toprak tipi modeli sunmaktadır. Bunlardan bazıları Amerika Birleşik Devletleri'ne özgü olmakla birlikte (Statsgo (Soil type Shapefile(US only)) ve (Ssurgo Soil Type Shapefile (US only))) program ara yüzü kullanılarak diğer dünya ülkeleri içinde global çözünürlükte haritalar elde edilebilir.

Bu çalışmada (Hamonized World Soil Database v 1.1) haritalarından faydalanılmıştır.

Toprak tipi verileri indirilirken program tüm zona ait olan haritayı indirir. Bu çalışmada, 38. Zona ait toprak tipi haritası (Şekil 4.13) kullanılarak Al-adim Havzası'na ait harita (Şekil 4.14) elde edilmiştir.



Şekil 4.13. 38. zon için toprak tipi



Şekil 4.14. Al-adim Havzası için elde edilen toprak tipi haritası

WMS'in sağladığı en önemli avantaj, çok sayıda işlem adımını bir araya toplayarak tek bir araçta yapılandırabilmesidir. Hidrolojik toprak grubu ve arazi kullanımı/örtüsü bilgisine bağlı olarak hesaplanacak olan SCS Yüzey Akış Eğri Numarası, su tutma potansiyeli ve yüzey akışının elde edilebilmesi maksadıyla WMS programı yardımıyla hesaplanmıştır.

Toprak grubu ve arazi kullanımı/örtüsü haritaları tabakalar halinde birleştirildikten sonra Çizelge 3.7 kullanarak, CN değerleri sayısal haritada her bir noktasal konum için elde edilmiştir.

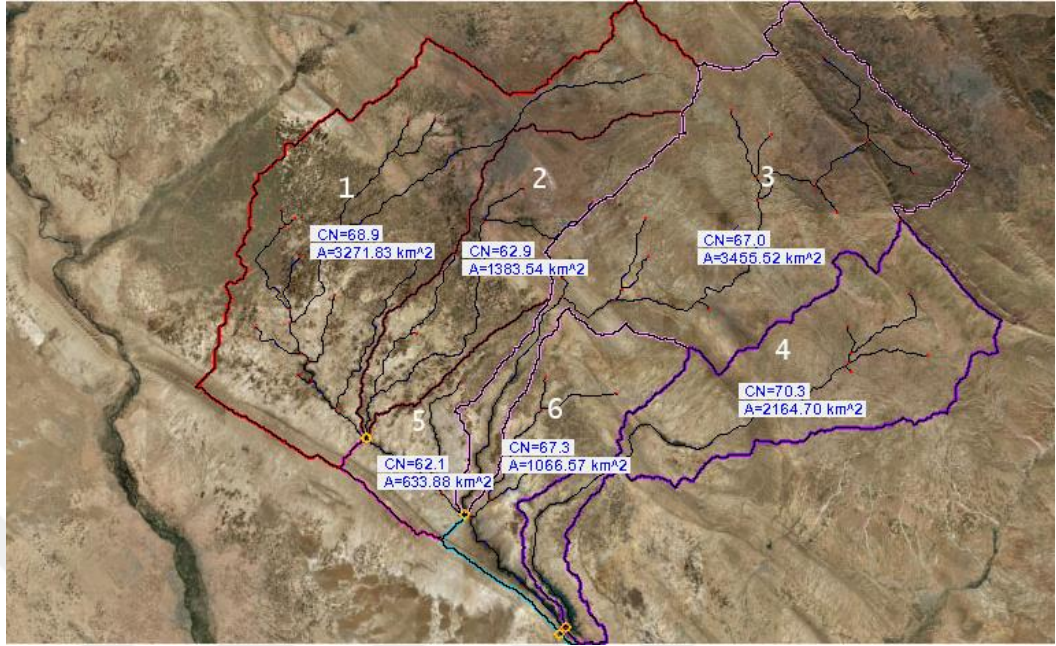
Bu noktasal değerlerden havza geneli ve tüm alt havzalar için alansal ortalaması alınmış birleşik eğri numarasını (CN) bulmak maksadıyla Denklem 3.5 kullanılmaktadır. CN elde edildikten sonra akarsu havzası için arazinin azami su tutma kapasitesi belirlenebilmektedir.

Akarsu uzunluğu ve havza eğimi (%) havza topoğrafyasından hesaplanarak geçiş süresi Denklem 3.6 kullanarak elde edilebilmektedir.

Al-adim Havzası'ndaki alt havzalarının yanı sıra tüm havza geneli için hesaplanan bazı topoğrafik özellikler Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Al-adim Havzası ve alt havzaları için hesap detayları

WMS	Alt havza NO.	Havza alanı (km ²)	Eğri numarası (CN)	S (Eğim) (m/m)	Gecikme süresi (saat)	Lo (m)	L (m)	SL (m)	Lca (m)	Sca (m)
Alt havza	1	3271	68.901	0.012	57.53	7800	152441	0.005	68241	0.001
	2	1383	62.901	0.015	50.19	9636	121446	0.007	57014	0.001
	3	3455	67.015	0.055	34.22	6517	193700	0.006	117752	0.003
	4	2164	70.333	0.046	28.7	7031	155289	0.009	100042	0.003
	5	633	62.122	0.012	34.38	5525	64207	0.003	21774	0.001
	6	1066	67.342	0.014	40.05	6819	1001350	0.005	59224	0.002
Tüm havza		11976	67.894	0.031	50.93	946	229078	0.005	105150	0.002



Şekil 4.15. Al-adim Havzası'nın alt havza hesap detayları

Bu değerleri değerlendirmek ve iç havzalarının toplam akıma etki oranını belirleyebilmek için HEC-HMS programı kullanılmıştır.

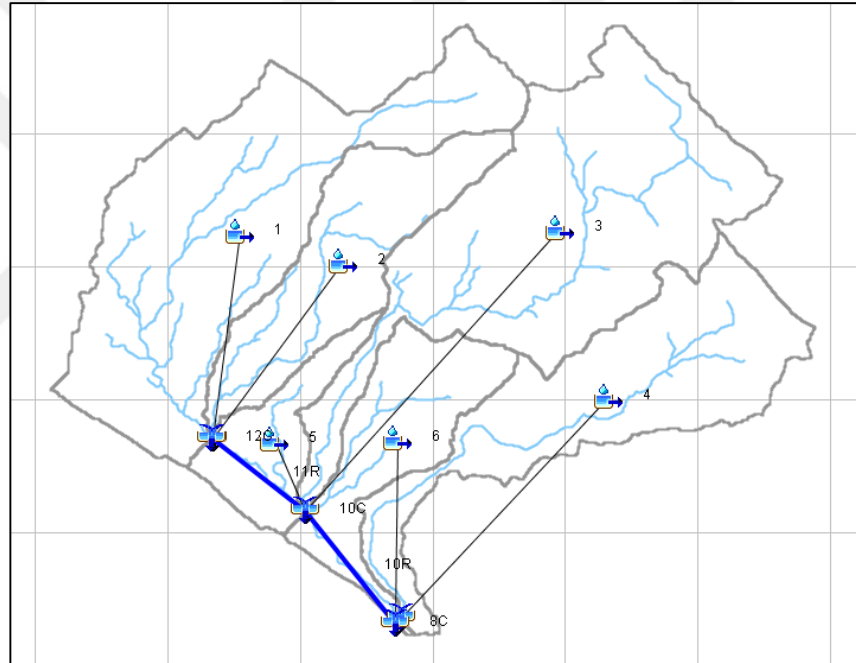
WMS programından HEC-HMS gibi diğer hidrolojik programlara veri aktarılabilmektedir. Elde edilen verileri HEC-HMS programına bağlamak amacıyla Hydrologic Modeling Module'de ve HEC-HMS listesinden "save hms file" seçeneği kullanılmıştır.

4.3. HEC-HMS

HEC-HMS'de yüzey akımının modellenmesi amacıyla (yağış-akış simülasyonları için) aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

4.3.1. Havza modeli (basin model)

HEC-HMS’de WMS’den aktarılan dosya açtıktan sonra bütün veriler (alanı, eğri numarası, havza sınırları, alt havzalar, alt havzaların sınırları, gecikme süresi) hazır olarak ortaya çıkmaktadır. Olay bazlı simülasyon çalışmaları için “SCS eğrisi numarası kaybı (CN Loss) metodu” seçilmiştir. Kullanılan yöntem ile kurulacak olan hidrolojik modelin uygulanması basit ve pratiktir, çünkü kurulan model giriş parametresi olarak sadece eğri sayısı ve geçirimsiz alan (%) gibi iki parametreye gereksinim duymaktadır (Şekil 4.16).



Şekil 4.16. HEC-HMS’da Al-adim Havzası ve alt havza sınırları

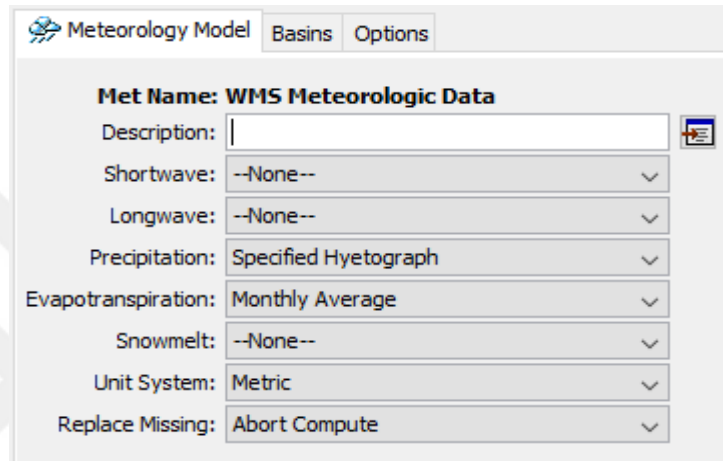
4.3.2. Meteorolojik modeller (meteorologic models)

Bu modelde meteorolojik seçenekler (yağmur, kar, buharlaşma ve terleme) ve kullanılan birim sistemi seçilir.

Modelde yağmur girdisine yönelik olarak belirlenmiş hyetograf (specified hyetograph) metodolojisi seçilmiştir.

Buharlaşma kayıpları için aylık ortalama (Monthly Averige) buharlaşma değerleri seçilmiştir.

Çalışma alanında kar yağışı gözlemlenmediği için kar erime modelleri bu çalışmaya dahil edilmemiştir (şekil 4.17).



Meteorology Model Basins Options

Met Name: WMS Meteorologic Data

Description:

Shortwave: --None--

Longwave: --None--

Precipitation: Specified Hyetograph

Evapotranspiration: Monthly Average

Snowmelt: --None--

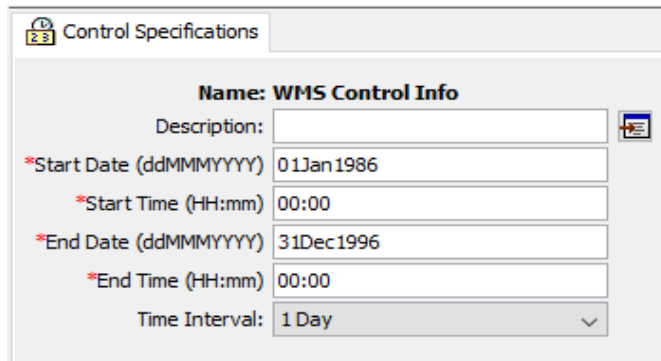
Unit System: Metric

Replace Missing: Abort Compute

şekil 4.17. Meteorolojik penceresi

4.3.3. Kontrol bilgisi (control information)

Burada simlasyonun başlangı ve bitiş tarihleri belirtilmelidir. Bu alışmada simülasyonlar 01 Ocak 1986, 00:00 – 31 Aralık 1996, 00:00 tarihleri arasında 1 günlük zaman aralığında gerekleştirilmiştir (şekil 4.18).



Control Specifications

Name: WMS Control Info

Description:

*Start Date (ddMMYYYY) 01Jan1986

*Start Time (HH:mm) 00:00

*End Date (ddMMYYYY) 31Dec1996

*End Time (HH:mm) 00:00

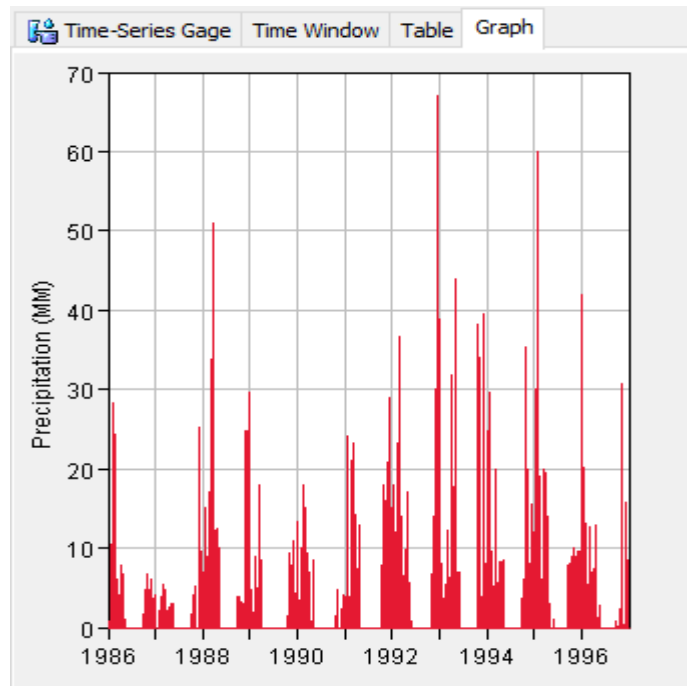
Time Interval: 1 Day

şekil 4.18. Kontrol bilgisi penceresi

4.3.4. Zaman serisi verileri (time series gage)

Yağış için modele girilecek zaman serileri günlük toplam serileri olacak şekilde (incremental millimeter) seçilmiştir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20).

Şekil 4.19. Zaman serisi verilerinin penceresi

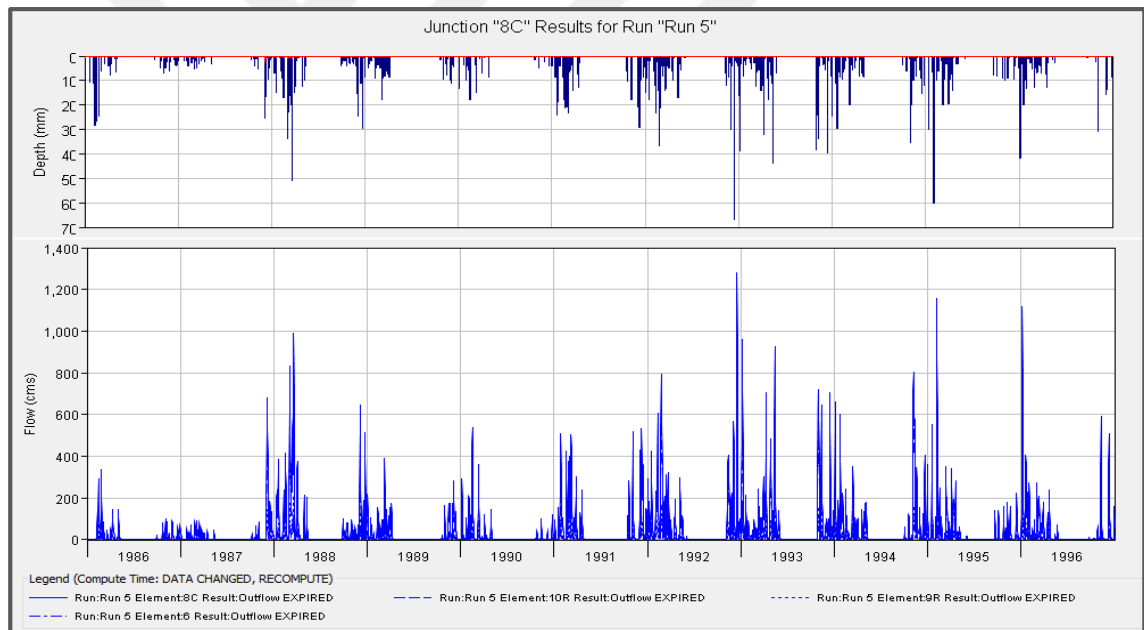


Şekil 4.20. Modelde kullanılan yağış serileri (mm/gün), Kerkük istasyonu

4.3.5. Simülasyon sonuçları (simulation run)

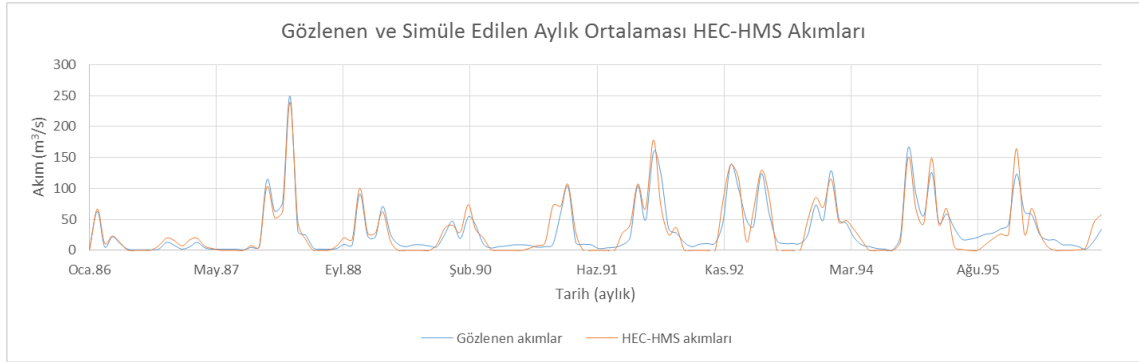
Yukarıda bahsi geçen öncelikli gereksinimler tamamladıktan sonra HEC-HMS model simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Kurulan model çatısı altında gerçekleştirilen simülasyonlar sonucunda her bir hidrolojik elemana ait birtakım model çıktıları (çıkış debisi, sızma, artık yağış, yağış kaybı, yüzeysel akış ve taban akışı) elde edilmiştir.

Şekil 4.21’de Al-adim Havzası geneli için girdi olarak kullanılan günlük yağış yükseklikleri sümile edilen günlük ortalama debi sonuçları ile sunulmuştur. İlgili sonuçların alt havza bazında elde edilen sonuçları Ek 1’de verilmiştir.



Şekil 4.21. Al-adim Havzası geneli için günlük yağış yükseklikleri ve günlük akım tahminleri

Al-adim Havzası için gözlemlenen debi değerleri aylık ortalama değerler olduğu için simüle edilen günlük debi değerlerinin aylık ortalama değerleri alınarak gözlemlenen değerler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Gözlenen ve hesaplanan akım ortalamaları (01Ocak1986 – 31Aralık1996)

4.4. MATLAB-Simulink Kullanılarak Al-Adim Barajı Hidro Elektrik Tesisi ve Rezervuarı İçin Gerçekleştirilen İşletme Çalışmaları

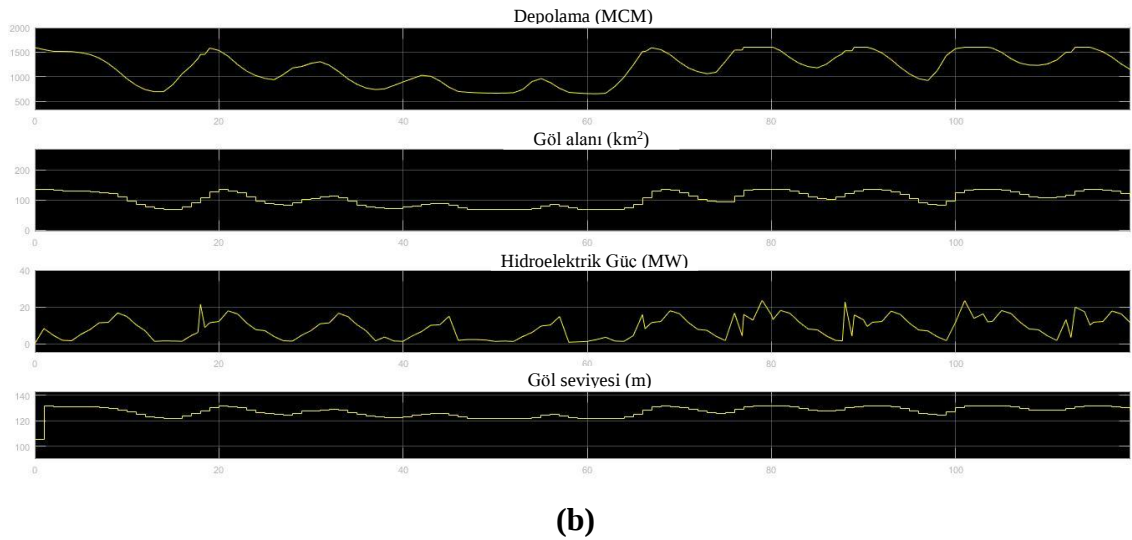
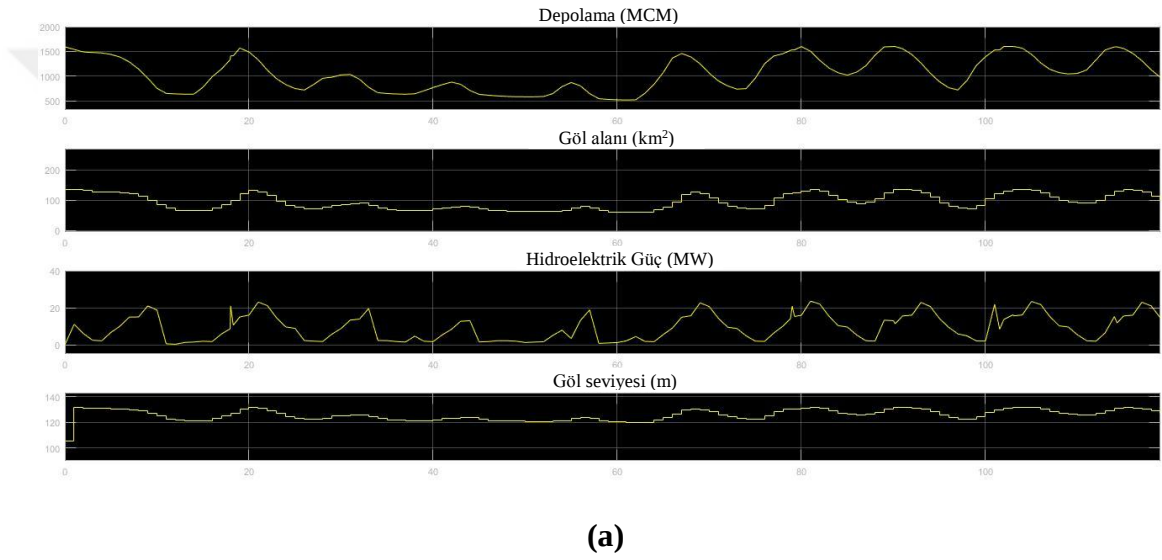
Bu çalışmada referans olarak alınan Al-okayli (2018) metodolojisinde Al-adim havzası için gerçekleştirilecek çalışmalar kapsamında bazı eksiklikler gözlenmiştir ve giderilmeye çalışılmıştır. Modelde gerçekleştirilen modifikasyonlar aşağıdaki gibidir.

- 1- Hidroelektrik giriş seviyesini rezervuardaki su seviyesi ile karşılaştırmak için bir blok eklenmelidir. Halihazırdaki ilgili model çatısı altında rezervuardaki su seviyesinin su alma ağzı seviyesinin altında olduğu durumlarda bile elektrik üretmektedir, kurulmuş olan yeni modelde bu algoritma ilgili akış şemasında yeniden düzenlenmiştir.
- 2- Mevcut model düşük su seviyelerinde çalıştırıldığında ve/veya hazne boş ise ihtiyaç debisine bağlı olarak modelde bazen negatif değerler ile karşılaşılmaktadır. Bu sorunu çözmek amacıyla Switch blokları kullanılmıştır (Şekil 4.23).

Simülasyon Modelinde (SM) aşağı arz talebi, buharlaştırma ve yağış verileri MGM'den alınan verilerin işlendiği ilgili tablolardan modele girdi olarak verilmiştir. Simülasyonlarda giriş akımları modele girilirken hesaplanan ve ölçülen akımlar ayrı ayrı kullanılarak iki farklı sonuç senaryosu oluşturulmuştur.

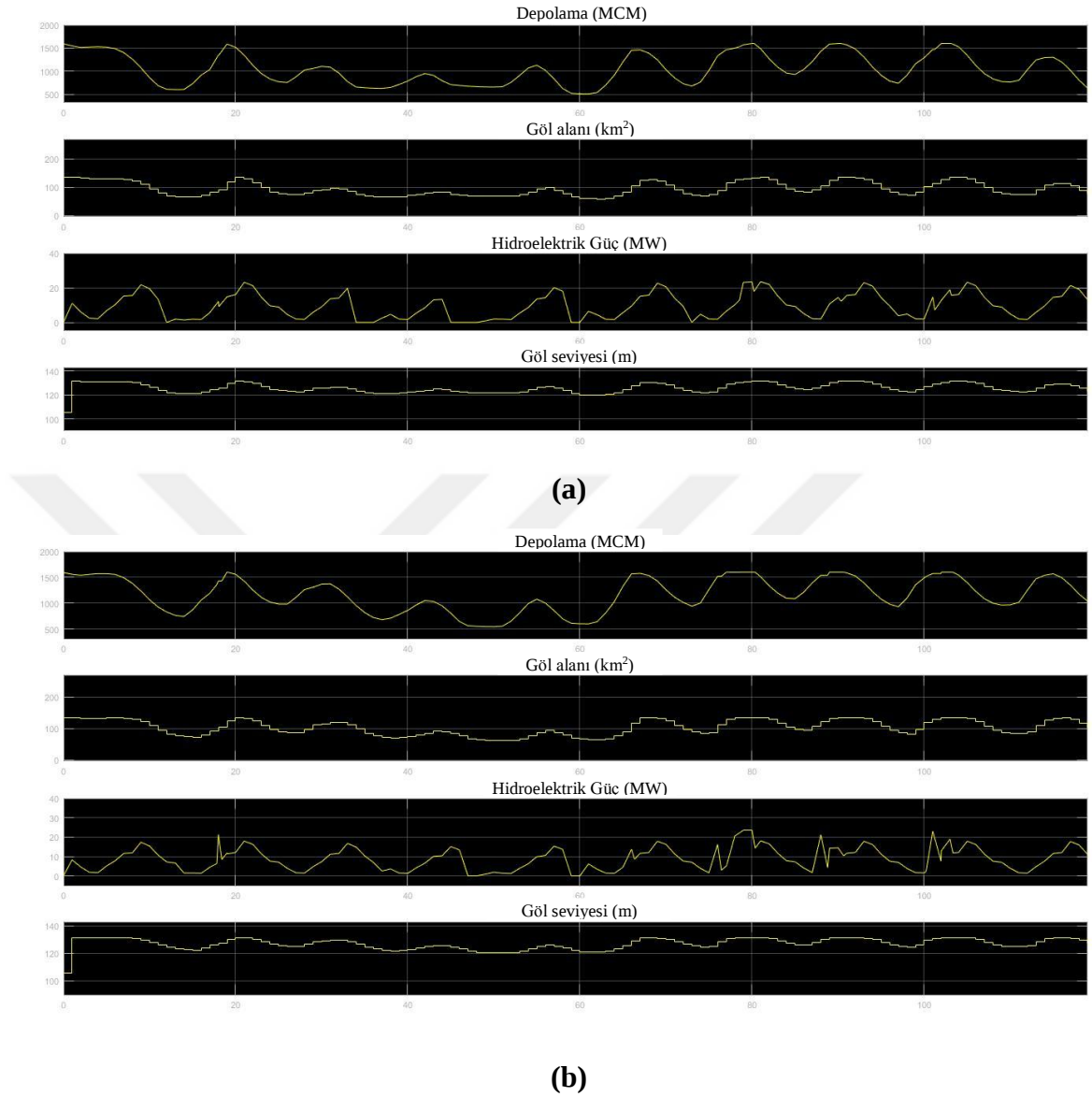
Şekil 4.24.a,b ve Şekil 4.25.a,b’de sırasıyla gözlemlenen ve HEC-HMS’de simüle edilen debi değerlerine karşın arz edilen talebin %100 ve %75’inin kullanıldığı senaryo çıktıları verilmiş olup diğer senaryo çıktıları (%90, %80 ve %70 için) Ek 2’de sunulmuştur.

Şekil 4.24.b ve Şekil 4.25.b’de gözüktüğü üzere mansap talebinin maksimum %75’inin arz edileceği senaryoda baraj rezervuar hacminin simülasyon zaman aralığında sıfır değerine ulaşmadığı sonucu elde edilmiştir.



Şekil 4.24. Kullanılarak yapılan işletme çalışmaları

a) arz edilen mansap talebinin %100’ü için **b)** arz edilen mansap talebinin %75’i için



Şekil 4.25. HEC-HMS’de simüle edilen debi değerleri kullanılarak yapılan işletme çalışmaları

a) arz edilen mansap talebinin %100’ü için **b)** arz edilen mansap talebinin %75’i için

4.5. İstatistiksel Değerlendirme

Bu çalışmada Ekim 1986’dan Eylül 1996’ya kadar geçen 120 ay boyunca Al-adim Havzası ve Al-adim Baraj rezervuarına ilişkin gözlemlenen veriler kullanılmıştır. Debi, yağış ve buharlaşma zaman serileri HEC-HMS’de günlük ölçekte kullanılmakta iken bu verilerin aylık toplam ve ortalama değerleri hesaplanmak rezervuardaki su yükselmesi ve

hidroelektrik enerji üretimi değerlerinin hesabı ve karşılaştırması için MATLAB modelinde aylık ölçekte kullanılmıştır.

Kurulan HEC-HMS hidrolojik modelinin performansını ve davranışını değerlendirmek için simülasyon çıktıları gözlemlenen değişkenlerle karşılaştırılmalıdır. Diğer taraftan her ay üretilen hidroelektrik enerji miktarı ve rezervuarda ölçülen su seviyeleri SM kullanılarak elde edilen simülasyon sonuçları ile karşılaştırılmalıdır.

Bu çalışmada kullanılan modellerin etkin ve doğru sonuçlar verdiğini göstermek için elde edilen benzetim sonuçları ile gözlenen değerler iki farklı istatistiksel yöntem uygulanarak karşılaştırılmıştır. Seçilen yöntemlerin ilki çeşitli alanlarda yaygın olarak kullanılan r^2 'dir. Diğer bir karşılaştırma yöntemi olarak da su kaynakları analizleri çerçevesinde sıklıkla kullanılan çeşitli kriterlerden biri olan Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) yönetimi kullanılmıştır. Seçilen bu iki yöntem hidrolojik model değerlendirmelerinde en yaygın olarak kullanılan dağılımlardır (Krause *et al.* 2005).

4.5.1. Belirleme katsayısı (r^2)

r^2 , iki bağımsız değişken arasındaki doğrusal korelasyon derecesini ölçmek için yapılan istatistiksel bir testtir. Değer Aralığı 0 ile 1 arasındadır ($0 \leq r^2 \leq 1$). Sıfır değeri hiç bir korelasyonu ifade etmemektedir r^2 değeri Denklem 4.1'dan hesaplanabilir. (Krause *et al.* 2005). Bu test, simüle edilen çıktının ölçülen verilerle karşılaştırılması için kullanılabilir.

$$r^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}) \cdot (e_i - \bar{e})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}} \right]^2 \quad (4.1)$$

o_i : i süresinde gözlem verisini

e_i : i süresinde model verisini

$\bar{o}$: gözlem verilerinin ortalaması

$\bar{e}$: model verilerinin ortalaması

n :değer sayısı

4.5.2. Nash Sutcliffe efficiency (NSE)

NSE, gözlemlenen ve benzetilmiş verilerin değerinin 1:1 çizgisine ne kadar uyduğunu ifade eder. Bu parametre $-\infty$ ile 1 arasında bir değer alabilir. Rakam $-\infty$ 'a doğru gittikçe model kötüleşirken, 1'e yaklaştıkça model performansı iyileşir (Nash and Sutcliffe, 1970).

Denklem 4.2'de NSE'nin hesaplanma yöntemi verilmiştir.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - e_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (4.2)$$

4.5.3. Model sonuçlarının istatistiksel değerlendirilmesi

4.5.3.a. HEC-HMS sonuçlarının değerlendirilmesi

HEC-HMS sonuçları değerlendirmek için simüle edilen günlük akım değerleri aylık ortalama değerlere dönüştürülmüş ve akım gözlem istasyonu verilerinden elde edilen aylık ortalama debi değerleri ile karşılaştırılarak r^2 ve NSE istatistiksel değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. HEC-HMS'de simüle edilen ve gözlenen akım değerlerin istatistiksel değerleri

Aylar	r^2	NSE
Ocak	0.787	0.69
Şubat	0.857	0.768
Mart	0.923	0.919
Nisan	0.931	0.906
Mayıs	0.726	0.297
Haziran	0.5006	-2.199
Temmuz	0	-1.758

Çizelge 4.2. (devam)

Ağustos	0	-1.652
Eylül	0.336	-0.366
Ekim	0.34	-0.641
Kasım	0.898	0.856
Aralık	0.886	0.886
Tam seri	0.888	0.874

*NSE grafikleri Ek 3'te sunulmuştur

İstatistiksel analizden elde edilen sonuçlar ile HEC-HMS'da gerçekleştirilen akım simülasyon modelinin yağmurlu aylarda kabul edilebilir sonuçlar verdiğini göstermektedir.

Yağış yüksekliğinin az olduğu veya kurak aylarda elde edilen sonuçları istatistiksel olarak kabul edilmez bunun sebebi olarak bu aylarda akım gözlem istasyonundan gözlenen ve oldukça düşük akım değerlerinin yer altı suyu kaynaklı olmasıdır.

4.5.3.b. Simülasyon model (SM) sonuçlarının değerlendirilmesi

SM sonuçlarının değerlendirilmesi yapılırken HEC-HMS'den elde edilen aylık akım debileri ile gözlenmiş debiler kullanılarak elde edilen SM sonuçları karşılaştırılmıştır. Böylece HEC-HMS'de kurulan model çatısı kullanılarak gelecekte elde edilecek sonuçların Al-adım Barajı rezervuar işletilmesi üzerindeki etkilerinin güvenilir sonuçlar verebileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır.

Simüle edilen ve gözlenen değerlerin SM'den elde edilen çeşitli değişkenler (baraj gölünün yüzey alanı, göl seviyesi, depolama hacmi ve hidroelektrik güç) arasındaki r^2 ve NSE istatistiksel değerlendirmeleri Çizelge 4.3'de sunulduğu gibi elde edilmiştir.

Çizelge 4.3. HEC-HMS'den elde edilen aylık akım debileri ile gözlenmiş debiler kullanılarak elde edilen SM sonuçlarının istatistiksel değerleri

No.	Değişkenler	r²	NSE
1	Göl alanı	0.9314	0.931
2	Göl seviyesi	0.9367	0.933
3	Son depolama hacmi	0.9267	0.928
4	Ortalama depolama hacmi	0.9306	0.93
5	Hidroelektrik Güç	0.9681	0.967

5. SONUÇ, TARTIŞMA ve ÖNERİLER

Bu araştırma hidrolojik çalışmalarda kullanılmak üzere GBS kullanımına dayandırılmıştır. Yağışın akışa çevrilmesi sınırlı ya da hiçbir gözlemsel veri bulunmayan gözlemlenmemiş havzalarda suyun depolanması ve yönetimi aşamalarında karşılaşılan en büyük problemlerden birisidir.

Bu çalışmada Al-adim Havzası bölgedeki ölçüm yapılmamış veya sınırlı ölçüme sahip benzer değer havzalara örnek teşkil etmesi maksadıyla olarak kullanılmıştır. Özellikle bölgede bulunan diğer havzalarda herhangi bir gözlenen ölçüm değeri bulunmamakta olup bu çalışma ile etkinliği belirlenen yöntemlerin diğer benzer havzalarda uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada girdi olarak kullanılan sayısal yükseklik haritaları ile arazi kullanımı ve toprak tipi haritaları Aquaveo Merkez Haritaları'ndan temin edilmiş olup ilgili veriler ile yeterli kalitede sonuçlar edilebildiği gösterilmiştir.

Bu çalışmada eğri numarası (SCS-CN) yöntemi kullanılmıştır. Elde edilen eğri numarası değeri/değerleri test edilmiştir. Havzaya ve alt havzalara ait bulunan genel karakteristik değerler Çizelge 5.1'de sunulmuştur. Al-adim Havzası alt havzalarının ve havza genelinin özelliklerini daha net bir şekilde göstermek amacıyla havza 6 alt havzaya bölünerek havza karakteristik değişkenleri incelenmiş ve daha sonra ayrıca tekil olarak genel havza parametreleri ortaya konulmuştur.

Çizelge 5.1. Al-adim Havzası ve alt havzaları için havza karakteristikleri

Karakteristikler	Alt havza numarası	Havza alanı (km ²)	Eğri numarası (CN)	S (Eğim) (m/m)	Gecikme süresi (saat)
Alt havzalar	1	3271	68.901	0.012	57.53
	2	1383	62.901	0.015	50.19
	3	3455	67.015	0.055	34.22
	4	2164	70.333	0.046	28.7
	5	633	62.122	0.012	34.38
	6	1066	67.342	0.014	40.05
Tüm havza		11976	67.894	0.031	50.93

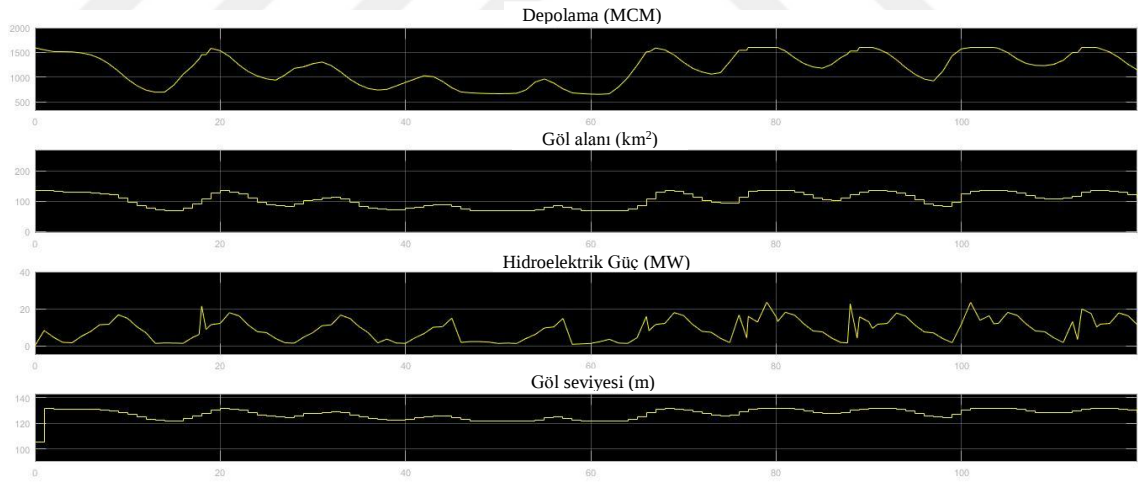
HEC-HMS model simülasyon sonuçlarını değerlendirmek için simüle edilen günlük akım değerleri aylık ortalama değerlere dönüştürülmüş ve akım gözlem istasyonu verilerinden elde edilen aylık ortalama debi değerleri ile karşılaştırılarak r^2 ve NSE istatistiksel değerlendirmeleri gerçekleştirilmiştir (Çizelge 5.2). Sonuçlardan elde edilen sıfır r^2 değerleri ile negatif NSE değerleri istatistiksel olarak kabul edilemez olmakla beraber ilgili kurak aylarda (Temmuz ve Ağustos) havzada yağış gözlenmemektedir. Bu aylarda Al-adim Nehir’i akımları çok az bir miktarda yeraltı suyundan beslenmektedir. Bu çalışmada yeraltı suyu akımlarının toplam akışa katkısının az olmasından dolayı kurulan modelde taban akışı simüle edilmemiştir. Düşük akım değerlerinin hüküm sürdüğü bu aylarda model sonuçlarında yağıştan akışa geçen su bulunmadığından ötürü sıfır r^2 değerleri gözlenirken Haziran, Eylül ve Ekim aylarında gözlenen akım değerlerinin düşük olmasından ötürü simüle edilen değerler orantısız olarak örtüşmese de bu aylardaki toplam su kütlesi göz önüne alındığında bu durumun gerek yağış-akış benzetimlerinde gerekse rezervuar işletimi esmasında önemli bir fark yaratmayacağı bellidir. Nihai olarak sonuçların istatistiksel olarak oldukça kabul edilebilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 5.2. HEC-HMS’de simüle edilen ve gözlenen akım değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi

AYLAR	r^2	NSE
Ocak	0.787	0.69
Şubat	0.857	0.768
Mart	0.923	0.919
Nisan	0.931	0.906
Mayıs	0.726	0.297
Haziran	0.5006	-2.199
Temmuz	0	-1.758
Ağustos	0	-1.652
Eylül	0.336	-0.366
Ekim	0.34	-0.641
Kasım	0.898	0.856
Aralık	0.886	0.886
Sürekli Simülasyon (Tam seri)	0.888	0.874

Bağdat'ın kuzeyinde bulunan Al-adim havzası çıkışında konumlanmış olan Al-adim Barajı sulama, taşkın koruması, enerji üretimi ve turizm amaçlarına hizmet etmek için kurulmuştur.

Al-adim Barajı rezervuar işletmesini gerçekleştirmek ve elde edilebilecek hidroelektrik enerjiyi hesaplamak amacıyla MATLAB programında bir simülasyon modeli geliştirilmiştir. Simülasyon Model sonuçlarının değerlendirilmesi yapılırken HEC-HMS'den elde edilen aylık akım debileri ile gözlenmiş debiler kullanılarak elde edilen SM sonuçları iki farklı istatistik yöntem (r^2 ve NSE) kullanılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 5.1). Böylece HEC-HMS'de kurulan model çatısı kullanılarak gelecekte elde edilecek sonuçların Al-adim Barajı rezervuar işletilmesi üzerindeki etkilerinin güvenilir sonuçlar verebileceğinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Sonuçta HEC-HMS'den elde edilen çıktıların Matlab'da kurulan simülasyon Model'e farklı alternatif hidrolojik senaryolar için girdi olarak kullanılabileceği kanaatine varılmıştır.



Şekil 5.1. Kullanılarak yapılan işletme çalışmaları arz edilen mansap talebinin %75'i için

Çizelge 5.3. HEC-HMS'den elde edilen aylık akım debileri ile gözlenmiş debiler kullanılarak elde edilen simülasyon Model sonuçlarının istatistiksel değerleri

No.	Değişkenler	r^2	NSE
1	Göl alanı	0.9314	0.931
2	Göl seviyesi	0.9367	0.933
3	Son depolama hacmi	0.9267	0.928
4	Ortalama depolama hacmi	0.9306	0.93
5	Hidroelektrik Güç	0.9681	0.967

MATLAB programında gerçekleştirilen simülasyon modelinin modifiye edilerek geliştirilmesi sonucunda nihai olarak kurulan Simülasyon Modeli'nin yarı kurak akımlardan beslenen veya kuraklık riskinin fazla olduğu küçük barajlarda matematiksel olarak karşılaşılabilecek negatif debi değerlerinin önüne geçilmiştir. Bu geliştirilmiş simülasyon modeli ile daha geniş bir yelpazede diğer baraj rezervuarları için de işletme çalışmaları gerçekleştirilebilir.

5.1. Öneriler

Bu çalışmada elde edilen bulgular sonucunda çalışma alanı ile ilgili olarak aşağıdaki önerilerde bulunulabilir.

1. Al-adım Barajı rezervuarına gelen hâlihazırdaki su miktarı ile ancak baraj mansabındaki bölgenin su talebi/ihtiyacı karşılanabilmektedir. Bu nedenle, Al-adım Havzası'nda mevcut kurulu barajların haricinde tasarlanan baraj projelerinin taşkın kontrolü veya elektrik üretimi gibi amaçların dışında su tüketecek bir amaçla kurulması halinde bu durum Al-adım Barajı'ndaki su miktarını azaltıcı yönde etki edecektir.
2. Al-adım Baraj gölünde her zaman bir miktar su bulundurmak ve kurak mevsimlere rezervuarın boşaltılmasını önlemek maksadıyla barajı rezervuarından mevcut talep edilen miktarının %75'inin verilmesi gerekmektedir.

3. Irak'ın acil elektrik ihtiyacının temiz enerji kaynakları ile karşılanması için Al-adim Barajı'ndaki hidroelektrik tesislerin inşaatı bir an önce tamamlanarak işletmeye alınmalıdır.

5.2. Çalışmanın Sınırlamaları

Havzada gelecekte yapılması planlanan farklı modelleme çalışmalarında yeraltı suyu davranışının da kurulacak olan modele dâhil edilmesi ile daha iyi debi benzetimleri elde edilebilir.



KAYNAKLAR

- Al-Aqeeli, Y. H., Abd Aziz, S., Yusuf, B., Wayayok, A. 2018. "Evaluation of Single Reservoir Performance for Flood Risk Reduction Using a Developed Simulation Model: Case Study of Makhoul Reservoir". *Pertanika Journal Of Science And Technology*, 26(2), 571–584.
- Al-Aqeeli, Y. H., Al Mohseen, K. A., Lee, T. S., & Abd Aziz, S. 2015. "Modelling Monthly Operation Policy for the Mosul Dam, Northern Iraq". *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 5(2), 179–193.
- Al-Gamdi, S. 1991. "Estimating Runoff Curve Numbers of The Soil Conservation Service in Arid And Semi-Arid Environments Using Remotely Sensed Data". A Dissertation Submitted To The Faculty Of The University Of Utah, USA.
- Anderson, M. L., Chen, Z. Q., Kavvas, M. L., and Feldman, A. 2002. "Coupling Hec-Hms with Atmospheric Models For Prediction Of Watershed Runoff", *J. Hydrologic Engineering*, American Society Of Civil Engineers (ASCE), Vol. 7, No.4, P312.
- Aqeeli, Y. H. Al, Al Mohseen, K. A. 2013. "Evaluation of Future Performance of Northern Fatha Storage System in Hydropower Generation Abstract". *Tikrit Journal of Engineering Sciences*, 4, 1–10.
- Ashish, P., Darbal, P.P., Chowdary, V.M. and Mal, B.C., 2003. "Estimation Of Runoff For Agricultural Watershed Using SCS Curve Number And Geographic Information System". <http://www.gisdevelopment.net> (3 Şubat 2011)
- Babazadeh, H., Sedghi, H., Kaveh, F. and Jahromi, H.M. 2007. "Performance Evaluation of Jiroft Storage Dam Operation Using HEC-ressim 2.0". *Eleventh International Water Technology Conference (Iwtc11)*, Egypt, 15–18.
- Bajwa, H.S., Tim, U.S. 2002. "Toward Immersive Virtual Environments for GIs-Based Floodplain Modeling and Visualization". In: *Proceedings of 22nd ESRI User Conference*, San Diego, Tx, USA.
- Baloch, M. A., Tanık, A. 2009. "Havza Modelleme: Namnam Havzası'nın Sınırlarının Belirlenmesi ve Karakterizasyonunda Basins Uygulaması". *İtÜdergisi/E Su Kirlenmesi Kontrolü*, 19(1–2), 85–97.
- Bayat, B., Mousavi, S. J., & Namin, M. M. 2011. "Optimization-Simulation for Short-Term Reservoir Operation under Flooding Conditions". *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 60(7), 434–447.
- Bayazıt, M. 1999. "Hidroloji". İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bedient, P. B., W. C., Huber, 2002, "Hydrology and Floodplain Analysis", 3rd Ed., Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ 07458.
- Beven, K. J. 2000. "Rainfall-Runoff Modelling". John Wiley and Sons Ltd.
- Bosona, T. and Gebresenbet, G. 2010. "Modeling Hydropower Plant System to Improve it's Reservoir Operation". *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, Vol. 2, No. 4, Pp.87–94.
- Chang, J., Wang, Y. and Huang, Q. 2005. "Reservoir Systems Operation Model Using Simulation and Neural Network". *IFIP – The International Federation For Information Processing*, Vol. 187, Pp.519–526.

- Chatterjee, C., Jha, R., Lohani, A.K., Kumar, R. and Singh, R., 2001. "Runoff Curve Number Estimation For A Basin Using Remote Sensing And GIs". *Asia Pacific Remote Sensing GIs Journal*, Vol.14, Pp.1-7.
- Chau, K. 2007. "An Ontology-Based Knowledge Management System for Flow and Water Quality Modeling". *Advances in Engineering Software*, Vol. 38, No. 3, Pp.172–181.
- Chen, W. and Chau, K. 2006. "Intelligent Manipulation and Calibration of Parameters for Hydrological Models". *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 28, No. 3, Pp.432–447.
- Cheng, C.T., Chau, K.W., Sun, Y.G. and Lin, J.Y. 2005. "Long-Term Prediction of Discharges in Manwan Reservoir Using Artificial Neural Network Models". *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3498, Pp.1040–1045.
- Chou, F.N., Wu, C. and Lin, C. 2006. "Simulating Multi-Reservoir Operation Rules By Network Flow Model". *Proc. Operating Reservoirs in Changing Conditions, Operations Management Conference*, Sacramento, California, USA, Pp.335–344.
- Cunderlik, J. M. and Simonovic, S. P. 2004. "Calibration, Verification and Sensitivity Analysis of the Hec-Hms Hydrologic Model", Cfcas Project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions, Project Report IV.
- D.N. Kalita. 2008. "A Study of Basin Response Using HEC-HMS and Subzone Reports of Cwc". *Proceedings of the 13th National Symposium on Hydrology*, National Institute of Hydrology, Roorkee, New Delhi.
- Daly, S. F., Davis, R., Pangburn, T., Ochs, E., Rosenthal, W., Affleck, R., Baldwin, T., Bryant, E., Hardy, J., Taylor, S., Dotson, H., Evans, T., Dunn, C., and Burham, M. 2000. "Spatially Distributed Snow Modeling For A Comprehensive Study Of The Sacramento And San Joaquin Basins", California, 57th Eastern Snow Conference, Syracuse, New York, USA.
- Elewa, H. H., Qaddah, A. A. 2011. "Groundwater Potentiality Mapping in the Sinai Peninsula, Egypt, Using Remote Sensing and GIs-Watershed-Based Modeling". *Hydrogeology Journal*, 19(3), 613–628.
- Farhan, S. T., Abdullah, T. H. 2018. "Determination the Source, Level, and Direction of Groundwater in Al Udheim Township". *Diyala Journal*, Vol. 77, Pp.71-84.
- Fattah, Mohammed Y., Al-Labban, Salama N. Y., Salman, Firas A. 2014. "Seepage Analysis of A Zoned Earth Dam by Finite Elements". *International Journal of Civil Engineering and Technology*, Vol. 5, No. 8, Pp.128-139
- Fleming, M. And Neary, V. 2004. "Continuous Hydrologic Modeling Study with the Hydrologic Modeling System", *J. Hydrologic Engineering*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 9, No. 3, P175.
- Food & Agriculture Organization. 2004. "The State Of Food insecurity in the World 2004: Monitoring Progress towards the World Food Summit and Millennium Development Goals".
- Garen, D. C., Moore, D. S. 2005. "Curve Number (Cn) Hydrology in Water Quality Modeling". *Jawra Journal of the American Water Resources Association*, 3224(03127), 377–388.
- Gleick, P. H., 1996 "Water resources. In *Encyclopedia of Climate and Weather*" ed. by S. H. Schneider, Oxford University Press, New York, vol. 2, pp.817-823.

- Gupta, R.K. and Panigrahy, S., 2008. "Predicting The Spatio- Temporal Variation Of Runoff Generation in India Using Remotely Sensed Input And Soil Conservation Service Curve Number Model". *Journal of Current Science*, Vol.95, Pp.1580-1587.
- Hokr, M., Marsyka, J. And Sotner, O. 2003. "Problems and Modelling in Forecasting Of Floods". *Proceedings of Simona 2003 Workshop*, Technical University of Liberec. [Http://Dx.Doi.Org/10.1177/0146167295216002](http://Dx.Doi.Org/10.1177/0146167295216002)
- Hu, H. H., Kreymborg, L. R., Doeing, B. J., Baron, K. S., And Jutila, S. A. 2006. "Gridded Snowmelt and Rainfall-Runoff Cwms Hydrologic Modeling of the Red River of the North Basin", *J. Hydrologic Engineering*, American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 11, No. 2, P91.
- Ishaq, M. B. 1998. "Optimum Operation Rule For Tigris-Euphrates System in Iraq", Master Thesis University Of Baghdad, Iraq
- Jr., A. T. H. 1991. "Investigation of Curve Number Procedure". *J. Hydraul. Eng.*, 117(6), 725–737.
- Khan, N. M., Babel, M. S., Tingsanchali, T., Clemente, R. S., & Luong, H. T. 2012. "Reservoir Optimization-Simulation with a Sediment Evacuation Model to Minimize Irrigation Deficits". *Water Resources Management*, 26(11), 3173–3193.
- Kim, S., Park, Y. And Kim, J. 2000. "Simulation Of The Real-Time Multiple Reservoir Operating Environment With A Multiple Reservoir Operation Optimization Model". *ASCE's 2000 Joint Conference On Water Resources Engineering And Water Resources Planning And Management*.
- Kohler, M. A., and Linsley, R. K. 1951. "Predicting Runoff from Storm Rainfall". *Res. Paper No. 34*, U.S. Weather Bureau, Washington, D.C.
- Kumar, P., Tiwari, K.N. and Pal, D.K., 1997. "Establishing SCS Runoff Curve Number from IRS Digital Database". *Journal Of Indian Society Of Remote Sensing*, Vol.19, Pp.246-251.
- Linsley, R. K., Kohler, M. A., and Paulhus, J. L. H. 1975. "Hydrology for Engineers". 2nd Ed., McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Liu, X., Guo, S., Liu, P., Chen, L., & Li, X. 2011. "Deriving Optimal Refill Rules For Multi-Purpose Reservoir Operation". *Water Resources Management*, 25(2), 431–448.
- Loucks, D. P., Van Beek, E., Stedinger, J. R., Dijkman, J. P., & Villars, M. T. 2005. "Water Resources Systems Planning and Management: A Introduction to Methods". *Models and Applications*. Paris, UNESCO.
- Malekmohammadi, B., Zahraie, B., & Kerachian, R. 2010. "A Real-Time Operation Optimization Model for Flood Management in River-Reservoir Systems". *Natural Hazards*, 53(3), 459–482.
- Mead, D. W. 1919. "Hydrology". McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Mesta, B., Kargı, P. G., İ., T., Ayvaz, M. T., Gökaş, R. K., Kentel, E., Tezel, U. 2018. "Yenigörüce Havzası'ndaki Yağış-Akış İlişkisinin HEC-HMS Hidrolojik Modeli İle Belirlenmesi". *International Symposium on Urban Water and Wastewater Management*.
- Ministry Of Water Resources (MWR), State Commission For Dams And Reservoirs, Administration For Studies And Design In Nienavah. 2010. "Hydrological Study for the Upper Adhaim Dams". Nienavah, Iraq.

- Mockus, V. 1949. "Estimation of Total (And Peak Rates of) Surface Runoff for Individual Storms". Interim Survey Report, Grand (Neosho) River Watershed, USD A Soil Conservation Service, Lincoln, Nebr.
- Mousavi, S.J., Zanoosi, A.G. and Afshar, A. 2004 "Optimization and Simulation of A Multiple Reservoir System Operation". *Journal of Water Supply: Research & Technology – Aqua*, Vol. 53, No. 6, Pp.409–424.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J.V. 1970. "River Flow Forecasting Through Conceptual Models: Part 1: A Discussion of Principles". *Journal of Hydrology*, Vol. 10, No. 3, Pp.282–290.
- Neelakantan, T. and Pundarikanthan, N. 2000. "Neural Network-Based Simulation-Optimization Model for Reservoir Operation". *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 126, No. 2, Pp.57–64.
- Ngoc, T. A., Hiramatsu, K., & Harada, M. 2014. "Optimizing The Rule Curves Of Multi-Use Reservoir Operation Using A Genetic Algorithm With A Penalty Strategy". *Paddy and Water Environment*, 12(1), 125–137.
- O'callaghan, J. F., and D. M. Mark. 1984. "The Extraction of Drainage Net- Works from Digital Elevation Data", *Comput. Vision Graphics Image Process.*, 28, 328-344.
- Özdemir, H., 1978. "Uygulamalı Taşkın Hidrolojisi". DSİ Genel Müdürlüğü Basım Ve Foto-Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Özer, Z. 1990. "Su Yapılarının Projelendirilmesinde Hidrolojik Ve Hidrolik Esaslar". (Teknik Rehber), Ankara.
- Özer, Z. 2008. "Tarımsal Altyapı Hizmetlerinde Drenaj Ve Arazi Islahı Mühendisliği". Tarım Ve Köyişleri Bakanlığı Tarım Reformu Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Öztürk, D. Batuk, F. 2011. "SCS Yüzey Akış Eğri Numarasının Uzaktan Algılama Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri İle Belirlenmesi".
- Puecker, T.K. and Douglas, D.H. 1975. "Detection of Surface-Specific Points by Local Parallel Processing Of Discrete Terrain Elevation Data". *Computer Graphics and Image Processing*, 4, 375-87.
- Rallison, R. E., And Miller, N. 1982. "Past, Present and Future SCS Runoff Procedure". *Rainfall-Runoff Relationships*, Water Resources Publications, Littleton, Colo., 353-364.
- Rani, D. and Moreira, M.M. 2010. "Simulation-Optimization Modeling: A Survey and Potential Application in Reservoir Systems Operation". *Water Resources Management*, Vol. 24, No. 6, Pp.1107–1138.
- Richaud, B., Madsen, H., Rosbjerg, D., Pedersen, C., & Ngo, L. 2011. "Real-Time Optimization of the Hoa Binh Reservoir, Vietnam". *Hydrology Research*, 42(2–3), 217–228.
- Robledo, G., Schütze, M. and Godoy, E. 2012. "Modelling and Simulation of Coupled Systems-Water and Energy-Case Study of the Water Reservoir System of the Rimac River Catchments". *Studies in Computational Intelligence*, Vol. 391, Pp.159–170.
- Rusbult, C. E., & Martz, J. M. 1995. "Remaining in an Abusive Relationship: A Investment Model Analysis of No Voluntary Dependence". *Personality and Social Psychology Bulletin*, 21(6), 558-571.
- S. Muthukrishnan, J. Harbor, K.J. Lim, A.E. Bernard. 2006. "Calibration of a Simple Rainfall-Runoff Model for Long-Term Hydrological Impact Evaluation". *Urban*

- and Regional Information Systems Association (URISA) Journal, 18 (2), Pp. 35-42.
- Salih, S. A., Kadim, L. S., & Qadir, M. 2012. "Hydrochemistry as Indicator to Select the Suitable Locations for Water Storage in Tharthar Valley, Al-Jazira Area, Iraq". *Journal of Water Resource and Protection*, 4(08), 648–656.
- Sherman, L. K. 1942. "Hydrographs of Runoff". *Physics Of The Earth*, Ix, Hydrology, O. E. Meinzer, Ed., National Research Council, Mcgraw-Hill, New York, N.Y.
- Sorman, A. 1993. "Application Of The Tr-55 Model To Storms in Arid Climate Case Study: Upper Tabalah", the Kingdom Of Saudi Arabia. *Jkau, Mete. Ennvi.*, Vol.4, Pp101-109, Jeddah.
- Srivastava, D. and Awchi, T.A. 2009. "Storage-Yield Evaluation and Operation of Mula Reservoir, India". *Journal of Water Resources Planning and Management*, Vol. 135, No. 6, Pp.414–425.
- Şen, O., Kahya, E. 2017. "Determination of Flood Risk: A Case Study in the Rainiest City of Turkey". *Environmental Modelling and Software*, 93, 296–309.
- Şengül, S. 2011. "Dağlık Havzalarda Hidrolojik Çevrime Etki Eden Parametrelerin Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Hspf Model Programıyla Incelenmesi Ve Erzurum Kırkgöze Havzası Örneği". *Atatürk Üniversitesi, Erzurum*.
- Şensoy, A., Tekeli, A. E., Şorman, A. A., Şorman, A. U. 2003. "Simulation Of Event-Based Snowmelt Runoff Hydrographs Based On Snow Depletion Curves And The Degree-Day Method", *Canadian Journal Of Remote Sensing*, 29(6): 693-700.
- Talukdar, B., Deb, D., & Srivastava, S. K. 2011. "Development of Multiobjective Reservoir Operation Model for Flood Control Benefit". In *Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress: Bearing Knowledge for Sustainability* (Pp. 3978–3989).
- Tarboton, D. G. 1997. "A New Method for the Determination of Flow Directions and Upslope Areas in Grid Digital Elevation Models". *Water Resour. Res.*, 33(2), 309–319.
- Tarımsal, Y. İ. T. 2009. "Su Toplama Havzalarının Yağış-Akım İlişkilerinde, Yüzey Akışa Etki Eden Parametrelerin Belirlenmesi Ve Farklı Yöntemlerin Örnek Havzalarda Uygulanması". *Ankara Üniversitesi, Ankara*.
- Teegavarapu, R.S. and Simonovic, S.P. 2014. "Simulation of Multiple Hydropower Reservoir Operations Using System Dynamics Approach". *Water Resources Management*, Vol. 28, No. 7, Pp.1937–1958.
- Un-Escwa & Bgr. 2013. "Inventory of Shared Water Resources in Western Asia". *United Nations Economic and Social Commission for Western Asia; Bundesanstalt Für Geowissenschaften Und Rohstoffe, Beirut*.
- Uwizeyimana, D., Mureithi, S. M., Mvuyekure, S. M., Karuku, G., Kironchi, G. 2019. "Modelling Surface Runoff Using The Soil Conservation Service-Curve Number Method in A Drought Prone Agro-Ecological Zone in Rwanda". *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 9–17.
- Vivekanandanmurugan Sivaraman, B. T. 2004. "GIS and Hydrological Modelling For the Upper Scioto River Basin". *The Ohio State University, Ohio, USA*.
- Wang, Y., Chang, J. and Huang, Q. 2010. "Simulation with Rbf Neural Network Model for Reservoir Operation Rules". *Water Resources Management*, Vol. 24, No. 11, Pp.2597–2610.

- Watershed Modeling System (WMS). 2000. "User's Manual". Boss International Inc. and Brigham Young University, Utah, USA.
- Wu, C.L., Chau, K.W., and Li, Y.S. 2009. "Predicting Monthly Streamflow Using Data-Driven Models Coupled With Data-Preprocessing Techniques". *Water Resources Research*, Vol. 45, No. 8, P.W08432.
- Wurbs, R.A. 2005. "Comparative Evaluation of Generalized River/Reservoir System Models". College Station, Texas Water Resources Institute, Technical Report No. 282, Texas.
- Wurbs, R.A. 2012. "Generalized Models Of River System Development And Management". *Texas Water Journal*, Vol. 3, No. 1, Pp.26–41.
- Yener, M. K. 2006. "Semi-Distributed Hydrologic Modeling Studies in Yuvacık Basin". Middle East Technical University, Ankara.
- Ziaei, M., Shui, L.T. and Goodarzi, E. 2012. "Optimization and Simulation Modelling For Operation of the Zayandeh Rud Reservoir". *Water International*, Vol. 37, No. 3, Pp.305–318.

ÖZGEÇMİŞ

Ali ABDULMAWJOOD, 09.09.1992 tarihinde Musul’da doğdu. İlk, Orta ve Lise öğrenimi Musul’da tamamladı. Lise öğrenimi tamamladıktan sonra 2010 yılında “University of Mosul” Mühendislik Fakültesi Barajlar ve Su Kaynakları Mühendisliği Bölümü’ne girdi. Oradan 2014 yılında mezun oldu. 2016 yılında Atatürk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Bilim Dalı’nda yüksek lisans öğrenimine başladı.

