

**ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KOYUNBABA BARAJININ HİDROLOJİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İsmael Ali MOHAMED

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ÇANKIRI
2023**

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

İsmael Ali MOHAMED tarafından hazırlanan “**Koyunbaba Barajının Hidrolojik Davranışının İncelenmesi**” adlı tez çalışması 19/07/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç. Dr. Cihan DOĞRUÖZ

Jüri Üyeleri :

Başkan : Doç. Dr. Cihan DOĞRUÖZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Salih YILMAZ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet DEMİRBİLEK
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. Hamit ALYAR

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum “**Koyunbaba Barajının Hidrolojik Davranışının İncelenmesi**” konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü’nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan “Bilimsel İntihal Tespit Programı”yla tarandığını, “intihal içermediğini” beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (28/07/2023).

İsmail Ali MOHAMED



Bu alışma ankırı Karatekin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından MF011122L22 numaralı proje ile desteklenmiştir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KOYUNBABA BARAJININ HİDROLOJİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

İsmael Ali MOHAMED

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Cihan DOĞRUÖZ

Koyunbaba Barajı, Çankırı ilinin Şabanözü ilçesinde yer alan ve sulama, evsel ve endüstriyel amaçlar için su kaynağı olarak hizmet veren bir su depolama tesisidir. Barajın su kaynağı potansiyeli, iklim değişikliği, arazi kullanım değişiklikleri ve diğer insan kaynaklı faaliyetler gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Su kaynaklarının en iyi şekilde kullanılmasını sağlamak için, barajın su mevcudiyetini doğru bir şekilde tahmin edebilecek ve su yönetimi kararlarına rehberlik edebilecek güvenilir bir hidrolojik model geliştirmek gerekmektedir. Bu çalışmada, Koyunbaba Barajı için bir hidrolojik model geliştirmek adına ArcGIS ve HEC-HMS kullanılmıştır. Çalışmada ilk adım, topografik veriler, arazi kullanım haritaları ve hidrolojik veriler de dahil olmak üzere barajın su toplama alanına ilişkin verilerin toplanmasını ve analizini içermektedir. Toplanan veriler, daha sonra ArcGIS ile bir sayısal yükseklik modeli (DEM) oluşturmak için kullanılmıştır. Bir sonraki adım ise geçmiş hidrolojik veriler kullanılarak HEC-HMS modelinin kalibrasyonunu ve doğrulanmasını içermektedir. Kalibre edilen model, kuraklık ve sel gibi farklı iklim senaryoları altında barajın su kaynağı potansiyelini simüle etmek için kullanılmıştır. Simülasyon sonucunda akışın pik zamanı, debisi ve hacim değerleri paylaşılmıştır.

2023, 96 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Hidrolojik model, Hec-hms yazılım simülasyonu, Model kalibrasyonu, ArcGIS, Su kaynağı.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

EXAMINATION OF HYDROLOGICAL BEHAVIOR OF KOYUNBABA DAM

İsmael Ali MOHAMED

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Cihan DOĞRUÖZ

Koyunbaba Dam is a water storage facility located in Şabanözü town of Çankırı city, Türkiye. The dam serves as a source of water supply for irrigation, domestic, and industrial purposes. The dam's water resource potential is subject to various factors such as climate change, land use changes, and other anthropogenic activities. In order to ensure the optimal utilization of water resources, it is necessary to develop a reliable hydrological model that can accurately predict the dam's water availability and guide water management decisions. In this study, ArcGIS and HEC-HMS were used to develop a hydrological model for Koyunbaba Dam. The first step involved collecting and analyzing data on the catchment area of the dam, including topographic data, land use maps and hydrological data. The collected data was then used to create a digital elevation model (DEM) using ArcGIS. The next step involved calibration and validation of the HEC-HMS model using historical hydrological data. The calibrated model was used to simulate the water resource potential of the dam under different climate scenarios such as drought and flood. Peak time, flow rate and volume values are given as a result of the simulation.

2023, 96 pages

Keywords: Hydrological modeling, Hec-hms software simulation, Model calibration, ArcGIS, Water resource.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

“Koyunbaba Barajının Hidrolojik Davranışının İncelenmesi” adlı bu çalışma, Çankırı Karatekin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yüksek Lisans tez çalışmamda, tüm aşamalarda beni yönlendiren, katkılarını esirgemeyen, yol gösteren, destek olan saygı değer tez danışman hocam Doç. Dr. Cihan DOĞRUÖZ’na rehberliği ve anlayışı için teşekkür ederim.

Ayrıca aileme ve arkadaşlarıma sürekli sevgi ve teşvikleri için teşekkür etmek istiyorum. Onların sarsılmaz desteği sürekli bir motivasyon kaynağı oldu ve en zorlu zamanlarda bana yardımcı oldu.

Karatekin Üniversitesi'ndeki öğretim üyelerine ve çalışanlarına destekleyici bir akademik ortam ve bu tezi tamamlamak için gerekli kaynakları sağladıkları için teşekkür ederim. Genel olarak, bu tez kolektif bir çabanın sonucudur ve başarısına katkıda bulunan herkese derinden minnettarım.

İsmael Ali MOHAMED

Çankırı, Temmuz 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1 Hidrolojik Modelleme.....	4
2.1.1 Hidrolojik modellemenin genel tanımı	5
2.1.2 Hidrolojik modellerin sınıflandırılması.....	7
2.1.3 Ampirik modeller (metrik model).....	8
2.1.4 Kavramsal yöntemler (parametrik modeller).....	9
2.1.5 Fiziksel tabanlı model.....	10
2.2 Modelleme Prosedür	11
2.3 Hidrolojik Modeli İlgili Çalışmalar	12
2.3.1 Hec – hms hidrolojik modeli ile ilgili literatür	13
2.3.2 Arcgis hidrolojik modeli ile ilgili literatür	16
2.4 Barajlar	18
2.4.1 Baraj tipinin seçimine etki eden faktörler.....	23
2.4.2 Barajların sınıflandırılması	25
3. MODEL ÇALIŞMALARI	40
3.1 Çalışma Alanı.....	40
3.2 Çalışma Verileri.....	46
3.2.1 Yağış verisi	47
3.2.2 Sıcaklık Verisi	49
3.2.3 Akım verileri	50
3.3 Havza ile İlgili Ön Çalışmalar.....	51
3.3.1 Koyunbaba barajının havzasının sınırlandırılması.....	51

3.3.2 Gis (coğrafi bilgi sistemi) yazılım	53
3.3.3 Sayısal yükseklik modeli oluşturmaı	53
3.3.4 Koyunbaba su havzası sınırlandırması.....	58
3.4 Hec – hms Modeli	62
3.4.1 Model Uygulaması	67
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	77
4.1 Çalışma Alanı İçin Hec-hms Simülasyon Sonuçları	77
4.1.1 Sub1 alt havzasının özellikleri	78
4.1.2 Sub2 alt havzasının özellikleri	79
4.1.3 Sub3 alt havzasının özellikleri	80
4.1.4 Sub4 alt havzasının özellikleri	81
4.1.5 Sub5 alt havzasının özellikleri	82
4.1.6 Çıkışdaki debi (sink-1)	83
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR	88
EKLER.....	93
ÖZGEÇMİŞ.....	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

SİMGELER DİZİNİ

dk	Dakika
hm ³	Hectometre küp
km ³	Kilometre küp
m	Metre
m ³	Metre küp
mm	Milimetre
s	Saniye
°C	Selsiyus
%	Yüzde



KISALTMALAR DİZİNİ

AGİ	Akım gözlem istasyonu
ABD	Amerika birleşik devletleri
CBS	Coğrafi bilgi sistemi
CN	Curve number
ÇYOSB	Çankırı yakinkent organize sanayi bölgesi
DSİ	Devlet su işleri
DEM	Digital elevation model
GIS	Geographic information system
HEC	Hydrologic engineering center
HMS	Hydrologic modeling system
HBV	Hydrologiska byrans vattenbalansavdelning
MGM	Meteorologie genel müdürlüğü
RMSE	Root mean squared error
SCS	Soil conservation system
SVT	Su veri tabanı
TC	Time of concentration
USACE	United states army corps of engineers
Q	Yüzey akış miktarı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Hidrolojik sistem kavramı (Bayazıt 1998)	6
Şekil 2.2 Havza temelli hidrolojik sistem (Cüceloğlu 2013).....	6
Şekil 2.3 Hidrolojik modellerin sınıflandırılması (Chow 1959).....	7
Şekil 2.4 Barajların kullanım alanları	19
Şekil 2.5 Ilusu Barajı ve HES yapıları (https://www.ekogundem.com.tr 2021)	21
Şekil 2.6 Barajın kısımlarının görünüm (https://www.sanalsantiye.com 2021).....	23
Şekil 2.7 Barajın aks yeri görünüm (DSİ 2021)	24
Şekil 2.8 Ağırlık baraj kesiti görünüm (DSİ 2021)	27
Şekil 2.9 Beton kemer baraj kesiti görünüm (DSİ 2021)	28
Şekil 2.10 Payandalı beton baraj kesiti görünüm (DSİ 2021).....	29
Şekil 2.11 Beton barajının kategorisi	30
Şekil 2.12 Ağırlıklı beton baraj kesiti görünüm (DSİ 2021).....	30
Şekil 2.13 Kemer beton baraj kesiti görünüm (https://www.suyapi.com.tr 2020)	31
Şekil 2.14 Payandalı baraj kesiti görünüm.....	32
Şekil 2.15 Toprak dolgu barajının grubları	33
Şekil 2.16 Toprak dolgu barajının görünüm (https://www.suyapi.com.tr 2020)	34
Şekil 2.17 Kaya dolgu barajının görünüm (https://www.suyapi.com.tr 2020)	35
Şekil 2.18 Homojen gövdeli barajının enkesiti (DSİ 2021).....	37
Şekil 2.19 Orta çekirdek barajının enkesiti (Devia vd. 2015)	38
Şekil 2.20 Eğimli çekirdek barajının enkesiti (Devia vd. 2015).....	39
Şekil 3.1 Çalışma alanı lokasyon haritası (ArcGIS 2023)	40
Şekil 3.2 Koyunbaba barajı ve Havza görünüm (DSİ 2021)	41
Şekil 3.3 Havza Akış Düzeni Haritası (ArcGIS 2023)	42
Şekil 3.4 Koyunbaba barajın havzası drenaj haritası (https://earth.google.com 2022) .	43
Şekil 3.5 Koyunbaba barajın kesiti (DSİ 2019).....	44
Şekil 3.6 Koyunbaba barajın diyafram duvarı (DSİ 2019).....	44
Şekil 3.7 Koyunbaba barajı tipik gövde enkesiti (DSİ 2019).....	45
Şekil 3.8 Meteorolojik gözlem istasyonu (ArcGIS 2022)	46
Şekil 3.9 1981-2011 yılları arasında ayların maksimum yağış miktarları (MGİ 2022).....	47
Şekil 3.10 1981-2011 yılları arasında Kümülatif Yağış (mm) Grafiği (MGİ 2022).....	48
Şekil 3.11 2011-2021 yılları arasında ayların maksimum yağış miktarları (MGİ 2022).....	48
Şekil 3.12 2011-2021 yılları arasında Kümülatif Yağış (mm) Grafiği (MGİ 2022).....	49
Şekil 3.13 1981-2011 Yılları Arası Sıcaklık Değerleri (°C) Grafiği (MGİ 2022).....	49
Şekil 3.14 2011-2021 Yılları Arası Sıcaklık Değerleri (°C) Grafiği (MGİ 2022).....	50
Şekil 3.15 D15A177 istasyon Fotoğrafı.....	51
Şekil 3.16 Günlük akış verileri (AGİ 2022).....	51
Şekil 3.17 GIS süreçleri için metodoloji	52
Şekil 3.18 Arc toolbox mekansal analiz araçlarında hidroloji fonksiyonları.....	54
Şekil 3.19 Çalışma alanından daha büyük arazi DEM'i görüntüsü.....	54

Şekil 3.20 Çukurları doldurma görüntüsü (fill sinks)	55
Şekil 3.21 Akış yönü rasterin görüntüsü	56
Şekil 3.22 Akış yönü birikimi görüntüsü	57
Şekil 3.23 Akma noktasının tanımlanması	58
Şekil 3.24 Arc Hydro araç çubuğu menüsü	59
Şekil 3.25 Koyunbaba baraj havzasının sınırını gösteren poligonu	59
Şekil 3.26 Maske ile özüt çubuğun kutusu.....	60
Şekil 3.27 Çıkarmış koyunbaba baraj havzası görüntüsü	60
Şekil 3.28 Akışın yönünü gösteren haritası.....	61
Şekil 3.29 Akış birikim haritası	61
Şekil 3.30 HEC – HMS yazılımı (Versiyon 4.7.1) görüntüsü	62
Şekil 3.31 HEC-HMS konsept diyagramı	63
Şekil 3.32 HEC – HMS’de oluşturulmuş alt havzalar görüntüsü (HEC-HMS 2022).....	64
Şekil 3.33 HEC – HMS’de havza modeli veri penceresi	65
Şekil 3.34 HEC – HMS’de meteorolojik model penceresi	67
Şekil 3.35 HEC – HMS’de kontrol özellikleri penceresi.....	67
Şekil 3.36 HEC - HEC yazılımında koyunbaba barajının havzasının drenaj sınırları	68
Şekil 3.37 HEC – HMS’de alt havza diyalog penceresi	68
Şekil 3.38 HEC – HMS’de alt havza kayıp yöntemi seçimi.....	69
Şekil 3.39 HEC – HMS’de alt havza dönüştürme yöntemi seçimi.....	69
Şekil 3.40 HEC – HMS’de Reach diyalog penceresi.....	70
Şekil 3.41 HEC – HMS’de alt havza yönlendirme yöntemi seçimi.....	70
Şekil 3.42 HEC-HMS’de girilmiş CN tablosu.....	72
Şekil 3.43 HEC – HMS’de loss method diyalog penceresi	72
Şekil 3.44 HEC – HMS’de alt havza özellikleri gösteren tablosu	73
Şekil 3.45 HEC – HMS’de SCS için girilmiş lag time diyalog penceresi	74
Şekil 3.46 HEC – HMS’de yağış için zaman serisi gösteren diagram.....	75
Şekil 3.47 HEC – HMS ‘de akış için zaman serisi gösteren diagrami.....	75
Şekil 3.48 HEC – HMS’de subbasin diyalog penceresi.....	76
Şekil 3.49 HEC – HMS’de subbasin diyalog penceresi.....	76
Şekil 4.1 HEC-HMS kapsamındaki çalışma alanı	77
Şekil 4.2 SUB1 alt havzasının taşkın hidrografi	79
Şekil 4.3 SUB2 alt havzasının taşkın hidrografi	80
Şekil 4.4 SUB3 alt havzasının taşkın hidrografi	81
Şekil 4.5 SUB4 alt havzasının taşkın hidrografi	82
Şekil 4.6 SUB5 alt havzasının taşkın hidrografi	83
Şekil 4.7 Çıkıştaki taşkın hidrograf.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1 Üç modelin özellikleri (Devia vd. 2015)	11
Çizelge 2.2 Ağırlık barajlarının avantajları ve dezavantajları (Devia vd. 2015)	31
Çizelge 2.3 Kemer barajlarının avantajları ve dezavantajları (Devia vd. 2015).....	32
Çizelge 2.4 Payandalı barajlarının avantajları ve dezavantajları (Devia vd. 2015)	33
Çizelge 2.5 Toprak dolgu barajlarının avantajları ve dezavantajları (Devia vd. 2015) ..	36
Çizelge 3.1 Koyunbaba barajının havzasının hidrolojik özellikleri (DSİ 2015).....	42
Çizelge 3.2 Koyunbaba barajın rezervuar özellikleri (DSİ 2015).....	43
Çizelge 3.3 Koyunbaba barajın ana gövdesi özellikleri (DSİ 2015).....	45
Çizelge 3.4 Meteoroloji istasyonunun özellikleri (AGİ 2021).....	47
Çizelge 3.5 D15A177 no.lu istasyon bilgileri.....	50
Çizelge 3.6 HEC – HMS’de hidrolojik modelleme elemanları	64
Çizelge 3.7 Hec-hms yazılımında yer alan kayıp metotları (İsmail vd. 2022).....	65
Çizelge 3.8 Hec-hms yazılımında yer alan dönüştürme yöntemi (İsmail vd. 2022)	66
Çizelge 3.9 Hec-hms yazılımında yer alan baz akım yöntemi (İsmail vd. 2022)	66
Çizelge 3.10 ArcGIS’den çıkarılmış curve number (ArcGIS 2022).....	71
Çizelge 3.11 Hesaplanmış Tc ve lag time verileri tablosu.....	74
Çizelge 4.1 Alt havzaların özellikleri.....	78
Çizelge 4.2 SUB1 alt havzası için simülasyon sonuçları	78
Çizelge 4.3 SUB2 alt havzası için simülasyon sonuçları	79
Çizelge 4.4 SUB3 alt havzası için simülasyon sonuçları	80
Çizelge 4.5 SUB4 alt havzası için simülasyon sonuçları	81
Çizelge 4.6 SUB5 alt havzası için simülasyon sonuçları	82
Çizelge 4.7 Çıkıştaki akışın simülasyon sonuçları.....	84

1. GİRİŞ

Su, canlılar için birincil yaşam kaynağıdır, ancak yönetiminde tarım için arazilerin sulanmasından insan tüketimine kadar tüm faaliyet sektörlerinde büyük bir zorluğu temsil etmektedir. Nehirlerde depolanan su, her yıl hidroelektrik barajların işletilmesinde kullanılmaktadır. Bu bağlamda mevcut su kaynaklarının daha verimli kullanılması ve çevre sorunlarının azaltılması için "barajlarda havza su kaynakları yönetimi" dünya çapında giderek daha önemli hale gelmektedir (Xiong ve Guo 1999).

Baraj, bir nehir veya akarsu üzerinde su tutmak için inşa edilmiş bir yapıdır. Barajların birçok rolü arasında bazıları hidroelektrik üretimi için kullanılmaktadır.

Karmaşıklıkları nedeniyle, barajlar özel yapılar olarak kabul edilebilir ve ayrıca farklı işlevlere atanabilecek özelliklere sahiptir. Bununla birlikte, iki ana rolü yerine getirirler: bir yandan suyun zararlı su etkilerinden (taşkın kontrolü, çökeltme ve tutma) korunmak veya su kıtlığı durumunda rücu etmek, diğer yandan nüfusun hayati ve ekonomik ihtiyaçlarını (içme suyu, sulama, enerji temini) karşılamak için su kaynaklarını depolamaktır.

Suyun zaman içinde barajdan nasıl aktığını bulmak için hidrolik çalışmalar kullanılır. Bu çalışma, yapısal zayıflıkları tahmin etmede yardımcı olabilir ve su akış hızlarında herhangi bir değişiklik olmadan kontrollü olarak yapılabilir.

Hidrolojik modelleme giderek araştırmacıların ve uygulayıcıların dikkatini çekmektedir. Matematiksel araçların ve bilgi işlem gücünün artan kullanılabilirliği, hidrolojik süreçlerin dinamiklerinin daha iyi anlaşılmasıyla birleştiğinde, son yıllarda yeni modelleme yöntemlerinin sürekli gelişmesine yol açmıştır. Diğer şeylerin yanı sıra, hidrolojik modeller, su fazlalığının veya kıtlığının her şeyden önemli olduğu çevresel ulaşım sorunlarını yanıtlamak için kullanılır (Sood vd. 2015). Çevresel tahminin doğası gereği, tek bir en iyi model yoktur.

Hidrolojik modellemenin iki temel amacı vardır, Birincisi Tahmindir: Hidrolojik modelleme, yağış, sıcaklık ve arazi kullanımı değişiklikleri gibi çeşitli girdilere karşılık olarak bir hidrolojik sistemin davranışını tahmin etmek için kullanılmaktadır. Tahminin temel amacı, su kaynakları yönetimi, taşkın tahmini ve kuraklık planlaması gibi karar verme amaçları için kullanılabilecek akış veya su mevcudiyeti gibi sistemin gelecekteki davranışını tahmin etmektedir. İkincisi ise Anlayıştır: Hidrolojik modelleme, bir hidrolojik sistem içindeki süreçlerin ve etkileşimlerin anlaşılmasını geliştirmek için de kullanılmaktadır. Sistemin nasıl çalıştığını, farklı girdilere nasıl tepki verdiğini ve nasıl daha etkili bir şekilde yönetilebileceğini anlamak temel amaçtır. Bu anlayış, daha iyi modeller geliştirmek, daha etkili yönetim stratejileri tasarlamak ve karar alma süreçlerini desteklemek için kullanılabilmektedir. Aynı zamanda, su yönetimi çalışmalarında hidrolojik modellemenin pratik hedefleri aşağıdaki gibi detaylandırılabilir:

- Su kullanılabilirliğini artırmak için gelecekteki baraj ve tesislerin planlanması, işletilmesi ve geliştirilmesi için gerekli verileri tahmin eder,
- Yağmurun su havzası ölçeğinde akmaya dönüştürülmesi simülasyonu,
- Havzalarda arazi kullanımı değişimi ve iklim değişikliği gibi değişikliklerin etkisini göstermek,
- Hidrolojik modelleme üzerine araştırma yapmanın amacı, doğal afet olarak kabul edilen kuraklık ve sel gibi hidrolojik olayları tahmin etmektir.

Son yıllarda nüfus artışı ve sanayileşme ile birlikte suya olan talep artmıştır. Bu nedenle baraj davranışı üzerine bir çalışma yararlı ve gerekli olmaktadır.

Taşkınların incelenmesi su bilimi alanında giderek artan bir ilgi görünmektedir. Tepe akışının tahmini, barajdaki taşkınları önlemek için barajın yardımcı çalışmalarının hassas bir şekilde boyutlaştırılmasını sağlamaktadır.

Su yönetimi uygulamalarının tüm bileşenlerinin temelini oluşturan hidrolojik modelleme analizlerinin karar destek sistemlerinin ayrılmaz bir parçası olduğunu belirtmek önemlidir. Karar vericilere bilimsel destek sağlayan hidrolojik modeller, senaryoya dayalı

tahminleri kullanarak mevcut finansman durumunu ve sorunların çözümünün tutması ve sertleştirmesine hedefli tedbirlerin alınmasında mühim yer tutmaktadır (Uğurluoğlu 2017).

Hidrolojik çalışmadan elde edilen veriler su miktar yönetimi modellerin yararlanmasıyla ile tamamlanabilmektedir. Bu kapsamda gereksinim modelleme yaklaşımları farklı yaklaşımlarla geliştirilmekte, günümüzde kazanılan teknoloji, bilgi ve deneyim nedeniyle sürekli yeni yaklaşımlar geliştirilmektedir.



2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1 Hidrolojik Modelleme

Hidroloji, Dünya'nın sularını, kaynağını, gezegenimizdeki hareketini ve dağılımını, fiziksel ve kimyasal özelliklerini, fiziksel ve biyolojik çevreyle etkileşimlerini ve insan etkinlikleri üzerindeki etkilerini inceleyen bilim dalıdır. Dünya'nın suyunu, varlığını, dolaşımını ve dağılımını, kimyasal ve fiziksel özelliklerini ve canlılarla ilişkisi de dahil olmak üzere çevreye tepkisini ele almaktadır (Ray 1975). Ayrıca hidrolojik döngünün her aşamasında suyun çevre ile ilişkisini ele alandır. Ormansızlaşma, arazi örtüsü değişimi, sulama dahil olmak üzere kentleşme ve hızlı sanayileşme nedeniyle hidrolojik sistemlerde çeşitli değişiklikler meydana geldi. İnsanoğlu yaşamının ana unsuru olan suyun kalitesi ve miktarının ile ilgili çalışmaların ve araştırmaların yapılması esastır. Suyu sosyal, kültürel ve ekonomik unsurların uyumu içinde değerlendirerek kontrollü bir şekilde yönetmek mümkündür. Bu yüzden hidrolojik kompozisyon, özellikle yerel ölçekte önemli ekonomik ve ekolojik değere sahiptir.

İklim değişikliği sürecine ek olarak, toprak heterojenliği de dünyadaki birçok nehrin akışı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Bu varyasyonların keşfedilebilmesi için farklı hidrolojik olgular ve hidrolojik döngü derinlemesine incelenmelidir.

Günümüzde dünya genelinde hidroloji ve su kaynaklarının iklim ve toprak özelliklerinden nasıl etkilendiğini değerlendirmeyi amaçlayan çeşitli hidrolojik modeller mevcuttur. Her modelin kendine özgü özellikleri vardır ve yağış, hava sıcaklığı, toprak özellikleri, topografya, bitki örtüsü, hidrojeoloji ve diğer fiziksel parametreler gibi verileri kullanmaktadır. Bu modeller karmaşık olmakla birlikte, büyük havzalara uygulanabilmektedir (Devi vd. 2015).

Hidrolojik model, belirli bir alandaki belirli bir sorunu çözebilmek için geliştirilmiştir. Ancak, bu modellerin kullanımı çeşitli mekansal ve zamansal kısıtlamalarla sınırlandırılmaktadır (Ogden vd. 2001). Ayrıca, hidrolojik modeller, bir su havzasının

çıkışındaki yağış nedeniyle akış bileşenlerinin (örneğin, yüzeysel akışı, yeraltı akışı ve taban akışı) simülasyonlarını hesaplayan modellerdir. Bazı hidrolojik modeller sürekli çalışarak akım zaman serileri oluşturabilirken bazıları yağış olayını işleyebilir bir çıkış hidrografi verebilmektedirler.

Hidrolojik modeller;

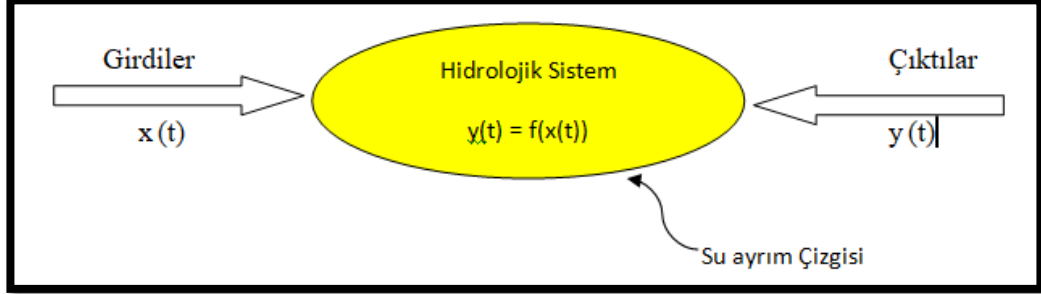
- Su kaynakları yönetimini iyileştirmek için gerekli olan hidrolojik unsurların etki mekanizmasını anlaşılması,
- Depolama tesislerinin işletilmesi, planlanması ve geliştirilmesinde geleceğe yönelik temel verileri tahmin edilmesi,
- Arazi kullanım değişikliklerini tespit edilmesi, taşkınları, kuraklıkları tahmin etmek, toprak nemi, jeomorfoloji ve hidrolik yapıları tahmin edilmesi,
- Meteoroloji ve hidrolojinin birlikte çalışılmasıyla evrensel iklim modelleri elde edilmesi amacıyla kullanılmaktadırlar (Wheater vd. 2007).

Dünya çapında hidrolojik modelleme yönetimi üzerine birçok kapsamlı çalışma yapılmıştır ve bu çalışmaların sonuçları hidrolojik modellemenin iki nedenden dolayı gerekli olduğunu göstermektedir. Birincisi ağların işleyişinin ve süreç mekanizmalarının nasıl tanımlandığı ve açıklandığı, ikincisi ise modellenen sistemin senaryolara göre tepkisini tahmin etmek için su döngüsü ile ilgili süreçleri tahmin etmektir (Dhami vd. 2013).

2.1.1 Hidrolojik modellemenin genel tanımı

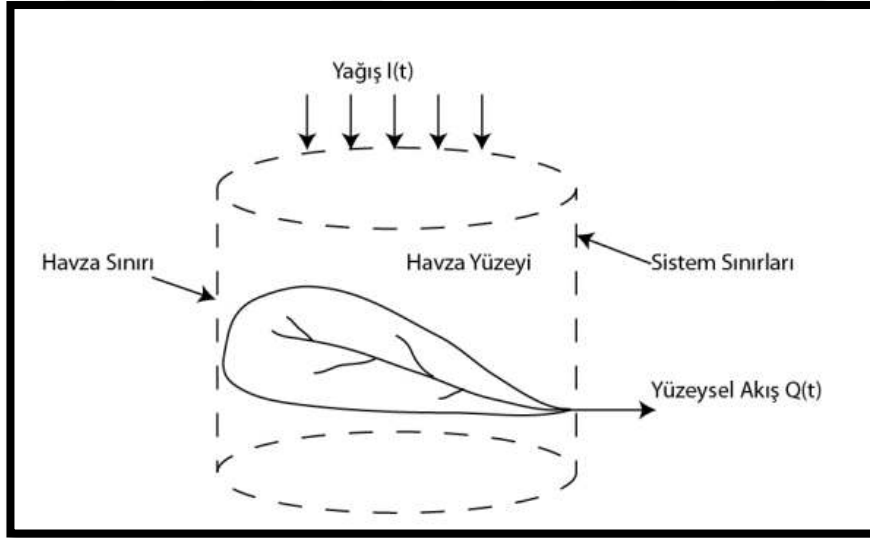
Hidrolojik modelleme, dünyada meydana gelen hidrolojik süreçleri fizik kanunlarını uygulayarak basitleştiren matematiksel modeller oluşturmayı içermektedir. Model oluşturma, belirli varsayımlarda bulunarak ve ardından model sonuçlarını gerçek ölçümlerle karşılaştırarak yapılmaktadır (Cüceloğlu 2013).

Şekil 2.1 gösterdiği gibi hidrolojik sistemde üç ana bileşen vardır. Bunlar girdiler, hidrolojik sistem ve çıktılar olarak gruplandırılmaktadır.



Şekil 2.1 Hidrolojik sistem kavramı (Bayazıt 1998)

Mühendislik hidrolojisi açısından hidrolojik çevrim, bir takım biriktirme sistemleri (hazneler) ile bunların arasındaki girdi-çıkı ilişkileri şeklinde gösterilebilmektedir (Bayazıt, 1998). Şekil 2.2’de Biriktirme sistemleri ve bunlar arasındaki ilişkiler gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Havza temelli hidrolojik sistem (Cüceloğlu 2013)

Modelleme çalışmalarında dönüşüm fonksiyonu, hidrolojik olayın matematiksel temsidir. Hidrolojik sistemi etkileyen çeşitli bileşenler ve bunların sistemi bir bütün

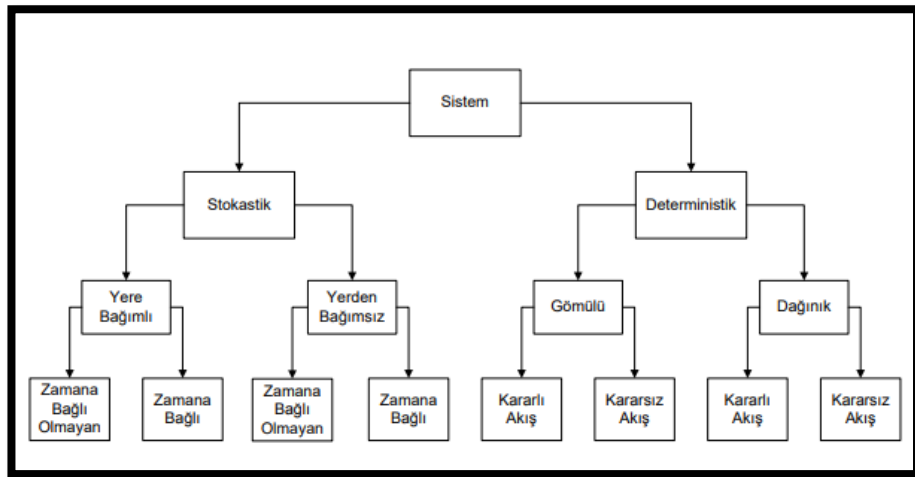
olarak nasıl etkelediği dikkate alınarak oluşturulur. Böylece dönüşüm fonksiyonu, bu bileşenlerin sistem üzerindeki birleşik etkilerini yansıtmaktadır (Çelik 2005).

Matematiksel modeller, mühendislik problemlerinde gerçekte olanı yansıtmak ve ileri bilgisayar teknolojisini kullanarak çözümler sunmak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, modelleme mühendislik sorunlarını çözerken en güçlü araçtır. Hidrolojik modeller, teknolojiye son gelişmeler nedeniyle daha gerçekçi çözümler sunar. Hidrolojik modeller çok benefiktir, ancak gerçekte hidrolojik modellerin çoğunda birçok parametre vardır ve bu parametreler iyi simülasyon için ayarlanmalıdır (Keskin 2007).

2.1.2 Hidrolojik modellerin sınıflandırılması

Hidrolojikte kullanılan Modeller çeşitli şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Hidrolojik sistem, kimyasal, fiziksel, biyolojik vb. Süreçlerin etkisi altında aşağı akış girdi bileşenlerini anal çıktı bileşenlerine dönüştüren bir dizi örnek modeldir. Genel halleriyle fiziksel ve kuramsal modeller olmak üzere ikiye ayrılırlarmaktadırlar (Chow 1959).

Şekil 2.3'de Hidrolojik modellerin fiziksel ve kuramsal modellere sınıflandığı göstermektedir.



Şekil 2.3 Hidrolojik modellerin sınıflandırılması (Chow 1959)

Fiziksel tabanlı modeller, ilgili fiziksel süreçlerin ayrıntılı bir temsiliyi kullanarak hidrolojik sistemi simüle etmektedir. Geliştirmek ve çalıştırmak için daha fazla veri ve hesaplama kaynağı gerektirirler, ancak sistemin davranışının daha doğru bir temsiliyi sağlayabilmektedirler.

Kuramsal modellerde ise mevcut sistemlerin matematiksel olarak ifade edilmektedir. Model sistemin girdileri ve çıktıları arasında bağ kuran denklemler ile tanımlanır. Bu girdiler ve çıktılar arasındaki ilişkiler zamanın ve yerin birer fonksiyonu olabilmektedirler ayrıca Bu değişkenler olasılıksal ve rastgele olup zamana ve yerin bir fonksiyonu olarak sabit değerler ile değil olasılık dağılımlara göre değişebilmektedir (Cüceloğlu 2013).

Diğer bir sınıflandırma ise zaman faktörüne dayalı statik ve dinamik modellerdir. Statik model zamanı hariç tutarken, dinamik model zamanı içerir. (Soooshian vd. 2008), modelleri olay tabanlı ve sürekli modeller olarak sınıflandırmışlardır. Birincisi yalnızca belirli zaman dilimleri için çıktı üretirken, ikincisi sürekli bir çıktı üretmektedir.

En önemli sınıflandırmalardan biri ampirik model, kavramsal modeller ve fiziksel temelli modellerdir.

2.1.3 Ampirik modeller (metrik model)

Ampirik modeller, hidrolojik sistemi simüle etmek için girdi ve çıktı değişkenleri arasındaki istatistiksel ilişkileri kullanan bir hidrolojik model türüdür. Genellikle basit ve hesaplama açısından verimlidirler, bu da onları verilerin sınırlı olduğu veya hızlı bir analize ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanışlı hale getirmektedir.

Ampirik modeller tipik olarak yağış, sıcaklık ve toprak nemi gibi girdi değişkenlerinin akarsu akışı veya yeraltı suyu şarjı gibi çıktı değişkenleriyle ilişkilendirildiği regresyon analizine dayanır. Bu ilişkiler geçmiş verilerden türetilir ve ortaya çıkan denklemler gelecekteki hidrolojik koşullar hakkında tahminler yapmak için kullanılabilir.

Ampirik modellerin bir sınırlaması, hidrolojik sistemi yöneten fiziksel süreçleri açıkça temsil etmemeleridir. Bunun yerine, farklı iklim veya arazi kullanım koşulları altında geçerli olmayabilecek istatistiksel ilişkilere dayanırlar. Bu nedenle, ampirik modeller, sistemin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için genellikle kavramsal veya fiziksel tabanlı modeller gibi diğer modelleme yaklaşımlarıyla birlikte kullanılmaktadır.

2.1.4 Kavramsal yöntemler (parametrik modeller)

Parametrik modeller olarak da bilinen kavramsal yöntemler, sistemin davranışını simüle etmek için hidrolojik süreçlerin basitleştirilmiş temsillerini kullanan bir hidrolojik model türüdür. Bu modeller bir dizi ampirik ilişki ve varsayıma dayanır ve sistemin davranışına ilişkin genel bir anlayış elde etmek için kullanışlıdır.

Kavramsal modeller tipik olarak hidrolojik sistemi yağış, evapotranspirasyon, toprak nemi ve yüzey akışı gibi farklı bileşenlere ayırır. Her bileşen, model çıktısının gözlemlenen verilerle eşleşmesini sağlamak için gözlemlenen verilere dayalı olarak kalibre edilen bir dizi parametre ile temsil edilmektedir.

Kavramsal modellerin bir avantajı nispeten basit olmaları ve fiziksel tabanlı modellere kıyasla daha az veri girdisi gerektirmeleridir. Bu da onları verilerin sınırlı olduğu veya hızlı bir analize ihtiyaç duyulduğu durumlarda kullanışlı kılar. Ayrıca, farklı yönetim senaryolarının hidrolojik sistem üzerindeki etkisini değerlendirmek için de kullanılabilirler.

Bununla birlikte, kavramsal modeller hidrolojik süreçlerin basitleştirilmiş temsiliyle sınırlıdır ve sistemin tüm karmaşıklığını yakalayamayabilirler. Bu nedenle, hidrolojik sistemin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için genellikle fiziksel tabanlı modeller veya ampirik modeller gibi diğer modelleme yaklaşımlarıyla birlikte kullanılmaktadırlar.

2.1.5 Fiziksel tabanlı model

Fiziksel tabanlı modeller, hidrolojik sistemde yer alan fiziksel süreçlerin ayrıntılı bir temsilini kullanan bir hidrolojik model türüdür. Bu modeller, sistemin davranışını simüle etmek için temel fizik yasalarına ve kütle ve enerji korunumu ilkelerine dayanır.

Fiziksel tabanlı modeller, hidrolojik sistemi doğru bir şekilde temsil etmek için tipik olarak topografya, toprak özellikleri, arazi kullanımı ve meteorolojik veriler gibi büyük miktarda veri girdisi gerektirir. Model denklemleri, infiltrasyon, evapotranspirasyon, toprak nemi hareketi ve akarsu akışı üretimi gibi ilgili fiziksel süreçlerin matematiksel temsillerine dayanmaktadır (Abbott vd. 1986).

Fiziksel tabanlı modellerin bir avantajı, hidrolojik sistemin farklı bileşenleri arasındaki karmaşık etkileşimleri yakalayabilmeleri ve genellikle ampirik veya kavramsal modellerden daha doğru olmalarıdır. Ayrıca arazi kullanımı ve iklim değişikliğinin hidrolojik sistem üzerindeki etkisini tahmin etmek için de kullanışlıdır.

Bununla birlikte, fiziksel temelli modeller genellikle hesaplama açısından yoğundur ve önemli miktarda veri ve parametrelendirme gerektirir. Ayrıca girdi verileri ve model parametrelerindeki hatalara karşı da hassas olabilirler. Bu nedenle, hidrolojik sistemin daha kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını sağlamak için genellikle kavramsal modeller veya ampirik modeller gibi diğer modelleme yaklaşımlarıyla birlikte kullanılırlar. SHE/MIKESHE modeli bir örnektir.

Çizelge 2.1’de hidrolojide kullanılan üç modelin avantajlarını göstermektedir. Bu tabloda, işlevsel bir hidrolojik modelin modellenmesinde kullanılan farklı yöntemlere genel bir bakış sunmaktadır. Bu modeller arasında en kullanışlı olanı, çalışmamızda kullanılan HEC-HMS modelini içeren kavramsal modeldir.

Çizelge 2.1 Üç modelin özellikleri (Devia vd. 2015)

Ampirik model	Kavramsal model	Fiziksel tabanlı model
Veri tabanlı veya metrik veya kara kutu modeli	Parametrik veya gri kutu modeli	Mekanik veya beyaz kutu modeli
Matematiksel denklemleri kullanması, mevcut zaman serilerinden değer elde etmesi	Rezervuarların modellenmesine dayalıdır ve fiziksel bir temele sahip yarı deneysel denklemleri içerir.	Mekansal dağılıma dayalı olarak, Fiziksel özellikleri tanımlayan parametrelerin değerlendirilmesi
Sistem özelliklerinin ve süreçlerinin çok az dikkate alınması	Parametreler, saha verilerinden ve kalibrasyondan türetilir.	Modelin başlangıç durumu ve havza morfolojisi hakkında veri gerektir.
Yüksek tahmin gücü, düşük açıklama derinliği	Basit ve bilgisayar kodunda kolayca uygulanabilir	Karmaşık model. İnsan uzmanlığı ve hesaplama yeteneği gerektirir.
Diğer havzalara üretilemez	Büyük hidrolojik ve meteorolojik veriler gerektirir	Ölçekle ilgili sorunlardan muzdarip
ANN, birim hidrograf	HBV modeli, TOPMODEL	SHE veya MIKESHE modeli, SWAT
Verilen etki alanının sınırları içinde geçerlidir	Kalibrasyon, fiziksel yorumlamayı zorlaştıran eğri uydurma içerir	Çok çeşitli durumlar için geçerlidir

2.2 Modelleme Prosedür

Kavramsal yağış akışı modellemesinin kullanımı için çeşitli modelleme prosedürleri vardır. Prosedürler duruma göre değişebilir. Bir hidrolojik model uygulamasında bir dizi adımdan oluşan bir prosedür, modelleme protokolü olarak kabul edilmektedir

Modelleme sürecindeki ilk adım, model uygulamasının amacını tanımlamak ve matematiksel ifadeler ve mantıksal ifadelerle kullanıcının anahtar hidrolojik süreç algısının kavramsal modelini tanımlamaktır. Algısal model, farklı koşullar altında yağmur yağışı nedeniyle oluşan havza tepkisinin algılarının yazlık halidir. Tüm hidrolojik modeller, çeşitli girdi ve durum değişkenlerini içeren denklemler içermektedir. Su toplama alanının geometrisi ile ilgili girdiler, simülasyonun belirli periyodu boyunca sabit kalmaktadır. Simülasyonlar sırasında zaman değişkeni sınır koşullarını tanımlayan diğer girdi parametreleri türleri, modelleme sürecinde değişebilmektedir.

Genel olarak model kalibrasyonu, performans kriterlerinde belirtilen doğruluk aralığı içinde farklı koşullardaki havzanın tepkisini yeniden üretmek için belirli bir modelin

manipölasyonu sürecidir. Bu genellikle parametrelerin deneme yanılma ile ayarlanmasıyla yapılmaktadır. Modelin validasyonu, kalibrasyonunun aynı parametreleri kullanılarak tahmin edilen değerle gözlemlenen değerin kontrol edilmesidir. Model, performans kriterlerinde belirtilen kabul edilebilir sınırlar içinde kriterleri karşılıyorsa doğrulanmış olduğu söylenmektedir.

2.3 Hidrolojik Modeli İlgili Çalışmalar

Modeller, hidrolojik süreçlerin incelenmesi ve modern antropojenik faktörlerin hidrolojik sistem üzerindeki etkisi için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Son yıllarda, çeşitli hidrolojik ve iklimsel uygulamaları kolaylaştırmak için birçok model geliştirilmiştir. Çoğu uygulamada iki tür hidrolojik model: düz oranlı kavramsal modeller ve fizik tabanlı modlar kullanılmaktadır (Ranit vd. 2014)

Su havzalarının yönetimi, özellikle baraj ve köprülerin geliştirilmesi ile ilgili sorunların tanımlanması ve çözümü, sellerin sonuçlarının tahmin edilmesi, düşük su seviyeleri ve taşkınlar hakkında mükemmel bir bilgi gerektirir. Bu vizyonda, bir havza ölçeğinde bir akış hesaplama modelinin ve su tahmininin kullanılması zorunlu hale gelmektedir. Bir modelin ilgisi, modellenen nesne hakkında kendimize sorduğumuz sorulara "yeterli" bir cevap verme yeteneğinde yatmaktadır, bu da bizi modele atanan nesneye geri getirir ve bu da elbette modelin tasarımını ve inşasını yönlendirmesi ve gerekmektedir. Genellikle modeller tahmin, ön belirleme (proje verilerinin değerlendirilmesi), verilerin yeniden yapılandırılması veya ekstrapolasyonu vb. için kullanılmaktadır.

Literatürde hidroloji veya su kaynakları ile ilgili çok sayıda soru, her model belirli bir alanla ilgilenen modellerin sayısında önemli bir artışa yol açmaktadır. Model türleri ve çalışma şekilleri de bu evrim tarafından değiştirilmiştir. Bu nedenle multidisipliner çalışmaya bu alanda daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmanın literatür taraması şunları içermektedir: hidrolojik modellemenin özü, hidrolojik modelleme için dikkate alınması gereken ilkeler ve son olarak literatürde yaygın olarak kullanılan ArcGIS ve HEC-HMS modellerinin basit açıklamasıdır.

2.3.1 Hec – hms hidrolojik modeli ile ilgili literatür

HEC-HMS hidrolojik modeli, ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin (USACE) Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından geliştirilmiştir. Deterministik ve kavramsal hidrolojik model HEC-HMS (Hidrolojik Modelleme Sistemi) uzun zamandır belirli bir olayın simülasyonuna uygulanan bir model olmuştur. Son versiyonlar, farklı evapotranspirasyon, toprak nemi ve kar birikimi / eritme işlemlerinin hesaplama modüllerinin entegrasyonu sayesinde uzun bir süre boyunca sürekli simüle etmeyi mümkün kılmaktadır.

Bu yazılım, kentsel drenaj çalışmaları, taşkın tahmini, rezervuar tasarımı ve taşkın etkilerinin azaltılması gibi çeşitli amaçlar için taşkın hidrogramlarının hesaplanmasını mümkün kılar. HEC-HMS kapsamında geliştirilen model modülleri, dört temel hidrolojik: Yağış, akış hacmi, doğrudan akış ve yeraltı akışlarının hesaplanması için modeller işlemin desteklenmesini sağlamaktadır. Modelin potansiyeli, büyük nehir havzalarının su dengesi, taşkın hidrolojisi ve küçük kentsel veya doğal havzalardan gelen akışın tahmini için uygulamaları içermektedir (US Army Corps of Engineers 2008).

Modeller, hidrolojik süreçlerin incelenmesi ve modern antropojenik faktörlerin hidrolojik sistem üzerindeki etkisi için vazgeçilmez bir araç haline gelmiştir. Son yıllarda, çeşitli hidrolojik ve iklimsel uygulamaları kolaylaştırmak için birçok model geliştirilmiştir. Çoğu uygulamada iki tür hidrolojik model kullanılır: düz oranlı kavramsal modeller ve fizik tabanlı modlar kullanılmaktadır. Hidrolojik bir model, bir sistem kavramına dayanan karmaşık gerçeğin bir yaklaşımını temsil eder. Bir sistem, karmaşık bir bütün oluşturan etkileşimli veya birbirine bağımlı bileşenler kümesidir. Hidrolojik hidrolojik sistemin analizinin genel amacı, sistemin işleyişini incelemek ve çıktısını tahmin etmektir (Ranit vd. 2014).

Wang vd. (2016), tarafından yürütülen HEC-HMS Kullanarak Yarı Kurak Bir Bölgede Hidrolojik Modelleme çalışmasında, HEC-HMS modelinin güvenilirliğini ve verimliliğini değerlendirmek için 1978'den 2007'ye kadar kuzeybatı Çin'deki Hailiutu havzasındaki akış simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Akış simülasyonu, HEC GeoHMS ve

HEC-HMS'ye ithal edilen ArcHydro araçlarından CBS tarafından üretilen su havzalarının özellikleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Model, 15 yıllık veriler (1978-2007) kullanılarak hem manuel hem de otomatik olarak kalibre edilmiştir. Çalışma, kullanılan modelin geçersizliğine yol açan kalibrasyon sonucundan memnuniyetsizlik göstermiştir.

Yavuz vd. (2012), tarafından yapılmış çalışmada YUVACIK baraj rezervuarının yönetiminde karar yardımı olarak hizmet etmek üzere HEC-HEM hidrolojik modelinin bir tasarımı uygulanmıştır.

Derdour vd. (2017), HEC- HMS modelini kullanarak Ain Sefra havzasının yarı kurak bölgesinde yağış-akış simülasyonu yapmıştır. Çalışmada, meteorolojik model için frekans fırtınası kullanılmış, kayıp oranını hesaplamak için Soil Conservation Service (SCS) eğri numarası seçilmiş ve akış oranını simüle etmek için SCS birim hidrograf yöntemi uygulanmıştır. Kalibrasyon ve doğrulama çalışmalarından sonra, simüle edilen pik deşarjların gözlenen değerlere çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Xuefeng Chu vd. (2009), Mona Gölü havzasında HEC-HMS kullanarak hidrolojik modelleme üzerine bir vaka çalışması yayınlamıştır. Bu modelleme sisteminin hem sürekli hem de olay odaklı hidrolojik modelleme için nasıl kullanılabileceğine odaklanmışlardır. Çalışmalarında, olay modelini kalibre etmek ve doğrulamak için dört yağış olayının seçildiği batı Michigan'daki Mona Gölü havzasını analiz etmişlerdir. Model parametreleri belirlendikten sonra, bunları sürekli bir hidrolojik model geliştirmek için kullanmışlardır. Bu teknik not, HEC-HMS'nin uygulanması ve çalışmanın sonuçları hakkında daha fazla ayrıntı sunmaktadır.

Reshma vd. (2012), tarafından temsil edilen makalede, deneysel bir havza için HEC-HMS modelini kullanarak olay tabanlı akış simülasyonu açıklanmaktadır.

Bu çalışmada, ABD'nin Arizona eyaletindeki Walnut Gulch havzasındaki akış sürecini simüle etmek için Hidrolojik Mühendislik Merkezi-Hidrolojik Modelleme Sistemi (HEC-HMS) kullanılmıştır. Belirli bir yağış olayı için doğru akışın tahmin edilmesinin, çeşitli

etkileyen faktörlerden dolayı zor bir görev olduğu belirtilmektedir. Havza ve su kaynakları çalışmalarında akış simülasyonu için çeşitli bilgisayarlı hidrolojik modeller geliştirilmiştir. HEC-HMS modeli, Walnut Gulch havzası alt havzasındaki yedi yağış olayı için uygulanmıştır. Model, dört yağış olayı için kalibre edilmiş ve üç yağış olayı için doğrulanmıştır. Sonuçlara dayanarak, HEC-HMS modelinin çeşitli yağış olayları için akış simülasyonu için tatmin edici bir şekilde çalıştığı gözlenmiştir.

Tramblay (2012), yönetimini iyileştirmek amacıyla Makhazine barajında gelen sellerin nicel tahmini için HEC-HMS modelini kullanmıştır. HEC-HMS modelinin, baraj gibi hidrolik yapıların davranışını modellemeyi mümkün kıldığını açıklanmıştır. HEC-HMS modelinde, Makhazine barajı, bir çıkışı ve depolanan su miktarını simüle etmeyi sağlayan bir rezervuarla temsil edilmiştir. Dolusavağın yükseklik/alan, yükseklik/hacim ve yükseklik/deşarjı ilişkisine göre çıkışın hesaplanabilmesi için barajın özellikleri modele girilmiştir. Taşkınlar sırasında yağışların, özellikle de mekansal dağılımının daha iyi bilinmesinin modelin performansını artırabileceği sonucuna varmıştır.

Oleyiblo ve Li (2009), Çin'deki Misai ve Wan'an su havzaları için DEM ve yağış verilerine dayanarak bir HEC-HMS modeli oluşturmuş. Bu model sel tahmininde başarıyla kullanılmıştır.

Choudhari vd. (2014), HEC-HMS modelini geliştirmiş ve model geliştirme süreci için kalibre edilebilecek ve optimize edilebilecek parametreleri belirtmiştir. Balijore Nala havzası, Odisha, Hindistan'ı kullandılar. Akış analizinde RMSE uygulaması başarılı bir şekilde yapılmış ve denklemler sağlanmıştır.

Abushandi ve Merkel (2013), HEC-HMS kullanarak Ürdün'de 800 metre yükseklik farkına sahip kurak bir bölge için bir yağmur akışı modeli yaratmış. Akış hızı, gözlemlenen akış hızı ile simüle edilen akış hızı karşılaştırılarak analiz edildi. Nash-Sutcliffe modelinin verimlilik katsayısı, gözlemlenen akış hızı ile simüle edilen akış hızı arasındaki uyumun kalitesini ölçmek için kullanılmıştır.

Ali vd. (2019), üst Aras havzası çalışmasında HEC-HEM modeli ile HBV modeli arasında karşılaştırmalı bir çalışma yürütmüştür. HEC-HMS modelinin kalibrasyon ve doğrulama kriterleri için benzer değerler verdiği, HBV modelinin ise daha başarılı bir kalibrasyon ancak biraz daha düşük doğrulama sonuçları verdiği tespit edilmiştir.

2.3.2 Arcgis hidrolojik modeli ile ilgili literatür

ArcGIS, Esri tarafından geliştirilen güçlü bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımıdır ve son yıllarda hidrolojik modellemede giderek daha fazla kullanılmaktadır. yazılım, yağış, evapotranspirasyon, infiltrasyon, yüzey akışı ve yeraltı suyu recharge gibi karmaşık hidrolojik süreçlerin analizine olanak tanıyan bir dizi araç ve teknik sunmaktadır. . Model, birçok ülkede hidrolojik tahmin için standart bir yöntemdir, tasarım çalışmaları ve hidrolojik bir araştırma aracı olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda, su kalitesinin modellenmesinde, besin taşımıcılığında ve küresel ısınma etkisi çalışmalarında kullanılmıştır.

ArcGIS modelinin temel prensipleri şunlardır:

- Model sağlam bilime dayanmalıdır.
- Çoğu alanda veri taleplerine cevap vermek mümkün olmalıdır.
- Karmaşıklığı performansı ile gerekçelendirilmelidir
- Uygun şekilde doğrulanmalıdır
- Kullanıcı modeli anlayabilmelidir (Şorman 2005)

ArcGIS'in sıklıkla kullanıldığı alanlardan biri de taşkın modellemesidir. Çalışmalar, taşkın riskini analiz etmek (Ahiablame vd. 2017), taşkın su baskınlarını modellemek (Zhang vd. 2019) ve iklim değişikliğinin taşkın sıklığı ve yoğunluğu üzerindeki etkilerini simüle etmek (Mekonnen vd. 2018) için ArcGIS'i kullanmıştır. Ayrıca ArcGIS, sellerin mekansal dağılımını analiz etmek (Gonzalez vd. 2017), farklı sel yönetim stratejilerinin etkinliğini değerlendirmek (Sun vd. 2018) ve sel tehlikesi bölgelerini haritalamak (Shahid vd. 2018) için kullanılmıştır.

ArcGIS'in kapsamlı uygulama alanı bulduğu bir diğer alan da havza modellemesidir. Çalışmalar, havzaların hidrolojik tepkisini modellemek (Liu vd. 2019), arazi kullanım değişikliğinin su kaynakları üzerindeki etkilerini değerlendirmek (Feng vd. 2017) ve farklı toprak koruma önlemlerinin etkinliğini değerlendirmek (Bao vd. 2018) için ArcGIS'i kullanmıştır.

Öte yandan ArcGIS, havza özelliklerinin mekânsal ve zamansal değişkenliğini haritalamak ve analiz etmek (Li vd. 2020), iklim değişikliğinin hidrolojik süreçler üzerindeki etkilerini simüle etmek (Yang vd. 2018) ve gelecekteki arazi kullanım senaryolarının su kaynakları üzerindeki potansiyel etkilerini değerlendirmek (Wang vd. 2019) için kullanılmıştır.

Son olarak, ArcGIS yeraltı suyu modellemesinde de kullanılmıştır. Çalışmalar, yeraltı suyu kaynaklarının mekansal dağılımını haritalamak (Zhou vd. 2018), arazi kullanım değişikliğinin yeraltı suyu şarjı üzerindeki etkilerini incelemek (Zhang vd. 2020) ve yeraltı suyundaki kirleticilerin taşınımını ve kaderini modellemek (Al-Shabeeb vd. 2020) için ArcGIS'i kullanmıştır. Ayrıca ArcGIS, yeraltı suyu modellerini geliştirmek ve doğrulamak (Qiu vd. 2017), yeraltı suyu şarjı için uygun alanları belirlemek (Ren vd. 2019) ve iklim değişikliğinin yeraltı suyu kaynakları üzerindeki etkilerini simüle etmek (Gao vd. 2018) için kullanılmıştır.

Bayabil vd. (2017), ölçülmemiş bir havza için hidrolojik bir modeli parametrelendirmek ve doğrulamak için uzaktan algılama ve ArcGIS verilerini kullanmıştır. Modelin iyi performans gösterdiğini ve güvenilir sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Nas ve Berktaş (2018) iklim değişikliğinin Büyük Menderes Nehir Havzası'ndaki su kaynakları üzerindeki etkilerini değerlendirmek için SWAT modelini kullanmıştır. CBS verilerinin modelin kalibrasyonu ve doğrulanması için gerekli olduğunu tespit etmiştir.

Sonuç olarak ArcGIS, taşkın modellemesi, havza modellemesi ve yeraltı suyu modellemesi de dahil olmak üzere farklı alanlarda geniş uygulamalar bulan hidrolojik modelleme için güçlü bir araçtır. Burada sunulan örnekler, ArcGIS'in hidrolojik

bilimlerde araştırma ve karar verme süreçlerine katkıda bulunma potansiyelini göstermekte ve kullanımının gelecekte de artmaya devam edeceğini ortaya koymaktadır.

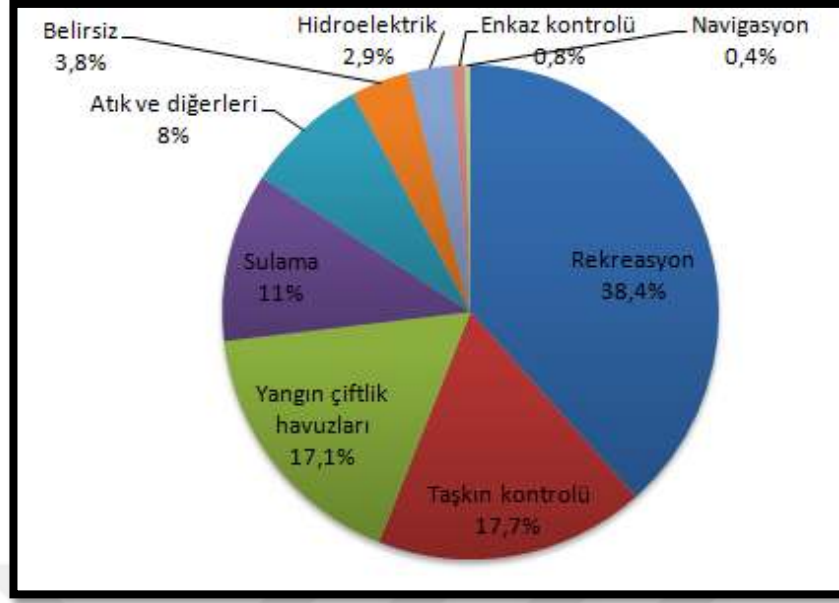
2.4 Barajlar

Barajlar ve su kontrolü modern toplumun önemli bir parçasıdır. Bu yapılar, fabrikaları beslemekten mahsulleri sulamaya ve doğal kaynakları yönetmeye kadar her şeye katkıda bulunur. Barajların nasıl çalıştığını, ne için kullanıldıklarını ve günlük yaşam üzerindeki etkilerini anlamak için farklı türlerin neler olduğunu anlamak çok önemlidir. Barajların birçok farklı kullanımı vardır, ancak hepsinin ortak bir yanı vardır: suyu kontrol etme yeteneği.

Barajların faydaları şunlardır:

1. Tüketim için su temini
2. Sulama ve sanayi
3. Taşkın kontrolü
4. Rekreasyon ve navigasyon

Şekil 2.4’de barajların en kullanan alanları rekreasyon ve taşkın kontrolü olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.4 Barajların kullanım alanları

Ayrıca barajlar çok çeşitli ekonomik, çevresel ve sosyal faydalar sağlamaktadır.

Avantajları şunlardır:

- Su depolama (yangın ve çiftlik havuzları)

Barajlar, endüstriyel ve tarım da dahil olmak üzere birçok kullanım için su sağlayan rezervuarlar oluşturmak için kullanılmaktadır.

- Sulama

Barajlardaki suyun çoğu sulama için kullanılmaktadır. Ekili arazilerin çoğu, barajların arkasında depolanan su ile sulanmaktadır.

- Elektrik üretimi

Hidroelektrik, küresel ısınmaya, hava kirliliğine, asit yağmurlarına veya ozon tabakasının inceltilmesine katkıda bulunmadığı için barajlardan temiz bir kaynak olarak kabul edilmektedir.

- Faaliyet avantajlarından biridir

Barajlar, tekne gezintisi, kayak, kampçılık, piknik alanları ve tekne fırlatma tesisleri gibi birinci sınıf rekreasyon tesisleri sağlamaktadır.

- Taşkın kontrolü

Barajlar, çiftçilere yardım etmenin yanı sıra sel kaynaklı insan ve maddi kayıpların önlenmesine de yardımcı olmaktadır. Sel kontrol barajları sel sularını tutar ve daha sonra kontrol altında barajın altındaki nehre bırakır veya suyu başka kullanımlar için depolar yönlendirmektedir.

- Enkaz kontrolü

Bazı durumlarda, barajlar, özellikle tehlikeli maddeleri ve zararlı tortuları tutarak daha iyi çevre koruması sağlamaktadır.

- İç navigasyon

Barajlar ve kilitler, istikrarlı bir içteki nehir taşıma sistemi sağlamaktadır.

Aynı zamanda, barajlar aşağıdaki dolaylı faydaları da temsil etmektedir:

1. Su birikmesi nedeniyle iklim üzerinde olumlu etki
2. Su üzerinde ulaşım araçları sağlamak

3. Su ürünleri üretimi, özellikle balıkçılığın geliştirilmesi
4. Baraj gölü kıyılarında rekreasyon olanakları sağlamak
5. Vahşi avcılığın gelişmesini sağlamak
6. Aktif nüfusun istihdam ve işsizliğine olumlu etkisi
7. Ulusal güvenliğe olumlu etki
8. Su kalitesini ve kirliliğini kontrol edilmek ve
9. Su sporları yapmak için bir fırsat olarak değerlendirilebilir.

Şekil 2.5’de DSI tarafından inşaa edilmiş ilusu barajı ve 'in göstermektedir.



Şekil 2.5 İlus barajı ve hes yapıları (<https://www.ekogundem.com.tr> 2021)

Barajların kısımları:

1. Baraj gövdesi: Bütün vadiyi kapatarak yapay bir göl olumasını sağlar. Genellikle beton veya dolgu malzemesinden inşa edilen sabit bir yapıdır.
2. Baraj gölü: Baraj gövdesinin arkasında suyun depolandığı vadi kısmıdır. Baraj gölü, ölü hacim, faydalı hazne hacmi ve taşkın koruma hacminden oluşur.
3. Su alma yapısı: Baraj gölünde toplanan suyun alınmasını sağlayan yapıdır.
4. Dip savak: Gerektiğinde baraj gölünü tamamen boşaltmak, dolusavak debisini azaltmak, akarsu mansabına bırakılması gerekli miktarda suyu vermek için kullanılır.
5. Dolu savak: Taşkın sularının mansaba aktarılmasını sağlayan yapıdır.
6. Derivasyon tesisleri: Bir derivasyon sistemi baraj inşaatının kuru bir ortamda yapılmasını sağlar. Suyun inşaat alanına girmesini önleyen batardolardan ve suyun mansaba aktarılmasını sağlayan açık veya kapalı iletim tesislerinden oluşur.
7. Büro, atölye, laboratuvar, lojman, ambar, garaj, park yerleri gibi barajın özellik ve büyüklüğüne bağlı olarak ihtiyaçlara cevap verecek şekilde boyutlandırılmış yapılar.
8. Diğer tesisler: Barajın hizmet ettiği amaca uygun olarak enerji santralleri, içme suyu arıtma tesisleri, balık geçidi, tomruk geçidi gibi yapılar öngörülür.

Şekil 2.6'de barajın parçaları göstermektedir.



Şekil 2.6 Barajın kısımlarının görünüm (<https://www.sanalsantiye.com> 2021)

2.4.1 Baraj tipinin seçimine etki eden faktörler

Bir baraj aksının yerini seçmek, çeşitli faktörlerin dikkatle değerlendirilmesini gerektiren kritik bir karardır. Göz önünde bulundurulması gereken en önemli hususlardan biri, civarda bulunan toprak, kaya ve tortu türlerini içeren bölgenin jeolojik yapısıdır. Barajın temeli, barajın ağırlığını ve tuttuğu suyu destekleyecek kadar güçlü olmalıdır. Ayrıca, konum suyun gücüne ve sel veya deprem gibi olası doğal afetlere dayanabilmelidir.

Dikkate alınması gereken diğer önemli faktörler arasında bölgenin topografyası, barajın çevresel etkisi ve inşaat ve bakım için bölgenin erişilebilirliği yer almaktadır. Bu faktörlerin dikkatlice değerlendirilmesi, barajın başarılı bir şekilde inşa edilmesini ve uzun vadeli istikrarını sağlamaya yardımcı olmaktadır.

Bir baraj ekseni için yer seçerken göz önünde bulundurulması gereken bir diğer önemli husus da bölgenin hidrolojik özellikleridir. Bu, su akışının, mevcut su hacminin ve su seviyelerindeki dalgalanmaların analiz edilmesini içerir. Baraj, hasar veya arıza potansiyelini en aza indirirken su akışını etkili bir şekilde yakalayabilecek ve kontrol edebilecek bir konuma yerleştirilmelidir.

Buna ek olarak, barajın sosyal ve ekonomik etkileri de değerlendirilmelidir. Örneğin, baraj yakındaki toplulukların yer değiştirmesine neden olabilir veya yerel tarım, balıkçılık ve diğer endüstriler üzerinde bir etkiye sahip olabilir. Bu etkilerin dikkatle değerlendirilmesi, barajın faydalarının olası olumsuz sonuçlardan daha ağır basmasını sağlamak açısından önemlidir.

Barajın inşaat ve bakım maliyetleri de baraj aksının yeri seçilirken dikkate alınması gereken önemli faktörlerdir. Yerin erişilebilir ve inşaat için uygun koşullara sahip olması ve barajın bakımının uygulanabilir ve uygun maliyetli olması gerekmektedir.

Genel olarak, baraj aks yerinin seçimi, barajın güvenliğini, istikrarını ve sürdürülebilirliğini sağlamak için çeşitli faktörlerin kapsamlı bir analizini gerektirir. Projenin uzun vadede başarılı olabilmesi için seçilecek yerin gerekli tüm teknik, çevresel, sosyal ve ekonomik kriterleri karşılaması gerekmektedir.

Şekil 2.7’de baraj aks yerini önemi gösteren DSİ tarafından inşa edilmiş baraj verilmektedir.



Şekil 2.7 Barajın aks yeri görünüm (DSİ 2021)

Baraj aksı mümkün mertebe yamaçlarda tesviye eğrilerine dik açı yapacak şekilde seçilmelidir. Bu konu yamaçlara uyum açısından ve kazı çalışmaları açısından çok büyük önem arz etmektedir.

2.4.2 Barajların sınıflandırılması

Barajlar, bazıları önemli olan çeşitli yönlerle göre sınıflandırılır:

- Barajın amaçlarına;
- Yapı malzemelerine;
- Yapısal tasarıma;
- Kapasiteye göre sınıflandırılmaktadır

2.4.2.1 Barajların amaçlarına işlevlerine göre sınıflandırılması

Yapım amaçlarına göre tek veya çok amaçlı barajlar vardır. Bunlar çoğunlukla

- İçme, kullanma ve endüstri suyu sağlama
- Tarım için gerekli sulama suyu sağlama
- Hidroelektrik enerji üretme
- Taşkın koruma amaçlarından biri veya birkaçı için inşa edilirler.

Ayrıca atık depolama, başka bir barajın mansap şartlarını düzenleme, su kirliliğini önleme, su ürünleri yetiştirme ve rekreasyon amaçlı barajlar da vardır.

Barajların işlevlerine göre aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- **Depolama barajları**

Yağışlı mevsimlerde nehirde büyük bir akışın olduğu zamanlarda suyu depolamak için inşa edilmektedirler. Birçok küçük baraj, ilkbahar akışını kuru yazlarda daha sonra

kullanmak üzere tutmaktadır. Depolama barajları ayrıca balıklar ve vahşi yaşam için bir su kaynağı veya iyileştirilmiş bir yaşam alanı sağlayabilmektedir. Hidroelektrik enerji üretimi, sulama veya taşkın kontrol projesi için su depolayabilmektedirler. Depolama barajları en yaygın baraj türüdür ve genel olarak baraj, aksi belirtilmedikçe bir depolama da anlamına gelmektedir.

- **Derivasyon barajları**

Nehrin suyunu bir çıkış kanalına (veya bir kanala) yönlendirmek amacıyla bir derivasyon barajı inşa edilir. Suyu hendeklere, kanallara veya diğer taşıma sistemlerine itmek için yeterli basınç sağlamaktadırlar. Bu tür daha kısa barajlar, sulama ve bir dereden uzaktaki bir depolama rezervuarına yönlendirme için kullanılmaktadır. Genellikle alçaktır ve membasında küçük bir depolama rezervuarı vardır. Derivasyon barajı, suyu da yönlendiren ve küçük bir deposu olan bir tür depolama bendidir. Bazen savaklar ve derivasyon barajları terimleri eşanlamlı olarak kullanılmaktadır.

- **Tutma barajları**

Taşkın kontrolü için tutma barajları yapılır. Bir tutma barajı, bir miktar taşkın suyunu depolayarak taşkınlar sırasında nehirdeki akışı mansabında geciktirir. Böylece ani taşkınların etkisi bir ölçüde azaltılır. Rezervuarda tutulan su daha sonra barajın mansabındaki kanalın taşıma kapasitesine göre kontrollü bir oranda kademeli olarak serbest bırakılır. Böylece barajın mansabındaki alan sel baskınına karşı korunmaktadır.

- **Enkaz barajlar**

Nehirde su ile akan kum, çakıl ve kütük gibi döküntüleri tutmak için bir enkaz baraj inşa edilir. Bir enkaz barajından geçtikten sonra su nispeten berraktır.

- **Batardo**

İnşaatin kuru olarak yapılabilmesi için şantiyenin çevresine su girmesini önlemek amacıyla yapılmış muhafazalardır. Batardo bu nedenle inşaatı kolaylaştırmak için inşa edilen geçici bir barajdır. Bu yapılar genellikle barajın inşası sırasında suyu bir derivasyon tüneline (veya kanala) yönlendirmek için ana barajın akış yukarısında inşa edilir. Hidrolik yapıların inşası sırasında nehirdeki akış fazla olmadığında, saha genellikle batardo tarafından kapatılır ve kuru pompalanır. Bazen barajın mansabında bir batardo da gereklidir.

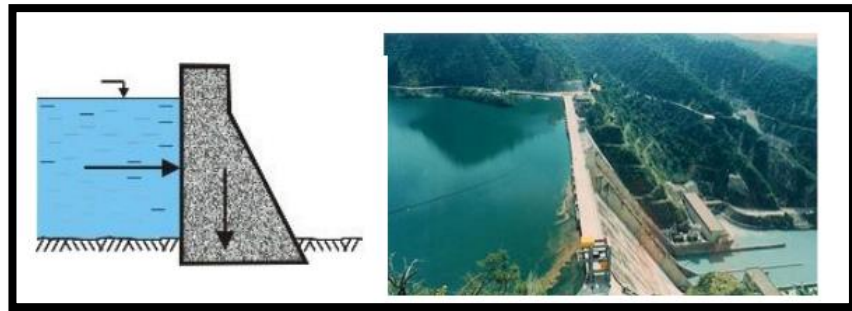
2.4.2.2 Barajlarının yapısal tasarıma göre sınıflandırılması

Yapı ve tasarıma göre barajlar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- **Ağırlık barajı**

Ağırlık barajları, üzerine gelen suyun basıncı, dalgaların basıncı, kaldırma basıncı gibi dış kuvvetlerin barajın kendi ağırlığı tarafından karşılandığı baraj türüdür.

Ağırlık barajının stabilitesi tamamen ağırlığına bağlıdır. Ağırlık barajları öncelikle taş veya tuğla gibi yığma bileşenlerden yapılmıştır. Günümüzde Ağırlık barajlar beton kullanılarak yapılmakta mümkün olduğunu Şekil 2.8’de göstermektedir .



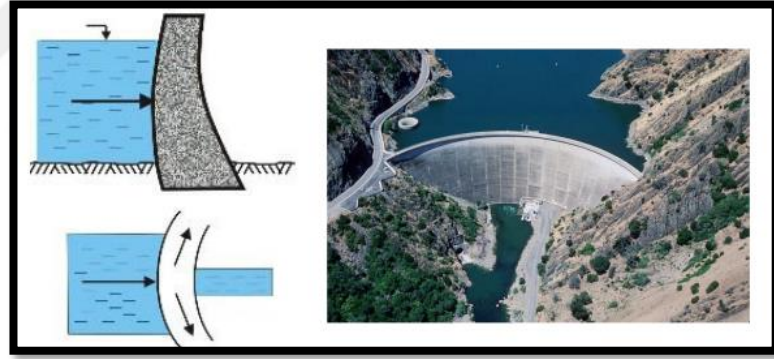
Şekil 2.8 Ağırlık baraj kesiti görünüm (DSİ 2021)

Ağırlık barajları, toprak barajlara göre daha güçlü ve dayanıklıdır. Ayrıca ağırlık barajının yüksekliği, betonun rijit bir malzeme olması nedeniyle beton kullanılarak yapılmasından kaynaklanmaktadır. Bir ağırlık barajı inşa etmenin ilk maliyeti daha yüksektir, ancak uzun vadede daha ucuz bir seçenek olduğunu kanıtlayabilir.

- **Kemer Barajı**

Kemerli baraj planda kavislidir. Barajın memba tarafına doğru dışbükeyliğe sahiptir. Kemer baraj, üzerine gelen tüm dış kuvvetleri kemer hareketi ile ayaklara aktarmaktadır. Bir kemer baraj genellikle nehir veya dere genişliğinin çeşitli kuvvetlere dayanacak güçlü bankalarla dar olduğu yerlerde inşa edilmektedir.

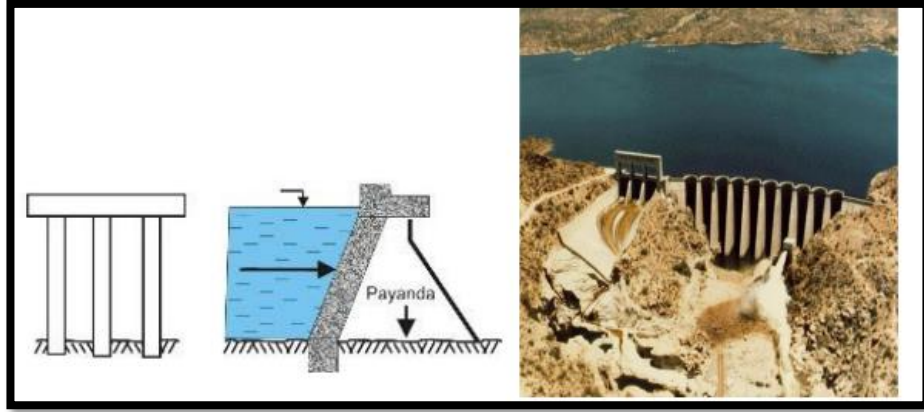
Şekil 2.9 Kemer barajın kesiti ağırlık barajından daha ince olduğunu göstermektedir.



Şekil 2.9 Beton kemer baraj kesiti görünüm (DSİ 2021)

- **Payandalı barajı**

Bir payanda barajı, payanda, yüz levhası ve taban levhası bileşenlerinden oluşur. Yüzey levhası memba tarafında yer almaktadır. Alın levhasının arkasına belirli aralıklarla payandalar konur. Yüzey levhası biraz eğimli bir konumdadır. Payandalar, payanda barajında destek elemanı olarak sağlanmaktadır. Payandalı barajlar plan olarak düz veya kavisli olabilir. Payandalı barajlar genellikle toprağın nispeten daha zayıf olduğu yerlerde inşa edilmektedir. Payandalı barajlar beton kullanılarak yapılmaktadır (Şekil 2.10).



Şekil 2.10 Payandalı beton baraj kesiti görünüm (DSİ 2021)

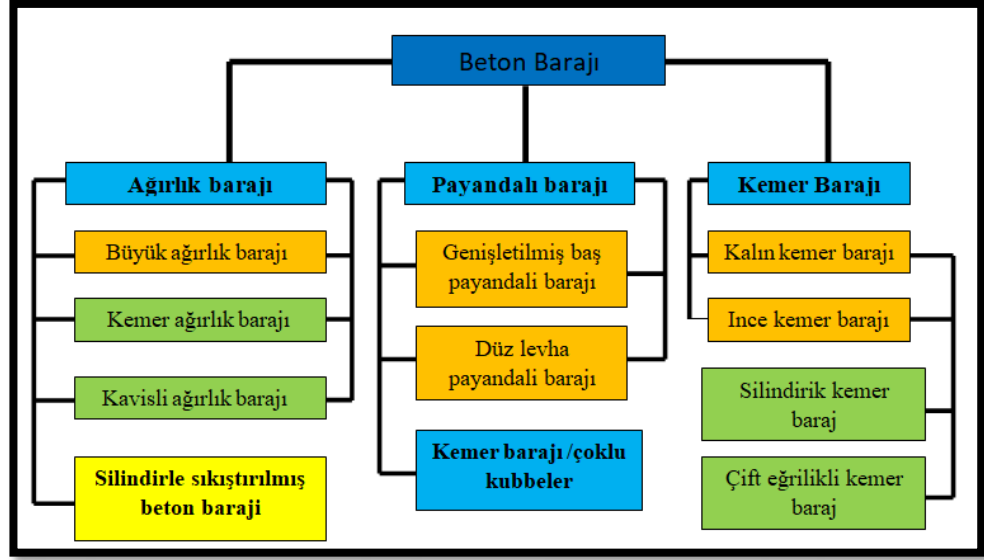
Bu baraj tipi dolu gövdeli ağırlık barajlarına karşın malzemeden ekonomi sağlamak amacı ile düşünülürler. Bu tip gövdeler, beton ağırlık barajların özel şekli olarak da düşünülebilir. Memba yüzleri eğimli olup 150 m'ye kadar olan yüksekliklerde uygulanmışlardır.

2.4.2.3 Barajların gövde tipine göre sınıflandırılması

Barajlar gövdenin statik projelendirilmesinde esas alınan gövde şekline göre; ağırlık baraj, kemer ağırlık baraj, kemer baraj, payandalı baraj, toprak ve kaya dolgu baraj olarak Sınıflandırılabilirler gibi gövde dolgusunda kullanılan malzeme cinsine göre de sınıflandırılabilirler. Burada baraj sınıflandırılmasında en yaygın olarak kullanılan ve hem gövde dolgu malzemesini hem de gövde biçimini göz önüne alan bir sınıflandırma yoluna gidilecektir; Bundan böyle dolgu barajlar ve beton barajlar olmak üzere iki ana kategori üzerinde durulacaktır.

- **Beton barajlar**

Şekil 2.11'de gösterildiği gibi, üç ana beton baraj kategorisi vardır.



Şekil 2.11 Beton barajının kategorisi

- **Ağırlık barajı**

Çoğu ağırlık barajı masiftir ve üçgen bir profile doludur. Yukarı yöndeki kaplama dikey veya hafif eğimlidir, bunlar rijit yapılardır ve sonuç olarak tasarımları da temellerin kalitesine göre koşullandırılacaktır. Şekil 2.12 ağırlıklı beton baraj kesiti göstermektedir.



Şekil 2.12 Ağırlıklı beton baraj kesiti görünüm (DSİ 2021)

Çizelge 2.2’de ağırlık barajlarının hem avantajlarını hem de dezavantajlarını kapsayarak dengeli ve kapsamlı bir analiz sağlayacaktır.

Çizelge 2.2 Ağırılık barajlarının avantajları ve dezavantajları (Devia vd. 2015)

Ağırılık barajlarının avantajları	Ağırılık barajlarının dezavantajları
Ağırılık barajlarının avantajları şunlardır: • Betonda düşük gerilmeler; • Aktarılan düşük gerilimler kaynak; • Sıcaklık değişimleri sadece zayıf gerilimler üretir; • Zayıf temel altında yükselme gradyanı; • Dolusavak kolayca entegre edilebilir.	Ağırılık barajlarının dezavantajları şunlardır: • Büyük hacimli kazı; • Büyük hacimli beton; • Betonun sertleşmesi sırasında gerekli olan yapay soğutma; • Temelin altında önemli bir yükselme; • Yerleşmeye duyarlılık; • Depreme karşı duyarlılık.

- **Kemer barajı**

Genellikle kemer barajı betondan yapılmaktadır, kavisli şekli suyun itme kuvvetlerinin vadinin kayalık kıyılarına aktarılmasına mümkün kılmaktadır. Bu tip baraj, topografyanın vadinin azaltılmış uzunlukta kavisli bir şekil ile kapatılmasına izin verdiği durumlarda çok uygun olmaktadır.

Kemer barajlar aslında nadiren düşük yükseklik rezervuarlar için kullanılmaktadır. Böyle bir çözümü benimsemenin koşulları da oldukça katıdır. Şekil 2.13'te gösterdiği gibi kemer baraj seçimi çok özel jeomorfolojik durumlar için ayrılmalıdır.



Şekil 2.13 Kemer beton baraj kesiti görünüm (<https://www.suyapi.com.tr> 2020)

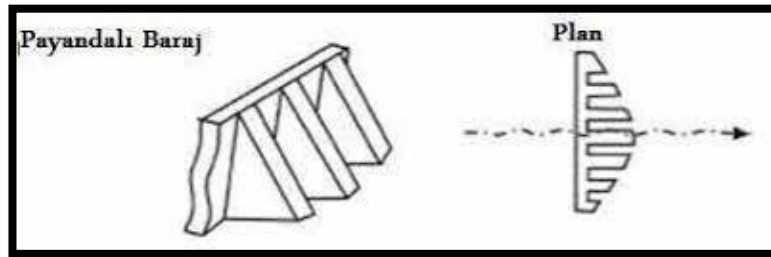
Çizelge 2.3’de kemer barajlarının hem avantajlarını hem de dezavantajlarını kapsayarak dengeli ve kapsamlı bir analiz sağlayacaktır.

Çizelge 2.3 Kemer barajlarının avantajları ve dezavantajları (Devia vd. 2015)

Kemer barajlarının avantajları	Kemer barajlarının dezavantajları
Kemer barajların avantajları şunlardır: - Betonun hacmi düşüktür; - Kazı oldukça küçüktür; - Deprem direnci yüksektir; - Temel seviyesindeki alt basınçlar zayıftır (temel yüzeyi küçüktür).	Kemer barajların dezavantajları şunlardır: - Betondaki ve kayadaki gerilmeler önemlidir; - Kuvvetler mesnetlerde eğik olarak iletilir. - Orta düzeyde yerleşim riski; - Çimentonun priz almasıyla betonun ısınması dikkate alınmalıdır; - Dolusavakın (yüksek akışlar) baraja entegrasyonu zordur; - Temel seviyesindeki yükselme eğimi çok büyüktür; - Kayanın çatlaklarındaki basınçlar, desteklerin kaymasına neden olabilir.

- Payandalı barajı**

Şekil 2.14’te gösterdiği gibi payındalı barajları, genellikle üçgen şeklinde, çok kalın ve çok aralıklı bir dizi paralel duvardan oluşur (payandalar). Suyun itişini kendilerine ileten payandalar, kaliteli kaya temelli geniş vadiler için çok uygundur.



Şekil 2.14 Payandalı baraj kesiti görünüm

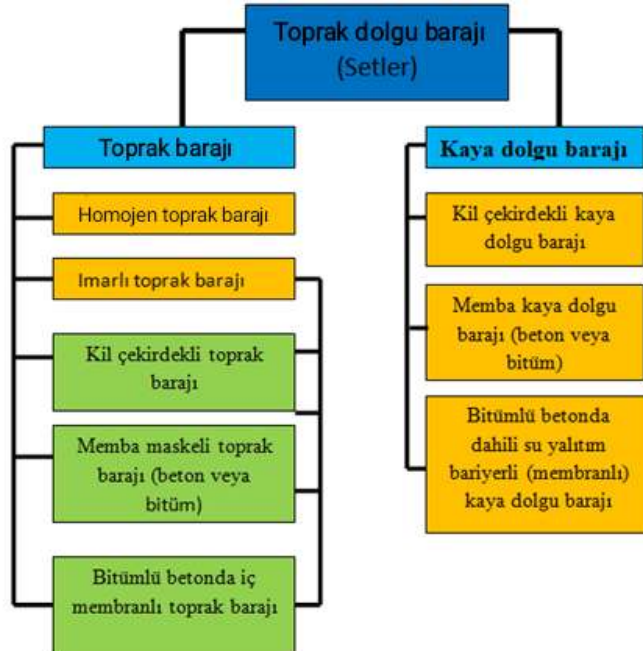
Çizelge 2.4’de ağırlık barajlarının hem avantajlarını hem de dezavantajlarını kapsayarak dengeli ve kapsamlı bir analiz sağlayacaktır.

Çizelge 2.4 Payandalı barajlarının avantajları ve dezavantajları (Devia vd. 2015)

Payandalı barajlarının avantajları	Payandalı barajlarının dezavantajları
Payandalı barajların avantajları şunlardır: • Temel tarafından kayaya iletilen gerilmeler ortalamadır; • Temel seviyesindeki basınçlar düşüktür; • Betonun hacmi düşüktür; • Betonun ısınması düşüktür; • Yerleşimlerin riskleri orta düzeydedir.	Payandalı barajların dezavantajları şunlardır: • Depremlere karşı çok hassastır. Yanal ivmeye karşı direnç neredeyse yok denecek kadar azdır; • Arama önemlidir; • Temel seviyesindeki yükselme eğimi yerel olarak çok yüksektir; • Sıcaklık gradyanından kaynaklanan gerilmeler önemli hale gelebilir.

• Toprak dolgu barajı

Dolgu barajlar, hidrolik yük altında daha esnek davranır. Bu barajlar, yapıları toprak veya kaya dolgudan yapıldığından, tasarımlarında yaygın olarak kullanılan zemin mekaniği ve jeoteknik alanındaki gelişmeler sayesinde önemli boyutlara ulaşabilmektedir. Toprak dolgu barajı Şekil 2.15'te gösterildiği gibi iki gruba ayrılmaktadır.



Şekil 2.15 Toprak dolgu barajının grubları

- **Toprak barajı**

Toprak barajlar, temel olarak kaymayı ve devrilmeyi önlemek için kendi ağırlıkları üzerinde duran basit yapılardır. Bu barajlar dünyada en çok bilinen baraj türüdür. Daha önce, su kütlelerini yönlendirmek ve toplumu korumak için toprak barajlar inşa edildi. Daha sonra yapısal olarak iyileştirildiler ve tank yapımında kullanıldılar. Küçük toprak barajların hem teknik hem de ekonomik olarak birçok avantajı vardır.

Bir toprak baraj, ardışık toprak katmanlarını sıkıştırarak, çekirdek oluşturmak için en geçirimsiz malzemeleri kullanarak ve akış yukarı ve aşağı taraflara daha geçirgen maddeler yerleştirilerek inşa edilen topraktan (veya dolgudan) yapılmaktadır. Toprak baraj aşağıdaki üç tipte olabilir: Homojen dolgu, bölge dolgu ve diyafram dolgu.

Toprak barajların tasarımı ve inşası, kullanılan toprak veya malzemenin türü, Şekil 2.16 de gösterdiği gibi barajın yüksekliği ve genişliği ve setin eğimi gibi faktörlerin dikkatle değerlendirilmesini gerektirmektedir. Toprak barajların uygun şekilde bakımı ve izlenmesi de zaman içinde stabilitelerinin ve güvenliklerinin sağlanması açısından önemlidir.



Şekil 2.16 Toprak dolgu barajının görünüm (<https://www.suyapi.com.tr> 2020)

- **Kaya dolgu barajı**

Kaya dolgu baraj, maruz kaldığı kuvvetlere kütlesiyle direnen, büyük ölçekte taşlardan yapılmış bir barajdır. Bu tür barajlar genellikle ulaşımın zor olduğu bölgelerde ekonomiktir, çünkü kaya dolgusu sahada alınır. Ancak tek başına su geçirmez olmadığı için hem proje aşamasında hem de gerçekleştirme aşamasında en hassas kısmı oluşturan bir sızdırmazlık cihazı eklemek gerekmektedir.

Kaya dolgu barajlar Şekil 2.17’de gösterdiği gibi, dayanıklılıkları ve erozyona karşı dirençleri ile bilinmekte, bu da onları birçok uygulama için popüler bir seçim haline getirmektedir. Bununla birlikte, zaman içinde stabilitelerini sağlamak için dikkatli tasarım ve inşaat gerektirirler.



Şekil 2.17 Kaya dolgu barajının görünüm (<https://www.suyapi.com.tr> 2020)

Çizelge 2.5’de ağırlık barajlarının hem avantajlarını hem de dezavantajlarını kapsayarak dengeli ve kapsamlı bir analiz sağlayacaktır.

Çizelge 2.5 Toprak dolgu barajlarının avantajları ve dezavantajları (Devia vd. 2015)

Toprak dolgu barajlarının avantajları	Toprak dolgu barajlarının dezavantajları
Toprak dolgu barajların avantajları şunlardır: • Baraj gövdesi çok esnektir ve zemin koşullarına uyarlanabilir; • Yerleşmelere ve depremlere çok duyarlı olmakta; • Küçük ila orta kazı. Dayk, mutlaka sağlam kayaya dayalı değildir; • Toprak sıkışması düşüktür; • Düzeydeki düşük basınçların gradyanı;	Toprak dolgu barajların dezavantajları şunlardır: • Büyük hacimli malzemelerin montajı. • Kil çekirdeğinin dolgusu atmosferik koşullardan (yağmur iklimi) etkilenir. • En büyük dezavantaj, masiften sızmadır.

2.4.2.4 Toprak dolgu barajlarının tipleri

Toprak barajlar üç ana tipe ayrılabilir: homojen toprak yapıları, sızdırmaz çekirdekli ve memba maskeli olanlar.

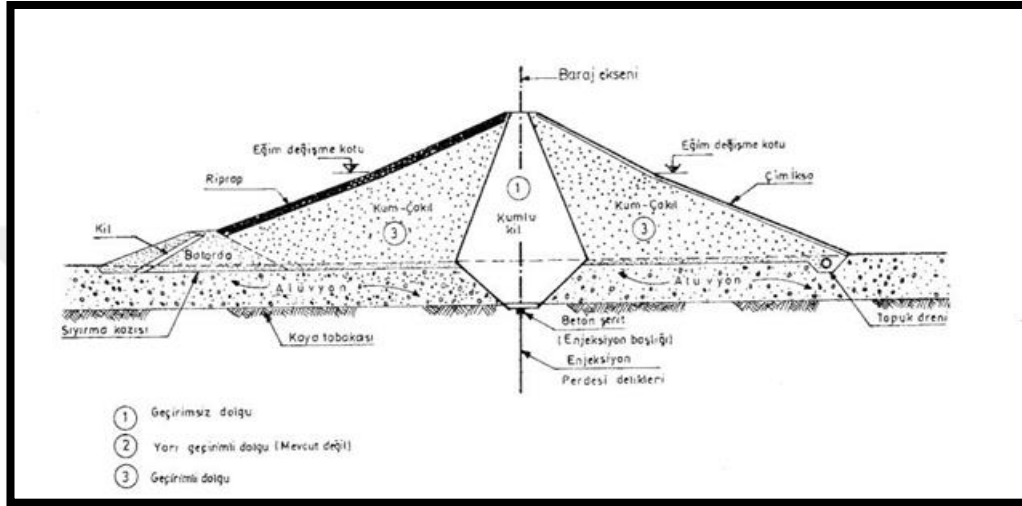
- **Homojen gövdeli barajı**

Homojen gövdeli baraj tamamen, çoğunlukla killi olan ve elek ve kütlenin iki işlevini aynı anda yerine getiren tek bir malzeme ile inşa edilmiştir. Bu malzeme, setin yeterli sızdırmazlığını ve stabilitesini garanti eden özelliklere sahip olmalıdır.

Homojen barajlar çoğunlukla düşük plastisiteli kilden yapılır, hidrolik ve mekanik özellikleri, sıkıştırma özelliklerine uygunluğa tabi olarak yukarı ve aşağı akış yönünde "1/2" veya "1/2.5" eğim eğimlerini güvenli bir şekilde benimsemeyi mümkün kılmaktadır.

Bu nedenle genel şekil, en yaygın yükseklikler için 3.5 ila 5 m kret genişlikleri ile yamuk şeklindedir. geçirgenlik katsayısı masif için aranan 10^{-7} arası 10^{-8} mertebesinde olmaktadır.

Homojen gövdeli barajlar (Şekil 2.18), genellikle daha küçük su depolama uygulamaları için veya başarısızlık riskinin düşük olduğu alanlarda taşkın kontrolü için kullanılmaktadır. Tasarım ve inşaat açısından daha basit oldukları için diğer baraj türlerine göre inşa edilmeleri daha az maliyetlidir. Ancak, daha büyük su depolama uygulamaları veya yüksek taşkın riski olan alanlar için uygun değildirler.



Şekil 2.18 Homojen gövdeli barajının enkesiti (DSİ 2021)

- **Su geçirmez çekirdeğe sahip toprak barajları**

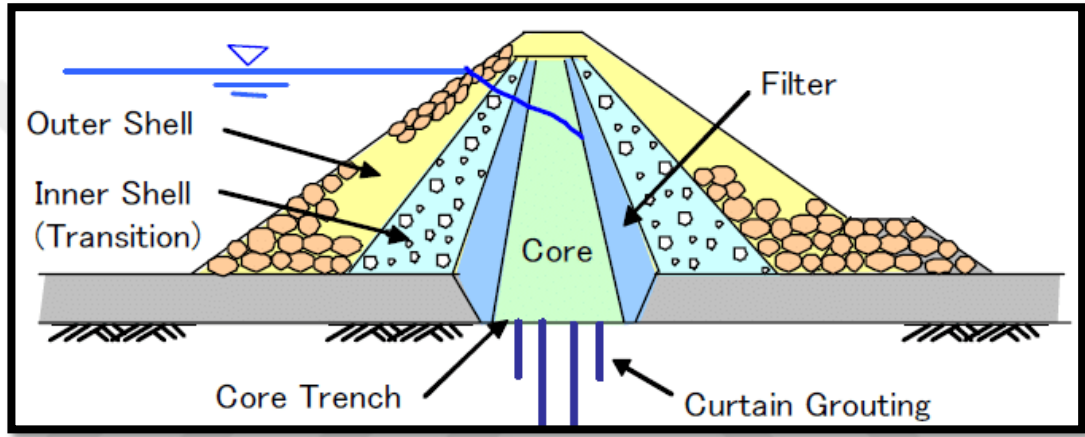
Sahada mevcut olan geçirimsiz malzeme miktarının barajın tüm gövdesini inşa etmek için yetersiz olması durumunda, çoğunlukla su geçirmezliği sağlayan kil çekirdekli zonlu bir yapının tercih edilmesi gerekmektedir.

Masifin stabilitesi, dolgu adı verilen geçirgen bölgelerle sağlanacaktır. Bu dolgular, malzemenin doğasına ve her bir barajdaki özel koşullara bağlı olarak sayıca değişken olabilir ve bir barajdan diğerine farklı şekilde düzenlenebilir. Bununla birlikte, bu tip barajın dezavantajı, özellikle vadinin dar olduğu ve mekanize çalışmanın daha karmaşık hale geldiği durumlarda, daha karmaşık ve pahalı uygulamadır. Diğer bir dezavantaj, farklı bölgeleri geçiş filtreleri ile ayırma ihtiyacıdır.

Su geçirmez çekirdek dikey veya eğimli biçimde bulunabilir ve bazen bir çimento veya bitümlü beton diyafram ile değiştirilebilir.

- **Orta çekirdek barajı**

Bu tip dolgu baraj Şekil 2.19’de gösterilmiş gibi yaygın olarak kullanılan bir çözümdür. Baraj, kapalı elemanı oluşturan ikisi arasında yer alan merkezi çekirdeğin stabilitesini garanti eden akış yukarı ve akış aşağısında iki destek gövdesinden oluşur.



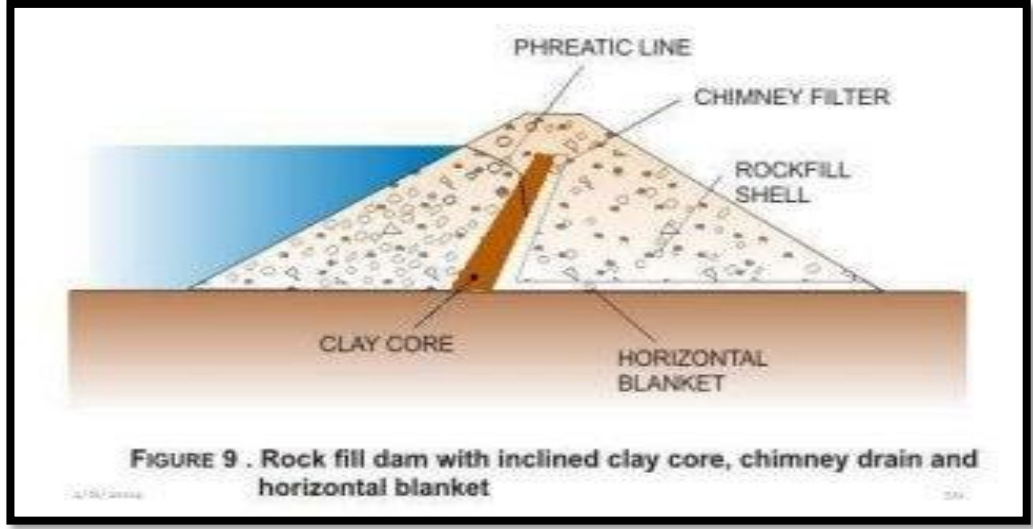
Şekil 2.19 Orta çekirdek barajının enkesiti (Devia vd. 2015)

- **Eğimli çekirdek barajı**

Killi silt çekirdek gibi geçirimsiz (veya çok düşük geçirgenlikli) eleman, bazı durumlarda elimine edilene kadar yukarı doğru hareket ettirilebilir.

çekirdek ne kadar eğimliyse, yukarı yöndeki kaplamanın eğimi, çekirdek malzemesinin mekanik özellikleri tarafından o kadar fazla koşullandırılır.

Eğimli barajın amacı, barajın mansap yüzündeki basıncı azaltarak barajın stabilitesini ve sızıntı kontrolünü iyileştirmektir. Şekil 2.20 Eğimli çekirdek, su basıncının baraj boyunca eşit olarak dağıtılmasına yardımcı olarak yükselme kuvvetleri veya sızıntıdan kaynaklanan arıza riskini azaltmaktadır.



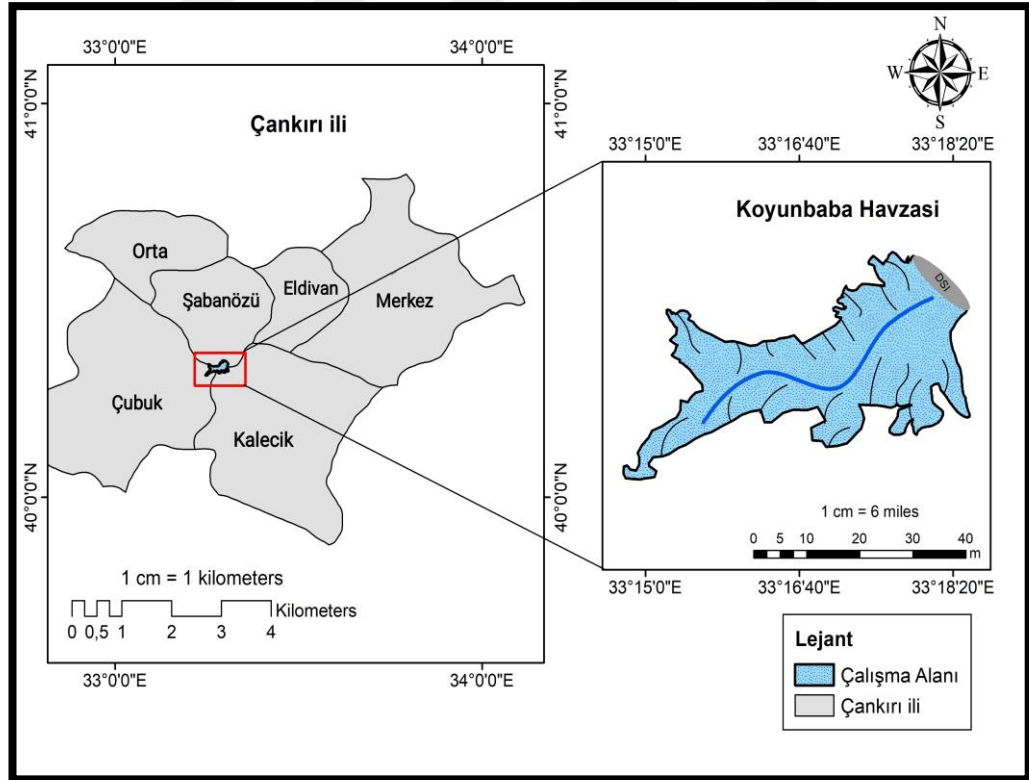
Şekil 2.20 Eğimli çekirdek barajının enkesiti (Devia vd. 2015)

3. MODEL ÇALIŞMALARI

3.1 Çalışma Alanı

Bu tez kapsamında, hidrolojik modellemenin doğru bir yaklaşım içerisinde uygulanabilmesi amacıyla Koyunbaba baraj havzası, antropojenik etkinin çok düşük olduğu bir çalışma alanı olarak seçilmiştir.

Koyunbaba Barajı, Ankara ve Çankırı il sınırında, Kızılırmak havzasının drenaj alanında yer almaktadır. Terme Çayı üzerinde inşa edilmektedir. Kalecik ve Şabanözü ilçe sınırında bulunan depolamalı su yapısı, Kalecik ilçesine bağlı Koyunbaba köyünün yaklaşık üç kilometre kuzeyinde $33^{\circ}18'D - 40^{\circ}10'K$ koordinatlarında yer almaktadır. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası Şekil 3.1’de verilmektedir.



Şekil 3.1 Çalışma alanı lokasyon haritası (ArcGIS 2023)

Kalecik ilçesinde Terme Çayı üzerinde inşa edilen 228 milyon m³ depolama kapasiteli Koyunbaba Barajı'nın 102.910 dekar araziye sulaması beklenmektedir. Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü tarafından 2011 yılında inşaatına başlanan baraj, 2014 yılında su tutmaya başlamıştır.

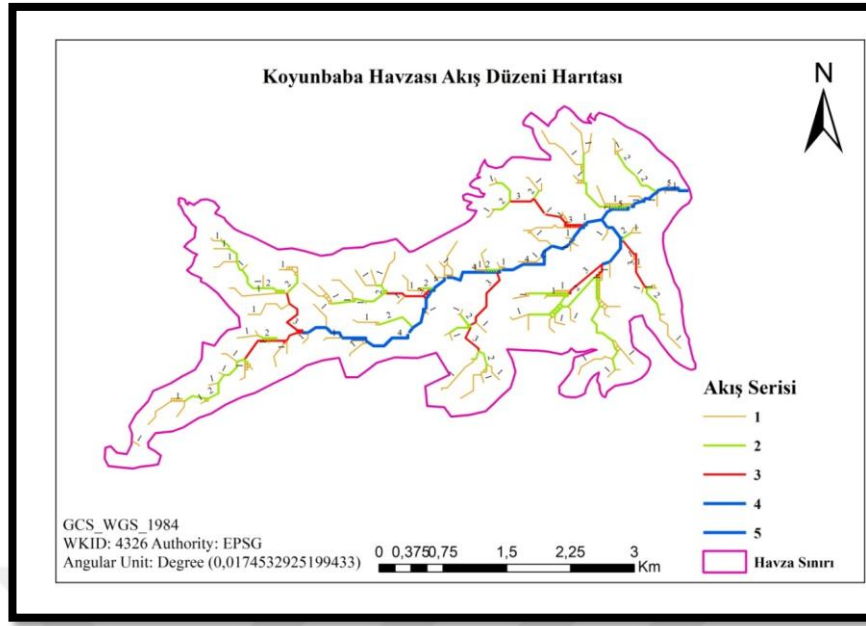
Şekil 3.2'de DSİ tarafından 2014 yılında inşa edilmiş koyunbaba barajı ve havza sınırı göstermektedir.



Şekil 3.2 Koyunbaba barajı ve havza görünüm (DSİ 2021)

Koyunbaba barajının teknik özelliklerini Çizelge 3.1'de göstermektedir. Baraj 51,32 m yüksekliğe ve 228 hm³ toplam depolama kapasitesine sahiptir.

Baraj çankırı Yakınkent Organize Sanayi Bölgesi'ne (ÇYOSB) içme suyu sağlanması hedeflenmektedir. Şekil 3.3'de Koyunbaba havzasının akış düzeni haritası verilmiştir.



Şekil 3.3 Havzanın Akış Düzeni Haritası (ArcGIS 2023)

3.1.1. Projenin genel özellikleri

Terme Çayı üzerinde kurulan Koyunbaba Barajı, Koyunbaba köyünün üç km kuzeyinde bulunmaktadır. Baraj projesi genel karakteristikleri aşağıdaki Çizelgelerde verilmiştir

Çizelge 3.1. Koyunbaba Barajının havzasının hidrolojik özellikleri (DSİ 2015)

Havza Hidrolojik özellikleri	
Drenaj alanı	754 km ²
Dolgu hacmi	1.70 hm ³
Depolama hacmi	228 hm ³
Yıllık ortalama akım	85 hm ³
Yıllık ortalama debi	135 m ³ /s
Minimum debi	46 m ³ /s
25 yılı yinelemeli pik debi, Q25	1842 m ³ /s
100 yıl yinelenmeli pik debi, Q100	2522 m ³ /s
Muhtemel maksimum taşkın debisi	7313 m ³ /s

Çalışma alanına ait havza drenaj haritası Şekil 3.4’de verilmektedir.



Şekil 3.4 Koyunbaba barajın havzası drenaj haritası (<https://earth.google.com> 2022)

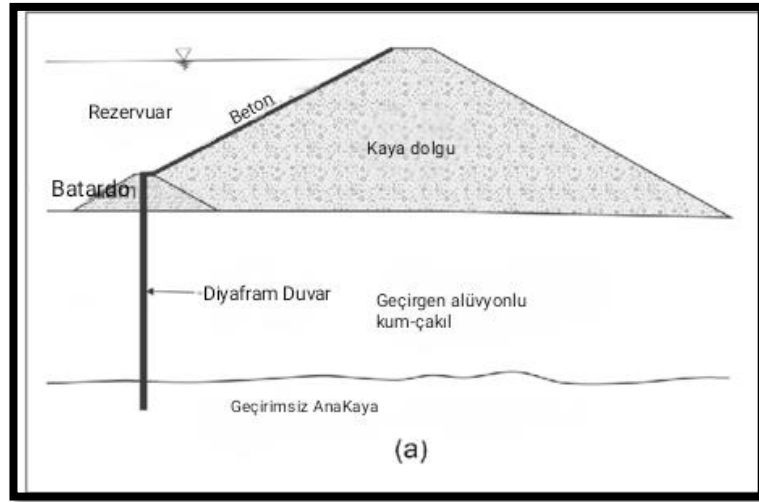
3.1.2. Barajın rezervuar özellikleri

Barajın rezervuarı, baraj inşa edildiğinde su biriktirmek için tasarlanan, baraj gövdesi arkasında oluşan yapay bir göl veya su depolama alanını ifade etmektedir. Rezervuar, genellikle barajın arkasında suyun toplandığı ve biriken alandır. Koyunbaba barajının rezervuarının özellikleri Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Koyunbaba Barajın rezervuar özellikleri (DSİ 2015)

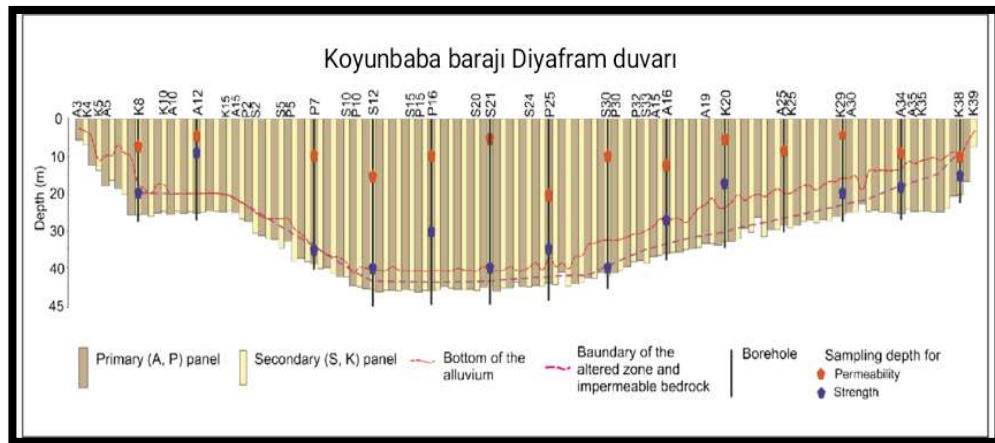
Rezervuar özellikleri	
Baraj gövdesi altındaki jeoloji	Alüvyonlu kum-çakıl altında ultramafik kayalar
Geçirgen alüvyonun maksimum kalınlığı (m)	42
Maksimum diyafram duvarı derinliği (m)	46,8
Birincil panel genişliği (m)	3,13
İkincil panel genişliği (m)	2,33
Toplam duvar uzunluğu (m)	376
Panel sayısı	138

Koyunbaba barajın basitleştirilmiş kesiti Şekil 3.5’de göstermektedir.



Şekil 3.5 Koyunbaba barajın kesiti (DSİ 2019)

Koyunbaba barajı 2011-2014 yılları arasında, öncelikle sulama amaçlı olarak beton kaplı kum-çakıl dolgu ile inşa edilmiştir. Baraj bölgesi, vadi boyunca uzanan ve maksimum 45 m kalınlığa sahip geçirgen alüvyonun altında yer alan pratik olarak geçirimsiz ultramafik kayalarla karakterize edilmektedir. 7 m derinliğe ulaşan ultramafik kayaların üst kısmı ayrılmıştır ve düşük geçirgenliğe sahiptir. Baraj gövdesinin altında, alüvyon maksimum 42 m kalınlığa sahiptir. Aşağıda Şekil 3.6’de koyunbaba barajın diyafram duvarı gösteren bir şekil verilmiştir.



Şekil 3.6 Koyunbaba barajın diyafram duvarı (DSİ 2019)

3.2 Çalışma Verileri

Hidrometeorolojik verilerin ana bileşenleri, hidrolojik modelleme çalışmaları için gerekli unsurlar/veriler olan yağış, sıcaklık, buharlaşma ve akış verileridir. Gerçekleştirilecek modellerin ihtiyaçlarına bağlı olarak aşağıdaki meteorolojik veriler kullanılabilir.

- Rüzgâr hızı ve yönü
- Zemin sıcaklığı
- Güneş radyasyonu ve güneşlenme süresi
- Nem ve Bulutluluk

Türkiye'de hidrometeorolojik veri sağlayan iki kurum Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'dür. Bu çalışma için gerekli veriler bu kurumlardan sağlanmıştır.

Çalışma alanı olan Koyunbaba baraj havzasının konumu gereği MGM veri tabanlarında verilerin elde edilebileceği 1 adet gözlem istasyonu Şekil 3.8'de gösterdiği gibi belirlenmiştir.



Şekil 3.8 Meteorolojik gözlem istasyonu (ArcGIS 2022)

Çalışma havzasında işletilmekte olan meteoroloji istasyonunun özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir.

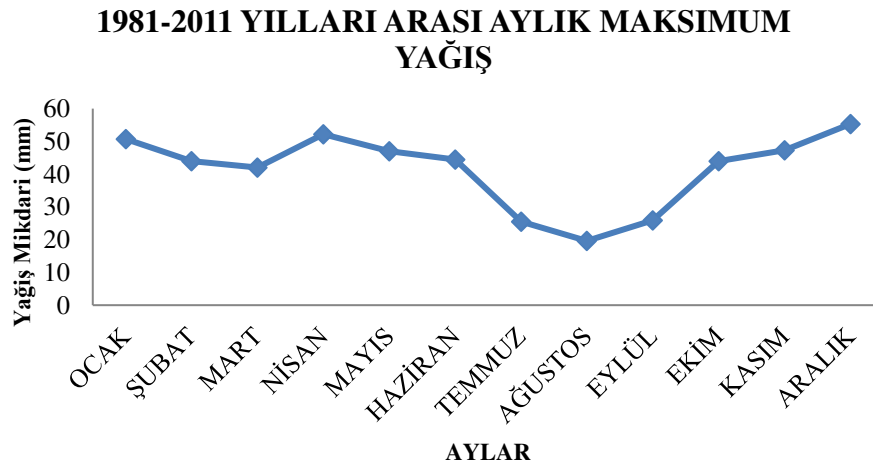
Çizelge 3.4 Meteoroloji istasyonunun özellikleri (AGİ 2021)

İstasyon Adı	İşleten Kuruluş	Kotu(m)	Yıllık Ortalama Yağış(mm)	Gözlem Periyodu	Yıl Sayısı
D15A177	DSİ	778	106	1981-2021	40

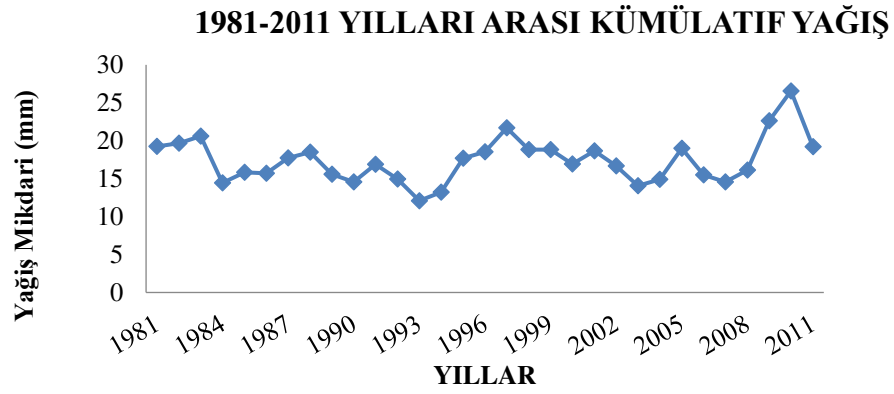
3.2.1 Yağış verisi

Meteoroloji tarafından sağlanan istasyonun günlük yağış verileri, modellemeye uygun hale getirilmesi için bir ön değerlendirmeden geçirilmiştir.

D15A177 AGİ'de yıllık ortalama yağış 1981-2011 yılları arasında 40,65 mm/gunde ölçülmüştür. D15A177 AGİ'nin 1981-2011 yılları arasında aylık maksimum yağış miktarları Şekil 3.9'de ve 1981-2011 yılları arasında yıllık toplam yağış miktarları Şekil 3.10'de gösterilmiştir.

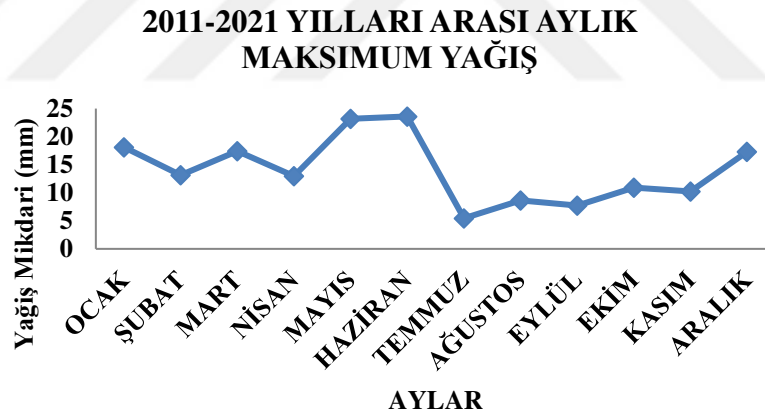


Şekil 3.9 1981-2011 yılları arasında ayların maksimum yağış miktarları (MGİ 2022)

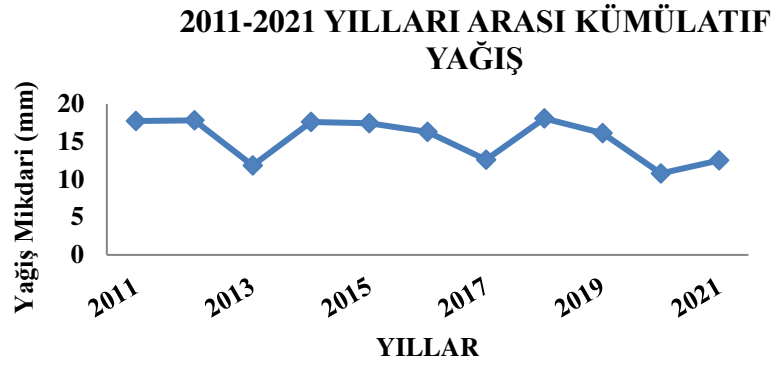


Şekil 3.10 1981-2011 yılları arasında Kümülatif Yağış (mm) Grafiği (MGİ 2022)

D15A177 AGİ’de yıllık ortalama yağış 2011-2021 yılları arasında 12,35 mm/gunde ölçülmüştür. D15A177 AGİ’nin 2011-2021 yılları arasında aylık maksimum yağış miktarları Şekil 3.11’de ve 2011-2021 yılları arasında yıllık toplam yağış miktarları Şekil 3.12’de gösterilmiştir.



Şekil 3.11 2011-2021 yılları arasında ayların maksimum yağış miktarları (MGİ 2022)

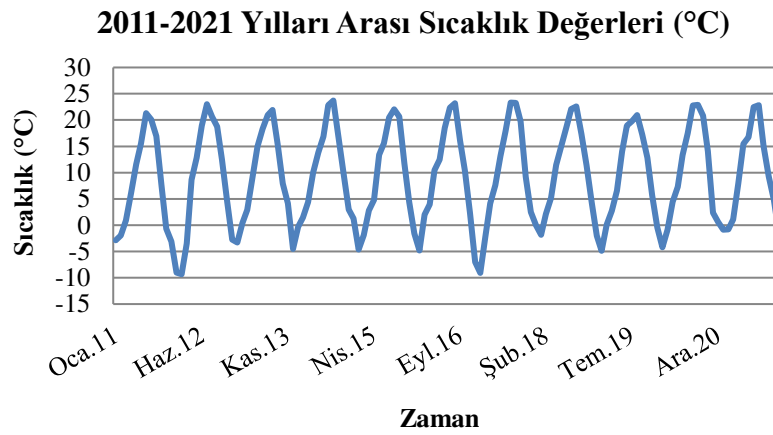


Şekil 3.12 2011-2021 yılları arasında Kümülatif Yağış (mm) Grafiği (MGİ 2022)

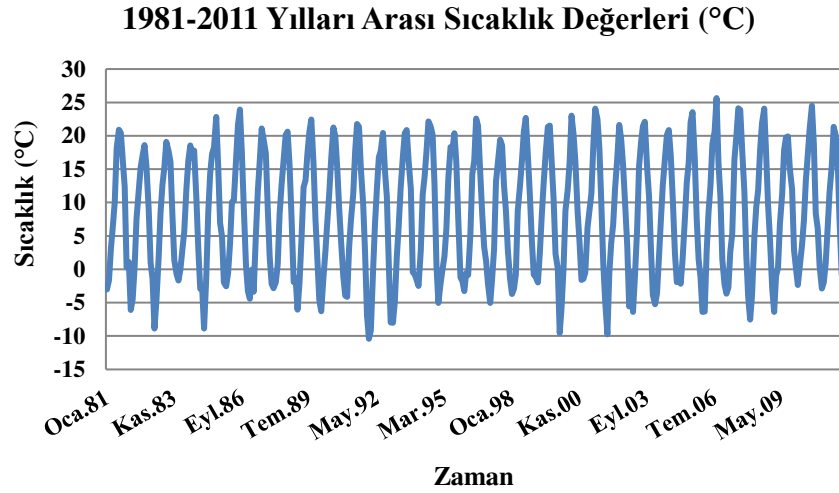
3.2.2 Sıcaklık Verisi

Çalışma alanının sıcaklığı, MGM tarafından sağlanan Koyunbaba sıcaklık gözlemleri kullanılarak ölçülmüştür. Gözlenen ortalama sıcaklık değerlerine bakıldığında, en düşük ortalama sıcaklıkların Ocak ve şubat aylarında, en yüksek ortalama sıcaklıkların ise Temmuz ve ağustos aylarında gerçekleştiği görülmektedir.

D15A177 MGİ’de yıllık ortalama sıcaklık 1981-2011 yılları arasında 8,20°C ölçülmüştür. D15A177 MGM’nin 1981-2011 Yılları Arası Sıcaklık Değerleri şekil 3.13’de ve 2011-2021 Yılları Arası Sıcaklık Değerleri (°C) Şekil 3.14’de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 1981-2011 Yılları Arası Sıcaklık Değerleri (°C) Grafiği (MGİ 2022)



Şekil 3.14 2011-2021 Yılları Arası Sıcaklık Değerleri (°C) Grafiği (MGİ 2022)

3.2.3 Akım verileri

DSİ Genel Müdürlüğü tarafından işletme halindeki AGİ'lerde toplanmış olan günlük akış verileri, DSİ su veri tabanının (SVT) gözlem modülünden sağlanmıştır.

Havza içerisinde yer alan, hali hazırda açık olan ve veri bulunan MGM'ler araştırılarak D15A177 istasyon tespit edilmiştir.

Koyunbaba barajının çalışmasına karşılık gelen meteoroloji istasyonu 33°19'0" Doğu - 40°20'0" Kuzey lokalizasyonunda yer almaktadır ve Çizelge 3.3'te gösterildiği gibi 16.10.1977 - 30.09.2011 tarihleri arasında gözlem periyoduna sahiptir.

Çizelge 3.5 D15A177 no.lu istasyon bilgileri

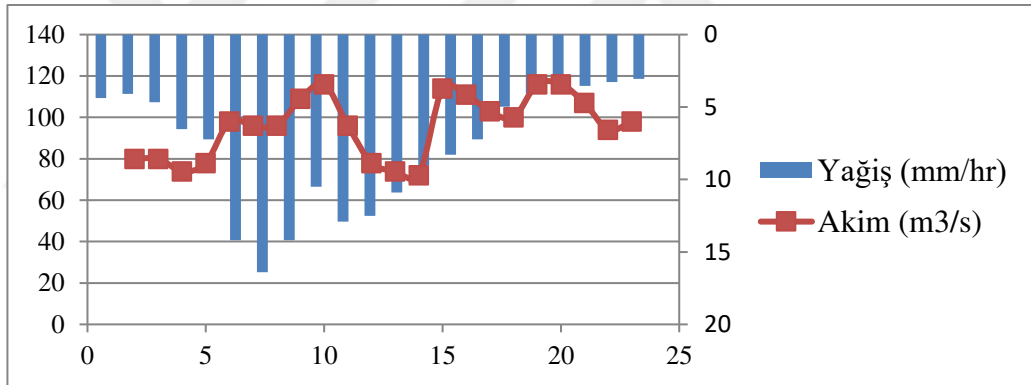
İstasyon No	D15A77
Yeri	33°19'0" Doğu - 40°20'0" Kuzey
Yağış alanı	754,00 km ² YAKLAŞIK KOT : 778 m
Gözlem süresi	16.10.1977 - 30.09.2011
Havzası	Kızilirmak Havzasi
İli/İlçesi	ANKARA-ŞABANÖZÜ
İlgili proje	KOYUNBABA BJR. Durumu : AÇIK

Şekil 3.15'de DSİ tarafından inşa edilmiş D15A77 no.lu stasyon görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.15 D15A177 istasyonunun görünüm

Şekil 3.16’de Koyunbaba AGİ tarafından alınmış yağış ve akım miktarı göstermektedir.



Şekil 3.16 Günlük akış verileri (AGİ 2022)

3.3 Havza İle İlgili Ön Çalışmalar

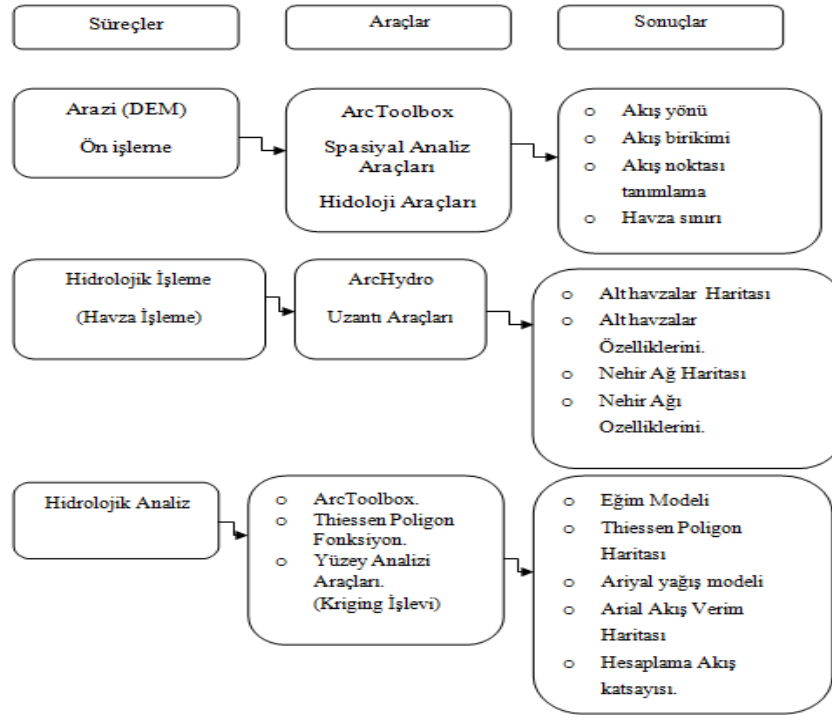
3.3.1 Koyunbaba barajının havzasinin sinirlendirilmesi

Hidrolojik modelleme yapabilmek için havza alanının tanımlanması ve havzanın bazı temel özelliklerinin elde edilmesi gerekmektedir. Bu özellikler arasında havza alanı, eğim, akış uzunluğu, akış yönü ve akarsu ağı yoğunluğu bulunmaktadır.

ArcGIS yazılımı, Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve Arc GIS'deki Arc Hydro uzantı araçlarının bulunmasıyla birlikte, havza özelliklerinin belirlenmesi, havza alanı, eğim, akış uzunluğu, akarsu ağı yoğunluğu ve nehir havzası tanımlaması dahil olmakla hidrolojik modellemeyi gerçekleştirmek için kullanılabilecek ana programdır.

Çalışmada, ArcGIS yazılımı kullanılarak ve Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) kullanılarak üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk olarak, ArcGIS hidrolojik araçları ile Sayısal Yükseklik Modelinden (DEM) elde edilen ön işleme arazi modelleri, yani dolgu ve yutaklar, akış yönü, akış birikimi, akarsu ağları ve havza sınırlarının tanımlanması çalıştırılarak havzanın özellikleri belirlenmiştir.

İkinci aşamada, Arc Hydro genişletme araçları kullanılarak tanımlanan alt havza haritası, alt havza özellikleri, nehir ağı haritası ve nehir ağı özellikleri gibi hidrolojik işlemler yer almaktadır. Üçüncü aşamada Arc Toolbox kullanılarak eğim haritası, yağış alanı, Thiessen poligon haritası, Thiessen poligon alan değerleri ve akış katsayısı gibi hidrolojik analizler gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.17).



Şekil 3.17 GIS süreçleri için metodoloji

3.3.2 Gis (coğrafi bilgi sistemi) yazılım

GIS (Coğrafi Bilgi Sistemi), bilgisayarlı planlama ve mekansal analiz için kullanılan güçlü bir araçtır. Coğrafi Bilgi Sistemi , coğrafi bilgileri depolamak, yakalamak, analiz etmek, görüntülemek, sorgulamak ve üretmek için kullanılır. Bu çalışmada seçilen çalışma alanı için dijital harita setleri oluşturmak için kullanılan ArcGIS yazılım bileşenleri, Koyunbaba baraj havzası Arc-Map, Arc-Catalog, Mekansal analiz Hidroloji araçları ve Arc Hydro uzatma araçlarıdır. Dijital yükseklik modelinden (DEM) üretilen haritalar arasında drenaj hatları, nehir havzası sınırı, alt havzalar, dijital eğim haritası, Thiessen poligon haritası, yağışların alan dağılımı yer almaktadır. Her GIS fonksiyon bileşeninin ve uzantısının kısa bir açıklaması aşağıda verilmiştir.

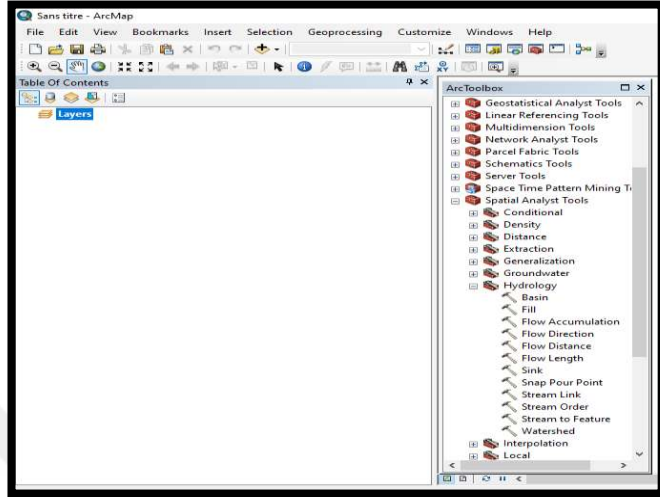
- **Arc Map**, harita oluşturma, öznitelikleri sorgulama, mekansal ilişkileri analiz etme ve nihai projeleri düzenleme gibi ana haritalama uygulamasıdır.
- **Arc Catalog**, bilgisayarınızda ve diğer birçok konumda bulunan uzamsal verileri düzenler ve Arc Map'e veri aramanızı, önizlemenizi ve eklemenizi, ayrıca meta verileri elde etmenizi ve adres bulma hizmetlerini ayarlamanızı sağlamaktadır.
- **Arc Toolbox**, ArcGIS'in üçüncü uygulamasıdır, Başlat menüsünden mevcut olmamasına rağmen, Arc Map ve Arc Catalog içinde kolayca açılır ve kullanılmaktadır.

3.3.3 Sayısal yükseklik modeli oluşturma

Alan işlemi, yüzey drenaj tasarımını içermek (Şekil 3.19) ve nehir havzası sınırlarını belirlemek için çalışma alanından daha geniş bir alana sahip olan DEM'i kullanmaktadır.

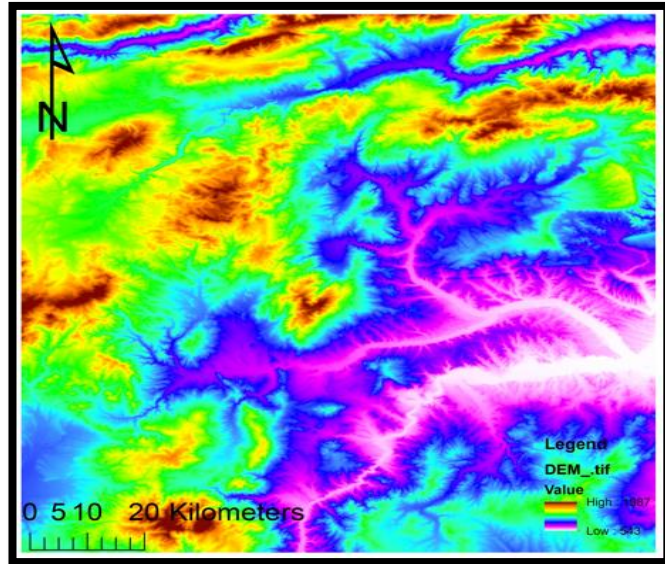
DEM ve ilgili türevleri, ön işleme sonrasında nehir ağlarının oluşturulması ve havza sınırlarının belirlenmesi için kullanılabilir. Havza işlemeden önce Arazi Ön İşleme adımları menüsündeki tüm adımlar yukarıdan aşağıya doğru sırayla gerçekleştirilmelidir. İlk DEM'in kalitesine göre (fill sink) çok önemli olmayabilir. DEM yenilemesini yaparak, DEM'den tanımlanan akış ağları ile giriş vektörü akışı arasındaki

anlaşma derecesini artırabilmektedir. Hidroloji araç seti ArcGIS yazılımında çeşitli havza tanımlama fonksiyonlarını içermektedir, aşağıda Şekil 3.18 hidroloji aracı gösterilmektedir.



Şekil 3.18 Arc toolbox mekansal analiz araçlarında hidroloji fonksiyonları

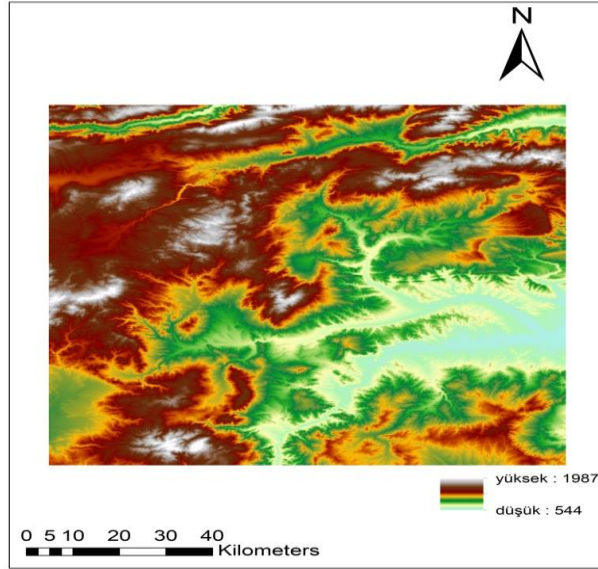
Şekil 3.19 çalışma alanının için alınmış sayısal yükseklik modeli göstermektedir.



Şekil 3.19 Çalışma alanından daha büyük arazi DEM'i görüntüsü

3.3.3.1. Fill sinks

Dijital yükseklik modelleri, verilerde boşluk ve hafif kusurlar içermektedir, hidrolojik modellemeye önce bu kusurların düzeltilmesi gerekmektedir (Ashe, 2003). Bunlar, drenaj şebekesinin kazılması sırasında suyun birikeceği alanlardır. DEM'deki çukurlar enterpolasyondan kaynaklanan hataların sembolüdür, bu çukurlar "fill sink" olarak bilinen bir algoritma ile kaldırılmaktadır. Akış yönünü elde etmeden önce, suyun bu çöküntülerde tutulması ve nehre akmaması için çukurları doldurmak gerekmektedir. boşluk hidroloji aracında fill seçeneğine tıklanarak doldurulmaktadır. İşleme için girdi Area DEM'dir ve Hidro DEM'in çıktısı Şekil 3.20'te gösterildiği gibi fill'dir.

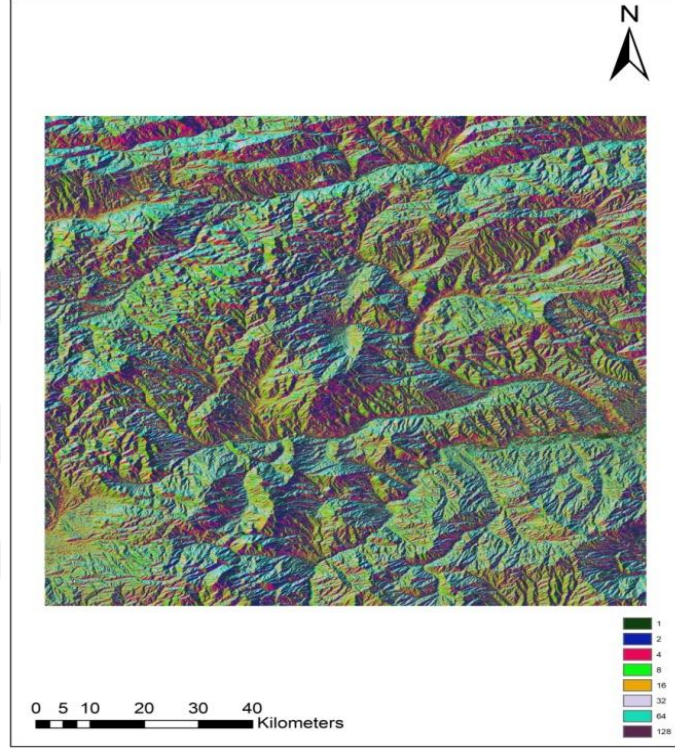


Şekil 3.20 çukurları doldurma görüntüsü (fill sinks)

3.3.3.2. Akış yönü (flow direction)

Chang (2008) göre akış yönü rasteri, dolgu bir yükseklik rasterinin her bir hücresinden dışarı akan suyun yönünü göstermektedir. Akış yönü rasterinde Şekil 3.21'te gösterildiği gibi sekiz farklı değer bulunmaktadır. Her değer, her hücrenin akış yönünü gösteren yön kodunu göstermektedir, ArcGIS sekiz yönlü (D8) akış modelini kullanmaktadır. Bu yöntem, bir hücrenin akış yönünü, en dik mesafe ağırlıklı gradyana sahip çevresindeki

sekiz hücreden birine atamaktadır. Sekiz çıkış yönü, suyun akabileceği sekiz komşu hücreyle ilişkilidir. Akış yönü, komşu raster hücreleri arasındaki yükseklik farklarından belirlenmiştir. Göstergedeki sayılar aşağıdaki yönleri temsil etmektedir: 1 ortalama doğu, 2 ortalama güneydoğu, 4 ortalama güney, 8 ortalama güneybatı, 16 ortalama batı, 32 ortalama kuzeybatı, 64 ortalama kuzey, 128 ortalama kuzeydoğu (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 Akış yönü rasterin görüntüsü

3.3.3.3. Akış birikimi (flow accumulation)

Sayısal arazi analizindeki (DTA) önemli konular, sayısal yükseklik modellerinden akış birikimini hesaplamak için akış yönü algoritmasını kullanarak arazi modellerinden (DEM) akış birikiminin hesaplanmasıdır; bu algoritma, verilen her bir DEM hücresinden komşu hücre (ler)e akışın nasıl boşaltılacağını belirler ve ardından her hücre için akış birikimini özyinelemeli olarak hesaplar (Freeman 1991).

Akış birikimi, akış yönü çıktıları kullanılarak hesaplanmıştır. Akış ağı, her bir hücrenin akış birikim değerlerinden Şekil 3.22’te tanımlanmıştır.



Şekil 3.22 Akış birikimi rasterin görüntüsü

3.3.3.4. Çıkış (akma) noktaları oluşturma

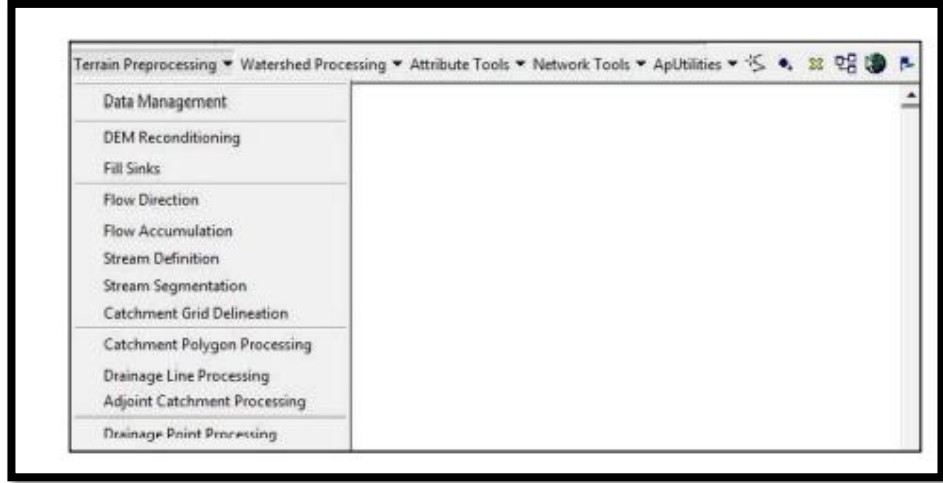
Havza sınırlandırmasındaki önemli adım akma noktasının yeri. Yüksek akış birikiminin olduğu bir alanda bir akma noktası bulunmalıdır çünkü bu nokta, söz konusu noktaya katkıda bulunan toplam su akışını hesaplamak için kullanılmaktadır; akma noktası bir gösterge istasyonu, bir baraj veya nehir ağı üzerindeki herhangi bir öznel nokta olabilmektedir. Bu çalışmada, Akma noktası Koyunbaba barajının Şekil 3.23’te gösterdiği gibi sevgilisinde bulunan bir noktadır.



Şekil 3.23 Akma noktasının tanımlanması

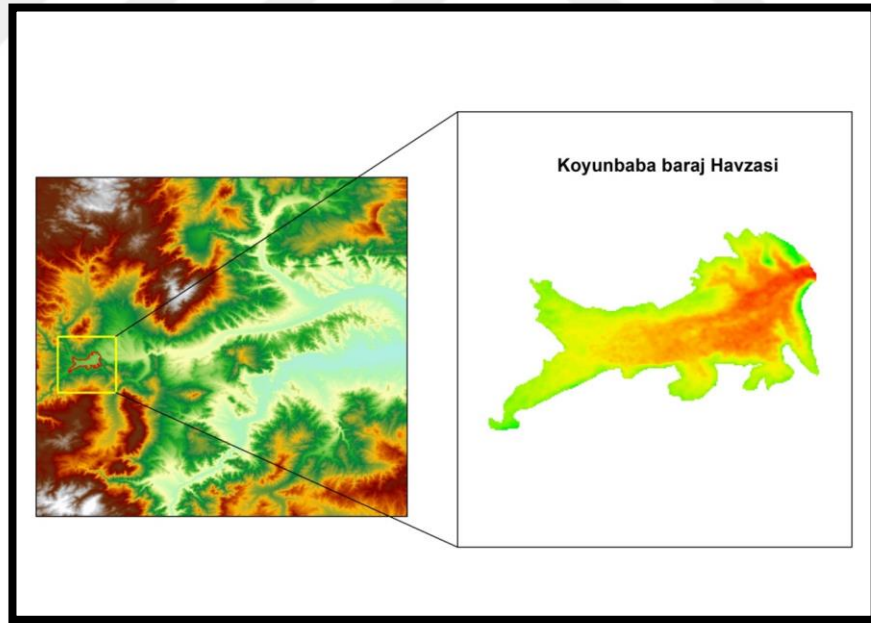
3.3.4 Koyunbaba su havzası sınırlandırması

Hidrolojik işlemenin temel amacı, su havzalarının ve alt havzaların sınırlarını belirlemek ve bu alanlar hakkında veri toplamak için Coğrafi bilgi sistemi (CBS) ve Arc Hydro uygulamalarını kullanmaktır. Su kaynağı modelleri ile birleştirilebilecek bir veri kümesi oluşturmaktadır. Arc Hydro data modeli, su verileri yapılarını düzenlemektedir, böylelikle veriler herhangi bir mekansal ölçekte su kaynağı sorunlarını çözebilmek için sürekli ve verimli bir şekilde kullanılabilir. Arc Hydro uygulamaları kullanılarak sayısal yükseklik modeli veri seti, pratik arazi ön işleme için temel veri seti olarak kullanılmadan önce ön işleme sokulmuş, bir menüden seçenekler seçilerek arazi işleme gerçekleştirilmiştir. bu işlem, fil sinks, akış yönünün ve akış birikiminin hesaplanmasını, dere tanımlarını, akış uzunluğunu ve havza sınırının belirlenmesi için dere bölümlerini içermektedir, Şekil 3.24 Arc hydro araç çubuğu menüsünü göstermektedir.



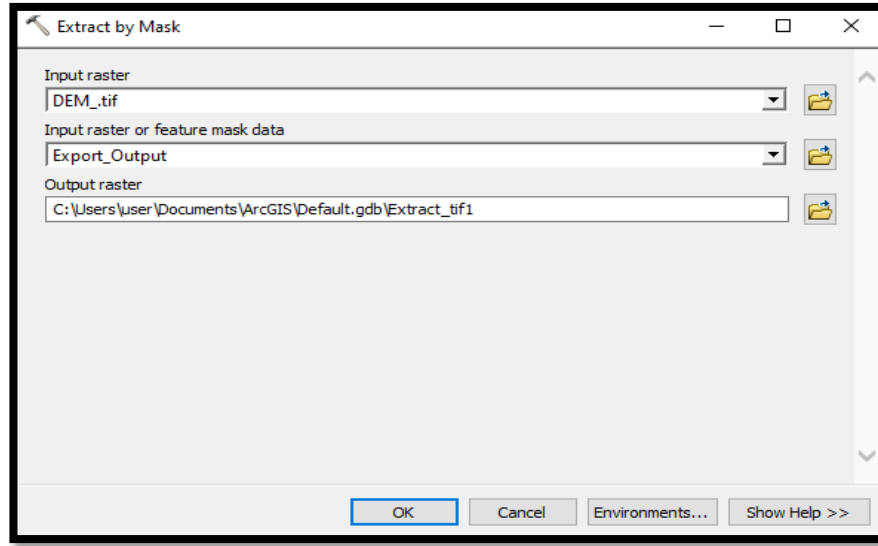
Şekil 3.24 Arc Hydro araç çubuğu menüsü

ArcHydro yazılımında, DEM haritası açıldıktan sonra, Şekil 3.25'te gösterildiği gibi Koyunbaba baraj havzasının sınırını gösteren bir poligon kullanarak çalışma yapılacak alanı tanımlamaya başlanmaktadır.



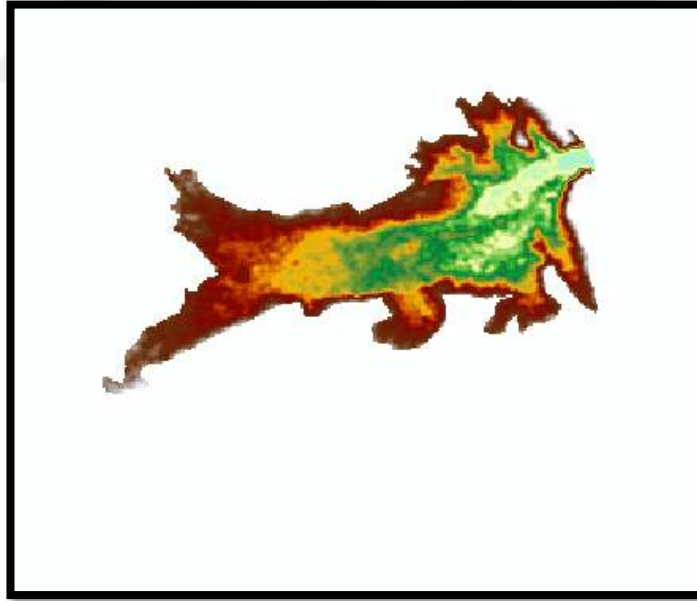
Şekil 3.25 Koyunbaba baraj havzasının sınırını gösteren polygonu

Araç kutusundaki 'maskeye göre çıkar' Şekil 3.26 gösterdiği aracını kullanarak, çalışma yapılacak alanı çıkarmaktadır



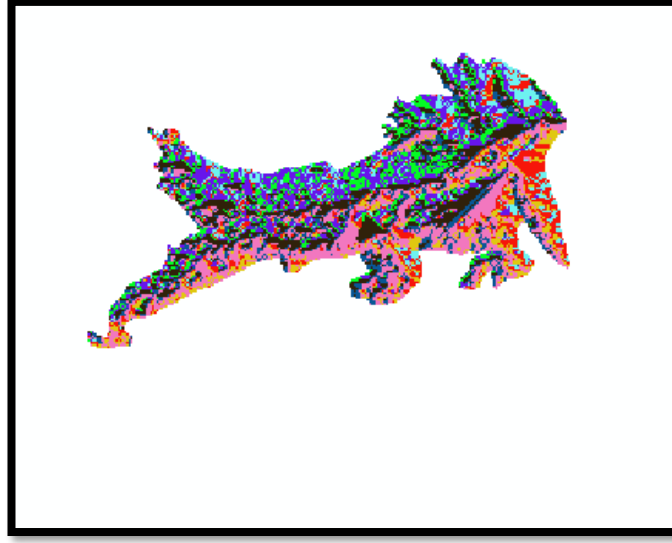
Şekil 3.26 Maske ile özüt çubuğun kutusu

Şekil 3.27 maske ile özüt çubuğu kullanarak çıkarılmış havzanın drenaj alanı göstermektedir.



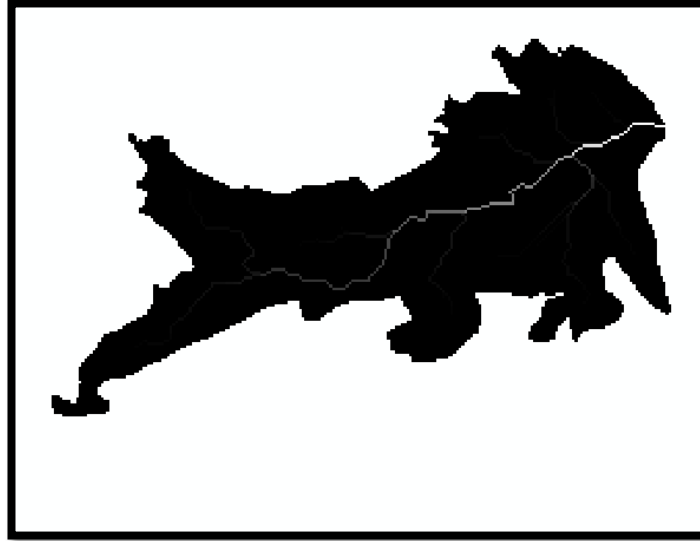
Şekil 3.27 Çıkarılmış koyunbaba baraj havzası görüntüsü

Çalışma alanı çıkarıldıktan sonra, akışın yönünü gösteren haritayı belirlemeye başlamakradır, Şekil 3.28 haritalar birçok akışın olduğu alanı göstermeye yaramaktadır.



Şekil 3.28 Akışın yönünü gösteren haritası

Akış birikim haritalarını üretmek için akış yönü kullanılmaktadır. Bu harita, çalışmamız için Şekil 3.29'da gösterildiği gibi koyunbaba barajının giriş yönü olan akış yönünü gösterecektir.



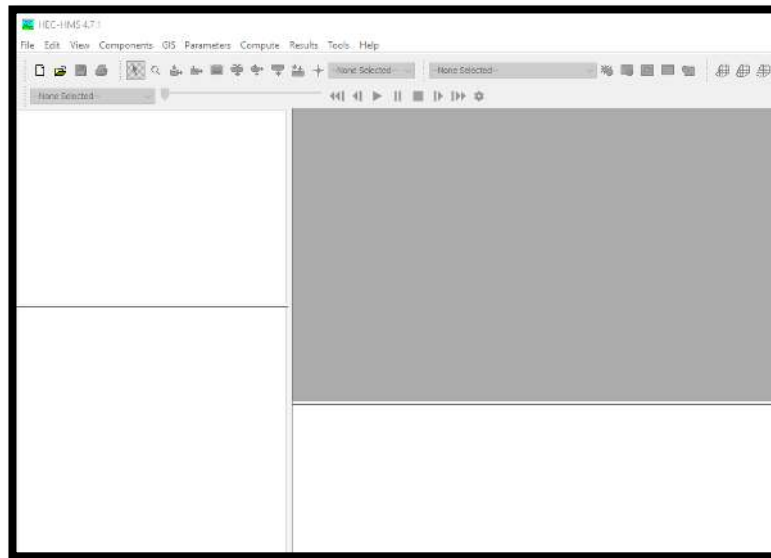
Şekil 3.29 Akış birikim haritası

3.4 Hec – hms Modeli

HEC-HMS (Hidrolojik Modelleme Sistemi) dağıtılmış hidrolojik modeli ABD Ordusu Mühendisler Birliği Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından geliştirilmiştir (USACE 2011).

Deterministik ve kavramsal hidrolojik model HEC HMS (Hidrolojik Modelleme Sistemi) uzun bir süredir çoğunlukla belirli bir olayın simülasyonuna uygulanan bir model olmuştur. Son sürümler, evapotranspirasyon, toprak nemi ve kar birikimi/erimesi gibi farklı süreçlerin hesaplanması için modüller entegre ederek uzun bir süre boyunca sürekli simülasyona imkân tanımaktadır.

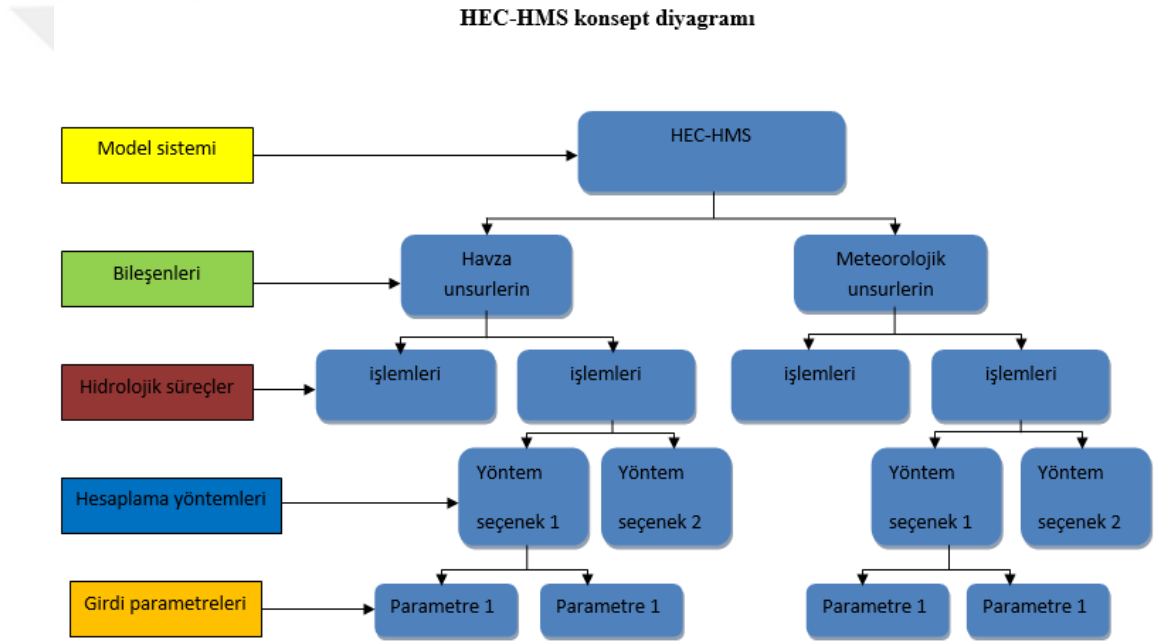
HEC-HMS, bir havza alanının, her biri homojen özelliklere sahip olduğu düşünülen birkaç alt havzaya bölünmesine imkân tanıyan dağıtılmış bir modeldir. Özellikle şehirleşmemiş havzaların hidrolojik davranışını simüle etmek için çok uygundur. HEC-HMS ayrıca rezervuarların ve derivasyonların simülasyonuna ve dahil edilmesine de mümkündür. HEC-HMS hidrolojik modeli, kullanıcı uyumlu bir grafik arayüz, veri, sonuç ve grafik manipülasyonu için yetenekler, özel bir veri yönetimi ve depolama sistemi, sonuç görüntüleme ve yazdırma yetenekleri ve yönetim araçları içermektedir.



Şekil 3.30 HEC – HMS yazılımı (Versiyon 4.7.1) görüntüsü

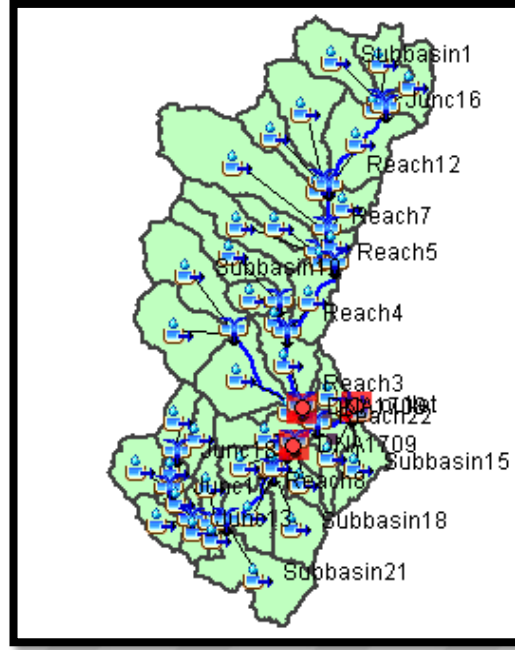
Bu yazılım, kentsel drenaj çalışmaları, taşkın tahmini, rezervuar tasarımı ve taşkın azaltma gibi çeşitli amaçlar için taşkın hidrograflarının hesaplanmasını sağlamaktadır. Program, veri tabanı, veri giriş araçları, hesaplama motoru ve sonuç sunum araçlarını içeren tam entegre bir çalışma ortamına sahiptir.

Şekil 3.31 gösterdiği gibi modelleme sisteminin iki ana bileşeni vardır. Her bir bileşen içerisinde hidrolojik döngünün farklı süreçleri bulunmaktadır. Her bir hidrolojik süreci temsil etmek için, aralarından seçim yapılabilen çeşitli hesaplama yöntemleri vardır. Son olarak, her hesaplama yöntemi için belirli girdi parametreleri gerekmektedir.



Şekil 3.31 Hec-hms konsept diyagramı

Program, havza içerisindeki su döngüsünü kontrol edilebilir alt havzalara bölüp havza çevresinde sınırlar oluşturarak modellemeyi Şekil 3.32’de gerçekleştirmektedir.



Şekil 3.32 HEC – HMS’de oluşturulmuş alt havzalar görüntüsü (HEC-HMS 2022)

HEC - HMS yazılımı üç ana bileşenden oluşmaktadır: havza model yöneticisi, meteorolojik model yöneticisi ve kontrol spesifikasyon yöneticisi. Havza modeli bileşeni ile oluşturulan alt havza elemanları, sembolleri ve açıklamaları Çizelge 3.6’de verilmiştir.

Çizelge 3.6 HEC – HMS’de hidrolojik modelleme elemanları

Sembol	Eleman Ad	Açıklaması
	Subbasin	fiziksel su havzasını temsil etmek için kullanılır
	Reach	havza modelinde akarsu akışını aşağıya iletmek için kullanılır.
	Reservoir	akışlar depolanır
	Junction	akış yukarısında bulunan hidrolojik elemanlardan gelen akarsu akışını birleştirmek için kullanılır.
	Diversion	Derivasyon elemanı, ana kanaldan ayrılan akarsu akışını modellemek için kullanılır
	Source	havza modeline akış sağlamak için kullanılır.
	Sink	fiziksel su havzasının çıkışını temsil etmek için kullanılır.

Alt havzaların modellenmesi, yazılım tarafından hidrograf hesaplamalarında kullanılan kayıp, dönüşüm ve baz akış yöntemleri gibi belirli parametreleri gerektirmektedir. Bu parametrelerin seçimi havzanın özelliklerine, çalışmanın amacına ve son olarak mevcut verilere göre seçilmektedir (Şekil 3.33).

Şekil 3.33 HEC – HMS’de havza modeli veri penceresi

Kayıp yöntemleri, hidrolojide bir havzadan akan yağış miktarını ve "kaybolan" miktarı hesaplamak için kullanılan yöntemlerdir. Sık kullanılan kayıp yöntemleri şunlardır: Initial and Constant – rate, SCS curve number (CN), Gridded SCS CN, Green and Ampt, Deficit and Constant Rate ve Soil moisture accounting (SMA). Kayıp yöntemlerinin sınıflandırılması Çizelge 3.7 'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.7 Hec-hms yazılımında yer alan kayıp yöntemi (İsmail vd. 2022)

Kayıp yöntemi (Loss method)	Kategori			
Initial and Constant – rate	Olay bazlı	Mekansalca topakli	Deneyssel	Uygun parametre
SCS Curve Number (CN)	Olay bazlı	Mekansalca topakli	Deneyssel	Uygun parametre
Gridded SCS CN	Olay bazlı	Mekansalca topakli	Deneyssel	Uygun parametre
Green and Ampt	Olay bazlı	Mekansalca topakli	Deneyssel	Uygun parametre
Deficit and Constant Rate	Olay bazlı	Mekansalca topakli	Deneyssel	Uygun parametre
Soil moisture accouting (SMA)	Olay bazlı	Mekansalca topakli	Deneyssel	Uygun parametre
Gidded SMA	Olay bazlı	Mekansalca topakli	Deneyssel	Uygun parametre

Dönüştürme yöntemi, havzadaki aşırı yağıştan akışa geçişi havza çıkışında bir deşarj hidrografına dönüştürür. Sık kullanılan kayıp yöntemleri şunlardır: User – Specified unit hydrograph (UH), Clark’s UH, Snyders’s UH, SCS UH, ModClark ve Kinematic wave. Dönüştürme yöntemlerinin sınıflandırılması Çizelge 3.8'de sunulmaktadır.

Çizelge 3.8 Hec-hms yazılımında yer alan dönüştürme yöntemi (İsmail vd. 2022)

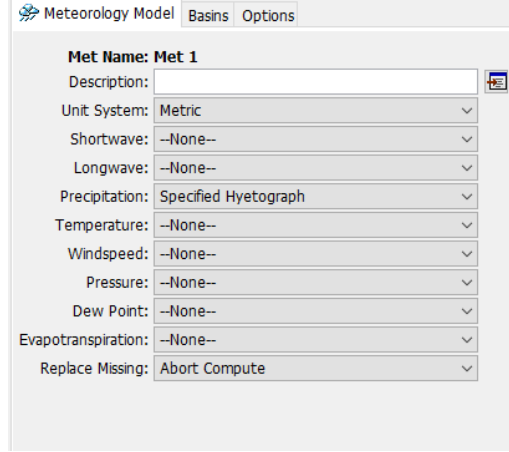
Dönüştürme yöntemi (Transform method)	Kategori			
User-Specified hydrograph (UH)	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre
Clark’s UH	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre
Syndres’s UH	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre
SCS UH	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre
ModClark	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre
Kinematic wave	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre

Baz akışı (base-flow), yağışın bir kısmının toprak altı ile karışmasından kaynaklanan ve taban suyu akışı oluşturan yeraltı suyu akışı olarak tanımlanır. HEC-HMS yazılımında sıklıkla kullanılan baz akışı yöntemleri şunlardır: Sabit aylık, Üstel durgunluk ve doğrusal rezervuar.

Çizelge 3.9 Hec-hms yazılımında yer alan baz akım yöntemi (İsmail vd. 2022)

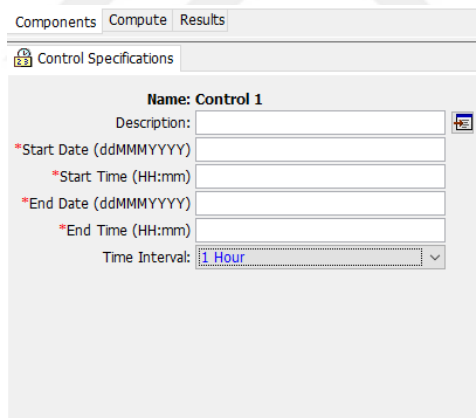
Baz akım yöntemi (Baseflow method)	Kategori			
Constant monthly	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre
Exponential recession	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre
Linear reservoir	Olay bazlı	Mekansalca topaklı	Deneysel	Uygun parametre

Meteorolojik modeller bir projenin ana bileşenlerinden biridir. Temel amaç, alt havzalar için meteorolojik sınır koşullarının hazırlanmasıdır. HEC-HMS'de meteorolojik model yağış, buharlaşma ve kar erimesi verilerini tanımlamak için kullanılmaktadır. Yağış verilerinin tahsisi hiyetograf veya ağırlıklandırma yöntemi ile yapılmaktadır (Şekil 3.34).



Şekil 3.34 HEC – HMS’de meterolojik model penceresi

Kontrol spesifikasyonları, çok fazla parametre verisi içermemelerine rağmen bir projedeki ana bileşenlerden biridir. Temel amaçları simülasyonların ne zaman başlayıp duracağını ve simülasyonda hangi zaman aralığının kullanılacağını kontrol etmektir (Şekil 3.35).

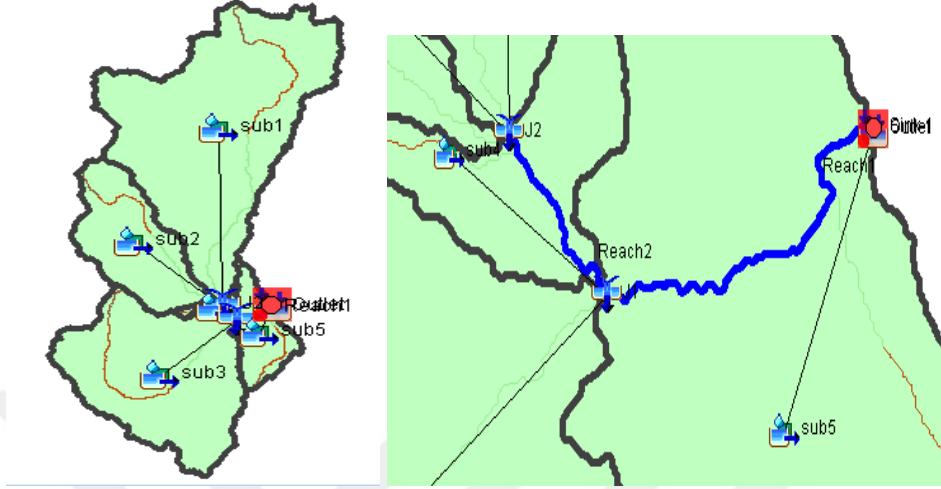


Şekil 3.35 HEC – HMS’de kontrol özellikleri penceresi

3.4.1 Model Uygulaması

Koyunbaba havzasının sınırlandırılması, Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) kullanılarak ArcGIS yazılımı ile belirlenmiştir. Model, çıkarılacak çalışma alanı belirtilerek USGS'den içe aktarılmıştır. Tanımlama yapıldıktan sonra, havza HEC-HMS yazılımına aktarılmıştır.

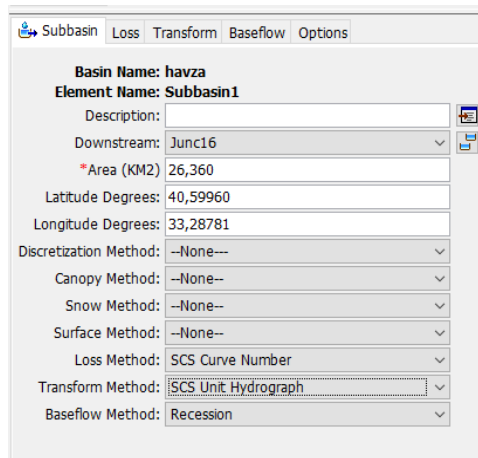
Havza, kesme noktası oluşturma aracı kullanılarak 5 alt havzaya ayrılmış ve farklı modelleme ve simülasyon araçları Şekil 3.36'de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.



Şekil 3.36 HEC – HMS yazılımında Koyunbaba barajının havzasının drenaj sınırları

3.4.1.1. Havza modellemesinde yer alan parametreler

Modelleme çalışmaları öncesinde ilgili havza verilerinin girilmesi ve HEC-HMS tarafından önerilen yöntemlerden yöntem seçiminin yapılması gerekmektedir. Bu yöntemler, havza modeli bileşeniyle oluşturulan alt havza diyalogunda seçilmektedir (Şekil 3.37).

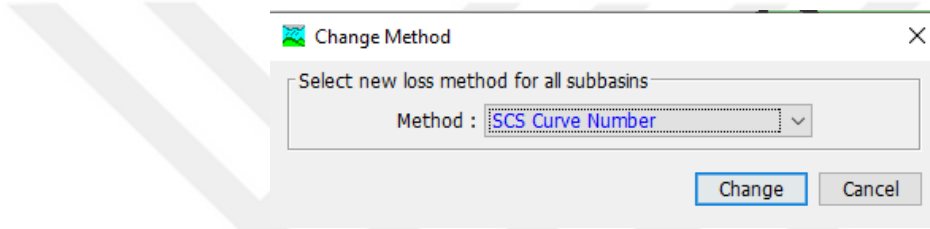


Şekil 3.37 HEC – HMS’de alt havza diyalog penceresi

Hidrolojik çalışma için HEC-HMS'de önerilen yöntemler arasında, bu çalışmada aşağıdaki yöntemler tercih edilmiştir:

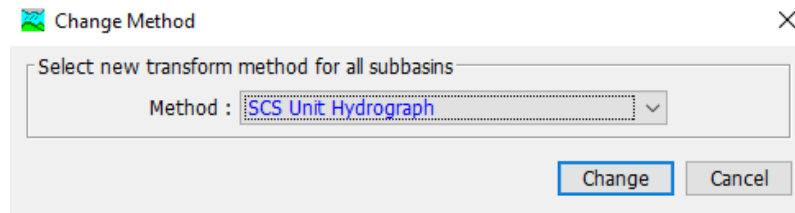
- Kayıp yöntemi (loss method) için 'SCS Curve Number' kullanılmıştır, bu yöntem Şekil 3.38'de gösterildiği gibi tüm havzalar için uygulanacaktır

Kayıp yöntemi, zemin tarafından absorbe edilen yağış kayıplarını hesaplayan sürecin seçilmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, kayıpları hesaplamak ve toplam yağıştan fazla yağışı elde etmek için SCS Curve Number yöntemini kullanmaktadır.



Şekil 3.38 HEC – HMS’de alt havza kayıp yöntemi seçimi

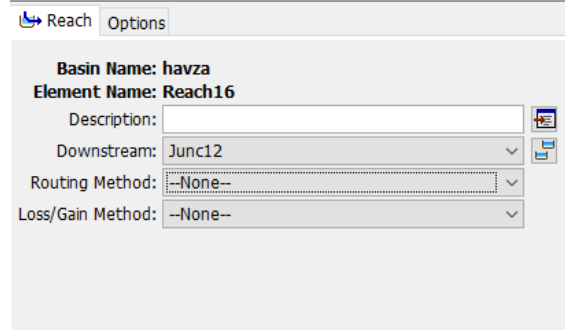
- Dönüştürme yöntemi, fazla yağışın nasıl doğrudan akışa dönüştürüleceğini belirtmektedir. Dönüştürme yöntemi (transform method) için 'SCS Birim Hidrografi' kullanılmıştır, bu yöntem Şekil 3.39'de gösterildiği gibi tüm havzalar için de uygulanacaktır.



Şekil 3.39 HEC – HMS’de alt havza dönüştürme yöntemi seçimi

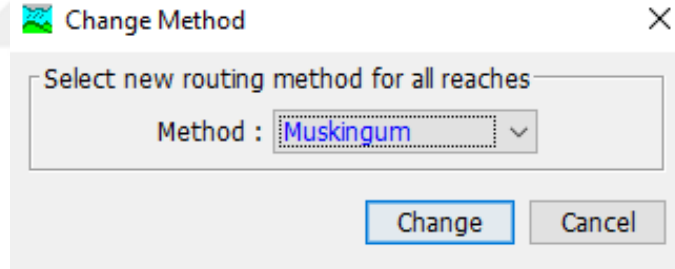
Baz akış için herhangi bir yöntem uygulanmamıştır

Yönlendirme yöntemi, yukarı akış hidrografını bilerek havzanın aşağı akışında bir hidrograf hesaplamak için kullanılır. Yönlendirme yöntemi, havza modeli bileşeniyle oluşturulan Erişim diyalogunda seçilmelidir (Şekil 3.40).



Şekil 3.40 HEC – HMS’de Reach diyalog penceresi

Bu çalışmada kullanılacak yönlendirme yöntemi, popüler 'Muskingum' yöntemidir. Bu yöntem tüm havuzlar için uygulanacaktır (Şekil 3.41).



Şekil 3.41 HEC – HMS’de alt havza yönlendirme yöntemi seçimi

3.4.1.2. Kullanılan her yöntem için hesaplanan veriler

- **Loss methode için CN hesaplaması :**

USDA Toprak Koruma Servisi (SCS, şimdi NRCS olarak bilinmektedir) tarafından önerilen SCS Eğri Sayısı (CN) yöntemi, basitliği ve geçmişi nedeniyle infiltrasyon kaybı ve akış hesaplaması için yaygın olarak kullanılmaktadır. SCS Eğri Numarası yöntemi bir dizi ampirik denklem içerir ve temel parametresi, inç cinsinden derinlik açısından

maksimum toprak su tutma/depolamayı tanımlamak için kullanılan Eğri Numarası veya CN'dir.

Model, yağış miktarı ve CN (eğri numarası) katsayısına bağlı olarak oluşturulmuş, su miktarının hesabında kullanılan bir formüldür. CN, 0 ile 100 değerleri arasında değişen boyutsuz bir parametredir. Q yüzey akış miktarı Denklem 3.1. ile elde edilir.

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

P toplam yağışı, la ilk tutulmayı, S depolamayı ifade etmektedir.

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (3.2)$$

Bu çalışma için CN değerleri çalışma alanının toprak haritasından belirlenmiştir. Bu değerler ArcGIS yazılımı kullanılarak çıkarılmıştır (Çizelge 3.10).

Çizelge 3.10 ArcGIS'dan çıkarılmış curve number (ArcGIS 2022)

Adı	bölge kodu	Alan	CN
subbassin-1	1	370,83	82,09
subbassin-2	2	113,24	81,91
subbassin-3	3	220,97	80,18
subbassin-4	4	7,1279	75,85
subbassin-5	5	46,31	79,37

CN değerleri SNC Eğri Numarası parametresine dahil edilmiştir ve CN verisi loss diyalog penceresine girilmiştir (Şekil 3.42).

SCS Curve Number [Basin 1]

Filter: --None--

Subbasin	Initial Abstraction (MM)	Curve Number	Impervious (%)
sub1	0	82,091	0,0
sub2	0	81,915	0,0
sub3	0	80,185	0,0
sub4	0	75,856	0,0
sub5	0	79,379	0,0

Şekil 3.42 HEC-HMS’de girilmiş CN tablosu

Şekil 3.43’de loss metod için girilmiş CN göstermektedir.

Subbasin Loss Transform Options

Basin Name: Basin 1
Element Name: sub1

Initial Abstraction (MM) 0

*Curve Number: 82,091

*Impervious (%) 0,0

Şekil 3.43 HEC – HMS’de loss method diyalog penceresi

- **Transform method için lag time hesaplaması:**

Konsantrasyon zamanı (T_c), yüzey akışının su havzasındaki hidrolik olarak en uzak noktadan çıkışa ulaşması için gereken süredir. Hidrolik olarak en uzak nokta, havza çıkışına en uzun hareket süresine sahip olan noktadır ve çıkışa en uzun akış mesafesine sahip olan nokta olmak zorunda değildir.

Konsantrasyon zamanı, bir alandan pik deşarjın hesaplanmasına yönelik bazı analiz yöntemlerinde kritik bir bileşendir. Pik deşarj, drenaj alanının tüm segmentleri sahadan gelen akışa katkıda bulunmaktadır.

T_c ile lag time birbirine bağlayan bir formül vardır:

$$T_c = \frac{l^{0.8}(S+1)^{0.7}}{1.140Y^{0.5}} \quad (3.3)$$

$$Lag = 0.6 \times T_c \quad (3.4)$$

T_c = konsantrasyon süresi, h

L = akış uzunluğu, ft

Y = ortalama havza arazi eğimi, %

S = maksimum potansiyel tutma, inç

Lag süresi hesaplamak için gereken veriler, alt havuzların özelliklerini veren tablodan alınmıştır (Şekil 3.44).

Filter: None											
Subbasin	Longest Flowpath Length (KM)	Longest Flowpath Slope (M/M)	Centroidal Flowpath Length (KM)	Centroidal Flowpath Slope (M/M)	10-85 Flowpath Length (KM)	10-85 Flowpath Slope (M/M)	Basin Slope (M/M)	Basin Relief (M)	Relief Ratio	Elongation Ratio	Drainage Density (KM/KM ²)
sub1	46,71282	0,01981	23,63205	0,00916	35,03462	0,01499	0,19020	1062,00000	0,02273	0,46516	0,06343
sub2	25,21938	0,04213	12,33422	0,01569	18,91454	0,02742	0,26132	1062,00000	0,04211	0,47611	0,03973
sub3	31,45802	0,02519	10,41595	0,01320	23,59352	0,01683	0,18975	810,00000	0,02575	0,53320	0,05991
sub4	7,53051	0,03506	2,96717	0,01078	5,64788	0,03400	0,12606	276,00000	0,03665	0,40005	0,32205
sub5	12,84986	0,04533	3,14959	0,01254	9,63740	0,04187	0,13675	624,00000	0,04856	0,59757	0,10946

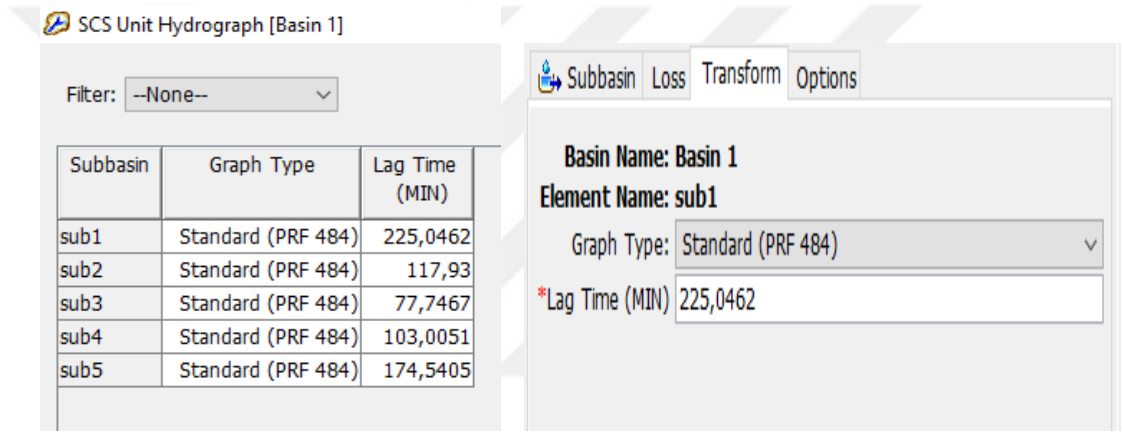
Şekil 3.44 HEC – HMS’de alt havza özellikleri gösteren tablosu (HEC-HMS 2022)

Her bir havza için gecikme süresi hesaplamalarının sonuçları aşağıdaki Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11 hesaplanmış Tc ve lag time verileri tablosu

ADI	CN	L (km)	Y (mm)	S	L (ft)	Y (%)	Tc	Lag (Hr)	Lag (min)
subbassin-1	82,09	46,71	0,19	2,18	149893,97	19,02	6,25	3,75	225,05
subbassin-2	81,91	25,22	0,26	2,21	80924,96	26,132	3,28	1,97	117,93
subbassin-3	80,19	31,46	0,19	2,47	100943,75	18,975	4,85	2,91	174,54
subbassin-4	75,86	7,53	0,13	3,18	24164,20	12,606	2,16	1,30	77,75
subbassin-5	79,38	12,85	0,14	2,60	41233,14	13,675	2,86	1,72	103,01

Hesaplanan gecikme zamanı (lag time) değeri, HEC – HMS yazılımında SCS Unit hydrograph penceresine girilmiştir (Şekil 3.45).



Şekil 3.45 HEC – HMS’de SCS için girilmiş lag time diyalog penceresi

3.4.1.3. Zaman serisi oluşturma ve kontrol verilerinin özellikleri

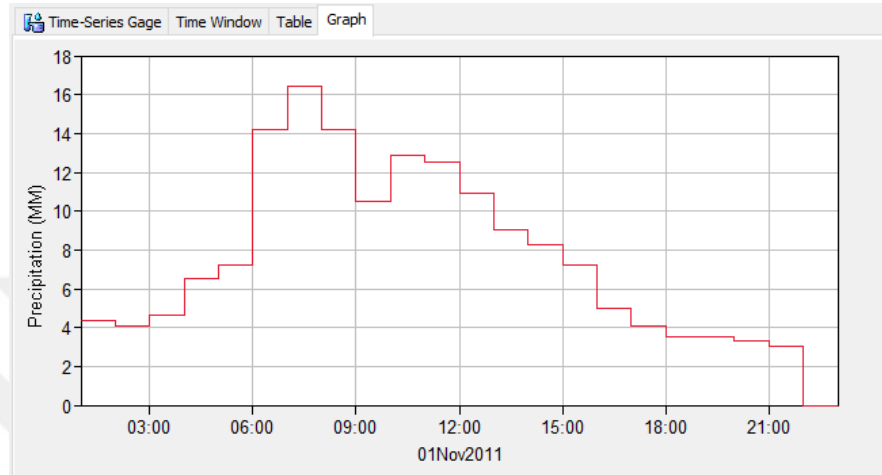
Hidrolojik modelleme çalışmalarında, zaman serisi verileri, eşleştirilmiş veriler ve grid verileri gibi parametre gerekmektedir.

Zaman serisi verilerine:

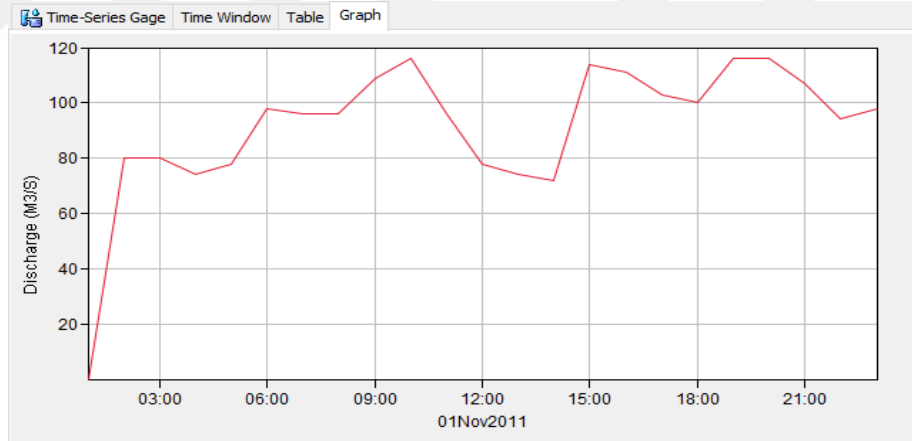
- Yağış
- Akış
- Buharlaşma
- Zemin, güneş radyasyonu

- Kar – su eşdeğeri
- Mahsul katsayısı, konsantrasyon

Verileri örnek verilebilmektedir (Şekil 3.46 ve Şekil 3.46).



Şekil 3.46 HEC – HMS’de yağış için zaman serisi gösteren diagramı



Şekil 3.47 HEC – HMS ‘de akış için zaman serisi gösteren diagramı

Simülasyonun zaman aralığı kontrol özellikleri diyalog penceresinde belirtilmektedir. Kalibrasyon ve validasyon periyotlarındaki kontrol özellikleri diyalog kutusunda başlangıç tarih-saati, bitiş tarih-saati ve olayın 10 dakikalık zaman aralığı değerleri girilmiştir (Şekil 3.48 ve 3.49).

Control Specifications

Name: Control 1

Description:

*Start Date (ddMMYYYY) 01nov.2011

*Start Time (HH:mm) 01:00

*End Date (ddMMYYYY) 01nov.2011

*End Time (HH:mm) 23:00

Time Interval: 10 Minutes

Şekil 3.48 HEC – HMS’de subbasin diyalog penceresi

Time-Series Gage Time Window Table Graph

Gage Name: Gage 1

*Start Date (ddMMYYYY) 01nov.2011

*Start Time (HH:mm) 01:00

*End Date (ddMMYYYY) 01nov.2011

*End Time (HH:mm) 23:00

Şekil 3.49 HEC – HMS’de subbasin diyalog penceresi

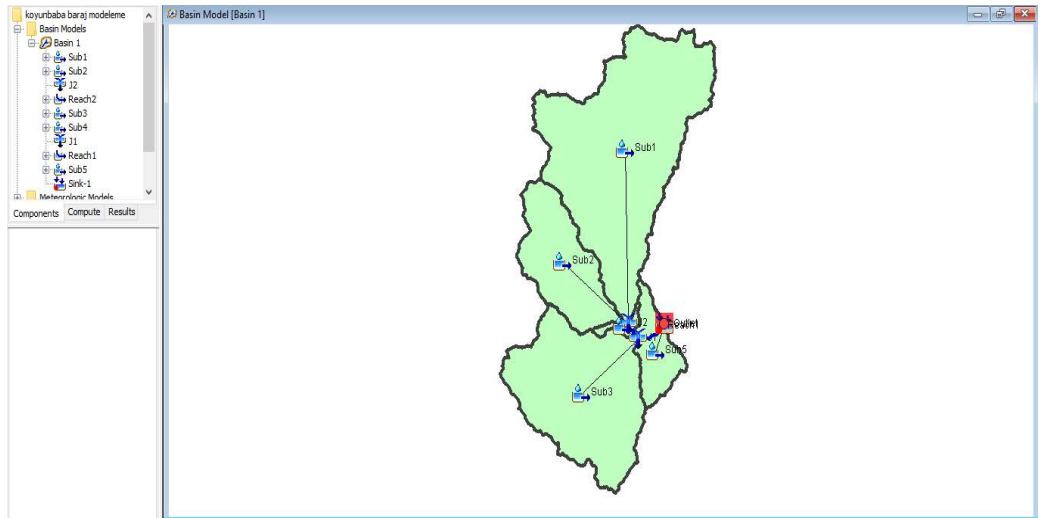
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölüm, Koyunbaba Barajı su havzasının HEC-HMS'de simülasyon sonuçlarını sunmaktadır. HEC-HMS'deki sonuçlar için gerekli olan veriler, 1898-2011 dönemi için DNA-1780'in yağış tahmin eğrilerinden elde edilmektedir. Zemin örtüsü Google-Earth'ten işlenmiştir.

4.1 Çalışma Alanı İçin Hec-hms Simülasyon Sonuçları

HEC-HMS projesi için girdi verileri, tüm ön işleme verilerinin sahadan HEC-HMS projesine kopyalanmasına, uzunluk, memba ve mansap kotları ve havza eğimleri gibi havza ve dere özelliklerinin çıkarılmasına ve eğri sayısı, başlangıçtaki geçirimsiz alan değerlerinin yüzdesi ve havza arıtımı gibi konsantrasyon süresi gibi hidrolojik parametrelerin tahmin edilmesine olanak veren ArcGIS kullanılarak oluşturulmuştur.

HEC-HMS, Koyunbaba havzasının çıkış noktasını baraj olarak kabul ederek havza alanını tanımlamak için kullanılmıştır. Sayısal Arazi Modeli'nin (DEM) HEC-HMS tarafından daha ileri düzeyde işlenmesi sonucunda Şekil 4.1 ve Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi beş alt havza, iki yönlendirme bölümü, iki bağlanma noktası ve havzanın ana fizyografik özellikleri elde edilmiştir.



Şekil 4.1 HEC-HMS kapsamındaki çalışma alanı (HEC-HMS 2023)

Çizelge 4.1’de 5 alt havzanın fizyografik özellikleri gösterilmektedir. 1 numaralı alt havzanın 46,71 km²’lik bir alana sahip olduğu ve 225,04 dakika gibi çok yüksek bir gecikme süresine sahip olduğu tablodan görülmektedir.

Çizelge 4.1 Alt havzaların özellikleri

Alt havzaları	yüzey alanı (km ²)	CN (eğri sayısı)	Lag-time (dakika)	Eğim %
SUB1	46,71282	82,091	225,0462	19.02
SUB2	25,21938	81,915	117,93	26.13
SUB3	31,45802	80,185	174,5405	18.97
SUB4	7,53051	75,856	77,7467	12.60
SUB5	12,87729	79,379	103,0051	13.67

4.1.1 Sub1 alt havzasının özellikleri

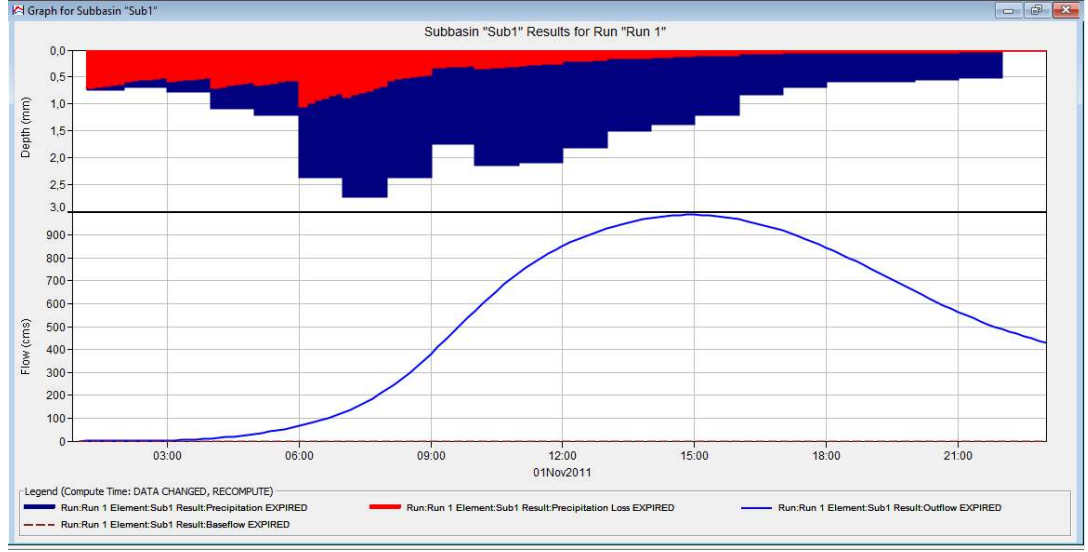
SCS-CN sızıntı kaybı modeli ve SCS birim hidrograf transfer yöntemi uygulandıktan sonra elde edilen simülasyon sonuçları aşağıda gösterilmektedir.

Çizelge 4.2, SUB1 alt havzasının infiltrasyon kaybı toplam yağışın %25’sini, dolayısıyla 41,00 mm’lik bir kaybı temsil ettiğini göstermektedir. SUB1 alt havzasının toprağı kentsel yapısı nedeniyle çok düşük bir infiltrasyon kapasitesine sahiptir ve CN’nin 82,091 olduğu alt havzanın %75’ini temsil etmektedir.

Çizelge 4.2 SUB1 alt havzası için simülasyon sonuçları

En yüksek zaman pik	Pik akış (m ³ /s)	Toplam Yağış (mm)	Toplam kayıp (mm)	Net yağış miktarı (mm)
15:00	987,00	165,00	41,00	124,00

Şekil 4.2’de SUB1 alt havzasının taşkın hidrografını göstermektedir. Yükselme eğrisi 5 saat boyunca düzdür, toprağın doygunluğu anlamına gelen eğrinin hızlı bir şekilde yükselmesinden sonra, pik 15:00 saatlik bir pik süresi ile 987,00 m³/s’lik bir akışa ulaşır, bu havza 46,71 km²’lik bir alana sahiptir. Taşkın eğrisi 23 saatten itibaren hızlı değil yavaştır.



Şekil 4.2 SUB1 alt havzasının taşkın hidrografi

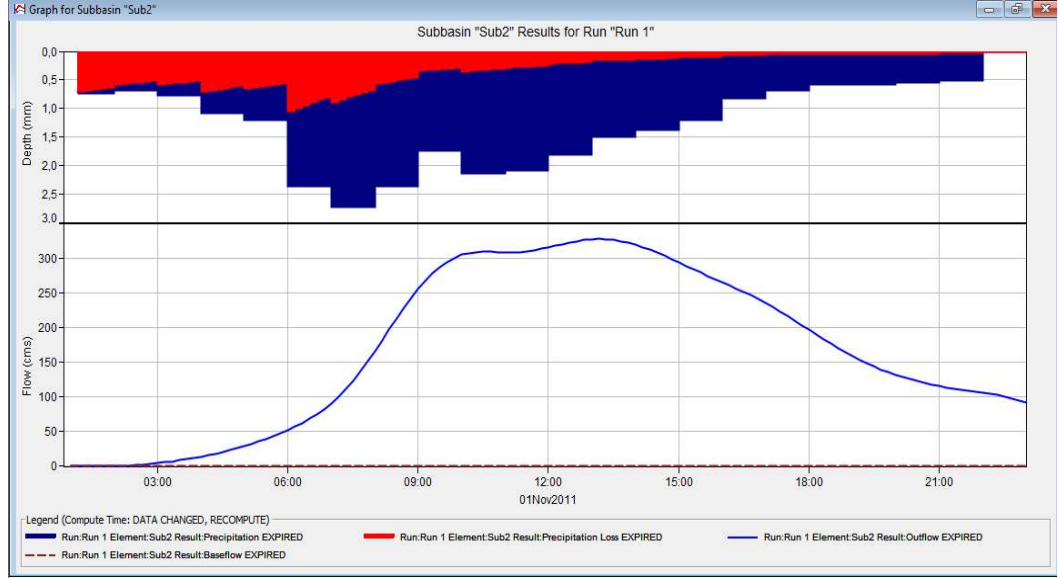
4.1.2 Sub2 alt havzasının özellikleri

Çizelge 4.3’de SUB2 infiltrasyon kayıpları 41 mm’ye ulaşmaktadır, bu da toplam yağışın %25’ünü temsil etmektedir, SUB2 alt toprağı kentsel yapısı nedeniyle çok düşük bir infiltrasyon kapasitesine sahiptir ve CN 81.915’tir.

Çizelge 4.3 SUB2 alt havzası için simülasyon sonuçları

En yüksek zaman pik	Pik akış (m3/s)	Toplam Yağış (mm)	Toplam kayıp (mm)	Net yağış miktarı (mm)
13:10	327,00	165,00	41,00	123,00

Şekil 4.3’de SUB1 alt havzasının taşkın hidrografını göstermektedir. Yükselme eğrisi 5 saat boyunca düzdür, toprağın doygunluğu anlamına gelen eğrinin hızlı bir şekilde yükselmesinden sonra, pik 13:10 saatlik bir pik süresi ile 327,00 m3/s’lik bir akışa ulaşır, bu havza 25,22 km2’lik bir alana sahiptir. Taşkın eğrisi 23 saatten itibaren hızlı değil yavaştır. SUB2 alt havzasının pik zamanı SUB1 alt havzasının pik zamanından 1 saat 50 dakika daha küçüktür.



Şekil 4.3 SUB2 alt havzasının taşkın hidrografı

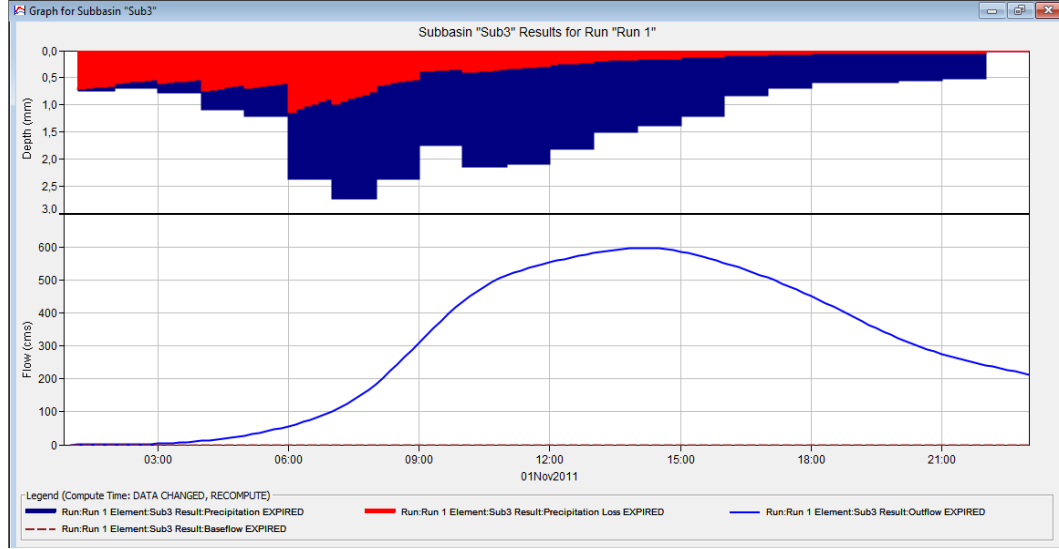
4.1.3 Sub3 alt havzasının özellikleri

Çizelge 4.4, SUB3 alt havzasının infiltrasyon kaybı toplam yağışın %27,27'sini, dolayısıyla 45,00 mm'lik bir kaybı temsil ettiğini göstermektedir, SUB3 alt havzasının toprağı kentsel yapısı nedeniyle çok düşük bir infiltrasyon kapasitesine sahiptir ve CN 80,185'tir.

Çizelge 4.4 SUB3 alt havzası için simülasyon sonuçları

En yüksek zaman pik	Pik akış (m3/s)	Toblam Yağış (mm)	Toplam kayıp (mm)	Net yağış miktarı (mm)
14:10	596,00	165,00	45,00	120,00

Şekil 4.4'de SUB3 alt havzasının taşkın hidrografını göstermektedir. Yükselme eğrisi 5 saat boyunca düzdür, toprağın doygunluğu anlamına gelen eğrinin hızlı bir şekilde yükselmesinden sonra, pik 14:10 saatlik bir pik süresi ile 596,00 m3/s'lik bir akışa ulaşır, bu havza 31.46 km2'lik bir alana sahiptir. Taşkın eğrisi 23 saatten itibaren hızlı değil yavaştır. SUB3 alt havzasının pik zamanı SUB2 alt havzasının pik zamanından 1 saat daha büyüktür.



Şekil 4.4 SUB3 alt havzasının taşkın hidrografi

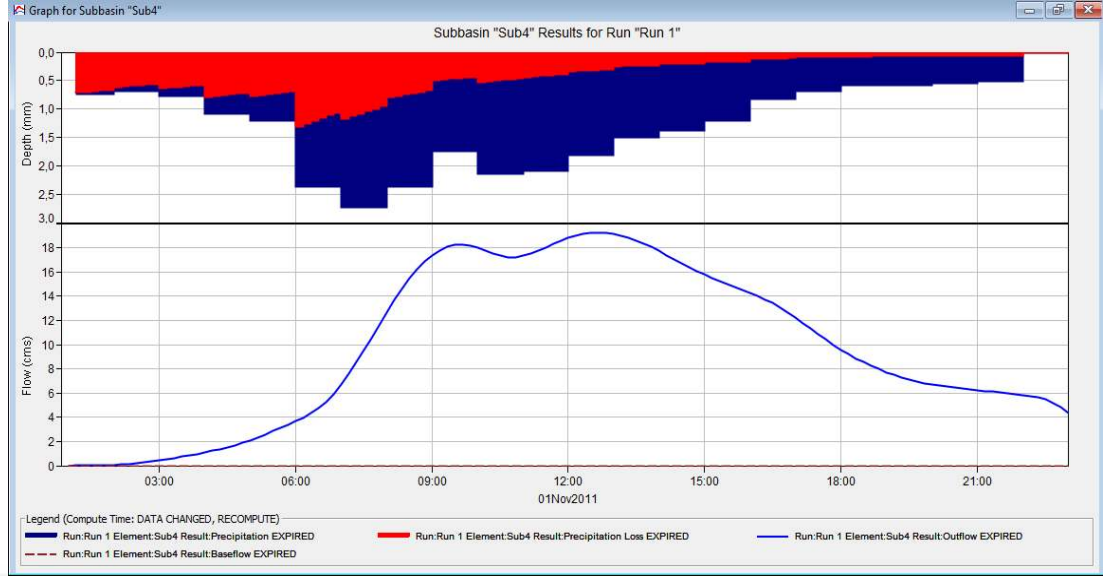
4.1.4 Sub4 alt havzasının özellikleri

Çizelge 4.5, SUB4 alt havzasının infiltrasyon kaybı toplam yağışın %32,73'sini, dolayısıyla 54,00 mm'lik bir kaybı temsil ettiğini göstermektedir, SUB4 alt havzasının toprağı kentsel yapısı nedeniyle çok düşük bir infiltrasyon kapasitesine sahiptir ve CN 75.86'tir.

Çizelge 4.5 SUB4 alt havzası için simülasyon sonuçları

En yüksek zaman pik	Pik akış (m3/s)	Toplam Yağış (mm)	Toplam kayıp (mm)	Net yağış miktarı (mm)
12:40	19,00	165,00	54,00	111,00

Şekil 4.5'de SUB4 alt havzasının taşkın hidrografını göstermektedir. Yükselme eğrisi 5 saat boyunca düzdür, toprağın doygunluğu anlamına gelen eğrinin hızlı bir şekilde yükselmesinden sonra, pik 12:40 saatlik bir pik süresi ile 19,00 m3/s'lik bir akışa ulaşır, bu havza 07,53 km2'lik bir alana sahiptir. Taşkın eğrisi 23 saatten itibaren hızlı değil yavaştır. SUB4 alt havzasının pik zamanı SUB3 alt havzasının pik zamanından 1 saat 30 dakika daha küçüktür.



Şekil 4.5 SUB4 alt havzasının taşkın hidrografı

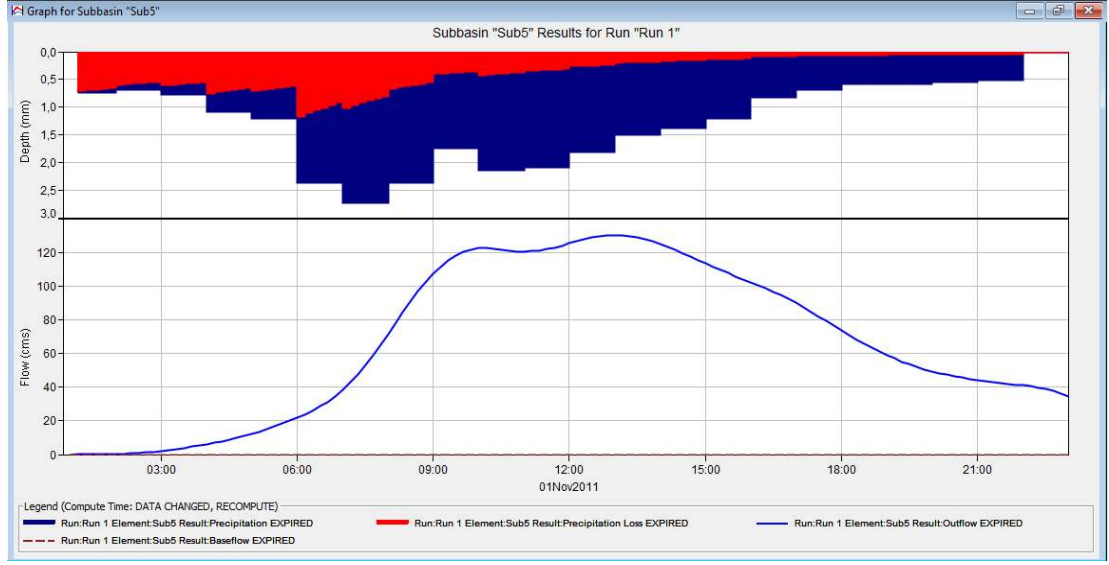
4.1.5 Sub5 alt havzasının özellikleri

Çizelge 4.6, SUB5 alt havzasının infiltrasyon kaybı toplam yağışın %28,48'sini, dolayısıyla 47,00 mm'lik bir kaybı temsil ettiğini göstermektedir, SUB4 alt havzasının toprağı kentsel yapısı nedeniyle çok düşük bir infiltrasyon kapasitesine sahiptir ve CN 79,38'tir.

Çizelge 4.6 SUB4 alt havzası için simülasyon sonuçları

En yüksek zaman pik	Pik akış (m3/s)	ToblamYağış (mm)	Toplam kayıp (mm)	Net yağış miktarı (mm)
13:00	130,00	165,00	47,00	118,00

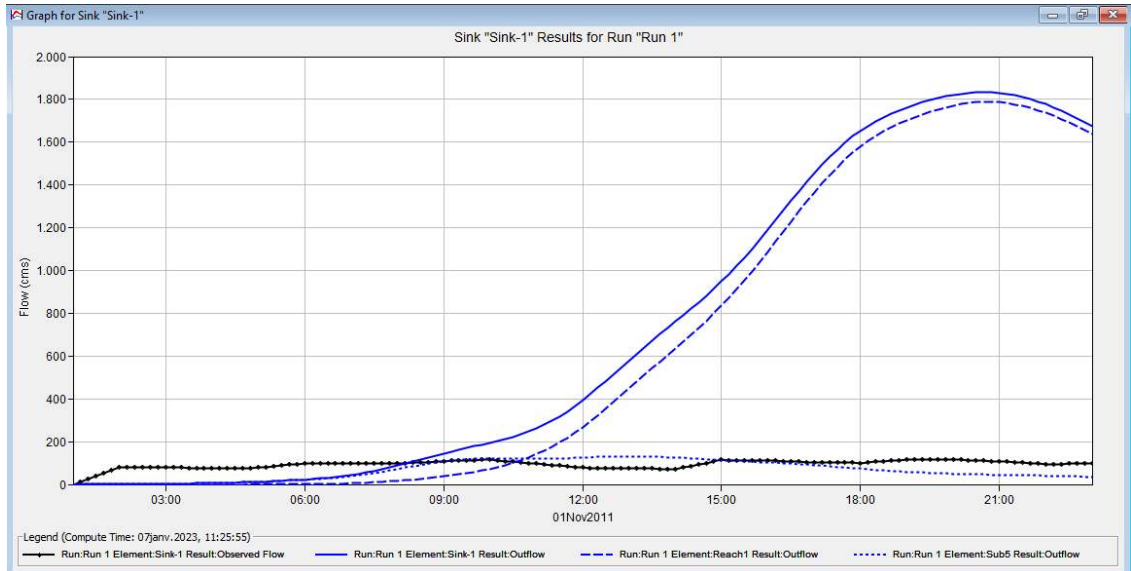
Şekil 4.6'de SUB5 alt havzasının taşkın hidrografını göstermektedir. Yükselme eğrisi 5 saat boyunca düzdür, toprağın doygunluğu anlamına gelen eğrinin hızlı bir şekilde yükselmesinden sonra, pik 13:00 saatlik bir pik süresi ile 130,00 m3/s'lik bir akışa ulaşır, bu havza 12,88 km2'lik bir alana sahiptir. Taşkın eğrisi 23 saatten itibaren hızlı değil yavaştır.



Şekil 4.6 SUB5 alt havzasının taşkın hidrografı

4.1.6 Çıkıştaki debi (sink-1)

Şekil 4.7’de çıkıştaki taşkın hidrografını göstermektedir. Simüle edilen akış 1834,00 m³/s düzeyindedir ve 21 saat çok önemli bir pik zamanı vardır ki bu da Koyunbaba baraj havzasının 124,798 km² olan geniş yüzeyini göstermektedir.



Şekil 4.7 Çıkıştaki taşkın hidrograf

Çizelge 4.7 Çıkıştaki akışın simülasyon sonuçları

Pik Zamani	Pik akış (m3/s)	Akış hacmi (mm)
20:40	1834,00	74,00

Çizelge 4.7’de, maksimum 1834 m³/s akış, Koyunbaba havzasının yoğun yağış dönemlerinde önemli taşkınlar yaşayabileceğini göstermektedir. En yoğun saat olan 20:40 için 74 mm’lik akış hacmi, havzanın bu dönemlerde önemli miktarda su biriktirebileceğini göstermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Değişen iklim, yağış şeklini etkileyerek arazi yapılarının zarar görmesi sonucu sellere yol açmıştır. Ani seller özellikle tehlikeli olup, önemli ölçüde maddi hasara ve can kaybına neden olmaktadır. Bu durumun etkisini en aza indirmek için tüm bölgelerdeki selleri doğru bir şekilde tahmin etmek çok önemlidir. Kısa vadeli yağışlar, sel olaylarını modellemek için kullanılabilecek bir göstergedir ve daha iyi tahminler yapılmasını sağlamaktadır. Yağış verilerini kullanarak taşkın riskini değerlendirmek için, bölgelerde yağış-akış modellemesi yaparak gözlemlenen sonuçlar ile model simülasyonları arasındaki ilişkiyi analiz etmek gerekmektedir.

Barajı çevreleyen su havzasının hidrolojik davranışını anlamak, barajın uygun yönetimi ve bakımı için çok önemlidir. Bu çalışmada, Koyunbaba Barajı'nın hidrolojik davranışını araştırmak için ArcGIS ve HEC-HMS kullanılmıştır.

Bir coğrafi bilgi sistemi olan ArcGIS, mekansal verileri analiz etmek ve Koyunbaba Barajı havzası alanının bir dijital yükseklik modelini (DEM) oluşturmak için kullanılmıştır. DEM, HEC-HMS kullanılarak bir hidrolojik model oluşturmak için değerli bilgiler sağlamıştır.

Havza boyunca su akışını simüle etmek için bir hidrolojik modelleme yazılımı olan HEC-HMS kullanılmıştır. Model, arazi kullanımı, toprak tipi, topografya, yağış ve barajın boyutları ve depolama kapasitesi gibi özellikleri gibi çeşitli faktörler hakkında toplanan veriler kullanılarak geliştirilmiştir.

HEC-HMS kullanılarak geliştirilen hidrolojik model, havzadaki su akışını simüle etmemizi ve çevredeki değişikliklerden nasıl etkileneceğini tahmin etmemizi sağlamıştır. Yağış ve arazi kullanımı gibi çeşitli faktörlere ilişkin verilerin girilmesiyle model, suyun havza boyunca hareketini simüle etmiştir. Model, baraja akan su miktarını, taşkın olayları sırasında en yüksek akış hızını ve aşağı akış hızını tahmin etmemizi sağlamıştır.

1834 m³/s'lik maksimum debi, Koyunbaba havzasının yoğun yağış dönemlerinde önemli taşkınlar yaşayabileceğini göstermektedir. Bu maksimum deşarjın yağış verilerine ve HEC-HMS modelinde kullanılan diğer değişkenlere dayanan bir tahmin olduğunu belirtmek önemlidir. Bu nedenle havzadaki gerçek koşullara bağlı olarak değişebilmektedir.

En yoğun saat olan 20:40 için 74 mm'lik akış hacmi, havzanın bu dönemlerde önemli miktarda su biriktirebileceğini göstermektedir. Bu durum sel riskini artırabilir ve havzadaki arazilere ve altyapıya önemli ölçüde zarar verebilmektedir.

Simülasyon sonuçlarının ilgili geçmiş verilerle ve diğer çalışmalarla karşılaştırılması, simülasyon sonuçlarının doğruluğunun onaylanmasına yardımcı olabilir. Simülasyon sonuçlarının geçmiş verilerle tutarlı olması sonuçlara olan güveni artırmaktadır.

Sonuçlar, iklim değişikliğinin nehir havzası üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir. Örneğin, iklim projeksiyonları bölgedeki yağışlarda bir artışa işaret ediyorsa, simülasyon sonuçları bu artışın havzadaki su akışı üzerindeki potansiyel etkisini değerlendirmek için kullanılabilir.

Son olarak, simülasyon sonuçları Koyunbaba havzasındaki siyasi kararları ve su yönetimi politikalarını bilgilendirmek için kullanılabilir. Simülasyon verilerini kullanarak, politika yapıcılar taşkın riskini en aza indirmek ve bölgedeki insanları ve altyapıyı korumak için bilinçli kararlar alabilmektedir.

• Öneriler

- 1- HEC-HMS modelini kullanmadan önce, baraj havzası ile ilgili yüksek kaliteli hidrolojik ve meteorolojik verilerin toplanması önemlidir. Bu veriler baraj havzasının gerçek koşullarını yansıtmalıdır.
- 2- HEC-HMS modeli için uygun parametreleri seçmek, baraj havzasının fiziksel özelliklerine ve mevcut verilere uygun olmalıdır. Ayrıca, farklı bileşenler için gerçekçi

parametreler kullanılması, toprak özellikleri, eğimler ve akarsuların hidrolik özellikleri gibi, modelin doğruluğunu artırabilir.

- 3- HEC-HMS modelinin kalibre edilmesi ve doğrulanması için mevcut verilerin dikkatli bir şekilde analiz edilmesi ve kullanılması gerekmektedir. Bu, modelin sonuçları için daha doğru ve güvenilir tahminler yapılmasına yardımcı olabilir.
- 4- HEC-HMS modeli için doğru yağış verilerinin kullanılması önemlidir. Bu verilerin özellikle yoğun yağış dönemlerinde doğru bir şekilde kaydedildiğinden emin olunmalıdır.
- 5- HEC-HMS modelinin sonuçlarını analiz ederken, baraj havzasındaki potansiyel su taşkını riskini değerlendirmek önemlidir. Bu, su yönetimi stratejileri geliştirmek için gereklidir.
- 6- HEC-HMS modeli için farklı senaryoların kullanılması, baraj havzasında su yönetimi stratejilerinin olası etkilerini değerlendirmek için faydalıdır.
- 7- Modelin sonuçlarını yorumlarken, sonuçların belirli koşullara dayandığı ve diğer koşullarda farklılık gösterme potansiyeli olduğu akılda tutulmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abbott, M. B., Bathurst, J. C., Cunge, J. A., O'connell, P. E., and Rasmussen, J. 1986. An introduction to the European Hydrological System—Systeme Hydrologique Europeen, “SHE”, 2: Structure of a physically-based, distributed modelling system. *Journal of hydrology*, 87(1-2): 61-77.
- Abushandi, E., and Merkel, B. 2013. Modelling rainfall runoff relations using HEC-HMS and IHACRES for a single rain event in an arid region of Jordan. *Water resources management*, 27(7): 2391-2409.
- ArcGIS Programı, <https://www.arcgis.com/> Erişim Tarihi: 20.02.2023.
- Ahiablame, L.M., Engel, B.A., Chaubey, I., and Fedders, J.M. 2017. Evaluating the impacts of urbanization on flooding in a rural-urban watershed using ArcGIS. *Environmental Modeling & Assessment*, 22(3): 219-231.
- Al-Shabeeb, A., Al-Ansari, N., and Knutsson, S. 2020. Modeling the transport of contaminants in groundwater using ArcGIS. *Environmental Modeling and Assessment*, 25(1): 35-45.
- Ashe, R. G. 2003. Investigating runoff source area for an irrigation drain system using archydro tools, 21: 105-113.
- Bao, X., Cao, G., and Zhang, X. 2018. Effects of soil conservation measures on hydrological processes and sediment yield in a small watershed in the Loess Plateau of China. *CATENA*, 165: 149-158.
- Bayabil, H. K., Yang, Y. C. E., and Yilmaz, M. T. 2017. Spatial-based hydrological model parameterization and validation for ungauged river basins using remote sensing and GIS data. *Hydrological Processes*, 31(13): 2359-2372.
- Bayazıt, M. 1998. Hidrolojik Modeller. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, 21(4): 546-557.
- Çelik, U. 2005. İki Parametrelili Aylık Akım Modeli CBS Entegrasyonu ve Gediz Havzasında Uygulanması. İzmir: Hidrolik-Hidroloji ve Su Kaynakları Ana Bilim Dalı, 159 sayfa, İzmir.

- Chang, K. T. 2008. Introduction to geographic information systems (Vol. 4). Boston: Mcgraw-hill, 450 sayfa, New york.
- Choudhari, K., Panigrahi, B., and Paul, J. C.(2014. Simulation of rainfall-runoff process using HEC-HMS model for Balijore Nala watershed, Odisha, India. International Journal of Geomatics and Geosciences, 5(2): 253.
- Chow, V. T. 1959. Handbook of applied hydrology, 1495 sayfa, New York: Mc Graw Hill.
- Chu, X., and Steinman, A. 2009. Event and continuous hydrologic modeling with HEC-HMS. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 135(1): 119-124.
- Cüceloğlu, G. 2013. Darlık Havzasının Model Destekli Hidrolojik Analizi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü), 157 sayfa, İstanbul.
- Devia, G. K., Ganasri, B. P., and Dwarakish, G. S. 2015. A review on hydrological models. Aquatic procedia, 4: 1001-1007.
- Dhami, B. S., and Pandey, A. 2013. Comparative review of recently developed hydrologic models. J. Indian Water Resour. Soc, 33(3): 34-41.
- Derdour, A., Bouanani, A., and Babahamed, K. 2017. Hydrological modeling in semi-arid region using hec-hms model. Case study in Ain Sefra watershed, Ksour mountains. Journal of Fundamental and Applied Sciences, 9(2): 1027-1049.
- Feng, Y., Han, S., and Cao, Z. 2018. A review of GIS-based hydrological modeling studies in the Tibetan Plateau. Water, 10(6): 688.
- Freeman, R. B. 1991, Crime and the employment of disadvantaged youths, 42 sayfa, cambridge.
- Gao, Y., Wang, X., Zhao, Y., Wu, J., and Yao, J. 2018. Assessing the impact of climate change on groundwater resources using an integrated hydrological modeling approach. Hydrological Processes, 32(20): 3278-3291.
- Gonzalez, M.R., Galarza, M., and Santillan, D. 2017. Spatial and temporal distribution of floods in a tropical Andean basin. Natural Hazards, 87(1): 183-201.
- Ismail, H., Kamal, M. R., Mojid, M. A., Abdullah, A. F. B., and Hin, L. S. 2022. Loss methods in HEC-HMS model for streamflow projection under climate change: a review. International Journal of Hydrology Science and Technology, 13(1): 23-42.

- Keskin, F. 2007. Hydrological model study in yuvacık dam basin by using GIS analysis (Master's thesis, Middle East Technical University), 182 sayfa, Ankara.
- Koyunbaba Barajı ve HES Projesi, 2022. Web Sitesi <https://www.dsi.gov.tr/>. Erişim Tarihi: 10.05.2023.
- Koyunbaba Barajı ve HES, 2022. Web Sitesi <https://www.suyapi.com.tr/>. Erişim Tarihi: 20.06.2023.
- Li, M., Zhang, X., and Li, H. 2020. Spatiotemporal variability of watershed characteristics and its impact on hydrological response. *Environmental Earth Sciences*, 79(3): 97.
- Linsley Jr, R. K., Kohler, M. A., and Paulhus, J. L. 1975. *Hydrology for engineers*, 508 sayfa, New York.
- Liu, S., Xia, J., and Yang, J. 2019. Hydrological response to land use/cover change in a large-scale karst catchment: A case study in the Maotiao River Basin, Southwest China. *Science of the Total Environment*, 655: 298-309.
- Long, Y., Zhang, Y., Yang, D., and Luo, L. 2016. Implementation and application of a distributed hydrological model using a component-based approach. *Environmental Modelling & Software*, 80: 245-258.
- Mekonnen, G., Yasuda, H., and Takeuchi, K. 2018. Assessment of climate change impacts on the frequency and intensity of flood hazards in a tropical river basin in Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11): 5813-5828.
- Nas, B., and Berktaş, A. 2018. Assessment of the impacts of climate change on water resources of Büyük Menderes River Basin (Turkey) by using SWAT model. *Water Resources Management*, 32(3): 987-1003.
- Ogden, F. L., Garbrecht, J., DeBarry, P. A., and Johnson, L. E. 2001. GIS and distributed watershed models. II: Modules, interfaces, and models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 6(6): 515-523.
- Ogden, F. L. 2021, *Hydrological Modeling*, 2 (9): 655-662.
- Oleyiblo, J. O., and Li, Z. J. 2010. Application of HEC-HMS for flood forecasting in Misai and Wan'an catchments in China. *Water Science and Engineering*, 3(1): 14-22.

- Qiu, L., Zhang, Y., Wang, Y., and Ma, J. 2017). Groundwater modeling using ArcGIS: A case study of the Luan River Basin, China. *Arabian Journal of Geosciences*, 10(16): 369.
- Ranit, A. B., Durge, P. V, and Ranit, S. A. 2014. Overview of Hydrology with Hydrological Models and Modeling. 3(2): 1822–1824.
- Ray. K, 1975. Hydrology fo engineers, 508 sayfa, McGraw Hill: New york.
- Ren, J., Li, L., Wang, Y., Li, J., Li, Z., and Li, X. 2019. A GIS-based approach for identifying suitable sites for groundwater recharge in the Zhangye Basin, China. *Water*, 11(4):787.
- Reshma, T., Reddy, K. V., and Prastap, D. 2013. Simulation of event-based runoff using HEC-HMS model for an experimental watershed. *International Journal of Hydraulic Engineering*, 2(2): 28-33.
- Shahid, S., Chung, E.S., and Wang, X.J. 2018. Mapping of flood hazard zones in the Jakarta Metropolitan area, Indonesia, using ArcGIS. *Natural Hazards*, 90(3): 1223-1240.
- Sood, A., and Smakhtin, V. 2015. Global hydrological models: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 60(4): 549-565.
- Su, O. V. E., and L. U. 2017, Manyas Gölü Yukari Havzasi Uygulamasi Su Havzalarında Hidrolojik Modelleme, 28(2): 179-198.
- Şorman, A. A. 2005. Use of satellite observed seasonal snow cover in hydrological modeling and snowmelt runoff prediction in upeer euphrates basin, 223 sayfa, Ankara.
- Sorman, A. A., Emin, T. A. S., and Dogan, Y. O. 2020. Comparison of hydrological models in upper Aras Basin. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 26(6): 1015-1022.
- Sun, H., Wang, J., Wei, J., and Liu, Y. 2018. Integrated flood risk assessment using multi-criteria decision-making methods and GIS: A case study in Luanhe River Basin, China. *Environmental Earth Sciences*, 77(3): 109.
- Tramblay, Y. 2012. Modelisation Des Crues Dans Le Bassin Du Barrage Makhazine, 68 (3): 474-487, Morocco.

- Uğurluoğlu, A. 2017. Su Havzalarında Hidrolojik Modelleme: Manyas Gölü Yukarı Havzasi Uygulamasi, Uzmanlik Tezi, 296 sayfa, Ankara : Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü.
- US Army Corps of Engineers 2008. HEC HMS User Manual, Version 3.2. Hydrologic Engineering Center, 614 sayfa, California.
- Wang, L., Huang, Y., and Lian, X. 2019. Assessing the impacts of land use change on water resources using ArcGIS: A case study of the Dongjiang River Basin in China. *Water*, 11(8): 1577.
- Wang, M., Zhang, L., and Baddoo, T. D. 2016. Hydrological Modeling in A Semi-Arid Region Using HEC-HMS, (92): 1027-1049.
- Wheater, H., Sorooshian, S., and Sharma, K. D. (Eds.). 2007. Hydrological modelling in arid and semi-arid areas, 8(2): 1-20 Cambridge University Press.
- Xiong, L., and Guo, S. 1999. A two-parameter monthly water balance model and its application. *Journal of hydrology*, 216(1-2): 111-123.
- Yang, Y., Sun, G., Zhang, Y., Xu, Z., and Sun, F. 2018. Climate change impacts on streamflow in the source region of the Yellow River Basin, China. *Water*, 10(2): 146.
- Yavuz, O., Uysal, G., Sensoy, A., Sorman, A. A., Akgun, T., and Gezgin, T. 2012. Using HEC-HMS as a decision support system to minimize the downstream flooding risk in Yuvacık Dam basin. In *Proc., Conf. on Water Observation and Information Systems*, balwois, Ohrid, Macedonia. 10(2): 557-564.
- Yinping Long, Yaonan Zhang, Dawen Yang, Lihui Luo 2016, Implementation and application of a distributed hydrological model using a component-based approach, *Environmental Modelling & Software*, Volume 80, Pages 245-258: ISSN 1364-8152.
- Zhang, J., Wu, S., Li, J., Li, H., and Li, Y. 2019. A GIS-based flood inundation model for small-scale urban catchment with an inlet. *Journal of Hydrology*, 570: 205-215.
- Zhang, L., Yang, Y., Wang, Q., and Wu, Z. 2020. Evaluating the impacts of land use change on groundwater recharge using ArcGIS: A case study of the Dongying City, China. *Journal of Environmental Management*, 255: 109878.

EKLER

EK1. 1981-2011 yılları arası yağış verileri (DSİ 2015)

EK2. 2011-2021 yılları arası yağış verileri (DSİ 2015)



EK1. 1981-2011 yılları arası yağış verileri (DSİ 2015)

YIL	OCA	ŞUB	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞU	EYL	EKİ	KAS	ARA	YILLIK	YILLIK TOBLAM
1981	2,84	1,93	1,96	0,64	1,17	0,75	0,87	0,5	0,74	0,81	2,03	3,51	1,48	19,23
1982	3,49	1,49	1,32	3,26	1,52	1,24	0,54	2,14	0,5	0,71	0,39	1,55	1,51	19,66
1983	2,01	1,61	0,6	1,65	1,69	1,65	2,25	0,47	0,45	1,32	4,05	1,25	1,58	20,58
1984	1,71	0,99	1,34	2,84	1,16	1,02	1,23	0,93	0,04	0,39	1,35	0,34	1,11	14,45
1985	1,98	2,62	0,86	1,43	1,55	0,37	0,49	0,17	0,17	1,87	1,35	1,75	1,21	15,82
1986	2,25	1,8	0,59	0,48	1,5	1,99	0,21	0,1	1,22	1,02	1,07	2,26	1,2	15,69
1987	3,32	0,8	1,7	1,72	1,49	1,07	0,93	0,52	0,06	1,12	1,14	2,49	1,37	17,73
1988	0,92	1,2	2,26	1,8	1,45	2,33	0,82	0,18	0,28	2,68	1,98	1,17	1,42	18,49
1989	0,35	0,76	0,4	0,27	1,8	2,06	0,52	0,53	0,61	2,03	3,22	1,82	1,2	15,57
1990	0,43	0,69	0,59	2,58	1,24	0,69	0,99	0,39	1,7	1,64	0,75	1,77	1,12	14,58
1991	0,95	1,4	0,64	1,77	2,01	1,29	0,61	1,04	0,85	1,76	0,73	2,55	1,3	16,9
1992	0,58	0,7	1,42	1,22	0,28	2,33	1,39	0,04	0,4	1,37	2,37	1,71	1,15	14,96
1993	1,06	1,2	0,8	0,94	2,41	0,75	0,17	0,68	0,37	0,09	1,71	0,98	0,93	12,09
1994	1,8	1,08	0,81	0,84	1,39	0,28	0,37	0,22	0,17	1,32	2,51	1,42	1,02	13,23
1995	1,19	0,37	2,9	1,49	0,74	1,53	2,42	0,36	0,92	1,17	2,4	0,84	1,37	17,7
1996	1,01	1,55	2,63	1,14	1,7	0,28	0,46	0,75	2,52	1,97	0,35	2,76	1,43	18,55
1997	1,6	1,02	0,9	3,44	1,56	2,1	0,51	2,02	0,11	2,88	1,19	2,69	1,67	21,69
1998	1,06	1,7	1,65	2,53	3,24	1,63	0,42	0,01	1,08	1,04	1,33	1,7	1,44	18,83
1999	1,1	2,81	1,49	0,81	0,65	2,2	1,86	1,82	0,67	1,71	1,23	1,02	1,44	18,81
2000	1,96	1,27	1,26	2,83	0,99	2	0,35	1,28	0,8	0,89	0,39	1,6	1,3	16,92
2001	0,36	1,36	1,36	1,18	3,2	0,28	0,52	0,62	0,62	0,16	3,06	4,51	1,44	18,67
2002	1,79	0,67	0,99	3,02	0,71	0,97	2,03	0,88	1,52	0,96	1,04	0,82	1,29	16,69
2003	1,8	2,14	0,51	2,04	0,83	0,03	0,24	0,16	0,9	1,46	0,47	2,42	1,08	14,08
2004	2,26	1,26	1,21	1,26	1,32	1,92	0,47	1,02	0,29	0,46	1,72	0,57	1,14	14,9
2005	1,49	1,41	2,23	2,22	1,88	1,87	0,88	0,34	1,01	1,62	1,61	0,97	1,46	18,99
2006	2,62	2,38	1,22	0,94	0,91	1,07	0,19	0,1	2,32	1,2	0,96	0,41	1,18	15,5
2007	1,8	0,54	1,27	1,12	0,88	1,21	0,21	0,69	0,46	0,98	2,57	1,72	1,12	14,57
2008	0,96	0,92	1,96	1,01	2	0,82	0,37	0,04	2,7	1,12	1,44	1,54	1,24	16,12
2009	2,29	2,96	2,02	2,38	1,06	1,63	1,76	0,13	1,36	0,92	1,78	2,59	1,73	22,61
2010	2,28	2,47	1,58	1,22	1,93	4,83	0,88	0,09	0,83	5,06	0,64	2,71	2,04	26,56
2011	1,47	0,89	1,56	2,1	2,73	2,32	0,53	1,4	0,18	2,24	0,44	1,87	1,48	19,21

EK2. 2011-2021 yılları arası yağış verileri (DSİ 2015)

YIL	OCA	ŞUB	MAR	NİS	MAY	HAZ	TEM	AĞU	EYL	EKİ	KAS	ARA	YILLIK	YILLIK TOBLAM
2011	1,47	0,89	1,56	2,1	2,73	2,32	0,53	1,4	0,18	2,24	0,44	1,87	1,48	17,73
2012	3,02	2,55	1,7	0,85	1,98	0,51	0,55	0,95	0,19	0,63	1,59	3,3	1,49	17,82
2013	2,07	1,13	2,25	1,89	0,97	1	0,46	0,25	0,3	0,8	0,43	0,27	0,99	11,82
2014	0,74	0,63	1,04	1,38	2,58	2,83	0,48	0,95	2,44	1,62	0,93	1,99	1,47	17,61
2015	1,38	1,63	2,92	0,84	2,47	3,49	0,42	1,11	0,59	1,54	0,86	0,18	1,45	17,43
2016	2,81	1,06	1,68	1,24	2,64	1,21	0,12	1,48	0,84	0,14	1,1	1,95	1,36	16,27
2017	0,96	0,15	0,97	0,99	1,92	2,19	0,2	0,85	0,56	1,01	1,32	1,47	1,05	12,59
2018	1,49	1,69	2,07	0,31	3,62	2,12	1,15	0,3	0,75	1,33	1,09	2,15	1,51	18,07
2019	2,3	1,36	0,95	1,29	2,11	2,77	0,93	0,84	0,17	0,42	0,69	2,27	1,34	16,1
2020	0,82	1,69	0,77	1,23	1,45	2,68	0,21	0,01	0,23	0,98	0,21	0,51	0,89	10,79
2021	1,02	0,38	1,53	0,87	0,71	2,48	0,4	0,51	1,48	0,18	1,57	1,37	1,04	12,5