BATMAN BARAJININ YIKILMA ANALİZİ VE BARAJ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

HÜSEYİN EFE

ARALIK 2022

DİYARBAKIR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BATMAN BARAJININ YIKILMA ANALİZİ VE BARAJ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

HÜSEYİN EFE

DİCLE ÜNİVERSİTESİ DOKTORA EĞİTİM-ÖĞRETİM VE SINAV YÖNETMELİĞİNİN BİR PARÇASI OLARAK
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALINDA
DOKTORA TEZİ
OLARAK HAZIRLANMIŞTIR

ARALIK 2022

DİYARBAKIR

BATMAN BARAJININ YIKILMA ANALİZİ VE BARAJ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Hüseyin EFE tarafından Dicle Üniversitesi Doktora Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği'nin bir parçası olarak hazırlanan bu çalışma, aşağıda bilgileri yazılı jüri üyeleri tarafından değerlendirilerek **İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı**'nda **Doktora Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Neslihan DALKILIÇ _____
Müdür, **Fen Bilimleri Enstitüsü**

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN _____
Danışman, **Mühendislik Bölümü,**
Dicle Üniversitesi

Sınav Jürisi:

Prof. Dr. Fevzi ÖNEN (*,**) _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Prof. Dr. Tamer BAĞATUR _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Ömer Faruk CAN _____
Makine Mühendisliği Bölümü, Dicle Üniversitesi

Doç. Dr. Mehmet Fatih DİLEKOĞLU _____
Çevre Mühendisliği Bölümü, Harran Üniversitesi

Doç. Dr. Sadık ALASHAN _____
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bingöl Üniversitesi

ONAY

Savunma Tarihi: 19/12/2022

(*) Sınav Jürisi kısmının birinci satırına Jüri Başkanının bilgilerini yazınız.
(**) Sınav Jürisi kısmının ikinci satırına Tez Danışmanının bilgilerini yazınız.

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tez çalışmasında yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bahse konu bu kural ve ilkelerin gerektirdiği üzere, bu çalışmada özgün olmayan tüm bilimsel içerikleri kurallara uygun biçimde alıntılayıp kaynak gösterdiğimi beyan ederim. Beyanımla çelişen herhangi bir delil bulunduğu takdirde tüm sorumluluğu üstleneceğimi kabul ederim.

Ad, Soyadı: Hüseyin EFE

İmza: …….……

TEŞEKKÜR

Hem yüksek lisans hem de doktora danışmanım olan Prof. Dr. Fevzi Önen'e, akademik dönemler boyunca sahip olduğu bilgi ve birikimiyle teknik destek sağlamasının yanı sıra mütevazı tutumuyla gösterdiği sınırsız sabır için teşekkür ederim. Jüri üyelerime de bu tezin daha nitelikli hale gelmesi için yaptıkları yapısal eleştiri ve önerileri için minnettarım. Benzer alanında sahip olduğu eşsiz çalışmalarıyla yol göstermekten hiçbir zaman geri durmayan, teknik destek almamın yanı sıra mühendislik alanına dair sahip olduğu hevesle önemli katkılar sağlayan Dr. Kutay Yılmaz'a, mensubu olduğum kurumun en önemli bölgelerinden olan ve bilgi-belge tedariki sağlayan DSİ 10. Bölge Müdürlüğü'ne ve eski-yeni mesai arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim. Son olarak, hevesimin kırıldığı anlarda fedakârca beni desteklemeye ve bana inanmaya devam eden, çıkmaza düştüğümde farklı açılardan yaklaşım göstermemi sağlayan eşim, yüksek mühendis Emine Kübra Efe'ye çok teşekkür ederim. Bu araştırma tezi, Mühendislik 20.006 numaralı doktora tezi kapsamındaki proje ile Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Bu nedenle, destek sağlayan Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisine (DÜBAP) teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR v
İÇİNDEKİLER vi
ŞEKİLLER LİSTESİ viii
TABLOLAR LİSTESİ x
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ xi
ABSTRACT xiii
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR ÖZETİ 5
2.1 Baraj Güvenliği 5
2.2 Barajlarda Yetersizliklerin Sebepleri 7
2.2.1 Temel Yetersizliği 7
2.2.2 Çatlaklar 8
2.2.3 Sığlaşma ve Şev Kaymaları 8
2.2.4 Çökmeler 9
2.2.5 Sızma 9
2.3 Yıkılma Mekaniği 9
2.3.1 Üstten Aşma 10
2.3.2 Borulanma 11
2.4 Yıkılma Modellemeleri 15
2.4.1 MacDonald ve Langridge-Monopolis 15
2.4.2 Von Thun ve Gilette 15
2.4.3 Froehlich (1995 yılı yaklaşımı) 16
2.4.4 Froehlich (2008 Yılı Yaklaşımı) 16
2.5 Baraj Güvenliğinde Potansiyel Risk Sınıflandırması 18
2.5.1 ICOLD Metodu 19

2.5.2 Bureau Metodu 19
2.5.3 DSİ Metodu 21
2.6 Taşkın Tehlike Değerlendirmesi 22
2.7 Önceki Çalışmalar 25
3. MATERYAL VE METOD 33
3.1 Materyal 33
3.1.1 Proje Alanı 33
3.1.2 Çalışma Alanına Ait Haritalar 35
3.1.3 HEC-RAS Programı 35
3.1.4 Batman Barajının Mevcut Durumu 38
3.2 Metod 41
3.2.1 Yıkılma Sonrası Rezervuarın Ötelenmesi 42
3.2.2 Batman Barajının Potansiyel Risk Sınıflandırması 45
3.2.3 Pürüzlülük Katsayısı 47
3.2.4 Validasyon 55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 58
4.1 Modelin Oluşturulması ve Çözümleme 58
4.2 Simülasyonun Validasyonu 70
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 75
5.1 Sonuç 75
5.2 Öneriler 78
KAYNAKLAR 80
ÖZGEÇMİŞ 85

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Barajların kullanılma amacına göre dağılımı 2
Şekil 2.1 ICOLD kayıtlarına göre, dünyadaki baraj tiplerinin dağılımı 5
Şekil 2.2 Dolgu barajlarda yıkılma sebepleri yüzdeleri 10
Şekil 2.3 Bütün baraj türlerinde yıkılma sebepleri yüzdeleri 10
Şekil 2.4 Baraj yıkılma süreci (üstten aşmalı) 11
Şekil 2.5 Baraj yıkılma süreci (borulanma/sızma) 12
Şekil 2.6 Yıkılma esnasında oluşabilecek gedik şekilleri 14
Şekil 2.7 Teton Barajında yıkılma sonrası oluşan gedik 14
Şekil 2.8 Baraj yıkılması sonrası mansapta oluşan dalga ilerlemesi 17
Şekil 2.9 Türkiye'deki barajların risk potansiyeli 22
Şekil 2.10 Birleşik taşkın tehlike grafiği (USBR) 24
Şekil 2.11 Birleşik taşkın tehlike grafiği (ARR) 24
Şekil 3.1 Batman Barajı yer aldığı Türkiye haritası 33
Şekil 3.2 Batman Barajı uçuş fotoğrafı 34
Şekil 3.3 Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli 35
Şekil 3.4 HEC-RAS programı kullanıcı ara yüzü 36
Şekil 3.5 Batman Barajı dolusavak kapaklarının üstten görünüşü 39
Şekil 3.6 Batman Barajı dolusavak radyal kapak kaldırma tertibatı 40
Şekil 3.7 Çalışmanın metodolojisi 41
Şekil 3.8 Ötelenen taşkın dalgasına ait örnek hidrograf 43
Şekil 3.9 Batman Barajının en büyük yer ivme değeri 46
Şekil 3.10 Çalışma alanına ait CORINE görüntüsü 53
Şekil 3.11 Batman Çayında yaşanan taşkın 56
Şekil 3.12 E26A012 sayılı AGİ'ye ait anahtar eğrisi 57
Şekil 4.1 RAS Mapper model görüntüsü 58
Şekil 4.2 Kot-hacim bilgi girişi 59
Şekil 4.3 Modeldeki mesh (hücre) boyutlandırması 60
Şekil 4.4 Baraj mansabında sıklaştırılmış mesh boyutlandırmaları 60
Şekil 4.5 Yıkılma parametrelerinin tanımlanması 61
Şekil 4.6 Batman Barajı taşkın hidrografı 62
Şekil 4.7 Model analiz ekranı 63

Şekil 4.8 RAS Mapper'da senaryoların karşılaştırılması 63
Şekil 4.9 I. senaryoya ait taşkın dalgası hız dağılım haritası 64
Şekil 4.10 II. senaryoya ait taşkın dalgası hız dağılım haritası 65
Şekil 4.11 III. senaryoya ait taşkın dalgası hız dağılım haritası 66
Şekil 4.12 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo I) 67
Şekil 4.13 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo II) 67
Şekil 4.14 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo III) 68
Şekil 4.15 Batman il merkezi taşkın tehlike haritası (Senaryo I) 69
Şekil 4.16 Batman il merkezi taşkın tehlike haritası (Senaryo II) 69
Şekil 4.17 Batman il merkezi taşkın tehlike haritası (Senaryo III) 70
Şekil 4.18 Akım Gözlem İstasyonu 70
Şekil 4.19 Tek boyutlu taşkın analizi 71
Şekil 4.20 Batman Çayı yatağı 72
Şekil 4.21 Şerbetli Köyü taşkın analizi 73
Şekil 5.1 Taşkın dalgasının hız değerleri 76
Şekil 5.2 Batman Barajının yıkılması sonrası oluşabilecek tehlike haritaları (Senaryo I, II, III) 77

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1 Farklı ülkelerde meydana gelmiş baraj yıkılmaları 6
Tablo 2.2 PGA değerine göre risk sınıflandırma 19
Tablo 2.3 Barajın fiziki durumuna göre risk sınıflandırma..... 19
Tablo 2.4 ICOLD metoduna göre barajın fiziki durumuna göre risk sınıflandırma .. 19
Tablo 2.5 Barajın rezervuar hacmi ve yüksekliğine göre risk sınıflandırması 20
Tablo 2.6 Barajın fiziki durumuna göre risk sınıflandırması..... 20
Tablo 2.7 Mansap risk katsayısı hesabı..... 20
Tablo 2.8 Bureua metoduna göre toplam risk puanına göre sınıflandırma..... 20
Tablo 2.9 DSİ metoduna göre toplam risk puanına göre sınıflandırma..... 21
Tablo 2.10 DSİ metoduna göre risk potansiyeli sınıflandırma tablosu.....21-22
Tablo 2.11 Boy ve kütle indeksine (BK) göre sınıflandırma..... 23
Tablo 2.12 Derinlik-hız çarpımına göre tehlike sınıfları 23
Tablo 2.13 Tehlike sınıflarına göre risk tanımı..... 25
Tablo 3.1 Batman Barajı karakteristik bilgileri..... 34
Tablo 3.2 Batman Barajı için hazırlanan risk potansiyel sınıflandırması 47
Tablo 3.3 Pürüzlülük katsayısına göre debi değişimi örneği 49
Tablo 3.4 DSİ tarafından modifiye edilen Cowan katsayıları 49-50
Tablo 3.5 CORINE sistemine göre belirlenen pürüzlülük katsayıları 54-55
Tablo 4.1 Batman Barajı yıkılma analizi için oluşturulan senaryolar..... 61
Tablo 4.2 Batman Çayı taşkın debileri..... 71
Tablo 4.3 Tek boyutlu taşkın analizinde pürüzlülük validasyon sonuçları..... 72
Tablo 4.4 Batman Çayının 2010 yılı hidrolojik verileri..... 73
Tablo 4.5 Şerbetli Köyü tek boyutlu taşkın analiz sonuçları 74

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Kısaltma	Açıklama
ARR	Australian Rainfall and Runoff
CORINE	Coordination of Information on The Environment
DSİ	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
EEA	European Environment Agency
FEMA	Federal Emergency Management Agency
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center River Analysis System
HGK	Harita Genel Komutanlığı
ICOLD	International Commission on Large Dams
PGA	Peak Ground Accelaration
USBR	The United State Bureau of Reclamation

ÖZET

BATMAN BARAJININ YIKILMA ANALİZİ VE BARAJ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Efe, Hüseyin
Doktora, İnşaat Mühendisliği Bölümü
Danışman: Prof. Dr. Fevzi ÖNEN
Aralık 2022, 99 sayfa

Günümüzde artan tüketim miktarıyla birlikte sulama-içme suyu ile enerji ihtiyacı da aynı oranda artış göstermiştir. Bu durumun doğal sonucu olarak, mansabında yerleşim yerlerinin olup olmadığına bakılmaksızın, inşa edilen barajların güvenliği sorgulanır hale gelmiştir. Gelişen teknoloji sayesinde, barajların türüne, mansabında yer alan yerleşim yerlerinin büyüklüğüne ve topoğrafyasına göre farklı senaryolar altında risk analizleri türetilerek çeşitli tedbirlerin alınması mümkün hale gelmiştir. Özellikle simülasyon programlarının son derece gerçekçi seviyelere yaklaşmasıyla daha tutarlı sonuçlara ulaşılabilmektedir. Bu çalışmada; baraj güvenliği konusu irdelenerek tasarım aşamasında veya işletmede olan barajlara yönelik risk potansiyel sınıflandırma kriterleri doğrultusunda Batman Barajı için tehlike durumu incelenmiştir. Hidrolik açıdan son derece kritik öneme sahip pürüzlülük katsayısı için arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırma sistemi olan CORINE altyapısı kullanılarak daha doğru sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır. Simülasyon hassasiyetinin arttırılması için Batman Çayına ait 1/1000 ölçekli haritalarla 1/25000 ölçekli haritalar bütünleştirilmiştir. Mevcut risklerin tam olarak ortaya konulabilmesi için 2003 yılından beri işletmede olan Batman Barajının en güncel periyodik muayene raporu irdelenmiş ve bütüncül bir yaklaşımla 3 farklı senaryo üzerinde çalışılmıştır. Taşkın dalgasının derinlik ve hız değerleri çarpımlarına bağlı tehlike haritaları oluşturularak senaryolar karşılaştırılmıştır. Sonuç verileri incelendiğinde; gedik geometrisi ve yıkılma sürelerindeki farklılıklar nedeniyle taşkın hidrografının, barajdan 30 kilometre uzaklıkta benzeştiğini ancak tam olarak eşitlenmediğini göstermiştir. Batman Çayı üzerindeki Akım Gözlem İstasyonu verilerinin yanı sıra geçmişte yaşanan taşkın verilerinden faydalanılarak oluşturulan simülasyonun doğrulaması yapılmıştır. Batman Barajının yıkılma simülasyonu için HEC-RAS programı kullanılarak olası bir yıkılma sonrası ortaya çıkacak olan taşkın dalgası sonucu taşkın tehlike haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuç verileriyle; hangi alanların sular altında kalacağı belirlenerek mansapta bulunan yerleşim alanları için taşkın dalgası ulaşmadan önce erken tahliye sürelerinin tespitinin yapılabilmesine olanak sağlanmıştır. Mevcut durumla birlikte kısa ve uzun vadeli imar planlarına altlık oluşturabilecek bu çalışmayla afet riskinin azaltılabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Baraj Güvenliği, Baraj Yıkılması, CORINE, HEC-RAS, Batman Barajı, Taşkın Tehlikesi

ABSTRACT

FAILURE ANALYSIS OF BATMAN DAM AND EVALUATION IN TERMS OF DAM SAFETY

Efe, Hüseyin
Ph. D. Thesis, Department of Civil Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Fevzi ÖNEN
December 2022, 99 pages

Nowadays, the need for both irrigation-drinking water and energy has increased at the same rate with the increasing amount of consumption. As a result, the safety of the dams constructed regardless of the presence of downstream settlements has become questionable. Thanks to the developing technologies, it has become possible to take various precautions by creating risk analyses under different scenarios according to the type of dams, topography and size of the residential area. Particularly, by reaching a more realistic level in simulation programs, more consistent results can be achieved. In this study, by examining the dam safety issue, the danger situation for the Batman Dam has been revealed in line with the risk potential classification criteria for the dams at the design stage or in operation. More accurate results have been tried to be obtained by using the CORINE infrastructure, a land cover/use classification system for the roughness coefficient, which has significant importance for hydraulics. In order to increase the accuracy of the simulation, 1/1000 scale maps of Batman Stream and 1/25000 scale maps were integrated. To fully reveal the existing risks, the most up-to-date periodic inspection report of the Batman Dam, which has been in operation since 2003, has been examined, and 3 different scenarios have been tried to be determined with a holistic approach. The scenarios were compared by creating hazard maps based on the product of the depth and velocity values of the flood wave. The result data showed that the flood hydrograph is similar but not fully equalized at a distance of 30 kilometers from the dam due to differences in breach geometry and failure times. The simulation, which was created using the data of the Flow Observation Station on the Batman Stream along with the flood data from the past, was calibrated. Using the HEC-RAS program for the collapse simulation of Batman Dam, flood hazard map have been tried to be revealed in case of flood waves that will occur after a possible collapse. With the obtained result data, it has been possible to determine the early evacuation periods for the residential areas downstream before the flood waves reaches by deciding which areas will be flooded. It is strongly believed that disaster risk can be reduced with this study, which can also form a basis for short and long-term development plans in addition to the current situation.

Keywords: Dam Safety, Dam Breach, CORINE, HEC-RAS, Batman Dam, Flood Hazard

1. GİRİŞ

Tarih boyunca su, insanoğlunun yaşamını doğrudan yönlendiren en büyük etken olmuştur. Hayati açıdan en temel ihtiyaç olmasının yanı sıra, toplumların ilk kez tarıma başlamasıyla ortaya çıkan ve bu toplulukların sosyoekonomik yapılarında devrimsel değişimler ortaya çıkaran bu sürecin başkahramanı olan suyun zararlarından korunma gereksinimi de kullanımı kadar eskiye dayanmaktadır.

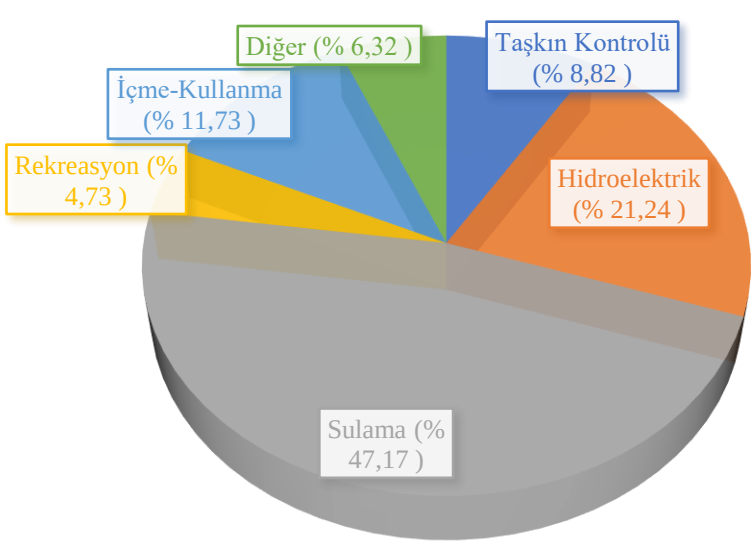
Dünya üzerindeki tüm su kaynakları incelendiğinde; güvenli şekilde kullanılabilecek su miktarı, toplam miktarın yaklaşık %2,5'ine tekabül etmektedir. Bununla birlikte dengeli ve adil bir dağılımın söz konusu olmadığı da göz önüne alındığında suyun, ülkelerin genel politikalarında belirleyici bir rol üstlendiği açıkça görülmektedir. Hidrolojik döngü nedeniyle herhangi bir su kaynağının doğal paydaşları artmakta olup su hakları tanımına hukuksal bir boyut kazandırmaktadır. Nitekim son olarak Nil Nehrini besleyen kaynakların büyük bölümünün membasında yer alan Etiyopya'nın 2011 yılında yapımına başladığı Rönesans Barajı nedeniyle Mısır ve Sudan ile suyun kullanımı konusunda gerginlik yaşandığı görülmüştür. Uzun vadeli ülke politikaları doğrultusunda su hakları konusunda ciddi çekişmelerin yaşanması oldukça muhtemeldir. Bu tür anlaşmazlıklardan kaçınma anlamında her ülke halihazırda bulunan su kaynaklarını korumak, alternatif kaynakların türetilmesi, doğal çevreyle uyumlu ve sürdürülebilir su politikaları oluşturarak kalkınmanın devamlığını sağlamaya çalışmaktadır.

Ülkemizde ortalama yıllık yağış yüksekliği yaklaşık 574 milimetre olup bir yılda ortalama 450 milyar metreküp suya tekabül etmektedir. Günümüz ekonomik ve teknik şartları doğrultusunda, farklı amaçlara yönelik olarak kullanılabilecek yerüstü suyu potansiyeli yılda ortalama 94 milyar m^3'tür. 18 milyar m^3 olarak tespit edilen yeraltı suyu potansiyeliyle birlikte ülkemizin kullanılabilir yeraltı ve yerüstü su potansiyeli yılda ortalama toplam 112 milyar m^3 olup toplamda bu miktarın 57 milyar m^3'ü kullanılmaktadır. Ülkemizde kişi başına düşen kullanılabilir yıllık su miktarı 2000 yılında 1.652 m^3, 2009 yılında 1.544 m^3, 2020 yılında ise 1.346 m^3 olmuştur [1].

Genel kabuller doğrultusunda, kişi başına düşen su miktarı 1.000 m^3'ün altında olan ülkeler, "su kıtlığı" çeken ülkeler sınıfına girmekte olup mevcut gerileme hızı göz

önüne alındığında 2030 yılı ve sonrası için ülkemizde suya erişim noktasında ciddi sorunların ortaya çıkacağı düşünülmektedir. Bireysel ölçekten başlamak kaydıyla ülke genelinde su tasarrufu ile kayıp-kaçak oranının azaltılmasının yanı sıra mevcut su kaynaklarının etkin ve verimli kullanımı, gelişen teknolojiyle birlikte alternatif kaynak arayışları ve bütüncül yaklaşımla suyun her damlasından azami fayda sağlayacak yatırımların yapılması ülkemizin geleceği açısından hayati önem taşımaktadır.

Su potansiyelinin doğru ve yeterli kullanımı için depolama tesislerinin inşa edilmesi, eski zamanlardan beri en etkili yollardan biri olarak kullanılmıştır. Sanayi devrimi ve artan nüfusla birlikte suyun depolanarak kullanılması yaygın hale gelmiş ve bu ihtiyaç neticesinde Fransızcada "su bendi" manasına gelen "baraj" yapıları hayatımıza girmiştir. Barajlar; sulama, içme-kullanma suyu, enerji, taşkın kontrol gibi amaçlarla suyun depolanmasını sağlayan su yapıları olarak isimlendirilmektedir. Milattan önce 4000'lı yıllara uzanan bent yapımı; değişen ihtiyaç ve gelişen teknoloji neticesinde kullanılmaya devam edilmiş ancak sürekli şekil değiştirmiştir. Günümüzde kullanılma amacına göre dünya üzerindeki barajların oranları Şekil 1.1'de verilmiştir.



Şekil 1.1 Barajların kullanılma amacına göre dağılımı [2]

Baraj tasarımında genellikle birçok farklı alternatif çalışma yapılmaktadır. Yapılış amacına ve lokasyonuna göre en ekonomik ve en uygun baraj türünün tespit edilebilmesi için birçok parametrenin göz önüne alınması gerekmektedir. Bu

etmenlerden bazıları; temel ve jeolojik şartlar, baraj yerinin topoğrafik durumu, baraj inşaatında kullanılacak uygun yapı malzemesinin temini, ulaşım imkânları, yeraltı-yerüstü sularının durumu ve projenin ekonomik seviyesi olarak sıralanabilir [3].

Baraj yapısının büyüklüğüyle orantılı olarak artan risk seviyesi göz önüne alındığında; baraj tasarımının en önemli kısmını baraj güvenliği oluşturmaktadır. Keza olası baraj yıkılma olaylarını önlemek mümkün olmasa bile afetin zararlarından kaçınmak ya da bu zararları asgari seviyede tutmak mümkündür.

Barajlar tasarlanırken, işletme giderleri de göz önünde bulundurularak suyun kullanılacağı alandan daha yüksek yere konumlandırılırlar. Böylelikle ihtiyaç duyulan yere suyun kendi cazibesiyle ulaştırılması sağlanarak maliyetler düşürülür. Özellikle mansabında yerleşim yerleri bulunan barajlar, yıkılma ihtimalleri göz önüne alındığında bazı riskleri de beraberinde getirmektedir. Sorgulanması gereken ilk konu ise şehirlerin nasıl etkileneceği. Olası baraj yıkılmalarında mal ve can kayıplarını asgari seviyede tutmak ve şehirlerin bu afetlerden nasıl etkileneceğini ortaya koymak adına baraj yıkılma taşkın risk haritaları oluşturulmaktadır. Böylelikle konuyla alakalı kurum ve kuruluşlara acil eylem planı kapsamında rehber olması açısından önem arz etmektedir. [4].

Bu çalışmada, baraj güvenliğine yönelik temel prensipler ışığında Batman Barajının yıkılma analiz sonuçları ortaya konulacaktır. Simülasyon için dünya çapında baraj yıkılma analizlerinde kullanılan bir paket yazılım olan HEC-RAS (Hydrological Engineering Centre – River Analysis System) programından yararlanılmıştır. Bu çalışmayla özellikle baraj risk sınıfının tanımlanması ve hidrolik açıdan en önemli parametrelerden biri olan pürüzlülük katsayısı (n), arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırma sistemi olan CORINE (Coordination of Information on the Environment) sistemi kullanılarak belirlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda; küresel ısınmayla birlikte düzensizleşen hidrolojiye bağlı olarak baraj güvenliğine yönelik muhtemel risk haritası oluşturulacaktır. Risk faktörlerinin daha sağlıklı ortaya konulması bağlamında mevcut durumun iyi analiz edilmesi, baraj yıkılma mekaniğinin anlaşılabilmesindeki etkinliği ortaya

çıkarılacaktır. Analize yönelik olarak yakın zamanda gerçekleşen olaylardan yararlanılarak özellikle hidrolojik rasatlar ve barajın her yıl periyodik olarak hazırlanan muayene raporları esas alınarak daha gerçekçi yıkılma senaryosu oluşturulmuştur. Oluşturulan 3 farklı senaryo neticesinde, taşkın dalgasının derinlik ve hız değerleri çarpımlarına bağlı tehlike haritaları oluşturularak karşılaştırmalar yapılmıştır. Analiz sonuçları ışığında; gedik geometrisi ve yıkılma sürelerindeki farklılıklar nedeniyle her üç senaryoda oluşan taşkın hidrograflarının, Batman il merkezinde benzeştiğini ancak tam olarak eşitlenmediğini görülmüştür.

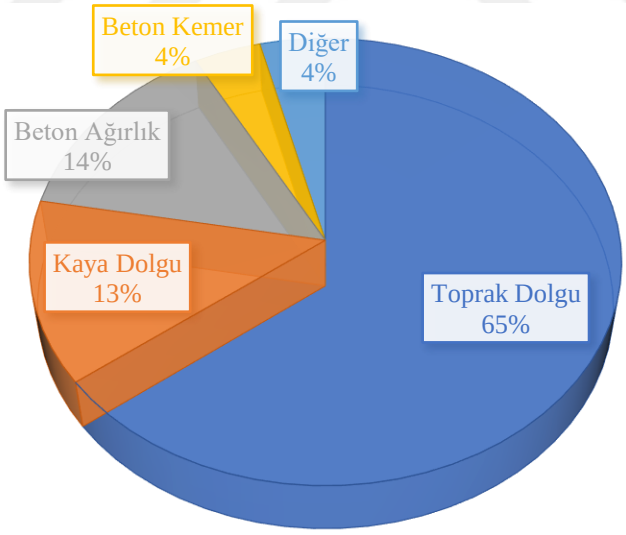
Ortaya konulacak taşkın tehlike haritalarıyla; daha sağlıklı imar planları ile taşkın afet acil durum eylem planlarının oluşturulmasına imkân sağlanacaktır. Böylece olası bir tehlike durumunda can ve mal kayıplarının önlenmesi veya en aza indirgenmesi için erken uyarı sistemleri gibi önlemlerin yanı sıra gerektiğinde tepki süresinin büyük oranda azaltmaya katkı sağlanacaktır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Baraj Güvenliği

Hem geçmiş senelerde kısıtlı imkânlarla yapılan eski tür barajların hem de yeni yapım teknikleriyle tasarlanan yeni nesil barajların emniyet açısından incelenmesi veya gerekli güvenlik tedbirlerinin alınması, yıkılma sonrası büyük ölçekli afetlerin önüne geçebilmeyi mümkün kılabilmektedir.

Baraj güvenliği, tasarım aşamasından işletme ömrünün sonuna kadar devam eden bir süreçtir. Herhangi bir yapının "güvenli" olarak tanımlanabilmesi için tüm risklerin irdelenmesi sonucu ortaya çıkan tehlikenin bertaraf edilmesi şarttır. Yapısal açıdan barajların özgün olması sebebiyle tasarıma bağlı ortaya çıkacak risklerin en ince ayrıntısına kadar irdelenmesi gerekir. Örneğin, barajın tipine göre karşılaşılacak riskler ve dolayısıyla alınacak tedbirler farklılık gösterebilmektedir. Şekil 2.1'de Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu'nun (ICOLD) 2022 yılı verilerine göre kayıtlı barajların tiplerine göre dağılımı verilmiştir.



Şekil 2.1 ICOLD kayıtlarına göre, dünyadaki baraj tiplerinin dağılımı [2]

Özellikle mansabında çok büyük ve öneme sahip yerleşim yerleri bulunan barajların oturma, taşkın ve deprem gibi dış veya iç etkenlere karşı dayanım mekanizmalarını kavrayabilmek adına farklı senaryolar altında risk analizleri yapılmaktadır. Ortaya konulan analizler doğrultusunda; baraj yıkılmaları sonucu oluşan taşkınların pik debi değerine oluşma süresinin, yağış sonucu oluşan taşkınlara oranla çok daha kısa olduğu,

bu sebeple barajın mansabında yer alan yerleşim yerleri için erken uyarı sürelerinin son derece kısa olduğu görülmüştür. Bunun sebebi olarak, yoğun yağışlar sonucu oluşan feyezanlar ile karşılaştırıldığında; rezervuarda depolanan suyun, mansaba aniden boşaltılması sonucu genellikle çok daha yüksek büyüklükteki pik akımların oluştuğu görülmektedir [5].

Geçmişten günümüze birçok ülke büyük veya küçük ölçekli baraj yıkılma felaketleriyle karşı karşıya kalmıştır. Gelişen teknoloji ve baraj güvenliği farkındalığı bazı gelişmeler ortaya koymuş olsa dahi riskin tamamen ortadan kalkması söz konusu değildir. Tablo 2.1'de bazı baraj yıkılma olayları sıralanmıştır.

Tablo 2.1 Farklı ülkelerde meydana gelmiş baraj yıkılmaları [6]

Baraj Adı	**Ülke**	**Türü**	**Yüksekliği (m)**	**Yıkılma Yılı**	**Yıkılma Sebebi**	**Ölen İnsan Sayısı**
Puentas	İspanya	Kaya Dolgu	50	1802	Temel Bozukluğu	60
Southfork	ABD	Toprak Dolgu	22	1889	Üstten Aşma	2200
Saint Francis	ABD	Beton Kemer	62,5	1929	Yapı Kusuru	450
Vega De Tera	İspanya	Beton Payandalı	34	1959	Yapı Kusuru	144
Malpesset	Fransa	Beton Kemer	66,5	1959	Temel Bozukluğu	421
Oros	Brezilya	Toprak Dolgu	54	1960	Üstten Aşma	1000
Bab-ı Yar	Ukrayna	Toprak Dolgu	-	1961	Üstten Aşma	145
Hyokiri	Kore	-	-	1961	-	250
Panshet	Hindistan	Toprak Dolgu	50	1961	Yapı Kus./Üstten Aş.	1000
Q.la Chapa	Kolombiya	-	-	1963	-	250
Vailont	İtalya	Beton Kemer	267	1963	Üstten Aşma	3000
Baldwin Hills	ABD	Toprak Dolgu	71	1963	Temel Bozukluğu	3
Nanaksagar	Hindistan	Toprak Dolgu	16	1967	Yapı Kus./Üstten Aş.	100
Pado	Arjantin	-	-	1970	-	25
Teton	ABD	Toprak Dolgu	126	1976	Yapı Kusuru/Borulanma	14
Machhu II	Hindistan	Toprak Dolgu	26	1979	Üstten Aşma	2000
Belci	Romanya	Toprak Dolgu	18	1991	Üstten Aşma	48
Gouhou	Çin	Kaya Dolgu	70	1993	Borulanma	300
Tirlyan	Rusya	Toprak Dolgu	10	1994	Üstten Aşma	27
Zeyzoun	Suriye	Toprak Dolgu	32	2002	Borulanma	27
Shadi Kaur	Pakistan	Toprak Dolgu	25	2005	Üstten Aşma	70
Koshi	Nepal	Beton Payandalı	16	2008	Yapı Kusuru	250
Situ Gintung	Endonezya	Toprak Dolgu	16	2009	Üstten Aşma	98
Brumadinho	Brezilya	Toprak Dolgu	86	2019	Borulanma	270

Ülkemizde bazı hafif hasarların oluştuğu barajlar görülse de can ve mal kaybına sebebiyet veren herhangi bir baraj yıkılma olayı şimdiye kadar yaşanmamıştır. Bunun en önemli sebepleri; özellikle 19. yüzyılın ortalarından itibaren baraj yapımına

başlandığı için yeterli deneyim ve teknoloji seviyesine ulaşılmış olması ve gerek kamu tarafından gerek özel sektör eliyle yapılan barajların, Su Yapıları Denetim Hizmetleri Yönetmeliği doğrultusunda Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü denetiminden geçmesi ve oldukça emniyetli tasarlanması sayılabilir.

2.2 Barajlarda Yetersizliklerin Sebepleri

Barajların hasar görmesi veya yıkılmasındaki temel etken yetersizliklerdir. Her farklı baraj türü için ortaya çıkabilecek yetersizlik türü de değişebilmektedir. Ortaya çıkabilecek tehlikeleri asgariye indirebilmek adına gerek arazide yapılan gözlemler gerekse laboratuvar testleriyle yetersizlik sebepleri fark edilebilse de çoğu zaman imalat sırasında yapılan hatalar sonucu zaman içinde barajda hasarlar oluşabilmektedir.

Yetersizlik sebebiyle oluşabilecek yıkılmalar ana iki başlıkta toplanabilir; İlki yapısal yıkılmadır. Yapısal yıkılmalarda yapının aldığı hasar sonucu fonksiyonunu yitirerek işlevsiz hale gelmesiyle oluşur. Bunun sonucu olarak yapı tasarlandığı gibi çalışamaz. İkinci başlık ise performans yıkılmasıdır. Performans yıkılmasında tasarım aşamasında öngörülen hesaplar veya limitler aşılır. Bunun sonucu olarak da yapıda istenmeyen hasarlar oluşabilir. Barajlara etkiyen belli başlı yetersizlik faktörleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir [7].

2.2.1 Temel Yetersizliği

Temeller, hem yapının üzerinde bulunduğu zemine oturmasını sağlayan hem de yapıdan gelen yükleri zemine aktaran yapının önemli bir birimidir. Temellerin tasarımında özellikle iki önemli kriter dikkate alınmalıdır; birincisi, temel zemininde oluşabilecek oturma değerleridir. Bu değerler; yapı cinsine göre belirlenen sınırlar içinde kalmalı ya da yapıya zarar vermeyecek değerde kalmalıdır. İkinci kriter ise temel zeminindeki kayma göçmesine karşı yeterli güvenliğe sahip olmalıdır. Başka bir deyişle, taşıma gücü şartlarının sağlanması gerekmektedir [8].

Öngörülemeyen zemin kaymaları, homojen olmayan oturmalar veya sızma sonucu yapının temelinde yetersizliklerle karşılaşılabilmektedir. Bu yetersizlikle sonucu oluşan çatlak yapılar, iyi bir gözlemle sonucu uyarı niteliğinde olup gerekli önlemlerin

alınmasına imkân verir. Ancak temeldeki oluşan toptan kayma sonucu yapının tamamen göçmesi mümkündür.

2.2.2 Çatlaklar

Kret veya baraj kesitinde boylu boyunca uzanan çatlaklar, genelde yüzeyde bulunan malzemenin kuruyup büzülmesi neticesinde ortaya çıkmaktadır. Hidrostatik kuvvet sonucu mansaba doğru hareket veya farklı oturmalar da boyuna çatlağa sebep olan unsurlardır.

Enine çatlaklar ise genelde barajın tepe kısmında oluşur. Yapı temelinde oturma değerlerinin farklı miktarda olması gövdede enine çatlak oluşmasına sebebiyet verir. Barajdaki iç gerilmeler enine çatlak oluşumunda bir başka sebeptir. Enine çatlakların artmasıyla gövdede kayıp-kaçak miktarının da artabileceği göz önüne alınarak gerekli önlemlerin alınması gerekmektedir. Kuruma çatlakları; enine çatlaklara nazaran daha kısa ve dardır. Genellikle barajın kret bölgesinde ortaya çıkabilir ve mevsimsel koşullarla paralel şekilde yüzey boyunca oluşur. Kuruma çatlağı içerisine suyun sızması ve donması sonucu çatlak onarılamaz seviyeye gelebilir [7].

2.2.3 Sığlaşma ve Şev Kaymaları

Baraj membasında özellikle rüzgâr etkisiyle oluşan dalgalar sonucu rezervuar kısmındaki malzemelerin sökülüp şevden aşağıya düşmesine neden olabilmektedir. Bu şekilde meydana gelen aşınma ile memba şev katmanında incelme oluşturarak sığlaşmaya sebebiyet verir. Zamanla yapının memba kısmının alt kotlarında biriken malzeme, dolgunun ciddi oranda aşındığının habercisidir.

Baraj memba veya mansabındaki şev kaymaları, gövde yüzeyinde oyulma veya yığılma şeklinde kendisini gösterir. Şev eğimi, kaymanın niteliğini belirleyen en temel etkendir. Şev kayması sonucu oluşan çökmeler, ciddi dayanım kayıplarına sebep olabilmektedir. Ayrıca kayma miktarına ve barajın şekline göre aşırı dik şevlerin oluşmasına da sebep olup ciddi stabilite problemleri yaratabilir [7].

2.2.4 Çökmeler

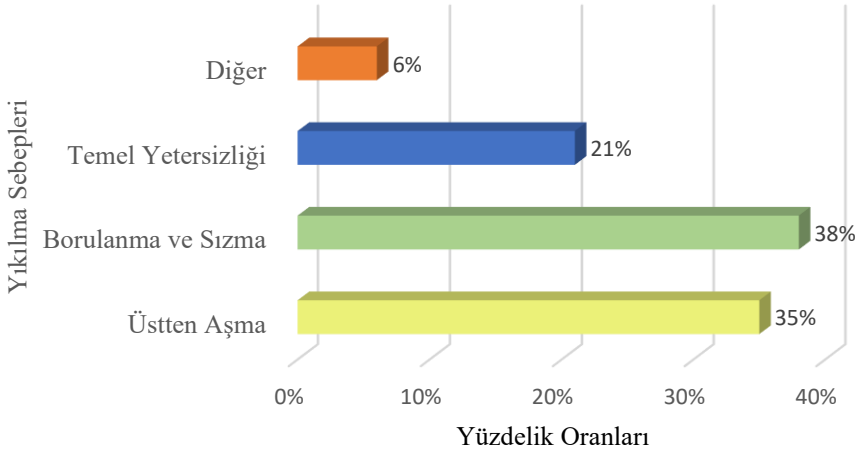
Baraj gövdesinin dolgu malzemesi içerisinde başlayan aşınmalar sonucunda çökme meydana gelir. Gerek imalat hataları gerekse sızma sonucu, çökme hareketi yapıda geniş açıklıklar şeklinde kendini gösterir. Yapı gövdesinde borulanma meydana gelme riski yaratan çökmeler sonucu ileriki safhalarda barajın yıkılmasına neden olabilmektedir [7].

2.2.5 Sızma

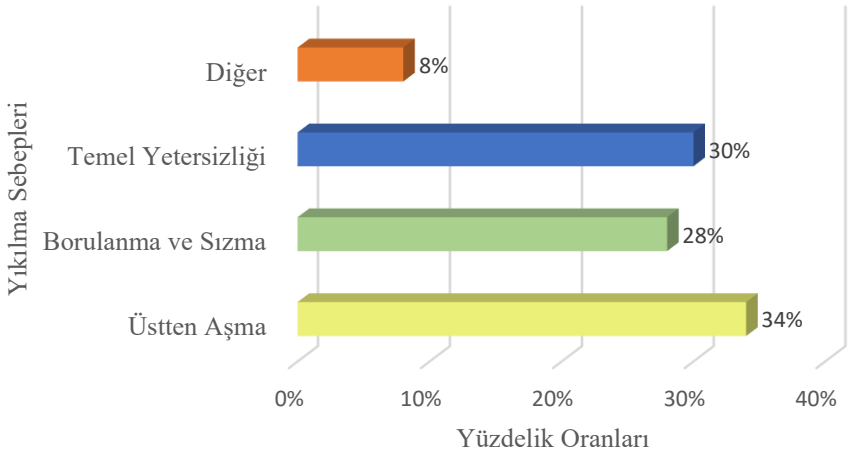
Baraj temelinden veya gövdesinden sızan su; temeldeki ve barajın dolgusunda kullanılan malzemeyi yıkamak suretiyle stabiliteyi bozabilmektedir. Bazı durumlarda ise su, baraj temelinde yer alan ve jibs gibi çözünebilen minerallerden oluşan birimlerden geçerek yapının içine etkiyebilmektedir. Bu durum neticesinde yapı gövdesinde boşluk suyu basıncı artarak gövde malzemesinin zayıflamasına sebebiyet verir [7].

2.3 Yıkılma Mekaniği

Tasarım esnasında veya inşaatı tamamlanmış bir barajın güvenliği irdelenirken, karşılaşılabilecek sorunların sağlıklı şekilde ortaya konulabilmesi gerekmektedir. Tarihte yaşanan baraj yıkılma olaylarının sağlıklı şekilde incelenmesi neticesinde, baraj güvenliği konusunda çok önemli ilerlemeler gerçekleştirilmiştir. Yıkılma analizi için geliştirilen teorik yaklaşımlar veya deneysel hidrolik modellemelerin doğruluğu, geçmişte yaşanmış olaylar göz önüne alınarak teyit edilebilmektedir. Bu doğrultuda, baraj güvenliğine yönelik tehlikelerin ortaya konulabilmesi için geçmişte yaşanan baraj yıkılma olaylarına neden olan hataların ortaya konulması şarttır. Genel olarak baraj yıkılmalarının sebepleri arasında üstten aşma, borulanma-sızma, temel yetersizlikleri, gövdede çatlaklar ve işletme-bakım hataları sayılmaktadır. Yıkılma sebeplerine yönelik olarak ICOLD tarafından hazırlanan istatistiksel veriler Şekil 2.2 ve 2.3'te verilmiştir.



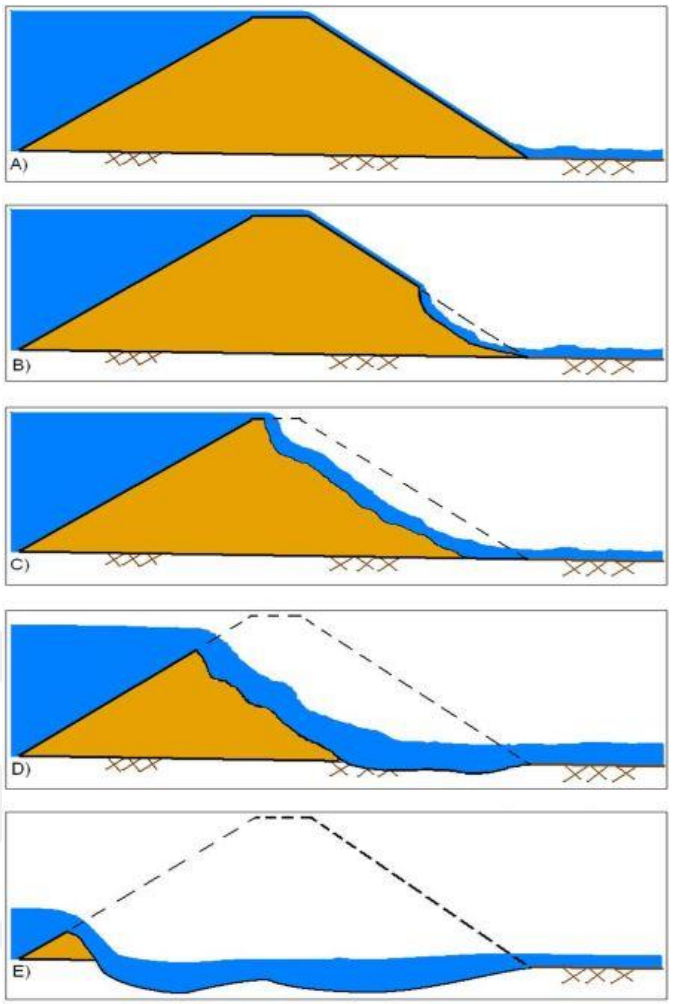
Şekil 2.2 Dolgu barajlarda yıkılma sebepleri yüzdeleri [6]



Şekil 2.3 Bütün baraj türlerinde yıkılma sebepleri yüzdeleri [6]

2.3.1 Üstten Aşma

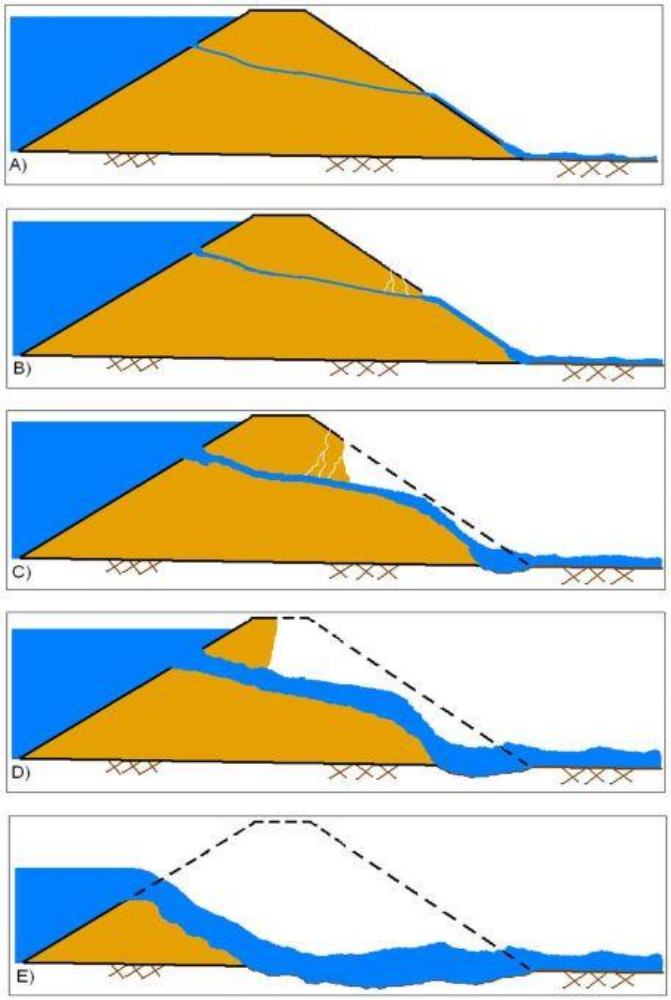
Üstten aşma şeklinde görülen yıkılma olaylarında; baraj gövdesinden aşan sular topuk bölgesinde oyulmalara neden olur (Şekil 2.4 A ve B). Kret bölgesinde erozyon sonucu oluşan gedik, savak gibi çalışarak gittikçe artan bir hızla yıkılma alanını genişletmeye devam eder (Şekil 2.4 C ve D). Mansap şevlerinin zayıflaması sonucu gövdede toptan göçme meydana gelerek rezervuardaki suyun ani olarak boşaldığı görülür (Şekil 2.4 E). Bu sürece dair görsel Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.4 Baraj yıkılma süreci (üstten aşmalı) [9]

2.3.2 Borulanma

Bir diğer baraj yıkılma şekli olan borulanma/sızma, doğrudan gövdede oluşan deformasyon sonucu ortaya çıkmaktadır. Rezervuardaki suyun da etkisiyle gövde boyunca oluşan sızma (freatik) hattının doğrultusu, baraj güvenliği açısından hayati önem taşımaktadır. Bu drenaj çizgisinin herhangi bir sebeple kesintiye uğraması iç erozyona sebebiyet vereceğinden özellikle homojen toprak dolgu barajlar başta olmak üzere stabilitenin sağlanması için düşey kum-çakıl zonları oluşturulmaktadır. İyi derecelenmiş malzemenin kullanılmaması durumunda gövdede ince danelerin membadan mansaba doğru hareketi sonucu iç erozyon oluşmasına neden olur (Şekil 2.5 A ve B). Mansap şevinde oluşan oyukla birlikte su, orifis oluşturarak (Şekil 2.5 C ve D) mansap şevinin göçmesini hızlandırarak barajın yıkılmasına neden olur (Şekil 2.5 E). Bu sürece ait görsel Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 Baraj yıkılma süreci (borulanma/sızma) [9]

Dolusavağın tipi, baraj güvenliğini etkileyen bir başka faktördür. Özellikle kret kotunun indirilmesi neticesinde düşen maliyetlerin yanı sıra enerji üreten barajlarda kontrollü elektrik üretimini sağlamak ve su kaybını önlemek için kapaklı dolusavak tasarımı oldukça artmıştır. Fakat işletme ve bakım zorluklarının yanı sıra deprem riskinin yüksek olduğu bölgelerde yer alan barajların dolusavak kapaklarında hasar oluşum riskinin yüksek olması sebebiyle üstten aşma yıkılmaları açısından tehlike oluşturmaktadır.

Geçmiş yıllarda baraj dolusavak kapaklarının beklenilen şekilde işletilememesi sebebiyle hasara gören barajlara örnek olarak Hirakuo Barajı (Hindistan, 1980), Machu Barajı (Hindistan, 1979), Euclides Da Cunha Barajı (Brezilya,1977), Lutufallet Barajı (Norveç, 1986), Noppikoski Barajı (İsveç,1985) ve Belci Barajı (Romanya, 1991) sayılabilir [10].

Baraj yıkılma akımlarını matematiksel şekilde ortaya koyabilmek için en kapsamlı denklem; momentum ve 3 boyutlu süreklilik denklemlerinden oluşan Navier-Stokes denklemleridir. Bu denklemlerin zorluğu ve karmaşıklığı nedeniyle bazı varsayımlar yapılarak Saint-Venant veya sığ su denklemlerine indirgenebilir. Sığ su denklemlerinde yüzeysel gerilme etkilerinin göz ardı edildiği ve yerçekimi altında hareket eden, serbest yüzeyli ve viskoziteye sahip akışkan yaklaşımı benimsenir. En bariz varsayım, düşey doğrultudaki ivme bileşeninin ihmal edilmesi yani akımın hidrostatik kabul edilmesidir. Bu denklemlerde, yataydaki uzunlukla kıyaslandığında su derinliğinin çok küçük bir orana sahip olduğu düşünülür. Navier-Stokes denklemlerine nazaran sığ su denklemleri; daha kaba sonuçlar vermesine ve birçok eksiklikleri bulunmasına rağmen bu denklemlerin sayısal çözümü için çok daha az bilgisayar gücü gerektirmesi sebebiyle hesaplama bölgesi büyük ölçekli olan tsunami, baraj yıkılması gibi akımların modellenmesi amacıyla sıklıkla kullanılmaktadır. Denklem 2.1 ve 2.2'de sığ su denklemleri verilmiştir [11-12].

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q \tag{2.1}$$

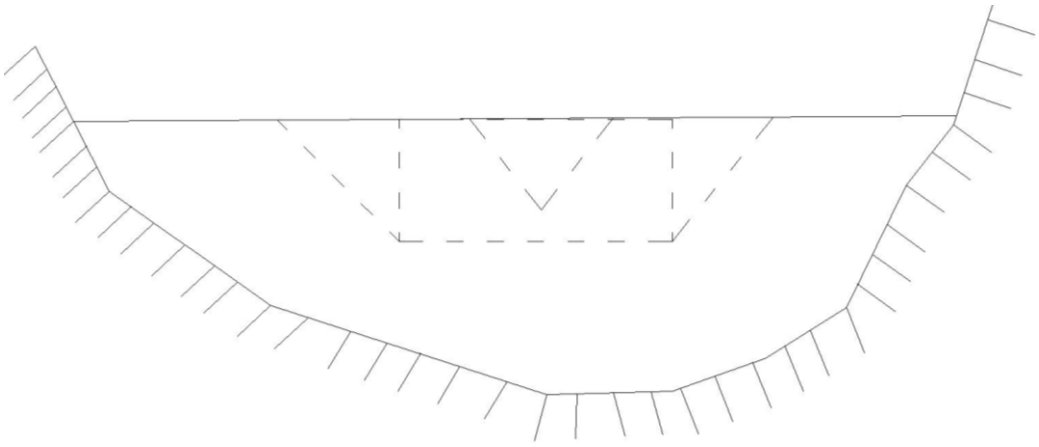
$$I_E = I_0 - \frac{\partial y}{\partial x}+\frac{v}{g}\frac{\partial v}{\partial x}-\frac{1}{g}\frac{dv}{dt} \tag{2.2}$$

Burada;

"*Q"* kesit alandan geçen toplam debi (m^3/s); "*v"* kanal boyunca ortalama akım hızı (m/s); *"A"* debinin geçtiği akım alanı (m^2); "*y"* akım derinliği (m); "I_0*"* kanal taban eğimi (m/m); "*q"* kanalın birim genişliğinden geçen debi ($m^3/s/m$); "*x"* kanal uzunluğu (m); "*t"* zaman (s); "g" ise yer çekim ivmesini (m/s^2); "I_E*"* enerji çizgisi eğimini (m/m) ifade etmektedir.

Baraj yıkılma modellemelerinde bazı temel sayısal denklemlerin yanı sıra varsayımsal yaklaşımlara da ihtiyaç duyulmaktadır. Baraj yıkılma aşamasında gövdede oluşan gedik gelişiminin modellenmesi ve gedikten çıkan debiye ait hidrografının belirlenebilmesi için gediğin yıkılma oranı ve nihai geometrisi gibi bazı parametrelerin öncelikle belirlenmesi gerekmektedir. Baraj yıkılması sonucu gövdede oluşacak gedik,

Şekil 2.6'da görüldüğü üzere farklı geometrik şekiller (üçgen, trapezoidal, üçgen vs) oluşabilmektedir [13].



Şekil 2.6 Yıkılma esnasında oluşabilecek gedik şekilleri

Yıkılma sonucu gövdede oluşan gediğin şekli, çok büyük oranda barajın türüne bağlıdır. Özellikle homojen kum-çakıl dolgu barajlarda gedik şeklinin trapezoidal olarak oluştuğu kabul edilirken, barajın üzerinden aşma ile yıkılan barajlarda gedik açıklığı küçük bir yarıkla başlayarak lineer olmayan veya lineer şekilde ilerleme gösterebilmektedir. Borulanma neticesinde oluşan gedik açıklığı ise gövde üzerinde belirli bir kotta dikdörtgen şekilde başlayarak büyümektedir. Gedik genişliği ve yüksekliği, gediğin üst kotu kret kotuna eşitlenene kadar büyümeye devam etmektedir. Borulanma sonucu yıkılan Teton Barajının (1976) gövdesinde oluşan gediğin son hali Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7 Teton Barajında yıkılma sonrası oluşan gedik [14]

2.4 Yıkılma Modellemeleri

Baraj yıkılma modellemeleri yapılırken yıkılma şekliyle ilgili olarak gediğin geometrik verilerine (genişlik, şev eğimleri vs), yıkılma süresine ve azami debi değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Geçmiş yıllarda gerçekleşen baraj yıkılma olayları da incelenerek birçok ampirik denklem ortaya konulmuştur. Barajın türü, karakteristik değerleri ve yıkılma şekli gibi değişkenlikler esas alındığında, her bir denklemin doğruluk derecesi değişebilmektedir. Aşağıda farklı yaklaşımlara göre ortaya konan belli başlı denklemler verilmiştir.

2.4.1 MacDonald ve Langridge-Monopolis

Bu model, yıkılan 42 baraj ile ilgili veriler kullanılarak oluşturulmuştur. 1984 yılında oluşturulan MacDonald ve Langridge-Monopolis Modelinde; toprak dolgu barajlarda gövdede hareket eden malzemenin hacmi için Denklem 2.3, kaya dolgu barajlarda gövdede hareket eden malzemenin hacmi için ise Denklem 2.5 önerilmektedir. Her iki baraj tipinde yıkılma süresi için de Denklem 2.4 kullanılmaktadır.

$$V_{er} = 0,026(V_{out} * h_w)^{0,769} \tag{2.3}$$

$$t_f = 0,0179(V_{er})^{0,564} \tag{2.4}$$

$$V_{er} = 0,00348(V_{out} * h_w)^{0,852} \tag{2.5}$$

Burada;

"V_{er}" gövdede erozyona uğrayan malzemenin hacmi (m^3); "V_{out}" gedikten geçen suyun hacmi (m^3); "h_w" gedik tabanı üstünde kalan suyun yüksekliği (m); "t_f" yıkılma süresini (s) ifade etmektedir.

2.4.2 Von Thun ve Gilette

Yıkılan 57 barajın verileri göz önüne alınarak oluşturulan 1990 yılındaki Von Thun ve Gilette Modelinde; ortalama gedik genişliği Denklem 2.6'da, aşınması zor malzemelerden yapılan barajlar için yıkılma süresi Denklem 2.7'de, aşınması kolay malzemelerden yapılan barajlar için yıkılma süresi ise Denklem 2.8'de verilmiştir.

$$B_{ave} = 2,5h_w + C_b \quad (2.6)$$

Aşınması zor malzeme:

$$t_f = 0,02h_w + 0,25 \quad (2.7)$$

Aşınması kolay malzeme:

$$t_f = 0,015h_w \quad (2.8)$$

Burada;

"B_{ave}" ortalama gedik genişliği (m); "h_w" gedik tabanı üstünde kalan suyun yüksekliği(m); "t_f" yıkılma süresini(s); "C_b" rezervuar hacmine göre değişen katsayıyı ifade etmektedir.

2.4.3 Froehlich (1995 yılı yaklaşımı)

Froehlich tarafından 1995 yılında oluşturulan bu modelde yıkılan 63 barajın verileri göz önüne alınmış olup ortalama gedik genişliği Denklem 2.9'da, yıkılma süresi Denklem 2.10'da verilmiştir.

$$B_{ave} = 0,1803K_o V_w^{0,32} h_b^{0,19} \quad (2.9)$$

$$t_f = 0,00254V_w^{0,53} h_b^{-0,90} \quad (2.10)$$

Burada;

"B_{ave}" ortalama gedik genişliği(m); "K_o" katsayı (üstten aşma için 1,4, borulanma için 1 alınır); "V_w" yıkılma anında rezervuardaki su hacmi(m^3); "h_b" nihai gedik yüksekliği(m); "t_f" yıkılma süresini (s) ifade etmektedir.

2.4.4 Froehlich (2008 Yılı Yaklaşımı)

Bu model, yıkılan 74 baraj ile ilgili veriler kullanılarak 2008 yılında oluşturulmuş olup ortalama gedik genişliği Denklem 2.11'de, yıkılma süresi Denklem 2.12'de verilmiştir.

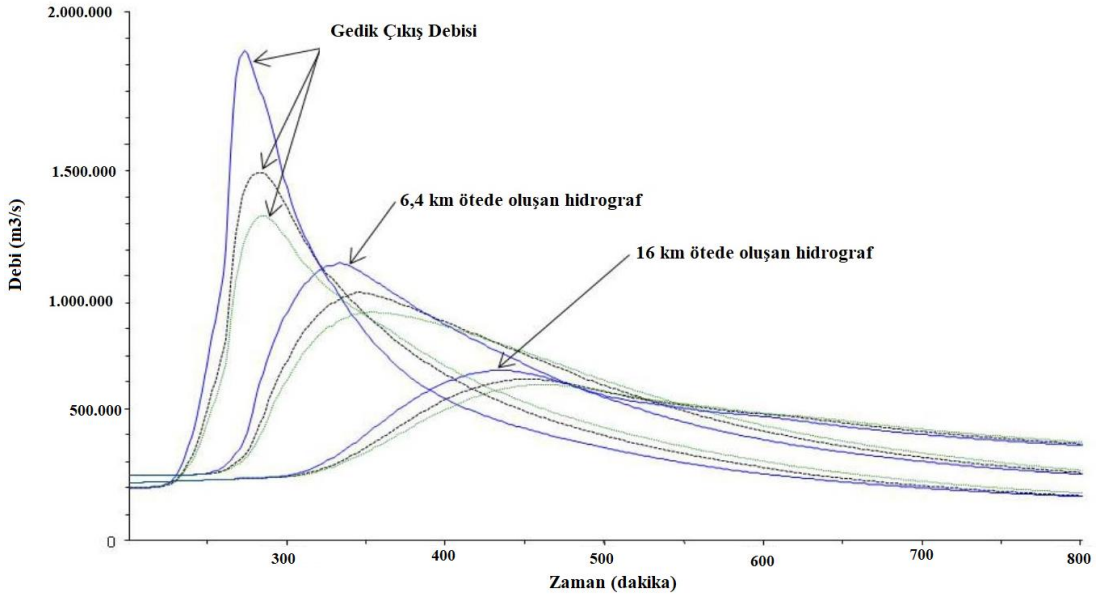
$$B_{ave} = 0,27K_o V_w^{0,32} h_b^{0,04} \quad (2.11)$$

$$t_f = 63,2\sqrt{\frac{V_w}{gh_b^2}} \quad (2.12)$$

Burada;

"B_{ave}" ortalama gedik genişliği (m); "K_o" katsayı (üstten aşma için 1,3, borulanma için 1 alınır); "V_w" yıkılma anında rezervuardaki su hacmi (m^3); "h_b" nihai gedik yüksekliği(m); "g" yer çekim ivmesini (m/s^2), "t_f" yıkılma süresini (s) ifade etmektedir.

Her bir denkleme göre belirlenen gedik parametreleri ve yıkılma süreleri farklı çıkış hidrograflarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte bu hidrograflar mansaba doğru gidildikçe birbirine yaklaşma eğimi göstereceklerdir. Bu durumun iki temel sebebi: her bir denkleme göre oluşan hidrograftaki toplam su hacminin eşit olması ve taşkın dalgasının mansaba doğru ilerlemesiyle pik değere çok hızlı şekilde çıkan hidrografın aynı şekilde sönümlenmesinin de hızlı olmasıdır. Bu sebepleri göstermek için modellerin denklemlerinin kullanılması sonucu, HEC-RAS yazılımı yardımıyla yapılan örnek bir hesaplamada, mansaba doğru gidildikçe benzeşen hidrograf eğrileri Şekil 2.8'de görülmektedir. Risk altındaki yerleşim yerleri barajın hemen membasında ise pik hidrograf değerleri arasındaki değişiklikler; can ve mal kayıpları açısından önemli farklar ortaya koysa da mansaba doğru ilerledikçe bu denk değerler elde edilmiştir [9]. Şekil 2.8'deki grafikten de anlaşılacağı üzere; modellemelerdeki denklemlere göre elde edilen pik debi değerleri, baraj yıkılması sonrası taşkın dalgası mansaba doğru ilerledikçe eşitlenmektedir.



Şekil 2.8 Baraj yıkılması sonrası mansapta oluşan dalga ilerlemesi [9]

2.5 Baraj Güvenliğinde Potansiyel Risk Sınıflandırması

Barajlar ve hazneler, yerleşim yerlerine yakın yapıldıkları için mansaptaki insanlara ve mallara potansiyel riskler doğururlar. Bunun için barajlar ve bağlı yapılar tehlike potansiyelini sınıflandırma sistemini dikkate alarak gruplara ayrılmalıdır. Bu tehlike potansiyeli ise baraj yerinin deprem tehlike derecesini ve bütün yapının risk derecesini içine alır. Baraj yeri deprem derecesi pik yer ivmesine, DYİ, (peak ground acceleration) bağlıdır. Bu değer, ana deprem yüklerini doğuran tanımlanmış bir depremden elde edilir. Ön çalışmalarda, deprem bölgelerini gösteren mevcut bir harita, bir baraj deprem tehlikesini belirlemek için kullanılabilir. Bitmiş yapının risk derecesi ise hazne büyüklüğüne, baraj yüksekliğine, boşaltılacak insan sayısına ve mansaptaki muhtemel hasarlara bağlıdır. Genellikle deprem ve yapı dereceleri ayrı ayrı değerlendirilir. Ancak son zamanlarda bu iki faktör, baraj yapılarının toplam risk faktörü olarak bir arada değerlendirilmektedir [15].

Geçmişte yaşanan baraj yıkılmalarının bir sonucu olarak son yıllarda hem tasarımı yapılan yeni barajlar için hem de inşaatı tamamlanmış barajlar için baraj emniyet raporları hazırlanmaktadır. Böylelikle baraj emniyetine yönelik mühendislik bilgilerinin güncellenmesi ve mevcut barajlar için gerekli önlemlerin alınmasının yanı sıra mevzuatî altyapı oluşturulması sağlanmaktadır.

Baraj emniyet raporlarında, temsil ettiği baraj için tehlike oluşturan risklerin ortaya konulması suretiyle yapılacak puanlama esasına göre risk potansiyel sınıfı belirlenmektedir. Yapılan sınıflandırma çeşitleri ve kriterleri kullanıldığı ülkeye göre farklılık göstermekle beraber genelde kullanılan ICOLD ve G. J. Bureau metodlarının yanı sıra ülkemizde 2002 yılında DSİ tarafından oluşturulmuş sınıflandırma sistemleri bulunmaktadır.

2.5.1 ICOLD Metodu

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD) tarafından 1989 yılında yayımlanan 72 numaralı teknik bültende; en büyük yer ivmesi (PGA) ve barajın fiziki duruma göre ayrı ayrı risk sınıflandırması yapılmıştır. PGA değerine göre belirlenen sınıflandırma Tablo 2.2'de verilmiştir [6].

Tablo 2.2 PGA değerine göre risk sınıflandırma [15]

En Büyük Yer İvmesi (PGA)	Risk Sınıfı	Risk Derecesi
PGA<0,1 g	I	Düşük
0,1 g<PGA<0,25 g	II	Orta
0,25 g<PGA (10 km mesafede aktif fay yoksa)	III	Yüksek
0,25 g<PGA (10 km mesafede aktif fay varsa)	IV	Çok Yüksek

Barajın rezervuar hacmi, yüksekliği ve mansaptaki yerleşim durumuna göre hazırlanan sınıflandırma Tabla 2.3 ve Tablo 2.4'te verilmiştir. Bu tabloya göre; 0 ile 36 arasında puanlama yapılarak risk sınıflandırmaları belirlenmiştir.

Tablo 2.3 Barajın fiziki durumuna göre risk sınıflandırma [15]

Risk Faktörü	Çok Yüksek		Yüksek		Orta		Düşük	
	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı
Rezervuar Hacmi (hm^3)	>120	6	120-1	4	1-0,1	2	<0,1	0
Yüksekliği (m)	>15	6	45-30	4	30-15	2	<15	0
Mansap tahliye edilecek insan sayısı	>1.000	12	1.000-100	8	100-1	4	Yok	0
Mansapta muhtemel hasar	Yüksek	12	Orta	8	Düşük	4	Yok	0

Tablo 2.4 ICOLD metoduna göre barajın fiziki durumuna göre risk sınıflandırma [15]

Toplam Risk Katsayısı	Risk Sınıfı	Risk Derecesi
0 - 6	I	Düşük
7 - 18	II	Orta
19 - 30	III	Yüksek
31 - 36	IV	Çok Yüksek

2.5.2 Bureau Metodu

G. J. Bureau tarafından önerilen bu metoda göre toplam risk katsayısı (TRK); hacmi risk katsayısı (HRK), yükseklik risk katsayısı (YRK), eskilik risk katsayısı (ERK), mansap tehlike katsayısı (MTK) ve ön görülen hasar katsayısı (ÖHK) toplamına eşittir. Baraja ait yapı katsayıları olan HRK, YRK ve ERK değerleri, Tablo 2.5 ve 2.6'da verilmektedir.

Tablo 2.5 Barajın rezervuar hacmi ve yüksekliğine göre risk sınıflandırması [16]

Risk Faktörü	Çok Yüksek		Yüksek		Orta		Düşük	
	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı
Rezervuar Hacmi (hm^3) (HRK)	>62	6	62-1,15	4	1,15-0,125	2	<0,125	0
Yüksekliği (m) (YRK)	>25	6	25-12	4	12-6	2	<6	1

Tablo 2.6 Barajın fiziki durumuna göre risk sınıflandırması [16]

Risk Faktörü	Barajın Yapılış Tarihi					
	<1900	1900-1925	1925-1950	1950-1975	1975-2000	>2000
Eskilik Risk Katsayısı	6	5	4	3	2	1

Herhangi bir baraj yıkılma olayı sonrası mansapta yer alan yerleşim yerlerinde can ve mal kayıpları söz konusu olabilmektedir. Risk altındaki hayatların sayısı ile oluşacak maddi hasarlar da risk potansiyel sınıfı belirlenirken göz önüne alınmaktadır. Mansap tehlike katsayısı (MTK) için tahliyesi yapılacak insan sayısı ve hasar risk indekslerine göre puanlama yapılmakta olup bu parametrelere göre belirlenen risk puanlamaları Tablo 2.7'de verilmiştir.

Tablo 2.7 Mansap risk katsayısı hesabı [16]

Risk Faktörü	Çok Yüksek		Yüksek		Orta		Düşük	
	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı
Tahliyesi Yapılacak İnsan Sayısı	>1.000	12	1.000-100	8	100-1	4	Yok	1
Hasar Risk İndeksi	>Yüksek	12	Orta	8	Düşük	4	Yok	1

Bureua metoduna göre hesaplanan toplam risk potansiyel katsayısına (TRK) göre sınıflandırmalar Tablo 2.8'de verilmiştir.

Tablo 2.8 Bureua metoduna göre toplam risk puanına göre sınıflandırma [16]

Toplam Risk Katsayısı	Risk Sınıfı	Risk Derecesi
2-25	I	Düşük
25-125	II	Orta
125-250	III	Yüksek
>250	IV	Çok Yüksek

2.5.3 DSİ Metodu

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından 2002 yılında hazırlanan risk potansiyeli sınıflandırma tabloları, sonraki süreçte inşaatı tamamlanan tüm barajlar için hazırlanarak ortaya konulmuştur. Yapılan çalışmada; barajın gövde yüksekliği, rezervuar hacmi, tahliye edilmesi gereken insan sayısı, mansapta oluşması muhtemel zararlar, sismik risk katsayısı (k) - yatay yer ivmesi (a), dolusavağın türü ve tasarım aşamasında kullanılan hidrolojik bilgilerin güncelliği ve başlıkları altında puanlama yapılarak sınıflandırma yapılmıştır. Toplam risk potansiyel katsayısına göre yapılan sınıflandırma Tablo 2.9'da, hazırlanan puanlama kriterleri ise Tablo 2.10'da verilmiştir.

Tablo 2.9 DSİ metoduna göre toplam risk puanına göre sınıflandırma [17]

Toplam Risk Katsayısı	**Risk Sınıfı**	**Risk Derecesi**
0-16	I	Düşük
17-36	II	Orta
37-59	III	Yüksek
60-105	IV	En Yüksek

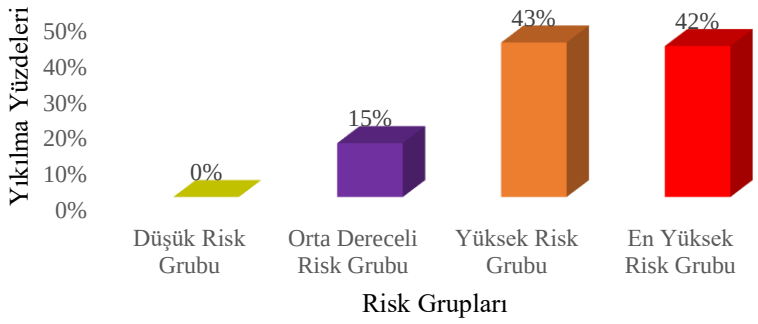
Tablo 2.10 DSİ metoduna risk potansiyeli sınıflandırma tablosu [17]

Risk Faktörü	**En Yüksek**		**Yüksek**		**Orta**		**Düşük**	
	Değeri	**Puanı**	**Değeri**	**Puanı**	**Değeri**	**Puanı**	**Değeri**	**Puanı**
Rezervuar Hacmi (hm^3)	>1200	10	1200-1,5	6	1,49-0,25	4	<0,25	0
Barajın Yüksekliği (m)	>60	5	60-30	3	29-15	2	<15	0
İnsan Sayısı Olarak Boşaltma Gereksinimi	>1000	40	1000-100	20	99-1	10	0	0
Potansiyel Mansap Zararı	Yüksek	25	Orta	15	Düşük	10	Yok	0
Sismik Risk Katsayısı (k) veya Yatay yer ivmesi (a)	k>0,25g veya a>475 cm/s^2 (10 km^2'lik alanda aktif fay hattı var)	10	k≥0,25g veya 475≥a>300 cm/s^2 (10 km^2'lik alanda aktif fay hattı yok)	6	0,25g>k≥0,1g veya 300≥a>140 cm/s^2	4	k<0,1g veya a≤140 cm/s^2	0

Tablo 2.10 (Devam)

Risk Faktörü	En Yüksek		Yüksek		Orta		Düşük	
	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı	Değeri	Puanı
Hidrolojik Verilerin Güncelliği	T≥30	10	30>T>15	6	15≥T>5	4	T≤5	0
Dolusavak Tipi	Kontrollü kapak adedi≥6	5	Kontrollü kapak adedi 4-6	3	Kontrollü kapak adedi <4	2	Kontrolsüz	0

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğün tarafından 2002 yılında yapılan kapsamlı bir çalışmada; Şekil 2.9'da mevcut baraj ve göletlerin %85'nin risk potansiyel sınıflandırma verilerine göre yüksek ve en yüksek dereceli risk grubunda yer aldığı tespit edilmiştir [14].



Şekil 2.9 Türkiye'deki barajların risk potansiyeli

2.6 Taşkın Tehlike Değerlendirmesi

Taşkın afet yönetiminde insanların güvenliği her zaman birinci öncelik olmuştur. Geçmişte yaşanan feyezanlar incelendiğinde en çok can kaybı, yürürken veya araç içindeyken insanların suya kapılması sonucu meydana gelmiştir. Bu nedenle taşkın yönetimi ve afet planlamaları için potansiyel taşkın sınırları, zamanlaması ile süresinin belirlenmesi ve her bir taşkının özelliklerini dikkate alarak en uygun etki azaltma seçeneklerinin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmalara yönelik her bir akarsu yatağı için taşkın tehlike haritaları hazırlanabilmektedir.

Taşkınlarla ilgili tehlikeyi değerlendirirken dikkate alınması gereken bir dizi faktör vardır. Olağan başlangıç noktası; taşkın özellikleri ve su altında kalan alanlarının akış özelliklerini tahmin etmektir. İlgilenilen ana özellikler tipik olarak akış derinliği ve akış hızıdır. Buna ek olarak, sel tehlikesinin değerlendirilmesi, genellikle

nicelleştirilmesi daha zor olsa da bir dizi başka sosyal, ekonomik ve çevresel faktörler de dikkate alınmalıdır. Taşkın tehlikesini ölçerken ve sınıflandırırken, tehlike seviyesinin altında yatan nedenleri anlamak da bir o kadar önemlidir. Örneğin, tehlike seviyesi "yüksek" olarak sınıflandırılmışsa, yüksek olmasının temel nedenini anlamak önemlidir; yüksek derinlik, yüksek hız, yüksek hız-derinlik kombinasyonu, izolasyon sorunları, kısa uyarı süresi gibi sebepler sayılabilir. Tehlikenin yüksek olmasının temel nedenleri iyi anlaşılmadıysa, tehlike seviyesini değiştirme ve düşürme girişimleri başarıya ulaşamayabilir [18].

İnsanlar; taşkın sularına yaya olarak, araç veya bina içindeyken maruz kalabilmektedir. Taşkın tehlike haritalarının esas parametreleri olan hız-derinlik kombinasyonuna verdikleri tepkiler göz önüne alınarak insan, araç ve binalara yönelik stabilite hesapları hazırlanarak taşkın tehlike haritalarına altlık oluşturacak çalışmalar yapılmaktadır. Örneğin yapılan bir çalışma sonucu; boy (B) ve kütle (K) çarpımına göre yetişkin, çocuk ve küçük çocuk tanımlaması yapılarak taşkının akış hızı ve derinliğine göre stabilite hesapları doğrultusunda tehlike sınıflandırmaları Tablo 2.11 ve 2.12'de gösterildiği şekilde oluşturulmuştur.

Tablo 2.11 Boy ve kütle indeksine (BK) göre sınıflandırma [19]

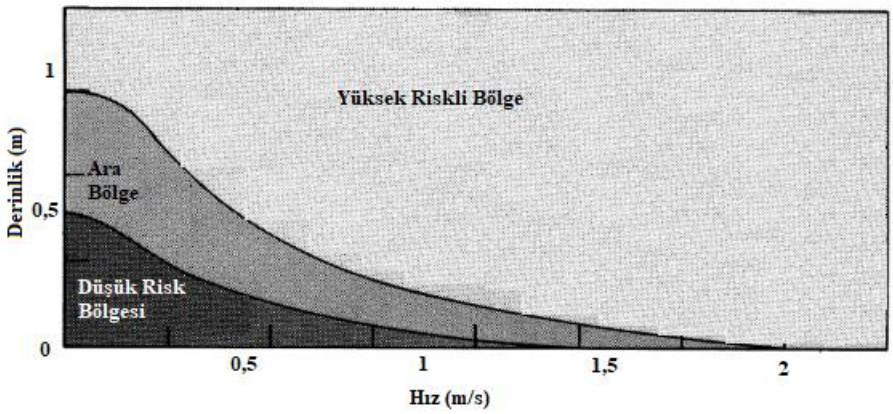
Boy-Kütle Çarpımı (m.kg)	**Sınıflandırma**
BK<25	Küçük Çocuk
25≤ BK ≤50	Çocuk
50<BK	Yetişkin

Tablo 2.12 Derinlik-hız çarpımına göre tehlike sınıfları [19]

Derinlik-Hız Çarpımı (m^2/s)	**Çocuk**	**Yetişkin**
0	Güvenli	Güvenli
0 - 0,4	Düşük Tehlike	Düşük Tehlike
0,4 – 0,6	Önemli Tehlike	Düşük Tehlike
0,6 – 0,8	Aşırı Tehlikeli	Orta Tehlike
0,8 – 1,2		Önemli Tehlike
1,2 <		Aşırı Tehlikeli

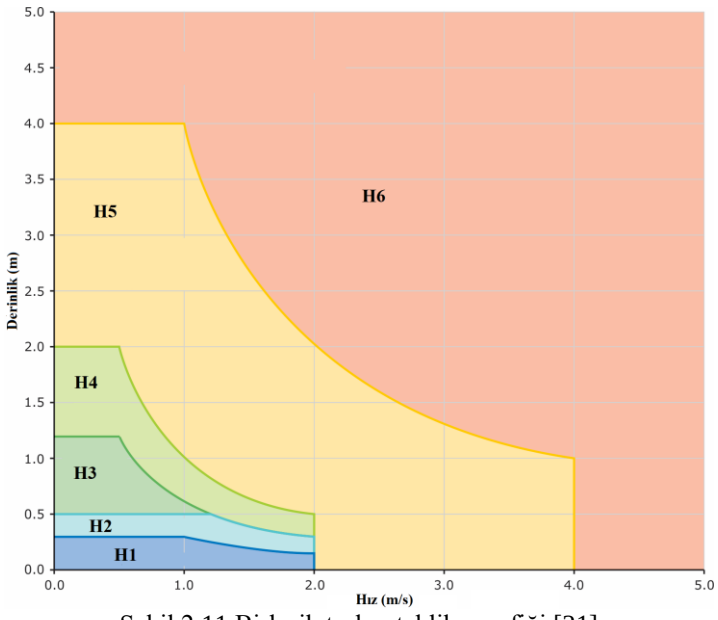
Benzer çalışma; araç ve binalar için de tür ve tehlike sınıflandırmaları yapılarak taşkın hız ve derinlik çarpımlarına dayalı tepki tabloları oluşturulmuştur. Böylelikle yaşanması muhtemel can kayıplarının hesabının yanı sıra maddi kayıplara yönelik de afet eylem planlarının hazırlanmasına olanak sağlanmıştır.

USBR (U.S. Bureau of Reclamation) tarafından 1988 yılında yayımlanan Mansap Tehlike Sınıflandırma Yönergesinde; binalar, araçlar ve insanlar için benzer tehlike tabloları oluşturulmuştur. Yetişkin insanlar için hazırlanan ve taşkın dalgasının derinlik ve hızı verileri esas alınarak hazırlanan tehlike grafiği Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10 Birleşik taşkın tehlike grafiği [20]

Tehlike sınıflandırmaları için yapılan bir başka çalışmada; Avustralya Meteoroloji Birimi tarafından yayımlanan Yağış ve Akış Yönergesinde taşkın yönetimi ve acil durum planları için birleşik tehlike grafiği oluşturulmuştur. Buna göre insan, araç ve binalar için 6 adet tehlike sınıfı tanımlanmıştır. Hazırlanan tehlike sınıflandırma grafiği Şekil 2.11'de, tehlike sınıflandırması da Tablo 2.13'te verilmektedir.



Şekil 2.11 Birleşik taşkın tehlike grafiği [21]

Tablo 2.13 Tehlike sınıflarına göre risk tanımı [21]

Tehlike Sınıflandırma İsmi	Tanımı
H1	İnsan, araç ve bina için güvenli
H2	Küçük araçlar için güvenli değil
H3	Araçlar, çocuklar ve yaşlılar için güvenli değil
H4	Araçlar ve insanlar için güvenli değil
H5	Araçlar ve insanlar için güvenli değil. Bazı yapılar için hasar yaratabilir
H6	Araçlar ve insanlar için güvenli değil. Tüm binalar yıkılma ihtimaline açık

Batman Barajı yıkılma sonrası oluşabilecek taşkın dalgasının tehlike haritaları için de Avustralya Meteoroloji Birimi tarafından yayımlanan Yağış ve Akış Yönergesinde yer alan tehlike sınıflandırması esas alınmıştır.

2.7 Önceki Çalışmalar

Ritter, yaptığı çalışmada genellikle barajların sürekli ve toptan yıkıldığı kabulünü yaparak çözümlerde basitlik ve uygunluk sağlamıştır. Dikdörtgen kesitli enkesite sahip kanalda akım çeşidini göz ardı ederek sürtünmesiz kuru yatak kabulleriyle hesaplamalar yapmıştır. Rezervuarında sınırsız su depolandığı barajın aniden ve tamamen yıkıldığı kabulleri yapılarak sığ su denklemlerine dayalı analitik çözüm yöntemi kullanmıştır. Bu çözüm yönteminde su yüzü profili için serbest yüzeyli parabolik serbest yüzeyli akım seçilmiştir [22].

Cristofano tarafından yapılan çalışmada; baraj gövdesinde oluşan gediğin tedrici olarak aşınması olayını modellenmiş olup gedikten geçen akımın etkidiği kuvvet, gediğin ıslak çevresi üzerine etkiyen sürtünme kuvvetine eşitlenmiştir. Sonuç olarak; debi değişimi ile gediğin düşey ve yatay aşınma hızları arasındaki bağıntıyı veren bir diferansiyel denklem türetilmiştir. Ancak, denklemin uygulanması esnasında hesaplamalarda bazı sorunlara neden olmuş ve bazı durumlarda belirsizlikler ortaya çıkmıştır [23].

Harris ve Wagner, tedrici baraj yıkılması olayında; parabolik enkesitli bir gediğin oluştuğu varsayımını yaparak gedikten geçen debinin değişimini ortaya koyan bir hesaplama yapmıştır. Modelde; gedikten geçen akım, dolusavak üzerindeki akımla

özdeşleştirilerek mansap kuyruk suyu etkileri göz ardı edilmiştir. Bu modelde; gedik boyutları, eğimi ile birlikte katı madde dane boyutu ve katı madde hareketini başlatan debi değerlerinin ortaya konulması sağlanmıştır [24].

Sakkas ve Strelkof, Ritter tarafından oluşturulan çözüm yöntemi genişletilerek sürtünme katsayısının tespiti için eğimli prizmatik kanal enkesitini kullanmışlardır. Bu çalışmada; Parabolik kesiti B = CxM denklemiyle ifade edilmiş, B kesitin en üst genişliği, C ve M sabitler olarak verilmiştir. Farklı enkesitlerin de göz önüne alındığı kesit, akım derinliği sıfıra yaklaştığı yerlerde hesaplamalarda bazı zorluklarla karşılaşılması sebebiyle fiktif asgari akım tanımlanmış ve çözümlemeler bu doğrultuda yürütülmüştür [25].

Fread ve Harbough, toprak dolgulu küçük göletlerde suyun üstten aşması sonucu oluşan taşkın zararlarını azaltmaya yönelik kavramsal bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu durumun yaşanmasını engellemek için gövde üzerinde aşınmayı geciktirici ince bir tabakanın inşa edilmesi önerilmiş, gedik oluşumu esnasında bu ince tabakanın ortaya çıkacak azami debiyi ne oranda etkileyeceğini ve bu tabakanın kalınlığının ne oranda olması gerektiği yönünde çalışma yapılmıştır [26].

Brown ve Rogers tarafından oluşturulan modelde; hesaplamalar iki basamaklı bir yöntem olarak ele alınmıştır. İlk adımda, gedikten çıkan akıma ait hidrografı elde etmek rezervuara giren akım rezervuar boyunca hidrolojik yöntemle ötelenmiştir. Homojen toprak dolgu gövdeli bir barajda üstten aşmalı ve borulanma sonucu ortaya çıkan gedik şekli sabit tutularak ampirik bir yöntemle aşınma hızı hesaplanmaya çalışılmıştır. Hidrolik eğim, gövde malzemesinin dane çapı ve gedikten geçen debiye bağlı bir fonksiyon olarak ele alınmıştır [27].

Lou, yaptığı bir model çalışmasında toprak dolgu baraj gövdesinde oluşan bir gedikten çıkan akımı belirlemeye çalışmıştır. Modelde; katı madde süreklilik denklemi, akımın hareket ve süreklilik denklemleri; gedik oluşum parametre denklemleri ve katı madde taşınımı denklemlerine dayandırılmıştır. Ayrıca, akımın hızına bağlı olarak ortaya çıkan zemin kütlesi, yıkılma zamanı ve aşınabilirlik indeksini hesaplayan ifadeler

geliştirmiştir. Gedik parametreleri, gövdede kullanılan malzemenin kayma açısının bir fonksiyonu olarak belirlemiştir [28].

MacDonald ve Langridge-Monopolis, baraj yıkılması durumunda oluşan gedikten çıkan akımın hacminin ve gedik üstündeki su derinliğinin bir fonksiyonu olarak ortaya çıkan bir gedik oluşum faktörü belirlemişlerdir. Tanımlanan bu faktör, kaya dolgu ve homojen toprak dolgu barajlar için taşınan gövde malzemesinin hacmi ile ilişkilidir. Bunun için 42 baraj yıkılması olayı incelenmiş olup gedik kenar eğimlerinin birçok olayda yatayda 1, düşeyde 2 olduğunu ve gediğin baraj tabanına ulaşıp ulaşmaması durumuna göre gedik şeklinin dikdörtgen veya üçgen olduklarının kabul edilebileceğini ifade etmişlerdir [29].

Singh ve Snorrason, inceledikleri 20 baraj yıkılma olayında gedik genişliği ve baraj yüksekliği arasındaki bağlantıyı inceleyerek ilk nicel kriterleri belirlemişlerdir. Yapılan hesaplama neticesinde baraj yıkılması sonrası oluşan gediğin genişliğinin, genelde baraj yüksekliğinin iki ile beş katı arasında değiştiğini ortaya koymuşlardır. Ayrıca gedik oluşumunun başlamasından tamamlanmasına kadar olan yıkılma zamanının 15 dakika ile bir saat arasında değiştiğini belirtmişlerdir [30].

Froehlich; yaptığı çalışmada ortalama kenar eğim faktörü, ortalama gedik genişliği ve gedik oluşum zamanını tahmin etmek için boyutsuz bazı yaklaşık denklemler tanımlamıştır. Hesaplamalar; gedik tabanı üstündeki su yüksekliği ve rezervuar hacmini de içeren baraj karakteristiklerine, baraj kret uzunluğuna, gediğin üst ve taban genişliklerine, baraj yıkılmasının borulanma veya üstten aşma şeklinde yıkılma durumuna göre değişen katsayılar ile çekirdek malzemesinin bulunup bulunmamasına dayandırılmıştır [31].

Fread, yaptığı model çalışmasında baraj gövdesi üzerinden su aşması veya borulanmayla gedik oluşan toprak barajlarda gedik şekli, boyutları, gedik oluşma sürelerini ve gedikten çıkan akımı hesaplamaya çalışmıştır. Modelde; zemin mekaniği, hidrolik ve katı madde taşınımı esasları kullanılmıştır. Barajdan çıkan akımın belirlenmesinde baraj gölüne giren akım, baraj gölü hacmi, dolu savak özellikleri ile birlikte barajın malzeme ve geometrik özellikleri dikkate alınmıştır [32].

Von Thun ve Gillette ; Froehlich [32] ile MacDonald ve Langridge Monopolis [30] çalışmalarında kullanılan aynı baraj yıkılma olaylarını inceleyerek ortalama gedik genişliğini, gedik kenar eğimlerini ve yıkılma zamanını belirleyen denklemler geliştirmiştir. Gedik oluşum zamanını yani yıkılma süresinin tespiti için baraj gövdesinde kullanılan malzemenin kolay aşınabilir olup olmaması durumuna göre iki farklı denklem belirleyerek ifade etmiştir [33].

Bozkuş ve Kasap, yaptıkları çalışmada; Milli Hava Servisi (National Weather Servis) tarafından geliştirilen DAMBRK ve SMPDBK sayısal modellerini karşılaştırmıştır. Fiziksel model ile iki sayısal modelin karşılaştırılması neticesinde her iki modelden de iyi sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. Yapılan nihai karşılaştırmada daha gelişmiş model olan DAMBRK modelinin SMPDBK modeline nazaran daha doğru sonuçlar verdiği ortaya konulmuştur [34].

Kocaman, Adana'daki Kozan barajı yıkılma modellemesini, Amerikan meteoroloji servisinin yazılımı olan NWS FLDWAV kullanarak modellemiştir. Farklı gedik genişlikleri, gedik oluşum süreleri ve hızları ile pürüzlülük katsayılarının baraj aksında, mansapta oluşan taşkın hidrografına ve su seviyesine olan etkileri incelenmiştir. Gedik parametreleri belirlenirken geçmiş olaylara dayanarak oluşturulan denklemlerden yararlanılan çalışmada, baraj yıkılması durumunda Kozan ilçesinin büyük kısmının zarar göreceği ortaya konulmuştur [35].

Kocaman, doktora tez çalışmasında; baraj yıkılmasını deneysel ve FLOW-3D paket programıyla karşılaştırarak incelemiştir. Dikdörtgen şekilli bir açık kanalda oluşturulan düzenekte kapağın açılmasıyla baraj yıkılması sonucu ortaya çıkan taşkın dalgasının mansaptaki ilerleme şeklini ve su yüzü profillerini incelemiştir. Barajın mansap kısmında eşikler yardımıyla daralma noktaları oluşturularak daralmanın yayılıma etkisi irdelenmiştir. Deneylerde; kanal boyunca istenilen noktalarda zamana bağlı su seviyesi değişimleri ve su yüzü profilleri çoklu kamera sistemiyle tespit edilmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlar, analitik çözüm, sığ su denklemleri ve RANS denklemlerinin sayısal çözüm sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır [36].

Kocaman ve Özmen-Çağatay, laboratuvarda oluşturulan açık kanalda baraj yıkılması sonrası ortaya çıkacak taşkın yayılımını incelemiştir. Oluşturulan modelde baraj aksından mansaba doğru belirli bir mesafede üçgen şekilli engeller oluşturulmuştur. Yapılan bu düzenekle taşkın hareketi boyunca ortaya çıkan ani topoğrafik değişikliklerin yarattığı etkiler anlaşılmaya çalışılmıştır. İleri düzey görüntü ölçüm teknikleri kullanılarak açık kanal boyunca akıma ait hidrografik akışlar ve serbest yüzey profilleri elde edilmiştir. Deneysel veriler, Reynolds Ortalamalı Navier Stokes denklemleriyle karşılaştırılarak sonuçların doğrulaması yapılmıştır [37].

Doğan ve ark., Aşağı Sakarya nehrinin 113 kilometrelik kısmı için taşkın yayılım risk haritalarını oluşturmuştur. Akarsu yatağının yüz yıl tekerrürlü taşkını taşıma kapasitesi ortaya konarak baraj yıkılması durumu için de benzer sonuçların ortaya çıkabileceği göz önüne alınarak risk analizleri hazırlanmıştır. HEC-GeoRAS, ArcGIS 9x, HEC-RAS ve ArcView 3.2 paket programıyla hesaplanan su yüksekliği ve taşkın alan sınırlarıyla afet önleme ve azaltma çalışmalarında farklı eylem planlarının hazırlanmasının önemi vurgulanmaya çalışılmıştır [38].

Sönmez doktora tez çalışmasında, farklı tekerrürlü taşkın debilerinde su seviyesiyle taşkın riski arasındaki ilişki ile Federal Acil Durum Yönetim Ajansının (FEMA) ortaya koyduğu kriterler çerçevesinde taşkın tehlike haritaları elde edilmiştir. Ayrıca taşkın yayılım harita sonuçlarının harita çözünürlüğüne göre değişimi ortaya konulmuştur. Taşkın oluşum ve gelişim süreçleri ile taşkın süresince yapılması gereken risk ve afet yönetim planları oluşturulmuştur. Taşkın tehlike haritaları için MIKE yazılım programı kullanılmıştır [39].

Bağatur ve Hamidi, Diyarbakır ili Çınar ilçe sınırlarında yer alan Göksu Barajının dolusavağının çalışmaması kret üzerinden suyun aşması veya dolusavak kapaklarının gereğinden fazla açılması sonucu baraj mansabında ortaya çıkabilecek taşkın tehlikelerinin olası etkisini değerlendirmişlerdir. Akarsu yatağı boyunca var olan bitki örtüsü ve akarsu enkesitinin su taşıma kapasitesinin yetersiz olması sonucu ortaya çıkan taşkın riski ortaya konulmuştur. Çözüm sağlaması bağlamında dere yatağı için bazı enkesit ve boy kesitler önerilmiştir [40].

Altunkaynak ve Elmazoghi, baraj yıkılması sonrası gedik oluşum süresinin tahmini için Nöro-bulanık (NF) sistemler yardımıyla yeni modeller oluşturmuşlardır. Önceki yıllarda meydana gelmiş 45 baraj yıkılma olaylarından elde edilen veriler esas alınarak gözlem değerlerine 40 farklı Nöro-bulanık model araştırılmıştır. Genetik ifadeli programlama (GEP) ve regresyon modelleriyle (RM) oluşturulan model sonuçları karşılaştırılmıştır Nöro-bulanık modelinin test sonuçlarının, mevcut GEP ve RM'den daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir [41].

Sönmez ve Doğan, doğrulanmış 1 ve 2 boyutlu modeller kullanılarak farklı çözünürlükler ve tekerrür debileri için Cedar Nehri taşkın yayılım haritaları oluşturarak feyezan etkisi altında kalan alanları belirlemişlerdir. 1 boyutlu modelleme için HEC-RAS paket programı, 1 ve 2 boyutlu modellerin birlikte ele alındığı model için ise MIKE FLOOD hidrodinamik programı kullanılarak simülasyon oluşturulmuştur [42].

Elçi ve ark. tarafından yapılan çalışmada, Alibey Barajı mansabında yer alan İstanbul ili ile Porsuk Barajının mansabında yer alan Eskişehir illeri için baraj yıkılma senaryoları sonucu ortaya çıkabilecek taşkın dalgasının hareket tahmini ve mansapta ilerleme şekli farklı bir yaklaşım ortaya konulmuştur. Azami su derinlikleri, akım hızları ve pik değere ulaşma sürelerinin tespiti için çok aşamalı bir modelleme oluşturulmuştur. Oluşacak taşkın hidrografının vadi boyunca ötelenmesi için HEC-RAS programı, taşkın dalgasının yayılım haritası için FLO-2D yazılımı kullanılmıştır [43].

İmamoğlu ve ark., Irak-İran sınırında 12.11.2017 tarihinde meydana gelen 7,3 büyüklüğündeki deprem sonucu Irak sınırı dahilinde yer alan Darbandikhan Barajında meydana gelen hasarların incelemesini yaparak bölgedeki karmaşık formasyonun baraj güvenliğine etkisini incelemiştir. Yapılan çalışmada; baraj ve yardımcı yapılarda ciddi hasarların oluştuğu ve gerekli iyileştirilmelerin yapılma zorunluluğu ortaya konulmuştur [44].

Şahin tarafından yapılan çalışmada, Ürkmez Barajının yıkılma analizleri, HEC-RAS programı yardımıyla bir ve iki boyutlu olarak modellenerek karşılaştırılmıştır.

Çarpıtılmış fiziksel modelle yapılan deneyler, simülasyonların doğrulanması için kullanılmıştır. Bir ve iki boyutlu modellerin sonuçlarının karşılaştırılması sonucunda; taşkın alan sınırlarının birbirine yakın olduğu ancak iki boyutlu modelin taşkın sınırının, bir boyutlu modelin taşkın sınırında %5 daha büyük olduğu tespit edilmiştir [45].

Oğraş ve Önen, Diyarbakır şehir merkezinden geçen ve Dicle nehri üzerinde bulunan Dicle Üniversitesi köprüsü ile On Gözlü köprü arasında kalan kesimde taşkın yayılım haritaları oluşturularak risk analizleri ortaya konulmuştur. Dicle Nehri yatağının farklı tekerrür debilerine göre su yüzü profilleri ile köprü ayaklarındaki hidrolik davranış HEC-RAS programı yardımıyla incelenmiştir [46].

Em tarafından hazırlanan doktora tez çalışmasında; Dicle havzasında yer alan Kralkızı ve Dicle barajlarının, HEC RAS ve DHI MIKE taşkın yazılım programları kullanılarak dokuz ayrı modelleri oluşturulmuştur. Bu modellerde, barajların olası yıkılma sonrası ortaya çıkabilecek taşkın yayılımının Diyarbakır kent merkezindeki risk haritaları çıkarılmış, buna bağlı Diyarbakır kent merkezi ve on gözlü köprünün taşkın riskleri irdelenmiştir [4].

Yılmaz ve Karaman tarafından yapılan çalışmada; Ürkmez Barajı için yetersiz dolusavak kapasitesinin neden olduğu taşma nedeniyle olası sel tehlikesi incelenmiştir. Çeşitli aşınma parametresi tahmin yöntemleri uygulanarak farklı senaryolarda baraj yıkılmasına bağlı potansiyel tehlikeler değerlendirilmiş ve taşkın azaltma önlemi olarak erken uyarı sistemi için optimum konum önerilmiştir [47].

Yılmaz ve ark.; HEC-RAS programı yardımıyla 2015 yılında Tacikistan'ın Barsem kentinde meydana gelen taşkın olayı incelenerek enkaz akışını ve taşkın tehlikesini modellemek için yeni bir metodoloji geliştirilmiştir. Olayın simülasyonları ve tehlike değerlendirmesi, enkaz akışı tehlikesi değerlendirmesinin sel tehlikesine benzer şekilde uygulanabileceğini göstermiş ve ayrıca düşük çözünürlüklü serbest kaynaklı sayısal yükseklik modelleri (SYM'ler) ile enkaz akışı su baskını alanının doğru bir şekilde tahmin edilebildiği, ancak mevcut çalışmada enkaz akışı tehlike değerlendirmesini doğru bir şekilde tahmin edilemediği görülmüştür. Ayrıca, daha

yüksek çözünürlüklü ücretsiz kaynaklı DEM'lerin, daha düşük çözünürlüklü ücretsiz kaynaklı DEM'lerden daha iyi tahminler vermediğini de ortaya koymuştur [48].

Bu çalışmada; baraj güvenliğine yönelik potansiyel risk durumu gözetilerek Batman Barajının yıkılma simülasyonu oluşturulmuştur. Geliştirilen HEC-RAS yazılımının kullanılması ve barajın mevcut durumundan yola çıkılarak oluşturulan farklı senaryolarla daha gerçekçi yaklaşımlar ortaya konulmaya çalışılmıştır. Yapılan önceki çalışmalardan farklı olarak pürüzlülük katsayısı için daha kapsamlı bir çalışma yapılarak taşkın dalgasına ait hız ve derinlik çarpımlarına bağlı tehlike haritaları oluşturulmuştur.

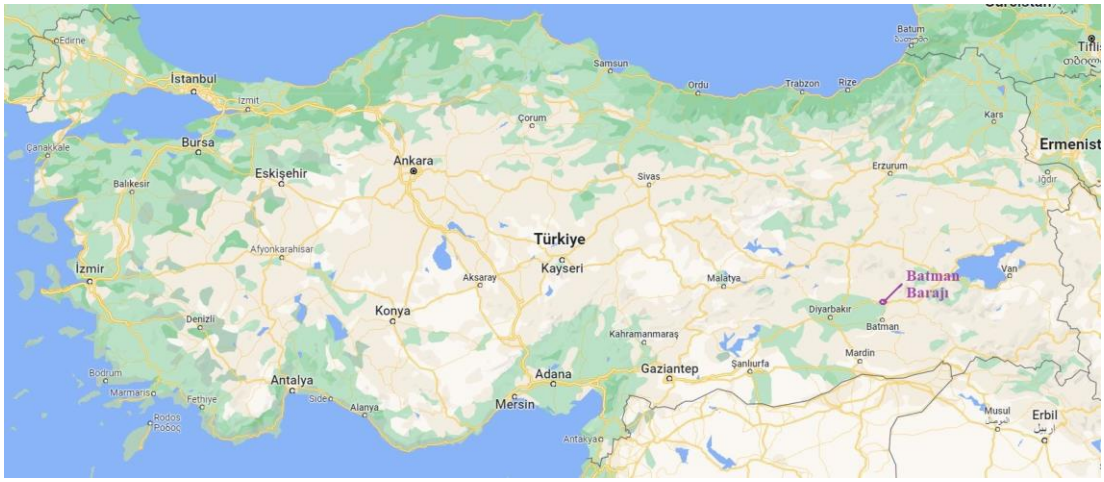
3. MATERYAL VE METOD

3.1 Materyal

3.1.1 Proje Alanı

Bu çalışmanın konusunu oluşturan Batman Barajı, Diyarbakır ili Silvan ilçesine bağlı Malabadi Mahallesindeki tarihi Malabadi köprüsünün 700 metre kadar kuzeyinde Batman çayı üzerindedir. Batman çayı; Kulp, Zori ve Soson kollarının drenaj alanından ibaret olup 4.106 km²'lik bir sahayı kapsamaktadır. Sulama sahası, sağ sahilde Diyarbakır ilinin Silvan ve Bismil ilçelerinin bazı köy ve mahalelerini; sol sahilde Batman iline bağlı bazı köy ve mahallelerini kapsamaktadır.

Göl alanı, Batman çayını meydana getiren, Kulp, Zori ve Sason çaylarının vadileri boyunca, üç kol halinde kuzeye doğru uzanır. Vadiler kuzeye doğru dar ve topoğrafya diktir. Membada topoğrafya hafif eğimlidir. Vadi tarafında geniş düzlükler vardır. Sulama sahasının kuzeyinde, doğu-batı uzanımlı Silvan, güneyinde aynı doğrultulu Raman yükselimi, bunların arasında geniş bir alçalım alanı bulunur. Topoğrafik yükseklikler kuzey ve güneydeki yapısal yükselimlere karşılıktır. Bu kesimler, çıplak dağlar ile dağların tepesinde küçük düzlükler halindedir. Alçalım alanı topoğrafik yönden oldukça dalgalıdır. Şekil 3.1'de Batman Barajının yer aldığı Türkiye haritası, Şekil 3.2'de ise uçuş fotoğrafı yer almaktadır.



Şekil 3.1 Batman Barajı yer aldığı Türkiye haritası



Şekil 3.2 Batman Barajı uçuş fotoğrafı [49]

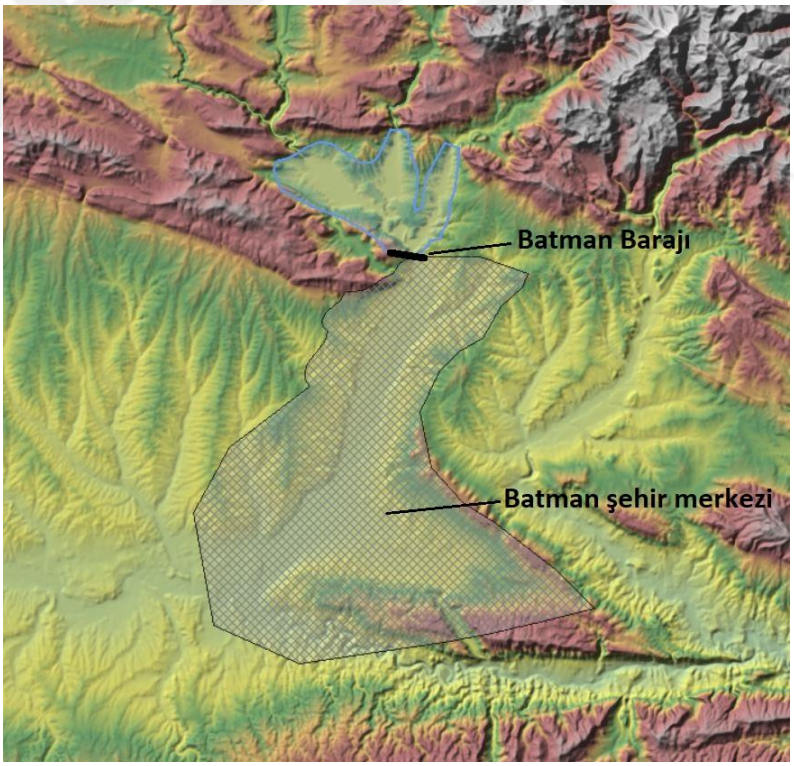
Batman Barajının inşaat çalışmaları, 1986 – 1999 yılları arasında devam etmiş olup 2003 yılında hidroelektrik santral tesisi işletmeye alınmıştır. Temel amacı 33.664 hektar tarım arazisine sulama suyu sağlama ve enerji üretimi (198 MW) olmakla birlikte taşkın kontrolü yönünden de büyük fayda sağlamaktadır. Planlama ve proje aşamalarında herhangi bir yıkılma analizi yapılmamış olup baraja ait karakteristik bilgiler Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Batman Barajı karakteristik bilgileri

Amaç	:	Sulama-Taşkın Kontrolü-Enerji
İnşaatın Başlama-Bitiş Yılı	:	1986-1999
Gövde Dolgu Tipi	:	Kil Çekirdekli Kaya Dolgu
Gövde Hacmi	:	7.181 hm^3
Yağış Alanı	:	4.106 km^2
Maksimum Göl Hacmi	:	1.275 hm^3
Kurulu Güç	:	198 MW
Yıllık Üretim	:	483 GWh
Kret Uzunluğu	:	530 m
Normal Su Kotunda Göl Hacmi	:	1.175 hm^3
Yükseklik (Temelden)	:	85 m
Dolusavak Giriş Debisi	:	8.210 m^3/s
Yıllık Maks. Akım	:	7.979 hm^3
Sulama Alanı	:	33.664 ha

3.1.2 Çalışma Alanına Ait Haritalar

Baraj yıkılma modellemelerinde veri hassasiyeti ve doğruluğu, sonuçları doğrudan etkilemektedir. Özellikle gedik oluşumuyla birlikte rezervuar alanından boşalan suyun ilk hareket alanının yeterli hassasiyete sahip şekilde modellenmesi, analiz programının ilk adımda hatasız çalışabilmesini sağlayabilmektedir. Çalışılan alan için; Harita Genel Komutanlığının (HGK), hava fotoğraflarından yararlanılmış ve yersel çalışmalarla bütünleştirilmiş 1/25.000 ölçekli vektörel haritalar kullanılmıştır. DSİ 10. Bölge Müdürlüğünce 2011 yılında yapımına başlanılan "Batman Çayı Islahı" işi kapsamında; akarsu yatağının 1/1000 ölçekli haritalar, taşkın dalgasının ilk olarak nehir yatağını takip edebilmesi için 1/25.000 ölçekli haritayla izohips eğriler üzerinden bütünleştirilmiştir. Elde edilen veriler, ArcMap (v. 10.5) programı yardımıyla sayısal yükseklik modeline dönüştürülmüştür. Şekil 3.3'de çalışma sahası için hazırlanan dijital haritanın görüntüsü bulunmaktadır.



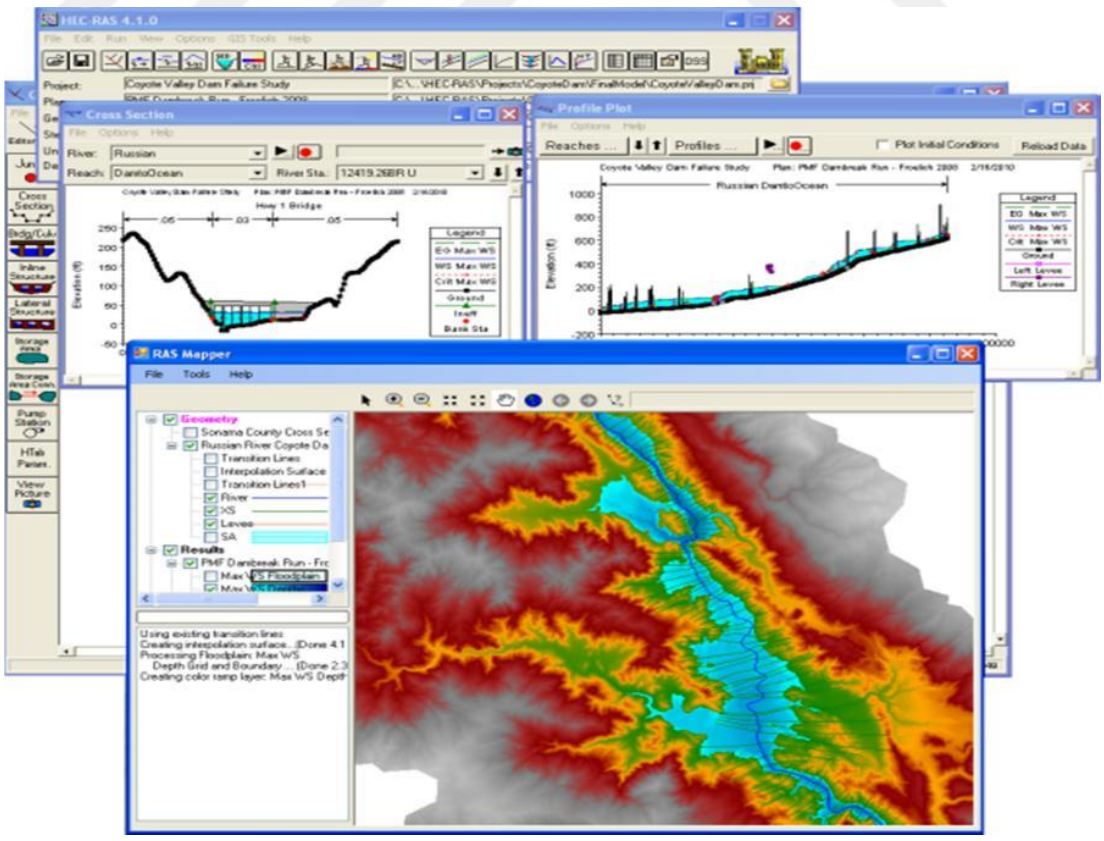
Şekil 3.3 Çalışma alanına ait sayısal yükseklik modeli

3.1.3 HEC-RAS Programı

Amerika Birleşik Devletleri ordusunun mühendislik hizmetlerine bağlı çalışan Hidrolik Mühendisliği Merkezince (HEC) geliştirilen HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) paket yazılımı, hidrolik modelleme

programıdır. Feyezan riski taşıyan kesimleri ve akarsu yatakları akımlarını tespit etmek için 1964 yılında HEC-2 adında bir bilgisayar modeli oluşturulmuştur. Akım hidrolik modelleme analiz programı olarak hızla yayılan HEC-2, sahip olduğu kullanım alanları sonucu sonraki yıllarda menfez, dolusavak ve köprü hidrolik analizleri için de kullanılmaya başlanılmıştır [50].

Şahsi bilgisayarlar ve Windows işletim sisteminin yaygınlaşmasıyla birlikte 1990'lı yılların başından itibaren HEC, bu sistemlerle uyumlu çalışan River Analysis System'i çıkarmıştır. Şekil 3.4'te kullanıcı ara yüzü Visual Basic'te oluşturulmuş olan HEC-RAS programının akım hesaplama algoritmaları da Fortran programlama dilinde oluşturulmuştur. Bu özellikler birçoğu HEC-2 modeli tabanlıdır. Başlangıçta HEC-RAS paket programıyla, tek boyutlu kararlı akımlarda su yüzü profilinin belirlenmesi amaçlanmış olsa da daha sonraları sediment taşınımı ve kararsız akım modülleri de eklenmiştir. Bu sistemle nehir, karma ve sel rejimli tek bir kola sahip veya dentrik sistemli akarsular modellenebilmiştir. Bu modelleme sonuçları genellikle taşkın zararlarının etkilerinin ve taşkın risk yönetiminde kullanılmaktadır [51].



Şekil 3.4 HEC-RAS programı kullanıcı ara yüzü

HEC-RAS programıyla yapılan baraj yıkılma analizlerinde; baraj rezervuarı öteleme, gedik parametrelerin belirlenmesi ve gedikten çıkan akımın hidrografının belirlenmesi gibi sonuçlar elde edilebilmektedir. Rezervuardaki suyun öteleme hidrografı için üç yöntem belirlenerek modelleme yapılabilmekte olup bunlar; rezervuar öteleme (pool routing), Saint Venant veya difüzyon dalga (diffusion wave) yöntemiyle iki boyutlu kararsız akım öteleme ve Saint Venant denklemiyle tek boyutlu kararsız akım ötelemeleridir [9].

Rezervuar öteleme metoduna nazaran kararsız akım öteleme yöntemleri (bir veya iki boyutlu) daha doğru sonuçlar verebilmektedir. Giriş hidrografının rezervuar boyunca suyun yüzey eğimini ve baraj yıkılma anında gerçekleşen su yüzey eğim değişimlerinin hesaplanmasında kararsız akım öteleme metodu kullanılmaktadır. Baraj membasındaki su yüzey profilleri incelendiğinde; dar ve uzun rezervuarlar kısa ve geniş rezervuarlara nazaran daha büyük su yüzey eğimlerini oluşturabilmektedir. Bu sebepten dinamik dalga yöntemi (dynamic wave metod) dar ve uzun rezervuarlarda çıkış hidrograflarını ve su seviyelerini kararsız akımda en iyi hesaplayan yöntem iken kısa ve geniş rezervuarlar da rezervuar öteleme (pool routing) daha uygun sonuçlar verebilmektedir.

Bunun yanı sıra öteleme metodları belirlenirken bazı kritelere göre seçim yapılması daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayabilmektedir. Bunlar;

- Baraj ile yerleşim yerleri ve taşkın yıkım alanları arasındaki mesafe arttıkça farklı hidrograf ve pik debi değerleri arasındaki fark da buna bağlı olarak benzeşmekte önemini yitirebilmektedir. Aynı rezervuar hacmine sahip iki hidrograf, pik debi değerleri farklı olsa bile akarsu boyunca ilerledikçe benzeşme eğilimi gösterebilmektedir. Böyle bir durumda öteleme için iki yöntem de (kararsız akım veya rezervuar öteleme) kullanılabilir.
- Rezervuardan yeterli doğruluğa sahip enkesitler elde etmek mümkün olmayabilir. Baraj rezervuarının hacim-satıh eğrisi için batimetrik haritalara ihtiyaç duyulmakta olup bu verilerin temin edilememesi durumunda kararsız akım modellemeleri için en kesit verileri için hacim-satıh eğrisi kullanılabilir. Bu eğri de baraj aksından membaya doğru farklı rezervuar kotlarına bağlı olarak küçük akıma bağlı kararlı akım profillerinden elde edilebilir. HEC-RAS

programının hesapladığı hacim-satıh eğrisi ile tanımlanan eğri arasında farklılık varsa enkesit boyutları değiştirilebilmektedir. Bu işlem için açık kanal düzenleme ve tasarım editörü (The Channel Desing Modification editör) kullanılır.

- Barajın maksimum hacminin yakalanabilmesi için akstan membaya doğru yeterli sayıda enkesit alınır. Alınan her enkesit yüksekliğinin bir önceki kesitin yüksekliğinden fazla olması sağlanarak baraj kret kotundan 1-1,5 metre kadar uzaklığa gidilmesi yeterli olur.
- Eğer barajın membasında akarsuya bağlanan çok sayıda yan kol veya büyük akım sahip yan kollar varsa giriş akımı için bu debi değerleri de dikkate alınmalıdır. Bir boyutlu kararsız akım ötelemesi yapılacaksa bu kolların tanımlanması için iki yöntem belirlenebilir. Birinci her bir kol için ayrı ayrı kesit alınması, ikinci seçenek ise yan kolları bir rezervuar gibi düşünerek ana rezervuara bağlantılı gibi düşünmek. Model tek boyutlu ise hidrograf ötelemesi kararsız olarak modellenmeli veya yan kollar rezervuara ulaşan bir nehir gibi düşünülmelidir. Üçüncü seçenek ise rezervuardan alınan enkesitlerin etkisiz akış alanı (Inefective Flow Area) olarak modellenmesidir [4].

3.1.4 Batman Barajının Mevcut Durumu

Baraj yıkılma analizi yapılırken gerçekçi sonuçların alınabilmesi, mevcut risklerin doğru olarak ortaya konulmasıyla sağlanabilir. Yıkılmanın nasıl olacağı sorusu analiz sonuçlarını doğrudan etkileyen bir faktör olmasının yanı sıra baraj güvenliği kapsamında alınacak önlemlerin de konusunu oluşturur. Bu sebepten dolayı, mevcut barajların bakım ve muayenelerinin doğru şekilde yapılması risklerin bertaraf edilmesi açısından hayati önem taşımaktadır.

Batman Barajı için belirlenen baraj güvenliği kriterlerini ve oluşturulan senaryoları etkileyen en önemli etmenlerden birisi de dolusavağın türüdür. Kontrollü elektrik üretimini sağlamak ve enerji üreten barajlarda su kaybını önlemek adına, kret kotunun indirilmesi sonucu düşürülen maliyetler nedeniyle kapaklı dolusavak kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır. Ancak deprem bölgelerinde yer alan dolusavak kapaklarındaki muhtemel hasarlar, baraj güvenliği açısından tehlike oluşturmasının

yanı sıra kapakların işletme-bakım zorlukları nedeniyle kullanımları bir o kadar risk barındırmaktadır. Şekil 3.5'te Batman Barajının dolusavak kapakları görülmektedir.



Şekil 3.5 Batman Barajı dolusavak kapaklarının üstten görünüşü [49]

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünce (DSİ) yıllık periyotlar halinde mevcut barajların muayeneleri yapılmaktadır. Bu komisyonlarda; barajın türü de dikkate alınarak inşaat mühendisi, jeoloji mühendisi, makine mühendisi, elektrik mühendisi ve elektronik mühendisi yer alabilmektedir. Oluşturulan muayene komisyonları; barajın mevcut durumunun izlenmesinin yanı sıra önceki yıllarda tespiti yapılmış hususların ilerlemelerini de kayıt altına alarak Muayene Raporlarını oluştururlar.

Batman Barajının yıkılma analizi için oluşturulacak senaryoda barajın mevcut durumunu ortaya koyan "2022 yılı Batman Barajı ve HES Muayene Raporu" dikkate alınmıştır. Yapılan değerlendirmede; barajın gövde şevlerinde herhangi bir deformasyonun görülmediği, dipsavak ve dolusavak elektromekanik ekipmanlarının faal olduğu ortaya konulmuş olup 2020 yılında tespit edilen küçük çaplı eksiklikler için onarım çalışmalarının devam ettiği belirtilmiştir. Hazırlanan muayene raporunda yer alan dolusavak radyal kapak kaldırma tertibatına ait fotoğraf Şekil 3.6'da yer almaktadır.



Şekil 3.6 Kapaklı dolusavağa sahip baraj örneği [52]

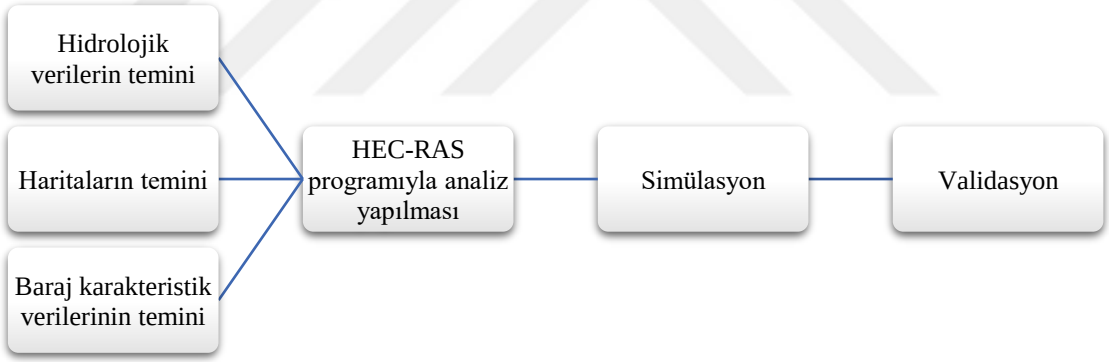
Batman Barajının yer aldığı Dicle-Fırat Havzasındaki başka önemli bir baraj olan Dicle Barajına ait 3 radyal dolusavak kapağından birinin, 13.12.2018 tarihinde kopması sonucu mansapta bazı yerleşim yerleri tahliye edilmek zorunda kalınmış ve ilk etapta yapılan deşarj sonucu akarsu yatağındaki su seviyesini yer yer 4 metre arttırmıştır. Bu olay sonrası herhangi bir can ve kayda değer herhangi bir mal kaybı yaşanmamış olmakla birlikte kapaklı dolusavaklı barajların güvenliğinin tekrar irdelenmesi gerektiği ortaya çıkmıştır.

Batman Barajının 2022 yılı periyodik muayene raporu incelendiğinde; özellikle mekanik ekipmanda, işletme ömrüne bağlı deformasyonların ve korozyonun oluştuğu gözlemlenmiş olup periyodik bakımların düzenli olarak yapıldığı belirtilmiştir. Bu doğrultuda; Batman Barajının yıkılma senaryoları oluşturulurken radyal kapaklı dolusavakların açılmaması ihtimali göz önüne alınarak rezervuardaki suyun kretten aştığı senaryonun yanı sıra kil çekirdekli kaya dolgu gövdeye sahip Batman Barajında borulanma sonucu yıkılma senaryosu da irdelenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır.

3.2 Metod

Barajlarda yıkılma ve hasar sonucunda ortaya çıkabilecek can ve mal kayıplarını önlemek için barajın türüne bağlı olarak değişen davranışının ve yapıyı oluşturan malzemelerin belirlenmesi açısından birtakım modelleme ve deneysel çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Erken uyarı ve ikaz sistemlerine altyapı oluşturması sebebiyle taşkın dalgası risk haritalarının oluşturulması ve yıkılma analizlerinin yapılmasında büyük fayda vardır [53].

Baraj yıkılma analizlerinde hesaplamaların ve simülasyonun sağlıklı yapılabilmesi için harita bilgileri başta olmak üzere verilerin doğruluğu ve hassasiyeti son derece önemlidir. Bu doğrultuda gerek saha çalışmaları gerekse farklı açılardan yapılan teyitlerle sonuçların doğrulukları değerlendirmeye alınmıştır. Çalışmalar yürütülürken izlenilen metodoloji Şekil 3.7'de verilmektedir.



Şekil 3.7 Çalışmanın metodolojisi

Verilerin temini noktasında DSİ 10. Bölge Müdürlüğünden (Diyarbakır) gerekli girişimler yapılmış olup bölgeye ait 1/25000 ve akarsu yatağına ait 1/1000 ölçekli haritalar alınmıştır. Özellikle ilk yıkılma anından başlamak üzere taşkın dalgasının akarsu yatağı boyunca harekete geçeceği göz önüne alındığında, 1/1000 ölçekli haritanın 1/25000 ölçekli haritaya entegrasyonu yapılmıştır. Böylelikle analiz esnasında daha sağlıklı sonuçların alınması sağlanmıştır.

Hidrolik ve hidrolojik veriler için güncel Akım Gözlem İstasyonu (AGİ) değerlerinin yanı sıra çalışma alanında daha önce gerçekleştirilen projelerde (Batman Barajı İnşaatı ve Batman Çayı Islahı) kullanılan veriler esas alınmıştır.

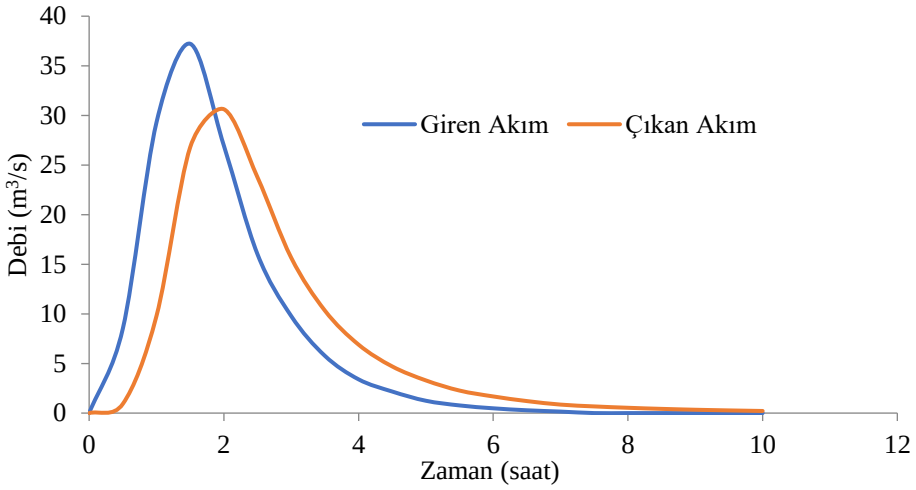
Gelişen teknolojiyle birlikte baraj yıkılma simülasyonları için daha gerçekçi yazılımlar kullanılmaya başlanmıştır. Baraj yıkılma simülasyonlarında yaygın olarak HEC-RAS, MIKE21, FLO-2D gibi programlar kullanılmakta olup günümüz şartlarında gerçeğe yakın sonuçlar alınabilmektedir. Bu çalışmada, Batman Barajı yıkılma analizi için ücretsiz olarak kullanıma sunulan HEC-RAS paket programının yanı sıra haritaların işlenmesi için ArcGIS ve AutoCAD Civil 3D programları kullanılmıştır.

3.2.1 Yıkılma Sonrası Rezervuarın Ötelenmesi

Genellikle baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının pik debi değeri aynı nehirde en uç hidrolojik şartlar altında akışlardan dolayı oluşan dalgalara göre çok daha büyüktür. Baraj yıkılması taşkın dalgalarının diğer bir özelliği çok kısa devam süresidir ve özellikle de yükselmenin başlamasından pik değerin oluşumuna kadar geçen sürenin son derece kısa olmasıdır. Pik değere ulaşma zamanı genellikle gedik oluşum zamanıyla eşit olmaktadır ve birkaç dakika ile yaklaşık bir saat arasında bir dağılım göstermektedir. Oysaki yüzeysel akışlardan oluşan dalgalar için yükselme periyodları zamanı birkaç saat ile birkaç haftalık bir zaman aralığında olabilir. Baraj yıkılması taşkın dalgalarının, akışlardan oluşan taşkın dalgalarına göre pik değere oldukça hızlı ulaşması çok daha büyük değere sahip ivme bileşenlerine neden olur. Baraj yıkılması öteleme modellerinin çoğunda genellikle hız değişimlerinin sadece akım yönünde meydana geldiği, düşey ve yatay ivmelerin sıfır olduğu kabul edilmiştir. Ayrıca baraj yıkılması taşkın dalgaları önemli miktarda katı madde taşıma ve aşındırma özelliğine sahiptir. Bundan dolayı taşkının etki alanı, mansap vadisinin pürüzlülüğü ve geometrisi ile önemli ölçüde değişebilir [54].

Baraj yıkılması sonrası taşkın öteleme süreci, ortaya çıkan hidrografın rezervuar veya akarsu yatağı boyunca hareket halindeyken yer ve zamansal değişimin ortaya konulmasıdır. Akarsu yatağındaki suyun miktarı ve yatakta oluşan akım direnci; taşkın hidrografının şekli ve feyezan dalgasının zamana bağlı membadan mansaba yaptığı hareket ile ifade edilmektedir. Taşkın öteleme hesaplamaları; aşırı yağışlar sonucu

ortaya çıkan hidrografın uzaklaştırılması, arzu edilen noktada su veriminin hesaplanması, taşkın kontrol yapı elemanlarının tasarımının yapılması gibi gayeler için kullanılmaktadır. Şekil 3.8'de, membadan mansaba doğru giden bir taşkın dalgasına ait hidrografta meydana gelen değişim görülmektedir [5].



Şekil 3.8 Ötelenen taşkın dalgasına ait örnek hidrograf

Taşkın öteleme, hidrolojik ve hidrolik olmak üzere iki kategoriye ayrılmaktadır. Zamana bağlı açık kanal akımlarında kısmi diferansiyel denklemlerle çözüm yapılan hidrolik öteleme tekniğinde Saint Venant denklemleri kullanılmaktadır. Diğer öteleme şekli olan hidrolojik yöntemde ise depolama, giriş ve çıkış debileri arasındaki bağıntıyı kullanan süreklilik denklemleri kullanılmaktadır.

Hidrolojik ötelemelerde; depolama, çıkış ve giriş arasındaki bağıntıyı birleştiren süreklilik denklemi kullanılmaktadır. Süreklilik denklemi; giren akımdan çıkan akımın çıkarılması sonucu elde edilen depolanan su hacmindeki değişim olarak tanımlanır.

Hidrolojik yöntemler kabarma etkilerinin önemsiz olduğu durumlarda özellikle de baraj haznelerindeki öteleme için uygundur. Baraj yıkılması durumunda mansapta oluşan akım, değişken akım olduğundan hidrolojik yöntemi kullanmak pek doğru olmaz. Çünkü akımda zamana bağlı olarak büyük değişimler olmakta ve suyun hareketi ön plana çıkmaktadır. Bu nedenle hidrolik taşkın ötelemesi yöntemine ihtiyaç duyulur [54].

Hidrolik ötelemede akım; taşkın dalgasının yerine ve zamanına bağlı bir fonksiyon olarak tanımlanmaktadır. Bu hesaplamalarda; Denklem 3.1'deki süreklilik denklemi ve Denklem 3.2'deki momentum denklemini esas alan Saint Venant denklemleri kullanılmakta olup bu denklem grubunun çözümünde kinematik dalga, difüzyon dalga ve dinamik dalga modelleri kullanılmaktadır. Bu denklemlerin çözümü genellikle sayısal yöntemlerle bilgisayarda çözülmektedir.

$$\frac{\partial Q}{\partial x}+\frac{\partial A}{\partial t}=0 \tag{3.1}$$

$$\frac{1}{A}\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{1}{A}\frac{\partial}{\partial x}(\frac{Q^2}{A})+g\frac{\partial h}{\partial x}-g(S_0-S_f)=0 \tag{3.2}$$

Burada;

"A" en kesit alanını (m^2); "t" zamanı (s); "x" konumu; "Q" debiyi (m^3/s); "g" yer çekim ivmesini (m/s^2); "h" su yüksekliğini (m); "S_0" kanal taban eğimini (m/m); "S_f" sürtünme kayıp eğim çizgisini (m/m) ifade etmektedir.

En basit hidrolik yöntem olan kinematik dalga yönteminde momentum denklemindeki atalet (konvektif ivme ve yersel ivme) ve basınç kuvveti terimleri ihmal edilir. Akımın ağırlık kuvvetleri ve sürtünme kuvvetlerinin (frictional resistance) denge halinde olduğu (So-S) kabul edilir. Kinematik dalga yaklaşımı kanal eğimlerinin dik olduğu ve kabarma etkilerinin önemsiz olduğu yerdeki uygulamalar için uygundur. Basınç kuvvetlerinin önemli olduğu fakat atalet kuvvetlerinin önemsiz kaldığı durumlarda difüzyon dalga yöntemi uygulanabilir. Kanal eğimi yaklaşık %1 den daha büyükse ve gelgitler, akarsu kollarından giren akımlar veya rezervuar çalışmaları gibi karışıklıklardan dolayı membaya doğru yayılan dalga yoksa difüzyon dalga yöntemi dalganın mansapta yayılmasının tanımlanmasında yararlıdır. Hem atalet hemde basınç kuvvetlerinin önemli olduğu küçük eğimli akarsularda ve kabarma etkilerinin önemli olduğu durumlarda momentum denklemindeki atalet kuvveti ile basınç kuvveti terimleri ihmal edilmez. Bu durumda dinamik dalga yöntemi kullanılır. Saint-Venant denklemlerinin tamamının çözümüne dayanan taşkın dalgası öteleme modeline dinamik öteleme yöntemi denilmektedir. Dinamik öteleme tek boyutlu taşkın öteleme yöntemleri arasında en hassas olanıdır. Çünkü taşkın dalgasının ivme etkilerini, akarsu

yatağındaki kesit değişimlerini ve kabarma etkilerini dikkate alan tek yöntemdir. Taşkın dalgası ivme hareketlerinin, ağırlık ve sürtünme etkilerine göre daha önemli olduğu durumlarda dinamik yöntem önem kazanır. Bu sebeple dinamik öteleme yöntemi baraj yıkılması sonucu meydana gelen taşkınların ötelenmesinde kullanılan en uygun modeldir [54].

Saint Venant denklemlerinde; rüzgâr etkisi, çevrinti kayıpları ve yan dere akımları ihmal edilmekte olup akımın tedrici değiştiği, akarsu taban eğimin düşük olduğu ve akımın her noktasında yoğunluğun aynı olduğu kabul edilmektedir.

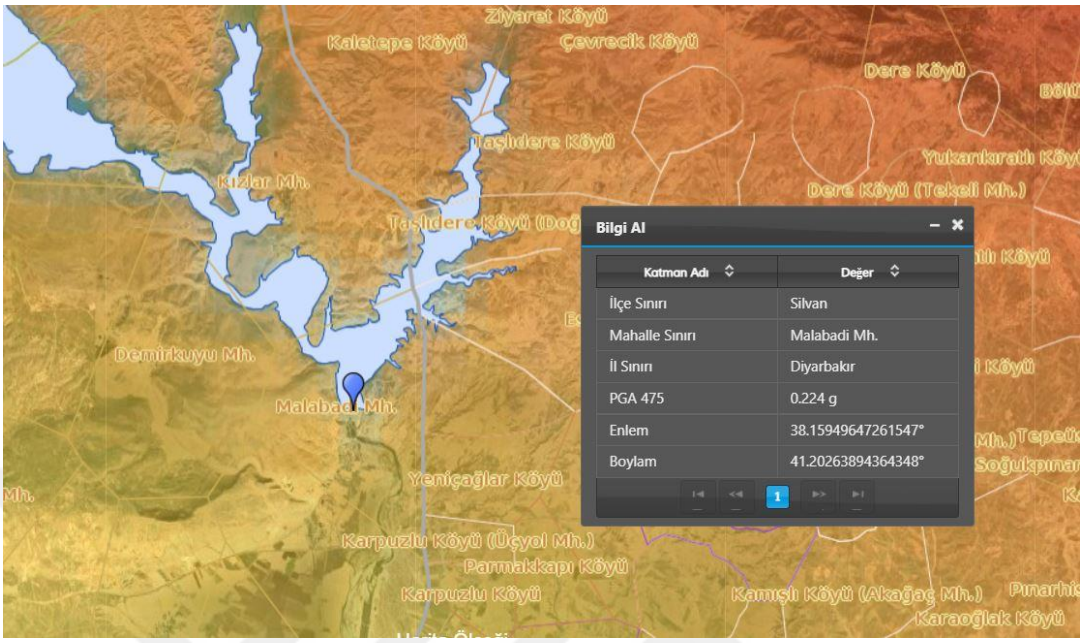
3.2.2 Batman Barajının Potansiyel Risk Sınıflandırması

Kil çekirdekli kaya dolgu gövdeye sahip olan Batman Barajının temelden yüksekliği 85 metredir. Maksimum kotta, rezervuarında biriken 1.244 hm^3 su; tarım ve enerji açısından hayati önem taşısa da barındırdığı risk potansiyeli de bir o kadar önem kazanmaktadır. Yıkılması durumunda; taşkın dalgasının sonucu ortaya çıkabilecek can ve mal kayıplarının yanı sıra gerek tarım arazilerinde oluşan zararların telafisi gerekse enerji üretiminde kullanılan suyun kaybedilmesi uzun vadede bölge ve ülke ekonomisi için yıkıcı etkiler yaratabilecektir.

Baraj güvenliğinin tam anlamıyla sağlanabilmesi için tüm tehlikelerin bertaraf edilmesi gerekmektedir. Risk analiz metotlarıyla barajların zayıf unsurları ortaya koyulabildiğinden, baraj güvenliğinin tam olarak sağlanabilmesi için öncelikle doğru bir risk analizinin yapılması gerekir.

Batman Barajının risk sınıflandırması için, DSİ tarafından 2012 yılından beri kullanılan ve yukarıda anlatılan metod uygulanmıştır. Rezervuar hacmi, barajın yüksekliği, insan sayısı olarak tahliye gereksinimi ve potansiyel mansap zararları için ihtiyaç duyulan veriler, barajın karakteristik verilerinden elde edilmiştir. 1983 yılında hazırlanan planlama raporundaki hidrolojik verilerin süresi 39 yılı bulduğundan güncelliğini yitirmiş durumdadır. Barajın bulunduğu alana ait depremsellik durumu ise, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığınca (AFAD) hazırlanan “Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması” üzerinden irdelenmiştir. Şekil

3.9'da gösterildiği üzere, Batman Barajının en büyük yer ivmesi katsayısı (PGA) 0,224 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 3.9 Batman Barajının en büyük yer ivme değeri [55]

Yatay eşdeğer deprem (sismik risk) katsayısı (k) için; DSİ tarafından hazırlanan Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi'nde aşağıdaki Denklem 3.3 önerilmektedir [56]:

$$k = (0,4 \sim 0,6) * a_{max} \tag{3.3}$$

Burada;

"k" yatay eşdeğer deprem katsayısı; "a_{max}" seçilen depremin pik ivmesini ifade etmektedir.

Yapılan hesaplama sonucu k katsayısı; 0,089~0,134 arasında bir değer almaktadır. Batman Barajı için yapılan değerlendirme neticesinde oluşan potansiyel risk sınıflandırması Tablo 3.2'de verilmektedir. Tablo 3.2; DSİ tarafından belirlenen potansiyel risk sınıflandırması metoduna göre azami puan 104 iken bulunan değer 99 olmuştur. Buradan da görüleceği gibi; Batman Barajı, risk potansiyeli açısından yüksek riskli sınıfa girmektedir.

Tablo 3.2 Batman Barajı için hazırlanan risk potansiyel sınıflandırması

Risk Faktörü	Batman Barajı	Risk Değeri	Puanı
Rezervuar Hacmi (hm^3)	1244	>1200	10
Barajın Yüksekliği (m)	85	>60	5
İnsan Sayısı Olarak Boşaltma Gereksinimi	5000	>1000	40
Potansiyel Mansap Zararı	Yüksek	Yüksek	25
Sismik Risk Katsayısı (k) veya Yatay yer ivmesi (a)	0,224	0,25g>k≥0,1g veya 300≥a>140 cm/s^2	4
Hidrolojik Verilerin Güncelliği	39	T≥30	10
Dolusavak Tipi	6 adet radyal kapaklı	Kontrollü kapak adedi≥6	5
		Toplam Puan=	99

3.2.3 Pürüzlülük Katsayısı

Açık kanal akımlarında kanal iletim kapasitesini etkileyen pürüzlülük değerlerinin hassas olarak belirlenmesi; su kaynaklarının verimli olarak planlanması, taşkın kontrol çalışmaları ve suyun faydaya dönüştürülmesi gibi çalışmalarda dikkate alınması gereken en önemli parametrelerden biridir. Açık kanal akımlarında pürüzlülük katsayısı sabit olmayıp birçok değişken parametreye bağlı olabilmektedir. Bu faktörler; enkesitlerin ortalama akım hızı, akımın derinliği, Reynolds sayısı, kanal taban ile şev pürüzlülüğü, kanalın geometrisi (enkesit), kanalın mevcut veya uzun vadeli bitki örtüsü, kıvrımlılık derecesi, akarsu yatağında oluşan su yüksekliğine bağlı kayma gerilmeleri, hareketli yatak ve taban bileşenleri, yatağın su geçirgenliği, ikincil etkilere bağlı üç boyutlu akımların oluşması, sürüntü malzeme özellikleri ve kritik akım şartları olarak görülmektedir. Bunun sonucunda; çok sayıda parametreye bağlı değişen pürüzlülük katsayısı için teorik yaklaşımlar yetersiz kalması sebebiyle açık kanal akımları için bazı ampirik yaklaşımlar oluşturulmuştur. Üniform ve kararlı akımlarda alınan her kesitte; akış alanı, derinlik, debi ve hızın aynı kaldığı varsayılmaktadır. Bu tür akımlarda su yüzeyi eğimi, kanal taban eğimi ve enerji çizgisinin eğimleri birbirine paraleldir. Akış esnasında ortaya çıkan sürtünme kayıplarını hesaplayarak enerji çizgisinin eğimi de belirlenebilmektedir [57].

Sürtünme kayıpları için genelde Darcy-Weisbach, Chezy, veya Manning pürüzlülük katsayılarından biri kullanılmaktadır. Bu katsayılar arasındaki ilişki Denklem 3.4'te verilmiştir.

$$C = \sqrt{\frac{8g}{f}} = \frac{R^{1/6}}{n} \tag{3.4}$$

Burada;

"C" Chezy katsayısını($m^{0,5}/s$); "f" DarcyWeisbach pürüzlülük katsayısını; "n" Manning pürüzlülük katsayısını ($s/m^{1/3}$); "g" yer çekim ivmesini (m^2/s); "R" hidrolik yarıçapını (m^2/m) ifade etmektedir.

İrlandalı mühendis Robert Manning tarafından 1890 yılında geliştirilen Manning Formülü, günümüzde pürüzlülük katsayısının tayininde en çok kullanılan formül olup Denklem 3.5'te verilmektedir.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \tag{3.5}$$

Burada;

"V" akarsuyun hızını (m/s); "n" Manning pürüzlülük katsayısını ($s/m^{1/3}$); "R" hidrolik yarıçapı (m^2/m); "I" akarsu eğimini (m/m) ifade etmektedir.

Açık kanal akımlarında debi *(Q)* değeri bulunurken ıslak çevre, akarsu eğimi ve enkesit alanı değerleri fiziki ölçümlerle belirlenebilme olanağına sahip olmasına rağmen pürüzlülük katsayısı için böyle bir ölçüm imkânı bulunmamaktadır. Akarsu yatağına göre değişen pürüzlülük katsayısı, daha çok gözlem yoluyla belirlenmektedir. Taşkın kontrol yapılarında debi kapasitesi belirlenirken pürüzlülük katsayısı için birçok kaynakta belirli yapı elemanları için deneysel olarak elde edilen değerler kullanılmaktadır. Tespit edilen bu değerler genel itibariyle 0.011~0,15 arasında değişebilmektedir. Taşkın esnasında taşkın kontrol yapısının geçirebileceği maksimum debi hayati öneme sahiptir. Pürüzlülük katsayısının doğru belirlenememesi, büyük feyezanlara dolayısıyla can ve mal kayıplarına neden olabilmektedir. Tablo 3.3'te aynı özellikteki bir kanalda farklı pürüzlülük katsayılarının kullanılması sonucu oluşan akım değerleri verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi pürüzlülük katsayısındaki en küçük değişiklikler bile akım değerinde ihmal edilemeyecek farklılıklar yaratmaktadır [58].

Tablo 3.3 Pürüzlülük katsayısına göre debi değişimi örneği [58]

n	**Q (m^3/s)**
0,010	4,81
0,025	1,92
0,050	0,96
0,750	0,06
0,100	0,48

Dere yatakları için hidrolik hesaplamalarda esas alınan Manning katsayısı için Cowan metodu genellikle kullanılmaktadır. Cowan metodunda; Manning pürüzlülük katsayısı (n) için bazı parametrelere bağlı katsayıların belirlendiği Denklem 3.6 elde edilmiştir.

$$n = m(n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \tag{3.6}$$

Burada;

"n" pürüzlülük katsayısını; "n_0" akarsu yatağındaki malzemenin cinsi; "n_1" kanal düzensizlik derecesi; "n_2" kanal yarıçapındaki değişim; "n_3" engellerin benzer etkileri; "n_4" bitki örtüsü; "m" akarsu yatağının kıvrım derecesini ifade etmektedir.

Tablo 3.4'te DSİ tarafından geliştirilen Cowan metodu için hazırlanan çizelge verilmektedir.

Tablo 3.4 DSİ tarafından modifiye edilen Cowan katsayıları

Yataktaki Malzeme Cinsi	Beton	Ort. Dane çapı (mm)	--	n_b	0,012-0,018
	Kaya		--		--
	Sert Toprak		--		0,025-0,032
	İri kum		1-2		0,026-0,035
	İnce çakıl		--		--
	Çakıl		2-64		0,028-0,035
	İri Çakıl		--		--
	İri Taş		64-256		0,030-0,050
	Yumru Kaya		>256		0,040-0,070
Kanal şev durumu	Pürüzsüz			n_1	0,000
		Beton duvar			0,003
	Önemsiz	Taş duvar			0,005
		İstifli taş tahkimat			0,008
	Orta				0,010
		Ağaçsız yamaç			0,015
	Şiddetli	Ağaçlı yamaç			0,020
Kanal kesit değişimi	Aşamalı			n_2	0,000
	Ara Sıra Değişen				0,005
	Sık Değişen				0,010-0,015

Tablo 3.4 (Devam)

Kanaldaki engeller (Birikinti, Tümsek, Düşü, Kaya, Köprü Ayağı)	İhmal Edilebilir	Engel/Kesit alanı x100	<%5	n_3	0,000
	Önemsiz		%5-15		0,010-0,015
	Kayda Değer		%15-50		0,020-0,030
	Şiddetli		>%50		0,040-0,060
Kanal bitki örtüsü	Düşük			n_4	0,005-0,010
	Orta				0,010-0,025
	Yüksek				0,025-0,050
	Çok Yüksek				0,050-0,100
Kanal kıvrımı	Önemsiz	Dere uzunluğu / kuş uçuşu uzunluk	1-1,2	m	1,000
	Kayda Değer		1,2-1,5		1,150
	Şiddetli		>1,5		1,300

Cowan metodu, akarsu hidroliği için doğru sonuçlar verse de baraj yıkılma analizlerinde taşkın dalgasının yayılım alanları göz önüne alındığında bazı sapmalar olabilmektedir. Örneğin sular altında kalması muhtemel tarım alanları veya yerleşim yerleri için herhangi bir pürüzlülük katsayısı belirlenmemiştir. Bu sebepten ötürü Batman Barajı yıkılma analizinde pürüzlülük katsayısı tespiti için CORINE (Coordination of Information on the Environment) programından yararlanılmıştır.

3.2.3.1 Pürüzlülük Katsayısının CORINE Altyapısıyla Belirlenmesi

Avrupa Birliği tarafından oluşturulan çevre politikaları ile uygulanan çevre politikalarının doğruluğu ile toplumun diğer politikalarıyla olan etkileşiminin izlenmesi için özel çevrelerin ve doğal sahaların coğrafik durumu ve dağılımı, bitki ve diğer canlı topluluklarının verimlilik düzeyi ve coğrafik dağılımı, doğal su kaynaklarının bolluk düzeyi ve kalitesi, arazi örtüsünün biyolojik yapısı ve toprağın durumu, çevreye deşarj edilen artıkların seviyesinin tespiti ve doğal zararlarının envanteri gibi konularda veri toplamayı amaçlamaktadır [59].

Portekiz'de 1985 yılında başlatılan ve günümüzde tüm Avrupa Birliği üye ülkelerinde tamamlanan AB ülkeleri arazi envanteri, arazi örtü türleri ve arazi kullanım şekilleri, CORINE (Coordination of İnformation on The Environment) adı verilen bir proje kapsamında belirlenmiştir. Buradaki temel amaç, tek tip değerlendirme kriterleri doğrultusunda tüm Avrupa kıtasına ait standart bir veri tabanının oluşturulması istenmiştir [60].

Arazi kullanımı ve örtüsünün belirlenmesi çalışmalarında yaklaşık son 30 yıldır Uzaktan İzleme ve Algılama tekniklerinin kullanımı oldukça yaygın hale gelmiştir. Ayrıca teknolojik gelişmelere dayalı olarak kullanılan arazi türlerindeki değişimlerin yanı sıra en güncel şekilde doğal kaynakların gözlemlenmesi, bu tekniklerin programlı bir şekilde kullanımını zorunlu kılmıştır. Bu sebepten ötürü, CORINE sistemi uzaktan görüntüleme ve algılama tekniklerini esas almaktadır [61].

Türkiye'de CORINE arazi kullanımı sınıflandırma sisteminin uygulanabilirliği ilk olarak Doğu Akdeniz kıyısında test edilmiştir. Bu çalışmada Mersin ili ve çevresi çalışma alanı olarak belirlenmiş, bu alanda Landsat-5 TM uydu verilerinden yararlanarak mevcut arazi kullanımlarının, kontrolsüz sınıflama sistemiyle mümkün olduğu kadar doğru, hızlı ve ekonomik şekilde belirlenmesi amaçlanarak CORINE programı ile arazi kullanım haritaları hazırlanmıştır. Sayısal uydu verileri sayesinde bu yönteminin uygulanabilirliği ve CORINE yönteminin çeşitli düzeylerinde yer alan arazi örtü tiplerinin bölgelere ve illere göre geliştirilebileceği belirlenmiştir [62].

Arazi kullanımı ve arazi türlerinin tespit çalışmalarının belirli ve düzenli aralıklarla yapılması, sürekli değişen ve hızla gelişen yeryüzünde ortaya çıkan değişimleri gözlemleme, geleceğe yönelik stratejik planlar hazırlamak ve analiz etme açısından yaşamsal öneme sahiptir. Avrupa Birliğine aday ülke olarak Türkiye'de, CORINE sistemine yönelik bazı parçalı arazi örtüsü ve kullanım sınıflaması çalışmaları sistematik olarak yapılmaya çalışılmışsa da iller ve bölgeler nezdinde yapılmış çalışmaların noksanlığı aşikârdır [63].

Tarım ve Orman Bakanlığının bünyesinde yürütülen CORINE Projesi kapsamında belirlenen kriterler; en küçük değişim poligon alanı 5 hektar, haritalanacak en küçük alan 25 hektar, 1/100000 ölçekli, asgari koridor genişliği 100 metre, çalışılan hassasiyet ise 1/25000 ölçekli olarak belirlenmiştir. Buna göre, toplam büyüklüğü 25 hektardan küçük alanlar ile 5 hektardan küçük değişiklikler dikkate alınmamıştır.
Dört temel amaca yönelik uygulanan CORINE Projesi,

a) Avrupa Birliğine üye ve aday ülkeler için belirlenmiş çevrenin durumu ile ilgili öncelikli konulara göre verilerin toplanması,

b) Üye ve aday ülkeler arasında veya uluslararası düzeyde, bilgilerin toplanması ve bu verilerin uyumlu hale getirilmesi,
c) Bilgilerin uyumluluğunun ve tutarlılığının sağlanması,
d) Avrupa Çevre Ajansı (EEA) şartları doğrultusunda "Arazi Kullanım/Arazi Örtüsü" haritalarının elde edilmesi ve CORINE Projesi ile farklı seviyelerde yapılan birçok sayıdaki çalışma sonucu toplanan çevresel verilerin yıllar boyunca gösterdiği değişiminin gözlemlenmesi sağlanmaktadır.

CORINE Projesinin İlkeleri;
Avrupa Çevre Ajansı (EEA) tarafından CORINE Projesi üç hiyerarşik düzeyden oluşmakta olup ana düzeydeki başlıklar;

a) Tarım Alanları,
b) Yapay Bölgeler,
c) Yarı Doğal ve Orman Alanlar,
d) Su Kütleleri,
e) Sulak Alanlar,

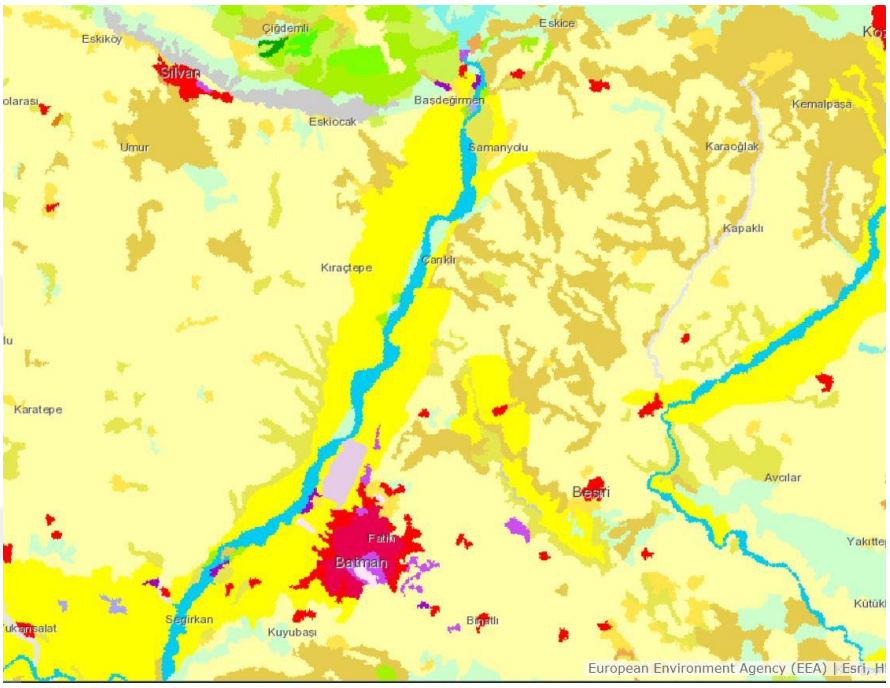
olarak sıralanmaktadır. 5 ana grubun altında, ikinci seviyede 15 ve üçüncü seviyede kullanılması zorunlu olan 44 alt sınıf belirlenmiştir [64].

İlk zamanlar yalnızca bilgi toplamak için kurulan sistem; zamanla çevresel değişimlerin izlenmesi ve doğal kaynakların sürdürülebilir olmasını amaçlayan politikaların oluşturulmasına olanak sağlamıştır. 6 yıllık periyotlarla güncellenen haritalar son olarak 2018 yılında oluşturulmuştur.

Türkiye'de CORINE projesine 1998 yılında başlanmış, Landsat uydu görüntüleri kullanılarak 2000 yılında yapılan ilk çalışma 2008 yılının ortalarında tamamlanabilmiştir. CORINE 2006 değişiklik belirlenmesi projesi kapsamında 2000–2006 yılları arasında kalan ve 5 hektardan daha büyük bütün arazi değişimleri tespit edilip ülkemiz ölçeğinde en güncel arazi örtüsü ve kullanım haritaları oluşturulması planlanmıştır. Temel amaç, Avrupa Çevre Ajansına üye ve aday tüm ülkelerde; tüm arazi türlerinde çevresel değişimlerin tespit edilmesi, doğal kaynakların doğru ve tutarlı şekilde kullanılması ve çevre merkezli politikaların üretilmesi gayelerine

yönelik olarak, aynı tür temel verilerin toplanması ve belirli standartlara sahip bir veri tabanının oluşturulmasıdır [64].

CORINE sisteminden, Batman Barajı yıkılma analizinde kullanılmak üzere pürüzlülük katsayısını belirlemek için öncelikle çalışma alanının raster haritaları belirlenmiştir. Şekil 3.10'da yer alan haritada da görüldüğü üzere CORINE sisteminde, her bir arazi türüne göre farklı renklendirme ve kodlama yapılarak sınıflandırma yapılmıştır.



Şekil 3.10 Çalışma alanına ait CORINE görüntüsü

Papaioannou ve ark. [65] yaptıkları çalışmada, CORINE arazi örtüsü sisteminde sınıflandırılmış her bir arazi örtüsü için pürüzlülük katsayısı belirlemiştir. Yapılan modelleme çalışmasının doğrulanması için 2006 yılında meydana gelen taşkın ölçümleri kullanılmış ve uyumlu sonuçlar elde edildiği ortaya konulmuştur. Avrupa Birliğinin Taşkın Direktifinde (2007/60/EC) pürüzlülük katsayısı için üst ve alt limitler %50 olarak belirlenmiş olup bu limitler doğrultusunda hazırlanan her bir arazi sınıfına ait pürüzlülük katsayılar Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5 CORINE sistemine göre belirlenen pürüzlülük katsayıları [65]

DÜZEY 1	DÜZEY 2	DÜZEY 3	Manning Değeri
1. Yapay Yüzeyler	1.1. Şehir Yapısı	1.1.1. Devamlı şehir Yapısı	0,013
		1.1.2. Devamlı Olmayan şehir Yapısı	
	1.2. Endüstriyel, Ticari ve Taşıma Birimleri	1.2.1. Endüstriyel ve ticari	0,013
		1.2.2. Karayolu, demiryoluna bağlı limanlar	
		1.2.3. Liman Alanları	
		1.2.4. Hava Alanları	
	1.3. Maden Alanları	1.3.1. Maden Alanları,	0.013
		1.3.2. Çöp Boşaltım Alanları	
		1.3.3. İnşaat Alanları	
	1.4. Tarım Dışı Yapay Yeşil Alanlar	1.4.1. Yeşil yerleşim Alanları	0,025
		1.4.2. Spor ve Dinlenme Alanları	
2. Tarım Alanları	2.1. Tarla Tarımı Alanları	2.1.1. Sulanmayan İşlenen Araziler	0,03
		2.1.2 Geçici Olarak Sulanan	
		2.1.3. Çeltik Tarlaları	
	2.2. Sürekli Ürünler	2.2.1. Bağlar	0,08
		2.2.2. Meyve Bahçeleri	
		2.2.3. Zeytin Bahçeleri	
	2.3. Meralar	2.3.1. Meralar	0,035
	2.4. Heterojen Tarım Alanları	2.4.1. Yıllık Bitkiler ile Geçici Bitki Varlığı	0,04
		2.4.2. Karışık Külvitasyon Desen	0,04
		2.4.3. Tarım Ürünleri Kaplı Araziler	0,05
		2.4.4. Orman Tarım Arazileri	0,06
3. Orman ve Yarı Doğal Alanlar	3.1. Ormanlar	3.1.1. Geniş Yapraklı Ormanlar	0,1
		3.1.2. Kozalaklı Ağaç Ormanlar	
		3.1.3. Karışık Ağaç Ormanları	
	3.2. Fundalık veya Otsu Bitkilerin Karışım Alanları	3.2.1. Doğal Çayır	0,04
		3.2.2. Fundalık	0,05
		3.2.3. Tek Hücreli Vejetasyon	0,05
	3.2. Fundalık veya Otsu Bitkilerin Karışım Alanları	3.2.4. Geçici Orman-Çalılık	0,06
	3.3. Az veya Hiç Bitki İçermeyen Çıplak Alanlar	3.3.1. Sahil Kumu ve Kum Düzlükleri	0,025
		3.3.2. Çıplak Kayalık	0,035
		3.3.3. Zayıf Bitki Örtüsü Alanları	0,027
		3.3.4. Yanmış Alanlar	0,025
		3.3.5. Buzullar ve Kar Düşen Alanlar	0,04

Tablo 3.5 (Devam)

DÜZEY 1	DÜZEY 2	DÜZEY 3	Manning Değeri
4. Su Altında Kalmış İç Alanlar	4.1. Su ile Kaplı İç Alanlar	4.1.1. İç Bataklıklar	0,04
		4.1.2. Bataklıklar	
	4.2. Su Altında Kalmış Kıyı Alanları	4.2.1. Tuzlu Bataklıklar	0,04
		4.2.2. Tuzlu Alanlar	
		4.2.3. Deniz Baskısı Altında Alanlar	
5.Su Varlığı	5.1. İçsel Su Alanları	5.1.1. Su Yolları	0,05
		5.1.2. Su Toplulukları	
	5.2. Deniz Suyu	5.2.1. Göller 5.2.2. Haliçler 5.2.3. Deniz ve Okyanuslar	0,07

3.2.4 Validasyon

Yapılan simülasyon çalışmalarında en önemli hususlardan birisi de validasyon yani doğrulama işlemidir. Oluşturulan simülasyonun ölçülebilir verilerinin saha ölçümleriyle uyumu, çalışmasının doğruluk derecesini vermektedir.

Doğrulama çeşitli şekillerde yapılabilir. Bu yollardan en çok başvurulanı, oluşturulan modele giriş hidrograf verileri girilirken akarsu havzasının herhangi bir bölgesindeki akım ölçüm istasyonlarındaki seviye ve hız ölçümlerini kullanarak modelin doğrulanmasını yapmaktır. Bu tür modellemeler için ihtiyaç duyulan veriler genelde üç şekilde elde edilmektedir; laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalar sonucu elde edilen veriler, dünyada kabul görmüş uygun bir kaynaktan yararlanma ve modellemenin yapıldığı sahada ölçüm yapmak. En ideal olanı, arazide daha önce meydana gelmiş sel ve taşkınlarda yapılmış ölçümlerden yararlanmaktır. Ölçümler alınamamış olsa dahi afete tanık olmuş kişilerden veya mevcut fotoğraflardan bilgi edinerek taşkın sınırları tespit edilebilir [4].

HEC-RAS programıyla yapılan Batman Barajı yıkılma analizinin validasyonu için iki yöntem belirlenmiştir. Bunlardan ilki, 20.01.2010 tarihinde meydana gelen aşırı yağışlar neticesinde dolusavak kapakları tamamen açılarak suyun deşarjı yapılmıştır. Rezervuardaki suyun tahliyesi sonucu olarak da Şekil 3.11'de görüldüğü üzere Şerbetli Köyü yakınlarında, Batman Çayı yatağında su seviyesi yükselmiş olup bu seviyeler kayıt altına alınmıştır. Bu tarihe ait debi, su seviyesi ve akarsu yatağına ait veriler göz önüne alınarak simülasyon sonuçları doğrulanabilmektedir.



Şekil 3.11 Batman Çayında yaşanan taşkın

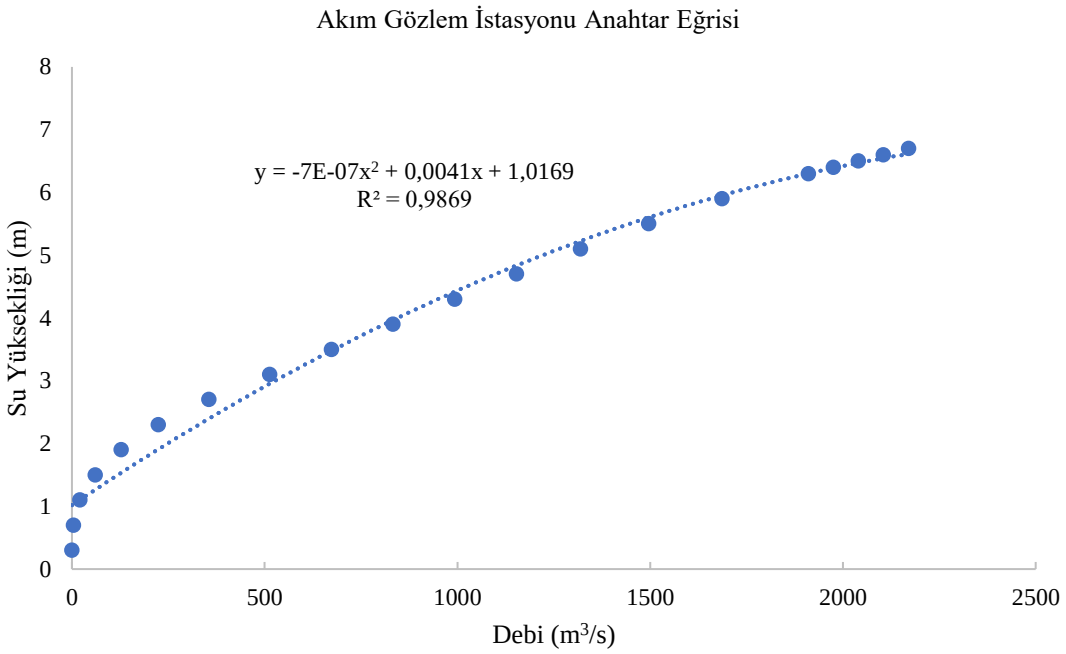
Validasyon için bir diğer yöntem ise Akım Gözlem İstasyonunun (AGİ) anahtar eğrisi baz alınarak yapılan çalışmadır. Batman Barajının yaklaşık 700 m mansabında yer alan E26A012 sayılı Batman Çayı Akım Gözlem İstasyonuna ait Şekil 3.12'de verilen anahtar eğrisi verilerinden yararlanılarak Denklem 3.7 oluşturulmuştur. Daha sonra, akım gözlem istasyonunun bulunduğu kısımdaki enkesit verileri esas alınarak HEC-RAS programıyla tek boyutlu taşkın analiz sonuçlarıyla anahtar eğrisine ait denklemlerle karşılaştırılarak validasyon yapılmıştır.

$$y = -7*10^{-7}x^2 + 0,0041x + 1,0169 \quad (3.7)$$

Burada;

" y " su yüksekliğini (m); " x " debiyi (m^3/s) ifade etmektedir.

$R^2 = 0,9869$ elde edilmiştir.



Şekil 3.12 E26A012 sayılı AGİ'ye ait anahtar eğrisi

Batman Barajı yıkılma analizinin validasyon işlemi için yukarıda belirtilen yöntemlerden ikisi de kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1 Modelin Oluşturulması ve Çözümleme

Baraj yıkılma anı ve sonrasında oluşan taşkın dalgasının hareket modellemeleri, karmaşık denklemlerin basitleştirilmesiyle çözümlenebilmektedir.

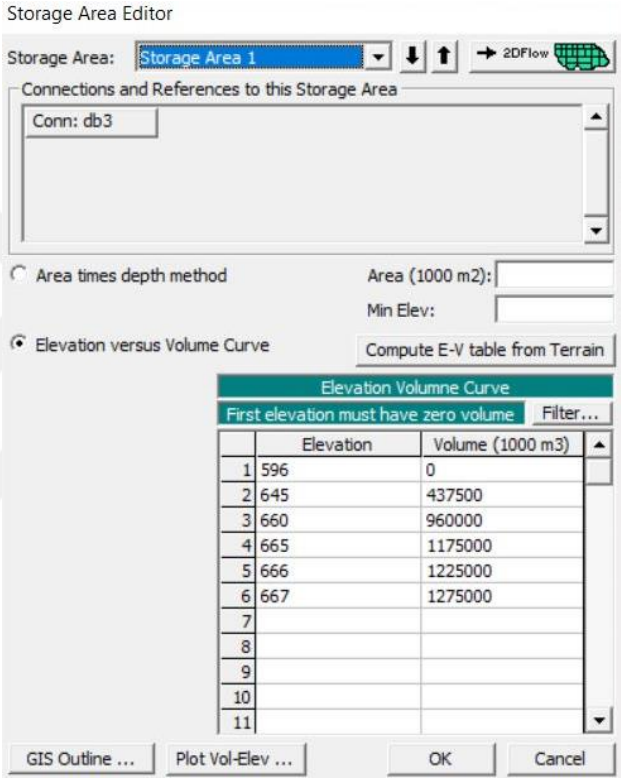
Saint Venant denklemlerinin sayısal çözümlemeleri zor olduğu için akım şartlarına daha uygun bazı kabullerle çözümü nispeten daha basit olan kısmi diferansiyel denklemlere dönüştürülmesi gerekmektedir. Pratik yaklaşımla, Saint Venant denklemlerinin sadeleştirilmiş biçimlerinin çözümlerine dayalı olan modellere ise difüzyon ve kinematik dalga modelleri, tamamının çözümüne dayalı olan modele dinamik dalga modeli adı verilmektedir. Dalga ivme etkilerinin; sürtünme ve ağırlık etkilerine göre daha kritik olduğu durumlarda, çok büyük taşkın olaylarında veya baraj yıkılması sonucu meydana gelen feyezan dalgasının incelenmesinde dinamik öteleme metodu kullanılır [66].

Batman Barajının yıkılma analiz simülasyonu için öncelikle çalışma alanının Sayısal Arazi Modeli (Digital Terrain Model) oluşturulmuştur. RASMapper'dan tanımlanan harita için koordinat sistemi "European Datum 1950 UTM Zone 37N" olarak belirlenmiş ve sayısal modelin geometrisi oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de görüldüğü üzere mevcut araziyle uyumun tam olarak sağlanabilmesi için Terrain ve Google Earth haritaları beraber kullanılmıştır.



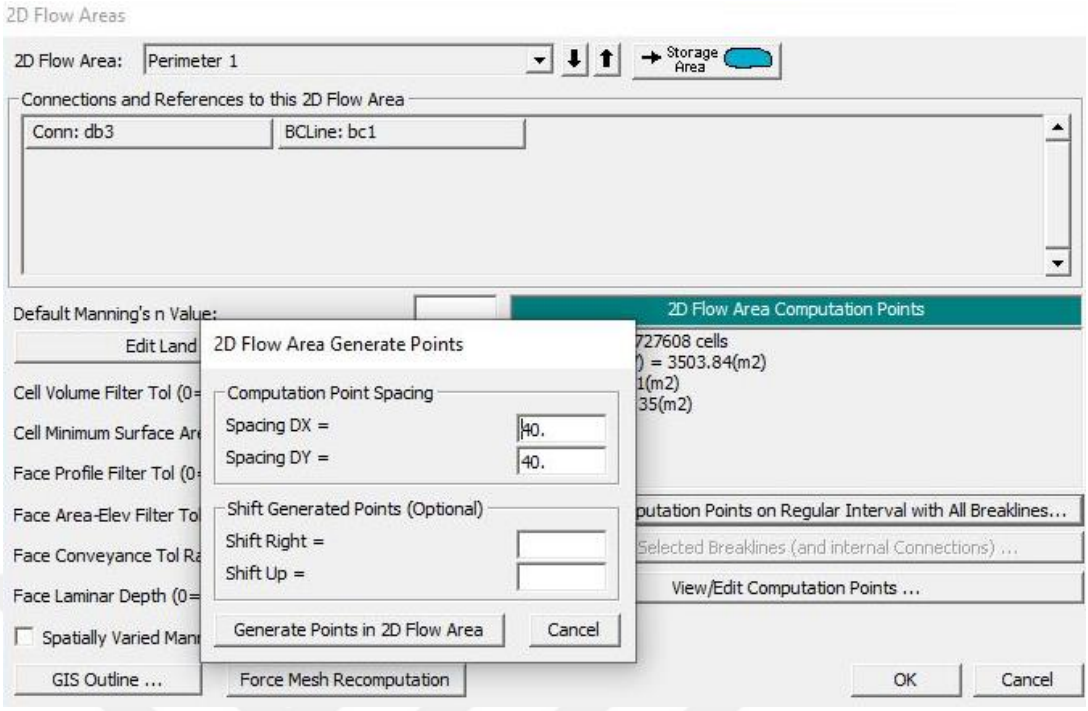
Şekil 4.1 RAS Mapper model görüntüsü

Öncelikle baraj rezervuar alanı ve taşkın dalgasının yayılım sahası tanımlanarak modelin geometrik çizimi yapılmıştır. Çalışma alan sınırlarını kapsar şekilde olduğu sürece, çizimlerin tahmini olması sonuçlar açısından herhangi bir sorun oluşturmaz. Daha sonra "Geometric Data" bölümünden baraj aksı ve öteleme sınır çizgisi tanımları yapılmıştır. "Storage Area" menüsünden barajın hacim-satıh grafiği kullanılarak kot-hacim bilgileri Şekil 4.2'de görüldüğü gibi girilmiştir. Oluşturulan sayısal arazi modelinden de faydalanılarak bu bilgiler temin edilebilmektedir.



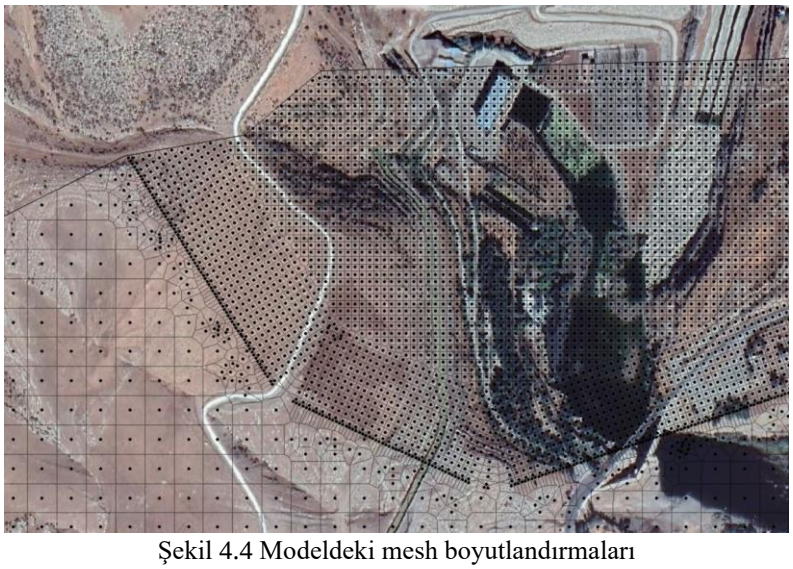
Şekil 4.2 Kot-hacim bilgi girişi

HEC-RAS programı, iki boyutlu analizlerde sonlu elemanlar yöntemini kullanması sebebiyle oluşturulan model için "mesh" yani hesaplama ağ boyutları oluşturulur. HEC-RAS programı için yapılan modellemelerde genellikle 50 birim boyutlu karesel ağ boyutu kullanılırken Batman Barajı yıkılma analizi için Şekil 4.3'te de görüldüğü gibi hassasiyet arttırılarak 40 birim boyutu kullanılmıştır.



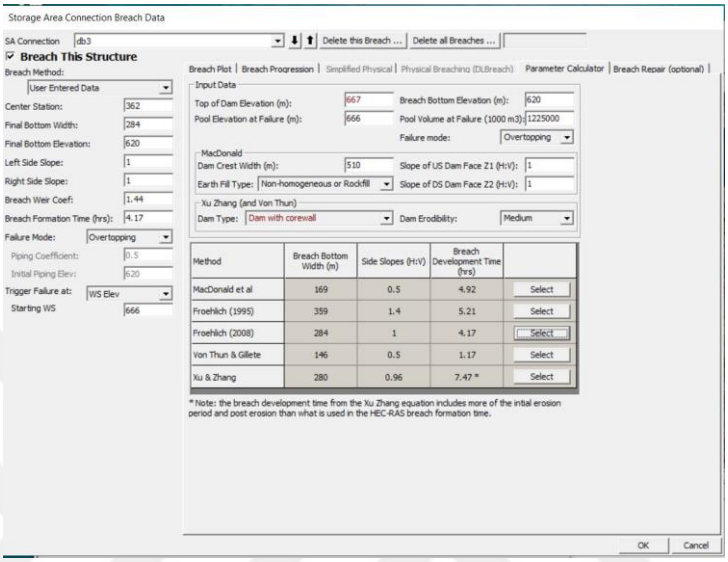
Şekil 4.3 Modeldeki mesh hücre boyutlandırması

Ayrıca bu kısımda, daha önce belirlenen pürüzlülük katsayısı girişi de yapılmakta olup CORINE sistemi üzerinden tanımlanan katman üzerinden "Edit Land Cover to Manning's n" bölümünden veri teyidi yapılabilmektedir. Özellikle ilk yıkılma anı sonrasında taşkın dalgasının yayılımının yeterli doğrulukta olması için barajın gövdesinden yaklaşık 700 m uzağa kadar 5x5 boyutlu ağ boyutları kullanılmıştır. Model üzerinde yapılan ağ boyutlandırmaları Şekil 4.4'de gösterilmiş olup toplamda 727.608 hücre elde edilmiştir.



Şekil 4.4 Modeldeki mesh boyutlandırmaları

Barajın yıkılma modeli için son olarak "Connection Data Editor" bölümünden yıkılma geometrisi tanımlanmıştır. Şekil 4.5'te de görüldüğü üzere, HEC-RAS programı tarafından hazır olarak tanımlanmış farklı yaklaşımlar yer almakta olup manuel giriş imkânı da bulunmaktadır.



Şekil 4.5 Yıkılma parametrelerinin tanımlanması

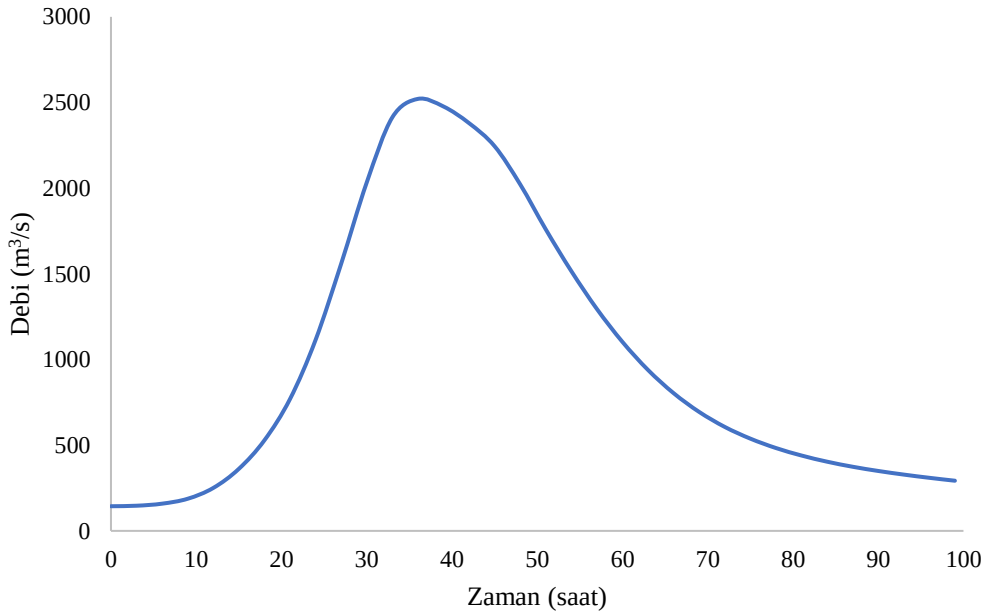
Batman Barajı yıkılma analizi için; en çok tercih edilen Froehlich'in 2008 yılı yaklaşımının hem borulanma hem de üstten aşma senaryoları ile Von Thun ile Gillette yaklaşımının üstten aşma senaryosu tercih edilmiştir. Belirlenen yaklaşımlar için ortaya çıkan parametreler Tablo 4.1'de verilmiştir.

Tablo 4.1 Batman Barajı yıkılma analizi için oluşturulan senaryolar

	Senaryo I	**Senaryo II**	**Senaryo III**
Kullanılan Yaklaşım	Froehlich	Froehlich	Von Thun ile Gillette
Yıkılma Türü	Borulanma	Üstten Aşma	Üstten Aşma
İlk Yıkılma Kotu (m)	620	667	667
Gedik Taban Kotu (m)	620	620	620
Gedik Taban Uzunluğu (m)	222	284	146
Gedik Şev Eğimi (m/m)	0,7	1	0.5
Gedik Oluşma Zamanı (saat)	4,17	4,17	1,17

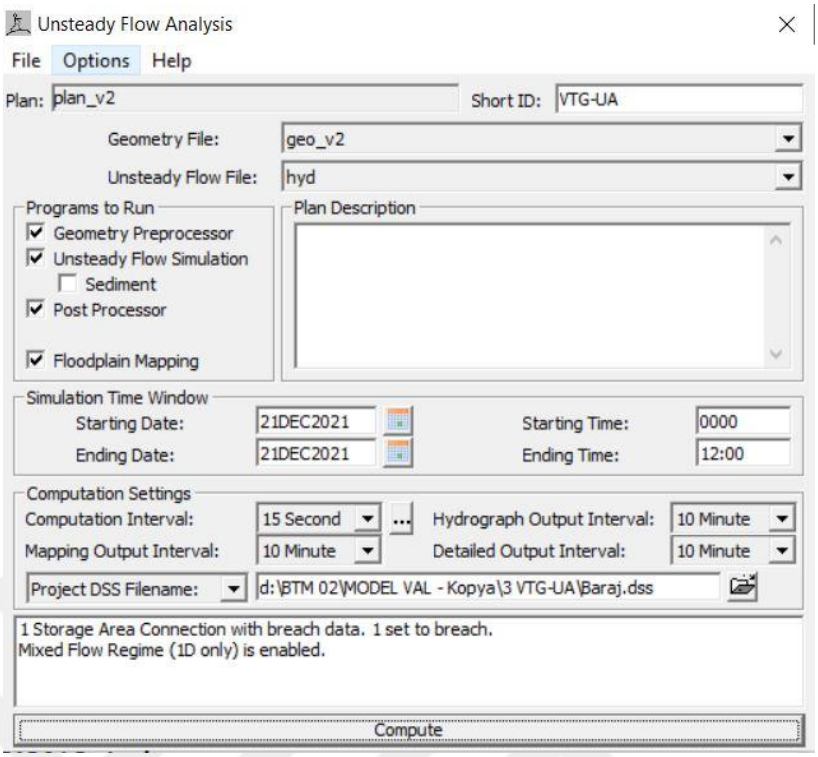
Batman Barajının yıkılma analizinde her senaryo için ilk yıkılma kotu 620 seçilmiştir. Gedik parametreleri ve yıkılma süresi haricinde aynı geometrik ve hidrolojik verilerin kullanıldığı senaryoların sonuçları aşağıda verilmiştir.

Bir akışkanda herhangi bir noktadaki şartların zamana bağlı değiştiği akımlar, kararsız (unsteady) akım olarak tanımlanmaktadır. Baraj yıkılması sonrası taşkın öteleme hesaplamalarında kararsız akım denklemlerinin kullanılması sonucu taşkın dalgasının hidrolik eğimindeki değişim tespit edilebilmektedir. HEC-RAS programında iki boyutlu analizlerde Dinamik Dalga denklemi kullanılmaktadır. Yapılan simülasyon çalışmasında; depolanan su haricinde Şekil 4.6'da verilen hidrograf doğrultusunda rezervuara gelen akım da hesaba katılmıştır.



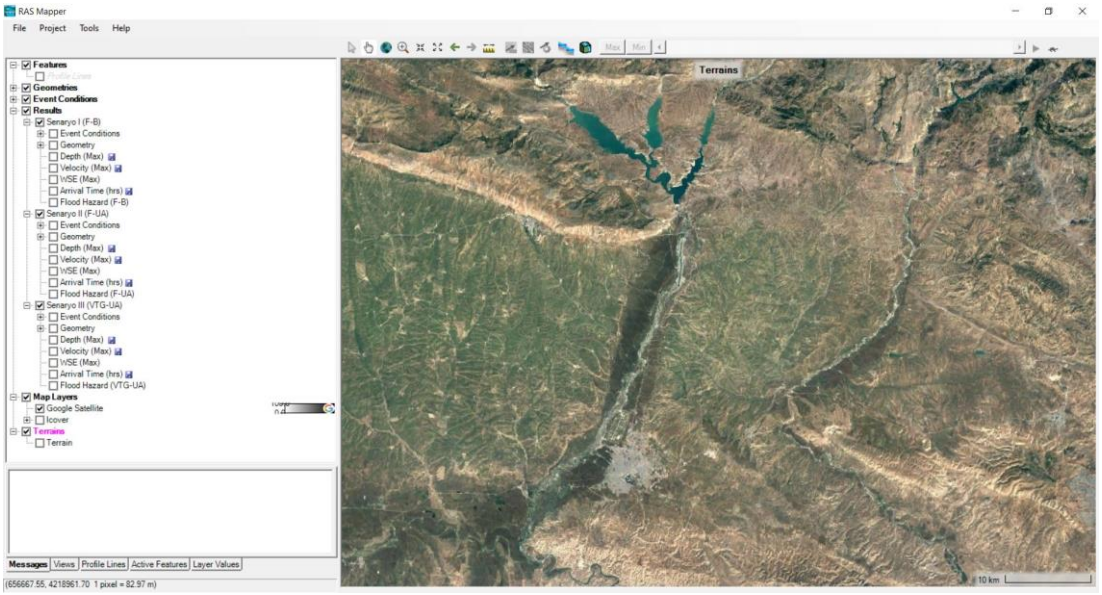
Şekil 4.6 Batman Barajı taşkın hidrografı

Batman Barajı yıkılma analizi için tamamlanan veri girişi sonrasında Şekil 4.7'de görüldüğü üzere modelin analizi yapılarak simülasyon aşaması tamamlanmıştır.



Şekil 4.7 Model analiz ekranı

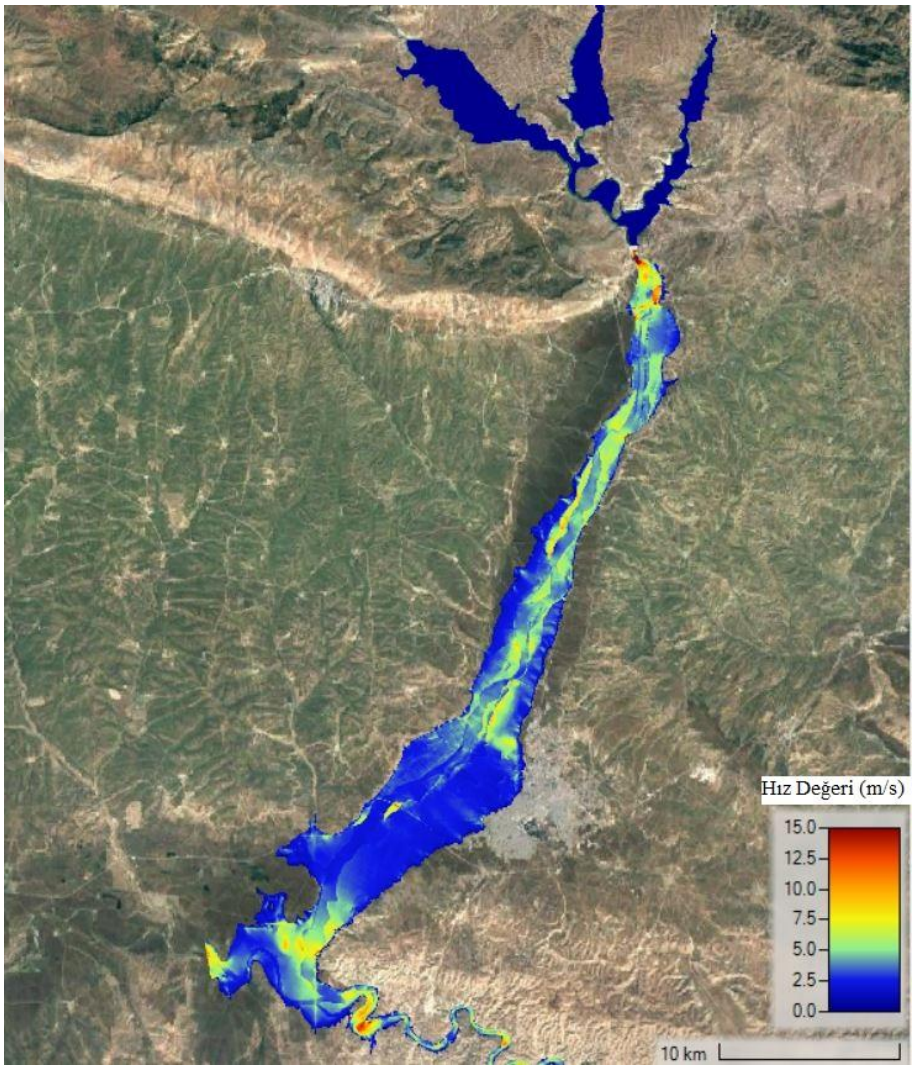
Yapılan analiz sonrası RAS Mapper bölümünden Froehlich yaklaşımının borulanma (F-B) ve üstten aşma (F-UA) senaryoları ile Von Thun ile Gillette yaklaşımının üstten aşma (VTG-UA) senaryolarına ait sonuçlar Şekil 4.8'de görüldüğü üzere karşılaştırılmıştır.



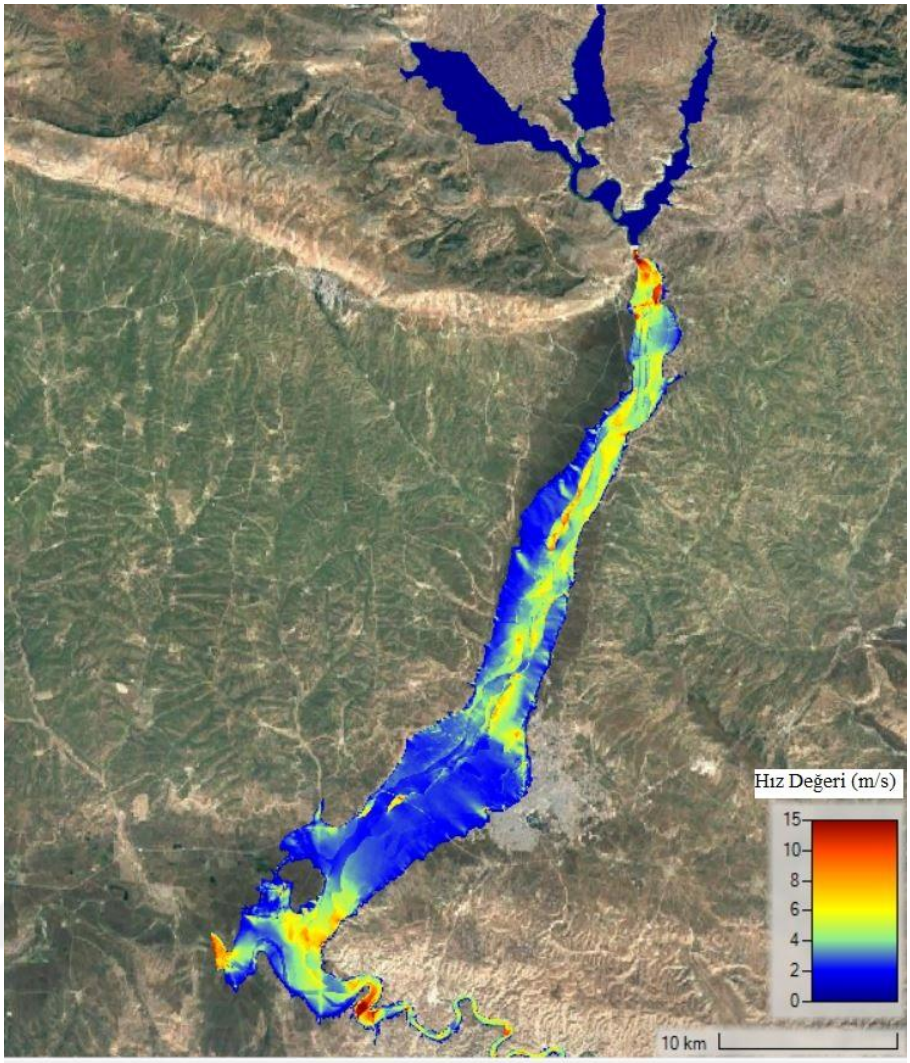
Şekil 4.8 RAS Mapper'da senaryoların karşılaştırılması

Taşkın yayılım haritası göz önüne alındığında; Batman Çayının, geniş bir vadi tabanında yer yer 2-3 kilometreyi bulan yatak genişliğine sahip olması sebebiyle,

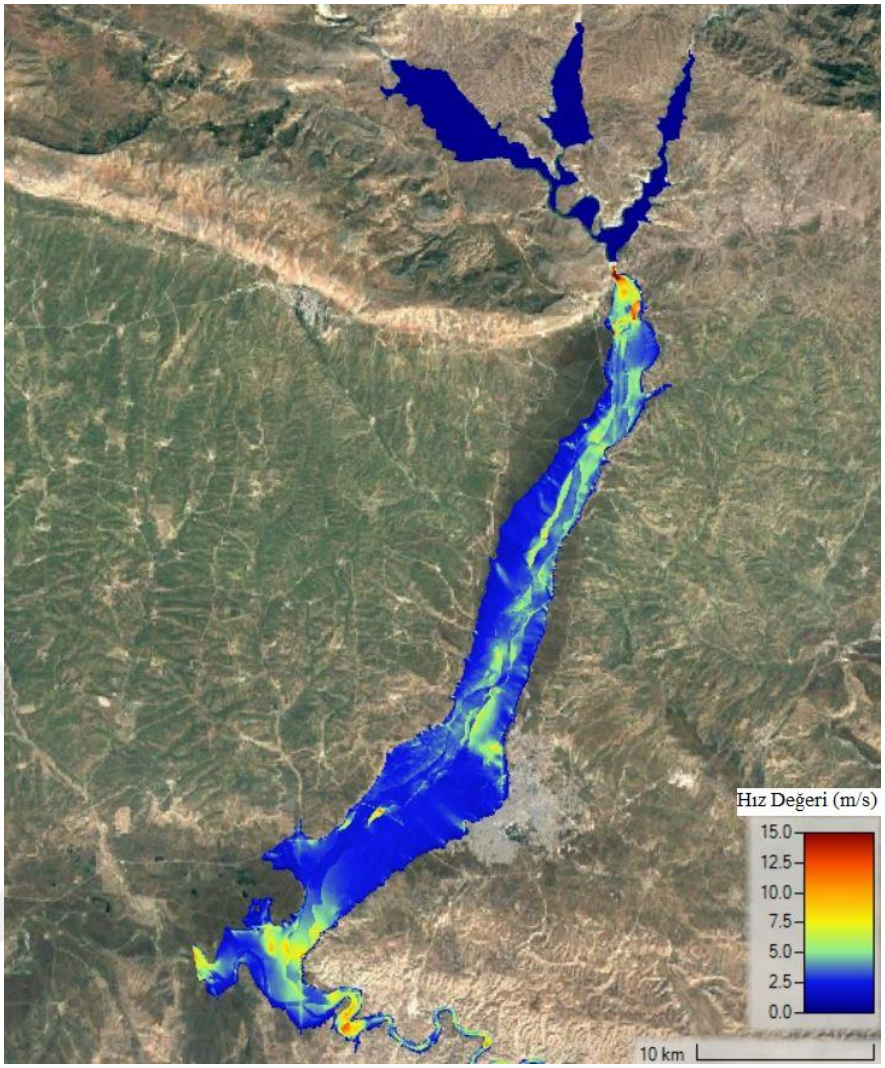
oluşan taşkın dalgası ciddi oranda yayılım göstermiştir. Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11'de her üç senaryoya ait taşkın dalgasının hız renklendirme haritası yer almakta olup özellikle ilk yıkılma anında, vadinin daraldığı bölgelerde ve köprü geçişlerinde suyun hızı 15 m/s veya daha büyük değerlere ulaşarak yıkım etkisini arttırabilmektedir. Batman il merkezi de dahil olmak üzere taşkın dalgasının geçtiği alanların büyük kısmında hız 1,5-8 m/s arasında değişkenlik göstermektedir. Hız dağılım haritalarında da görüleceği üzere I ve II numaralı senaryolardaki hız dağılımları oldukça benzer olmakla birlikte III numaralı senaryoda hız değerleri daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 4.9 I. senaryoya ait taşkın dalgası hız dağılım haritası



Şekil 4.10 II. senaryoya ait taşkın dalgası hız dağılım haritası



Şekil 4.11 III. senaryoya ait taşkın dalgası hız dağılım haritası

Taşkın dalgasının, havalimanına ulaşma süreleri; senaryo I ve II'de 210 dakikayı bulurken senaryo III'te ise bu süre 200 dakika olmuştur. Batman il merkezine ulaşma süreleri ise aynı senaryolar için yaklaşık 40'ar dakika daha geç olmuştur. Batman il merkezinin bulunduğu alanın yayvan bir yapıya sahip olması sebebiyle, simülasyon sonucu oluşan taşkın dalgası geniş bir alana yayılarak şehrin bir bölümünü sular altında bırakmıştır. Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14'te her üç senaryoya göre il merkezindeki taşkın yayılım alanları görülmektedir.



Şekil 4.12 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo I)



Şekil 4.13 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo II)

Yayılım haritaları incelendiğinde; yayılım alanının senaryo II'de en fazla, senaryo I'de en az olduğu görülmüştür. Bu alanların değişimi; bazı gedik parametreleri ve taşkın debisinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.14 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo III)

Batman Barajının yıkılma simülasyonu sonucu oluşabilecek taşkın dalgasının yaratacağı tehlike haritaları her üç senaryo için oluşturulmuştur. Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17'de Batman il merkezi için oluşturulan haritalar incelendiğinde; derinlik ve hız çarpımlarına bağlı olarak oluşturulan tehlike haritalarının, şehir merkezinde birbirine son derece yakın olduğu ve feyezan sularının her üç senaryoda da il merkezine ulaşmasına rağmen can veya mal kaybının korkulan seviyede olmayacağı görülmüştür.



Şekil 4.15 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo I)



Şekil 4.16 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo II)



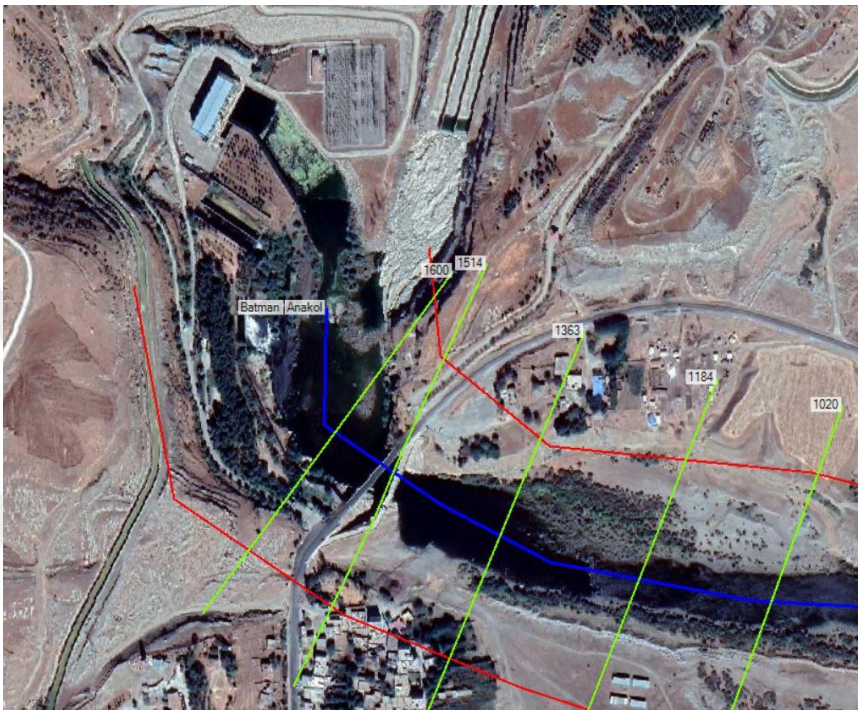
Şekil 4.17 Batman il merkezi taşkın yayılım alanı (Senaryo III)

4.2 Simülasyonun Validasyonu

Batman Barajı yıkılma analizinin doğruluğunun ortaya konulabilmesi için saha verilerine dayalı validasyon çalışması yapılmıştır. Bunun için Şekil 4.18'de yer alan ve 1957'den başlamak üzere 2010 yılına kadar hizmet veren E26A012 numaralı Akım Gözlem İstasyonu verileri kullanılmıştır.


Şekil 4.18 Akım Gözlem İstasyonu

Simülasyon için kullanılan pürüzlülük katsayısının doğruluğu, AGİ'ye ait anahtar eğrisiyle doğrulanmıştır. Bunun için de HEC-RAS programıyla, Şekil 4.19'daki gibi enkesitler alınarak istasyonun bulunduğu bölgede tek boyutlu taşkın analizi yapılarak farklı debi değerlerine karşılık su yükseklikleri bulunmuştur. Bulunan bu değerler, anahtar eğrisi yardımıyla tespit edilen değerlerle karşılaştırılmış, pürüzlülük katsayısı artı veya eksi %20 değiştirilerek belirsizlik analizleri yapılmıştır.



Şekil 4.19 Tek boyutlu taşkın analizi

Tek boyutlu analiz çalışmasında; çalışma yapılan kesimdeki km:1+514'te yer alan akım gözlem istasyonunun bulunduğu kesit dikkate alınmış olup debi değerleri olarak, Tablo 4.2'de yer alan Batman Barajının ötelemeli Q_{25}, Q_{50} ve Q_{100} tekerrür değerleri esas alınmıştır.

Tablo 4.2 Batman Çayı taşkın debileri [60]

Tekerrür Yılı	**Debi Değeri (m^3/s)**
25	1120
50	1710
100	2010

Belirlenen enkesit için pürüzlülük katsayısı 0,026 hesaplanarak analiz yapılmış olup elde edilen nihai sonuç Tablo 4.3'te verilmiştir. AGİ anahtar eğrisi ile analiz sonuçları

arasında ortalama %95 oranında eşitlik yakalanmış olup yeterli değer aralığında kalınmıştır.

Tablo 4.3 Tek boyutlu taşkın analizinde pürüzlülük validasyon sonuçları

Akarsu	Kilometre	Debi (m^3/s)	Anahtar Eğrisine Göre Su Yüksekliği	Taban Kotu	Su Yüzü Kotu	Su Yüksekliği (n=0.026)	Fark (%)
Batman Çayı	1+514	1120	4,73	596,65	602,07	5,42	-12,73
Batman Çayı	1+514	1710	5,98	596,65	602,77	6,12	-2,29
Batman Çayı	1+514	2010	6,43	596,65	603,06	6,41	0,31

Batman Barajı yıkılma analizi sonuçlarının validasyonu için yapılan bir diğer çalışmada; 2010 yılının ocak ayında meydana gelen aşırı yağışlar sonucu dolusavak kapakları kontrollü şekilde açılarak rezervuardaki suyun tahliyesi yapılmıştır. Şekil 4.20'de görüldüğü üzere dere yatağında yer yer taşkınlar meydana gelmiş olup Şerbetli Köyü mevkiinde DSİ 10. Bölge Müdürlüğü tarafından rasatlar yapılmıştır.



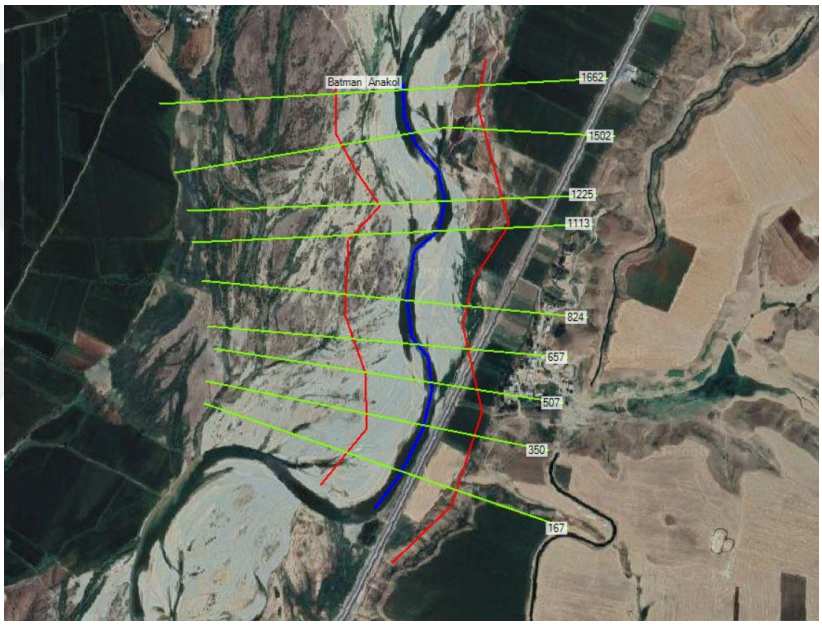
Şekil 4.20 Batman Çayı yatağı

Taşkının yaşandığı tarihe ait hidrolojik veriler, Şerbetli Köyünün yaklaşık 13,5 km membasında yer alan Batman Çayı Akım Gözlem İstasyonundan elde edilmiş olup Tablo 4.4'te yer almaktadır.

Tablo 4.4 Batman Çayının 2010 yılı hidrolojik verileri

Akarsu Adı	Tarih	Debi (m^3/s)
Batman Çayı	19.01.2010	449
Batman Çayı	20.01.2010	453
Batman Çayı	21.01.2010	485
Batman Çayı	22.01.2010	621

21.01.2010 tarihli debi değeri kullanılarak HEC-RAS programında tek boyutlu olarak rasat yapılan kısmın taşkın analizi yapılmıştır. Alınan enkesitlere ait görüntü Şekil 4.21'de verilmekte olup baz alınan kesim km:1+113 olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.21 Şerbetli Köyü taşkın analizi

Pürüzlülük katsayısı, dere yatağının fiziki durumu esas alındığında 0,028 olarak hesaplanmış ve HEC-RAS programıyla tek boyutlu taşkın analizi yapılmıştır. Tablo 4.5'te görüldüğü üzere dere yatağındaki su yüksekliği 1,74 m olarak hesaplanmıştır. Rasatlar sonucu ölçülen yüksekliğin 1,70 m olduğu göz önüne alındığında, analiz sonuçlarında %97,7'lik oranında eşitlik yakalanmış olup yeterli değer aralığında kalınmıştır.

Tablo 4.5 Şerbetli Köyü tek boyutlu taşkın analiz sonuçları

Akarsu	**Kilometre**	**Debi (m^3/s)**	**Pürüzlülük Katsayısı**	**Taban Kotu**	**Su Yüzü Kotu**	**Su Yüksekliği (m)**	**Rasatlara Göre Su Yüksekliği (m)**	**Fark (%)**
Batman Çayı	1+113	485	0,028	566,79	568,53	1,74	1,70	2,30

Yapılan her iki validasyon yönteminde de HEC-RAS programı analiz sonuçları ile fiziki koşullar örtüşmüştür. Esas alınan kesitlerdeki yatak düzensizliği, bitki örtüsü gibi etmenlerin farklılık göstermesi nedeniyle doğrulamalarda farklı manning (n) katsayıları kullanılmıştır. Bu minvalde; Batman Barajının yıkılma analiz sonuçlarının, arazi şartlarını karşıladığı sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuç

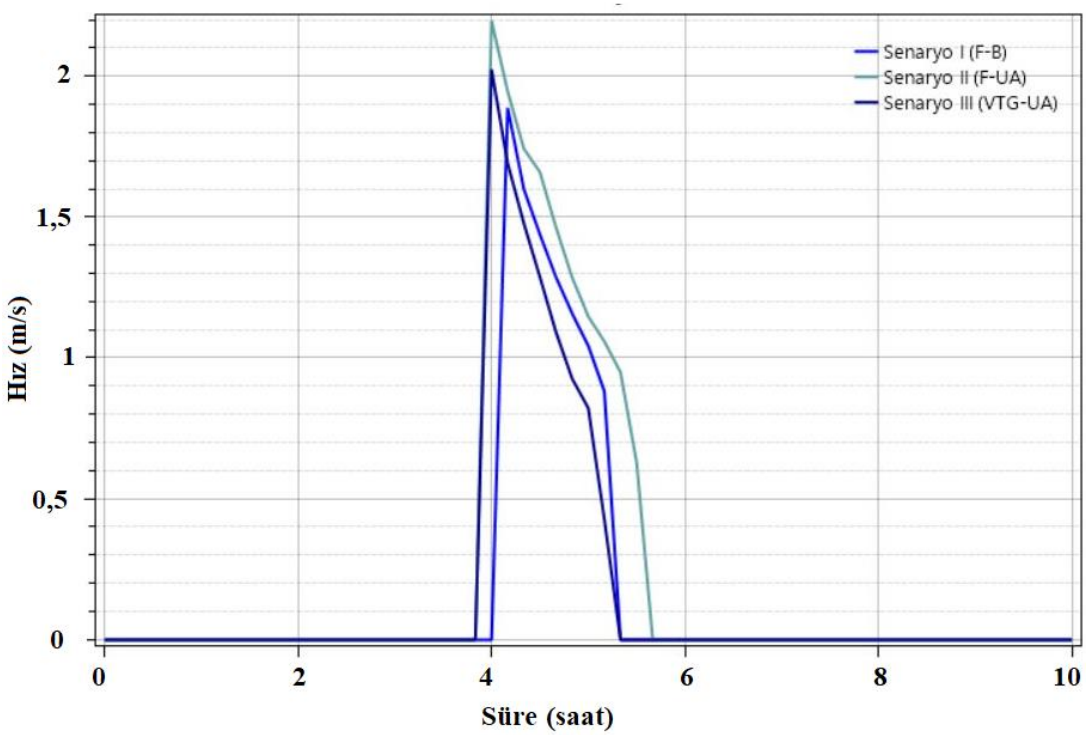
Bu çalışmayla; küresel iklim değişikliğiyle birlikte düzensizleşen hidrolojiye bağlı olarak baraj güvenliğinin önemi bir kez daha vurgulanmaya çalışılmıştır. Risk parametrelerinin daha sağlıklı şekilde ortaya konulması anlamında mevcut durumun iyi analiz edilmesi, baraj yıkılma mekaniğinin anlaşılabilmesinde en temel faktörlerden biri olduğu ortaya konulmuştur. Bu duruma yönelik olarak hidrolojik rasatlar, yakın zamanda gerçekleşen baraj yıkılma olayları ve Batman Barajın periyodik muayene raporları esas alınarak daha gerçekçi yıkılma senaryolarının oluşturulması amaçlanmıştır.

Çalışma konusu olarak; Batman il merkezinin 30 kilometre kuzeyinde yer alan kil çekirdekli kaya dolgu tipindeki Batman Barajı belirlenmiştir. Barajın mansabında; yaklaşık 480.000 nüfusa sahip Batman il merkezinin yanı sıra hem Diyarbakır İline hem de Batman İline bağlı birçok yerleşim yeri bulunmaktadır. Yıkılma analiz simülasyonu için dünyada kullanımı oldukça yaygın olan HEC-RAS programıyla, yıkılma sonrası ortaya çıkması muhtemel taşkın dalgasının oluşumu ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Batman Barajının güvenliğine yönelik olarak belirlenen risk potansiyeli derecesi için, en son hazırlanan muayene raporu doğrultusunda tanımlanarak sınıflandırma yapılmıştır. Hesaplama neticesinde 99 puanla IV yani en yüksek risk sınıfında yer alan barajın, dolusavak yapısı da göz önüne alınarak en çok tercih edilen Froehlich yaklaşımına göre üstten aşma ve borulanma senaryoları ile Von Thun ile Gillette yaklaşımına göre üstten aşma senaryosu karşılaştırılmıştır.

Hidrolik açıdan son derece önemli bir parametre olan pürüzlülük katsayısı belirlenirken mevcut durumda dere yatakları için kullanılan Cowan metodu yerine uzaktan algılamalı uydu görüntüleme sistemine dayalı, Avrupa Birliği tarafından oluşturulan CORINE verileri kullanılmıştır. Böylelikle geniş alanlara yönelik daha doğru sonuçlar alınabilmiştir.

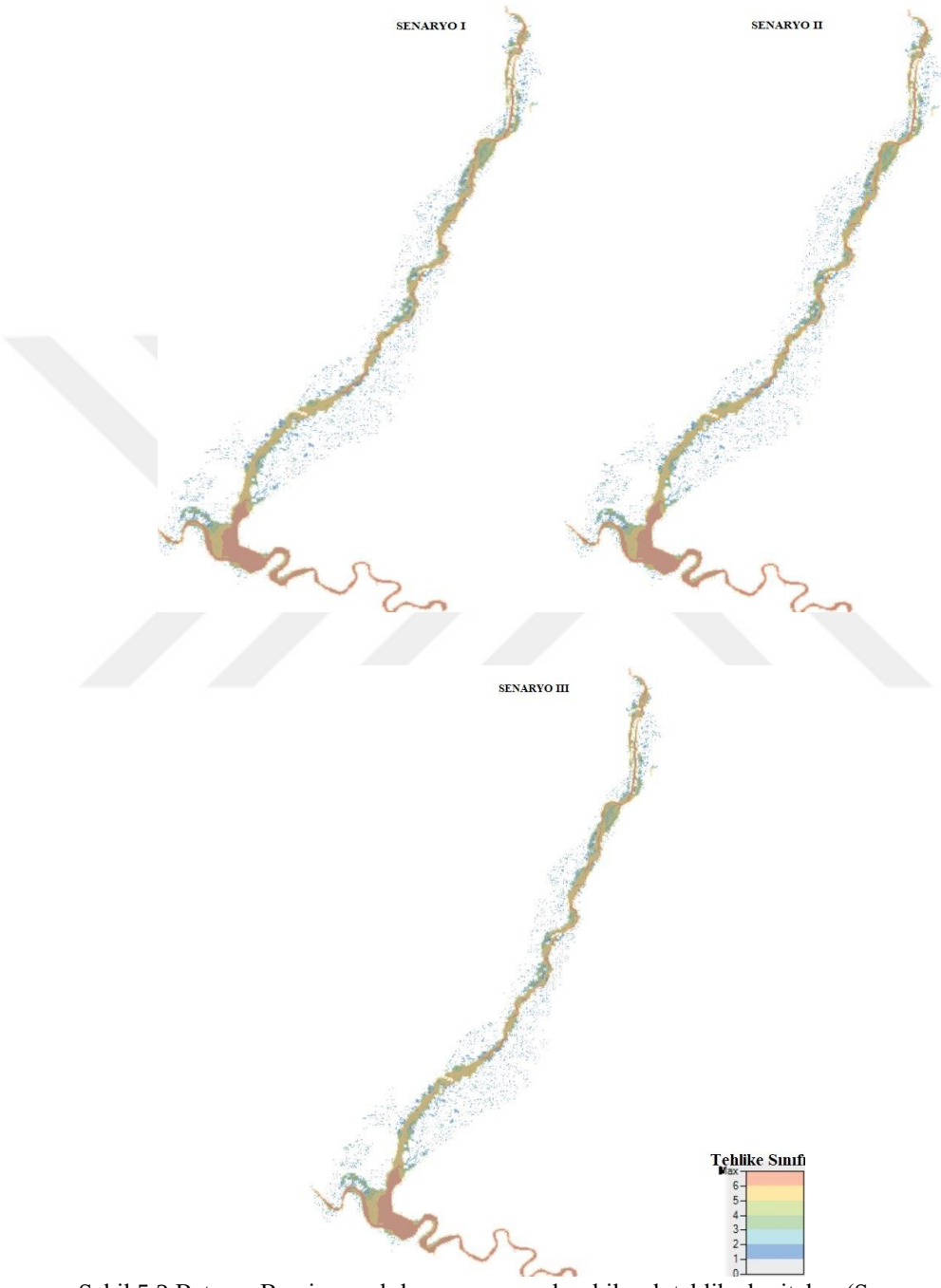
Oluşturulan senaryolara ait karşılaştırmada; Froehlich yaklaşımına göre borulanma ve üstten aşma senaryolarında yıkılma süreleri eşit olsa da gedik parametrelerinin farklı olması sebebiyle taşkın dalgasının yayılımı ve hız dağılımında farklılıklar ortaya çıkmıştır. Von Thun ile Gillette yaklaşımında üstten aşma senaryosunda ise hem gedik geometrisi hem de yıkılma sürelerindeki farklılık nedeniyle az da olsa hız değeri ve yayılım alanları farklılık göstermiştir. Taşkın yayılım alanları karşılaştırıldığında, Senaryo II'de en fazla, Senaryo I'de ise en az yayılım değerleri elde edilmiştir. Batman il merkezinde alınan bir enkesite ait hız değerleri, Şekil 5.1'de yer almakta olup Senaryo II'de hızın en yüksek, Senaryo I'de ise en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Dolayısıyla gedik geometrisi ve yıkılma sürelerindeki farklılıklar nedeniyle taşkın hidrografının, barajdan 30 kilometre uzaklıkta benzeştiğini ancak tam olarak eşitlenmediği görülmüştür. Bunun sebebi olarak, rezervuardaki su hacminin çok fazla olması, dolayısıyla taşkın öteleme mesafesinin de artmış olması görülmektedir.



Şekil 5.1 Taşkın dalgasının hız değerleri

Batman Barajının 2 boyutlu yıkılma analizinde her üç senaryoda da milli güvenlik için hayati öneme sahip Batman Havalimanı da dahil olmak üzere Batman il merkezinin bir bölümü, Diyarbakır – Batman otoyol köprüsü, Diyarbakır – Siirt ulaşım yolu ve büyüklü küçüklü birçok yerleşim yerinin sular altında kaldığı görülmüştür. İlk etapta

çok fazla sayıda can kaybının yaşanması ihtimali zor gibi görünse de ilk yardım ve acil müdahale imkânlarını engelleyecek ulaşım sıkıntılarının ortaya çıkacak olması, yaşanacak afetin boyutunu büyütmektedir.



Şekil 5.2 Batman Barajının yıkılması sonrası oluşabilecek tehlike haritaları (Senaryo I, II, III)

Baraj yıkılması sonrası tehlike haritaları oluşturulurken taşkın yayılım dalgasının hız ve derinlik değerlerinin çarpımı sonucu ortaya çıkan değer esas alınmaktadır. Böylelikle derinliğin fazla, hızın yüksek olduğu yerlerde yıkıcılık etkisinin de arttığı

göz önüne alınarak tehlike haritaları için cetvel oluşturulabilmektedir. Şekil 5.2'de her üç senaryoya ait tehlike haritaları yer almaktadır. Yayılım ve hız değerleri aynı zaman dilimleri için birlikte değerlendirildiğinde; Batman il merkezinde yer alan yerleşim yerleri ile havalimanının büyük kısmında; tehlike sınıfının her üç senaryoda da genelde 1 (H1) ve 2 (H2) seviyelerinde olduğu, bazı lokal bölgelerde 3 (H3) ve 4 (H4) seviyesinde olduğu görülmüştür. Özellikle akarsu yatağı boyunca, derinliğe bağlı olarak tehlike sınıfının 5 (H5) ve 6 (H6) seviyelerine ulaştığı, bu kesimlerde kalıcı yerleşimlerin bulunması sebebiyle can kaybı ihtimalinin azalacağı ancak ana ulaşım köprüleri için ciddi risk oluşturduğu görülmektedir. Ancak farklı zaman dilimleri için azami hız ve derinlik değerleri göz önüne alındığında, taşkın dalgasının ulaştığı yerlerin neredeyse tamamının 6 (H6) seviyesine ulaştığı görülmüştür.

Bu çalışmayla; baraj yıkılma analizlerinde gerek yıkılma parametrelerinin geçmiş vakalar üzerinden ampirik olarak hesaplanması ve gerekse arazi, akım koşullarının taşkın dalgasına etkisinin tam olarak belirlenememesi nedeniyle varsayımsal olarak hareket edilme zorunluğunun olduğu bir kez daha anlaşılmıştır. Örneğin arazide biriktirme hacimlerinin taşkın ötelenmesine etkisi, suyun birim hacim ağırlığının artışı veya enkazın akıma etkisi gibi parametreler için geniş kapsamlı herhangi bir çalışma bulunmamaktadır. Bu ve benzer konularda yapılacak uzun vadeli çalışmalarla baraj yıkılma mekaniği daha anlaşılabilir hale gelebilir.

5.2 Öneriler

Küresel ısınma sonucu artan kuraklık göz önüne alındığında; ülkelerin gelişmişlik seviyesini gösteren en önemli kıstaslardan biri de suyun etkin ve verimli kullanımı sayılabilir. Artan enerji, içme-kullanma ve sulama suyu ihtiyacı doğrultusunda her geçen gün baraj sayısı da bu oranda artmaktadır. Baraj güvenliği için ilk adım, tamamen güvenli bir barajın inşasının mümkün olmadığını kabullenmek ve karşılaşılabilecek risklerin net olarak ortaya konulmasıdır.

Ülkemizde baraj güvenliğine yönelik yeterli seviyede farkındalık olmadığı gibi doğrudan baraj güvenliğini konu edinen herhangi bir kanuni düzenleme de bulunmamaktadır. Son yıllarda DSİ öncülüğünde bazı önemli barajlar için yıkılma analizi, taşkın risk haritaları ve acil eylem planları hazırlanmışsa da baraj sayısı göz önüne alındığında gerekli sayının çok uzağında kalınmıştır. İnşaatı tamamlanan veya

devam eden her bir baraj için risk potansiyelinin ortaya konularak acil durum eylem planlarının oluşturulması elzemdir.

Barajların planlama, proje ve yapım aşamalarının gerekli kriterlere uyacak şekilde tamamlanması durumunda bile barajın ömrü boyunca hem gözlemsel hem de belirli aletlerle ölçümlerinin yapılması gerekmektedir. Baraj gövdesinde veya yardımcı yapılarda ortaya çıkacak deformasyonların veya sızmaların izlenmesi, gelecekte yaşanabilecek bir felaketin önlenmesi noktasında erken uyarı sağlayabilmektedir. Ölçüm aletleri; barajın işletme ve bakım çalışmalarında rehber görevini üstlenmesinin yanı sıra baraj güvenliğinin zaman içinde izlenebilmesini de mümkün kılmaktadır. Bu sebepten ötürü hem proje aşamasında ölçüm aletlerinin hassasiyetle tasarlanmasının hem de inşaat aşamasında işlevselliğini yitirmeyecek şekilde kurulumun yapılması hayati önem taşımaktadır. Ayrıca bu verilerin ölçümü, izlenmesi ve yorumlanmasında yetkin kişilerin görev alması, baraj güvenliğinin ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır.

Batman Barajı özelinde bakıldığında; özellikle ölçüm aletlerinin işler vaziyette tutularak rasatların sürekli yapılması, afet öncesi alınabilecek en etkin önlem olarak görülebilir. Mansapta yer alan her bir yerleşim yeri için erken uyarı ve tepki süreleri belirlenerek küçük çaplı tatbikatlarla farkındalık yaratılması, afet sonrası ilk müdahalede mobilizasyonun sağlanması açısından hayati öneme sahiptir. Batman il merkezi için belirlenecek imar çalışmalarında kalıcı yerleşimler için taşkın alanından uzak ve yüksek kotların tercih edilmesi tehlikeyi azaltmaya yardımcı olacaktır.

Batman Barajı; sulama, enerji ve taşkın kontrolü amacıyla yapılmış olup hem bölge hem de ülke ekonomisi açısından vazgeçilmez durumdadır. Barajın yıkılması durumunda taşkın dalgasının yaratacağı ilk hasarların yanı sıra uzun vadede enerji tesislerinin kullanılmaz hale geleceği ve zarar gören tarım arazilerinde uzun bir süre yeterli verim alınamayacağı göz önüne alındığında, geri dönüşü olmayan kayıpların ortaya çıkacağı aşikardır. Bu sebepten ötürü; baraj güvenliğine yönelik öngörülebilir tedbirlerin alınarak risklerin asgari seviyeye indirilmesi ve ayrıca taşkın risk haritaları doğrultusunda yerleşim alanlarının yeniden belirlenerek afet planlarının güncellenmesi, su yönetim politikamızda öncelikli hedefler arasında yer almalıdır.

KAYNAKLAR

[1] DSİ Genel Müdürlüğü, Toprak ve Su Kaynakları, dsi.gov. https://www.dsi.gov.tr /Sf/Detay/754 (Erişim Tarihi: 12 Nisan 2022).

[2] ICOLD, General Synthesis, icold-cigb.gov. https://www.icold-cigb.org/article/GB /world_register/general_ synthesis (Erişim: 2022, May 11).

[3] C. Erkek ve N. Ağıralioğlu, *Su Kaynakları Mühendisliği*, Beta Yayımcılık, İstanbul, 1993, sf 217.

[4] A. Em, "Kralkızı ve Dicle Barajlarının Yıkılması Sonrası Nümerik Taşkın Modellemesi ve Simülasyonu", Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2021.

[5] N. Palamut, "Baraj Yıkılma Analizi ve Uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2014.

[6] N. Ağıralioğlu, *Baraj Güvenliği*, Beta Yayımcılık, İstanbul, 2011, sf 94.

[7] İ. C. Ulusoy, "Dolgu Barajların Güvenliğinde Risk Analizi :Atatürk Barajı Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2015.

[8] H. Tosun, G. Yılmaz ve E. Seyrek, "Dolgu Baraj Temel Zemininde Sıvılaşma Analizinin Temel Esasları ve Bir Uygulama", Dolgu Baraj Tasarımında Gelişmeler Semineri, Eskişehir, 2008, sf 98-105.

[9] G. Brunner, *Using HEC-RAS For Dam Brack Studies*, U.S Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC), Davis, 2014, pp. 23-24

[10] D. Yıldız, "Baraj Güvenliği ve Barajlarda Kapaklı veya Kapaksız Dolusavakların Tercihi Üzerine Düşünceler," *DSİ Teknik Bülteni No:75*, Nisan 1972, sf 18.

[11] P. Brufau ve P.G. Navarro, "Two-Dimensional Dam Break Flowsimulation," *International Journal For Numerical Methods In Fluids*, pp. 33-35. February 2000,

[12] M. Quecedo, M. Pastor, M., M. I. Herreros, J. A. F. Merodo ve Q. Zhang, "Comparison Of Two Mathematical Models For Solving The Dam Break Problem Using The FEM Method," *Comput. Methods App.l. Mech. Engrg. 194*, sf 3984-4005. February 2005.

[13] Z. Bozkuş ve İ. A. Güner, "Pre-Event Dam Failure Analyses for Emergency Management," *Tr. J. of Engineering and Environmental Science 25*, pp. 627-641, January 2001.

[14] Government of British Columbia, Dam Failures, https://www2.gov.bc.ca/gov/

content/environment/air-land-water/water/drought-flooding-dikes-dams/dam-safety/11965/12021/module-4-dam-failures, (Erişim: 2019, November 17).

[15] ICOLD, "Selecting Parameters for Large Dams: Guidelines and Recomendations", ICOLD Committee on Seismic Aspects of Large Dams, Bulletin No 72, pp. 7-22, November 1989

[16] G.J. Bureau, "Dams and App.urtenant Facilities in Earthquake Engineering Handbook (edited by Chenh, W.F and Scawthorn," C.), *CRS press*, Bora Raton, 2003, pp. 8-31.

[17] T. Dinçerkök, "Baraj Emniyeti ve Baraj Güvenliği," *Baraj Emniyeti ve Ölçüm Sistemleri Çalıştayı*, İstanbul, sf 75-87, Mayıs 2012.

[18] J. Ball, M. Babister, R. Nathan, W. Weeks, E. Weinmann, M. Retallick ve I. Testoni (Editors), *Australian Rainfall and Runoff: A Guide to Flood Estimation, Commonwealth of Australia (Geoscience Australia)*, Barton, Engineers Australia (EA), 2019, pp. 265-267.

[19] R. J. Cox, T. D. Shand, ve M. J. Blacka, "App.ropriate Safety Criteria for People in Floods", Australian Rainfall and Runoff Guidelines: Project 10, pp. 22, May 2010

[20] USBR, *Downstream Hazard Classification Guidelines*, USBR, Denver, 1988, pp. 26.

[21] G. P. Smith, E. K. Davey, ve R. J. Cox, "Flood Hazard", *UNSW Australia Water Research Laboratory Technical Report 2014/07*, pp. 43, June 2014.

[22] A. Ritter, "Die Fortpflanzung der Wasserwellen", Vereine Deutcher Ingenieure Zeitswchrift, Vol.36, No. 2, 33: Berlin, pp. 947-954, June 1892.

[23] E. A. Cristofano, Method of Computing Erosion Rate for Failure of Eart – Fill Dams. U.S., Bureau of Reclemation, Denver, 1965, pp. 213-219.

[24] G. W. Harris ve D. A. Wagner, "Outflow from Breached Earth Dams". B.S. Thesis, University of Utah, Salt Lake City, Utah, 1967

[25] J. G. Sakkas ve T. Strelkoff, "Dam-Break Flood in a Prismatic Dry Channel," *Journal of the Hydraulic Division*, ASCE, Vol. 99, No, HY12, pp. 2195-2216, April 1973.

[26] D. L. Fread ve T. R. Harbaugh, "Transient Hydraulic Simulation of Breached Earth Dams", *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, 99(1), sf 139-154, October 1973.

[27] R. J. Brown ve D. C. Rogers, User's Manual for Program BRDAM. Engineering and Research Center Bureau of Reclemation, Denver, 1981, pp. 23.

[28] W. C. Lou, "Mathematical Model of Earth Dam Breach," Doktora Tezi, Civil Engineering Department Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 1981.

[29] T. C. MacDonald ve J. Langridge-Monopolis, "Breaching charateristics of dam failures," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 110, pp. 567-586, March1984.

[30] K. P. Singh, ve A. Snorrason, "Sensitivity of outflow peaks and flood stages to the selection of dam breach parameters and simulation models," *Journal of hydrology,* vol. 68, pp. 295-310, August 1984.

[31] D. C. Froehlıch, "Embankment-Dam Breach Parameters. Hydraulic Engineering," *Proceedings of the ASCE National Conference on Hydraulic Engineering*, Williamsburg, Virginia, pp. 570-575, July 1987.

[32] D. L. Fread, "BREACH: An Erosion Model For Earthen Dam Failures. NWS Report, National Oceanic and Atmospheric Administiration," Silver Spring, Maryland, 1988, pp. 9.

[33] V. Thun, J. Lawrence ve D. R. Gillette, "Guidance on breach parameters," U.S. Bureau of Reclamation, Denver, 1990, pp. 17.

[34] Z. Bozkuş ve A. Kasap, "Comparison of Physical and Numerical Dam-Break Simulations," *Tr. J. of Engineering and Environmental Science*, Vol.22, pp. 429-443, November 1998

[35] S. Kocaman, "Baraj yıkılması analizi ve uygulaması", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2002.

[36] S. Kocaman, "Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2007.

[37] S. Kocaman, ve H. Özmen-Çağatay, "The effect of lateral channel contraction on dam break flows: Laboratory experiment," *Journal of Hydrology*, vol. 432-433, 2012, pp. 145-153.

[38] E. Doğan, O. Sönmez, E. Yapan, K. Othan, S. Özdemir ve T. Çitgez, *"Aşağı Sakarya nehrinde taşkın yayılım haritalarının elde edilmesi"*, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, SAÜ Fen Bil Der 17 (3), 2013, sf 363-369.

[39] O. Sönmez, "Nehirlerde 2 Boyutlu Taşkın Modellemesi ve Taşkın Haritalarının Oluşturulması", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2013.

[40] T. Bağatur ve N. Hamidi, "Evaluation with stream characteristics of downstream flood problems after dam construction," *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management 22(2),* pp. 96-104, October 2014.

[41] A. Altunkaynak ve H. G. Elmazoghi. "Neuro-fuzzy models for prediction of breach formation time of embankment dams," J*ournal of Intelligent and Fuzzy Systems 31(3)*, pp. 1929-1940, August 2016.

[42] O. Sönmez, ve E. Doğan, "Determination of flood inundation area in Cedar River using calibrated and validated 1D and 1D/2D model," *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, SAÜ Fen Bil Der 20 (2), pp. 337-347, August 2016

[43] Ş. Elçi, G. Tayfur, İ. Haltaş, ve B. Kocaman, "*Baraj yıkılması sonrası iki boyutlu taşkın yayılımının yerleşim bölgeleri için modellenmesi*," *İMO Tek. Dergi*, sf 7955-7975, Eylül 2017

[44] M.Ş. İmamoğlu, İ. Bedirhanoğlu ve Ç. Mollamahmutoğlu, *"Evaluation of 12 November 2017 Mw 7.3-30 km South of Halabja Iraq-Iran Border Earthquake and Its Effects on Darbandikhan Dam from a Geological Perspective," 5th International Symposium on Dam Safety*, sf 158-174, October 2018.

[45] S.G. Şahin, "Numerical Modeling the Flood Wave as a Result of Urkmez Dam failure", İzmir Teknoloji İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2018.

[46] S. Oğraş ve F. Önen, *"Flood analysis with HEC-RAS: A case study of Tigris River," Hindawi Advances in Civil Engineering*, Volume 2020, pp. 13, February 2020,

[47] K. Yılmaz ve H. Ç. Karaman, "Assessment of Flood Hazard Caused by Overtopp.ing of a Dam," *39th IAHR World Congress*, İspanya, 2022, pp. 6638-6645, June 2022.

[48] K. Yılmaz, A. E. Dinçer, V. Kalpakçı ve Ş. Öztürk, "Debris flow modelling and hazard assessment for a glacier area: a case study in Barsem, Tajikistan*," Natural Hazard*, pp. 27, September 2022.

[49] DSİ 10. Bölge Müdürlüğü fotoğraf arşivi, 2022

[50] M. A. Beavers, "Floodplain Determination Using HEC-2 and Geographic Information Systems," Masters Thesis, Department of Civil Engineering, The University of Texas, Austin, 1994.

[51] Hydrologic Enginnering Center, "One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Netword of Open Channels," User's Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, Kaliforniya, 1997, pp. 11.

[52] DSİ 10. Bölge Müdürlüğü, "2021 yılı Batman Barajı ve HES Muayene Raporu," Diyarbakır, 2022, sf 7.

[53] A. Em ve N. Hamidi, "Kralkızı ve Dicle Barajlarının Yıkılması Sonrası Nümerik Taşkın Modellemesi ve Simülasyonu," *Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 12 (3), Diyarbakır, 2021, sf 535-541.

[54] S. Kocaman, "Baraj yıkılması analizi ve uygulaması," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2022.

[55] AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları, https://tdth.afad.gov.tr/TDTH/main.xhtml (Erişim tarihi: 14 Nisan 2022).

[56] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, "Dolgu Barajlar Tasarım Rehberi," Rev.1, Ankara, 2014.

[57] M. Ardiçlioğlu, A. Bilgil, ve Ö. Öztürk, "Cilalı ve Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi," *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 2005.

[58] H. Efe, F. Önen, "Batman Çayı'nın Taşkın Analizinin HEC-RAS Programıyla Yapılması," Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Ana Bilim Dalı, Dicle Üniversitesi, 2014.

[59] CORINE, "The CORINE Project Methodology," European Environmental Agency, 1997.

[60] O. Karagüllü ve M. Kendüzler, "CORINE Sınıflandırması Raporu," Orman Genel Müdürlüğü Orman Harita ve Fotogrametri Müdürlüğü, Ankara, 2008, sf 56.

[61] S. Sommer, J. Hill ve L. Megier, "The potential of remote sensing for monitoring rural land use changes and their effects on soil conditions," *Agriculture, Ecosystems and Environment 67*, 2008, pp. 197-209.

[62] H. Vural, U. Dinç ve N. Öztürk, "Sayısal Uydu Verileri Yardımıyla Arazi Kullanım Haritaları Hazırlanmasının Doğu Akdeniz Örneğinde Araştırılması", *III. Uzaktan Algılama ve Türkiye'deki Uygulamaları Semineri*, Bursa, 1997, sf VI 1-VI 9.

[63] M. Güre, M. Özel ve H. Özcan, "CORINE Arazi Kullanımı Sınıflandırma Sistemine Göre Çanakkale İli", *Harran Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13(3), sf 37-48, Eylül 2009.

[64] A. Çivi, E. Akgündüz, K. Kalaycı, Ç. İnan, E. Sarıca ve E. Toru, "CORINE (Coordınation Of Informatıon On The Envıronment) Projesi," TMMOB *Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi*, sf 02-06. Eylül 2009.

[65] G. Papaioannou, A. Efstratiadis, L. Vasiliades, A. Loukas, S. Papalexiou, A. Koukouvinos, I. Tsoukalas ve P. Kossieris, "An operational method for flood directive implementation in ungauged urban areas," *Hydrology*, 2018, pp. 1-23.

[66] H. Karahan ve G. Gürarslan, "Kinematik dalga yaklaşımı kullanılarak taşkın öteleme problemlerinin modellenmesi: Sütçüler örneği," *VII. Ulusal Hidroloji Kongresi, Süleyman Demirel Üniversitesi*, Isparta, sf 37-47, Eylül 2012.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyad, Ad	Efe, Hüseyin
Web sayfası (Research Gate, Academia, vs.)	---

Eğitim Bilgileri

Derece	Kurum	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	Dicle Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2014
Lisans	Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı	2009
Lise	Nevzat Ayaz Anadolu Lisesi - Diyarbakır	2002

İş Deneyimi

Dönem (Yıl)	Şirket, Kurum	Görev
2010-2010	Bülent Kılıç İnşaat Mühendisi	Şantiye Şefi
2011-2014	DSİ 10. Bölge Müdürlüğü Proje ve İnşaat Şube Müd.	Tatbikat ve Proje Mühendisi
2014-2015	DSİ 10. Bölge Müdürlüğü 103. Şube Müdürlüğü	Etüd ve Kontrol Mühendisi
2015-2018	DSİ 10. Bölge Müdürlüğü 104. Şube Müdürlüğü	Şube Müdürü
2018-2022	DSİ 21. Bölge Müdürlüğü	Tatbikat ve Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce (İyi)

Yayınlar

1. Efe, H., Önen, F., *"Batman Çayı'nın taşkın analizinin HEC-RAS programıyla yapılması"*, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, Cilt 6, sayfa 83-92, 2015

2. Efe, H., Akyıldız, H., Önen, F., *"Baraj Yapımında Atık Malzemelerin Kullanımı: Kadıköy Göleti Örneği"*, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, Cilt 11, sayfa 439-445, 2015

Özel İlgiler

Fotoğrafçılık, Basketbol ve Gezi

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ BENZERLİK BİLDİRİMİ FORMU

Öğrencinin Adı, Soyadı	Hüseyin EFE		
Öğrenci No	16806503		
Ana Bilim Dalı	İnşaat Mühendisliği		
Program Türü	Proje ☐	Yüksek Lisans ☐	Doktora ☒
Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	Prof. Dr. Fevzi ÖNEN		
(Varsa) II. Tez Danışmanı (Ünvanı, Adı, Soyadı)	-		
Tez Başlığı	Batman Barajının Yıkılma Analizi ve Baraj Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi		
RAPOR BİLGİLERİ			
Raporlama Aşaması	Tez Savunma Sınavı Sonrası		
Sayfa Sayısı	99		
Raporlama Tarihi	05.01.2023		
Benzerlik Oranı (%)	%24		

Yukarıda bilgileri verilen tez çalışmamın toplam 99 sayfalık kısmına ilişkin, 05.01.2023 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin isimli intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %24 olarak tespit edilmiştir.

Uygulanan filtrelemeler:

☐Başlangıç Bölümleri (Kabul ve Onay sayfası, Teşekkür sayfası, Özet/Abstract) hariç

☐Kaynaklar hariç

☐Alıntılar hariç/dâhil

☒Diğer (Herşey dahil)

Tezimin benzerlik oranı, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İntihal Raporu Uygulama Esaslarında belirtilen üst sınır benzerlik oranını aşmamaktadır. Benzerlik oranım üst sınır benzerlik oranının altında olsa dahi aksinin tespit edilmesi durumunda her türlü yasal sorumluğu kabul ettiğimi ve hukuki sonuçlarına razı olduğumu bildirir,
Gereğini arz ederim.

Öğrencinin Adı, Soyadı: Hüseyin EFE
Tarih: 05.01.2023
İmza:

Danışman Adı, Soyadı: Prof. Dr. Fevzi ÖNEN Tarih: 05.01.2023	İmza:
Ana Bilim Dalı Başkanı Adı, Soyadı: Prof. Dr. Zeynel Fuat TOPRAK Tarih: 05.01.2023	İmza: