



Batman Barajının yıkılma analizi ve baraj güvenliği açısından değerlendirilmesi *Failure analysis of Batman Dam and evaluation in terms of dam safety*

Hüseyin EFE^{1*}, Fevzi ÖNEN²

¹ DSİ 21. Bölge Müdürlüğü, efehuseyin@yahoo.gov.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8712-3684>

² Dicle Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, fonen@dicle.edu.tr
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2368-1035>

MAKALE BİLGİLERİ

Makale Geçmişi:

Geliş 1 Nisan 2022
Revizyon 4 Eylül 2022
Kabul 14 Eylül 2022
Online 30 Eylül 2022

Anahtar Kelimeler:

Batman Barajı, Baraj Güvenliği,
HEC-RAS, Modelleme

ÖZ

Günümüzde artan tüketim miktarıyla birlikte içme – kullanma ve sulama suyu ihtiyacı da aynı oranda artış göstermiştir. Bunun sonucu olarak, mansabında yerleşim yerlerinin varlığına bakılmaksızın inşa edilen barajların güvenliği sorgulanır hale gelmiştir. Gelişen teknoloji sayesinde, barajların türüne (dolgu, beton gibi) topografyasına ve yerleşim yerinin büyüklüğüne göre farklı senaryolar altında risk analizleri türetilerek çeşitli önlemler alınması mümkün hale gelmiştir. Özellikle modelleme programlarının gerçekçi bir seviyeye yaklaşmasıyla daha tutarlı sonuçlara ulaşılmıştır.

Bu çalışmada, Batman ilinin 30 km kuzeyinde yer alan Batman Barajının mevcut durumundan yola çıkılarak risk sınıflandırması yapılmış ve HEC-RAS programı yardımıyla baraj yıkılması modellenerek olası bir yıkılma sonrası ortaya çıkacak olan taşkın dalgası sonucu afet durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır. Elde edilen model analiz sonuçları doğrultusunda; Batman il merkezinin büyük bölümünün yanı sıra, havalimanı ve 19 yerleşim yerinin sular altında kaldığı, afet sonrası ilk müdahalede kullanılacak yolların önemli kısmının tahrip olabileceği ortaya konulmuştur. Afet senaryosunun bertarafı için mansapta bulunan yerleşim alanlarına taşkın dalgası ulaşmadan önce erken tahliye için gerekli sürelerin ve acil durum müdahalelerinin tespiti açısından çalışmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 1 April 2022
Received in revised form 4 September 2022
Accepted 14 September 2022
Available online 30 September 2022

Keywords:

Batman Dam, Dam Safety, HEC-RAS, Modelling

ABSTRACT

Nowadays, with the increasing amount of consumption, the need for drinking – use and irrigation water has increased at the same rate. As a result of this, the safety of the dams constructed regardless of the presence of downstream settlements has become questionable. Thanks to the developing technology, it has become possible to take various measures by creating risk analyzes under different scenarios according to the type of dams (fill, concrete...), topography and size of the settlement. More consistent results could be achieved, especially with modeling programs approaching a realistic level.

In this study, based on the current situation of the Batman Dam, which is located 30 km north of Batman province, a risk classification has been made and the failure of the dam has been modeled with HEC-RAS program and disaster situations as a result of the flood wave that will emerge after a possible collapse have been tried to be revealed. The model analysis results obtained; it has been revealed that most of the city center of Batman, as well as the airport and 19 settlements, were flooded, and that a significant part of the roads to be used in the first response after the disaster may be destroyed. For the elimination of the disaster scenario, it is thought that the study will be beneficial in terms of determining the necessary times for early evacuation and determining emergency interventions before the flood wave reaches the downstream residential areas.

Doi: 10.24012/dumf.1097025

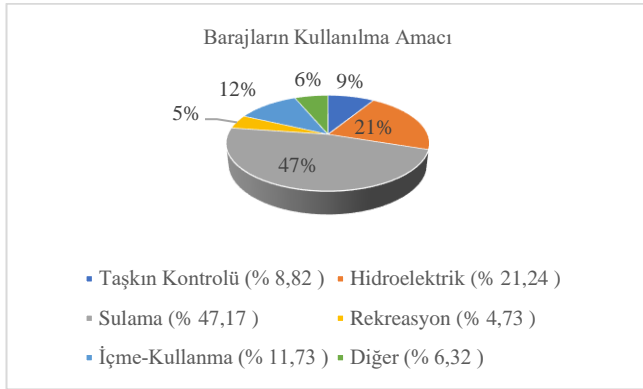
* Sorumlu Yazar

Giriş

Tarih boyunca su, insanoğlunun yaşamını doğrudan yönlendiren en büyük etken olmuştur. Hayati açıdan en temel gıda olmasının yanı sıra, insan topluluklarının ilk kez tarım yapmasıyla ortaya çıkan ve bu toplumların sosyo-ekonomik yapılarında devrimsel dönüşümler yaratan bu sürecin başkahramanı olan suyun zararlarından korunma gereksinimi de kullanımı kadar eskiye dayanmaktadır.

Geçmişten günümüze, artan nüfusla birlikte suyun biriktirilerek kullanılması zorunlu hale gelmiş ve bu ihtiyaç sonucunda Fransızca “su bendi” anlamına gelen “baraj” yapıları hayatımıza girmiştir.

Barajlar; içme-kullanma, sulama, enerji, taşkın kontrolü gibi amaçlarla suyun biriktirilmesini sağlayan su yapıları olarak adlandırılmaktadır. Kullanılma amacına göre dünyada barajların oranları Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Barajların kullanılma amacına göre dağılımı [1]

Baraj tasarımı yapılırken genellikle birden fazla alternatifle çalışma yapılmaktadır. Yerine ve yapılış amacına göre en uygun ve en ekonomik olan baraj tipinin belirlenmesi için birçok faktörün göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu faktörlerden bazıları; baraj yerinin topoğrafik durumu, temel ve jeolojik şartlar, baraj inşaatında kullanılacak uygun malzeme temini, ulaşım kolaylıkları, yeraltı ve yerüstü sularının durumu ve ekonomik durumdur [2].

Sağladığı faydaların yanı sıra yapının büyüklüğüyle orantılı olarak artan risk derecesi de göz önüne alındığında, baraj güvenliği günümüzde baraj tasarımının en önemli kısmını oluşturmaktadır.

Barajlar yapılırken işletme giderleri göz önünde bulundurulurken suyun kullanılacağı alandan daha yüksek yere konumlandırılarak cazibeyle suyun ulaştırılması sağlanır. Özellikle yerleşim yerlerinin membasında yer alan barajlar, olası yıkılma durumları göz önüne alındığında bazı riskleri ortaya çıkarmıştır [3].

Barajlarda hasar ve yıkılmalar neticesinde ortaya çıkabilecek can ve mal kayıplarını önlemek adına kullanılan yapı malzemelerinin ve barajın davranışının belirlenmesi açısından birtakım deneysel ve modelleme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu doğrultuda erken uyarı sistemlerine altyapı olması açısından yıkılma analizleri ve taşkın dalgası risk haritaları çıkarılmasında fayda vardır [4].

Bu çalışmada; HEC-RAS programı yardımıyla Batman Barajının yıkılması modellenerek olası bir yıkılma sonrası ortaya çıkacak olan taşkın dalgası sonucu afet durumları ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Baraj Güvenliği

Hem yeni yapım teknikleriyle tasarlanan yeni nesil barajların hem de geçmiş yıllarda kısıtlı imkânlarla yapılan eski tip barajların güvenlik açısından irdelenmesi veya gerekli tedbirlerin alınması büyük ölçekli afetlerin önüne geçebilmeyi mümkün kılabilir. Özellikle mansap kısmında büyük yerleşim yerleri bulunan barajların deprem, taşkın ve oturmalar gibi iç ve dış etkenlere karşı davranış mekanizmalarını anlayabilmek adına çeşitli senaryolar altında risk analizleri yapılmaktadır. Yapılan analizler sonucu; doğal yollarla ortaya çıkan taşkınlara nazaran baraj yıkılmaları sonucu oluşan taşkınların pik akım debisinin oluşma süresinin çok daha kısa zamanda gerçekleştiği, bu sebeple mansapta yaşayan insanlar için uyarı sürelerinin son derece kısa olduğu görülmüştür.

Baraj göl alanında depolanan suyun, mansap vadisine aniden boşaltılması kadastofik taşkına sebep olabilir. Yoğun yağışlar sonucu oluşan sel ile karşılaştırıldığında, baraj yıkılmalarında genellikle çok daha yüksek büyüklükteki pik akımlara sahip taşkınlar görülmektedir [5].

Baraj mansabında taşkın yaşanacak alanların belirlenmesi ve acil durum planlarının hazırlanmasıyla birlikte yıkılmanın yaratacağı olası etkiler asgari seviyeye düşürülebilir. Bu nedenle inşaatı tamamlanmış barajların güvenilirliklerinin belirlenmesi ve tasarımı yapılan yeni barajların da bu problemin bir parçası olarak değerlendirilip baraj yıkılması analizlerinin yapılması büyük önem arz etmektedir. Bu tür bir çalışma gerçek baraj yıkılmalarına ait gözlemlerin yanı sıra sayısal ve deneysel modellerden elde edilen bilgiler ışığında yapılabilir [6].

Gerek tasarım aşamasında gerekse yapım aşamasında barajlar için tehlike oluşturan bir başka etmen de barajın bulunduğu bölgenin deprenselliğidir. Doğrudan yıkılmasına sebep olmasa bile geri dönülmez hasarlar oluşturma riskine sahip deprem etkisi, baraj güvenliği açısından kritik öneme sahiptir.

Irak-İran sınırına yakın bir yerde konumlanan Darbandikhan Barajı, 2017 yılında gerçekleşen deprem sonucunda ciddi hasarlar görmüş ve ayrıntılı bir onarım çalışması gerektirmiştir [7].

Baraj güvenliğini etkileyen bir diğer faktör de dolusavağın tipidir. Özellikle kret kotunun alçalması sonucu azalan maliyetin yanı sıra enerji üreten barajlarda su kaybını önlemek ve kontrollü elektrik üretimini sağlamak adına kapaklı dolusavak kullanımı oldukça artmıştır. Ancak işletme-bakım zorluklarının yanı sıra deprem bölgelerinde dolusavak kapaklarında olası bir hasar durumunda baraj güvenliği açısından tehlike oluşturmaktadır.

Geçmişte dolusavak kapaklarının istenilen şekilde işletilememesinden kaynaklı hasara uğrayan barajlara örnek olarak Euclides Da Cunha Barajı (Brezilya,1977), Machu Barajı (Hindistan, 1979), Hirakuo Barajı (Hindistan, 1980),

Noppikoski Barajı (İsveç,1985), Lutufallet Barajı (Norveç, 1986) ve Belci Barajı (Romanya, 1991) sayılabilir [8].

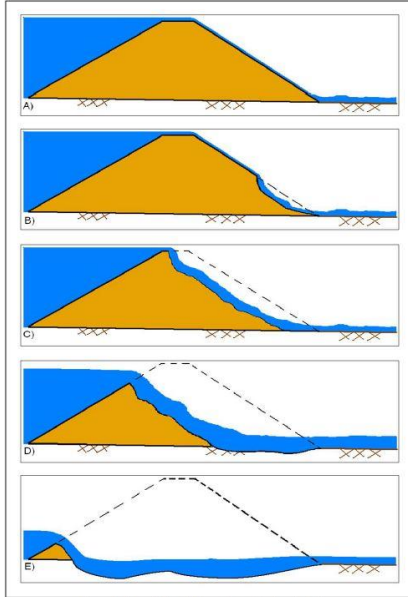
Ölçüm Cihazları

Barajların yapım ve işletme sürecinde projelerinde öngörülen emniyet sınırları içinde kalıp kalmadıklarının izlenmesi, gerekli önlemlerin zamanında alınması ve ileride projelendirilecek barajlar için bilgi birikimi sağlanması açısından, ölçüm tesisleri ve gözlem sonuçları analiz ve değerlendirmeleri büyük önem arz etmektedir [9].

Baraj emniyeti için kullanılan ölçüm cihazları; yapı çalışmalarını öncesi saha koşullarının tanımlanmasında, tasarım ve analiz varsayımlarının doğrulanmasında, inşaat süresince ilk doldurma ve çalışma zamanında davranışın değerlendirilmesinde, belirleyici tasarım özelliklerinin performanslarının değerlendirilmesinde, bilinen jeolojik ve yapısal anomalinin performansının gözlemlenmesinde, sahaya özgü olası yenilme biçimlerine göre performans değerlendirilmesinde ve gelecekte yapılacak tasarım ve benzer yapı çalışmalarına veri aktarılmasında önemli rol oynamaktadır [10].

Yıkılma Mekanikliği

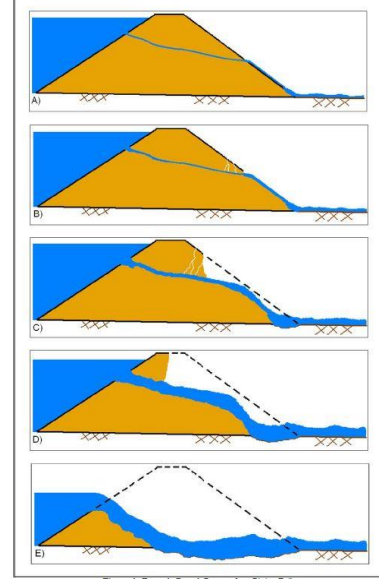
Yıkılan barajlar incelendiğinde; %34'ü rezervuardaki suyun kret üstünden aşması, %30'u temelde oluşan deformasyonlar, %28'i gövdede meydana gelen borulanma ve %8 ise diğer sebepler (şev kayması, çatlama gibi) sonucu yıkılmanın gerçekleştiği görülmüştür. Dolgu barajlarda ise bu oranlar üstten aşma %35, borulanma sonucu yıkılma %38 ve temel deformasyonları %21 olarak tespit edilmiştir [11].



Şekil 2. Üstten aşmalı yıkılma [12]

Şekil 2'de görüldüğü üzere; rezervuardaki suyun kret üstünden taşarak baraj topuğunu oyması sonucu oluşan üstten aşmalı yıkılma durumu genellikle tasarım hidrolojinin yanlış hesaplanması veya dolusavağın çalışmaması sonucu ortaya çıkar [12].

Bir diğer baraj yıkılma şekli olan borulanma; hidrolik eğim sonucu suyun membadan mansaba doğru hareket ederken baraj gövdesi içinde yer alan ince daneli malzemeyi de beraberinde taşması sonucu oluşur. Şekil 3'te, taşınan malzemenin zaman içinde gövdede su kanalcıkları oluşturarak barajda gedik açılmasına neden olabileceği gösterilmiştir [12].



Şekil 3. Borulanma sonucu yıkılma [12]

Yıkılma analizleri yapılırken genel olarak üç parametreye ihtiyaç duyulmaktadır. Bunlar; gedik genişliği, gedik şev eğimi ve yıkılma süresidir. Baraj yıkılma mekanikliği için her ne kadar bazı yaklaşımlar ortaya konulsa da genel olarak geçmişte meydana gelen yıkılma olaylarına dayalı ampirik formüller kullanılmaktadır. Sık şekilde kullanılan formüllerden bazıları aşağıda verilmiştir.

- Froehlich (2008):

$$B_{ort} = 0,27K_o V_w^{0,32} h_w^{0,4}$$

$$t_f = 0,62 \sqrt{\frac{V_w}{gh_w^2}}$$

B_{ort} = ortalama gedik genişliği

K_o = katsayı (üstten aşma = 1,3, borulanma=1,0)

V_w = Rezervuar hacmi

h_w = nihai gedik yüksekliği

g = yerçekimi ivmesi

t_f = gedik oluşma zamanı

Gedik şev eğimleri: Üstten Aşma = 1D/1Y

Borulanma = 0,7D/1Y

- Von Thun ve Gilette (1990):

$$B_{ort} = 2,5h_w + C_b$$

$$t_f = 0,02 h_w + 0,25 \quad (\text{erozyona dayanıklı})$$

$$t_f = 0,015 h_w \quad (\text{erozyon miktarı yüksek})$$

B_{ort} = ortalama gedik genişliği

h_w = nihai gedik yüksekliği

C_b = rezervuarın boyutuna bağlı katsayı (6,1~54,9)

t_f = gedik oluşma zamanı

Yıkılma Risk Potansiyeli

Barajlarda yıkılma analizinin sağlıklı yapılabilmesi için mevcut risklerin tam olarak ortaya konulabilmesi gerekmektedir. Federal Acil Durum Yönetim Ajansı (FEMA) risk için, olumsuz sonuçların oluşmasının ve ortaya çıkmasının bir ölçüsüdür tanımını yapmıştır. Belirlenen riskler doğrultusunda her bir baraj için tehlike sınıfları belirlemek ve bu sınıflandırmalara dayalı önlemler almak baraj güvenliğinin en önemli adımlarından biridir.

Baraj güvenliği açısından birçok ülkede farklı sınıflandırmalar kullanılmaktadır. Deprem risk durumu, rezervuar hacmi, yaşanabilecek can kaybı sayısı gibi değişik parametrelere bağlı olarak tehlike sınıflandırmaları yapılmaktadır.

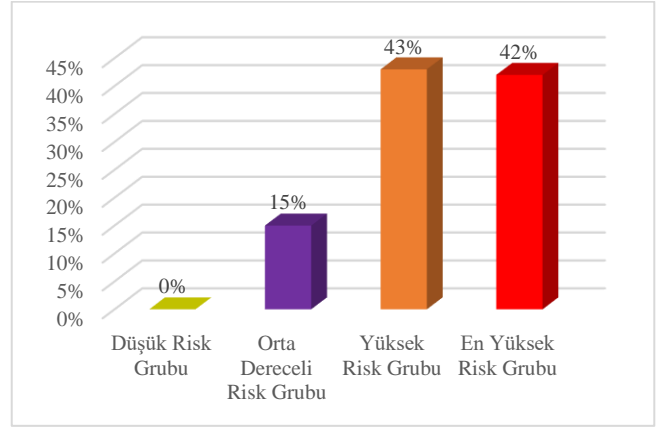
Ülkemizde devlet tasarrufu altında yapılan barajlardan sorumlu kurum olan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından inşaatı tamamlanan barajlara yönelik "Risk Potansiyeli Sınıflandırma Tabloları", 2002 yılında hazırlanmıştır.

Rezervuar kapasitesi, barajın yüksekliği, insan sayısı olarak tahliye gereksinimi, potansiyel mansap zararları, sismik risk katsayısı (k) /yatay yer ivmesi (a), hidrolojik verilerin güncelliği ve dolusavak tipine bağlı puanlama yapılarak inşaatı tamamlanmış ve/veya devam eden her bir baraj için risk potansiyeli belirlenmiştir. Yapılan puanlama neticesinde tehlike sınıflandırmaları Tablo 1'de gösterilmiştir.

TOPLAM RİSK FAKTÖRÜ	RİSK SINIFI (RİSK PUANLAMASI)
(0-16)	I (Düşük Risk Grubu)
(17-36)	II (Orta Dereceli Risk Grubu)
(37-59)	III (Yüksek Risk Grubu)
(60-105)	IV (Çok Yüksek Risk Grubu)

Tablo 1. Toplam Risk Faktörüne Karşılık Gelen Risk Sınıfı

Yukarıdaki tabloya göre yapılan çalışmada, Şekil 4'te görüldüğü üzere ülkemizde işletmede ve/veya inşaat halinde olan barajların %85'i yüksek ve çok yüksek risk grubunda yer almaktadır [13].



Şekil 4. Türkiye'deki barajların risk potansiyeli [13]

Acil Eylem Planı

Olası bütün baraj yıkılmalarını önlemek imkânsız olsa da yıkılmanın zararlarından kaçınmak veya bunları asgari seviyeye indirmek mümkündür.

Yapılan baraj yıkılma analizleri; baraj güvenliği başlığı altında tasarım, inşaat ve işletme aşamalarında aktif olarak kullanılmaktadır. Bu analiz sonuçları esas alınarak hazırlanan Acil Eylem Planları; baraj yıkılması sonrası ortaya çıkabilecek can kaybını ve tahribatı önlemeye büyük katkı sağlayabilmektedir.

Acil Eylem Planları, genel olarak iki bölümden oluşmaktadır:

1. Dahili Acil Eylem Planı (DAEP); acil durum esnasında barajların izlenmesi ile teknik şartname ve kılavuzlar, baraj emniyeti ve işletmesi hususunda alınacak aşağıdaki önlemleri içermelidir;

- Baraj gövdesi yardımcı yapılarının açıklanması,
- Tehlike içeren durumların ortaya konulması,
- Barajın işletmesine esas teşkil edecek emniyet düzeylerinin belirlenmesi,
- Risk analizi ve karar verme proseslerine dair yöntemlerinin hazırlanması,
- Baraj emniyetiyle ilgili yöresel bazda sorumlular görevlendirilmesi,
- Sivil savunma teşkilatı oluşturularak ve mobilizasyon kazandırılması,

2. Harici Acil Eylem Planı (HAEP); baraj mansabında alınacak tedbirlerle ilgili aşağıda belirtilen çalışmaları içermelidir;

- Baraj mansabında bulunan nüfus, ekonomik faaliyetler, altyapı, ulaşım yolu, ekipman, sağlık sistemi ve güvenlik birimlerinin tespiti,
- Emniyetle ilgili kurumların ve bu kurumların sorumluluklarının belirlenmesi,
- Karar verme otorite ve mekanizmasının belirlenmesi,
- İnsan ve malzeme kaynaklarının etkin kullanılması,

- Sığınak yapılacak mecraların ve acil ulaşım güzergahlarının alternatif seçeneklerle belirlenmesi,
- Ulaşım ve iletişim sistemlerinin belirlenerek düzenlenmesi,
- Erken uyarı ve bilgilendirme sistemlerinin oluşturulması [9].

Materyal

Çalışma alanına ait veriler

Yıkılma analizi yapılan Batman Barajı; Diyarbakır İli Silvan İlçesi sınırları içinde yer alan tarihi Malabadi Köprüsünün 700 metre mansabında, Batman Çayı üzerinde yer almaktadır. Kulp, Zori ve Sason akarsu kollarından oluşan Batman Çayı, toplam 4.106 km²'lik yağış havzasına sahiptir [14].



Şekil 5. Batman Barajının kuş uçuşu görünüşü

Yapımına 1986 yılında başlanılan Batman Barajı, 2003 yılında işletmeye alınmıştır. Temel amacı 37.744 hektar tarım arazisine sulama suyu sağlamak olan barajın üstten görünüşü Şekil 5'te verilmiştir. Taşkın kontrolünü sağlamanın yanı sıra 198 MW kurulu güce sahip hidroelektrik santraliyle de yıllık 483 GWh enerji üretmektedir.

Amaç	: Sulama+Taşkın Kont.+Enerji
İnşaatın Başlama-Bitiş Yılı	: 1986-1999
Gövde Dolgu Tipi	: Kil Çekirdekli Kaya Dolgu
Gövde Hacmi	: 7,181 hm ³
Yükseklik (Temelden)	: 85 m
Kret Uzunluğu	: 530 m
Normal Su Kotunda Göl Hacmi	: 1.175 hm ³
Sulama Alanı	: 37.744 ha
Kurulu Güç	: 198 MW
Yıllık Üretim	: 483 GWh
Yağış Alanı	: 4.106 km ²

Yıllık Maks. Akım	: 7.979 x10 ⁶ m ³
Dolusavak Giriş Debisi	: 8.210 m ³ /s
Maks. Göl Hacmi	: 1,244 hm ³

Tablo 2. Batman Barajı karakteristikleri [14]

Tablo 2'de karakteristik bilgileri verilen Batman Barajının mansabında Batman il merkezinin yanı sıra Diyarbakır ve Batman iline bağlı onlarca yerleşim yeri bulunmaktadır. 1.244 hm³ rezervuar hacmine sahip barajın yıkılması durumunda on binlerce can kaybı yaşanması muhtemeldir.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğünce kullanılan risk potansiyeli sınıflandırma tablolarında yer alan parametreler esas alınarak Batman Barajı için risk sınıflandırması Tablo 3'de verilmektedir.

Risk Faktörü	Değeri	Puanı
Rezervuar Kapasitesi	>1,2 milyar m ³	10
Barajın Yüksekliği	>60 m	5
İnsan Sayısı Olarak Boşaltma Gereksinimi	>1.000	40
Potansiyel Mansap Zararı	Yüksek	25
Sismik Risk Katsayısı (k) veya Yatay yer ivmesi (a)	0,10 g <k <0,25 g veya 300>a>140 cm/s ²	4
Hidrolojik Verilerin Güncelliği	T>30 yıl	10
Dolusavak Tipi	Kontrollü Kapak Adedi >6	5
TOPLAM PUAN=		99

Tablo 3 – Batman Barajı risk sınıfı

En yüksek risk potansiyel puanının 105 olduğu cetvelde; Batman Barajının risk puanı 99 hesaplanmış olup güvenlik derecesi 4. sınıf, yani en yüksek risk grubunda çıkması, baraj güvenliğinin öncelikli olarak önemsenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bir barajın emniyeti, barajın inşası sırasındaki gerçek koşullar ile projelendirme koşulları arasındaki farklılıklar ve hasar oluşumlarına neden olan parametrelerin ortaya konulması ile değerlendirilebilir. Bir barajın emniyetli olarak tanımlanabilmesi için, barajın ekonomik ve fiziki ömrü boyunca karşılaşacağı ve dayanmak zorunda olduğu tüm düşünülebilir yıkım senaryoları dikkate alınarak projelendirilmiş ve işletilmekte olması gereklidir [9].

Baraj yıkılma analizinin sağlıklı yapılabilmesi için gerçekçi senaryoların ortaya konulması oldukça önemlidir. Batman Barajının yıkılma analizi yapılırken son dönemde yıkılan barajlarla benzeştirilen senaryo türetilmiştir. Ayrıca barajın mevcut durumunun izlenmesini sağlayan baraj ölçüm aletlerinin okumaları ile periyodik olarak her yıl uzman DSİ

personelleri tarafından yapılan muayene raporu esas alınmıştır.

Dicle Nehri Havzasında yer alan bir diğer önemli baraj olan Dicle Barajının 3 radyal dolusavak kapağından birinin 13.12.20218 tarihinde kopması sonucu mansapta bazı yerleşim yerleri tahliye edilmiş ve ilk etapta yapılan deşarj sonucu su seviyesi yer yer 4 metre artmıştır. Batman Barajının 2021 yılı muayene raporu incelendiğinde; özellikle mekanik aksamda yaşa bağlı korozyon ve deformasyonların oluştuğu gözlemlenmiş olup senelik bakımları eksiksiz olarak yapıldığı görülmüştür.

Batman Barajının yıkılma senaryosu için radyal kapaklı dolusavakların çalışmama senaryosu göz önüne alınarak rezervuardaki suyun kretten aşma ihtimali göz önüne alınmıştır.

Metod

Batman Barajının yıkılma analizi için öncelikle çalışma alanına ait haritalar temin edilmiştir. 1/25000'lik sayısal haritalara, dere yatağına ait 1/1000'lik haritalar da uyarlanmış, böylelikle baraj yıkılması sonrası başlangıç debisinin daha doğru bir yol izlemesi sağlanmıştır. Yıkılma analizinin modelleme çalışmaları HEC-RAS (v 6.2) yazılımıyla yapılmış olup bu program ücretsiz olarak kullanıcılara sunulmaktadır.

HEC-RAS programı

HEC-RAS programının ilk versiyonu (1.0) 1995 yılında piyasaya sürülmüş, 2022 yılının mart ayında yayımlanan 6.2 versiyonu ise birçok yenilik içermektedir.

Amerikan ordusuna (USACE) bağlı olan Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından geliştirilen HEC-RAS programının yazılımında Gary W. Brunner baş rol oynamıştır. Kullanıcı ara yüzü ve grafikleri Mark R. Jensen tarafından yapılan programın su yüzü profil analiz modülleri Steven S. Piper, sediment taşınım modülü Stanford Gibson ve su kalitesi modülü ise Cindy Lowney ve Mark R. Jensen tarafından tasarlanmıştır [15].

HEC-RAS programı yardımıyla modellenen baraj yıkılma analizlerinde bir veya iki boyutlu Saint-Venant denklemleri kullanılmaktadır.

Akım derinliğinin; uzunluğuna nazaran çok küçük olduğu ve sığ olarak tanımlanabilecek problemlerde, bazı basitleştirmeler sonucu oluşturulan denklemler oldukça pratiktir. Sığ olarak tanımlanabilecek baraj yıkılmaları, yerçekimi etkisi altında hareket eden değişken açık kanal akımı problemlerinin çözümünde Saint-Venant denklemleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu denklemler, Navier-Stokes denklemlerinin basitleştirilmesi ya da kütle ile momentumun korunumu denklemlerinin bir kontrol hacmine uygulanmasıyla elde edilmiştir. Elde edilen denklemlerdeki değişkenler, derinlik ortalamalı olarak ifade edildiğinden, bilinmeyenler hız ve yükseklik olmaktadır. Bunun sonucu olarak da su seviyeleri doğrudan hesaplanabilmektedir [6].

HEC-RAS programıyla yapılan modellemelerde; Froehlich (1995a,2008), MacDonald ve Langgridge-Monopolis (1984), Von Thun ve Gilette (1990) ile Xu ve Zhang (2009) yaklaşımlarıyla hazır olarak seçenekler sunulmaktadır.

USACE tarafından yapılan bir kıyas çalışmasında aynı model için her bir yaklaşım biçimi modellenmiştir. Her ne kadar baraj yıkılmasının ilk anındaki pik hidrograf değerleri farklılık gösterse de 16 kilometre uzaklık itibarıyla taşkın hidrograflarının büyük oranda benzeştiğini ortaya koymuştur [12].

Batman il merkezinin, Batman Barajından 30 kilometre kadar uzakta olduğu göz önüne alınarak analiz parametreleri için Froehlich (2008) yaklaşımı kullanılmıştır. Bu değerler aşağıda verilmektedir;

$$B_{ort} = 282 \text{ m}$$

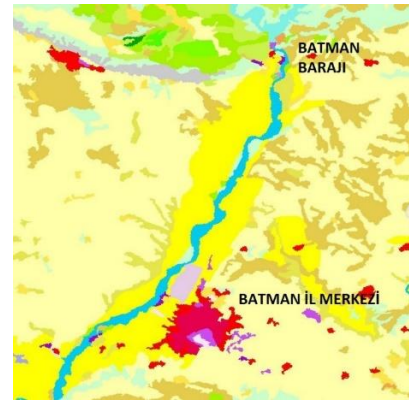
$$t_f = 3,92 \text{ saat}$$

Yıkılma analizi için ihtiyaç duyulan bir diğer parametre de pürüzlülük katsayısıdır.

Genel olarak debi (Q) değeri hesaplanırken hidrolik yarıçap, hidrolik eğim ve kesit alan değerleri ölçümlerle belirlenebilmesine rağmen pürüzlülük katsayısı için böyle bir ölçüm imkânı yoktur. Akarsu yatak özelliğine göre değişen pürüzlülük katsayısı, daha çok gözlem yoluyla tespit edilmektedir [16].

Dere yatakları için kullanılan Cowan yaklaşımı yerine daha geniş alanların göz önüne alınmasını sağlayan Corine Land Cover (CLC) haritaları kullanılarak pürüzlülük katsayısı tespit edilmiştir.

CORINE (Coordination of Information on the Environment), Avrupa Birliği ülkeleri kapsamında 1980'lerin ortalarından beri, belirli periyodlarla tüm üye ülkeleri kapsayacak şekilde Arazi Örtüsü/Arazi Kullanımı belirleme amaçlı olarak uygulanan bir sistemdir [17]. Ülkelerinin tamamına ait bir arazi kullanım haritası üretmek, standart bir veri tabanı oluşturmak ve çevresel politikaların belirlenmesi gibi temel amaçlarla tasarlanmıştır [18].



Şekil 6. Çalışma alanına ait CORINE görüntüsü

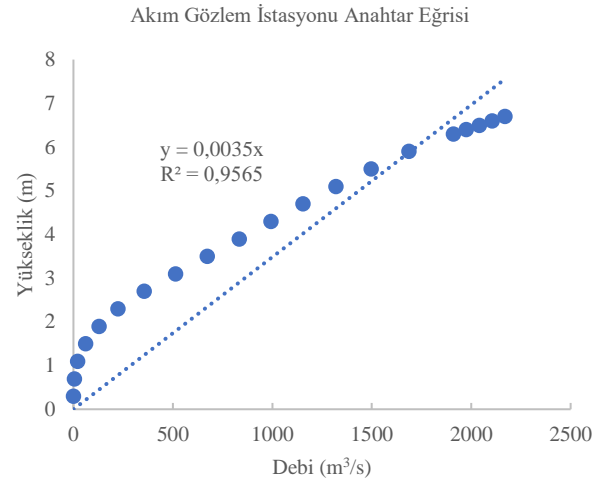
En son 2018 yılında güncellenen haritalar esas alınarak Batman Barajının yıkılması sonrası oluşacak taşkın dalgasının geçeceği yerler, CORINE haritasında, Şekil 6'da gösterildiği şekilde belirlenmiştir. Arazi örtüsünün ağırlıklı oranları göz önüne alınarak çalışma alanı için belirlenen Manning pürüzlülük katsayısı Tablo 4'te verilmiştir.

ARAZİ TÜRÜ	KODU	ORANI (%)	PÜRÜZLÜLÜK KATSAYISI
Sürekli kentsel doku	111	0,37	0,013
Sürekli olmayan kentsel doku	112	0,16	0,013
Endüstriyel veya ticari alanlar	121	0,09	0,013
Havalimanları	124	0,17	0,013
Maden sahaları	131	0,04	0,013
Spor ve eğlence alanları	142	0,04	0,025
Sulanmayan tarım alanları	211	44,17	0,030
Sulanan tarım alanları	212	37,93	0,030
Meralar	231	0,59	0,035
Karışık tarım alanları	242	0,18	0,040
Doğal bitki örtüsü	243	1,25	0,050
Doğal çayırliklar	321	0,11	0,040
Ormanlık-çalı geçiş alanları	324	0,06	0,060
Kumluk alanlar	331	0,01	0,025
Seyrek bitki alanları	333	11,38	0,027
Bataklıklar	411	0,03	0,040
Su kanalları	511	3,39	0,050
Su kütleleri	521	0,05	0,070
MANNING KATSAYISI=			0,0305

Tablo 4. Arazi sınıflandırmasına göre pürüzlülük katsayısı [19]

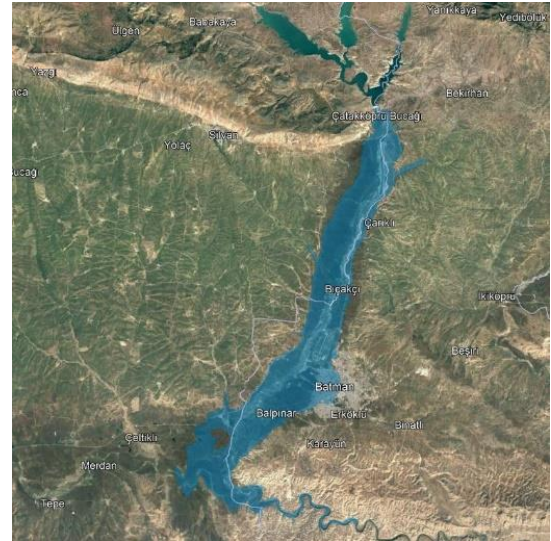
Yapılan modelleme çalışmalarında en önemli hususlardan birisi de kalibrasyon yani doğrulama işlemidir. Oluşturulan modelin ölçülebilir verilerinin saha ölçümleriyle uyumu, modelin doğruluk derecesini vermektedir.

Kalibrasyon çeşitli şekillerde yapılabilir. Bunların en çok başvurulanı, modele giriş hidrografi verilirken akarsu ağının herhangi bir noktasında ölçüm istasyonlarındaki hız, seviye ölçümlerini kullanarak modeli doğrulamaktır. Bu tür modeller genel olarak üç şekilde yapılır; laboratuvarında yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verileri, dünyada kabul görmüş bir kaynaktan yararlanmak ve modelin bulunduğu sahada ölçüm yapmak. En ideal olanı, arazide daha evvel meydana gelmiş feyzanların yapılmış ölçümlerinden faydalanmaktır. Ölçümler alınamamış olsa bile mevcut fotoğraflardan ve olaya tanık olmuş kişilerden bilgi edinerek sınırlar tespit edilebilir [3].



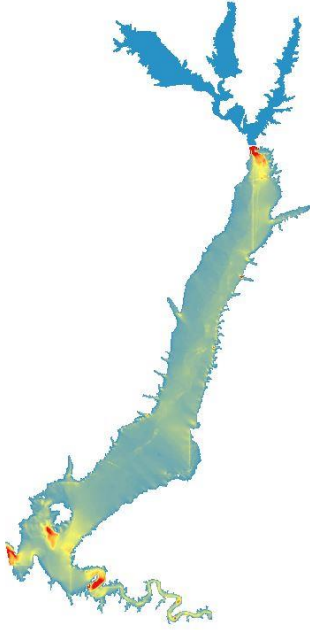
Şekil 7. Batman çayı AGİ anahtar eğrisi

Batman Barajının yıkılma analizi için ölçümlere dayalı kalibrasyon yöntemi seçilmiştir. Barajın mansabında yer alan E26A012 numaralı Batman Çayı akım gözlem istasyonuna ait ve Şekil 7'de verilen anahtar eğrisi kullanılarak doğrulama yapılmıştır. Aynı harita kullanılarak 1 boyutlu analiz sonuçlarıyla akım gözlem istasyonu verileri karşılaştırılarak kalibrasyon yapılmıştır.



Şekil 8. Batman Barajı yıkılması sonrası oluşmuş muhtemel taşkın dalgası

Yapılan analiz sonuçları doğrultusunda; Şekil 8'de görüldüğü üzere yayılım haritası ortaya çıkmıştır. Şekil 9'da verilen akış hızına bağlı olarak renklendirilmiş harita oluşturulmuştur. Özellikle kesitin daraldığı kesimlerde 8 m/s değerlerini gören kısımlar haricinde (kırmızı alanlar), ova boyunca yayılım gösteren suyun akış hızı 1~2 m/s dolaylarında kalmıştır.

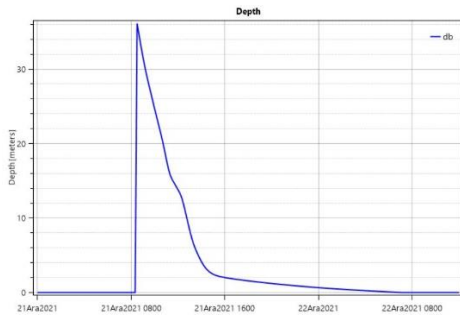


Şekil 9. Taşkın dalgası hız dağılım haritası

Baraj yıkılması sonrası ortaya çıkan taşkın yayılım haritasının ayrıntılı incelemesi için Şekil 10'da gösterildiği üzere en kesit hattı belirlenmiştir. Alınan en kesit boyunca su yüzü profili incelendiğinde; kesitin en derin yer olan Batman Çayı taban kotundan itibaren Şekil 11'de anlaşılacağı üzere 35 metreyi bulan bir taşkın dalgasının oluştuğu tespit edilmiştir.



Şekil 10. Taşkın dalgası azami yükseklik haritası



Şekil 11. En kesit alınan kısımdaki Batman Çayı su yüzü yükseklik değişimi

Sonuç

Bu çalışmayla; küresel ısınma sonucu ortaya çıkan iklim değişikliğiyle beraber düzensizleşen hidrolojiye bağlı olarak baraj güvenliğinin önemi bir kez daha vurgulanmıştır. Risk faktörlerinin daha sağlıklı ortaya konulması bağlamında mevcut durumun iyi analiz edilmesi, baraj yıkılma mekaniğinin anlaşılabilmesinde en temel faktörlerden biri olduğu ortaya konulmuştur. Buna yönelik olarak yakın zamanda gerçekleşen olaylardan yola çıkılarak özellikle hidrolojik rasatlar ve barajın muayene raporları esas alınarak daha gerçekçi yıkılma senaryolarının oluşturulması önem arz etmektedir.

Taşkın yayılım haritası göz önüne alındığında; milli güvenlik için büyük önem taşıyan Batman Havalimanı da dahil olmak üzere Batman ili merkezi, Diyarbakır – Batman otoyol köprüsü, Batman – Bitlis ulaşım yolu ve birçok yerleşim yerinin sular altında kaldığı görülmüştür. Büyük can kayıplarının yanı sıra ilk yardım ve acil müdahale imkanlarını engelleyecek ulaşım sıkıntılarının ortaya çıkması kaçınılmazdır.

Özellikle kapaklı dolusavağa sahip barajlarda; işletme ve bakım konusunda ciddi tedbirlerin alınması yaşanabilecek afetlerin önüne geçilmesinde etkili olacaktır. Yapılan analiz sonuçları esas alınarak; imar ve acil durum planlarına bağlı haritalandırmalar yapılabilecektir. Risk durumunun ortaya konulmasıyla tehlike anında erken uyarı sistemleri gibi bazı önlemlerin alınmasıyla tepki süresi uzatılarak can ve mal kayıplarının azaltılması hedeflenebilir.

Teşekkür

Bu araştırma makalesi, Mühendislik 20.006 no'lu doktora tezi kapsamındaki proje ile Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Koordinatörlüğü'nce desteklenmiştir. Bu nedenle yazarlar, destek sağlayan Dicle Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje Ofisine (DÜBAP) teşekkür ederler.

Kaynaklar

- [1] ICOLD 2022 ,https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp
- [2] Prof. Dr. C.Erkek, Prof. Dr. N. Ağırlioğlu, “Su Kaynakları Mühendisliği”, İstanbul, 1993, sayfa 217
- [3] A. Em, “Kralkızı ve Dicle Barajlarının Yıkılması Sonrası Nümerik Taşkın Modellemesi ve Simülasyonu”, Doktora tezi, Dicle Üniversitesi, 2021
- [4] A. Em, N. Hamidi, “Kralkızı ve Dicle Barajlarının Yıkılması Sonrası Nümerik Taşkın Modellemesi ve Simülasyonu”, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 12 (3), Diyarbakır, 202, sayfa 535-541
- [5] N. Palamut, “Baraj Yıkılma Analizi ve Uygulaması”, Yüksek Lisans tezi, İnşaat Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi, 2014
- [6] S. Kocaman, “Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi”, Doktora tezi, İnşaat Ana Bilim Dalı, Çukurova Üniversitesi, 2007
- [7] M.Ş. İmamoğlu, İ. Bedirhanoglu, 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, pp 158 - 174, 2018

- [8] D. Yıldız, “*Baraj Güvenliği ve Barajlarda Kapaklı veya Kapaksız Dolusavakların Tercih Üzerine Düşünceler*”, DSİ Teknik Bülteni No:75, sayfa 18, 1972
- [9] Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, “*Baraj Emniyeti Rehberi*”, Rev.1, Ankara 2014
- [10] K. Ö. Çetin, H. T. Bilge, “*Dolgu Barajlarda Ölçüm Sistemleri*”, sayfa 2, Ankara, 2015
- [11] J. E. Costa, “*Floods From Dam Failures*”, Denver, 1985, pp 1
- [12] G. Brunner, “*Using HEC-RAS for Dam Break Studies*”, Kaliforniya, 2014, sayfa 11-12, pp 41
- [13] T. Dinçerkök, “*Baraj Emniyeti ve Baraj Güvenliği*”, Baraj Emniyeti ve Ölçüm Sistemleri Çalıştayı, İstanbul, 2012
- [14] Devlet Su İşleri 10. Bölge Müdürlüğü, “*Batman Projesi Planlama Raporu*”, Diyarbakır, 1983
- [15] H. Efe, “*Batman Çayı'nın taşkın analizinin HEC-RAS programıyla yapılması*”, Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, 2014
- [16] H. Efe, F. Önen, “*Batman Çayı'nın taşkın analizinin HEC-RAS programıyla yapılması*”, Dicle Üniversitesi Mühendislik Dergisi, 10 (2), Diyarbakır, 2015, sayfa 83 - 92
- [17] L. Disperati, S. G. P. Virdis, “*Assessment of land-use and land-cover changes from 1965 to 2014 in Tam Giang-Cau Hai Lagoon, central Vietnam*”, Applied Geography, 2015, pp 48-64.
- [18] L. Başayığit, “*CORINE Arazi Kullanımı Sınıflandırma Sistemine Göre Arazi Kullanım Haritasının Hazırlanması: Isparta Örneği*”. Tarım Bilimleri Dergisi, 10 (4), 2004, sayfa 366-374
- [19] G. Papaioannou, A. Efstratiadis, L. Vasiliades, A. Loukas, S. Michael Papalexiou, A. Koukouvinos, I. Tsoukalas, P. Kossieris., “*An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungagged Urban Areas*”. MDPI - Publisher of Open Access Journals, 2018, pp 11