

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



BARAJ YIKILMASI TAŞKIN RİSK ANALİZİ
YEŞİLDERE BARAJI ÖRNEĞİ

Can YILDIZ

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

MART, 2021

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

BARAJ YIKILMASI TAŞKIN RİSK ANALİZİ
YEŞİLDERE BARAJI ÖRNEĞİ

Tez Yazarı

Can YILDIZ

Danışman

Prof. Dr. Mualla ÖZTÜRK

MART, 2021
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı:	Baraj Yıkılması Taşkın Risk Analizi Yeşildere Barajı Örneği
Yazarı:	Can YILDIZ
İlk Teslim Tarihi:	22.2.2021
Savunma Tarihi:	29.3.2021

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

	<i>İmza</i>	
Danışman:	Prof. Dr. Mualla ÖZTÜRK Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Ahmet BAYLAR Eskişehir Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım
Üye:	Doç. Dr.M. Cihat TUNA Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza
Doç. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Baraj Yıkılması Taşkın Risk Analizi Yeşildere Barajı Örneği” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

29.03.2021

Can YILDIZ



ÖNSÖZ

Birçok amaca hizmet eden barajların dış müdahaleler veya yapısal hatalardan dolayı zarar görüp yıkılması durumunda; rezervuarlarında biriktirdikleri milyonlarca metreküplük sular mansap bölgesinde taşkınların oluşmasına neden olacaktır. Meydana gelecek taşkınların boyutları ve zararları, doğal afetlerden meydana gelen taşkınlardan daha fazla olacaktır. Muhtemel oluşabilecek baraj yıkılmalarının zararlarını aza indirebilmek için yıkılma analizlerinin yapılması ve önceden gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

Bu tez çalışmasında; Bursa İli Karacabey İlçesinde yapımı devam eden Yeşildere Barajı'nın yıkılma analizi yapılmış ve baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkınların risk haritaları, oluşma zamanları ve su yükseklikleri ile ilgili bilgiler elde edilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen risk haritaları, erken uyarı sistemlerinin, acil eylem ve müdahale planlarının hazırlanmasına katkı sağlayacaktır.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca değerli bilgilerini ve görüşlerini benimle paylaşan saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Mualla ÖZTÜRK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışmalarımda gerekli kaynakların ve verilerin temin edilmesinde bana yardımcı olan ve büyük desteklerini gördüğüm DSİ 12. Şube Müdürlüğü (Karacabey)'nde bulunan çok kıymetli mesai arkadaşlarıma ve Harita Mühendisi Emrah ÇİTRAK'a teşekkürlerimi sunarım.

Yaşamım ve öğrenim hayatım boyunca beni hep destekleyen ve her zaman yanımda olan eşim ve biricik oğlum Ali Mert'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Can YILDIZ

ELAZIĞ, 2021

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	x
1. GİRİŞ	1
2. BARAJ YIKILMASI	6
2.1. Dünyadaki Mevcut Barajların Durumu	6
2.2. Türkiye’deki Barajların Durumu	9
2.3. Barajların Yıkılma Nedenleri.....	13
2.4. Baraj Tipleri İçin Muhtemel Yıkılma Türleri	14
2.5. Tarihteki Baraj Yıkılma Olayları	15
3. ÇALIŞMA ALANI	18
3.1. Proje Alanı Hakkında Genel Bilgi	18
3.2. Yeşildere Barajı	18
3.3. Yeşildere Barajı Karakteristik Bilgileri	21
3.4. Yeşildere Barajı Deprem Durumu	22
4. MATERYAL VE METOT	23
4.1. Çalışmada Kullanılan Programlar	23
4.1.1. Netcad 5.1 Programı Hakkında Genel Bilgiler	23
4.1.2. ArcMAP 10.1 Programı Hakkında Genel Bilgiler.....	23
4.1.3. HEC-RAS 5.0.6 Programı Hakkında Genel Bilgiler	24
4.2. İki Boyutlu Taşkın Modelleme	28
4.2.1. ArcGIS Programında Yapılan İşlemler	28
4.2.2. HEC-RAS Programında Yapılan İşlemler	33
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	48
6. SONUÇLAR	53
ÖNERİLER	54
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Baraj Yıkılması Taşkın Risk Analizi Yeşildere Barajı Örneği

Can YILDIZ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Mart 2021, Sayfa x+56

Güvenli yapılar olarak bilinen ve birçok amaca hizmet eden barajlar aşırı yağış, yapısal hatalar ve deprem gibi nedenlerden dolayı yıkılabilirler. Yıkılmaları sonucunda oluşacak taşkın dalgaları büyük felaketlere yol açacaktır. Baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkınların modellenmesiyle meydana gelebilecek zararlar en aza indirilebilir. Bu tez çalışmasında; Bursa İli Karacabey İlçesinde yapım çalışmaları devam eden ve mansabında yerleşim yeri bulunan Yeşildere Barajı'nın iki boyutlu yıkılma analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın amacı, baraj yıkılması durumunda oluşan taşkının mansapta yer alan yerleşim yerine ulaşip ulaşamayacağı ve ulaşma zamanının belirlenmesidir. Yeşildere Barajı ve mansap bölgesine ait sayısal haritalar ArcGIS yazılımı ile düzenlenmiş ve yıkılma analizi USACE tarafından geliştirilen HEC-RAS programı tarafından yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda mansap bölgesinde bazı yerleşim bölgelerinin taşkından etkilendiği tespit edilmiş ve taşkın risk haritaları oluşturularak maksimum su seviyeleri ve bu seviyelerin oluşma zamanları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baraj Yıkılması, Taşkın, HEC-RAS, 2B Modelleme, Yeşildere Barajı

ABSTRACT

Dam Break Flood Risk Analysis; An Example of Yeşildere Dam

Can YILDIZ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY
Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering
March 2021, Pages: x+56

The dams, known as safe structures and serving many purposes, can be demolished due to excessive precipitation, structural errors, and earthquakes. Flood waves that will occur as a result of their demolish will lead to great disasters. By modelling the floods that may occur as a result of the demolition of the dam, the damages that may occur can be minimized. In this thesis study; Two-dimensional demolition analysis of Yeşildere Dam, which is under construction in the Karacabey District of Bursa Province and has a settlement in downstream, was carried out. The aim of the study is to determine whether the flood that occurs in the event of the demolition of the dam will reach the settlement downstream, and the time to reach its. Numerical maps of the Yeşildere Dam and downstream region were edited by ArcGIS software and the collapse analysis was done by the HEC-RAS program developed by USACE. As a result of the analysis, it was determined that some settlements in the downstream area were affected by the flood, and by creating flood risk maps, the maximum water levels, and the timing of these levels were determined.

Keywords: Dam Break, Flood, HEC-RAS, 2D Modelling, Yeşildere Dam

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1. ICOLD’a göre dünyadaki tek ve çok amaçlı barajlar	7
Şekil 2.2. ICOLD’a göre tek amaçlı barajların amaçlarına göre dağılımı	7
Şekil 2.3. ICOLD’a göre çok amaçlı barajların amaçlarına göre dağılımı	8
Şekil 2.4. ICOLD'a göre dünyadaki barajların tiplerine göre dağılımı	9
Şekil 2.5. Cumhuriyet tarihimizin ilk barajı, Çubuk I Barajı	10
Şekil 2.6. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli	11
Şekil 2.7. Türkiye'deki 25 hidrolojik havza	11
Şekil 2.8. Baraj türlerine göre yıkılma yüzdeleri	15
Şekil 2.9. İtalya'daki Vajont Barajı	16
Şekil 2.10. Çin'deki Banqiao Barajı	16
Şekil 2.11. ABD'deki Teton Barajı	17
Şekil 3.1. Çalışma alanının Türkiye’deki yeri	18
Şekil 3.2. Baraj gövdesi genel yerleşim planı	19
Şekil 3.3. Baraj gövdesi enkesiti	19
Şekil 3.4. Yeşildere Barajı memba görünüşü	20
Şekil 3.5. Yeşildere Barajı mansap görünüşü	20
Şekil 3.6. Türkiye Deprem Tehlike Haritası	22
Şekil 4.1. Çalışma alanına ait TIN verisi	29
Şekil 4.2. Çalışma alanına ait raster veri	30
Şekil 4.3. Polygon formatına çevrilmiş binalar	31
Şekil 4.4. Raster formatına dönüştürülmüş bina katmanı	32
Şekil 4.5. Birleştirilmiş nihai raster veri	33
Şekil 4.6. Nihai raster veriye ait birim özelliği	34
Şekil 4.7. HEC-RAS'ta kullanılan projeksiyon sisteminin tanımlanması	34
Şekil 4.8. New Terrain Layer penceresi	35
Şekil 4.9. HEC-RAS ortamına alınmış Terrain Layer	35
Şekil 4.10. Raster verisi ile çalışma alanının görüntüsü	36
Şekil 4.11. Tanımlanmış taşkın alanı	37
Şekil 4.12. İki boyutlu taşkın alanı özellikleri	37
Şekil 4.13. Tanımlanmış göl alanı	38
Şekil 4.14. Hacim-satıh eğrisi değerleri	38
Şekil 4.15. Yeşildere Barajı Hacim-satıh eğrisi	39
Şekil 4.16. Mansap sınır şartı çizgisi	39
Şekil 4.17. MacDonald et al yıkılma parametreleri	40
Şekil 4.18. Froehlich 1995 yıkılma parametreleri	40
Şekil 4.19. Froehlich 2008 yıkılma parametreleri	41

Şekil 4.20.	Von Thun & Gillete yıkılma parametreleri	41
Şekil 4.21.	Xo & Zhang yıkılma parametreleri	42
Şekil 4.22.	Çeşitli yöntemlerle hesaplanmış taşkın hidrografları	43
Şekil 4.23.	Mansap çıkış sınır koşulları	44
Şekil 4.24.	Initial Conditions (Başlangıç sınır) değerleri	45
Şekil 4.25.	Unsteady flow analysis (Kararsız akım analizi) editörü	46
Şekil 4.26.	Unsteady Calculation Options and Tolerances editöründe	46
Şekil 4.27.	Simülasyon sonuç ekranı	47
Şekil 5.1.	Yeşildere Barajı 10. dakikadaki taşkın risk haritası	48
Şekil 5.2.	Yeşildere Barajı 20. dakikadaki taşkın risk haritası	48
Şekil 5.3.	Yeşildere Barajı 30. dakikadaki taşkın risk haritası	49
Şekil 5.4.	Yeşildere Barajı 40. dakikadaki taşkın risk haritası	49
Şekil 5.5.	Yeşildere Barajı 50. dakikadaki taşkın risk haritası	50
Şekil 5.6.	Yeşildere Barajı 60. dakikadaki taşkın risk haritası	50
Şekil 5.7.	Yeşildere Barajı maksimum taşkın risk haritası.....	51
Şekil 5.8.	Yeşildere Barajı taşkın yayılım hız haritası	51
Şekil 5.9.	Yerleşim yerine ulaşan taşkın dalgalarının yükseklikleri.....	52
Şekil 5.10.	Bursa-Çanakkale yoluna ulaşan taşkın dalga yükseklikleri	52

TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Cumhuriyet öncesi ülkemizde inşa edilen bentler	9
Tablo 2.2. Türkiye'deki havzaların potansiyelleri	12
Tablo 2.3. Türkiye'deki su yapıları	13
Tablo 2.4. Baraj tipleri için muhtemel yıkılma türleri.....	14
Tablo 2.5. Dünyada gerçekleşen önemli baraj yıkılmaları	17
Tablo 3.1. Yeşildere Barajı karakteristik bilgileri	21
Tablo 4.1. Rezervuar büyüklüğüne göre Cb katsayısı.....	27
Tablo 4.2. Yeşildere Barajı yıkılma parametreleri ve hesaplanan pik debiler.....	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	: Enkesit alanı
$\bar{B}$	: Baraj yıkılma ortalama genişliği
Bb	: Taban yıkılma genişliği
Bt	: Nihai baraj yıkılma taban genişliği
Cb	: Rezervuar büyüklüğüne bağlı katsayı
g	: Yerçekimi kuvveti
hb	: Baraj yüksekliği
hd	: Baraj gövde yüksekliği
hw	: Rezervuar su yüksekliği
Sf	: Eğim değeri
t	: Zaman
tf	: Baraj yıkılma süresi
Q	: Enkesitten geçen debi
Q _{pik}	: Maksimum debi
x	: Suyun boyuna uzunluğu
V _m	: Gövdeden akacak malzeme hacmi
V _w	: Rezervuardan akacak su hacmi
z	: Su yüzeyi seviyesi

Kısaltmalar

BUSKİ	: Bursa Su ve Kanalizasyon Genel Müdürlüğü
BYT	: Baraj Yıkılması Taşkını
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
CORINE	: Çevresel Bilgi Koordinasyonu (Coordination of Information the Environment)
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
HEC-RAS	: Hydrologic Engineering Centers River Analysis System
ICOLD	: Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (International Commission on Large Dams)
NWS	: Ulusal Hava Servisi (National Weather Service)
SSB	: Silindirle Sıkıştırılmış Beton Baraj
TIN	: Düzensiz Üçgen Ağ (Triangular Irragular Network)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
USACE	: U.S. Army Corps of Engineers

1. GİRİŞ

Akarsular üzerine inşa edilen barajlar, içme suyu temini, tarımsal sulama, taşkın kontrolü sağlamak, endüstri suyu temini, elektrik üretimi, rekreasyon aktiviteleri, katı madde hareketinin kontrolü ve balıkçılık faaliyetleri gibi farklı amaçlara yönelik inşa edilmektedir. Barajlar hizmet ettikleri amaçlar doğrultusunda ülkelerin ve toplumların gelişmesine ciddi derecede katkı sağlayarak uygarlık seviyelerini yükseltmektedir. Gelişmiş ülkeler hemen hemen ihtiyaç duydukları barajları tamamlamışken, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkeler ise baraj sayılarını arttırmaya çalışmaktadır (Karakaya, 2005).

Ülke ekonomisine kattıkları katma değerlerle önemli yere sahip olan barajlar aynı zamanda rezervuarlarında bulundurdıkları büyük miktarlardaki su potansiyellerinden dolayı risk taşımaktadır. Olası bir baraj yıkılması, özellikle mansap bölgesinde yerleşim yerleri bulunması halinde önemli can ve mal kayıplarına neden olacaktır (Palamut, 2014).

Güvenli yapılar olan barajların önde gelen yıkılma nedenleri; temellerindeki hatalar, rezervuarlarında meydana gelen taşkın dalgalarının gövde üzerinde aşmaları ve baraj gövdesinde borulanma olarak sıralanabilir (Pakniyat, 2015).

Tamamen baraj yıkılma olaylarını önlemenin imkansız olmasından dolayı oluşabilecek yıkılmaların etkilerini en aza indirebilecek tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bunun için uzman kişiler tarafından gözlemlerin yapılması, deneysel ve teorik uygulamalarla oluşturulacak modellemeler ile oluşacak taşkın dalgalarının yükseklikleri, yayılma alanları, risk haritaları ve taşkın süreleri gibi veriler elde edilerek acil durum planları hazırlanmalıdır (Kocaman S. , 2002).

Günümüzde teknolojinin ilerlemesi ile 2 ve 3 boyutlu sayısal modelleme yapabilen paket programlar geliştirilmiştir. FLO-2D, HEC-RAS 5, MIKE21 ve SOBEK gibi 2 boyutlu analiz yapabilen paket programlar ile baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın yayılım haritaları oluşturularak taşkın simülasyonları yapılabilmektedir. Ayrıca 3 boyutlu ve daha hassas sonuçlar verebilen FLOW-3D gibi paket programlar yardımıyla da taşkın analizleri yapılarak simülasyonlar oluşturulmaktadır (Pakniyat, 2015).

Ülkemizde barajların olası yıkılmaları sonucu oluşabilecek taşkın tehlike boyutlarının belirlenmesi ve risk haritalarının oluşturulması amaçlı sayısal analizler ve çalışmalarda artışlar gözükmemekte olup konu ile ilgili kurumlarla bilgi paylaşımı yapıldığı görülmektedir (Bozkuş & Güner, 2001).

Bu çalışmanın amacı; Marmara Bölgesinde bulunan Bursa İl'inin Karacabey İlçesinde bulunan Yeşildere Barajı'nın aşırı yağışlardan, barajın yapısal problemlerinden veya deprem gibi nedenlerden dolayı oluşabilecek baraj yıkılmasının 2 boyutlu analizini yaparak, mansabında taşkın yayılım haritalarının ve risk haritalarının oluşturulup, maksimum su seviyelerinin ve oluşma zamanlarının belirlenmesidir. Yeşildere Barajı'nın mansap bölgesinde yerleşim yerlerinin

bulunması ve daha önceden de herhangi bir taşkın riskine karşılık çalışma yapılmamasından dolayı taşkın risk haritalarının oluşturulması ile taşkın yerleşim yerine varış süresinin tespit edilmesi önem arz etmektedir. Bu tür yaşanan afetlerde insanların o bölgeyi tahliye etme süreleri oldukça kısa olup önceden belirlenen güvenli yerlere gitmeleri gerekmektedir. Yeşildere Barajı'nın yıkılma analizi yapılarak elde edilecek risk haritaları, yerleşim yerindeki insanların erkenden uyarılarak zamanında güvenli yerlere tahliyelerinin gerçekleştirilmesi açısından önemli bilgileri barındıracaktır. Yeşildere Barajı'nın mansap bölgesinde, Yeşildere Mahallesi'nin bulunması ve baraja ortalama 1 km uzaklıkta olmasından dolayı; olası bir baraj yıkılması durumunda risk altında olacak ve kısa sürede taşkın dalgalarına maruz kalacaktır.

Baraj yıkılma analizleri ile ilgili önceden yapılmış olan çalışmalar hakkında yapılan literatür araştırmaları aşağıda yer almaktadır.

Kocaman (2002), çalışmasında barajların su temininde, taşkın kontrolünde, enerji üretiminde ve rekreasyon gibi pek çok amaç için kullanıldığını ve güvenli su yapıları olmalarına rağmen geçmişte yaşanan baraj yıkılma felaketlerinden dolayı her barajın yıkılma riskine sahip olduğunu belirtmiştir. Barajların yıkılma risklerinin bulunmasından dolayı mansap bölgesinde yıkılmadan dolayı oluşan taşkınların can ve mal kayıplarına neden olacağı belirtilmiştir. Çalışmasında Adana İli Kozan İlçesinde bulunan ve mansap bölgesinde ilçe merkezinin bulunduğu Kozan Barajı'nın yıkılma analizi yapılmıştır. Baraj yıkılma analizinde National Weather Service (Ulusal Hava Servisi) tarafından geliştirilen NWS FLDWAV programı kullanılmıştır. Çalışmada yıkılma parametrelerinin taşkın dalgalarının büyüklüğünü ve sürelerini etkilediği ayrıca mansap bölgesinin pürüzlülük değerlerinin de taşkın hızlarını ve yüksekliklerini etkilediğini tespit etmiştir (Kocaman S. , 2002).

Bayraktar (2004), çalışmasında baraj yıkılma sonucu oluşan taşkın dalgalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak daha sağlıklı haritaların oluşturulacağı belirtilerek CBS yardımıyla risk haritalarının oluşturulması incelenmiştir. Çalışmada Alibeyköy Barajı'nın yıkılma analizi CBS yardımıyla oluşturulan sayısal yükseklik haritalarının OPEN GL ve DELPHI programları kullanılarak 3 boyutlu model haline dönüştürülerek yapılmıştır. Çalışma sonucunda CBS ve uzaktan algılama sistemlerinin taşkın risk haritalarının oluşturulmasında başarılı bir şekilde kullanıldığı tespit edilerek ülkemizde bulunan bütün barajlar için erken uyarı sistemlerinin kurulması tavsiye edilmiştir (Bayraktar, 2004).

Karakaya (2005), çalışmasında Bartın İli sınırlarında ve Gökırmak nehri üzerinde bulunan Kirazlıköprü Barajı'nın farklı hidrolik senaryolar altında baraj yıkılma analizlerini yaparak baraj mansabında meydana gelebilecek olumsuz durumlar tespit edilmiştir. Çalışmasında National Weather Service (Ulusal Hava Servisi) tarafından geliştirilen NWS FLDWAV programı kullanılmıştır. FLDWAV programında farklı baraj yıkılma parametreleri kullanılarak sonuçları karşılaştırılmıştır. Kirazlıköprü Barajı'nın yıkılma senaryoları sonucunda mansap bölgesinde yer

alan yerleşim yerlerinin taşkına maruz kaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda acil durum planlarının yapılabileceği ve erken uyarı sistemleri kurularak olası can ve mal kayıplarının aza indirilebileceği belirtilmiştir (Karakaya, 2005).

Özdemir vd. (2011), çalışmasında insan kaynaklı olarak inşa edilen baraj gibi büyük su yapılarının yıkılması durumunda oluşacak taşkınların doğa kaynaklı olan taşkınlardan daha fazla yıkıcı etkilere neden olduğunu belirterek bu yapıların çökmesi halinde oluşacak taşkınları incelemiştir. Çalışmasında Çanakkale İlinde bulunan Çokal Barajı'nın menba batardosunun 16 Kasım 2007 yılında meydana gelen aşırı yağışlardan dolayı çöktüğünü ve 12,30 hm³'lük suyun Kavak-Evreşe ovasına akıp tarım alanlarına zarar verdiğini belirterek olası baraj gövde çökmesi analizini HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) programı ile yaparak oluşacak tehlikeleri incelemeyi amaçlamıştır. Çalışma sonucunda 2007 yılında meydana gelen memba batardosunun yıkılması sonucu oluşan taşkın alanının HEC-RAS programı sonuçlarıyla yakın olduğu görülmüştür. Ayrıca baraj gövdesinin yıkılması durumunda taşkın yayılım haritası oluşturularak baraj mansabında bulunan Kavak Beldesine taşkın 3 saat 12 dakika sonra ulaşacağı belirtilerek yerleşim yerinde bulunan insanların tahliyesi için yeterli bir süre olduğu tespit edilmiştir (Özdemir, Akbulak, & Özcan, 2011).

Palamut (2014), çalışmasında baraj mansap bölgesinde yerleşim yerlerinin bulunması durumunda oluşacak bir baraj yıkılması anında tehlikelerin boyutunu saptamanın önemli olduğunu belirtmiştir. Çalışmasında İzmir İli Ödemiş İlçesinde bulunan ve mansap bölgesinde yerleşim yeri bulunan Rahmanlar Barajı'nın bir ve üç boyutlu yıkılma analizleri gerçekleştirilmiştir. Baraj mansabında bulunan yerleşim yerlerinin taşkından etkilenip etkilenmediğinin tespiti amaçlanmıştır. Bir boyutlu analizler için HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) programı üç boyutlu analizler için ise hesaplamalı akışkanlar dinamiği programı olan FLOW-3D kullanılmıştır. HEC-RAS programı ile yapılan bir boyutlu baraj yıkılması analizlerinde yerleşim yerlerinin etkilendiği belirtilmiştir. Fakat akımların doğrusal olarak ilerlediği mantığıyla çalışan HEC-RAS programı sonucunda elde edilen verilerin daha doğru olabilmesi için arazi ve akımları daha sağlıklı tanımlayabilecek olan üç boyutlu yıkılma analizinin yapılması gerektiğine ulaşmıştır. Üç boyutlu analiz için FLOW-3D yazılı kullanılarak yıkılma senaryoları elde edilmiştir. Her iki programdan elde edilen analizler sonucunda taşkın haritaları, maksimum su seviyeleri ve taşkın yerleşim yerlerine ulaşma süreleri belirlenerek karşılaştırılmıştır. Karşılaştırılan verilerin hemen hemen birbirine yakın olduğunu tespit etmiştir (Palamut, 2014).

Pakniyat (2015), çalışmasında barajların güvenli yapılar olduğunu belirtmiş ancak biriktirdikleri su hacimlerinden dolayı ve gövdeden su aşması, yetersiz dolusavak tasarımı ve baraj gövdesinde meydana gelecek oturmalarından dolayı yıkılma risklerinin bulunduğunu belirtmiştir. Çalışmada İzmir İli Gümüşdere İlçesinde bulunan Tahtalı Barajı'nın tamamen yıkıldığı ve gövdesinin %50 oranında yıkıldığı varsayılarak analizler FLOW 3D programı ile yapılarak taşkın

derinliği ve hız değerleri incelenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen haritalar doğrultusunda taşkın dalgalarının zararlarını azaltmak doğrultusunda baraj mansap bölgelerinde bent inşa edilmesi tavsiye edilerek yerleşim yerlerinde bulunan insanların zaman kazanmasına yardımcı olacağı belirtilmiştir. Baraj mansap bölgelerinde inşa edilecek bentler ve engeller ile taşkın dalgalarının su seviyelerinin ve hızlarının azalacağı tespit edilmiştir (Paknıyat, 2015).

Dal (2018), çalışmasında eğimli kanalda deneysel ve nümerik olarak ardışık iki barajın yıkılması incelenmiştir. Nümerik analizlerde FLOW-3D ve DualSPHysics programları kullanılmıştır. Deneysel veriler ise ultrasonik sensörler ve görüntü işleme tekniği ile elde edilmiştir. Çalışmada deneysel ve nümerik sonuçlar karşılaştırılmış ve genel olarak birbirleri ile uyumlu olduğu tespit edilmiştir (Dal, 2018).

Ergen (2019), çalışmasında birçok amaca hizmet eden barajların yıkılmaları halinde oluşacak taşkın dalgalarının can ve mal kayıplarına neden olacağı belirtilmiştir. Çalışmada Sakarya İli Geyve İlçesinde bulunan Doğantepe Göleti'nin yıkılma analizi HEC-RAS programı kullanılarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda gölet yıkılmasından dolayı oluşacak taşkının mansapta bulunan Geyve ilçesini etkileyeceği ve taşkın yayılım haritaları oluşturularak maksimum su yüksekliği ve taşkın dalgalarının oluşma süreleri tespit edilmiştir (Ergen, 2019).

Kocaman (2019), çalışmasında baraj yıkılması sonucu oluşacak sel dalgalarının tehlike boyutlarını incelenmiştir. Çalışmada Kahramanmaraş İlinde bulunan Kartalkaya Barajı'nın yıkılma analizleri HEC-RAS ve FLO-2D yazılımları kullanılarak oluşturulmuş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Programlarda kullanılan pürüzlülük değerleri Avrupa evre Ajansı tarafından oluşturulan CORINE (evresel Bilgi Koordinasyonu) haritalarından yararlanılarak seçilmiş ve farklı pürüzlülük değerlerinin program çıktılarına etkileri de gözlenmiştir. Çalışma sonucunda iki farklı program tarafından elde edilen taşkın derinlikleri ve hız haritaları ile pürüzlülük değerlerinin arttığında akımın hızının azaldığı, akımın derinliğinin ise arttığı tespit edilmiştir (Kocaman B. , 2019).

Alppay (2019), çalışmasında baraj yıkılmaları sonucunda oluşacak taşkın tehditlerinin azaltılması için baraj yıkılma analizlerinin yapılması gerektiğini belirtmiştir. Çalışmada Kocaeli İlçesinde bulunan Kirazdere (Yuvacık) Barajı'nın muhtemel yıkılması sonucu oluşacak riskli bölgelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. HEC-RAS programı aracılığıyla baraj yıkılma parametreleri veri girişi yapılarak yıkılma analizi yapılmıştır. Baraj yıkılma taşkını (BYT) analizi sonuçlarında yayılım haritaları elde edilerek maksimum derinlik, hız ve su taşkın haritaları elde edilerek mansap bölgesindeki riskli alanlar tespit edilmiştir (Alppay, 2019).

şen (2019), çalışmasında Atatürk Barajı'nda olası bir hasar görmesinden dolayı yıkılma sonucu oluşacak taşkın dalgaları incelenmiştir. Çalışmada HEC-RAS programı kullanılarak program için gerekli olan sayısal altlıklar ArcGIS programı tarafından üretilmiştir. Çalışma sonucunda baraj yıkılması ile oluşacak taşkın sularının derinlik ve hız değerleri oluşturularak taşkın

haritaları oluşturulmuştur. Ayrıca taşkın sularının 24 saatten kısa bir sürede Birecik Barajına ulaşabileceği ve ikinci bir baraj yıkılma durumunun oluşabileceği tespit edilmiştir (Şen, 2019).

Aajamı (2019), çalışmasında toprak dolgu barajların gövdelerinde oluşacak çatlak ve borulanmadan dolayı oluşacak baraj yıkılması modellenmiştir. Çalışmada İzmir İli Menemen İlçesinde bulunan Süleymanlı Barajı incelenerek yıkılma analizi gerçekleştirilmiştir. Uygulamada Plaxis 2D ve FLOW 3D programları kullanılmıştır. Baraj gövdesinde oluşacak çatlak ve borulanma modellemesi Plaxis 2D programıyla modellenmiş ve gövde kret kotu su kotu altına düştüğü andaki veriler FLOW 3D programına aktarılarak baraj gövdesinden aşan suyun barajı yıkmaya ile oluşan taşkın dalgaları incelenmiştir. Çalışma sonucunda gövdede meydana gelen deformasyonların kil çekirdeğinin orta ve aşağı kısımlarında meydana geldiğini ve çatlak doğrultularının aşağıya doğru olduğunu tespit etmiştir (Aajamı, 2019).

Bu çalışma için Yeşildere Barajı ile ilgili bilgiler DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) 1. Bölge Müdürlüğünden ve çalışma alanına ait sayısal haritalar Bursa Su ve Kanalizasyon Genel Müdürlüğünden (BUSKİ) temin edilmiştir. Temin edilen veriler ve bilgiler doğrultusunda çalışma alanının sayısal yükseklik haritaları ArcGIS programıyla oluşturularak yıkılma analizini yapacak programa aktarılmıştır. Yeşildere Barajı'nda meydana gelecek yıkılma sonucunda oluşacak taşkın 2 boyutlu analizi Amerika Birleşik Devletleri Ordusu tarafından geliştirilen HEC-RAS programı ile incelenip taşkın riski taşıyan alanlar tespit edilerek, taşkın dalgalarının maksimum yükseklikleri, taşkın yerleşim yerine varış süresi ve taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Baraj yıkılma analizi sonucunda elde edilen taşkın risk haritaları, taşkın yerleşim yerine varış süresi ve maksimum su yüksekliği bilgileri doğrultusunda, öncelikle erken uyarı sistemlerinin kurulması ve taşkın riski taşıyan bölgelerde bulunan insanların güvenli yerlere tahliye edilmesine yönelik ilgili ve görevli kurumlarca acil durum tahliye planları ile afet yönetim ve müdahale planlarının hazırlanmasına yardımcı olacaktır.

2. BARAJ YIKILMASI

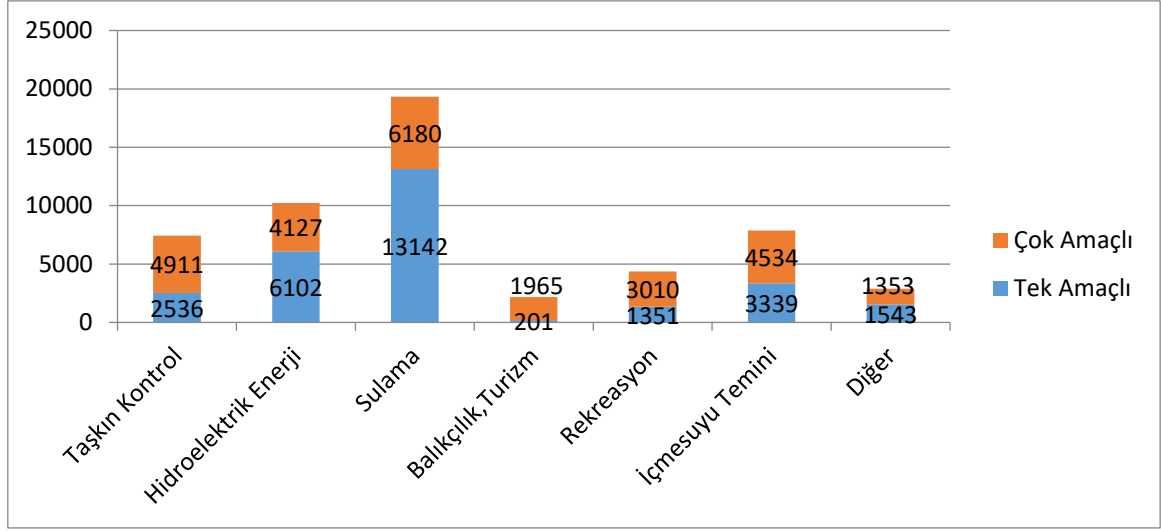
Olası bir baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın sonuçlarını görebilmek, olumsuz sonuçları önlemek veya en aza indirebilmek, gerekli tedbirleri almak ve eylem planlarını oluşturmak için baraj yıkılma analizlerinin yapılması son derece önemlidir. Farklı baraj yıkılma senaryoları oluşturularak ortaya çıkacak taşkın debilerinin, su yüzü kotlarının, yayılım alanlarının ve yerleşim yerlerine varış sürelerinin tespit edilmesi oluşabilecek can ve mal kayıplarının azaltılmasına yardımcı olacaktır.

2.1. Dünyadaki Mevcut Barajların Durumu

Yeryüzünde bulunan suları etkin ve verimli bir şekilde kullanmak amaçlı inşa edilen barajlar; büyüklüklerine, kullanım amaçlarına ve tiplerine göre sınıflandırılmaktadır (Şen, 2019).

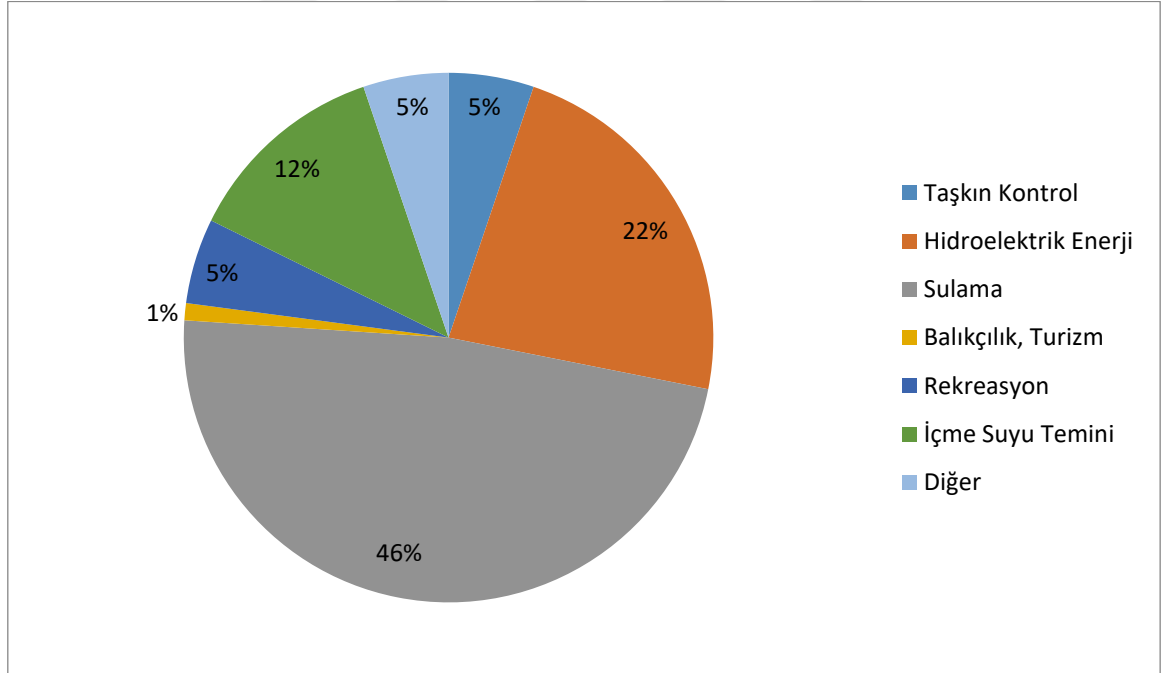
ICOLD'a (Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu) göre barajlar büyüklüklerine göre üçe ayrılmaktadır. Kreti ile temeli arasında 15 m yüksekliğin olduğu barajlar ile yüksekliği 10-15 m arasında olan fakat buna ek olarak; kret uzunluğu 500 m'den uzun olan, rezervuar hacmi 10^6 m^3 'ten büyük olan veya en büyük taşkın debisi $1000 \text{ m}^3/\text{sn}$ olma özelliklerinden en az birini taşıyan barajlar büyük baraj olarak isimlendirilmektedir. Küçük baraj (Gölet) ise büyük baraj tanımının dışında kalan, projesi daha basit olan barajlardır. Ayrıca; kret ile temeli arasında 50 m den fazla yükseklik bulunan barajları da yüksek baraj olarak nitelendirmektedir (ICOLD, 2020).

ICOLD'a göre barajlar amaçlarına göre de tek ve çok amaçlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Sadece bir tek amaca yönelik inşa edilen barajlar tek amaçlı baraj olarak sınıflandırılmaktadır. Dünyada tek amaçlı baraj olarak inşa edilen baraj sayısı 28 214'dür. Barajlar; tarım alanlarının su ihtiyacını karşılanması, enerji üretimi, içme ve kullanma suyu temini, taşkın yönetimi, piknik ve turizm gibi amaçlara hizmet için inşa edilmektedirler. Birden fazla amaca yönelik inşa edilen barajlar ise çok amaçlı barajlar olarak nitelendirilmektedir. ICOLD verilerine göre dünyada 10 207 adet çok amaçlı baraj bulunmaktadır. Şekil 2.1'de dünyadaki tek ve çok amaçlı barajların sayıları yer almaktadır (ICOLD, 2020).

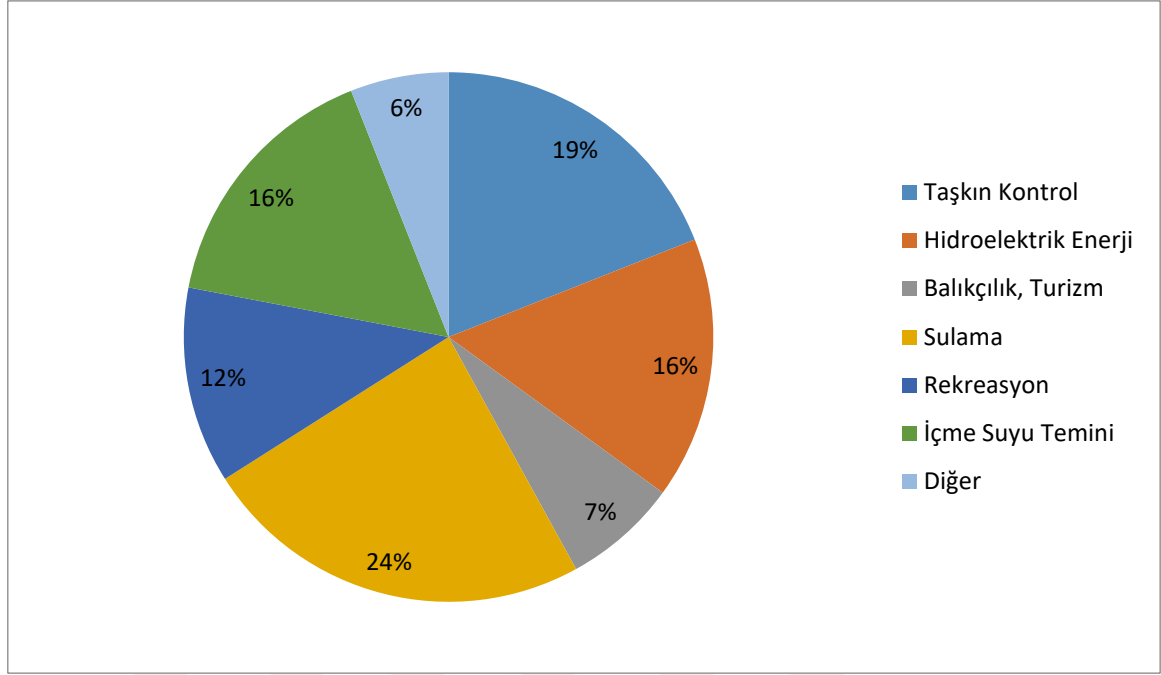


Şekil 2.1. ICOLD'a göre dünyadaki tek ve çok amaçlı barajlar (ICOLD, 2020)

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te tek amaçlı ve çok amaçlı barajların kullanım amaçlarına göre dağılımları verilmiştir (ICOLD, 2020).



Şekil 2.2. ICOLD'a göre tek amaçlı barajların amaçlarına göre dağılımı (ICOLD, 2020)



Şekil 2.3. ICOLD’a göre çok amaçlı barajların amaçlarına göre dağılımı (ICOLD, 2020)

Barajlar, gövdede kullanılan malzemeye göre; dolgu barajlar ve beton barajlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

a) Dolgu Barajlar

- Toprak dolgu barajlar
- Kaya dolgu barajlar
- Ön yüzü betonarme kaplı kaya dolgu barajlar

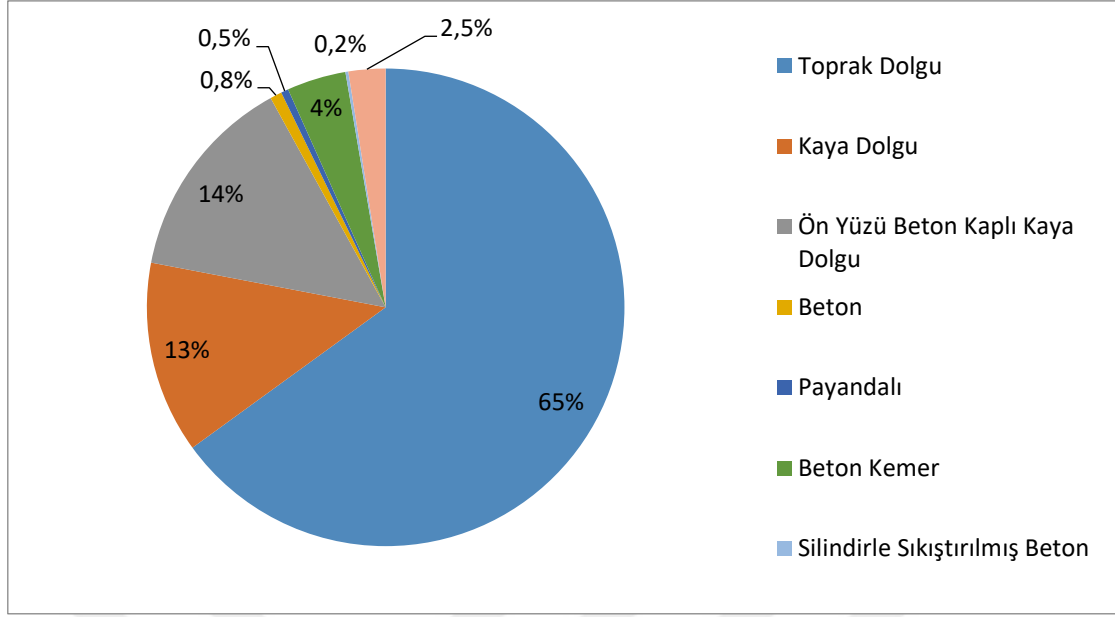
b) Beton Barajlar

- Beton ağırlıklı barajlar
- Payandalı beton barajlar
- Beton kemer barajlar
- Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar (SSB)

olmak üzere alt sınıflara ayrılabilirler (Orhon, 1997).

Dolgu ve beton barajların dışında genellikle geniş vadilerde bu iki tip barajın gövdede birlikte kullanıldığı barajlarda mevcuttur. Bu türden barajlar karma tip baraj olarak sınıflandırılmaktadır. Ülkemizde bulunan Keban Barajı bu tip barajlara örnektir (Ergen, 2019).

Şekil 2.4.’te ICOLD’a göre dünyadaki barajların tiplerine göre dağılımı verilmiştir (ICOLD, 2020).



Şekil 2.4. ICOLD'a göre dünyadaki barajların tiplerine göre dağılımı (ICOLD, 2020)

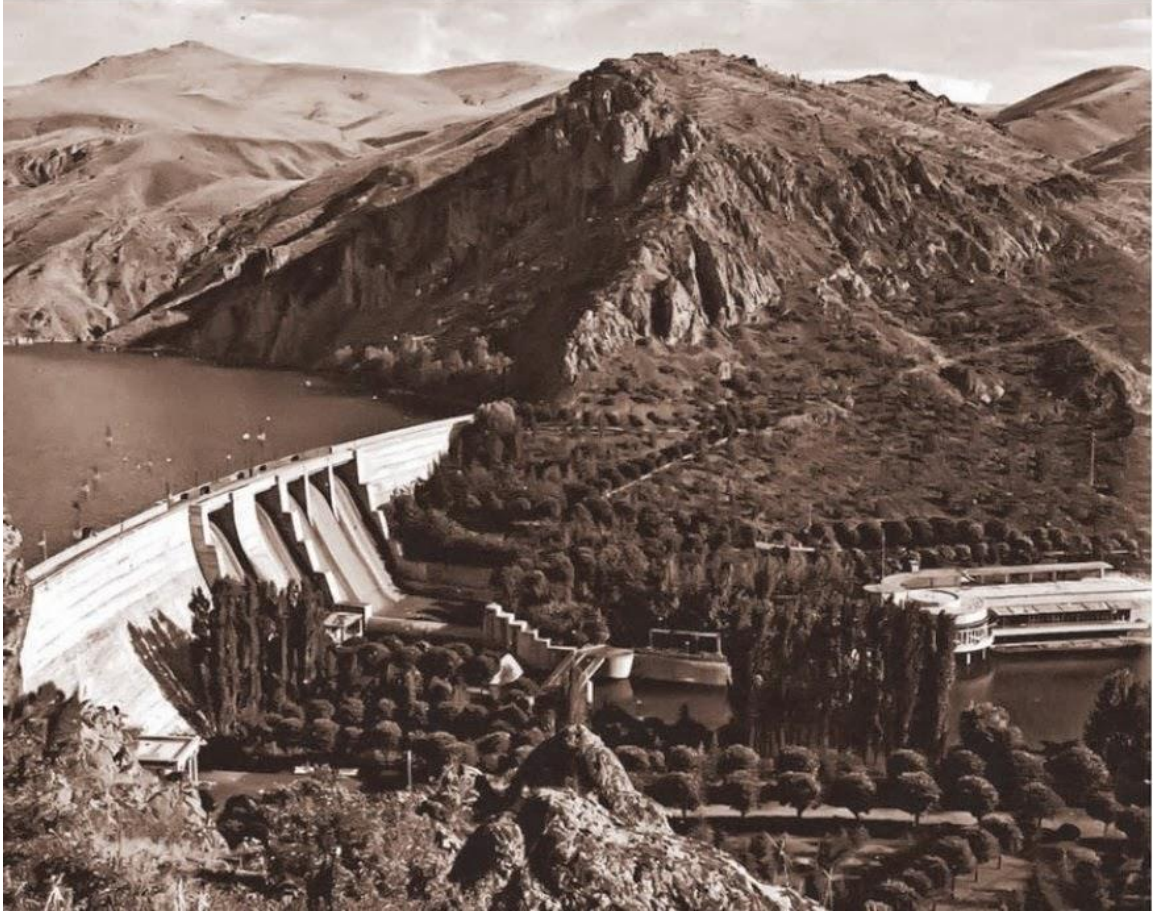
2.2. Türkiye'deki Barajların Durumu

Osmanlı döneminden Cumhuriyet dönemine kadar genellikle içme suyu ihtiyacını karşılamak amaçlı bentler yapılmış ve bu bentler özellikle İstanbul çevresinde yoğunlaşmıştır ve Tablo 2.1'de Cumhuriyet öncesi ülkemizde inşa edilmiş bentler yer almaktadır (Yiğitbaşıoğlu, 1996).

Tablo 2.1. Cumhuriyet öncesi ülkemizde inşa edilen bentler (Yiğitbaşıoğlu, 1996)

ADI	İLİ	GÖL HACMİ (m ³)	YÜKSEKLİĞİ	BİTİŞ YILI
Çavdarhisar Bendi	Kütahya	-	-	-
Örökkaya Bendi	Çorum	500 000	-	-
Büget Bendi	Niğde	-	-	-
Löştüğün Bendi	Amasya	-	-	-
Semalı Bendi	Amasya	-	-	-
Topuz Bendi	İstanbul	70 000	8,60	620
Büyük Bent	İstanbul	1 318 000	12,15	1724
Topuzlu Bendi	İstanbul	160 000	16,00	1750
Ayvant Bendi	İstanbul	156 000	13,45	1765
Valide Bendi	İstanbul	255 000	13,50	1796
Kirazlı Bendi	İstanbul	130 080	13,00	1818
Yeni Bent	İstanbul	217 500	17,00	1839
Elmalı Bendi	İstanbul	1 700 000	19,75	1893

Cumhuriyetin ilanından sonra özellikle 1930'lu yıllarda Ankara'ya içme suyu temin etmek amaçlı Çubuk I Barajı inşaatına başlanılmış ve 1936 yılında inşaatı tamamlanarak işletmeye açılmıştır. Bu özelliğinden dolayı Şekil 2.5'te Çubuk I Barajı, Cumhuriyet tarihimizin ilk barajı olarak tarihte yerini almıştır. İkinci Dünya Savaşı sonuna kadar birkaç küçük sulama amaçlı barajdan başka bir faaliyette bulunulmamış olup savaş sonrası ülkemizde baraj yapımı hız kazanmıştır (Akarun, 1983).



Şekil 2.5. Cumhuriyet tarihimizin ilk barajı, Çubuk I Barajı

Türkiye'de yıllık yağış miktarımız 574 mm olup ortalama 448 milyar m³ su potansiyeline karşılık gelmektedir. Bu suyun, buharlaşma yoluyla 246 milyar m³'lük kısmı atmosfere geri dönmekte, 63 milyar m³ yeraltı suyunu beslemekte, 140 milyar m³'ü akışa geçerek akarsular vasıtasıyla denizlere veya kapalı havza olan göllere akmaktadır. Yeraltı suyunu besleyen 63 milyar m³'lük suyun 25 milyar m³'ü kaynaklar vasıtasıyla yerüstü suyuna katılmaktadır. Ayrıca, komşu ülkelerden de 6 milyar m³ ortalama yılda su gelmektedir. Sonuç olarak ülkemizin yerüstü su potansiyeli (brüt) 171 (140+25+6) milyar m³ olmaktadır. Yeraltından çekilen 18 milyar m³ su ile birlikte ülkemizin yenilebilir su potansiyeli 189 (171+18) milyar m³ olarak hesaplanmıştır. Ancak,

teknik ve ekonomik şartlardan dolayı çeşitli amaçlar için tüketilebilecek toplam tüketilebilir yerüstü ve yeraltı su potansiyelimiz 100 milyar m³'tür. Şekil 2.6'da ülkemizin su kaynakları potansiyeli yer almaktadır. Ayrıca ülkemiz genelinde hidrolojik çalışmalar için 25 ana akarsu havzasına ayrılmıştır. Şekil 2.7'de ülkemizdeki hidrolojik havzalar ile Tablo 2.2'de havzalarımıza ait su potansiyelleri yer almaktadır (DSİ, 2018).



Şekil 2.6. Türkiye'nin su kaynakları potansiyeli (DSİ, 2018)



Şekil 2.7. Türkiye'deki 25 hidrolojik havza (DSİ, 2018)

Tablo 2.2. Türkiye'deki havzaların potansiyelleri (DSİ, 2018)

HAVZA ADI (1 km ³ =1 Milyar m ³)	Yağış Alanı (km ²)	Ortalama Yıllık Yağış (km ³)	Potansiyel İştirak Oranı	Ortalama Yıllık Verim (l/s/km ²)
(21) Dicle-Fırat Havzası*	184 918	49,91	29,2	9,0
(22) Doğu Karadeniz H.	24 077	14,93	87	20,7
(17) Doğu Akdeniz H.	22 048	8,24	4,8	12,0
(09) Antalya Havzası	19 577	11,25	6,6	17,5
(13) Batı Karadeniz H.	29 598	9,91	5,8	10,9
(08) Batı Akdeniz H.	20 953	6,97	4,1	10,4
(02) Marmara Havzası	24 100	7,54	4,4	10,3
(18) Seyhan Havzası	20 450	6,79	4,0	9,7
(20) Ceyhan Havzası	21 982	7,37	4,0	10,8
(15) Kızılırmak Havzası	78 180	6,12	3,6	2,4
(12) Sakarya Havzası	58 160	5,16	3,0	2,6
(23) Çoruh Havzası	19 872	7,05	4,1	11,0
(14) Yeşilırmak Havzası	36 114	6,58	3,8	5,3
(03) Susurluk Havzası	22 399	4,23	2,5	5,5
(24) Aras Havzası	27 548	4,18	2,4	4,7
(16) Konya Kapalı H.	53 850	2,65	1,5	1,7
(07) Büyük Menderes H.	24 976	2,97	1,7	3,6
(25) Van Gölü Havzası	19 405	2,26	1,2	4,0
(04) Kuzey Ege Havzası	10 003	1,50	0,9	4,8
(05) Gediz Havzası	18 000	1,54	0,9	2,9
(01) Meriç-Ergene H.	14 560	1,84	1,1	4,0
(06) K. Menderes H.	6 907	0,53	0,3	2,4
(19) Ası Havzası	7 796	0,89	0,5	3,6
(10) Burdur Göller H.	6 374	0,26	0,1	1,3
(11) Akarçay Havzası	7 605	0,33	0,2	1,9
TOPLAM	779 452	171,00	100	6,9**
*Fırat Alt Havzası yıllık akışı: 27 Milyar m ³ , Dicle Alt Havzası yıllık akışı: 22 Milyar m ³				
**Ortalama Değerdir				

Kişi başına yıllık su potansiyeli 5000 m³ ve üzeri olan ülkeler “su zengini” kabul edilmektedir. Ancak, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından 2030 ülke nüfusumuzun 100 milyon olacağı tahmin edildiğinden kişi başı su tüketim potansiyelimiz 1000 m³/yıl olacağı öngörülmüş olup bu da su zengini bir ülke olmadığımızı göstermektedir. Su zengini bir ülke potansiyeline sahip olmadığımızdan dolayı mevcut sahip olunan su kaynaklarının etkin ve verimli bir şekilde kullanılması zarurietini doğmaktadır. Sahip olunan sudan yararlanmak, enerji elde etmek ve akarsuları düzene sokmak için barajlar yapılmıştır ve yenilerinin de inşasına devam edilmektedir (DSİ, 2018).

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD)’a göre, temelden yüksekliği 15 m ve rezervuar hacmi 3 hm³ ve üzeri olan barajlar “büyük baraj” olarak adlandırılmaktadır. Bu standartlara göre Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından işletmeye alınan 783 adet ve diğer kurumlarca yapılan 86 adet olmak üzere ülkemizde 869 adet büyük baraj kapsamında barajımız bulunmaktadır. Ayrıca, inşa halinde olan toplam 873 adet baraj inşaatı da devam etmekte olup Tablo 2.3’te ülkemizdeki su yapılarına ait bilgiler yer almaktadır (DSİ, 2018).

Tablo 2.3. Türkiye'deki su yapıları (DSİ, 2018)

Türkiye Su Yapıları	İşletmede			İnşa Halinde		
	DSİ	Diğer	Toplam	DSİ	Diğer	Toplam
BARAJ (adet)	783	86	869	399	474	873
(Büyük Su İşleri)	327	22	349	71	18	89
(Küçük Su İşleri)	456	64	520	328	456	784
HES (adet)	67	560	627	2	60	62
(Kurulu Güç –MW)	12 560	15 640	28 200	1 760	2 640	4 400
(Yıllık Üretim-GWh)	45 200	53 000	98 200	6 000	7 600	13 600
Gölet (adet)	474	633	1 107	120	80	200
Sulama (Milyon ha)	4,2	2,3	6,5	1,26	-	1,26
Eysel ve Sanayi Suyu (Milyar m³)	3,97	4,03	8,00	1,97	-	1,97
Taşkın Kontrol (Mha)	1,9	-	1,9	0,5	-	0,5

Ülkemizde barajlarımız gerek yüksekliklerine, gerek rezervuar hacimlerine, gerek gövde hacimlerine, gerekse sahip oldukları kurulu güçlere göre dünya literatürüne girmişlerdir. Bu barajlarımız ve diğer barajlarımız ülkemizin kalkınmasında önemli roller üstlenmektedir (Aşık, 2016).

2.3. Barajların Yıkılma Nedenleri

Dünyada ilk baraj inşa edildiği andan itibaren tarih boyunca baraj yıkılma vakalarıyla karşılaşmıştır. Baraj yıkılmaları gövdenin tümünden göçmesi veya kısmi oyulma görülmesi de olmak üzere pek çok şekilde gerçekleşmektedir. Günümüzde meydana gelen baraj yıkılmaları incelendiğinde aşağıda belirtilen nedenlerin bir ya da birkaçı ile meydana geldiği söylenebilir (Abay, Baykan, & Baykan, 2015).

- 1- Uzun süreli yağışlar ve taşkınlar
- 2- Yetersiz dolusavak kapasitesi
- 3- Borulanmayı ve sızmayı tetikleyen içsel aşınmalar
- 4- İşletme aşamasında baraj ekipmanlarının yetersiz bakımı
- 5- Uygun olmayan tasarım veya malzeme kullanımı
- 6- Baraj gövdesinden suyun aşmasına neden olan yer kaymaları
- 7- Baraj havzasının akış yukarısında bulunan başka bir barajın yıkılması
- 8- Terörist saldırılar
- 9- Baraj gövde üst kesimi boyunca çatlaklara neden olacak deprem oluşumları
- 10- Baraj rezervuarının aşırı akım alması
- 11- Yetersiz ve hatalı filtre malzemesi seçimi
- 12- İnsan, tasarım ve bilgisayar hataları.

Baraj yıkılması ile ilgili en önemli sebepleri ise üç gruba ayırabiliriz (Pakniyat, 2015):

- a) Baraj gövdesi üstünden su aşması
- b) Temel hataları
- c) Baraj gövdesinde meydana gelen borulanma.

Baraj gövdesi üzerinden suyun aşması, birçok nedenden dolayı olabilir ama genellikle dolusavak kapasitesinin yetersiz olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca yeterli dolusavak kapasitesinin katı maddeler ile dolmasından da meydana gelmektedir. Böylece baraj gövdesinden aşan su aşınmaya neden olur ve barajın yıkılmasına sebep olur (Bayraktar, 2004).

Baraj yıkılmasına neden olan temel hataları, temelin özelliklerinden kaynaklanacağı gibi yapım esnasında yapılan yanlış iyileştirmelerden de kaynaklanabilmektedir. Farklı oturmalar, çatlaklar, su sızıntıları gibi nedenler baraj temelinde hataların olduğunu belirtisi olabilmektedir. Ayrıca, tasarım aşamasında yanlış seçilen ve uygulanan temel malzemeleri de ciddi sorunların oluşmasına neden olmaktadır (Ağırlioğlu, 2011).

Dolgu barajlarda geçirimsizliği sağlayan geçirimsiz zonda, sızan suların ince malzemeyi taşıması ile oluşan boşluklar zamanla boru gibi görev görmektedir. Su akımları bu boşluklardan geçerek zamanla boşlukların genişlemesine ve barajın yıkılmasına sebep olmaktadır (Zorluer, 1999).

2.4. Baraj Tipleri İçin Muhtemel Yıkılma Türleri

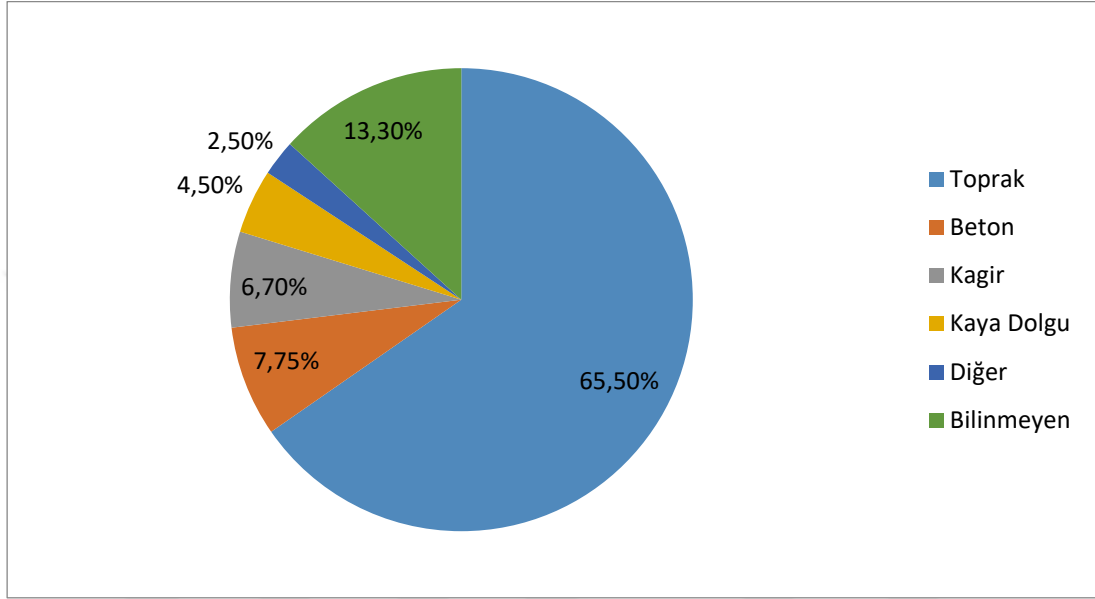
U.S Army Corps Of Engineers (USACE) Hidrologic Engineering Center tarafından baraj yıkılma nedenleri; heyelanlar, borulanma, taşkınlar, depremler, yetersiz veya hatalı baraj kısımları, temel hataları, rezervuarın hızlıca boşaltılması, membada bulunan başka barajların yıkılması, terörist saldırılar ve kontrollü yıkımlar olarak sıralamıştır. Aşağıdaki Tablo 2.4'te gösterildiği gibi baraj türlerine göre yıkılma modellerini sınıflandırmıştır (USACE, 2016).

Tablo 2.4. Baraj tipleri için muhtemel yıkılma türleri (USACE, 2016)

Yıkılma Modeli	Toprak Dolgu	Beton Ağırlık	Beton Kemer	Beton Payandalı	Çok Amaçlı Beton
Baraj üstünden su aşması	U	U	U	U	U
Borulanma/Sızma	U	U	U	U	U
Temel hataları	U	U	U	U	U
Kayma	U	U	UD	U	UD
Devrilme	UD	U	U	UD	UD
Yarılma	U	U	U	U	U
Kusurlu yapı bölümleri	U	U	U	U	U

(U: yıkılma modeli uygun, UD: yıkılma modeli uygun değil)

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD), baraj yıkılmalarını araştırmak için bir çok çalışma yapmış ve yıkılma istatistiklerini yayınlamıştır. Çin Halk Cumhuriyeti dışında dünyada 900 den fazla baraj yıkılmasının incelendiği çalışmada baraj yıkılma bilgileri ve karakteristik bilgileri toplanarak, Şekil 2.8’de baraj türlerine göre yıkılma yüzdeleri belirlenmiştir (Zhang, Xu, & Jia, 2009).



Şekil 2.8. Baraj türlerine göre yıkılma yüzdeleri (Zhang, Xu, & Jia, 2009)

2.5. Tarihteki Baraj Yıkılma Olayları

Yıkıldıkları zaman büyük taşkınların oluşmasına sebep olan barajlar son iki yüz yılın yıkıcı felaketlerinden olmuştur. Baraj yıkılmalarından sonra meydana gelen taşkınların vereceği maddi hasarlar kaçınılmazken can kayıplarının oluşması da muhtemeldir. Oluşabilecek olan can kayıpları; mevcut taşkın alanlarına, nüfus yoğunluğuna ve erken uyarı sistemlerine bağlı olarak değişebilmektedir. Can ve mal kaybına neden olabilecek baraj yıkılma karakteristiklerini iyi belirlemek bu yüzden büyük öneme sahiptir (Palamut, 2014).

Amerika Birleşik Devleti’nde 1889 yılında South Fork Barajı, aşırı yağışlardan dolayı rezervuardaki suyun gövde üzerinden aşması neticesinde 12 m yüksekliğinde dalgaların oluşmasına ve 2200 kişinin ölümüne sebep olmuştur (Palamut, 2014).

İtalya’da 1963 yılında beton kemer tipinde inşa edilmiş ve 267 m yüksekliğinde olan Şekil 2.9’da gösterilen Vajont Barajı rezervuarında meydana gelen heyelandan dolayı baraj rezervuarındaki sular taşmış ve mansabında bulunan yerleşim alanlarında tsunami etkisi yaratarak 2000’den fazla insanın hayatını kaybetmesine neden olmuştur (Elçi, Tayfur, Haltaş, & Kocaman, 2017).



Şekil 2.9. İtalya'daki Vajont Barajı (URL-1, 14 Haziran 2020)

Çin’de 1975 yılında Şekil 2.10’da gösterilen Banqiao ve Shimantan Barajları ile birlikte 62 adet küçük barajın aşırı yağışlardan dolayı yıkılması sonucu 26 000 kişi yaşamını yitirmiştir. Ayrıca; yaşanan taşkından sonra meydana gelen salgın hastalıklar ve açlık gibi nedenlerden dolayı da 145 000 kişi hayatını kaybetmiştir (Abay, Baykan, & Baykan, 2015).



Şekil 2.10. Çin'deki Banqiao Barajı (URL-2, 10 Mayıs 2020)

ABD’de 1976 yılında 93 m yüksekliğinde olan ve kaya dolgu tipinde inşa edilen Teton Barajı, rezervuarında ilk su tutulmasından hemen sonra gövdesinde meydana gelen ve Şekil 2.11’de görülen borulanmadan dolayı yıkılmış ve 10 kişi yaşamını yitirmiş, 2000 kişi yaralanmış, 135 kişi kaybolmuş ve 7000’den fazla konut ve iş yeri zarar görmüştür (Uysal, 1976).



Şekil 2.11. ABD'deki Teton Barajı (Uysal, 1976)

Dünyada meydana gelen baraj yıkılmaları sonucu ortalama 170 000 kişi yaşamını yitirmiştir. Dünya tarihinde gerçekleşen baraj yıkılmaları, yıkılma nedenleri ve yaşanan can kayıplarına ait bilgiler Tablo 2.5'te verilmiştir (Abay, Baykan, & Baykan, 2015).

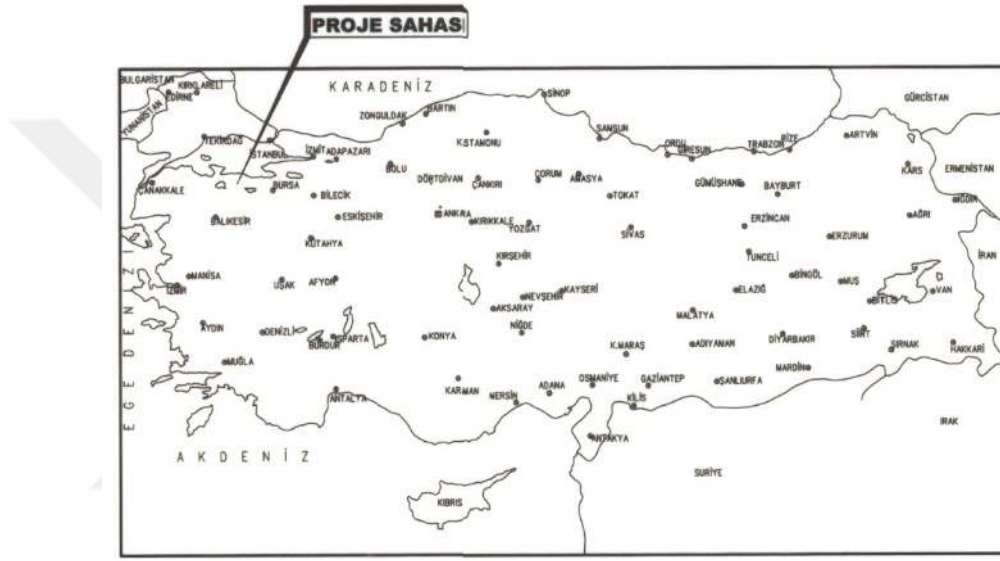
Tablo 2.5. Dünyada gerçekleşen önemli baraj yıkılmaları (Abay, Baykan, & Baykan, 2015)

Sıra	Baraj	Yıl	Ülke	Ölü Sayısı	Yıkılma Nedeni
1	Banqiao/Shimantan	1975	Çin	171 000	Kadastrifik yağış
2	Machchu 2	1979	Hindistan	5 000	Üstten su aşması
3	Sempor	1967	Endonezya	>2 000	Üstten su aşması
4	South Fork	1889	ABD	2 209	Aşırı yağış
5	Vaiont	1963	İtalya	2 000	Üstten su aşması
6	Tigra	1917	Hindistan	1 000	Temele su sızması
7	Panshet	1961	Hindistan	1 000	Gövde yıkılması
8	Puentes	1802	İspanya	608	Yumuşak zemin
9	St. Frasnais	1928	ABD	600	Jeolojik duyarlılık
10	Malpesset	1959	Fransa	423	İnşaat aşamasında
11	Gleno	1923	İtalya	356	Hatalı tasarım ve inşaat
12	Val di Stava	1985	İtalya	268	Hatalı tasarım ve inşaat
13	Koshi	2008	Nepal	250	Aşırı yağış
14	Dale Dike	1864	İngiltere	244	Hatalı inşaat
15	Canyon Lake	1972	ABD	238	Taşkın
16	Kantale	1986	Sri Lanka	180	Hatalı işletme
17	Tangiwei	1953	Yeni Zelanda	151	Krater göl taşması
18	Bouzey	1884	Cezayir	150	Kayma
19	Vega de Tera	1959	İspanya	144	Gövde yıkılması
20	Mill Nehri	1874	ABD	139	Hatalı tasarım
21	Buffalo Creek	1972	ABD	125	Aşırı yağış
22	Sella Zerbino	1935	İtalya	111	Taşkın
23	Vratsa	1966	Bulgaristan	107	Taşkın
24	Situ Gintung	2009	Endonezya	98	Aşırı yağış
25	Certej	1971	Romanya	89	Hatalı tasarım
26	Bilberry	1852	İngiltere	81	Türbin kopması
27	Austin	1911	ABD	78	Kasıtlı yıkım
28	Sayanı/Shushenskaya	2009	Rusya	75	Aşırı yağış
29	Shajidor	2005	Pakistan	70	Aşırı yağış

3. ÇALIŞMA ALANI

3.1. Proje Alanı Hakkında Genel Bilgi

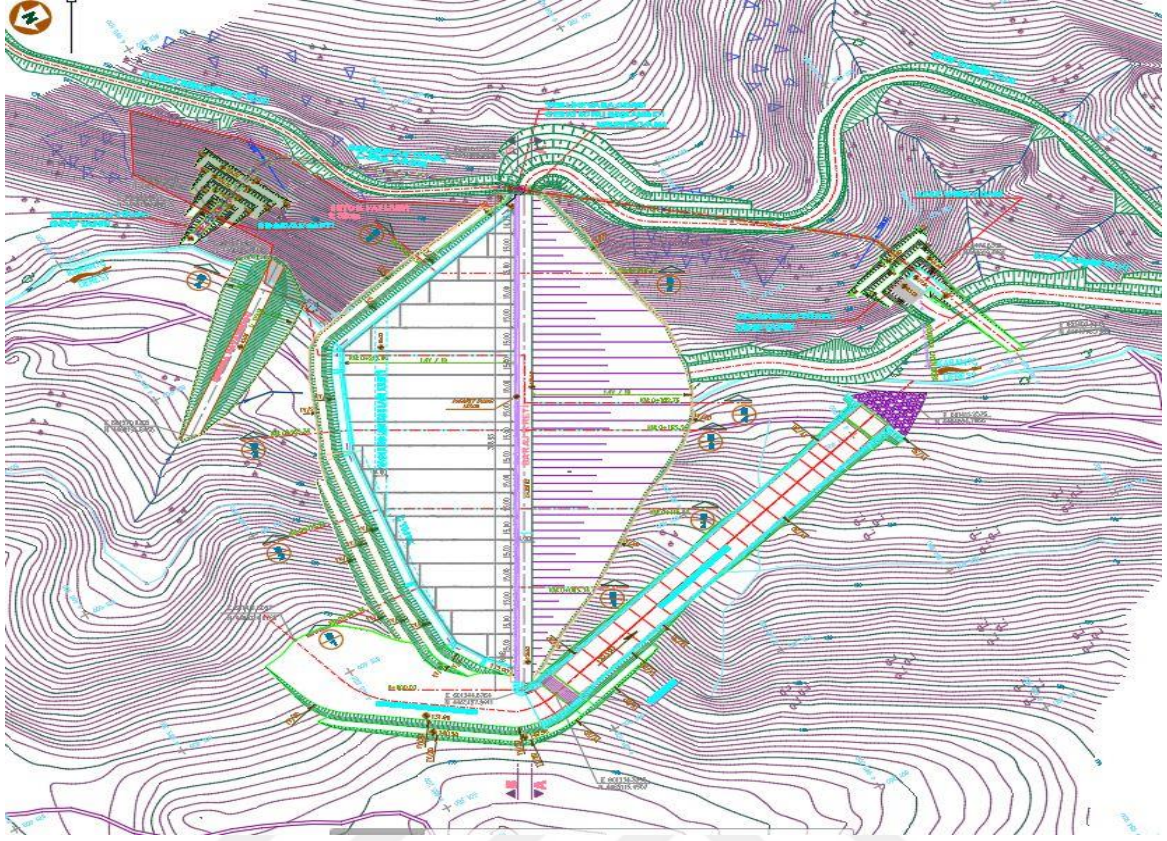
Çalışma alanı, Marmara Bölgesi'nde Bursa İli, Karacabey İlçesi sınırlarında kalmaktadır. Baraj yeri Karacabey İlçesi'ne 25 km mesafede ve Yeşildere Mahallesi'nin 1 km kuzeyinde yer almaktadır. Yeşildere Barajı, Susurluk Çayı'na katılan yan kollardan olan Karadere'ye bağlanan Karaniç Deresi üzerinde bulunmakta olup Şekil 3.1'de çalışma alanının yeri gösterilmektedir.



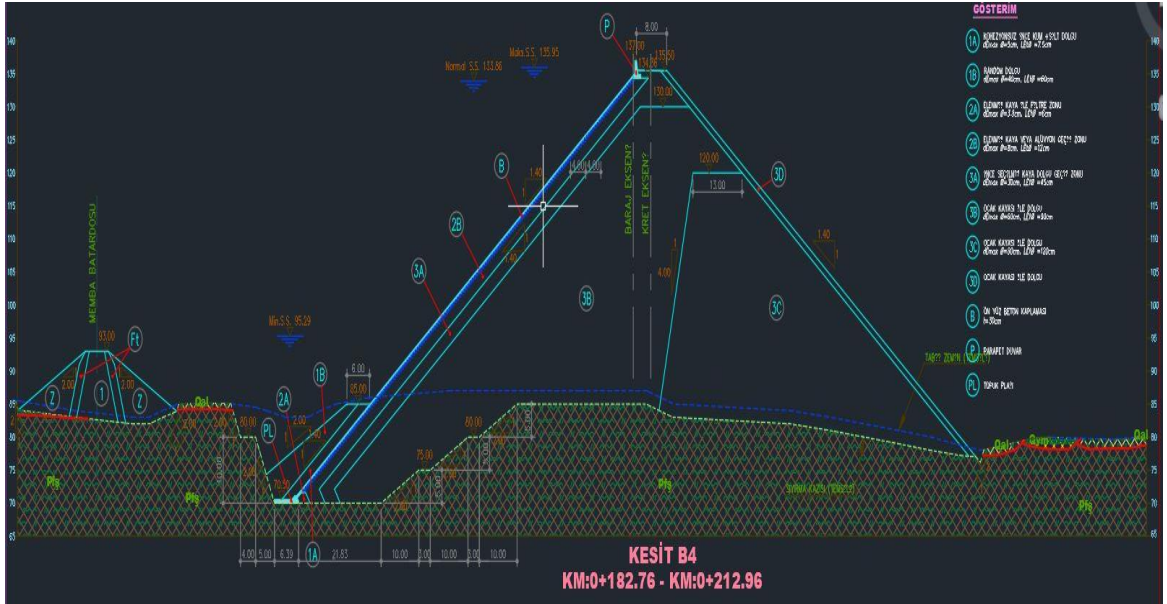
Şekil 3.1. Çalışma alanının Türkiye'deki yeri

3.2. Yeşildere Barajı

Yeşildere Barajı, “Ön Yüzü Beton Kaplamalı Kaya Dolgu Baraj” proje sahası Yeşildere Mahallesi'ne 1 km mesafededir. Barajın talvegden yüksekliği 57,90 m, temelden yüksekliği 59,50 m'dir. Baraj gövdesi topla dolgu hacmi 740 327 m³'tür. Derivasyon tüneli sol sahilde 3,00 m iç çapında ve 407,04 m uzunluğundadır. Dolusavak sağ sahilde, karşıdan alışı ve kontrolsüzdür. Şekil 3.2'de baraj gövdesinin genel yerleşim planı ve Şekil 3.3'te de baraj gövdesine ait enkesit gösterilmektedir. Ayrıca; Şekil 3.4 ve 3.5'te baraj inşaatına ait imalat görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3.2. Baraj gövdesi genel yerleşim planı



Şekil 3.3. Baraj gövdesi enkesiti



Şekil 3.4. Yeşildere Barajı memba görünüşü



Şekil 3.5. Yeşildere Barajı mansap görünüşü

3.3. Yeşildere Barajı Karakteristik Bilgileri

Bu tez çalışmasının konusu olan Yeşildere Barajının gövde inşaatı devam etmekte olup baraja ait karakteristik bilgiler Tablo 3.1’de gösterilmektedir (DSİ, 2001).

Tablo 3.1. Yeşildere Barajı karakteristik bilgileri (DSİ, 2001)

Amacı	: Sulama
Hidroloji ve Su Kullanımı	
Drenaj Alanı	: 34,38 km ²
Yıllık Ortalama Akım	: 15,42 hm ³
Göl	
Minimum İşletme Kotu	: 95,29 m
Normal Su Seviyesi	: 133,86 m
Maksimum Su Kotu	: 135,95 m
Hacim - Minimum Su Seviyesi	: 0,45 hm ³
Hacim - Normal Su Seviyesi	: 15,62 hm ³
Hacim - Maksimum Su Seviyesi	: 16,07 hm ³
Baraj	
Tipi	: Ön Yüzü Beton Kaplamalı Kaya Dolgu
Kret Kotu / Parapet Kotu	: 135.50 m / 137.00 m
Talveg Kotu	: 79,50 m
Barajın Talvegden Yüksekliği (parapet ile)	: 57,50 m
Barajın Temelden Yüksekliği (parapet ile)	: 59,50 m
Kret Uzunluğu	: 318,95 m
Kret Genişliği	: 8,00 m
Toplam Gövde Hacmi	: 740 327 m ³
Memba Şevi	: 1 / 1,4
Mansap Şevi	: 1 / 1,4
Dolusavak	
Yeri	: Sağ sahil
Tipi	: Karşıdan Alışlı, Kontrolsüz
Taşkın Debisi (MMF/10000)	: 285,35 m ³ /s
Dolusavak Kapasitesi	: 122.85 m ³ /s
Dolusavak Kret Uzunluğu	: 20 m
Dolusavak Kret Kotu	: 133,90 m
Eşik Yüksekliği	: 1.50 m
Dolusavak Teknesi Boyu	: 222,67 m
Deşarj Kanalı Genişliği	: 28 m
Enerji Kırıcı Havuz Boyu (Tip II)	: 12 m
Enerji Kırıcı Havuz Taban Kotu	: 76,50 m
Derivasyon Tüneli ve Dipsavak	
Dipsavak Tipi	: Tünel + Atnalı Kesit
Tünel Giriş Taban Kotu	: 85,50 m
Tünel Çıkışı Taban Kotu	: 79,06 m
Tünel Eğimi	: 1,45
Tünel Uzunluğu	: 407,04 m
Tünel İç Çapı	: 3 m
Derivasyon Taşkın Debisi (Q50)	: 86.86 m ³ /s

3.4. Yeşildere Barajı Deprem Durumu

Yeşildere Barajı ve civarında Kuzey Anadolu Fay Zonu bulunmakta olup Anadolu'nun en büyük fay zonlarından. Yeşildere Barajı aks yerinde 50 yıllık bir ekonomik ömür için %5 olasılıkla aşılması beklenen yer ivmesi $a=364 \text{ cm/sn}^2$ veya $a=0,371 \text{ g.}$ 'dir. 100 yıllık bir zaman periyodu içerisinde %20 aşılma olasılığı ile meydana gelmesi beklenen yatay yer hareketi deprem ivmesi ise $a=271 \text{ cm/sn}^2$ veya $a=0,276 \text{ g.}$ olarak hesaplanmıştır (DSİ, 2001). Şekil 3.6'da yer alan Türkiye Deprem Tehlike Haritası'nda da görüldüğü gibi çalışma alanına ait 50 yıllık %10 olasılıkla aşılması beklenen en büyük yer ivmesinin $a=0,282 \text{ g.}$ 'den fazla olduğu görülmektedir (AFAD, 2018).



Şekil 3.6. Türkiye Deprem Tehlike Haritası (AFAD, 2018)

4. MATERYAL VE METOT

Bu tez çalışmasının temel amacı ekstrem yağış, yapısal problemler veya deprem gibi nedenlerle oluşabilecek olası bir baraj yıkılmasının iki boyutlu taşkın analizinin yapılması, Yeşildere Barajı mansabındaki yerleşim yerlerinin taşkın yayılım, tehlike ve risk haritalarının oluşturularak, oluşacak taşkın maksimum su seviyelerinin ve oluşma zamanlarının belirlenmesidir.

Tez çalışmasının bu bölümü iki kısımdan oluşacak olup, birinci kısımda iki boyutlu taşkın analizinde kullanılan programlar hakkında genel bilgiler verilecektir. İkinci kısımda ise programlar vasıtasıyla baraj yıkılma analizi yapılarak taşkın yayılım haritaları oluşturulacaktır.

4.1. Çalışmada Kullanılan Programlar

4.1.1. Netcad 5.1 Programı Hakkında Genel Bilgiler

Netcad, 1989 yılında iki Türk tarafında geliştirilen GIS tabanlı bir yazılımdır. CBS, CAD, şehir planlama, jeoloji, tarım, haritalama, madencilik gibi geniş alanlarda çözüm üretmemize yardımcı olmaktadır (Bulan, 2019).

Birçok alt modülü bulunan Netcad programı yol, imar işleri, baraj, halihazır harita, parselasyon harita yapımı gibi birçok alanda kullanıcılara kolaylık sağlamaktadır. (Dere, 2019).

Netcad çok geniş ve çeşitli uygulama alanına sahiptir. Bu uygulama alanlarına ait kullanılan çözümleri üç gruba ayırabiliriz. Bunlar;

- 1- CBS-GIS Çözümleri ve Uygulamaları: Masaüstü, web, mobil ve bulut teknolojisinde kullanılmaya elverişli bir programdır.
- 2- Mühendislik Çözümleri ve Uygulamaları: Harita alanında, altyapı alanında, şehir ve bölge planlamasında, inşaat alanında, jeoloji alanında, hidroloji alanında, ziraat alanında, elektrik alanında ve çevre alanındaki mühendisliklere yönelik 30'dan fazla çözüm yöntemi ve uygulamaları mevcuttur.
- 3- Belediye Çözümleri ve Uygulamaları: Halihazır haritaların, imar haritalarının, taşınmazların kadastral ve mülkiyet durumları gibi belediyecek konularında yardımcı uygulamaları mevcuttur (Akbaş, 2019).

4.1.2. ArcMAP 10.1 Programı Hakkında Genel Bilgiler

ArcGIS, ESRI tarafından geliştirilen ve ölçeklendirme yapabilen bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımıdır. ArcObjects üzerinden ortak veri kütüphanesi kurulmuş bir sistemdir. ArcGIS yazılımı, bilgilerin depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi, haritaların oluşturulması,

projelendirme özelliğinin bulunması ve bununla birlikte insan gücünden ve paradan tasarruf etmeyi sağlayan, harita ve coğrafi bilgiler doğrultusunda çalışan bir yazılımdır (Bulan, 2019).

ArcGIS yazılımı aşağıda belirtilen temel kısımlardan oluşmaktadır:

- 1- ArcGIS Desktop: CBS uygulamalarının ileri düzey işlem yapılmasını sağlamaktadır.
- 2- ArcGIS Mobile: Özel CBS uygulamalarının arazi çalışmalarında kullanılmasını sağlamaktadır.
- 3- ArcGIS Online: CBS yazılım uygulamaların web üzerinden kullanıcılara ulaşmasını sağlayan kütüphanedir.
- 4- ArcGIS Engine: .NET, Java ve C++ uygulamalarının geliştirilmesi için yazılım kütüphanesi sağlamaktadır.
- 5- ArcGIS Server: CBS ile oluşturulan haritaların web üzerinden kullanıcılara sunulması ve geliştirilmesine imkan sağlamaktadır (Töreyn, Özdemir , & Kurt, 2010).

4.1.3. HEC-RAS 5.0.6 Programı Hakkında Genel Bilgiler

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), USACE (ABD Ordusu Mühendisler Birliği) tarafından geliştirilen sürekli akımlara ait su yüzü profillerini hesaplayan ve süreksiz akımlara ait modelleme yapabilen bir programdır.

HEC-RAS programının kullanıcı arayüzünde, çalışılacak projelere ait dosya verilerin girilmesi, analiz yapılmadan önce veri girişlerinin yapılması, hidrolik analiz yapılması, analiz sonuçlarının çıktı tablolarının oluşturulması, sonuçların grafiksel olarak gösterilmesi, çalışma sonuçlarının haritalandırılması ve su yayılım simülasyonlarının oluşturulması gibi hizmetleri içermektedir (Kuşoğlu, 2019).

HEC-RAS bir ve iki boyutlu hidrolik hesaplamalar yapmak için tasarlanmış ve çeşitli analiz bileşenleri bulundurmaktadır. Yapısında bulundurduğu bileşenler, kararlı akımların su yüzü profillerinin oluşturulmasını, bir ve iki boyutlu kararsız akım simülasyonlarının oluşturulmasını, sediment taşınım hesaplarını ve su kalitesi analizlerinin yapılmasını sağlamaktadır (Kuşoğlu, 2019).

HEC-RAS programı kararlı akım hesaplamalarında tek bir nehir veya daha karmaşık nehir sistemlerinde su yüzü profillerini kritik altı, kritik üstü ve karışık akım rejimlerine göre modelleyebilmektedir. Tek boyutlu enerji denklemi HEC-RAS hesaplamalarının temel prensibini oluşturmaktadır. Manning Denklemleri ile sürekli yük kayıplarını ve kanala ait daralma/genişleme katsayıları ile de yersel yük kayıplarını hesaplayarak enerji kayıplarını bulmaktadır. Ayrıca; su yüzü profillerinin ani değiştiği, karışık akım rejimi hesaplarını meydana getiren hidrolik sıçramaları, nehirlerin birleştiği kavşakları ve köprü hidroliği hesaplarında Momentum Denklemlerini kullanmaktadır (HEC-RAS, 2020).

HEC-RAS programı kararsız akım hesaplamalarını yaparken kritik, süper kritik ve karışık akış rejimlerini kullanmaktadır. Bir ve iki boyutlu akım simülasyonları yapan program baraj yıkılma analizi, taşkın duvarlarının yıkılması/devrilmesi ve basınçlı boru sistemleri gibi karmaşık hidrolik hesaplamaların analizlerini de bünyesinde barındırmaktadır (Kuşoğlu, 2019).

HEC-RAS programı açık kanallarda sediment birikinti boyutlarının değerlendirilmesi, nehirlerde gerçekleşen daralmaların kontrol edilmesi, ciddi seviyede yaşanan taşkınların meydana getirdiği zararın tahmin edilmesi çalışmalarında ve yapay kanallarda sedimentleşme oranları hesaplarını gerçekleştirmektedir (HEC-RAS, 2020).

HEC-RAS programı, kanal ve taşkın modellemesinde Navier-Stokes denklemlerinin sadeleştirilmiş bir formu olan Saint Venant denklemleri veya Difüzyon Dalga denklemlerini kullanmaktadır. Navier-Stokes denklemleri, denklem 4.1 ve 4.2’de yer alan süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşmaktadır.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{V} (\rho V) = 0 \quad (4.1)$$

$$\rho \frac{dV}{dt} = -\bar{V} p + \bar{V} \tau + \rho g \quad (4.2)$$

Denklemlerde yer alan; ρ yoğunluğu, g yer çekimi ivmesi, t zamanı, τ gerilme tensörü, p basınç ve V hız vektörü olarak gösterilmektedir. Bu denklemlerde düşey ivme ihmal edilerek denklemlerin indirgenmeleri sağlanarak sıg akım denklemlerine geçilmektedir. Saint Venant denklemlerine ait süreklilik ve momentum denklemleri, denklem 4.3 ve 4.4’te yer almaktadır (Kocaman S. , 2007).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (4.3)$$

$$(k_t) \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) + (k_c) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + (k_p) g A \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) - (k_f) g A (S_0 - S_f) = 0 \quad (4.4)$$

Denklem 4.4’te yer alan momentum denklemi yersel ivme, konvektif (taşınasal) ivme, basınç kuvveti ve sürtünme değerlerinden meydana gelmektedir. Momentum denkleminde yer alan terimlerin tamamının dikkate alınması ($k_t=k_c=k_p=k_f=1$) sonucu yapılan hesaba Full Saint-Venant (Full Momentum) denklemi denilmektedir. Full Momentum denkleminde yersel ivme ile konvektif ivmenin ihmal edildiği ($k_t=0, k_c=0, k_p=k_f=1$) Ataletsiz Dalga çözümüne Difüzyon Dalga Denklemi adı verilmektedir (Kaya & Ülke , 2012).

HEC-RAS programı iki boyutlu (2D) çözümlerde öncelikli olarak Difüzyon Dalga Denklemi kullanır veya istenildiğinde Full Momentum Denklemi opsiyonu seçilerek çözüm yapılabilir. Difüzyon Dalga Denklemi, Full Momentum denklemine göre genellikle daha stabil çözüm yapmaktadır. Taşkın dalgası modellemelerinde her iki denklem seti de kullanılarak

sonuçları karşılaştırılmalı ve sonuçlar arasında belirgin bir fark varsa Full Momentum Denklemi sonuçları daha doğru kabul edilerek simülasyona devam edilmelidir (Ardıçlıoğlu, 2020).

HEC-RAS programında, baraj yıkılma analizlerinde 5 adet taşkın tahmin metodu kullanılmaktadır. Bunlar; Singh ve Snorrason, MacDonald ve Langridge-Monopolis, Bureau of Reclamation, Von Thun & Gillette ve Froehlich olan taşkın tahmin metodlarıdır (Ergen, 2019).

Singh ve Snorrason, 20 adet yaşanmış ve 8 adet simüle edilmiş baraj yıkılma çalışmaları üzerinde 1984 yılında yaptıkları çalışmalarında istatistiki veriler elde etmişlerdir. Bu veriler doğrultusunda taban yıkılma genişliğini ($B_b, metre$), baraj yüksekliğine ($h_b, metre$) bağlı olarak tanımlamışlardır. Ayrıca tamamen barajın yıkılması süresi ($t_f, saat$) içinde tahminde bulunulmuştur. Taban yıkılma genişliği ve yıkılma süresi tahminlerine ait denklemler 4.5 ve 4.6'de gösterilmektedir (Singh & Snorrason, 1984).

$$2h_d(m) \leq B_b(m) \leq 5h_d(m) \quad (4.5)$$

$$0.25 \leq t_f(saatt) \leq 1.0 \quad (4.6)$$

MacDonald ve Langridge-Monopolis, 42 adet baraj yıkılması üzerinde incelemelerde bulunarak baraj yıkılma parametreleri arasındaki ilişkiyi bulmaya çalışmışlardır. Barajın yıkılma süresince ($t_f, saat$) baraj rezervuarında boşalacak suyun hacmi ($V_w, metreküp$), yıkılma sonrasında baraj gövdesinden akacak malzemenin hacmi ($V_m, metreküp$) ve barajın yıkılmadan önceki su yüksekliği ile yıkıldıktan sonra baraj tabanı arasındaki su yüksekliği ($h_w, metre$) gibi baraj parametrelerini birbirleri ile ilişkilendirmişlerdir. Barajların yıkılma eğimlerinin de 1 yatay 2 düşey oranında alınabileceği belirtilmiştir. Toprak dolgu barajlardan çıkan malzeme miktarını hesaplamak için Denklem 4.7'in kullanılmasını, kil çekirdekli toprak dolgu ve kaya dolgular için ise çıkan malzeme miktarının Denklem 4.8'in belirtilen formüllerle bulunmasını önermişlerdir. Baraj yıkılma süresini bulmak için Denklem 4.9'un ve maksimum debinin ($Q_{pik}, metreküp$) bulunması içinde Denklem 4.10'un kullanılmasını belirtmişlerdir (MacDonald & Langridge-Monopolis, 1984).

$$V_m = 0.0261 * (V_w * h_w)^{0.769} \quad (4.7)$$

$$V_m = 0.00348 * (V_w * h_w)^{0.852} \quad (4.8)$$

$$t_f = 0.0179 * (V_m)^{0.364} \quad (4.9)$$

$$Q_{pik} = 1.154 * (V_w * h_w)^{0.412} \quad (4.10)$$

Bureau of Reclamation, 21 adet baraj yıkılma çalışması sonucunda, baraj rezervuar su yüksekliğinin ($h_w, metre$) baraj yıkılma ortalama genişliğini ($\bar{B}, metre$) etkilediğini belirterek Denklem 4.11'de ki eşitliği bulmuştur. Ayrıca baraj yıkılmasının tamamlanma süresini ($t_f, saat$)

baraj ortalama genişliğinin 0.011 katsayısı ile çarpılarak bulunabileceğini belirterek Denklem 4.12'nin uygulanmasını önermiştir (Reclamation, 1982).

$$\bar{B} = 3 * h_W \quad (4.11)$$

$$t_f = 0.011 * \bar{B} \quad (4.12)$$

Von Thun ve Gillette, 57 adet baraj yıkılması olayını inceleyerek, ortalama baraj yıkılma genişliğini ($\bar{B}$, metre), rezervuardaki su yüksekliği (h_W , metre) ile rezervuar hacmine bağlı olan (C_b , metre) katsayısının toplamı ile bulunacağını önererek Denklem 4.13'ü bulmuştur. Denklemden kullanılan C_b değeri ise Tablo 4.1'de yer almaktadır. Yan eğimlerinde genel olarak 1 yatay ve 1 düşey alınabileceğini ancak kohezyon çekirdekli barajlarda 1 yatay ve 1 düşey yada 1 yatay ve 3 düşey alınmasının daha uygun olacağını belirtmiştir. Ayrıca baraj yıkılma süresi için de malzeme cinsine bağlı olarak Denklem 4.14 ve 4.15 gibi iki farklı denklemi önermiştir (Von Thun & Gillette, 1990).

$$\bar{B} = 2.5 * h_W + C_b \quad (4.13)$$

$$\text{Yüksek aşınmaya sahip malzeme} \quad \begin{cases} t_f = 0.015 * h_W \\ t_f = \bar{B} / (4 * h_W + 61) \end{cases} \quad (4.14)$$

$$\text{Aşınmaya dirençli malzeme} \quad \begin{cases} t_f = 0.015 * h_W + 0.25 \\ t_f = \bar{B} / (4 * h_W) \end{cases} \quad (4.15)$$

Tablo 4.1. Rezervuar büyüklüğüne göre C_b katsayısı

Rezervuar Büyüklüğü (m ³)	C_b (m)
<1.23*10 ⁶	6.1
1.23*10 ⁶ ~ 6.17*10 ⁶	18.3
6.17*10 ⁶ ~ 1.23*10 ⁷	42.7
>1.23*10 ⁷	54.9

Froehlich, 1995 yılında 63 adet ve 2008 yılında ise 74 adet baraj yıkılma olaylarını inceleyerek baraj yıkılma parametreleri ile ilgili aşağıdaki Denklem 4.16 ile 4.21 arasındaki denklemleri önermiştir (Froehlich, 2008).

$$\bar{B} = 0.27 * k_0 * V_W^{1/3} \quad (4.16)$$

$$t_f = 63.2 * \sqrt{\frac{V_W}{g * h_b^2}} \quad (4.17)$$

$$k_0 \begin{cases} 1.3 \text{ üsten yıkılma için} \\ 1.0 \text{ diğer yıkılmalar} \end{cases} \quad (4.18)$$

$$z = \frac{v}{H} = \begin{cases} 1.0 \text{ üsten yıkılma için} \\ 0.7 \text{ diğer yıkılmalar} \end{cases} \quad (4.19)$$

$$B_t = \bar{B} - \frac{v}{h_d} * h_b \quad (4.20)$$

$$Q_{pik} = 0.607 * V_W^{0.295} * h_W^{1.24} \quad (4.21)$$

Yukarıdaki denklemlerde, baraj yıkılma genişliği ($\bar{B}$, metre), yıkılma anındaki rezervuar su hacmi (V_W , metreküp), baraj yıkılma süresi (t_f , saat), yıkılma anındaki su yüksekliği (h_b , metre), baraj yüksekliği (h_d , metre), nihai baraj yıkılma taban genişliği (B_t , metre) ve maksimum debi (Q_{pik} , metreküp) olarak gösterilmektedir.

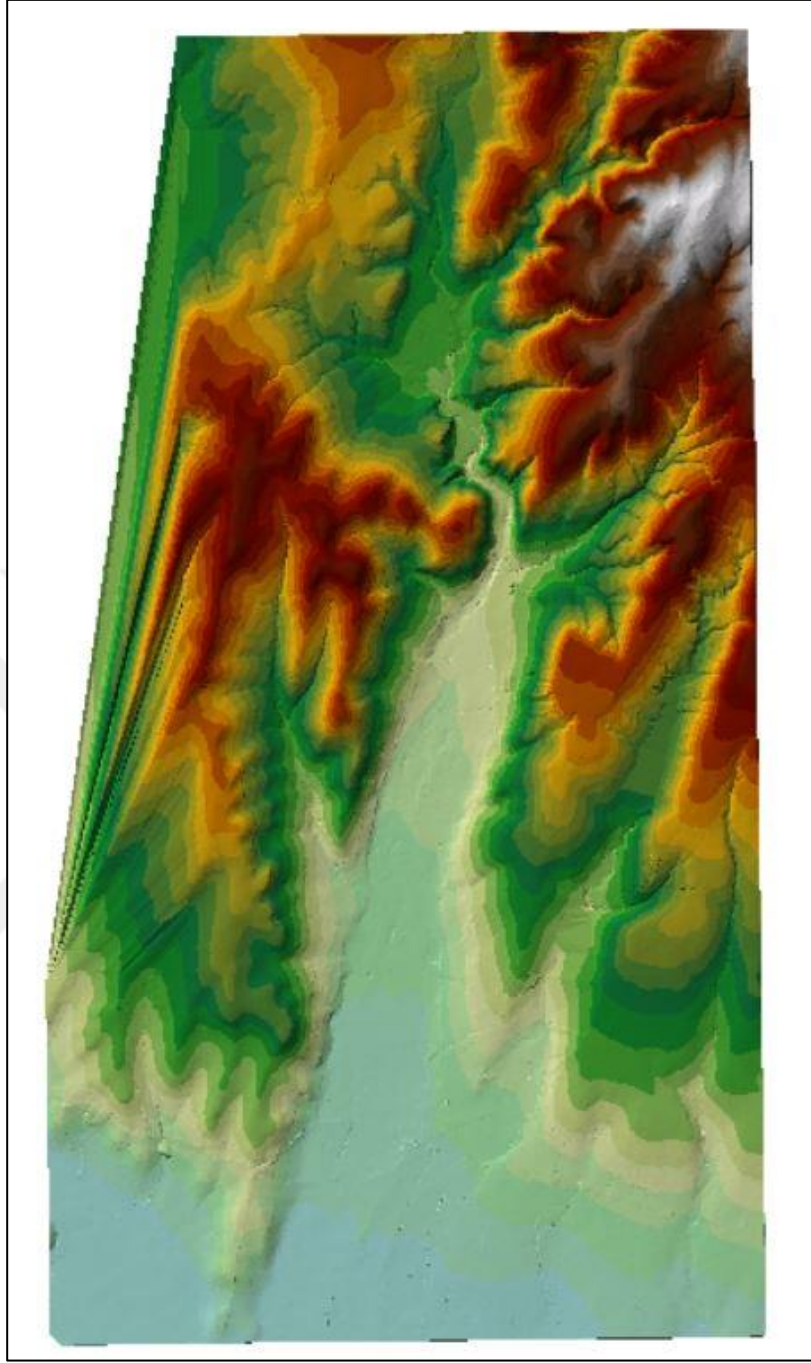
4.2. İki Boyutlu Taşkın Modelleme

Bursa Karacabey Yeşildere Barajının yıkılma analizi için Netcad, ArcGIS ve HEC-RAS programları kullanılmıştır. Belirtilen programlarda aşağıda belirtilen işlem basamakları yapılarak taşkın yayılım haritaları oluşturulmuş ve taşkın dalgalarının maksimum su yükseklikleri ile yerleşim yerine ulaşma süreleri bulunmuştur.

4.2.1. ArcGIS Programında Yapılan İşlemler

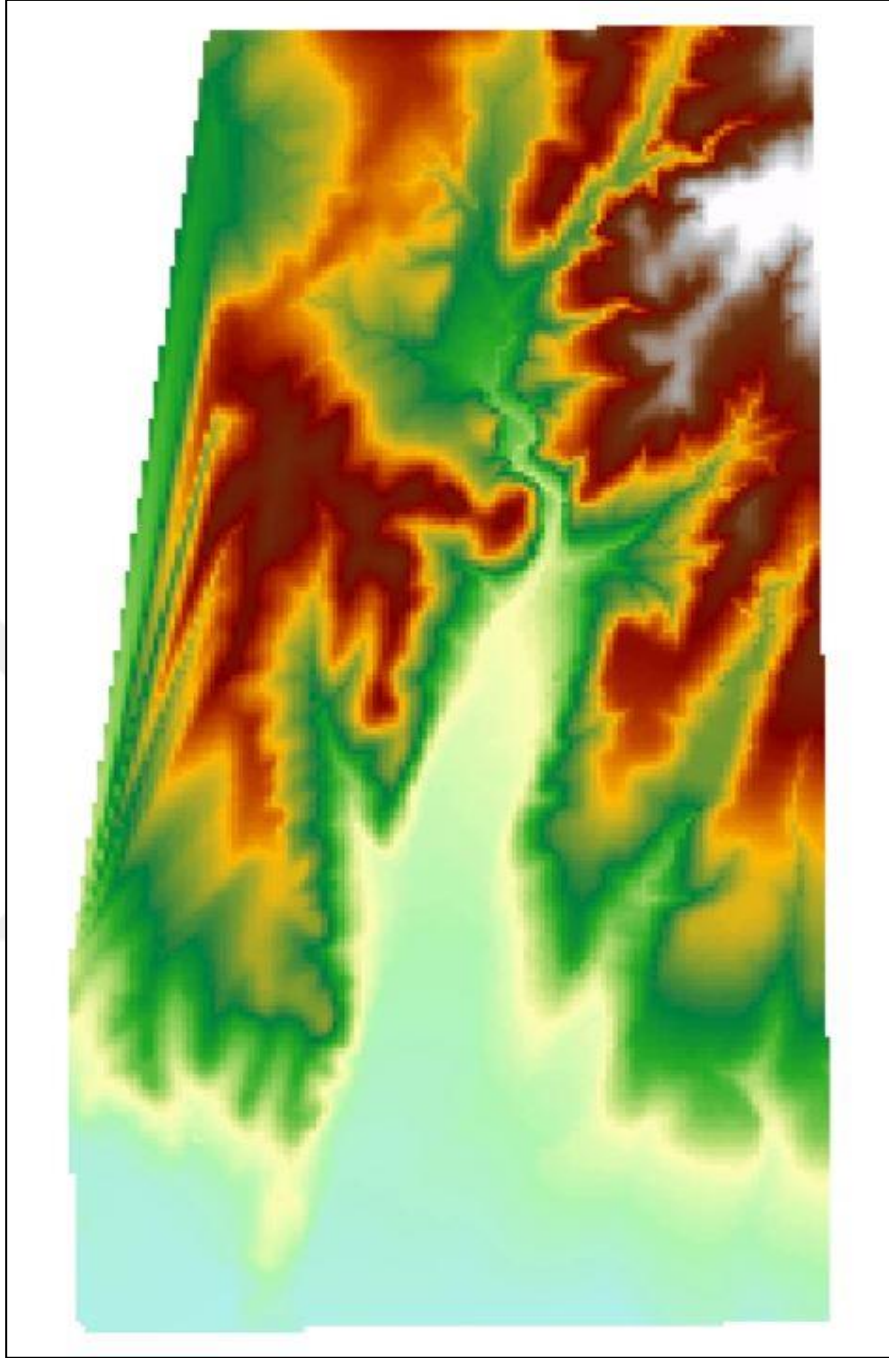
Bu çalışmada, Bursa Su ve Kanalizasyon İdaresi (BUSKİ) tarafından hava fotoğrafları ile DGN formatında üretilen 1/1000 ölçekli halihazır haritalar altlık olarak kullanılmıştır. 1/1000 ölçekli ve DGN formatındaki halihazır haritalar NetCAD programında açılarak çalışmada kullanılacak tabakalar (yapı tabakaları ve eş yükselti eğrileri ayrıştırılmış ayrıca gereksiz katmanlar silinmiştir) düzenlenerek Cad formatında kaydedilip ArcGIS'e eklenmiştir.

ArcGIS yazılımı ile eşyükselti eğrilerinin mevcut araziye yansıtabilmesi için yüzey modellemesi yapılmalıdır. Düzensiz üçgen ağı adı verilen sayısal yükseklik modelinin TIN (Triangulated Irregular Network) oluşturulması gerekmektedir. TIN verisi: ArcToolbox → 3D Analyst Tools → Data Management → TIN → Create TIN adımları ile oluşturulmuştur. Şekil 4.1'de çalışma alanına ait oluşturulan sayısal yükseklik modeli görülmektedir.



Şekil 4.1. Çalışma alanına ait TIN verisi

ArcGIS'te oluşturulan TIN verisinin doğru olup olmadığı incelenmiş ve mevcut araziye yansıttığından emin olunduktan sonra raster veri formatına dönüşüm işleminin yapılması gerekmektedir. Raster verisi: ArcToolbox → 3D Analyst Tools → From TIN → TIN to Raster adımları ile oluşturulmuştur. Şekil 4.2'de çalışma alanının raster verisi görülmektedir.



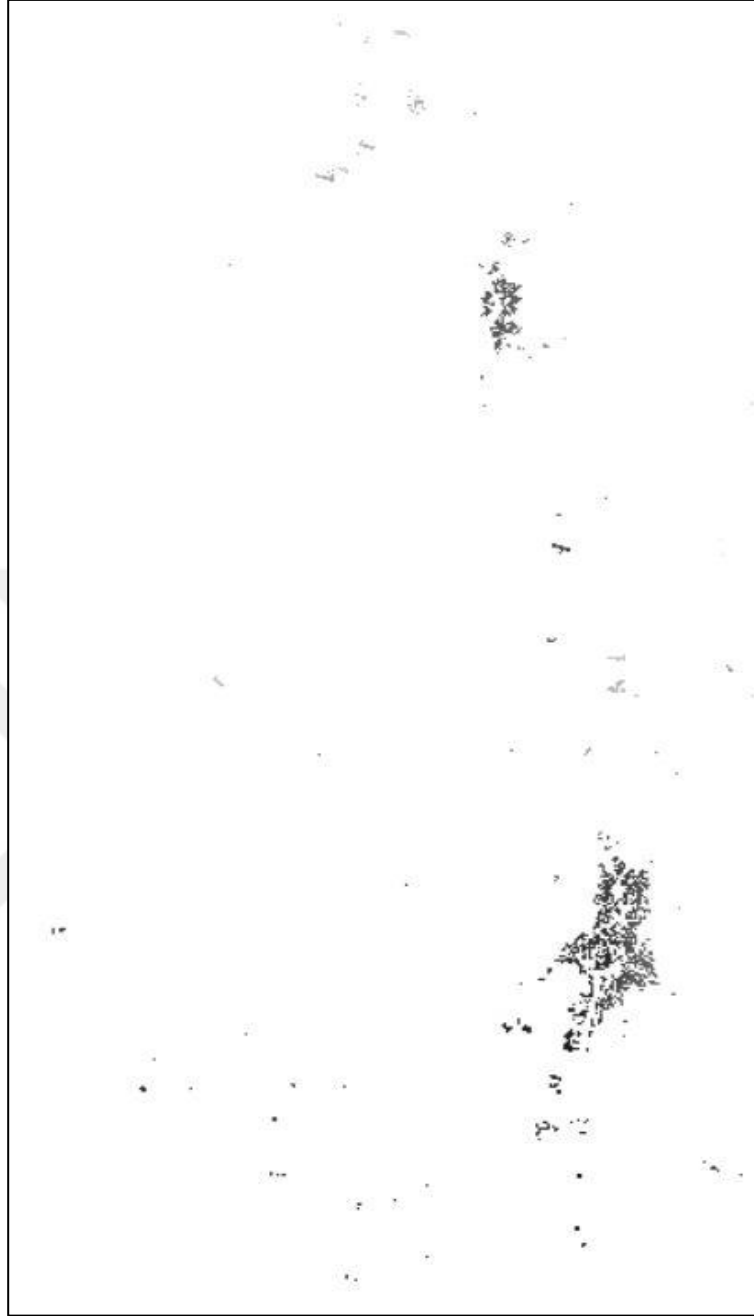
Şekil 4.2. Çalışma alanına ait raster veri

Netcad ortamında binalar ayrılarak ArcGIS'e line (çizgi) olarak alınmış ve binaların taşkın alanındaki etkisinin görülmesi sağlanmıştır. ArcGIS'e aktarılan bina katmanı line katmanından polygon formatına çevrilmesi gerekmektedir. Polygon formatı için: ArcToolbox → Data Management Tools → Features → Feature to Polygon araçları kullanılmış ve bina katmanı polygona çevrilerek Şekil 4.3'te gösterilmektedir.



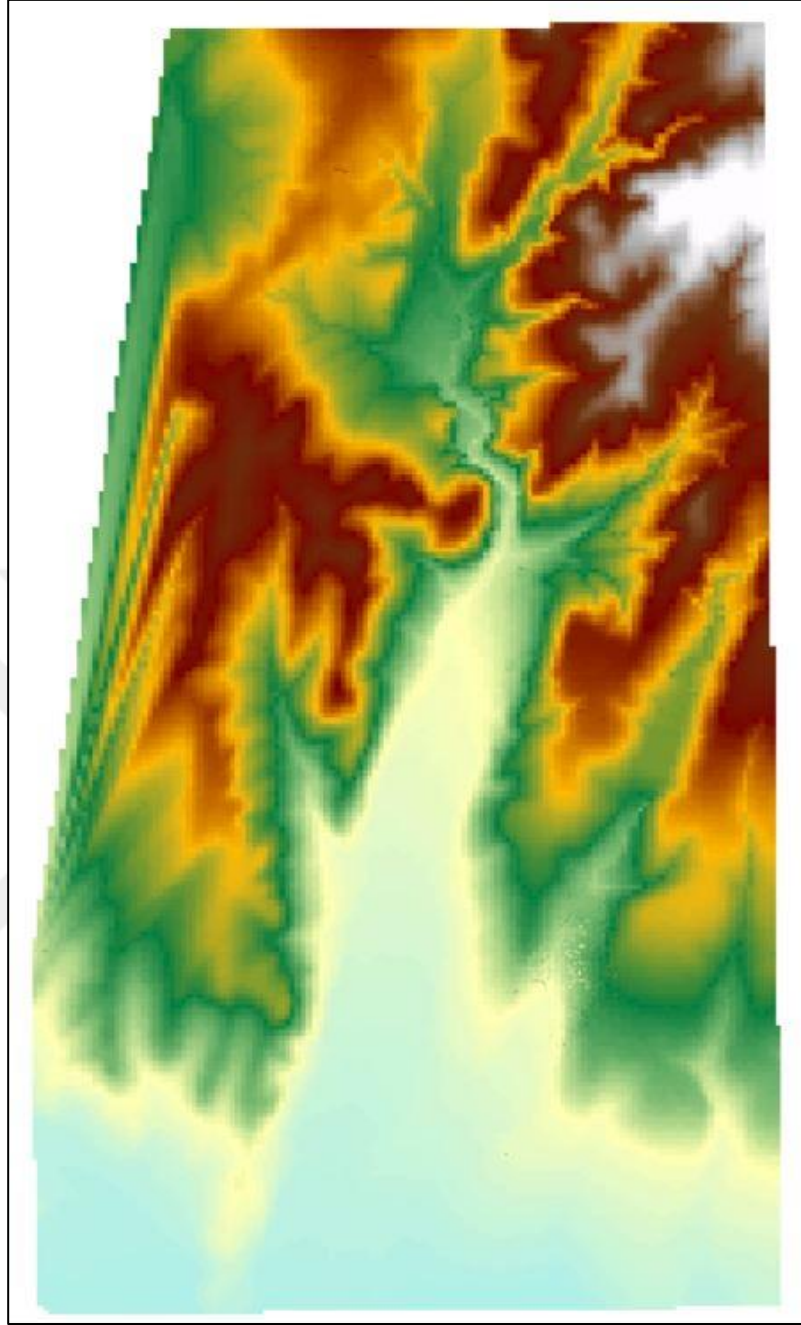
Şekil 4.3. Polygon formatına çevrilmiş binalar

Polygon formatında bulunan bina katmanlarını raster formatına çevrilmesi gerekmektedir. Raster formatı: ArcToolbox → Conversion Tools → To Raster → Polygon to Raster adımları ile bina katmanları raster formata çevrilmiştir. Raster formata dönüştürülen binalar Şekil 4.4'te görülmektedir.



Şekil 4.4. Raster formatına dönüştürülmüş bina katmanı

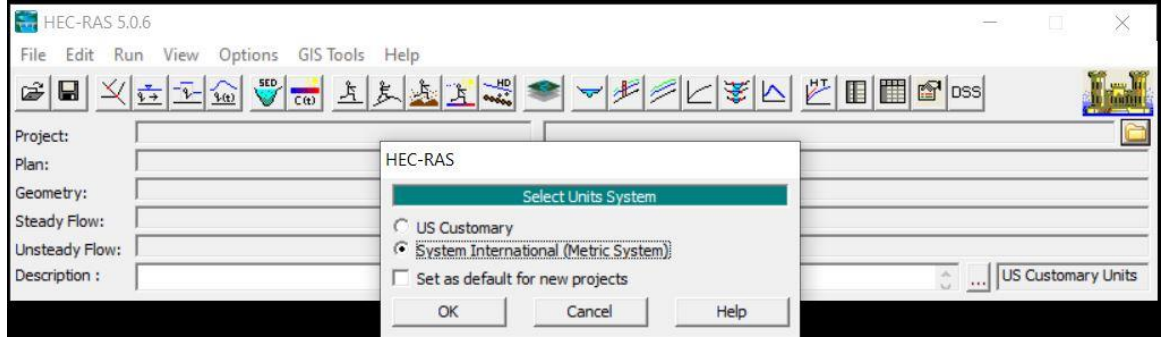
Şekil 4.2.'de araziye ait raster veri ile Şekil 4.4.'de binalara ait olan raster veriler birleştirilerek nihai HEC-RAS programında kullanılacak raster verisi elde edilecektir. Nihai raster verisi: ArcToolbox → Data Management Tools → Raster → Raster Dataset → Mosaic to New Raster adımları ile oluşturulmuştur. Şekil 4.5.'te oluşturulan ve HEC-RAS programında kullanılacak olan raster verisi gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Birleştirilmiş nihai raster veri

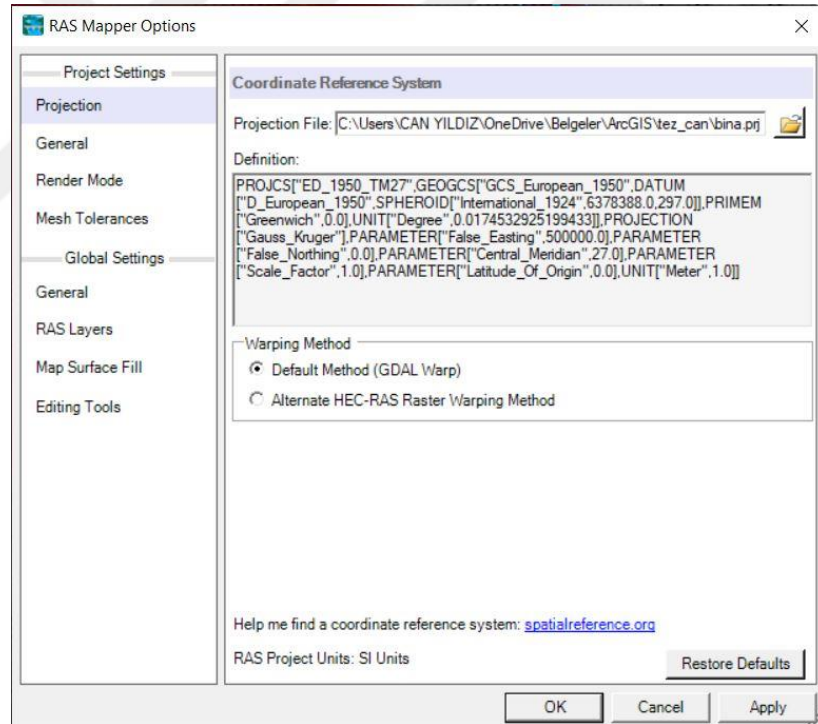
4.2.2. HEC-RAS Programında Yapılan İşlemler

HEC-RAS programı ile yeni bir proje oluşturularak ArcGIS ortamında oluşturulan nihai raster verinin doğru yeri temsil etmesi ve çalışabilmesi için birim sisteminin HEC-RAS'ta tanımlanması gerekmektedir. ArcGIS'te birim sistemi olarak metrik sistem (System International-SI) kullanılmıştır. Metrik sistem: Options → Unit System → System International adımları ile oluşturulmuştur. Şekil 4.6'da metrik sistemin seçim ekranı görülmektedir.



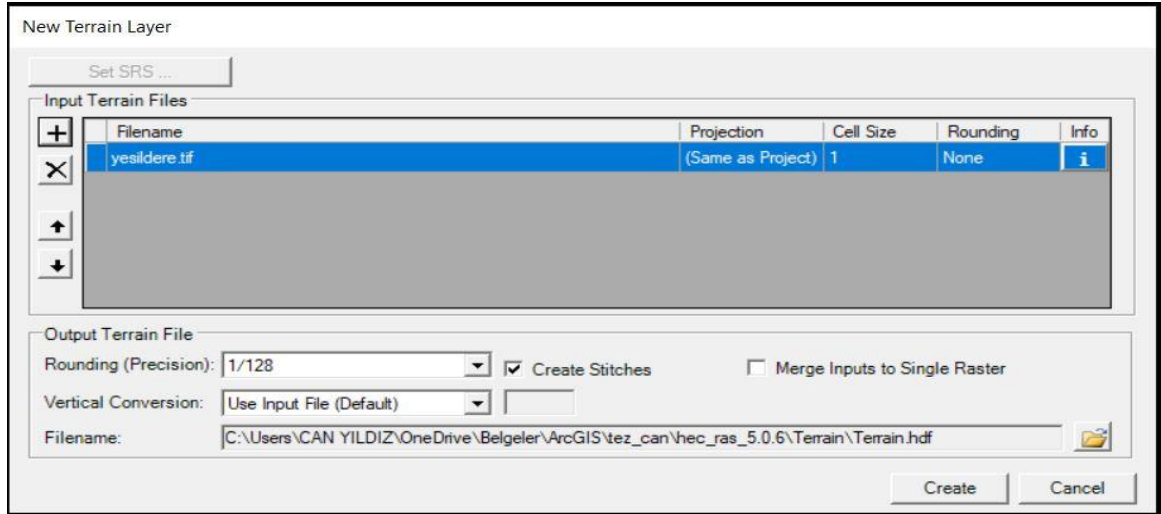
Şekil 4.6. Nihai raster veriye ait birim özelliği

Ayrıca ArcGIS programı ile raster veri oluşturulurken ED_1950_TM27 projeksiyon sistemi kullanılmıştır. HEC-RAS programında kullanılan raster verilerin çalışma alanımızı doğru temsil etmesi için projeksiyon sisteminin tanımlanması gerekmektedir. Projeksiyon sistemi: GIS Tools → RAS Mapper → Tools → Set Projection adımları ile tanımlanmış ve Şekil 4.7’de gösterilmektedir.

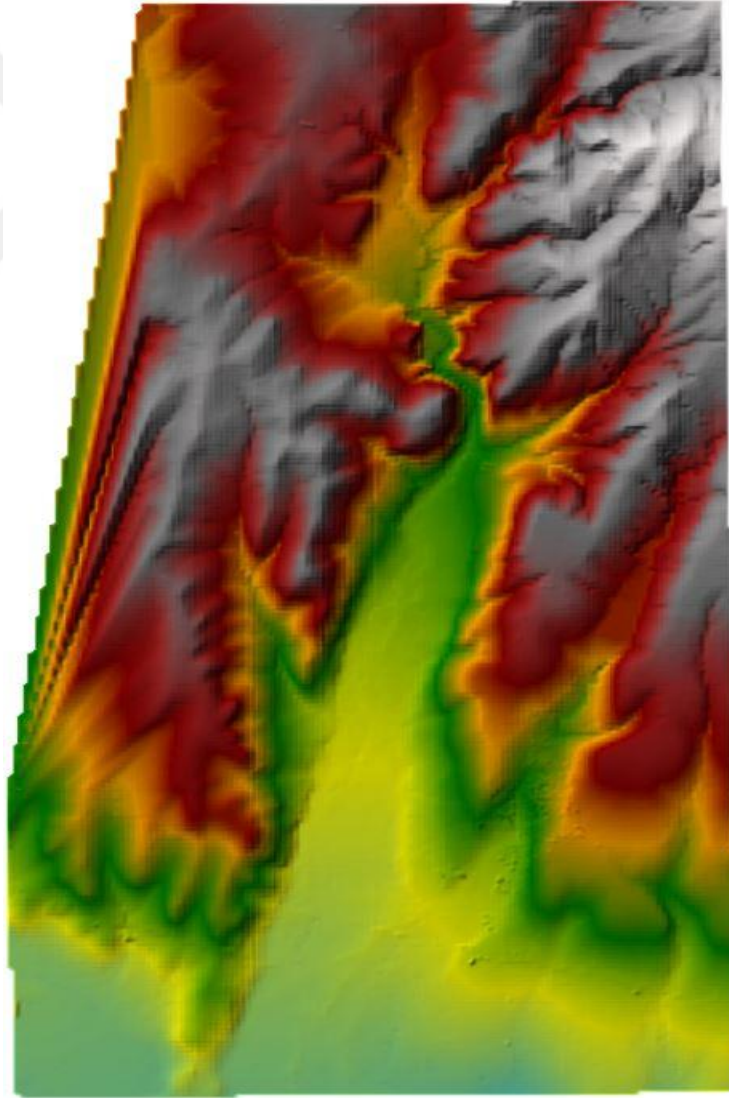


Şekil 4.7. HEC-RAS'ta kullanılan projeksiyon sisteminin tanımlanması

HEC-RAS'ta birim sistemin ve projeksiyon sisteminin tanımlanmasından sonra nihai raster verisi: Tools → New Terrain adımları ile programa eklenmiştir. New Terrain Layer penceresi Şekil 4.8’de ve uygulamada kullanılacak terrain layer Şekil 4.9’da verilmiştir.

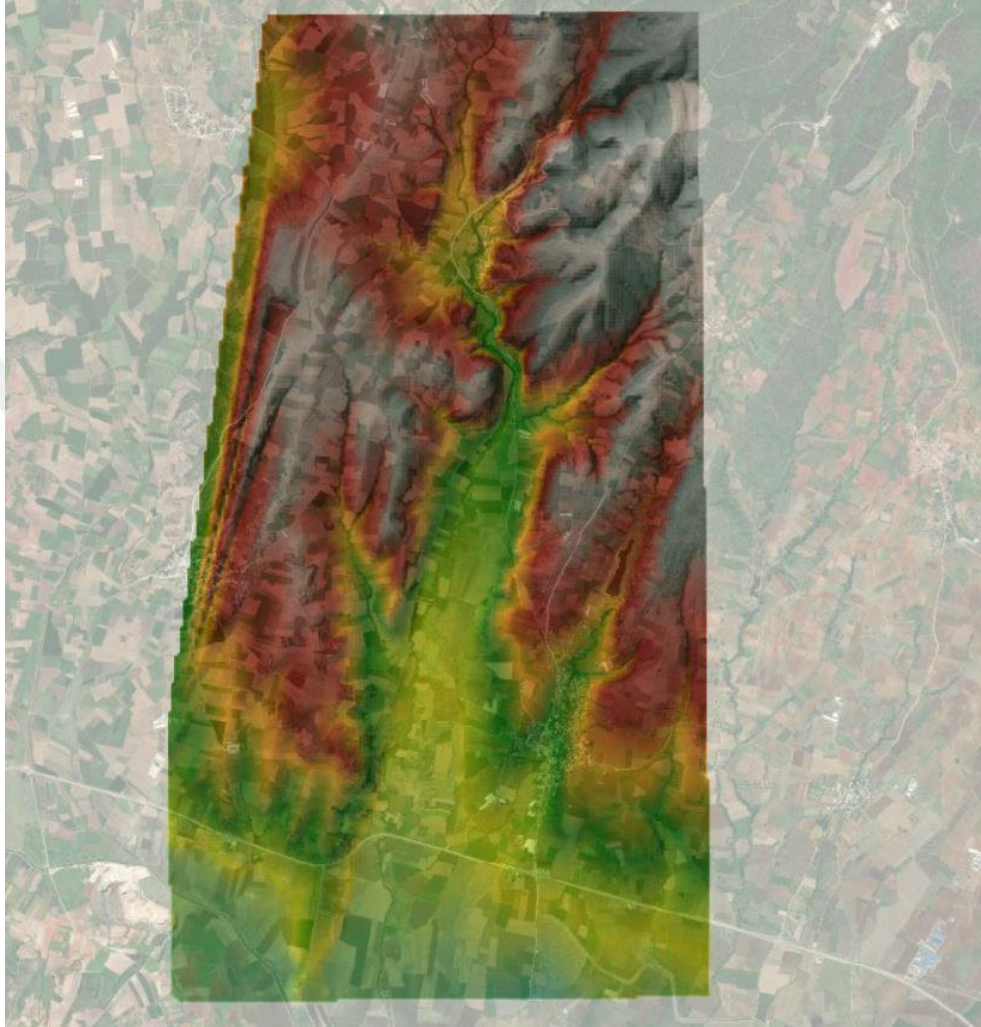


Şekil 4.8. New Terrain Layer penceresi



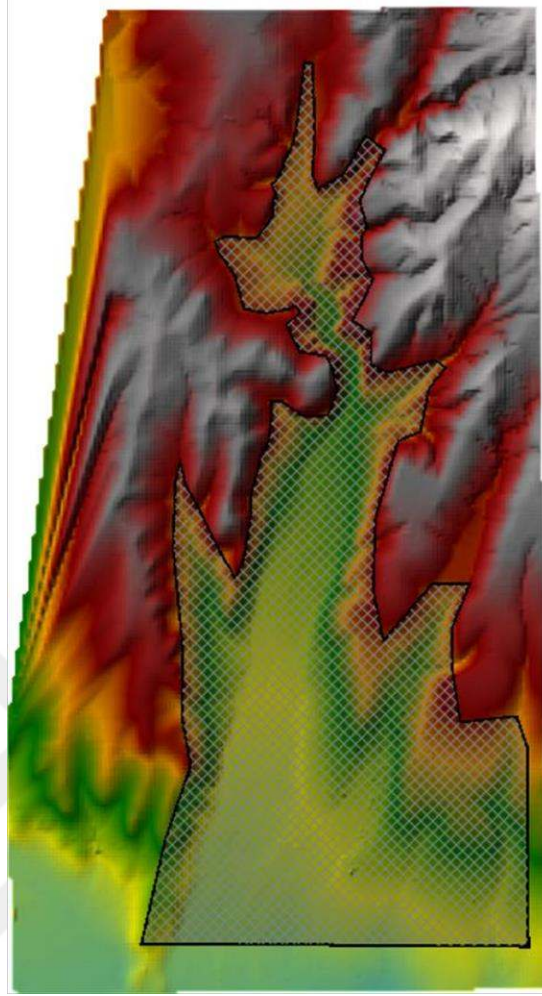
Şekil 4.9. HEC-RAS ortamına alınmış Terrain Layer

Map Layers katmanı kullanılarak da raster verinin çalışma alanını gösterip göstermediği kontrol edilmiş ve Şekil 4.10'da da görüldüğü gibi raster verimizin Yeşildere Barajı ve mansap bölgesinde bulunan yerleşim yerini doğru bir şekilde temsil ettiği görülmüştür.



Şekil 4.10. Raster verisi ile çalışma alanının görüntüsü

HEC-RAS programına ArcGIS'ten aktarılan altlık üzerinde muhtemel taşkın sınırlarında bulunan alanlar (2D Flow Areas) tanımlanmıştır. Baraj yıkılması sonucu taşkına maruz kalacağı düşünülen alanların sınırları: Geometric Data → 2D Flow Area adımları ile saat yönünün tersin doğrultusunda çizilerek oluşturulmuştur. Şekil 4.11'de muhtemel taşkın yayılabilecek sınırı görülmektedir. Taşkın alanının ve yönünün daha sağlıklı sonuç verebilmesi için taşkın yayılım alanı küçük hücre (5x5 m) ağılarına ayrılarak Şekil 4.12'de gösterilmiştir. Ayrıca baraj göl alanı sınırı Geometric Data → Storage Area adımları ile Şekil 4.13'de ki gibi tanımlanmış, Yeşildere barajına ait hacim-satış eğrisi değerleri ve hacim-satış eğrisi Yeşildere Barajı Planlama Raporundan temin edilerek Şekil 4.14 ve Şekil 4.15'te gösterildiği gibi girilmiştir.



Şekil 4.11. Tanımlanmış taşkın alanı

2D Flow Areas

2D Flow Area: taskin

Connections and References to this 2D Flow Area

Conn: baraj BCLine: cikis

Default Manning's n Value: 0.05

Edit Land Cover to Manning's n...

Cell Volume Filter Tol (0=OFF)(m): 0.003

Cell Minimum Surface Area Fraction (0=OFF): 0.01

Face Profile Filter Tol (0=OFF)(m): 0.003

Face Area-Elev Filter Tol (0=OFF)(m): 0.003

Face Conveyance Tol Ratio (min=0.0001): 0.02

Face Laminar Depth (0=OFF)(m): 0.06

GIS Outline ... Force Mesh Recomputation

2D Flow Area Computation Points

Mesh contains: 661197 cells

max cell (69791) = 49.26 (m2)

min cell = 18.95 (m2)

avg cell = 25.06 (m2)

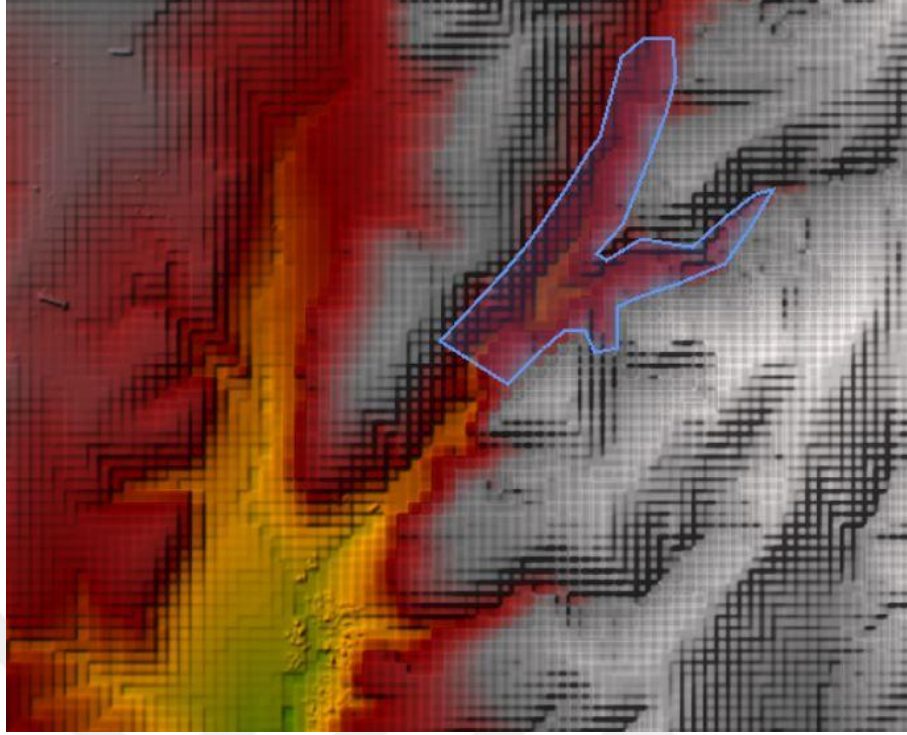
Generate Computation Points on Regular Interval with All Breaklines...

Enforce Selected Breaklines (and Internal Connections) ...

View/Edit Computation Points ...

OK Cancel

Şekil 4.12. İki boyutlu taşkın alanı özellikleri



Şekil 4.13. Tanımlanmış göl alanı

Storage Area Editor

Storage Area: rezervuar

Connections and References to this Storage Area

Conn: baraj

☐ Area times depth method

Area (1000 m2):

Min Elev:

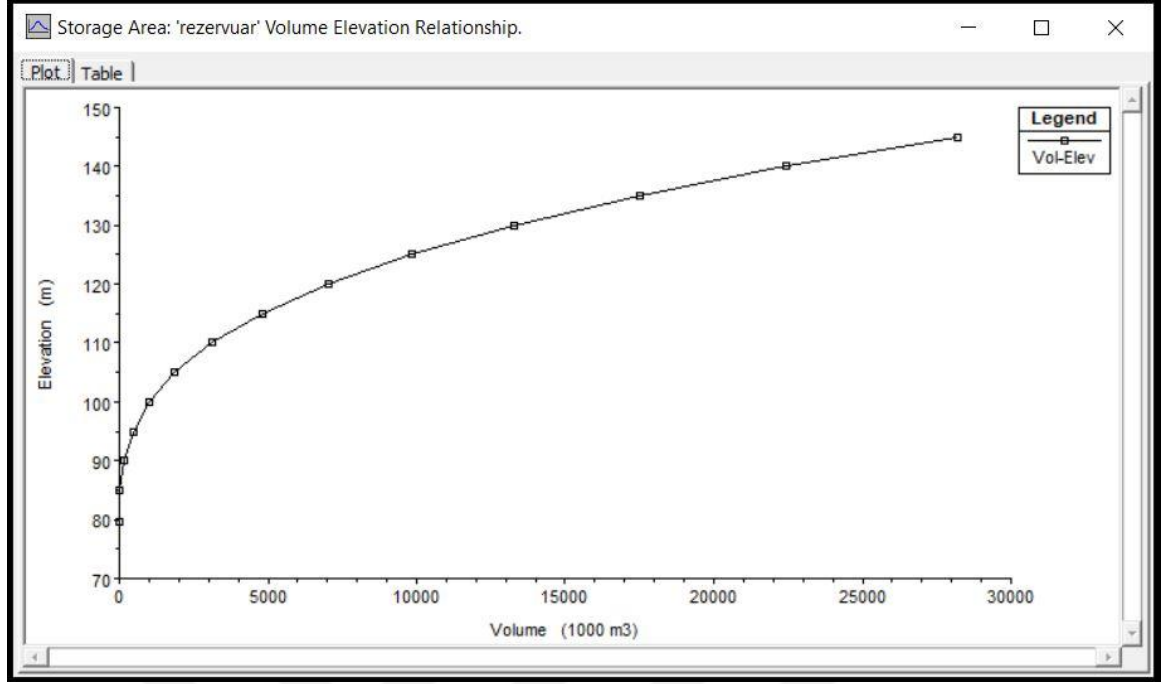
☒ Elevation versus Volume Curve

Compute E-V table from Terrain

Elevation Volume Curve		
First elevation must have zero volume		
	Elevation	Volume (1000 m3)
1	79.5	0
2	85	20
3	90	140
4	95	450
5	100	1000
6	105	1850
7	110	3110
8	115	4830
9	120	7050
10	125	9830
11	130	13260

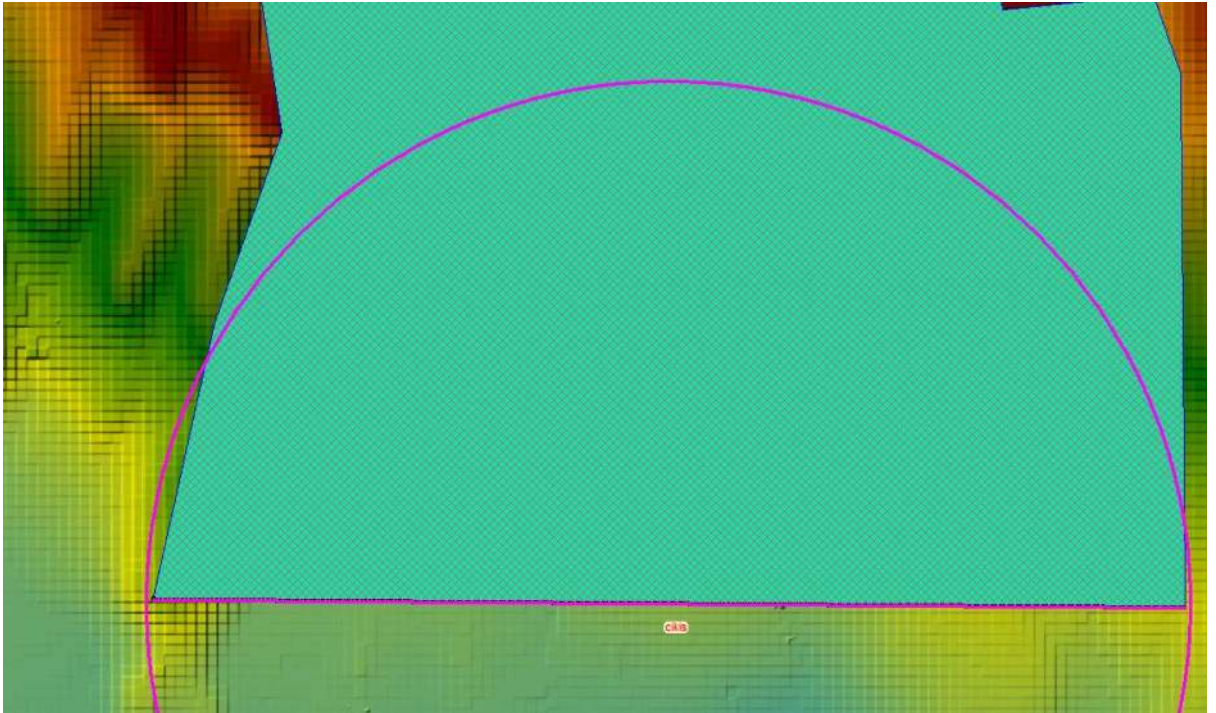
GIS Outline ... Plot Vol-Elev ... OK Cancel

Şekil 4.14. Hacim-satıl eğrisi değerleri



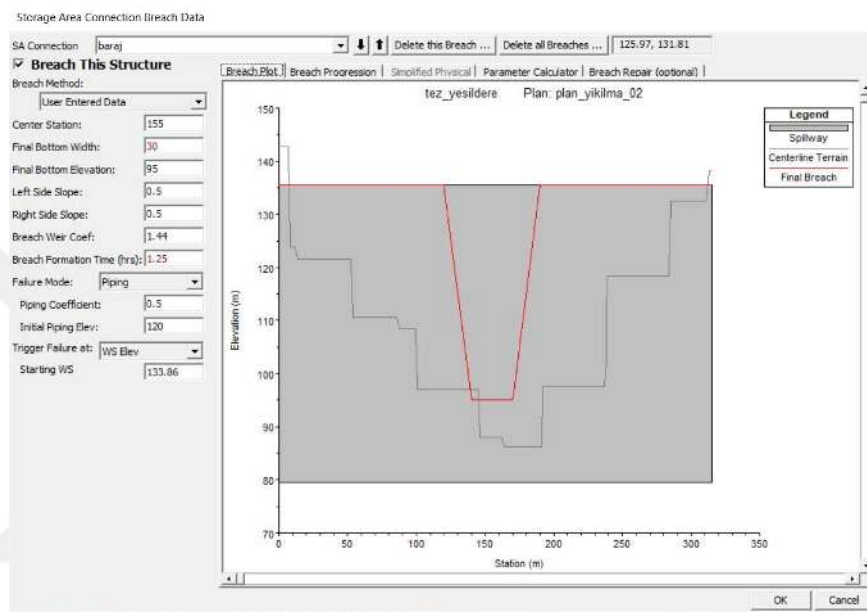
Şekil 4.15. Yeşildere Barajı Hacim-satış eğrisi

Taşkın yayılım alanında meydana gelecek taşkınının yönüne göre taşkın sınırını temsil edecek olan mansap sınır şartı SA/2D BC Lines butonu ile Şekil 4.16'da görüldüğü gibi belirlenmiştir.

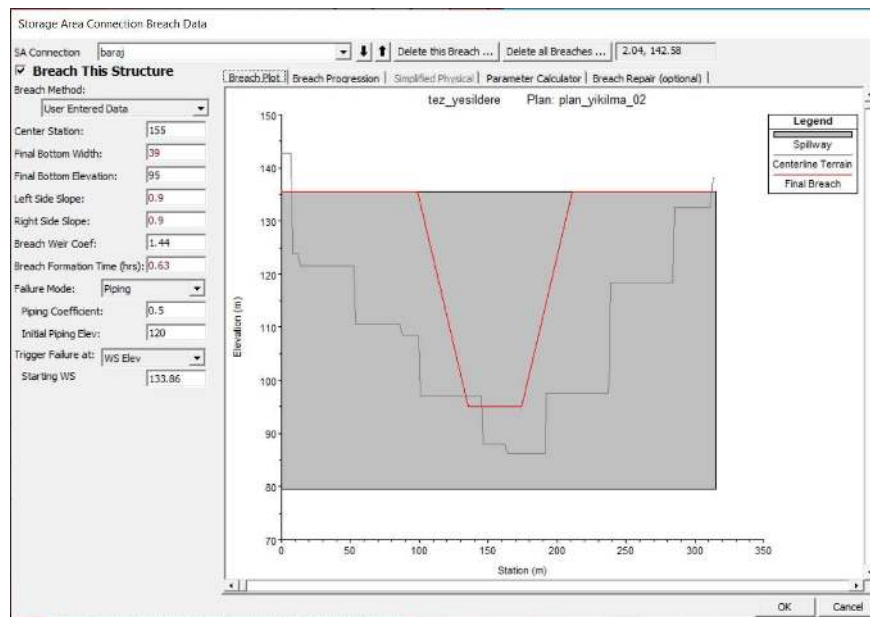


Şekil 4.16. Mansap sınır şartı çizgisi

HEC-RAS'da SA/2D Connection butonu seçilerek taşkın yayılım alanı ile baraj göl alanı arasına bağlantı noktası olarak baraj gövdesi düzenlenmiştir. Baraj gövdesi: Edit Connection → Connection Data Editor → Weir/Embankment adımları ile gövde yükseklik ve genişlik bilgileri girilmiştir. Baraj yıkılma analizi için gerekli olan parametreler HEC-RAS tarafından kullanılan MacDonald et al, Froehlich 1995, Froehlich 2008, Von Thun & Gillette ve Xu & Zhang yöntemleri için ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir yıkılma denkleminde kullanılan veri girişleri Şekil 4.17 – Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17. MacDonald et al yıkılma parametreleri



Şekil 4.18. Froehlich 1995 yıkılma parametreleri

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: [baraj] [Delete this Breach ...] [Delete all Breaches ...]

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: [User Entered Data]

Center Station: [155]
 Final Bottom Width: [37]
 Final Bottom Elevation: [95]
 Left Side Slope: [0.7]
 Right Side Slope: [0.7]
 Breach Weir Coef: [1.44]
 Breach Formation Time (hrs): [0.58]
 Failure Mode: [Piping]
 Piping Coefficient: [0.5]
 Initial Piping Elev: [120]
 Trigger Failure at: [WS Elev]
 Starting WS: [133.86]

Breach Plot | Breach Progression | Simplified Physical | Parameter Calculator | Breach Repair (optional)

Input Data

Top of Dam Elevation (m): [135.5] Breach Bottom Elevation (m): [95]
 Pool Elevation at Failure (m): [133.86] Pool Volume at Failure (1000 m3): [17490]
 Failure mode: [Piping]

MacDonald

Dam Crest Width (m): [8] Slope of US Dam Face Z1 (H:V): [1.4]
 Earth Fill Type: [Non-homogeneous or Rockfill] Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): [1.4]

Xu Zhang (and Von Thun)

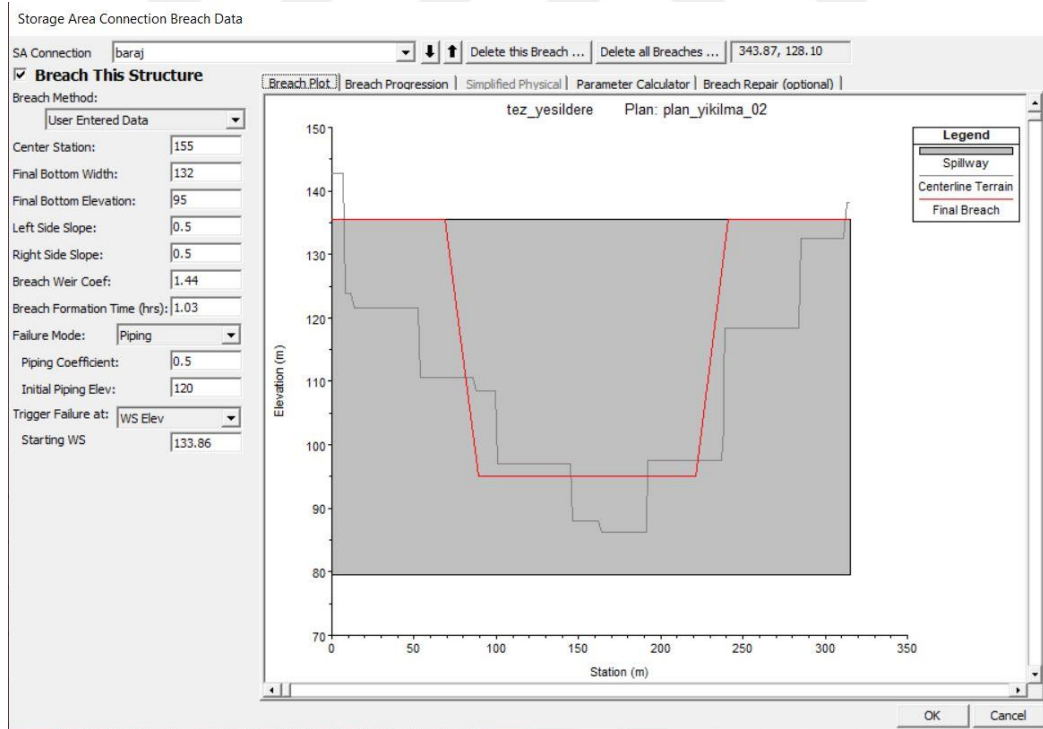
Dam Type: [Concrete-faced dam] Dam Erodibility: [Medium]

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	30	0.5	1.25	[Select]
Froehlich (1995)	39	0.9	0.63	[Select]
Froehlich (2008)	37	0.7	0.58	[Select]
Von Thun & Gillete	132	0.5	1.03	[Select]
Xu & Zhang	52	0.59	0.99 *	[Select]

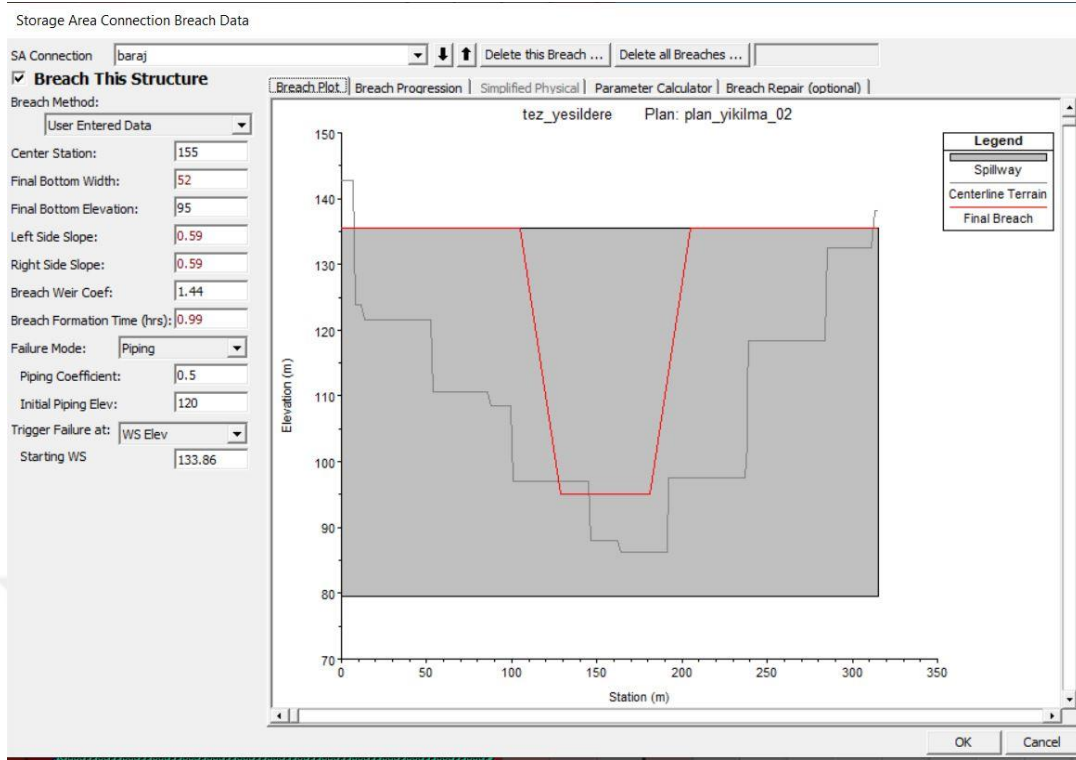
* Note: the breach development time from the Xu Zhang equation includes more of the initial erosion period and post erosion than what is used in the HEC-RAS breach formation time.

OK Cancel

Şekil 4.19. Froehlich 2008 yıkılma parametreleri



Şekil 4.20. Von Thun & Gillete yıkılma parametreleri



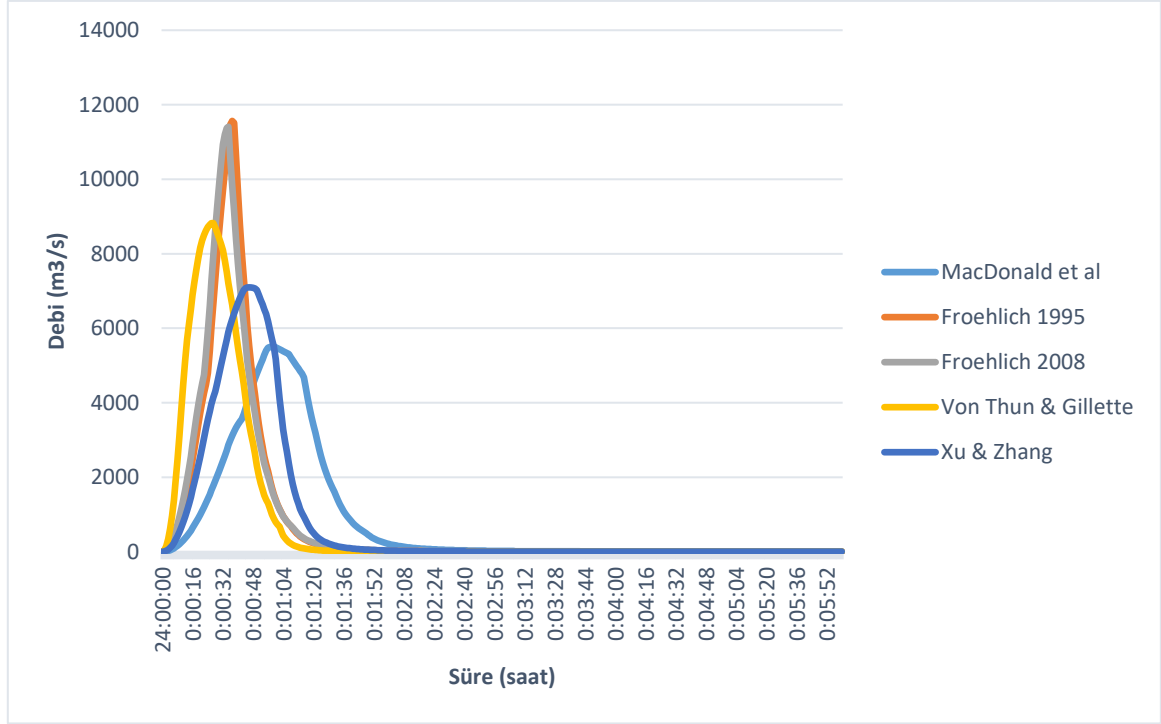
Şekil 4.21. Xo & Zhang yıkılma parametreleri

Unsteady Flow kabulü ile 5 dakikalık hassasiyetle her bir model için Yeşildere Barajı yıkılma parametreleri, pik debi miktarları ve pik debi oluşma süreleri Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Yeşildere Barajı yıkılma parametreleri ve hesaplanan pik debiler

Sıra No	Hesap Yöntemi	Gedik Taban Genişliği (m)	Şev Eğimi (Y:D)	Yıkılmanın Tamamlanma Süresi (saat)	Pik Debi (m ³ /s)	Pik Debi Oluşma Süresi (dk)
1	MacDonald et al	30	0.5	1.25	5516.63	58
2	Froehlich 1995	39	0.9	0.63	11564.72	37
3	Froehlich 2008	37	0.7	0.58	11408.40	35
4	Von Thun & Gillette	132	0.5	1.03	8820.22	26
5	Xu & Zhang	52	0.59	0.99	7096.41	46

Tablo 4.2 incelendiğinde pik debi ortalamasının 8881.27 m³/s ve pik debi oluşma süresinin ortalamasının 40.4 dakika olduğu görölmüştür. Şekil 4.22’de yukarıdaki tabloda hesaplanan yöntemlere ait yıkılma hidrografları verilmiştir.



Şekil 4.22. Çeşitli yöntemlerle hesaplanmış taşkın hidrografları

HES-RAS programındaki hesap yöntemleriyle hesabı yapılan Yeşildere Barajı yıkılma analizlerinde; pik debi ortalamasına yakın olan ve pik debi oluşma süresinin 26 dakika olarak hesaplanan Von Thun & Gillette yaklaşımı benimsenmiştir. Buna göre Yeşildere Barajı'nın yıkılması durumunda 26. dakikada 8820,22 m³/s pik debinin oluşacağı hesaplanmıştır.

Baraj yıkılma parametreleri tanımlandıktan sonra mansap sınır akım koşullarının belirlenmesi gerekmektedir. Mansap çıkış akım koşullarını tanımlamak için Şekil 4.23'de görüldüğü gibi normal depth seçilerek eğimi 0.05 seçilmiştir. Ayrıca Şekil 4.24'de görüldüğü gibi initial conditions kısmında da başlangıç değerleri girilerek baraj rezervuarının maksimum olduğu ve rezervuara gelen hiçbir akımın olmadığı kabul edilmiştir.

Unsteady Flow Data - uesteady01

File Options Help

Description:

Boundary Conditions | Initial Conditions | Meteorological Data | Observed Data

Boundary Condition Types

Stage Hydrograph	Flow Hydrograph	Stage/Flow Hydr.	Rating Curve
Normal Depth	Lateral Inflow Hydr.	Uniform Lateral Inflow	Groundwater Interflow
T.S. Gate Openings	Elev Controlled Gates	Navigation Dams	IB Stage/Flow
Rules	Precipitation		

Add Boundary Condition Location

Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add SA/2D Area Conn ... Add Pump Station ...

Select Location in table then select Boundary Condition Type

River	Reach	RS	Boundary Condition

Storage/2D Flow Areas

Storage/2D Flow Areas	Boundary Condition
1 taskin BCLine: cikis	Normal Depth

Normal Depth Downstream Boundary

SA: taskin BCLine: cikis

Friction Slope:

2D Flow Area Boundary Condition Parameters

☒ Compute separate water surface elevation per face along BC Line

☐ Compute single water surface for entire BC Line

OK Cancel

Şekil 4.23. Mansap çıkış sınır koşulları

Unsteady Flow Data - usteady01

File Options Help

Description:

Apply Data

Boundary Conditions Initial Conditions Meteorological Data Observed Data

Initial Flow Distribution Method

☐ Restart Filename:

☐ Prior WS Filename:

Profile:

☒ Enter Initial flow distribution (Optional - leave blank to use boundary condtions)

Add RS...

User specified fixed flows (Optional)				
	River	Reach	RS	Initial Flow
1				

Initial Elevation of Storage Areas/2D Flow Areas (Optional)

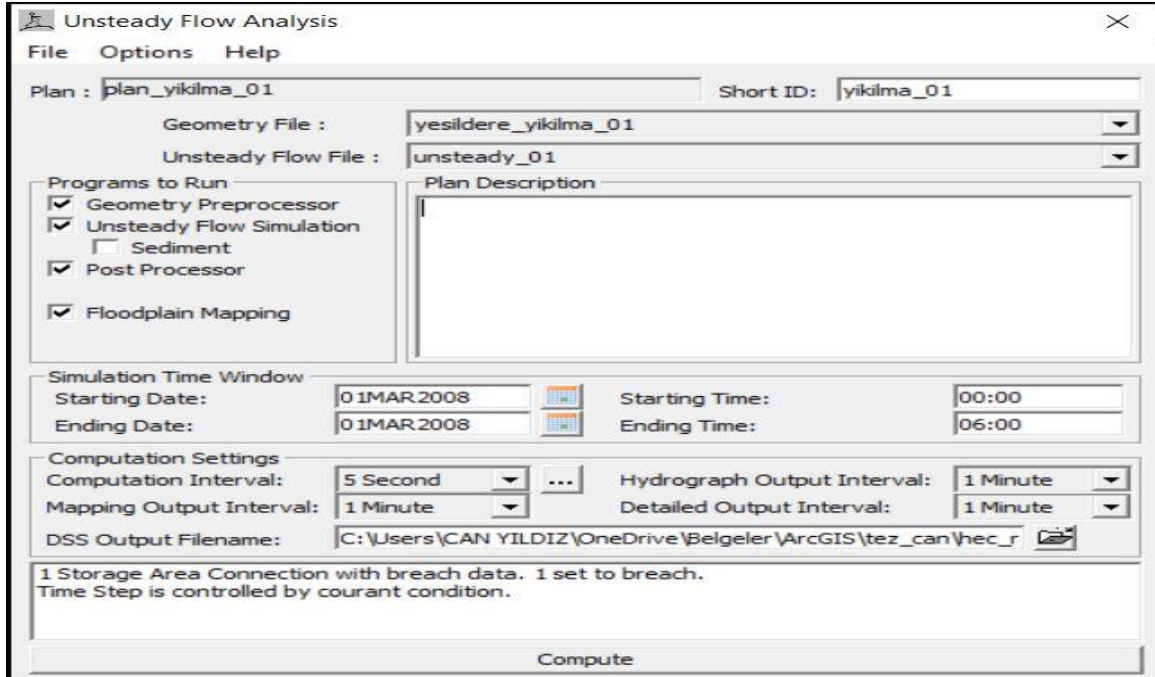
☐ Keep initial elevations constant during warmup

Import Min SA Elevation(s)

	Storage Area/2D Flow Area	Initial Elevation
1	SA: gol	135.5
2	2D: taskin	

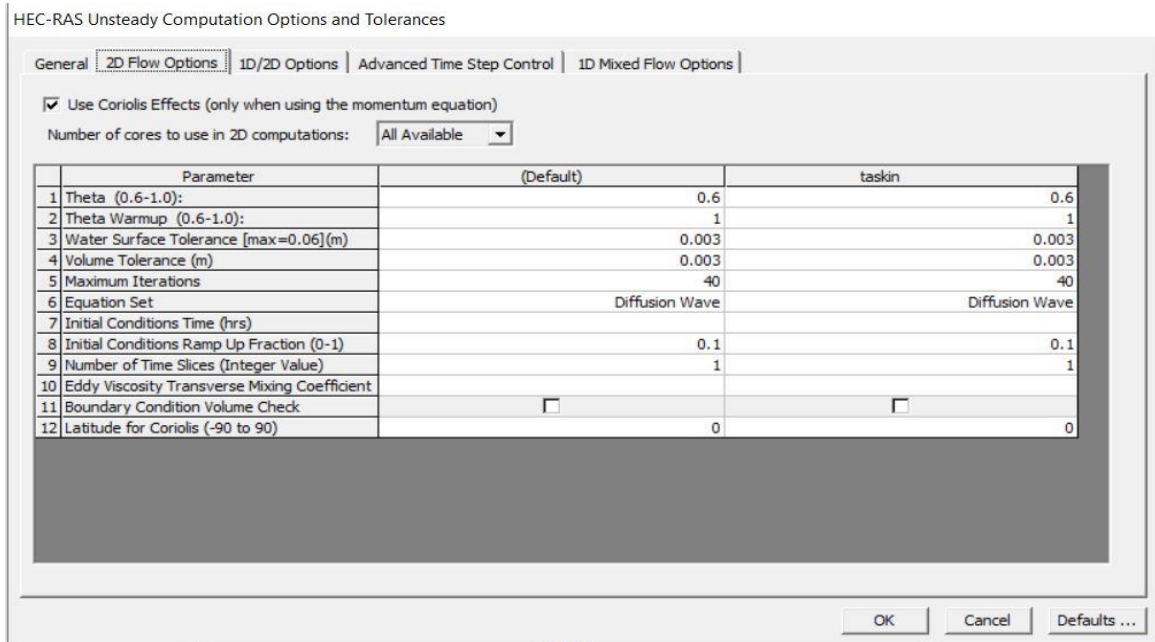
Şekil 4.24. Initial Conditions (Başlangıç sınır) değerleri

HEC-RAS programı ile taşkın senaryosuna ve akım bilgilerine ait değerler girildikten sonra Unsteady Flow Analysis aracı ile Şekil 4.25’deki analiz başlama ve bitiş tarihi ve saati, oluşacak harita süreleri ve hidrograf hesap aralığı parametreleri seçilmiştir. Analizin süresi 6 saat olarak seçilerek taşkın yayılımının nasıl sonuçlanacağı incelenmiştir.



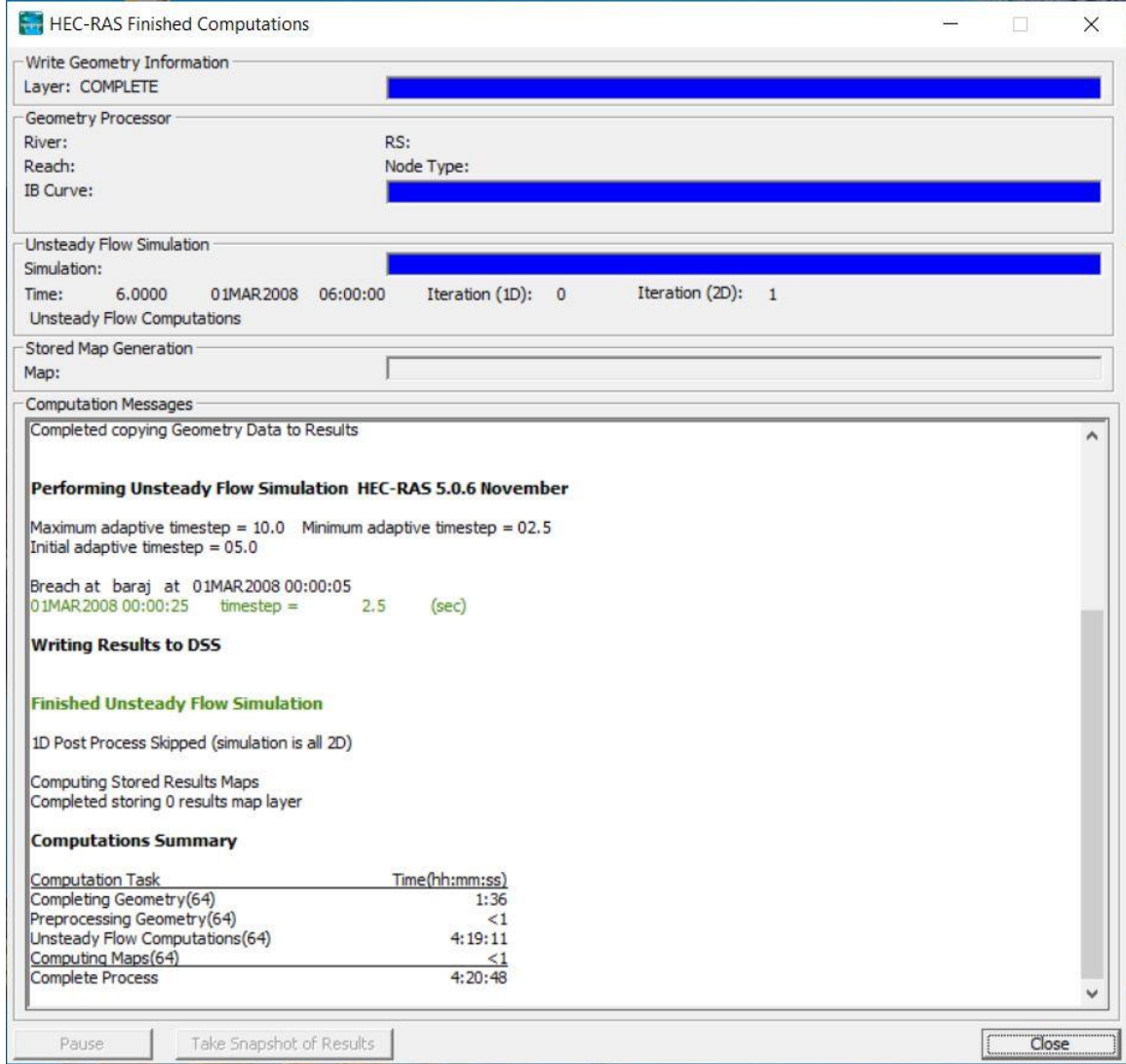
Şekil 4.25. Unsteady flow analysis (Kararsız akım analizi) editörü

HEC-RAS programında yapılacak analizin detay ayarlarını yapmak için Options → Calculation Options and Tolerances sekmesiyle detay ayar penceresi açılmıştır. Şekil 4.26'da verilen Unsteady Calculation Options and Tolerances editöründe Equation Set kısmında hidrodinamik çözümde kullanacağımız denklem seti seçimi yapılmıştır. Yeşildere Barajı yıkılma analizinde Difüzyon Dalga Denklemi seti seçilmiştir.



Şekil 4.26. Unsteady Calculation Options and Tolerances editöründe

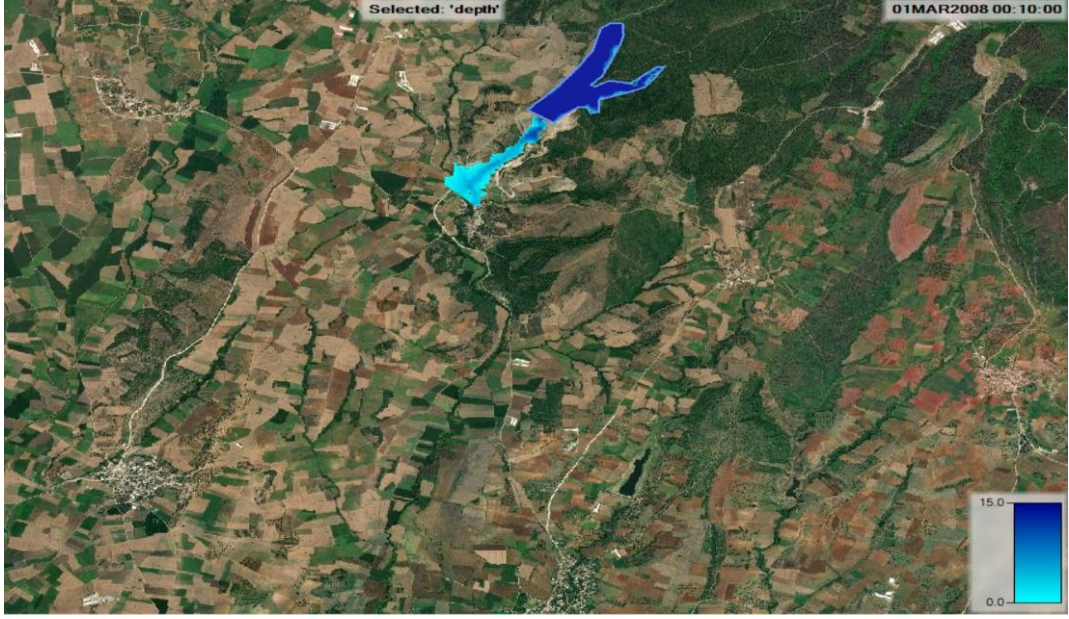
HEC-RAS programında gerekli bütün ayarlamalar yapıldıktan sonra Compute butonuna basarak analize başlanılmış ve Şekil 4.27’deki simülasyon sonuç ekranı ile Yeşildere Barajı yıkılma analizi tamamlanmıştır.



Şekil 4.27. Simülasyon sonuç ekranı

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

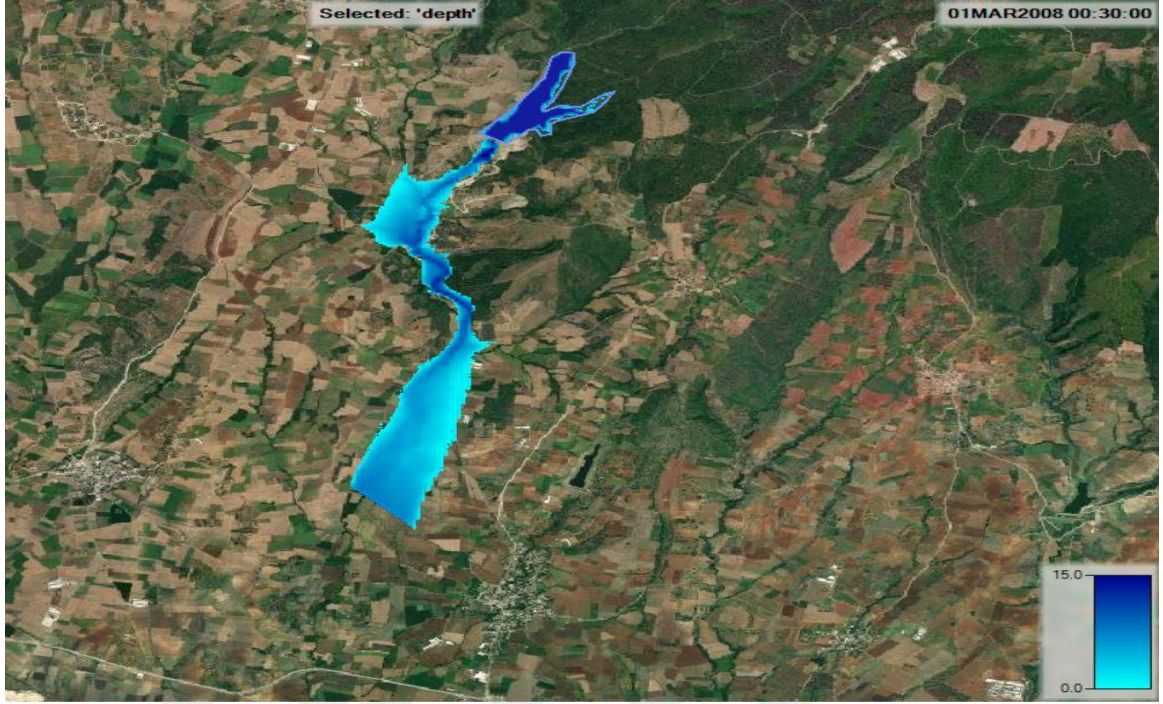
HEC-RAS programı ile Yeşildere Barajı'nın yıkılma analizi yapılarak olası bir yıkılma sonucu oluşacak taşkın yayılım haritası elde edilmiştir. Baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkına ait 10'ar dakikalık risk haritaları Şekil 5.1 – Şekil 5.6'da görülmektedir. Ayrıca Şekil 5.7'de maksimum derinlikteki taşkın risk haritası ile Şekil 5.8'de taşkın yayılım hız haritası görülmektedir.



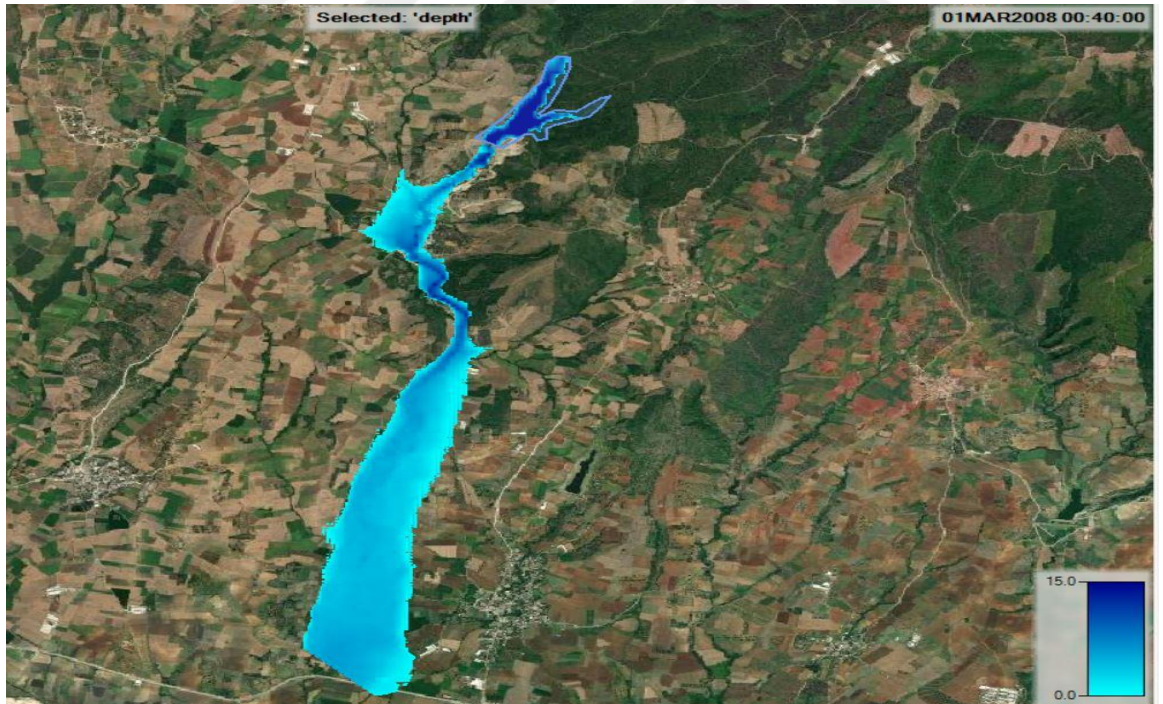
Şekil 5.1. Yeşildere Barajı 10. dakikadaki taşkın risk haritası



Şekil 5.2. Yeşildere Barajı 20. dakikadaki taşkın risk haritası



Şekil 5.3. Yeşildere Barajı 30. dakikadaki taşkın risk haritası



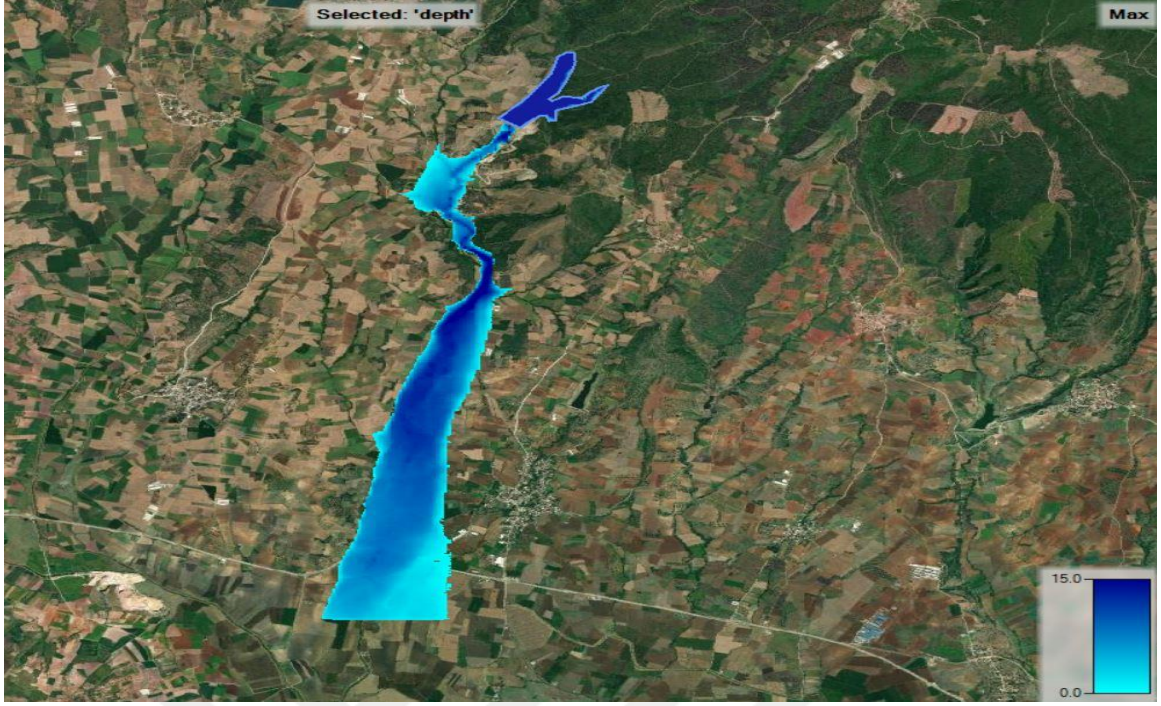
Şekil 5.4. Yeşildere Barajı 40. dakikadaki taşkın risk haritası



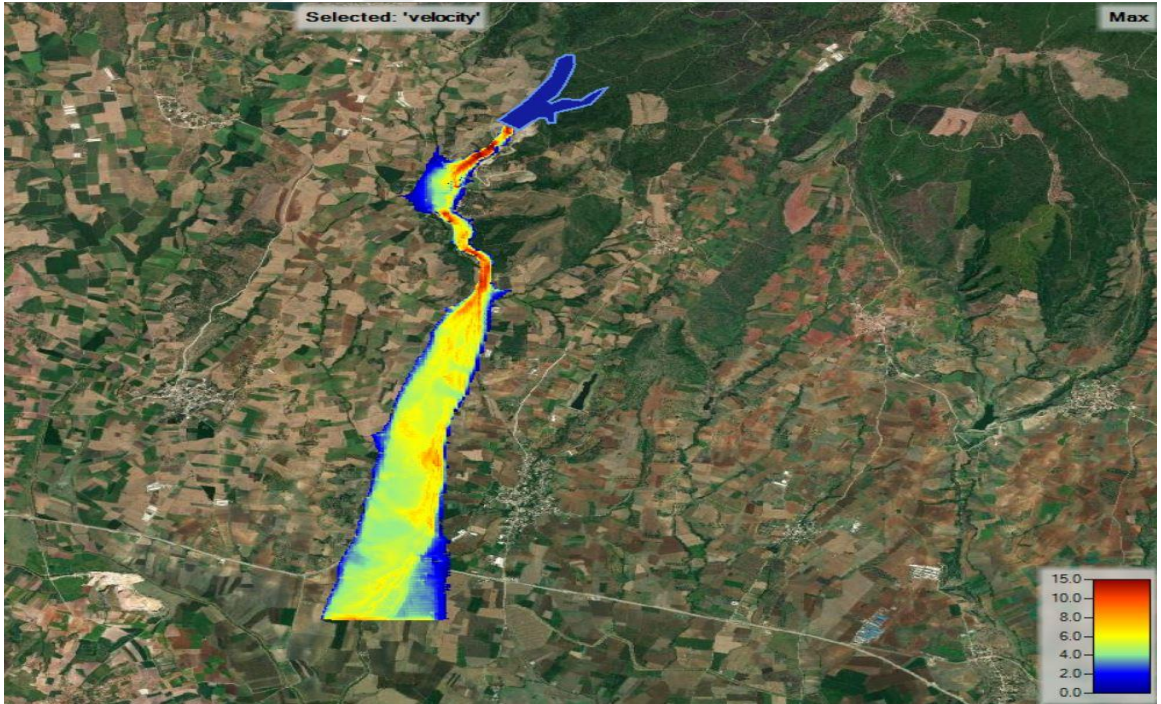
Şekil 5.5. Yeşildere Barajı 50. dakikadaki taşkın risk haritası



Şekil 5.6. Yeşildere Barajı 60. dakikadaki taşkın risk haritası

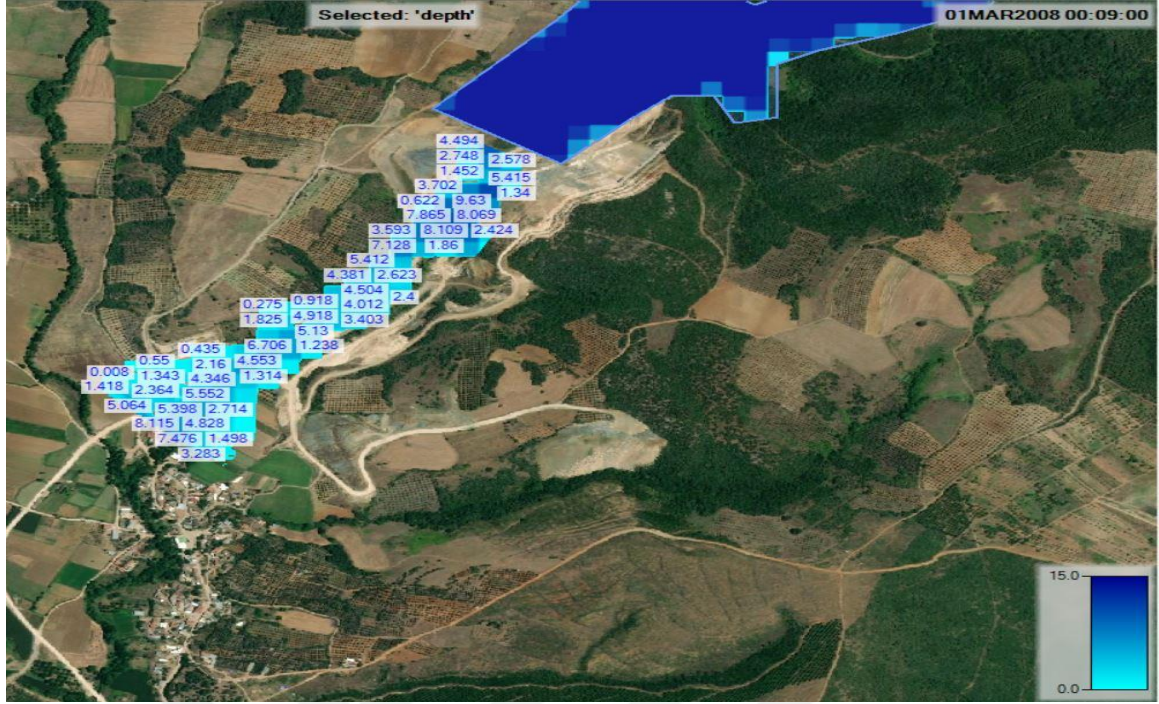


Şekil 5.7. Yeşildere Barajı maksimum taşkın risk haritası



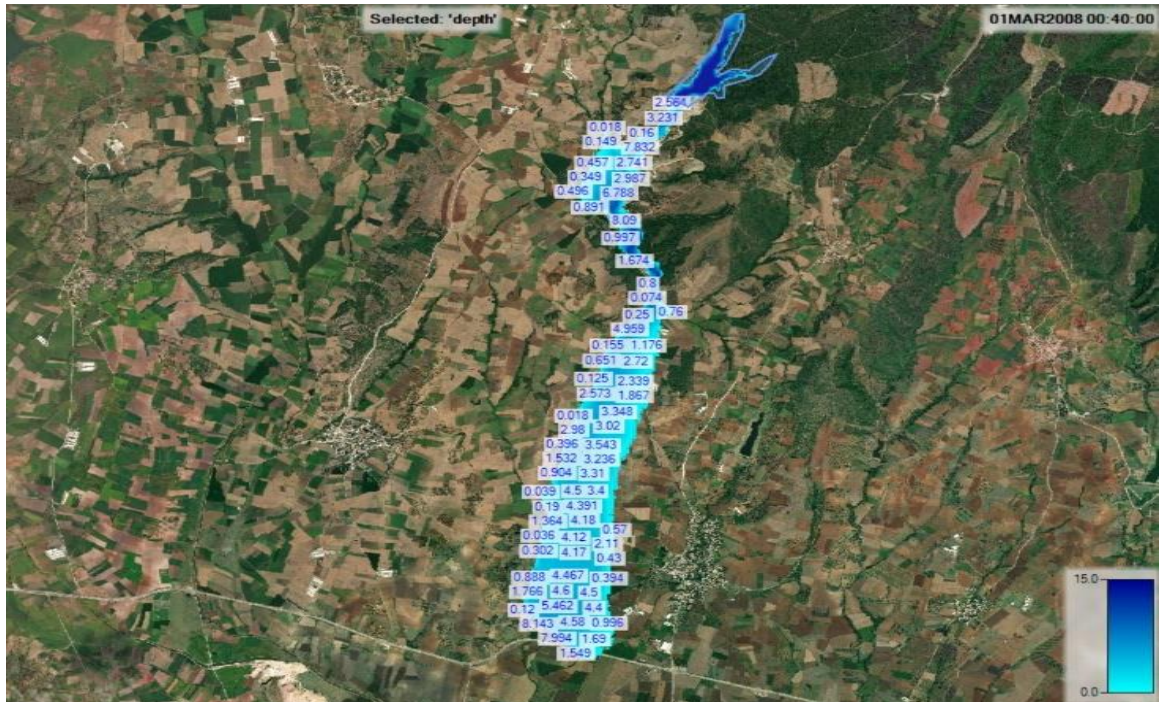
Şekil 5.8. Yeşildere Barajı taşkın yayılım hız haritası

Yeşildere Barajı yıkılma analizinde saat 00:09'da ortalama 5,0 m yüksekliğindeki taşkın dalgaları yerleşim yerine ulaştığı gözlenmiştir. Şekil 5.9.'da yerleşim yerine ulaşan taşkın dalgalarının yükseklikleri görülmektedir.



Şekil 5.9. Yerleşim yerine ulaşan taşkın dalgalarının yükseklikleri

Baraj yıkılma simülasyonunda 00:40'da ortalama 7,0 m yüksekliğindeki taşkın dalgaları Bursa – Çanakkale otoyoluna ulaştığı gözlenmiştir. Şekil 5.10.'da otoyola ulaşan taşkın dalgalarının yükseklikleri görülmektedir.



Şekil 5.10. Bursa-Çanakkale yoluna ulaşan taşkın dalga yükseklikleri

6. SONUÇLAR

Barajlar, rezervuarlarında çok büyük hacimlerde su biriktiren yapılar olduğundan yıkılmaları halinde çok büyük felaketlere yol açabilmektedir. Aşırı yağışlara nazaran, baraj yıkılmaları sonucunda oluşacak taşkınların büyüklükleri oldukça fazladır. Bundan dolayı baraj mansabında yerleşim yerlerinin bulunması ciddi risklerin oluşmasına neden olmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı; Bursa İli Karacabey İlçesi Yeşildere Mahallesinde inşası devam eden Yeşildere Barajı'nın 2 boyutlu yıkılma analizini yaparak, baraj mansabında bulunan yerleşim yerinin taşkın riskinin belirlenmesi, haritalarının oluşturulması, taşkın su yüksekliğinin ve taşkın oluşma zamanının belirlenmesidir.

HEC-RAS programı kullanılarak Yeşildere Barajı'nın gövdesinde olası meydana gelebilecek yıkılmanın analizi gerçekleştirilmiştir. Baraj yıkılma analizinde kullanılan ArcGIS ve HEC-RAS programları çalışmanın Materyal ve Metot bölümünde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

Yeşildere Baraj planlama raporunda bulunan hacim – satıh değerleri kullanılarak baraj rezervuarının tamamen dolu olduğu ve dışarıdan herhangi bir akımın olmadığı kabul edilmiştir.

HEC-RAS programında baraj yıkılma hesap yöntemleri ile pik debi hesapları yapılarak ortalama pik debi değerine daha yakın ve pik debi ulaşma süresinin daha kısa olduğu Von Thun & Gillete yöntemi ve taşkın yayılım durumunun daha iyi gözlenmesi için 6 saatlik analiz süresi seçilerek simülasyon işlemine başlanılmıştır.

Yeşildere Barajı yıkılma analizi sonucunda; baraj mansabının 1,0 km uzağında bulunan Yeşildere Mahallesine 9 dakika sonra 5,0 m yüksekliğinde taşkın dalgalarının ulaştığı ve yerleşim yerinin büyük bir kısmının sular altında kaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca oluşan taşkın dalgalarının 40 dakika sonra ortalama 7,0 m yüksekliğindeki taşkın dalgalarının Bursa-Çanakkale otoyoluna ulaştığı tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması sonucunda Yeşildere Barajı'nın yıkılması sonucunda oluşacak taşkın risk haritaları oluşturularak, taşkın anındaki maksimum su seviyeleri ile oluşma zamanları belirlenmiştir.

ÖNERİLER

Bu tez çalışması sonucunda ve baraj yıkılma analizleri ile ilgili yapılabilecek çalışmalara yönelik aşağıdaki önerileri sıralanabiliriz;

- Baraj yıkılmaları sonucu oluşacak taşkınların modelleme çalışmalarında, arazi yüzeylerini ve suyun hareketini daha doğru yansıtabilmesi için yüksek çözünürlüklü ve hassasiyetli sayısal yükseklik haritaları kullanılmalıdır.
- 1 ve 2 boyutlu yapılan baraj yıkılma analizlerinden daha hassas simülasyonlar yapabilen 3 boyutlu baraj yıkılma analiz programlarının kullanılması çok daha sağlıklı sonuçların oluşmasını sağlayacaktır.
- Bilgisayar programları ile yapılan baraj yıkılma analizlerinin deneysel çalışmalarla da karşılaştırılarak bir bütün olarak ele alınmalıdır.
- Barajlar ve göletler gibi yıkılmaları sonucunda mansap bölgesinde önemli taşkın riski oluşturabilecek su yapılarının planlama veya projelendirme aşamasında yıkılma analizlerinin de yapılarak taşkın risk haritalarının belirlenmesi gerekmektedir. Özellikle mansap bölgesinde yerleşim yerlerinin yada önemli yapıların bulunması durumunda ise muhakkak taşkın risk analizleri yapılmalıdır.
- Geçmişte meydana gelen baraj yıkılmaları incelenerek mevcut bilgisayar programları yardımıyla gerçeğe yakın modellemeler oluşturulabilir. Modellemeler sonucunda elde edilen çıkarımlar mevcut barajlar ve yapılması planlanan barajlar için altlık olarak kullanılabilir.
- Baraj yıkılmalarının önlenmesi ve önceden gerekli tedbirlerin alınabilmesi için mevcut ve yapılması planlanan barajlarda ölçüm aletlerine önem verilmesi, kalibrasyonlarının titizlikle yapılması ve bu konuda uzman personellerin yetiştirilmesi gerekmektedir.
- Baraj yıkılmaları sonucunda oluşabilecek taşkınlar can ve mal kayıplarına neden olabileceğinden taşkın risk haritalarının oluşturulması ve risk haritalarından da yararlanarak, erken uyarı sistemleri ile acil afet planlarının oluşturulması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- Aajamı, A. (2019). *Toprak Dolgu Barajların Yıkılmasının Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Abay, O., Baykan, N. ve Baykan, N. O. (2015). Tarih Boyunca Barajların Elden Çıkma Nedenleri, *4. Su Yapıları Sempozyumu* (s. 157-166), TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya.
- AFAD. (2018). *Türkiye Deprem Tehlike Haritası*.
- Ağralıoğlu, N. (2011). *Baraj Güvenliği*, Beta Basım Yayın, İstanbul.
- Akarun, R. (1983). *Baraj Yapımcılığında Türkiye Pratiğinin Değerlendirilmesi ve Baraj ve Hidroelektrik Santraller Hakkında Tablolar*, DSİ İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Akbaş, U. (2019). *Netcad İçmesuyu Modülü ile İçmesuyu Şebekelerinde Hardy-Cross ve Ölü Nokta Metotlarının Karşılaştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Alppay, H. (2019). *Baraj Yıkılması Taşkın Risk Değerlendirmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ardıçlıoğlu, M. (2020). *HEC-RAS Mapper ile Akarsuların 1D/2D Modellenmesi ve Uygulamalar*, Kayseri.
- Aşık, Y. (2016). Barajların Kontrolü ve Denetiminin Önemi, *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, C. 6, Sayı 1, 33-40.
- Bayraktar, Ö. (2004). *Baraj Yıkılmaları Nedeniyle Oluşacak Su Baskınlarının İzlenmesi ve CBS Yardımıyla Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bozkuş, Z. ve Güner, A. İ. (2001). Pre-Event Dam Failure Analyses for Emergency Management, *Tr. J. Of Engineering and Environmental Science*, C. 25, 627-641.
- Bulan, M. N. (2019). *Taşkın Risk Alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak İncelenmesi: Murat Nehri (Ağrı) Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dal, K. (2018). *Eğimli Kanalda Ardışık Baraj Yıkılmasının Deneysel ve Sayısal İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Dere, G. (2019). *Kurtköy Deresi Taşkın Yayılım-Tehlike-Risk Haritalarının Belirlenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- DSİ. (2001). *Yeşildere Barajı Planlama Raporu*.
- DSİ. (2018). *Su ve DSİ*, Devlet Su İşleri, Ankara.
- Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltaş, İ. ve Kocaman, B. (2017). Baraj Yıkılması Sonrası İki Boyutlu Taşkın Yayılımının Yerleşim Bölgeleri İçin Modellenmesi, *İMO Teknik Dergisi*, 7955-7975.
- Ergen, K. (2019). *Baraj Taşkın Risk Analizi Sakarya Geyve Doğantepe Barajı Örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Froehlich, D. (1995). Embankment Dam Breach Parameters Revisited, *1 st Annual Conf. on Water Resources Engineering* (887-891), American Society of Civil Engineers, New York.
- Froehlich, D. (2008). Embankment Dam Breach Parameters And Their Uncertainties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 1708-1721.
- HEC-RAS. *US Army Corp of Engineers*, <https://www.hec.usace.army.mil/>, Erişim: 14 Mayıs 2020.
- ICOLD. *General Synthesis*, https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/general-synthesis, Erişim: 01 Mayıs 2020.
- Karakaya, K. (2005). *Numerical Simulation of the Kirazlıköprü Dam Failure on the Gökırmak River*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kaya, B. ve Ülke, A. (2012). Diferansiyel Kuadratur Yöntemi Kullanılarak Difüzyon Dalga Yaklaşımı İle Taşkınların Ötelenmesi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 313-322.

- Kocaman, B. (2019). *Baraj Yıkılması Sonucu Taşkın Yayılım Alanının İki Farklı Hidrodinamik Modelle Belirlenmesi Kıyaslanması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Taşkın Üzerindeki Hassasiyetinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocaman, S. (2002). *Baraj Yıkılması Analizi ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kocaman, S. (2007). *Baraj Yıkılma Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi*, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuşoğlu, Y. (2019). *Törbüzek Çayında Taşkın Analizi Yapılması ve Taşkın Yayılım Alanlarının HEC-RAS ile Elde Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Şütcü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- MacDonald, C. T. ve Langridge-Monopolis, J. (1984). Breaching Characteristics of Dam Failures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 567-586.
- Orhon, M. (1997). Baraj Tipleri ve Yapım Kriterleri. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 12-16.
- Özdemir, H., Akbulak, C. ve Özcan, H. (2011). Çokkallı Barajı (Çanakkale) Çökme Modeli ve Taşkın Risk Analizi, *Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi*, C. 8, Sayı 2, 660-698.
- Pakniyat, H. (2015). *Tahtalı Barajının Yıkılması Durumunda Oluşacak Taşkın Dalgalarının Modellenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Palamut, N. (2014). *Baraj Yıkılma Analizi ve Uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Reclamation, U. S. (1982). *Guidelines for Defining Inundation Areas Downstream from Bureau of Reclamation Dams*, U.S Department of The Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- Şen, T. (2019). *Atatürk Barajı Bendinin Yıkılmasıyla Oluşacak Taşkın ve Etkilerinin CBS Yardımıyla İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Singh, P. K. ve Snorrason, A. (1984). Sensitivity of Outflow Peaks and Flood Stages to The Selection of Dam Breach Parameters and Simulation Models. *Journal of Hydrology*, 295-310.
- Töreay, G., Özdemir , İ. ve Kurt, T. (2010). *ArcGIS 10 Desktop Uygulama Dökümanı*, Coğrafi Bilgi Sistemleri Mühendislik ve Eğitim Ltd. Şti, Ankara.
- URL-1.<https://www.postapokaliptik.com/vajont-baraji-felaketi-italyanin-olumcul-tsunamisi/>, Erişim: 14 Haziran 2020.
- URL-2.<https://timeline.com/structural-failure-banqiao-china-7a402a25bb65?gi=a560076c2dd1>, Erişim: 10 Mayıs 2020.
- USACE. (2016). HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, Versions 5.0.
- Uysal, T. (1976). ABD'de Yıkılan Büyük Bir Baraj "Teton", *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 18-22.
- Von Thun, J. L. ve Gillette, D. R. (1990). Guidance on Breach Parameters, *Internal Memorandum* (s. 1-5), U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- Yiğitbaşoğlu, H. (1996). Türkiye'deki Barajlar, *AÜ Türkiye Coğrafya Araştırmaları ve Uygulama Merkezi Dergisi* No:5, 172-181.
- Zhang, L. M., Xu, Y. ve Jia, J. S. (2009). Analysis of Earth Dam Failures: A Database Approach, *Georisk*, 184-189.
- Zorluer, İ. (1999). Toprak Dolgu Barajlarda Borulanma ve Bir Borulanma Göçmesi: Teton Barajı, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, C. 1, Sayı 1, 135-146.

ÖZGEÇMİŞ

Can YILDIZ

KİŞİSEL BİLGİLER

Ad Soyad	Can YILDIZ
T.C. Kimlik No	12345678901
Doğum Yılı	1990
Doğum Yeri	İstanbul
Ev Adresi	Beşiktaş, Beşiktaş Mahallesi, 123 Sokak, Kat: 5, Daire: 5
İş Adresi	Beşiktaş, Beşiktaş Mahallesi, 123 Sokak, Kat: 5, Daire: 5
Telefon	0532 123 456 7890
E-posta	can.yildiz@yildiz.com.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ

Okul Adı	Yıldız Teknik Üniversitesi
Bölüm	Mühendislik
Yıl	2010 - 2015

ARAŞTIRMA DENEYİMİ

✓ AUTOCAD, NETCAD, ARCGİS, HEC-RAS

İŞ DENEYİMİ

2009 – 2009	: Kariyer Yapı Denetim Ltd. Şti, Yardımcı Yapı Denetim Mühendisi
2009 – 2010	: DSİ 24. Bölge Müdürlüğü (Kars), Proje ve İnşaat Şube Müdürlüğü
2010 – 2015	: DSİ 92. Şube Müdürlüğü (Malatya), Proje ve İnşaat Başmühendisliği
2015 –	: DSİ 1. Bölge Müdürlüğü (Bursa), Barajlar ve HES Şube Müdürlüğü