



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



AFGANİSTAN - PASHDAN BARAJI'NIN
YIKILMASI DURUMUNDA OLASI
TEHLİKELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mohammad Seyar SALJUQI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Nisan-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mohammad Seyar SALJUQI tarafından hazırlanan “Afganistan - Pashdan Barajı’nın Yıkılması Durumunda Olası Tehlikelerin Değerlendirilmesi” adlı tez çalışması 29/04/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS
(Aksaray Üniversitesi)

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi. Mustafa ONÜÇYILDIZ
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Üye

Doç. Dr. Alpaslan YARAR
(Konya Teknik Üniversitesi)

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mohammad Seyar SALJUQI

Tarih: 29.04.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AFGANİSTAN - PASHDAN BARAJI'NIN YIKILMASI DURUMUNDA OLASI TEHLİKELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mohammad Seyar SALJUQI

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Dr. Öğr. Üyesi. Mustafa ONÜÇYILDIZ

2025, 84 Sayfa

Jüri

**Dr. Öğr. Üyesi. Mustafa ONÜÇYILDIZ
Doç. Dr. Alpaslan YARAR
Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS**

Barajlar, taşkın kontrolü, su temini, sulama ve hidroelektrik enerji üretimi gibi çeşitli amaçlarla inşa edilen önemli mühendislik yapılarıdır. Ancak sağladıkları birçok faydaya rağmen, yapısal hatalar, aşırı yağış veya deprem gibi sebeplerden dolayı yıkılabilmektedirler. Bu durumda, rezervuarlarında depoladıkları devasa su kütlesinin ani ve kontrolsüz boşalması nedeniyle mansap bölgesindeki yerleşim alanları için ciddi bir risk oluşturmakta ve taşkın dalgaları büyük felaketlere yol açabilmektedir. Dolayısıyla, olası bir yıkılma halinde önemli ölçüde can ve mal kaybı yaşanabileceği bilinmektedir. Bu tür olası felaketlerin etkilerini en aza indirmek için, baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkınların önceden modellenmesi ve analiz edilmesi gerekmektedir. Bu sayede, potansiyel zararlar önceden belirlenebilir ve gerekli önlemler alınarak riskler minimuma indirilebilir.

Bu tez çalışmasında, Afganistan'ın Herat ilinin 25 km kuzeydoğusunda, Karokh ilçesinde yapım çalışmaları devam eden Pashdan Barajı'nın iki boyutlu yıkılma analizleri gerçekleştirilmiştir.

Pashdan Barajı, Karokh Nehri'nin suyunu depolayarak, sulama, hidroelektrik enerji üretimi ve içme suyu temini gibi çok amaçlı kullanım imkânı sunan stratejik bir projedir. Barajın hayata geçirilmesiyle birlikte yaklaşık 13.000 hektarlık tarımsal arazinin sulanması hedeflenmekte olup, bu durum bölgedeki tarımsal verimliliğin artırılmasına doğrudan katkı sağlayacaktır. Aynı zamanda baraj, enerji üretimi ve içme suyu sağlama kapasitesi ile Herat bölgesinin su ve enerji ihtiyaçlarını karşılayabilecek önemli bir altyapı yatırımı olarak öne çıkmaktadır. Bu yönüyle Pashdan Barajı, hem ekonomik hem de sosyal kalkınma açısından bölge için büyük önem taşımaktadır.

Çalışmanın amacı, Pashdan Barajı'nın yıkılması durumunda oluşacak taşkının mansapta yer alan yerleşim yerine ulaşıp ulaşamayacağını ve ulaşma sürelerini belirlenmesidir. Pashdan Barajı ve mansap bölgesine ait sayısal yükseklik modeli, ArcGIS yazılımı ile düzenlenmiş ve yıkılma analizi, USACE (ABD Ordusu Mühendisler Birliği) tarafından geliştirilen HEC-RAS programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, mansap bölgesinde yer alan bazı yerleşim alanlarının taşkından etkilendiği tespit edilmiş, oluşabilecek taşkın zamanına bağlı yayılım haritaları, taşkın su seviyesi haritaları ve taşkın hız haritaları gibi veriler elde edilmiştir.

Analiz, beş farklı yöntem (MacDonald et al, Froehlich (1995), Froehlich (2008), Von Thun & Gillete, Xu & Zhang) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen analizler sonucunda en tehlikeli senaryonun, Von Thun & Gillete yöntemiyle elde edildiği görülmektedir. Bu yöntemle göre, pik debiye 17. saatte ulaşıldığı ve bu saatte yıkılma taşkını pik debisinin 16.725,07 m³/s olduğu belirlenmiştir. Ancak, bu sürenin ilk 10 saati barajın tam kapasiteye ulaşması için gereken zaman olup, taşkın debisinin en yüksek seviyeye ulaşması sonraki 7 saat içinde gerçekleşmiştir. Von Thun & Gillete yöntemine göre maksimum

taşkın su seviyesinin 12,23 m, maksimum taşkın hızının 8,88 m/s ve taşkın alanının 353,43 km² olduğu tespit edilmiştir. Von Thun & Gillete yöntemine göre, 1 saatlik süre sonunda; Chak Mak ve Pal Peeri köylerinin bir kısmı taşkın suları altında kaldığı görülmektedir. 2 saatlik süre sonunda; Pashdan, Chak Mak ve Pal Peeri köylerinin tamamen taşkın suları altında kaldığı görülmektedir. 3 saatlik süre sonunda; Rebat Surkh ve Ali Afgan köylerinin bir kısmı taşkın suları altında kaldığı görülmektedir. Aynı şekilde, Jahanda Khan, Nowbadam, Nisan, İmam Shesh Noor ve Sarasiyab Mokhtar köylerinin ise tamamen taşkın suları altında kaldığı görülmektedir. 4 saatlik süre sonunda Chungar köyünün tamamen taşkın suları altında kaldığı görülmektedir. 5 saatlik süre sonunda Kebabyan ve Ghaizan Sangar köylerinin tamamen taşkın suları altında kaldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Baraj Yıkılması, HEC-RAS, İki Boyutlu Analiz, Pashdan Barajı, Taşkın.



ABSTRACT

MS THESIS

ASSESSMENT OF POSSIBLE HAZARDS IN CASE OF PASHDAN DAM BREAK - AFGHANISTAN

Mohammad Seyar SALJUQI

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Civil Engineering**

Asst. Prof. Dr. Mustafa ONÜÇYILDIZ

2025, 84 Pages

Jury

Asst. Prof. Dr. Mustafa ONÜÇYILDIZ

Assoc. Prof. Dr. Alpaslan YARAR

Prof. Dr. Mehmet Ali HINIS

Dams are important engineering structures constructed for various purposes, such as flood control, water supply, irrigation, and hydroelectric power generation. However, despite the many benefits they provide, they can break due to structural faults, excessive rainfall, or earthquakes. In this case, the sudden and uncontrolled discharge of the large volume of water stored in their reservoirs poses a serious risk to residential areas in the downstream region and flood waves can lead to major disasters. Therefore, it is known that in the event of a possible collapse, there could be significant loss of life and property. In order to minimize the effects of such possible disasters, floods that may occur as a result of dam break must be modeled and analyzed in advance. In this way, potential damages can be determined in advance and risks can be minimized by taking the necessary precautions.

In this thesis study, two-dimensional break analyses of the Pashdan Dam, which is currently under construction in Karokh district, 25 km northeast of Herat province of Afghanistan, were carried out.

Pashdan Dam is a strategic project that stores the water of the Karokh River and offers multi-purpose uses such as irrigation, hydroelectric power generation, and drinking water supply. With the implementation of the dam, the irrigation of 13,000 hectares of agricultural land is aimed, which will directly contribute to increasing agricultural productivity in the region. At the same time, the dam stands out as an important infrastructure investment that can meet the water and energy needs of the Herat region with its capacity to produce energy and provide drinking water. In this respect, the Pashdan Dam is of great importance for the region in terms of both economic and social development.

The aim of the study is to determine whether the flood that will occur in the event of the break of the Pashdan Dam will reach the settlement located downstream and the time it will take to reach it. Digital elevation maps of Pashdan Dam and its downstream region were edited with ArcGIS software and the break analysis was performed with the HEC-RAS program developed by USACE (United States Army Corps of Engineers). As a result of the analyses, it was determined that some residential areas in the downstream region were affected by the flood, and data such as time-dependent flood propagation maps, floodwater level maps, and flood velocity maps were obtained.

The analysis was carried out using five different methods (MacDonald et al, Froehlich (1995), Froehlich (2008), Von Thun & Gillete, Xu & Zhang). As a result of the analysis performed, it is seen that the most dangerous scenario is obtained with the Von Thun & Gillete method. According to this method, it was determined that the peak discharge was reached at the 17th hour, and the peak discharge of the break flood at this hour was 16,725.07 m³/s. However, the first 10 hours of this period are the time required for the dam to reach full capacity, and the peak flood discharge reached its highest level within the next 7 hours. According to the Von Thun & Gillete method, it was determined that the maximum floodwater level

was 12.23 m, the maximum flood velocity was 8.88 m/s, and the flood area was 353.43 km². According to the Von Thun & Gillete method, at the end of the 1-hour period, it is seen that parts of the villages Chak Mak and Pal Peeri were inundated by floodwaters. At the end of the 2-hour period, it is seen that the villages of Pashdan, Chak Mak, and Pal Peeri were completely inundated by floodwaters. At the end of the 3-hour period, it is seen that parts of the villages Rebat Surkh and Ali Afghan were inundated by floodwaters. Similarly, it is seen that the villages of Jahanda Khan, Nowbadam, Nisan, Imam Shesh Noor, and Sarasiyab Mokhtar were completely inundated by floodwaters. At the end of the 4-hour period, it is seen that the village of Chungar was completely inundated by floodwaters. At the end of the 5-hour period, it is seen that the villages of Kebabyan and Ghaizan Sangar were completely inundated by floodwaters.

Keywords: Dam Break, Flood, HEC-RAS, Pashdan Dam, Two-Dimensional Analysis.



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren, büyük emeği ve engin birikimiyle planlama sürecinden yazım aşamasına kadar titizlikle rehberlik eden, her aşamada desteğini esirgemeyen değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa ONÜÇYILDIZ'a, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen, her zaman teşvik edici yaklaşımıyla yanımda olan, akademik gelişimime katkıda bulunan değerli KTO Karatay Üniversitesi Dr. Öğr. Üyesi Ahmed Cavid ZİYA'ya, tez çalışmamın her aşamasında bana yol gösteren, kıymetli görüşleriyle çalışmamı şekillendiren KTO Karatay Üniversitesi Doç. Dr. Vahdettin DEMİR'e, Pashdan Barajı ile ilgili her türlü veriyi paylaşarak çalışmama büyük katkı sağlayan Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı'na bağlı Pashdan Barajı Sorumlusu Sayın Mühendis Abdul Elah QAZIZADAH'a, bu süreçte verdikleri her türlü destek ve moral kaynağı oldukları için hayatımın en değerli varlıkları olan aileme ve sevgili eşime, son olarak uluslararası öğrencilere sunduğu eğitim imkânlarıyla gelişimimize katkıda bulunan Türkiye Cumhuriyeti Devleti'ne ve misafirperverliğiyle bizleri kucaklayan Türkiye halkına derin sevgi, saygı, şükranlarımı ve içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Mohammad Seyar SALJUQI
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	xi
ÇİZELGELER LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Barajlar.....	3
2.2. Barajların Sınıflandırılması ve Kullanım Amaçları	4
2.3. Barajların Yıkılması ve Yıkılma Sebepleri.....	6
2.4. Baraj Tiplerine Göre Olası Yıkılma Türleri	9
2.5. Tarihte Gerçekleşen Baraj Yıkılma Olayları	12
2.6. Baraj Yıkılma Analizleri.....	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
3.1. Materyal	20
3.1.1. Afganistan tarihi, coğrafi konumu, iklim ve nüfusu	20
3.1.2. Su kaynakları ve su havzaları	23
3.1.3. Su havzalarında bulunan barajlar.....	25
3.1.4. Afganistan’da yağış ve buharlaşma	27
3.2. Çalışma Alanı	27
3.2.1. Çalışma alanı hakkında genel bilgiler.....	27
3.2.2. Karokh Nehri’nin havza alanı ve alt havza özellikleri	28
3.2.3. Pashdan Barajı	30
3.2.4. Pashdan Barajı karakteristik bilgileri.....	33
3.3. Çalışmada Kullanılan Programlar.....	35
3.3.1. ArcMAP 10.8 programının tanıtımı.....	35
3.3.2. ArcMAP 10.8 programında yapılan işlemler.....	36
3.3.3. HEC-RAS 6.6 programının tanıtımı	38
3.4. İki Boyutlu Taşkın Modelleme	43
3.4.1. HEC-RAS programında yapılan işlemler	43
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	59
4.1. HEC-RAS Analiz Çıktıları	59

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	76
5.1. Sonuçlar	76
5.2. Öneriler	78
KAYNAKLAR	80
EKLER	83



ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Dünyada tek ve çok amaçlı barajların kullanım amaçlarına göre sayıları.....	5
Şekil 2.2. Dünyadaki barajların türlerine göre sayıları ve oranları	6
Şekil 2.3. Yaygın baraj yıkılma sebepleri.....	8
Şekil 2.4. Baraj türlerine göre yıkılma oranları	10
Şekil 2.5. Toprak dolgu baraj yıkılma sebepleri.....	11
Şekil 2.6. Toprak dolgu baraj kalite problemleri.....	11
Şekil 3.1. Afganistan'ın dünya haritasındaki konumu ve komşu ülkeleri.....	22
Şekil 3.2. Afganistan'nın su havzaları	24
Şekil 3.3. Afganistan'daki tüm havzaların kaynaklandığı dağları gösteren şematik haritası.....	25
Şekil 3.4. Afganistan haritası üzerinde Pashdan Barajı konumu.....	28
Şekil 3.5. Harirud Nehri havzasının sağ kolu olan Karokh Nehri üzerinde yer alan Pashdan Barajı'nın konumu	28
Şekil 3.6. Pashdan Barajı'nı besleyen Karokh Nehri havzası özellikleri	29
Şekil 3.7. Herat'ta farklı yıllara ait yağış miktarları ve ortalaması	30
Şekil 3.8. Herat'ta farklı yıllara ait aylık ortalama yağış miktarları	30
Şekil 3.9. Pashdan Barajı'na ait yer değişim gözlem noktası koodinatları	31
Şekil 3.10. Pashdan Barajı'nın plan ve profili.....	32
Şekil 3.11. Pashdan Barajı'nın enkesiti	32
Şekil 3.12. Pashdan Barajı'nın hacim-satıh eğrisi	34
Şekil 3.13. Pashdan Barajı'nın tasarım giriş ve çıkış debilerine ait taşkın hidrografı	35
Şekil 3.14. ArcGIS mimarisi	36
Şekil 3.15. ArcGIS programına yüklenmiş sayısal yükseklik modelleri (DEM)	37
Şekil 3.16. Birleşmiş raster verisi	38
Şekil 3.17. Uygulamaya hazır DEM verisi.....	38
Şekil 3.18. Metrik sistem seçimi	44
Şekil 3.19. HEC-RAS'ta kullanılan projeksiyon sisteminin tanımlanması.....	44
Şekil 3.20. HEC-RAS'a yüklenen DEM verisi	45
Şekil 3.21. HEC-RAS ortamında DEM verisi	45
Şekil 3.22. DEM verisi ile çalışma alanının çakıştırılmış görüntüsü	46
Şekil 3.23. Taşkın sınırı ve baraj rezervuarı çizimlerinin görüntüsü.....	47
Şekil 3.24. Taşkın alanı 593.977 adet sayısal ağlara bölünmüş görüntüsü	47
Şekil 3.25. Sisteme yüklenmiş hacim-satıh değerleri.....	48
Şekil 3.26. Pashdan Barajı hacim-satıh eğrisi	48
Şekil 3.27. Gedik parametreleri olarak gövde yüksekliği ve genişliğinin sisteme yüklenmiş görüntüsü.....	49
Şekil 3.28. Sisteme yüklenmiş barajın yıkılma senaryosuna ait parametreler	50
Şekil 3.29. MacDonald et al yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri	51
Şekil 3.30. MacDonald et al denklem setine göre gedik şekli.....	51
Şekil 3.31. Froehlich (1995) yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri.....	52
Şekil 3.32. Froehlich (1995) denklem setine göre gedik şekli	52
Şekil 3.33. Froehlich (2008) yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri.....	53
Şekil 3.34. Froehlich (2008) denklem setine göre gedik şekli	53
Şekil 3.35. Von Thun & Gillete yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri.....	54
Şekil 3.36. Von Thun & Gillete denklem setine göre gedik şekli	54
Şekil 3.37. Xu & Zhang yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri.....	55
Şekil 3.38. Xu & Zhang denklem setine göre gedik şekli	55

Şekil 3.39. Taşkın alanındaki akım koşulu için normal derinlik eğimi seçimi	56
Şekil 3.40. Sisteme yüklenen giriş akış debi verileri.....	57
Şekil 3.41. Tarih/zaman-giriş debiye bağlı taşkın hidrografi	57
Şekil 3.42. Kararsız akım analizi için girilen parametreler	58
Şekil 3.43. Simülasyon sonuç ekranı.....	59
Şekil 4.1. MacDonald et al'a göre taşkın su seviyesi haritası	61
Şekil 4.2. Froehlich (1995)'e göre taşkın su seviyesi haritası	61
Şekil 4.3. Froehlich (2008)'e göre taşkın su seviyesi haritası	62
Şekil 4.4. Von Thun & Gillete'e göre taşkın su seviyesi haritası.....	62
Şekil 4.5. Xu & Zhang'a göre taşkın su seviyesi haritası.....	63
Şekil 4.6. MacDonald et al'a göre taşkın hız haritası.....	63
Şekil 4.7. Froehlich (1995)'e göre taşkın hız haritası.....	64
Şekil 4.8. Froehlich (2008)'e göre taşkın hız haritası.....	64
Şekil 4.9. Von Thun & Gillete'e göre taşkın hız haritası	65
Şekil 4.10. Xu & Zhang'a göre taşkın hız haritası	65
Şekil 4.11. MacDonald et al'a göre taşkın yayılım haritası.....	66
Şekil 4.12. Froehlich (1995)'e göre taşkın yayılım haritası	66
Şekil 4.13. Froehlich (2008)'e göre taşkın yayılım haritası	67
Şekil 4.14. Von Thun & Gillete'e göre taşkın yayılım haritası.....	67
Şekil 4.15. Xu & Zhang'a göre taşkın yayılım haritası	68
Şekil 4.16. Pashdan Barajı'nın tam kapasiteye ulaşma sürecinin ilk 10 saatlik görüntüsü	70
Şekil 4.17. Pashdan Barajı'nın 11. saatte taşkın yayılımı	70
Şekil 4.18. Pashdan Barajı'nın 12. saatte taşkın yayılımı	71
Şekil 4.19. Pashdan Barajı'nın 13. saatte taşkın yayılımı	71
Şekil 4.20. Pashdan Barajı'nın 14. saatte taşkın yayılımı	72
Şekil 4.21. Pashdan Barajı'nın 15. saatte taşkın yayılımı	72
Şekil 4.22. Pashdan Barajı'nın 16. saatte taşkın yayılımı	73
Şekil 4.23. Pashdan Barajı'nın 17. saatte taşkın yayılımı	73
Şekil 4.24. Pashdan Barajı'nın 18. saatte taşkın yayılımı	74
Şekil 4.25. Pashdan Barajı'nın 19. saatte taşkın yayılımı	74
Şekil 4.26. Pashdan Barajı'nın 20. saatte taşkın yayılımı	75
Şekil 4.27. Pashdan Barajı'nın 24. saatte taşkın yayılımı	75

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 2.1. Barajların yıkılma biçimlerine göre yıkılma sebepleri ve oranları.....	9
Çizelge 2.2. Baraj tipleri için muhtemel yıkılma türleri	9
Çizelge 2.3. Dünyada gerçekleşen baraj yıkılmaları, nedenleri ve yaşanan can kayıpları	13
Çizelge 3.1. Afganistan'ın yüzeysel ve yeraltı su kaynakları (milyar m ³ /yıl)	23
Çizelge 3.2. Afganistan'daki bazı havzalar üzerinde bulunan barajlar	25
Çizelge 3.3. Afganistan'da havza bazında yıllık yağış verileri	27
Çizelge 3.4. Pashdan Baraj'ının mansap bölgesinde yer alan bazı yerleşim yerlerinin isimleri	33
Çizelge 3.5. Rezervuar büyüklüğüne göre <i>Cb</i> katsayısı	42
Çizelge 4.1. Pashdan Barajı gediklenme modellerine göre yıkılma parametreleri ve oluşan pik debiler	60
Çizelge 4.2. Tüm yöntemlere ait analiz sonucunda elde edilen metrikler	69

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

B_{ort}	: Ortalama gedik genişliği
B_3	: Barajın özelliklerine bağlı değişen bir katsayı
$\bar{B}$	: Ortalama baraj yıkılma genişliği
C	: Kret genişliği
Cb	: Rezervuar hacmine bağlı olarak katsayısı
g	: Yer çekimi ivmesi
h_b	: Gedik tabanından kret yüksekliğine kadar olan mesafe
h_b	: Yıkılma anındaki gedik yüksekliği
h_d	: Baraj yüksekliği
h_r	: Sabit
h_w	: Rezervuardaki su yüksekliği
h_w	: Yıkılma anındaki yükseklik
h_w	: Yıkılmadan önce rezervuardaki su yüksekliği ile baraj tabanı arasındaki yükseklik farkı
h_w	: Gedik son yüksekliği
K_0	: Üstten aşma sonucu yıkılma durumu
m	: Metre
p	: Basınç
Q_{pik}	: Maksimum debi
t	: Zaman
t_f	: Gedik oluşum süresi
t_f	: Barajın yıkılma süresi
V	: Hız vektörü
V_m	: Yıkılma sonrasında baraj gövdesinden ayrılacak malzemenin hacmi
V_w	: Rezervuarından boşalacak suyun hacmi
V_w	: Depolama hacmi
V_m	: Gövde dolgusundan ayrılan dolgu hacmi
W_b	: Gedik tabanının nihai genişliği
Z_b	: Gedik kenar eğimleri
Z_3	: Barajın memba ile mansap eğimleri toplamı
ρ	: Yoğunluk
τ	: Gerilme tensörü

Kısaltmalar

ALOS PALSAR	: Gelişmiş Arazi Gözlem Uydusu-Faz Dizil L-Bant Sentetik Açıklıklı Radar (Advanced Land Observing Satellite-Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)
ASTER	: Gelişmiş Uzaydan Gelen Termal Emisyon ve Yansıma Radyometresi (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)
BYT	: Baraj yıkılma taşkını
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli, SYM (Digital Elevation Model)
FLO-2D	: İki Boyutlu Taşkın Yönlendirme Modeli (Two-Dimensional Flood Routing Model)
GIS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri, CBS (Geographic Information Systems)
HEC-RAS	: Hidrolojik Mühendislik Merkezi-Nehir Analiz Sistemi (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)
ICOLD	: Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (International Commission on Large Dams)
JAXA	: Japonya Uzay Araştırma Ajansı (Japan Aerospace Exploration Agency)
MEW	: Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı (Afghanistan Ministry of Energy and Water)
M.Ö.	: Milattan önce
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
SAR	: Sentetik Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar)
SI	: Uluslararası Sistem (System International)
U	: Yıkılma modeli uygun
UD	: Yıkılma modeli uygun değil
U.S.	: Amerika Birleşik Devletleri, ABD (United States)
USACE	: Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisler Birliği (United States Army Corps of Engineers)
UTM	: Evrensel Enine Merkatorü Koordinat Sistemi (Universal Transverse Mercator)
WGS	: Dünya Jeodezik Sistemi (World Geodetic System)
2D	: İki boyutlu, 2B (Two-Dimensional)
3D	: Üç boyutlu, 3B (Three-Dimensional)

1. GİRİŞ

Su, insanlık tarihi boyunca canlılığın sembolü olarak kabul edilmiş, hayatın ve medeniyetin vazgeçilmez temel unsurlarından biri olmuştur. Nitekim eski çağlardan beri insanlar yerleşimlerini su kaynaklarının yakınına kurmuş, suyu kullanabildikleri ölçüde medeniyetlerini geliştirebilmişlerdir. İnsanlar suyun gücünden en verimli şekilde faydalanmak amacıyla, onu çok çeşitli alanlarda (tarımsal sulama, içme suyu temini, nakliye ve enerji üretimi gibi birçok alanda kullanmak, kontrol etmek ve depolamak amaçlı yapılar inşa ederken aynı zamanda suyun yıkıcı etkilerinden korunmak için de önlemler almışlardır (Ölmez, 2024).

İnsanoğlu, dünya üzerinde var olduğundan beri, suya olan ihtiyaç ve zorunluluk nedeniyle suyu depolamak istemiştir. İlk başlarda, günlük ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla küçük miktarlarda su depolayan insanoğlu, zamanla su kaynaklarının sınırlı olduğu bölgelerde daha büyük depolama tesisleri inşa etmeye başlamışlardır. Suyu biriktiren bu yapılar genellikle baraj diye isimlendirilmektedir. Fransızca kökenli olan "baraj" kelimesi, su bendi, sedde ve engel anlamlarına gelir. Barajlar, sulama, içme suyu temini, enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi çeşitli amaçlarla suyun depolanmasını sağlayan yapılar olarak tanımlanmaktadır. Milattan önce 4000'li yıllara kadar uzanan bent yapımı, değişen ihtiyaçlar ve gelişen teknolojilerle birlikte kullanılmaya devam etmiş ve şekil değiştirmiştir (Efe, 2022).

Barajlar, ilk olarak genellikle içme ve kullanma suyu temini, tarımsal sulama ve taşkınlardan korunma amacıyla inşa edilmiştir. Ancak 20. yüzyıldan itibaren dünya nüfusundaki hızlı artış, teknolojik ilerlemeler, kültürel değişiklikler ve şehirleşen yaşam tarzı sonucunda artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla daha yüksek barajların inşa edilmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Planlanan yeni barajlar için zamanla uygun yerlerin kalmamasıyla birlikte doğal arazideki bozukluklar ile insan hatalarının birleşmesi, barajların büyük yıkım ve trajedilere yol açmasına neden olabilmektedir. Son yıllarda meydana gelen ve büyük can ve mal kayıplarına yol açan baraj yıkılma olayları, bu tür mühendislik yapılarının inşa ve işletme aşamalarının titizlikle izlenmesini ve gerekli önlemlerin alınmasını zorunlu kılmıştır (Ölmez, 2024). Barajlar, bir ülkenin ekonomisine sağladıkları katkılarla büyük bir öneme sahiptir. Ancak, sahip oldukları geniş su rezervuarları nedeniyle aynı zamanda önemli riskler de barındırmaktadır (Yıldız, 2021).

Ancak, barajların yıkılması durumunda büyük yıkım ve kayıplara yol açabileceği gerçeği, onları tehlikeli hale getirmektedir. Barajlarda meydana gelebilecek olası

kazaların önüne geçebilmek ya da böyle bir durum kaçınılmazsa zararları en aza indirmek için gerekli tedbirler alınmalıdır. Tehlikelerin önceden tahmin edilmesi, alınacak önlemlerin etkinliği açısından oldukça büyük bir öneme sahiptir. Bu devasa yapılar, inşa aşamasından işletme ömrü boyunca sürekli olarak güvenlik ve emniyet açısından denetlenmeli, düzenli bakım yapılmalı, kazalar önceden tahmin edilip mümkünse engellenmelidir. Ayrıca, olası zararlardan etkilenmemek için tedbirli olunmalı ve acil durum planları geliştirilmelidir (Ölmez, 2024).

Bu tez çalışmasında, Afganistan'ın Herat İlinin 25 km kuzeydoğusunda bulunan Karokh İlçesinde yapım çalışmaları devam etmekte olan Pashdan Barajı'nın iki boyutlu yıkılma analizleri gerçekleştirilmiştir. Pashdan Barajı, Karokh Nehri'nin suyunu depolayarak, sulama, hidroelektrik enerji üretimi ve içme suyu temini gibi çok amaçlı kullanım imkânı sunan, hem ekonomik hem de sosyal kalkınma açısından bölge için büyük önem taşıyan stratejik bir projedir. Çalışma ile Pashdan Barajı'nın yıkılması durumunda oluşacak taşkının mansapta yer alan hangi yerleşim yerlerini etkileyeceği ve ulaşma sürelerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır.

Pashdan Barajı ve mansap bölgesine ait sayısal yükseklik modeli, ArcGIS yazılımı ile düzenlenmiş ve yıkılma analizi USACE (ABD Ordusu Mühendisler Birliği) tarafından geliştirilen HEC-RAS programı ile gerçekleştirilmiştir. Analiz, beş farklı yöntem (MacDonald et al, Froehlich (1995), Froehlich (2008), Von Thun & Gillete, Xu & Zhang) kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Bu bölümde, barajlar ve baraj yıkılma analizi ile ilgili geçmişten günümüze yapılmış bazı çalışmalardan bahsedilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan kaynakların kısa özetleri paylaşılmış olup, literatüre katkı sağlama amacıyla konuya ilişkin önemli noktalara değinilmiştir.

2.1. Barajlar

Barajlar, insanların su ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak için akarsu vadilerinde su akışının engellenerek, suların belirli bir alanda birikmesini sağlayan yapılardır (Şen, 2019). Akarsular üzerinde inşa edilen barajlar, içme suyu temini, tarımsal sulama, taşkın kontrolü, sanayi suyu temini, elektrik üretimi, rekreasyon faaliyetler, katı madde hareketlerinin kontrolü ve balıkçılık gibi pek çok farklı amaca hizmet etmektedir. Bu yapılar, hizmet verdikleri alanlarda ülkelerin ve toplumların gelişimine büyük katkı sağlayarak uygarlık seviyelerinin yükselmesine yardımcı olmaktadır. Gelişmiş ülkeler, ihtiyaç duydukları barajları büyük ölçüde tamamlamışken, gelişmekte olan ve az gelişmiş ülkeler ise baraj sayısını artırmaya yönelik çalışmalar yapmaktadır (Yıldız, 2021).

Barajlar, ülke ekonomisine sağladıkları katma değerlerle büyük bir öneme sahip olmakla birlikte, rezervuarlarında barındırdıkları büyük miktarlardaki su potansiyelleri nedeniyle ciddi riskler de taşımaktadır. Olası bir baraj yıkılması, özellikle mansap bölgesinde yerleşim alanlarının bulunması durumunda büyük can ve mal kayıplarına yol açacaktır (Palamut, 2014).

Baraj yıkılma olaylarını tamamen önlemek mümkün olmasa da, olası yıkılmaların etkilerini en aza indirmek için gerekli tedbirlerin alınması zorunludur. Bunun için uzmanlar tarafından gözlemler yapılmalı, deneysel ve teorik yöntemlerle oluşturulacak modellemeler aracılığıyla taşkın dalgalarının yüksekliği, yayılma alanları, risk haritaları ve taşkın oluşma süreleri gibi veriler elde edilerek, acil durum planları hazırlanmalıdır (Yıldız, 2021).

Günümüzde teknolojinin ilerlemesiyle birlikte, 2 ve 3 boyutlu sayısal modelleme yapabilen programlar geliştirilmiştir. FLO-2D, HEC-RAS, MIKE 21 ve SOBEK gibi 2 boyutlu analizler gerçekleştirebilen programlarla, baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkın yayılım haritaları oluşturulabilir ve taşkın simülasyonları yapılabilir. Ayrıca, daha hassas sonuçlar sunabilen 3 boyutlu yazılımlar, örneğin FLOW-3D, kullanılarak taşkın

analizleri yapılabilir ve simülasyonlar oluşturulabilir (Pakniyat, 2015). Eski çağlarda barajlar yalnızca su temini amacıyla inşa edilirken, teknolojinin gelişmesiyle birlikte, farklı amaçlara hizmet eden barajlar da yapılmaya başlanmıştır (Şen, 2019).

2.2. Barajların Sınıflandırılması ve Kullanım Amaçları

Yeryüzünde suların etkin ve verimli kullanılması amacıyla inşa edilen barajlar, büyüklüklerine, kullanım amaçlarına ve tiplerine göre sınıflandırılmaktadır (Yıldız, 2021). ICOLD'a (Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu) göre barajlar büyüklüklerine göre üç sınıfa ayrılmaktadır. Barajın en alt temel seviyesinden kret kotu (en tepe noktası) arasındaki yükseklik 15 metre veya daha fazla olan barajlar, ya da yüksekliği 5 ile 15 metre arasında olup, 3 milyon metreküpten fazla su depolama kapasitesine sahip olan barajlar, büyük baraj olarak sınıflandırılmaktadır. Dünya genelinde inşa edilmiş toplam 62.339 baraj bulunmaktadır ve bu sayı her geçen gün artmaktadır (ICOLD, 2025).

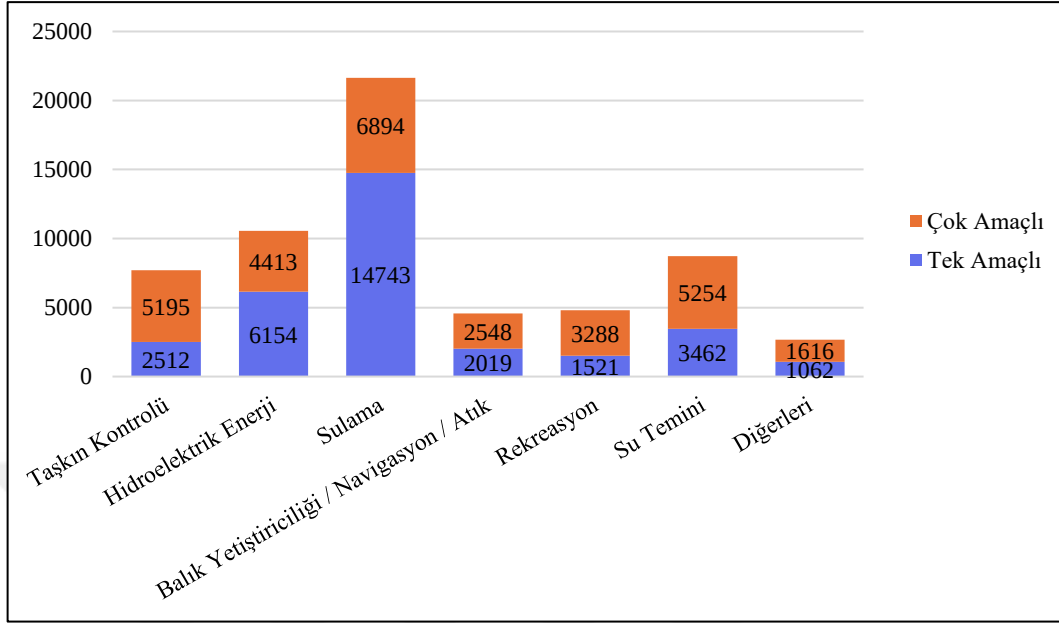
ICOLD'a göre barajlar amaçlarına göre, tek ve çok amaçlı olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek bir amaç için kullanılan barajlar tek amaçlı baraj olarak sınıflandırılmaktadır. Dünyada 31.473 (%50,5) adet tek amaçlı baraj bulunmaktadır (ICOLD, 2025).

Günümüzde ise barajlar, içme ve kullanma suyu temini, tarım alanlarının su ihtiyacını karşılanması, taşkın kontrolü, enerji üretimi, piknik ve turizm gibi amaçlara hizmet için inşa edilmektedirler. Bu şekilde birden fazla amaç için kullanılan barajlar ise çok amaçlı baraj olarak sınıflandırılmaktadır (Yıldız, 2021). Dünyada 11.352 (%18,2) adet çok amaçlı baraj bulunmaktadır.

Tek amaçlı barajların amaçlarına göre dağılımı; 2.512 adet (%8) taşkın kontrolü, 6.154 adet (%20) hidroelektrik enerji üretimi, 14.743 adet (%47) sulama, 2.019 adet (%6) balık yetiştiriciliği, navigasyon ve atık, 1.521 adet (%5) rekreasyon, 3.462 adet (%11) baraj su temini ve 1.062 adet (%3) ise diğer amaçlar olarak verilmektedir (ICOLD, 2025).

Çok amaçlı barajların amaçlarına göre dağılımı ise; 5.195 adet (%18) taşkın kontrolü, 4.413 adet (%15) hidroelektrik enerji üretimi, 6.894 adet (%24) sulama, 2.548 adet (%9) balık yetiştiriciliği, navigasyon ve atık, 3.288 adet (%11) rekreasyon, 5.254 adet (%18) su temini ve 1.616 adet (%5) baraj ise diğer amaçlar olarak verilmektedir (ICOLD, 2025).

ICOLD'a göre, dünyada tek ve çok amaçlı barajların kullanım amaçlarına göre sayıları, Şekil 2.1'de verilmektedir.



Şekil 2.1. Dünyada tek ve çok amaçlı barajların kullanım amaçlarına göre sayıları

Barajlar, gövdede kullanılan malzemeye göre, dolgu barajlar ve beton barajlar olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Yıldız, 2021).

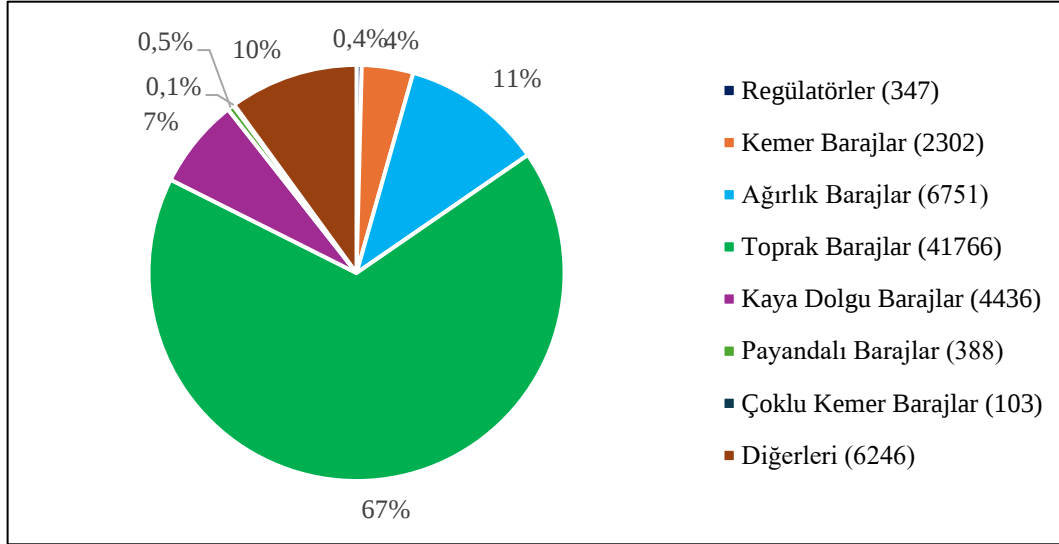
1. Dolgu Barajlar

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

2. Beton Barajlar

- Beton ağırlık
- Payandalı beton barajlar
- Beton kemer barajlar
- Silindirle sıkıştırılmış beton barajlar

Dolgu ve beton barajların dışında, genellikle geniş nehir yataklarında, dolgu ve beton gövdelerin bir arada kullanıldığı barajlar da bulunmaktadır. Bu tür barajlar, karma tip barajlar olarak sınıflandırılabilir. Türkiye'deki Keban Barajı, Gümüşören Barajı ve HES gibi, karma tip barajlara ait örneklerdir (Ergen, 2019). ICOLD verilerine göre, dünyadaki barajların türlerine göre sayıları ve oranları, Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Dünyadaki barajların türlerine göre sayıları ve oranları

Şekil 2.2’de verilere göre, 347 adet(%0,4) regülatör, 2.302 adet (%4) kemer baraj, 6.751 adet (%11) ağırlık baraj, 41.766 adet (%67) toprak baraj, 4.436 adet (%7) kaya dolgu baraj, 388 adet (%0,5) payandalı baraj, 103 adet (%0,1) çoklu kemer baraj ve 6.246 (%10) adet diğer baraj türü yer almaktadır.

Toprak barajları, bildirilen tüm barajların yaklaşık %67’sini oluşturur. Bu, elbette en eski türdür ve en eski medeniyetlerin kalıntılarında toprak barajlarının izlerine rastlanmaktadır. Ayrıca bu tür barajlar, geniş kapsamlı farklı temelleri barındırabilir. Toprak baraj türü olarak, dünyanın ikinci en yüksek barajı, 300 metre yüksekliğiyle Tacikistan’daki Nurek Barajı’dır (ICOLD, 2025).

Tacikistan’da bulunan ve 335 metre yüksekliğe sahip Rogun Baraj’ı, 2025 yılı itibarıyla, dünyanın en yüksek barajı olarak ilk sırada yer alırken, Türkiye’de Çoruh Nehri üzerinde inşa edilen 275 metre yüksekliğindeki Yusufeli Barajı, beton kemer tipi yapısıyla dünya sıralamasında 13. sırada yer almaktadır (ICOLD, 2025).

Rezervuar hacmi bakımından ilk sırada Zambiya ve Zimbabve sınırında bulunan 180.600×10^6 metreküp kapasiteye sahip Kariba Baraj’ı, ikinci sırada ise Rusya’da yer alan ve 175.000×10^6 metreküp rezervuar kapasitesine sahip Verkhne-Svirskeya Baraj’ı yer almaktadır (ICOLD, 2025).

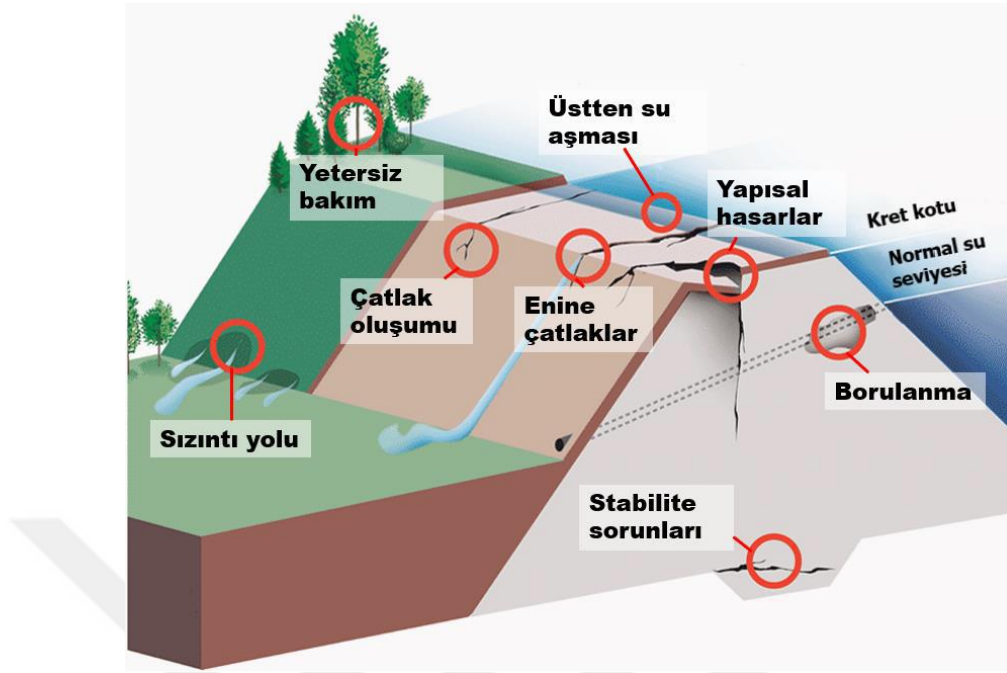
2.3. Barajların Yıkılması ve Yıkılma Sebepleri

Baraj yıkılması, baraj gövdesinin ani ya da kontrolsüz şekilde zarar görmesi sonucunda, haznede depolanan büyük miktardaki suyun kısa sürede mansaba doğru

akarak, mansaptaki yerleşim alanlarına ciddi can ve mal kayıplarına yol açması durumudur (Tilav, 2021). Dünyada tarih boyunca, ilk barajın inşasından itibaren çeşitli baraj yıkılma vakaları yaşanmıştır. Bu yıkılmalar, gövdenin tamamen göçmesi ya da kısmi oyulma görülmesi gibi farklı şekillerde gerçekleşebilmektedir. Günümüzde meydana gelen baraj yıkılmaları incelendiğinde, genellikle aşağıda belirtilen faktörlerden biri veya birkaçı nedeniyle olduğu görülmektedir (Yıldız, 2021).

1. Uzun süreli ve taşkınlara sebep olan yağışlar
2. Yetersiz dolusavak kapasitesi (dolusavak ve gövde hava payı hesaplamalarındaki hatalar nedeniyle kapasitenin yetersiz olması)
3. Borulanma ve sızmayı tetikleyen içsel aşınmalar (gövde temelinde veya dolgu malzemesinde oluşan borulanma ve sızma nedeniyle meydana gelen içsel aşınmalar ve çökmeler)
4. İşletme aşamasında baraj ekipmanlarının bakım eksikliği (Kapaklarda, pompalarda, dipsavakta, dolusavaklarda ve borularda düzenli ve yeterli bakımının yapılmaması)
5. Uygunsuz tasarım veya malzeme kullanımı
6. Rezervuarın çevresindeki eğimli alanlarda gerçekleşen toprak kaymaları ve kaya düşmeleri, su seviyesinde aşırı dalgalanmalara yol açarak baraj gövdesinin suyu tutamamasına sebep olur
7. Aynı havza içindeki akarsu üzerinde, baraj havzasının akış yukarısında bulunan başka bir barajın yıkılması
8. Baraj gövdesinin üst kesimlerinde, çoğunlukla sedde dolgusunun üst kısımlarında boyuna çatlaklara yol açan ve uzun vadede yapısal hasarlara neden olan deprem olayları
9. Havzada meydana gelen aşırı yağışlar sonucu, baraj rezervuarının aşırı akım alması durumu
10. Rezervuar alanında büyük dalga hareketlerine ve erozyona yol açan şiddetli rüzgârlar
11. Bilinçli şekilde yapılan yıkım işlemleri
12. Baraj kısımlarının projelendirilmesi sırasında insan kaynaklı veya bilgisayar programı hatalarından kaynaklanan tasarım ve hesaplama hataları
13. Yetersiz ve yanlış filtre malzemesi seçimi
14. Gövde ve kritik tesislere yönelik yapılan ciddi terörist saldırılar

Baraj yıkılma sebeplerinden yaygın olarak görülenler, Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3. Yaygın baraj yıkılma sebepleri

Baraj yıkılmasının en önemli sebeplerini üç grupta sınıflandırabiliriz.

- a) Baraj gövdesi üstünden su aşması
- b) Temel hataları
- c) Baraj gövdesinde oluşan borulanma

Baraj gövdesi üzerinden suyun aşması, çeşitli sebeplerden kaynaklanabilir ancak genellikle dolusavak kapasitesinin yetersizliği nedeniyle meydana gelmektedir. Ayrıca yeterli dolusavak kapasitesinin katı maddelerle tıkanması da bu duruma yol açabilir. Böylece gövdeyi aşan su aşınmaya neden olur ve barajın yıkılmasına sebep olur. Barajın yıkılmasına yol açan temel hatalar, hem temelin özelliklerinden hem de inşaat sırasında yapılan yanlış iyileştirmelerden kaynaklanabilir. Farklı oturmalar, çatlaklar ve su sızıntıları gibi durumlar, baraj temelindeki hataların bir göstergesi olabilir. Ayrıca, tasarım aşamasında yanlış seçilen ve uygunsuz bir şekilde uygulanan temel malzemeleri de ciddi problemlere yol açmaktadır. Dolgu barajlarında, geçirimsizliği temin eden geçirimsiz zonda, sızan suların ince malzemeyi taşımasıyla meydana gelen boşluklar zamanla boru gibi görev yapmaya başlar. Su akımları bu boşluklardan geçerken, zamanla genişlemelerine neden olur ve sonunda barajın yıkılmasına yol açmaktadır (Yıldız, 2021).

Barajların yıkılma biçimlerine göre yıkılma sebepleri ve yüzde oranları, Çizelge 2.1’de verilmektedir (Ölmez, 2024).

Çizelge 2.1. Barajların yıkılma biçimlerine göre yıkılma sebepleri ve oranları

Yıkılma biçimi	Yüzde (%)	Yıkılma sebebi
Üstten su aşması	34	• Uygunsuz dolusavak tasarımı • Dolusavakta katı madde birikimi • Baraj tepe kısmının oyulması
Temel sorunları	30	• Farklı oturma durumları • Kayma ve şev duyarsızlığı • Yüksek taban suyu basıncı • Denetimi olmayan sızma
Borulanma ve sızma	20	• Borulanma sebebiyle içten çöküntü • Dipsavak çıkışı gibi hidrolik yapılar boyunca su sızıntı ve göçme • Baraj gövdesinde oluşan çatlaklar
Boru ve vanalar	10	• Bağlantı noktaları veya çatlaklar aracılığıyla dolgu malzemesinin girmesi
Diğer	6	• Otlama, hayvan etkileri vb

2.4. Baraj Tiplerine Göre Olası Yıkılma Türleri

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hidrologic Engineering Center (ABD Ordusu Mühendisler Birliği (USACE) Hidrolojik Mühendislik Merkezi) tarafından baraj yıkılması sebepleri, taşkınlar, borulanma ve sızma, heyelan-toprak kayması, depremler, temel kusurları, yetersiz veya hatalı baraj kısımları (kapak, dolusavak, dipsavak vb.), yapısal hatalar, rezervuarın hızlıca boşaltılması, membada bulunan başka barajların yıkılması, terörist saldırılar, sabotaj ve planlı yıkımlar olarak sıralamıştır. Baraj tiplerine göre muhtemel yıkılma modelleri, Çizelge 2.2’de verilmiştir (Alppay, 2019).

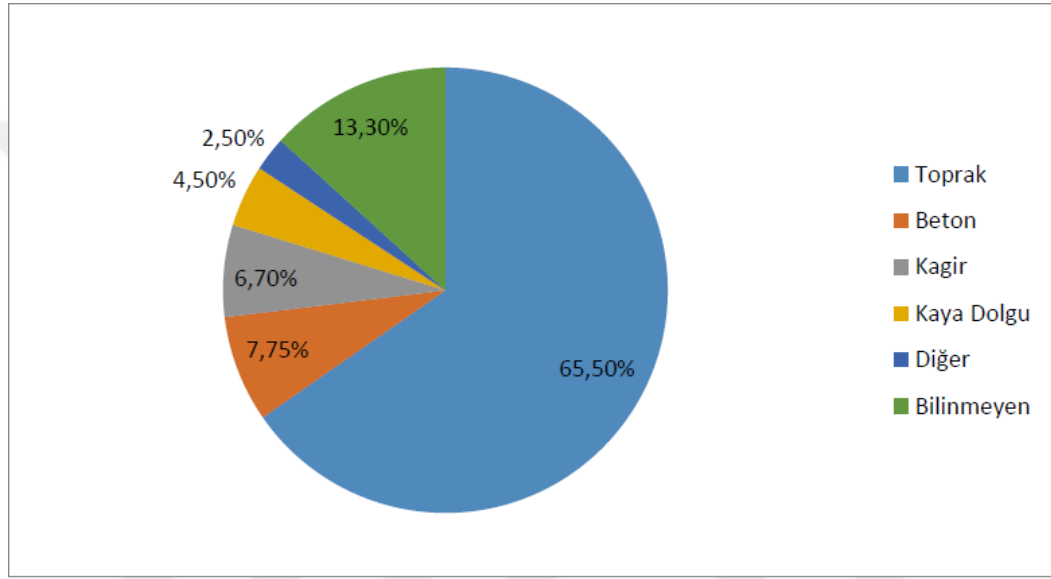
Çizelge 2.2. Baraj tipleri için muhtemel yıkılma türleri

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)

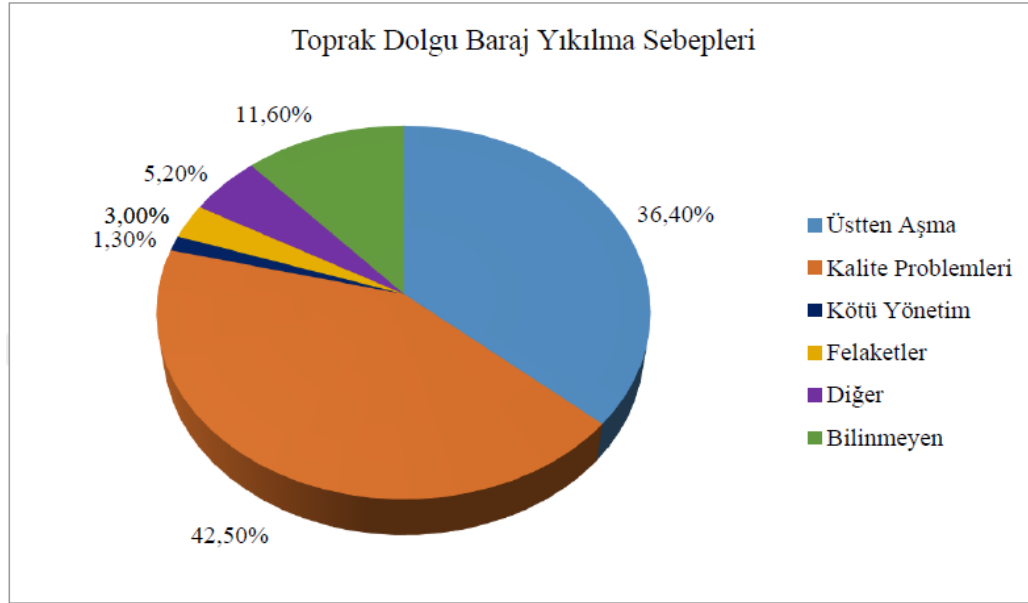
Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD), baraj yıkılmalarını araştırmak amacıyla çeşitli çalışmalar yürütmüş ve yıkılma istatistiklerini yayınlamıştır. Çin Halk Cumhuriyeti hariç, dünya genelinde 900'den fazla baraj yıkılmasının incelendiği bir çalışmada, baraj yıkılmalarına ilişkin bilgiler ve karakteristik bilgiler toplanmış olup, Şekil 2.4'te baraj türlerine göre yıkılma oranları verilmiştir (Yıldız, 2021).



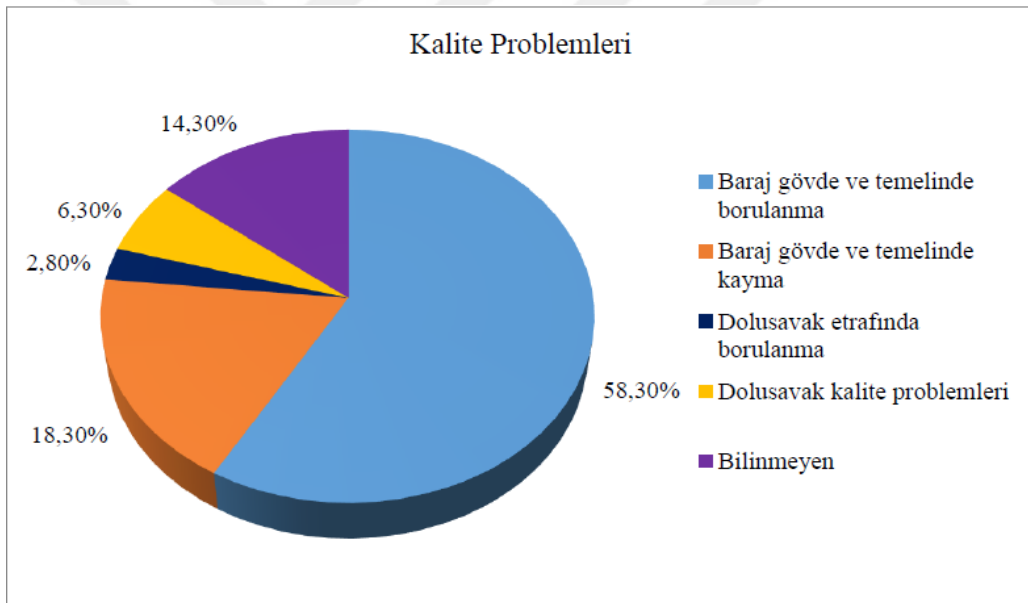
Şekil 2.4. Baraj türlerine göre yıkılma oranları

Şekil 2.4 verilerine göre, gerçekleşen baraj göçmesi/yıkılması olaylarının, %65,50'sinin toprak dolgu, %7,75'inin beton, %6,70'inin kagit, %4,50'sinin kaya dolgu, %2,50'sinin diğer türlerde ve %13,30'unun ise türü belirlenemeyen barajlarda meydana geldiği tespit edilmiştir (Yıldız, 2021).

Zhang ve çalışma arkadaşları tarafından gerçekleştirilen araştırmada, 593 toprak dolgu barajın yıkılma nedenleri incelenmiş ve elde edilen istatistiki veriler, Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilmiştir (Alppay, 2019).



Şekil 2.5. Toprak dolgu baraj yıkılma sebepleri



Şekil 2.6. Toprak dolgu baraj kalite problemleri

Şekil 2.5 ve Şekil 2.6'da verilen dağılımı incelendiğinde, en büyük yıkılma sebeplerinin üstten aşma ile baraj gövdesi ve temelinde meydana gelen borulanma ve kayma olduğu sonucuna ulaşılmaktadır (Alppay, 2019).

2.5. Tarihte Gerçekleşen Baraj Yıkılma Olayları

Barajlar, pek çok alanda insan hayatına olumlu katkılar sağlarken, devasa su kütlelerini depoladıkları için, yıkılmaları halinde yol açabilecek büyük yıkım ve zararlara neden olabilecek potansiyel tehlikeler barındırmaktadır (Ölmez, 2024).

Son iki yüz yıl içinde, barajların yıkılması, büyük taşkınların meydana gelmesine sebep olmuş ve bu olaylar yıkıcı felaketler olarak tarihe geçmiştir. Barajların yıkılmasından sonra oluşacak taşkınların yol açacağı maddi zararlar kaçınılmazken, can kayıpları da muhtemeldir. Can kayıpları, taşkın alanlarının büyüklüğü, nüfus yoğunluğu ve erken uyarı sistemlerinin etkinliği gibi faktörlere bağlı olarak farklılık gösterebilir. Bu nedenle, baraj yıkılma karakteristiklerini doğru bir şekilde belirlemek büyük bir önem taşımaktadır (Yıldız, 2021).

M.Ö. 2600'lü yıllarda, dünyanın ilk barajlarından biri olan Mısır'daki Sedd-el-Kefere Barajı'nın inşa edildikten hemen sonra ortadan ikiye yarılarak yıkıldığı bilinmektedir. Bu olay, tarihteki ilk baraj yıkılmalarından biri olarak kabul edilmektedir. Barajın tasarımında savak inşa edilmemiş ve piramitlerinde olduğu gibi bağlayıcı malzeme kullanılmamıştır. Yapısal zayıflıklar nedeniyle, yıkılmanın gevşek gövde malzemesinin oturması sonucu suyun gövde üzerinden aşarak mansap yüzeyinde aşınmaya yol açması ve yüzeyde geçirimsiz bir tabakanın bulunmaması nedeniyle suyun gövde içinden akarak yapıyı yarması sonucunda gerçekleştiği düşünülmektedir (Türker, 2021).

1889 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde, Pensilvanya eyaletinde South Fork Barajı, aşırı yağışlar nedeniyle rezervuardaki suyun gövde üzerinden aşması sonucu yıkılmıştır. Bu felaket, 12 metre yüksekliğinde dev dalgaların oluşmasına yol açarak 2.200 kişinin hayatını kaybetmesine sebep olmuştur (Palamut, 2014). 2 Aralık 1959 yılında, Fransa'nın güneyinde bulunan Malpasset Barajı mühendisler tarafından yıkılmadan birkaç saat önce kontrol edilmiş ve o sırada herhangi bir anormal durumla karşılaşılmamıştır. Buna rağmen, aynı gece baraj aniden yıkılarak can kayıplarına ve maddi zarara sebep olmuştur (Şen, 2019).

1963 yılında, İtalya'da inşa edilen beton kemer tipindeki Vajont Barajı, 267 metre yüksekliğiyle baraj rezervuarında meydana gelen heyelan sonucu, rezervuardaki sular taşmış ve mansapta yer alan yerleşim alanlarında tsunami etkisi yaratmıştır. Bu felaket, 2.000'den fazla kişinin hayatını kaybetmesine sebep olmuştur (Yıldız, 2021).

1972 yılında Amerika'da yer alan Buffalo Creek Barajı'nın yıkılması sonucu 125 kişi hayatını kaybetmiş ve 65 milyon dolar değerinde maddi hasar meydana gelmiştir (Şen, 2019). 1974 yılında Hindistan'da Machhu II Barajı, dolgu gövdesinin üzerinden suyun aşması sonucu yıkılmış ve bu felaket 2.200 kişinin hayatını kaybetmesine sebep olmuştur (Palamut, 2014). 1975 yılında Çin'de meydana gelen aşırı yağışlar nedeniyle Banqiao ve Shimantan Barajları ile birlikte 62 adet küçük baraj da yıkılmıştır. Taşkın sırasında 26.000 kişi hayatını kaybetmiş, ayrıca taşkın sonrası meydana gelen salgın hastalıklar ve açlık gibi nedenlerden dolayı da 145.000 kişi daha yaşamını yitirmiştir. Bu felaket toplamda 11 milyon kişinin hayatını olumsuz etkilemiştir (Şen, 2019).

1976 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde, 93 metre yüksekliğinde ve kaya dolgu tipinde inşa edilen Teton Barajı, rezervuarında ilk su tutulduktan hemen sonra gövdesinde oluşan borulama nedeniyle yıkılmıştır. Bu felakette 10 kişi hayatını kaybetmiş, 2.000 kişi yaralanmış, 135 kişi kaybolmuş ve 7.000'den fazla konut ile iş yeri zarar görmüştür (Yıldız, 2021).

2008 yılında Nepal'de Koshi Barajı, aşırı yağışlar sonucu yıkılmış ve bu felakette 250 kişi hayatını kaybetmiştir (Şen, 2019). Sadece 20. yüzyılda, dünyada yaklaşık 200 önemli rezervuar yetersizliği olmuş ve 8.000'den fazla insan hayatını kaybetmiştir. Dünyada gerçekleşen önemli baraj yıkılmaları, yıkılma nedenleri ve yaşanan can kayıplarına ait bilgiler, Çizelge 2.3'te verilmiştir (Türker, 2021).

Çizelge 2.3. Dünyada gerçekleşen baraj yıkılmaları, nedenleri ve yaşanan can kayıpları

Sıra	Baraj	Yıl	Ülke	Ölü Sayısı	Yıkılma Nedeni
1	Banqiao/Shimantan	1975	Çin	171.000	Kadastrofik 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. Frasnecis	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	Tangiwai	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	Sayano-Shushenskaya	2009	Rusya	75	Aşırı yağış
29	Shakidor	2005	Pakistan	70	Aşırı yağış
30	Eder ve Möhne	1943	Almanya	70	Kasıtlı yıkım
31	Desna	1916	Çek Cumhuriyeti	62	Yapım hatası
32	El-Zeyzun	2000	Suriye	50	Filtre tabakası sıkıntısı

Barajlar, akarsular üzerinde inşa edilerek suyun birikmesini sağlayan ve insanların su ile enerji ihtiyacını karşılamaya yönelik mühendislik yapılarıdır. İnsanlar, sel kontrolü, tarımsal sulama, akarsu yönlendirme, hidroelektrik enerji üretimi, yapay göl oluşturma ve ulaşımı kolaylaştırma gibi çeşitli amaçlarla barajlar inşa etmişlerdir. Bu yapılar, bulundukları bölgenin ekolojisi, iklimi ve bitki örtüsü üzerinde önemli değişimlere yol açarken, aynı zamanda sosyal ve ekonomik hayatı da derinden etkilemektedir (Şen, 2019).

2.6. Baraj Yıkılma Analizleri

Mühendislikte risk analizi, belirli bir yöntem ve sistem doğrultusunda bilinçli ve planlı bir şekilde gerçekleştirilmektedir. Özellikle büyük maliyet gerektiren barajlar gibi projelerde, risk analizi planlama ve tasarım süreçlerinin her aşamasında öncelikli bir yaklaşım haline gelmektedir. Barajların yüksek inşa maliyetleri, uygun yerlerin giderek azalması ve bazı eski barajların rehabilitasyon ihtiyacı doğurması, planlama ve uygulama süreçlerini yönetenleri farklı konularda düşünmeye itmektedir. Bu konular arasında barajların korunması, uzun ömürlü ve verimli işletilmesi, risk olarak görülen tehlikelere karşı gerekli önlemlerin alınması önemli yer tutmaktadır. Ayrıca, baraj inşaatlarının başlangıcından bu yana dünya genelinde çeşitli eksiklikler tespit edilmiş ve yetersizlikler nedeniyle kaza, yıkılma veya devre dışı kalma şeklindeki olumsuzluklarla karşılaşmıştır (Türker, 2021).

Baraj yıkılması, barajda depolanan suyun kontrolsüz bir şekilde mansap bölgesine boşalmasıdır. Baraj yıkılmaları, çevresel ve ekonomik zararların yanı sıra ciddi can kayıplarına da yol açabilmektedir. Bu tür kayıpların en aza indirilmesinde en etkili yöntemlerden biri, baraj yıkılma süresinin doğru bir şekilde hesaplanması ve erken uyarı sistemlerinin devreye sokulmasıdır (Türker, 2021).

Aşağı Sakarya Nehir yatağının son 113 kilometrelik bölümünde, 100 yıl tekerrürlü olası taşkınların taşıma kapasitesi incelenmiş ve baraj yıkılması durumunda oluşabilecek muhtemel taşkın senaryoları üzerinden risk analizleri gerçekleştirilmesi amacı ile Doğan, ve diğ. (2013) tarafından yapılan çalışmada, HEC-RAS yazılımı kullanılarak senaryo taşkınlarına ilişkin su seviyeleri ve taşkın alanları hesaplanmış, elde edilen veriler HEC-GeoRAS, ArcGIS 9x ve ArcView 3.2 yazılımlarıyla taşkın yayılım haritalarına dönüştürülmüştür. Çalışma sonucunda, Aşağı Sakarya Nehrinin muhtemel taşkınlarla karşı duyarlılığını ortaya koymuş ve zaman zaman taşkın suları altında kalması çalışmada elde edilen bulguları desteklemektedir. Ayrıca, taşkın riskini önlemek ve etkilerini azaltmak amacıyla yapılacak çalışmalarda farklı senaryoların dikkate alınmasının önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

Palamut (2014) yapmış olduğu çalışmada, İzmir'in Ödemiş İlçesinde yapım çalışmaları devam eden ve mansabında 3 köy bulunan Rahmanlar Barajı'nın tek boyutlu ve üç boyutlu yıkılma analizleri yapmıştır. Çalışmanın amacı oluşan taşkının mansapta yer alan köylere ulaşip ulaşamayacağını belirlenmesi hedeflenmiştir. Çalışmada, tek boyutlu analizler için, HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) yazılım programı, üç boyutlu sayısal modellemeler için ise Flow Science tarafından tasarlanan FLOW-3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılmıştır. Tek boyutlu HEC-RAS modelinde farklı senaryolara dayalı olarak yapılan yıkılma analizlerin sonucunda, mansapta yer alan bazı bölgelerin olumsuz etkilenebileceğini göstermiştir. Ancak tek boyutlu dinamik analizlerde akışın doğrusal ilerlediği kabul edildiğinden, akışın ve arazinin fiziksel özelliklerinin daha doğru şekilde yansıtabilecek üç boyutlu analizlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu doğrultuda, FLOW-3D yazılımı kullanılarak, en kritik yıkılma senaryosuna ilişkin taşkın sonuçları elde edilmiştir. Her iki modelin sonuçları analiz edilerek, taşkın haritaları oluşturulmuş, yerleşim yerlerindeki kesitlerde maksimum su seviyeleri ve bu seviyelerin oluşma süreleri belirlenmiştir.

Bitlis ilinde yer alan Bitlis Çayı, bölgenin hidrolik ve hidrolojik verileri temel alınarak Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak, il merkezinden geçen Bitlis Çayının taşkın tahminleri yapılması amacı ile Yaylak (2016) tarafından yapılan çalışmada, taşkın analizleri için ilk olarak, yerel idarelerden sağlanan 1/5.000 ölçekli halihazır haritalar ArcGIS yazılımı yardımıyla sayısallaştırılarak, havzanın sayısal yükseklik modelleri elde edilmiştir. Ardından HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) yazılımı ile taşkın yatağının hidrolik karakteristikleri ve su yüzü profilleri elde edilmiştir. Analizin son aşamasında, HEC-RAS yazılımıyla elde edilen su yüzü profilleri HEC-

GeoRAS'a aktarılmış ve bu veriler kullanılarak, taşkın haritaları oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda farklı zaman dilimlerinde meydana gelebilecek çeşitli taşkın senaryoları değerlendirilmiş ve bu senaryolara yönelik çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Alppay (2019) yapmış olduğu çalışmada, Kocaeli ilinde yer alan Kirazdere (Yuvacık) Barajı'nın mansabındaki riskli bölgelerin belirlenmesi ve değerlendirilmesi amacı ile Kirazdere (Yuvacık) Barajı mansap bölgesine ait sayısal haritalar Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı kullanılarak, düzenlenmiş ve bu verilerden baraj yıkılması taşkını analizine uygun bir 3 boyutlu (3B) arazi modeli oluşturularak, baraj gediklenmesi senaryosu için uygun parametreler, HEC-RAS yazılımı kullanılarak hesaplanmış ve ardından çalışma alanında baraj yıkılması taşkını (BYT) analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizin sonucunda, Kirazdere Barajı'nda meydana gelebilecek olası bir baraj hasarı sonrasında, BYT dalgasının yayılımına ilişkin haritalar (derinlik, hız ve su baskını alanları) BYT dalgası yayılım güzergahı ile hidroğraflar elde edilerek, Kirazdere Barajı'nın mansabında yer alan riskli bölgeler belirlenmiştir.

Geyve Doğantepe Göleti'nin yıkılması durumunda, oluşabilecek taşkının mansap bölgesinde yer alan Geyve İlçe Merkezi'ne ulaşip ulaşmayacağı ve ulaşma zamanının belirlenmesi amacı ile Ergen (2019) tarafından yapılan çalışmada, HEC-RAS programı aracılığıyla yıkılma analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizin sonucunda mansap bölgesindeki bazı yerleşim bölgelerinin taşkından etkileneyeceği tespit edilerek, taşkın yayılım haritaları hazırlanarak, olası maksimum su seviyeleri ve bu seviyelerin oluşma zamanları saptanmıştır.

Kocaman (2019) yapmış olduğu çalışmada, Kahramanmaraş ilinin Pazarcık ilçesinde bulunan Kartalkaya Baraj gövdesinin çökmesi durumunda oluşabilecek bir sel dalgasının tehlikeli sonuçlarının belirlenmesini amaçlamaktadır. Barajın yıkılması durumunda meydana gelebilecek taşkın hidrografının büyüklüğü ve şekli HEC-RAS yazılımı kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen bu hidrograf, HEC-RAS 5.0.5 ve FLO-2D yazılımları için girdi olarak kullanılmıştır. Her iki programda da yüzey pürüzlülüğünü belirlemek amacıyla, Avrupa Çevre Ajansı tarafından hazırlanan CORINE haritaları kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda, Kartalkaya Barajı'nın her iki program için mansabında akım derinliği ve akım hızı sonuçları elde edilmiştir. Ayrıca, her iki programın genel özellikleri ile yüzey pürüzlülüğündeki değişikliklere olan duyarlılıkları da değerlendirilmiştir.

Türkiye'nin Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yer alan ve en büyük baraj göllerinden biri olan Atatürk Barajı'nda olası bir hasar meydana gelmesi durumunda

oluşacak taşkın incelenmesi amacı ile Şen (2019) tarafından yapılan çalışmada, baraj gövdesi, Şanlıurfa ve Adıyaman illeri arasında yer almakta olup, Doğu Anadolu Fay Hattı olarak bilinen aktif bir deprem hattına yaklaşık 50 kilometre mesafede bulunmaktadır. Çalışmada, Atatürk Baraj Bendinde kısmi bir hasar meydana gelmesi durumunda oluşabilecek taşkın HEC-RAS programı kullanılarak modellenmesi için bölgeye ait SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) verileri, ASTER uydu görüntülerinden temin edilerek ve koordinat sistemi tanımlanmıştır. Daha sonra Baraj ve Fırat Nehri'nin geometrik verileri oluşturularak, nehrin akış yönü ve enkesit çizgileri belirlenmiştir. Bu veriler, Arcmap yazılımında düzenlenmiş ve HEC-RAS yazılımı aracılığı ile yıkılma analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, taşkın sularının hız ve derinlik bilgileri simüle edilerek, 6 saatlik periyotlarla taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Aynı zamanda taşkından en fazla tarım arazilerinin etkileneceği ve bölge ekonomisinin olumsuz etkileneceği tespit edilmiştir. Ayrıca yerleşim alanlarının yoğun olmamasına rağmen, taşkın sularının 24 saatten kısa sürede, Birecik Barajı'na ulaşarak ikinci bir baraj taşkını riskini oluşturabileceği belirlenmiştir. Bu durum, taşkın analizi işlemlerinin ve önleyici tedbirlerin hayati önem taşıdığını göstermektedir.

Gündüzalp (2020) yapmış olduğu çalışmada, Düzce ilinde Küçük Melen Çayı üzerinde bulunan Hasanlar Barajı'nın yıkılması durumunda, meydana gelecek taşkın dalgası havza boyunca incelenmiştir. Çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve uydu haritalarından yararlanılarak, iki boyutlu (2D) analizini hidrodinamik yöntemlerle taşkın dalgasını modelleyebilen HEC-RAS programı ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmada, Düzce il merkezi ve Melen Havzası'nda su altında kalma riski taşıyan mahalleler, köyler ve tarım alanları belirlenmiştir. Ayrıca taşkın zamanına bağlı olarak su derinliği, su hızı ve su kotu değerlerini gösteren taşkın yayılım haritaları elde edilerek pürüzlülük değerlerinin hesaplamalara etkisi değerlendirilmiştir. Sonuç olarak Hasanlar Barajı'nın yıkılması durumunda, bölgedeki yerleşim alanlarında ciddi hasarların meydana gelebileceği ve bunun sonucunda büyük ölçekte can ve mal kaybı yaşanabileceği öngörülmektedir.

Kırıkkale il sınırları içerisinde Kızılırmak üzerinde bulunan Kapulukaya Barajı'nın olası yıkılması durumunda, oluşabilecek pik debinin tahmin edilmesi ve mansap bölgesindeki taşkın etkilerinin değerlendirilmesi amacı ile Duvar ve Yıldız (2020) tarafından yapılan çalışmada, öncelikle barajın yıkılması sonucu meydana gelecek pik debi USBR yöntemi kullanılarak hesaplanmıştır. Ardından, bu debinin baraj mansabında yayılımı ile Bahşılı ilçe merkezi ile Celal Bayar rekreasyon alanı ve Kızılırmak üzerindeki Bahşılı karayolu köprüsü üzerindeki etkileri, HEC-RAS yazılımı

aracılığıyla bir boyutlu taşkın ötelemesi yöntemiyle analiz edilmiştir. Çalışma sonuçlarına göre, tahmin edilen pik debinin (yaklaşık 21.000 m³/s) nehirdeki su seviyesini 27 metreye kadar yükselteceği ve bu durumun ciddi taşkınlara yol açacağı belirlenmiştir. Ayrıca, Bahşılı ilçesinin büyük bir kısmı ile Celal Bayar rekreasyon alanının tamamen taşkın suları altında kalacağı, tahmin edilen pik debinin Bahşılı karayolu köprüsünden geçemeyeceği ve savak akımı oluşturacağı tespit edilmiştir.

Tilav (2021) yapmış olduğu çalışmada, İstanbul’da yer alan ve mansabında yoğun yerleşim yeri bulunan Darlık Barajına ait gediklenme senaryosuna uygun olarak gediklenme parametreleri HEC-RAS programına tanımlanmış ve baraj yıkılması taşkın (BYT) analizi 2 boyutlu (2D) olarak yapılmıştır. Çalışmada olası bir baraj yıkılması durumunda, taşkın debisi, su hızı ve derinliği hesaplanarak, taşkın yayılım, derinlik ve hız haritaları elde edilmiştir. Taşkın yayılım alanlarının incelenmesi sonucunda taşkın tehlike haritaları çıkarılmış ve oluşması muhtemel taşkın dalgasının tehlike boyutu belirlenmesi ile birlikte taşkın yayılım alanlarında bulunan binaların zarar hesabı yapılarak, zarar yüzdesi ve risk haritaları elde edilmiştir.

Dicle Nehri yan kolu olan Maden Çayı üzerinde yer alan Kralkızı Barajı’nın yıkılma durumunu ele alan bir senaryo modeli oluşturulması amacı ile Em ve Hamidi (2021) tarafından yapılan çalışmada, Kralkızı Baraj’ı, Diyarbakır eski şehir merkezinin yaklaşık 100 metre yüksekğinde konumlanmış olup, Dicle Barajı ile birlikte risk oluşturabilecek konumda olan bir barajdır. Barajın dolgu tipinde bir yapıya sahip olmasına rağmen, çalışmada en olumsuz senaryo göz önüne alınarak kemer barajlarda görülen ani yıkılma durumu esas alınmıştır. Modelleme sürecinde “Global Mapper” ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı ile birlikte, ABD Ordusu Mühendislik Birliği tarafından geliştirilen HEC-RAS yazılımı kullanılarak bir boyutlu üstten aşma yıkılma analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın sonucunda, Kralkızı Barajı’nın yıkılması durumunda oluşacak taşkın hidrografi elde edilmiştir.

Yıldız (2021) yapmış olduğu çalışmada, Bursa İli Karacabey İlçesinde yapım çalışmaları devam eden ve mansabında yerleşim yeri bulunan Yeşildere Barajı’nın yıkılması durumunda, oluşan taşkının mansapta yer alan yerleşim yerine ulaşip ulaşamayacağı ve ulaşma zamanının belirlenmesi amacı ile Yeşildere barajı ve mansap bölgesine ait sayısal haritalar, ArcGIS yazılımı ile düzenlenmiş ve yıkılma analizi HEC-RAS programı aracılığıyla baraj yıkılma parametreleri veri girişi yapılarak yıkılma analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada mansap bölgesinde bazı yerleşim bölgelerinin taşkından

etkilendiği tespit edilerek, taşkın risk haritaları oluşturularak, maksimum su seviyeleri ve bu seviyelerin oluşma zamanları belirlenmiştir.

Batman ilinin 30 km kuzeyinde yer alan Batman Barajı'nın güvenliği ele alınarak, tasarım aşamasında veya işletmede olan barajlara yönelik risk potansiyel sınıflandırma kriterleri doğrultusunda tehlike durumu değerlendirilmesi amacı ile Efe (2022) tarafından yapılan çalışmada, Hidrolik analizlerde kritik bir unsur olan pürüzlülük katsayısı için arazi örtüsü/kullanımı sınıflandırma sistemi olan CORINE altyapısından faydalanılarak daha doğru sonuçlara ulaşılmaya çalışılmıştır. Simülasyon hassasiyetini artırmak amacıyla Batman Çayı'na ait 1/1.000 ölçekli haritalar ile 1/25.000 ölçekli haritalar entegre edilmiştir. Batman Çayı üzerindeki Akım Gözlem İstasyonu verileri ile birlikte geçmişte yaşanan taşkın verileri kullanılarak, oluşturulan simülasyonun doğruluğu sağlanmıştır. Batman Barajının yıkılma simülasyonu için HEC-RAS programı kullanılarak olası bir yıkılma sonrasında meydana gelebilecek taşkın dalgası sonucunda taşkın tehlike haritaları oluşturulmuştur. Çalışmanın sonucunda, Batman il merkezinin büyük bir kısmı ile havalimanı ve 19 yerleşim yerinin sular altında kalabileceği, afet sonrası acil müdahalede kullanılacak yolların önemli ölçüde zarar görebileceği ortaya konulmuştur. Afet senaryosunun bertarafı için taşkın dalgası mansapta bulunan yerleşim alanlarına ulaşmadan önce erken tahliye için gerekli sürelerin ve acil durum müdahale planlarının belirlenmesi açısından çalışmanın faydalı olacağı düşünülmektedir.

Ölmez (2024) yapmış olduğu çalışmada, Amasya ilinde bulunan Değirmendere Barajı'nın yıkılması durumunda, Fotogrametrik yöntemlerle ölçümü yapılan arazi, AgiSOFT ve 3Dsurvey yazılımları kullanılarak sınıflandırma ve iyileştirme işlemleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra ArcGIS programında, sayısal yükseklik modeli (DEM) elde edilerek iki boyutlu (2D) kararsız (zamanla değişen) akımlar modelleyebilen HEC-RAS programında borulanma sonucu baraj yıkılma analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Değirmendere Barajı'nın yıkılması durumunda oluşabilecek taşkının zamana bağlı yayılım haritaları, ölçülen en yüksek akım derinliği, en yüksek akım hızları gibi veriler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda afet ve risk yönetimi için alınabilecek önlemleri desteklemek amacıyla ilgili kurum ve kuruluşlara rehberlik sağlamak ve sürdürülebilir çözümler sunmak hedeflenmiştir.

Afyonkarahisar'da yer alan Akdeğirmen Barajı'nın yıkılması halinde oluşabilecek taşkın dalgasının incelemesi amacı ile Kart (2024) tarafından yapılan çalışmada, Hidrodinamik yöntemleri kullanılarak taşkın modellemesi için HEC-RAS programı kullanılmış ve hassas sayısal yükseklik modelleri (2D) ile analiz işlemi

gerçekleştirilmiştir. Çalışmada Barajın mansabında yer alan meskun mahallerin hangi bölgelerin sular altında kalacağını belirlemek için zamana bağlı su derinliği, su hızı ve su kotu değerlerini gösteren haritalar oluşturularak, pürüzlülük değerleri her tür mahal için ayrı ayrı değerlendirildiğinde, elde edilen sonuçların güvenilirliği artırılmıştır.

Ardıçlıoğlu (2024) yapmış olduğu çalışmada, Seyhan Barajı'nın olası bir deprem sonucu yıkılması durumunda oluşacak taşkının mansapta Adana kent merkezi ve çevresine etkileri incelenmiştir. Barajın çökme analizi, HEC-RAS 6.4 yazılımı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve borulanma sonucunda baraj gövdesinde oluşabilecek gediklenme ve buna bağlı iki boyutlu taşkın yayılımı değerlendirilmiştir. İki farklı senaryo için gediklenme parametreleri belirlenmiş, taşkın yayılım süreleri ve tehlike derecelendirmesi DEFRA kriterlerine göre yapılmıştır. Q0 ve Q100 debilerine göre gerçekleştirilen analizlerde, taşkınların Adana kent merkezine yaklaşık 6 saat içinde ulaşacağı ve özellikle Seyhan Nehri çevresinde su derinliğinin 15 metreye kadar çıkabileceği tespit edilmiştir. Birinci senaryoda (Q0), baraj gövdesinin yıkılması durumunda toplamda 1.042,61 km² alanın su altında kalacağı, bu alanların %35,4'ünün ise çok yüksek tehlikeli bölge olarak sınıflandırıldığı belirlenmiştir. İkinci senaryoda (Q100), barajın maksimum su seviyesi ile göçmesi halinde 1.331,81 km² alanın sular altında kalacağı ve bu alanların %40,1'inin çok yüksek tehlikeli bölge olarak değerlendirildiği hesaplanmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

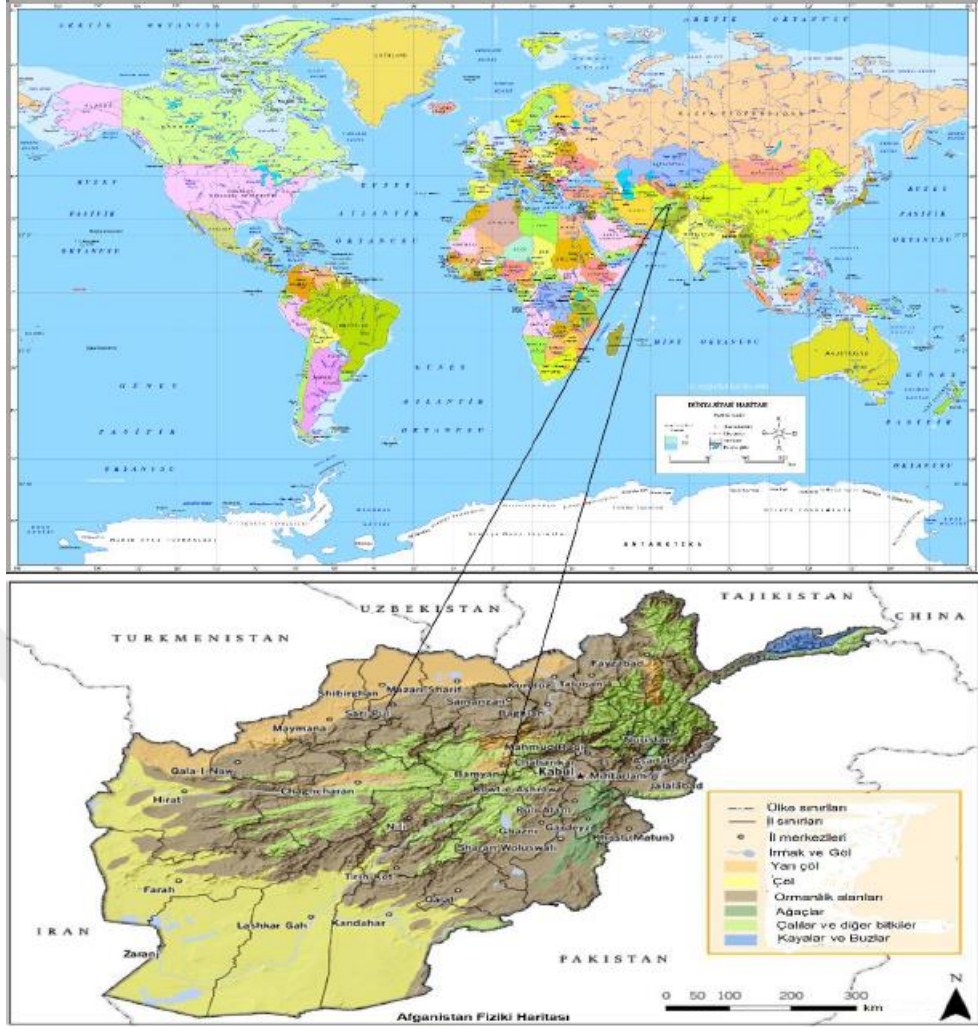
3.1.1. Afganistan tarihi, coğrafi konumu, iklim ve nüfusu

Afganistan geçmişten günümüze, büyük güçlerin hâkimiyet kurmak istediği bir ülke olmuştur. Son 200 yıl dönemde Afganistan, önce İngiltere ile Rusya arasında yaşanan ve “Büyük Oyun” (Great Game) olarak adlandırılan mücadelede, ardından da ABD ile Sovyetler Birliği arasındaki Soğuk Savaş döneminde, önemli bir rekabet alanı olmuştur. Ülkenin kendine özgü sosyal yapısı, dini kimliğin baskın etkisi, güçlü kabile bağları ve çetin coğrafyası nedeniyle, burada egemenlik kurmaya çalışan büyük güçler genellikle başarısızlığa uğramıştır. Afganistan, nihayetinde 1919 yılında, Britanya İmparatorluğu'ndan bağımsızlığını kazanmıştır (Şen, 2022). Afganistan'ın stratejik

konumu ve doğal kaynakları onu büyük güçlerin nazarında bir çekim merkezi haline getirmiştir (Raofi, 2022).

Afganistan'ın coğrafi konumu, 33° 00' kuzey enlemi ile 65° 00' doğu boylamında yer almaktadır (Maps of World, 2025). Afganistan'ın kara yüzeyine ait deniz seviyesinden ölçülen yükseklik değerlerine göre, en yüksek nokta 7.492 metre ile Noshaq, en düşük nokta ise 258 metre ile Amu Darya'dır. Bu iki nokta arasındaki yükseklik farkı 7.234 metredir. Ülkenin ortalama yüksekliği 1.885 metre, şehirlerin ortalama yüksekliği ise 1.419 metredir (Elevationcity, 2025).

Afganistan'ın dünya haritasındaki konumu ve komşu ülkeleri, Şekil 3.1'de gösterilmiştir (Burhan, 2020). Afganistan, Orta Asya ile Güney Asya'nın kesiştiği noktada yer alan ve denize sınır olmayan bir ülkedir. Afganistan'a komşu olan ülkeler; kuzeyde Özbekistan, kuzeydoğuda Tacikistan, kuzeydoğu ile doğuda Çin, güneyde Pakistan, batıda İran, kuzeybatıda ise Türkmenistan'dır (Mohammady, 2022). Afganistan'ın toplam kara sınırları uzunluğu 5.529 km'dir. Ülkenin en uzun sınırı 2.000 km ile Pakistan'a komşudur. Tacikistan ile 1.206 km, İran ile 936 km, Türkmenistan ile 744 km, Özbekistan ile 137 km ve Çin ile 76 km sınırı bulunmaktadır (Zalmai, 2013).



Şekil 3.1. Afganistan'ın dünya haritasındaki konumu ve komşu ülkeleri

Ülkenin büyük bir bölümü, yazları sıcak ve kışları ise soğuk geçen kuru bir karasal iklime sahiptir. Özellikle Afganistan'ın güney ve doğusundaki bazı ova bölgelerinde yaz aylarında, sıcaklık 50 °C'ye kadar ulaşabilirken, kış mevsiminde genellikle 20 °C civarında kalmaktadır. Dağlık bölgelerde kış aylarında sıcaklık -25 °C'ye kadar düşebilirken, daha yüksek rakımlı kesimlerde bu değerler çok daha düşük seviyelere ineilmektedir. Bölge ve rakıma bağlı olarak sıcaklık değerlerinde önemli farklılıklar görülmektedir. Genel olarak, ortalama sıcaklık Temmuz ayında 32 °C, Ocak ayında ise -2 °C civarındadır. Aşırı sıcaklık değerleri ise maksimum 50 °C, minimum -50 °C olarak kaydedilmiştir. Afganistan, 652.860 kilometrekarelik yüzölçümüne sahip olup, nüfusu ise 40 milyondur (Mohammady, 2022).

3.1.2. Su kaynakları ve su havzaları

Dünyanın en sert coğrafi koşullarından birine sahip olan Afganistan'ın dörtte üçü dağlık araziden oluşmaktadır. Bu dağlar, ülkenin doğu ve batı omurgasını oluşturarak, Afganistan'ı iki bölüme (kuzey ve güney) olarak ikiye ayırmaktadır. Bu dağların rakımları da doğudan batıya doğru azalış gösterirken birçok nehir ve akarsu dağların her iki tarafından uzanıp, Afganistan ve komşuları için önemli su kaynaklarını temin etmektedir.

Afganistan'da 1.596 adet isimlendirilmiş dağ bulunmaktadır. Bu dağlık alanlar, ülkenin yüzölçümünün yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Bu dağlar arasında en yüksek olanı, 7.492 metre yüksekliğe sahip Noshah Dağı'dır. Bu dağ, Pakistan sınırında Hindu Kush Sıradağları üzerinde konumlanmakta olup, dağın güney ve doğu yamaçları Pakistan topraklarında kalmaktadır. Afganistan'daki en önemli sıradağ, Himalaya Dağları'nın mantıksal bir uzantısı olarak kabul edilen Hindu Kush'tur. Afganistan'ın doğu bölgeleri, ülkenin en yüksek sıradağları olan Hindu Kush Sıradağları (4.000-5.000 m rakımda) ve Wakhan Sırtı (yaklaşık 6.000 m rakımda) tarafından geçilmektedir. Bu yüksek dağların zirveleri buzullarla kaplıdır (Anonim, 2025).

Genel olarak, Afganistan toprakları Pamir, Hindukuş ve yaylalar gibi dağlık alanlarda yer alan ve büyük kayalarla kaplı Litosol grupları ile sıg kaya topraklardan oluşmaktadır. Afganistan, uzun ömürlü ve geçici nehirleri ile akarsularına su temin edebilmek için dağlık alanlardaki kar örtüsü ve buzullardan faydalanmaktadır. Bu su kaynaklarının devamlılığı, dağlara düşen kar yağışına bağlıdır. Ancak iklim değişikliği sonucu dağlardaki kar örtüsünün ve buzulların azalması, ülkenin su kaynakları üzerinde önemli bir etki yaratabilmektedir. Çizelge 3.1'de, tahmini toplam yıllık su potansiyeli 75 milyar m³ olup, bunun 57 milyar m³'ü yüzey suyu, 18 milyar m³'ü ise yeraltı suyundan oluşmaktadır (Mohammady, 2022).

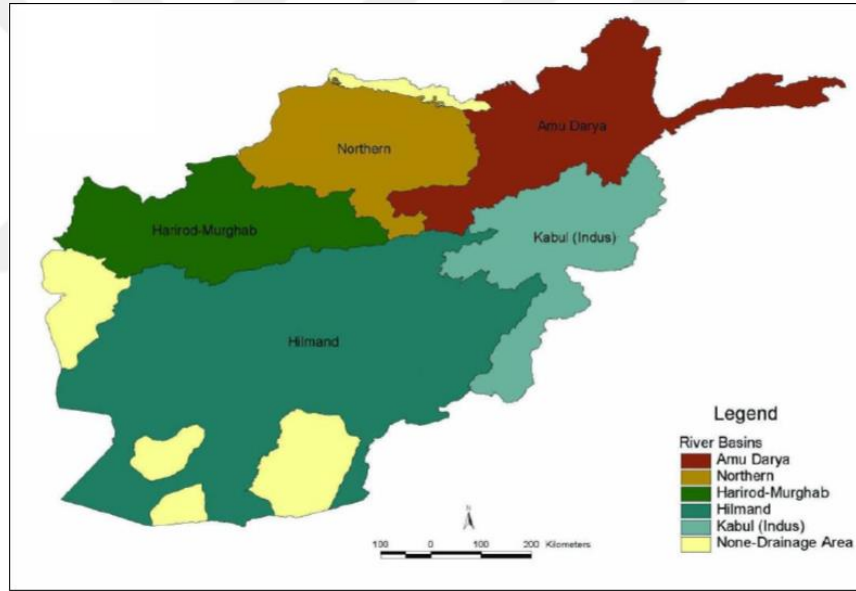
Çizelge 3.1. Afganistan'ın yüzeysel ve yeraltı su kaynakları (milyar m³/yıl)

Su kaynağının türü	Potansiyel (milyar m ³)	Mevcut durum (milyar m ³)	
		Kullanılan	Kullanılmayan
Yüzeysel suyu	57	17	40
Yeraltı suyu	18	3	15
Toplam	75	20	55

Afganistan topoğrafyası ve su kaynaklarına göre beş ana nehir havzasına bölünmüştür (Salehi ve Naimi, 2021).

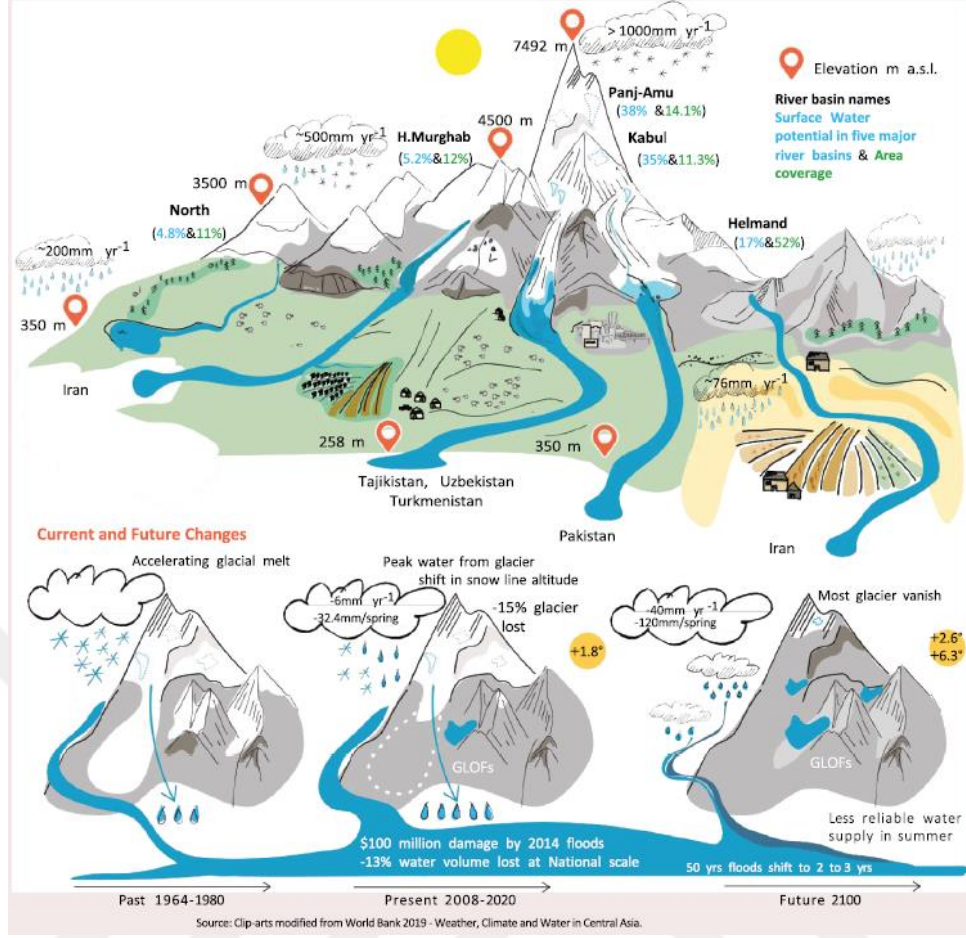
1. Amu Darya Nehir Havzası
2. Kabil Nehir Havzası
3. Hilmand (Hirmand) Nehir Havzası
4. Harirud-Murghab Nehir Havzası
5. Kuzey Nehir Havzası

Yıllık su debisi açısından değerlendirildiğinde, Afganistan'ın su kaynaklarının yaklaşık %57'si Amu Darya Nehir Havzası, %26'sı Kabil Nehir Havzası, %11'i Hilmand (Hirmand) Nehir Havzası, %4'ü Harirud-Murghab Nehir Havzası ve %2'si ise Kuzey Nehir Havzası tarafından karşılanmaktadır. Afganistan'ın su havzaları, Şekil 3.2'de verilmiştir (Mohammady, 2022).



Şekil 3.2. Afganistan'ın su havzaları

Afganistan'ın su kaynaklarının %80'inden fazlası, Hindukuş Dağları'ndan ve yüksek dağlarda biriken karın yaz aylarında erimesinden kaynaklanmaktadır (Mohammady, 2022). Afganistan'daki tüm havzaların kaynaklandığı dağları gösteren şematik haritası, Şekil 3.3'te verilmiştir (Shokory ve diğ., 2023).



Şekil 3.3. Afganistan'daki tüm havzaların kaynaklandığı dağları gösteren şematik haritası

3.1.3. Su havzalarında bulunan barajlar

Afganistan'da günümüze kadar inşa edilerek hizmete sunulan ve yapım aşaması devam eden bazı barajlara ilişkin bilgiler, Çizelge 3.2'de verilmektedir (Anonim, 2025).

Çizelge 3.2. Afganistan'daki bazı havzalar üzerinde bulunan barajlar

Baraj adı	Baraj türü	Baraj konumu	Besleyici (su havzası)	Baraj açılış yılı	Kullanım amacı	Kapasite (10) ⁶ m ³
Naghlu	Ağırlık	Surobi İlçesi, Kabil İli	Kabil	1968	Elektrik üretimi	550
Surobi	Ağırlık	Surobi İlçesi, Kabil İli	Kabil		Elektrik üretimi	
Darunta	Ağırlık	Jalalabad, Nangarhar İli	Kabil	1960	Elektrik üretimi, sulama	
Shahtoot	Ağırlık	Char Asiab İlçesi, Kabil ili	Kabil	Yapım aşamasında	Sulama	
Kajaki	Toprak dolgu	Kajaki İlçesi, Hilmand İli	Hilmand (Hirmand)	1953	Elektrik üretimi, sulama	1.715
Grishk	Toprak dolgu	Grishk İlçesi, Hilmand İli	Hilmand (Hirmand)	1945		
Kamal Khan	Toprak dolgu	Chahar Burjak İlçesi, Nimruz İli	Hilmand (Hirmand)	2021	Elektrik üretimi, sulama	52
Salma	Toprak dolgu	Chshti Sharif İlçesi, Herat İli	Harirud	2016	Elektrik üretimi, sulama	633
Pashdan	Kil çekirdekli kaya dolgu	Karokh İlçesi, Herat İli	Harirud	Yapım aşamasında	Elektrik üretimi, sulama	54,22
Qargha	Toprak dolgu	Kabil İli	Paghman	1933	Sulama	26,1
Mahipar	Ağırlık	Kabil İli	Logar	1967	Elektrik üretimi	
Sardah	Toprak dolgu	Andar İlçesi, Ghazni İli	Gardez	1967	Sulama	259
Sultan	Toprak dolgu	Ghazni İli	Ghazni		Sulama	
Chaki Wardak	Toprak dolgu	Chaki Wardak İlçesi, Maidan Wardak İli	Logar	1938	Sulama	
Shorabak	Ağırlık	Fayzabad İlçesi, Badakhshan İli	Kokcha	2021	Elektrik üretimi	
Sukhtook	Ağırlık	Nili İlçesi, Daykundi İli	Nili	2019	Elektrik üretimi, sulama	

3.1.4. Afganistan'da yağış ve buharlaşma

Afganistan'da yıllık ortalama yağış miktarı yaklaşık 270 mm'dir ve kuzeydoğudaki yüksek dağlarda 1.270 mm'ye kadar çıkarken, güneybatı bölgelerinde 75 mm'ye kadar değişmektedir. Yağışların büyük çoğunluğu (%80'den fazlası) kar şeklinde gerçekleşmektedir. Biriken kar, Mart ayından itibaren erimeye başlar ve Afganistan Enerji ve Su Bakanlığının verilerine göre akış seviyesi, Mayıs ayında en yüksek noktasına ulaşarak Temmuz ayına kadar devam etmektedir. Afganistan'da yıllık evapotranspirasyon, düşük sıcaklıkların etkisiyle Hindukuş Dağları'nda 900 mm ile 1.200 mm arasında değişirken, güney ve güneybatı bölgelerinde 1.800 mm'ye kadar çıkmaktadır. Afganistan'da yıllık toplam yağış miktarı yaklaşık 164 milyar metreküp olup, yıllık evapotranspirasyon 87 milyar m³tür. Ancak yıllık toplam kullanılabilir su kaynakların miktarı yaklaşık 75 milyar m³ olarak hesaplanmaktadır. Afganistan'da havza bazında yıllık yağış verileri, Çizelge 3.3'te verilmiştir (Mohammady, 2022).

Çizelge 3.3. Afganistan'da havza bazında yıllık yağış verileri

Havza	Alan (km ²)	Yıllık ortalama yağış (mm)	Toplam yağış (milyar m ³ /yıl)	Toplam yağış (%)
Amu	101.498	393	39,889	24
Kabil	108.392	298	32,3	20
Hilmand (Hirmand)	202.006	180	36,36	22
Harirud	162.659	210	34,16	21
Kuzey	78.099	268	20,93	13
Toplam	652.654	270	163,64	100

3.2. Çalışma Alanı

3.2.1. Çalışma alanı hakkında genel bilgiler

Çalışma alanı, Afganistan'ın Herat ilinin Karokh ilçesinde, Harirud Nehri havzasının sağ kolu olan Karokh Nehri üzerinde yer almaktadır. Yapım çalışmaları devam eden Pashdan Barajı, Karokh kasabasına yaklaşık 17,5 km ve Herat ilinin 25 km kuzeydoğusunda, 34° 24' 19" kuzey enlemi ve 62° 25' 25" doğu boylamında yer almaktadır (MEW, 2011).

Pashdan Barajı'nın Afganistan haritası üzerindeki konumu, Şekil 3.4'te verilmiştir. (Anonim, 2025). Pashdan Barajı'nın Harirud Nehri'nin sağ kolu olan Karokh Nehri üzerindeki konumu ise Şekil 3.5'te gösterilmektedir (Loodin ve Warner, 2022).



Şekil 3.4. Afganistan haritası üzerinde Pashdan Barajı konumu



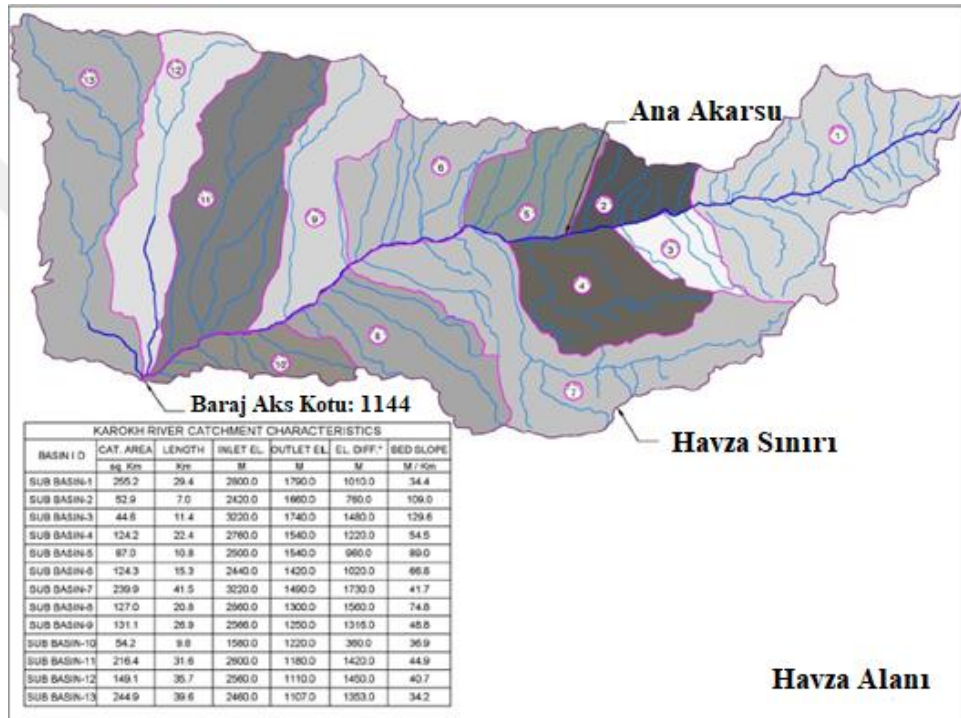
Şekil 3.5. Harirud Nehri havzasının sağ kolu olan Karokh Nehri üzerinde yer alan Pashdan Barajı'nın konumu

3.2.2. Karokh Nehri'nin havza alanı ve alt havza özellikleri

Karokh Nehri, yaklaşık 2.600 metre yükseklikteki Koh-i-Bande Sabzak yamaçlarından kaynaklanmaktadır. Nehir hızla alçak platolara ulaşarak Harirud'un ana vadisine katılır ve yaklaşık 95 km boyunca akarak Afganistan ile İran arasındaki sınırı oluşturur. Daha sonra Afganistan topraklarını terk eder ve İran ile Türkmenistan

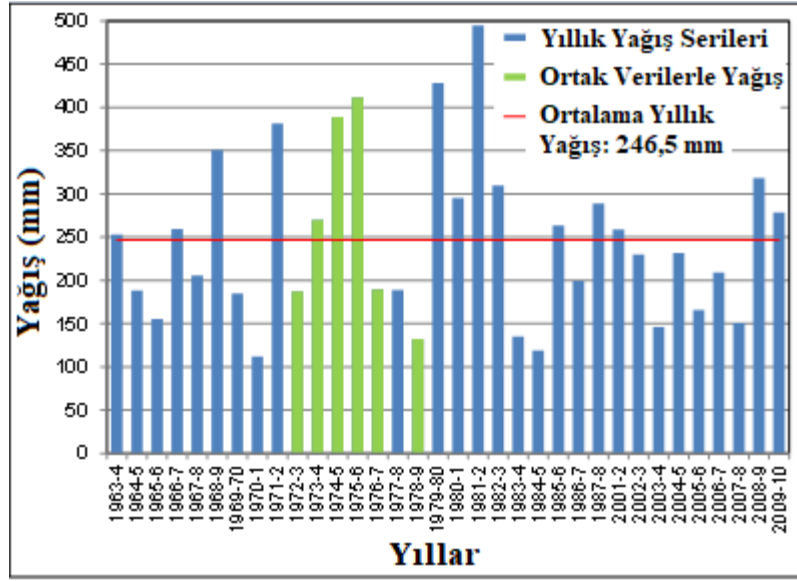
arasındaki sınırı takip ederek Serhas bölgesine ulaşır. Serhas'tan itibaren kuzeye yönelen nehir, ardından kuzeybatıya doğru hafif bir eğim kazanarak Türkmenistan'ın kumluk bölgelerinde akışını sürdürmektedir (MEW, 2011).

Karokh Nehri'nin önerilen baraj sahasına kadar olan havza alanı, 1/50.000 ölçekli Rus topoğrafya haritaları kullanılarak hesaplanmıştır. Fizibilite çalışmasına göre, havza alanı 1.851 km² olarak belirlenmiştir. Havza, farklı yönlerden gelen ana kollarına göre on üç alt havzaya bölünmüştür. Her bir alt havzanın uzunluğu, giriş ve çıkış kotları ile akarsu eğimleri, Şekil 3.6'da verilmiştir (MEW, 2011).

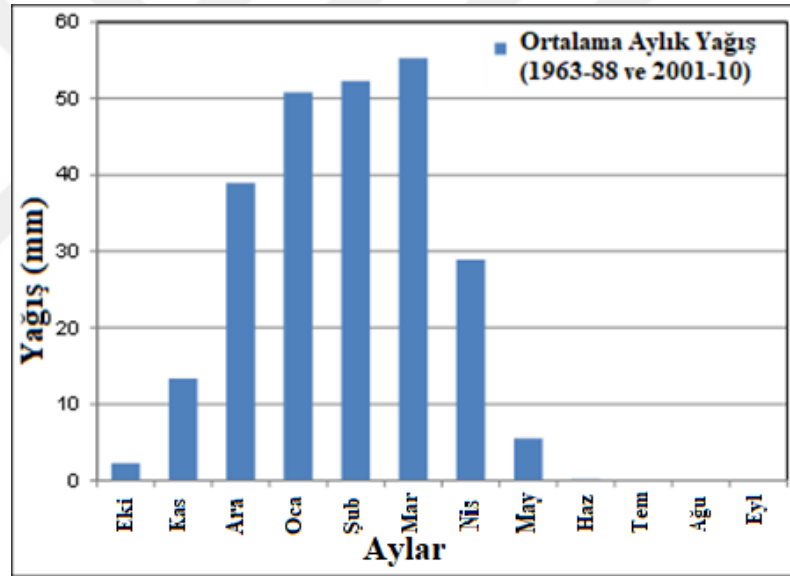


Şekil 3.6. Pashdan Barajı'nı besleyen Karokh Nehri havzası özellikleri

Karokh Nehri'nin rezervuar bölgesinde, Pashdan Barajı ekseninin yaklaşık 4,1 km yukarısında bir debi ölçüm cihazı kurulmuştur. Herat'ın yağış verileri, Pashdan baraj sahasının havza alanında yer alması nedeniyle önerilen baraj sahası için kabul edilmiştir. Herat için aylık ortalama yağış 0,0 ile 55,3 mm arasında değişmekte olup, buna karşılık gelen dönemdeki yıllık ortalama yağış 246,5 mm olarak hesaplanmıştır. Herat'ta farklı yıllara ait yağış miktarları ve ortalaması, Şekil 3.7'de ve Herat'ta farklı yıllara ait aylık ortalama yağış miktarları ise Şekil 3.8'de verilmiştir (MEW, 2011).



Şekil 3.7. Herat'ta farklı yıllara ait yağış miktarları ve ortalaması



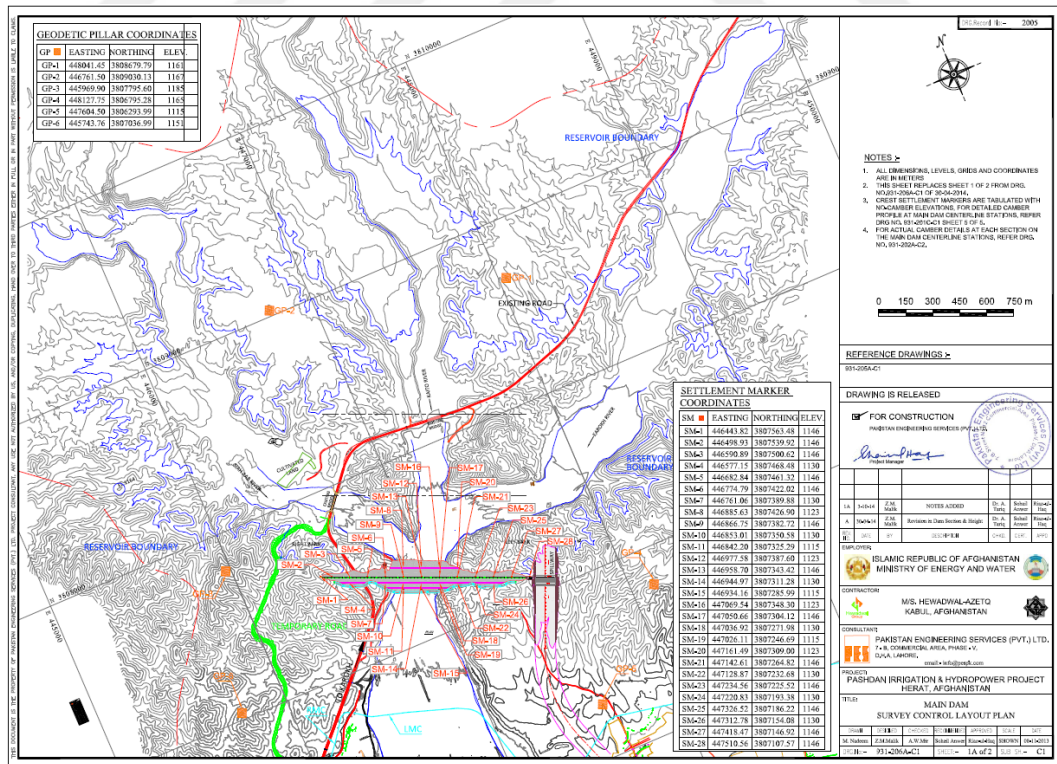
Şekil 3.8. Herat'ta farklı yıllara ait aylık ortalama yağış miktarları

3.2.3. Pashdan Barajı

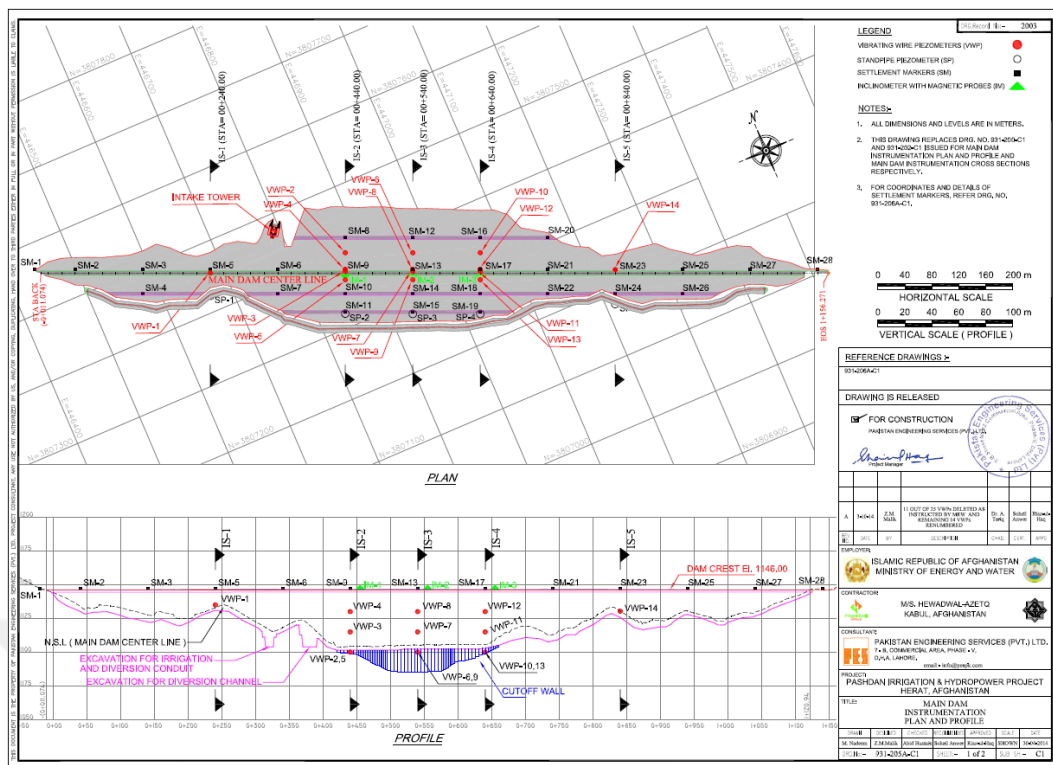
Yapım çalışmaları devam eden Pashdan Barajı, kil çekirdekli kaya dolgu baraj türlerindendir. Barajın inşası 2011 yılında başlanmış, 2025 yılında faaliyete geçmesi planlanmaktadır. Barajın temel amacı sulama ve hidroelektrik enerji üretimidir. Karokh Nehri'nin suyunu sulama, hidroelektrik enerji üretimi ve içme suyu temini için depolamayı amaçlamaktadır. Pashdan Barajı'nın hayata geçmesiyle 13.000 hektarlık tarımsal araziye sulanmasını hedeflemektedir. Barajın iki türbin kurulumuyla 2 megawatt

elektrik üretim kapasitesine sahip olacaktır. Baraj 42 m yüksekliğinde, 1.156 m uzunluğuna sahip, rezervuarı ise 54,22 milyon metreküp su depolama kapasitesine sahiptir (MEW, 2011).

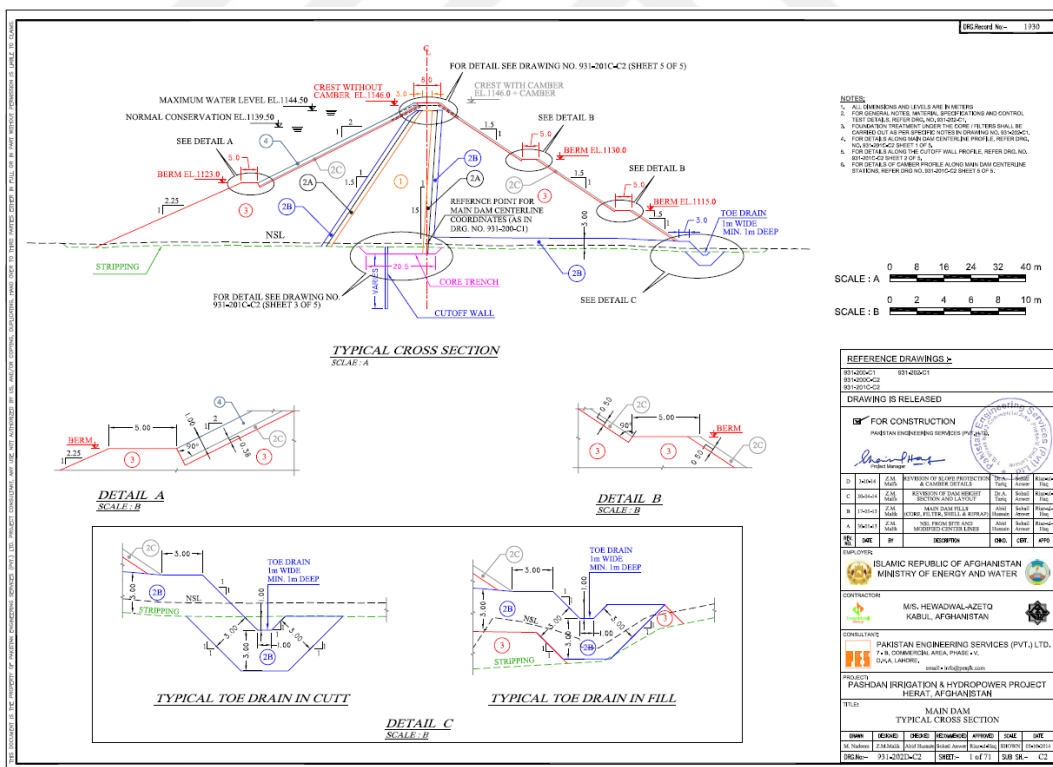
Barajın avantajları, su depolama ve enerji üretimi açısından bölgenin ihtiyaçlarını karşılayabilecek önemli bir altyapı projesi olarak öne çıkmaktadır. Barajın dezavantajları ise, temel olarak sulama ve hidroelektrik enerji üretimi amacıyla suyun yönlendirilmesi için tasarlanmıştır. ICOLD'a (Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu) göre Pashdan Barajı, yapısal özelliklerine göre "büyük barajlar" sınıfına girmektedir. Ancak, barajın herhangi bir nedenle hasar görmesi veya yıkılması durumunda, ciddi ekonomik kayıpların yanı sıra can kaybı riski de oldukça yüksektir. Bu tür bir senaryoda, özellikle Herat şehri nüfusu doğrudan etkilenecektir. Barajın yıkılması durumunda, geniş çaplı taşkınlar yaşanabilecek, bu da bölgedeki altyapı, tarımsal alanlar ve yerleşim yerleri üzerinde yıkıcı etkiler doğurabilecektir. Bu nedenle, barajın güvenliğini sağlamak ve olası riskleri en aza indirmek için gerekli önlemlerin alınması kritik önem taşımaktadır. Pashdan Barajı'na ait yer değişim gözlem noktası koordinatları Şekil 3.9'da, barajın planı ve profili Şekil 3.10'da, barajın enkesiti ise Şekil 3.11'de verilmiştir (MEW, 2011).



Şekil 3.9. Pashdan Barajı'na ait yer değişim gözlem noktası koordinatları



Şekil 3.10. Pashdan Barajı'nın plan ve profili



Şekil 3.11. Pashdan Barajı'nın enkesiti

Pashdan Barajı, Herat şehir merkezine yaklaşık 25 km mesafede yer almaktadır. Barajın mansap bölgesinde yer alan bazı yerleşim yerleri, Çizelge 3.4'te verilmiştir (MEW, 2011).

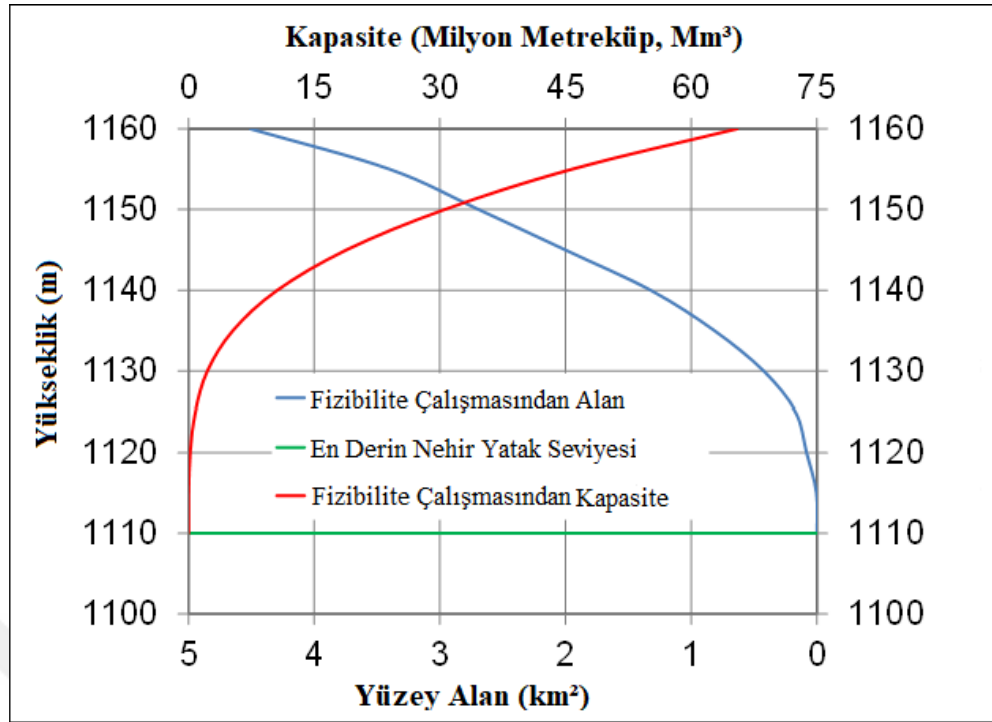
Çizelge 3.4. Pashdan Baraj'ının mansap bölgesinde yer alan bazı yerleşim yerlerinin isimleri

Sıra	Köy adı
1	Pashdan
2	Char Burj
3	Anbar
4	Chak Mak
5	Pal Peeri
6	Rebat Surkh
7	Ali Afghan
8	Jahanda Khan
9	Nowbadam
10	Nisan
11	Imam Shesh Noor
12	Sarasiyab Mokhtar
13	Chungar
14	Kebabyan
15	Ghaizan Sangar
16	Saleh Abad
17	Khair Abad
18	Tunian
19	Gule -e- Shuter
20	AAB -e- Gharmak
21	Morcha Khan

3.2.4. Pashdan Barajı karakteristik bilgileri

Yapım aşamasında olan Pashdan Barajı, toprak çekirdekli kaya dolgu tipinde olup, su geçirimsizliği kil çekirdek malzemesi ile sağlanmakta, baraj gövdesinin kabuğu ise ince ve iri taneli kaya dolgu malzemesi ile oluşturulmaktadır. Pashdan Barajı karakteristik bilgileri, Ek-1'de verilmiştir (MEW, 2011).

Pashdan Barajı rezervuar alanına ait yükseklik-alan-kapasite eğrileri, mevcut topografik araştırmalara dayanarak karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Şekil 3.12'de gösterilen kırmızı eğri, hacim (milyon metreküp)-satış (metre) ilişkisini ifade etmektedir (MEW, 2011).

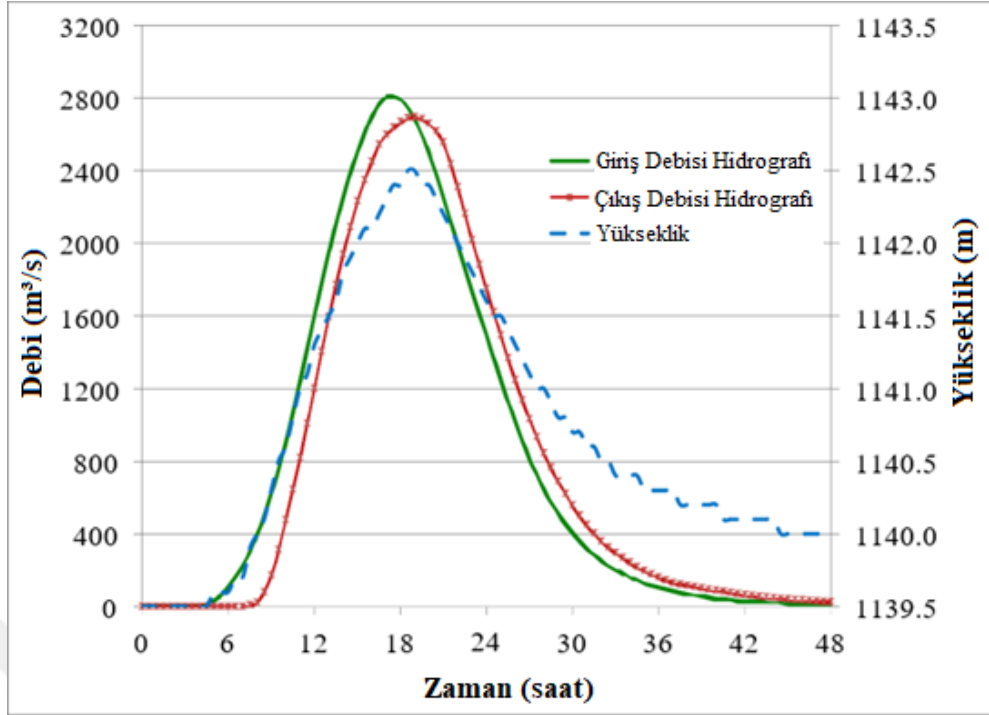


Şekil 3.12. Pashdan Barajı'nın hacim-satıh eğrisi

Pashdan Barajı'nın, Snyder birim hidrograf yöntemiyle tahmin edilen tekerrü süresi 10.000 yıllık taşkını, dolusavak boyutunun seçimi için giriş tasarım taşkını olarak seçilmiştir. Pashdan Barajı'nın giriş tasarım taşkınının pik debisi $2.818 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. 10.000 yıllık tekerrür süresine sahip taşkını güvenli bir şekilde geçirmek için kapaklı bir dolusavak önerilmiştir (MEW, 2011).

Snyder'in birim hidrograf yöntemi, 1938 yılında Snyder tarafından ABD'nin Appalachian Yaylaları'ndaki ölçüm istasyonu olmayan havzaların analizi için geliştirilmiş parametrik bir yaklaşımdır. Snyder, havza özelliklerinden birim hidrograf tahmin etmek için ilişkiler sağlamıştır. Bu yöntem, aşırı yağışı alt havza çıkış noktasına yönlendirmek için birim hidrografın birkaç temel ordinatlarını tahmin etmek için birden fazla ilişki kullanır. Snyder, birim hidrografın kritik özellikleri olarak havza gecikme süresi (t_p), birim alana düşen pik debi (q_p) ve toplam zaman tabanını (t_b) tanımlamıştır. Bir standart birim hidrografı, yağış süresi (t_r) ile havza gecikme süresi (t_p) arasında bir ilişki bulunan bir birim hidrograf olarak tanımlanır (HEC-HMS, 2025). Bu çalışmada kullanılan Snyder'in hidrograf yöntemine ait parametreler, $t_p = 17$ saat, $t_b = 33$ saat'tir.

Şekil 3.13'te Pashdan Barajı'nın tasarım taşkın hidrografında, yeşil renkli eğride pik giriş debisi $2.818 \text{ m}^3/\text{s}$, kırmızı renkli eğride ise pik çıkış debisi $2.699 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak belirlenmiştir (MEW, 2011).



Şekil 3.13. Pashdan Barajı'nın tasarım giriş ve çıkış debilerine ait taşkın hidrografı

3.3. Çalışmada Kullanılan Programlar

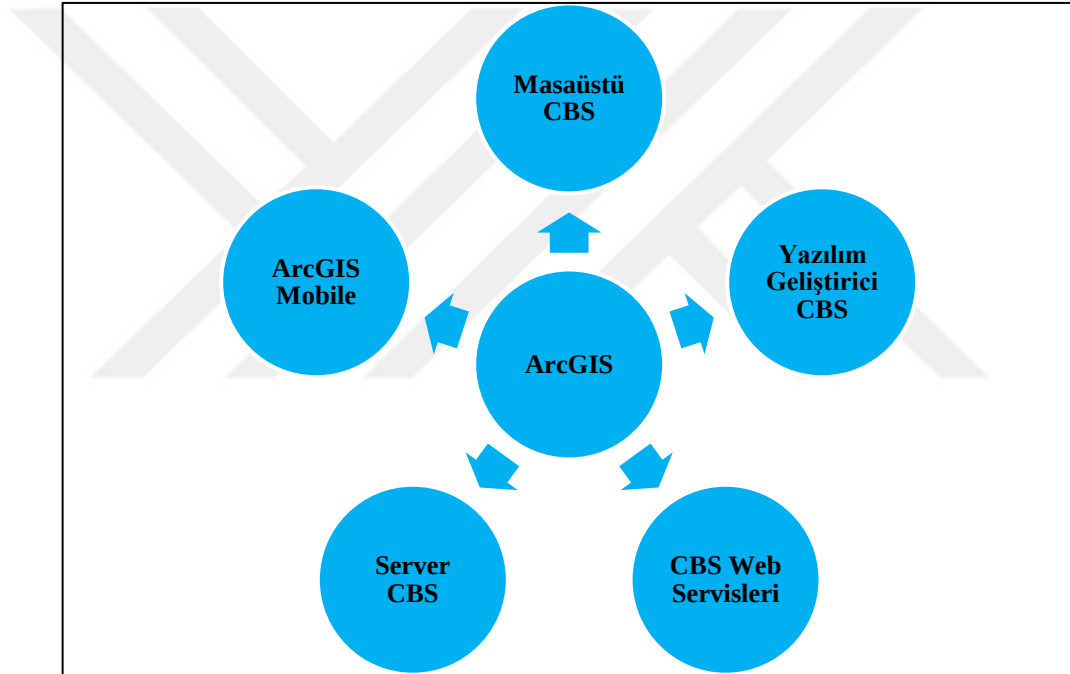
3.3.1. ArcMAP 10.8 programının tanıtımı

ArcGIS, ESRI tarafından geliştirilmiş, ve ölçeklendirme yapabilen bir coğrafi bilgi sistemi (CBS) yazılımıdır. ArcObjects altyapısı ile ortak bir veri kütüphanesi oluşturulmuş bir sistemdir. ArcGIS yazılımı, verilerin depolanması, işlenmesi, analiz edilmesi, haritaların oluşturulması ve projelendirme özelliklerinin yanı sıra, insan gücü ve maliyet açısından tasarruf sağlayarak harita ve coğrafi veriler doğrultusunda çalışan bir yazılımdır (Yıldız, 2021).

ArcGIS yazılım ürünleri genel olarak beş ana gruba ayrılmaktadır. Bu gruplar; ArcGIS Server, ArcGIS Mobile, ArcGIS Online, ArcGIS Engine ve ArcGIS Desktop'tur.

1. ArcGIS Server: CBS teknolojisi aracılığıyla üretilen haritalar, web servisleri şeklinde sunulabilir ve bu sayede uygulamaları geliştirme imkanı sağlanmaktadır.
2. ArcGIS Mobile: Arazi çalışmalarında kullanılmak üzere özel coğrafi bilgi sistemleri (CBS) uygulamalarının kullanılmasını sağlamaktadır.
3. ArcGIS Online: CBS yazılım uygulamalarının web tabanlı olarak kullanıcılara ulaşmasını sağlayan kütüphanedir.

4. ArcGIS Engine: C++, .NET, Java ve uygulamalarının geliştirilmesi için gerekli yazılım kütüphanesini sağlamaktadır.
5. ArcGIS Desktop: ESRI tarafından geliştirilmiş olup ileri düzey coğrafi bilgi sistemi (CBS) işlemlerinin yapılmasına imkan tanıyan bir CBS yazılımıdır. Kullanıcılar bu platformda veri görselleştirme, yayınlama, analiz yapma, veri tabanı yönetimi ve coğrafi bilgilerin paylaşımı gibi pek çok işlemi bir arada gerçekleştirebilmektedir. Kullanıcıların farklı ihtiyaçlarını karşılayabilecek ölçeklendirilebilir bir yapıya sahiptir. Aynı mimariyi temel alan ArcView, ArcEditor ve ArcInfo gibi ürünler de mevcuttur. ArcGIS mimarisi, Şekil 3.14’te verilmiştir (Şen, 2019).



Şekil 3.14. ArcGIS mimarisi

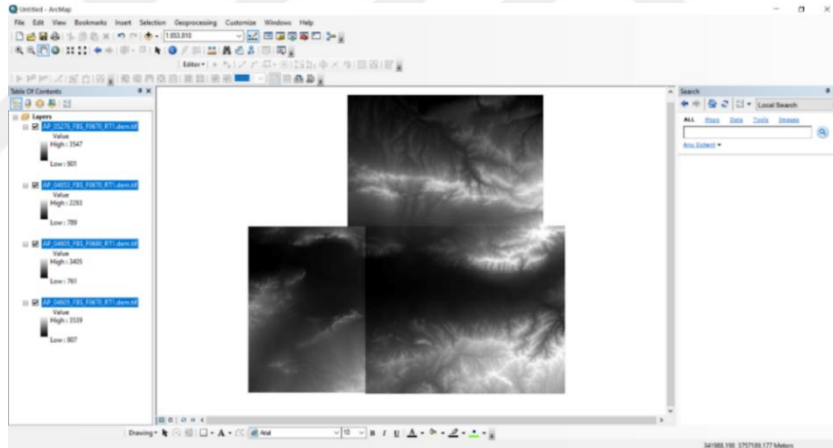
Bu çalışmada kullanılan ArcMap, grafik ve grafik olmayan verilerin görselleştirilmesi, güncellenmesi, sorgulanması, analiz edilmesi ve sonuçların raporlanması gibi işlemleri, kullanıcıya kartografik sunumlar sunarak gerçekleştiren, ArcGIS Desktop yazılımı içerisinde bulunan bir ara yüzdür (Şen, 2019).

3.3.2. ArcMAP 10.8 programında yapılan işlemler

Bu çalışmada, Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı (MEW) tarafından sağlanan halihazır haritalar temel veri olarak kullanılmıştır.

Pashdan Barajı'na ait yüksek çözünürlüklü (12,5 m) Sayısal Yükseklik Modeli (DEM), NASA Earthdata platformundan temin edilmiştir. Bu veriler ALOS PALSAR, (Gelişmiş Arazi Gözlem Uydusu-Faz Dizili L-Bant Sentetik Açıklıklı Radar) tarafından sağlanmıştır. Bu sistem Japonya Uzay Araştırma Ajansı (JAXA) tarafından geliştirilen, sentetik açıklıklı radar (SAR) teknolojisi kullanan bir uydu sistemidir. Özellikle sayısal yükseklik modeli (DEM) üretimi amacıyla kullanılan bu radar sistemi, proje sahasının topoğrafik özelliklerinin belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır (NASA Earthdata, 2025).

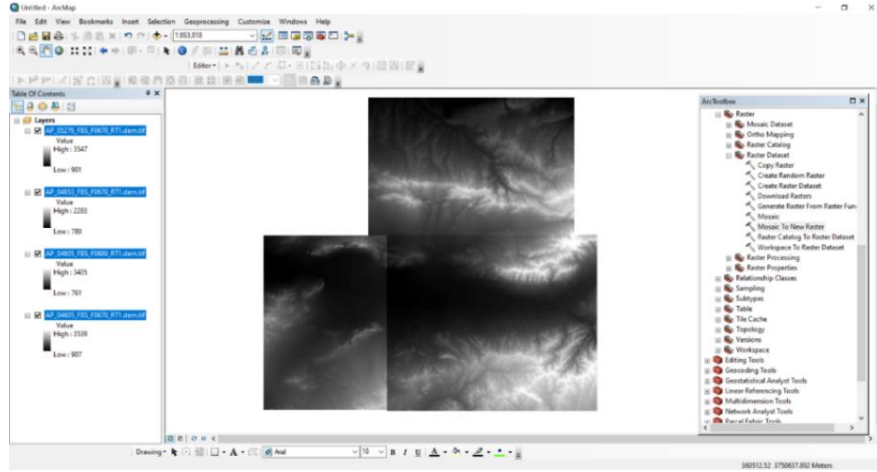
Çalışmada, bu sistemden uydu görüntüleri tif formatında temin edilerek, ArcGIS ortamına entegre edilmiştir. Çalışmanın doğruluğunu sağlamak amacıyla, halihazır haritalar ile ALOS PALSAR'dan elde edilen DEM verileri karşılaştırılmış ve uyumluluğu kontrol edip, veri setlerinin birbirleriyle çakıştığı ve araziye doğru şekilde yansıttığı tespit edilmiştir. Şekil 3.15'ta gösterildiği gibi, ArcGIS'te "Add Data" sekmesi kullanılarak sayısal yükseklik modelleri (DEM) programa yüklenmiştir.



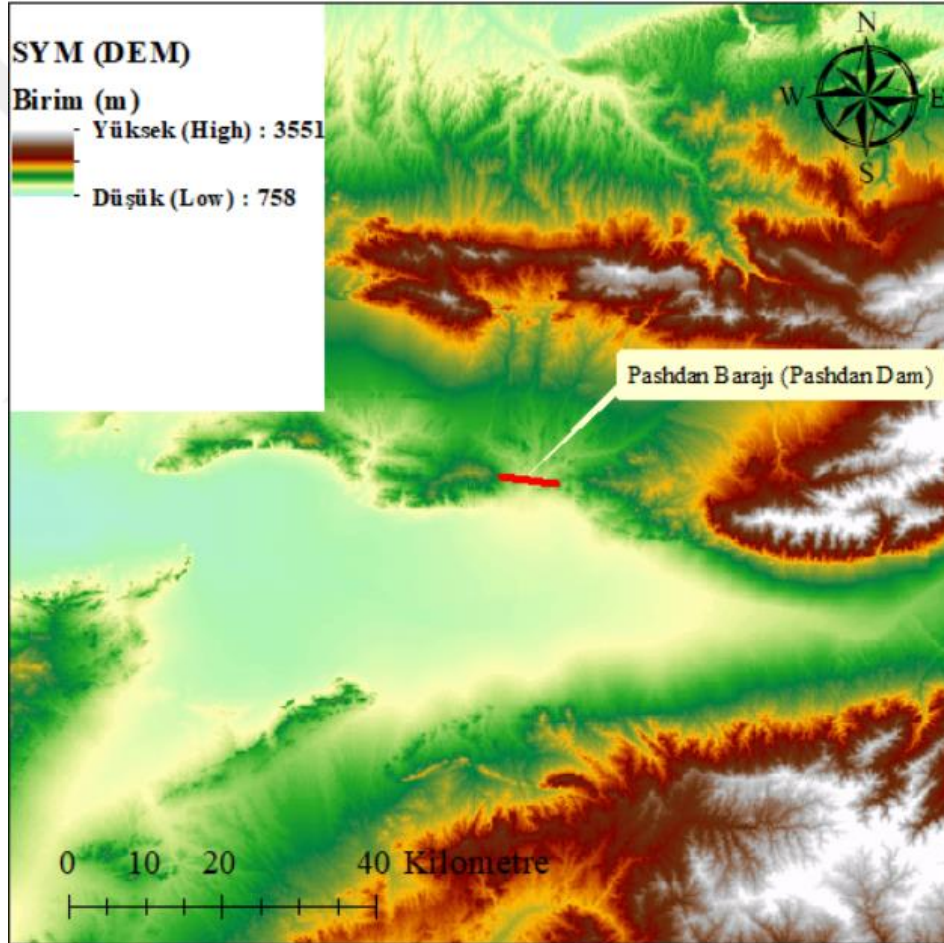
Şekil 3.15. ArcGIS programına yüklenmiş sayısal yükseklik modelleri (DEM)

Çalışma alanının geniş bir bölgeyi kapsamaması nedeniyle, birden fazla DEM (Sayısal Yükseklik Modeli) verisi kullanılmaktadır. Ancak analizlerin daha sağlıklı bir şekilde gerçekleştirilmesi için bu ayrı DEM veri setlerinin tek bir bütüncül yüzey haline getirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla, "Mosaic to New Raster" (Yeni Raster'a Mozaikleme) işlemi uygulanmış olup, süreç aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir.

Mosaic to New Raster: ArcToolbox → Data Management Tools → Raster → Raster Dataset → Mosaic To New Raster adımları izlenerek, Şekil 3.16'da ve uygulamaya hazır olan DEM verisi, Şekil 3.17'de verilmiştir.



Şekil 3.16. Birleşmiş raster verisi



Şekil 3.17. Uygulamaya hazır DEM verisi

3.3.3. HEC-RAS 6.6 programının tanıtımı

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System), The U.S. Army Corps of Engineers (USACE), (ABD Ordusu Mühendisler Birliği) tarafından

geliştirilen bir yazılımdır. Bu program, sürekli akışlara ait su yüzeyi profillerini hesaplamakla birlikte, süreksiz akışlar için de modelleme yapma yeteneğine sahiptir (Yıldız, 2021).

HEC-RAS programında hidrolik modelleme öncesinde, hidrolojik hesaplamaların yapılması gerekmektedir. Ayrıca, HEC-RAS yazılımı katı madde taşınımı ve su kalitesinin modellenmesine de olanak tanımaktadır (Ergen, 2019).

HEC-RAS programının kullanıcı arayüzü, projelere ait dosya verilerinin girilmesi, analiz öncesinde veri girişlerinin tamamlanması, hidrolik analizlerin yapılması, analiz sonuçlarına dayalı tablo çıktıların oluşturulması, sonuçların grafiksel olarak sunulması, çalışma sonuçlarının haritalanması ve su yayılım simülasyonlarının hazırlanması gibi çeşitli işlevleri kapsamaktadır. HEC-RAS programı, kararlı akım hesaplamalarında tek bir nehir veya daha karmaşık nehir sistemlerinde su yüzey profillerini kritik altı, kritik üstü ve karışık akım rejimlerine göre modelleyebilir. Hesaplamaların temelinde tek boyutlu enerji denklemi yer almaktadır. Manning denklemleriyle sürekli yük kayıpları ve kanala ait daralma/genişleme katsayıları ile yersel yük kayıpları hesaplayarak, enerji kayıpları bulunur. Ayrıca, su yüzeyi profillerinin ani değişim gösterdiği, karışık akım rejimi hesaplamaları, hidrolik sıçramalar, nehir birleşim noktaları ve köprü hidroliği hesaplamaları için Momentum denklemleri kullanılır. HEC-RAS programı, açık kanallarda sediment birikintisi boyutlarını değerlendirmenin yanı sıra, nehirlerdeki daralmaların incelenmesi, büyük taşkınların yol açtığı zararın tahmin edilmesi ve yapay kanallarda sedimentleşme oranlarının hesaplanmasında kullanılmaktadır (Yıldız, 2021).

HEC-RAS programı, kanal ve taşkın modellemelerinde Navier-Stokes denklemlerinin basitleştirilmiş bir hali olan Saint Venant denklemleri veya Difüzyon Dalga denklemlerini kullanmaktadır. Navier-Stokes denklemleri, Denklem 3.1 ve Denklem 3.2'de bulunan süreklilik ve momentum denklemlerinden oluşmaktadır (Ölmez, 2024).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{V} (\rho V) = 0 \quad (3.1)$$

$$\rho \frac{dV}{dt} = -\bar{V} p + \bar{V} \tau + \rho g \quad (3.2)$$

Bu denklemlerde, ρ yoğunluk, g yer çekimi ivmesi, t zaman, τ gerilme tensörü, p basınç ve V hız vektörü olarak tanımlanmaktadır. Bu denklemlerde düşey ivme ihmal

edilmesiyle birlikte denklemler sadeleştirilerek sıg akım denklemleri elde edilmektedir. Bu bağlamda Saint-Venant denklemlerine ait süreklilik ve momentum denklemleri Denklem 3.3 ve 3.4'te verilmiştir (Yıldız, 2021).

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3.3)$$

$$(kt) \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) + (kc) \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + (kp) g A \left(\frac{\partial h}{\partial x} \right) - (kf) g A (S_0 - S_f) = 0 \quad (3.4)$$

Denklem 3.4'te bulunan momentum denklemi, yersel ivme, konvektif (taşınal) ivme, basınç kuvveti ve sürtünme bileşenlerinden oluşmaktadır. Momentum denklemindeki bulunan tüm terimleri dikkate alınması ($kt=kc=kp=kf=1$) durumunda, bu denklem Full Saint-Venant (Full Momentum) Denklemi olarak adlandırılmaktadır. Full Momentum denkleminde yersel ivme ile konvektif ivmenin ihmal edilmesiyle ($kt=0$, $kc=0$, $kp=kf=1$) halinde elde edilen çözüm ise Ataletsiz Dalga olarak bilinmekte olup, bu formülasyon Difüzyon Dalga Denklemi olarak bilinmektedir. HEC-RAS programı, iki boyutlu (2D) analizlerde öncelik olarak Difüzyon Dalga Denklemini kullanırken, isteğe bağlı olarak Full Momentum Denklemi seçeneği de tercih edilebilir. Difüzyon Dalga Denklemi, Full Momentum denklemine kıyasla genellikle daha stabil (kararlı) çözümler sunmaktadır. Taşkın dalgası modellemelerinde her iki denklem seti de kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılmalı ve eğer belirgin bir fark gözlemlenirse, Full Momentum Denklemi daha doğru kabul edilerek, simülasyon bu denklem üzerinden sürdürülmelidir (Yıldız, 2021).

3.3.3.1. HEC-RAS'ta baraj yıkılma analizi için taşkın tahmin yöntemleri

HEC-RAS programının entegre Breach (Yıkılma) bölümünde, parametreleri tanımlı 5 farklı baraj yıkılma ve gediklenme tahmin yöntemi bulunmaktadır. Üstten aşma ve borulanma durumlarına bağlı olarak farklı yıkılma senaryolarının oluşturulabildiği bu arayüzde, gediklenme modelleri olarak MacDonald et al, Froehlich (1995), Froehlich (2008), Von Thun & Gillete ve Xu & Zhang yöntemleri tercih edilebilmektedir (Ölmez, 2024).

MacDonald et al, 1984 yılında yaptıkları çalışmada, 42 farklı barajın yıkılma durumunu inceleyerek, barajların yıkılma parametreleri arasındaki ilişkiyi ortaya koyacak formüller elde etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarında, barajın yıkılma süresince

(t_f , saat) rezervuarından boşalacak suyun hacmi (V_w , metreküp), yıkılma sonrasında baraj gövdesinden ayrılacak malzemenin hacmi (V_m , metreküp) ve yıkılmadan önce rezervuardaki su yüksekliği ile baraj tabanı arasındaki yükseklik farkı (h_w , metre) gibi temel parametreler arasındaki ilişkileri analiz etmişlerdir. Araştırmalarına dayanarak, toprak dolgu barajlardan ayrılacak dolgu miktarını hesaplamak için Eşitlik 3.5'in kullanılmasını, kil çekirdekli toprak dolgu ve kaya dolgular için ise ayrılacak malzeme miktarının ise Eşitlik 3.6 ile hesaplanmasını önermişlerdir. Ayrıca barajın yıkılma süresinin belirlenmesi için Eşitlik 3.7, maksimum debinin (Q_{pik} , metreküp) hesaplanması için ise Eşitlik 3.8 kullanılmalıdır şeklinde bir yaklaşım sunmuşlardır (Ölmez, 2024).

$$V_m = 0,0261 (V_w * h_w)^{0,769} \quad (3.5)$$

$$V_m = 0,00348 (V_w * h_w)^{0,852} \quad (3.6)$$

$$t_f = 0,0179 (V_m)^{0,364} \quad (3.7)$$

$$Q_{pik} = 1,154 (V_w * h_w)^{0,412} \quad (3.8)$$

Gedik genişliği, gedigi oluşturan su hacmi ve barajın enkesitine bağlı olarak belirlenmektedir. Eşitlik 3.9'da, gedik tabanının nihai genişliği (m) W_b , gövde dolgusundan ayrılan dolgu hacmi (metreküp) V_m , gedik tabanından kret yüksekliğine kadar olan mesafe (m) h_b , kret genişliği (m) C , gedik kenar eğimleri Z_b ve barajın memba ile mansap eğimleri toplamı Z_3 olarak ifade edilmiştir (Ölmez, 2024).

$$W_b = \frac{v_m - h_b^2 (C * Z_b + \frac{h_b * Z_b * Z_3}{3})}{h_b (C + \frac{h_b * Z_3}{2})} \quad (3.9)$$

Von Thun & Gillette, 57 baraj yıkılma olayını inceleyerek, ortalama baraj yıkılma genişliğini ($\bar{B}$, metre), rezervuardaki su yüksekliği (h_w , metre) ve rezervuar hacmine bağlı olarak (C_b , metre) katsayısının toplamı ile hesaplanabileceğini öne sürmüş ve Denklem 3.10'u geliştirmiştir. Denklemdaki Cb değeri ise Çizelge 3.5'te verilmiştir. Yan eğimler için genellikle 1 yatay ve 1 düşey eğim kullanılabileceği, ancak kohezyon çekirdekli barajlarda 1 yatay ve 1 düşey yada 1 yatay ve 3 düşey eğimlerin daha uygun olacağı belirtilmiştir. Ayrıca, baraj yıkılma süresi için malzeme türüne bağlı olarak, Denklem 3.11 ve 3.12 gibi iki farklı denklem önermiştir (Yıldız, 2021).

$$\bar{B} = 2,5 * h_w + C_b \quad (3.10)$$

$$\text{Yüksek aşınmaya sahip malzeme} \begin{cases} t_f = 0,015 * h_w \\ t_f = \bar{B}/(4 * h_w + 61) \end{cases} \quad (3.11)$$

$$\text{Aşınmaya dirençli malzeme} \begin{cases} t_f = 0,015 * h_w + 0,25 \\ t_f = \bar{B}/(4 * h_w) \end{cases} \quad (3.12)$$

Çizelge 3.5. Rezervuar büyüklüğüne göre C_b katsayısı

Rezervuar büyüklüğü (depolama hacmi) (m^3)	C_b (m)
$< 1,23*10^6$	6,1
$1,23*10^6 \sim 6,17*10^6$	18,3
$6,17*10^6 \sim 1,23*10^7$	42,7
$> 1,23*10^7$	54,9

Froehlich, 1987 yılındaki analizlerine ek olarak 63 yeni baraj yıkılma olayını incelemiş ve bu çalışmasını geliştirerek, 1995 yılında yayınladığı çalışmasında, Eşitlik 3.13 ve 3.14'te görülebileceği gibi revize etmiştir (Ölmez, 2024).

$$B_{ort} = 0,1803 * K_0 * V_w^{0,32} * h_w^{0,19} \quad (3.13)$$

$$t_f = 0,00254 * V_w^{0,53} * h_w^{-0,9} \quad (3.14)$$

Üstten aşma sonucu yıkılma durumu için $K_0 = 1,4$ değeri kabul edilir ve depolama hacmi V_w , gedik son yüksekliği h_w ile tanımlanır. Froehlich, 2008 yılında yayınladığı çalışmasında, 74 farklı toprak dolgu baraj yıkılmasından elde ettiği verilerle, yıkılma sonunda oluşacak nihai yarık genişliğini ve trapez şeklindeki yarığın kenar eğimlerini, oluşum süresine göre hesaplayabilen bir model geliştirmiştir. Eşitlik 3.15 ve 3.16'da, ortalama gedik genişliği ve gedik oluşum süresi ile ilgili formüller bulunmuştur (Ölmez, 2024).

$$B_{ort} = 0,27 * K_0 * V_w^{0,32} * h_w^{0,04} \quad (3.15)$$

$$t_f = 63,2 \sqrt{\frac{V_w}{g * h_w^2}} \quad (3.16)$$

Üstten aşma sonucu meydana gelen yıkılma durumu için $K_0 = 1,3$ değeri kullanılır ve depolama hacmi V_w , gedik son yüksekliği h_w ile belirtilir. Xu ve Zhang'ın 2009 yılında gerçekleştirdiği çalışmada, 182 farklı barajın yıkılma karakteristikleri incelenmiş ve baraj gediklenme parametrelerini belirlemeye yönelik ampirik formüller geliştirilmiştir. Bu çalışmada, baraj gedigi geometrik parametreleri, gedik derinliği, gedik üst genişliği, ortalama gedik genişliği, gedik alt genişliği ve gedik tarafı eğim faktörü olarak tanımlanmıştır. Gedik hidrografik parametreler ise pik çıkış ve hız süresi olarak ele alınmıştır. Eşitlik 3.17'de belirtilen, Xu ve Zhang yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliklerden biri, yıkılma süresinin daha uzun olmasıdır. Bu yöntemde de baraj gediginin genişliği, su yüksekliği ve rezervuar hacmi gibi parametrelere bağlı olarak hesaplanmıştır (Ölmez, 2024).

$$\frac{B_{ort}}{h_b} = 0,787 \left(\frac{h_d}{h_r} \right)^{0,133} \left(\frac{\frac{1}{V_w^3}}{h_w} \right)^{0,642} e^{B_3} \quad (3.17)$$

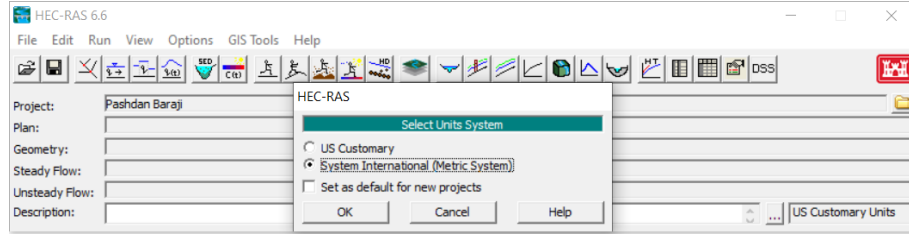
Eşitlikte kullanılan değişkenler; ortalama gedik genişliği(m) B_{ort} , yıkılma anındaki gedik yüksekliği (m) h_b , baraj yüksekliği(m) h_d , sabit olarak alınan $h_r = 15$ m, yıkılma anındaki depolama hacmi (m^3) V_w , yıkılma anındaki yükseklik (m) h_w ve barajın özelliklerine bağlı değişen bir katsayı olan B_3 şeklinde tanımlanmaktadır (Ergen, 2019).

3.4. İki Boyutlu Taşkın Modelleme

3.4.1. HEC-RAS programında yapılan işlemler

HEC-RAS 6.6 programının açılış penceresinde öncelikle yeni bir proje oluşturularak, daha sonra ArcGIS ortamında üretilen nihai DEM verisinin doğru konumu temsil etmesi ve çalışabilmesi için birim sisteminin HEC-RAS'ta tanımlanması gerekmektedir. Bu çalışmada, ArcGIS ortamında metrik sistem, System International (Metric System) kullanılmıştır.

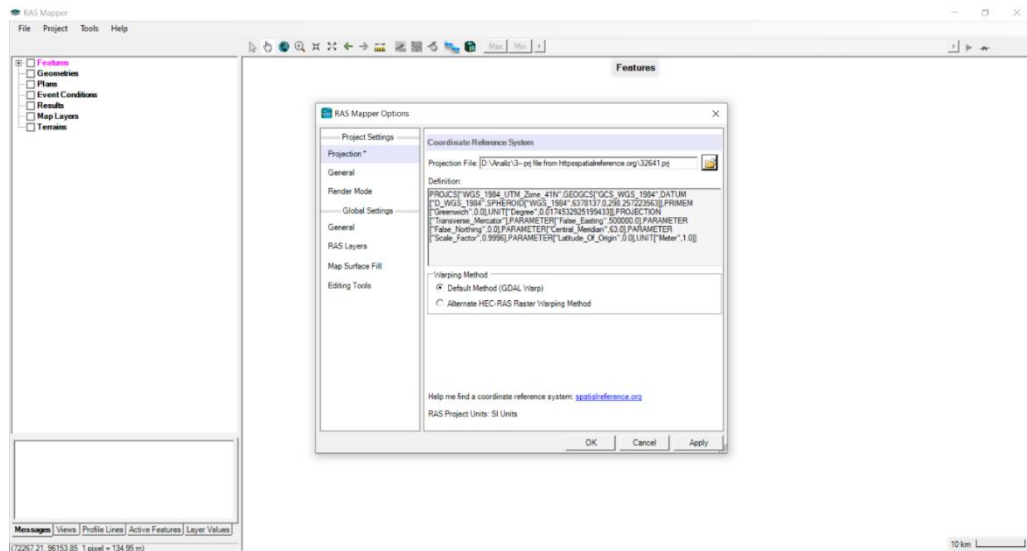
HEC-RAS'ta metrik sistemin tanımlanması için "Options → Unit system (US Customary/SI) → System International (Metric System)" adımları izlenmiştir. Şekil 3.18'de metrik sistemin seçim ekranı verilmiştir.



Şekil 3.18. Metrik sistem seçimi

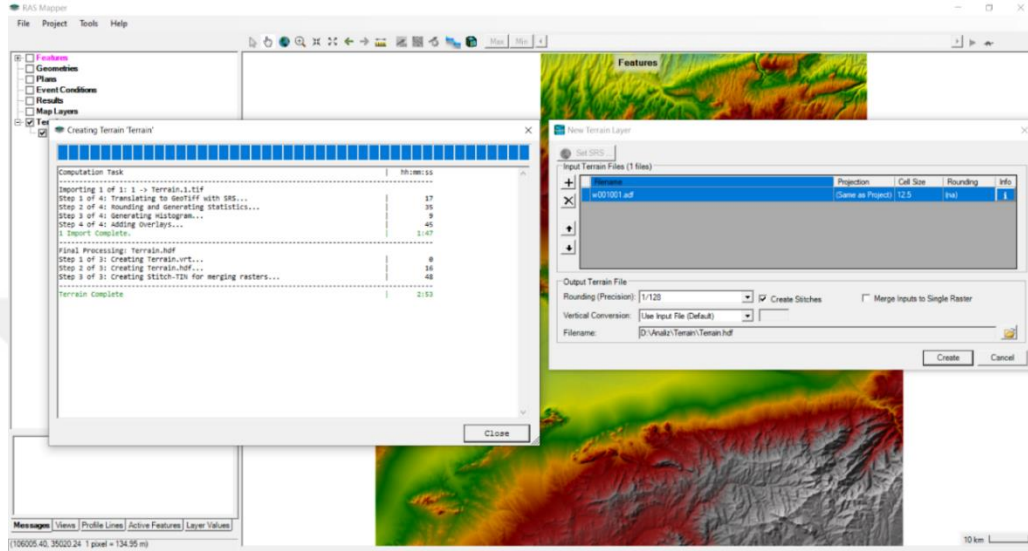
ArcGIS programı ile Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) oluşturulurken, proje sahasının coğrafi koordinat sisteminin doğru tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Çalışma alanımız Afganistan’da yer aldığından ve proje sahası WGS 84/UTM Zone 41N koordinat sisteminde bulunduğundan, prj formatında indirilen verilerin uygun projeksiyon sistemine sahip olması gerekmektedir. WGS 84 (Dünya Jeodezik Sistemi 1984); dünya genelinde en yaygın kullanılan jeodezik referans sistemi olup, UTM (Evrensel Enine Merkatörü Koordinat Sistemi), Zone 41N ise çalışma alanımızın yer aldığı enlem bölgesini belirtmektedir. Bu sistem, dünya yüzeyini belirli enlem ve boylam dilimlerine ayırarak konum belirleme doğruluğunu geliştirilmektedir.

HEC-RAS programında kullanılacak DEM verisinin çalışma alanını doğru şekilde temsil edebilmesi için projeksiyon sisteminin tanımlanması gerekmektedir. Bu işlem, GIS Tools → RAS Mapper → Project → Set Projection adımları takip edilerek gerçekleştirilmiş olup, Şekil 3.19’da verilmiştir.

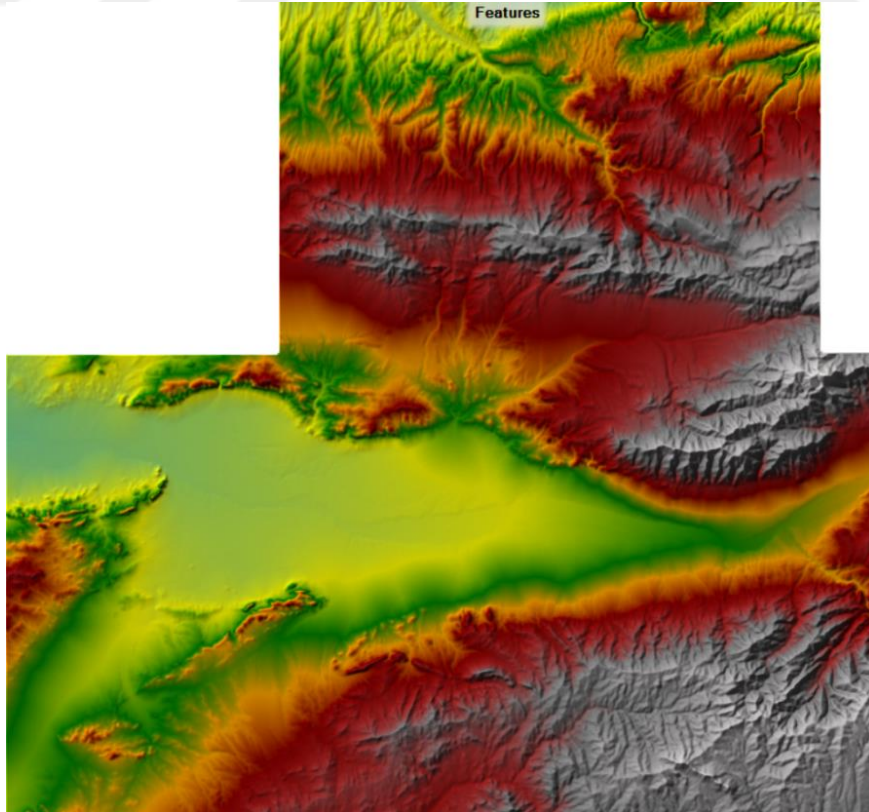


Şekil 3.19. HEC-RAS’ta kullanılan projeksiyon sisteminin tanımlanması

HEC-RAS'ta birim sistemin ve projeksiyon sisteminin tanımlanmasından sonra nihai sayısal yükseklik modelimizi (DEM) verisini programa yüklenmiştir. Ras Mapper penceresinde, Project → Create New Ras Terrain → + → Create adımları ile Şekil 3.20'de gösterildiği gibi programa yüklenmiştir. HEC-RAS ortamında DEM verisi, Şekil 3.21'de verilmiştir.

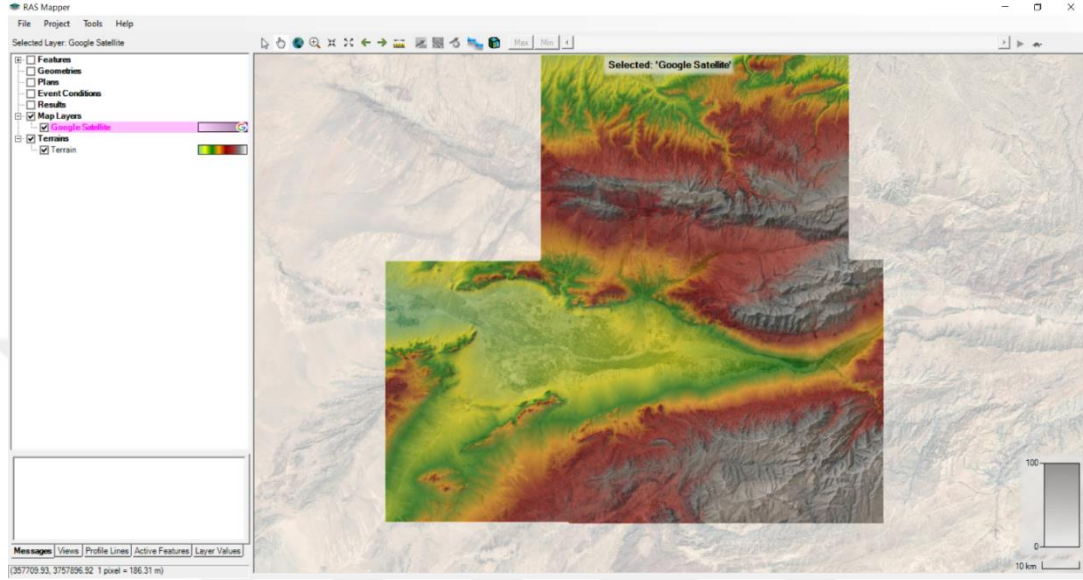


Şekil 3.20. HEC-RAS'a yüklenen DEM verisi



Şekil 3.21. HEC-RAS ortamında DEM verisi

Ras Mapper penceresinde, Map Layers → Add Web Imagery → Google Satellite yolu izlenerek, DEM verisi ile çalışma alanının uydu görüntüsü üst üste çakıştırılmıştır. Bu işlem sonucunda, Pashdan Barajı ve mansap bölgesinde bulunan yerleşim yerinin doğru bir şekilde temsil edildiği, Şekil 3.22’de gösterilmiştir.

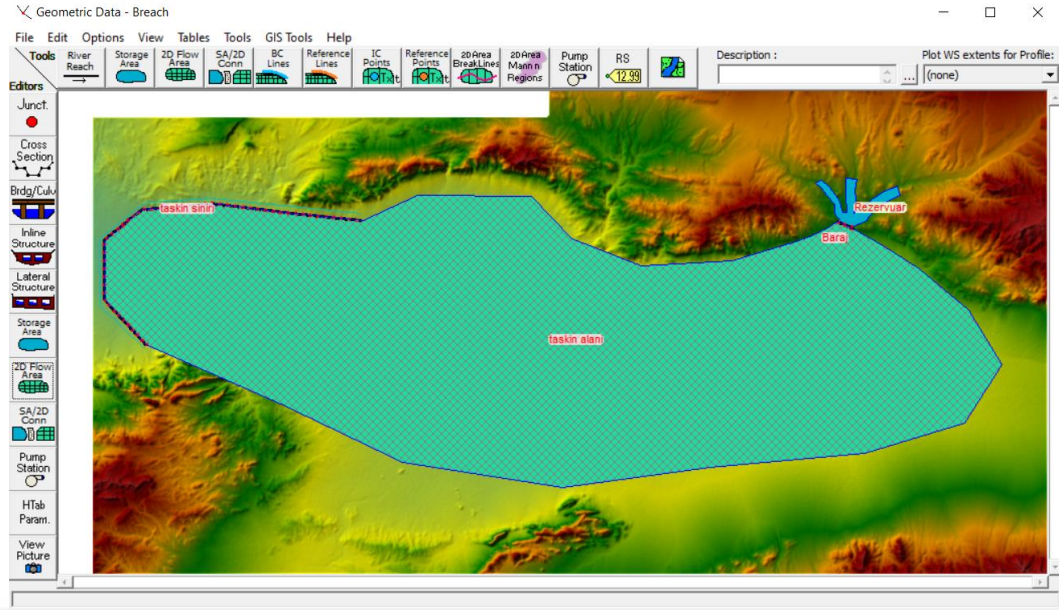


Şekil 3.22. DEM verisi ile çalışma alanının çakıştırılmış görüntüsü

Daha sonra, Ras Mapper penceresinde bulunan, Geometries → Create New Geometry → Breach olarak oluşturulmuştur. Breach sekmesinde → 2D Flow Areas → Perimeters komutu yardımıyla ile baraj yıkılması durumunda taşkınının ulaşabileceği tahmini alanların sınırları, saat yönünün tersi doğrultusunda çizilerek belirlenmiştir. Ardından, Breach sekmesindeki 2D Flow Areas → Storage Areas ile barajın depolama alanı (rezervuarı) taşkınının çıkamayacağı yükseklik takip edilerek çizilmiştir. Tüm bu işlemler tamamlandıktan sonra, File menüsünden Save düğmesine tıklanarak yapılan düzenlemeler kaydedilmiş ve Ras Mapper’den çıkılmıştır.

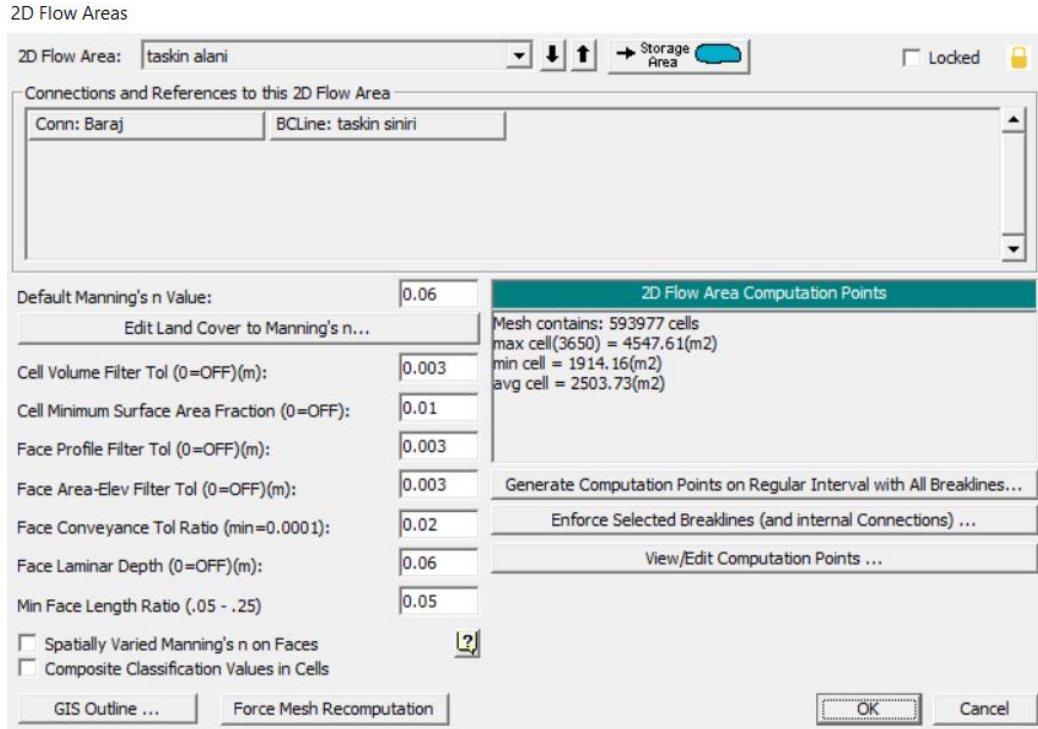
3.4.1.1. View/Edit geometric data bölümü

HEC-RAS ana menüsünde yer alan, View/Edit Geometric Data → SA/2D Conn seçeneği kullanılarak, depolama alanı (rezervuar) ile taşkın alanı arasındaki baraj gövdesi çizilmiştir. Ardından, BC Lines (Boundary Condition Location) komutu ile taşkınının sınır koşulu çizilmiş, Şekil 3.23’te gösterilmiştir.



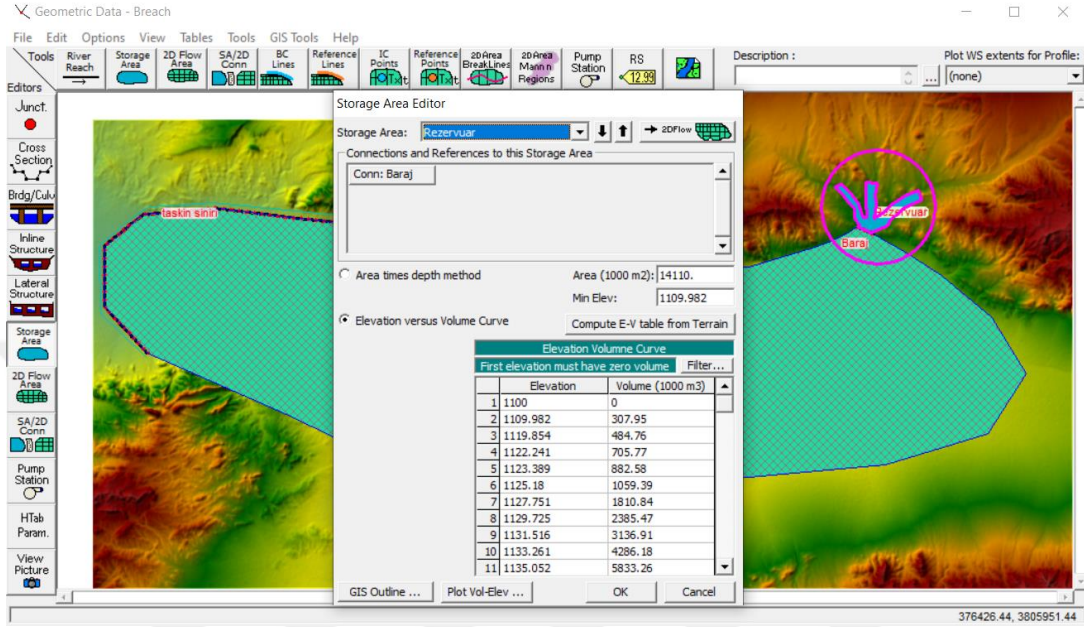
Şekil 3.23. Taşkın sınırı ve baraj rezervuarı çizimlerinin görüntüsü

Aynı pencerede, komut sütununda yer alan 2D Flow Area komutu kullanılarak, taşkın alanı (50 m × 50 m) çözünürlüğe sahip eşit boyutlu hücrelere (mesh) bölünmüş ve böylece daha hassas bir analiz elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu işlem sonucunda toplam 593.977 adet hücre oluşturulduğu, Şekil 3.24'te gösterilmiştir.

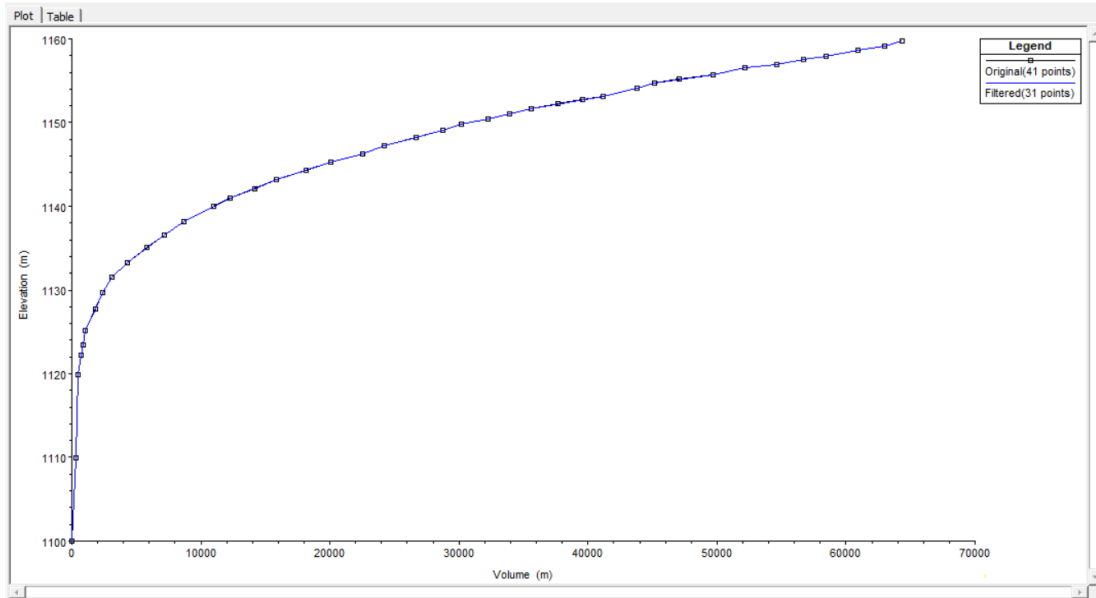


Şekil 3.24. Taşkın alanı 593.977 adet sayısal ağılara bölünmüş görüntüsü

Storage Area, düzenleme komutu kullanılarak, Pashdan Barajı rezervuarına ait hacim-satıh eğrisi değerleri (önceki bölümlerde verilen, Şekil 3.12’de gösterilen hacim-satıh eğrisi) ve Şekil 3.25’te gösterildiği gibi sisteme girilmiştir. HEC-RAS ortamında elde edilen Pashdan Barajı hacim-satıh eğrisi, Şekil 3.26’da verilmiştir.



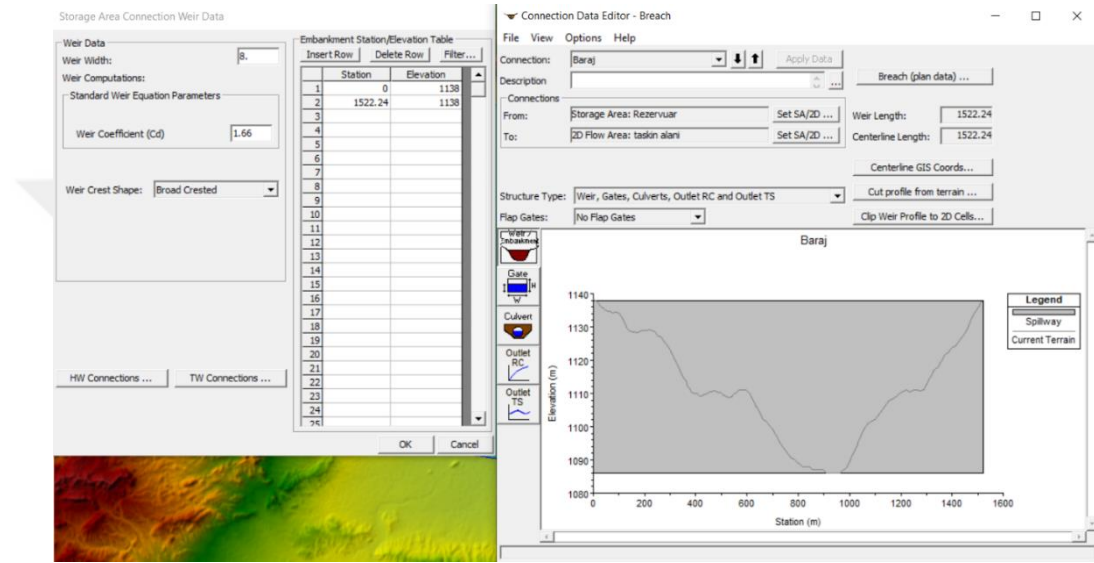
Şekil 3.25. Sisteme yüklenmiş hacim-satıh değerleri



Şekil 3.26. Pashdan Barajı hacim-satıh eğrisi

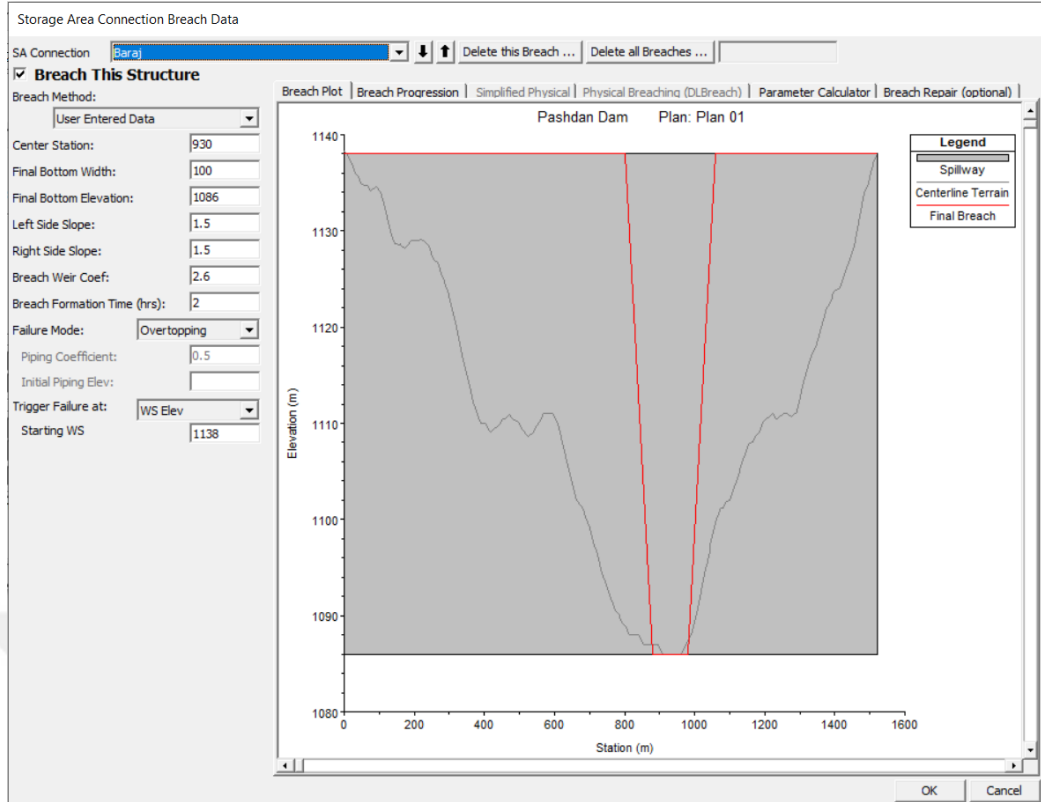
3.4.1.2. Gedik parametreleri

SA/2D Connection butonu seçilerek, taşkın yayılım alanı ile baraj göl alanı arasındaki bağlantı noktası olarak baraj gövdesi belirlenmiştir. Baraj gövdesinin tanımlanması için SA/2D Conn → Connection Data Editor penceresi açılır ve ardından Weir/Embankment → Storage Area Connection Weir Data adımları kullanılarak gövdenin yükseklik ve genişlik bilgileri, Şekil 3.27’de gösterildiği şekilde sisteme girilmiştir.



Şekil 3.27. Gedik parametreleri olarak gövde yüksekliği ve genişliğinin sisteme yüklenmiş görüntüsü

Daha sonra Connection Data Editor penceresinde → Breach (plan data) seçerek “Storage Area Connection Breach Data” penceresi açılır ve bu pencerede ilk olarak “Breach This Structure” kutucuğu mutlaka işaretlenmelidir. Burada gövdeye ait veriler girildikten sonra yıkılma planı ayarları için barajın yıkılma senaryosuna ait parametreler, Şekil 3.28’de gösterildiği gibi sisteme girilmiştir.



Şekil 3.28. Sisteme yüklenmiş barajın yıkılma senaryosuna ait parametreler

Ardından, aynı pencerede “Parameter Calculator” sekmesi seçilerek “Storage Area Connection Breach Data” bölümü açılmış ve burada yıkılma modu olarak Overtopping (aşma, üzerinden aşma) seçilmiştir. Bu aşamada, son gedik genişliği, son gedik yüksekliği, sağ ile sol gedik şev eğimleri, yıkılma süresi, barajın maksimum su seviyesi, bu seviyede bulunan su hacmi, gövdenin memba ve mansap şev değerleri, gövde dolgu ve baraj tipi bilgileri sisteme girilmiştir. Analiz sürecinde, programa entegre edilen ve literatürde yer alan 5 farklı gediklenme modeline göre yıkılma senaryoları oluşturulmuştur.

Bu analizde, MacDonald et al, Froehlich (1995), Froehlich (2008), Von Thun & Gillete ve Xu & Zhang çalışmalarına ait veriler kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, 5 farklı yöntem kullanılarak analiz gerçekleştirilmiş, elde edilen bulgular 4. Bölümde (araştırma sonuçları ve tartışma) sunulacaktır. Her bir yıkılma denklemine ait veri girişleri ve gedik şekilleri, Şekil 3.29 ile Şekil 3.38 arasında verilmiştir.

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: Baraj

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 930

Final Bottom Width: 37

Final Bottom Elevation: 1086

Left Side Slope: 0.5

Right Side Slope: 0.5

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 1.94

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1138

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1146

Breach Bottom Elevation (m): 1086

Pool Elevation at Failure (m): 1138

Pool Volume at Failure (1000 m³): 54220

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 8

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 2

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 1.5

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Dam with corewall

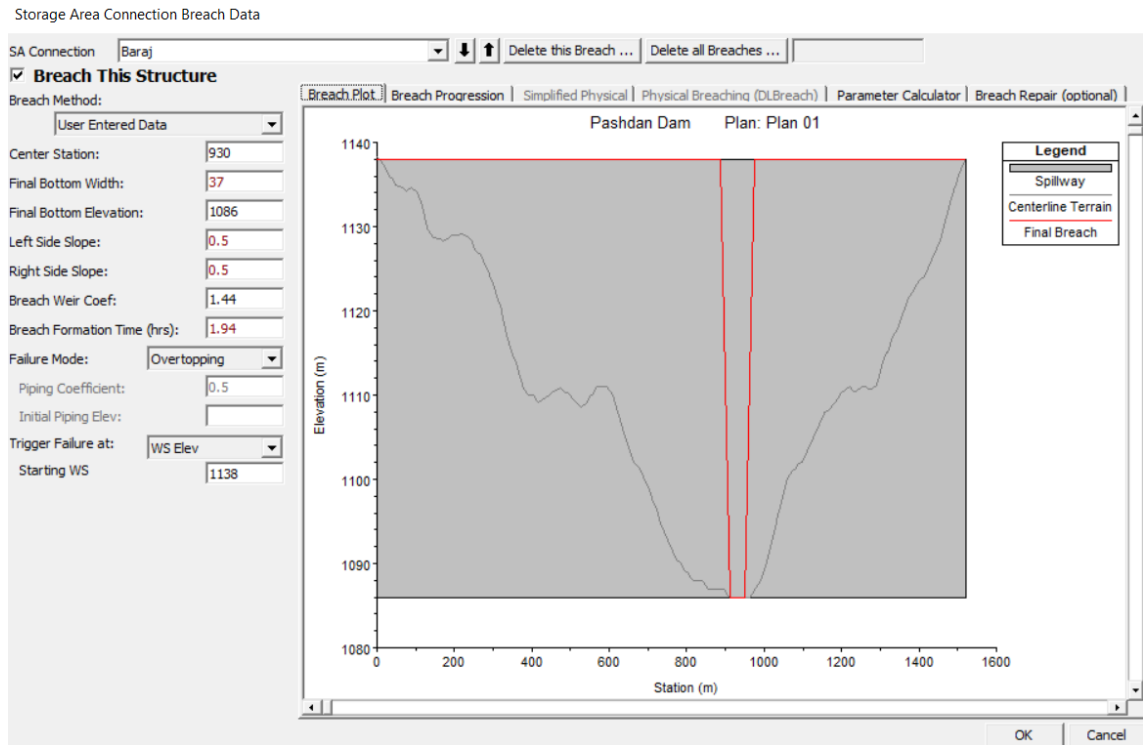
Dam Erodibility: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	37	0.5	1.94	Select
Froehlich (1995)	80	1.4	0.80	Select
Froehlich (2008)	63	1	0.69	Select
Von Thun & Gillete	155	0.5	1.29	Select
Xu & Zhang	134	1.11	2.13 *	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 3.29. MacDonald et al yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri



Şekil 3.30. MacDonald et al denklem setine göre gedik şekli

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: Baraj

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 930

Final Bottom Width: 80

Final Bottom Elevation: 1086

Left Side Slope: 1.4

Right Side Slope: 1.4

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 0.80

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1138

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1146

Breach Bottom Elevation (m): 1086

Pool Elevation at Failure (m): 1138

Pool Volume at Failure (1000 m3): 54220

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 8

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 2

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 1.5

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Dam with corewall

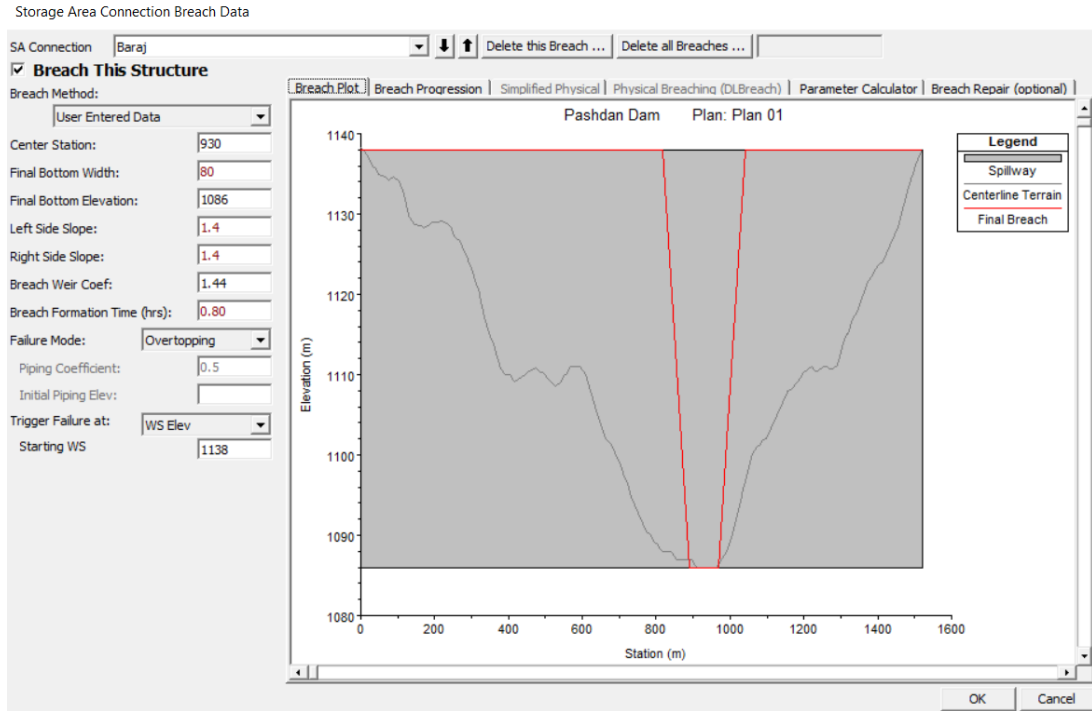
Dam Erodibility: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	37	0.5	1.94	Select
Froehlich (1995)	80	1.4	0.80	Select
Froehlich (2008)	63	1	0.69	Select
Von Thun & Gillete	155	0.5	1.29	Select
Xu & Zhang	134	1.11	2.13 *	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 3.31. Froehlich (1995) yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri



Şekil 3.32. Froehlich (1995) denklem setine göre gedik şekli

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: Baraj

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 930

Final Bottom Width: 63

Final Bottom Elevation: 1086

Left Side Slope: 1

Right Side Slope: 1

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 0.69

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1138

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1146

Breach Bottom Elevation (m): 1086

Pool Elevation at Failure (m): 1138

Pool Volume at Failure (1000 m3): 54220

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 8

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 2

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 1.5

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Dam with corewall

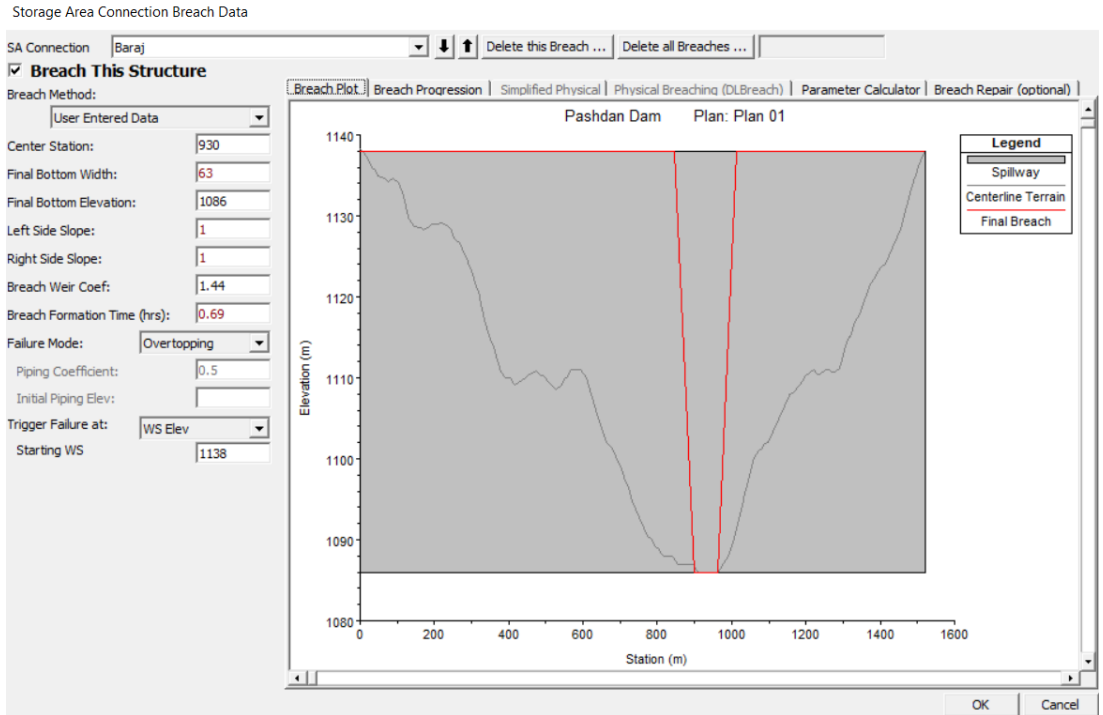
Dam Erodibility: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	37	0.5	1.94	Select
Froehlich (1995)	80	1.4	0.80	Select
Froehlich (2008)	63	1	0.69	Select
Von Thun & Gillette	155	0.5	1.29	Select
Xu & Zhang	134	1.11	2.13 *	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 3.33. Froehlich (2008) yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri



Şekil 3.34. Froehlich (2008) denklem setine göre gedik şekli

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: Baraj

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 930

Final Bottom Width: 155

Final Bottom Elevation: 1086

Left Side Slope: 0.5

Right Side Slope: 0.5

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 1.29

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1138

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1146

Breach Bottom Elevation (m): 1086

Pool Elevation at Failure (m): 1138

Pool Volume at Failure (1000 m3): 54220

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 8

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 2

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 1.5

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Dam with corewall

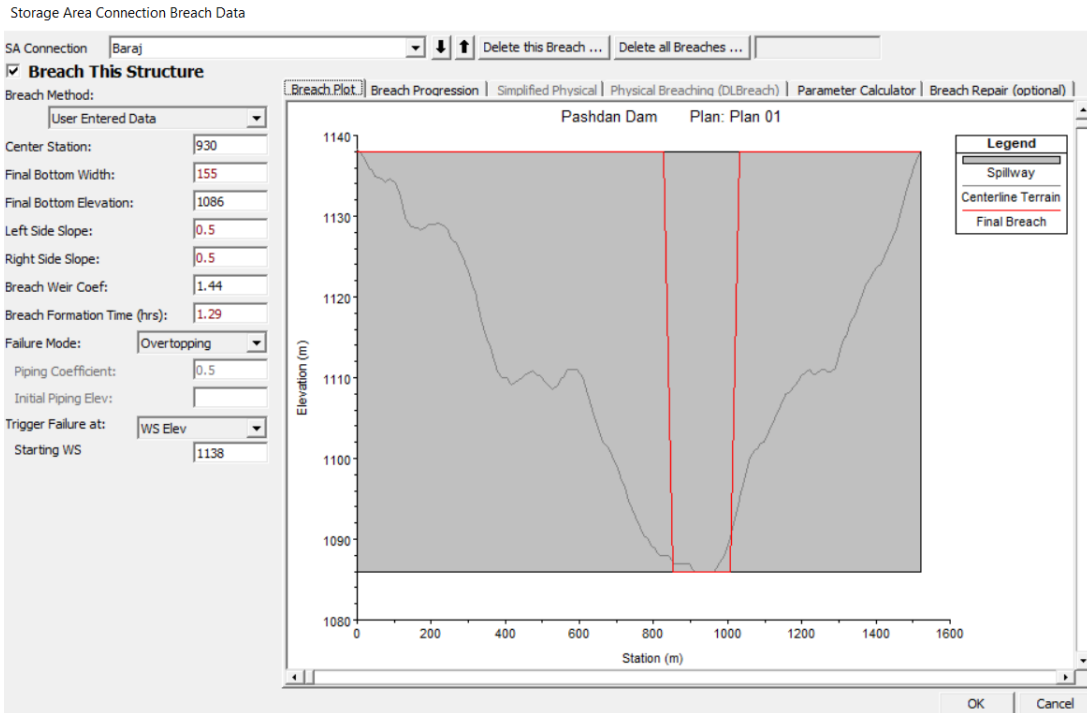
Dam Erodibility: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	37	0.5	1.94	Select
Froehlich (1995)	80	1.4	0.80	Select
Froehlich (2008)	63	1	0.69	Select
Von Thun & Gillete	155	0.5	1.29	Select
Xu & Zhang	134	1.11	2.13 *	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 3.35. Von Thun & Gillete yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri



Şekil 3.36. Von Thun & Gillete denklem setine göre gedik şekli

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: Baraj

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 930

Final Bottom Width: 134

Final Bottom Elevation: 1086

Left Side Slope: 1.11

Right Side Slope: 1.11

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 2.13

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1138

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1146

Breach Bottom Elevation (m): 1086

Pool Elevation at Failure (m): 1138

Pool Volume at Failure (1000 m³): 54220

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 8

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 2

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 1.5

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Dam with corewall

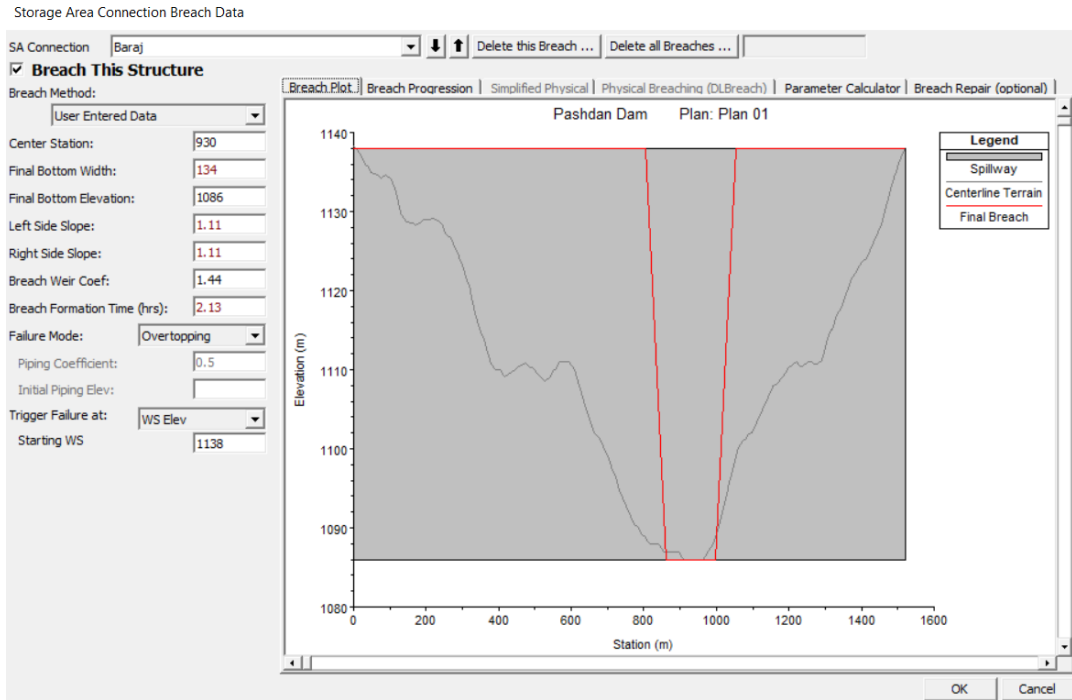
Dam Erodibility: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	37	0.5	1.94	Select
Froehlich (1995)	80	1.4	0.80	Select
Froehlich (2008)	63	1	0.69	Select
Von Thun & Gillete	155	0.5	1.29	Select
Xu & Zhang	134	1.11	2.13 *	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 3.37. Xu & Zhang yönteminde gedik ve yıkılma parametreleri

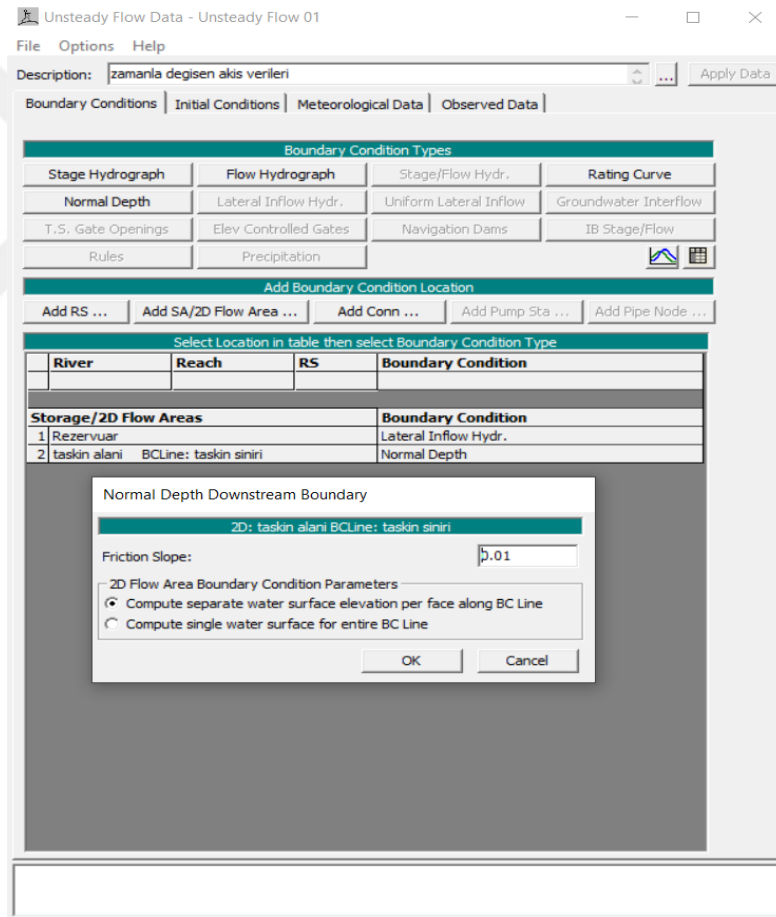


Şekil 3.38. Xu & Zhang denklem setine göre gedik şekli

Yukarıda verilen denklem setleri kullanılarak, Pashdan Barajı'nın gediklenme modellerine dayalı olarak yıkılma parametreleri; oluşan pik debiler ve pik debilerinin oluşma süreleri elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, 4. Bölümde (araştırma sonuçları ve tartışma) sunulacaktır.

3.4.1.3. Zamanla değişen akış verileri

HEC-RAS ana menüsünde View/Edit Unsteady Flow Data sekmesi kullanılarak Unsteady Flow Data penceresi açılmış ve Add SA/2D Flow Area komutu ile baraj rezervuarı sisteme eklenmiştir. Ardından, taşkın alanı akım koşullarının tanımlanması amacıyla, Şekil 3.39'da gösterildiği şekilde, normal derinlik eğimi 0,01 olarak seçilmiştir. Ayrıca, önceki bölümlerde ele alınan ve Şekil 3.13'te sunulan, Pashdan Barajı'nın tasarım taşkın hidrografi dikkate alınarak, tasarım giriş debi verileri referans alınmış, Lateral Inflow Hydrograph sekmesine, Şekil 3.40'ta gösterildiği gibi giriş yapılmıştır. HEC-RAS'ta elde edilen tarih/zaman-giriş akış debiye bağlı taşkın hidrografi, Şekil 3.41'de verilmiştir.



Şekil 3.39. Taşkın alanındaki akım koşulu için normal derinlik eğimi seçimi

Lateral Inflow Hydrograph

SA: Rezervuar

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: 17FEB2025 Time: 24:00

☒ Fixed Start Time: Date: 17FEB2025 Time: 24:00

No. Ordinates Interpolate Missing Values Del Row Ins Row

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Lateral Inflow (m ³ /s)
1	17Feb2025 2400	0:00:00	0
2	18Feb2025 0100	1:00:00	2
3	18Feb2025 0200	2:00:00	3
4	18Feb2025 0300	3:00:00	5
5	18Feb2025 0400	4:00:00	7
6	18Feb2025 0500	5:00:00	65
7	18Feb2025 0600	6:00:00	77
8	18Feb2025 0700	7:00:00	155
9	18Feb2025 0800	8:00:00	466
10	18Feb2025 0900	9:00:00	698
11	18Feb2025 1000	10:00:00	930
12	18Feb2025 1100	11:00:00	1181
13	18Feb2025 1200	12:00:00	1523
14	18Feb2025 1300	13:00:00	1814
15	18Feb2025 1400	14:00:00	2346

Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

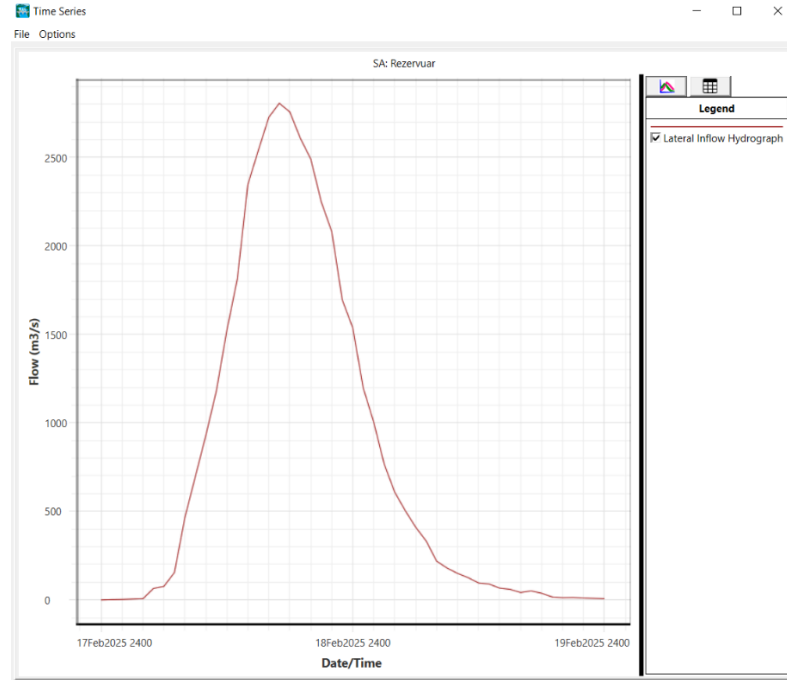
☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: Multiplier:

Plot Data OK Cancel

Şekil 3.40. Sisteme yüklenen giriş akış debi verileri



Şekil 3.41. Tarih/zaman-giriş debiye bağlı taşkın hidrografi

3.4.1.4. Zamanla değişen akış analizi

HEC-RAS programı ile yapılan taşkın senaryosu simülasyonu için, gerekli akım verileri ve taşkın senaryosuna ait parametreler girilmiştir. Ana menüde yer alan “Unsteady Flow Analysis-Perform an Unsteady Flow Simulation” aracılığıyla, önce simülasyonun hangi geometri dosyası ve kararsız akış veri seti üzerinden gerçekleştirileceği seçilmiştir. Bu aşamadan sonra, simülasyonun başlangıç ve bitiş saatleri, hesaplama aralıkları, haritalama süresi, hidrograf çıktı aralığı, ve detaylı çıktı aralığı belirlenmiştir. Simülasyon 17 şubat 2025 saat 24:00’te başlayacak, 19 şubat 2025 saat 24:00’te bitecek şekilde ve simülasyon süresi 48 saat olarak seçilmiştir. Hesaplama aralığı 5 saniye, haritalama çıktı aralığı 1 saat, hidrograf çıktı aralığı 1 saat ve detaylı çıktı aralığı 1 saat olarak, Şekil 3.42’de gösterilmiştir.

Unsteady Flow Analysis

File Options Help

Plan: Plan 01 Short ID: 009

Geometry File: Breach

Unsteady Flow File: Unsteady Flow 01

Programs to Run

- ☒ Geometry Preprocessor
- ☒ Unsteady Flow Simulation
- ☐ Sediment
- ☒ Post Processor
- ☒ Floodplain Mapping

Plan Description

Simulation Time Window

Starting Date: 17FEB2025 Starting Time: 24:00

Ending Date: 19FEB2025 Ending Time: 24:00

Computation Settings

Computation Interval: 5 Second ... Hydrograph Output Interval: 1 Hour

Mapping Output Interval: 1 Hour Detailed Output Interval: 1 Hour

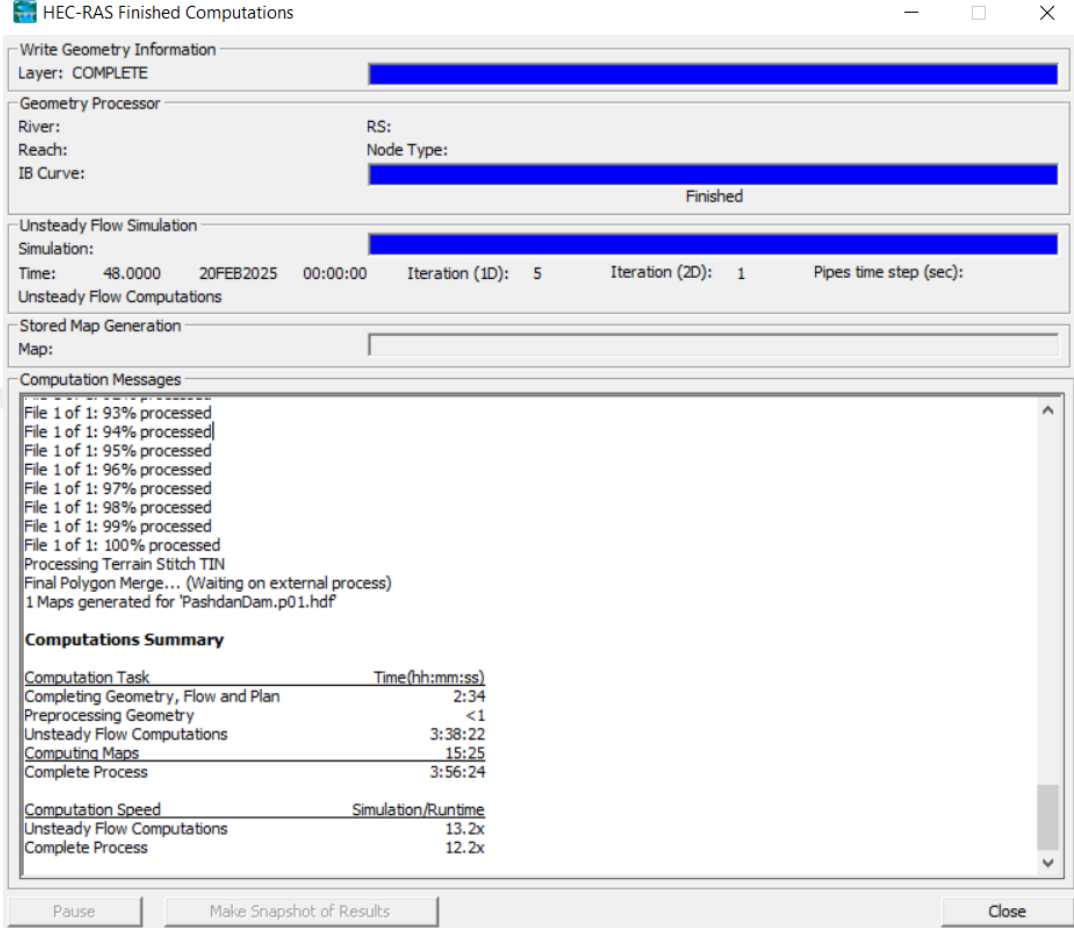
Project DSS Filename: D:\Anaylsis Dam Break\PashdanDam.dss

1 Storage Area Connection with breach data. 1 set to breach.

Compute

Şekil 3.42. Kararsız akım analizi için girilen parametreler

HEC-RAS programında gerekli tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra, Compute butonuna basarak analiz başlatılmış ve Şekil 3.43'te gösterilen simülasyon sonuç ekranı ile Pashdan Barajı'nın yıkılma analizi tamamlanmıştır.



Şekil 3.43. Simülasyon sonuç ekranı

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. HEC-RAS Analiz Çıktıları

Bu çalışmada, Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı (MEW) tarafından sağlanan halihazır haritalar temel veri olarak kullanılmıştır. Sayısal yükseklik modeli olarak ALOS PALSAR uydu görüntüsü olup WGS 84/UTM Zone 41N koordinat sisteminde tanımlı ve çözünürlüğü 12.5 metre kullanılmıştır. Bir diğer model parametresi olan taşkın hidrografi Synder yöntemine göre ve 10.000 yıllık tekerrür süresi dikkate alınarak kullanılmıştır. Hidrolik modellemede ise HEC-RAS ortamında gerçekleştirilmiştir. HEC-RAS'ta 2D

Flow Area komutu ile taşkın alanı, $50 \text{ m} \times 50 \text{ m}$ çözünürlüğe sahip eşit boyutlu hücrelere bölünmüş ve böylece daha hassas bir analiz elde edilmesi amaçlanmıştır. Manning pürüzlülük değeri ise 0,06 olarak seçilmiştir. Gedik parametreleri şu şekilde tanımlanmıştır: gedik nihai taban genişliği 100 m, sağ taraf eğimi 1,5, sol taraf eğimi 1,5 olarak kullanılmıştır. Unsteady Flow Data kapsamında, normal eğim 0,01 olarak seçilmiş ve Pashdan Barajı'nın tasarım hidrografi esas alınarak giriş debisi verileri referans alınarak, Lateral Inflow Hydrograph sekmesinden gerekli veriler girilmiştir. Unsteady Flow Analysis ayarlarında ise simülasyon 17 şubat 2025 saat 24:00'te başlayacak, 19 şubat 2025 saat 24:00'te bitecek şekilde ve simülasyon süresi 48 saat olarak seçilmiştir. Hesaplama aralığı 5 saniye, haritalama çıktı aralığı 1 saat, hidrograf çıktı aralığı 1 saat ve detaylı çıktı aralığı 1 saat olarak ayarlanmıştır.

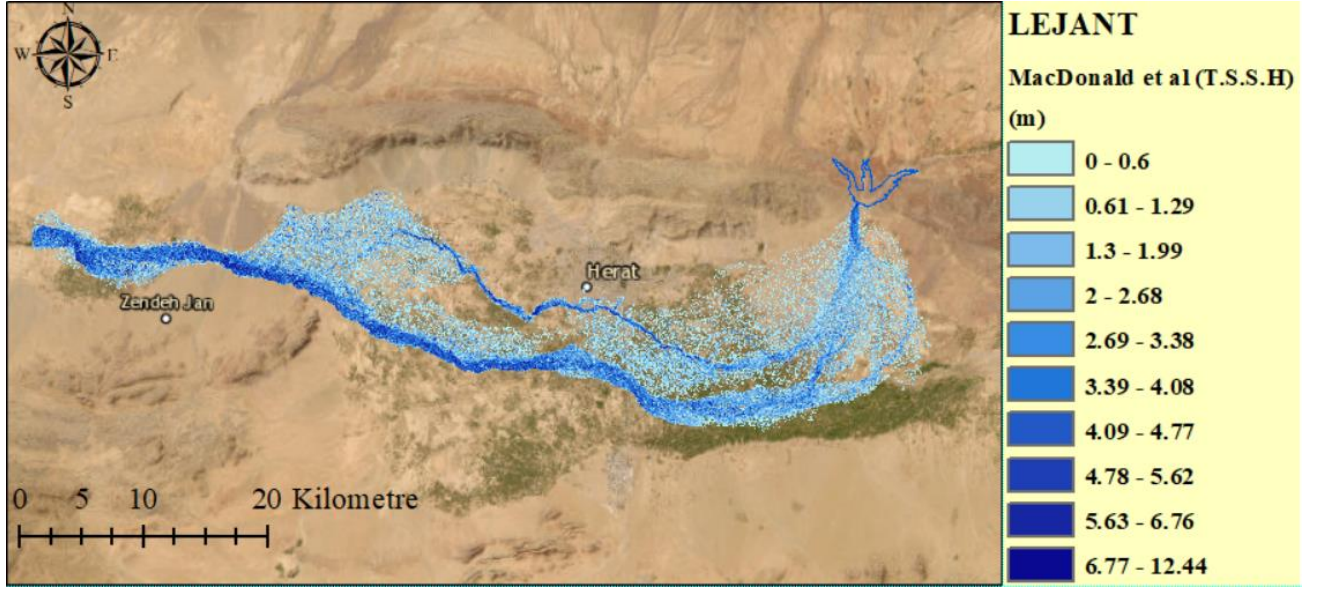
Pashdan Barajı'nın yıkılma analizi, beş farklı yöntem (MacDonald et al, Froehlich (1995), Froehlich (2008), Von Thun & Gillete, Xu & Zhang) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Her bir yöntem için Pashdan Barajı'nın yıkılma parametreleri; pik debi değerleri ve pik debi oluşma süreleri, Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Pashdan Barajı gediklenme modellerine göre yıkılma parametreleri ve oluşan pik debiler

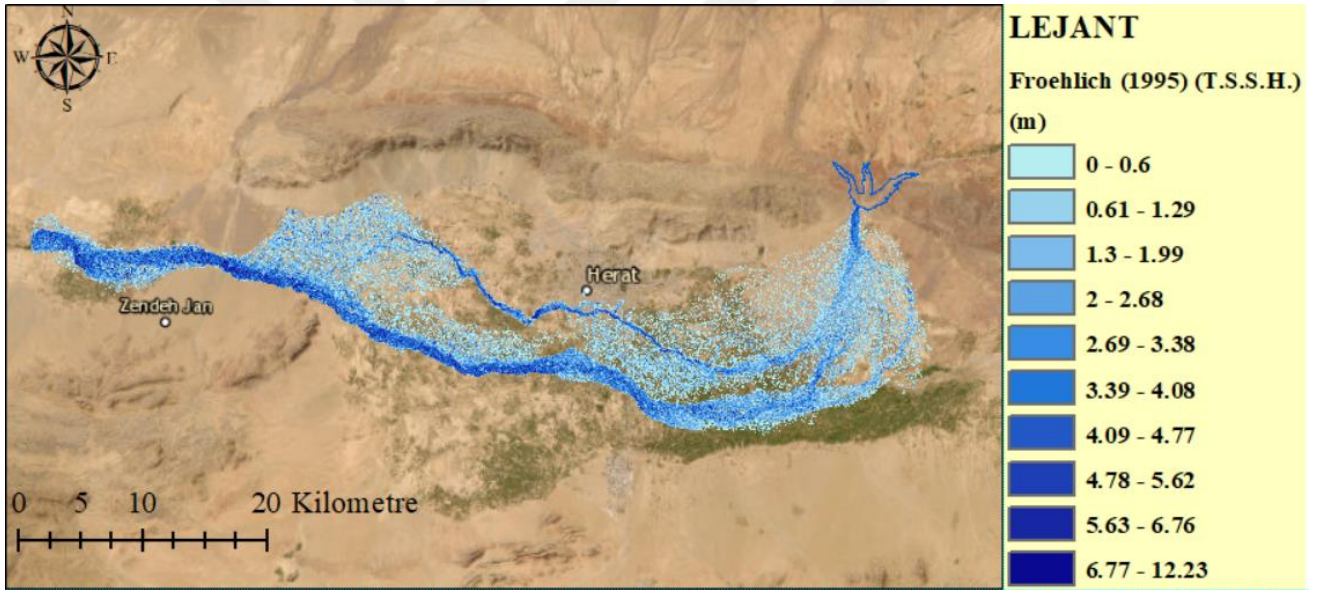
Gediklenme modeli	Gedik taban genişliği (m)	Gedik şev eğimi (Y:D)	Yıkılmanın tamamlanma süresi (saat)	Pik Debi oluşma süresi (saat)	Yıkılma taşkını pik debisi (m^3/s)
MacDonald et al	37	0,5	1,94	17	5.513,13
Froehlich (1995)	80	1,4	0,80	17	11.049,08
Froehlich (2008)	63	1	0,69	17	8.954,78
Von Thun & Gillete	155	0,5	1,29	17	16.725,07
Xu & Zhang	134	1,11	2,13	17	15.521,11

Çizelge 4.1 incelendiğinde, en tehlikeli senaryonun, Von Thun & Gillete yöntemiyle elde edildiği görülmektedir. Bu yöntemle göre, pik debiye 17. saatte ulaşıldığı ve bu saatte yıkılma taşkını pik debisinin $16.725,07 \text{ m}^3/\text{s}$ olduğu belirlenmiştir. Ancak, bu sürenin ilk 10 saati barajın tam kapasiteye ulaşması için gereken zaman olup, taşkın debisinin en yüksek seviyeye ulaşması sonraki 7 saat içinde gerçekleşmiştir.

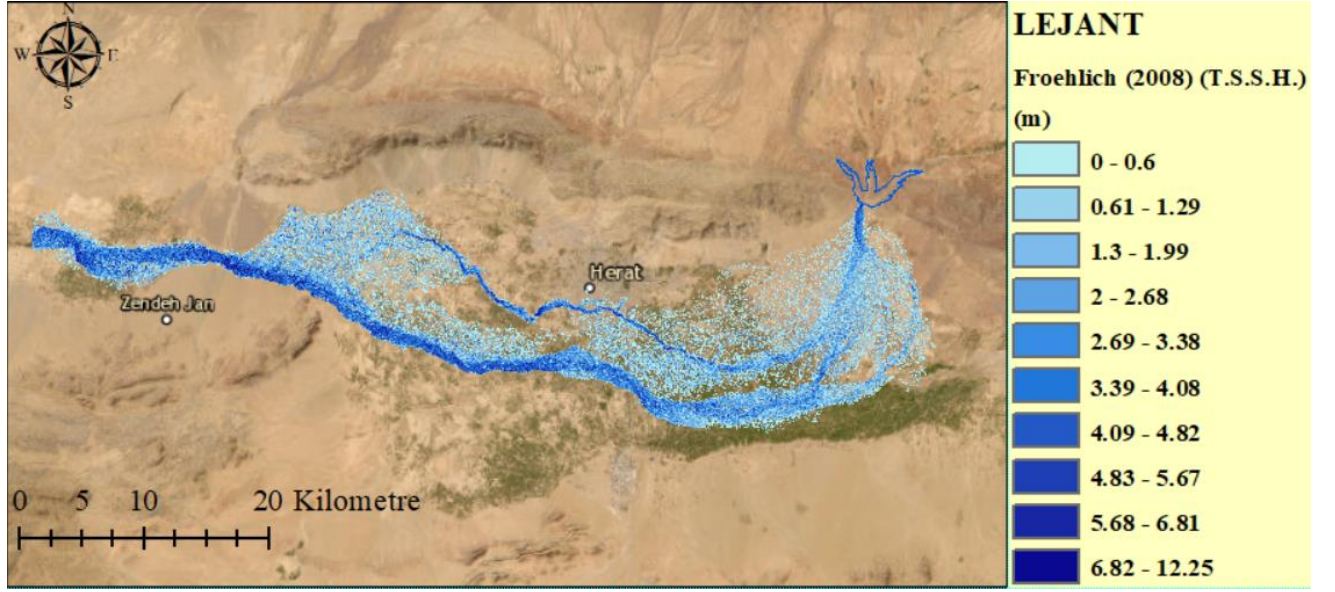
Bu beş farklı yöntemi (MacDonald et al, Froehlich (1995), Froehlich (2008), Von Thun & Gillete, Xu & Zhang) kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre, her bir denkleme ait taşkın su seviyesi haritaları ve taşkın hız haritaları, Şekil 4.1 ile Şekil 4.15 arasında verilmiştir.



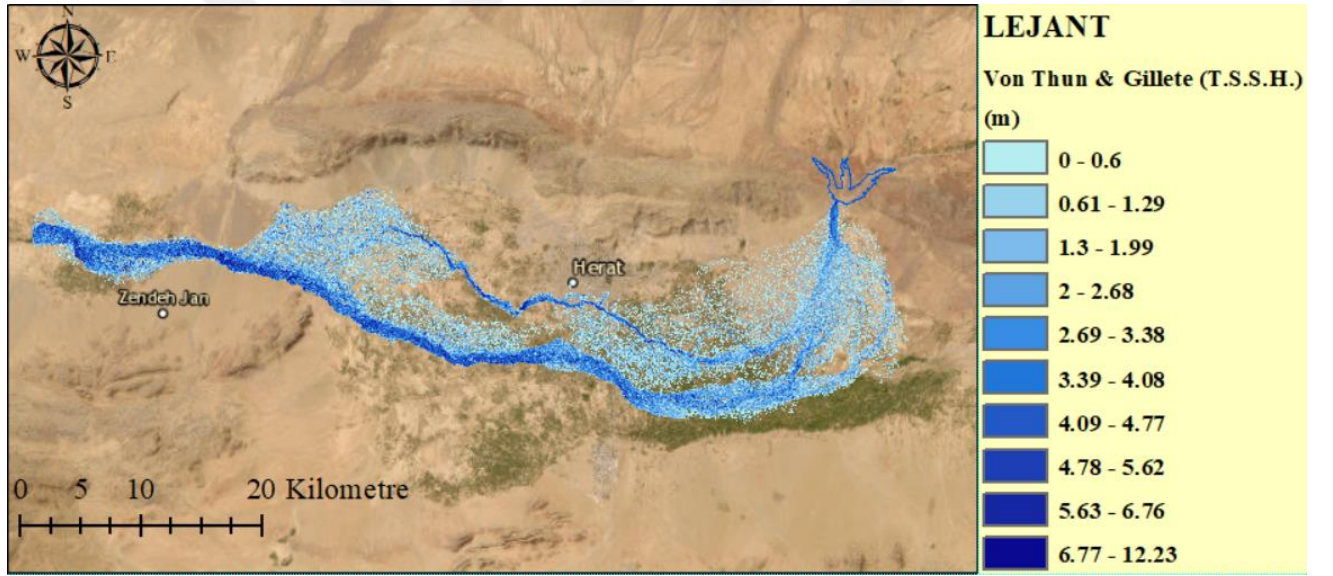
Şekil 4.1. MacDonald et al'a göre taşkın su seviyesi haritası



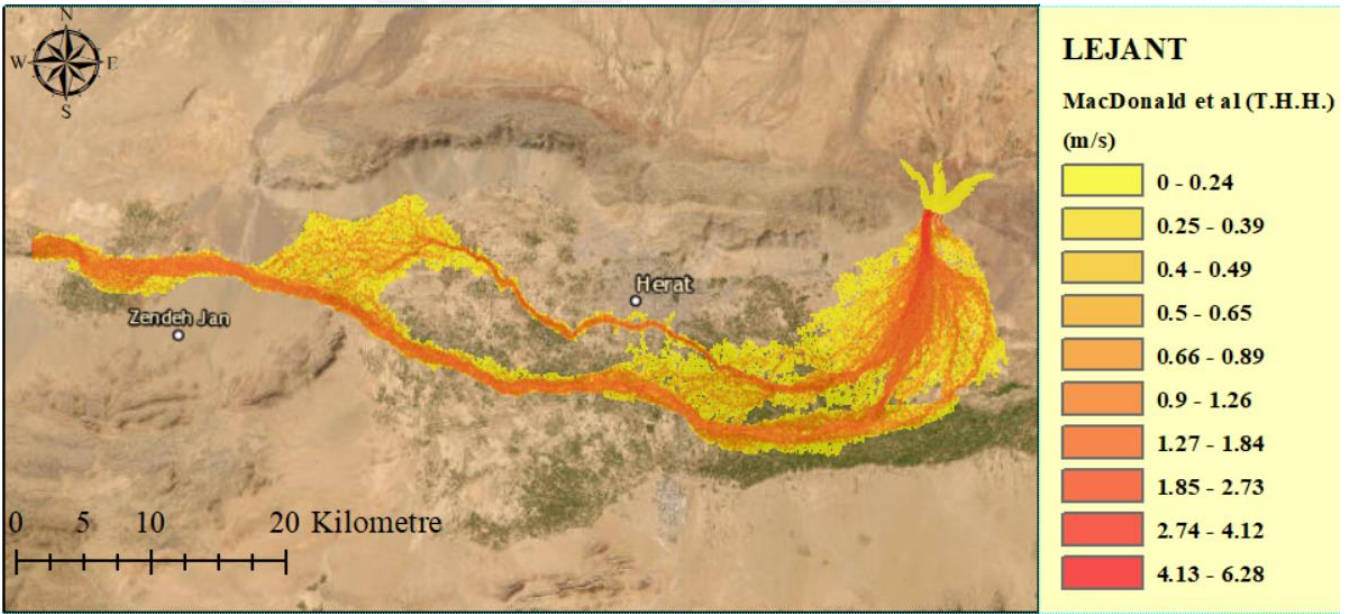
Şekil 4.2. Froehlich (1995)'e göre taşkın su seviyesi haritası

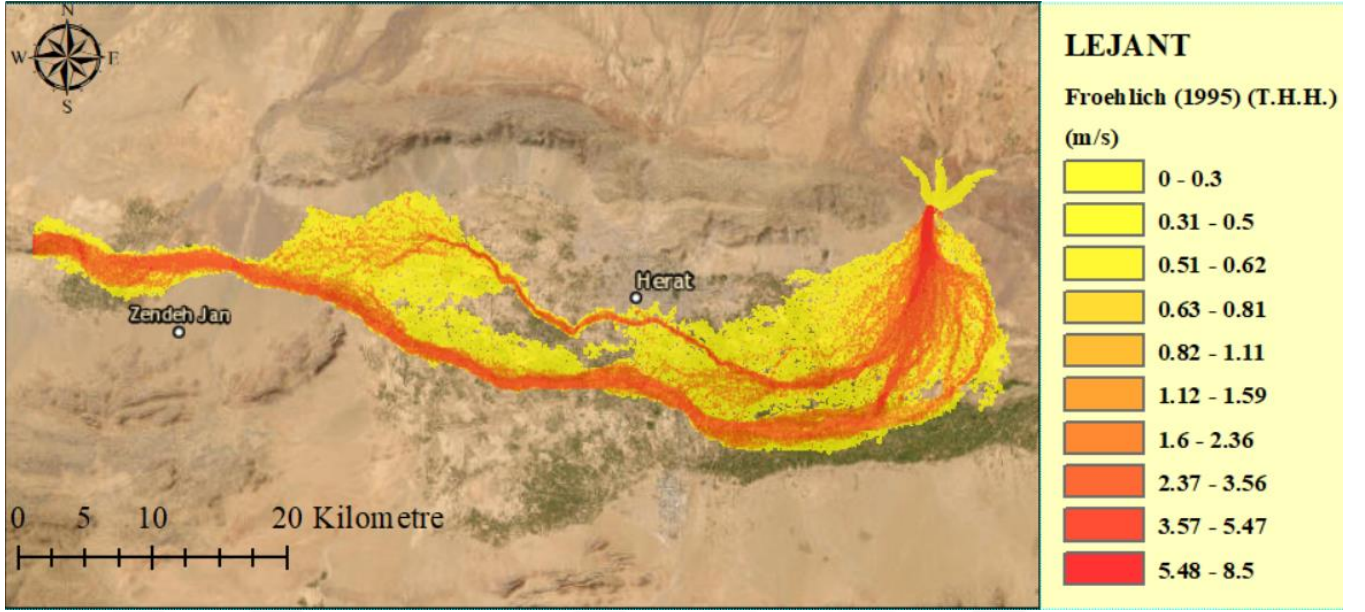


Şekil 4.3. Froehlich (2008)'e göre taşkın su seviyesi haritası

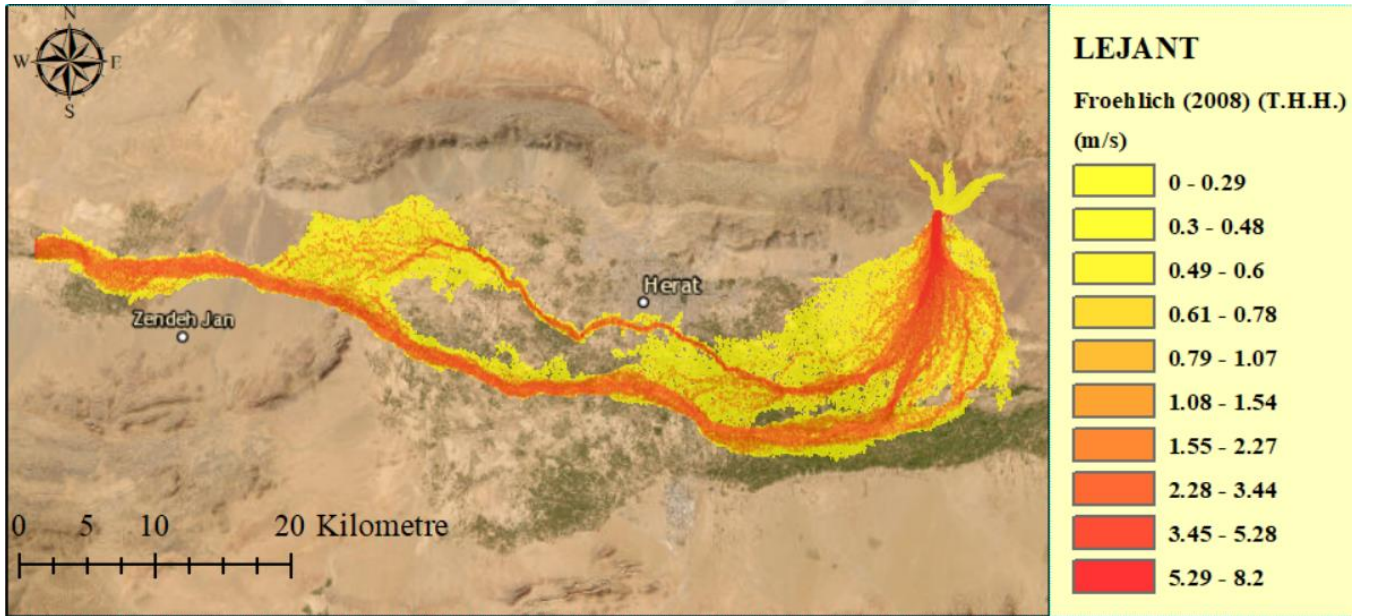


Şekil 4.4. Von Thun & Gillete'e göre taşkın su seviyesi haritası

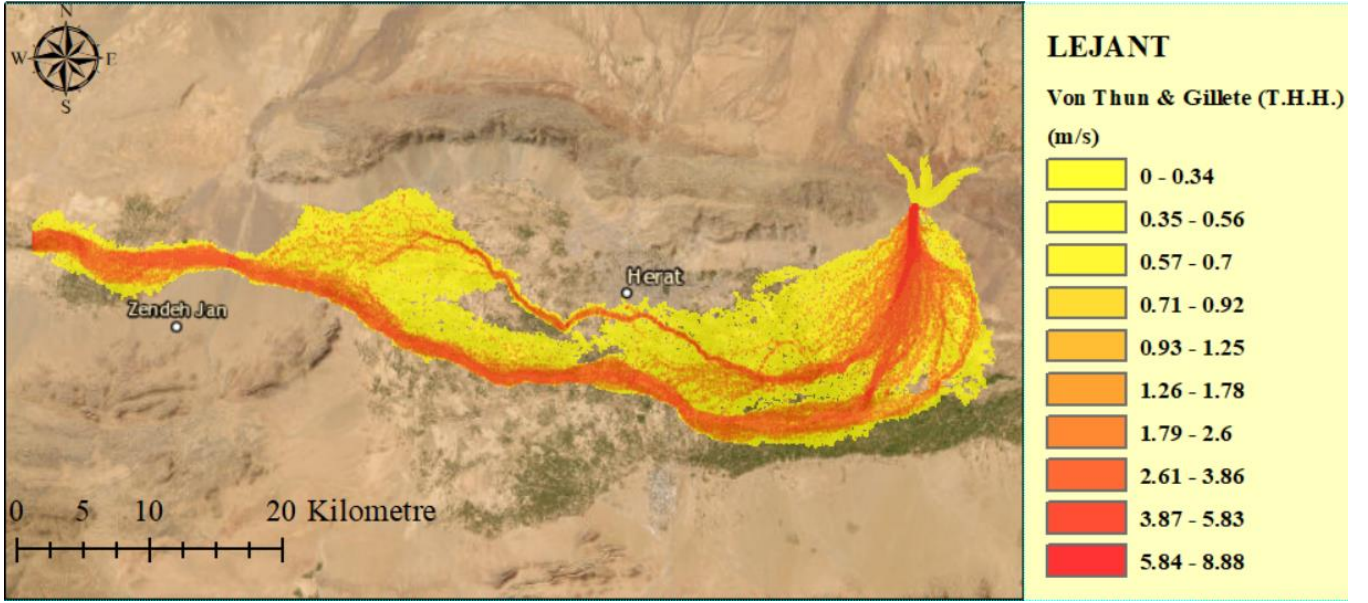




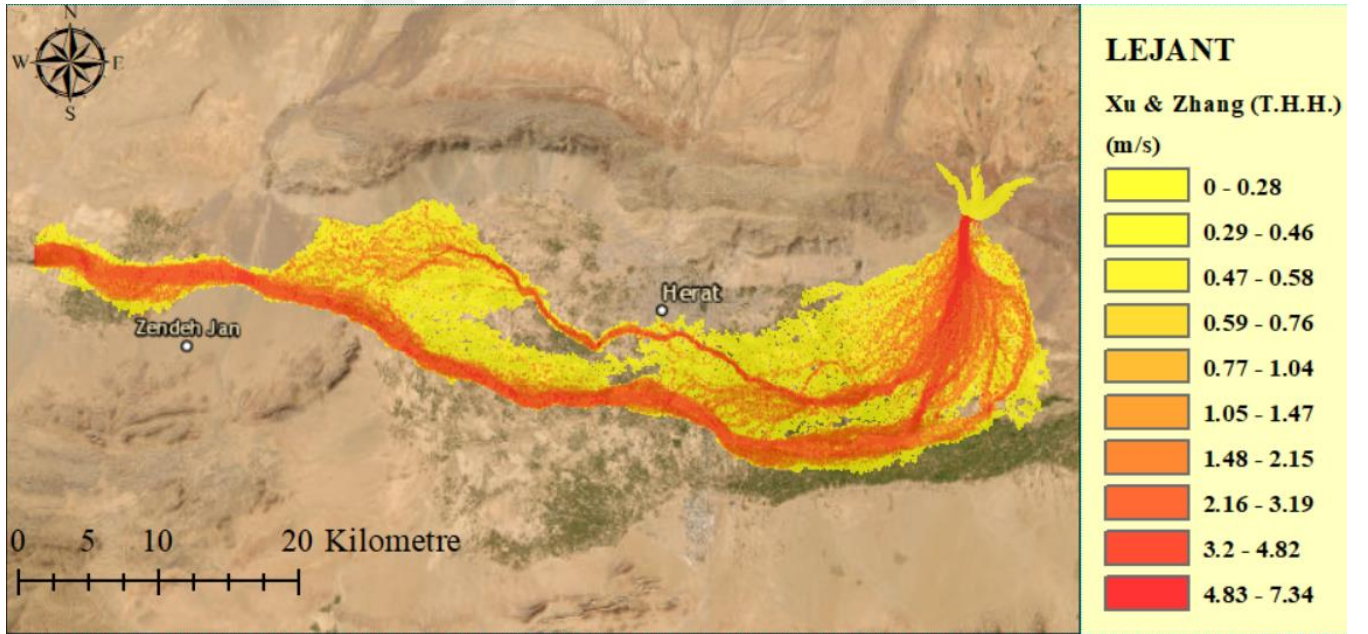
Şekil 4.7. Froehlich (1995)'e göre taşkın hız haritası



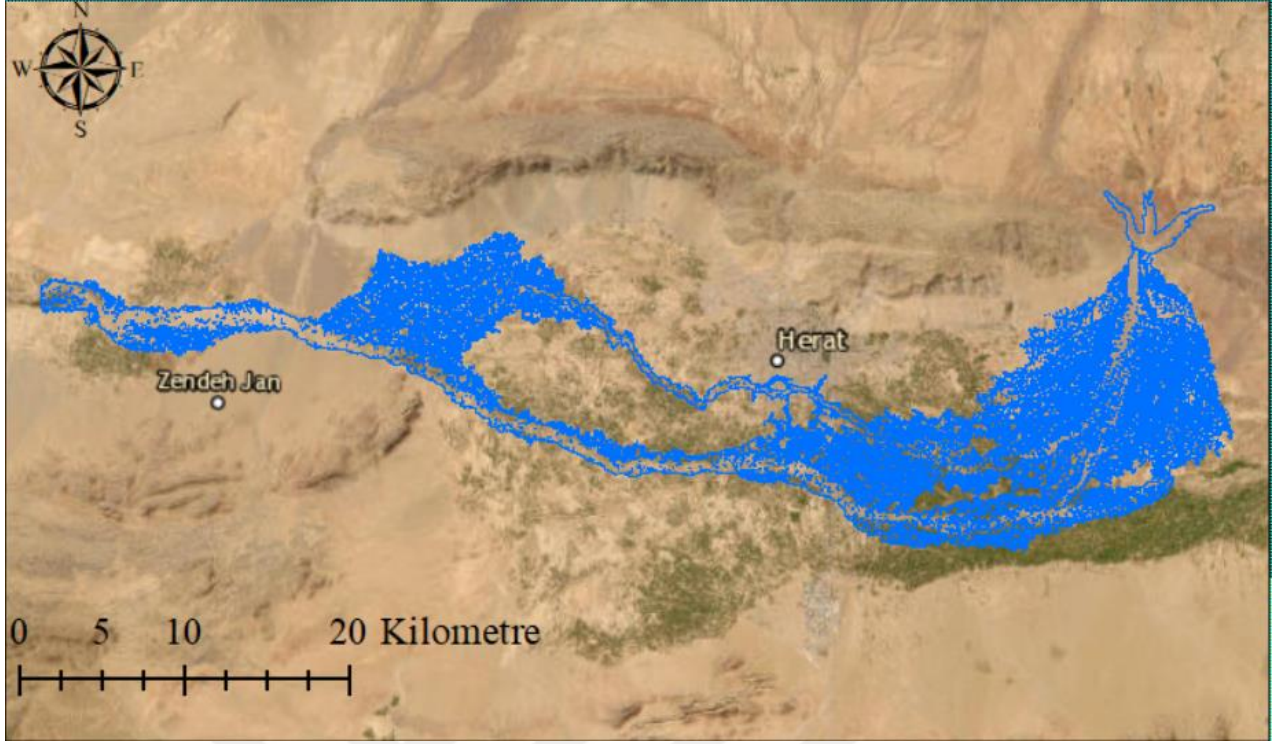
Şekil 4.8. Froehlich (2008)'e göre taşkın hız haritası



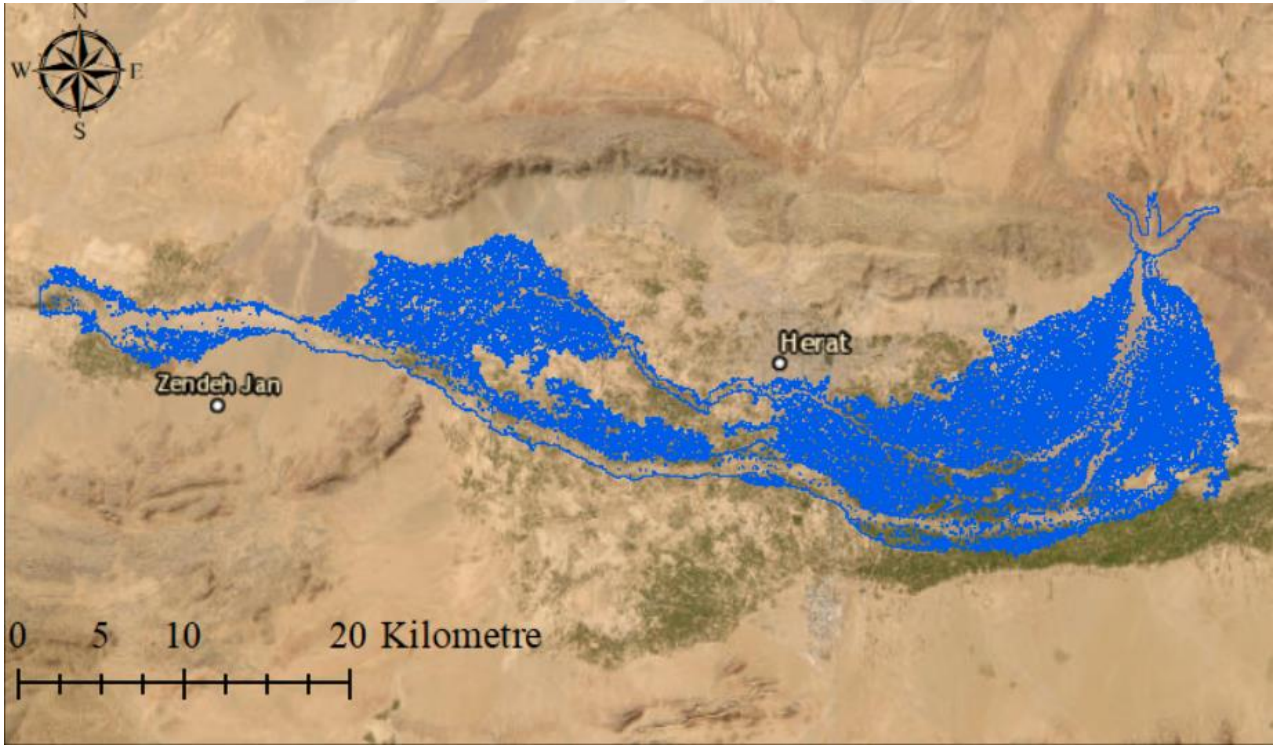
Şekil 4.9. Von Thun & Gillete'e göre taşkın hız haritası



Şekil 4.10. Xu & Zhang'a göre taşkın hız haritası



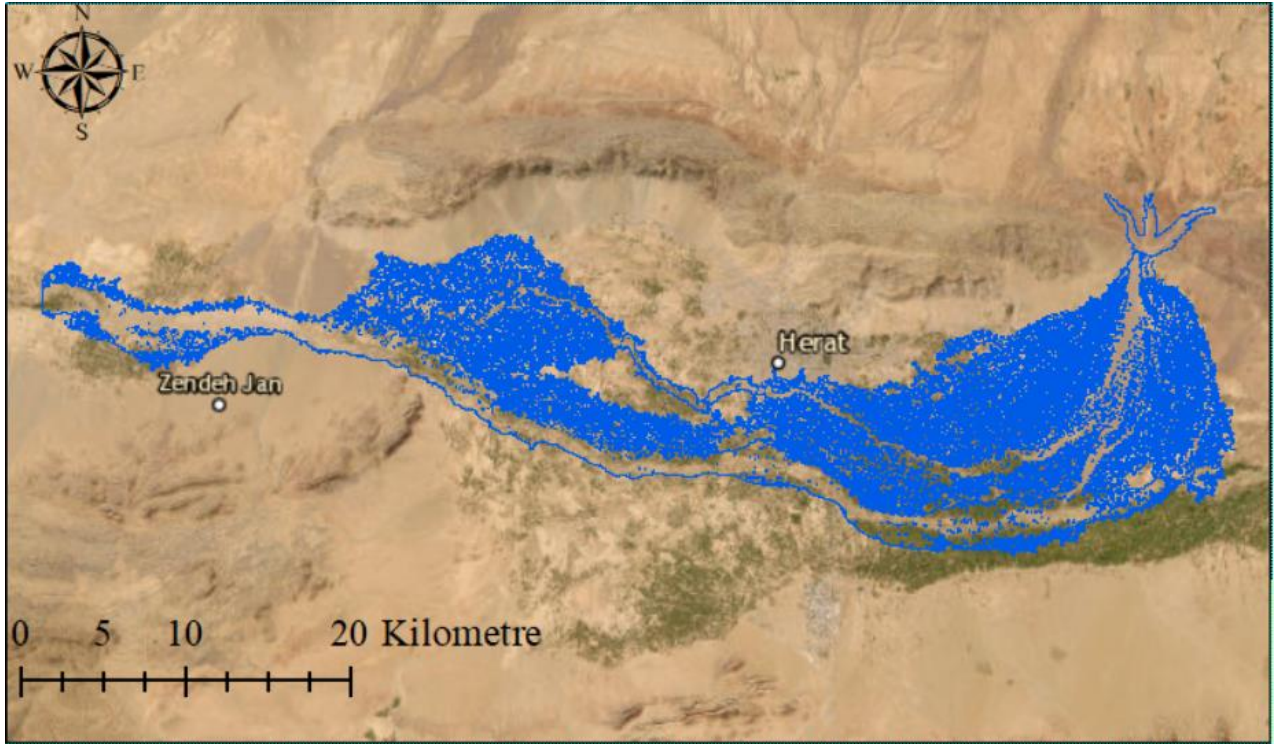
Şekil 4.11. MacDonald et al'a göre taşkın yayılım haritası



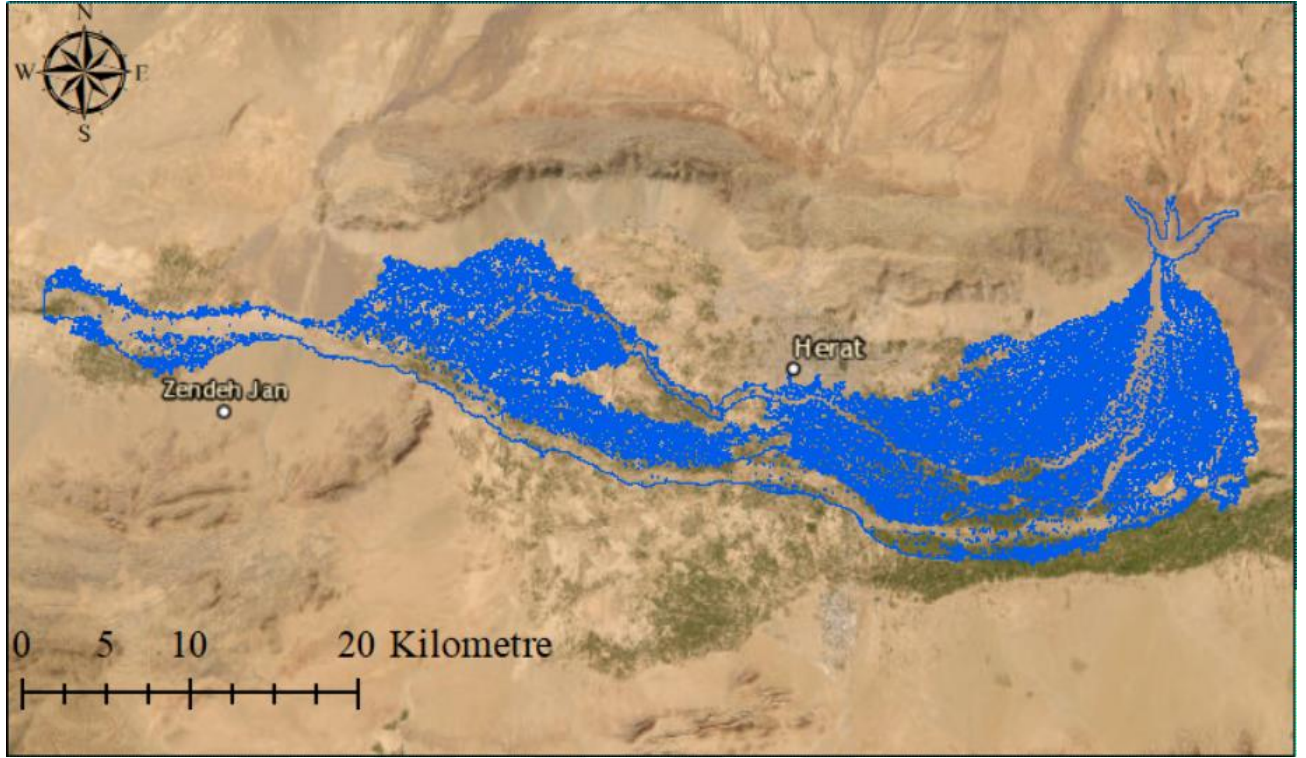
Şekil 4.12. Froehlich (1995)'e göre taşkın yayılım haritası



Şekil 4.13. Froehlich (2008)'e göre taşkın yayılım haritası



Şekil 4.14. Von Thun & Gillete'e göre taşkın yayılım haritası



Şekil 4.15. Xu & Zhang'a göre taşkın yayılım haritası

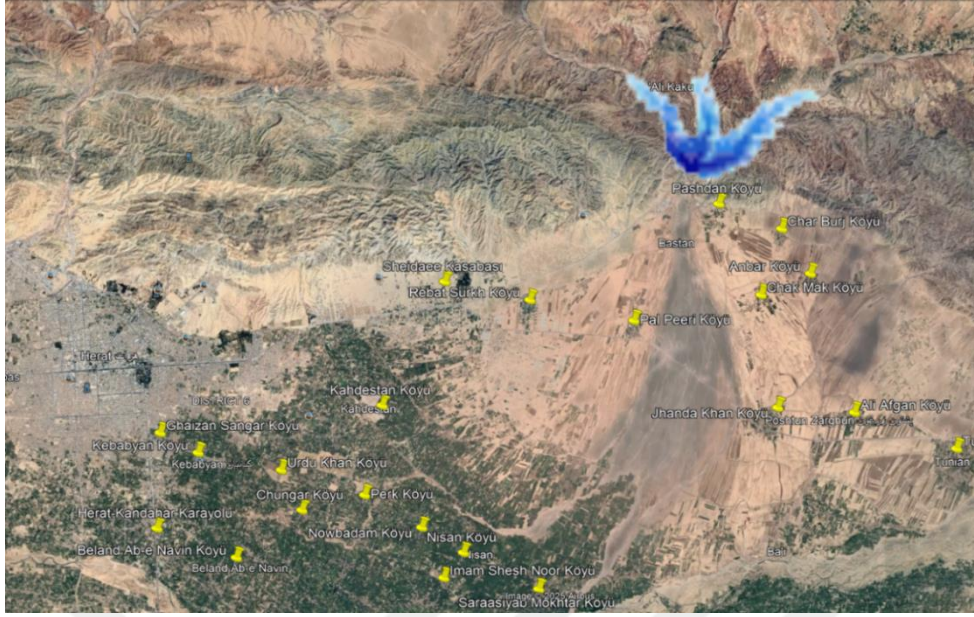
Beş farklı yöntemle yapılan analizler sonucunda elde edilen su altında kalan alanlara ilişkin veriler, Şekil 4.11 ile Şekil 4.15 arasında verilmiştir. Şekil 4.11 incelendiğinde, MacDonald et al yöntemine göre, su altında kalan alanın 226,78 km² olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.12'de Froehlich (1995) yöntemine göre, bu alanın 298,59 km² olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.13'te Froehlich (2008) yöntemine göre, su altında kalan alanın 270,73 km² olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.14'te Von Thun & Gillete yöntemine göre, su altında kalan alanın 353,43 km² olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.15'te ise Xu & Zhang yöntemine göre, su altında kalan alanın 342,91 km² olduğu tespit edilmiştir.

Tüm yöntemlere ait (MacDonald et al, Froehlich (1995), Froehlich (2008), Von Thun & Gillete, Xu & Zhang) analizler sonucunda elde edilen metrikler, Çizelge 4.2’de verilmiştir.

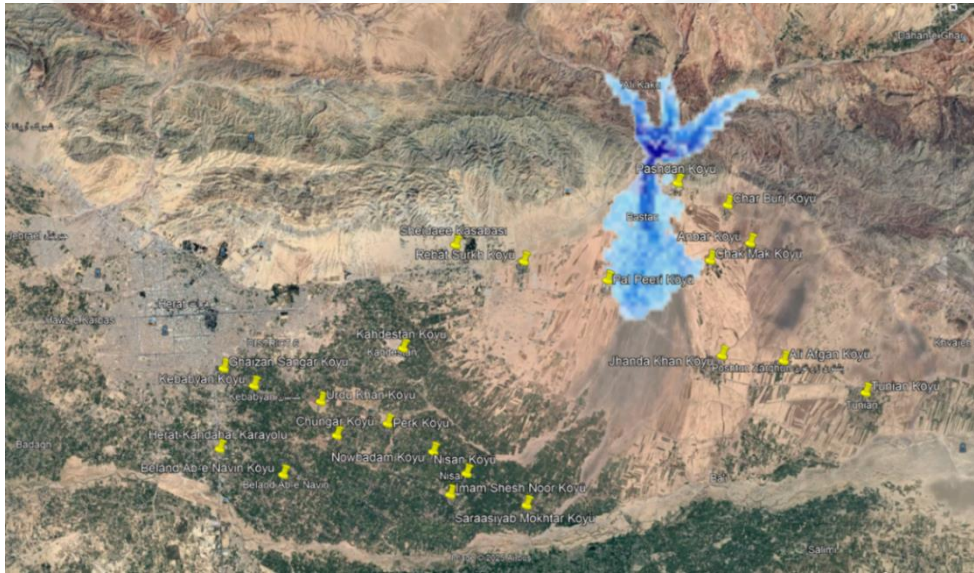
Çizelge 4.2. Tüm yöntemlere ait analizler sonucunda elde edilen metrikler

Metotlar	Min. taşkın su seviyesi (m)	Maks. taşkın su seviyesi (m)	Ort. taşkın su seviyesi (m)	Min. taşkın hızı (m/s)	Maks. taşkın hızı (m/s)	Ort. taşkın hızı (m/s)	Taşkın yayılım alanı (km ²)
MacDonald et al	0	12,44	1,78	0	6,28	0,81	226,78
Froehlich (1995)	0	12,23	1,79	0	8,50	0,95	298,59
Froehlich (2008)	0	12,25	1,76	0	8,20	0,92	270,73
Von Thun & Gillete	0	12,23	1,81	0	8,88	1,05	353,43
Xu & Zhang	0	12,30	1,80	0	7,34	1,01	342,91

Çizelge 4.2 incelendiğinde, Von Thun & Gillete yöntemine göre maksimum taşkın su seviyesi 12,23 m, maksimum taşkın hızı 8,88 m/s ve taşkın alanı 353,43 km² olarak belirlenmiştir. Daha önce Çizelge 4.1’de, aynı yöntemle yapılan analiz sonucunda pik debiye 17. saatte ulaşıldığı ve bu saatte yıkılma taşkını pik debisinin 16.725,07 m³/s olduğu belirlenmiştir. En tehlikeli durum dikkate alınarak, Von Thun & Gillete yöntemi esas alınmış ve farklı zaman dilimlerinde, Pashdan Barajı’nın mansabında bulunan yerleşim yerleri için taşkın yayılımı incelenmiş, yerleşim yerlerinin zamana göre taşkın yayılımı ise, Şekil 4.16 ile Şekil 4.27 arasında verilmiştir.

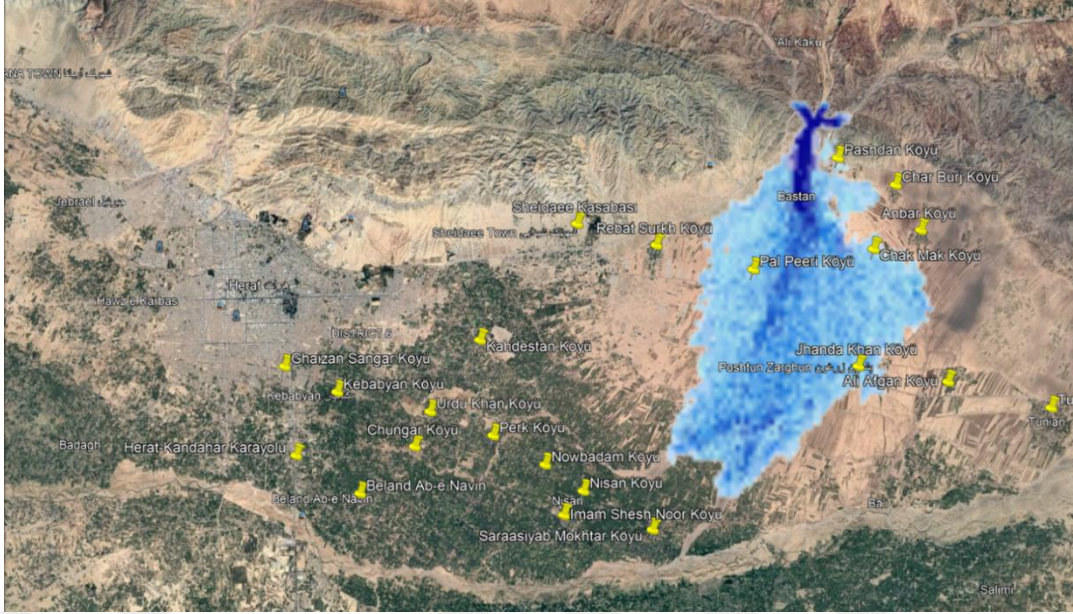


Şekil 4.16. Pashdan Barajı'nın tam kapasiteye ulaşma sürecinin ilk 10 saatlik görüntüsü



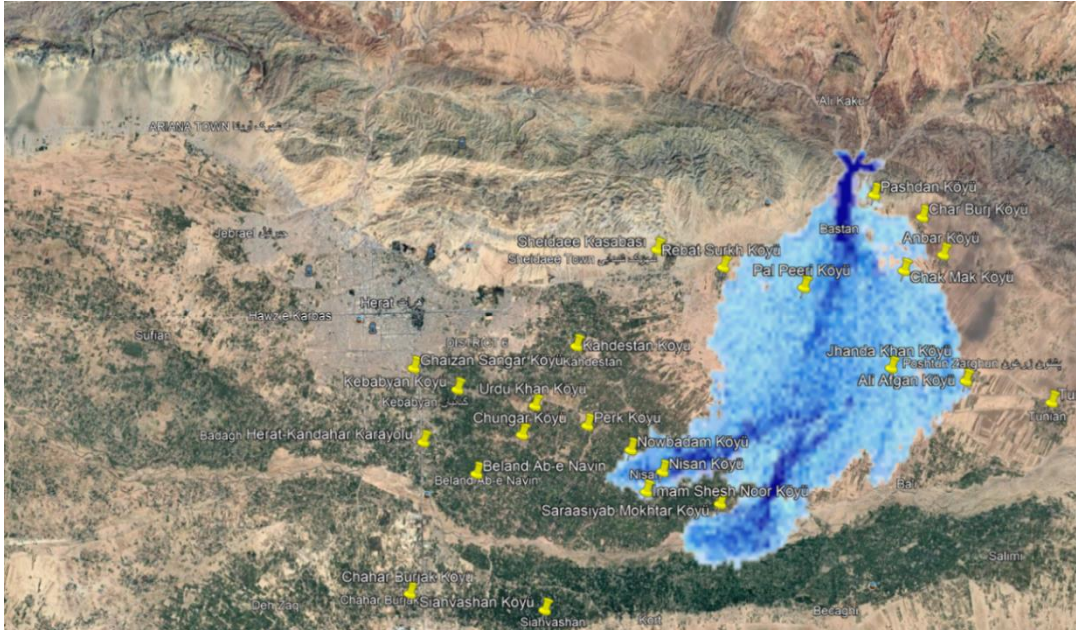
Şekil 4.17. Pashdan Barajı'nın 11. saatte taşkın yayılımı

Şekil 4.17'de gösterildiği gibi, 1 saatlik süre sonunda, Chak Mak ve Pal Peeri köylerinin bir kısmı taşkın suları altında kaldığı görülmektedir.



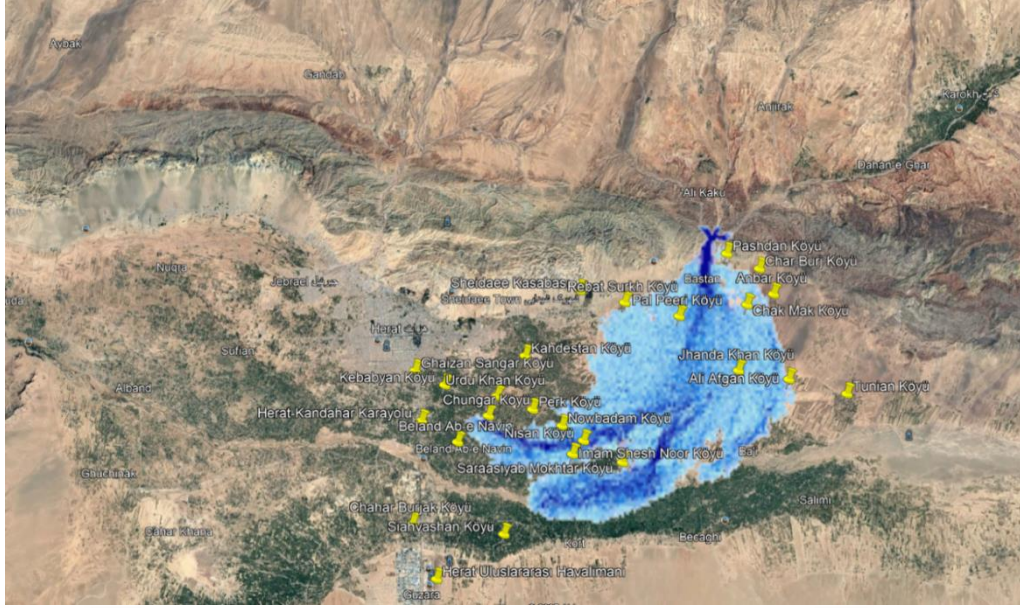
Şekil 4.18. Pashdan Barajı'nın 12. saatte taşkın yayılımı

Şekil 4.18'de gösterildiği gibi, 2 saatlik süre sonunda, Pashdan, Chak Mak ve Pal Peeri köylerinin tamamen taşkın suları altında kaldığı görülmektedir.



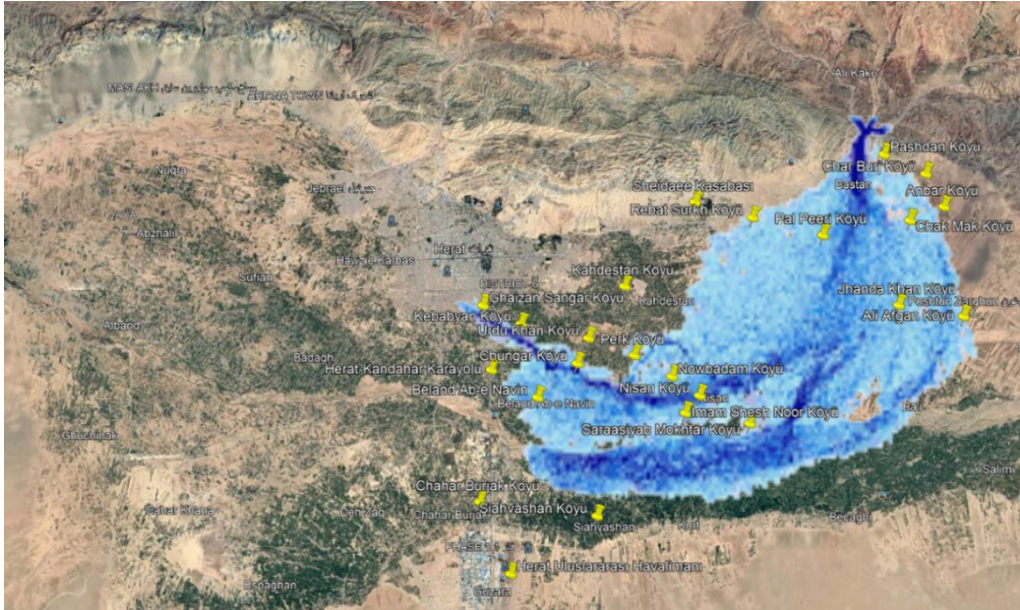
Şekil 4.19. Pashdan Barajı'nın 13. saatte taşkın yayılımı

Şekil 4.19'da gösterildiği gibi, 3 saatlik süre sonunda, Rebati Surkh ve Ali Afgan köylerinin bir kısmının taşkın suları altında kaldığı görülmektedir. Aynı şekilde, Jahanda Khan, Nowbadam, Nisan, İmam Shesh Noor ve Sarasiyab Mokhtar köylerinin ise tamamen taşkın suları altında kaldığı görülmektedir.



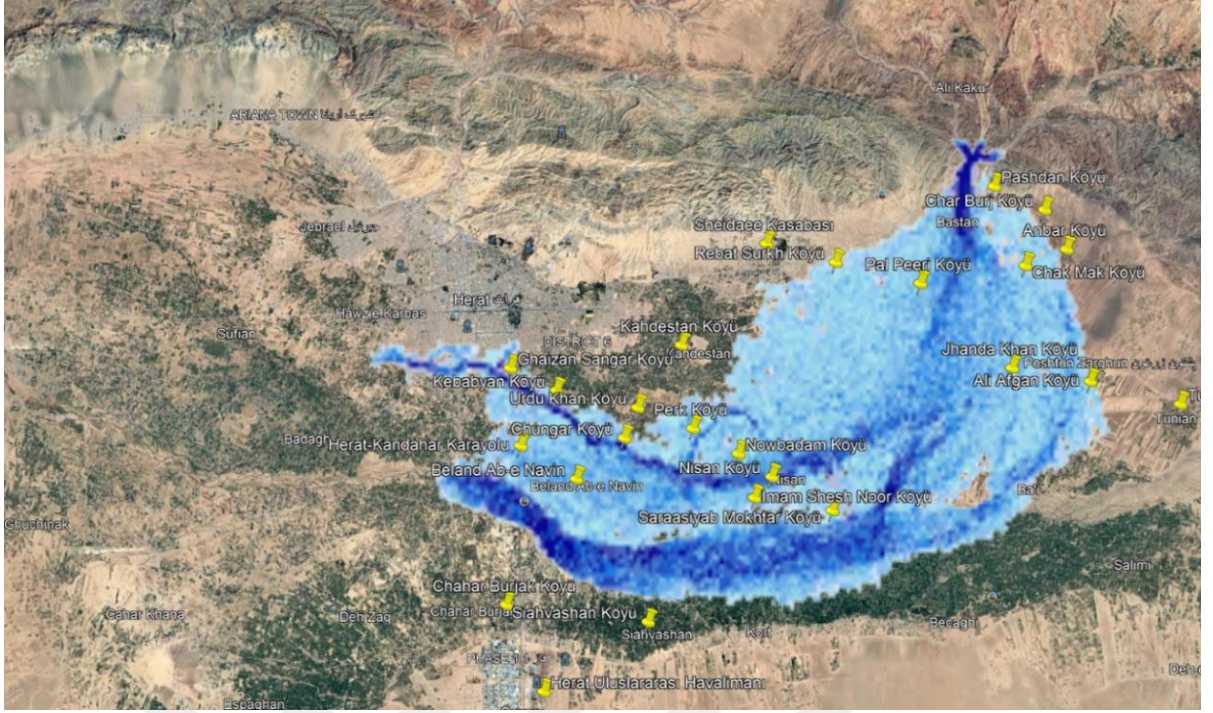
Şekil 4.20. Pashdan Barajı'nın 14. saatte taşkın yayılımı

Şekil 4.20'de gösterildiği gibi, 4 saatlik süre sonunda, Chungar köyünün tamamen taşkın suları altında kaldığı görülmektedir.

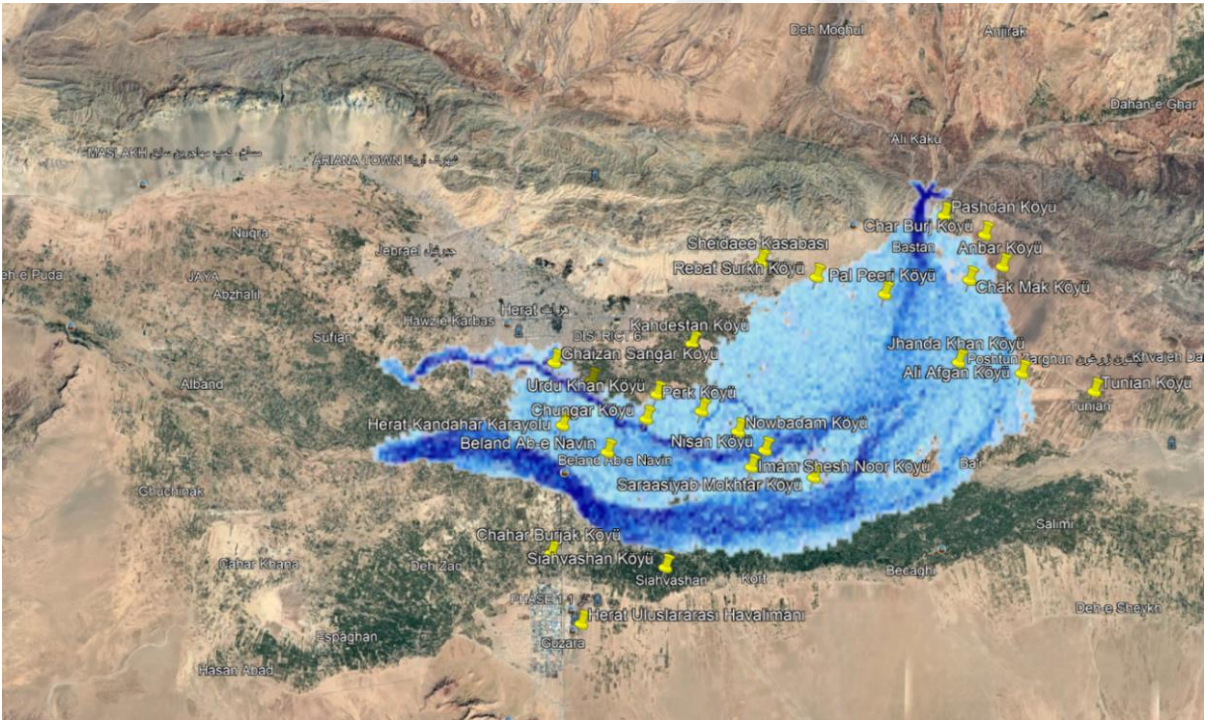


Şekil 4.21. Pashdan Barajı'nın 15. saatte taşkın yayılımı

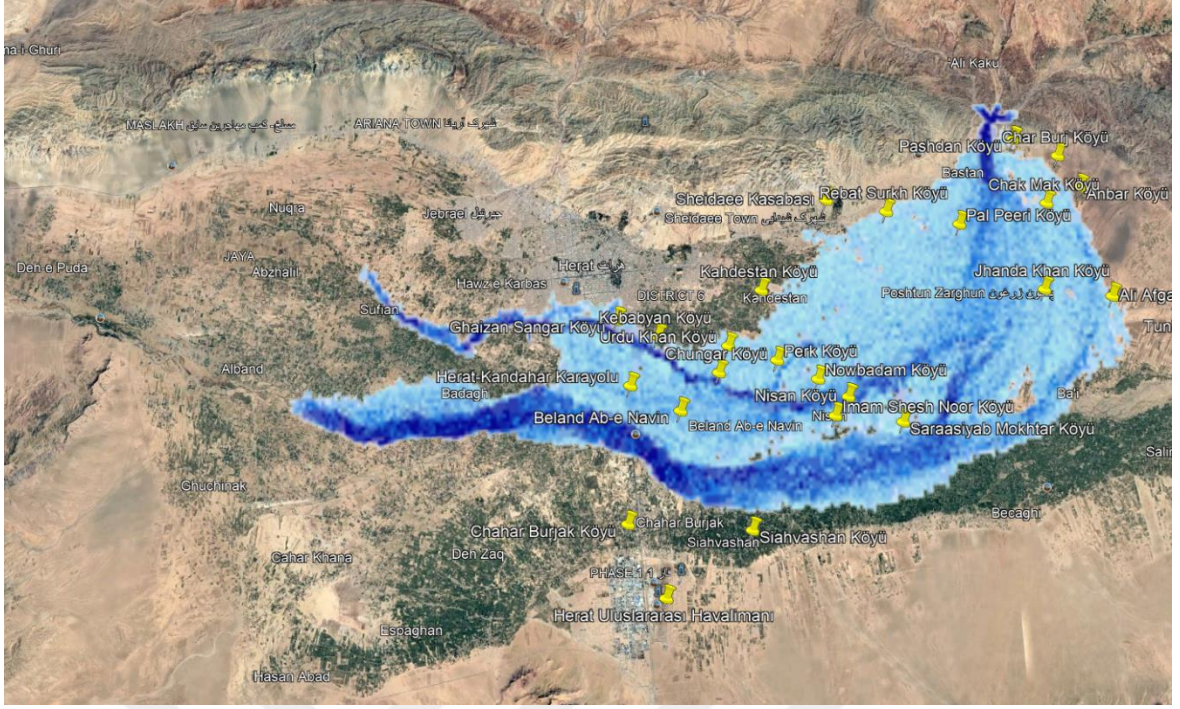
Şekil 4.21'de gösterildiği gibi, 5 saatlik süre sonunda, Kebabian ve Ghaizan Sangar köylerinin tamamen taşkın suları altında kaldığı görülmektedir.



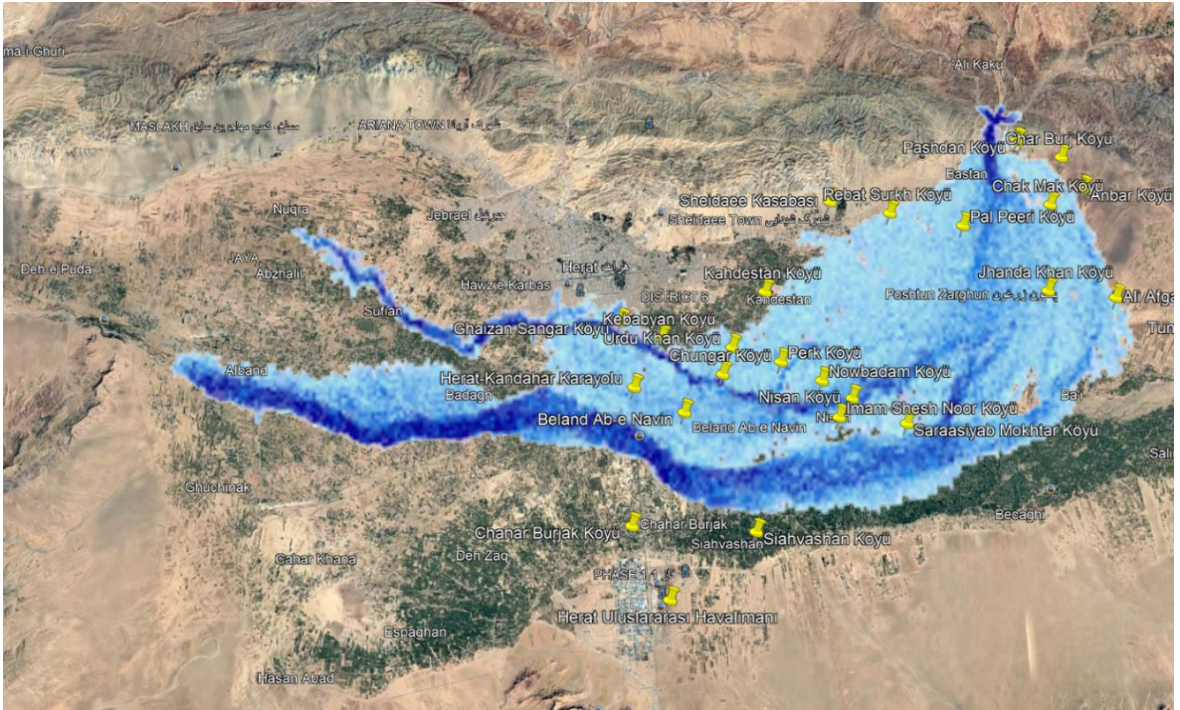
Şekil 4.22. Pashdan Barajı'nın 16. saatte taşkın yayılımı



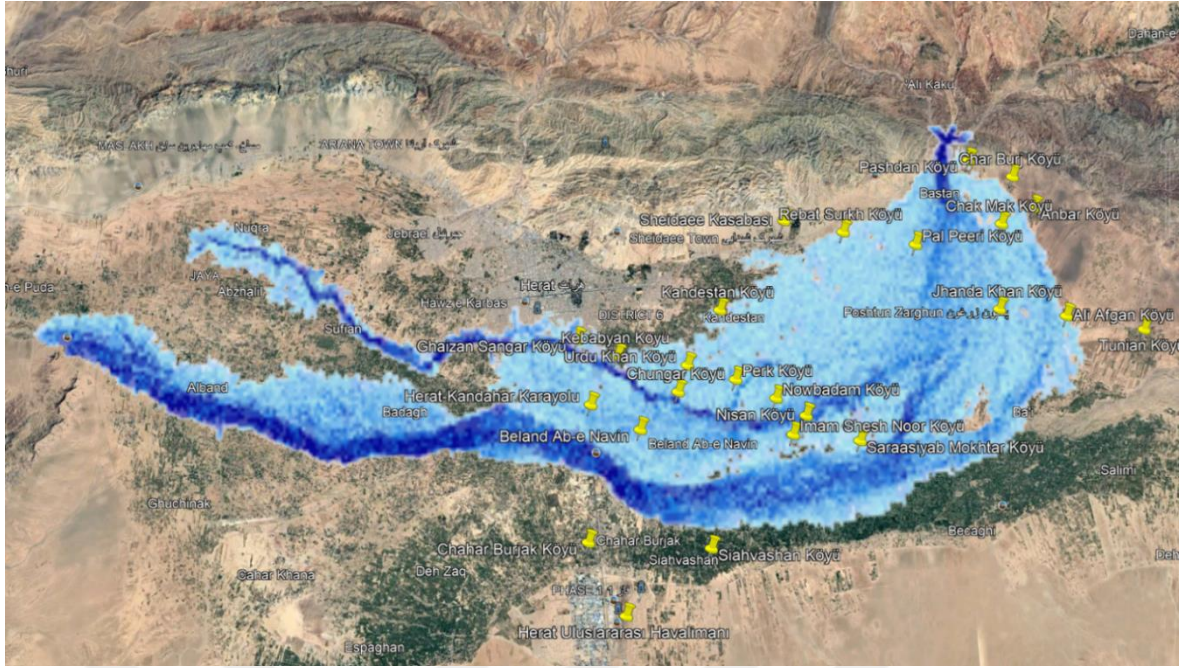
Şekil 4.23. Pashdan Barajı'nın 17. saatte taşkın yayılımı



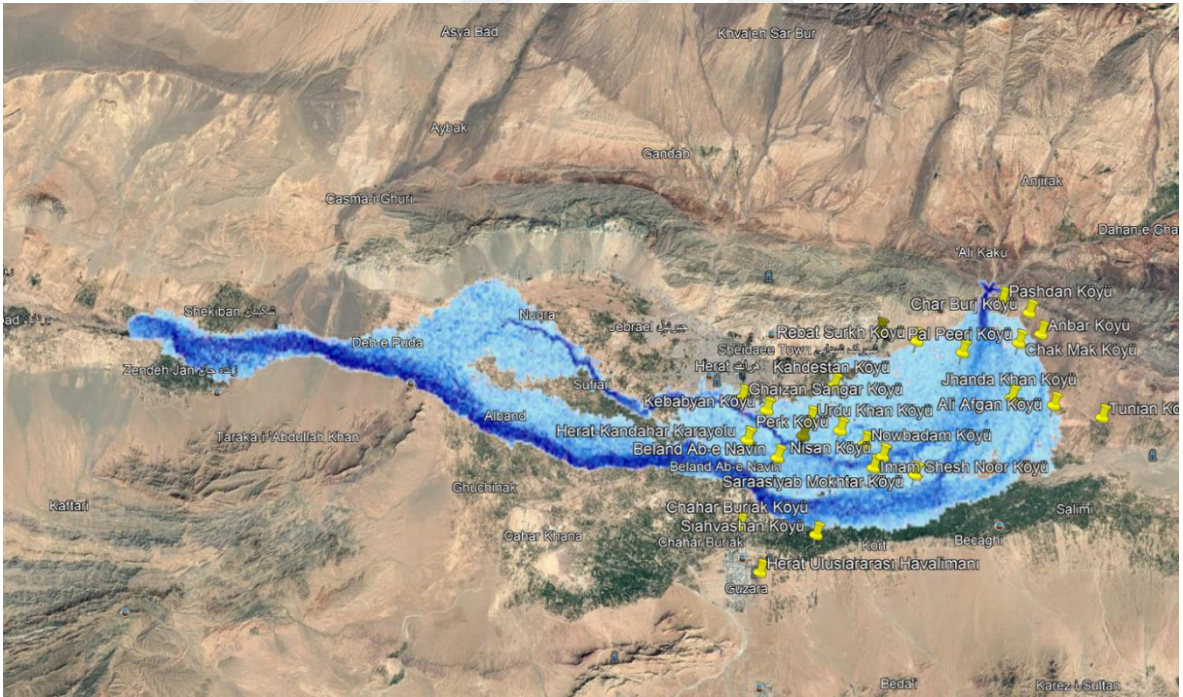
Şekil 4.24. Pashdan Barajı'nın 18. saatte taşkın yayılımı



Şekil 4.25. Pashdan Barajı'nın 19. saatte taşkın yayılımı



Şekil 4.26. Pashdan Barajı'nın 20. saatte taşkın yayılımı



Şekil 4.27. Pashdan Barajı'nın 24. saatte taşkın yayılımı

Şekil 4.22 ile Şekil 4.27'de gösterildiği gibi, Herat şehir merkezinin kuzeyindeki Sultani su kanalı (Joe-Sultani) ile güneyindeki Harirud Nehri, taşkın sularının büyük bir kısmını ileterek şehir merkezini korumuştur. Bu iki nehir arasında kalan bölge ise topoğrafik olarak daha yüksek bir alanda yer aldığı için bu bölge taşkın suyundan etkilenmemiştir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Barajlar, sudan maksimum düzeyde faydalanmamızı sağlayan ve insanlık için büyük önem taşıyan mühendislik yapılarıdır. Ancak rezervuarlarında büyük hacimlerde su depoladıkları için, olası bir yıkılma durumunda ciddi felaketlere yol açabilmektedir. Aşırı yağışlarla meydana gelen taşkınlara kıyasla, baraj yıkılmaları sonucunda oluşacak taşkınların büyüklüğü çok daha fazladır. Bu nedenle, baraj mansabında yerleşim alanlarının bulunması, ciddi risklerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır.

Bu nedenle, baraj yıkılmalarına yönelik yapılan çalışmalar literatürde önemli bir yer tutmaktadır. Elbette, her barajın bulunduğu konum ve mansabındaki yerleşim alanlarının özellikleri, oluşturduğu riskin derecesini farklı kılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, Pashdan Barajı'nın Herat şehri ve çevresindeki bölgeler ile 13.000 hektarlık tarım arazisine su temin etmesi açısından büyük bir öneme sahiptir. Afganistan nüfusunun %80'inin tarımla uğraştığı göz önüne alındığında, barajın su yönetimi ve tarımsal sürdürülebilirlik açısından kritik bir rol oynadığı söylenebilir. Ayrıca, Pashdan Barajı'nın büyük bir gövdeye ve rezervuar hacmine sahip olması, mansap bölgesinde birçok yerleşim yerinin, köylerin ve doğrudan Herat şehrinin bulunması, bu çalışmanın önemini daha da artırmaktadır. Tüm bu unsurlar, yapılan çalışmanın taşkın risk analizleri açısından faydalı ve anlamlı bir katkı sunacağını göstermektedir.

Bu tez çalışmasında, HEC-RAS 6.6, ArcMAP 10.8, Google Earth Pro ve Microsoft Excel gibi çeşitli programlar kullanılarak, Afganistan'ın Herat iline bağlı Karokh ilçesinde yapımı devam eden Pashdan Barajı'nın iki boyutlu yıkılma analizi, beş farklı senaryo çerçevesinde gerçekleştirilmiştir. Analizde kullanılan veriler, Afganistan Enerji ve Su Bakanlığı'ndan temin edilerek analizde kullanılmış ve baraj mansabında bulunan yerleşim yerlerinin taşkından etkilenme durumu değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda, taşkın su seviyesi haritaları, taşkın hız haritaları, taşkın yayılım haritaları ve taşkın oluşma süreleri belirlenmiştir.

HEC-RAS programında kullanılan baraj yıkılma hesap yöntemleri arasında en tehlikeli durumu temsil eden senaryonun, Von Thun & Gillete yöntemiyle elde edildiği belirlenmiştir. Bu yöntemle göre, pik debiye 17. saatte ulaşılmış olup, bu noktada yıkılma taşkını pik debisinin 16.725,07 m³/s olduğu belirlenmiştir. Sürecin ilk 10 saati, barajın

tam kapasiteye ulaşması için gerekli olup, taşkın debisinin en yüksek seviyeye ulaşması ise sonraki 7 saat içinde gerçekleşmiştir. Yapılan analizler sonucunda, en tehlikeli durum olarak Von Thun & Gillete yöntemiyle maksimum taşkın su seviyesinin 12,23 m, maksimum taşkın hızının 8,88 m/s ve taşkın alanının 353,43 km² olduğu belirlenmiştir. Bu doğrultuda, en tehlikeli senaryo olarak kabul edilen Von Thun & Gillete yöntemi esas alınarak, Pashdan Barajı'nın mansabında yer alan yerleşim yerleri için farklı zaman dilimlerinde taşkın yayılımı elde edilmiştir.

Şekillerde gösterildiği gibi, farklı zaman dilimlerinde yapılan taşkın yayılımı sonucunda çeşitli köyler ve alanlar taşkın sularından etkilenmiştir. 1 saatlik süre sonunda; Chak Mak ve Pal Peeri köylerinin bir kısmı taşkın suları altında kalmıştır. 2 saatlik süre sonunda ise Pashdan, Chak Mak ve Pal Peeri köyleri tamamen taşkın suları altında kalmıştır. 3 saatlik süre sonunda; Rebat Surkh ve Ali Afghan köylerinin bir kısmı taşkın suları altında kalırken, aynı süre içinde Jahanda Khan, Nowbadam, Nisan, Imam Shesh Noor ve Sarasiyab Mokhtar köyleri tamamen taşkın suları altında kalmıştır. 4 saatlik süre sonunda; Chungar köyü de tamamen taşkın suları ile kaplanmıştır. 5 saatlik süre sonunda; Kebabyan ve Ghaizan Sangar köyleri tamamen taşkın suları altında kalmıştır.

Von Thun & Gillette yöntemine göre taşkın yayılımı incelendiğinde, 17. saatte Herat şehir merkezinin kuzeyindeki Sultani Su Kanalına (Joe-Sultani) kadar taşkın sularının ulaştığı ve bu bölgede ortalama 1,81 m su seviyesinin meydana gelebileceği görülmüştür. Ayrıca, bu bölgedeki kanalın, yıkılan baraj sularının büyük bir kısmını ileterek şehir merkezini koruduğu, benzer şekilde çalışma alanının güneyinde, Harirud Nehri'nin de olası taşkın sonucu oluşan debinin büyük bir kısmını ilettiği gözlemlenmiştir. İki nehir arasında kalan bölge ise topoğrafik olarak daha yüksek bir alanda yer aldığı için bu bölge taşkın suyundan etkilenmemiştir. En büyük etki, baraj sonrasında yer alan Chak Mak, Pal Peeri, Pashdan, Rebat Surkh, Ali Afghan, Jahanda Khan, Nowbadam, Nisan, Imam Shesh Noor, Sarasiyab Mokhtar, Chungar, Kebabyan ve Ghaizan Sangar köylerinde görülmüştür. Bu bölgelerde, özellikle su seviyesinin maksimum 12,23 m'ye kadar çıkması ve su hızlarının yüksek olması nedeniyle en fazla can ve mal kayıplarının yaşanabileceği bölgelerdir.

5.2. Öneriler

Baraj yıkılma analizleri, barajın güvenliğini sağlamak ve olası felaketlerin etkilerini en aza indirmek açısından büyük bir öneme sahiptir. Bu analizler sonucunda alınması gereken önlemler, her baraj için o baraja özgü olarak belirlenmelidir. Baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkınların önceden modellenmesi ve muhtemel risklerin öngörülmesi, meydana gelebilecek zararların önlenmesi veya en aza indirilmesi için kritik bir rol oynamaktadır. Yapılan modelleme çalışmaları sonucunda elde edilen veriler, gerekli önlemlerin alınmasını sağlamak ve olası felaketlerin etkilerini minimize etmek adına yol gösterici olmaktadır.

Bu tez çalışmasının sonucunda ve baraj yıkılma analizleri kapsamında yapılabilecek çalışmalarla ilgili aşağıdaki öneriler sunulmaktadır.

- Baraj yıkılması sonucu meydana gelecek taşkınların modellenmesinde, arazi yüzeyini ve suyun hareketini daha doğru bir şekilde temsil edebilmek için yüksek çözünürlüklü ve hassas sayısal yükseklik haritalarının kullanılması gerekmektedir.
- Bir ve iki boyutlu baraj yıkılma analizlerinin yerine, daha hassas simülasyonlar yapabilen üç boyutlu baraj yıkılma analiz programlarının kullanılması, daha güvenilir sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır.
- Baraj yıkılma analizlerinde, bilgisayar programları ile yapılan sayısal analizlerin yanı sıra, deneysel çalışmalar da yer almalı ve her iki yaklaşım bir bütün olarak ele alınmalıdır. Sayısal analiz programlarından elde edilen sonuçlar ile deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak incelenmelidir.
- Barajlar ve benzeri su yapılar, yıkılmaları sonucunda mansap bölgesinde önemli taşkın riski oluşturabilecek su yapılarının planlama veya projelendirme aşamalarında, yıkılma analizlerinin yapılması ve taşkın risk haritalarının oluşturulması gereklidir. Bu tür haritalar özellikle yapılaşmaların olduğu bölgelerde taşkın sigortalama işlemlerinin temelini oluşturmaktadır.
- Özellikle mansap bölgesinde yerleşim yerleri veya önemli yapılar bulunması durumunda, mutlaka taşkın risk analizlerinin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Barajların yıkılması sonucu meydana gelen taşkınlar, ciddi can ve mal kayıplarına yol açabileceği için, taşkın risk haritalarının hazırlanması büyük önem taşır. Bu haritalardan yararlanarak, taşkınlardan etkilenebilecek bölgelerde yaşayan

insanlar için güvenli bölgelere ulaşmalarını sağlayacak taşkın erken uyarı sistemleri kurulmalıdır. Bu çalışma, teorik bir altyapıya dayansa da, Pashdan Barajı mansabında meydana gelebilecek olası taşkın felaketlerine karşı tahliye planlarının hazırlanması gibi önemli önlemlerin ilgili kurumlar tarafından alınmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca, elde edilen bulgular, arama kurtarma çalışmalarında da etkin bir şekilde kullanılabilir ve bu sayede taşkınlardan etkilenen bölgelerdeki can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için gerekli adımların atılmasına olanak tanıyacaktır.

- Tez çalışması yapılırken her adım açık bir şekilde açıklanmış ve özellikle gelecekte benzer bir çalışma yapmayı planlayan araştırmacılar için yol gösterici bir nitelik taşıyacağı öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

- Alppay, H. (2019), Baraj yıkılması taşkın risk değerlendirmesi, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya Üniversitesi, 79.
- Anonim, 2025, Afghanistan geography [online], <https://peakvisor.com/adm/afghanistan.html> [Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2025].
- Anonim, 2025, List of dams and reservoirs in Afghanistan [online], https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_dams_and_reservoirs_in_Afghanistan [Ziyaret Tarihi: 6 Mart 2025].
- Anonim, 2025, Pashdan Dam, [online] https://en.wikipedia.org/wiki/Pashdan_Dam [Ziyaret Tarihi: 6 Mart 2025].
- Ardıçlıoğlu, M. 2024, Adana Seyhan Barajının yıkılma ve 2 boyutlu taşkın yayılımının HEC-RAS ile modellenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(3), 741-752.
- Burhan, A.M. (2020), Afganistan'ın turizm coğrafyası, Yüksek lisans, *Sosyal Bilimler Enstitüsü*, Atatürk Üniversitesi, 196.
- Doğan ve diğ. 2013, Aşağı Sakarya Nehrinde taşkın yayılım haritalarının elde edilmesi, *Sakarya University Journal of Science*, 17(3), 363-369.
- Duvan, A. ve Yıldız, O., 2020, Kapulukaya Barajı olası yıkılma sonrası taşkın etkilerinin araştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 1-10.
- Efe, H. (2022), Batman Barajının yıkılma analizi ve baraj güvenliği açısından değerlendirilmesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Dicle Üniversitesi, 99.
- Elevationcity, 2025, Afghanistan elevation, Afghanistan on topographic map, [online], <https://elevation.city/af/> [Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2025].
- Em, A. ve Hamidi, N., 2021, Kralkızı barajının olası yıkılması sonrası bir boyutlu taşkın analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(3), 535-541.
- Ergen, K. (2019), Baraj taşkın risk analizi Sakarya Geyve Doğantepe Barajı örneği, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya Üniversitesi, 76.
- Gündüzalp, G. (2020), İki boyutlu (2d) analiz ile baraj yıkılma taşkınının havza üzerinde incelenmesi: Melen Çayı örneği, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya Üniversitesi, 86.
- HEC-HMS, 2025, HEC-HMS Technical reference model, Snyder unit hydrograph model, [online], <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmstrm/transform/snyder-unit-hydrograph-model> [Ziyaret Tarihi: 7 Nisan 2025].

- ICOLD, 2025, World register of dams general synthesis definition of a large dam, https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp [online], CIGB ICOLD, [Ziyaret Tarihi: 18 Mart 2025].
- ICOLD, 2025, World register of dams general synthesis single – purpose dams multi – purposes dams [online], https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp, CIGB ICOLD, [Ziyaret Tarihi: 18 Mart 2025].
- ICOLD, 2025, World highest dams [online], https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/worlds-highest-dams, CIGB ICOLD [Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2025].
- ICOLD, 2025, Classification by reservoir capacity [online], https://www.icold-cigb.org/article/GB/world_register/general_synthesis/classification-by-reservoir-capacity, CIGB ICOLD [Ziyaret Tarihi: 03 Mayıs 2025].
- Kart, A. (2024), Coğrafi bilgi sistemleri uygulamaları kullanılarak Akdeğirmen Barajı'nın 2d baraj yıkılma analizlerinin yapılması, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Afyon Kocatepe Üniversitesi, 91.
- Loodin, N. ve Warner, J., 2022, A review of hydro-hegemonic dynamics on the transboundary Harirud River Basin: 2001–present, *Water*, 14(21), 3442.
- Maps of Wold, 2025, Afghanistan latitude and longitude map, order custom maps [online], https://www.mapsofworld.com/lat_long/afghanistan-lat-long.html [Ziyaret Tarihi: 3 Mayıs 2025].
- MEW, 2011, Ministry of Energy and Water (MEW) Islamic Republic of Afghanistan, detailed design, drawings, specifications, planning and design support during construction for pashdan irrigation and hydropower project Herat, Afghanistan, 98.
- Mohammady, A.J.(2022), Afganistan Belh Nehir alt havzası entegre su kaynakları yönetiminin WEAP programı ile modellenmesi, Yüksek lisans, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük Üniversitesi, 92.
- NASA Earthdata, 2025, ALOS PALSAR DEM data access [online], [https://search.asf.alaska.edu/#/?zoom=8.872¢er=62.602,33.443&polygon=POLYGON\(\(62.4037%2034.1852,62.6921%2034.1852,62.6921%2034.4053,62.4037%2034.4053,62.4037%2034.1852\)\)&dataset=ALOS&resultsLoaded=true&granule=ALPSRP046050670-KMZ](https://search.asf.alaska.edu/#/?zoom=8.872¢er=62.602,33.443&polygon=POLYGON((62.4037%2034.1852,62.6921%2034.1852,62.6921%2034.4053,62.4037%2034.4053,62.4037%2034.1852))&dataset=ALOS&resultsLoaded=true&granule=ALPSRP046050670-KMZ) [Ziyaret Tarihi: 1 Şubat 2025].
- Ölmez, S. (2024), Baraj yıkılma analizi; Değirmendere Barajı örneği, Yüksek lisans, *Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, 81.
- Pakniyat, H. (2015), Tahtalı Barajı'nın yıkılması durumunda oluşacak taşkın dalgalarının modellenmesi, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Dokuz Eylül Üniversitesi, 120.

- Palamut, N. (2014), Baraj yıkılma analizi ve uygulaması, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Gazi Üniversitesi, 108.
- Raofi, F. 2022, Afganistan-Çin ilişkilerinde ortaklık politikaları ve bölgesel rekabet, *International Journal of Social and Humanities Sciences Research (JSHSR)*, 9(86), 1533-1545.
- Salehi, M. ve Naimi, S., 2021, Afganistan'da su kaynakları yönetiminin değerlendirilmesi, *MAS Journal of Applied Sciences*, 6(2), 446-460.
- Shokory, J.A. ve diğ., 2023, Water resources of Afghanistan and related hazards under rapid climate warning: a review, *Hydrological Sciences Journal*, 68(3), 507-525.
- Şen, A. 2022, Afganistan: Us intervention and Taliban's return, *SDE Akademi Dergisi*, 2(4), 76-102.
- Şen, T. (2019), Atatürk Baraj bendinin yıkılmasıyla oluşacak taşkın ve etkilerinin CBS yardımıyla incelenmesi, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul Teknik Üniversitesi, 101.
- Tilav, E.S. (2021), Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın incelenmesi: Darlık Barajı örneği, Yüksek lisans, *Cerrahpaşa Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul Üniversitesi, 152.
- Türker, İ.Y., 2021, Baraj güvenliğinde risk yaklaşımı, [online], <https://www.linkedin.com/pulse/baraj-g%C3%BCvenli%C4%9Finde-risk-yakla%C5%9Fimi-i%C4%B1lmaz-t%C3%BCrker/> [Ziyaret Tarihi: 18 Mart 2025].
- Yaylak, M.M. (2016), Coğrafi bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla Bitlis Deresi taşkın risk analizi, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bitlis Eren Üniversitesi, 93.
- Yıldız, C. (2021), Baraj yıkılması taşkın risk analizi Yeşildere Barajı örneği, Yüksek lisans, *Fen Bilimleri Enstitüsü*, Fırat Üniversitesi, 93.
- Zalmi, M.L., 2013, Afganistan'ın kısaca tanıtım sunumu/briefly introduction of Afghanistan in turkish language [online], Slideshare, <https://www.slideshare.net/slideshow/afganstann-ksaca-tantm-sunumu-briefly-introduction-of-afghanistan-in-turkish-language/26706213>, [Ziyaret Tarihi: 6 Mart 2025].

EKLER

EK-1 Pashdan Barajı karakteristik bilgileri

Pashdan Barajı karakteristik bilgileri		
Proje adı	:	Pashdan Barajı
Baraj yeri	:	Karokh İlçesi, Herat İli, Afganistan
Baraj sınıfı	:	Çok amaçlı proje
Baraj türü	:	Kil çekirdekli kaya dolgu baraj
Baraj amacı	:	Sulama, hidroelektrik enerji üretimi, içme suyu temini
Su kaynağı	:	Harirud Nehir havzasının sağ kolu olan Karokh Nehri
Baraj uzunluğu (m)	:	1.156
Baraj yüksekliği (m)	:	42
Baraj kret genişliği (m)	:	8
Baraj kret kotu (m)	:	1.146
Baraj maksimum su kotu (tam rezervuar kotu) (m)	:	1.144,5
Normal koruma kotu (m)	:	1.139,5
Baraj rezervuar kapasitesi / brüt depolama hacmi (milyon metreküp)	:	54,22
Ölü depolama hacmi (milyon metreküp)	:	14,82
Ölü depolama kotu (m)	:	1.126,5
Rezervuar alanı (km ²)	:	14,11
Nehir yatak uzunluğu (m)	:	208
Rezervuar çevresi (km)	:	44
Sağ sahil kanalı bilgileri		
Sağ sahil kanalı kapasitesi (m ³ /s)	:	2,91
Sağ sahil kanalı alanı (hektar)	:	4.581
Sağ sahil kanalı uzunluğu (km)	:	11,02
Sağ sahil kanalı yan kolu (Rebat Surkh) uzunluğu (km)	:	4,61
Sağ sahil kanalı yan kolu (Pal Peeri) uzunluğu (km)	:	10,05
Sol sahil kanalı bilgileri		
Sol sahil kanalı kapasitesi (m ³ /s)	:	3,94
Sol sahil kanalı alanı (hektar)	:	8.310
Sol sahil kanalı uzunluğu (km)	:	14,17
Sol sahil kanalı yan kolu (Pashdan) uzunluğu (km)	:	10,66
Sol sahil kanalı yan kolu (Char Burj) uzunluğu (km)	:	9,84
Sol sahil kanalı yan kolu (Ali Afghan) uzunluğu (km)	:	7,91
Sol sahil kanalı yan kolu (Tunian) uzunluğu (km)	:	5,40
Sol sahil kanalı yan kolu (Khair Abad) uzunluğu (km)	:	2,35
Sultani su kanalı (joe-sultani) bilgileri		
Sultani su kanalı (joe-sultani) kapasitesi (m ³ /s)	:	0,59
Sultani su kanalı (joe-sultani) alanı (hektar)	:	1.000
Dolusavak bilgileri		
Genişlik (m)	:	114

Kret kotu (m)	:	1.142,5
Tasarım debisi (m ³ /s)	:	2722,5
Derivasyon kanalı bilgileri		
Genişlik (m)	:	20
Uzunluk (m)	:	230
Tasarım debisi (m ³ /s)	:	500
Koruyucu dolgu (m)	:	180

