



BARAJ YIKILMA ANALİZİ VE UYGULAMASI

Nazlı PALAMUT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2014

Nazlı PALAMUT tarafından hazırlanan “BARAJ YIKILMA ANALİZİ VE UYGULAMASI” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Yrd.Doç.Dr Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Başkan : Prof.Dr. Zafer BOZKUŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi

.....

Üye :Prof.Dr. Kurtuluş SOYLUK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 23/12/2014

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Nazlı Palamut

23/12/2014

BARAJ YIKILMA ANALİZİ VE UYGULAMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Nazlı PALAMUT

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2014

ÖZET

Baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın hareketinin belirlenmesi, baraj mansabında herhangi bir yerleşim yeri olması durumunda, tehlikenin saptanması açısından önemli ve gerekli bir çalışmadır. Bu tez çalışmasında; İzmir'in Ödemiş İlçesinde yapım çalışmalarına devam edilen ve mansabında 3 adet köy bulunan Rahmanlar Barajı'nın tek boyutlu ve üç boyutlu yıkılma analizleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ana amacı, barajın yıkılması sonucu oluşan taşkın mansapta yer alan köylere ulaşp ulaşamayacağını belirlenmesidir. Çalışmada tek boyutlu analizler için Amerika Birleşik Devletlerinin Milli Hava Servisinde (National Weather Service) geliştirilmiş olan HEC-RAS programı (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) ile üç boyutlu sayısal çözümler için Flow Science tarafından geliştirilmiş olan FLOW-3D hesaplamalı akışkanlar dinamiği yazılımı kullanılmıştır. Tek boyutlu HEC-RAS modelinde farklı senaryolar altında gerçekleştirilen yıkılma analiz sonuçları mansapta bazı bölgelerin olumsuz etkilenebileceğine işaret etmektedir. Fakat bir boyutlu dinamik analizlerde akımın doğrusal bir şekilde ilerlediği varsayıldığından, arazinin ve akımın fiziksel özelliklerinin daha doğru tanımlanabildiği üç boyutlu analizlere ihtiyaç duyulmuştur. Bu sebeple FLOW-3D yazılımında en kritik yıkılma senaryosu için taşkın sonuçları elde edilmiştir. Her iki modelde analiz sonucunda oluşan taşkın haritalanarak, yerleşim yerlerindeki kesitlerde maksimum su seviyeleri ve bu seviyelerin oluşma zamanları belirlenmiştir.

Bilim Kodu : 911.1.125

Anahtar Kelimeler : Baraj Yıkılması, Taşkınlar, HEC-RAS, FLOW-3D, Bir boyutlu ve üç boyutlu yıkılma analizi, Rahmanlar Barajı

Sayfa Adedi : 108

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

DAM BREAK ANALYSIS AND APPLICATION

(M. Sc. Thesis)

Nazlı PALAMUT

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2014

ABSTRACT

Dam Break Analysis is an important and essential study in determining flood behavior and defining risks on residential, commercial or agricultural areas located in dam's downstream regions. In the scope of this thesis, Dam Break Analysis of Rahmanlar Dam, which is under construction in Ödemiş, İzmir with 3 villages in the downstream area, has been carried out with one and three dimensional numerical models. The main purpose of these simulations was to define whether or not the flood wave after dam break reaches to the villages. For one dimensional analysis, the HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) software developed by US Army Corps of Engineers National Weather Service and for three dimensional analyses, the FLOW-3D Computational Fluid Dynamics software developed by Flow Science has been used. The results of one dimensional dam break analysis obtained from HEC-RAS model set up under different scenarios have shown that some residential areas in the downstream region of the Rahmanlar Dam could be under water due to flooding arising from the dam failure. However, since the flow is assumed to proceed straightly from one section to another section along flood path in one dimensional dynamic analysis, three dimensional modeling enables improved representation of physical properties/characteristics of topography and boundaries, thus describing the flood flow in detail and more realistically. Due to increased computational effort, only the most critical dam break scenario according to one dimensional simulation results has been analyzed with FLOW-3D. Flooded areas have been mapped according to the results of both analysis obtained by one and three dimensional simulations and the residential areas, the maximum water surface elevations and the time of occurrence of peak discharges have thus been determined. It can be concluded that one dimensional models can safely be used in an emergency case of dam break to determine the areas that could be under treat while three-dimensional models can be applied when sufficient time and resources are available for more detailed investigations and risks.

Science Code : 911.1.125

Key Words : Dam Break, Flood, HEC-RAS, FLOW-3D, one dimension and three dimensions failure analysis, Rahmanlar Dam

Page Number : 108

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardımlarını ve desteğini esirgemeyen danışman Hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Müsteyde BADUNA KOÇYİĞİT'e ve Tez İzleme Komitesi toplantılarındaki katkı ve destekleri için Prof.Dr. Zafer BOZKUŞ'a, tezin hazırlanması sırasında çok önemli yardımlarını gördüğüm İnşaat Mühendisi Erkay KEMALOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Tezin proje alanının bulunmasında gösterdiği yardımlardan dolayı İnşaat Mühendisi Hasan USUL'a, FLOW-3D programı ile ilgili sorularımı her seferinde sabırla yanıtlayan Nükleer Enerji Mühendisi Ömer Faruk KORKMAZ'a ve HEC-RAS analizlerinde karşılaştığım stabilite problemlerini çözmemde büyük yardımı dokunan İnşaat Mühendisi Hüseyin GÖREN'e teşekkürlerimi sunuyorum.

Çalışmalarım sırasında manevi desteğini esirgemeyen patronum İnşaat Mühendisi Sinan GÜLSOY'a ve her zaman yanımda olan çok kıymetli, sevgili annem Engin PALAMUT'a sonsuz teşekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Dünyada Mevcut Barajların Durumu.....	5
2.2. Baraj Yıkılma Analizi Hakkında Genel Bilgiler	7
2.3. Tarihte Gerçekleşen Baraj Yıkılma Olayları.....	9
2.3.1 Johnstown Taşkını-South Fork Barajı yıkılma olayının gerçekleşmesi....	13
2.4. Dolgu Barajların Değerlendirilmesi.....	14
2.5. Baraj Yıkılma Olaylarının İstatistikleri.....	16
3. ÇALIŞMA ALANI: RAHMANLAR BARAJI.....	21
3.1. Proje Alanı Hakkında Genel Bilgi.....	21
3.2. Rahmanlar Barajı.....	23
3.3. Rahmanlar Barajı Karakteristikleri	26
3.4. Baraj Mansabında Risk Altında Olan Alanlar	27
3.5. Rahmanlar Deresi Arazi Verileri.....	27
3.6. Rahmanlar Deresi Akım Verileri.....	36
4. BARAJ YIKILMA MODELLERİ VE OLUŞAN TAŞKINLAR.....	39

4.1. Taşkın Analizinin Önemi.....	39
4.2. Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkınların Belirlenmesinde Kullanılan Programlar	40
4.3. Bir Boyutlu Taşkın Analizi: HEC-RAS Programı Kullanılarak	42
4.3.1. Gedik parametreleri ve analizi	44
4.3.2. Nehir akışı ve rezervuar ötelemesi.....	55
4.4. Üç Boyutlu Taşkın Analizi: FLOW-3D Programı Kullanılarak	60
4.4.1. Topografya ve barajın modellenmesi	63
4.4.2. Sınır koşullarının tanımlanması	66
5. TEK BOYUTLU VE ÜÇ BOYUTLU ANALİZLER.....	71
5.1. HEC-RAS Analizleri.....	71
5.1.1. HEC-RAS baraj yıkılma sonuçlarının değerlendirilmesi	72
5.1.2. Taşkın haritalarının oluşturulması	82
5.2. FLOW-3D Analizleri	84
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	92
KAYNAKLAR	95
EKLER	100
EK-1. HEC-RAS Senaryoları Analiz Sonuçları: Hidrolik Tablolar	101
EK-2. HEC-RAS Senaryoları Analiz Sonuçları: Taşkın Hidrografları	104
EK-3. HEC-RAS Senaryoları Analiz Sonuçları: Su Yüzü Profilleri	106
ÖZGEÇMİŞ	108

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. 15 m'den yüksek barajların yükseklik ve baraj tipine göre dağılımı	6
Çizelge 2.2. Barajların depolama hacmine göre dağılımı	6
Çizelge 2.3. Baraj yıkılma nedenlerinin dağılımı	10
Çizelge 2.4. Yıkılan dolgu barajların yaşları	17
Çizelge 2.5. Yıkılan dolgu barajların rezervuar kapasiteleri	17
Çizelge 2.6. Yıkılan dolgu barajların inşaat süreleri	18
Çizelge 2.7. Yıkılan dolgu barajların yükseklikleri	18
Çizelge 2.8. Yıkılan dolgu barajların alt kategorileri	19
Çizelge 3.1. Rahmanlar barajı teknik özellikleri	26
Çizelge 4.1. Tarihte gerçekleşen baraj yıkılmaları sonucu oluşan kayıplar	40
Çizelge 4.2. Baraj yıkılması gedik parametreleri	47
Çizelge 4.3. Önerilen ampirik yöntemler	49
Çizelge 4.4. Froehlich (2008) yöntemine göre belirlenen yıkılma senaryoları	50
Çizelge 5.1. HEC-RAS farklı senaryolar altında yıkılma analizleri sonucu köylerde oluşan su kotları	81
Çizelge 5.2. Baraj aksında ve mansapta oluşan pik debiler ve oluşma zamanları	81

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. 1900-2000 yılları arasında barajların küresel dağılımı	5
Şekil 2.2. ICOLD'a kayıtlı barajların, baraj tipine göre dağılımları.....	6
Şekil 2.3. ICOLD'a bağlı barajların, kullanım amaçlarına göre dağılımı	7
Şekil 2.4. Amerika Birleşik Devletlerinde inşa edilmiş toplam baraj sayısı.....	8
Şekil 2.5. Rezervuar kapasitelerine göre yıkılma olayları.....	11
Şekil 2.6. Yüksekliklerine göre baraj yıkılma olayları.....	11
Şekil 2.7. Yıkılma olaylarının, baraj yükseklik ve tipine göre dağılımı	12
Şekil 2.8. Yıkılan barajların yaşlarının dağılımı	12
Şekil 2.9. Yıkılan barajların inşa edildiği tarihler	13
Şekil 2.10. Dolgu barajların tipleri.....	16
Şekil 2.11. Yıkılan baraj tiplerinin yüzde olarak dağılımı	16
Şekil 2.12. İstatistiki yıkılma olaylarının coğrafik dağılımı.....	17
Şekil 3.1. Rahmanlar Barajının bölgedeki yeri.....	22
Şekil 3.2. Barajın rezervuar ve mansap haritası.....	23
Şekil 3.3. Baraj gövdesi genel yerleşim planı.....	24
Şekil 3.4. Baraj gövdesi maksimum kesiti	25
Şekil 3.5. Baraj gövdesi boykesiti.....	25
Şekil 3.6. Öteleme mesafesi boykesit görünüşü	29
Şekil 3.7. Rahmanlar Barajı gövde aksından geçen kesit (3300 m)	30
Şekil 3.8. 3200 numaralı kesit	30
Şekil 3.9. 2950 numaralı kesit	31
Şekil 3.10. 2740 numaralı kesit	31
Şekil 3.11. 2590 numaralı kesit	31

Şekil	Sayfa
Şekil 3.11. 2590 numaralı kesit	31
Şekil 3.12. 2470 numaralı kesit	32
Şekil 3.13. 2300 numaralı kesit	32
Şekil 3.14. 2150 numaralı kesit	32
Şekil 3.15. 2020 numaralı kesit	33
Şekil 3.16. 1820 numaralı kesit	33
Şekil 3.17. 1700 numaralı kesit	33
Şekil 3.18 1565 numaralı kesit	34
Şekil 3.19. 1375 numaralı kesit	34
Şekil 3.20. 1235 numaralı kesit	34
Şekil 3.21. 1025 numaralı kesit	35
Şekil 3.22. 810 numaralı kesit	35
Şekil 3.23. 480 numaralı kesit	35
Şekil 3.24. 290 numaralı kesit	36
Şekil 3.25. Rahmanlar Barajı kot-alan-hacim eğrisi	37
Şekil 3.26. Rahmanlar Barajı olası en büyük taşkın debisinin hidrografi	37
Şekil 4.1. HEC-RAS programında modelleme için oluşturulan temel geometrik veriler	43
Şekil 4.2. Üzerinden aşma sonucu oluşan gedik boyutları	44
Şekil 4.3. Borulanma gedik boyutları.....	45
Şekil 4.4. HEC-RAS analizi başlatma ekranı	46
Şekil 4.5. Gedik değişkenleri.....	49
Şekil 4.6. HEC-RAS programına 1 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması	52
Şekil 4.7. HEC-RAS programına 2 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması	53

Şekil	Sayfa
Şekil 4.8. HEC-RAS programına 3 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması	53
Şekil 4.9. HEC-RAS programına 4 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması	54
Şekil 4.10. HEC-RAS programına 5 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması	54
Şekil 4.11. Ötelenen debi hidrografı	55
Şekil 4.12. Süreklilik denklemi için kontrol hacmi	57
Şekil 4.13. Momentum eşitliği için kontrol hacmi	58
Şekil 4.14. Bir hesap hücresinin yüzeyinde ve merkezinde etkiyen değişkenler	62
Şekil 4.15. Hesap hücresinin doluluk oranı.....	63
Şekil 4.16. Arazi sayısal modeli ve katı cisim haline getirilmesi	64
Şekil 4.17. FLOW-3D ızgara (mesh) ve geometri ekranı	65
Şekil 4.18. Baraj gövdesini oluşturan katı cisimler	65
Şekil 4.19. FLOW-3D programında göl alanının elde edilmesi	66
Şekil 4.20. FLOW-3D programına tanımlanan ızgara bloklarının üstten görünüşü.....	67
Şekil 4.21. Izgara bloklarına sınır koşullarının tanımlanması	68
Şekil 4.22. FLOW-3D programına tanımlanan fiziksel modeller	69
Şekil 5.1. Baraj kesitinde oluşan gedik geometrisi	71
Şekil 5.2. HEC-RAS programında olası yıkılma modeli ve taşkın yayılımı.....	72
Şekil 5.3. HEC-RAS programında suyun barajın üzerinden aşmasıyla yıkılmanın gelişimi	73
Şekil 5.4. Senaryo-1 yıkılmanın ardından 06:23 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili	75
Şekil 5.5. Senaryo-2 yıkılmanın ardından 06:43 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili	76
Şekil 5.6. Senaryo-3 yıkılmanın ardından 06:25 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili	77

Şekil	Sayfa
Şekil 5.7. Senaryo-4 yıkılmanın ardından 06:25 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili	78
Şekil 5.8. Senaryo-5 yıkılmanın ardından 06:25 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili	79
Şekil 5.9. HEC-RAS programında borulanma durumunda yıkılmanın gelişimi	80
Şekil 5.10. Yıkılma öncesinde gerçekleştirilen dinamik taşkın analizi sonucu oluşan taşkın haritası	82
Şekil 5.11. Senaryo-1 yıkılma analizi sonucunda mansapta oluşan taşkın haritası.....	83
Şekil 5.12. FLOW-3D programı analiz ekranı stabilite limitleri.....	84
Şekil 5.13. Soldan sağa (Gedik oluşumu başlamadan önce, gedik oluşumu tamamlandıktan sonra.....	84
Şekil 5.14. FLOW-3D simülasyonunun farklı saniyelerde görünüşü	85
Şekil 5.15. FLOW-3D simülasyonunun farklı saniyelerde görünüşü-devamı	86
Şekil 5.16. FLOW-3D programında Üzümlü ve Ortaköy köylerinin konumu.....	87
Şekil 5.17. Yıkılmadan 146 saniye sonra Üzümlü köyü ekseninde suyun gelişimi	88
Şekil 5.18. Simülasyonun t=610. saniyesinde Üzümlü köyü	88
Şekil 5.19. Yıkılmadan 325 saniye sonra 2. kesitte görülen su seviyesi.....	89
Şekil 5.20. Simülasyonun t=1261. saniyesinde 2. kesitte görülen maksimum su seviyesi	89
Şekil 5.21. FLOW-3D programında gerçekleştirilen yıkılma analizi sonucunda mansapta oluşan taşkın haritası (Google-Earth görünüşü)	90
Şekil 5.22. Simülasyonun t=1190. Saniyesinde Ortaköy köyünde görülen hız büyüklükleri	91
Şekil 6.1. Baraj aksında (km:3300) ve mansap kesitinde (km:290) taşkın hidrografi...	93
Şekil 6.2. Farklı zamanlardaki su yüzü profilleri.....	93

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

m^3	Metre
m^3	Metreküp
m^2	Metrekare
S	Depolama hacmi
Q_i	Giren debi
Q_{i+r}	Çıkan debi
h	Su yüzü yüksekliği
B_{avg}	Ortalama gedik genişliği
T_f	Yıkılma süresi
ER	Aşınma oranı
Ft	Feet
Yd^3	Yardküp

Kısaltmalar

Açıklamalar

ASCE	American Society of Civil Engineers
CFD	Computational Fluid Dynamics
DSİ	Devlet Su İşleri
FEMA	Federal Emergency Management Agency
HAD	Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği
HEC	Hydrologic Engineering Center
HGK	Harita Genel Komutanlığı
ICOLD	International Commission on Large Dams
NWS	National Weather Service

Kısaltmalar**Açıklamalar****RAS**

River Analysis System

RANS

Reynolds Average Navier Stokes

RNG

Re-Normalisation Group

TIN

Triangular Irregular Network

USCOLD

United States Cold Storage

USACE

US Army Corps of Engineers

VOF

Volume of Fluid

WCD

The World Commission on Dams

WRD

World Register of Dams

1. GİRİŞ

Barajlar; insanlığın su ve enerji ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla akarsu vadisinde akışı engellemek suretiyle inşa edilen su yapılarıdır. Toplumun yaşam koşullarını iyileştirmek amacıyla yapılan barajlar, varlıkları ile yaşam standartlarını artırarak bir nevi uygarlığa eriştirirler. Bu yüzden bir ülkenin var olan baraj miktarı o ülkenin uygarlık derecesi olarak kabul edilebilir. Özellikle birinci dünya ülkeleri dediğimiz gelişimini tamamlamış ülkeler baraj ihtiyaçlarının tamamına yakınına karşılarken, geri kalmış ve gelişmekte olan ülkelerde ise baraj sektörü hızla büyümektedir (Karakaya, K., 2005).

Barajların yaşamsal kullanım amaçlarından bazıları; yerel ve endüstriyel su temini, ağır yağış sonrası sel kontrolü, hidroelektrik enerji üretimi, sulama, rekreasyon ve su kalitesinin iyileştirilmesi gibi alanlardır. Özellikle enerji üretimi konusunda en doğal ve ekonomik çözüm hidroelektrik enerji üreten barajların inşasıdır. Ayrıca tarımsal sulama amaçlı yapılan baraj ve göletlerin sayısı da ülkemizde hızla artmaktadır.

Diğer yandan pek çok insan yapımı diğer yapı gibi barajlar da yıkılma potansiyeline sahip olduklarından, mansap bölgelerinde yaşayan insanların can ve mal varlığı için bir tehlike oluşturmaktadır. Bir baraj pek çok nedenden dolayı yıkılıp büyük felaketlere yol açabilir. Rezervuarlarında barındırdıkları büyük miktardaki suyun varlığı sebebiyle barajlar her zaman bir risk taşır. Barajın rezervuarı içinde depolanan büyük miktarlardaki su, gövdede oluşabilecek bir gedikten hızla kurtularak barajı yıkabilir.

Baraj rezervuarında depolanan suyun, mansap vadisinde bırakılması katastrofik taşkına sebep olabilir. Yoğun yağışlar tarafından tetiklenen sel ile karşılaştırıldığında, baraj yıkılması, genellikle çok daha yüksek büyüklükte pik akımlara sahip taşkınlara yol açar. Daha da önemlisi, pik akım debisinin oluşma süresi herhangi bir hidrolojik olayla görülenden daha kısa zamanda gerçekleşir. Bu sebeple mansapta yaşayan insanlar için uyarı süreleri kısadır.

Olası bütün baraj yıkılmalarını önlemek imkânsız olsa da yıkılmanın zararlarından kaçınmak mümkündür (FEMA P-956, 2013). Bu, ancak baraj mansabındaki yerleşim alanlarına taşkın dalgası ulaşmadan erken tahliye ile başarılabilir. Bu tür afetlerin olumsuz

etkilerini hafifletmek amacıyla, mevcut verilerle sayısal ve fiziksel modellere dayalı acil eylem planları oluşturulabilir. Bu modellerin yardımıyla her baraj yıkılma olayının sel bilgisi ve taşkın dalgalarının yayılım zamanı tahmin edilebilir ve bu sonuçlarla acil yönetim rehberleri düzenlenebilir. Bu acil durum planları; taşkın haritalarını, her yerleşim sınırı için uyarı zaman tablolarını ve en önemlisi can kaybından korunmak için erken uyarı sisteminin kurulmasını kapsayabilir.

Amerika Birleşik Devletlerinde 1970’li yıllarda görülen pek çok baraj yıkılması olayı kayda değer can ve mal kayıpları ile sonuçlanmıştır (USCOLD, 1975). Bu sebeple baraj yıkılması ile oluşabilecek katastrofik taşkın potansiyeli; devlet görevlileri, acil durum personeli, mühendisler ve araştırma görevlileri tarafından izlenmektedir. Amerika’da o tarihlerden günümüze baraj yıkılması hadiseleri hakkında geniş araştırmalar ve çalışmalar yoğun bir şekilde devam etmektedir.

Türkiye’de ise, son zamanlarda baraj yıkılma olaylarının potansiyel tehlikelerinin tahmini ve acil durum yönetimi için görevlilere işe yarar veri sağlayabilmek amacıyla baraj yıkılması olaylarının sayısal analizlerinin gerçekleştirilmesi yaygınlaşarak artmaktadır (Bozkuş, 1994; Bozkuş ve Kasap, 1998; Bozkuş ve Güner, 2001).

Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı; Türkiye’nin batısında yer alan İzmir İl’inin Ödemiş ilçesindeki Rahmanlar Barajı’nın sayısal yıkılma analizlerinin yapılmasıdır. Bu tezin konusu olan Rahmanlar Barajı gövde yüksekliğinin 90,5 m olması, baraj ana gövdesinin 10 m’lik bir alüvyon tabakasına oturması ve zeminde sıvılaşma riskinin olması gibi sebeplerle yıkılma potansiyeline sahip olduğundan, barajın birkaç kilometre mansabında yer alan Üzümlü ve Ortaköy köylerinin taşkın tehlikesi altında olup olmadığının kontrolüne gerek duyulmuştur.

Bu çalışmanın amacı; tek ve üç boyutta yapılan baraj yıkılma analizleri sonucunda, Rahmanlar Barajı’nın mansabında oluşacak riskin belirlenmesidir. Bu simülasyonlar çeşitli hidrolik koşullar altında ve pik debiler ile birlikte pik su yüzü seviyelerinde en kötü durum senaryosu için elde edilmiştir.

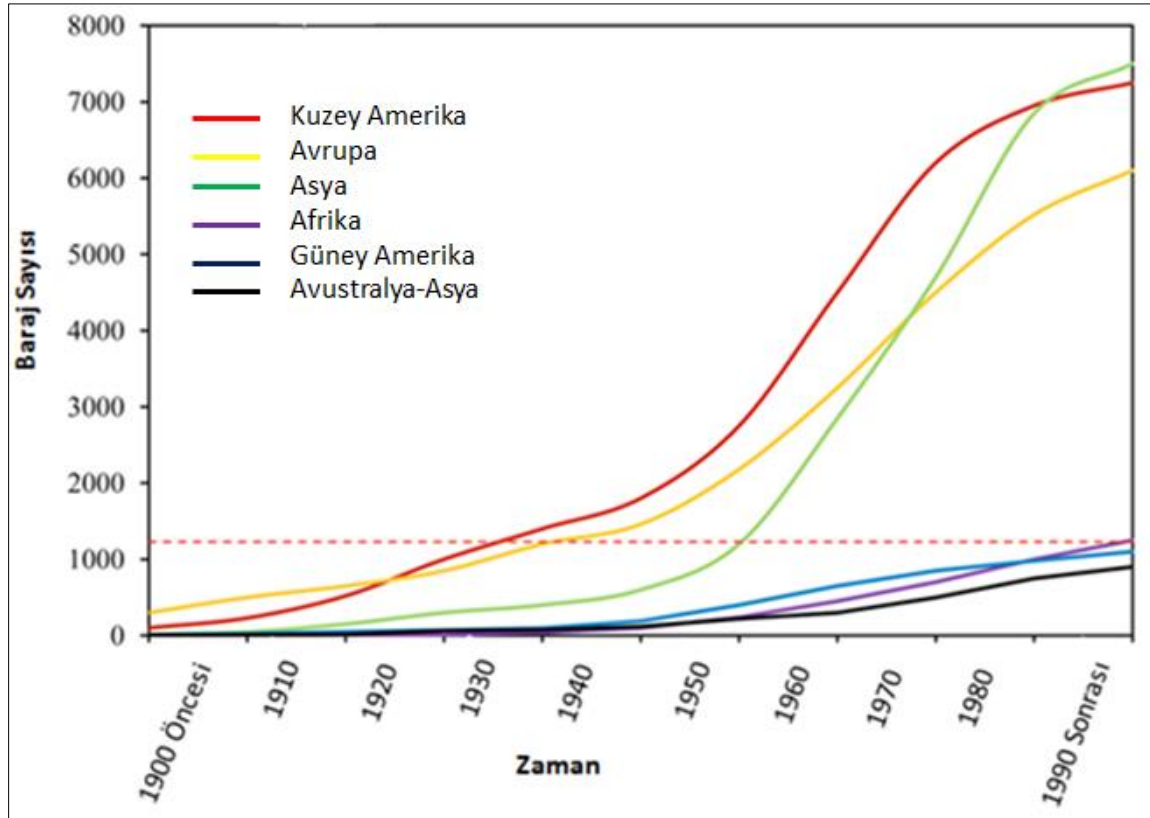
Rahmanlar Barajı mansabındaki yerleşimler için baraj yıkılma analizinin yapılması kaçınılmazdır. Bu analizlerin yapılması, acil durum esnasında tahmini taşkın dalgaları gelmeden önce insanları zamanında uyarmak ve onları güvenli yerlere tahliye edebilmek için gerekli hayati bilgilerin elde edilmesini sağlayacaktır. Tahmin edilemeyen baraj yıkılmaları çok sayıda insan yaşamının kaybolmasına sebebiyet verebilir. Önceden tahmin edilen baraj yıkılma sonuçları ise mansapta yaşayan halkın felaket gelmeden uyarılmasını temin edecektir.

Bu tez çalışmasında Rahmanlar Barajı yıkılma analizleri, Amerika Birleşik Devletleri Ordusu tarafından geliştirilmiş olan HEC-RAS programı ile bir boyutlu simülasyonlarla ve Flow Science Şirketi tarafından geliştirilmiş olan hesaplamalı akışkanlar mekaniği temeline dayalı FLOW-3D programı ile 3 boyutlu simülasyonlarla gerçekleştirilmiştir.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Dünyada Mevcut Barajların Durumu

Yüzyılı aşkın süre boyunca barajlar su depolayıp enerji ürettiler. Fakat dünya çapında baraj yatırımlarının % 90'ı, (milyonlarca küçük ve orta büyüklükte baraj ve yüzlerce 50 m'den büyük baraj) 1950'lerden sonra yapılmaya başlanmıştır (Lemperiere, F., 2013). Aşağıda verilen grafikte 6 kıtada 1950 öncesi ve sonrasında inşa edilen barajların artış grafikleri görülmektedir.



Şekil 2.1. 1900-2000 yılları arasında barajların küresel dağılımı (ICOLD, 1998)

Dünya üzerinde işletme halindeki milyonlarca baraj, rezervuarlarında toplam 6000 milyar m³ den fazla suyun depolanmasını sağlamaktadır. Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu tarafından (ICOLD) sınıflandırılan bu barajların 40000'i, 15 m'den yüksek olan büyük barajlar tanımına girmektedir. Bahsedilen rezervuar hacminin % 97'si, bu büyük barajlar tarafından oluşturulmaktadır (WCD, 2000). Aşağıda verilen tablolarda 15 m den büyük barajların, baraj tipine ve rezervuar hacimlerine göre dağılımları görülmektedir.

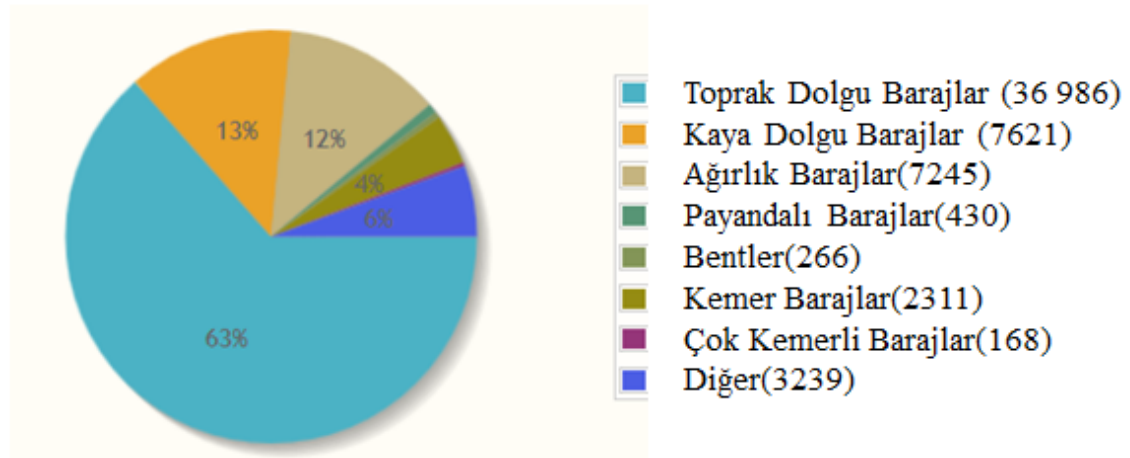
Çizelge 2.1. 15 m'den yüksek barajların yükseklik ve baraj tipine göre dağılımı (ICOLD-WRD, 2004-2010)

Yükseklik	Baraj Sayısı		
	Toprak ve Kaya Dolgu	Beton ve Yığma	Toplam
60-300 m	800	1200	2000
30-60 m	5000	2500	7500
15-30 m	27000	3500	30500
	32800	7200	40000

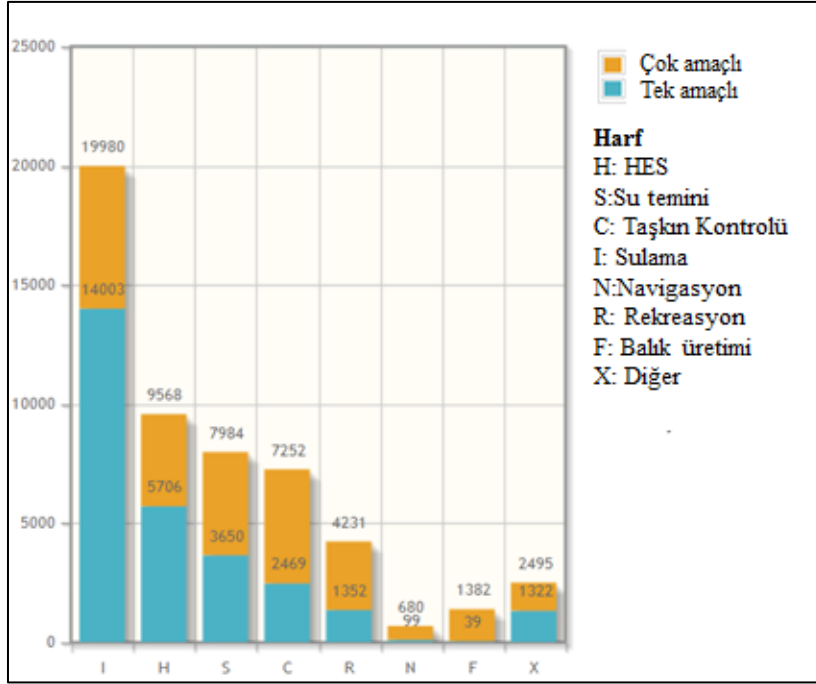
Çizelge 2.2. Barajların depolama hacmine göre dağılımı (ICOLD WRD, 2004-2010)

Birim depolama hacmi (milyon m ³)	Baraj Sayısı	Toplam Depolama hacimleri (milyar m ³)	Toplam Alan (bin km ²)
>1000	700	50000	250
10-1000	10000	1000	80
0.1-10	150000	150	40
<0.1	Milyonlarca	50	30
		6200	400

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD) dünya çapında baraj kayıtlarının tutulduğu en yaygın veri tabanı olarak bilinmektedir. Komisyon bütün çabalarına rağmen, bazı verilerin hala eksik olduğunu ifade etmektedir. Aşağıda verilen Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te, ICOLD veri tabanına kayıtlı toplam 58266 adet barajın, tiplerine ve yapım amaçlarına göre dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.2. ICOLD'a kayıtlı barajların, baraj tipine göre dağılımları (ICOLD-WRD, 2004-2010)



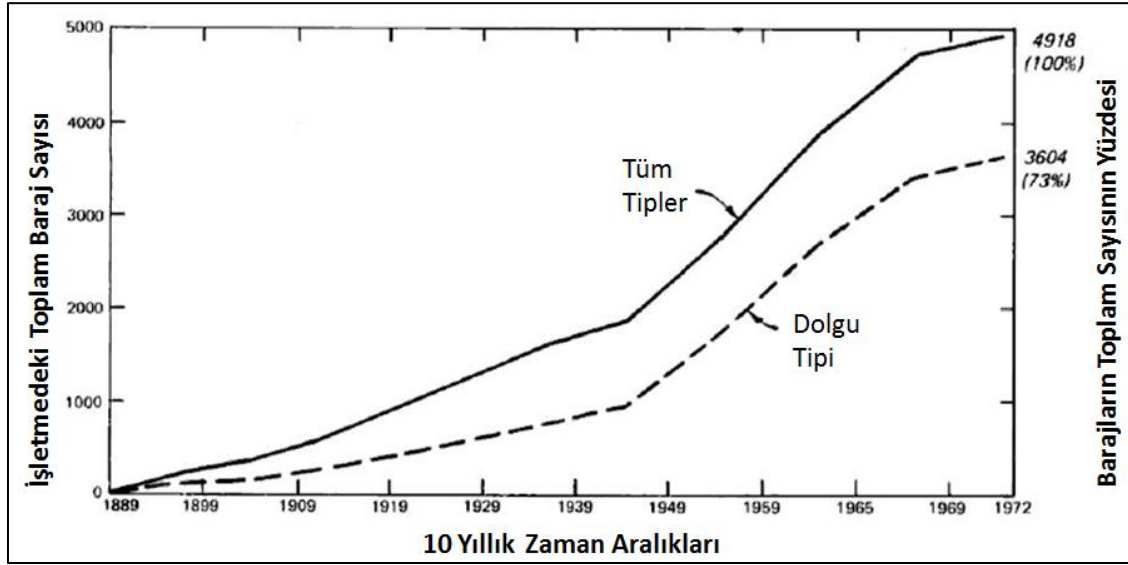
Şekil 2.3. ICOLD’a kayıtlı barajların, kullanım amaçlarına göre dağılımı (ICOLD-WRD, 2004-2010)

2.2. Baraj Yıkılma Analizi Hakkında Genel Bilgiler

Barajlar topluma çok önemli faydalar sağlamakla beraber, yıkıldıkları zaman meydana gelen katastrofik taşkın ve depolanan suyun oluşan gedik açıklığından hızla boşalması nedenleriyle mansapta birçok can ve mal kaybına yol açabilmektedir. Genellikle, baraj yıkılmasıyla oluşan debinin büyüklüğü, geçmişte meydana gelen bütün taşkınlardan daha büyük değerler almakta ve insanları uyarı süresi de daha kısa olmaktadır (Bozkuş ve Güner, 2000).

Baraj yıkılma taşkınlarının bir diğer karakteristik özelliği ise büyüyen akışın pike ulaşana kadar geçen zaman periyodunun aşırı kısa olmasıdır. Bu aynı zamanda taşkın durma zamanının da çok kısa olduğu anlamına gelmektedir. Hemen hemen bütün olaylarda, pike ulaşma zamanı, gedik oluşumunun başlangıcı ile tamamen gelişimine kadar gerekli zamanla aynıdır. Bu yıkılma zamanı bazı çok büyük barajlarda 1 saat veya daha fazla sürebildiği gibi çoğu baraj için dakikalar içerisinde gerçekleşmektedir. Taşkın bu özelliği pik debisinin yüksek olmasını sağlarken aynı zamanda, baraj gediğinden çıkan akımın, yağışların oluşturduğu tahmini feyezan taşkınına göre çok daha büyük ivme bileşenlerine sahip olmasına neden olmaktadır.

Amerika Birleşik Devletleri'nde ve dünyada birçok ülkede 30 yaşından daha eski birçok baraj vardır. Eski barajların birçoğu, mansap gelişimi için havza potansiyelinin artması, yapısal bozulmalar ve yetersiz dolusavak kapasitesi gibi sebeplerden dolayı artan yıkılma riskleriyle ciddi endişeler barındırmaktadır.



Şekil 2.4. Amerika Birleşik Devletlerinde inşa edilmiş toplam baraj sayısı (Singh, V., 1996)

Amerika Birleşik Devletleri 2013 altyapı raporunda; Amerika'da inşa edilmiş toplam 84000 barajın ortalama yaşının 52 olduğunu ifade edilmektedir. Bu barajların çoğu gelişmemiş tarım arazilerini koruma amaçlı, düşük tehlikeli barajlar olarak inşa edilmiştir. Fakat artan nüfus ve barajların sosyoekonomik etkileri nedeniyle yaşanan gelişmelere paralel olarak, yüksek tehlike altında olan barajların sayısı artarak, 2012 yılında bu sayı yaklaşık 14000'i bulmuştur (ASCE, 2013).

Bu barajların varlığından ve oluşacak herhangi bir problemin sonuçlarından haberdar olmayan Amerikan halkı için, Ulusal Baraj Programının, baraj güvenliği ile ilgili kamuoyunu bilinçlendirme ve baraj çevresindeki kamu bilincini artırmak gibi hayati önem taşıyan bir rolü vardır. Federal Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) ve Devlet Baraj Güvenliği Yetkilileri ortaklığıyla “Barajlarla yaşamak: Riskinizi Bilin” adında bir kitapçık çıkarılmıştır. Bu kitapçık barajlar hakkında: “Hangi amaçlarla hizmet veriyorlar?”, “Riskleri nelerdir?”, “Barajların yakınında nasıl yaşanır?” ve “Barajlar hakkında daha fazla bilgi nereden alınır?” şeklindeki sorulara cevap vermektedir (FEMA P-956, 2013).

2.3. Tarihte Gerçekleşen Baraj Yıkılma Olayları

İnşa edilmiş barajların yıkımından kaynaklanan seller, son iki yüzyılın en yıkıcı felaketlerinden bazılarına neden olmuştur. Barajlar yıkıldığında, maddi hasar kaçınılmazdır. Ancak can kaybı; su altında kalan alanın ve risk altındaki nüfusun büyüklüğü ile mevcut uyarı zamanının miktarı önemli ölçüde değişebilir. Bu yüzden baraj yıkılma karakteristiklerini sağlıklı tanımlamak, afetlerden korunma veya etkilerini azaltma gibi nedenlerden ötürü kritik öneme sahiptir.

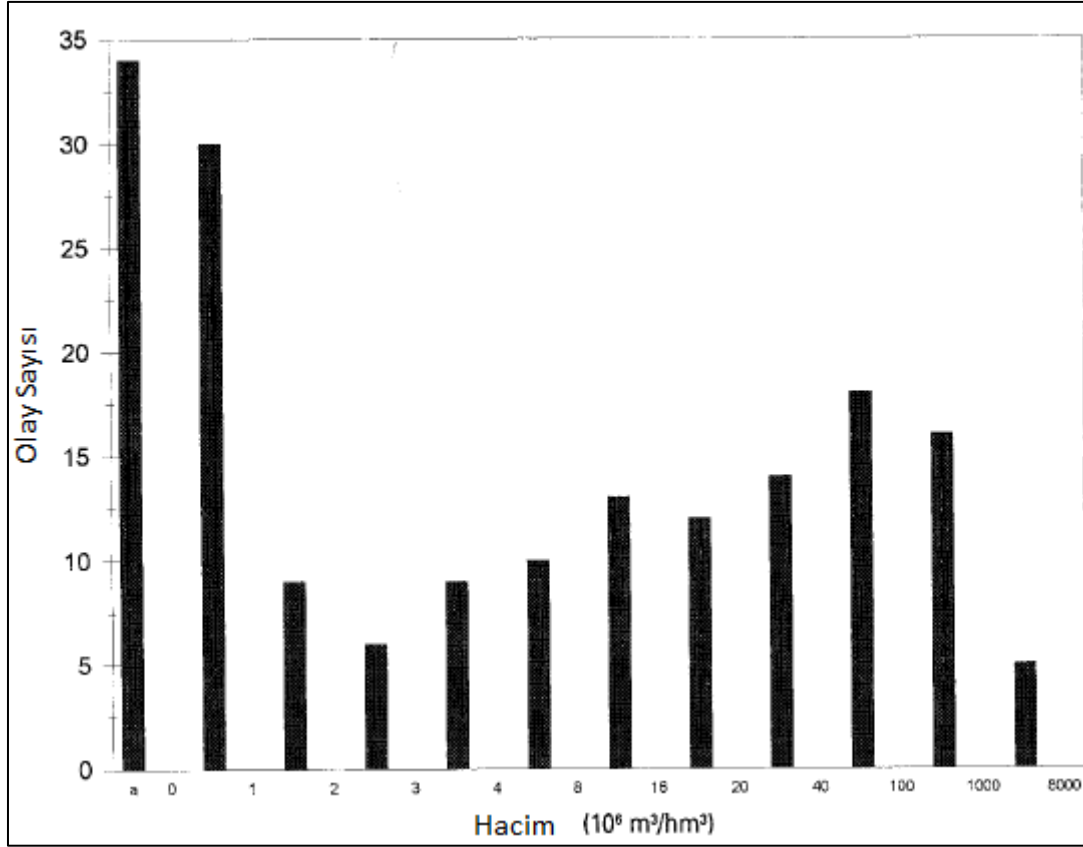
Dünya çapında meydana gelen bütün baraj yıkılma olayları 11100’den fazla kişinin ölümüyle sonuçlanmıştır. Aşağıda verilen Çizelge 2.3’te tarihte gerçekleşen baraj yıkılma olaylarının can ve mal kayıpları açısından değerlendirilmesi görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi bu barajlardan sadece 3’ü toplam can kaybı sayısının % 60’ını oluşturmaktadır. Toprak kaymasının ardından oluşan dalgaların beton kemer baraj tipindeki Vaiont Barajı’nın (İtalya, 1963) üzerinden aşması sonucu yıkılmasıyla 3000 kişinin ölümüne, 1889 yılında South Fork Barajı’nın (Pennsylvania) dolgu gövdenin üzerinden suyun aşması sonucu yıkılmasıyla 2200 kişinin ölümüne ve aynı sebeple 1974 yılında yıkılan Machhu II Barajı (Hindistan), 2000 kişinin ölümüne neden olmuştur (Costa, 1985).

Çizelge 2.3. Baraj yıkılma nedenlerinin dağılımı (Lou, 1981)

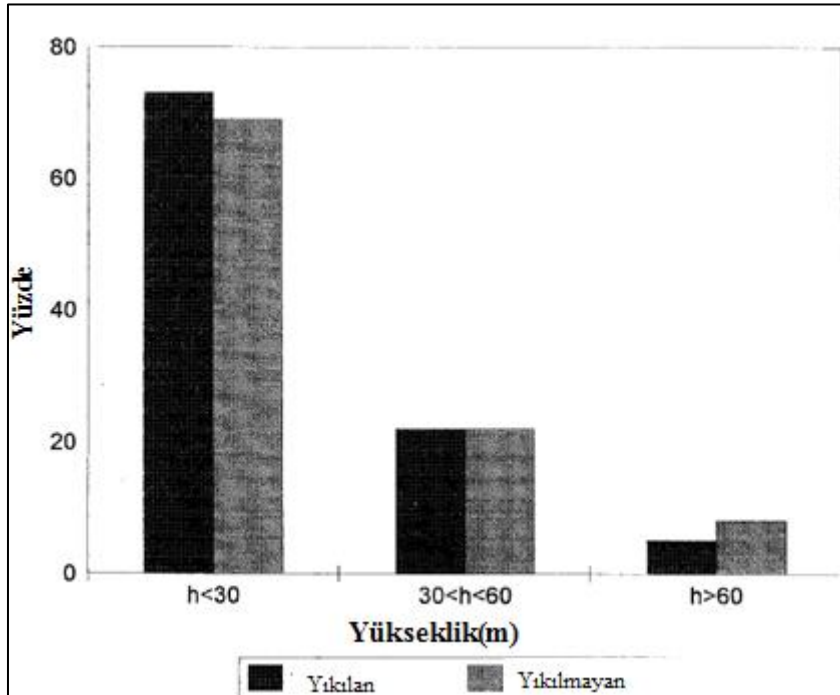
Barajların Yıkılma Nedenleri	Middlebrooks (1953)	Gruner (1967)	Takase (1967)	Babb & Mermel (1968)	Biswas & Chatterjee (1971)	USCOLD (1975)
Dolusavak veya üzerinden aşma	30	23	28	36	35	38
Borulanma veya Sızma	38	40	44	30	25	44
Kayma	5	2	10	15	-	9
Diğer Sebepler	17	35	18	19	40	9

da Silveria (1990) tamamlanma zamanlarına ve yüksekliklerine göre gruplandığı baraj tiplerinin yıkılma olasılıklarını karşılaştırmıştır. Araştırmacı, 1900 yılından sonra yapılan 15 m'den yüksek 90 adet barajın yıkılma sebeplerini analiz etmiş ve hemen hemen yarısının üzerinden suyun aşması sonucu meydana geldiğini tespit etmiştir. Analizleri sonucunda bu olayların % 41'inin yetersiz tasarlanmış dolusavak, %21'inin ise dolusavak kapak işletme problemlerinden dolayı suyun barajın üzerinden aşması sonucu gerçekleştiğini belirlemiştir. Aynı araştırmada kret yerleşimi, mansap erozyonu ve yapısal dengesizlikler de baraj yıkılmasının diğer sebepleri olarak gösterilmiştir.

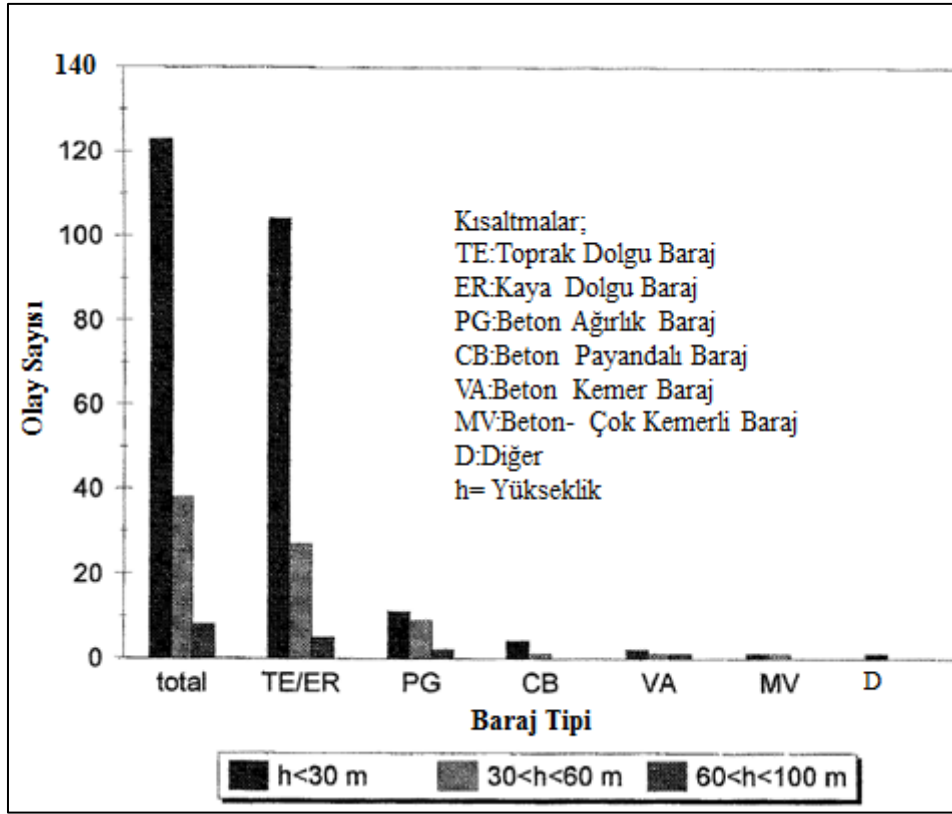
Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonun (ICOLD) 1995 yılında yayınladığı derginin 99. sayısında, baraj yıkılma olaylarının çeşitli istatistikleri verilmiştir. Derginin bu sayısında geçmişten günümüze yıkılan barajların; yıkılma yaşları, inşa edildiği yıllar, gövde tipleri ve yüksekliklerine göre dağılımları grafiksel verilerle anlatılmıştır. Bu dağılımlara göre 30 m'den alçak ve dolgu gövdeli barajlarda yıkılma oranlarının daha yüksek olduğu yorumu rahatlıkla yapılabilmektedir. Ayrıca Şekil 2.8'de verilen grafiğe bakılarak, yıkılma olaylarının çoğunlukla inşaatı sırasında gerçekleştiği de söylenebilir.



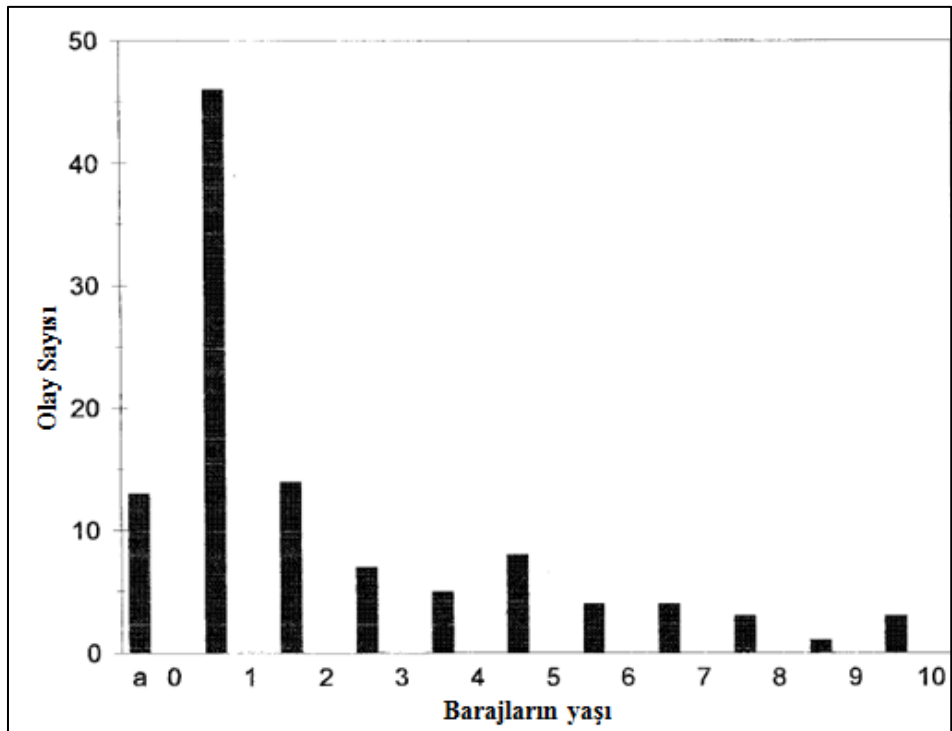
Şekil 2.5. Rezervuar kapasitelerine göre yıkılma olayları (ICOLD Sayı B99, 1995)



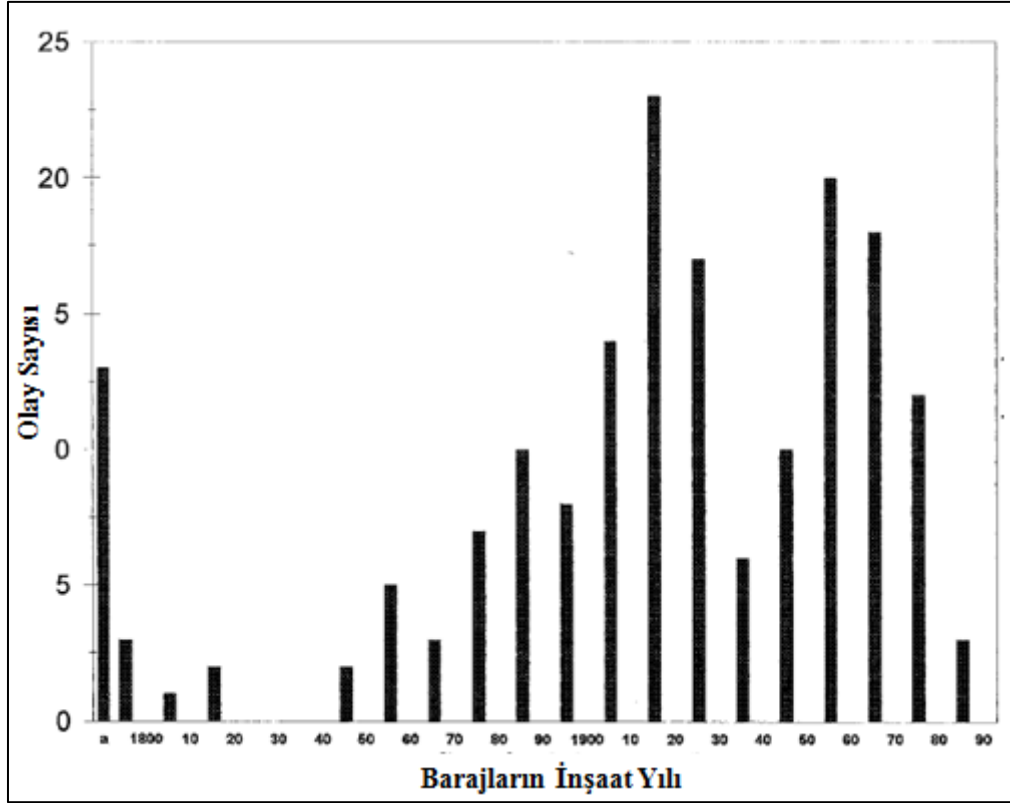
Şekil 2.6. Yüksekliklerine göre baraj yıkılma olayları (ICOLD Sayı B99, 1995)



Şekil 2.7. Yıkılma olaylarının, baraj yükseklik ve tipine göre dağılımı (ICOLD Sayı B99, 1995)



Şekil 2.8. Yıkılan barajların yaşlarının dağılımı (ICOLD Sayı B99, 1995)



Şekil 2.9. Yıkılan barajların inşa edildiği yıllara göre dağılımı (ICOLD Sayı B99, 1995)

2.3.1. Johnstown Taşını-South Fork Barajı yıkılma olayının gerçekleşmesi

Gövdeyi oluşturan malzemenin aşınıp sürüklenebilir olması durumunda (dolgu barajlar), suyun baraj kretinin üzerinden aşması durumundan kesinlikle sakınmak gerekmektedir. Ne kadar az olursa olsun, herhangi bir su aşması barajın mansabını aşındırmakta gecikmeyecektir. Bu şekilde tahriplerin sonucu baraj profili zayıflayarak inşaatın hızlı bir şekilde yıkılmasına neden olabilmektedir (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, S.J., 2007).

1889 yılında yıkılan Johnston barajı Pennsylvania eyaletinin en büyük sanayi şehri olan Johnstown Şehrinde yer alan, her iki yamacı da taş örtü ile korunmuş ve mansap tarafı daha fazla çakıllı malzemeden oluşan bir toprak dolgu barajdı (Miller, A., 2010).

Baraj gövdesindeki birinci hareket ve yerel tahribatlar gövde üzerinde yer alan su alma yapısındaki bir hata yüzünden, 1862 yılında gerçekleşmiştir. Şans eseri bu tahribat nispeten az zarar vermiştir. Hazne yarı dolu durumda olduğundan suyun akışı tamamen tabandan

gerçekleşerek, mansapta kuvvetli bir çıkış olmamasını sağlamıştır. Yapı, yarı tahrip olmuş durumda 1879 yılına kadar kalmış daha sonra yeniden inşasına karar verilmiştir.

Alttan oyulmuş ve sıklılığını kaybetmiş olan eski gövde olduğu gibi bırakılmış ve baraj kreti bunun üzerine tekrar yapılmıştır. Baraj yüksekliği azaltılmış fakat mevcut dolusavak derinliği arttırılmadığından, zeminde gerçekleşen oturmalar sonunda savak kreti ile baraj kreti arasında az bir mesafe bırakılmıştır. Bu şartlarla taşkın kapasitesi üçte bire inen dolusavak, büyük yıkılma tehlikesine davetiye çıkarmıştır.

1889 ilkbaharında sağanak halinde başlayan yağmurlar haznede saatte 30 cm civarında su yükselmesine sebep olmuştur. Felaketin yaklaştığını hisseden işçiler dolusavak kanalını genişletmeye çalışmış fakat bu çaba için çok geç kalındığından suyun kret üzerinden aşması önlenememiştir.

Baraj üzerinden suyun akışı yarım saat kadar sürmüş ve bunun sonucu krette küçük bir yarık açılmıştır. Önce dar ve yüzeysel olan bu yarık, temel kayasına kadar zamanla derinleşmiş, genişlemiş ve üç saat içinde toprak kitle içinde ani olarak 80 m'lik bir genişliğe dönüşmüştür. Bu geniş yarıktan, büyük bir su kütlesi kurtularak 12 m. yüksekliğinde bir dalga halinde vadiyi kaplamış ve bunun sonucunda 2200 kişinin ölümüne neden olmuştur (Unrau,1980).

2.4. Dolgu Barajların Değerlendirilmesi

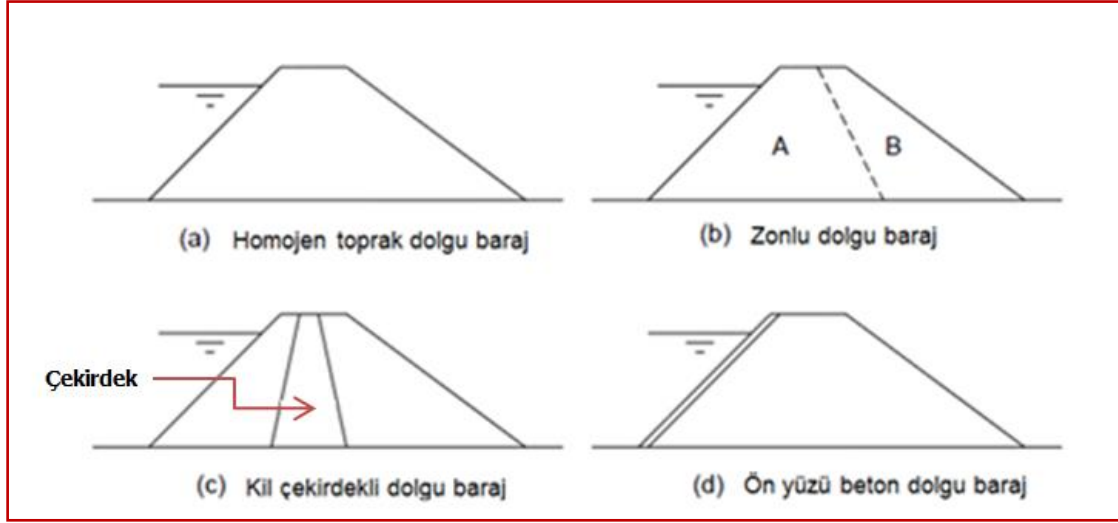
Toprak veya kaya malzemesi ile inşa edilen barajlar dolgu baraj adını almaktadır. Dolgu barajların geçmişi beton barajlardan çok daha eskiye dayanmaktadır. Doğuda yaşamış büyük uygarlıklardan kalma, yaklaşık 3000 yıl önce yapılmış, bazı dolgu barajlar olduğu bilinmektedir.

63 ülkenin üyesi olduğu Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu tarafından geliştirilen standartlara göre, 15 m'den yüksek barajlar; büyük barajlar olarak tanımlanmıştır (Flögl, W., 2004-2010). ICOLD veri tabanına kayıtlı olan toplam 58266 adet barajın yaklaşık % 80'ini dolgu barajlar oluşturmaktadır. Bu sonuca göre dolgu barajların inşasına dünya çapında bir eğilim olduğu söylenebilmektedir. Dolgu barajların inşasının başlıca avantajları aşağıdaki gibidir.

1. Beton barajın üzerine oturduğu zeminin sert ve sağlam kaya olması gerekirken, dolgu barajlarda zemin için bu kadar sıkı şartların aranmasına gerek olmamaktadır.
2. Dolgu barajların bünyesinde kullanılan ana malzemeler baraja yakın olan malzeme sahalarından temin edilebilmektedir. Bu sebeple dolgu barajların inşaatı ekonomik avantajlara sahiptir.

Dolgu barajlar doğal toprak hariç her tip jeolojik malzeme ile inşa edilebilmektedir. Yukarıda bahsedildiği gibi çoğu dolgu baraj ekonomik olması açısından baraj çevresindeki malzeme sahalarından yararlanılarak inşa edilmektedir. Ana malzemenin dışında gerekli filtreler, drenaj malzemesi ve riprap gibi özel zonlar şantiye alanı dışından getirtilebilmektedir.

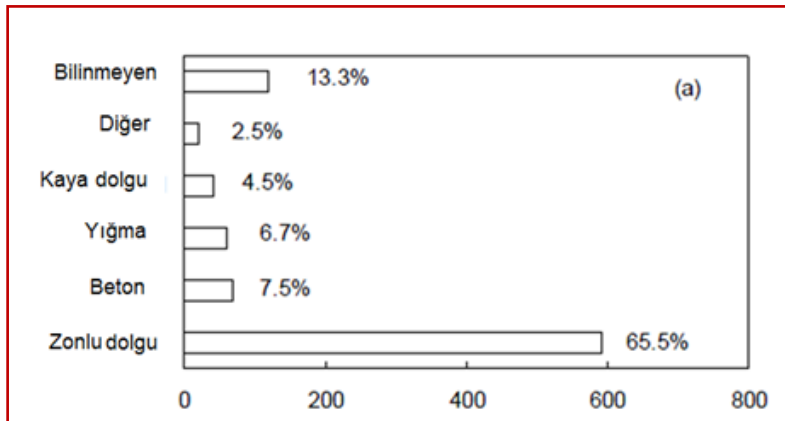
Dolgu barajlar inşaatında kullanılan ana zemin malzemesinin tipine göre; toprak dolgu barajlar ve kaya dolgu barajlar olmak üzere 2 ana kategoride sınıflandırılmaktadır. Ayrıca baraj kesitlerinin düzenlenmesine göre dolgu barajlar; kil çekirdekli dolgu barajlar, homojen malzemeli dolgu barajlar, zonlu malzemeli dolgu barajlar ve ön yüzü beton kaplı dolgu barajlar olmak üzere 4 alt kategoriye ayrılmaktadır. Homojen dolgu barajlar bütün kesit boyunca aynı dolgu malzemesi kullanılarak inşa edilen barajlardır. Zonlu malzemeli dolgu barajlar birkaç farklı malzemenin kullanıldığı bölgelere ayrılan baraj tipidir. (Şekil 2.10 b.'de verilen A ve B bölgesi farklı zemin tiplerinden oluşmuştur.) Çekirdek duvarlı dolgu barajlar, dolgu malzemesi ve genelde düşeyde veya memba yönünde eğimli olarak inşa edilen az geçirimli duvar (kil veya beton) ile inşa edilmektedir. Ön yüzü beton dolgu barajlar ise toprak dolgu ve memba yüzünde geçirimsiz beton yüzeyden oluşmaktadır.



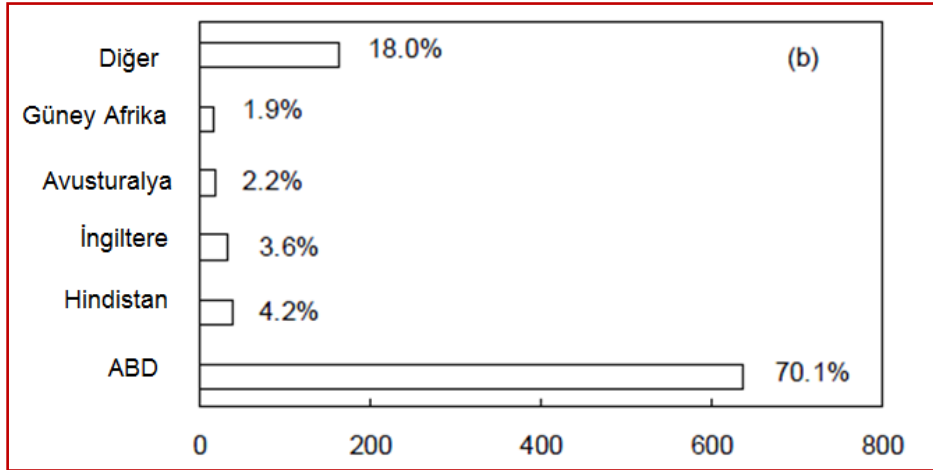
Şekil 2.10. Dolgu barajların tipleri (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, S.J., 2007)

2.5. Baraj Yıkılma İstatistikleri

Çin hariç dünya çapında 900'den fazla baraj yıkılma olayı literatürden (Vogel 1980; USCOLD 1988; Singh 1996) toplanarak bir veri tabanında derlenmiştir. Barajların karakteristikleri ve yıkılma bilgileri toplanarak toprak dolgu barajlar, beton barajlar, yığma barajlar, kaya dolgu barajlar ve diğer tipte barajların yüzdeleri kıyaslanmış ve kum çakıl dolgu barajların tüm yıkılma olaylarının % 66'sını oluşturduğu görülmüştür. Aşağıda verilen grafiklerde ABD, Hindistan ve İngiltere'nin de aralarında olduğu 50'den fazla ülkeden toplanan yıkılma olayı verilerinin farklı baraj tipleri için dağılımları görülmektedir (Zhang, Xu ve Jia, 2007).



Şekil 2.11. Yıkılan baraj tiplerinin yüzde olarak dağılımı (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, S.J., 2007)



Şekil 2.12. İstatistiki yıkılma olaylarının coğrafik dağılımı (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, J., 2007)

Çizelge 2.4. Yıkılan dolgu barajların yaşları (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, S.J., 2007)

Yaş aralığı	Olay Sayısı	Yüzdesi (%)
0-1	85	14,3
1-5	96	16,2
5-10	36	6,1
10--20	62	10,5
20-40	58	9,8
40-60	31	5,2
60-80	16	2,7
80-100	7	1,2
100-150	10	1,7
>150	6	1,0
Bilinmeyen	186	31,3
Toplam	593	100,0

Çizelge 2.5. Yıkılan dolgu barajların rezervuar kapasiteleri (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, S.J., 2007)

Kapasite aralığı ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	Olay sayısı	Yüzdesi (%)
>1000	7	1,2
1000-100	19	3,2
100-10	62	10,5
10-1	63	10,6
<1	96	16,2
Bilinmeyen	364	58,3
Toplam	593	100,0

Çizelge 2.6. Yıkılan dolgu barajların inşa edildiği tarihler (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, S.J., 2007)

İnşaat yılı aralığı	Olay sayısı	Yüzdesi (%)
1800 den Önce	8	1,3
1800-1849	11	1,9
1850-1859	8	1,3
1860-1869	14	2,4
1870-1879	5	0,8
1880-1889	21	3,5
1890-1899	32	5,4
1900-1909	38	6,4
1910-1919	50	8,4
1920-1929	41	6,9
1930-1939	31	5,2
1940-1949	22	3,7
1950-1959	38	6,4
1960-1969	53	8,9
1970-1979	36	6,1
1980-1989	9	1,5
1990 dan Sonra	2	0,3
Bilinmeyen	174	29,6
Toplam	593	100,0

Çizelge 2.7. Yıkılan dolgu barajların yükseklikleri (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, S.J., 2007)

Yükseklik oranı (m)	Olay sayısı	Yüzdesi (%)
>100	4	0,7
100-60	10	1,7
60-30	44	7,4
30-15	135	22,8
<15	301	50,8
Bilinmeyen	99	16,6
Toplam	593	100,0

Çizelge 2.8. Yıkılan dolgu barajların alt kategorileri (Zhang, M.L., Xu, Y. ve Jia, S.J., 2007)

Dolgu baraj tipi	Olay sayısı	Yüzdesi (%)
Homojen toprak dolgu	38	6,4
Zonlu toprak dolgu	9	1,5
Kil Çekirdekli toprak dolgu	12	2
Ön yüzü beton toprak dolgu	2	0,3
Bilinmeyen ¹	532	89,8
Toplam	593	100

Ayrıca aynı istatistiksel çalışmada yıkılan toprak dolgu barajlar zonlarına göre kategorize edilmiş, bilinmeyenler çıkarıldığı takdirde en yüksek yıkılma oranlarının homojen toprak dolgu barajlarda gerçekleştiği görülmüştür (Çizelge 2.8).

¹ Bu araştırmada bahsi geçen yıkılan dolgu barajların sadece 61 tanesinin alt kategorisi bilinmektedir. Dolgu malzemesi bilinmeyen diğer dolgu barajlar “Bilinmeyen” grubunda verilmektedir.

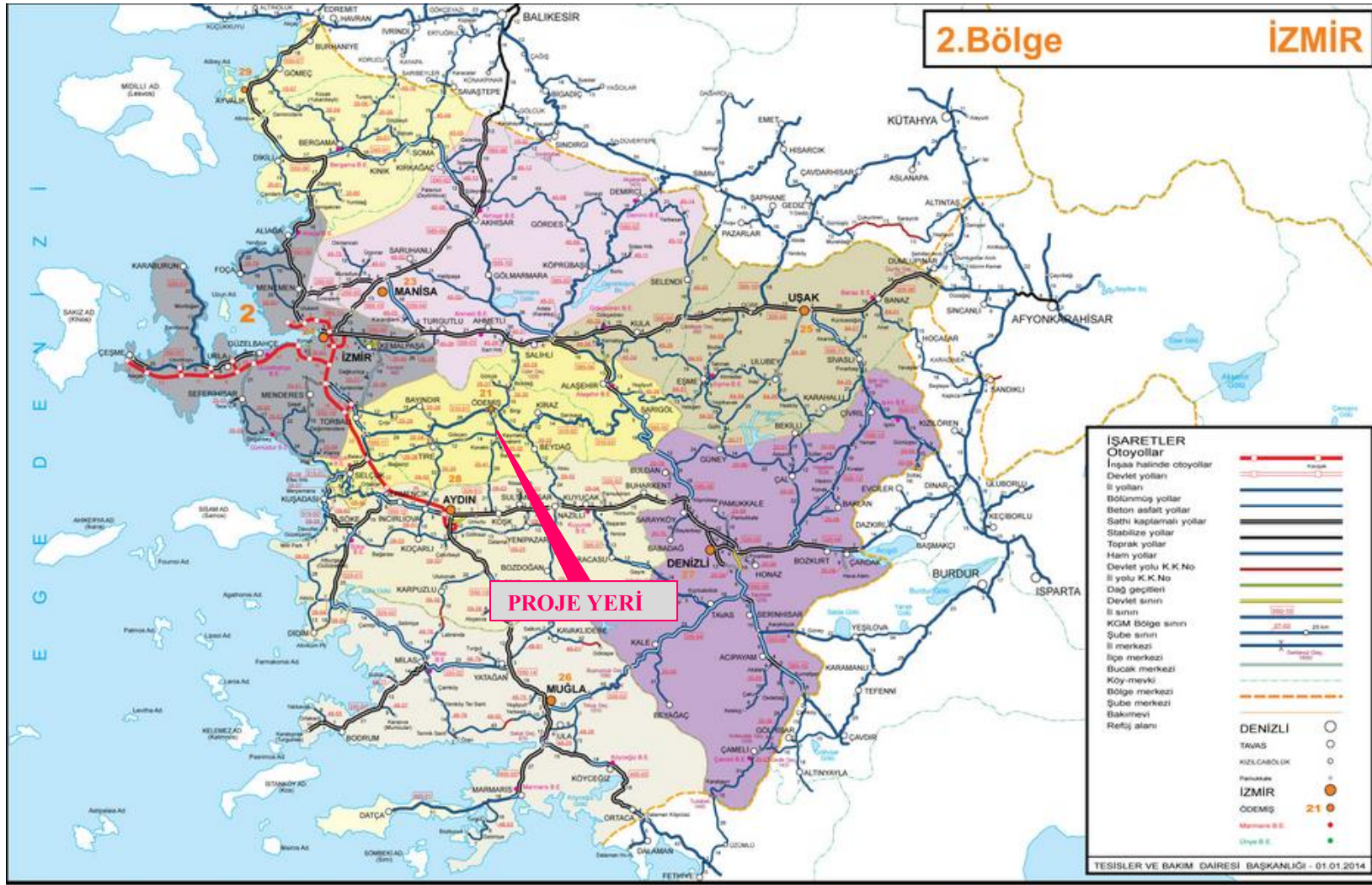
3. ÇALIŞMA ALANI: RAHMANLAR BARAJI

3.1. Proje Alanı Hakkında Genel Bilgi

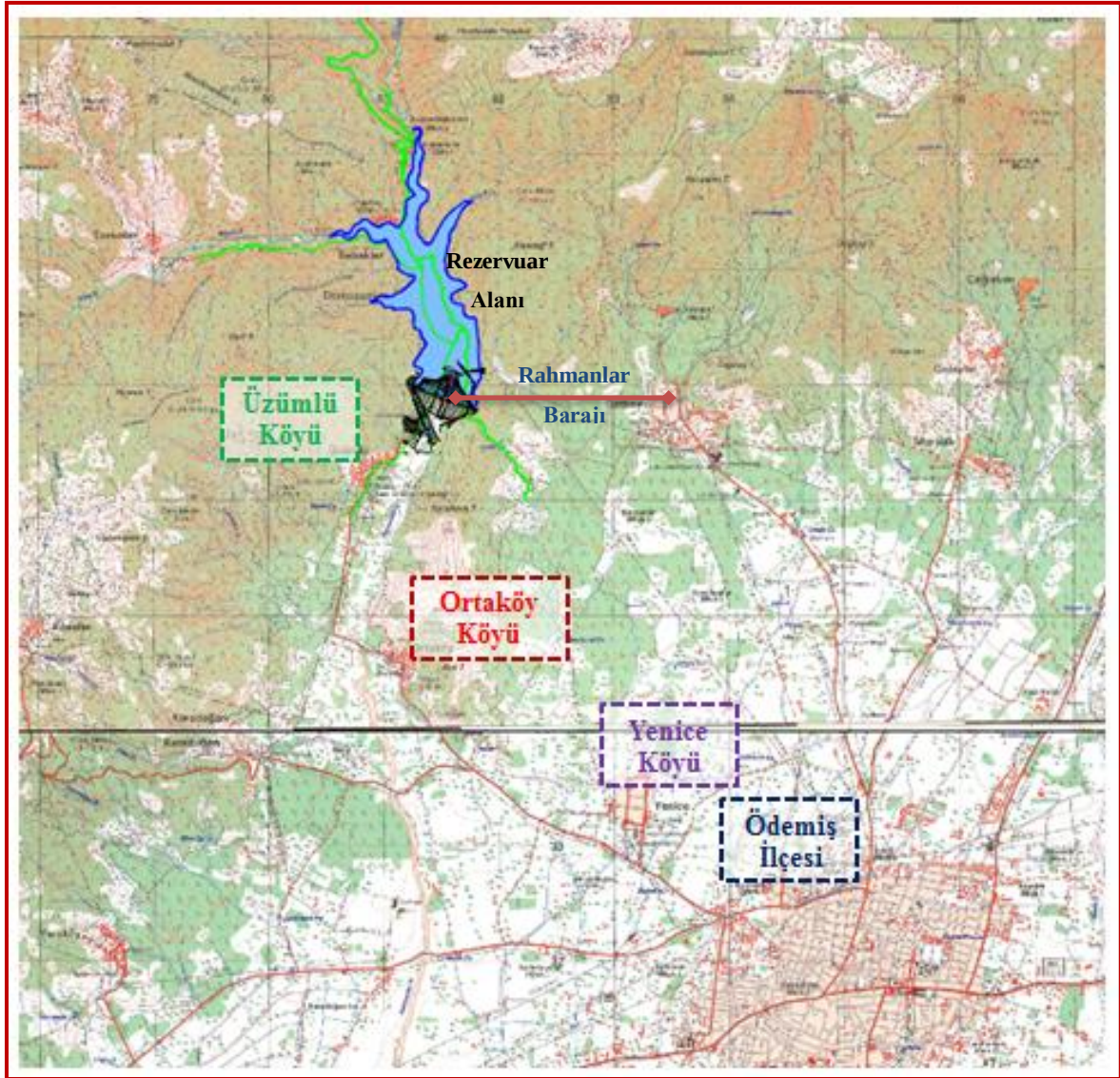
Proje alanı, Türkiye'nin batısında yer alan İzmir İlinin, 120 km güneydoğusundaki Ödemiş İlçesi'nin yaklaşık 6 km kuzeybatısında yer alan Üzümlü köyü'nün, doğusunda akan Rahmanlar Deresi üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3.1).

Rahmanlar Barajı Ege Bölgesi'nde İzmir İli sınırları içinde yer alan Küçük Menderes nehrinin su potansiyelinin değerlendirilerek ekonomimize kazandırılması amacıyla, 2001 yılında planlama çalışmaları tamamlanarak DSİ Genel Müdürlüğü Etüt ve Planlama Dairesi Başkanlığınca tasdik edilmiş olan sulama, içme ve kullanma suyu temini amaçlı “Küçük Menderes Projesi” kapsamında yer almaktadır.

Proje alanı uzunluğu 110 km'dir. Alanda Ödemiş ilçesi, Yeniköy, Üzümlü, Demircili ve Ortaköy arazileri yer almaktadır. Alanın batısında Yeniköy ve Işık, doğusunda Ödemiş ilçesi, kuzeyinde Bebekler, Dereuzunyer ve Üzümlü köyleri, güneyinde Küçük Menderes yer almaktadır (Rahmanlar Barajı Kati Proje Albümü, Cilt VIII-B) (Şekil 3.2).



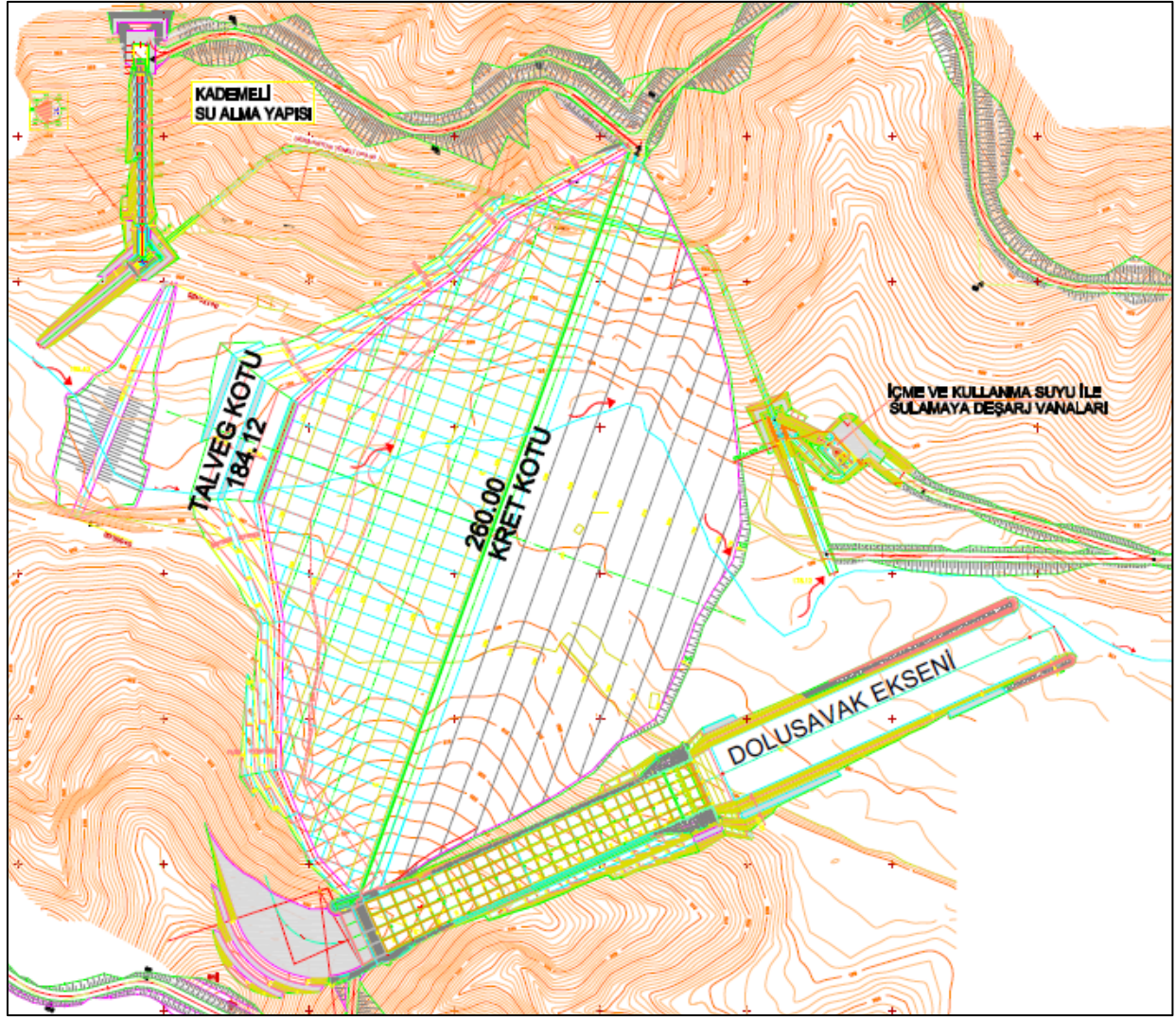
Şekil 3.1. Rahmanlar barajının bölgedeki yeri



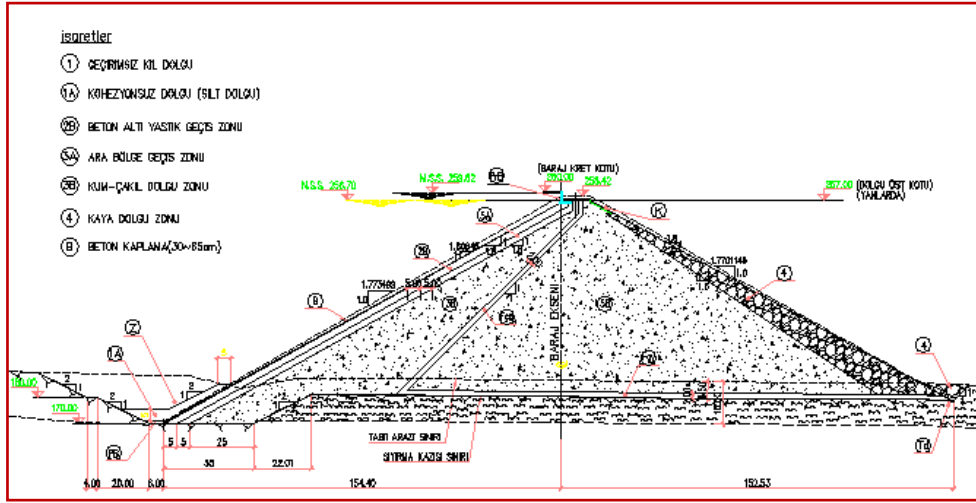
Şekil 3.2. Barajın rezervuar ve mansap haritası (1/25000)

3.2. Rahmanlar Barajı

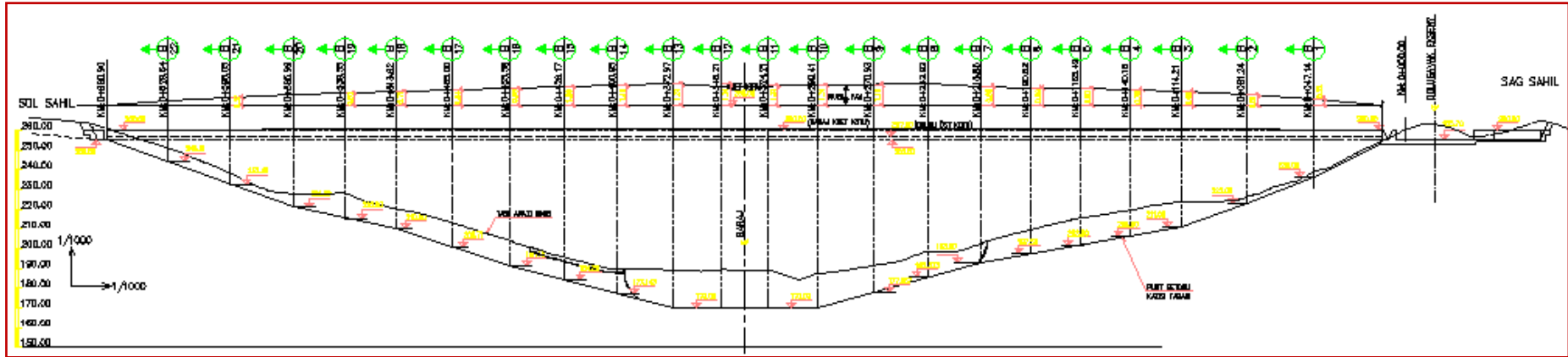
Rahmanlar Barajı gövde tipi ön yüzü beton kaplı kum çakıl dolgu olarak tasarlanmıştır. Temelden yüksekliği 92.30 m ve talvegden yüksekliği 75 m olan gövde, kum çakıl malzemeden ve mansabında kaya dolgu zonundan oluşmaktadır. (Şekil 3.3) Gövdede geçirimsizlik memba yüzündeki beton kaplama ile sağlanmaktadır. Beton kaplama altındaki 2 adet filtre zonuna ek olarak kret ortasından başlayıp memba yönüne doğru 1 yatay 1 düşey şevle inen filtre tabakası yer almaktadır (Şekil 3.4 ve Şekil 3.5).



Şekil 3.3. Baraj gövdesi genel yerleşim planı



Şekil 3.4. Baraj gövdesi maksimum kesiti



Şekil 3.5. Baraj gövdesi boy kesiti

3.3. Rahmanlar Barajı Karakteristikleri

Rahmanlar Barajı'nın elemanlarının bu tez çalışmasıyla ilgili teknik özellikleri Çizelge 3.1'de özet olarak verilmektedir.

Çizelge 3.1. Rahmanlar Barajı teknik özellikleri

Rahmanlar Barajı	
Baraj Gövdesi	
Tipi	Önyüzü beton kaplı kum çakıl dolgu
Kret kotu	260.00 m.
Baraj gövde dolgusu üst kotu	257.30 m.
Talveg kotu	181.50 m.
Temel kotu	165.00 m.
Talvegden yükseklik	75.80 m.
Temelden yükseklik	92.30 m.
Alüvyon kalınlığı	16.50 m.
Kret uzunluğu ve genişliği	552.60 m ; 12.00 m.
Memba ve mansap şevleri	1.80/1 ve 1.80/1
Rezervuar (Göl)	
Baraj maksimum su seviyesi	259.62 m.
Baraj normal su seviyesi	256.70 m.
Baraj minimum su seviyesi	200.63 m.
Ölü hacim	1.14 hm ³
Normal su kotu göl hacmi	25.148 hm ³
Toplam depolama hacmi(aktif)	24.008 hm ³
Göl alanı (N.S.S.)	0.84 km ²
Göl alanı (Min. S.S.)	0.11 km ²
Dolusavak	
Yeri	Sağ Sahil
Tipi	Karşıdan Alışlı Kapaksız (Kontrolsüz)
Katastrofal taşkın debisi	432.30 m ³ /s
Proje hesap debisi	419.40 m ³ /s
Maksimum S.S.	459.62 m
Dolusavak su yükü	2.92 m.
Dolusavak kret kotu	256.70 m.
Dolusavak yakl. kanalı boyu	255.70 m.
Dolusavak kret genişliği	40.00 m.
Boşaltım kanalı uzunluğu	224.09 m.
Boşaltım kanalı genişliği	40.00 - 35.00 m.
Enerji kırıcı havuz tipi	III. Tip

Çizelge 3.1. (Devam) Rahmanlar Barajı teknik özellikleri

Derivasyon Tüneli ve Dipsavak Tesisleri	
Derivasyon tüneli yeri	Sol sahil
Derivasyon tüneli tipi	Dairesel kesitli tünel
Derivasyon tüneli çapı	3.0 m.
Derivasyon tüneli uzunluğu	535.00 m.
Q25 taşkın piki	83.4 m ³ /sn
Q50 taşkın piki	106.50 m ³ /sn
Dipsavak su alma yapısı tipi	Yamaca yaslamalı kademeli su alma yapısı
Dipsavak cebri boru çapı	0.80 m
Dipsavak cebri boru uzunluğu	281.00 m
Dipsavak sulama suyu ihtiyaç debi	0.626 m ³ /sn
Dipsavak içme suyu ihtiyaç debi	1,3 m ³ /sn

3.4. Baraj Mansabında Risk Altında Olan Alanlar

Rahmanlar Barajı yıkılma analiz modelindeki öteleme uzunluğu yaklaşık 3.5 km olup, öteleme Rahmanlar Barajı aksından başlatılarak, mansapta yer alan risk altındaki Ortaköy köyü'ne kadar devam ettirilmiştir. Barajın mansabında yer alan Üzümlü ve Ortaköy köyleri'nde yaşayan halkın yanı sıra, bu alanda birçok tarım arazisi de risk altında kalmaktadır. Ortaköy köyü'nden sonra vadi genişliği arttığından taşkın su derinliğinin düşeceği, dolayısıyla Yenice köyü yerleşimleri ve Ödemiş ilçesi için taşkın riskinin oluşmayacağı düşünülmüştür.

Tehlike altındaki bu köylerden; Üzümlü köyü 280 kişi nüfusa sahip olup, baraj aksından 1 km mansapta, Ortaköy köyü ise 127 kişi nüfusa sahip olup barajın yaklaşık 2.7 m mansabında yer almaktadır (www.yerelnet.org- Ödemiş ilçesi köy Nüfusları-2012).

3.5. Rahmanlar Deresi Arazi Verileri

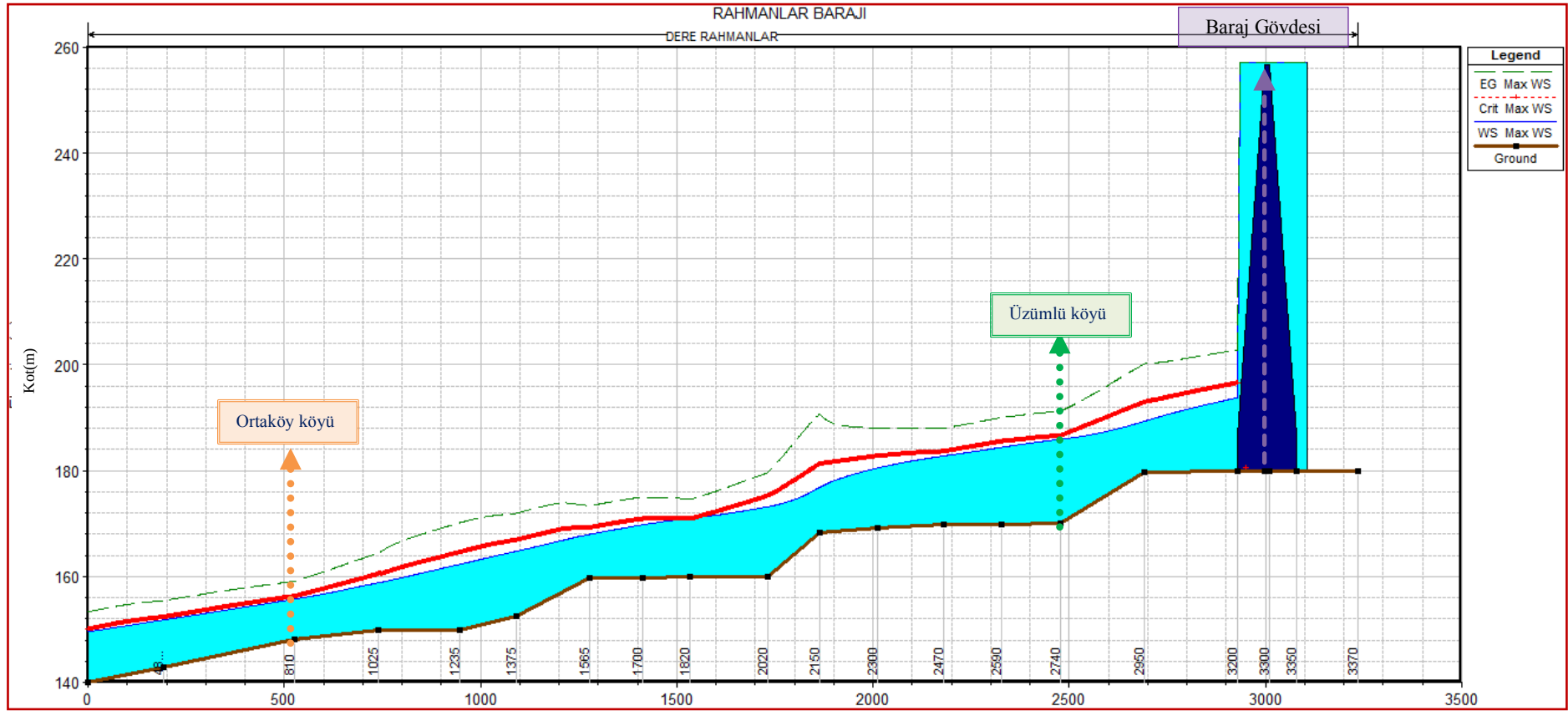
Dere yatağı boyunca akış yönüne dik olan düzlemde alınan kesitler baraj aksından başlayarak mansapta taşkın riski altında olan Ortaköy köyüne kadar devam ettirilmiştir. Bu çalışmada, baraj aksından alınan en kesitler Devlet Su İşleri Harita Müdürlüğü'nün hazırladığı 1/5000 ölçekli topoğrafik haritalar kullanılarak, barajın mansabı boyunca alınan en kesitler ise Harita Genel Komutanlığı'ndan (HGK) alınan 1/25000 ölçekli askeri

haritalar kullanılarak hazırlanmıştır. Dere güzergâhından alınan en kesitler sabit aralıklarla yerleştirilmiştir.

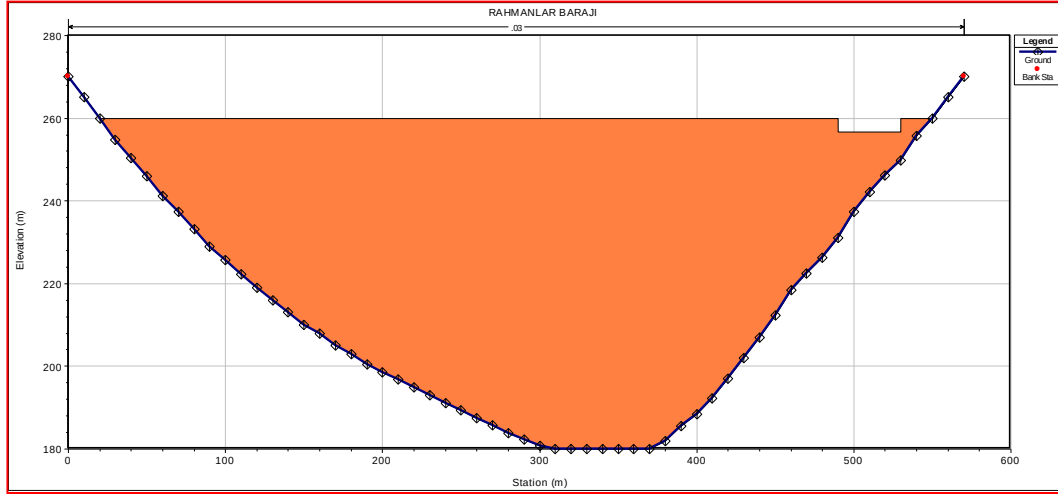
Su yüzü profillerinin tespit edilebilmesi için yapılan tek boyutlu hesaplamalar, HEC-RAS hidrolik analiz programında gerçekleştirilmiştir. Programda, numaralandırma mansaptan membaya doğru artan şekildedir. Bu sebeple Rahmanlar Deresi üzerinden alınan en kesitler barajın membasında 3370 m ve mansabında 0 olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.6’da verilen dere profili üzerinde kesitlerin mansaptan membaya doğru numaralandırılmış hali görülmektedir.

Bir boyutlu baraj yıkılma simülasyonları yapılırken farklı manning pürüzlülük değerleri için elde edilen su yüzü profilleri değerlendirildiğinde, taşkın haritasını etkileyebilecek farkların oluşmadığı görülmüştür. Bu nedenle hesaplarda tabanı oldukça düzenli, sahilleri düz ve sağlam, hiç bitki örtüsü olmayan yataklar için kullanılan 0.03 değeri kullanılmıştır (Chow,1959)

.

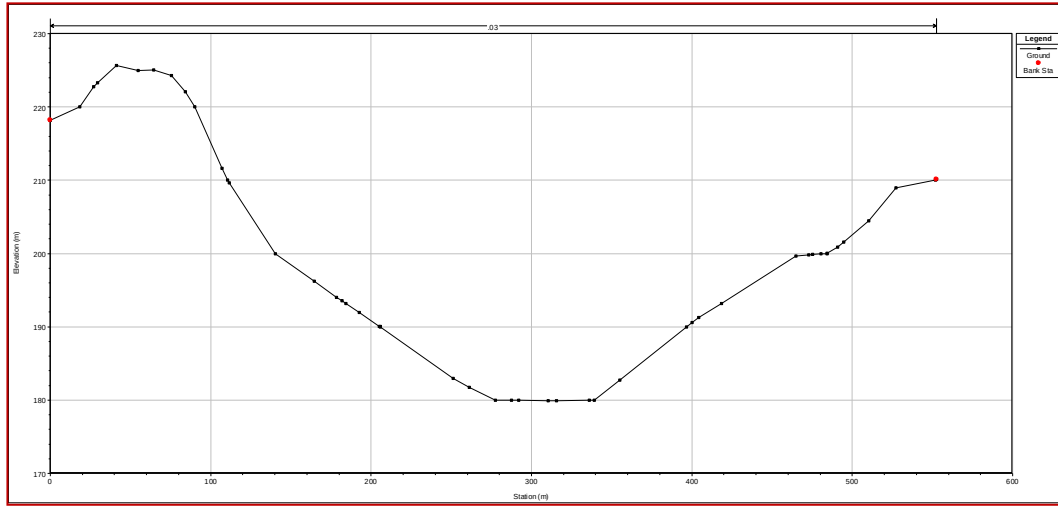


Şekil 3.6. Öteleme mesafesi boy kesit görünüşü

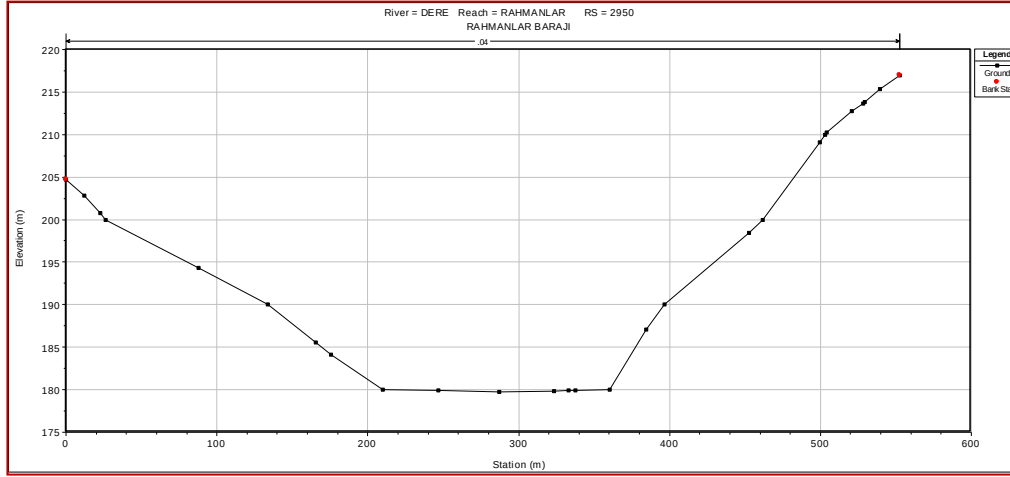


Şekil 3.7. Rahmanlar Barajı gövde aksından geçen kesit (3300 m)

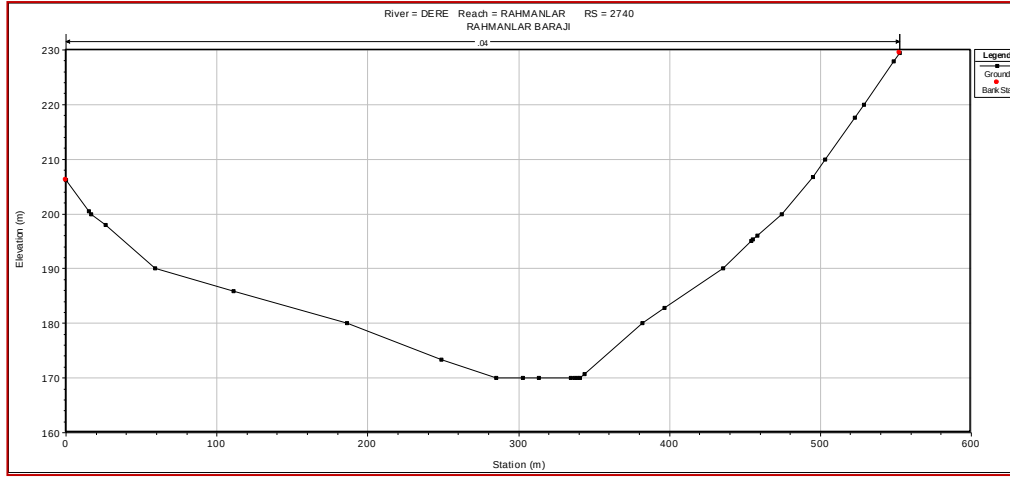
Şekil 3.8-3.24'te Rahmanlar Deresi üzerinden 100 m aralıklarla alınan kesitler görülmektedir. Dere üzerinden alınan kesitlerin sık aralıklarla yerleştirilmesi özellikle baraj yıkılması sonucu oluşan taşkının beklenen su yüksekliklerinin HEC-RAS programında doğru hesaplanması için önemlidir. Bu sebeple araziden çıkartılan en kesitler, programa tanıtılırken aralıkları 1 m. olacak şekilde enterpolasyonla arttırılmıştır.



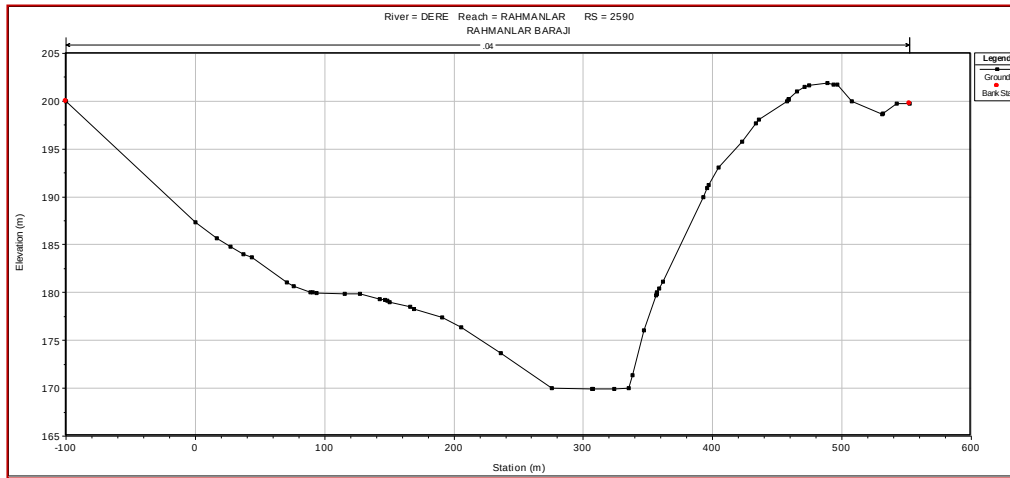
Şekil 3.8. 3200 numaralı kesit



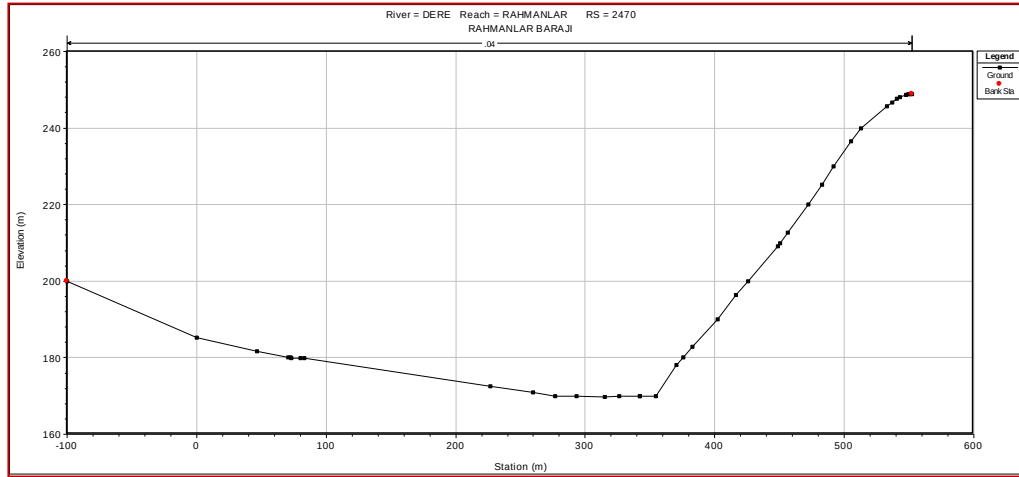
Şekil 3.9. 2950 numaralı kesit



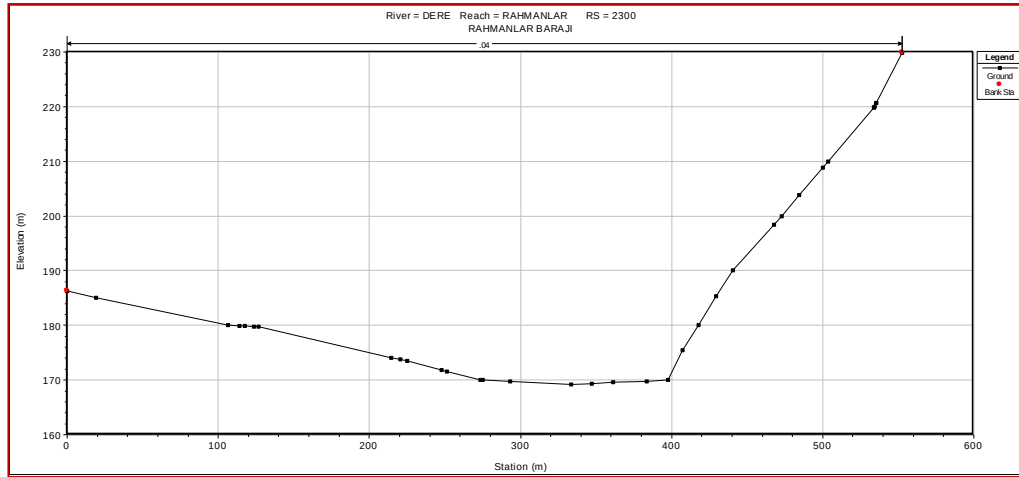
Şekil 3.10. 2740 numaralı kesit



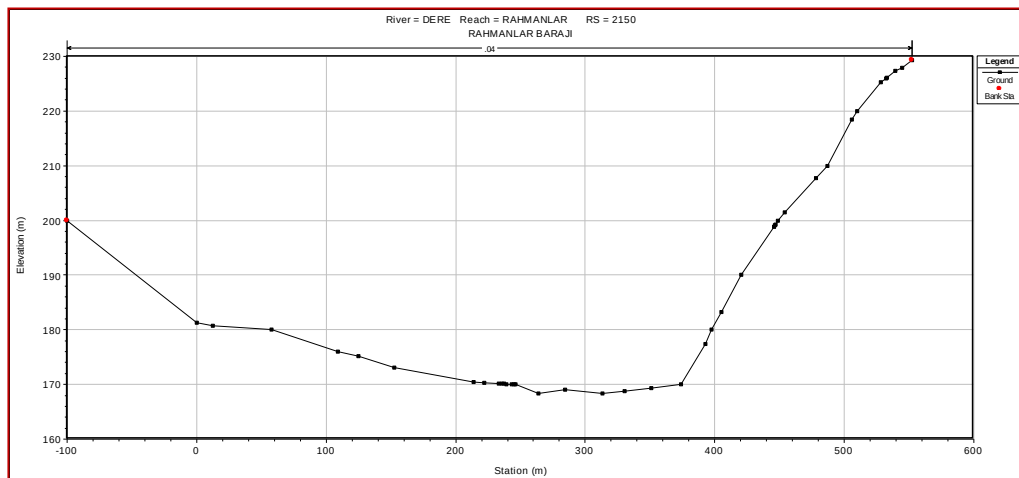
Şekil 3.11. 2590 numaralı kesit



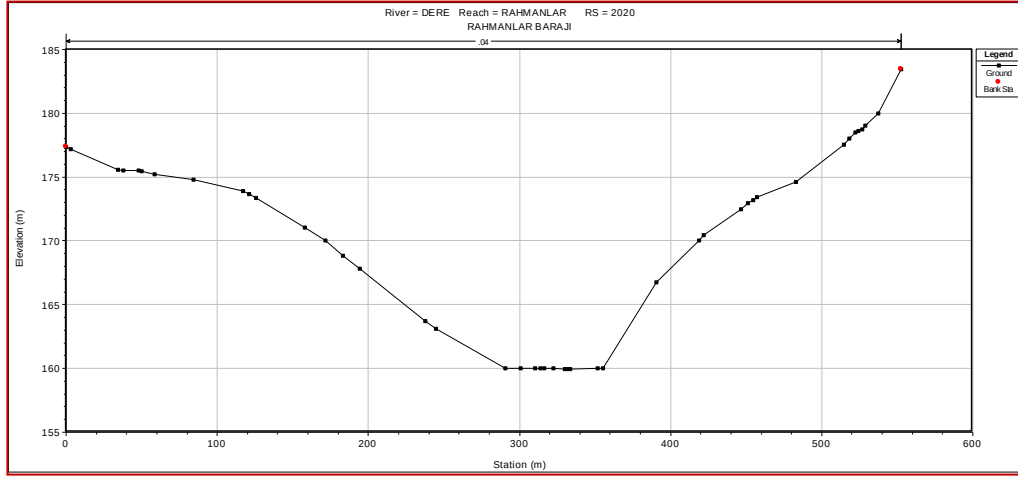
Şekil 3.12. 2470 numaralı kesit



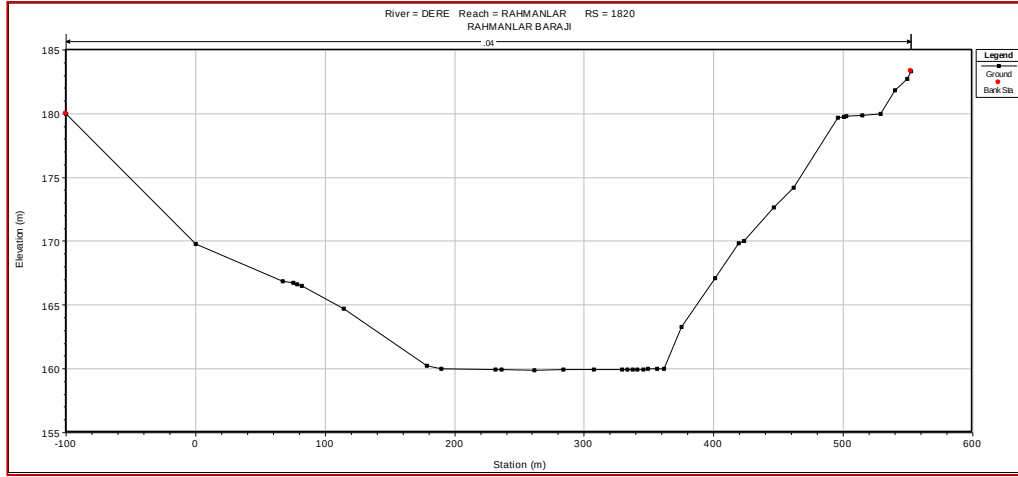
Şekil 3.13. 2300 numaralı kesit



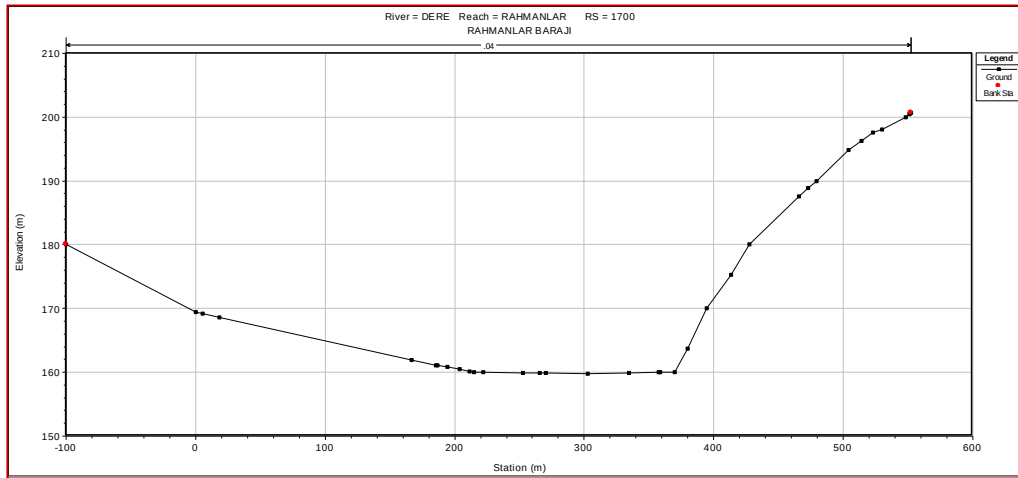
Şekil 3.14. 2150 numaralı kesit



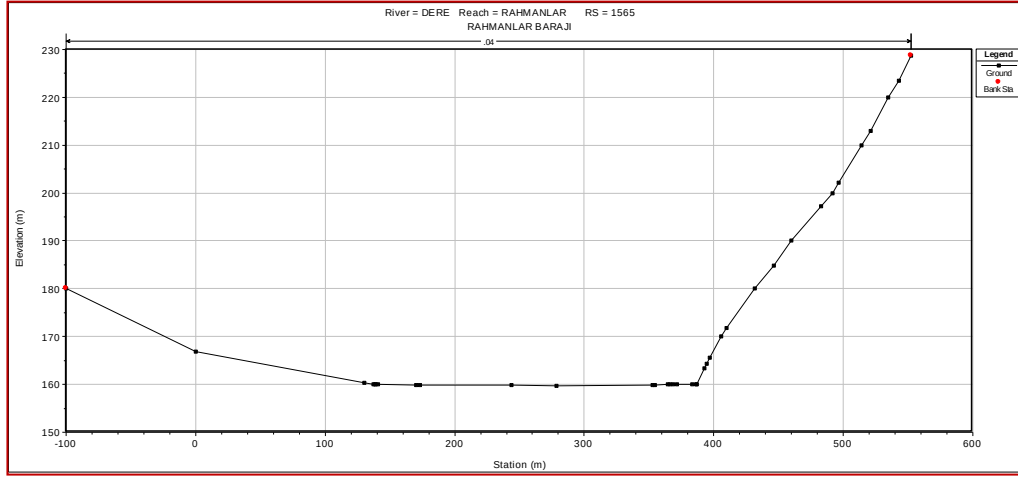
Şekil 3.15. 2020 numaralı kesit



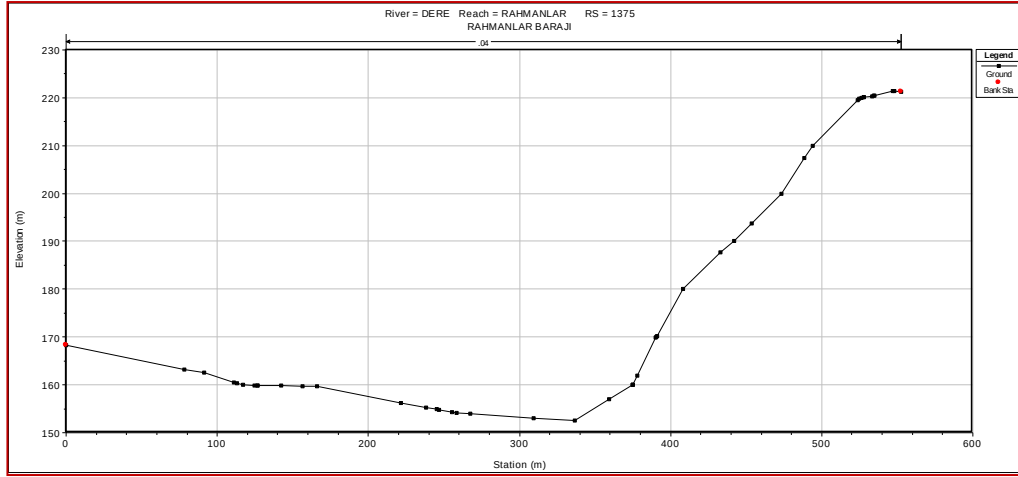
Şekil 3.16. 1820 numaralı kesit



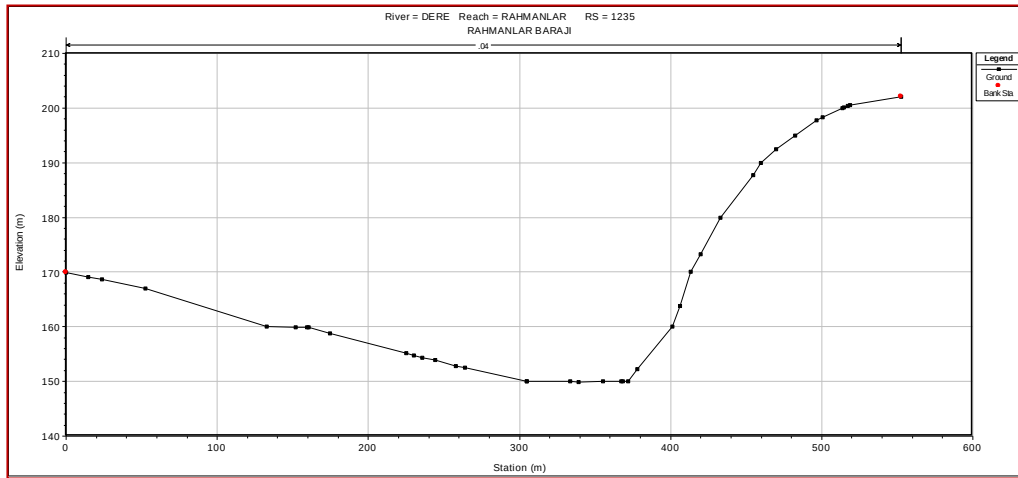
Şekil 3.17. 1700 numaralı kesit



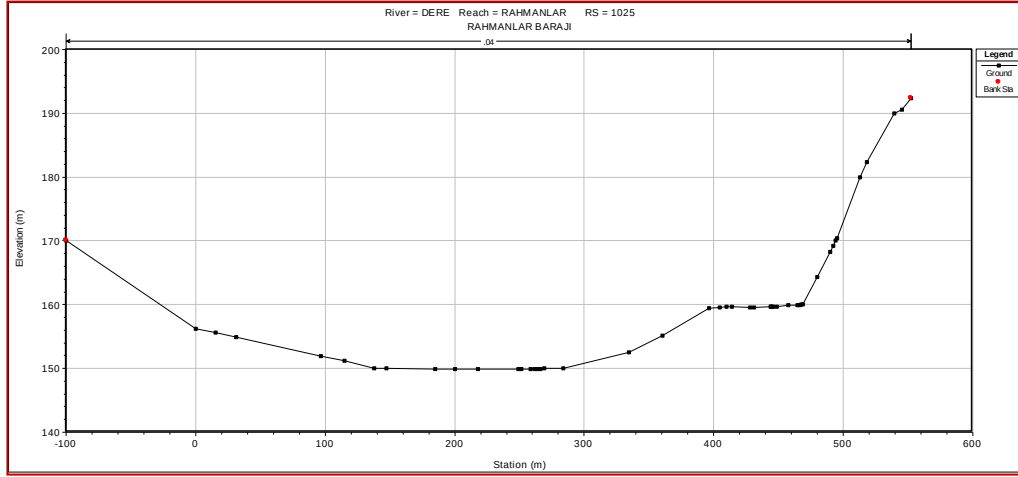
Şekil 3.18. 1565 numaralı kesit



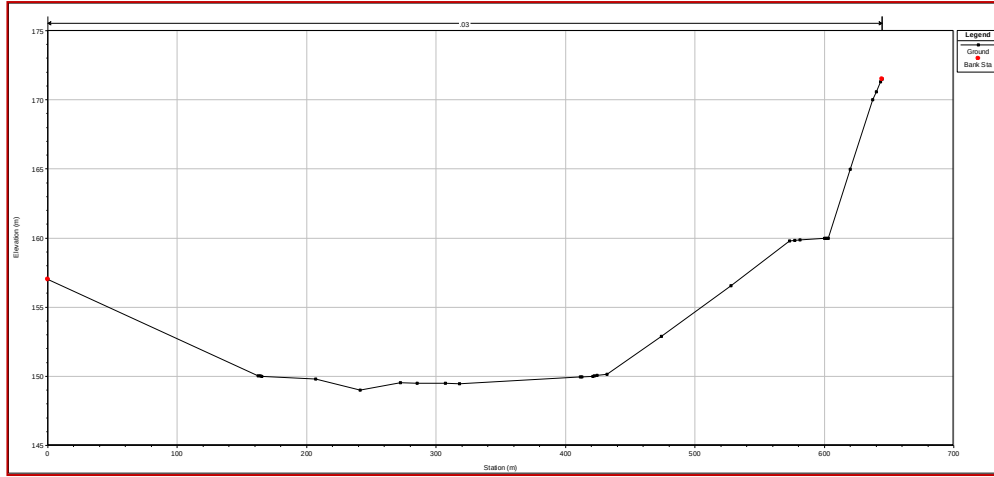
Şekil 3.19. 1375 numaralı kesit



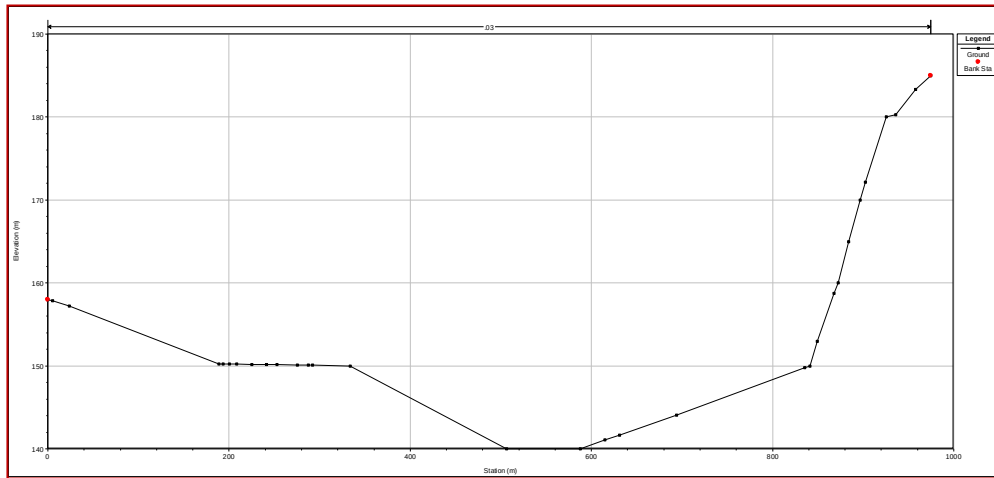
Şekil 3.20. 1235 numaralı kesit



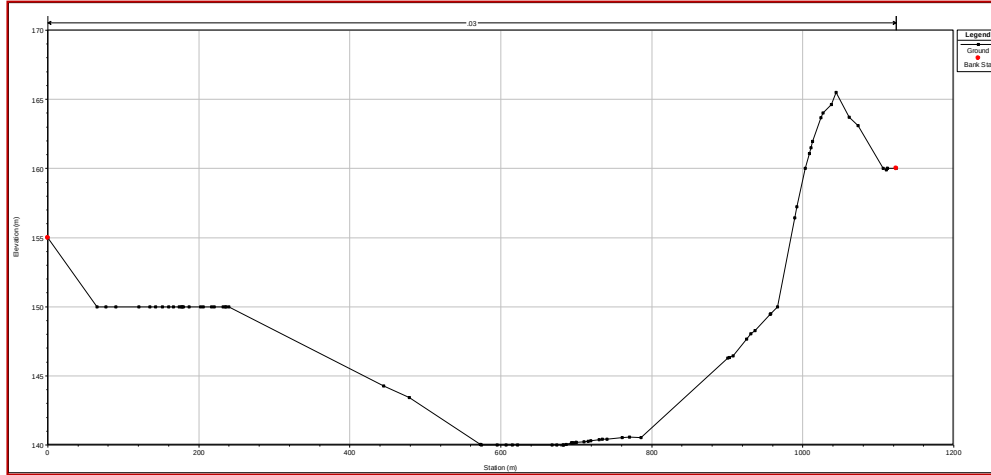
Şekil 3.21. 1025 numaralı kesit



Şekil 3.22. 810 numaralı kesit



Şekil 3.23. 480 numaralı kesit



Şekil 3.24. 290 numaralı kesit

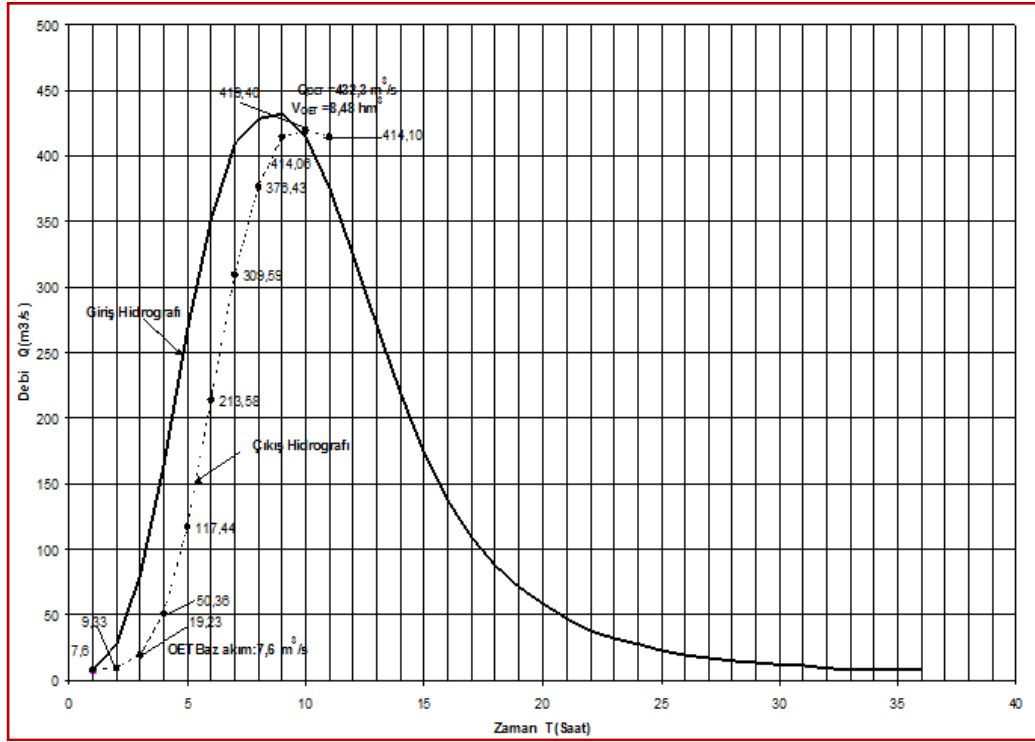
3.6. Rahmanlar Deresi Akım Verileri

Dere yatağı modellenirken taşkın öteleme için memba ve mansap sınır koşullarının da programa tanıtılması gerekmektedir. HEC-RAS programında dinamik akım koşullarında su yüzü profilleri hesaplanırken Şekil 3.25'te verilen katastrofik taşkın hidrografi memba sınır koşulu olarak programa girilmiştir. Mansap sınır koşulu olarak, mansap kesitinin olduğu noktada normal akım derinliğine karşılık gelen taban eğimi okunarak programa tanımlanmıştır.

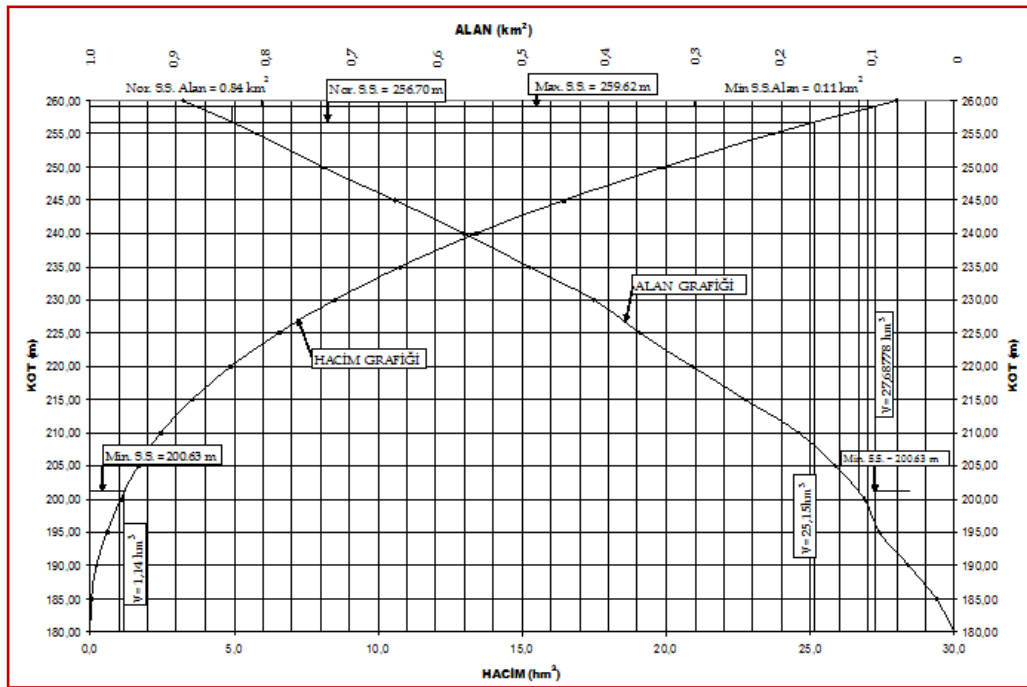
Zamana bağlı akımın rezervuarda ötelenmesi, basit bir yöntem olan Level-Pool Öteleme yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Uzun olmayan ve giriş hidrografi zamana bağlı olarak hızlı bir şekilde değişmeyen rezervuarlarda uygulanabilir olan bu basit yöntem Rezervuar-Depolama Ötelemesi de denmektedir (Fread, 1992). Rezervuar Öteleme yöntemi Eş. 3.1'de verilen kütle korunumu yasası temeline dayanmaktadır.

$$Q_i - Q_{i+1}(t) = \frac{ds}{dt} \quad (3.1)$$

Burada rezervuara giren (Q_i) ve rezervuardan çıkan (Q_{i+1}) debiler zamana bağlı olup depolama (S) ise zamanla değişen su yüzü yüksekliğinin (h) bir fonksiyonudur. Bu yöntemde, su yüzünün rezervuarın genişliği boyunca aynı seviyede olduğu varsayılmaktadır. HEC-RAS programında oluşturulan rezervuar için programa tanımlanan kot- alan- hacim eğrisi aşağıda Şekil 3.26 da verilmiştir.



Şekil 3.25. Rahmanlar Barajı olası en büyük taşkın debisinin hidrografı



Şekil 3.26. Rahmanlar Barajı kot-alan-hacim eğrisi

4. BARAJ YIKILMA MODELLERİ VE OLUŞAN TAŞKINLAR

4.1. Taşkın Analizinin Önemi

Son yıllarda inşa edilen büyük barajlar dünyanın her yerinde büyük ölçüde beklenmedik tehditler ortaya koymaktadır. Barajlar en çok da mansap taşkın koruma amaçlı inşa ediliyor olsalar da, bir kısmının ters etkisi olmaktadır. Orta derece diye tanımlanmış seller sırasında genellikle iyi çalışan barajlar, özellikle en ağır yağışlar sırasında rezervuarların tamamen dolmasıyla yüksek kapasiteli bir tehdit halini almaktadır.

Barajların mansabında yaşayan insanlar ise bu büyük yapıların kendilerini taşkınlardan koruyacağını düşünürken aslında çoğu zaman beklenmedik bir tehdidin altında yaşamaktadırlar. Çizelge 4.1’de tarihte gerçekleşen önemli baraj yıkılma olayları ve bunların sonucunda oluşan can ve mal kayıpları görülmektedir.

Genellikle barajlar üzerine inşa edildiği dereler hakkında hidroloji konusunda uzun vadede çok az bir bilginin temelinde tasarlanmaktadır. Dünyanın birçok yerinde yağış veya dere akışları üzerinde küçük bir tarihsel veri bulunmaktadır. Eğer elde bulunan bu mevcut veriler sağlıklı değilse doğru riskleri yansıtmayacaktır.

Barajlarda en sık rastlanan problem aşırı sel ile başa çıkmak için yeterli kapasiteli dolusavak tasarımının yapılmamasıdır. 1995 yılında Hindistan’da Dünya Bankası mühendisleri tarafından 25 baraj üzerinde yapılan çalışmada hesaplanan su yüksekliklerinin dolusavak kapasitesinden fazla olduğu görülmüştür. Hindistan’ın en büyük barajları arasında olan Orissa Hirakud ve Madya Pradeş Gandhi Sagar Barajları için beklenen pik taşkın debilerinin, kapasitelerinin yedide biri olarak hesaplandığı görülmüştür (Pearce, 2001).

Görüldüğü gibi eksik veya yanlış hidrolojik verilerin kullanılması sonucu yapılan projelendirme hataları nedeniyle risk altında kalan barajların tespit edilmesi, bu barajlarda yıkılma analizlerinin yapılması, ayrıca barajın yıkılması sonucu oluşacak taşkın yayılımının hesaplanması ve bu sonuçlara göre eğer gerekliyse acil eylem planlarının hazırlanması, mansapta yaşayan halkın güvenliği için olmazsa olmazdır.

Çizelge 4.1. Tarihte gerçekleşen baraj yıkılmaları sonucu oluşan kayıplar (Lou, 1981)

Baraj	Ülke	Afet Yılı	İnsan Kaybı	Hasar (Milyon Dolar \$)
Puentes	İspanya	1802	600	1.0
Mill River	ABD	1874	-	-
Lynde Brook	ABD	1876	-	-
South Fork	ABD	1889	2200	1.0
Saint Francis	ABD	1928	450	100.0
Brokaw 2	ABD	1938	-	1.5
Veg de Tera	İspanya	1959	144	0.7
Malpasset	Fransa	1959	421	-
Oos	Brezilya	1960	50	68.0
Bavii Yar	SSCB	1961	145	-
Hyokiri	Kore	1961	250	4.0
Quebrada La Chapa	Kolombiya	1963	250	-
Vaiont	İtalya	1963	3000	-
Baldwin Hills	ABD	1963	3	50.0
Mayfield	ABD	1965	-	2.5
Vratsa	Bulgaristan	1966	600	--
Nanak Sagar	Hindistan	1967	100	-
Sempor	Endonezya	1967	200	-
Wyoming	ABD	1969	-	1.5
Pardo	Arjantin	1970	-	20.0
Machhu II	Hindistan	1974	2000	-
Buffalo Creek	ABD	1974	118	65.0
Teton	ABD	1976	6	70.0
Hirakund	Hindistan	1980	118	-

4.2. Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkınların Belirlenmesinde Kullanılan Programlar

Hidrolik modelleme ve taşkın haritalama; taşkın anında belli bölgelerdeki su seviyesinin ve suyun yayılımının tahmin edilmesi amacıyla uygulanmaktadır. Son yıllarda bilgisayarlı çözüm tekniklerinin ve yeni sayısal yaklaşımların ortaya çıkmasıyla birlikte, sayısal modellerin kullanımı yaygınlaşmış ve bu yöntemler baraj yıkılması taşkın kontrol çalışmalarının da temelini oluşturmuştur.

Dünyada gerçekleşen çok sayıda baraj yıkılması olayı, ülke yönetimlerinin baraj güvenliği konusuna daha çok önem vermesini sağlamıştır. Bu konuda çalışan birçok araştırmacı baraj

yıkılma karakteristiklerinin tahmini için önceden gerçekleşen olaylardan elde ettikleri regresyon denklemlerini kullanmaktadır. Bazı araştırmacılar ise fiziksel yıkılma sürecini simüle eden bilgisayar modellerini geliştirme çalışmalarında bulunmuştur. Özellikle US Army Corps of Engineers (USACE) etkin bir biçimde çalışmalarına devam ederek, baraj yıkılma analizi ve nehir taşkın ötelenmesini gerçekleştiren bilgisayar modellerinin sayısını arttırmıştır. HEC-1 ve HEC-RAS yazılımları bunların başında gelmektedir. Ayrıca Uluslararası Hava Servisi (NWS) tarafından geliştirilen DAMBRK, SMPDBK ve FLDWAV gibi baraj yıkılma analiz programları da piyasada çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır (Bozkuş, Z., Kasap, A., 1997).

Bu amaçla yapılan yıkılma analizi çalışmalarında, yıkılma sırasında baraj gövdesinde oluşan gedik gelişim mekanizmasının ve diğer fiziksel süreçlerin (yapının yıkılması, malzemenin taşınması süreci vs.) iyi anlaşılması ve modellenmesi gerekmektedir. Baraj yıkılma analizinin gerçekleştirilmesinde rezervuar çıkış hidrografının bulunması ve bu hidrografın mansapta ötelenmesi gibi 2 ana amaç vardır (Wahl, 1997).

Bu amaçla kullanılan bir boyutlu modeller çok etkili ve hızlı olmalarına rağmen topoğrafyayı yüzey yaklaşımı yerine kesitlerle temsil ettiğinden, akım dalgalarının yanal dağılımını gerçekleştirememektedir (Hunter, 2007). İki ve üç boyutlu modellemede ise, tek boyutlu modellerde görülen bazı fiziki kısıtlamalar aşılmaktadır.

Bir boyutlu hidrolik modellemede, tüm akımın boyuna yönde ilerlediği varsayılmaktadır. Bu analiz yönteminde sıralı en kesitler araziye temsil ederken, ortalama hızın ve her kesitteki su derinliğinin bulunması için akışın simülasyonu yapılmaktadır. 2 boyutlu modellerde ise, düşey yönde hız ihmal edilerek akımın hem boyuna hem de yanal yönlerde ilerlediği kabul edilmektedir. Bu modellerde bir boyutlu çözümlerden farklı olarak sonlu eleman hücreleri araziye temsil etmektedir.

Baraj yıkılması; taşkın dalgasının topoğrafya üzerinde 3 boyutlu, zamana bağlı, sıkışmayan, serbest yüzeyli bir akışkanlar dinamiği problemidir. Günümüzde serbest yüzeyli akımların modellenmesinde farklı yöntemler kullanılmakla birlikte, bunlar içerisinde en bilineni ve ticari paket programlar da dahil en yaygın kullanılanı, akışkan hacmi (VOF) yöntemidir (Abdolmaleki ve diğ., 2004; Shigematsu ve diğ., 2004; Quecedo ve diğ., 2005). Son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki büyük gelişmelerle birlikte

hesaplamalı akışkanlar dinamiğine dayalı üç boyutlu çözüm yapabilen ve çeşitli türbülans modellerini içinde barındıran birçok paket programın (FLOW-3D, Fluent, CFX) kullanımı yaygınlaşmıştır (Kocaman, S., 2007).

4.3. Bir Boyutlu Taşkın Analizi: HEC-RAS Programı Kullanılarak

HEC River Analysis System (HEC-RAS, HEC-Nehir Analiz Programı) açık kanallar üzerinde tek boyutlu hidrolik hesaplamaların yapılması için tasarlanmıştır. Yazılım United States Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (HEC)'ten ücretsiz olarak temin edilebilmektedir. Sistem tek boyutlu bir akarsu hidrolik/hidrodinamik analiz aracıdır.

HEC-RAS Programı dört ayrı hidrolik analiz bileşeni içermektedir. Bunlar:

1. Zamandan bağımsız (steady) akım koşullarında su yüzü profilinin hesaplanması
2. Zamana bağlı (unsteady) akım koşullarında su yüzü profilinin hesaplanması
3. Sediment taşınımının hesaplanması
4. Su kalitesi analizleri ile ilgili bileşenlerdir.

Program bunlara ek olarak su yüzeyi profili hesaplarını takiben; köprü ayaklarında oyulma hesapları, üniform akım hesapları, stabil kanal tasarımı ve sediment taşınım kapasitesi gibi tasarım bileşenlerini de içermektedir.

Bu tez çalışmasında HEC-RAS programı ile, proje alanı olarak seçilen barajın çeşitli senaryolar altında yıkılması sonucu oluşacak taşkın kararsız veya zamana bağlı olarak tanımlanan (unsteady) akım koşullarında su yüzü profilinin hesaplanması ile ilgili bilgiler verilmektedir. Baraj yıkılma analiz sonuçlarının HEC-RAS yazılımı ile değerlendirilmesi, programa eklenmiş olan baraj yıkılma modülü ile mümkün olmaktadır.

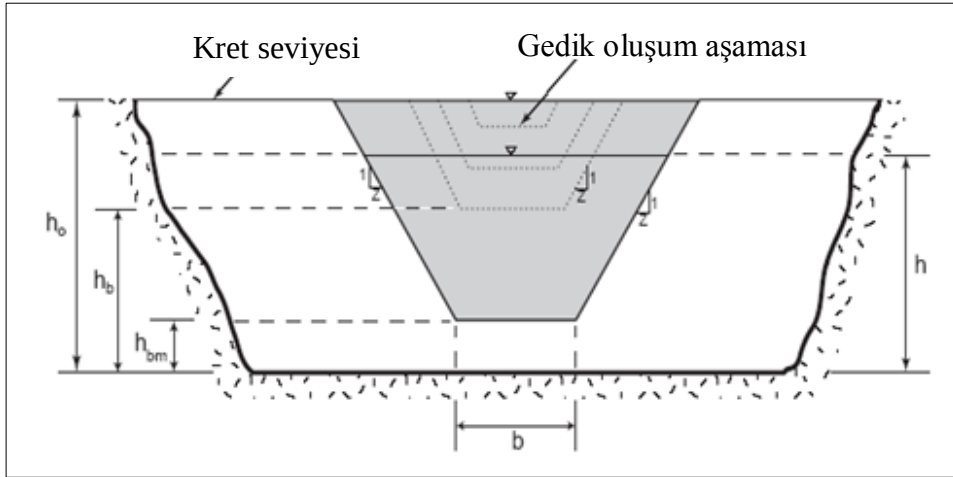
HEC-RAS ile dolgu barajlarda hem üzerinden aşma hem de borulanma ile yıkılmanın modellenmesi mümkündür. Buna ek olarak beton barajlarda görülen daha ani yıkılmalar da (genelde deprem etkisiyle oluşan) modellenmektedir. Yıkılma sonucu oluşan taşkın dalgasının mansapta ötelenmesi zamanla değişen akım (unsteady) denklemleri kullanılarak yapılmaktadır.

4.3.1. Gedik parametrelerinin belirlenmesi

Baraj yıkılması esnasında gerçekleşen gedik gelişiminin simülasyonunun oluşturulması ve oluşan çıkış hidrografının bulunabilmesi için, gedik son geometrisinin ve yıkılma oranı gibi parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Gedik baraj eksenindeki konumunun, nihai taban genişliğinin, şev eğimlerinin, toplam oluşum süresinin, gedik oluşumunun üzerinden aşma veya borulanma gibi farklı baraj yıkılma senaryoları için başlama anının ve çıkan akımın savak veya orifis katsayısının belirlenmesi ve HEC-RAS programına tanımlanması gerekmektedir. Gedik parametreleri ve bu parametreleri etkileyen özelliklere aşağıda verilmektedir.

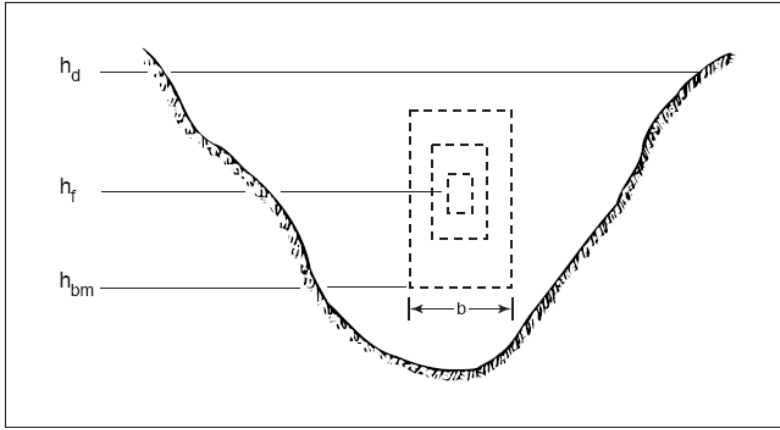
Gedik boyutları

Baraj yıkılma sonucu baraj gövdesinde oluşacak gedik şekli yaklaşık olarak dikdörtgen, üçgen, trapezoidal veya parabolik olarak alınabilmektedir (Bozkuş ve Güner, 2000). Gedik şekli büyük ölçüde barajın tipine bağlıdır. Gedik şeklinin özellikle kum-çakıl dolgu barajlarda, trapezoidal olarak oluştuğu kabul edilirken, gedik açıklığı barajın üzerinden aşma ile yıkılan barajlarda, küçük bir yarıkla başlayarak doğrusal (lineer) veya doğrusal olmayan (non-linear) ilerleme ile gövdede Şekil 4.2’de görüldüğü gibi büyümektedir.



Şekil 4.2. Baraj üzerinden suyun aşması sonucu oluşan gedik boyutları (Fread, 1998)

Borulanma sonucu oluşan gedik açıklığı ise gövde üzerinde belirli bir kotta dikdörtgen şekilde başlayarak büyümektedir. Şekil 4.3’te görüldüğü gibi gedik genişliği ve yüksekliği, gedik üst kotu olan kret kotuna ulaşıncaya kadar büyümeye devam edecektir.



Şekil 4.3. Borulanma durumunda oluşan gedik boyutları (Fread, 1991)

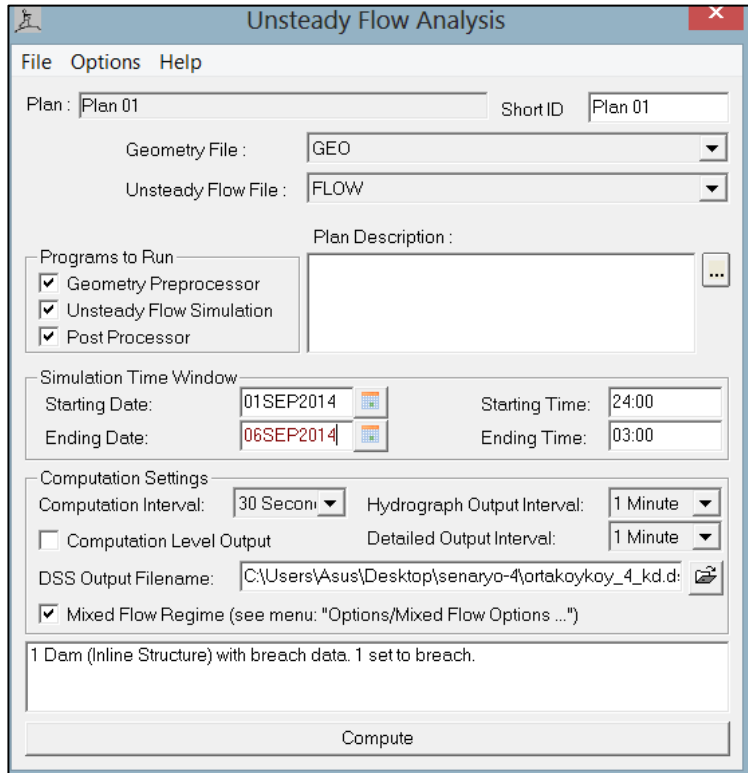
Şekil 4.2 ve Şekil 4.3'te gedik üzerinde gösterilen semboller; h_o ; $t=0$ anında gedik üst seviyesini, h_d ; baraj kret seviyesini, h_b ; t anında gedik alt taban seviyesini, h_{bm} ; t anında gedik taban seviyesinin talvegden yüksekliğini, h_f ; borulanmanın merkez hattının yüksekliğini ve b ; t anında maksimum gedik taban genişliğini ifade etmektedir.

Bu tez çalışmasında HEC-RAS programında yürütülen yıkılma analizleri sonucu, bahsedilen yıkılma tiplerine bağlı olarak farklı gedik açıklıkları oluşturularak, bu şekilde farklı yıkılma senaryoları elde edilmiştir.

Yıkılma süresi:

Yıkılma süresi, yukarıda bahsedilen gedik oluşumunun başlangıcından, açıklığın ulaşacağı son büyüklüğe kadar devam eden zaman olarak tanımlanmaktadır. Dolgu barajlarda gerçekleşen yıkılma süresi 6 dakikadan 3 saate kadar farklılık gösterebilmektedir. Yıkılma süreleri en çok barajın büyüklüğüne, kullanılan gövde malzemesine ve dolgunun yapısal dayanımına bağlıdır (Francis, E. ve Fiegler, P., E., 2001).

Bu tez çalışmasında Rahmanlar Barajı yıkılma analizi için programa başlangıç ve bitiş süreleri ile 30 saniye hesap adım aralıkları tanımlanmaktadır. 1 Eylül 2014 tarihinde saat 24:00'de başlayan simülasyon 6 Eylül 2014 tarihinde 03:00'da sonlandırılmıştır. Baraj gövdesinde gedik oluşumu ise 3 Eylül tarihinde saat 06:00'da başlamıştır (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. HEC-RAS Analizi Başlatma Ekranı

Yıkılma oranı

Gedik genişleme oranı, derinlik ve genişlikteki büyüme, yıkılma oranı olarak adlandırılmaktadır. Bu büyüme oranı doğrusal (lineer) veya doğrusal olmayan bir grafik çizilebilmektedir. Yıkılma büyüme oranı P olan gedik mevcut taban seviyesi (h_{bt}) Eş. 4.1'e göre hesaplanmaktadır (Fread, 1991).

$$0 < t_b < t \quad \text{için} \quad H_{bt} = h_d - [(h_d - h_{bm}) (t_b / t)^p] \quad (4.1)$$

Burada;

H_{bt} : t_b anında gedik taban seviyesi, feet

h_d : Barajın taban seviyesi, feet

t : Gedik oluşum süresi, saat

h_{bm} : t anında en düşük gedik taban seviyesi, feet

p : Yıkılma oranı ($1 < p < 4$)

Ayrıca, gedik taban genişliği b ile gedik oluşum oranı P arasında Eş.4.2’de verilen ilişki bulunmaktadır.

$$B_t = b_m (t_b / t)^p \quad (4. 2)$$

Burada:

B_t : t_b anında gedik taban genişliği, feet

b_m : t anında maksimum gedik taban genişliği, feet

p : Yıkılma oranı ($1 < p < 4$), yıkılma oranı genelde doğrusal olarak kabul edilir. ($x/y=1$)

Gedik geometrisinin ve baraj üstünde oluşum zamanının belirlenmesi için çok sayıda ampirik denklem vardır. Çizelge 4.2’de farklı baraj tipleri için kullanılan gedik parametreleri görülmektedir.

Çizelge 4.2. Baraj yıkılmasındaki gedik parametreleri (Hwang, 2000)

Gedik Parametreleri	Değerleri	Baraj Tipi
Ortalama Gedik Genişliği (B) (feet)	$0.5 HD < B < 3 HD$	Toprak, Kaya dolgu
	$B = 0.8 * \text{Kret Uzunluğu}$	Cüruf, Zaiyat dolgu
	$B = \text{Kret uzunluğu}$	Beton, Kemer
Gedik Şev Eğimleri (1:Z)	$0 < Z < 2$	Hepsi
	$Z = 0$	Yığma, ağırlık
	$0.25 < Z < 2$	Toprak, Kaya dolgu
	$1 < Z < 2$	Cüruf, Zaiyat Dolgu
Yıkılma süresi (saat)	$0.1 < TFH < 3.0$	Hepsi
	$0.1 < TFH < 0.3$	Yığma, Ağırlık, Cüruf, Zaiyat Dolgu
	$0.1 < TFH < 0.5$	Dolgu, Tasarlanmamış, Zayıf inşa edilmiş
	$0.3 < TFH < 3.0$	Dolgu, Tasarlanmış, Sıkıştırılmış

Burada;

TFH : Baraj yıkılma süresi (saat)

B : Ortalama baraj taban genişliği (feet)

HD : Baraj yüksekliği (feet)

Z : Gedik şev eğimleridir.

Çizelge 4.3'te Amerika'nın Kolorado Eyaletinde Su Kaynakları İdaresi'nin Baraj Güvenliği Dairesince 2010 yılında hazırlanan "Guidelines For Dam Breach Analysis" adlı dokümanında yer alan baraj gedik parametrelerini hesaplayan farklı amprik denklemler için özet tablo ve Şekil 4.5'te gedik değişkenleri verilmektedir. Bu rehberde ayrıca tahmin hesaplarını doğrulayan birkaç genel kriter de yer almaktadır. Bu kontrol kriterlerinin başlıcaları aşağıda verilmektedir.

1. Eğer ortalama gedik genişliğinin, gedik yüksekliğine oranı 0,6'dan küçük olursa, yöntem şüpheli veya rezervuar yalnızca borulanma gerçekleştirecek kadar küçük demektir.
2. Ortalama gedik genişliğinin (B_{avg}), gedik oluşum süresine (T_f) oranı olarak ifade edilen aşınma oranının (ER) kabul edilebilirliğinin kontrolü için, aşınma oranının gedik tabanı ile su seviyesi arasındaki yüksekliğe (H_b) oranı kontrol edilmektedir. Bulunan bu yeni oran $1.6 < (ER/H_b) < 21$ aralığında olmalıdır.

Çizelge 4.4. Froehlich (2008) yöntemine göre belirlenen yıkılma senaryoları

Senaryo No.1			Senaryo No.2			Senaryo No.3		
Üzerinden Aşma			Borulanma			Borulanma		
$H_w=$	66.40 m		$H_w=$	66.40 m		$H_w=$	66.40 m	
$V_w=$	24.00 hm ³		$V_w=$	24.00 hm ³		$V_w=$	24.00 hm ³	
$A_s=$	0.84 km ²		$A_s=$	0.84 km ²		$A_s=$	0.84 km ²	
$K=$	12.00 m		$K=$	12.00 m		$K=$	12.00 m	
$H_b=$	70.00 m		$H_b=$	70.00 m		$H_b=$	70.00 m	
$Z_u=$	1.8	Z(Y):1(D)	$Z_u=$	1.8	Z(Y):1(D)	$Z_u=$	1.8	Z(Y):1(D)
$Z_d=$	1.8	Z(Y):1(D)	$Z_d=$	1.8	Z(Y):1(D)	$Z_d=$	1.8	Z(Y):1(D)
$Z_b=$	1	Z(Y):1(D)	$Z_b=$	0.7	Z(Y):1(D)	$Z_b=$	0.8	Z(Y):1(D)
$T_f=$	0.39		$T_f=$	0.39		$T_f=$	0.39	
$B_{avg}=$	95.68 m		$B_{avg}=$	73.58 m		$B_{avg}=$	73.58 m	
$B_b=$	25.66 m		$B_b=$	24.60 m		$B_b=$	17.59 m	
Sonuçların kontrolü			Sonuçların kontrolü			Sonuçların kontrolü		
$B_{avg}/H_b=$	1.37	>0.6 ✓	$B_{avg}/H_b=$	1.05	>0.6 ✓	$B_{avg}/H_b=$	1.05	>0.6 ✓
$ER(B_{avg}/T_f)=$	245.32		$ER(B_{avg}/T_f)=$	188.66		$ER(B_{avg}/T_f)=$	188.66	
$ER/H_b=$	3.50	1.6<ER/H _b <21 ✓	$ER/H_b=$	2.70	1.6<ER/H _b <21 ✓	$ER/H_b=$	2.70	1.6<ER/H _b <21 ✓

Çizelge 4.4. (Devam) Froehlich (2008) yöntemine göre belirlenen yıkılma senaryoları

Senaryo No.4		
Borulanma		
$H_w=$	66.40 m	
$V_w=$	24.00 hm ³	
$A_s=$	0.84 km ²	
$K=$	12.00 m	
$H_b=$	70.00 m	
$Z_u=$	1.8	Z(Y):1(D)
$Z_d=$	1.8	Z(Y):1(D)
$Z_b=$	0.9	Z(Y):1(D)
$T_f=$	0.39	
$B_{avg}=$	73.58 m	
$B_b=$	10.61 m	
Sonuçların kontrolü		
$B_{avg}/H_b=$	1.05	>0.6 ✓
$ER(B_{avg}/T_f)=$	188.66	
$ER/H_b=$	2.70	1.6<ER/H _b <21 ✓

Senaryo No.5		
Borulanma		
$H_w=$	66.40 m	
$V_w=$	24.00 hm ³	
$A_s=$	0.84 km ²	
$K=$	12.00 m	
$H_b=$	70.00 m	
$Z_u=$	1.8	Z(Y):1(D)
$Z_d=$	1.8	Z(Y):1(D)
$Z_b=$	1	Z(Y):1(D)
$T_f=$	0.39	
$B_{avg}=$	73.58 m	
$B_b=$	3.60 m	
Sonuçların kontrolü		
$B_{avg}/H_b=$	1.05	>0.6 ✓
$ER(B_{avg}/T_f)=$	188.66	
$ER/H_b=$	2.70	1.6<ER/H _b <21 ✓

Burada;

H_w : Gediğin tabanından barajdaki su seviyesine olan yükseklik (m)

H_b : Gedik yüksekliği (m)

T_f : Baraj yıkılma süresi (saat)

Z_u : Barajın memba yüzü şev eğimi Z(Y):1(D)

Z_d : Barajın mansap yüzü şev eğimi Z(Y):1(D)

Z_b : Gedik şev eğimi Z(Y):1(D)

B_b : Gediğin taban genişliği (m)

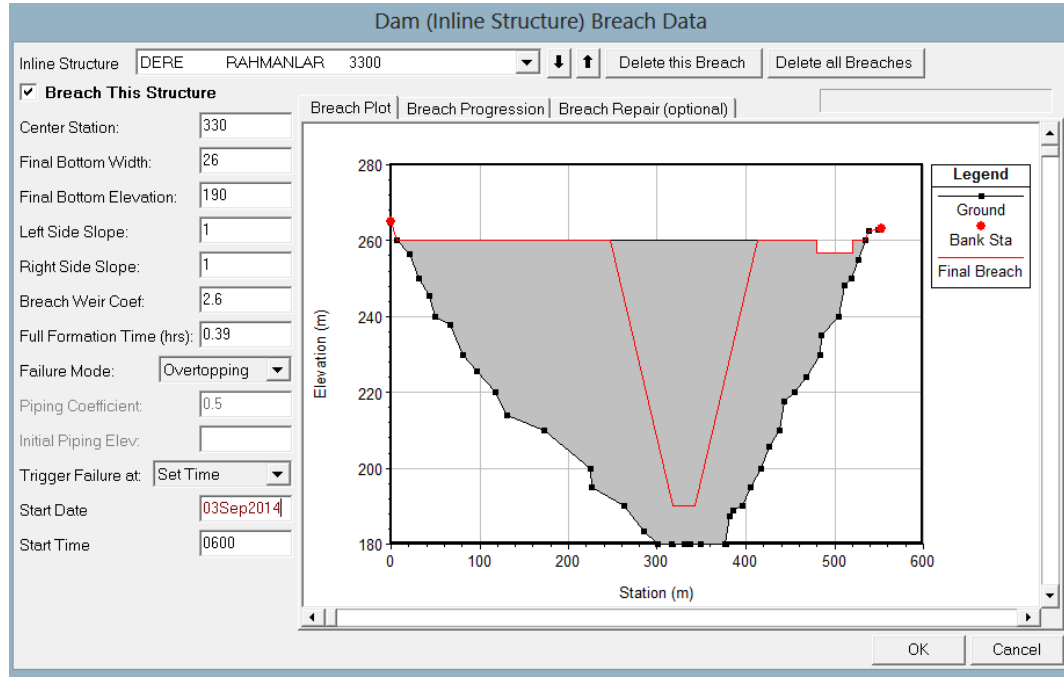
B_{avg} : Gedik ortalama genişliği (m)

K : Kret genişliği (m)

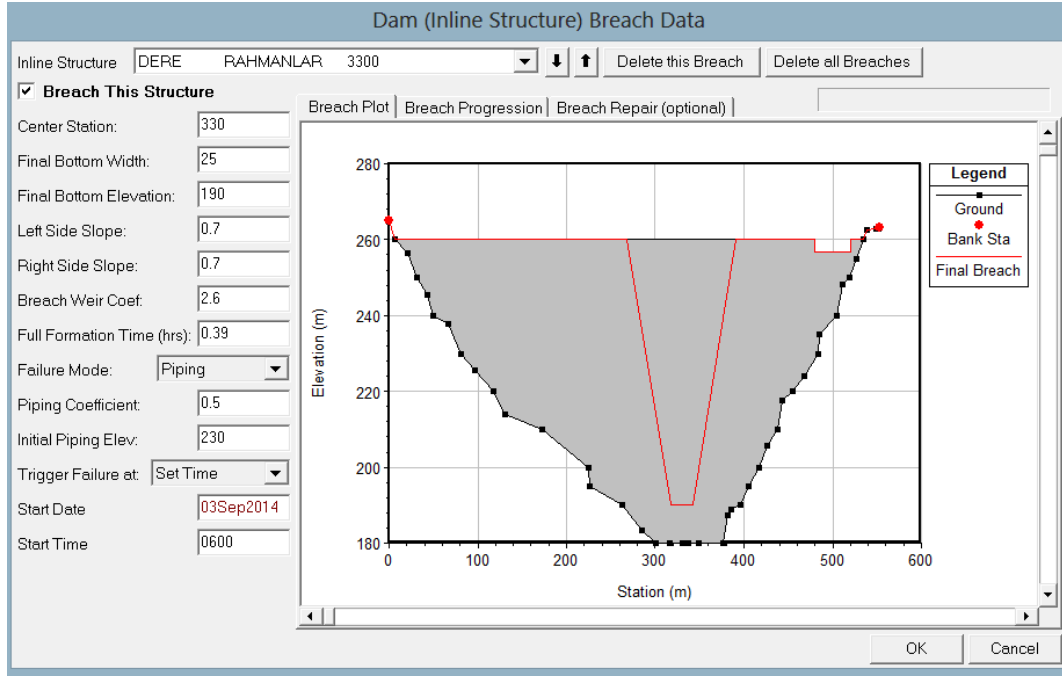
A_s : Rezervuar yüzey alanıdır (m^2)

V_w : Yıkılma anında rezervuardaki su hacmidir. (m^3)

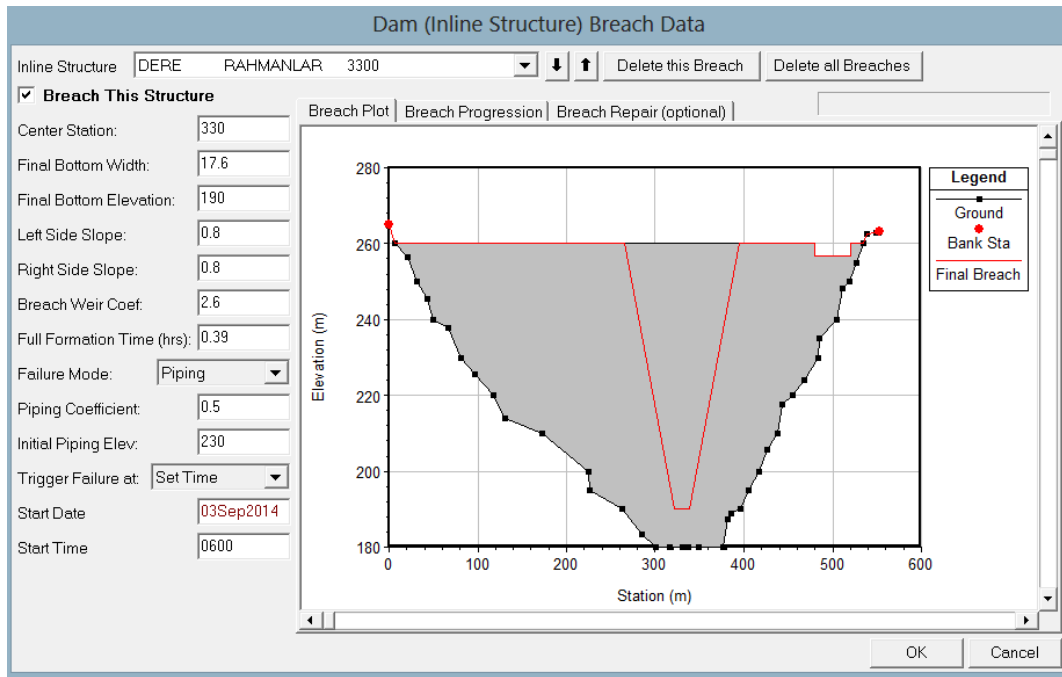
Çizelge 4.4’de verilen yıkılma senaryoları HEC-RAS programına tanımlanırken “ Dam Breach Data” editörü kullanılmıştır. Programda tanımlanan baraj yıkılma senaryoları Şekil 4.6-10’da görülmektedir.



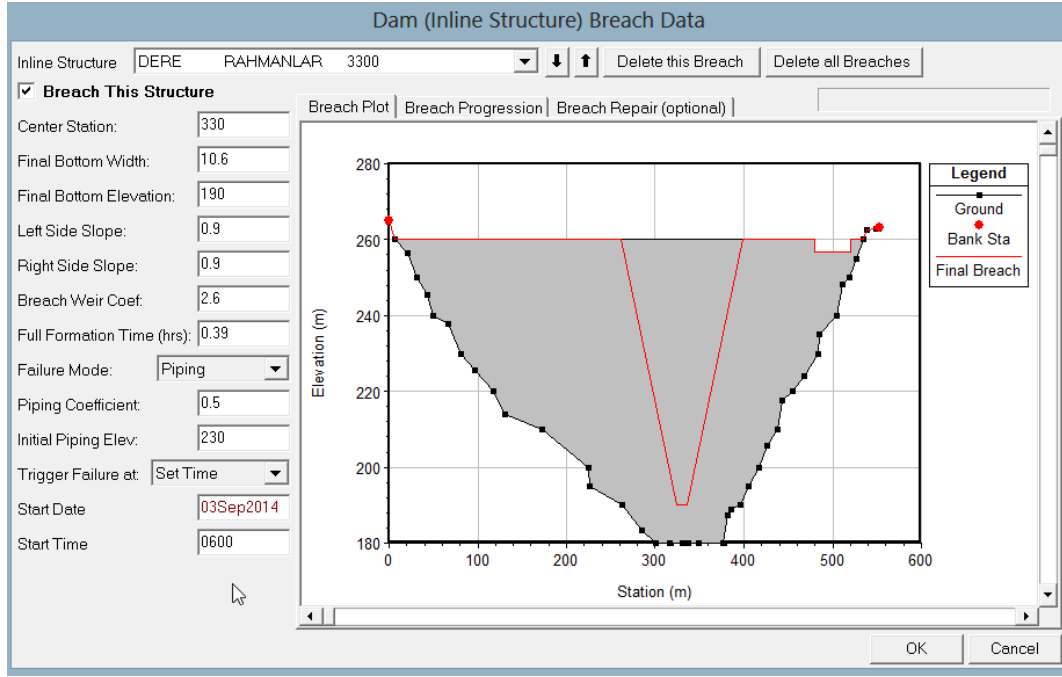
Şekil 4.6. HEC-RAS programında 1 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması



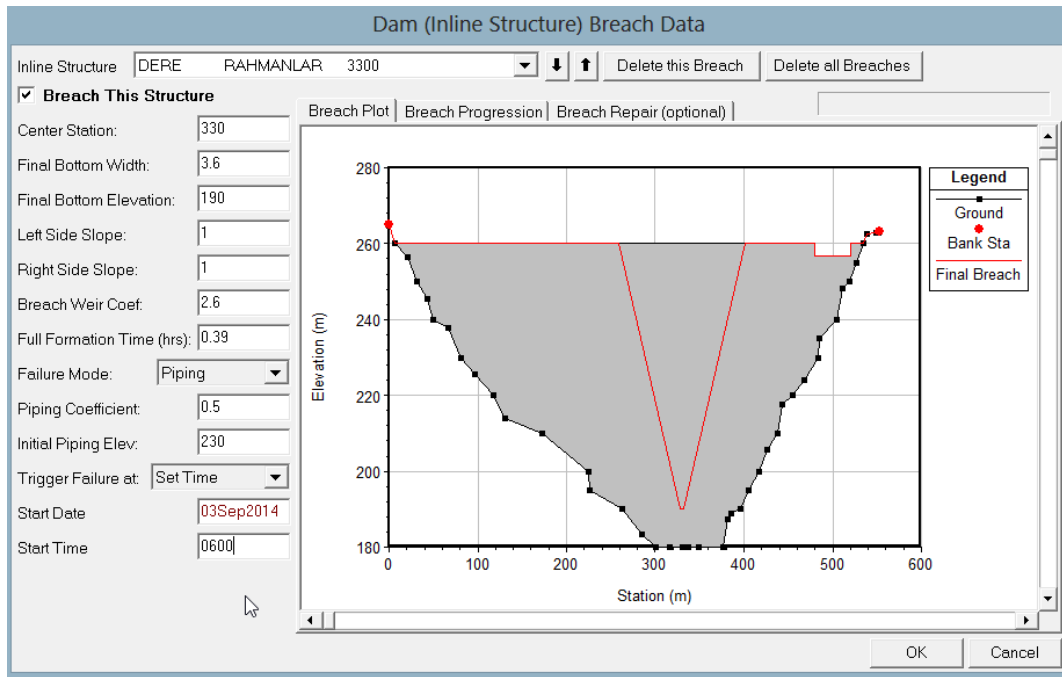
Şekil 4.7. HEC-RAS programında 2 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması



Şekil 4.8. HEC-RAS programında 3 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması



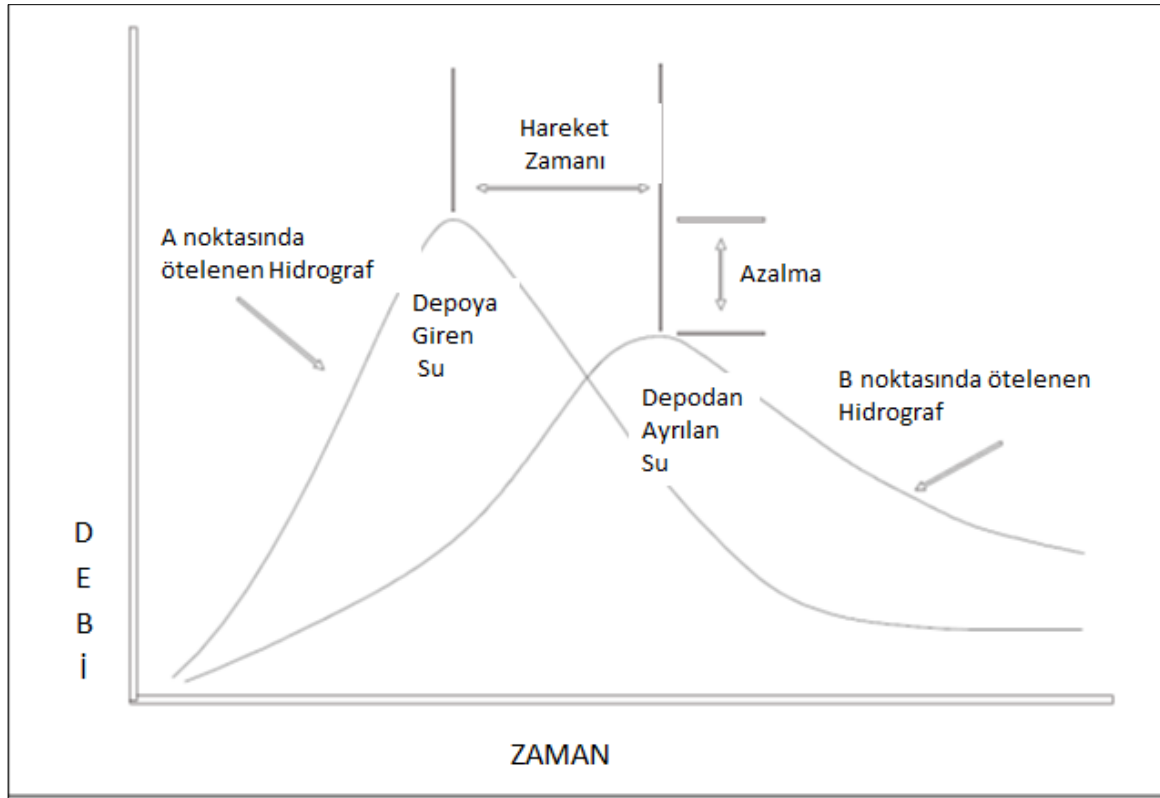
Şekil 4.9. HEC-RAS programında 4 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması



Şekil 4.10. HEC-RAS programında 5 numaralı senaryodaki gedik geometrisinin tanımlanması

4.3.2. Nehir akışı ve rezervuar ötelemesi

Öteleme süreci sel hidrografının dere yatağı veya rezervuarı boyunca hareketi esnasında zamansal ve mekânsal değişiminin tahmini için kullanılmaktadır. Derenin taşıdığı su kapasitesi ve akımın direnci, taşkın dalgasının zamana bağlı olarak membadan mansaba doğru hareketi ve taşkın hidrografının şekli ile ifade edilmektedir. Taşkın öteleme hesapları; ağır yağışlar sonucu oluşan hidrografın uzaklaştırılması, istenen bir noktada su veriminin tahmini, taşkın yapılarının tasarım yüksekliğinin belirlenmesi, dolusavak tasarımının yapılması gibi amaçlar için kullanılmaktadır. Şekil 4.11’de mansapta ilerleyen taşkın dalgasının deşarj hidrografında meydana gelen değişimi görülmektedir.



Şekil 4.11. Ötelenen debi hidrografı (EM-1110-2-1417, 1994)

Taşkın öteleme, hidrolik ve hidrolojik öteleme olmak üzere iki kategoride sınıflandırılmaktadır. Hidrolik öteleme tekniği zamana bağlı (unsteady) açık kanal akımlar için kısmi diferansiyel denklemlerle çözüm yapılması temeline dayanmaktadır. Bu denklemler Saint Venant veya dinamik dalga denklemleri olarak anılmaktadır.

Hidrolojik öteleme tekniği depolama, giriş ve çıkış arasındaki ilişkiyi birleştiren süreklilik denklemini kullanmaktadır. Bu ilişki genelde deneysel veya analitik olarak varsayılmaktadır. Süreklilik denklemi en basit şekilde; “ Giren akım- Çıkan akım = Depolanan suyun değişimi ” şeklinde ifade edilebilmektedir.

$$O = \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (4.3)$$

Burada:

I : Δt süresinde giren ortalama akım miktarı

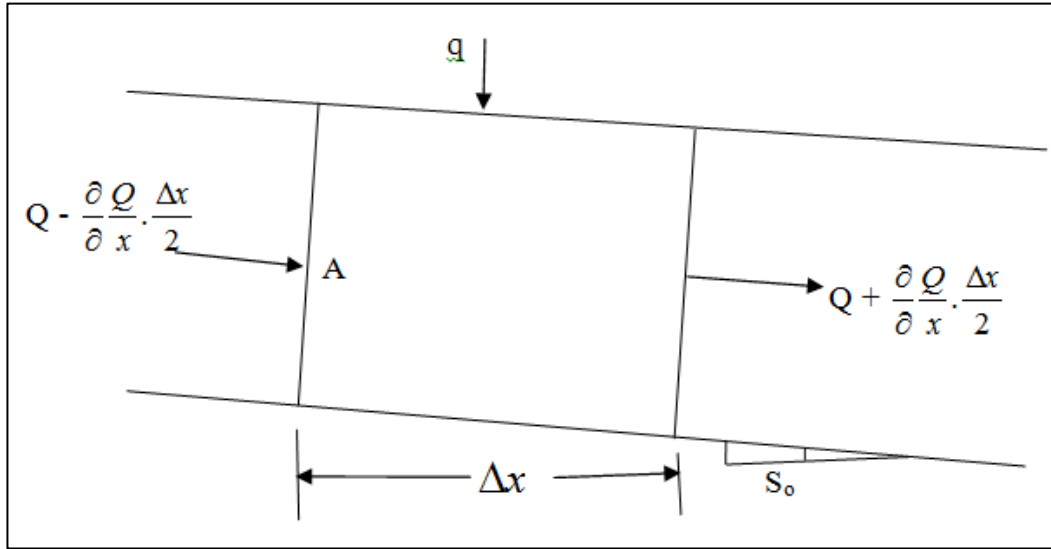
O : Δt süresinde çıkan ortalama akım miktarı

S : Deredeki depolama

Hidrolik ötelemede ise zamana bağlı (unsteady) akımın çıkış hidrografi, bir dizi hidrodinamik diferansiyel denklemin eş zamanlı çözümleri ile hesaplanmaktadır. Hidrolik öteleme, iletim sistemi boyunca birçok noktada zamanın fonksiyonu olarak hesaplanan akımın hidrolik prensibi temeline dayanmaktadır.

HEC-RAS bilgisayar programı, açık kanallarda 1 boyutlu zamana bağlı akım denklemleri olarak tanımlanan süreklilik ve momentum eşitliklerini de kapsayan Saint Venant denklemlerini kullanmaktadır. Bu denklemlerin çözümleri ile taşkın dalgasının kanal boyunca ve zamanla yayılımı belirlenmektedir.

Süreklilik denklemi kütle korunumu yasasına dayanmaktadır. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi, q kanalın birim uzunluk başına debisini ifade etmektedir. Q başlangıç debisi ve A ise akımın kesit alanını ifade etmektedir. Tüm değişkenler yer ve zamana bağlıdır.



Şekil 4.12. Süreklilik denklemi için kontrol hacmi (Gupta, 2007)

$$\text{Giren Akım} = \left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right) \Delta t + q \Delta x \Delta t \quad (4.4)$$

$$\text{Çıkan Akım} = \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \right) \Delta t \quad (4.5)$$

Depolama hacmindeki değişim Eş. 4.6' da görüldüğü gibi; kesit alanının değişiminin kesit uzunluğu ve zaman ile çarpımına eşittir.

$$\text{Depolamadaki değişim } (\Delta q) = \frac{\partial A}{\partial t} \Delta x \Delta t \quad (4.6)$$

Kütle korunum yasasına göre: Giren akım – Çıkan akım = Hacimdeki değişim oranıdır.

Kütle korunum yasasına göre Eş. 4.6' da verilen denklemde giren akım yerine, çıkan akım ve depolama hacmindeki değişim konarak Δx 'e bölünürse Eş.4.7 elde edilmektedir.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (4.7)$$

Kanalın birim genişliği b ile ortalama hızı v için, süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılmaktadır:

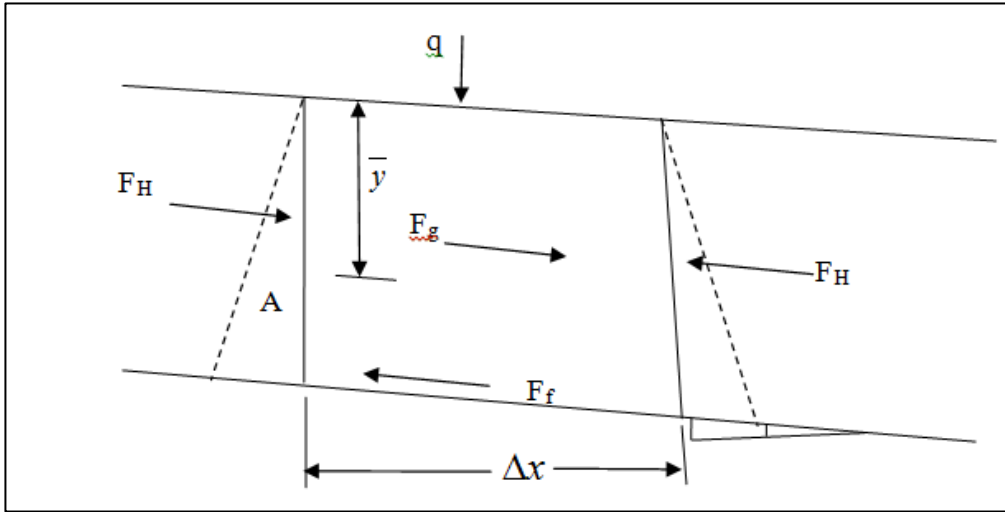
$$\frac{\partial y}{\partial t} + v \frac{\partial y}{\partial x} + y \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{q}{b} \quad (4.8)$$

Momentum denkleminin x yönünde hareketi Newton'un hareket kanuna göre, dere üzerinde bir kuvvet dengesi oluşturmaktadır. Şekil 4.13'de verilen üç ana kuvvet aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

Hidrostatik Basınç Kuvveti:
$$F_H = -\gamma \frac{\partial(\bar{y}A)}{\partial x} \Delta x \quad (4.9)$$

Ağırlık Kuvveti
$$F_g = \gamma A \Delta x \quad (4.10)$$

Sürtünme Kuvveti:
$$F_f = -\gamma A S_f \Delta x \quad (4.11)$$



Şekil 4.13. Momentum eşitliği için kontrol hacmi (Gupta, 2007)

Momentum değişim oranı Newton'un ikinci yasasıyla Eş.4.12'deki gibi ifade edilmektedir.

$$F = \frac{d}{dt}(mv) \quad (4.12)$$

Burada hızın (v) zamana (t) göre türevi alındığında Eş.4.13 elde edilmektedir.

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + v \frac{\partial v}{\partial x} \quad (4.13)$$

Bu üç dış kuvvetin toplamı eşitlendikten ve geniş kanal kabulü için sisteme giren yanal akımlar ihmal edildikten sonra, bazı sadeleştirmeler yapılarak tekrar düzenlenen Momentum denklemi Eş. 4.14' te verildiği gibi elde edilmiştir.

$$S_f = S_o - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial v}{\partial t} \quad (4.14)$$

Burada;

γ : Suyun özkütlesi

$\bar{y}$: Su yüzünden basınç prizmasının merkezine olan uzaklığı

Q : Giren akım

A : Kesit alanından geçen akım

V : Suyun ortalama hızı

x : Kanal uzunluğu

b : Su yüzü genişliği

y : Suyun derinliği

t : Zaman

q : Kanalın birim uzunluğu başına yanal girişi

S_f : Sürtünme eğimi

S_o : Kanal yatak eğimi

g : Yerçekim ivmesi

Süreklilik ve momentum denklemleri, açık kanal akımlarında 1 boyutlu zamana bağlı akım problemlerinde en kesin ve kapsamlı çözüm olarak kabul edilmektedir. Bununla birlikte, bu denklemler belirli varsayımlara dayandığından belli sınırlamaları vardır. Aşağıda verilen varsayımlar 1 boyutlu zamana bağlı akımların elde edilmesi için kullanılmaktadır.

1. Hız sabit ve su yüzü bütün kanal kesiti boyunca yataydır.
2. Yanal, ikincil akım oluşmayacağı varsayılmıştır.
3. Bir boyutlu akımlarda düşey hız değişimi ihmal edilmektedir.
4. Kanal sınırları sabit kabul edilmektedir. Kanalda herhangi bir aşınma ya da birikme meydana gelmez.

5. Suyun yoğunluğunun düzgün dağıldığı varsayılır ve akışa karşı direnci, Manning ve Chezy denklemleri gibi ampirik formüller ile tanımlanmaktadır.
6. Bütün denklemlerin çözümü explicit (açık) veya implicit (kapalı) sonlu farklar yöntemi ile gerçekleştirilmektedir. Denklemler artan zaman (t) ve artan mesafe (x) için suyun güzergahı boyunca çözülmemektedir.

4.4. Üç Boyutlu Taşkın Analizi: FLOW-3D Programı Kullanılarak

Karmaşık geometriler, viskozite, sıcaklık farkları vb. etmenler klasik akışkanlar mekaniğinin temel denklemlerine uygulandığında çözümü çok zor, hatta çoğunlukla imkânsızdır. Klasik akışkanlar mekaniğinde ancak düz levhalar, dairesel kesitli borular gibi idealize edilmiş basit geometrilerde sonuca ulaşılabilir. Geriye kalan gerçek problemlerin çoğunda sonuç elde edebilmek için laboratuvar ortamında prototip deneylerin yapılması veya bilgisayar ortamında hesaplamalı akışkanlar dinamiğine başvurulması gerekmektedir.

Bilgisayar hesaplamalı akışkanlar dinamiği uygulamalarında akış bölgesi, akışa ait temel diferansiyel denklemleri simüle eden küçük düzgün elemanlardan ve noktalardan oluşmuş ağ yapısına ayrılmaktadır. Bu küçük elemanlardan iterasyonlarla adım adım bütün çözüme varılmaktadır.

Bilgisayar hesaplamalı akışkanlar mekaniği dalı, mühendisler için fikirlerini bilgisayar ortamında kolaylıkla modelleme ve test etme olanağı sağlayan bir "sanal laboratuvar" gibi düşünülebilir (Kocaman, S., 2007). Diğer bir deyişle, basınç, hız, sıcaklık gibi değişken olan süreç parametrelerini kullanarak istenen bir durum veya ürün tasarlanabilir. Bu sürecin davranışı HAD² ortamında, temel fizik kurallarına göre sayısal olarak tahmin edilir. Bu sanal laboratuvar, kolayca görülemeyen veya ölçülemeyen durumlar belirlenebilmektedir. Bu açıdan HAD bize aslında kurulması maliyetli olan prototipler olmadan birçok olası tasarımları çalışma imkânı sağlamaktadır.

² Hesaplamalı akışkanlar dinamiği

Bu tez çalışmasının konusu olan baraj yıkılması olayının 3 boyutlu modeli FLOW-3D programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Program akışkan hesaplamalarını yaparken aşağıda verilen Navier-Stokes çözüm şemasını kullanmaktadır (FLOW-3D Science, 2010).

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \left\{ u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x - \frac{1}{\rho} \Delta \tau_x - Ku + F_x \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \left\{ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y - \frac{1}{\rho} \Delta \tau_y - Kv + F_y \quad (4.16)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \left\{ u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z - \frac{1}{\rho} \Delta \tau_z - Kw + F_z \quad (4.17)$$

Burada;

U : (u,v,w) Akış hızı

P : Basınç

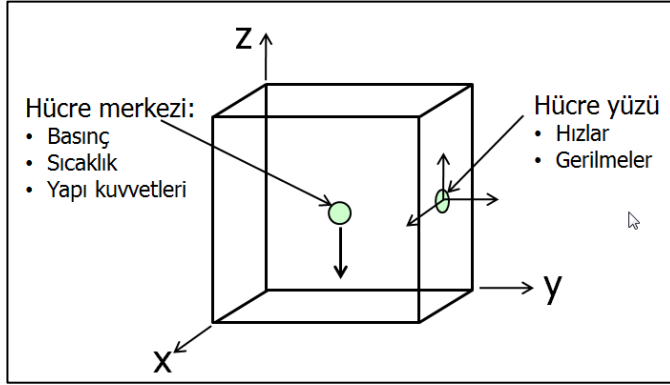
G : Yer çekim ivmesi

τ : Viskoz gerilme bileşeni

K (u,v,w) : Sürüklenme kuvveti (delikli perde tanımlandığında)

F : Diğer kuvvetler; yüzey gerilmesi, elektrik kuvveti, kullanıcı tarafından tanımlanan kuvvetler vs.

Denklemler, momentum, enerji ve kütle korunumunun temel prensiplerinden elde edilir. Bunun için, bazı hallerde kontrol hacmi adı verilen, rastgele seçilmiş sonlu bir hacim belirlemek gereklidir. Bu hacim üzerinde bu prensipler kolayca uygulanabilir. Çözüm sonlu fark ağları (mesh) ile gerçekleştirilir. Şekil 4.14'te görüldüğü gibi sıcaklık ve basınç gibi skaler büyüklükler çözüm ağı hücrelerinin merkezinde, vektör ve tensörler ise yüzeylerinde hesaplanmaktadır. Bu yaklaşım türev hesaplarında kararlılık ve kolaylık sağlamaktadır.



Şekil 4.14. Bir hesap hücresinin yüzeyinde ve merkezinde etkiyen değişkenler (FLOW-3D semineri, 2010)

HAD, karmaşık akış çözümleri için mükemmel bir araçtır. Ancak bu araç kullanılırken doğru sonuçlar elde edebilmek için oluşturulan çözüm ağının hassasiyeti, tanımlanan sınır koşullarının gerçeğe uygunluğu ve analiz sonuçlarının doğru yorumlanması çok önemlidir. FLOW-3D yazılımının çözüm ağı sınırlarında, simetri, duvar, bağlayıcı, periyodik, basınç, hız, çıkan akım gibi farklı sınır koşulları bulunmaktadır.

Rezervuar ve dere su yüzeyleri, açık hava ile temas ettiğinden normal basınç altında yüzeyde hiçbir kayma gerilmesi oluşmayacaktır. Bu bağlamda barajın FLOW-3D modelinde serbest su yüzü sınır koşulu uygulanmıştır. (FLOW-3D Seminars, İstanbul, 2011).

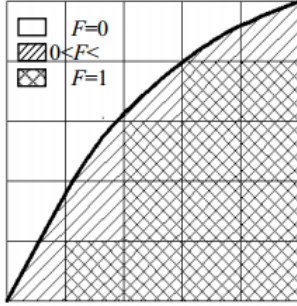
FLOW-3D yazılımı serbest yüzeylerin belirlenmesi için akışkan hacmi (VOF³) yöntemini kullanmaktadır (Hirt ve Nichols, 1981). VOF yöntemi ile hücrelerin boş, tam veya kısmen suyla dolu olduğu belirlenerek, hesaplama alanı üzerinde bir akışkan hacmi (F) tanımlanmaktadır. Bir hücre tamamen akışkan ile dolu ise 1 değerini, tamamen boş ise sıfır değerini ve doluluk yüzdesine göre sıfır ile 1 arasında farklı değerleri almaktadır (Kocaman, S., 2007).

Akışkan hacmi fonksiyonu F'nin değişimi Eş.4.18'de verilen diferansiyel denklem ile ifade edilmektedir. $F=1$ için ağ elemanı tam dolu, $F=0$ için boş (hava ile dolu) ve $0 < F < 1$ için ağ

³ Volume of Fluid

elemanı kısmen dolu olmaktadır (Şekil 4.15). Bu denklemde de görüldüğü gibi F kontrol hacmi değeri akışkan ile birlikte hareket etmektedir.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \left\{ u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} \right\} = 0 \quad (4.18)$$

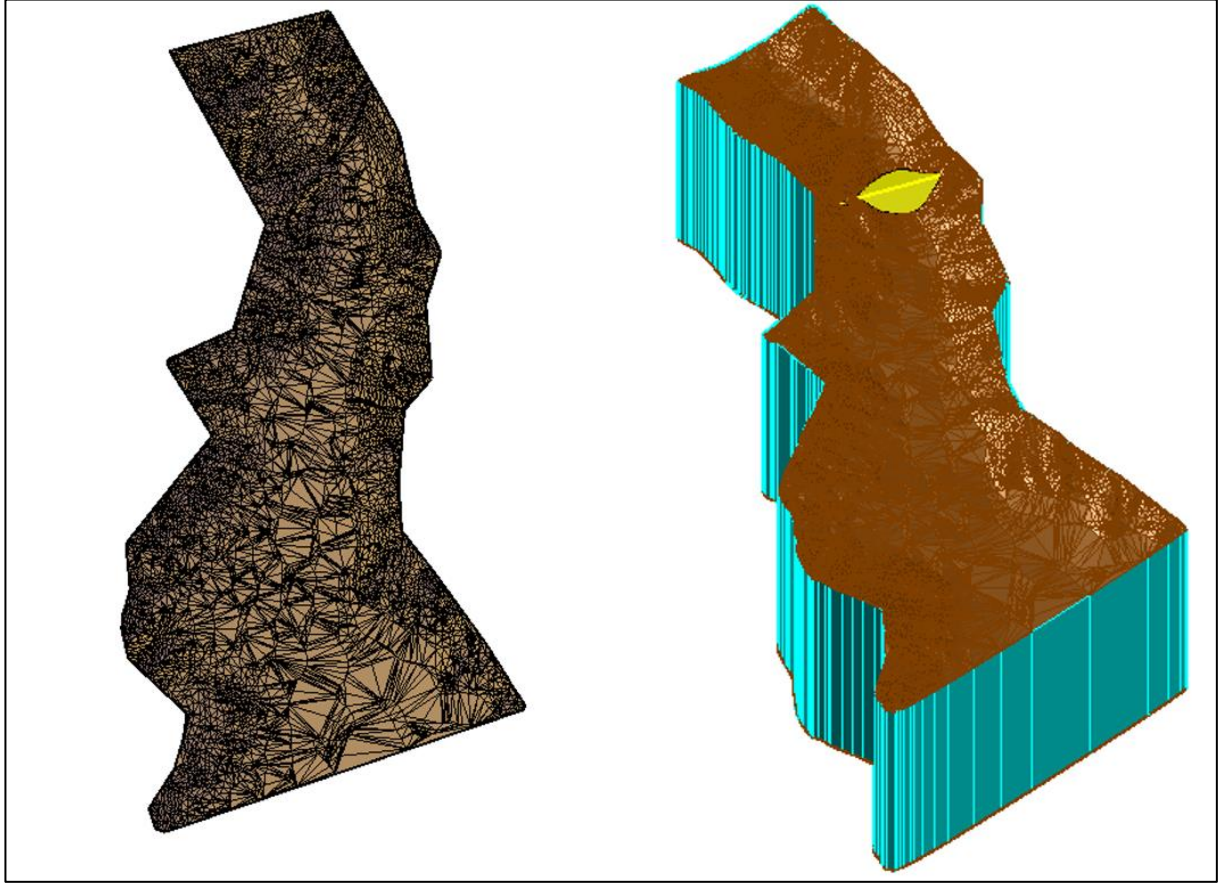


Şekil 4.15. Hesap hücresinin doluluk oranı (FLOW-3D Semineri, 2010)

4.4.1. Topoğrafya ve barajın modellenmesi

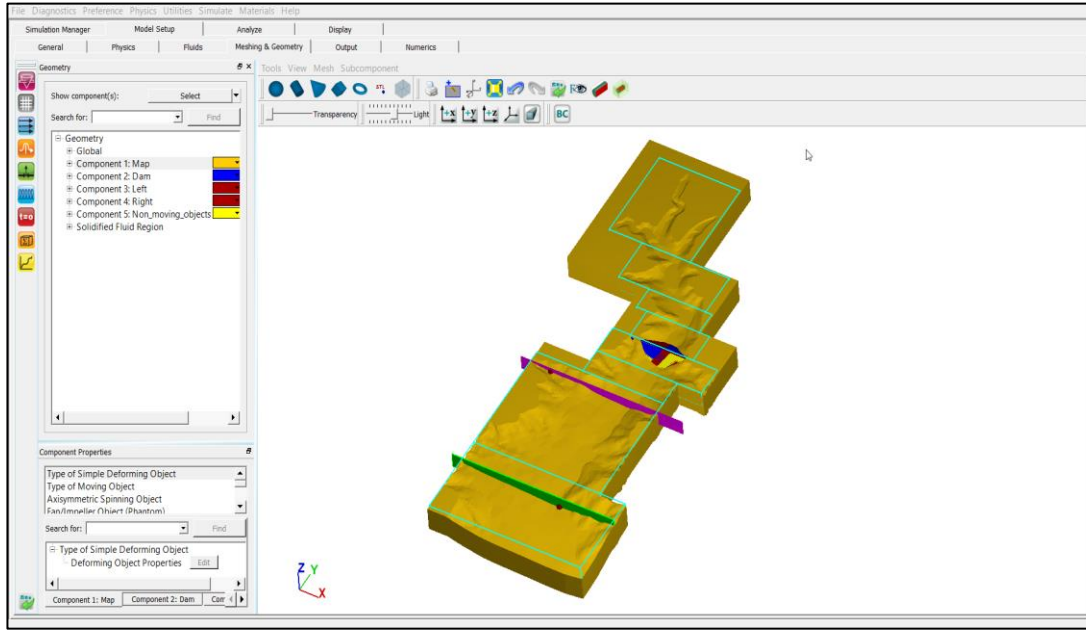
Arazinin 3 boyutlu modeli kurulurken Autodesk'in inşaat mühendisliği yazılımı olan ve Autocad üzerinden çalışan Civil 3D programı yardımıyla, mevcut haritalar üçgenlenmiş ağ vektörlerine dönüştürüldü. FLOW-3D programında analizlerin daha rahat yapılabilmesi için, haritanın tümü sadece baraj gölünü ve mansapta yer alan tehlike altındaki alanları kapsayacak şekilde sadeleştirilerek, düzensiz üçgensel ağ modeline (TIN)⁴ dönüştürülmüştür. Ayrıca FLOW-3D programının algılayabilmesi için, Şekil 4.16' da görüldüğü gibi hem arazi sayısal modeli hem de baraj çizimi katı cisim (solid) haline getirilmiştir.

⁴ Triangular Irregular Network

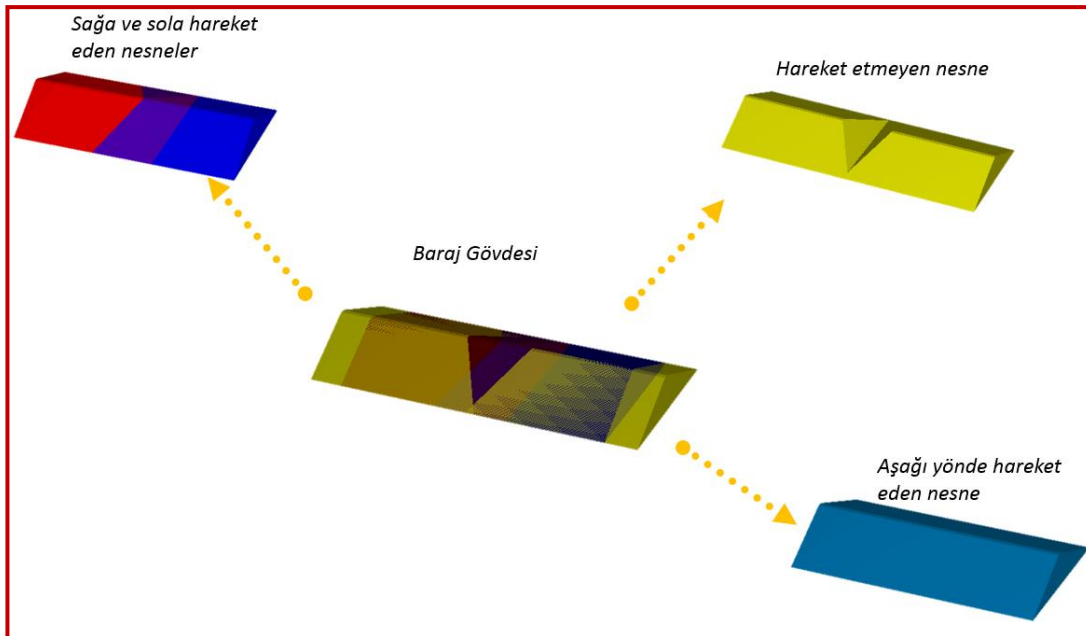


Şekil 4.16. Arazi sayısal modeli ve katı cisim haline getirilmesi

Şekil 4.17’de FLOW-3D programının çözüm ağları ve Şekil 4.18’de geometri ekranındaki arazi ve baraja ait katı cisimler görülmektedir. Suyun barajın üzerinden aşması senaryosuyla baraj yıkılması gerçekleştirilirken, gövdenin kademeli olarak açılmasının sağlanması için gövdeyi ifade eden katı cisimlerin simülasyon esnasında istenilen zamanda ve hızda hareketi sağlanarak gediğin oluşumu sağlanmıştır. Yıkılma öncesindeki ve sonrasındaki gövde geometrilerinin oluşturulabilmesi için 3’ü hareketli, toplam 4 adet parça programda tanımlanmıştır. Bunlar; baraj eksenini boyunca sağ ve sol kanatlara doğru hareket eden parçalar, düşey doğrultuda aşağı doğru hareket eden parça ve diğer parçalar hareketlerini tamamladığında, gövde gedik geometrisini meydana getiren hareketsiz parçadır.



Şekil 4.17. FLOW-3D çözüm ağı (mesh) ve geometri ekranı

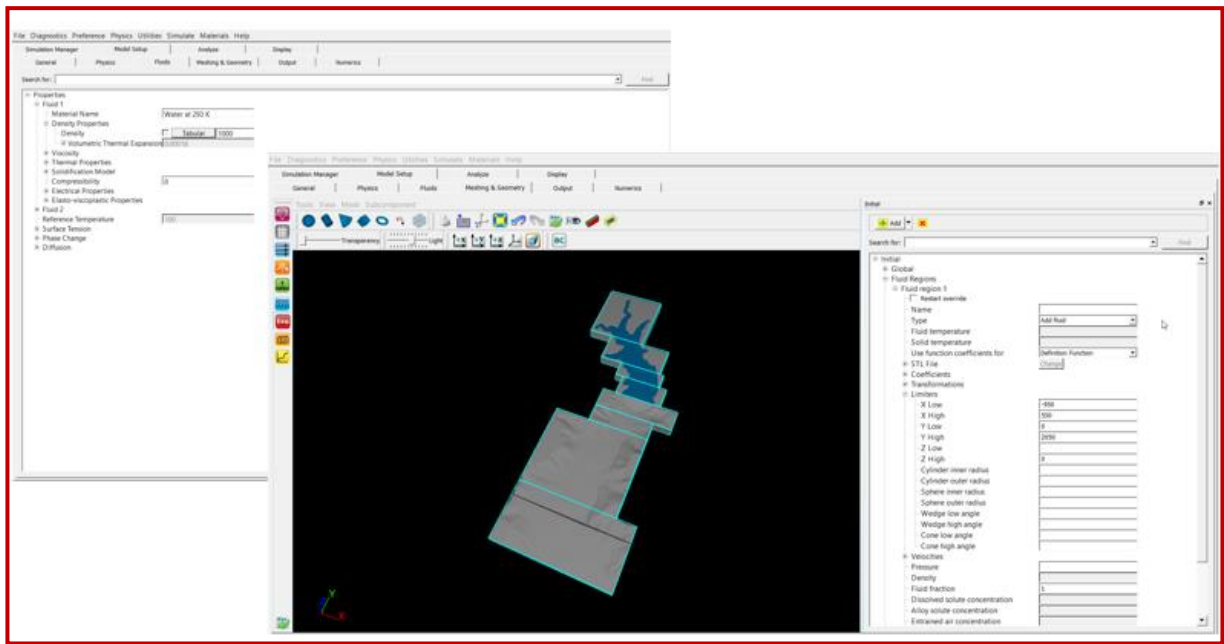


Şekil 4.18. Baraj gövdesini oluşturan katı cisimler

4.4.2. Sınır koşullarının tanımlanması

Göl alanının tanımlanması

Programda başlangıç sınır koşulu olarak öncelikle mevcut rezervuar alanı tanımlanmıştır. Bu aşamada göl alanı içinde yer alan akışkanın cinsi ve hangi sınırlar içerisinde yer aldığı belirtilerek, rezervuarda baraj normal su seviyesinde depolanan 23 hm³ hacim elde edilmiştir (Şekil 4.19).



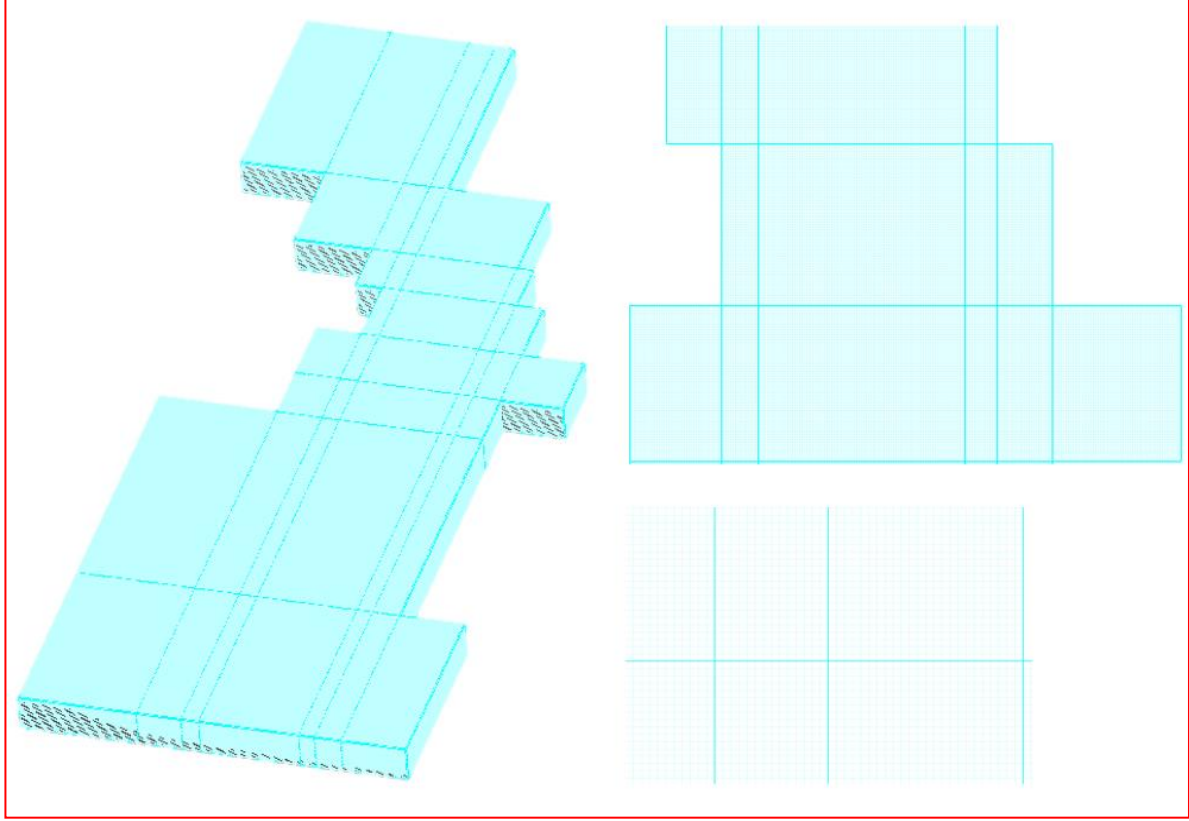
Şekil 4.19. FLOW-3D Programında göl alanının elde edilmesi

Çözüm ağı bloklarının tanımlanması

Simülasyonda hesap çözüm ağının etkin bir şekilde kullanılması amacıyla 8 adet çözüm ağı bloğu oluşturularak (mesh block) sadece yıkılma sonrası suyun aktığı alanların çözüm kapsamında olması sağlanmıştır (Şekil 4.20). Bu sayede kullanılmayan gereksiz alanların, çözümü gereksiz yere şişirmesi önlenmiştir.

Tanımlanan 8 adet çözüm ağı bloğunun tümüne yerleştirilen hesap hücrelerinin eşit kenar büyüklüğüne sahip olması analiz sonuçlarının istikrarlı olması için gerekli bir kriterdir. Akışkan hacmi yöntemiyle hesaplamalarını gerçekleştiren program, hücreyi 1 tam dolu

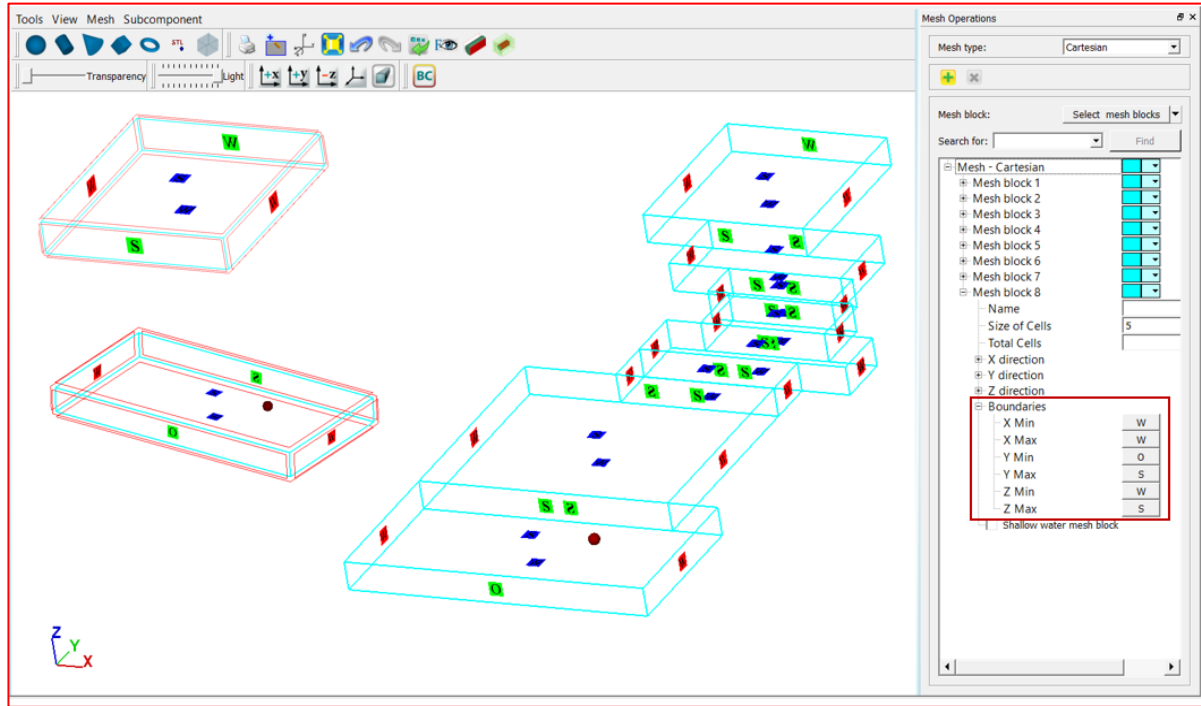
veya 0 tam boş olarak ifade ettiğinden hücre boyutlarının küçültülerek, sayılarının arttırılması doğru analiz sonuçlarının alınmasını sağlamıştır.



Şekil 4.20. FLOW-3D programında tanımlanan çözüm ağı bloklarının üstten görünüşü

Çözüm ağı bloklarına tanımlanan sınır koşulları

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi çözüm ağı bloklarının üç ekseninde de giriş ve çıkışları için sınır koşulları tanımlanır. Burada W sembolü ile gösterilen kenarlar duvar (Wall) olarak tanımlanmıştır. S harfi ile gösterilen kısımlar ise simetri (symmetry) olarak tanımlanmıştır. Son çözüm ağının hava çıkışını sağlayabilmek için (outflow) koşulu tanımlanmıştır.

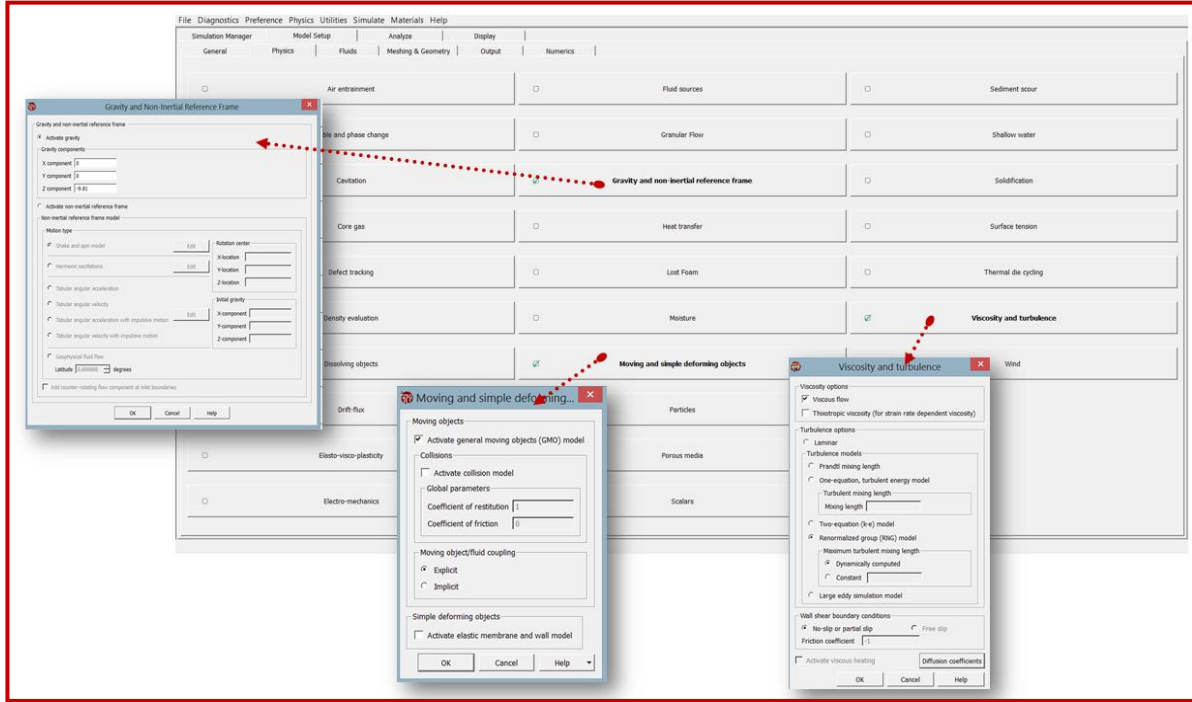


Şekil 4.21. Çözüm ağı bloklarına sınır koşullarının tanımlanması

Modelin fiziksel özelliklerinin tanımlanması

Gereksiz hesaplamaları en aza indirerek, suyun istenilen davranışı göstermesi için sadece gerekli olan fiziksel modeller programın fizikler (Physics) bölümünde tanımlanmıştır (Şekil 4.22). Arazi üzerinde ilerleyen akım, yüksek türbülansa sahip olduğundan sabit viskoziteye sahip Newtonyan akım olarak modellenmiştir.

Programda tanımlanan fiziksel modellerden bir diğeri de yerçekimi ve türbülans modelidir. FLOW-3D programında birden fazla türbülans modeli seçeneği bulunmaktadır. Baraj yıkılma simülasyonu için Yakhot ve Orszag (1986) tarafından düşünülmüş ve geliştirilmiş (Yakhot ve ark. 1992) olan RNG türbülans modeli (Yeninden Normalleştirme Grubu) seçilmiştir.



Şekil 4.22. FLOW-3D programına tanımlanan fiziksel modeller ana ekranı

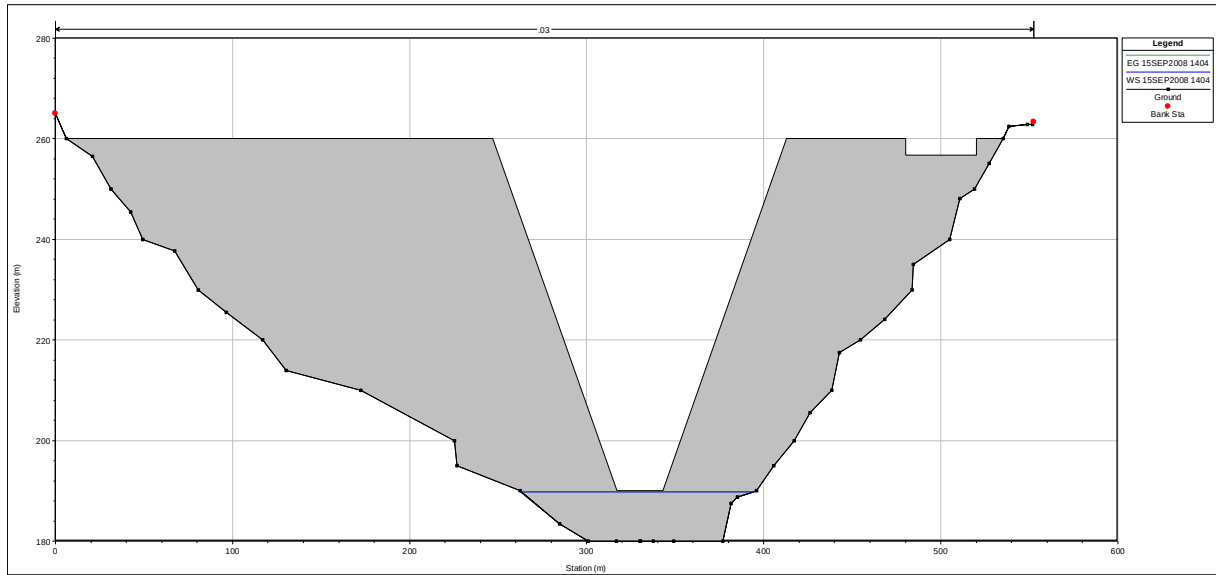
5. TEK VE ÜÇ BOYUTLU ANALİZLER

5.1. HEC-RAS Analizleri

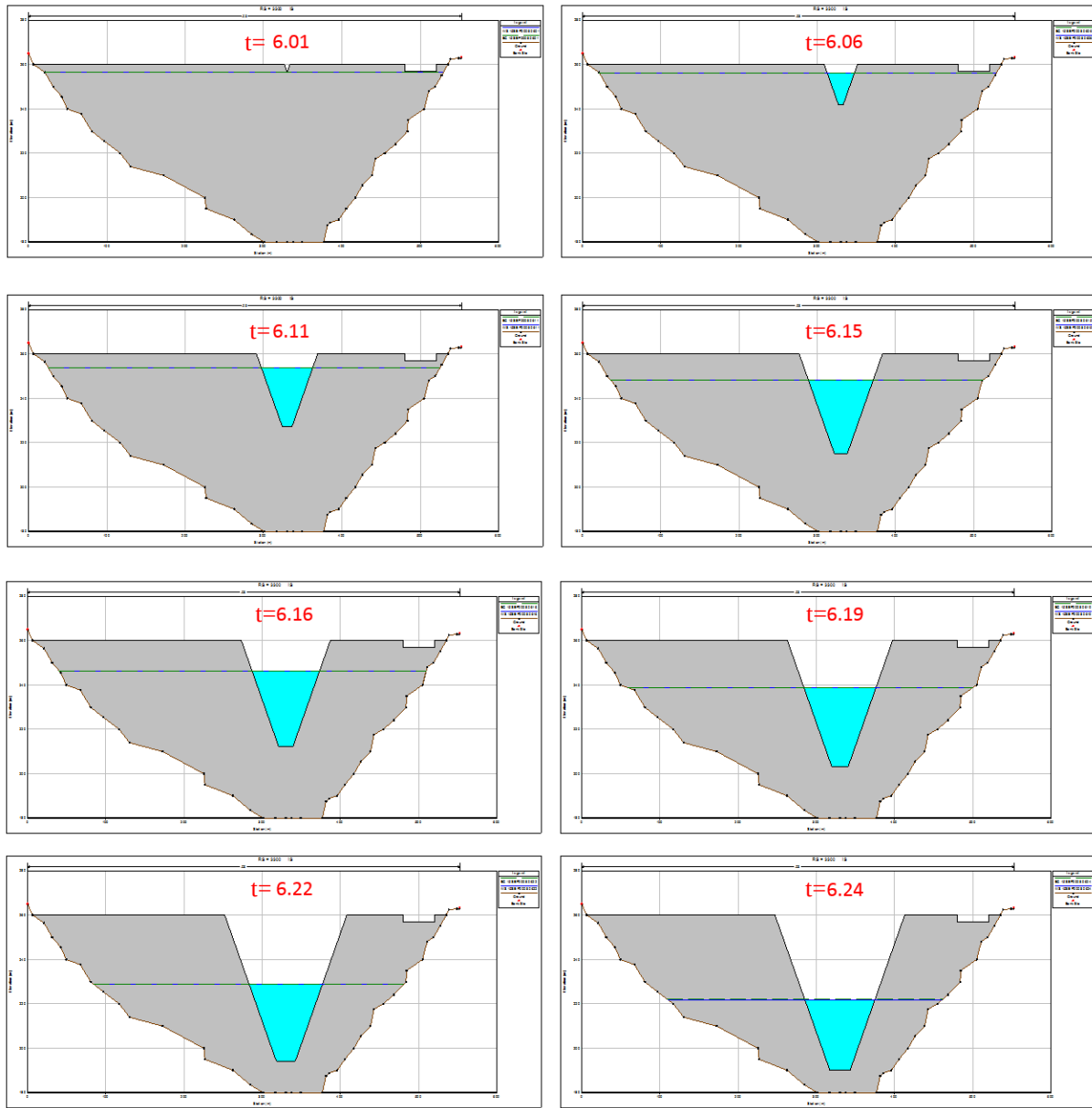
Belirtilen yıkılma senaryoları için HEC-RAS Programında gerçekleştirilen simülasyonların ardından, aşağıdaki çıktılar elde edilmiştir;

1. Her kesitte maksimum su seviyesi ve çıkış debileri
2. Her kesitte çıkış hidrografları
3. Her kesitte maksimum akım ve maksimum su seviyesinin gerçekleştiği zamanlar

HEC-RAS 'da yıkılmanın ardından baraj gövdesinde oluşan gedik geometrisi Şekil 5.1'de ve derede oluşan taşkın ise Şekil 5.2'de görülmektedir. Gövdede oluşan gedikten çıkan suyun kesitlerde oluşturduğu maksimum derinlikler tüm senaryolar için ayrı ayrı bulunmuştur. Tüm senaryolara ait tablolar Ek-2 ve Ek-4'te sunulmuştur.



Şekil 5.1. Baraj kesitinde oluşan gedik geometrisi



Şekil 5.3. HEC-RAS programında suyun barajın üzerinden aşmasıyla yıkılmanın gelişimi

Senaryo-2 için analiz sonuçları

2.Senaryoda; 06:00 anında borulanma ile gerçekleşen yıkılma analizinin sonuçları, baraj mansabındaki Üzümlü ve Ortaköy köylerinde maksimum derinliğin yıkılmadan sonra 23. ve 24. dakikalarda oluştuğunu göstermektedir. 06:24 anında dereye oluşan su yüzü profili Şekil 5.5'te verilmiştir.

Senaryo-3 için analiz sonuçları

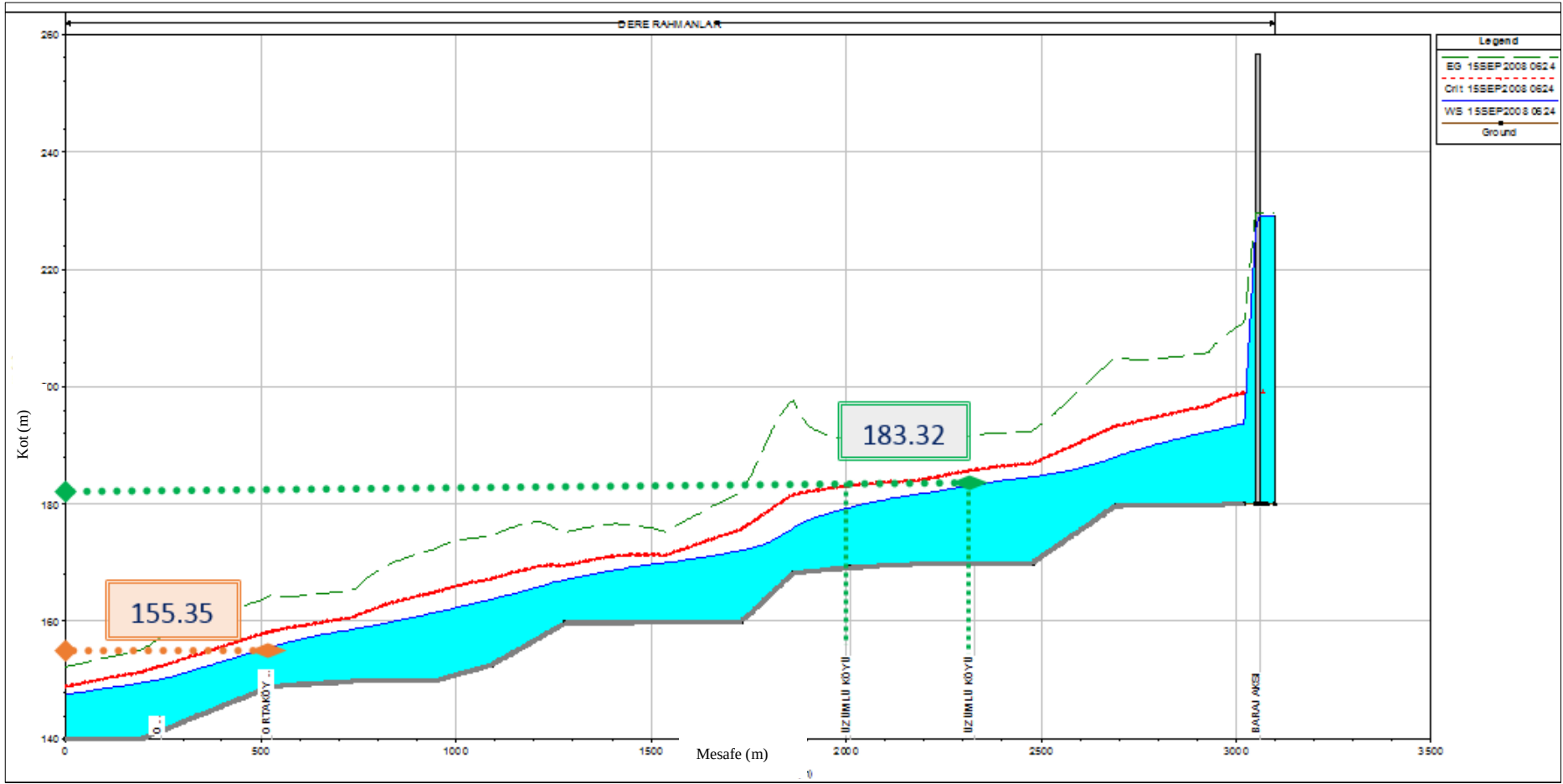
3.Senaryoda; 06:00 anında borulanma ile gerçekleşen yıkılma analizinin sonuçları, baraj mansabındaki Üzümlü ve Ortaköy köylerinde maksimum derinliğin yıkılmadan sonra 24. ve 25. dakikalarda oluştuğunu göstermektedir. 06:25 anında dereye oluşan su yüzü profili Şekil 5.6'da verilmiştir.

Senaryo-4 için analiz sonuçları

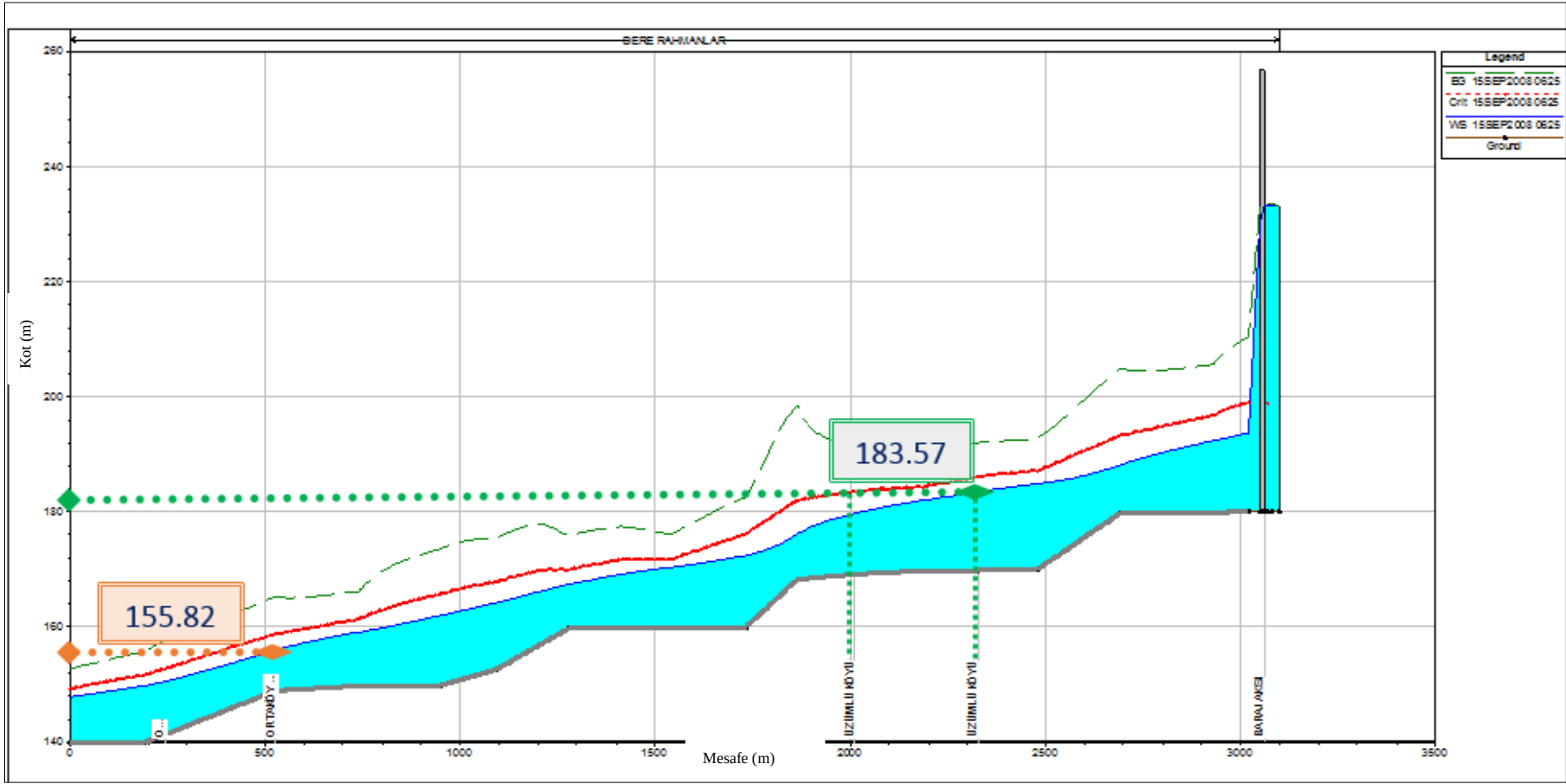
4.Senaryoda; 06:00 anında borulanma ile gerçekleşen yıkılma analizinin sonuçları, baraj mansabındaki Üzümlü ve Ortaköy köylerinde maksimum derinliğin yıkılmadan sonra 24. ve 25. dakikalarda oluştuğunu göstermektedir. 06:25 anında dereye oluşan su yüzü profili Şekil 5.7'de verilmiştir.

Senaryo-5 için analiz sonuçları

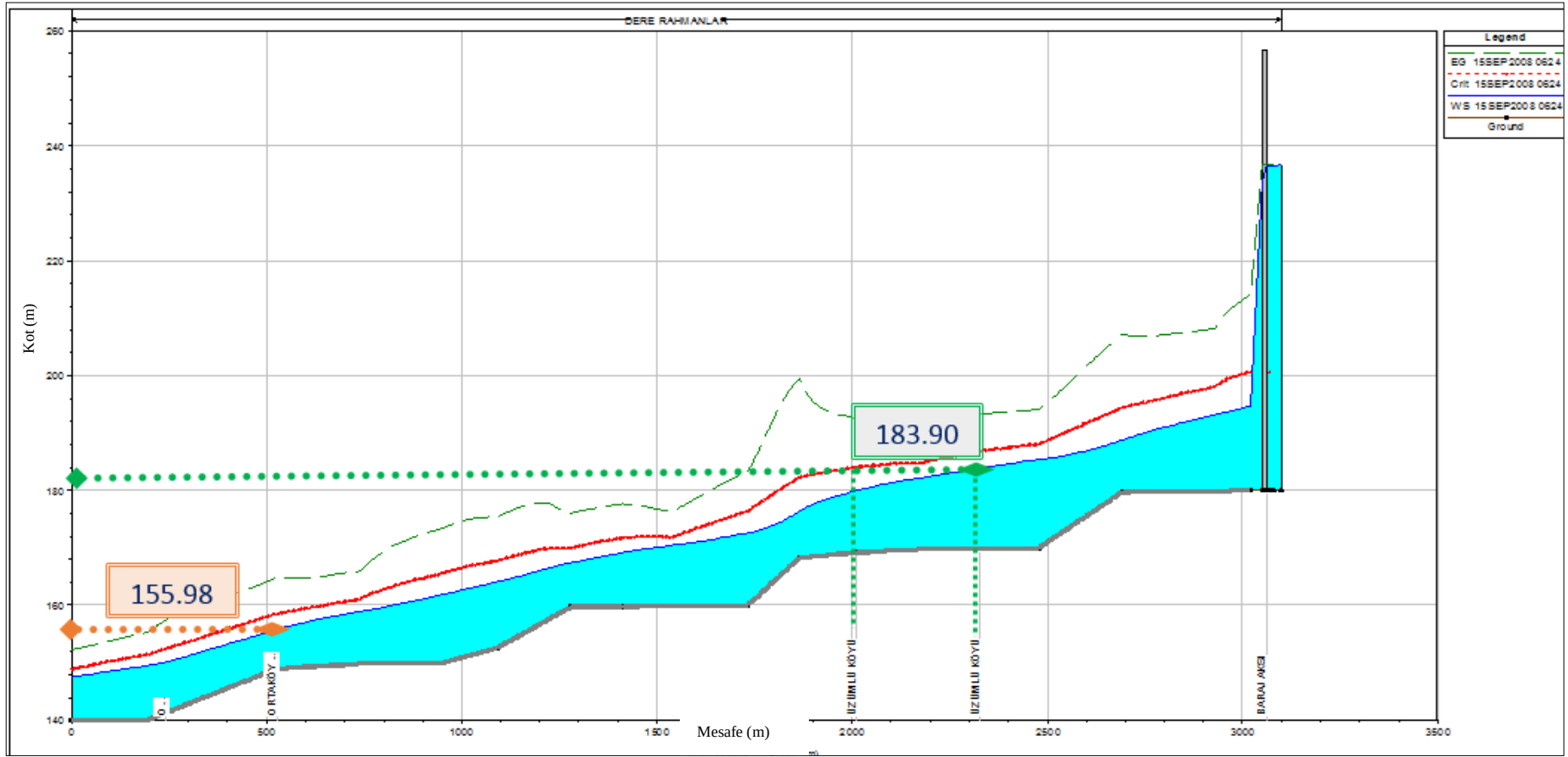
5.Senaryoda; 06:00 anında borulanma ile gerçekleşen yıkılma analizinin sonuçları, baraj mansabındaki Üzümlü ve Ortaköy köylerinde maksimum derinliğin yıkılmadan sonra 24. ve 25. dakikalarda oluştuğunu göstermektedir. 06:25 anında dereye oluşan su yüzü profili Şekil 5.8'de verilmiştir.



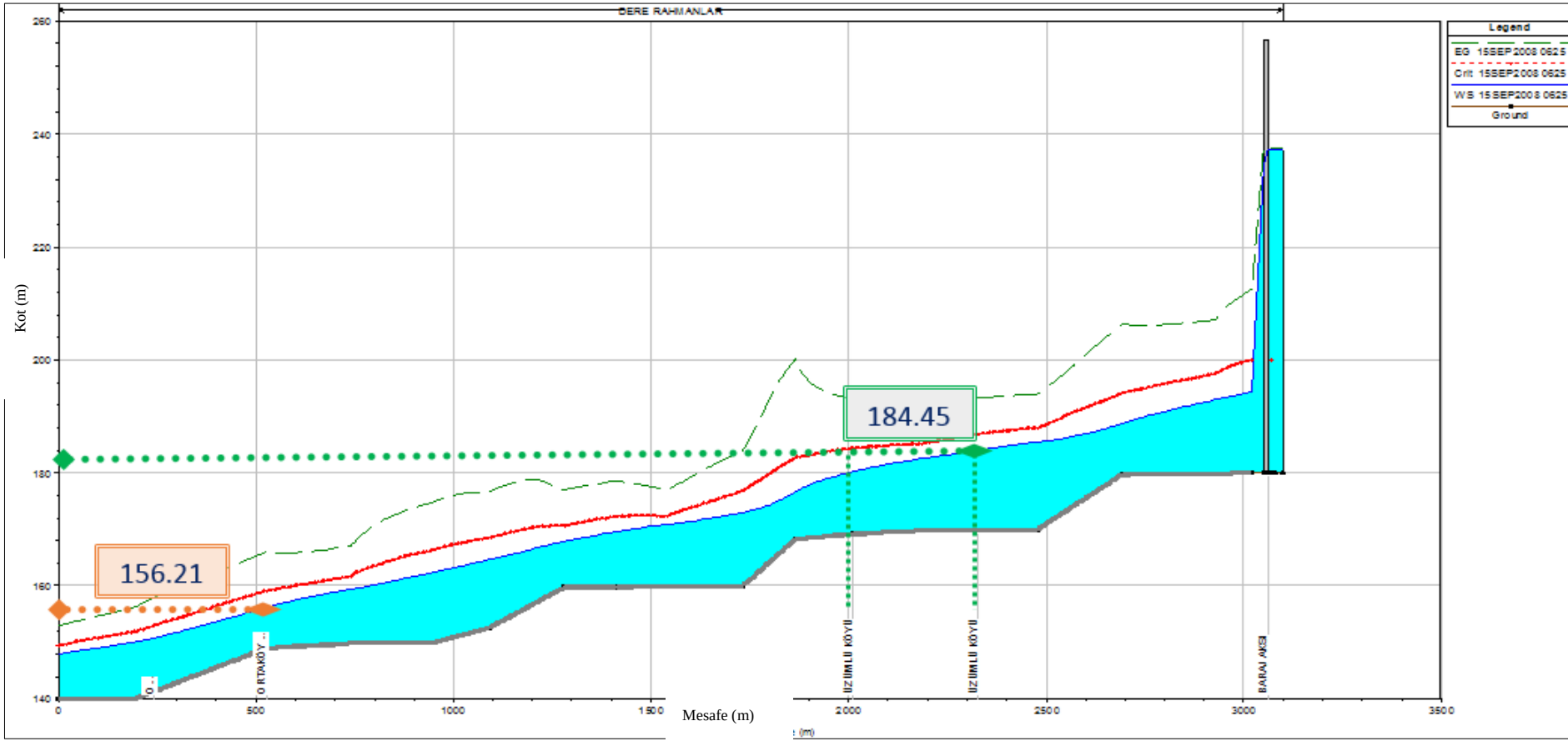
Şekil 5.5. Senaryo-2 yıkılmanın ardından 06:24 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili



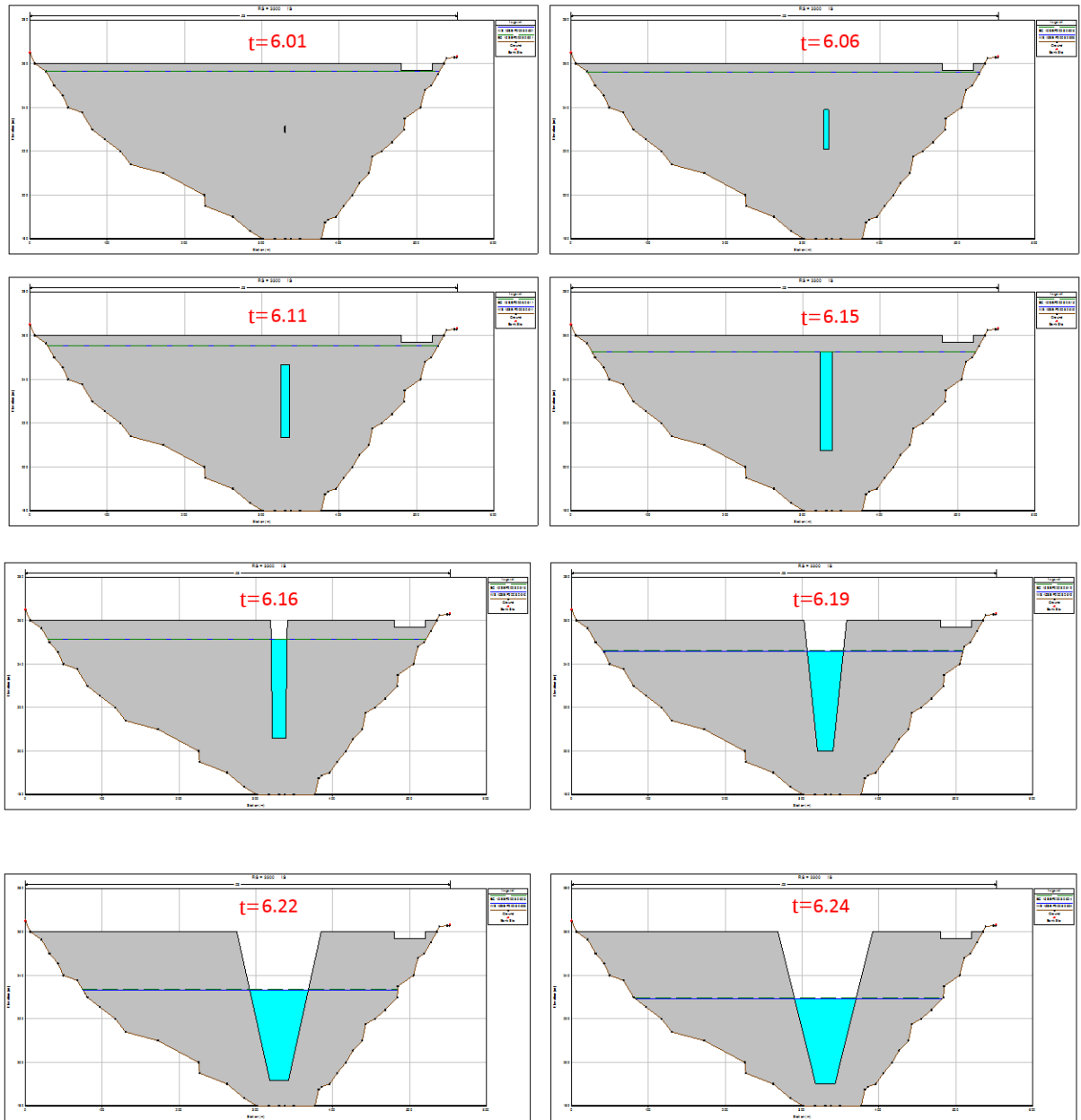
Şekil 5.6. Senaryo-3 yıkılmanın ardından 06:25 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili



Şekil 5.7. Senaryo-4 yıkılmanın ardından 06:25 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili



Şekil 5.8 Senaryo-5 yıkılmanın ardından 06:25 anında gerçekleşen maksimum su yüzü profili



Şekil 5.9. HEC-RAS programında borulanma durumunda yıkılmasının gelişimi

Farklı yıkılma senaryoları için barajın mansabında yer alan Üzümlü ve Ortaköy köyleri'nde elde edilen maksimum su seviyeleri ile mansapta ötelenen pik debinin miktarları Çizelge 5.1 ve 5.2'de özetlendiği gibidir. Çizelge 5.2'de elde edilen sonuçlarda beklenildiği üzere, baraj gövdesinde oluşan gedikten ayrılan taşkın debisinin ötelenmesinin sonucunda, en mansaptaki kesitten çıkan taşkın pik değerinin azaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.1. HEC-RAS farklı senaryolar altında yıkılma analizleri sonucu köylerde oluşan su kotları

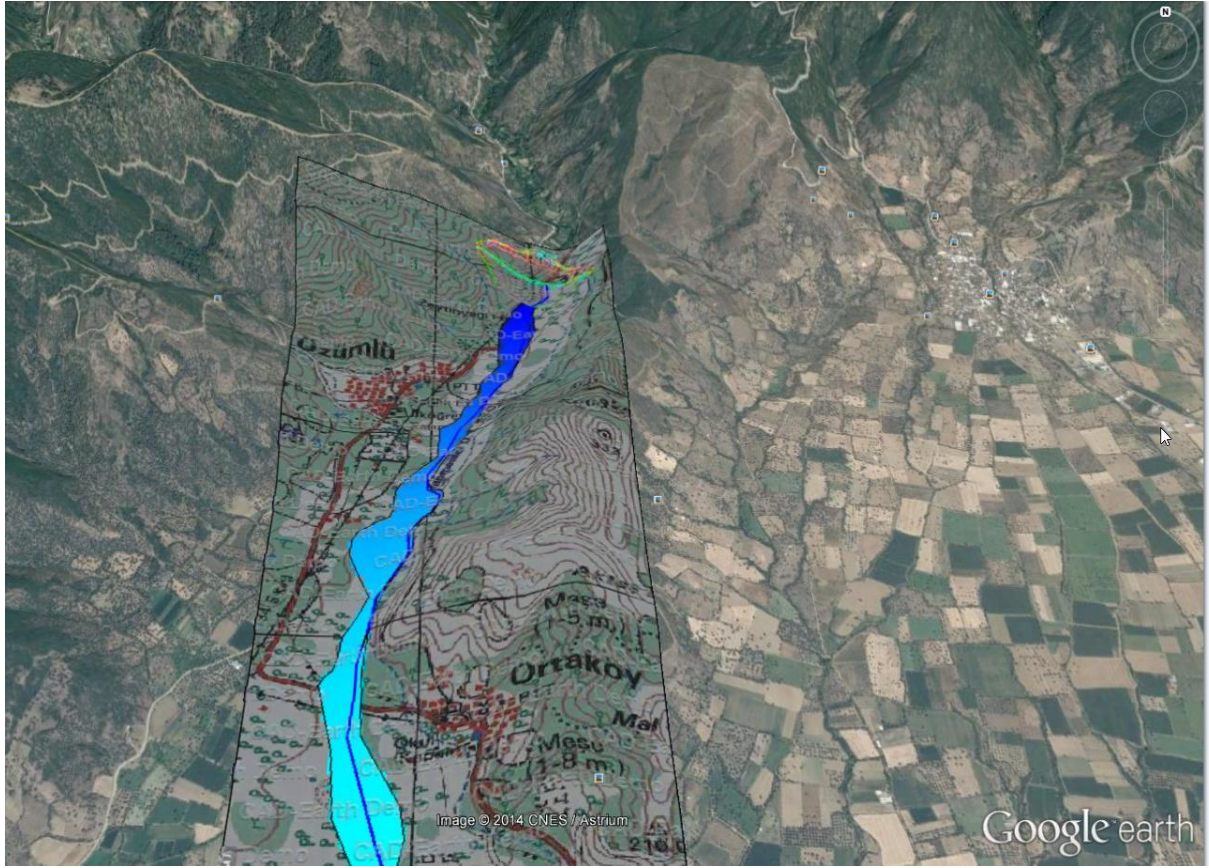
	Üzümlü Köyü	Ortaköy Köyü
Senaryo-1	182,7 m	155,4 m
Senaryo-2	183,3 m	155,4 m
Senaryo-3	183,6 m	155,8 m
Senaryo-4	183,9 m	156,0 m
Senaryo-5	184,5 m	156,2 m

Çizelge 5.2. Baraj aksında ve mansapta oluşan pik debiler ve oluşma zamanları

	Baraj Aksı	Mansap Kesiti	Pik Debinin Oluşma Anı
Senaryo-1	25816,32 m ³ /s	25386,93 m ³ /s	6:25
Senaryo-2	30202,86 m ³ /s	29675,24 m ³ /s	6:24
Senaryo-3	32034,63 m ³ /s	29950,61 m ³ /s	6:25
Senaryo-4	34335,05 m ³ /s	31286,46 m ³ /s	6:26
Senaryo-5	38799,90 m ³ /s	33842,39 m ³ /s	6:26

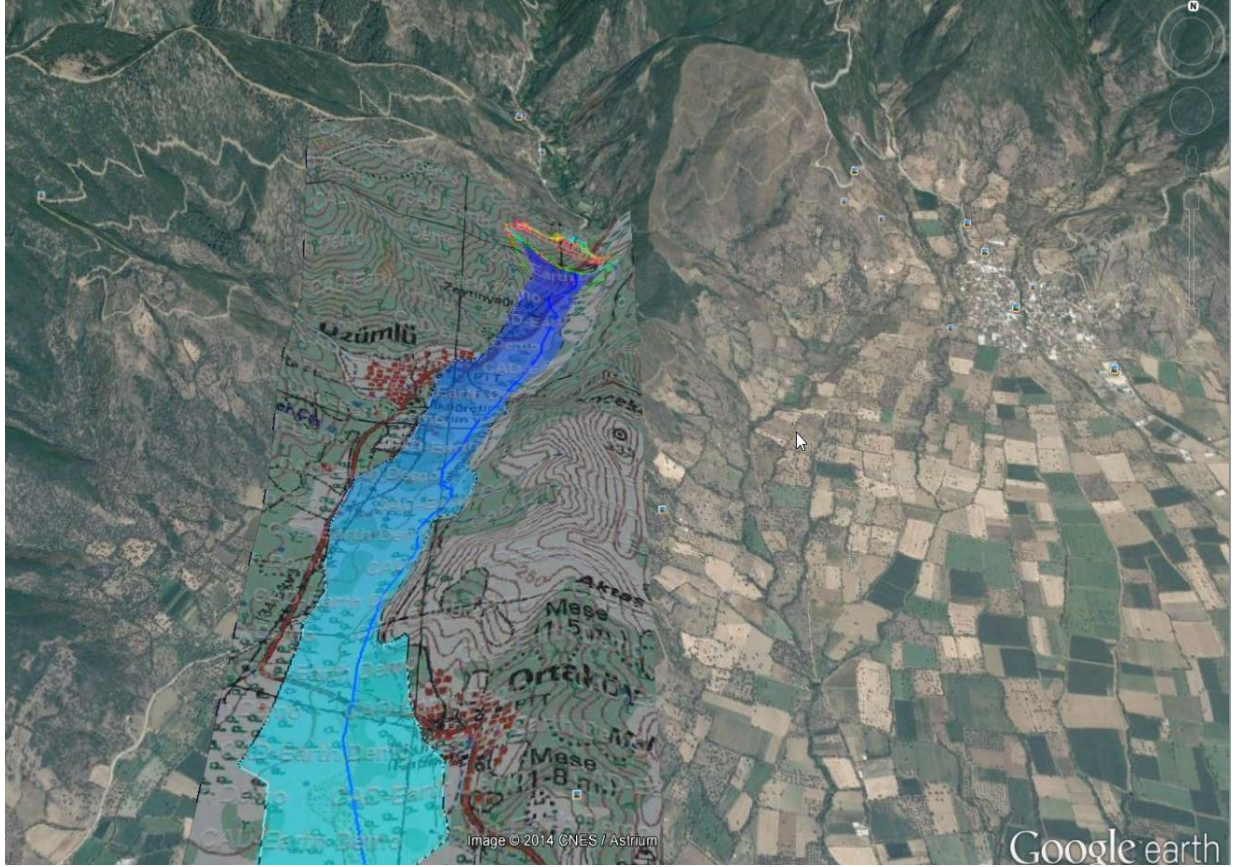
5.1.2. Taşkın haritalarının oluşturulması

HEC-RAS programında gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda barajın mansabında görülen su seviyeleri incelenmiştir. Yıkılma analizi öncesinde HEC-RAS programında gerçekleştirilen zamana bağlı akım analizi (unsteady) sonucunda barajın mansabında oluşan taşkın haritası Şekil 5.10'da verildiği gibidir.



Şekil 5.10. Yıkılma öncesinde gerçekleştirilen dinamik taşkın analizi sonucu oluşan taşkın haritası

HEC-RAS Programında gerçekleştirilen yıkılma senaryoları sonucunda oluşan su seviyeleri daha önce Bölüm 4'de verilmişti. Barajın üzerinden suyun aşması senaryosu ile gerçekleşen yıkılma analizi sonucunda barajın mansabında oluşan taşkın haritası Şekil 5.11'de verildiği gibidir. Bu senaryolar sonucu oluşan maksimum su yükseklikleri arasındaki en büyük fark yaklaşık 1 metre olarak bulunmuştur. Bu sebeple taşkın haritasının genel sınırları diğer senaryolar için de hemen hemen aynı olacaktır.



Şekil 5.11. Senaryo-1 yıkılma analizi sonucunda mansapta oluşan taşkın haritası

Şekil 5.11’da verilen haritada görüldüğü gibi Rahmanlar Barajının mansabında yer alan Üzümlü köyü taşkından etkilenmezken, dere yatağında yer alan tarım alanları ve dere kenarındaki Ortaköy köyü yerleşimlerinin birkaçının su altında kaldığı görülmüştür.

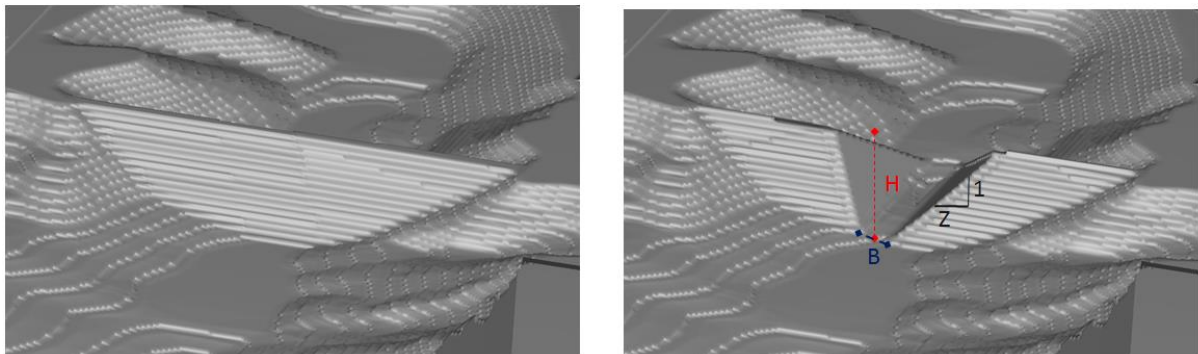
5.2. FLOW-3D Analizi

Bu bölümde FLOW-3D programında gerçekleştirilen üç boyutlu yıkılma analizi sonuçları değerlendirilmiştir. Programın analiz sonucu verdiği hata payı yüzde 1'in altında kaldığından, analiz sonuçlarının doğru ve güvenilir olduğu söylenebilir.



Şekil 5.12. FLOW-3D programı analiz ekranı-stabilite limitleri

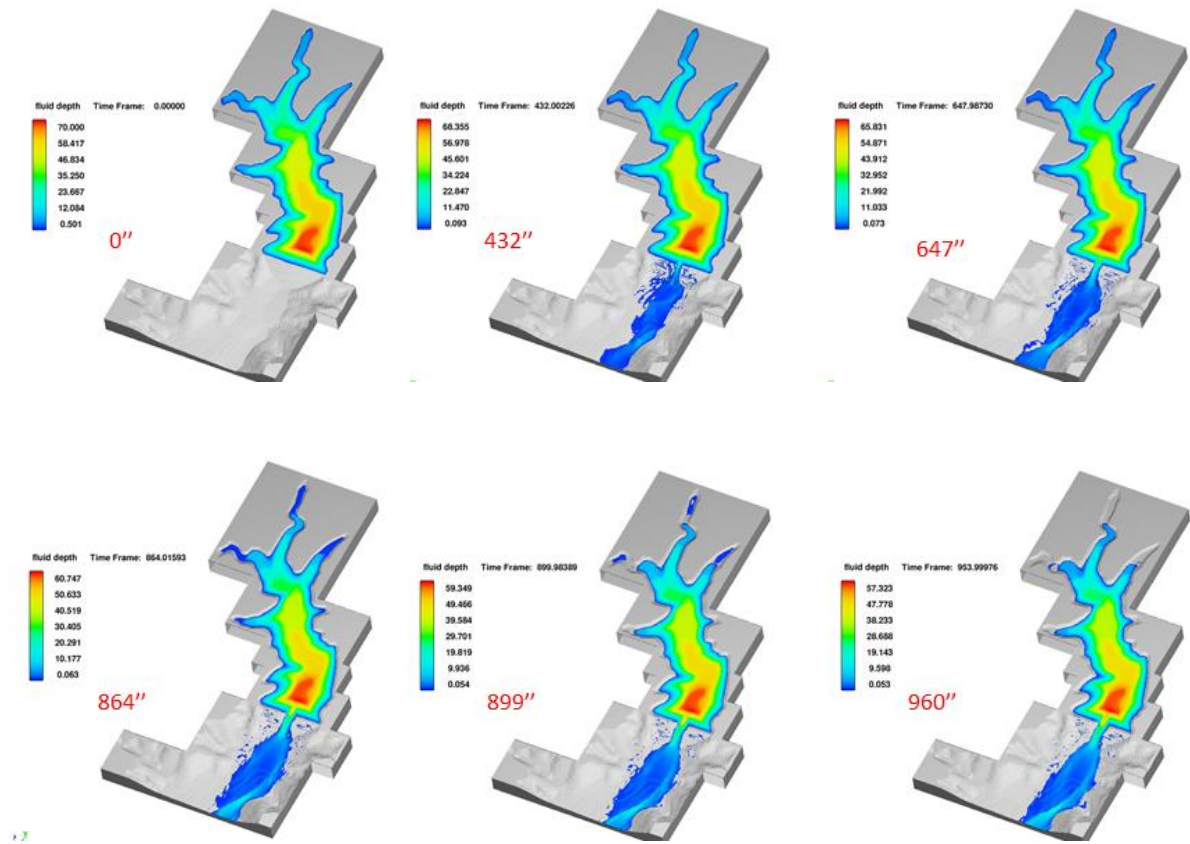
Üç boyutlu analizde suyun barajın üzerinden aşması senaryosu gerçekleştirilmiş olup, analiz sonucunda elde edilen gedik geometrisinin Bölüm 4.3.1, Çizelge 4.4'de verilen senaryo-1 deki gedik parametreleri ile aynı olması sağlanmıştır. Buna göre yıkılma sonunda gedik taban genişliği $B=26$ m, maksimum gedik yüksekliği $H=70$ m ve gedik şev eğimi $Z=1$ olacak şekilde geometri belirlenmiştir.



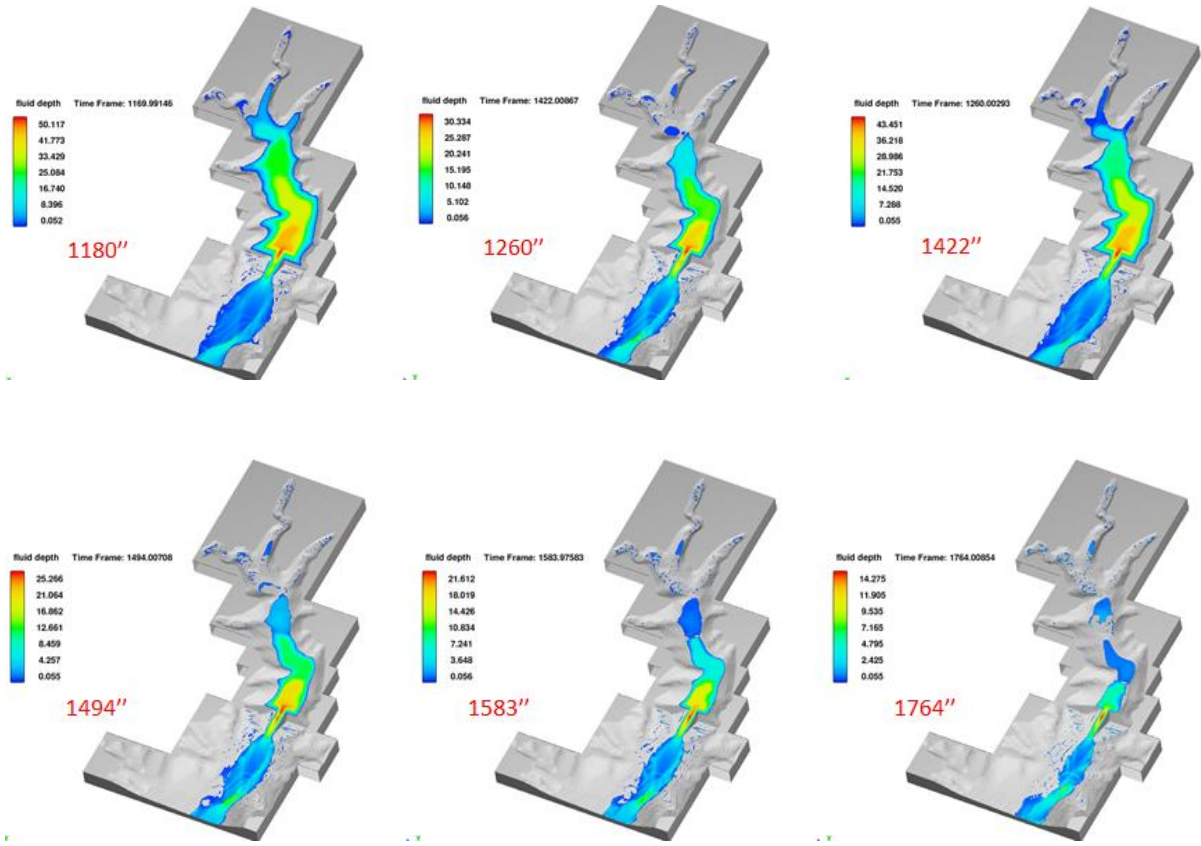
Şekil 5.13. Soldan sağa (Gedik oluşumu başlamadan önce, gedik oluşumu tamamlandıktan sonra)

Toplam 1800 saniye süren simülasyonun 70. saniyesinde baraj gövdesinde gedik oluşumu başlatılmıştır. Oluşumun tamamlanması toplam 20 dakika sürmüş ve 1270. saniyede yukarıda görüldüğü gibi gedik geometrisi son halini almıştır.

Simülasyonun gedik oluşum başlangıcından bitişine kadar geçen süreçte farklı anlarda elde edilen görseller Şekil 5.14'te verilmiştir. Bu ekranda model üzerinde görülen renkler akışkan derinliklerini göstermektedir.

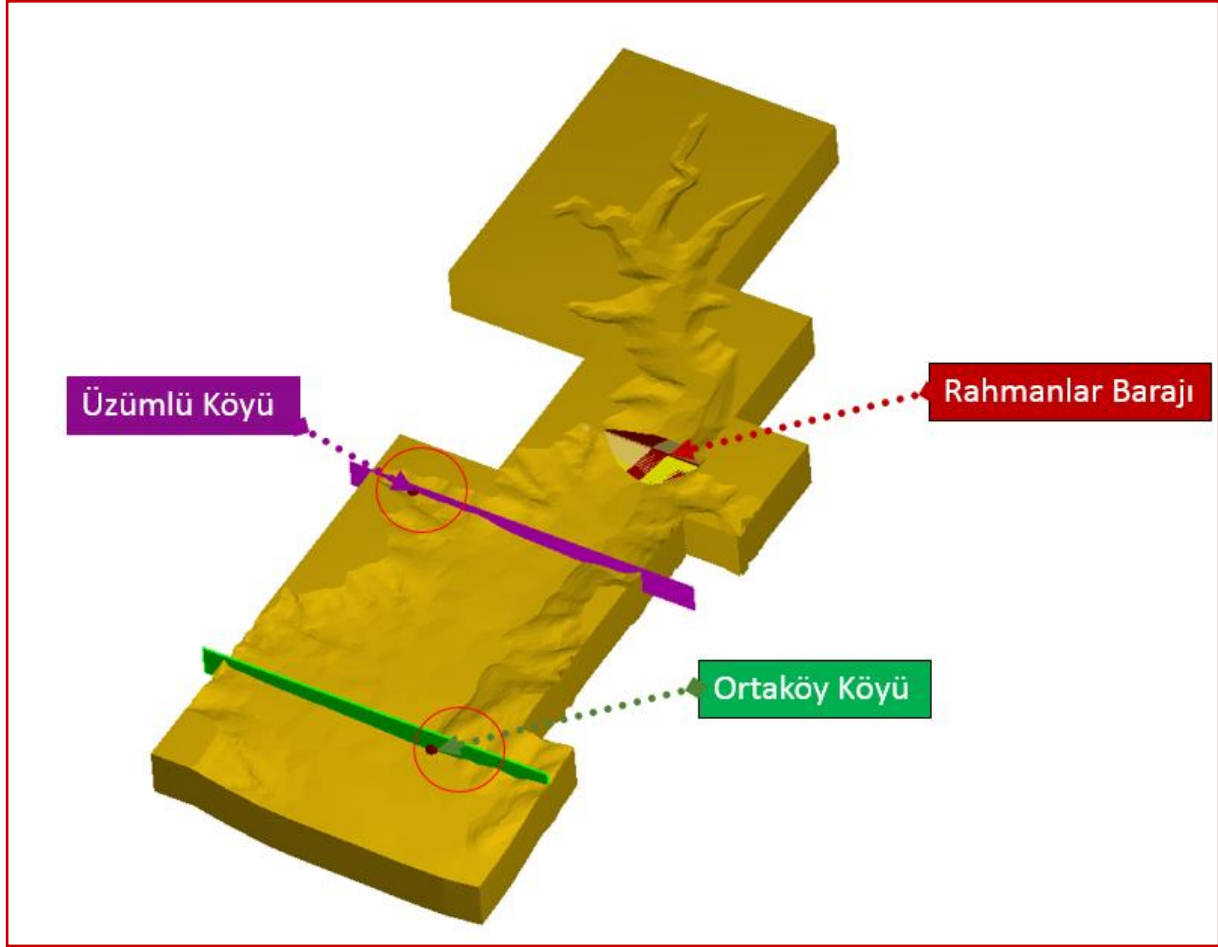


Şekil 5.14. FLOW-3D simülasyonun farklı saniyelerde görünüşü



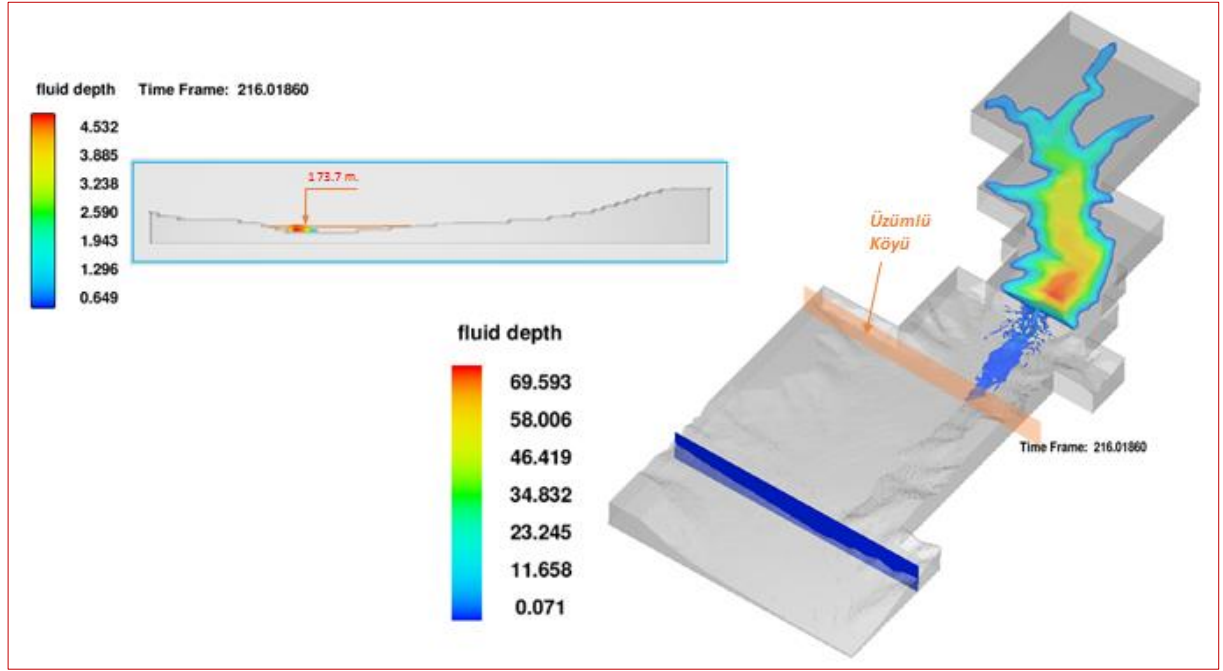
Şekil 5.15. FLOW-3D simülasyonun farklı saniyelerde görünüşü-devamı

Simülasyon sonucunda baraj mansabında yer alan taşkın altındaki alanlar belirlenmiş ayrıca spesifik olarak Üzümlü ve Ortaköy köylerinde herhangi bir taşkın riski olup olmadığı arazi üzerinde alınan iki kesit sayesinde belirlenebilmiştir.

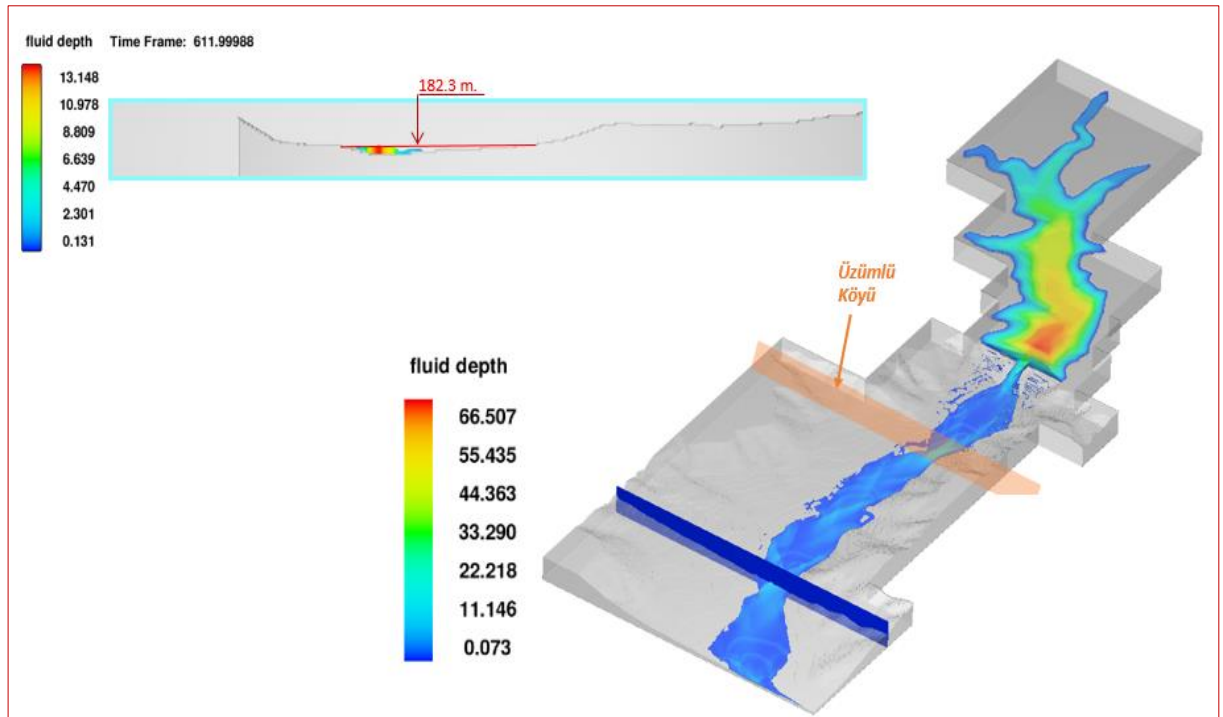


Şekil 5.16. FLOW-3D programında Üzümlü ve Ortaköy köylerinin konumu

Buna göre yıkılma gerçekleşikten 146 saniye Üzümlü köyünün yer aldığı 1. kesitte, dere yatağında yükselme başladığı görülmüş ve kesitte okunan maksimum su seviyesinin 610. saniyede olduğu görülmüştür. Şekil 5.17’de verilen kesitte görüldüğü gibi, dere yatağının en derin yerinde oluşan maksimum su yüksekliği 13 metredir. Fakat Üzümlü köyü ekseninde vadinin geniş oluşundan ve köyün yüksek kotlara kurulmasından dolayı, maksimum su seviyesinin olduğu anda taşkın köye kadar yayılmayacağı tespit edilmiştir.



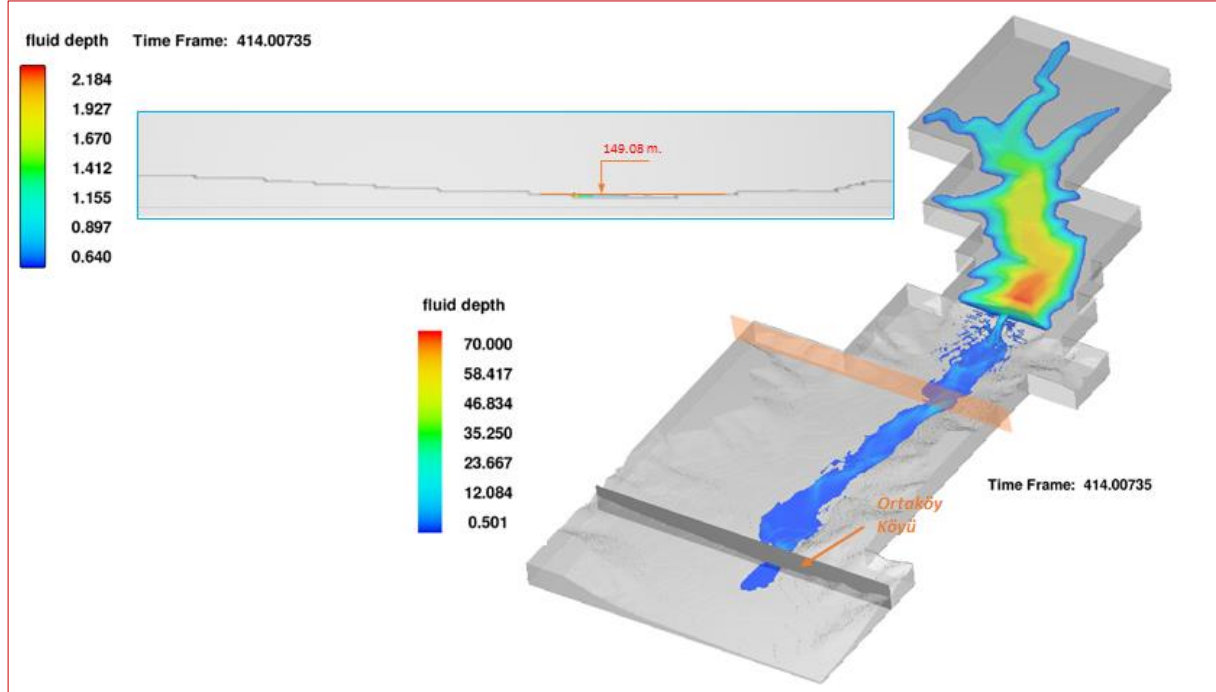
Şekil 5.17. Yıkılmadan 146 saniye sonra Üzümlü köyü ekseninde suyun gelişimi



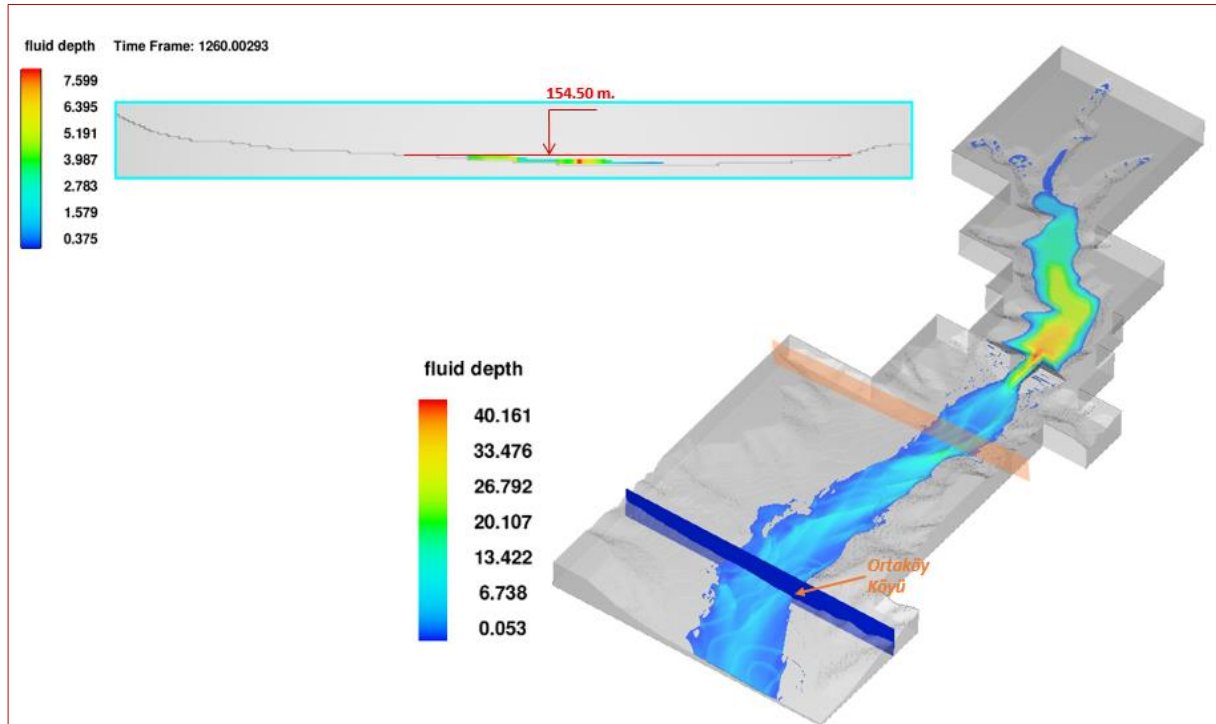
Şekil 5.18. Simülasyonun t=610. saniyesinde Üzümlü köyü

Yıkılma gerçekleşikten 340 saniye Ortaköy köyünü temsil eden 2. ekseninde, dere yatağında yükselme başladığı görülmüş ve bu kesitte maksimum su seviyesinin 1260. saniyede

oluştugu tespit edilmiştir. Şekil 5.20’de verilen kesitte görüldüğü gibi, dere yatağının en derin yerinde oluşan maksimum su yüksekliği 9 metre olarak bulunmuştur.

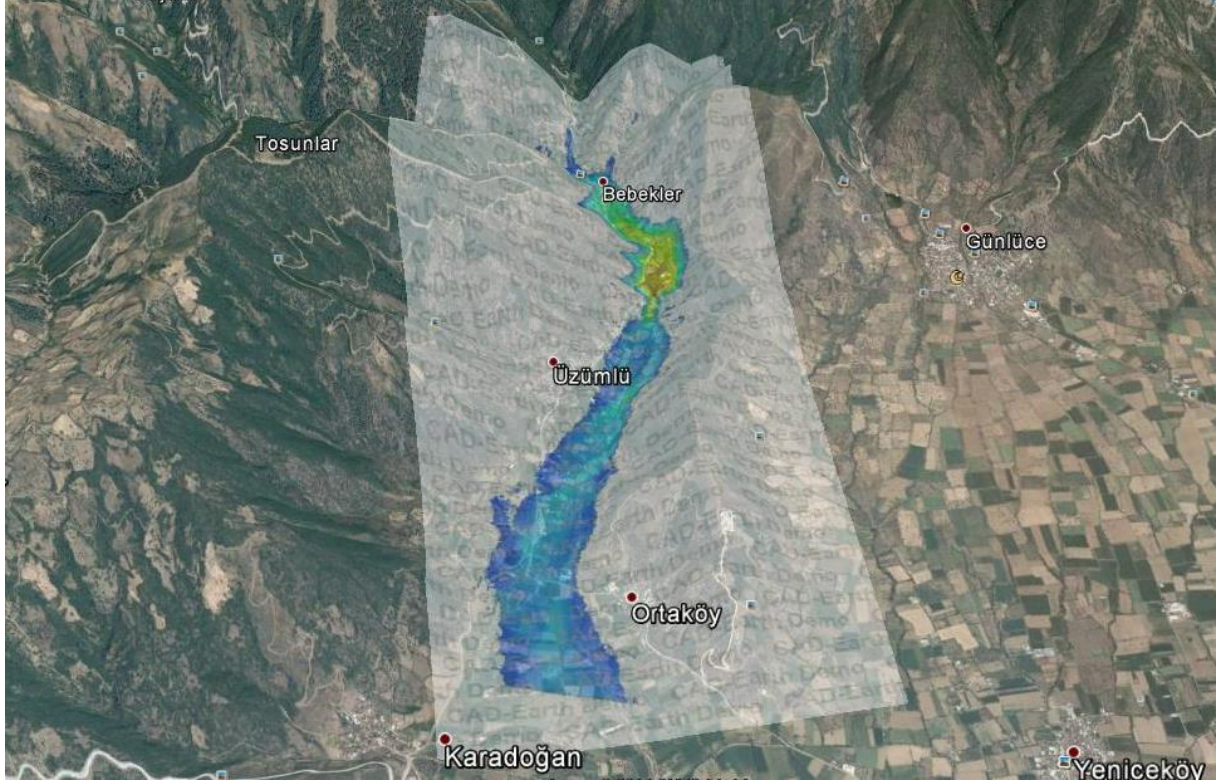


Şekil 5.19. Yıkılmadan 325 saniye sonra 2. kesitte görülen su seviyesi



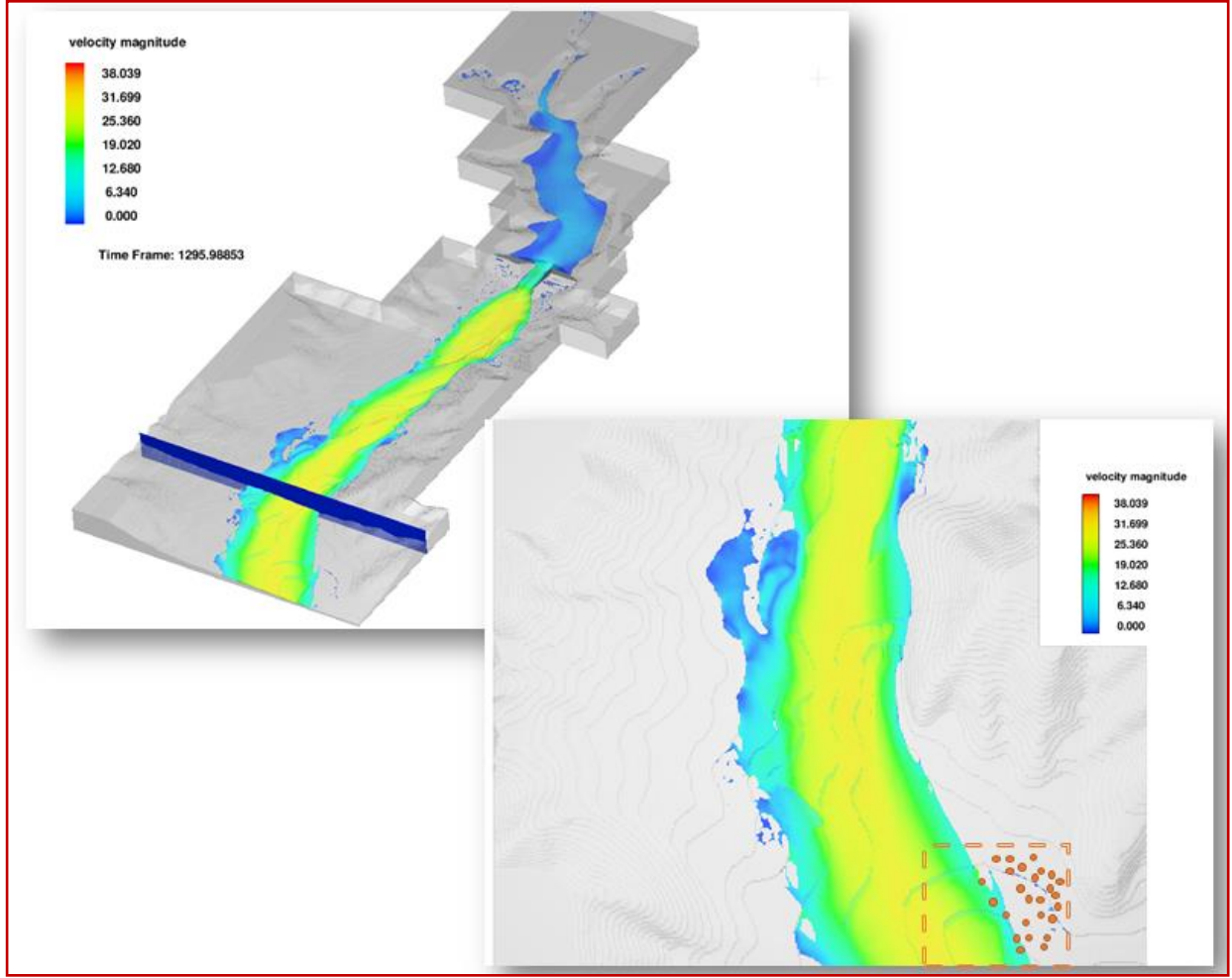
Şekil 5.20. Simülasyonun t=1260.saniyesinde 2. kesitte görülen maksimum su seviyesi

Analiz sonucunda Ortaköy köyünün tepede yer alan yerleşimlerinin risk altında olmadığı görülürken, dere yatağının yakınında yer alan evlere suyun ulaştığı tespit edilmiştir. Suyun bu bölgelere baraj yıkıldıktan yaklaşık 5 dakika sonra ulaşması, bu köyde yaşayan insanlar için potansiyel bir tehlike oluşturduğunu göstermektedir.



Şekil 5.21. FLOW-3D programında gerçekleştirilen yıkılma analizi sonucunda mansapta oluşan taşkın haritası (Google Earth görünüşü)

Program su derinliğinin yanı sıra suyun hızını ve hacmini, Froude sayısının su yüzünde dağılımını, serbest su yüzü seviyesini ve daha birçok hidrolik çıktıyı da sağlamaktadır. Örnek olarak hızın dağılımına ilişkin sonuçlar aşağıda Şekil 5.22 görüldüğü gibidir. Ortaköy köyünden alınan kesitte maksimum su seviyesi olduğu anda oluşan hız büyüklükleri görülmektedir. Renk skalasından anlaşılacağı üzere dere kenarında, köy evlerinin de bulunduğu bölgede, suyun hızı 0~6.30 m/sn arasında değişmektedir.



Şekil 5.22. Simülasyonun $t=1190$.saniyesinde Ortaköy köyünde görülen hız büyüklükleri

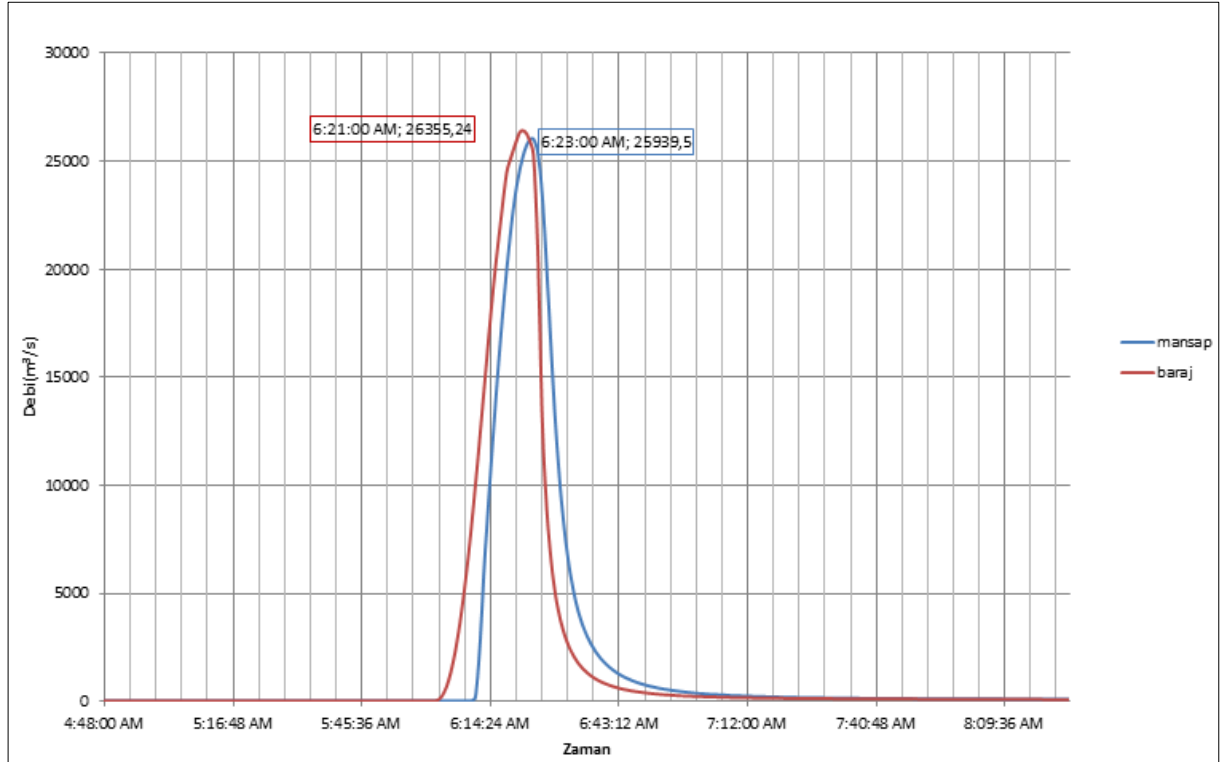
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasının ana amacı baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın yayılacağı risk altındaki alanların tespit edilmesidir. Çalışmada potansiyel baraj yıkılma senaryolarına ait zamanla değişen bir ve üç boyutlu analizler yapılmış ve taşkın riski olan bölgeler tespit edilmiştir. Fakat bu çalışmalar yapılırken, bazı teorik olası senaryolar altında gerçekleştirilen yıkılma olaylarının, barajın ekonomik hayatı boyunca belki de hiç gerçekleşmeyeceği unutulmamalıdır.

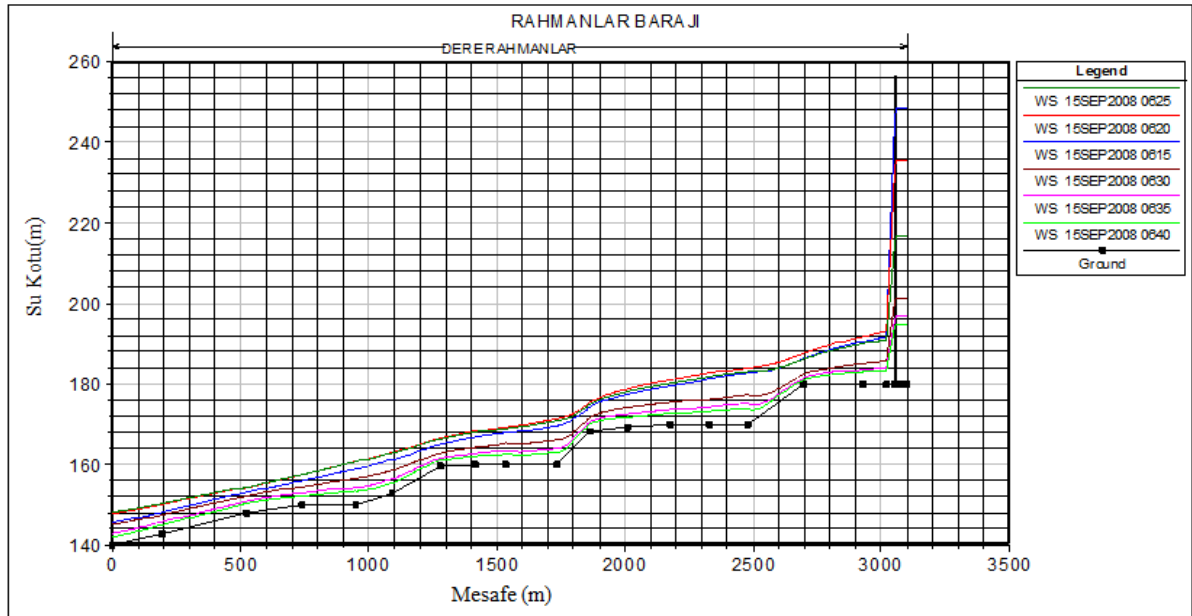
Çalışma kapsamında pilot bölge olarak İzmir'in Ödemiş ilçesi'ndeki Rahmanlar Barajı bir boyutlu analizler için, HEC-RAS, üç boyutlu analizler için ise FLOW-3D programları kullanılmıştır. Bir ve üç boyutlu analizlerin sonucunda, gövdede oluşan gedikten çıkan suyun mansapta oluşturduğu taşkın haritalarının birbirine kısmen de olsa yakın olduğu görülmüştür.

Bir boyutlu model analizleri sonucunda Rahmanlar Barajın'ın farklı senaryolarla yıkılması sonucu oluşan taşkın hidrografları hesaplanmış ve çıkan hidrografların barajın mansabında yaklaşık 3.5 km'lik mesafe boyunca ötelenildiği görülmüştür. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de verilen grafiklerde 1 no'lu senaryoya göre barajın yıkılması sonucu, baraj aksında (km: 3300) elde edilen taşkın hidrografi ile öteleme mesafesinin sonundaki kesitte (km: 290) çıkan akım hidrografları görülmektedir. Diğer kesitlere ait hidrograflar ise bu iki eğrinin arasında yer almaktadır. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'ye bakıldığında hidrografların zamana göre bir miktar ötelenerek (=5 dakika) pik debi değerinin düştüğü ve hidrograf eğrisinin de çok az yayvanlaştığı görülmektedir.

Şekil 6.2'de, 1 numaralı yıkılma senaryosunun sonucunda dere yatağı üzerinde oluşan su yüzü profillerinin zamanla değişimi görülmektedir. Burada yıkılma öncesi (06:15 anında-rezervuar dolu durumdayken) ve yıkılma sonrası farklı zamanlarda, mansap boyunca su yüzü profilleri çizilerek dalga hareketinin oluşumu gözlemlenmiştir. Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın mansapta hangi zamanda hangi yükseklikte olacağı bu grafiklere bakılarak belirlenebilmektedir.



Şekil 6.1. Baraj aksında (km: 3300) ve mansap kesitinde(km:290) taşkın hidrografı



Şekil 6.2. Farklı zamanlardaki su yüzü profilleri

Saint Venant eşitliğine dayanan bir boyutlu zamanla değişen analizlerde suyun tek boyutta ilerlediği varsayıldığından akım dağılımı, kesit şekli, akış yönü veya akımın diğer iki ve üç boyutlu özelliklerindeki değişimler modelde başarılı bir şekilde ifade edebilmek mümkün olamamaktadır. Belli aralıklarla alınan kesitlerle temsil edilen dere yatağında, akımın doğrusal bir şekilde ilerlediği varsayılmaktadır, ancak akımı ve araziye gerçeklikten uzaklaştıran bu varsayımlar sayesinde analizler, iki ve üç boyutlu analizlere kıyasla çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştirilebilmektedir.

RANS eşitliklerine dayanan üç boyutlu zamanla değişen analizlerde ise arazinin fiziksel modeli, gerçeğe çok daha yakın bir şekilde ifade edilmiş, taşkın yayılımı bir boyutlu analizlere göre daha doğru ve detaylı olarak simüle edilebilmiştir. RANS denklemleri ile su yüzü profilleri ve kanal boyunca istenen noktada su seviyelerinin zamanla değişimleri doğru olarak belirlenebilmiştir. Çalışmanın kapsamında olmamakla birlikte, bu analizlere ilave olarak akıma ait hız dağılımları ve baraj yıkılması sırasında taşkın dalgasının yapılara uyguladığı basınçlar, dere yatağı taban pürüzlülüğünün dalga hareketine ve oluşacak maksimum su seviyelerine etkilerinin de incelenmesi mümkündür (Kocaman, S. 2007).

Bilgisayar hesaplamalı akışkanlar dinamiği metodolojisi (CFD) ile akışa ait temel hesaplamalar çözüm ağı gözlerinde gerçekleştirilmektedir. Bu da üç boyutlu analiz sonuçlarının doğruya daha yakın olmasını sağlamakta, ancak analiz sürelerinin de çok uzun zaman almasına neden olmaktadır. Bu çalışmada bir boyutlu modelde analizin tamamlanma süresi yaklaşık 1 saat iken, bu süre üç boyutlu modelde 2 gün 23 saat kadar olmuştur. Bu nedenle Türkiye’de mevcut veya projelendirme aşamasında olan barajların mansap güvenliği ile ilgili çalışmalar yapılırken çalışmanın önem ve aciliyet durumuna göre öncelikle bir boyutlu yıkılma analizlerinin gerçekleştirilip sonuçlarının değerlendirilmesi ve sonrasında gerekli görülmesi halinde üç boyutlu analizlerin yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Arnold, P. (2014). *Validation of FLOW-3D against a 3D Dam Breaking Problem*, Minerva Dynamics, The Guildhall, High Street Bath, UK
- Aureli, F., Maranzoni, A., Mignosa, P., Ziveri, C. (2008a). *Dam-break flows: Acquisition of experimental data through an imaging technique and 2D numerical modelling*, Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 134(8):1089-1101.
- Asrate, K.A. (2010). *Sensivity Analysis of Dam Breach Parameters*, Yüksek Lisans Tezi, California State University, Sacramento, 13-24
- ASCE (2013). *Report Card for America's Infrastructure*, 1-2
- Bhawan, J.V. (2001). *Dam Break Study of Myntdu Leska Dam Using DAMBRK Model*, National Institute of Hydrology, Roorkee, India, 247-667
- Barnett, C.T. (2013). *Flow Dynamics and Scalar Transport in Drinking Water Contact Tanks*, Department of Civil and Environmental Engineering, Degree of Master of Science, Colorado State University, Colorado
- Biscarini, C., Francesco D. S., Manciola P. (2010). *CFD modelling approach for dam break flow studies*, Hydrology and Earth System Sciences, 14(4):705-718.
- Bozkuş, Z. (2004). *Afet Yönetimi için Baraj Yıkılma Analizleri*, İMO Teknik Dergi, 15(4): 3335-3350
- Bozkuş, Z. (2002). *Pre-event Dam Failure Analyses of Kestel Dam for Disaster Management*, 5th International Congress on Advances in Civil Engineering, (2):1141-1150
- Bozkuş, Z., Kasap, A. (1998). *Comparison of Physical and Numerical Dam-Break Simulations*, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, (22): 429-443,
- Bozkuş, Z., Bağ, F. (2011). *Virtual Failure Analysis of the Çınarcık Dam*, Digest 2011, 1537-1549
- Bozkuş, Z., Güner, A.İ. (2001). *Pre-Event Dam Failure Analyses for Emergency Management*, Tr. J. Of Engineering and Environmental Science, (25): 627-641
- Brunner, G. W. (2014). *Combined 1D and 2D Modeling with HEC-RAS*
- Çağatay, H., Kocaman, S. (2009). *Baraj Yıkılması Taşkın Dalgalarının Mansapta Oluşturacağı Su Yüzü Profillerinin İncelenmesi*, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(1-2), 99-110

- Costa, E.J. (1985). *Floods from Dam Failures*, United States Department of the Interior Geological Survey, Denver, Kolorado, 3-4
- Dinçergök, T. (2007). *The Role of Dam Safety in Dam-Break Induced Flood Management*, Head of Dam Safety Branch, General Directorate of State Hydraulic Works (DSI), Dam & HEPPs Department
- Dam Safety Guidlines. (2007). Technical Note-1, *Dam Break Inundation Analysis and Downstream Hazard Classification*, MGS Engineering Consultants, Inc. For Water Resources Program Dam Safety Office.
- FEMA P-956. (2013). *Living with Dams, Know Your Risks*
- FEMA. (2001). *The National Dam Safety Program*, Research Needs Workshop: Hydrologic Issues for Dams, in Davis, California
- Francis, E., Fiegle, P., E. (2001). *Embankment Dam Failure Analysis*, Issues, Resolutions, and Research Needs Related to Dam Failure Analysis Workshop Oklahoma City, Oklahoma
- Fread, D.L. (1991). *Breach: An Erosion Model for Earthen Dam Failures*, National Weather Service, Silver Springs, Maryland.
- Fread, L.D. (1984). *The Nws Dam-Break Flood Forecasting Model*, Office of Hydrology, National Weather Service(NWS), Silver Spring, Maryland
- Froehlich, D.C. (1987). Embankment Dam Breach Parameters, Hydrologic Engineering, Proc. 1987 ASCE National Conference on Hydraulic Engineering, New York, 570-575
- Froehlich, D.C. (1995b). *Peak Outflow from Breached Embankment Dam*, J. Water Resour. Plan. Management Div. ASCE121(1), 90-97
- Güzel, H., Kocaman S. (2007), *Baraj Yıkılması Taşkın Dalgası Yayılmasının 3-Boyutlu Deneysel ve Nümerik Karşılaştırılması*, NWSA-4002-2156
- Gee, D. Michael and Brunner, G. W. (2007). *Comparison of Breach Predictors*, Association of State Dam Safety Officials (ASDSO), Dam Safety 207, Austin, TX,
- Gee, D. M. (2009b). *Use of Embankment Erosion Models to Estimate HEC-RAS Dam Breach Parameters*, Dam Safety 2009, ASCE-EWRI, Kansas City, MO, 17-21
- Harris, G. W. and D. A. Wagner. (1967). *Outflow from Breached Earth Dams*, University of Utah, Salt Lake City, Utah
- Hydrologic Engineering Center. (HEC, 2008). *HEC-RAS River Analysis System, User's Manual*, Ver. 4.1, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, California.
- Hydrological Engineering Center. (1980). *Flood Emergency Plans*, Guidelines for Corps Dams, Research Document No. 14, Davis, California

- Issa, R. and Violeau D. (2006). *Test-case-2, 3D Dambreaking*, Release 1.1, ERCOFTAC, SPH European Research Interest Community SIG, Electricit'e De France, Laboratoire National d'hydraulique et Environnement.
- Karakaya, K. (2005). *Numerical Simulation of the Kirazlıköprü Dam Failure on the Gökırmak River*, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 42-46
- Kleefsmann, K. M. T., Fekken, G., Veldman, A. E. P., Iwanowski, B., Buchner, B. (2005). *A Volume-of-fluid based simulation method for wave impact problems*, J. Comp. Phys, 206:363-393
- Kho, F. W. L., Law, L. P., Lai, S. H., Oon, Y.W.; Ngu, H.L., Ting, H.S., (2009). *Quantitative dam break analysis on a reservoir earth dam*, Department of Civil Engineering University of Malaysia Sarawak, Sarawak, Malaysia
- Kocaman, S. (2007). *Baraj Yıkılması Probleminin DeneySEL ve Teorik Olarak İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,
- Kocaman, S., Özmen, H., Çağatay H. (2003). *Gedik Parametrelerinin Baraj Yıkılması Taşkın Dalgalarına Etkisi*, Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 18(1):17-34
- Lou, W. C. (1981). *Mathematical Modelling of Earth Dam Breaches*, Thesis, Presented to Colorado State University, at Fort Collins, Colorado, in partial fulfillment of the requirements for the Degree of Doctor of Philosophy.
- MacDonald, T.C. and Langridge-monopolis, J. (1984). *Breaching Characteristics of Dam Failures*, ASCE J. Hydraulic Engineering, 110(5), 567-586.
- Maijaja, T. (1999-2001). *Development of Rescue Actions Based on Dam-Break Flood Analysis* Final Report, Finnish Environment Institute, RESCDAM
- Merzi, N., Usul, N, Molu., M. (1997). *Dam-Break Flood in a Natural Channel: A Case Study*, Tr.J of Engineering and Environmental Science, (21):19-27
- Miller, A. (2010). *The Johnstown Flood of 1889*, 1-5
- Narita, K. (2000). *Design and Construction of Embankment Dams*, Department of Civil Eng., Aichi Institute of Technology, 1-2
- Newfoundland and Labrador Hydro (2008). *Dam Break Study Final Report- Lower Churchill Project*, GI1190
- Ozmen-Çağatay, H., Kocaman S. (2010). *Dam break flows during initial stage using SWE and RANS approaches*, Journal of Hydraulic Research 48(5):603-611.
- Çağatay, H., Çağatay, Ö., Kocaman, S. (2011). *Dam-Break Flow In The Presence Of Obstacle: Experiment and CFD Simulation*, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics (5): 541-552

- Pearce, F. (2001). *Dams and Floods*, WWF International Research Paper, Gland, Switzerland, 1-5
- Petrascheck, A. W. and Sydlar, P.A. (1984). *Routing of Dam Break Flood*, International Water Power and Dam Construction, 36,29-32.
- Quecedo, M., Pastor, M., Herreros, M.I., Merodo, J.A.F., Zhang, Q. (2005). *Comparison of Two Mathematical Models for Solving the Dam Break Problem Using the FEM Method*, Comput. Methods Appl. Mech. Engineering, 194: 3984-4005.
- Özdemir, H., Akbulak, C., Özcan, H. (2011). *Çokal Barajı (Çanakkale) çökme modeli ve taşkın risk analizi*, Cilt 8 Sayı:2, Uluslararası İnsan Bilimleri Dergisi.
- Ram, S. G. (2001). *Hydrology and Hydraulic System*, Waveland Press, 2nd edition
- Singh, K. P., Snorrason A. (1982). *Sensitivity of Outflow Peaks and Flood Stage to the Selection of Dam Breach Parameters and Simulation Models*, Journal of Hydrology, 68, 295-310.
- Singh, P. V. (1996). *Dam Breach Modeling Technology*, Hollanda, Kluwer Academic Publishers, 10-30
- Sezer, C. (1992). *Barajların Yıkılması ve Tehlike Analizlerinin Önemi*, DSİ Teknik Bülteni, Sayı:77
- Shigematsu, T., Liu, P. L.-F. ve Oda, K. (2004). *Numerical Modeling of the Initial Stages of Dam-break Waves*, Journal of Hydraulic Research, 42(2):183-195
- Sidek, L.Y., Ros, F.C., İbrahim, N.N.N., Razad, A.Z.A., Ahmad, M.N. (2011). *Hydrodynamic Dam Breach Modelling of Earthfill Saddle Dam*, Department of Civil Engineering, Universiti Tenaga Nasional, Putrajaya Campus, Selangor, Malaysia
- Souders, D., Kariya, J., Burnham, J. (2013). *Validation of Hybrid 3-Dimensional and 2-Dimensional Numerical Flow Modelling Technique For An Instantaneous Dam-Break*, Flow Science, Inc., Santa Fe, New Mexico
- U.S. Army Corps of Engineers. (1980), Hydrologic Engineering Center, *Flood Emergency Plans- Guidelines for Corps Dams*, USACE, RD-13.
- U.S. Army Corps of Engineer. (2006). *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic References*, Davis, California, U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center,
- Valiani, A., Caleffi, V., Zanni, A. (2002). *Case Study: Malpasset Dam-Break Simulation Using a Two-Dimensional Finite Volume Method*, Journal of Hydraulic Engineering, 128(5): 460-472.
- Von Thun, J. L., and Gilette, D.R. (1990). *Guidance on Breach Parameters*, Internal Memorandum, U.S. Dept of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, CO.

- Wahl, T. L. (1988). *Prediction of Embankment Dam Breach Parameters – A Literature Review and Needs Assessment*, DSO-98-004, Dam Safety Research Report, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office.
- Wayne, J., Graham, P.E. (1999). *A Procedure for Estimating Loss of Life Caused by Dam Failure*, U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation Dam Safety Office Denver, Colorado, 2-5
- Xia, J., Lin, B., Falconer, R.A., Wang, G. (2010). *Modelling dam-break flows over mobile beds using a 2D coupled approach*, *Advances in Water Resources*, 33 (2)
- Zhang, M.,L., Xu, Y., Jia, J.,S. (2007). *Analysis of earth dam failures - A database approach*, First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk, Shanghai Tongji University, China
- Xu,Y., Zhang, L.M., (2009).*Breaching Parameters for Earth and Rockfill Dams*, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, ASCE, 1957-1970
- Fugate, K.J. (2011). *The 1889 Johnstown Flood Selected Analysis From a Current Emergency Management Perspective*, Degree of Master of Arts, American Public University System, Charles Town, West Virginia.

EKLER

EK-1. HEC-RAS Yıkılma Analizi Sonuç Tabloları: Hidrolik Tablolar

Çizelge 1.1. HEC-RAS Senaryo-1 Hidrolik Sonuçları (Üzerinden Aşma)

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: DERE Reach: RAHMANLAR Profile: 15SEP2008 0625												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
RAHMANLAR	3370	15SEP2008 0625	31329.67	180.00	237.28		237.51	0.000039	2.12	14785.02	426.04	0.11
RAHMANLAR	3350	15SEP2008 0625	31668.26	179.96	237.28		237.51	0.000040	2.14	14786.55	426.04	0.12
RAHMANLAR	3340	15SEP2008 0625	31837.54	180.00	237.28	199.95	237.52	0.000040	2.15	14785.67	426.05	0.12
RAHMANLAR	3300		Inl Struct									
RAHMANLAR	3290	15SEP2008 0625	31837.54	179.96	194.40	199.94	212.58	0.016364	18.89	1685.56	173.74	1.94
RAHMANLAR	3200	15SEP2008 0625	32140.19	179.91	193.01	197.62	207.15	0.015005	16.66	1929.03	232.01	1.84
RAHMANLAR	2950	15SEP2008 0625	33013.17	179.78	188.77	194.18	206.38	0.022866	18.59	1775.69	248.87	2.22
RAHMANLAR	2740	15SEP2008 0625	33751.98	169.99	185.49	187.97	193.94	0.008197	12.88	2620.02	294.66	1.38
RAHMANLAR	2590	15SEP2008 0625	34237.19	169.89	184.07	186.92	193.30	0.011067	13.46	2543.20	334.78	1.56
RAHMANLAR	2470	15SEP2008 0625	34680.15	169.80	182.49	185.08	191.06	0.010024	12.97	2674.34	346.02	1.49
RAHMANLAR	2300	15SEP2008 0625	35090.12	169.21	180.27	184.38	193.05	0.017046	15.84	2215.91	316.47	1.91
RAHMANLAR	2150	15SEP2008 0625	35344.10	168.33	176.70	182.68	200.17	0.041288	21.46	1646.72	290.31	2.88
RAHMANLAR	2020	15SEP2008 0625	35507.88	159.98	173.04	176.81	183.89	0.013046	14.60	2432.84	322.63	1.70
RAHMANLAR	1820	15SEP2008 0625	35654.50	159.91	170.84	172.31	176.95	0.007534	10.95	3254.90	440.57	1.29
RAHMANLAR	1700	15SEP2008 0625	35683.39	159.84	169.63	172.32	178.55	0.012249	13.23	2697.30	395.13	1.62
RAHMANLAR	1565	15SEP2008 0625	35660.51	159.73	167.89	170.62	176.97	0.013240	13.35	2671.09	409.11	1.67
RAHMANLAR	1375	15SEP2008 0625	35532.66	152.61	164.67	168.48	176.67	0.015702	15.35	2314.98	326.16	1.84
RAHMANLAR	1235	15SEP2008 0625	35381.76	149.95	162.41	166.37	174.84	0.014961	15.62	2265.64	299.31	1.81
RAHMANLAR	1025	15SEP2008 0625	35054.59	149.85	159.43	161.66	167.03	0.010764	12.22	2868.65	431.19	1.51
RAHMANLAR	810	15SEP2008 0625	34534.35	149.00	156.21	159.15	165.99	0.020537	13.85	2492.69	504.33	1.99
RAHMANLAR	480	15SEP2008 0625	32916.97	140.00	150.08	151.91	156.20	0.011328	10.96	3002.26	552.12	1.50
RAHMANLAR	290	15SEP2008 0625	31793.39	140.00	148.00	149.46	153.04	0.010000	9.95	3195.68	619.42	1.40
Total flow in cross section.												

Çizelge 1.2. HEC-RAS Senaryo-2 Hidrolik Sonuçları (Borulanma)

Profile Output Table - Standard Table 1												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: DERE Reach: RAHMANLAR Profile: 15SEP2008 0624												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
RAHMANLAR	3370	15SEP2008 0624	28394.32	180.00	229.25		229.56	0.000067	2.47	11489.30	398.58	0.15
RAHMANLAR	3350	15SEP2008 0624	28762.07	179.96	229.24		229.56	0.000069	2.50	11483.89	398.47	0.15
RAHMANLAR	3340	15SEP2008 0624	28945.71	180.00	229.23	199.01	229.55	0.000070	2.52	11479.58	398.43	0.15
RAHMANLAR	3300		Inl Struct									
RAHMANLAR	3290	15SEP2008 0624	28945.71	179.96	193.78	199.00	210.91	0.016105	18.34	1578.47	168.03	1.91
RAHMANLAR	3200	15SEP2008 0624	29043.91	179.91	192.38	196.76	205.85	0.015005	16.26	1786.48	222.92	1.83
RAHMANLAR	2950	15SEP2008 0624	29298.68	179.78	188.07	193.25	205.05	0.024155	18.26	1604.76	240.90	2.26
RAHMANLAR	2740	15SEP2008 0624	29482.65	169.99	184.68	186.89	192.45	0.007962	12.35	2387.85	280.00	1.35
RAHMANLAR	2590	15SEP2008 0624	29590.17	169.89	183.27	185.86	191.84	0.011230	12.97	2281.39	321.08	1.55
RAHMANLAR	2470	15SEP2008 0624	29680.67	169.80	181.67	183.99	189.48	0.010050	12.38	2397.60	333.31	1.47
RAHMANLAR	2300	15SEP2008 0624	29755.51	169.21	179.47	183.16	191.04	0.015735	15.07	1975.00	286.16	1.83
RAHMANLAR	2150	15SEP2008 0624	29794.65	168.33	175.97	181.65	197.84	0.043647	20.72	1437.95	278.74	2.91
RAHMANLAR	2020	15SEP2008 0624	29810.42	159.98	172.12	175.72	181.94	0.012633	13.88	2148.11	299.89	1.66
RAHMANLAR	1820	15SEP2008 0624	29797.56	159.91	170.04	171.23	175.39	0.007326	10.25	2907.37	425.84	1.25
RAHMANLAR	1700	15SEP2008 0624	29773.92	159.84	168.86	171.21	176.71	0.011930	12.42	2397.87	378.81	1.58
RAHMANLAR	1565	15SEP2008 0624	29736.31	159.73	167.11	169.55	175.24	0.013682	12.63	2353.80	401.62	1.67
RAHMANLAR	1375	15SEP2008 0624	29662.77	152.61	163.82	167.24	174.56	0.015605	14.52	2042.61	311.43	1.81
RAHMANLAR	1235	15SEP2008 0624	29598.27	149.95	161.60	165.05	172.47	0.014493	14.61	2025.89	289.02	1.76
RAHMANLAR	1025	15SEP2008 0624	29479.20	149.85	158.73	160.80	165.41	0.010292	11.44	2575.92	413.12	1.46
RAHMANLAR	810	15SEP2008 0624	29307.31	149.00	155.70	158.36	164.44	0.020124	13.10	2236.78	484.63	1.95
RAHMANLAR	480	15SEP2008 0624	28864.13	140.00	149.55	151.35	155.21	0.010056	10.54	2738.88	488.78	1.42
RAHMANLAR	290	15SEP2008 0624	28549.13	140.00	147.60	148.96	152.35	0.010009	9.66	2956.05	599.50	1.39

EK-1. (Devam) HEC-RAS Yıkılma Analizi Sonuç Tabloları: Hidrolik Tablolar

Çizelge 1.3. HEC-RAS Senaryo-3 Hidrolik Sonuçları (Borulanma)

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: DERE Reach: RAHMANLAR Profile: 15SEP2008 0624												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
RAHMANLAR	3370	15SEP2008 0624	30971.95	180.00	233.12		233.41	0.000055	2.37	13057.03	409.11	0.13
RAHMANLAR	3350	15SEP2008 0624	31306.28	179.96	233.11		233.40	0.000056	2.40	13051.45	409.08	0.14
RAHMANLAR	3340	15SEP2008 0624	31473.18	180.00	233.10	199.84	233.39	0.000057	2.41	13047.05	409.07	0.14
RAHMANLAR	3300	Inl Struct										
RAHMANLAR	3290	15SEP2008 0624	31473.18	179.96	194.24	199.83	212.62	0.016738	19.00	1656.88	172.23	1.95
RAHMANLAR	3200	15SEP2008 0624	31513.51	179.91	192.80	197.45	207.09	0.015393	16.74	1882.16	229.06	1.86
RAHMANLAR	2950	15SEP2008 0624	31597.47	179.78	188.44	193.84	206.17	0.024017	18.65	1693.79	245.08	2.27
RAHMANLAR	2740	15SEP2008 0624	31614.34	169.99	185.01	187.44	193.28	0.008278	12.74	2482.22	286.05	1.38
RAHMANLAR	2590	15SEP2008 0624	31598.12	169.89	183.57	186.36	192.56	0.011347	13.29	2377.92	325.24	1.57
RAHMANLAR	2470	15SEP2008 0624	31560.40	169.80	181.95	184.39	190.13	0.010175	12.67	2491.37	337.67	1.49
RAHMANLAR	2300	15SEP2008 0624	31502.38	169.21	179.72	183.55	191.80	0.016281	15.40	2046.05	294.41	1.86
RAHMANLAR	2150	15SEP2008 0624	31451.55	168.33	176.18	181.96	198.64	0.043169	20.99	1498.09	282.35	2.91
RAHMANLAR	2020	15SEP2008 0624	31377.39	159.98	172.35	176.03	182.55	0.012922	14.15	2217.44	305.81	1.68
RAHMANLAR	1820	15SEP2008 0624	31197.63	159.91	170.22	171.50	175.79	0.007443	10.46	2983.59	429.11	1.27
RAHMANLAR	1700	15SEP2008 0624	31068.82	159.84	169.02	171.46	177.15	0.012108	12.63	2459.27	382.79	1.59
RAHMANLAR	1565	15SEP2008 0624	30920.38	159.73	167.26	169.77	175.62	0.013668	12.81	2413.89	403.05	1.67
RAHMANLAR	1375	15SEP2008 0624	30694.07	152.61	163.96	167.48	174.98	0.015716	14.71	2087.12	313.88	1.82
RAHMANLAR	1235	15SEP2008 0624	30525.87	149.95	161.72	165.26	172.89	0.014654	14.81	2061.40	290.56	1.77
RAHMANLAR	1025	15SEP2008 0624	30246.89	149.85	158.82	160.92	165.65	0.010424	11.58	2611.65	415.37	1.47
RAHMANLAR	810	15SEP2008 0624	29876.06	149.00	155.75	158.45	164.64	0.020261	13.21	2261.79	486.59	1.96
RAHMANLAR	480	15SEP2008 0624	29028.34	140.00	149.55	151.38	155.27	0.010169	10.60	2739.03	488.79	1.43
RAHMANLAR	290	15SEP2008 0624	28453.11	140.00	147.59	148.94	152.33	0.010009	9.65	2948.93	598.90	1.39

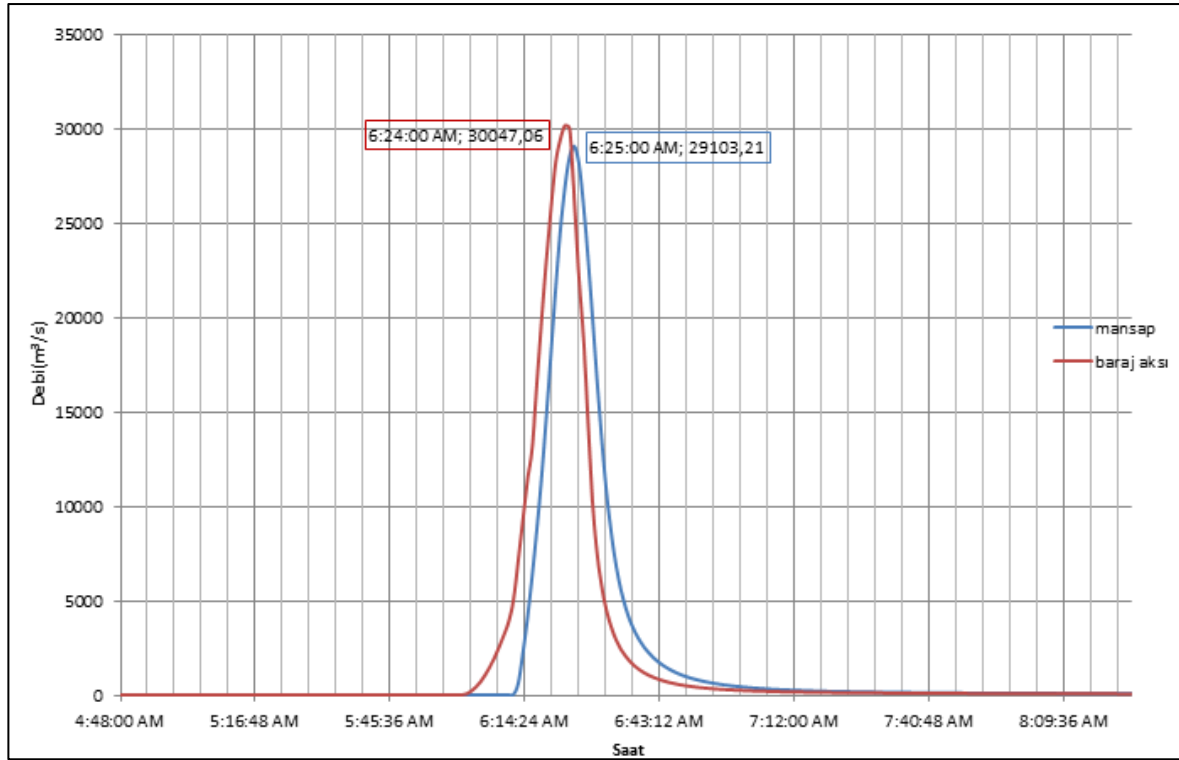
Çizelge 1.4. HEC-RAS Senaryo-4 Hidrolik Sonuçları (Borulanma)

Profile Output Table - Standard Table 1												
File Options Std. Tables Locations Help												
HEC-RAS Plan: Plan 01 River: DERE Reach: RAHMANLAR Profile: 15SEP2008 0625												Reload Data
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
RAHMANLAR	3370	15SEP2008 0625	28017.14	180.00	233.12		233.35	0.000045	2.15	13055.66	409.11	0.12
RAHMANLAR	3350	15SEP2008 0625	28319.76	179.96	233.12		233.36	0.000046	2.17	13056.43	409.11	0.12
RAHMANLAR	3340	15SEP2008 0625	28471.06	180.00	233.12	198.87	233.36	0.000046	2.18	13055.29	409.11	0.12
RAHMANLAR	3300	Inl Struct										
RAHMANLAR	3290	15SEP2008 0625	28471.06	179.96	193.75	198.86	210.43	0.015720	18.10	1573.20	167.74	1.89
RAHMANLAR	3200	15SEP2008 0625	28727.38	179.91	192.38	196.67	205.55	0.014680	16.08	1786.48	222.92	1.81
RAHMANLAR	2950	15SEP2008 0625	29463.42	179.78	188.17	193.29	204.87	0.023473	18.11	1626.92	241.95	2.23
RAHMANLAR	2740	15SEP2008 0625	30109.98	169.99	184.87	187.05	192.62	0.007836	12.33	2441.77	283.47	1.34
RAHMANLAR	2590	15SEP2008 0625	30550.42	169.89	183.49	186.07	192.08	0.010952	12.99	2352.00	324.13	1.54
RAHMANLAR	2470	15SEP2008 0625	30970.98	169.80	181.92	184.26	189.86	0.009910	12.48	2481.60	337.22	1.47
RAHMANLAR	2300	15SEP2008 0625	31379.48	169.21	179.73	183.53	191.67	0.016096	15.31	2049.65	294.91	1.85
RAHMANLAR	2150	15SEP2008 0625	31627.82	168.33	176.23	182.00	198.53	0.042492	20.92	1511.88	283.10	2.89
RAHMANLAR	2020	15SEP2008 0625	31818.54	159.98	172.49	176.12	182.59	0.012675	14.08	2259.34	309.32	1.66
RAHMANLAR	1820	15SEP2008 0625	32067.50	159.91	170.38	171.66	175.99	0.007332	10.49	3055.65	432.19	1.26
RAHMANLAR	1700	15SEP2008 0625	32182.24	159.84	169.20	171.67	177.45	0.012019	12.72	2529.09	387.24	1.59
RAHMANLAR	1565	15SEP2008 0625	32267.22	159.73	167.47	170.02	175.96	0.013364	12.92	2498.25	405.05	1.66
RAHMANLAR	1375	15SEP2008 0625	32319.54	152.61	164.23	167.83	175.50	0.015552	14.88	2172.41	318.54	1.82
RAHMANLAR	1235	15SEP2008 0625	32311.59	149.95	162.01	165.68	173.57	0.014634	15.07	2144.54	294.16	1.78
RAHMANLAR	1025	15SEP2008 0625	32236.46	149.85	159.10	161.23	166.21	0.010487	11.82	2727.22	422.56	1.49
RAHMANLAR	810	15SEP2008 0625	32067.36	149.00	155.98	158.79	165.25	0.020242	13.49	2377.95	495.59	1.97
RAHMANLAR	480	15SEP2008 0625	31391.09	140.00	149.90	151.71	155.82	0.010085	10.78	2911.87	503.34	1.43
RAHMANLAR	290	15SEP2008 0625	30884.14	140.00	147.89	149.32	152.85	0.010006	9.87	3128.77	613.93	1.40

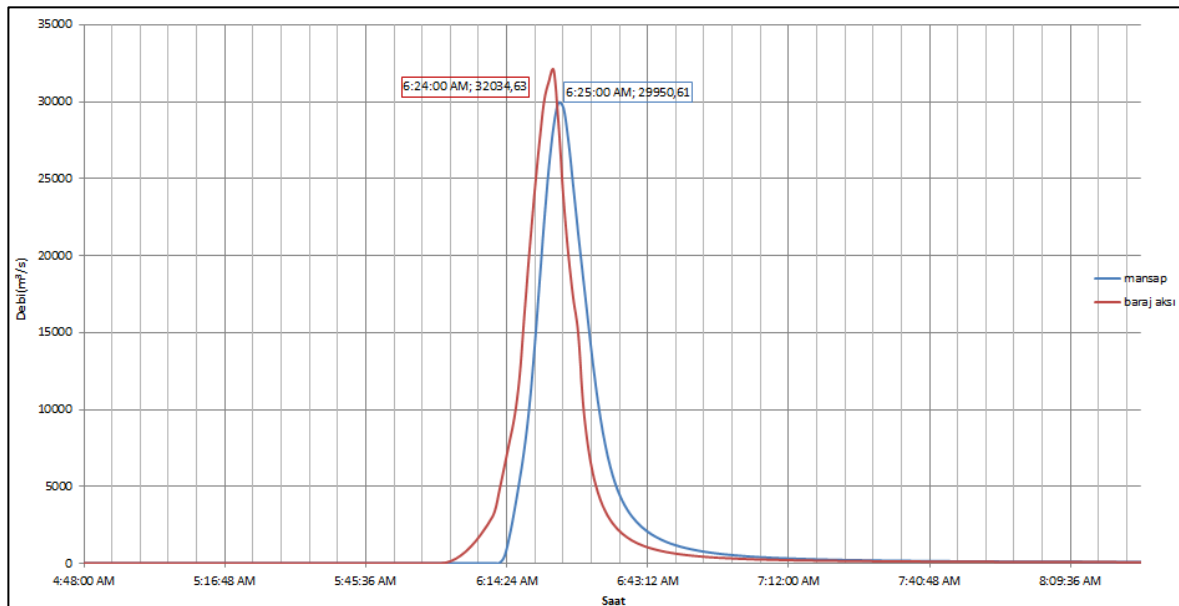
EK-1. (Devam) HEC-RAS Yıkılma Analizi Sonuç Tabloları: Hidrolik Tablolar

Çizelge 1.5. HEC-RAS Senaryo-5 Hidrolik Sonuçları (Borulanma)

EK-2. HEC-RAS Yıkılma Analizi Sonuç Tabloları: Taşkın Hidrografları

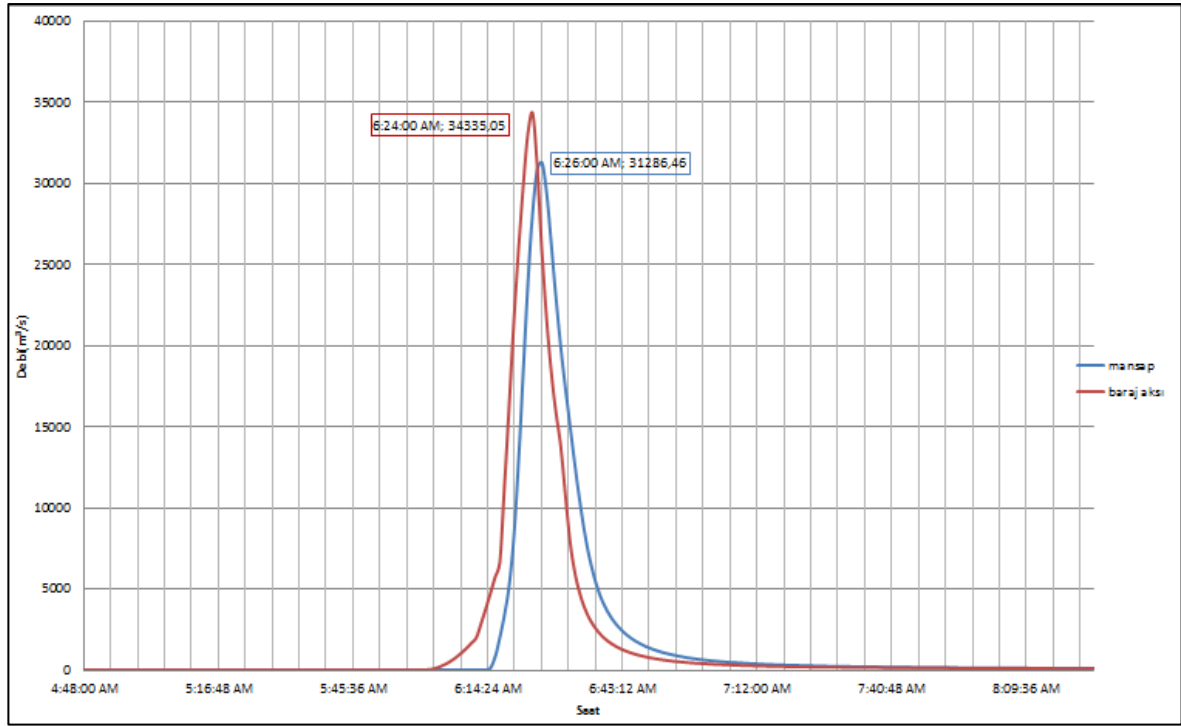


Şekil 1.1. Senaryo-2 Baraj aksında (km: 3300) ve mansap kesitinde (km:290) taşkın hidrografı

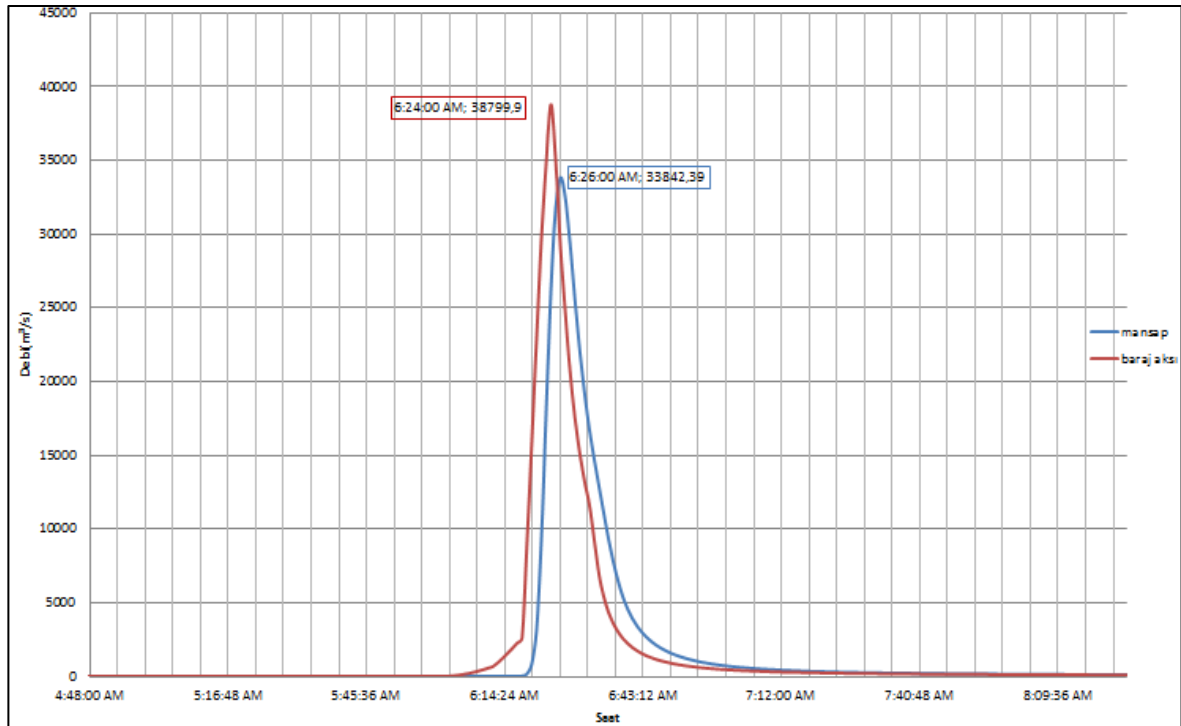


Şekil 1.2. Senaryo-3 Baraj aksında (km: 3300) ve mansap kesitinde (km:290) taşkın hidrografı

EK-2.(Devam) HEC-RAS Yıkılma Analizi Sonuç Tabloları: Taşkın Hidrografları

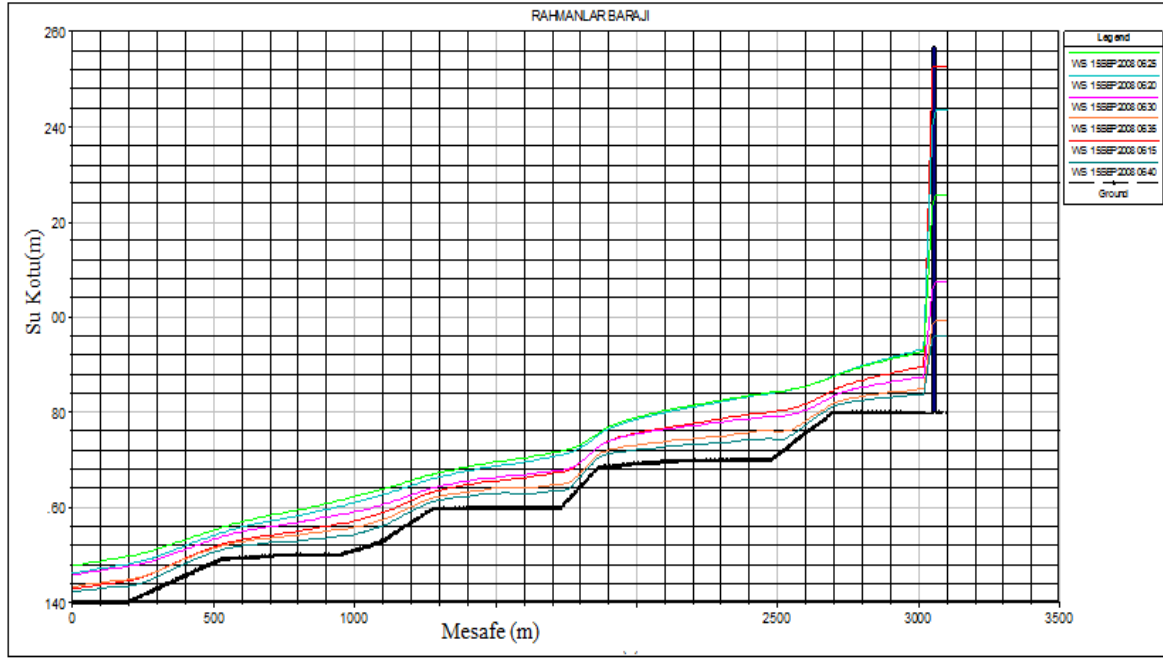


Şekil 1.3. Senaryo-4 Baraj aksında (km: 3300) ve mansap kesitinde (km:290) taşkın hidrografı

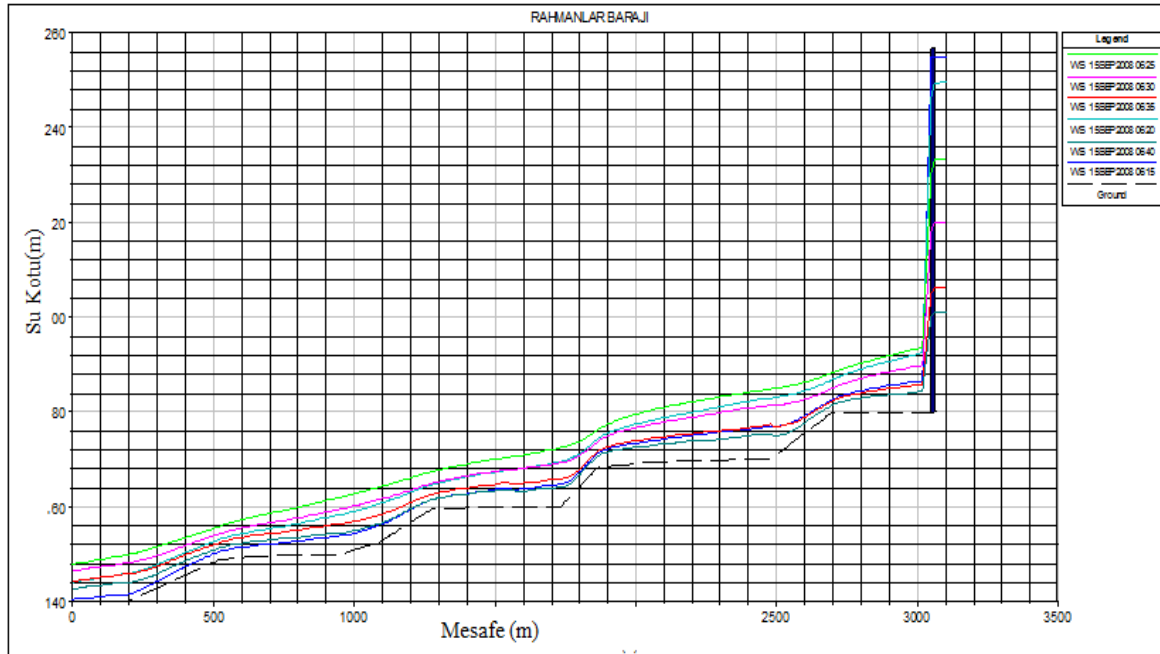


Şekil 1.4. Senaryo-5 Baraj aksında (km: 3300) ve mansap kesitinde (km:290) taşkın hidrografı

EK-3. HEC-RAS Yıkılma Analizi Sonuç Tabloları: Su Yüzü Profilleri

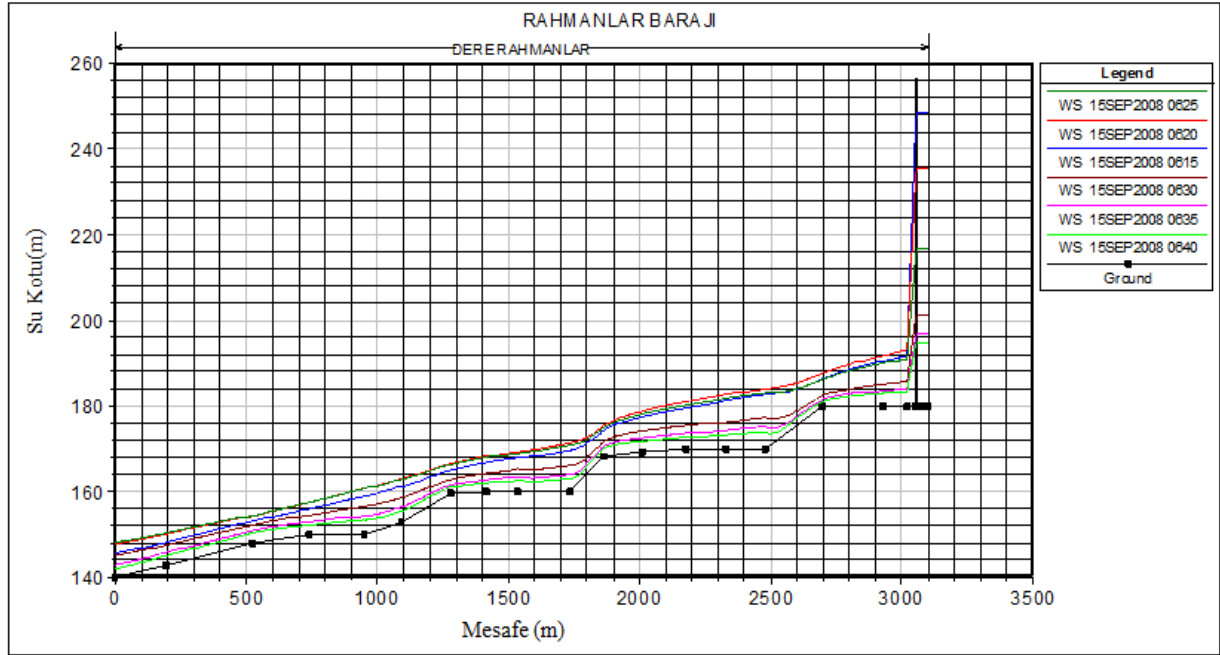


Şekil 1.5. Senaryo-2: Analiz sonucu farklı zamanlarda oluşan su yüzü profilleri

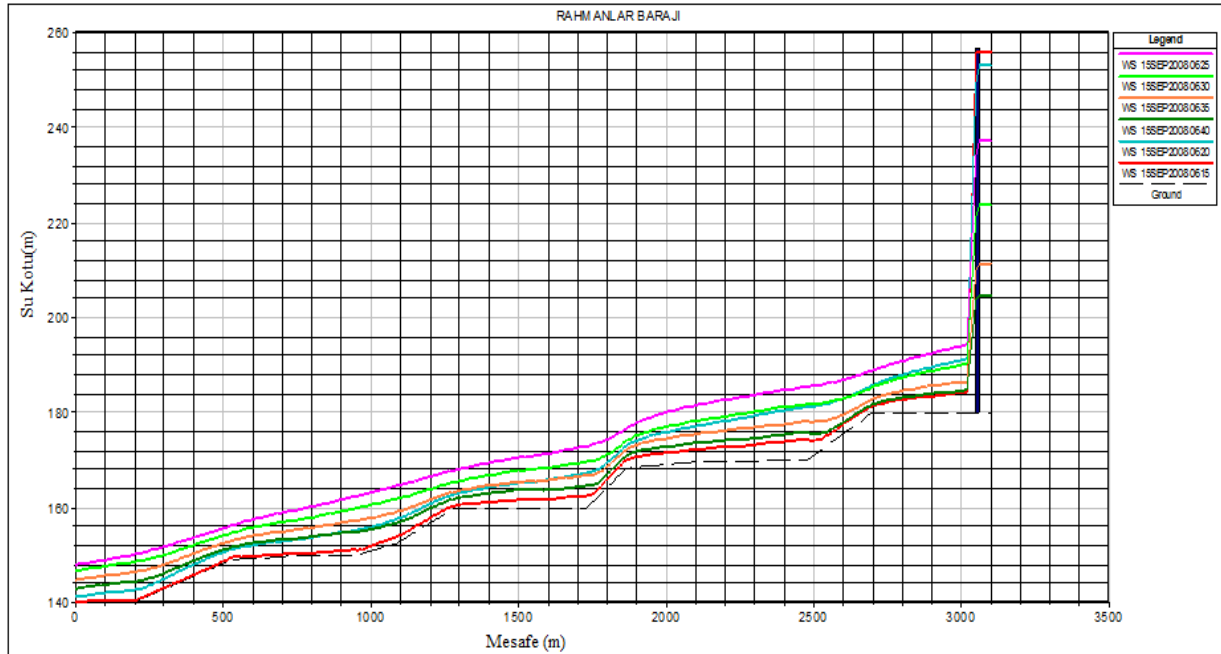


Şekil 1.6. Senaryo-3: Analiz sonucu farklı zamanlarda oluşan su yüzü profilleri

EK-3.(Devam) HEC-RAS Yıkılma Analizi Sonuç Tabloları: Su Yüzü Profilleri



Şekil 1.7. Senaryo-4: Analiz sonucu farklı zamanlarda oluşan su yüzü profilleri



Şekil 1.8. Senaryo-5: Analiz sonucu farklı zamanlarda oluşan su yüzü profilleri

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : Nazlı, PALAMUT
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.11.1989, Ankara
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (506) 2751179
 Faks :-
 E-Posta : nazlipalamut@hotmail.com



Eğitim

Derece	Okul/Program	Mezuniyet tarihi
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2010
Lise	Bahçelievler Deneme Lisesi	2006

İş Deneyimi

Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2010-2012	Bar-Su Proje ve İnşaat	Proje Mühendisi
2012-2014	ERGES Mühendislik Müşavirlik	Proje Mühendisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

-

Hobiler

Sinema, Tenis



GAZİ GELECEKTİR..