T.C.
NECMETTİN ERBAKAN
ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AFET DURUMUNDA BARAJ YIKILMASI DEĞERLENDİRİLMESİ

Huzeyfe KAPLAN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

HAZİRAN-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Huzeyfe KAPLAN tarafından hazırlanan "AFET DURUMUNDA BARAJ YIKILMASI DEĞERLENDİRİLMESİ" adlı tez çalışması 23/07/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	**İmza**
Başkan Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI	…….
Danışman Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK	…….
Üye Prof. Dr. Ali Sinan SOĞANCI	…….

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun …/…/20. gün ve ……. Sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Havvanur UÇBEYİAY
FBE Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

Huzeyfe KAPLAN

Tarih: 29.07.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AFET DURUMUNDA BARAJ YIKILMASI DEĞERLENDİRİLMESİ

Huzeyfe KAPLAN

Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK

2025, 124 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK
Prof. Dr. Ali Sinan SOĞANCI
Dr. Öğr. Üyesi Ali İhsan MARTI

Taşkınlar, iklim değişikliğinin güncel etkileriyle birlikte, kentleşmiş bölgelerde giderek artan bir tehdit oluşturmaktadır. Bu tez çalışması, mevcut taşkın koruma yapılarının yetersiz kalması veya olası bir yapısal arıza nedeniyle yıkılması durumunda ortaya çıkabilecek kritik durum senaryolarını incelemeyi amaçlamaktadır.

Çalışma kapsamında, arazi verilerinin toplanması ve nokta bulutu oluşturulması süreçlerinde DJI Terra ve 3D Survey programlarından faydalanılmıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı NETCAD yazılımı kullanılarak topografik detaylar ve mevcut altyapılar yüksek hassasiyetle modellenmiştir. Akışkanlar dinamiği simülasyonları için ise FLOW-3D Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) yazılımları kullanılarak, baraj veya set yıkılması gibi ani su hareketlerinin üç boyutlu yayılımı, taşkın derinliği ve hız hidrolik parametreler ile tahmin edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baraj Yıkılması, DJI Terra, FLOW-3D, NETCAD, Taşkın, 3D Survey

ABSTRACT

MS THESIS

EVALUATION OF DAM BREAKING IN CASE OF DISASTER

Huzeyfe KAPLAN

THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF NECMETTIN ERBAKAN UNIVERSITY

THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN CIVIL ENGINEERING

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Kağan ERYÜRÜK

2025, 124 Pages

Assoc. Prof. Dr. Kağan ERYÜRÜK

Prof. Dr. Ali Sinan SOĞANCI

Asst. Prof. Dr. Ali İhsan MARTI

Floods are an escalating threat in urbanized regions, exacerbated by the current impacts of climate change. This thesis aims to investigate critical scenario conditions that may arise from the inadequacy or potential structural failure of existing flood protection structures.

For this study, DJI Terra and 3D Survey software were utilized for collecting and processing terrain data, including point cloud generation. NETCAD, a Geographic Information Systems (GIS) based software, was used to model topographic details and existing infrastructure with high precision. Furthermore, FLOW-3D, a Computational Fluid Dynamics (CFD) software, was employed for fluid dynamics simulations. This allowed for the prediction of hydraulic parameters such as the three-dimensional propagation, flood depth, and velocity of sudden water movements resulting from dam or levee failures.

Keywords: Flood, Dam Break, DJI Terra, FLOW-3D, NETCAD, 3D Survey

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimim ve tez çalışmam boyunca, planlanmasından araştırılmasına, yürütülmesinden nihai oluşumuna kadar her aşamasında ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden feyz aldığım, bilimsel temeller ışığında değerli yönlendirmeleriyle çalışmamı şekillendiren çok değerli hocalarım Prof. Dr. Şerife Yurdagül KUMCU ve Doç. Dr. Kağan ERYÜRÜK' e, ayrıca hayatımın her alanında desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen sevgili eşime ve aileme en içten teşekkürlerimi sunarım.

Huzeyfe KAPLAN
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **iv**

ABSTRACT ..... **v**

ÖNSÖZ ..... **vi**

İÇİNDEKİLER ..... **vii**

KISALTMALAR VE SİMGELER ..... **ix**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **x**

TABLOLAR DİZİNİ ..... **xiv**

1. GİRİŞ **1**

2. BARAJ YIKILMASI KAVRAMINA GENEL BAKIŞ **6**

2.1. Taşkın Tanımı ve Sınıflandırılması 15
2.1.1. Akarsu ve dere taşkınları 15
2.1.2. Kara taşkınları 15
2.1.3. Deniz ve göl taşkınları 15
2.1.4. Yeraltı suyu taşkınları 16
2.2. Taşkın önleme yapıları 17
2.3. Baraj Yıkılma Şekilleri ve Metotları 19

3. LİTARATÜR TARAMASI **20**

4. ÇALIŞMA ALANI **25**

4.1. Proje Yeri ve Konumu 25
4.2. Taşkın Koruma Göleti 26
4.3. Taşkın Koruma Göleti Karakteristik Bilgileri 28

5. MATERYAL VE YÖNTEM **29**

5.1. Çalışmada Kullanılan Programlar 29
5.1.1. DJI Terra 29
5.1.2. 3D Survey 35
5.1.3. NETCAD 41
5.1.4. FLOW-3D 53

6. BULGULAR VE TARTIŞMA **58**

6.1. NETCAD 58
6.2. FLOW-3D (Taşkın Koruma Göletinin Yıkılması) 64
6.3. FLOW-3D (Q100 Yağış ile Koruma Göletinin Yıkılması) 86

7. SONUÇ **118**

7.1. Uygulanabilir Bulgular ve Stratejik Öneriler 118
7.2. Genel Değerlendirme ve Gelecek Araştırma Vizyonu 120

KAYNAKLAR 121

KISALTMALAR VE SİMGELER

KISALTMALAR

DSÖ: Dünya Sağlık Örgütü
USACE: Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği
1B: 1 Boyutlu
2B: 2 Boyutlu
3B: 3 Boyutlu
DSİ: Devlet Su İşleri
RANS: Reynolds-Averaged Navier-Stokes
İHA: İnsansız Hava Aracı
LİDAR: Işın Algılama ve Mesafe Ölçme
SYM: Sayısal Yükseklik Modeli
RAM: Bellek
PC: Bilgisayar
DEM: Sayısal Yükseklik Modeli
DMİ: Devlet Meteoroloji İstasyonu
PLV: Plüviyografik Katsayısı
CAD: Bilgisayar Destekli Tasarım
PROB: Ölçüm Noktası

SİMGELER

cm: Santimetre
km: Kilometre
ha: Hektar
km^2: Kilometrekare
m: Metre
m^3: Metreküp
mm: Milimetre
sn: Saniye

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Yıkımdan sonra Banqiao Barajı (Zhang vd., 2009) 2
Şekil 1.2. Libya sel felaketi haritası (BBC News, 2025)..... 4
Şekil 1.3. Libya sel felaketi öncesi ve sonrası uydu görüntüsü (BBC News, 2025) 4
Şekil 1.4. Libya sel felaketinde hasar gören köprüler (BBC News, 2025)..... 5

Şekil 2.1. Baraj türlerine göre yıkılma oranları (ICOLD, 2025) 7
Şekil 2.2. Toprak dolgu baraj yıkılma oranları (Zhang vd., 2009)..... 9
Şekil 2.3. Toprak dolgu baraj kalite problemleri (Zhang vd., 2009)..... 12
Şekil 2.4. Beton ve kagir tersip bendi..... 17
Şekil 2.5. Doğanhisar Yenice Tarımsal Sulama Göleti (Kil çekirdekli kum çakıl dolgu gölet) 18
Şekil 2.6. Sadak Barajı (Kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj) (DSİ, 2025)..... 18
Şekil 2.7. (a) Üstten aşma ve (b) Borulanma yıkılma durumları (Em & Hamidi, 2021) 19

Şekil 4.1. Türkiye haritasında proje konumu 25
Şekil 4.2. Konya haritasında proje konumu 25
Şekil 4.3. Proje sahasında bulunan bina görüntüsü 26
Şekil 4.4. Necmettin Erbakan Taşkın Koruma Göleti 26
Şekil 4.5. Necmettin Erbakan Taşkın Koruma Göleti (üstten proje görünüş)..... 27
Şekil 4.6. Necmettin Erbakan Taşkın Koruma Göleti (yandan proje görünüş)..... 27
Şekil 4.7. Necmettin Erbakan Taşkın Koruma Göleti (mansaptan görünüş) 28

Şekil 5.1. DJI Enterprise Matrice 350 RTK İnsansız Hava Aracı ve DJI Zenmuse L1 LIDAR Sensörü 30
Şekil 5.2. DJI Enterprise Matrice 350 RTK Marka Dron El Ünitesi..... 30
Şekil 5.3. Sayısal yükseklik modeli..... 31
Şekil 5.4. Sayısal yükseklik modeli..... 32
Şekil 5.5. Sayısal yükseklik modeli..... 33
Şekil 5.6. DJI Terra Program Arayüzü..... 34
Şekil 5.7. 3D survey program arayüzü..... 35
Şekil 5.8. 3D survey programında dron fotoğraflarının birleştirilmesi 36
Şekil 5.9. 3D Survey programında SYM oluşturulması..... 36
Şekil 5.10. 3D Survey programında oluşturulan arazinin eş yükselti eğrileri..... 37
Şekil 5.11. 3D Survey programında oluşturulan renklendirilmiş arazi modeli 37
Şekil 5.12. 3D Survey programında elde edilen katı model 39
Şekil 5.13. 3D Survey programında elde edilen katı model 40
Şekil 5.14. NETCAD Program Arayüzü 41
Şekil 5.15. NETCAD programında noktalarla oluşturulan üçgenlenmiş arazi modeli 42
Şekil 5.16. NETCAD programında üçgenlerden oluşturulmuş DEM haritası..... 42
Şekil 5.17. Ana Havza, Havza ve Alt Havza Drenaj Ağları..... 43
Şekil 5.18. Ana Havza, Havza ve Alt Havza Drenaj Ağları (haritalı)..... 43
Şekil 5.19. Meteoroloji istasyonları ve yağış alanı..... 44
Şekil 5.20. Beyşehir İstasyonu Simirnov-Kolmogorov testi 46
Şekil 5.21. Çumra İstasyonu Simirnov-Kolmogorov testi 46
Şekil 5.22. Konya İstasyonu Simirnov-Kolmogorov testi..... 47
Şekil 5.23. Akış yükseklik değeri hesaplama adımları..... 49
Şekil 5.24. Debi Hesabında Kullanılan Tasarım Metotları 49
Şekil 5.25. Birim Hidrograf Analiz Grafiği..... 50
Şekil 5.26. Hesaplama hücresinde etkili parametrelerin gösterimi (Elçi vd., 2017) 53

Şekil 6.1. NETCAD NETHYDRO Modülü Taşkın Debi Hesabı 58
Şekil 6.2. Mockus Yöntemi ile oluşturulmuş olan Birim Hidrograf 62
Şekil 6.3. NETCAD taşkın analizi su yayılımı (Haritalı) 63
Şekil 6.4. Taşkın Koruma Göleti yeri ve biriktirebileceği su miktarı girdileri 64
Şekil 6.5. Taşkın Koruma Göleti yeri ve rezervuar alanı 64
Şekil 6.6. 0. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 65
Şekil 6.7. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 65
Şekil 6.8. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 66
Şekil 6.9. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 66
Şekil 6.10. 180. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 67
Şekil 6.11. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 67
Şekil 6.12. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 68
Şekil 6.13. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 68
Şekil 6.14. 360. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 69
Şekil 6.15. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 69
Şekil 6.16. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 70
Şekil 6.17. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 70
Şekil 6.18. 540. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 71
Şekil 6.19. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 71
Şekil 6.20. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 72
Şekil 6.21. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 72
Şekil 6.22. 720. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 73
Şekil 6.23. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 73
Şekil 6.24 .720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 74
Şekil 6.25. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 74
Şekil 6.26. 900. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 75
Şekil 6.27. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 75
Şekil 6.28. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 76
Şekil 6.29. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 76
Şekil 6.30. 1080. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 77
Şekil 6.31. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 77
Şekil 6.32. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 78
Şekil 6.33. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 78
Şekil 6.34. 1800. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 79

Şekil 6.35. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 79
Şekil 6.36. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 80
Şekil 6.37. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 80
Şekil 6.38. 3600. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı 81
Şekil 6.39. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 81
Şekil 6.40. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 82
Şekil 6.41. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 82
Şekil 6.42. FLOW-3D Taşkın analizinde önemli noktalara atılan prob noktaları..... 83
Şekil 6.43. Prob Noktalarında Akım Derinliği-Zaman İlişkisi..... 83
Şekil 6.44. Prob Noktalarında Akım Hızı-Zaman İlişkisi 84
Şekil 6.45. FLOW-3D programında tanımlanan havza alanı 86
Şekil 6.46. FLOW-3D programına birim hidrograf değerlerinin tanımlanması..... 87
Şekil 6.47. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 88
Şekil 6.48. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 88
Şekil 6.49. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 89
Şekil 6.50. 0. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 89
Şekil 6.51. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 90
Şekil 6.52. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 90
Şekil 6.53. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 91
Şekil 6.54. 180. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 91
Şekil 6.55. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 92
Şekil 6.56. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 92
Şekil 6.57. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 93
Şekil 6.58. 360. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 93
Şekil 6.59. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 94
Şekil 6.60. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 94
Şekil 6.61. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 95
Şekil 6.62. 540. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 95
Şekil 6.63. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 96
Şekil 6.64. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 96
Şekil 6.65. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 97
Şekil 6.66. 720. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 97
Şekil 6.67. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 98
Şekil 6.68. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 98
Şekil 6.69. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 99

Şekil 6.70. 900. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 99
Şekil 6.71. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 100
Şekil 6.72. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 100
Şekil 6.73. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 101
Şekil 6.74. 1080. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 101
Şekil 6.75. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 102
Şekil 6.76. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 102
Şekil 6.77. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 103
Şekil 6.78. 1800. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 103
Şekil 6.79. 2160. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 104
Şekil 6.80. 2160. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 104
Şekil 6.81. 2160. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 105
Şekil 6.82. 2160. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 105
Şekil 6.83. 2520. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 106
Şekil 6.84. 2520. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 106
Şekil 6.85. 2520. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 107
Şekil 6.86. 2520. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 107
Şekil 6.87. 2880. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 108
Şekil 6.88. 2880. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 108
Şekil 6.89. 2880. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 109
Şekil 6.90. 2880. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 109
Şekil 6.91. 3240. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 110
Şekil 6.92. 3240. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 110
Şekil 6.93. 3240. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 111
Şekil 6.94. 3240. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 111
Şekil 6.95. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı 112
Şekil 6.96. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı 112
Şekil 6.97. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı 113
Şekil 6.98. 3600. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım 113
Şekil 6.99. FLOW-3D Taşkın analizinde önemli noktalara atılan prob noktaları 114
Şekil 6.100. Prob Noktalarında Akım Derinliği-Zaman İlişkisi 114
Şekil 6.101. Prob Noktalarında Akım Hızı-Zaman İlişkisi 115

TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 1.1. Dünya genelinde önemli baraj yıkımı olayları (ICOLD, 2025)..... 3

Tablo 2.1. Baraj tipleri için muhtemel yıkılma türleri (ICOLD, 2025) 6

Tablo 5.1. Taşkın koruma yağış alanı kesiti yağış analizi sonuçları..... 44
Tablo 5.2. Plüviograf Katsayıları 47
Tablo 5.3. Akış Eğri Numaraları (ENII) 48

Tablo 6.1. NETCAD taşkın debi analizinde harmonik eğim hesabı..... 59
Tablo 6.2. NETHYDRO taşkın debi hesabında yağış alan dağılımı sonucu 59
Tablo 6.3. NETHYDRO taşkın debi hesabında yağış analizi sonucu..... 60
Tablo 6.4. NETHYDRO taşkın debi hesabı..... 61
Tablo 6.5. NETCAD NETHYDRO Mockus Yöntemiyle oluşturulmuş taşkın debi hesabı sonuçları..... 62

1. GİRİŞ

Taşkınlar hem ülkemizde hem de dünya genelinde ekonomik kayıplara ve toplumsal aksamalara yol açan başlıca doğal afetlerden biridir. Yağışlarla veya ani su artışlarıyla akarsu yataklarına ulaşan su miktarının, bu yatakların doğal ya da yapay taşıma kapasitesini aşması sonucunda suyun çevreye yayılması; sel, su baskını ve taşkın olaylarını beraberinde getirir. Akarsu yataklarının taşma noktasına ulaşmasıyla birlikte, suyun yerleşim alanlarına, tarım arazilerine ve doğal yaşama zarar vermesi, taşkın olayı olarak tanımlanır.

Özellikle üst havzalarda görülen orman tahribatı, bitki örtüsünün yok edilmesi ve hatalı arazi kullanımı, yağış sularının daha hızlı ve kontrolsüz bir şekilde yüzey akışına geçmesine neden olarak taşkın riskini artırmaktadır. Alt havzalarda ise, taşkın riski taşıyan bölgelerin yerleşim, tarım ve sanayi gibi amaçlarla kullanılması, afetin etkilerini daha da ağırlaştırmaktadır. Bu nedenle, taşkın risklerinin azaltılması amacıyla yapısal önlemlere başvurulmaktadır. Söz konusu önlemler arasında biriktirme yapıları, taşkın setleri, derivasyon (yön değiştirme) kanalları, akarsu yatağı düzenlemeleri ve drenaj sistemleri gibi mühendislik uygulamaları yer almaktadır.

Barajlar, içme ve kullanma suyu temini, sulama, hidroelektrik enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi çeşitli faydalı işlevleri olan kritik su yapılarıdır. Ancak, büyük çaplı can ve mal kayıplarına yol açabilen baraj yıkılması olayları, uzun yıllardır hem deneysel hem de sayısal yöntemlerle kapsamlı bir şekilde araştırma konusu olmuştur. Bu araştırmalarda kullanılan modellerin geometrik parametreleri, mevcut topografik haritalardan ve hidrolik simülasyon yasalarından yararlanılarak belirlenmektedir

Tarihteki en büyük baraj yıkılma felaketinde, 8 Ağustos 1975'te Çin Halk Cumhuriyeti'nde yağış miktarının 24 saat içerisinde düşmesi sebebiyle Banqiao ve Shimantan Barajlarıyla beraber 62 adet büyüklü küçüklü barajın da yıkılmasıyla 11milyon kişinin yaşamını etkilemiştir; taşkın sırasında sayısız insan yaralanmış. Taşkın ilk aşamada 26.000 sonrası yaşanan kıtlık ve hastalıklar sebebiyle 171.000 kişinin canına mal olmuştur; 5.960 bina yıkılmıştır. Uç örnek olarak gösterebileceğimiz bu

olayda baraj ve taşkın koruma yapılarının yıkılmasının ağır sonuçlarla karşılaşabileceğimizi göstermektedir (Abay, 2015).



Şekil 1.1. Yıkımdan sonra Banqiao Barajı (Zhang vd., 2009)

Türkiye'de son dönemde gözlemlenen baraj yapılarındaki hızlı artış hem hizmete alınan hem de proje-yapım aşamasında olan barajların sayısının hızla yükselmesiyle dikkat çekmektedir. Bu durum, sulama, içme suyu temini, hidroelektrik enerji üretimi ve taşkın kontrolü gibi hayati ihtiyaçları karşılamanın yanı sıra, ülkemizin baraj yıkılması risk seviyesini de kaçınılmaz olarak yükseltmektedir. Ayrıca, 1950'lerden bu yana inşa edilmiş olan barajlarımızın yaşlanması, bu riski artıran bir diğer önemli unsurdur.

Muhtemel bir baraj yıkılması sonucu oluşabilecek taşkının etkilerini önceden tahmin etmek ve olumsuz sonuçlarını minimize etmek, alınacak tedbirler ve oluşturulacak eylem planları açısından büyük bir önem taşımaktadır. Baraj yıkılmaları her ne kadar nadir rastlanan durumlar olsa da meydana gelen ani ve büyük taşkın dalgası, barajın mansabında kalan bölgelerde ciddi zararlara yol açar. Özellikle şehirleşmiş alanlarda bu durum, ölümcül sonuçları olabilecek büyük çaplı felaketlere dönüşebilir.

Tablo 1.1. Dünya genelinde önemli baraj yıkımı olayları (ICOLD, 2025)

Baraj Adı	Ülke	Türü	Yükseklik (m)	Yıkılma Yılı	Yıkılma Sebebi	Hasar Miktarı (Milyon Dolar)	Ölen İnsan Sayısı
Puentes	İspanya	Kaya Dolgu	50	1802	Temel Bozukluğu	-	60
Southfork	ABD	Toprak Dolgu	22	1889	Üstten Aşma	100	2200
Saint Francis	ABD	Beton Kemer	62,5	1928	Yapı Kusuru	Bilinmiyor	450
Vega de Tera	İspanya	Beton Payandalı	34	1959	Yapı Kusuru	Bilinmiyor	144
Malpasset	Fransa	Beton Kemer	66,5	1959	Temel Bozukluğu	68	421
Oros	Brezilya	Toprak Dolgu	54	1960	Üstten Aşma	Bilinmiyor	1000
Bab-i-Yar	Ukrayna	Toprak Dolgu	18	1961	Üstten Aşma	-	145
Hyokiri	Kore	-	-	1961	-	-	250
Panshet	Hindistan	Toprak Dolgu	50	1961	Yapı Kusuru+Üstten Aşma	Bilinmiyor	1000
Q.la Chapa	Kolombiya	-	-	1963	-	-	200
Vajont	İtalya	Beton Kemer	267	1963	Üstten Aşma	Bilinmiyor	3000
Baldwin Hills	ABD	Toprak Dolgu	71	1963	Temel Bozukluğu	50	3
Nanaksagar	Hindistan	Toprak Dolgu	10	1967	Yapı Kusuru+Üstten Aşma	Bilinmiyor	500
Pado	Arjantin	-	-	1970	-	-	200
Teton	ABD	Toprak Dolgu	126	1976	Yapı Kusuru+Borulanma	1000	14
Machu II	Hindistan	Toprak Dolgu	26	1979	Üstten Aşma	Bilinmiyor	2000
Belci	Romanya	Toprak Dolgu	18	1991	Üstten Aşma	Bilinmiyor	48

Libya’da yaşanan sel felaketi, 10 Eylül'de Orta Akdeniz'den gelen "Daniel Fırtına’sının ülkenin doğusunu vurmasıyla gerçekleşti. Bingazi, Beyda, Merc, Suse ve Derne şehirleri bu felaketten etkilendi (BBC News, 2025).

Geçmişte 1941, 1959 ve 1968'de de sellere maruz kalan Derne'yi korumak amacıyla, 1970'lerde bir Yugoslav şirketi iki baraj inşa etmişti. Kent merkezinden 13 kilometre uzakta bulunan Al-Bilad Barajı 1,5 milyon metreküp, Derne'ye sadece 1 kilometre mesafedeki Abu Mansour Barajı ise 22,5 milyon metreküp su depolama kapasitesine sahipti. Ancak çöken bu barajlar, şehirdeki ev ve araçları enkaza çevirirken, binlerce insanın da hayatını kaybetmesine neden oldu. Yaklaşık 100 bin nüfuslu kentin dörtte biri haritadan silindi ve geniş tarım arazileri sular altında kaldı (BBC News, 2025).

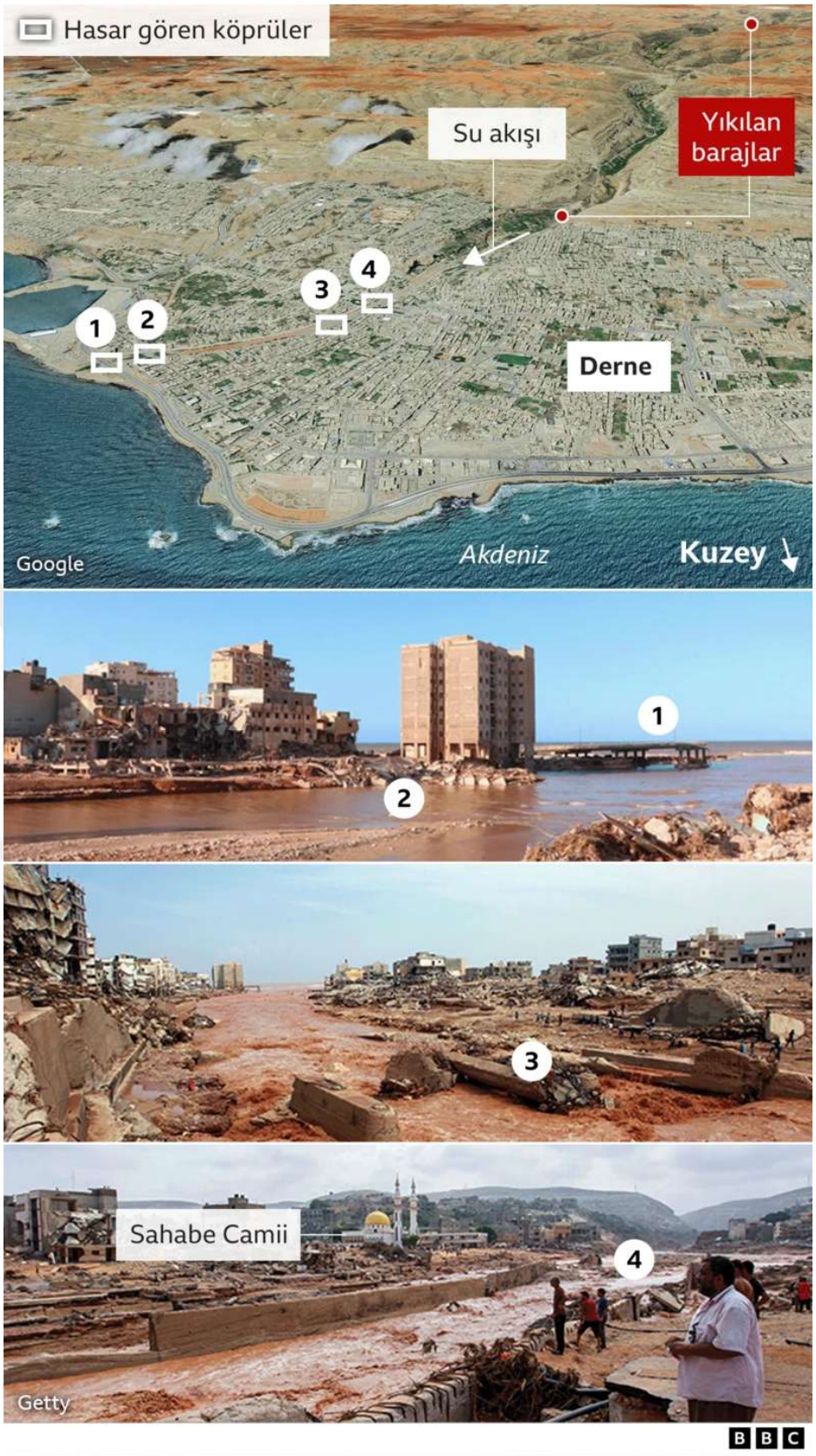


Şekil 1.2. Libya sel felaketi haritası (BBC News, 2025)

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) Sözcüsü Tarik Jasarevic'in 19 Eylül'deki açıklamasına göre, Libya'daki sel felaketinde 3.998 kişi hayatını kaybetmiş, 8 ila 9 bin kişi ise hâlen kayıp olarak rapor edilmiştir (BBC NEWS, 2025).



Şekil 1.3. Libya sel felaketi öncesi ve sonrası uydu görüntüsü (BBC News, 2025)



Şekil 1.4. Libya sel felaketinde hasar gören köprüler (BBC News, 2025)

2. BARAJ YIKILMASI KAVRAMINA GENEL BAKIŞ

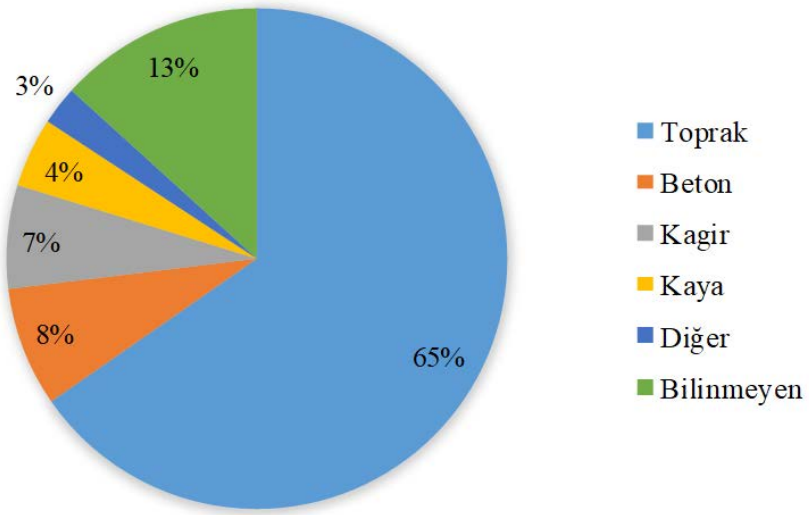
U.S. Army Corps of Engineers (USACE) Hidrolojik Mühendislik Merkezi, baraj yıkılmalarını tetikleyen başlıca etmenleri; taşkınlar, borulanma ve sızma, heyelan ve toprak kaymaları, depremler, temel zemindeki zayıflıklar, yapısal bileşenlerin (kapak, dolusavak, dipsavak vb.) yetersizliği ya da kusurlu olması, genel yapısal hatalar, memba tarafındaki başka bir barajın çökmesi, haznenin ani boşaltılması, sabotaj eylemleri ve planlı imhalar şeklinde sınıflandırmaktadır (ICOLD**,** 2025).

Tablo 2.1. Baraj tipleri için muhtemel yıkılma türleri (ICOLD, 2025)

Yıkılma Modeli	Toprak Dolgu	Beton Ağırlık	Beton Kemer	Beton Payandalı	Çok Açılı Beton
Baraj üstünden su aşması	U				
Borulanma/Sızma	U	U			
Temel kusurları	U	U	U	U	U
Kayma		U	UD		UD
Devrilme	UD	UD	UD	UD	UD
Yarılma			U		
Kusurlu yapı bölümleri		U	U	U	U
Açıklama	U:Yıkılma Modeli Uygun UD:Yıkılma Modeli Uygun Değil				

Baraj yıkılmalarının nedenlerini ve sonuçlarını incelemek amacıyla çeşitli araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda, Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD), küresel ölçekteki baraj yıkılmalarına ilişkin istatistiksel verileri yayımlamıştır. Öte yandan, Birleşik Devletler Büyük Barajlar Komitesi (USCOLD), Amerika Birleşik Devletleri'nde meydana gelen baraj yıkılmaları ve yapısal hasarları konu alan kapsamlı bir çalışma yayımlamıştır (Zhang vd., 2009).

Çin Halk Cumhuriyeti hariç olmak üzere, dünya genelinde 900'den fazla barajın yıkılma olaylarının incelendiği bu çalışmada, barajların özellikleri ve yıkılma bilgileri toplanarak, baraj türlerine göre yıkılma oranları belirlenmiştir (Zhang vd., 2009).



Şekil 2.1. Baraj türlerine göre yıkılma oranları (ICOLD, 2025)

Şekil 2.1.' de baraj türüne göre oranları ayrıntılı açıklayacak olursak;

- Toprak Barajlar (%65): Yıkılma oranlarının en yüksek olduğu baraj türü toprak barajlardır. Bu, incelenen veri setinde baraj yıkılmalarının büyük çoğunluğunun toprak barajlarda meydana geldiğini göstermektedir. Bu durum, toprak barajların yapısal özelliklerinden, tasarım ve inşaat süreçlerindeki hassasiyetten veya dış etkenlere (erozyon, deprem, aşırı yağış vb.) karşı daha savunmasız olmalarından kaynaklanıyor olabilir.

- Beton Barajlar (%8): Toprak barajlara kıyasla beton barajların yıkılma oranı oldukça düşüktür. Bu, betonun dayanıklılığı ve yapısal stabilitesi nedeniyle bu tür barajların daha güvenli olduğunu düşündürebilir.

- Kagir Barajlar (%7): Kagir barajların yıkılma oranı beton barajlara yakın olup, nispeten düşüktür.

- Kaya Barajlar (%4): Kaya barajların yıkılma oranı daha da düşüktür.

- Diğer (%3): Bu kategori, belirtilen diğer baraj türlerinin dışındaki barajları kapsar ve en düşük yıkılma oranına sahiptir.

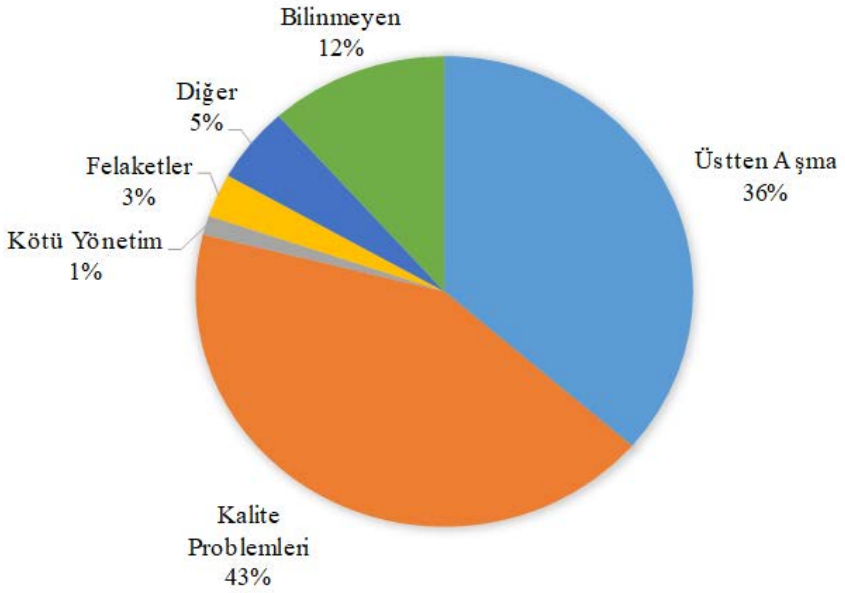
- Bilinmeyen (%13): Yıkılma nedeni veya baraj türü bilinmeyen barajların oranı %13'tür. Bu, veri toplama veya sınıflandırma sürecinde bazı eksiklikler olduğunu gösterebilir. Bu "bilinmeyen" kategorisinin içeriği, genel yorumlamayı etkileyebilir. Eğer bu bilinmeyenlerin önemli bir kısmı aslında diğer yüksek riskli kategorilere giriyorsa, gerçek dağılım biraz farklı olabilir.

Genel Değerlendirme:

Şekil 2.1.'de ki grafiğe göre, incelenen veri setinde baraj yıkılmalarının ana nedeni toprak barajlardır. Bu, mühendislik, tasarım ve inşaat süreçlerinde toprak barajlara yönelik özel önlemlerin veya iyileştirmelerin gerekliliğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, "bilinmeyen" kategorisinin aydınlatılması, daha kesin sonuçlar elde etmek için önemlidir. Bu tür bir analiz, baraj güvenliği politikalarının geliştirilmesi ve risk yönetimi stratejilerinin belirlenmesi açısından değerli bilgiler sunar.

Zhang vd., (2009), istatistik amaçlı toplanan verilerin, gerçekleşmiş tüm baraj yıkılmalarını değil yalnızca rapor edilmiş olayları içermesine rağmen, analizler toprak barajlarda meydana gelen yıkılma oranının yüksekliğinin değişmediğini göstermiştir. Bu bulgudan hareketle, toprak dolgu barajların yıkılma riskinin diğer baraj türlerine kıyasla daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Zhang vd., (2009) tarafından gerçekleştirilen çalışma kapsamında, 593 adet toprak dolgu barajın yıkılma nedenleri araştırılmış ve bu araştırmadan elde edilen istatistikî veriler aşağıda sunulmuştur:



Şekil 2.2. Toprak dolgu baraj yıkılma oranları (Zhang vd., 2009)

Kalite Problemleri (%43):

Bu kategori, baraj yıkılma nedenleri arasında en büyük paya sahiptir. Neredeyse her iki baraj yıkımından birinin temelinde kalite sorunları yatmaktadır.

- Tasarım hataları: Yetersiz veya hatalı mühendislik hesaplamaları, uygun olmayan malzeme seçimi.
- İnşaat hataları: İnşaat sırasında kullanılan malzeme kalitesinin düşük olması, sıkıştırma (kompaksiyon) yetersizliği, temel zemininin uygun hazırlanmaması, drenaj sistemlerinin eksik veya hatalı yapılması.
- Malzeme sorunları: Dolgu malzemesinin veya diğer yapısal bileşenlerin beklenen dayanıklılık veya geçirimsizlik özelliklerini taşımaması.

Bu yüksek oran, baraj inşa süreçlerinde kalite kontrolünün ve denetiminin ne kadar hayati olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Üstten Aşma (%36):

Bu kategori, kalite problemlerinden sonra en önemli ikinci yıkılma nedenidir. Baraj yıkılmalarının üçte birinden fazlası barajın üzerinden suyun aşması sonucunda meydana gelmektedir.

Üstten Aşma genellikle şu durumlarda gerçekleşir:

- Yetersiz taşkın tahliye kapasitesi: Barajın deşarj kapasitesinin, gelen aşırı yağış sularını veya sel debilerini tahliye etmekte yetersiz kalması.
- Yanlış hesaplanmış proje taşkın debileri: Barajın planlandığı bölgedeki maksimum taşkın debilerinin yeterince doğru tahmin edilememesi.
- İşletme hataları: Dolusavak kapaklarının zamanında veya yeterince açılamaması, tıkanıklıklar.
- Sedimantasyon: Rezervuarda zamanla biriken tortul maddenin depolama kapasitesini azaltarak, daha küçük taşkınlarda bile üstten aşmaya yol açması.

Bu bulgu, baraj tasarımında hidrolojik analizlerin ve taşkın risk değerlendirmelerinin ne kadar titizlikle yapılması gerektiğini ve dolusavakların yeterli kapasiteye sahip olmasının kritik önemini vurgulamaktadır.

Bilinmeyen (%12):

Yıkılmaların önemli bir kısmının nedeni tam olarak belirlenememiştir. Bu durum, olay sonrası incelemelerde yeterli veri toplanamadığını veya karmaşık etkileşimlerin kesin bir nedenin belirlenmesini zorlaştırdığını göstermektedir. Bilinmeyen nedenlerin yüksekliği, gelecekteki olay incelemelerinin daha kapsamlı ve şeffaf olması gerektiğini işaret edebilir.

Diğer (%5):

Bu kategori, yukarıda belirtilen ana nedenlerin dışında kalan, ancak baraj yıkılmasına yol açabilecek çeşitli etkenleri kapsar. Bunlar arasında, nadir görülen ancak etkili olabilecek farklı jeolojik olaylar, dış etkenler veya çoklu faktörlerin birleşimi yer alabilir.

Felaketler (%3):

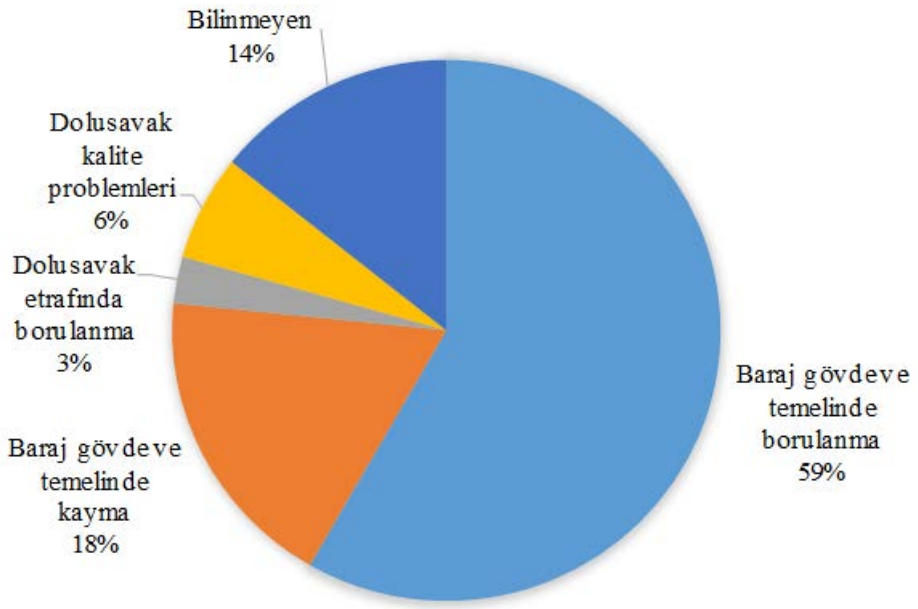
Doğal afetler (deprem, heyelan, volkanik patlama gibi) nedeniyle meydana gelen baraj yıkılmaları bu kategoriye girer. Oranın nispeten düşük olması, toprak dolgu barajların genellikle belirli doğal afetlere karşı bir miktar dayanıklılığa sahip olduğunu veya bu tür büyük afetlerin doğrudan barajı yıkacak sıklıkta gerçekleşmediğini gösterebilir. Ancak yine de riskin göz ardı edilmemesi gerektiğini belirtir.

Kötü Yönetim (%1):

Bu, baraj yıkılma nedenleri arasında en düşük paya sahip olan faktördür. "Kötü Yönetim", barajın düzenli bakımının yapılmaması, denetimlerinin aksatılması, acil durum planlarının eksikliği veya yanlış işletme kararları gibi durumları ifade eder.

Oranın düşük olması, doğrudan yıkıma yol açan tekil bir neden olmaktan ziyade, genellikle diğer faktörlerle (örneğin kalite problemleri veya üstten aşma) birleşerek riski artırıcı bir rol oynadığını düşündürebilir. Yine de baraj işletmeciliğinin önemi yadsınamaz.

Sonuç olarak Şekil 2.2.'de toprak dolgu baraj güvenliğinde öncelikli olarak inşaat kalitesi ve hidrolojik yeterlilik konularına odaklanılması gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Baraj projelerinin tasarım, yapım ve işletme aşamalarında azami dikkat ve profesyonellik, yıkılma riskini önemli ölçüde azaltacaktır. Özellikle aşırı iklim olaylarının arttığı günümüz koşullarında, "Üstten Aşma" riskini minimize edecek önlemlerin alınması hayati önem taşımaktadır. Ayrıca, olay sonrası araştırmaların kalitesinin artırılarak bilinmeyen kategorisinin azaltılması da gelecekteki risk analizleri için değerli bilgiler sağlayacaktır.



Şekil 2.3. Toprak dolgu baraj kalite problemleri (Zhang vd., 2009)

Baraj Gövde ve Temelinde Borulanma (%59):

Bu kategori, kalite problemlerinin açık ara en büyük nedenidir ve tüm kalite sorunlarının neredeyse üçte ikisini (%59) oluşturmaktadır.

Borulanma (Piping), baraj gövdesindeki veya temelindeki toprağın, suyun sızmasıyla birlikte küçük tüneller (borular) oluşturarak erozyona uğraması ve zamanla gövdenin veya temelin bütünlüğünü kaybetmesine yol açması durumudur.

Bu durumun başlıca nedenleri şunlar olabilir:

- Yetersiz filtre tasarımı veya inşaatı: Su sızıntısını kontrol edecek filtre katmanlarının olmaması veya yanlış malzemelerle yapılması.
- Kötü sıkıştırma (kompaksiyon): Gövde dolgusunun yeterince sıkıştırılmaması, boşluklu yapıların oluşması.
- Heterojen malzeme kullanımı: Gövdede farklı geçirgenlikteki malzemelerin düzensiz dağılımı.
- Temeldeki çatlaklar veya süreksizlikler: Temel kayaç veya zemindeki zayıf zonlardan suyun sızması.
- Drenaj sistemlerinin yetersizliği: Sızan suyu etkili bir şekilde toplayıp uzaklaştıramaması.

- Bu yüksek oran, toprak dolgu baraj tasarım ve yapımında boru sızmasına karşı mühendislik önlemlerinin ve kalite kontrolünün ne kadar kritik olduğunu bir kez daha vurgulamaktadır.

Baraj Gövde ve Temelinde Kayma (%18):

Kalite problemlerinin ikinci büyük nedeni olup, yaklaşık beşte birini (%18) oluşturmaktadır.

Kayma, baraj gövdesinin veya temelinin, maruz kaldığı yükler (su basıncı, kendi ağırlığı, deprem yükleri vb.) altında stabiliteyi kaybederek hareket etmesi durumudur.

Kaymanın başlıca nedenleri şunlar olabilir:

- Yetersiz şev eğimleri: Baraj şevlerinin (yamaçlarının) çok dik yapılması.
- Düşük malzeme dayanımı: Gövde dolgusu veya temel zeminindeki malzemenin kayma direncini karşılayacak yeterli mukavemete sahip olmaması.
- Aşırı gözenek suyu basıncı: Özellikle ani su seviyesi düşüşleri veya sızıntılar sonucu oluşan yüksek gözenek suyu basınçları.
- Yetersiz drenaj: Gövde veya temelde biriken suyun drenaj sistemleri tarafından etkili bir şekilde tahliye edilememesi.
- Deprem yükleri: Sismik aktivite nedeniyle oluşan ek kuvvetler.

Bu oran, barajın genel stabilitesinin ve jeoteknik tasarımının önemini ortaya koymaktadır.

Bilinmeyen (%14):

Kalite problemlerinin %14'ünün nedeni tam olarak tespit edilememiştir. Bu durum, olay sonrası analizlerdeki kısıtlamaları veya birden fazla faktörün karmaşık etkileşimlerini işaret edebilir. Bu kategorinin azaltılması için daha kapsamlı ve şeffaf araştırma yöntemleri geliştirilmesi önemlidir.

Dolusavak Kalite Problemleri (%6):

Dolusavakların (boşaltım yapıları) tasarım veya yapımındaki kalite sorunları, barajın kendisinin yıkılmasına doğrudan neden olmasa da işlevsiz hale gelerek barajın üstten aşmasına veya başka sorunlara yol açabilir. Bu sorunlar arasında beton kalitesi, kapak mekanizmalarının arızalanması, hidrolik yetersizlikler sayılabilir.

Dolusavak Etrafında Borulanma (%3):

Dolusavak yapısının çevresindeki zemin veya dolgu malzemesinde meydana gelen borulanma olayıdır. Dolusavak ile baraj gövdesinin birleştiği noktalardaki zayıflıklar veya hatalı bağlantılar bu duruma yol açabilir. Oranı düşük olsa da potansiyel olarak büyük sorunlara yol açabilecek bir zayıflık noktasıdır.

Şekil 2.3 ’de görüleceği gibi, toprak dolgu barajlarındaki kalite problemlerini ele alırken "borulanma" riskinin, özellikle baraj gövdesi ve temelindeki borulanma riskinin, öncelikli olarak ele alınması gereken en kritik konu olduğunu net bir şekilde göstermektedir. Kayma problemleri de önemli bir paya sahiptir.

Bu bulgular ışığında, baraj güvenliğinin sağlanması için:

İleri düzeyde jeoteknik araştırmalar ve tasarım: Temel zemininin detaylı analizi ve uygun temel iyileştirme yöntemlerinin seçilmesi.

Titiz inşaat denetimi ve kalite kontrolü: Malzeme seçimi, sıkıştırma işlemleri ve filtre/drenaj katmanlarının uygulanmasında en yüksek standartların sağlanması.

Borulanma önleyici tedbirler: Etkin filtre ve drenaj sistemlerinin tasarlanması ve inşa edilmesi.

Stabilite analizlerinin güçlendirilmesi: Özellikle sismik bölgelerde dinamik kayma analizlerinin yapılması.

Dolusavakların kalitesi ve entegrasyonu: Baraj gövdesiyle dolusavak arasındaki geçiş bölgelerinin de yüksek standartlarda inşa edilmesi gerekmektedir.

Şekil 2.3’te ki grafik, toprak dolgu baraj projelerinde risk azaltma stratejilerinin hangi alanlara odaklanması gerektiği konusunda net bir yol haritası sunmaktadır.

2.1. Taşkın Tanımı ve Sınıflandırılması

Taşkın, aşırı yağış veya diğer sebeplerle nehir/deniz sularının taşarak yerleşim yerlerinde can ve mal kaybına yol açmasıdır. İnsan müdahaleleri, özellikle iklim değişikliğinin tetiklediği ani ve yoğun yağışlar ile dere yataklarındaki plansız yapılaşma, taşkınların etkisini şiddetlendirmektedir. Bu felaketler, önemli can ve mal kayıplarıyla sosyal yaşamı olumsuz etkiler. Çalışmada, taşkınlar oluş yerine ve hesap yöntemlerine göre; Akarsu ve Dere, Kara, Deniz ve Göl ve Yeraltı Suyu Taşkınları olarak sınıflandırılmıştır (Şen, 2017).

2.1.1. Akarsu ve dere taşkınları

İnsanlık tarihi boyunca yerleşimler, su kaynaklarından faydalanmak amacıyla su kenarlarına kurulmuştur. Özellikle karasal bölgelerde nehir ve dere yatakları çevresi tercih sebebi olmuştur. Londra, Paris, Moskova, Prag, Bangkok, Roma, Budapeşte, Kahire, Pekin, Sydney, Ottawa, Berlin, Addis Ababa ve Viyana gibi birçok dünya başkenti bu duruma örnektir. Dünya ve Türkiye'de de sayısız şehir, ilçe ve köy nehir kenarlarında kurulmuş ve taşkınlara maruz kalmıştır (Şen, 2017).

Şehirlerin nehir ve dere yatakları kenarında konumlanmasının en büyük dezavantajı taşkınlardır. Tarihi veriler, taşkın probleminin geçmişten günümüze süregelen bir sorun olduğunu kanıtlar. Akarsu ve dere taşkınları, kaynakları ve şehre ulaşım yolları belirli olduğu için tek veya iki boyutlu modellerle analiz edilebilirler (Şen, 2017).

2.1.2. Kara taşkınları

Geniş drenaj havzalarına sahip, yüksek yağış alan ve doğrudan bir su kütlesi kenarında bulunmayan yerleşim alanlarında kara taşkınları yaşanabilir. Bu taşkın türü sık görülmemekle birlikte, şiddetli ve ani yağışların etkisiyle oluşma eğilimindedir (Şen, 2017).

2.1.3. Deniz ve göl taşkınları

Deniz ve göl taşkınları, adından da anlaşılacağı üzere kıyı bölgelerinde meydana gelmektedir. Akarsu ve dere taşkınlarının genellikle tek boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) modellerle incelenmesine karşın, deniz kaynaklı taşkınların modellenmesinde üç

boyutlu (3B) yaklaşımlar benimsenmekte ve hesaplamalarda düşey hareketliliğe de özel önem verilmektedir. Bu tür taşkınlar genellikle deniz ve okyanus tabanındaki yer hareketleri, depremler, volkanik patlamalar ve nükleer patlamalar gibi tektonik veya büyük ölçekli olaylar sonucunda oluşur. Japoncada "liman dalgası" anlamına gelen tsunami terimi, bu tür taşkınları ifade etmek için kullanılır. Tsunami dalgalarının önceden tespiti zor olmakla birlikte, ilk belirtiler genellikle kıyı sularının aniden çekilmesi şeklinde görülür ve sonrasında dalga serileri belirli aralıklarla kıyıya vurmaya devam eder (Şen, 2017).

2.1.4. Yeraltı suyu taşkınları

Yeraltı suyu taşkınları, uzun süreli ve normalin üzerindeki yağış miktarları sonucunda yeraltına sızan suyun artmasıyla ortaya çıkar. Bu durum, yeraltı suyu seviyesinin yükselerek, çevredeki daha düşük kotlu noktalardan yüzeye çıkmasıyla kendini gösteren taşkınlara yol açar. Yeraltı suyu akımı, yüzeysel akıma kıyasla genellikle çok daha yavaş ilerler; ancak karstik bölgelerde ve yeraltı sularının tamamen doygun olduğu alanlarda, yüzey akımına yakın hızlara ulaşabilmektedir. Bu tür taşkınların hesaplamalarında, suyun düşük akış hızı ve zemin geçirgenliği gibi belirli hidrojeolojik parametreler önemli bir yer tutmaktadır (Şen, 2017).

2.2. Taşkın önleme yapıları

Tersip Bentleri

Rüsubat ve sediment gibi dere yatağı malzemesi taşıma potansiyeli yüksek akarsularda, sel anında bu malzemelerin yerleşim yerlerine ve çevreye vereceği zararı en aza indirmek, aynı zamanda yatak eğimini azaltmak amacıyla sel kapanları (rüsubat tutucular) inşa edilir.

Bu yapılar, kullanılan malzemeye göre beton veya kagir gibi çeşitlere ayrılır. İnşaatlarında tek bir malzeme kullanmak yerine, temel kısmının beton, duvarların ise harçlı kagir gibi farklı malzemelerle boyutlandırılması da mümkündür.



Şekil 2.4. Beton ve kagir tersip bendi

Gölet ve barajlar

Gölet ve barajlar, su depolama, enerji üretimi, kullanma ve sulama suyu temini gibi temel faydalarının yanı sıra, önemli taşkın önleme yapıları olarak da işlev görürler. Bu yapıların projelendirme ve imalat aşamalarında, seçilen saha kadar taşkın öteleme hesapları da büyük bir rol oynar. Bir taşkın anında, su seviyesi genellikle dolusavak çıkış kotlarına ulaşır ve buradan yapılan deşarj ile taşkının neden olabileceği zararlar minimize edilir.

Baraj ve gölet farkı

Barajlar genel olarak beton barajlar ve dolgu barajlar olmak üzere iki ana kategoriye ayrılabilir; bu ana tiplerin de kendi içlerinde alt tipleri bulunmaktadır. Gölet ile baraj arasındaki temel fark, büyüklüklerine dayanır. Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (ICOLD) tanımına göre; suyu depolamak amacıyla vadilerin kapatılmasıyla inşa edilen ve akarsu seviyesinden yüksekliği 15 metre üzerinde olan yapılar Baraj, 15 metre altında olan yapılar ise Gölet (küçük baraj) olarak adlandırılır. Bu tanım dışında, iki yapı arasında işlevsel veya yapısal açıdan belirgin bir fark bulunmamaktadır.



Şekil 2.5. Doğanhisar Yenice Tarımsal Sulama Göleti (Kil çekirdekli kum çakıl dolgu gölet)

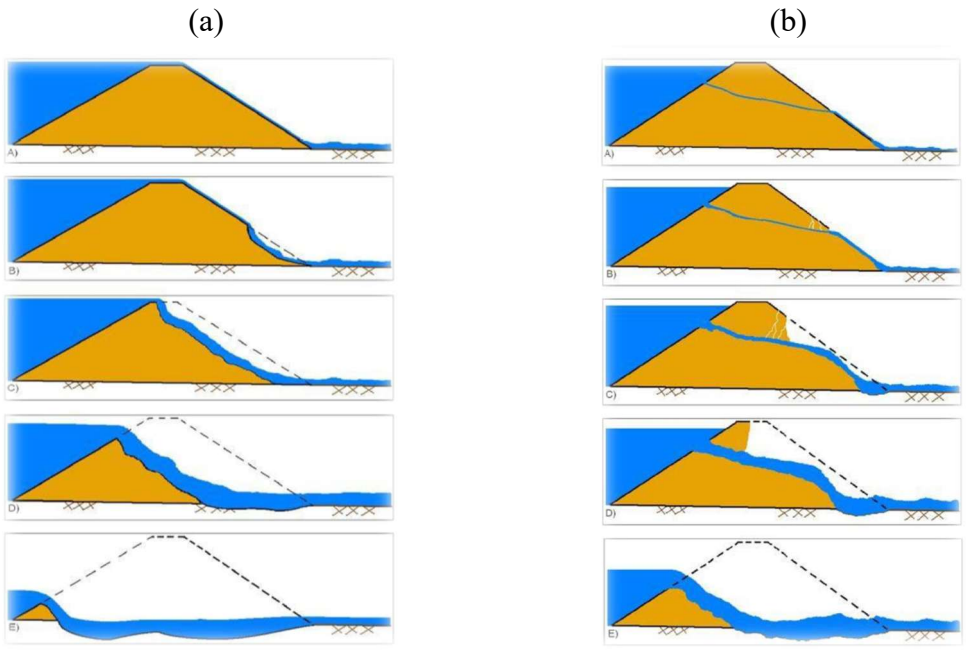


Şekil 2.6. Sadak Barajı (Kil çekirdekli kum çakıl dolgu baraj) (DSİ, 2025)

2.3. Baraj Yıkılma Şekilleri ve Metotları

Barajlar, gedik açılması, yapısal ve yapısal olmayan çeşitli etkenler nedeniyle yıkıma uğrayabilirler. Baraj yıkılmalarında risk oluşturan başlıca faktörler arasında aşan taşkınlar, heyelanlar, depremler, temel yetersizlikleri, projelendirme ve inşaat aşamasındaki kusurlar, uygun olmayan inşaat malzemeleri kullanımı, diferansiyel oturmalar, hatalı rezervuar işletimi, dolusavak kapasitesi yetersizlikleri, kasıtlı eylemler ve savaş durumları yer almaktadır. Baraj yıkılma mekanizmaları veya bu yıkılmalara ilişkin genel kabul gören öngörüler incelendiğinde; yıkılmaların %34'ünün üstten aşma (overtopping) sonucu, %30'unun temel sorunları nedeniyle, %20'sinin borulanma (piping) ve sızma yoluyla gerçekleştiği, geri kalan %8'inin ise diğer muhtelif nedenlerden kaynaklandığı belirtilmektedir (Em & Hamidi, 2021).

Üstten aşma, yetersiz dolusavak tasarımı, dolusavak tıkanıklığı veya kret oturması gibi nedenlerle meydana gelir. Temel hataları ise diferansiyel oturmalar, kayma, şev stabilitesi sorunları, yüksek kaldırma kuvveti ve kontrolsüz sızmalarla ilişkilidir. Borulanma ve sızma kaynaklı yıkılmalar ise iç erozyon, hidrolik yapılar boyunca sızma, barajdaki çatlaklar ve dolgu malzemesinin borulanma oluşturması gibi faktörlerden etkilenir (Em & Hamidi, 2021).



Şekil 2.7. (a) Üstten aşma ve (b) Borulanma yıkılma durumları (Em & Hamidi, 2021)

3. LİTARATÜR TARAMASI

Baraj yıkılmalarının başlıca sebepleri kayma ve üstten aşmadır. Beton yüzlü ve asfalt kaplı dolgu barajlar gibi yeni tasarımların çökme verileri istatistiksel genelleme için yetersiz olsa da güvenlik önlemleri kısaca incelenmiştir. Ek olarak, küçük faktörlerin dahi etki süresi uzadıkça barajlar için önemli boyutlara ulaşabileceği göz önünde bulundurulmalıdır (Abay, 2015).

Toprak barajlar; homojen, bölgeli, çekirdek duvarlı ve beton yüzlü olmak üzere dört ana inşaat tipine ayrılır. Bu barajlarda potansiyel yıkılma risk taşıyan noktalar, okuyucunun konuyu daha iyi anlaması için belirtilmiştir. Bu çalışma, veri tabanındaki yıkılmaların %66'sını oluşturan toprak baraj yıkılmalarını incelemektedir (Zhang vd., 2009).

Baraj yıkılması nadir gerçekleşse de ani bir çökmenin tetikleyeceği taşkın dalgası, mansaptaki yerleşim yerlerinde felaketlere yol açabilir. Bu nedenle, çalışma kapsamında Eskişehir'deki Porsuk Barajı ve İstanbul'daki Alibey Barajı mansaplarına yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Olası bir baraj yıkılmasının sonuçlarını tahmin etmek, risk yönetimi için hayati öneme sahiptir (Elçi vd., 2017).

Oluşturulan model sonuçlarından, gerekli erken tahliye süresi belirlenecek ve sel dalgası aşağı akıştaki yerleşim alanlarına ulaşmadan önce önleyici eylem yapılmasına olanak tanınacaktır. Tüketimdeki çağdaş artış, sulama ve içme suyu ihtiyacını da aynı şekilde artırmıştır. Bu araştırma, özellikle Batman İl'inin 30 km kuzeyinde bulunan Batman Barajı'nı, mevcut durumuna göre bir risk sınıflandırması yaparak ele almaktadır. HEC-RAS yazılımı aracılığıyla, varsayımsal bir sel dalgasından kaynaklanacak felaket koşullarını tahmin etmek için bir baraj ihlali modellenmiştir (Efe & Önen, 2022).

Bu çalışmada, önceden tanımlanmış çeşitli senaryolar çerçevesinde sanal bir baraj modeli oluşturulmuştur. Çalışmanın odak noktası, Bursa il sınırları içerisinde yer alan Çınarcık Barajı'dır. Gerçekleştirilen bu analizlere dayanarak, gösterge niteliğinde

taşkın haritaları ve potansiyel risk altındaki yerleşim yerleri belirlenmiştir. Ayrıca, olası bir baraj çökmesi durumunda alınması gereken acil durum önlemlerine dair bazı öneriler sunulmaktadır (Bozkuş & Bağ, 2011).

Bu çalışma, barajların ekonomik gelişmedeki rolünü ve Türkiye'deki süregelen baraj inşaatlarını vurgulamaktadır. Özellikle, Sürgü Barajı'nın yapısal özellikleriyle birlikte Türkiye'deki baraj inşaat tarihçesi detaylandırılmıştır. Baraj yıkılmalarının yol açabileceği can ve mal kayıpları dikkate alınarak, literatürdeki çözüm önerileri incelenmiştir. Araştırma, HEC-RAS yazılımını kullanarak Sürgü Barajı'nın yıkılması halinde oluşacak taşkın yayılım haritalarını nümerik olarak tahmin etmiştir. Sonuç olarak, baraj yıkılmasının Sürgü Barajı mansabındaki yerleşim birimleri ve tarım arazileri üzerindeki potansiyel etkileri analiz edilmiştir. Bu araştırma, baraj inşası ve olası yıkım senaryolarına dair önemli bir bilgi ve veri seti sunmaktadır (Gül & Dursun, 2018).

Bu çalışma, Kırıkkale'deki Kapulukaya Barajı'nın olası yıkımı halinde oluşacak pik debi ve taşkın etkilerini araştırmaktadır. Pik debi USBR metodu ile hesaplanmış ve HEC-RAS programıyla nehirdeki yayılımı ve çevresel etkileri incelenmiştir. Tahmini 21.000 m^3/sn'lik pik debi, nehirde 27 metreye varan su seviyesi artışı ve ciddi taşkınlar oluşturabilecektir. Bu senaryoda Bahşılı ilçesi ve Celal Bayar rekreasyon alanının çoğu sular altında kalacak, pik debi Bahşılı karayolu köprüsünden geçemeyip köprüde aşma oluşturacaktır. Bu araştırma, potansiyel afet durumunda alınacak önlemler için önemli veriler sunmaktadır (Duvan & Yıldız, 2020).

Bu çalışma, teknolojik imkanlarla inşa edilen barajların yapısal problemlerini inceler. Malzeme seçimi, projelendirme, uygulama hataları ve çevresel etkenler, baraj yıkılmalarına ve dolayısıyla can/mal kayıplarına yol açmaktadır. Çalışma, bu riskleri önlemek için deneysel ve simülasyon çalışmalarının, erken uyarı sistemleri, yıkılma analizleri ve risk haritalarının önemini vurgular. Kralkızı Barajı'nın yıkılma senaryosu modellenerek yıkılma hidrografı elde edilmiş olup, bu çalışma baraj yıkılma risklerini belirleme ve önleme modellemelerinin önemini göstermektedir (Em & Hamidi, 2021).

Bu araştırma, baraj yıkılmasıyla oluşan taşkın dalgalarının hidrolik incelemesini sunar. Yetersiz veri nedeniyle, trapez daralma içeren bir barajın yıkılması durumundaki akım yüzey profilleri ve su seviyesi değişimleri deneysel ve sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal veriler BASEMENT'teki 2 boyutlu sığ su denklemleriyle, deneysel veriler ise görüntü işlemeyle elde edilmiştir. Sonuçlar, 2 boyutlu sığ su denklemlerinin bu tür problemler için hızlı ve kullanışlı bir çözüm olduğunu, 3 boyutlu RANS denklemlerinden daha pratik olduğunu ortaya koymaktadır (Dal vd., 2021).

Bu çalışma, Tanyeri Barajı'nın üstten aşılma güvenilirliğini olasılıksal yöntemlerle incelemiştir. Monte Carlo benzeşimiyle üretilen taşkın hidrografları ve hazne su seviyeleri üzerinden, maksimum taşkın dalgasının kret seviyesini aşma olasılığı hesaplanmıştır. Analizler, dolusavak çalışırken bile 10.000 yıllık taşkınlarda üstten aşılma olasılığının düşük olduğunu göstermiştir. Ayrıca, taşkın anındaki maksimum hazne su seviyesinin, taşkın öncesi su seviyesi ile doğrudan ilişkilendirildiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, Tanyeri Barajı'nda düşük üstten aşılma riski ve taşkın öncesi hazne seviyesi kontrolünün önemini vurgulamakta, baraj mühendisliğine katkı sağlamaktadır (Çalamak, 2017).

Bu çalışma, toprak dolgu baraj yıkılmasının modellenmesini amaçlamıştır. Yıkılma nedeni olarak, baraj gövdesinde oluşan çatlaklar ve borulanma etkileri incelenmiştir. Uygulama örneği Süleymanlı Barajı olup, yıkılma modelleri Plaxis 2D ve FLOW-3D yazılımlarıyla oluşturulmuştur. Plaxis 2D ile çekirdekteki çatlak ve borulanma modellenerek gövde deformasyonları belirlenmiş; kret kotunun su seviyesinin altına düşmesiyle elde edilen sonuçlar FLOW-3D'ye aktarılarak su akışı ve

gövde yıkılması incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar FLOW-3D programına aktarılmış ve su akışı ile gövde yıkılması incelenmiştir. Analizler, en büyük deformasyonların çatlakların bulunduğu kil çekirdeğin orta ve alt kısımlarında; özellikle çatlak eğimlerinin aşağıya doğru olduğu durumlarda meydana geldiğini göstermiştir (Aajami & Kaya, 2019).

Bu çalışma, baraj mansabındaki yerleşim yerleri için tehlike saptaması amacıyla baraj yıkılması sonrası taşkın hareketini incelemektedir. İzmir Ödemiş'teki Rahmanlar Barajı'nın 1D ve 3D yıkılma analizleri yapılmış, temel amaç taşkının mansaptaki köylere ulaşıp ulaşmayacağını belirlemektir. Analizlerde 1D için HEC-RAS, 3D için FLOW-3D kullanılmıştır. HEC-RAS sonuçları bazı bölgelerin etkileneceğini gösterse de 1D'nin sınırlamaları nedeniyle FLOW-3D ile en kritik senaryo analiz edilmiştir. Her iki modelde de taşkın haritaları oluşturularak maksimum su seviyeleri ve oluşma zamanları belirlenmiştir (Palamut, 2014).

Bu tez, Erzincan Barajı'nın (1997 yapımı) olası yıkılma senaryoları ve taşkın etkilerini teorik ve sayısal olarak incelemektedir. İHA verileriyle 1.552,76 ha alanda yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Froehlich (1995) ile belirlenen trapezoidal gedik parametreleri (genişlik 102,35 m, yükseklik 61,92 m, oluşum süresi 0,35 sa) kullanılmıştır. HEC-RAS ile elde edilen taşkın hidrografında pik debi 12.308,50 m^3/sn'dir. FLOW-3D ile yapılan 2B/3B simülasyonlarda en yüksek akım derinliği 12,30 m, hızı 19 m/s olarak bulunmuştur. Yerleşim, sanayi ve tarım alanları etkileneceği belirlenmiştir.3B analiz, 2B'ye göre daha detaylı ve güvenilir sonuçlar sunmuştur. Can kaybı olasılıkları 2B için 57, 3B için 107 kişi olarak hesaplanmıştır (Üslü, 2024).

Baraj yıkılması sonrası taşkın hareketinin belirlenmesi, mansaptaki yerleşim/ticari/tarım alanları için tehlike saptanmasında gereklidir. Güncel çalışmalarda sayısal simülasyonlar yaygındır. Bu çalışmada İzmir Ödemiş'teki Rahmanlar Barajı'nın 1B yıkılma analizleri yapılmış, taşkının mansaptaki üç köye ulaşıp ulaşmayacağı HEC-RAS yazılımı ile belirlenmiştir. Model sonuçlarına göre taşkın alanları çizilip, maksimum su yükseklikleri ve pik debi zamanları belirlenmiştir. 1B dinamik analizlerde

akımın doğrusal ilerlemesi nedeniyle arazi/akım fiziksel özelliklerinin doğruluğu sınırlı olsa da sonuçlar bir saat gibi kısa sürede elde edilmiştir. Bu nedenle, Türkiye'deki baraj mansap güvenliği çalışmalarında, duruma göre önce 1B, sonra 2B ve gerekirse 3B analizler önerilmektedir (Baduna Koçyiğit vd., 2019).

Barajlar, su temini, sulama, enerji ve taşkın kontrolü için önemli yapılardır. Büyük can/mal kaybına neden olan baraj yıkılmaları uzun süredir araştırılmaktadır. Bu çalışma, Ürkmez Barajı'nın ve mansap bölgesinin çarpıtılmış fiziksel modeli (Dokuz Eylül Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarı, TÜBİTAK 110M240 projesi) ile baraj yıkılması taşkın dalgası yayılımını deneysel olarak incelemiştir. Modelin yatay ölçeği 1/150, düşey ölçeği 1/30'dur ve gölü ile mansaptaki yerleşim yerini kapsar. Geometrik parametreler haritalar ve benzeşim kanunlarıyla belirlenmiş. Ürkmez, uygun boyutu ve yerleşime yakınlığı nedeniyle seçilmiş, evler ve karayolu da modellenmiştir. Su derinlikleri e+WATER L, hızlar UVP algılayıcıları ile ölçülmüş, taşkın kamerayla kaydedilmiştir. Deneysel bulgular değerlendirilip prototip değerleri yorumlanmaktadır (Arkış & Güney, 2020).

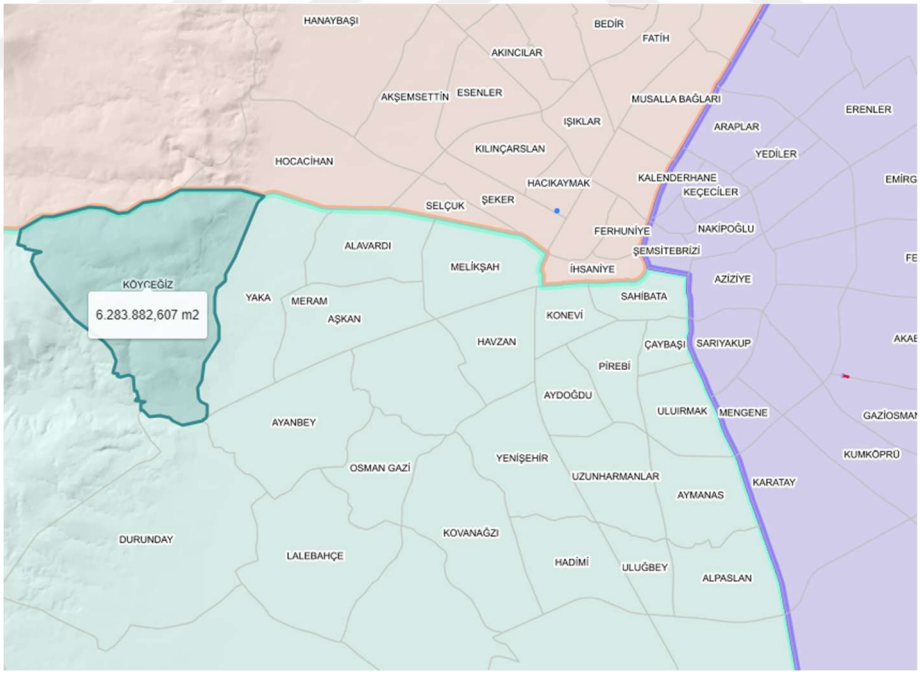
4. ÇALIŞMA ALANI

4.1.Proje Yeri ve Konumu

Çalışma alanı, İç Anadolu Bölgesi Konya İli Meram İlçesinde bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Türkiye haritasında proje konumu



Şekil 4.2. Konya haritasında proje konumu



Şekil 4.3. Proje sahasında bulunan bina görüntüsü

4.2.Taşkın Koruma Göleti

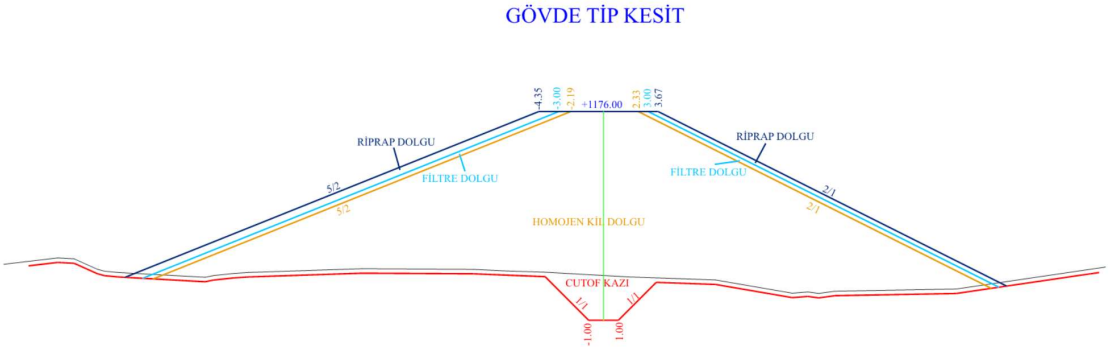
Meram İlçesi Köyceğiz (Dereaşıklar) Mahallesi Necmettin Erbakan Üniversitesi kampüsü içerisinde bulunan dere üzerinde havzadan gelen sel sularının önceki yıllarda ve günümüzde Meram Köyceğiz, Yaka, Alavardı ve Aşkan Mahallelerinde sel taşkınlarına sebep olması nedeniyle taşkın koruma amacı ile gölet projesi yapılmıştır.



Şekil 4.4. Necmettin Erbakan Taşkın Koruma Göleti



Şekil 4.5. Necmettin Erbakan Taşkın Koruma Göleti (üstten proje görünüş)



Şekil 4.6. Necmettin Erbakan Taşkın Koruma Göleti (yandan proje görünüş)



Şekil 4.7. Necmettin Erbakan Taşkın Koruma Göleti (mansaptan görünüş)

4.3.Taşkın Koruma Göleti Karakteristik Bilgileri

Bu tez çalışmasının konusu olan Köyceğiz Taşkın Koruma Göletine ait karakteristik bilgiler;

Yağış havzası genişliği: 1,7 km^2
Gölet Yüksekliği: 14 m
Kret Uzunluğu: 64 m
Kret Genişliği: 6 m
Talveg Kotu: 1.162,00 m
Kret Kotu: 1.176,00 m
Su Kotu: 1.175,00 m
Dip Savak Kotu: 1.169,00 m
Dip Savak Uzunluğu: 60,00 m
Dip savak boru çapı: ∅ 600 mm
Dolu savak tipi: Karşıdan alışlı Ogee profilli
Dolu Savak Uzunluğu: 63,22 m
Gövde Dolgu Hacmi: 15.000 m^3
Brüt depolama hacmi: 34.500 m^3
Faydalı su hacmi: 28.000 m^3
Gövde tipi: Homojen Kil Dolgu

5. MATERYAL VE YÖNTEM

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

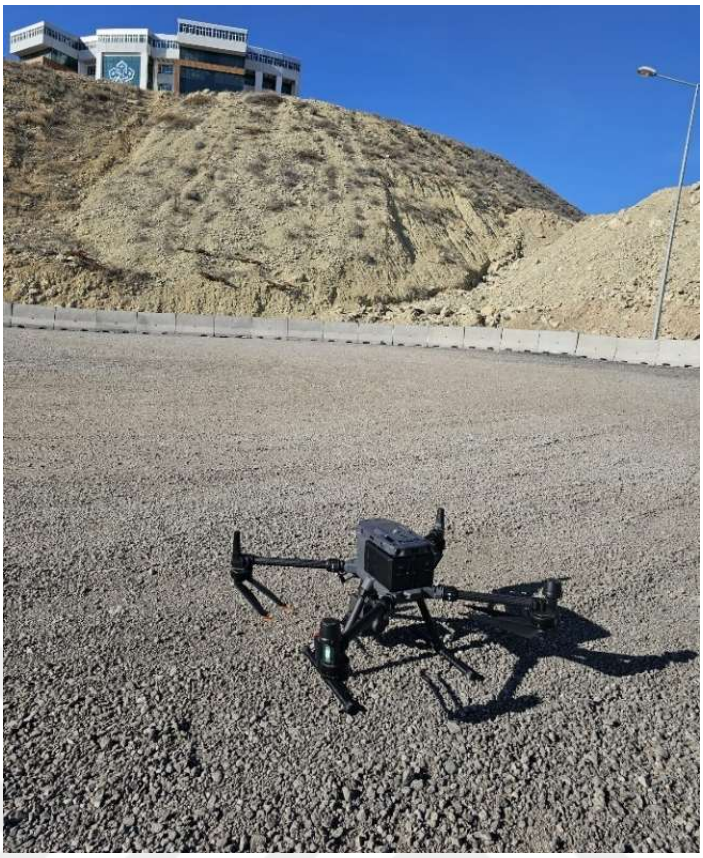
Tez çalışmasının bu bölümü iki kısımdan oluşacak olup, birinci kısımda iki boyutlu taşkın analizinde kullanılan programlar hakkında genel bilgiler verilecektir. İkinci kısımda ise programlar vasıtasıyla baraj yıkılma analizi yapılarak taşkın yayılım haritaları oluşturulacaktır.

5.1.Çalışmada Kullanılan Programlar

5.1.1. DJI Terra

DJI Terra, temelinde fotogrametri teknolojisi bulunan, üç boyutlu modelleme ve yeniden yapılandırma amacıyla geliştirilen bir yazılımdır. Görünür ışığın doğru ve etkili 2D ve 3D yeniden yapılandırmasını ve DJI LiDAR aracılığıyla veri işlemeyi destekler. DJI Terra yazılımı, DJI Enterprise sınıfı dronlar ve yük birimleriyle tam uyumlu çalışarak; haritalama, arazi modelleme, enerji hatları denetimi, afet yönetimi, inşaat projeleri, ulaşım altyapısı ve tarım uygulamaları gibi çok çeşitli dikey sektörlere yönelik entegre bir çözüm sağlar.

Çalışma kapsamında, DJI Enterprise Matrice 350 RTK marka drone ile DJI Zenmuse L1 marka LIDAR (lazer ışınları kullanarak mesafe ölçümü yapıp nokta verisi oluşturan cihaz) kullanılarak, yerleşkenin hâkim bir yüksek tepesi baz alınarak uçuş gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.1. DJI Enterprise Matrice 350 RTK İnsansız Hava Aracı ve DJI Zenmuse L1 LIDAR Sensörü



Şekil 5.2. DJI Enterprise Matrice 350 RTK Marka Dron El Ünitesi

Elde edilen SYM modelleri aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Sayısal yükseklik modeli

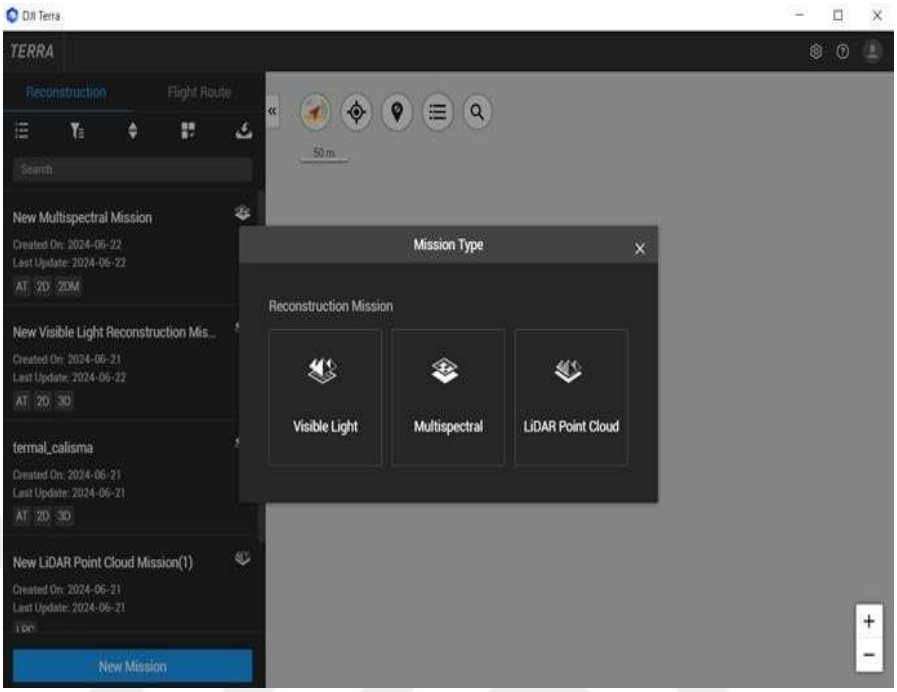


Şekil 5.4. Sayısal yükseklik modeli



Şekil 5.5. Sayısal yükseklik modeli

Dron uçuşu tamamlandıktan sonra toplanan ham veriler, gerekli formatlara dönüştürülmek üzere bilgisayar ortamına aktarılmıştır.

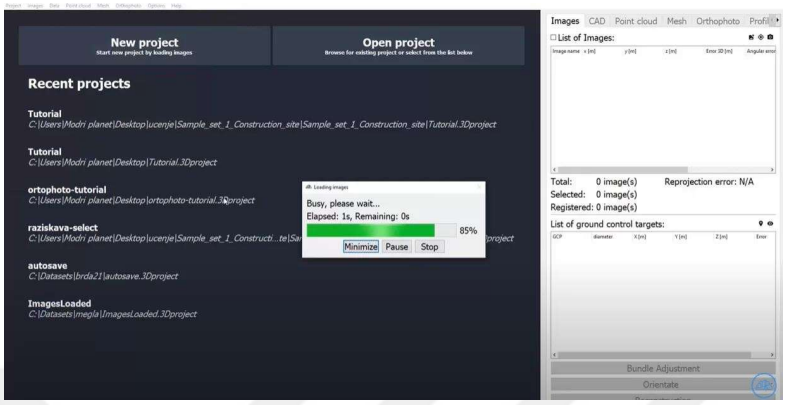


Şekil 5.6. DJI Terra Program Arayüzü

Toplanan görüntü ve veriler, yüksek doğrulukta, kot ve koordinat bilgisi içeren Sayısal Yüzey Modeli (SYM) oluşturmak için özel işlem aşamalarından geçirilmiştir. Bu işlem için Intel Core i9 12. nesil, 24 çekirdekli işlemci, NVIDIA GeForce RTX 4080 16 GB grafik kartı ve 64 GB RAM'e sahip güçlü bir Windows bilgisayar kullanılmıştır. Veri işleme, drone ile uyumlu DJI Terra yazılımı üzerinden yapılmıştır.

5.1.2. 3D Survey

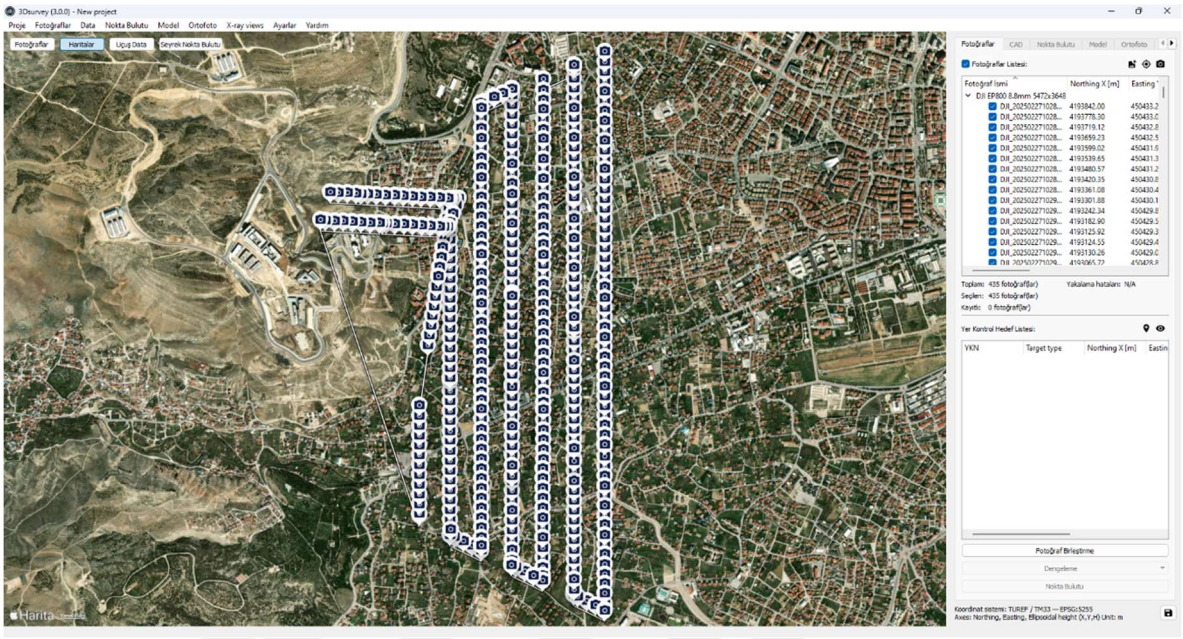
Hassasiyet ve kolaylıkla yüksek kaliteli 3D modeller, haritalar ve detaylı raporlar oluşturabilen bir programdır.



Şekil 5.7. 3D survey program arayüzü

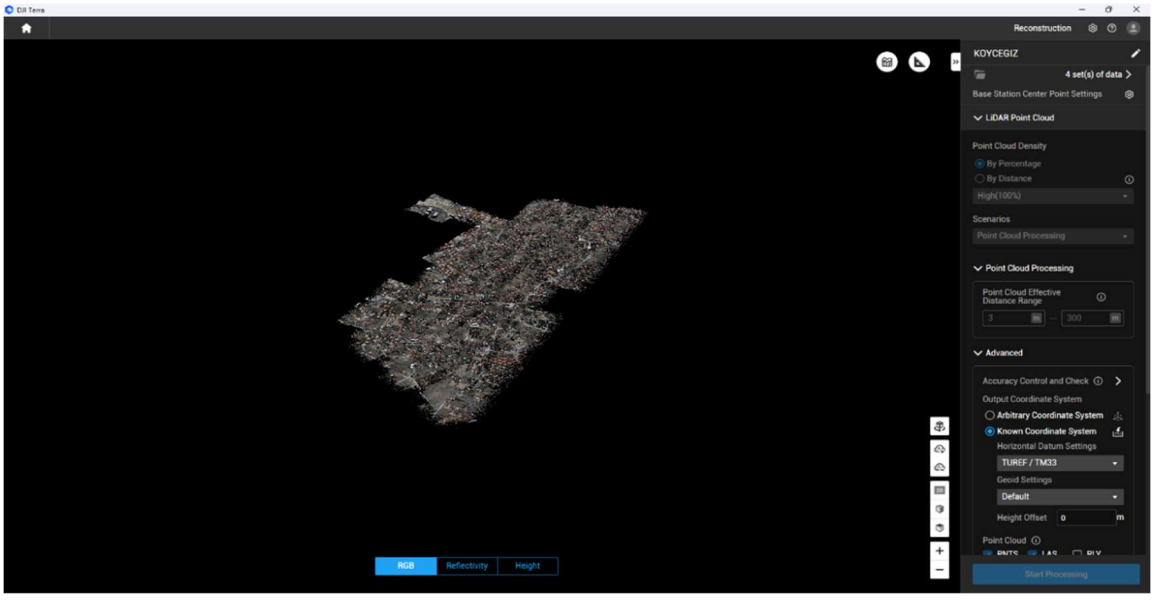
Yaklaşık 4 milyon noktadan oluşan ve DJI Terra yazılımı kullanılarak işlenen nokta bulutu, bu proje için nihai verileri oluşturmak üzere 3D Survey programına aktarıldı. 3D Survey ortamında, fotogrametri yöntemleri, çalışma alanı için tanımlanmış bir koordinat sistemine referans veren yüksek çözünürlüklü hava görüntüleri, ayrıntılı arazi modelleri ve kontur haritaları oluşturmak için kullanıldı.

Uçuş esnasında drone kamerası tarafından kaydedilen 435 adet yüksek çözünürlüklü görüntü, yazılım aracılığıyla koordinat referansları kullanılarak hizalanmıştır.



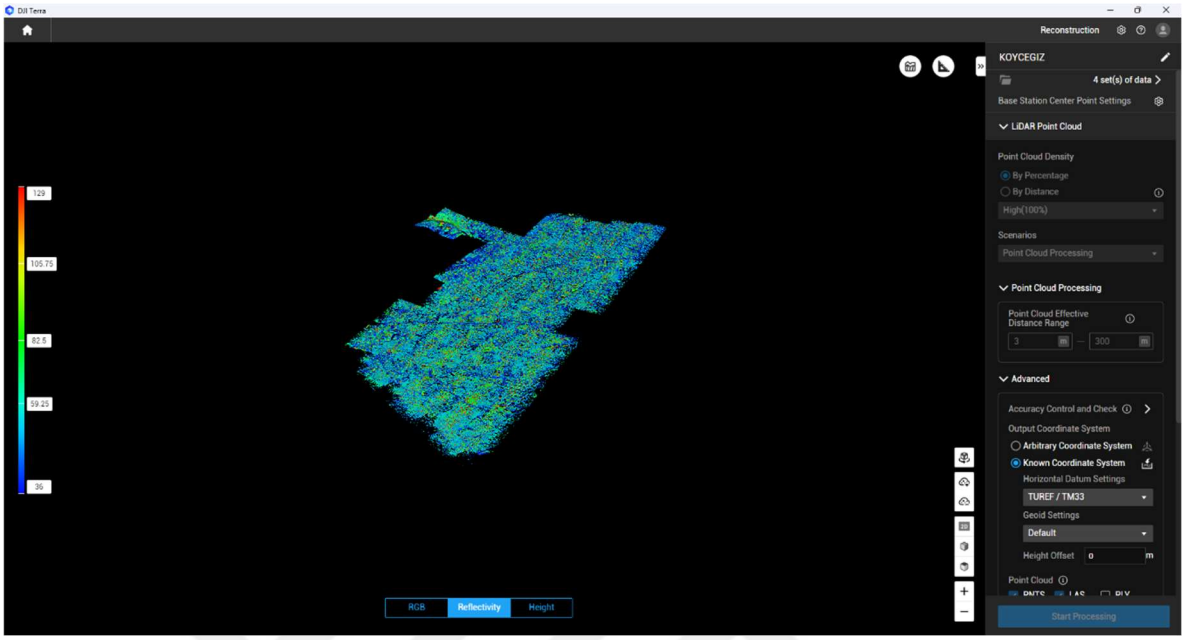
Şekil 5.8. 3D survey programında dron fotoğraflarının birleştirilmesi

Nokta verileri, program aracılığıyla sayısal yüzey modeli (SYM) oluşturulması amacıyla, LIDAR verileri ve fotogrametrik yöntemler kullanılarak nokta bulutuna dönüştürülmüştür.

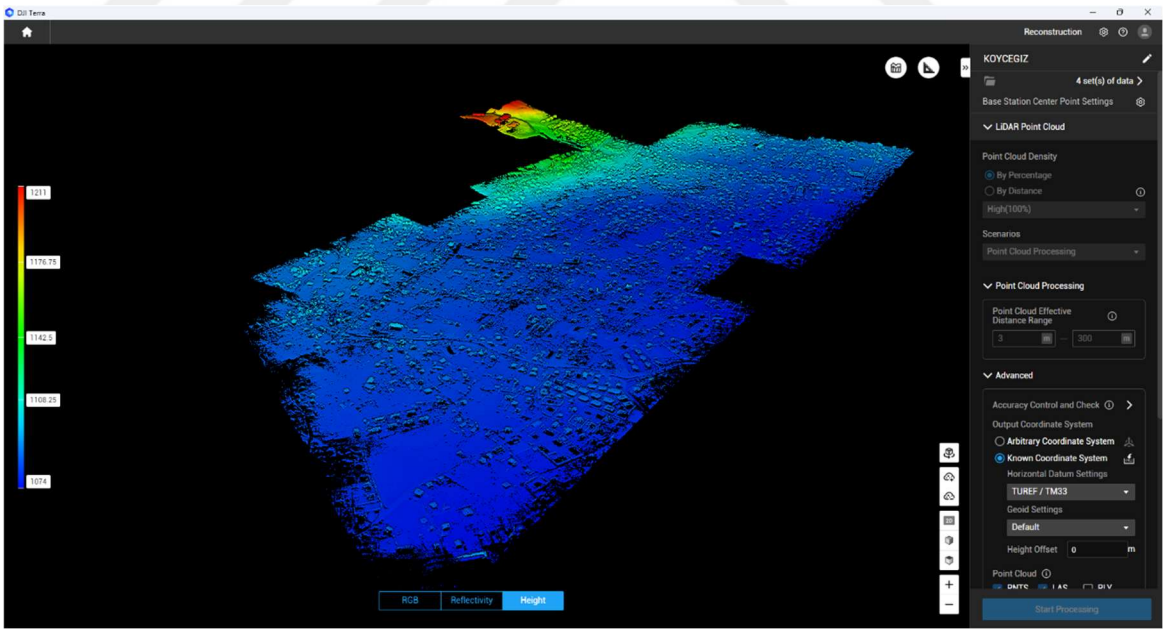


Şekil 5.9. 3D Survey programında SYM oluşturulması

Elde edilen SYM ile arazinin yüzey şekillerini belirten eş yükselti eğrileri ve arazi kotlarını gösterir model oluşturulmuştur.



Şekil 5.10. 3D Survey programında oluşturulan arazinin eş yükselti eğrileri



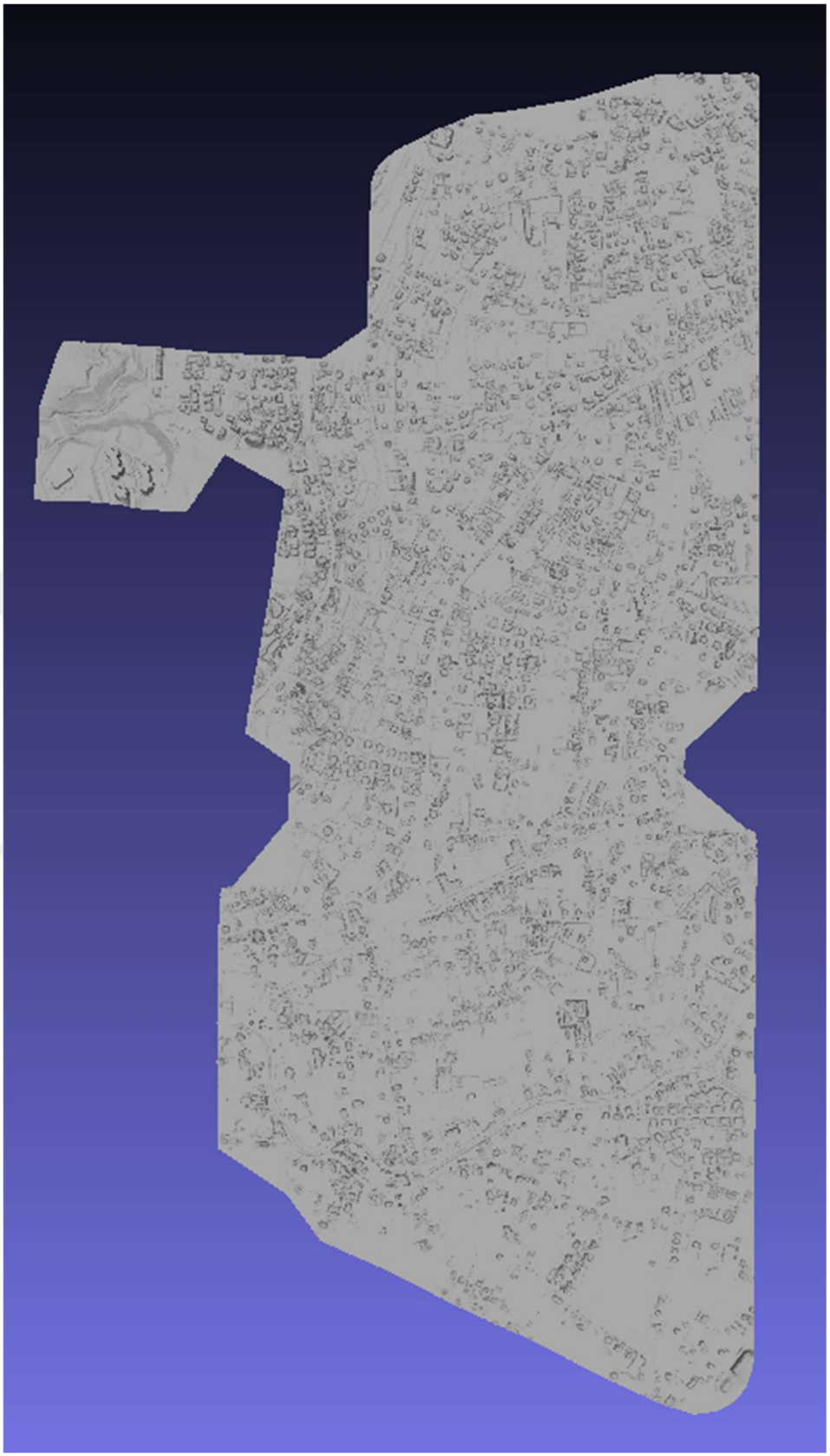
Şekil 5.11. 3D Survey programında oluşturulan renklendirilmiş arazi modeli

FLOW-3D yazılımında, baraj yıkılması sonucu taşkın yayılımının, sayısal olarak analiz edilebilmesi için nokta bulutu ve üçgensel ağlardan oluşan sayısal yükseklik modelinin, katı cisim modeline dönüştürülmesi gerekmektedir. Böylece nokta bulutu üzerinden yayılım sağlaması mümkün olmayan akışın, katı cisim modeli üzerinden akarak yayılabileceği, katı ve geçirimsiz bir yüzey teşkil edilmelidir.

Bu amaçla daha önce 3D Survey programında işlenerek elde edilmiş olan çalışma alanının sayısal yükseklik modeli, Şekil 5. 12 ve Şekil 5. 13'teki gibi FLOW-3D yazılımına yüklenebilecek şekilde katı cisim modeline dönüştürülmüştür.



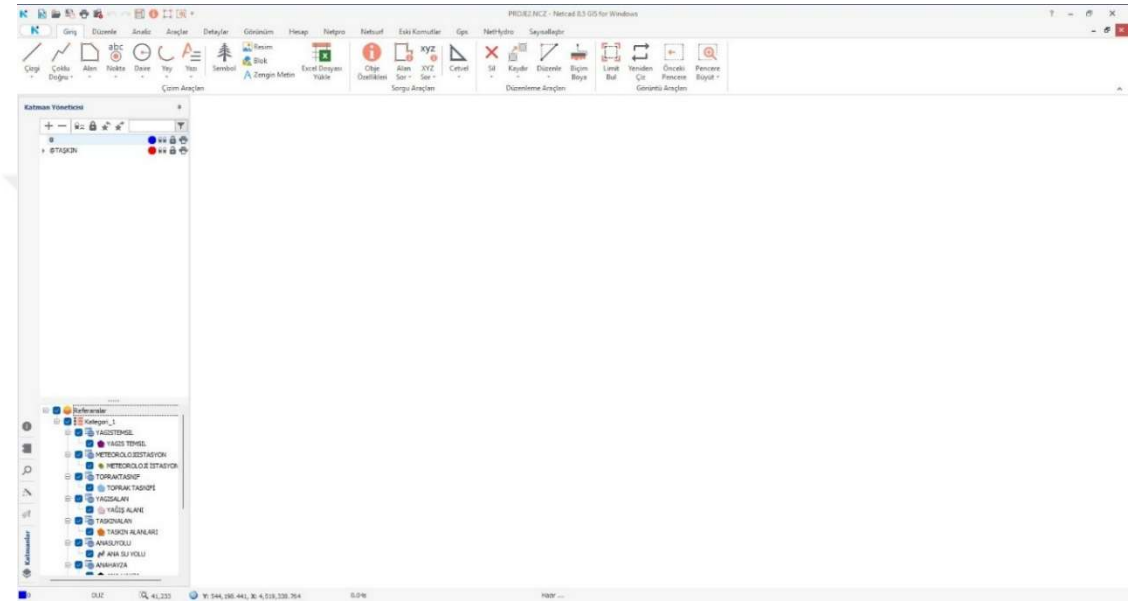
Şekil 5.12. 3D Survey programında elde edilen katı model



Şekil 5.13. 3D Survey programında elde edilen katı model

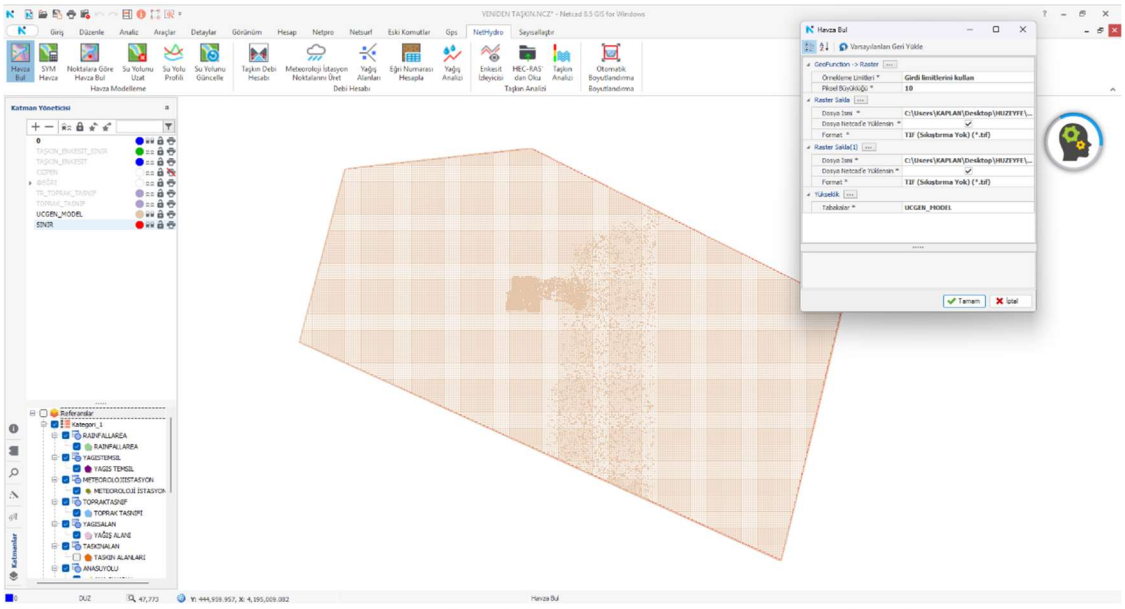
5.1.3. NETCAD

NETCAD'in 'NETHYDRO' modülü, su toplama havzalarının ve ilgili drenaj ağlarının oluşturulmasını sağlar; tüm yağış dağılım tiplerine yönelik hidrometeorolojik analizler gerçekleştirir; birim hidrograflar kullanılarak pik debiler ile farklı geri dönüş periyotlarına ait taşkın debilerini hesaplar ve akış kollarındaki taşkın risk alanlarının belirlenmesine olanak tanır.



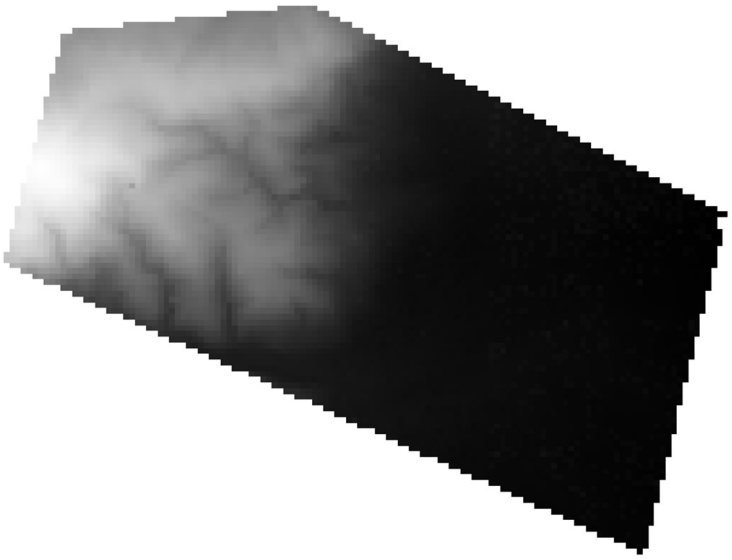
Şekil 5.14. NETCAD Program Arayüzü

Havza sınırlarının belirlenmesi, belirli bir kontrol veya çıkış noktası esas alınarak gerçekleştirilen temel bir hidrolojik işlemdir. Bu nokta vasıtasıyla drene olan tüm alan, ilgili havzanın sınırlarını teşkil etmektedir. Havza sınırlarının tespiti, bir havzanın hidrolojik bileşenlerinin oluşturulması sürecinin kritik bir adımı olup, havzanın davranışının analiz edilebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır. NETHYDRO yazılımı, havza sınırlarının belirlenmesi sürecinde, Tarboton (1997) tarafından geliştirilen TauDEM (Dijital Yükseklik Modelleri Kullanılarak Arazi Analizi) algoritmasını kullanmaktadır. Havza modellemesi, aşağıda belirtilen süreçlere göre tek bir işlemde gerçekleştirilir.

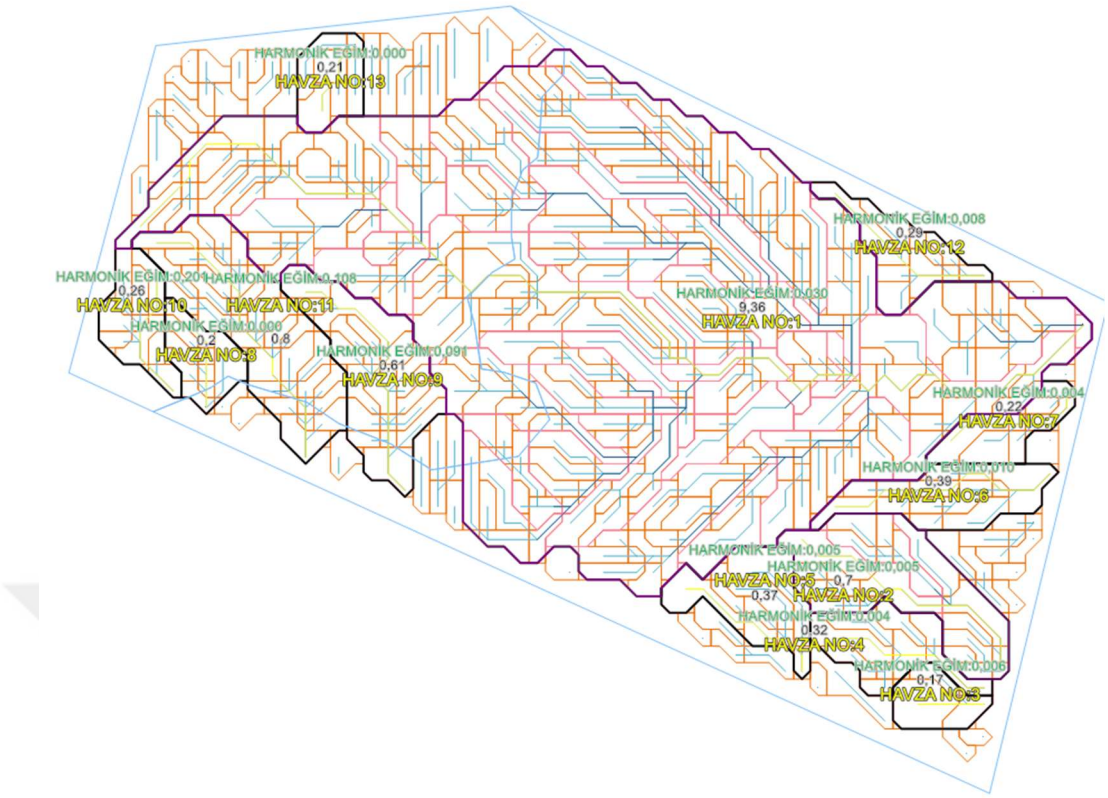


Şekil 5.15. NETCAD programında noktalarla oluşturulan üçgenlenmiş arazi modeli

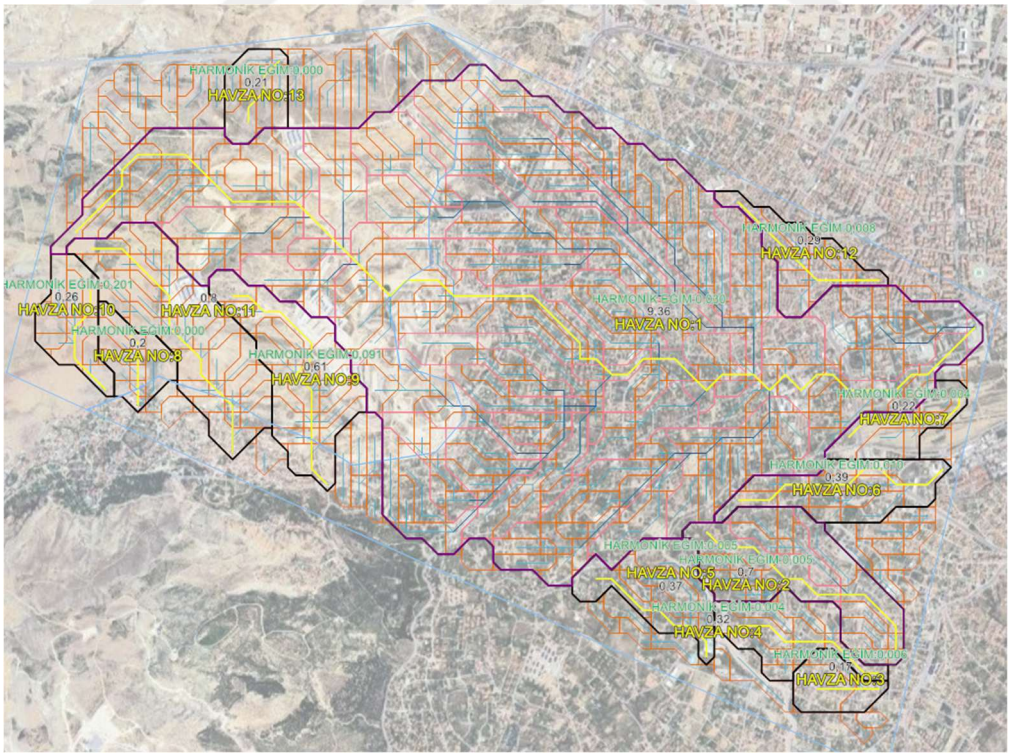
Proje alanı içerisinde yapılan ölçüm sonucunda oluşan noktalardan üçgenleme yaparak NETHYDRO modülü içerisindeki havza bul komutu ile DEM haritası oluşturulduktan sonra DEM haritası üzerinden ana havza, havza ve alt havza drenaj ağları ise ana su yolu, suyolu, alt su yolu tabakaları oluşturulur.



Şekil 5.16. NETCAD programında üçgenlerden oluşturulmuş DEM haritası



Şekil 5.17. Ana Havza, Havza ve Alt Havza Drenaj Ağları



Şekil 5.18. Ana Havza, Havza ve Alt Havza Drenaj Ağları (haritalı)

NETHYDRO modülünde, Devlet Meteoroloji İşleri (DMI) tarafından en az 15 yıl aralıksız veri toplanmış tüm yağış istasyonları bulunmaktadır. Taşkın debisi hesaplama işlemlerine başlamadan önce, bu istasyonların projeye eklenmesi gerekmektedir. Projeye dahil edilen istasyonlar sayesinde yağışların alansal dağılımı ve dağılım analizleri gerçekleştirilebilmektedir.



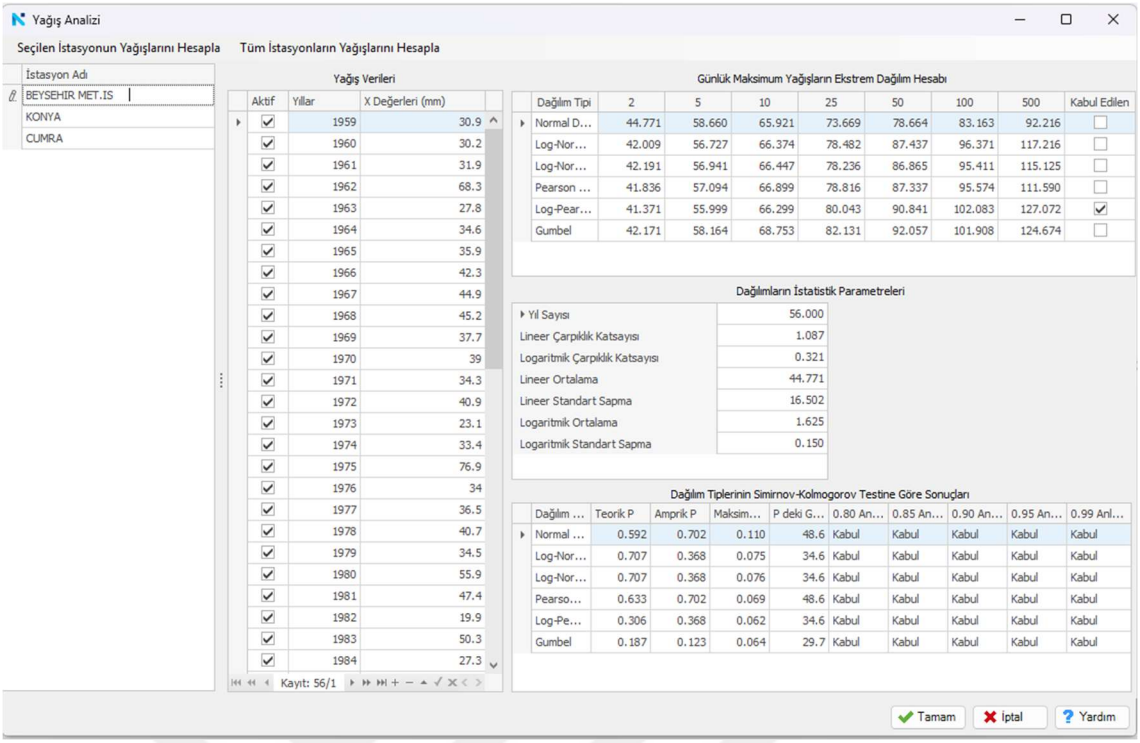
Şekil 5.19. Meteoroloji istasyonları ve yağış alanı

Tablo 5.1. Taşkın koruma yağış alanı kesiti yağış analizi sonuçları

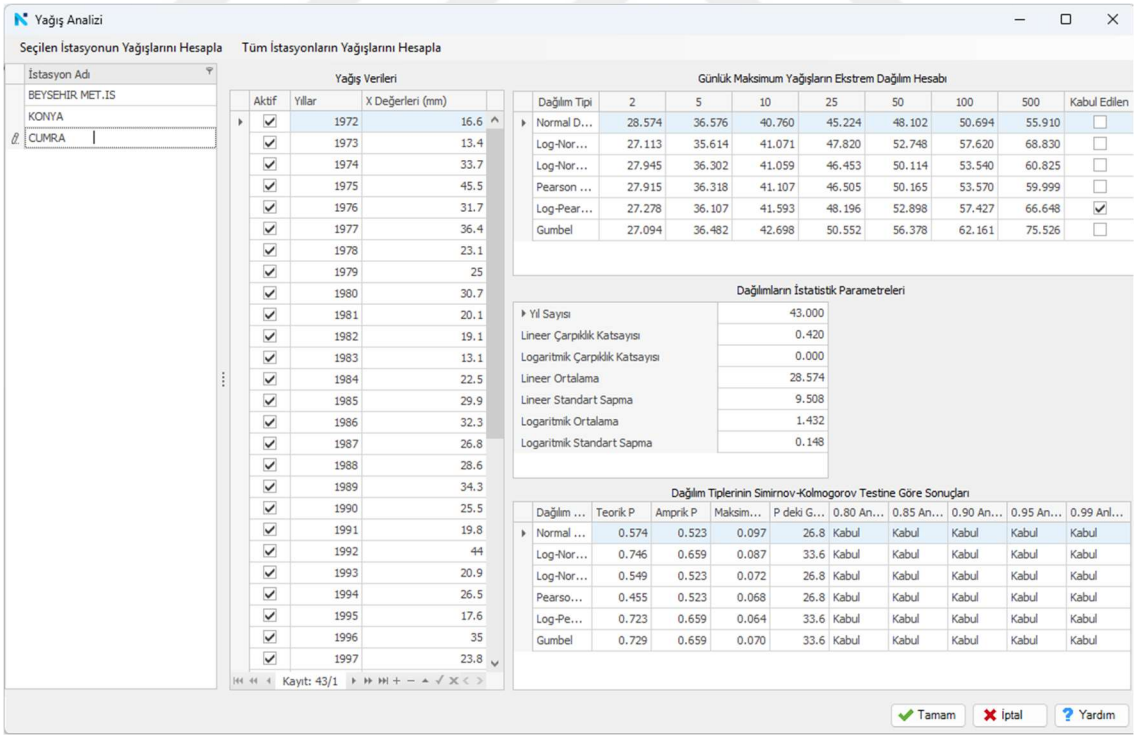
METEOROLOJİ İSTASYONU	THİESSENE GÖRE YAĞIŞ ALANLARI (km^2)	İST. TEMSİL ORANI (%)	2	5	10	25	50	100
KONYA	**9,365**	**100**	30,96	38,85	44,08	50,69	55,59	60,45
PROJE YAĞIŞ ALANI (km^2)	**9,365**	**100**						
24 saatlik havza yağışı			**30,96**	**38,85**	**44,08**	**50,69**	**55,59**	**60,45**

METEOROLOJİ İSTASYONU	İSTASYON TEMSİL ORANI (%)	2	5	10	25	50	100
KONYA	**100**	30,96	38,85	44,08	50,69	55,59	60,45

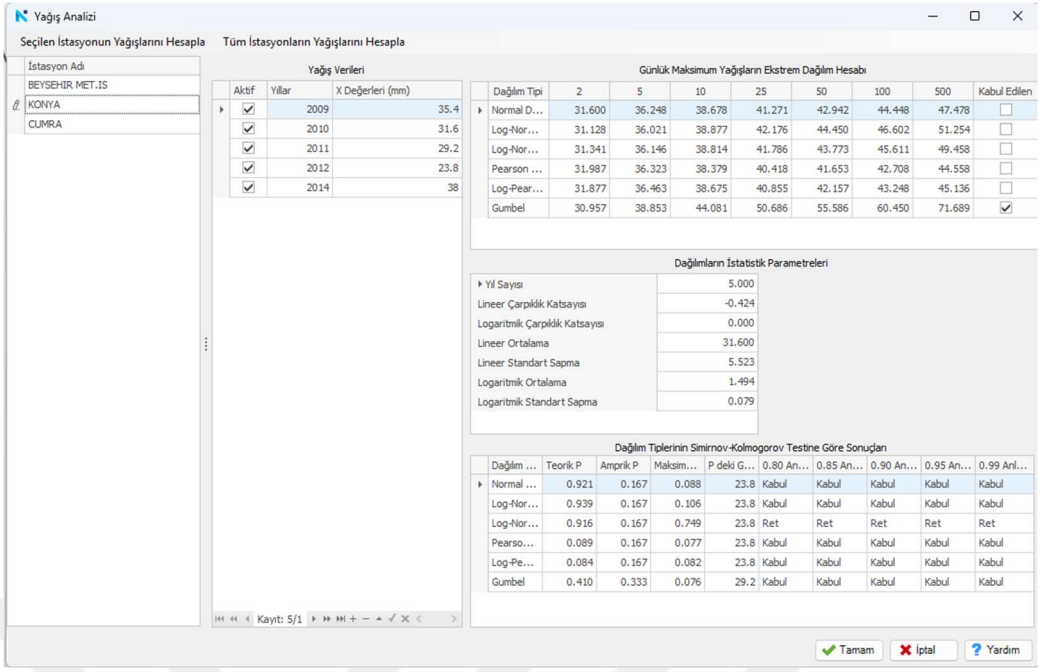
Bu analizler, 24 saatlik yağış miktarlarının değerlendirilmesi amacıyla kullanılmaktadır. Hidrolojik sistemlerin temel girdilerinden biri olan yağış miktarı, doğası gereği rastgele ve düzensiz bir yapıya sahiptir. Bu özellik, yağışı hidrolojik sistem içerisinde zaman ve mekân açısından en değişken parametrelerden biri haline getirmektedir. Bu nedenle, taşkın debisi hesaplamalarında daha güvenilir sonuçlar elde etmek için, yağışın değişken karakteristiği farklı olasılık dağılım fonksiyonları kullanılarak modellenmektedir. İş akışının bu aşamasında, altı farklı ekstrem olasılık dağılımı otomatik olarak hesaplanmakta; ardından Smirnov-Kolmogorov testi ile en uygun dağılım fonksiyonu belirlenmektedir.



Şekil 5.20. Beyşehir İstasyonu Simirnov-Kolmogorov testi



Şekil 5.21. Çumra İstasyonu Simirnov-Kolmogorov testi



Şekil 5.22. Konya İstasyonu Simirnov-Kolmogorov testi

24 saatlik yağış analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılır. İstasyonlar için farklı dağılım tiplerine göre sonuçlar hesaplanır ve en uygun dağılım tipi Simirnov-Kolmogorov testi ile belirlenir. Örnek proje sürecimizde, Konya istasyonu için en uygun dağılım tipi Gumbel olarak tespit edilmiştir.

Tablo 5.2. Plüviograf Katsayıları

PLÜVİOGRAF İSTASYONU	DAKİKA				SAAT										
	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24	24+
AKSARAY	0.17	0.31	0.40	0.64	0.81	0.82	0.82	0.84	0.84	0.84	0.85	0.88	1.00	1.00	1.01
BEYŞEHİR	0.17	0.27	0.38	0.61	0.81	0.81	0.81	0.82	0.84	0.86	0.91	0.96	1.00	1.00	1.26
CİHANBEYLİ	0.22	0.32	0.41	0.64	0.76	0.82	0.90	0.93	0.93	0.95	0.96	1.00	1.00	1.00	1.05
ÇUMRA	0.16	0.23	0.29	0.46	0.56	0.57	0.58	0.58	0.58	0.59	0.62	0.78	0.95	1.00	1.01
EREĞLİ	0.19	0.33	0.40	0.54	0.72	0.86	0.88	0.89	0.91	0.91	0.92	0.94	0.94	1.00	1.19
HADİM	0.16	0.25	0.34	0.44	0.51	0.51	0.51	0.51	0.54	0.57	0.57	0.58	0.86	1.00	1.09
ILGIN	0.23	0.34	0.41	0.51	0.53	0.56	0.58	0.58	0.59	0.60	0.65	0.72	0.80	1.00	1.47
KARAMAN	0.28	0.42	0.51	0.63	0.75	0.77	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.84	0.84	1.00	1.28
KARAPINAR	0.21	0.26	0.31	0.43	0.58	0.69	0.72	0.73	0.77	0.78	0.81	0.88	0.95	1.00	1.03
KULU	0.29	0.34	0.47	0.73	0.91	0.94	0.95	0.95	0.95	0.96	0.96	0.98	0.98	1.00	1.01
NİĞDE	0.21	0.29	0.37	0.56	0.68	0.71	0.74	0.75	0.75	0.75	0.79	0.83	0.91	1.00	1.07
ULUKIŞLA	0.28	0.36	0.44	0.58	0.69	0.86	0.88	0.91	0.94	0.94	0.95	0.95	0.99	1.00	1.14
YUNAK	0.17	0.29	0.36	0.41	0.46	0.47	0.50	0.53	0.57	0.61	0.63	0.73	0.83	1.00	1.01
AKŞEHİR	0.19	0.27	0.30	0.39	0.52	0.67	0.76	0.83	0.84	0.84	0.85	0.93	0.95	1.00	1.01
BOLVADİN	0.27	0.39	0.52	0.75	0.85	0.88	0.89	0.89	0.92	0.92	0.95	0.98	0.98	1.00	1.01
EMİRDAĞ	0.16	0.26	0.32	0.52	0.59	0.61	0.61	0.63	0.64	0.68	0.72	0.80	0.96	1.00	1.06
YALVAÇ	0.18	0.26	0.36	0.41	0.44	0.49	0.50	0.59	0.62	0.68	0.72	0.78	0.93	1.00	1.03
KONYA	0.21	0.32	0.38	0.44	0.52	0.55	0.56	0.59	0.63	0.67	0.75	0.84	1.00	1.00	1.06

24 saatlik yağış analizlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla kullanılır. Taşkın debisi hesapları sırasında, havzaya olan uzaklıklarına göre PLV değerleriyle birlikte tüm ilgili istasyonlar otomatik olarak listelenir. Kullanıcı, istenilen istasyonu ve belirli tekerrür sürelerine ait yağış değerlerini seçebilir.

Tablo 5.3. Akış Eğri Numaraları (ENII)

A. Çok kumlu zeminler
B. Kumu çok, kili az zemin, derince bitkisel toprak
C. Kumu az, kili çok zemin, sığ bitkisel toprak
D. Çok ağır killi veya kayalık zemin, bitkisel toprak çok ince veya hiç yok

Arazi kullanılması örtü	Muamele ve tatbikat	Sızma için hidrolik şart	Hidrolik toprak grubu			
			A	B	C	D
NADAS	SR	----	77	86	91	94
DİZİ	SR	Zayıf	72	81	88	91
NEBATİ	SR	İyi	67	78	85	89
Pancar gibi	C	Zayıf	70	79	84	88
	C	Zayıf	65	75	82	86
	CT	Zayıf	66	74	80	82
	CT	İyi	62	71	78	81
UFAK	SR	Zayıf	65	76	84	88
DANELİ	SR	İyi	63	75	83	87
Buğday gibi	C	Zayıf	63	74	82	85
	C	İyi	61	73	81	84
	CT	Zayıf	61	72	79	82
	CT	İyi	59	70	78	81
SIK EKİLMİŞ	SR	Zayıf	66	77	85	89
BAKLİYAT	SR	İyi	58	72	81	85
VEYA OT	C	Zayıf	64	75	83	85
RATOSYONU	C	İyi	55	69	78	83
	CT	Zayıf	63	73	80	83
	CT	İyi	51	67	76	80
ÇAYIRLIK	----	Zayıf	68	79	86	89
VEYA	----	Müsait	49	69	79	84
MEYDAN	----	İyi	39	61	74	80
	C	Zayıf	74	67	81	88
	C	Müsait	25	59	75	83
	C	İyi	6	35	70	79
DEVAMLI ÇAYIR	----	----	30	58	71	78
ORMAN	----	Zayıf	45	60	77	83
Çiftlik	----	Müsait	36	60	73	79
Ağaçları	----	İyi	25	55	70	77
ÇİFTLİK BİNALARI	----	----	59	74	82	86
YOLLAR (Tozlu)	----	----	72	82	87	89
YOLLAR (Sert zeminde)	----	----	74	84	90	92

Yüzeysel suların zemine sızması (infiltrasyon) sonucunda yüzey akışına dönüşen su miktarını hesaplamak amacıyla akış eğri numaraları (ENII) kullanılmaktadır. Akış eğri numaraları standart olarak aşağıdaki abak' tan hesaplanmaktadır.



Şekil 5.23. Akış yükseklik değeri hesaplama adımları

Akış kolundaki su seviyesinin zamana bağlı değişimini gösteren grafik, hidrograf olarak adlandırılır. Birimi $m^3/s/mm$ olup, birim derinlikte (mm) oluşan suyun akışa geçmesi durumunda meydana gelen debinin (m^3) zamana (sa) göre değişimini ifade eder. Debinin zamana göre değişimi, dört farklı yöntemle hesaplanabilir. Yöntem seçiminde, suyun konsantrasyon süresi (Tc) ve havza alanı önemli rol oynamaktadır.

Drenaj Alanı (km2)	Tasarım Metodu	Toplanma ve Yükselme Zamanı
<1	Rasyonel Metot	Yok
1-10	Mockus	Tc < 30 sa.
10-1000	DSİ – Sentetik (SCS) Metodu	Tp > 2 sa
>1000	Snyder Metodu	yok

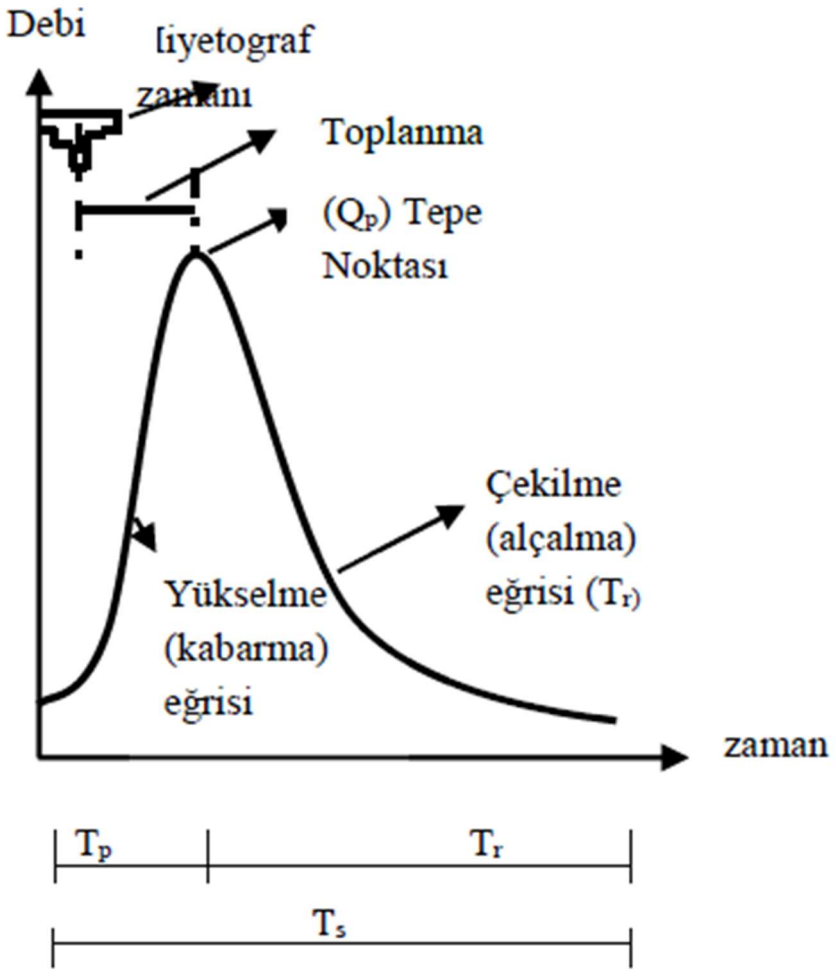
Şekil 5.24. Debi Hesabında Kullanılan Tasarım Metotları

Drenaj alanımız 9,365 km^2 olduğundan tasarım metodu olarak Mockus seçilmiştir.

5.1.3.1 Mockus Yöntemi

Mockus Yöntemi, akım gözlem istasyonlarının bulunmadığı havzalarda akım debisinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan bir tekniktir. Hesaplama kolaylığı ve elde edilen üçgen hidrografın basit çizimi nedeniyle tercih edilmektedir. Özellikle, toplanma süresi 3 saat veya daha kısa olan küçük drenaj alanlarında uygulanması uygundur.

Taşkın debisinin hesaplanmasında birim hidrograf analizi uygulanır. Birim hidrograf analiz grafiği Şekil 5.25'te gösterilmiştir.



Şekil 5.25. Birim Hidrograf Analiz Grafiği

Nehir yatağının harmonik eğimi, hidrograf analizinde Denklem 1 ile belirlenir.

$$S = \left(\frac{10}{\sum \frac{1}{\sqrt{S_i}}} \right)^2 \quad (1)$$

Nehir yatağının harmonik eğimi S, Kesitler Arası harmonik eğim ise S_i ile gösterilmektedir.

Havzanın toplanma süresi, harmonik eğim ve nehir yatağı uzunluğu baz alınarak Denklem 2'deki Kirpich Formülü ile belirlenir.

$$T_c = 3.95 \left(\frac{L^2}{S} \right)^{0.385} \quad (2)$$

Denklem 2'de T_c havzanın toplanma süresini dakika (dk) cinsinden, L ise nehir yatağı uzunluğunu kilometre (km) cinsinden ifade etmektedir. T_c saat (sa) cinsinden ve nehir yatağı uzunluğu L metre (m) cinsinden ifade edilirse, bu durum Denklem 3 ile gösterilen ilişkiye dönüşür.

$$T_c = 0.00032 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (3)$$

D yağış süresi, suyun toplanma süresine karşılık gelecek şekilde Denklem 4 aracılığıyla belirlenir. Pratik uygulamalarda, yağış süresi en yakın üst tam sayıya yuvarlanır. T_c' nin Yağış süresi 1 saatten az olduğunda, yağış süresi toplanma süresi ile eşit kabul edilir.

$$D = 2 \cdot \sqrt{T_c} \quad (4)$$

Burada D, suların toplanma süresine karşılık gelen yağış süresini saat (sa) olarak göstermektedir. Hidrografın yükselme süresi (Tp) ise, yağış süresi ve havzanın toplanma süresine bağlı olarak, Denklem 5'te belirtilen bağıntı ile hesaplanır.

$$T_p = 0.5D + 0.6T_c \quad (5)$$

Hidrografın çekilme eğrisi (Tr), kabarma eğrisi ile ilişkili bir fonksiyon olarak Denklem 6 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$T_r = 1.67 \cdot T_p \quad (6)$$

Taşkın hidrografının taban genişliği (Ts), hidrografın yükselme (Tp) ve çekilme (Tr) periyotlarının toplamı ile belirlenmektedir.

$$T_s = T_r + T_p \quad (7)$$

Birim hidrografın birim alana düşen pik debisi, Denklem 8 kullanılarak hesaplanmaktadır.

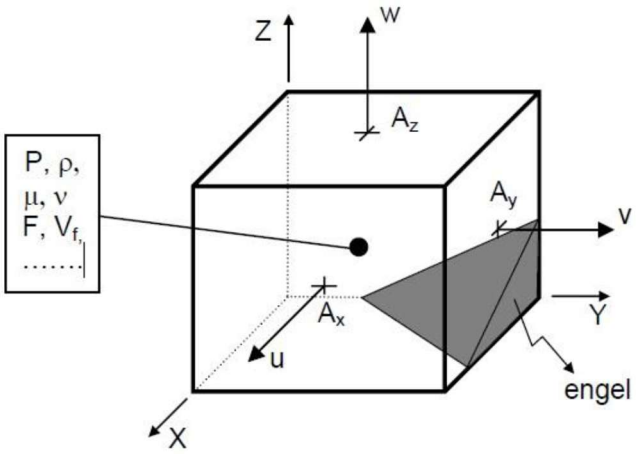
$$q_p = 0.208 \cdot \frac{A}{T_p} \quad (8)$$

Burada q_p taşkın hidrografının pik debisi ($m^3/s/mm$) ifade ederken, A havza alanını (km^2) temsil eden parametredir.

5.1.4. FLOW-3D

FLOW-3D programı, momentum, süreklilik ve temel enerji denklemlerinin en genel formlarına dayanması sayesinde, geniş bir yelpazedeki akışkanlar mekaniği problemlerine uygulanabilmektedir. Özellikle, bu yazılımın serbest yüzeyli akım problemlerinin çözümünde oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Sonlu hacimler yöntemi, üç boyutlu süreklilik ve hareket denklemlerinden oluşan diferansiyel denklem sisteminin (genellikle Reynolds Ortalamalı Navier-Stokes, RANS denklemleri) çözümü için yaygın olarak kullanılmaktadır. Hesaplamalar, düzgün olmayan (yapılandırılmamış) veya dikdörtgen (yapılandırılmış) hücrelerden oluşan bir çözüm ağı üzerinde gerçekleştirilir. Akışkana ait basınç, yoğunluk ve viskozite gibi skaler büyüklükler kontrol hacminin merkezinde tanımlanırken, hız bileşenleri (u, v, w) sadece kontrol hacminin yüzeylerinde hesaplamalara dâhil edilmektedir.



Şekil 5.26. Hesaplama hücresinde etkili parametrelerin gösterimi (Elçi vd., 2017)

Benzer yazılımların aksine, bu yaklaşım problem geometrisini çözüm ağı üzerine engeller yerleştirerek elde eder. FAVOR (Fractional Area/Volume Obstacle Representation) olarak bilinen bu metotta, kontrol hacmindeki engelin kapladığı hacim oranı ve yüzey alanı oranı hesaplanır. Bu, katı kısımları tanımlayan bir "boşluk tekniğidir." Değer, tamamen katı için "0", tamamen boş için "1" iken, kısmi dolu hücrelerde kapladığı hacmin yüzdesine göre "0" ile "1" arasında değişir. Bu değer, hücredeki akıma açık alanları ve dolayısıyla akışkan miktarını gösterir. Bu metot, rastgele

ağ aralıklarında dahi karmaşık sınır geometrilerini başarılı bir şekilde tanımlama yeteneği sunar (Flow Science Inc., 2012).

Ek olarak, bu tür problemlerde arazi geometrisi CAD (Bilgisayar Destekli Tasarım) yazılımları kullanılarak oluşturulabilmekte ve doğrudan çözüm ağı içerisine entegre edilebilmektedir. Bu özellik, topografik olarak oldukça düzensiz olan açık kanal problemleri (akarsular, baraj gölleri gibi) için kolaylıkla üç boyutlu modellerin oluşturulmasına imkân tanımaktadır. Modelleme sürecinde, çözüm alanı içerisindeki engel sınırlarının daha doğru bir şekilde tanımlanabilmesi için daha küçük ağ aralıklarının kullanılması tavsiye edilmektedir. Yazılım, su-hava ara kesitine sahip serbest yüzeyleri belirlerken, Akışkan Hacmi (VOF: Volume of Fluid) yöntemini kullanmaktadır (Hirt ve Nichols, 1981). VOF yöntemi ile hücrelerin tamamen boş, tam dolu veya kısmen suyla dolu olduğu durumlar ayırt edilir. Bu yöntem, FAVOR yöntemine benzer bir mantıkla çalışır ve hesaplama alanı üzerinde bir akışkan hacmi (F) tanımlanır (Flow Science Inc. 2012).

FAVOR yöntemine benzer şekilde, bir hücrenin tamamen akışkan ile dolu olması durumu "1" değeriyle, tamamen boş olması durumu "0" değeriyle ve kısmen dolu olması durumu ise hücrede kapladığı hacmin yüzdesel değeriyle ifade edilmektedir. Serbest yüzeyin eğimli olduğu durumlarda ise, bir hücrenin yüzeyinin konumunu ve eğimini belirlemek amacıyla, kendisini çevreleyen diğer hücrelerin verilerini kullanan özel bir algoritma devreye girmektedir (Flow Science Inc., 2012).

Akışkan Hacmi (VOF) metodu kullanılarak serbest yüzeyin modellenmesi üç aşamada gerçekleştirilir. İlk aşamada serbest yüzeyin konumu belirlenir. İkinci aşamada, bu yüzey su ve hava arasında keskin bir arayüz olarak tanımlanır. Son olarak ise bu arayüze sınır şartları uygulanmaktadır. Bu arayüz üzerinde sıfır kayma gerilmesi ve sabit basınç sınır koşulları genellikle uygulanır. Akışkan hacim fonksiyonu olarak tanımlanan F'nin değişimi, Denklem 9'daki diferansiyel ifade ile verilmektedir:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u\frac{\partial F}{\partial x} + v\frac{\partial F}{\partial y} + w\frac{\partial F}{\partial z} = 0 \qquad (9)$$

Bu denklem, F değerinin akışkanla birlikte hareket ettiğini göstermektedir. Bu bağlamda bir hücre; tamamen katı, kısmen katı ve sıvı karışımı, tamamen sıvı, kısmen

sıvı ile dolu veya tamamen boş olmak üzere farklı durumları temsil edebilir. FLOW-3D, iki denklemli k−ε, Prandtl karışma boyu, türbülans enerji, RNG (Yeniden Normalleştirilmiş Grup) ve LES (Büyük girdap benzeşimi) gibi çeşitli türbülans yaklaşımlarını bünyesinde barındıran kapsamlı bir yazılımdır. Çözüm ağı sınırlarında uygulanabilecek farklı sınır şartları da mevcuttur. Bunlar arasında simetri, duvar, bağlayıcı (continuative), periyodik basınç, hız ve çıkan akım gibi seçenekler bulunmaktadır. Söz konusu programda, süreklilik ve hareket denklemleri eş zamanlı ve üç boyutlu olarak çözülebilmektedir. Sıkışmayan akım için kartezyen koordinatlarda kullanılan süreklilik ve hareket denklemleri sırasıyla 10 ve 11 numaralı bağıntılar ile verilmektedir (Flow Science Inc., 2012).

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(u_i A_i) = 0 \tag{10}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{1}{V_F}\left(u_j A_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j}\right) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + f_i \tag{11}$$

u_i: i doğrultusundaki akım hızı

P: Basınç

A_i : i doğrultusunda her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu alan

V_F: Her bir hücredeki akışkanın sahip olduğu hacim

g_i: Kütlesel kuvvetler

f_i: Herhangi bir türbülans modeli için Reynolds gerilmeleri

Bir akışkan hacmi için Reynolds gerilmeleri (f_i) 12 eşitliği ile ifade edilmektedir:

$$\mathrm{f_i} = \frac{1}{\rho \mathrm{V_F}}\left[\mathrm{wS_i} - \frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left(\mathrm{A_j}\tau_{\mathrm{ij}}\right)\right] \tag{12}$$

$\mathrm{wS_i}$: Duvar kayma gerilmesi

τ_{ij}: Gerilme hızı tansörü

Duvar kayma gerilmeleri ise 13 ve 14 bağıntıları ile ifade edilmektedir:

$$\tau_{ii} = -2\mu_T \left|\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right| \tag{13}$$

$$\tau_{ij} = -\mu_T \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right] \quad (14)$$

μ_T: Türbülans etkilerini ifade eden ve çalkantı gerilmelerini de içeren toplam dinamik viskozite 15 bağıntısı ile verilmiştir:

$$\mu_T = \mu + \mu_t \quad (15)$$

Duvar sınır şartları, seçilen türbülans modeline bağlı olarak farklı şekillerde formüle edilmektedir. Özellikle, taşınımlı (konvektif) türbülans kapatma diyagramlarının (k− ε modeli gibi) çözümü için bir duvar fonksiyonu kullanılmaktadır. Bu fonksiyon, sınır katmanları içerisindeki hız dağılımını temsil etmektedir. Yazılımda, kayma hızını (u_*) çözümlemek amacıyla hem pürüzlü hem de pürüzsüz duvar yüzeyleri için geçerli olan, 16 numaralı bağıntıda ifade edilen logaritmik duvar fonksiyonundan faydalanılmaktadır (Flow Science Inc., 2012).

$$u_0 = u_* \left[\frac{1}{\kappa} \ln\left(\frac{\rho u_* y_0}{\mu + \rho a u_* k_s}\right) + 5\right] \quad (16)$$

κ: Von Karman sabiti

a: Türbülans modeline bağlı sabit (k-ε modeli için 0.247)

k_s: Engel pürüzlülüğü

y_0: Herhangi bir noktadaki (u_0) teğetsel hızının engelden olan uzaklığı

Denklem (16)'da ki parantez içindeki ifadenin paydası, pürüzlü sınır etkisi nedeniyle ortaya çıkan efektif viskoziteyi temsil etmektedir (μeff = μ + ρau* k s). Eğer hücre laminer alt katmanda yer alıyorsa (R*= ρu* y0 /μ ≤5), kayma hızı çözümü için Denklem 17 kullanılır:

$$u_* = \sqrt{\frac{\mu u_0}{\rho y_0}} \quad (17)$$

Kayma hızı (u_*) için bulunan çözüm, türbülans taşınım denklemlerinde sınır koşulu olarak uygulanır. Ardından, toplam dinamik viskozite (μ_T) ve doğrudan duvar kayma gerilmesi WS_i kullanılarak pürüzlülük etkileri çözüme dahil edilir. Bu da 18 bağıntısı ile ifade edildiği şekildedir (Flow Science Inc., 2012).

$$WS_i = \sum_j \frac{2\rho|u_i|_{u_i}}{\Delta x_j} \quad (18)$$

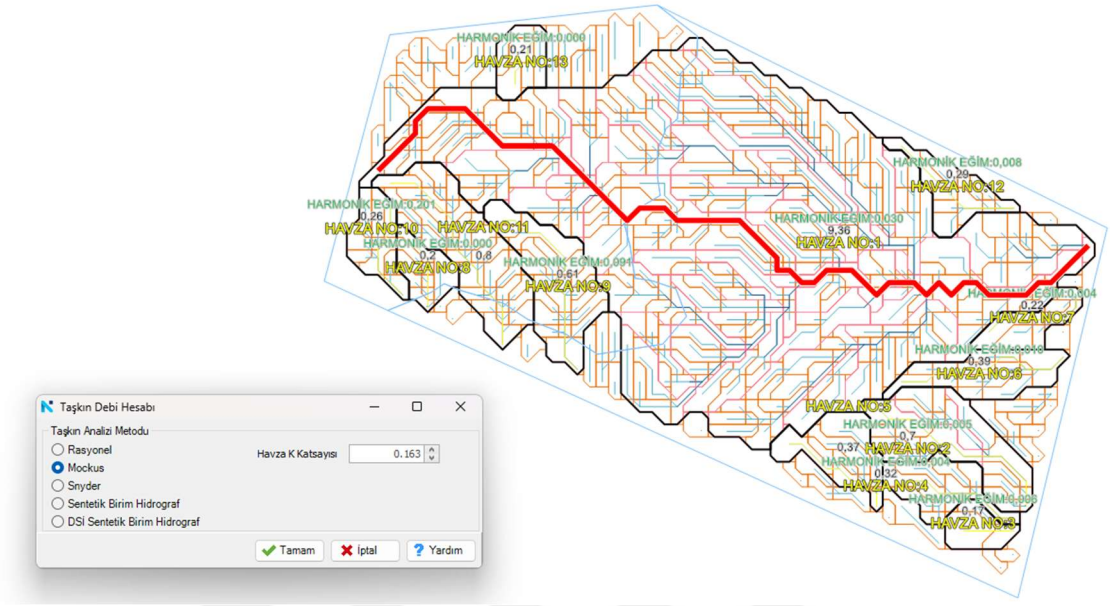
Laminer akışlar ve taşınımsız türbülans kapatma (LES) modellerinde duvar kayma gerilmesi (WS_i) aşağıdaki 19 numaralı formül ile tanımlanır (Flow Science Inc., 2012).

$$WS_i = \frac{(\mu + \rho a u_0 k_s)u_0}{y_0} \quad (19)$$

Daha sonra, doğrudan Denklem 12 kullanılarak hesaplanan duvar kayma gerilmesi (WS_i), momentum denkleminin çözümüne entegre edilmektedir (Flow Science Inc., 2012).

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. NETCAD



Şekil 6.1. NETCAD NETHYDRO Modülü Taşkın Debi Hesabı

Hesap yöntemi Mockus olarak seçilmiştir. Havza K katsayısı standart bir değer olup ülkemiz için 0,163 değeri de kullanılmaktadır.

Maksimize Faktörü (M.F.), 24 saatlik tasarım yağışlarının hesaplanmasında kullanılan bir düzeltme katsayısıdır. Standart kullanılan maksimize değeri 1,13' dür.

PLV değeri için Konya İli için Tablo 5. 2'den 1 saatlik yağış süresindeki değer 0,52 olarak alınmıştır.

Tablo 6.1. NETCAD taşkın debi analizinde harmonik eğim hesabı

HARMONİK EĞİM HESAP TABLOSU				
Sıra No	H(m)	h(m)	l = L /10 (m)	$\sqrt{(l/h)}$
1	1066,065	3,406	724,818	14,589
2	1072,969	3,499		14,393
3	1076,230	3,261		14,909
4	1080,004	3,774		13,859
5	1105,864	25,860		5,294
6	1154,943	49,079		3,843
7	1203,057	48,114		3,881
8	1277,593	74,536		3,118
9	1323,377	45,785		3,979
10	1399,961	76,583		3,076
		333,896		80,941

$$A = 9{,}365 \text{ km}^2$$

$$L = 7.248{,}18 \text{ m}$$

$$Si = \sqrt{(l/h)}$$

$$S = \left(10/\sqrt{\left(\sum \sqrt{(l/h)}\right)}\right)^2$$

$$S = 0{,}153$$

$$T_c = 0.00032 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

$$T_c = 1{,}503$$

Seçilen havzaya ait akış kolunun parça sayısı (Sıra No)

Parça sayısına mansap tarafındaki kot değerlerini (H)

Her bir parça sayısına ait mansap ve memba kot farkları (h),

$S = \left(\frac{10}{\sum \frac{1}{\sqrt{S_i}}}\right)^2$ Denklem 1'e göre harmonik Eğim (S) ve $T_c = 0.00032 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$ Denklem 3'e göre T_c değeri hesaplanmış ve $S = 0{,}153$, $T_c = 1{,}503$ bulunmuştur.

Tablo 6.2. NETHYDRO taşkın debi hesabında yağış alan dağılımı sonucu

SÜRE	ARANAN ALAN km^2	YÜZDESİ %
30 dk	9,365	0,958
1 SAAT	9,365	0,975
3 SAAT	9,365	0,989
6 SAAT	9,365	0,992
24 SAAT	9,365	0,995

ARA SÜRELER	YÜZDESİ %	ARA SEVİYELER
1	0,975	
2	0,982	ARA SEVİYELER
3	0,989	
4	0,991	ARA SEVİYELER
5	0,992	ARA SEVİYELER
6	0,992	
8	0,993	ARA SEVİYELER
12	0,993	ARA SEVİYELER
18	0,994	ARA SEVİYELER
24	0,995	

Kritik Saat	1,00

Havza büyüklüğüne göre, yağışın ara sürelerle birlikte 24 saatlik zaman dilimindeki dağılım katsayısı sistem tarafından otomatik olarak belirlenir.

Tablo 6.3. NETHYDRO taşkın debi hesabında yağış analizi sonucu

KONYA KÖYCEĞİZ HAVZA-1 YAĞIŞ ALANI KESİTİ YAĞIŞ ANALİZİ								
METEOROLOJİ İSTASYONU	**THİESSENE GÖRE YAĞIŞ ALANLARI (km^2)**	**İST.TEMSİL ORANI (%)**	**2**	**5**	**10**	**25**	**50**	**100**
KONYA	**9,365**	**100**	30,96	38,85	44,08	50,69	55,59	60,45
PROJE YAĞIŞ ALANI (km^2)	**9,365**	**100**						
24 saatlik havza yağışı			**30,96**	**38,85**	**44,08**	**50,69**	**55,59**	**60,45**

Konya Meteoroloji İstasyonu, projenin taşkın havzasını yaklaşık 9,365 km^2 temsil etmektedir.

Tablo, farklı tekerrür periyotları (2, 5, 10, 25, 50, 100 yıl) için beklenen 24 saatlik yağış miktarlarını göstermektedir.

Beklenen yağış miktarı, tekerrür periyodu arttıkça (yani daha nadir ve şiddetli olaylar için) artmaktadır. Örneğin, 2 yıllık yağış 30,96 birimken, 100 yıllık yağış 60,45 birime ulaşmaktadır.

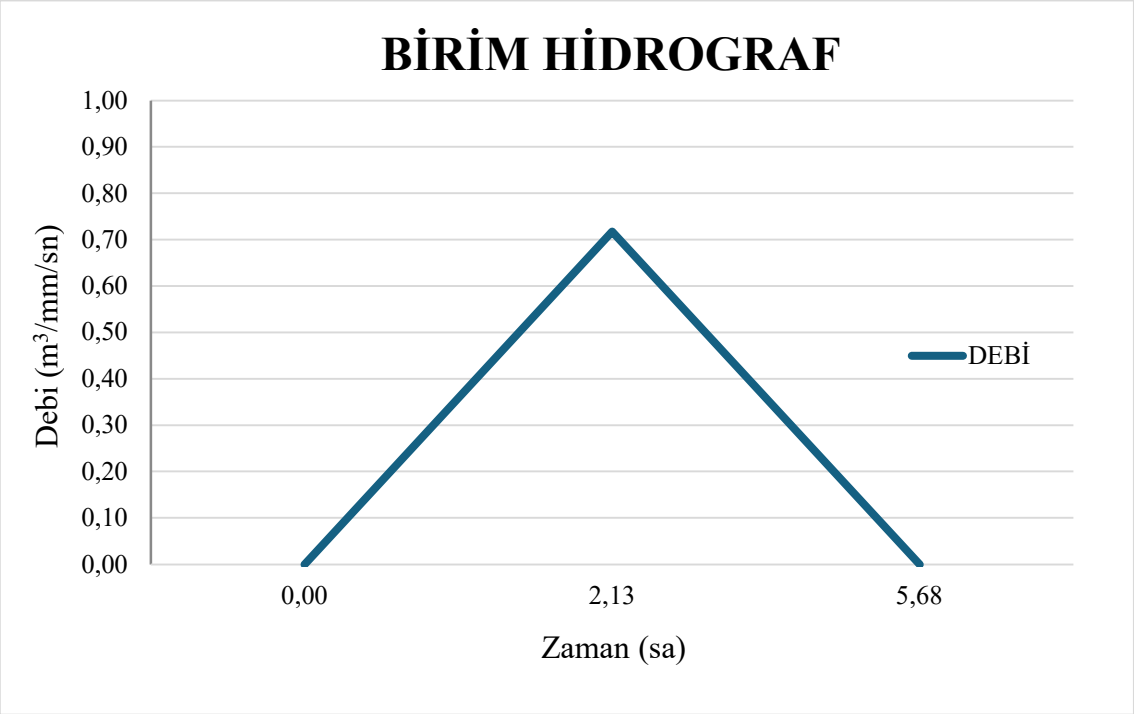
Bu veriler, Havzada farklı büyüklükteki taşkınlara karşı tasarımını ve kapasitesini belirlemek için kullanılacak kritik bilgilerdir.

Tablo 6.4. NETHYDRO taşkın debi hesabı

GİRDİLER	
Havza ID:	1
Metot:	Mockus
Havza K Katsayısı:	0,163
(S) Harmonik Eğim	0,015
L (uzunluk) (m)	7248,176
(A) Havza Alanı (km^2)	9,365
SONUÇLAR	
MOCKUS	
(Tc) Toplanma Süresi	1,503
(D) Yağış Süresi	2,452
(Tp) Hidrografın yükselme zamanı	2,127
(Tr) Hidrografın Alçalma Süresi	3,553
(Tp) Yağış Süresi	5,680
(Qp) Pik Debi (m^3/mm/sn)	0,718
HESAP DEBİSİ (m3/mm/sn)	
Kaç Yıllık Debi	100
Hesap Debisi (m^3/mm/sn)	4,047

SONUÇLAR	
Konsantrasyon Süresi:	0,000
Hidrografın Yükselme Süresi:	2,127
Hidrografın Alçalma Süresi:	3,553
Hidrograf Süreleri	
Zaman	**Debi**
0,000	0,000
2,127	0,718
5,680	0,000

Tablo 6. 4, Havza 1, Alan 9,365 km^2 için Mockus yöntemini kullanarak 100 yıllık tekerrür periyoduna ait taşkın debisinin hesaplanmasının tüm aşamalarını sunmaktadır. Havza özellikleri (eğim, uzunluk, alan) girilmiş, Mockus formülleriyle toplanma, yükselme ve alçalma süreleri ile pik debi (birim hidrograf için) türetilmiştir. Son olarak, 100 yıllık debi için nihai hesaplanan değer 4,047 (mm/m^3/sn) olarak belirlenmiştir. Hidrografın ana noktaları (başlangıç, tepe ve bitiş) da özetlenerek akışın zaman içindeki değişimi gösterilmiştir. Bu veriler, taşkın risk yönetimi ve taşkın koruma yapılarının tasarımı için temel oluşturmaktadır.



Şekil 6.2. Mockus Yöntemi ile oluşturulmuş olan Birim Hidrograf

Tablo 6.5. NETCAD NETHYDRO Mockus Yöntemiyle oluşturulmuş taşkın debi hesabı sonuçları

							Drenaj alanının 24 saatlik yağış yinelenme değerleri					
							2	5	10	25	50	100
UYGULANAN YÖNTEM	T(Saat)	%	MF	YADK	PLV	SON ÇARPIM	30.957	38.853	44.081	50.686	55.586	60.450
Mockus	1.00	1	1.130	0.975	0.520	0.573	17.743	22.268	25.265	29.050	31.859	34.646
						AKIŞ (mm)	0.371	1.253	2.076	3.348	4.441	5.637
AKIŞ HESAPLARI						Q P= 0.718	0.266	0.899	1.489	2.402	3.187	4.045
S=((1000/ ENII) - 10) * 25,4						K1= 0.163						
ENII =	80.000					Qp= 0.562	0.2	0.7	1.2	1.9	2.5	3.2
S =	63.499					K2= 0.163						
0,2S =	12.700											
0,8S =	50.799					Q500 m3/s 5.813						
hakış=(P - 0,2S)2 / (P + 0,8S						Q1000 m3/s 6.575						

Yapılan hidrolojik analizler sonucunda Tablo 6. 5'te taşkın koruma göleti drenaj havzası için Thiessen Poligonları yöntemi ve Mockus yöntemi kullanılarak taşkın debileri hesaplanmıştır. Analizlerde Konya Meteoroloji İstasyonu'nun verileri esas alınmış olup, bu istasyonun havzayı temsil gücünün yüksek olduğu belirlenmiştir.

Özellikle taşkın koruma ve hidrolik yapı tasarımı açısından kritik öneme sahip olan 100 yıllık tekerrür periyoduna karşılık gelen 24 saatlik maksimum yağış değeri 60,450 mm olarak hesaplanmıştır. Bu yağış değeri baz alınarak yürütülen Mockus yöntemi tabanlı akış hesaplamaları neticesinde, havza için 100 yıllık taşkın tepe debisi 3,2 m^3/sn olarak elde edilmiştir.

Hesaplanan debi programa girilerek ana su yolu üzerinde en kesitler oluşturularak taşkın analizi yapılmıştır.



Şekil 6.3. NETCAD taşkın analizi su yayılımı (Haritalı)

Belirlenen drenaj havzasının (kırmızı sınır) Google Earth görüntüsü üzerindeki konumunu ve ana su yolunda suyun yayıldığı kritik bölgeleri (turuncu alan) göstermektedir.

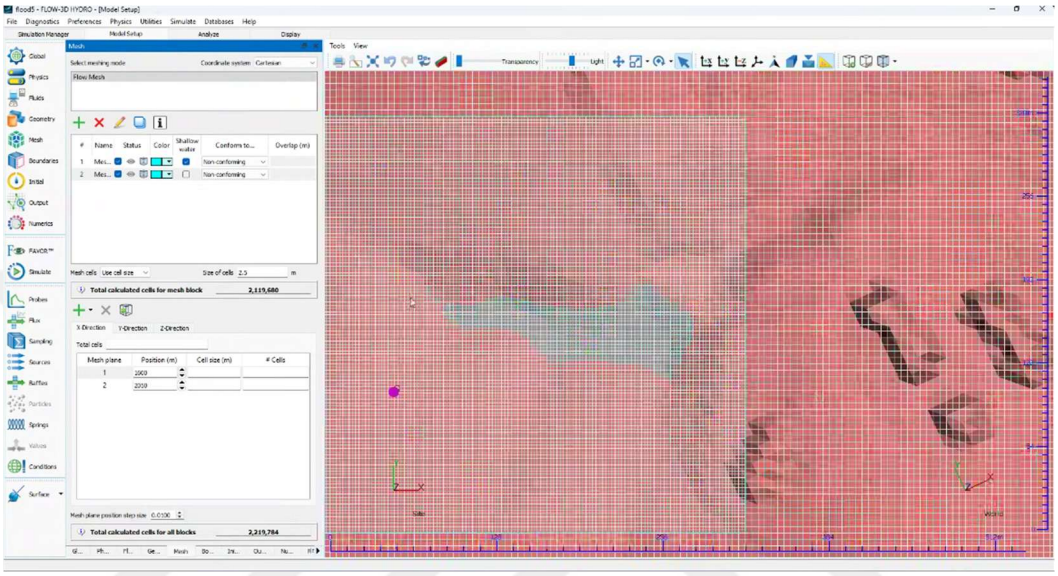
Taşkın riskinin görsel olarak değerlendirilmesi ve potansiyel tehlike altındaki alanların belirlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Turuncu alanın yerleşim yerleri, ile kesiştiği noktalar, olası bir taşkın durumunda öncelikli müdahale gerektiren veya koruma önlemlerinin yoğunlaştırılması gereken kritik bölgeler olarak öne çıkmaktadır.

Çalışma Alanı'nda meydana gelebilecek en şiddetli taşkın senaryolarından biri olan 100 yıllık tekerrür periyoduna sahip bir olayda beklenen maksimum akış miktarını temsil etmektedir. Elde edilen 3,2 m^3/sn‘lik debi değeri, taşkın koruma göletinin ve ilgili tüm hidrolik yapıların boyutlandırılmasında temel tasarım parametresi olarak kullanılmalıdır. Bu debiye göre yapılacak mühendislik tasarımları, bölgenin 100 yılda bir karşılaşabileceği taşkın riskine karşı yeterli güvenlik marjını sağlayacak ve can-mal kaybı riskini minimize edecektir.

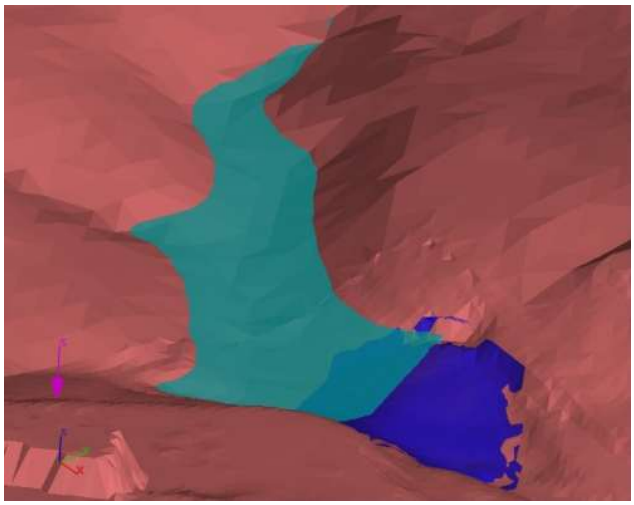
Bu çalışma ile belirlenen 100 yıllık taşkın debisi, bölge içerisinde mevcut veya planlanan altyapıların taşkın riskine karşı dayanıklılığının değerlendirilmesi ve gerekli iyileştirme önlemlerinin belirlenmesi adına bilimsel bir temel sunmaktadır.

6.2. FLOW-3D (Taşkın Koruma Göletinin Yıkılması)

Taşkın koruma göletinin bir afet durumu neticesinde olası yıkılma davranışını incelemek üzere, 3D Survey programında elde edilen katı model, .stl dosyası olarak FLOW-3D programına aktarılmıştır. Göletin kil dolgu malzemesine ait etüt raporundan alınan özellikler tanımlandıktan sonra FLOW-3D ile sayısal analizler yapılmıştır. Şekil 48 ve Şekil 49 FLOW-3D programındaki modeli göstermektedir.



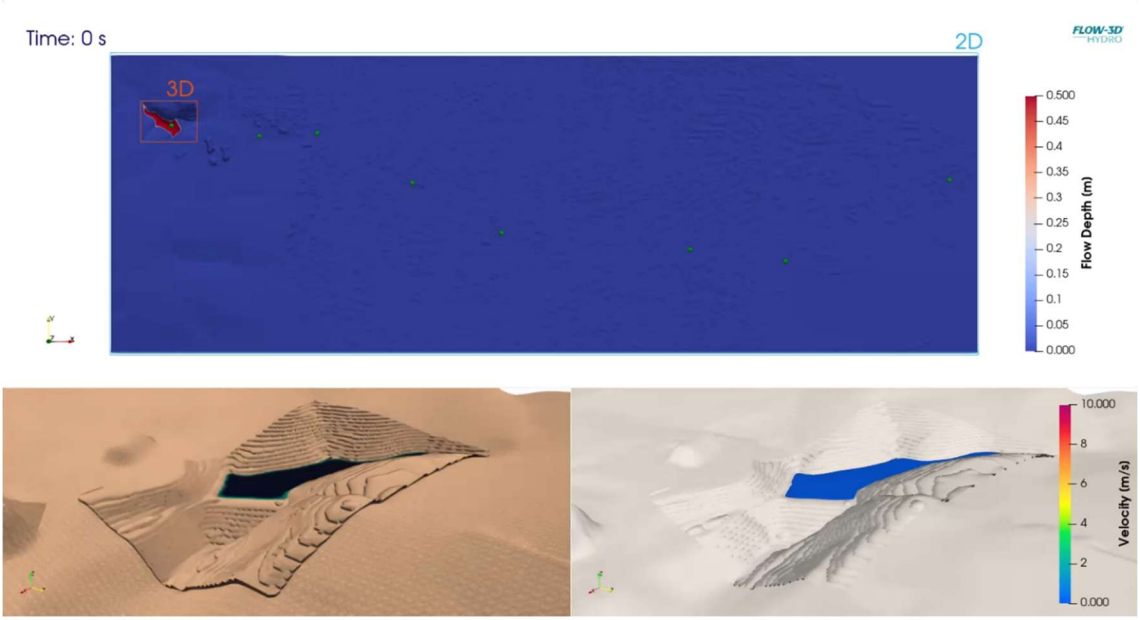
Şekil 6.4. Taşkın Koruma Göleti yeri ve biriktirebileceği su miktarı girdileri



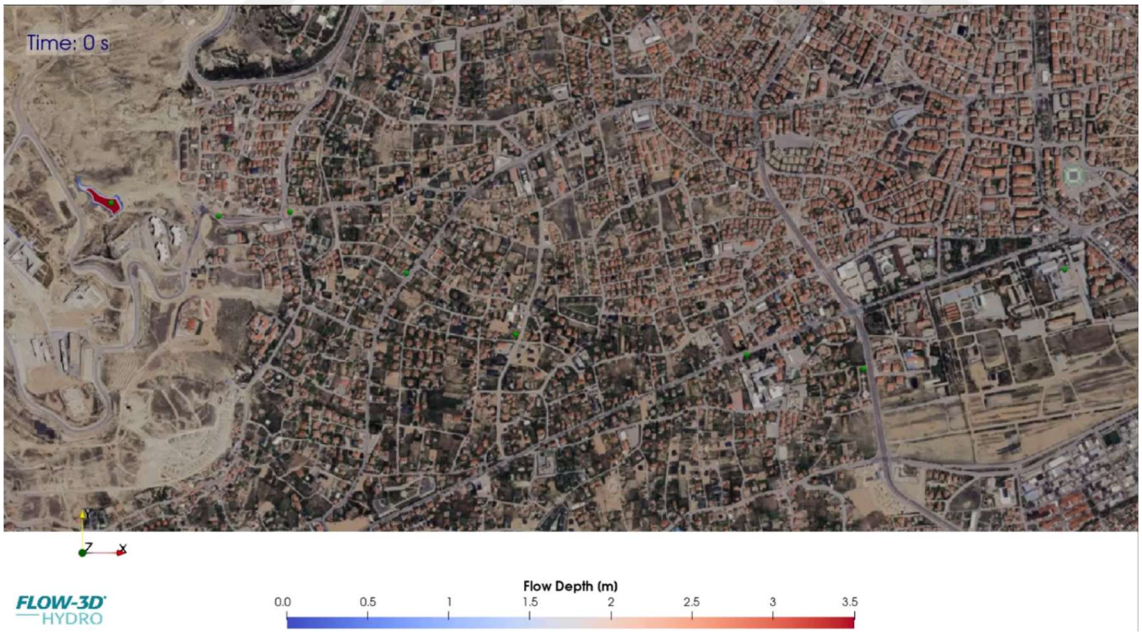
Şekil 6.5. Taşkın Koruma Göleti yeri ve rezervuar alanı

FLOW-3D programı ile 3600. sn'ye kadar analiz yapılmıştır. Taşkın koruma göletinin 0.(Şekil 6. 6-.9), 180.(Şekil 6. 10-13), 360.(Şekil 6. 14-17), 540.(Şekil 6. 18-21), 720.(Şekil 6. 22-25), 900.(Şekil 6. 26-29), 1080.(Şekil 6. 30-33), 1800.(Şekil 6. 34-37) ve 3600.(Şekil 6. 38-41) saniye anlarındaki durumlarını göstermektedir.

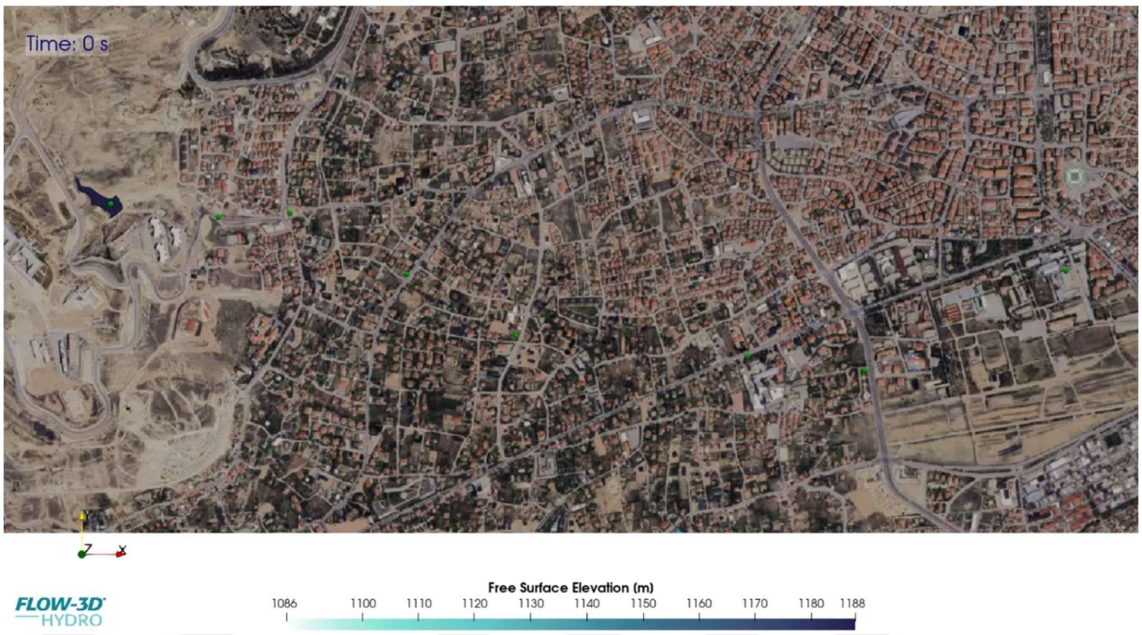
Şekil 6. 14'te göründüğü gibi 360. sn'de taşkın koruma göleti göçmeye başlamış ve Şekil 6. 26'da gösterildiği gibi 900. sn'de taşkın koruma göleti tamamen yıkılmıştır.



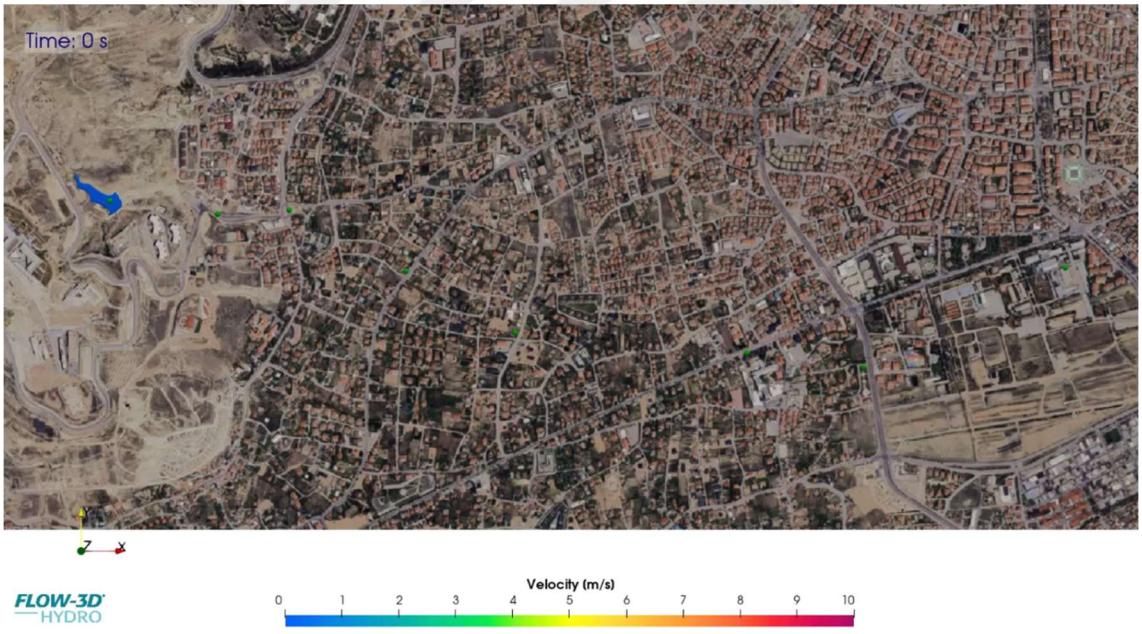
Şekil 6.6. 0. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



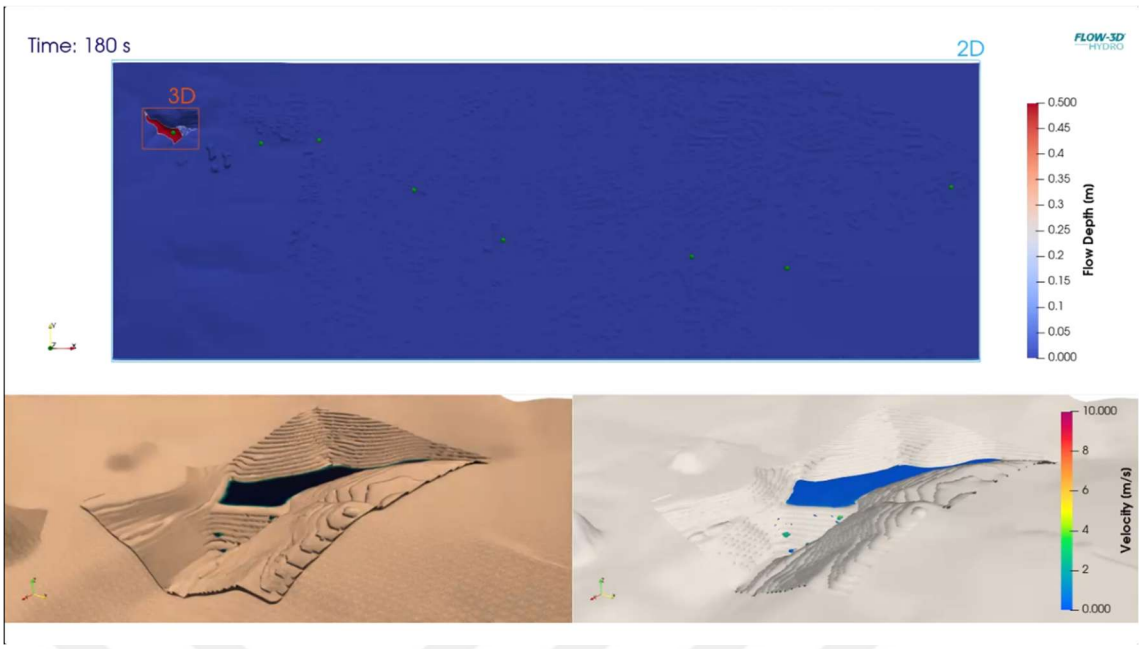
Şekil 6.7. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



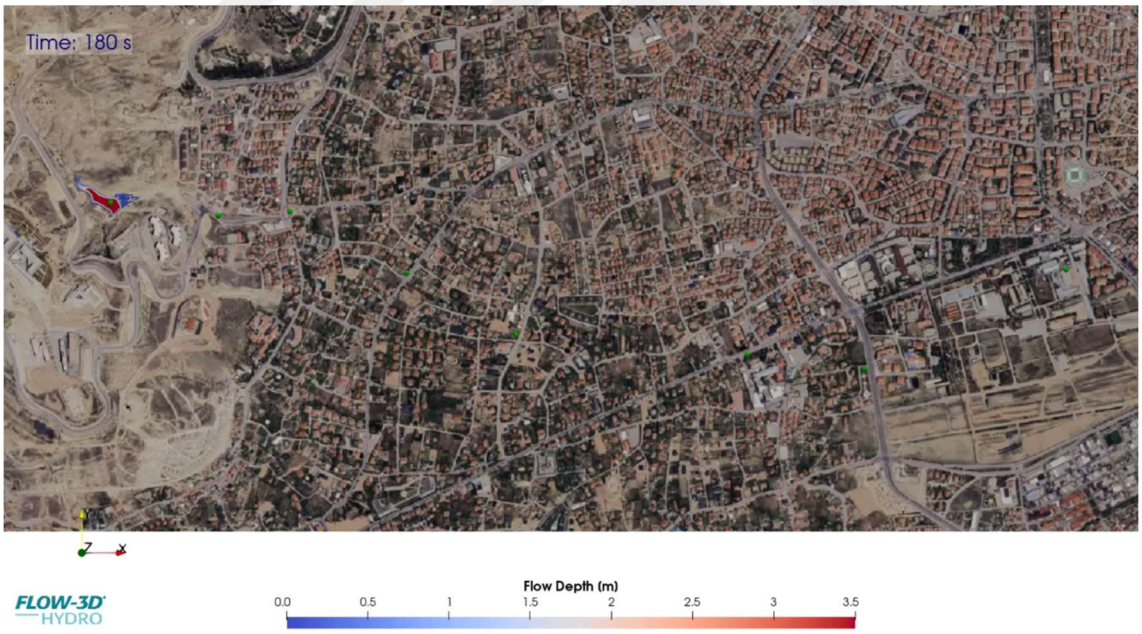
Şekil 6.8. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



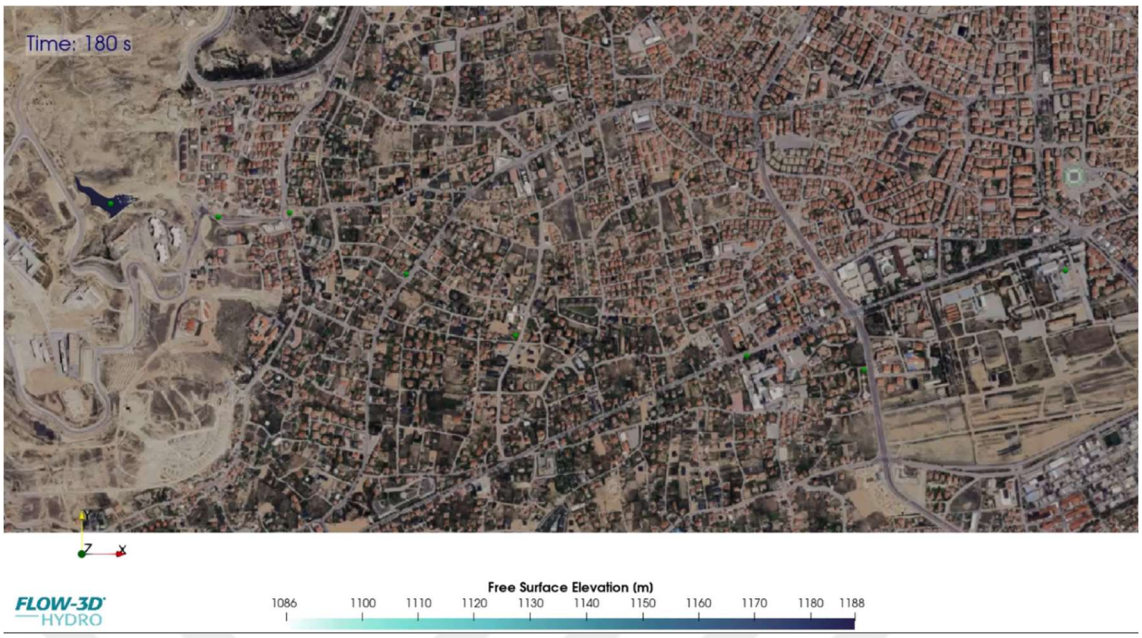
Şekil 6.9. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



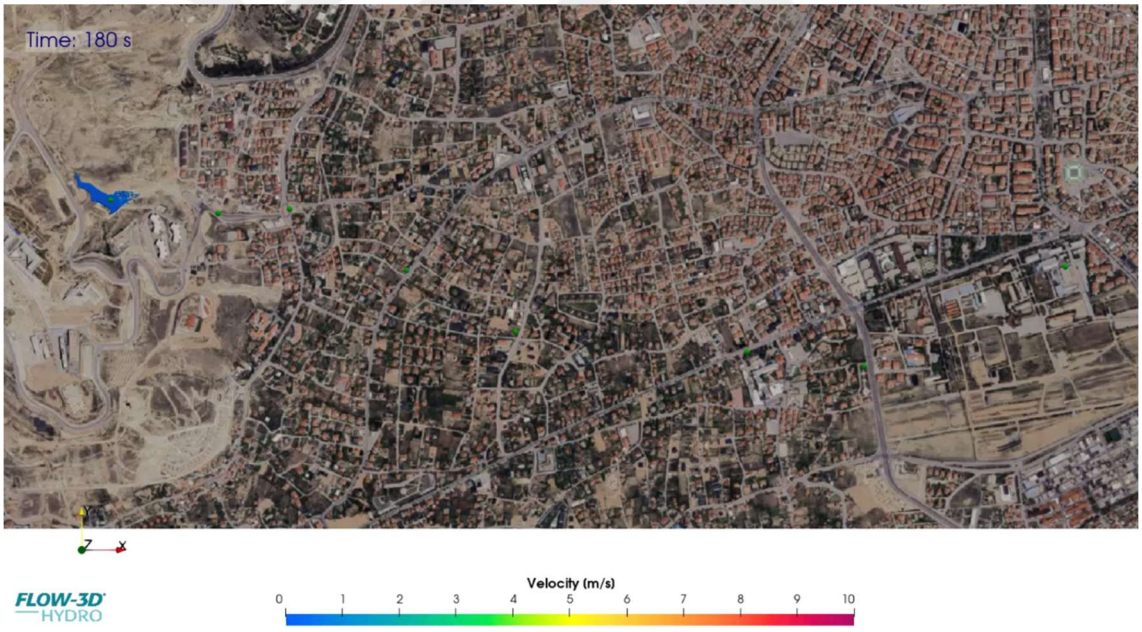
Şekil 6.10. 180. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



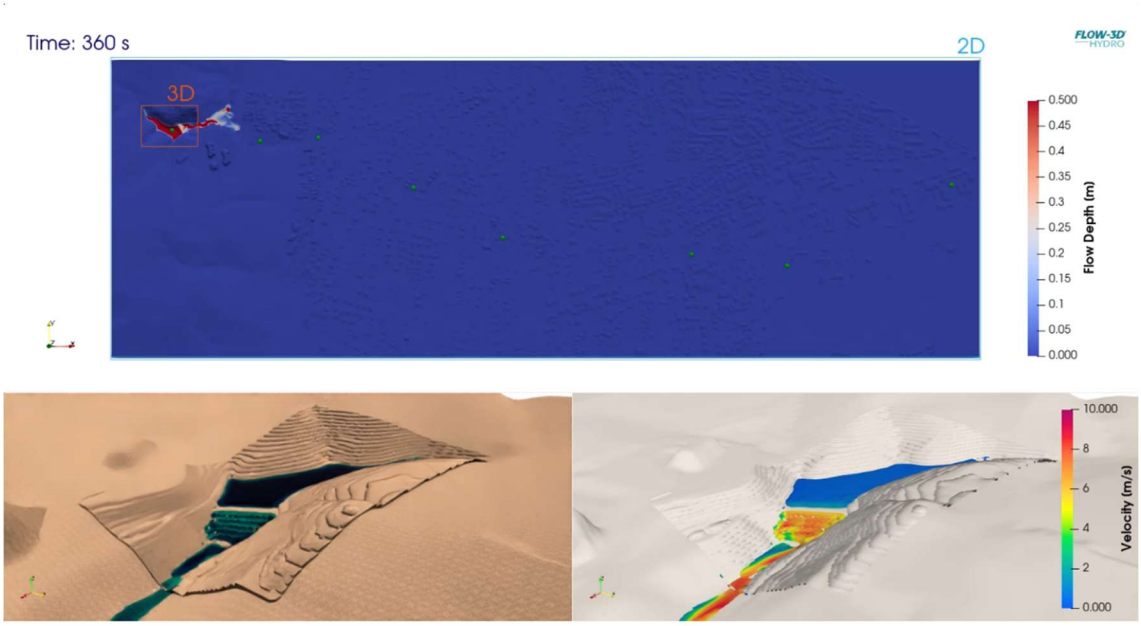
Şekil 6.11. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



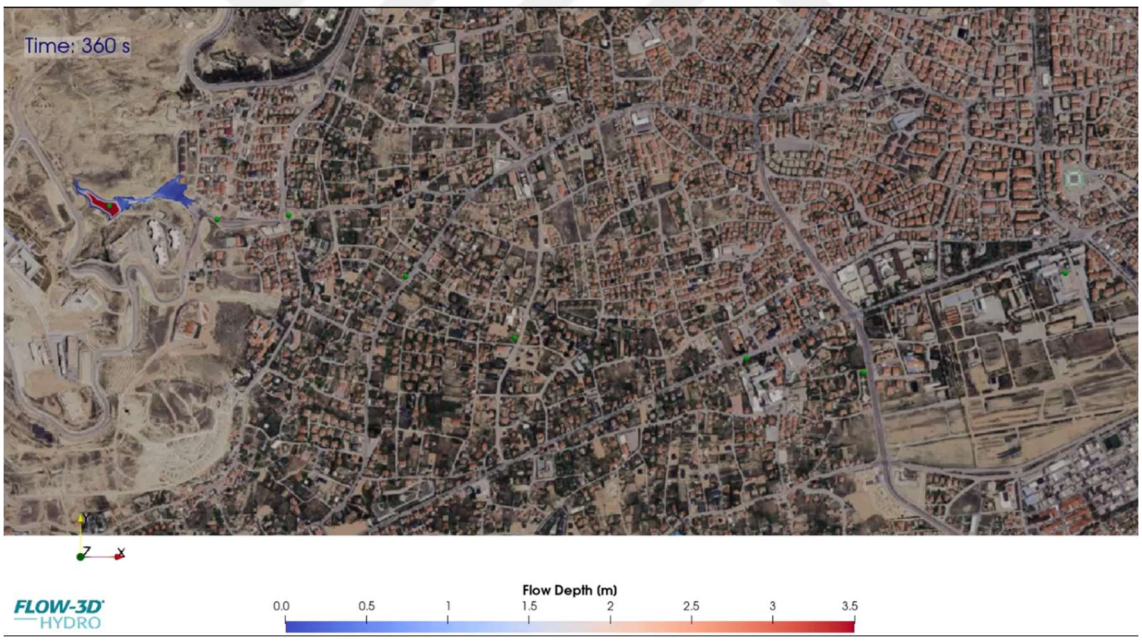
Şekil 6.12. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



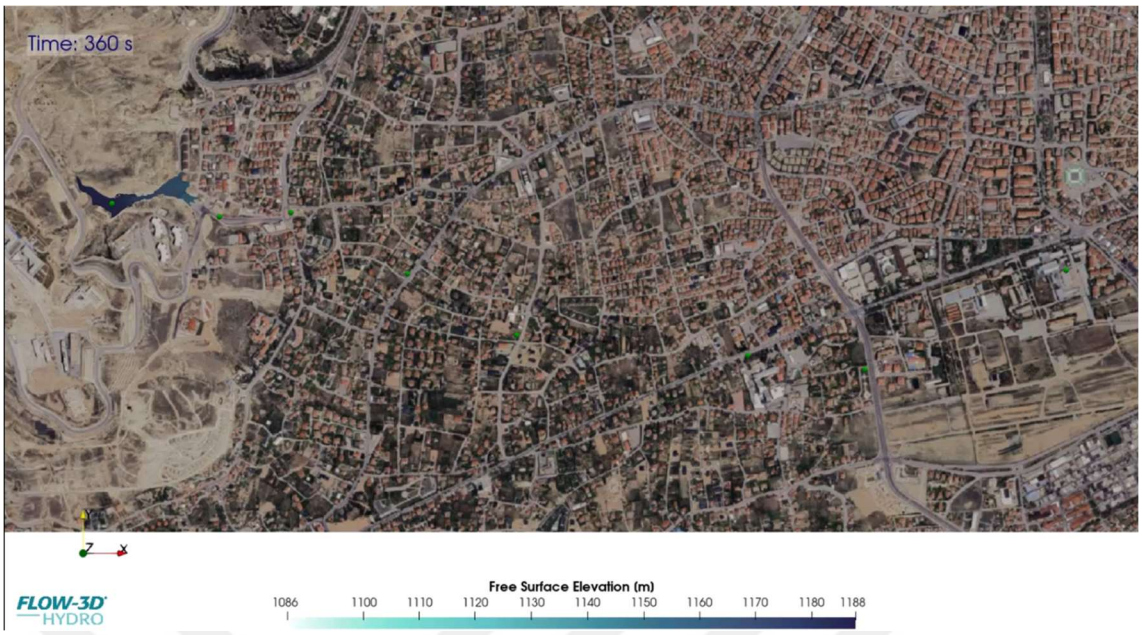
Şekil 6.13. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



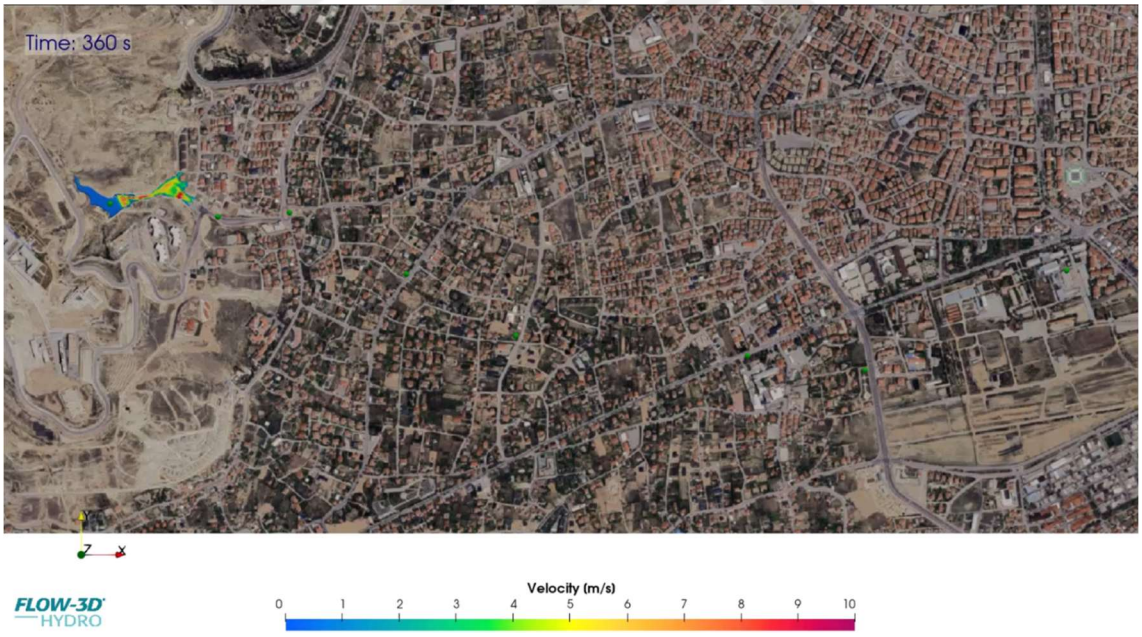
Şekil 6.14. 360. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



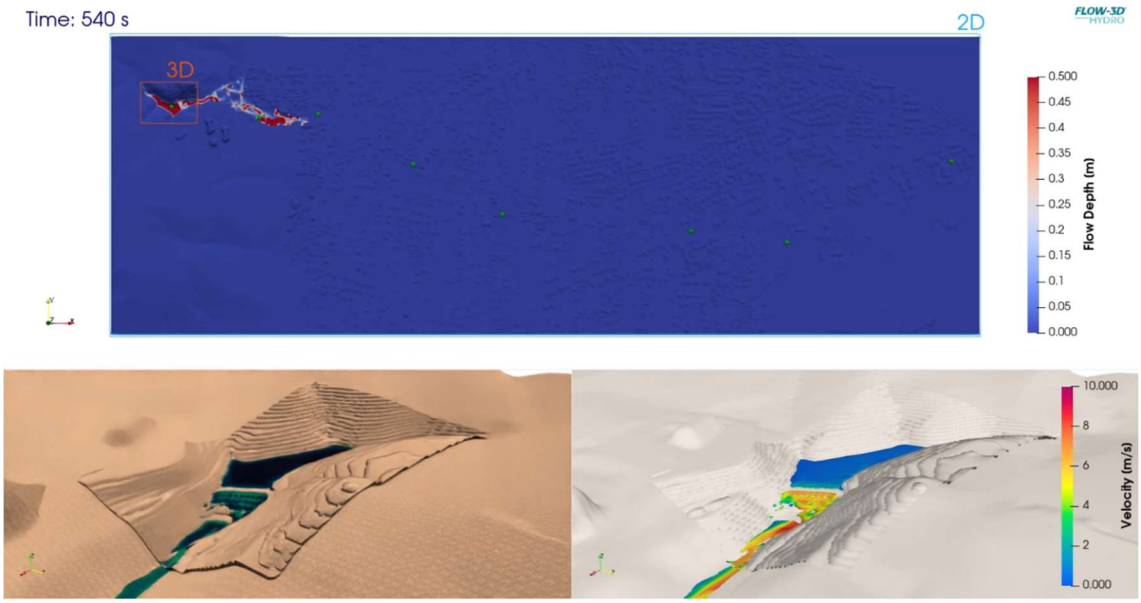
Şekil 6.15. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



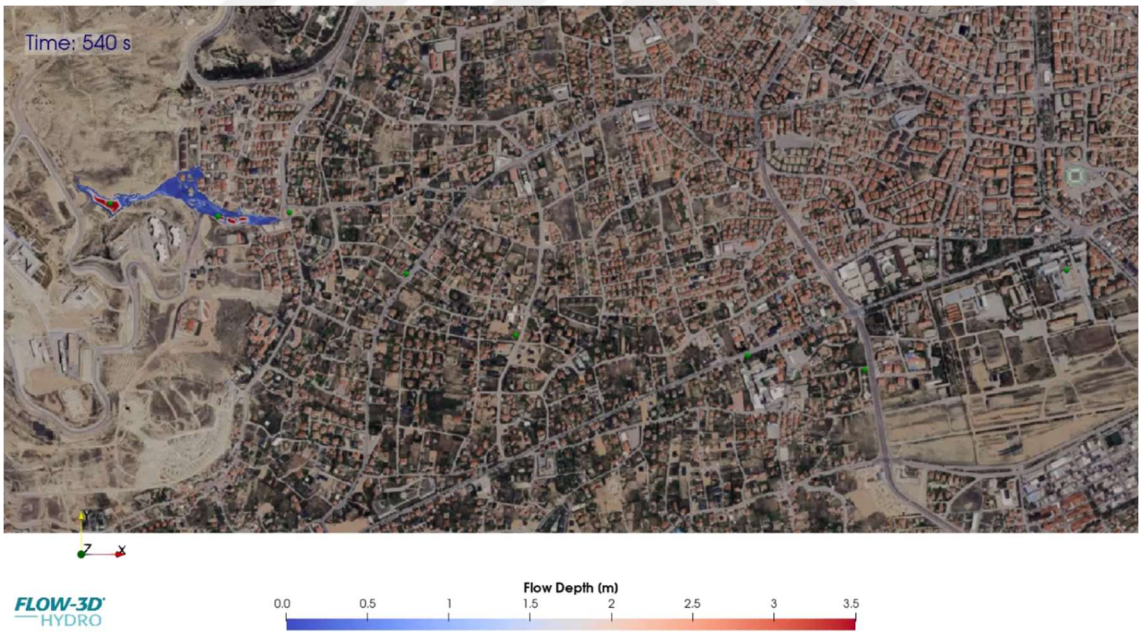
Şekil 6.16. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



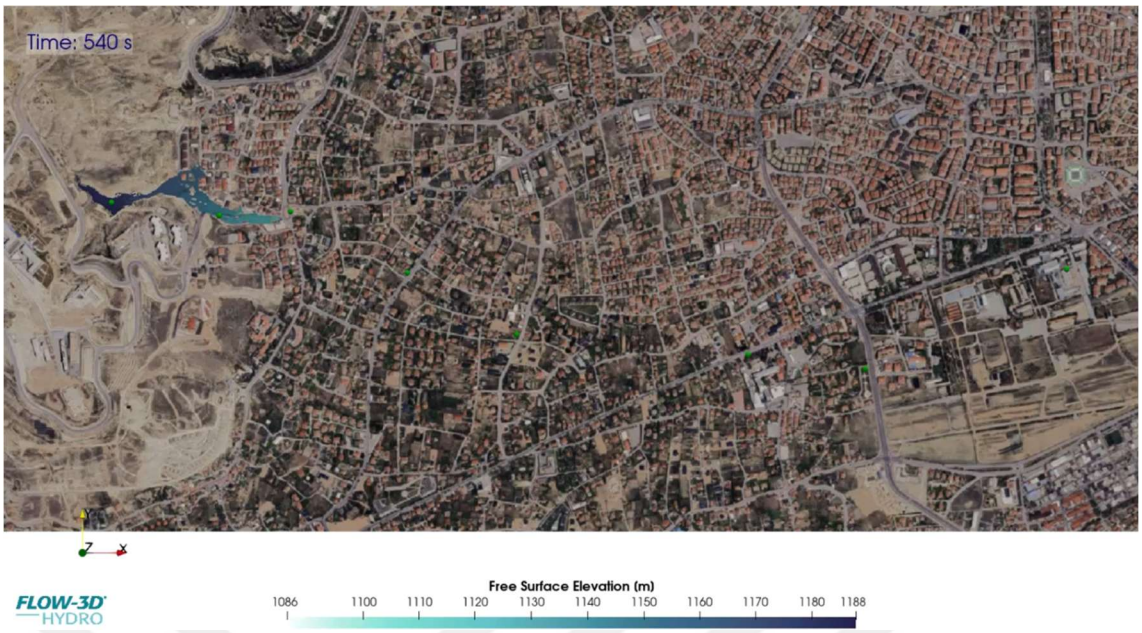
Şekil 6.17. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



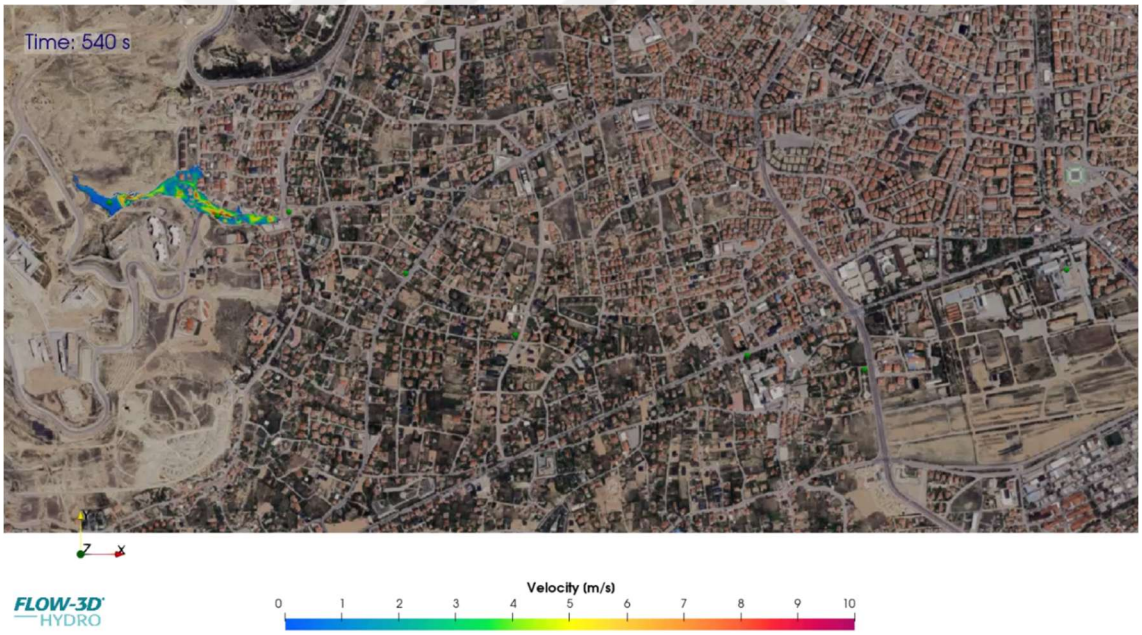
Şekil 6.18. 540. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



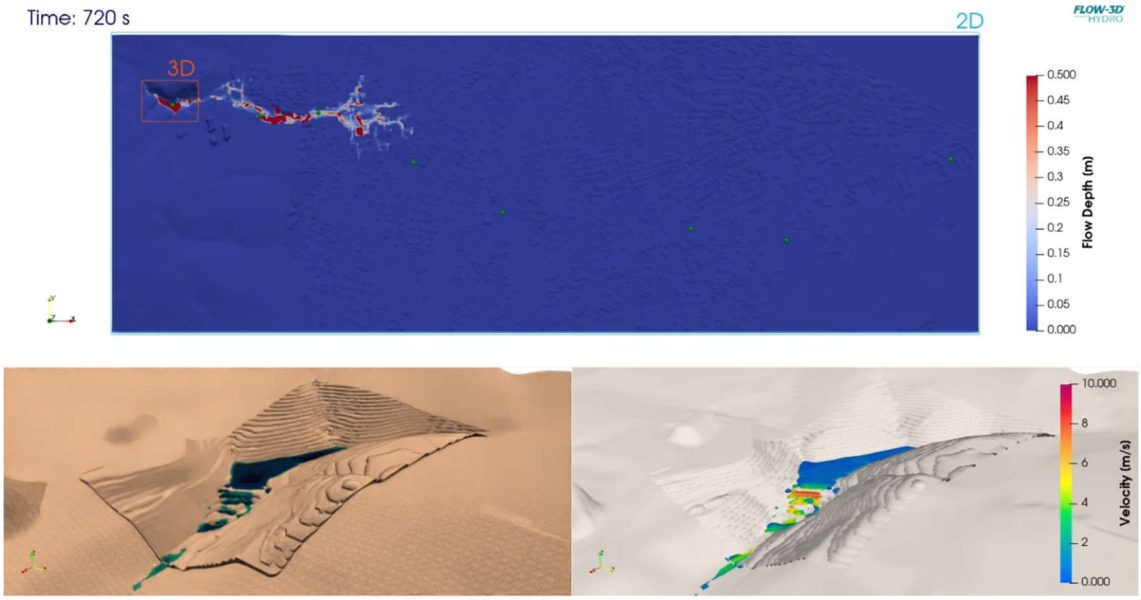
Şekil 6.19. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



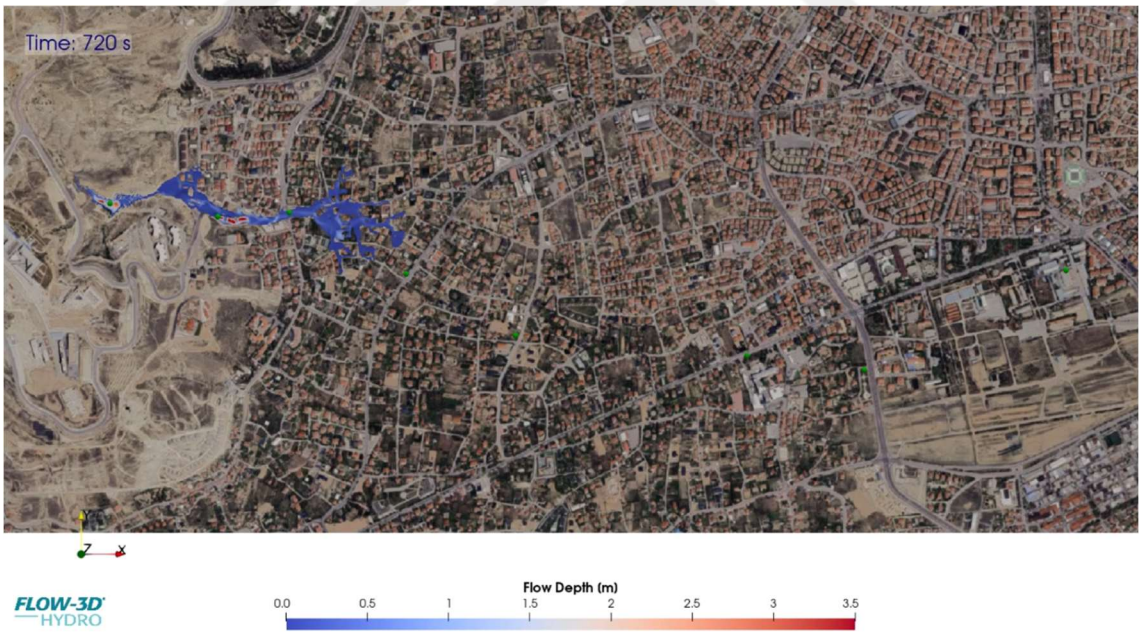
Şekil 6.20. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



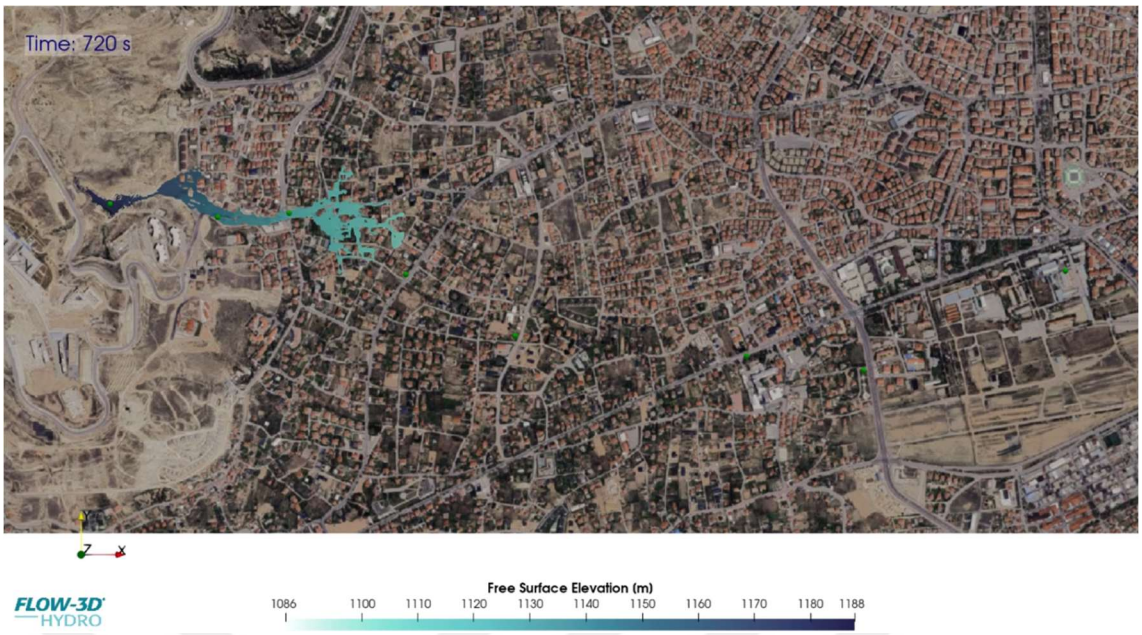
Şekil 6.21. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



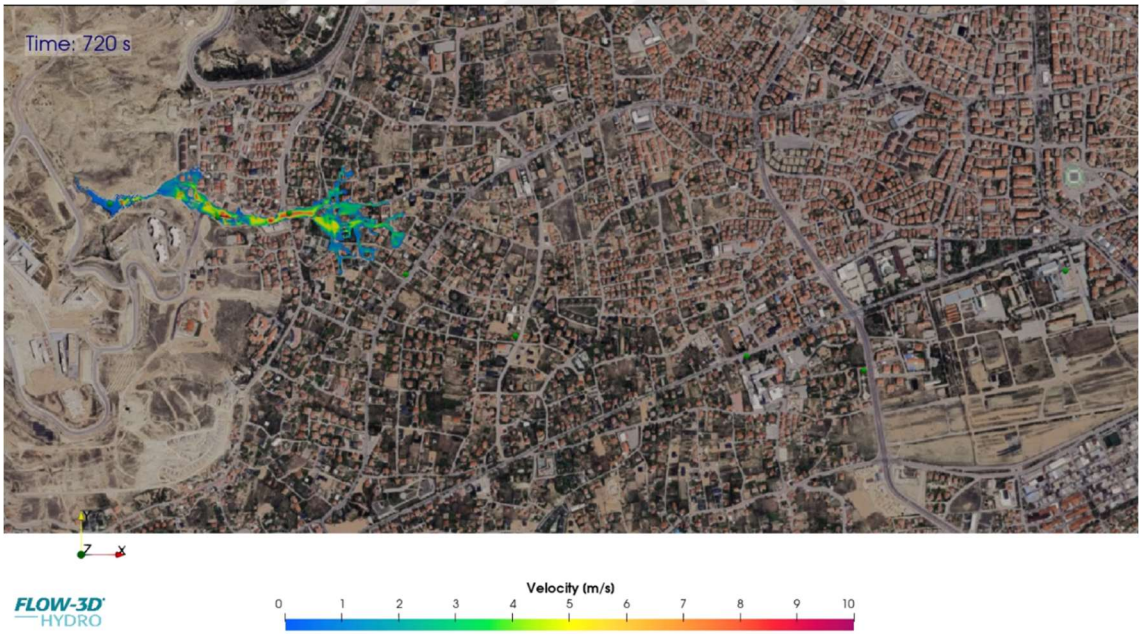
Şekil 6.22. 720. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



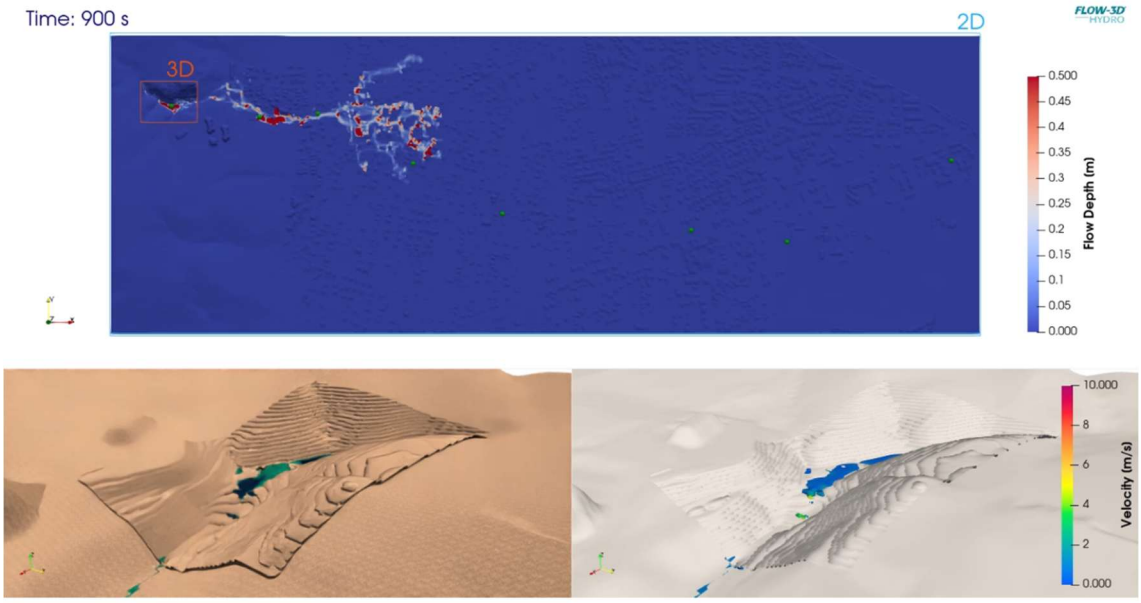
Şekil 6.23. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



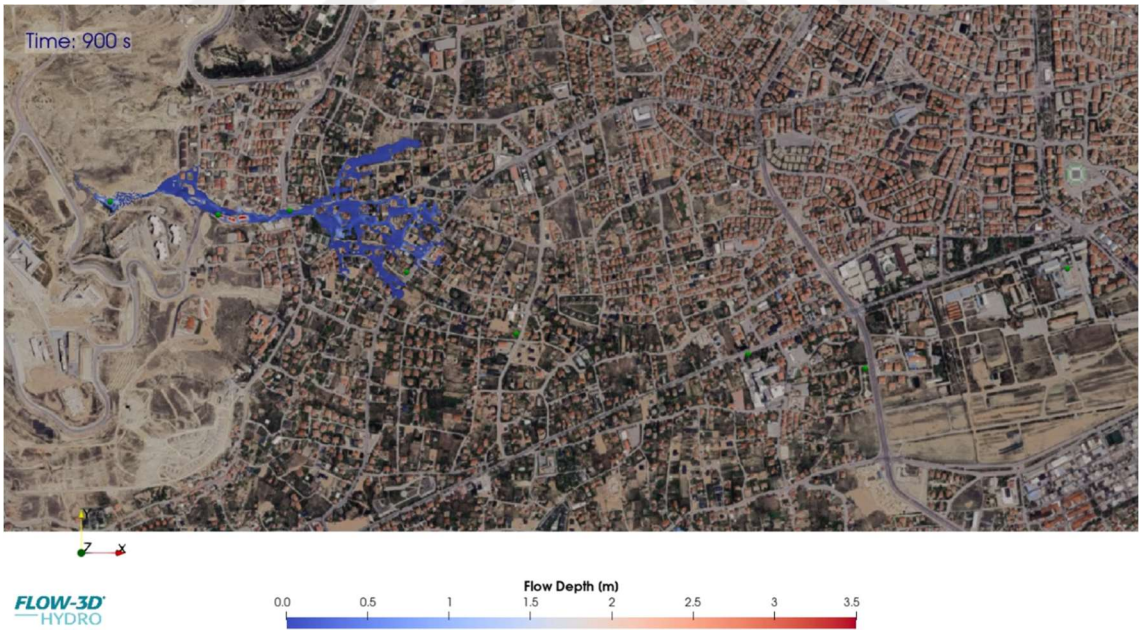
Şekil 6.24 .720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



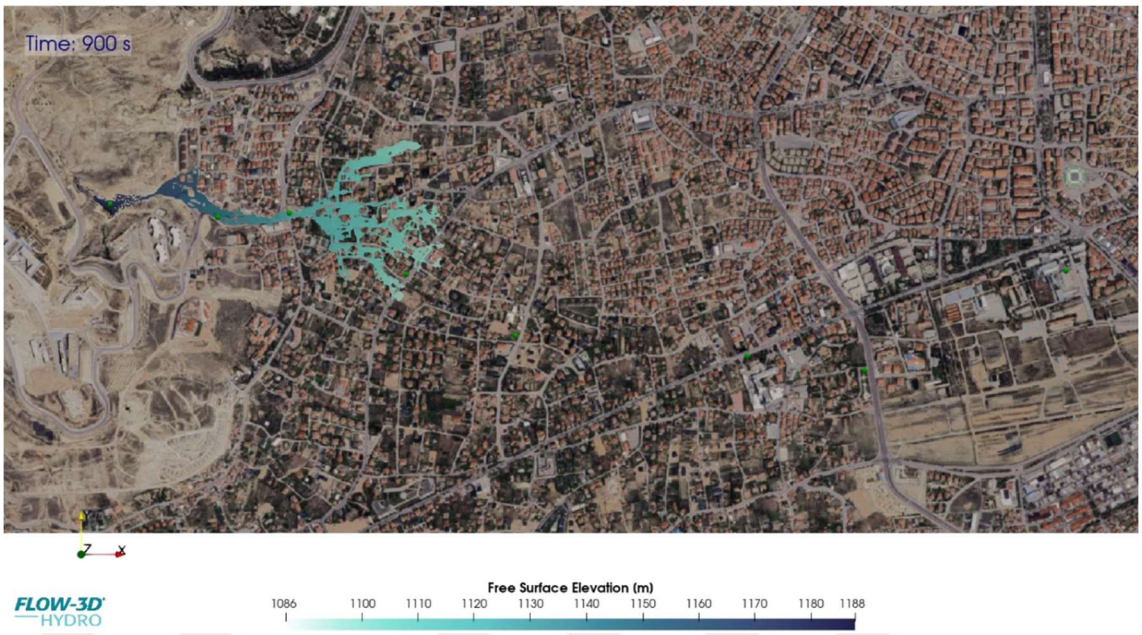
Şekil 6.25. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



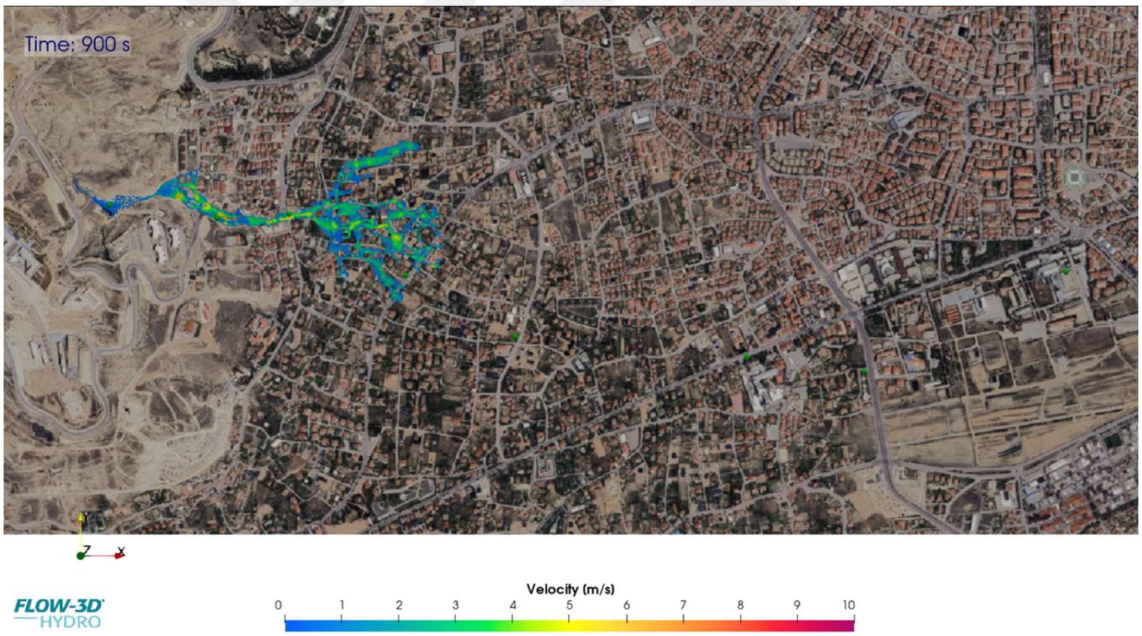
Şekil 6.26. 900. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



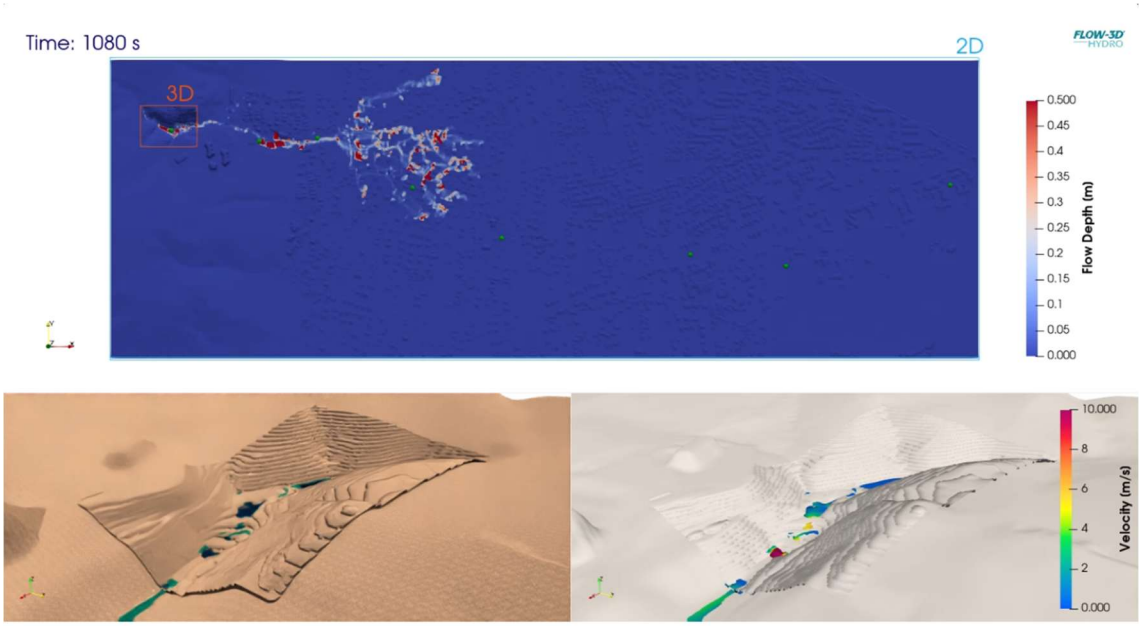
Şekil 6.27. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



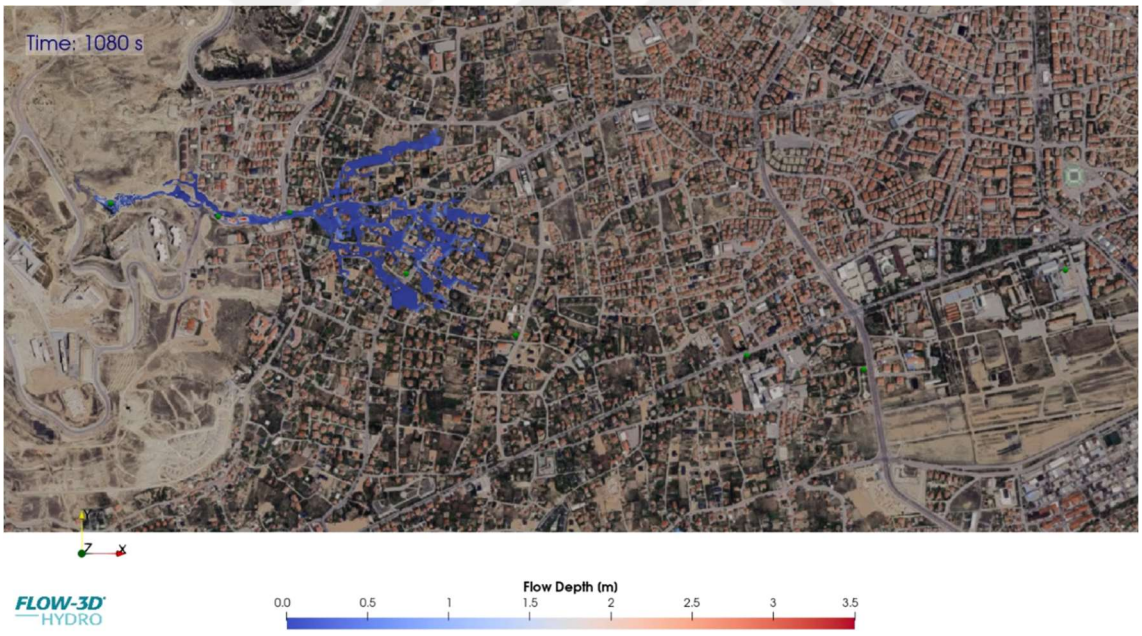
Şekil 6.28. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



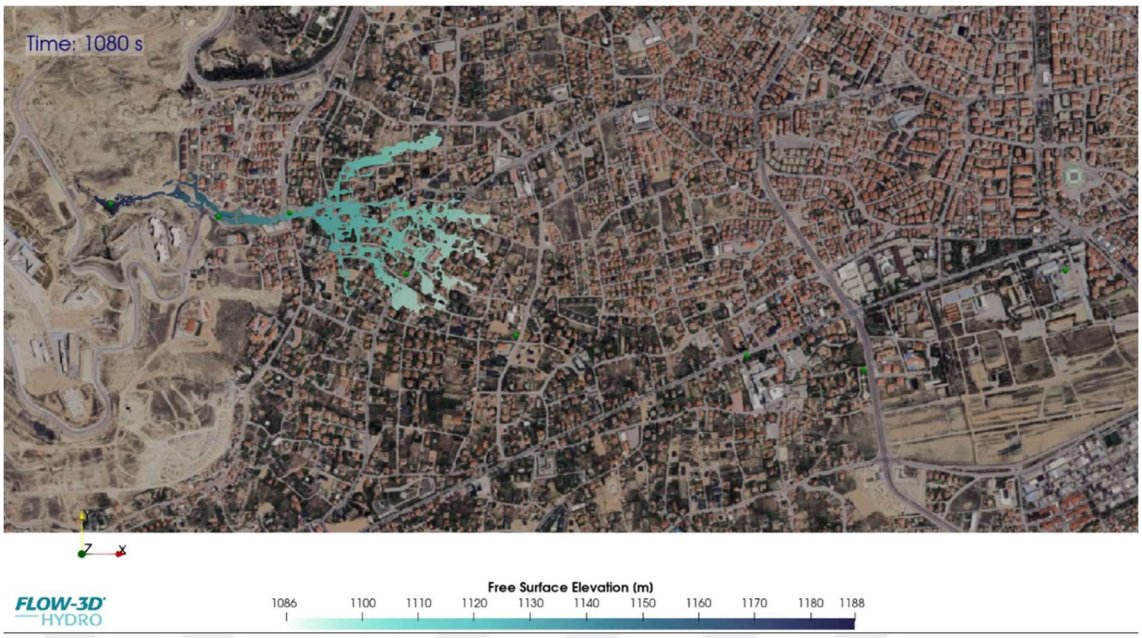
Şekil 6.29. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



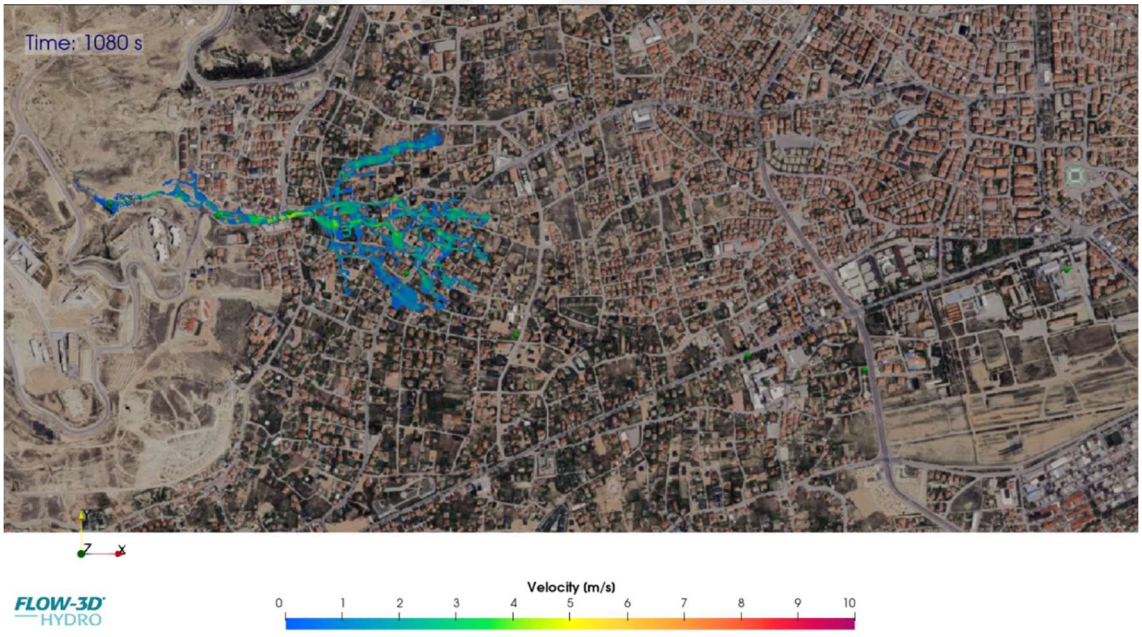
Şekil 6.30. 1080. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



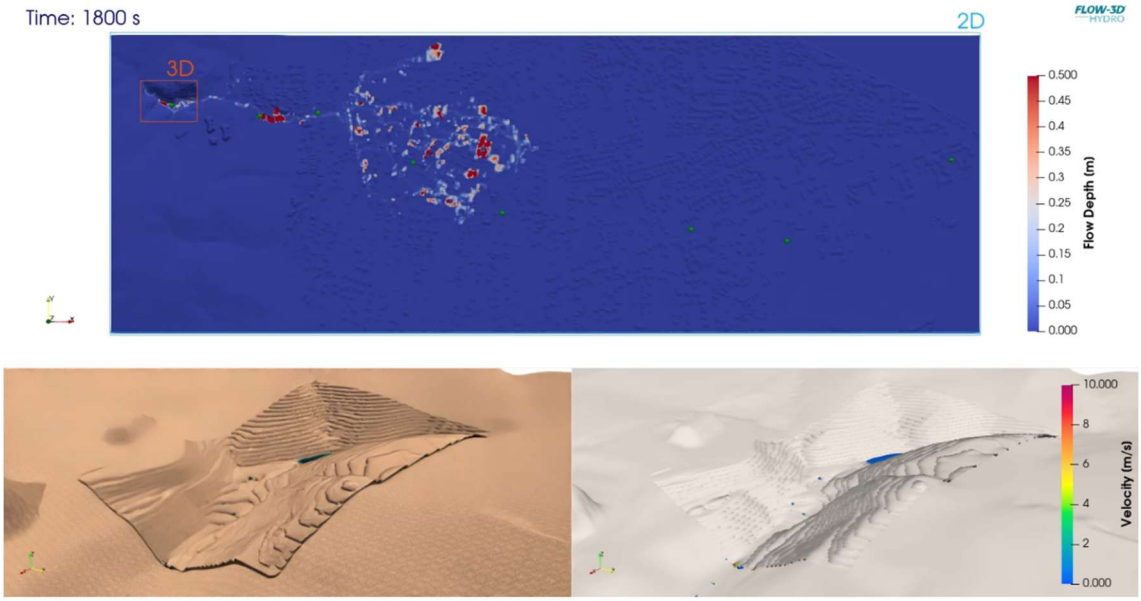
Şekil 6.31. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



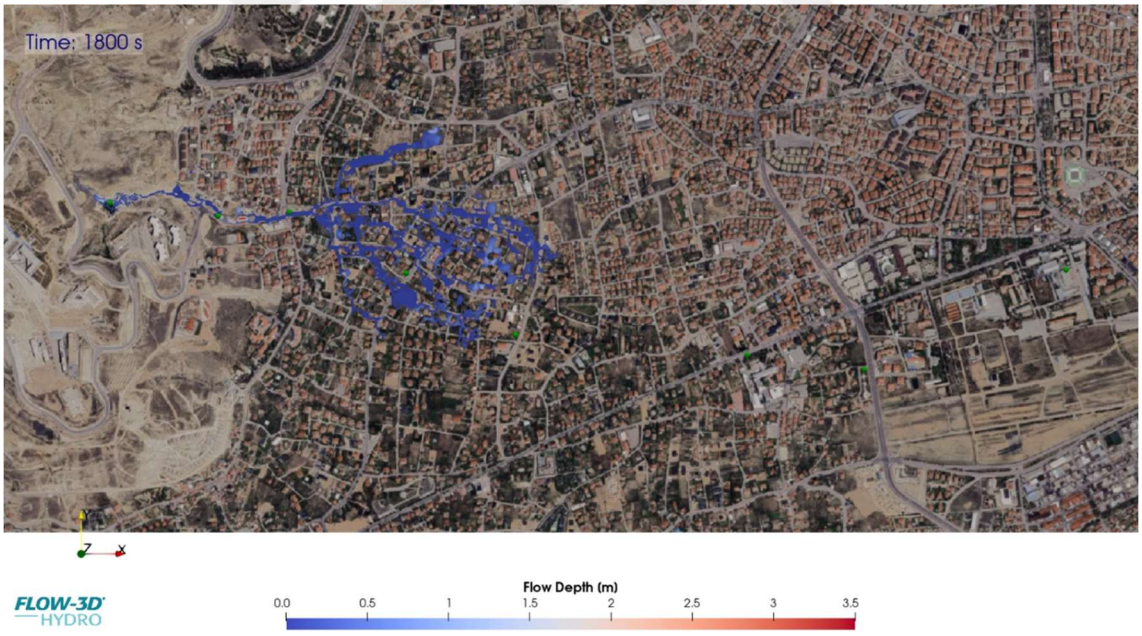
Şekil 6.32. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



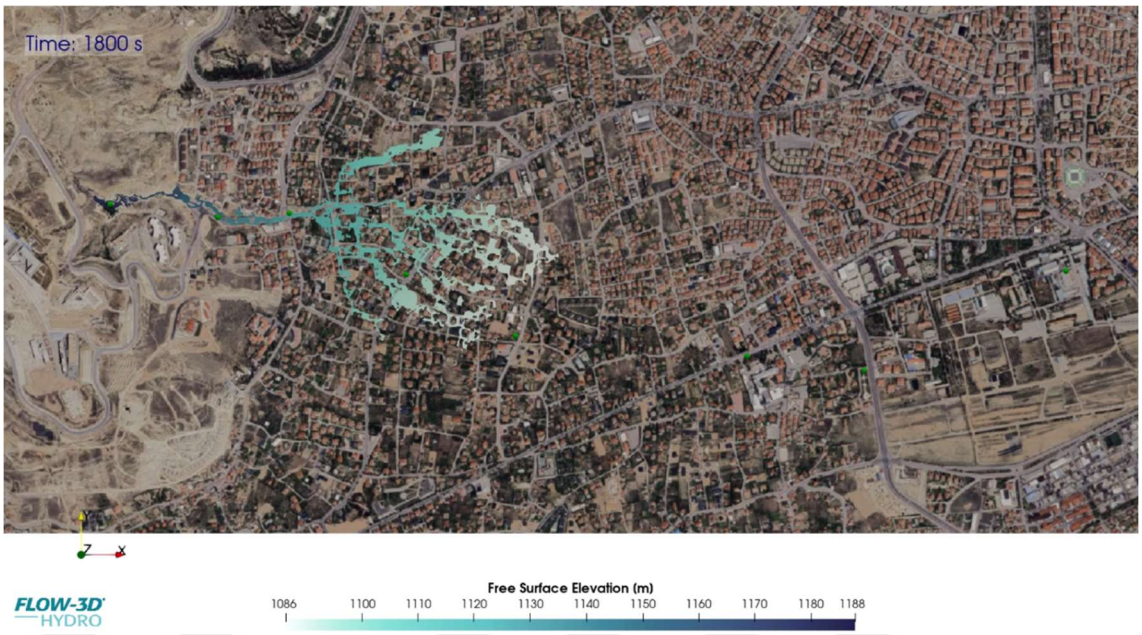
Şekil 6.33. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



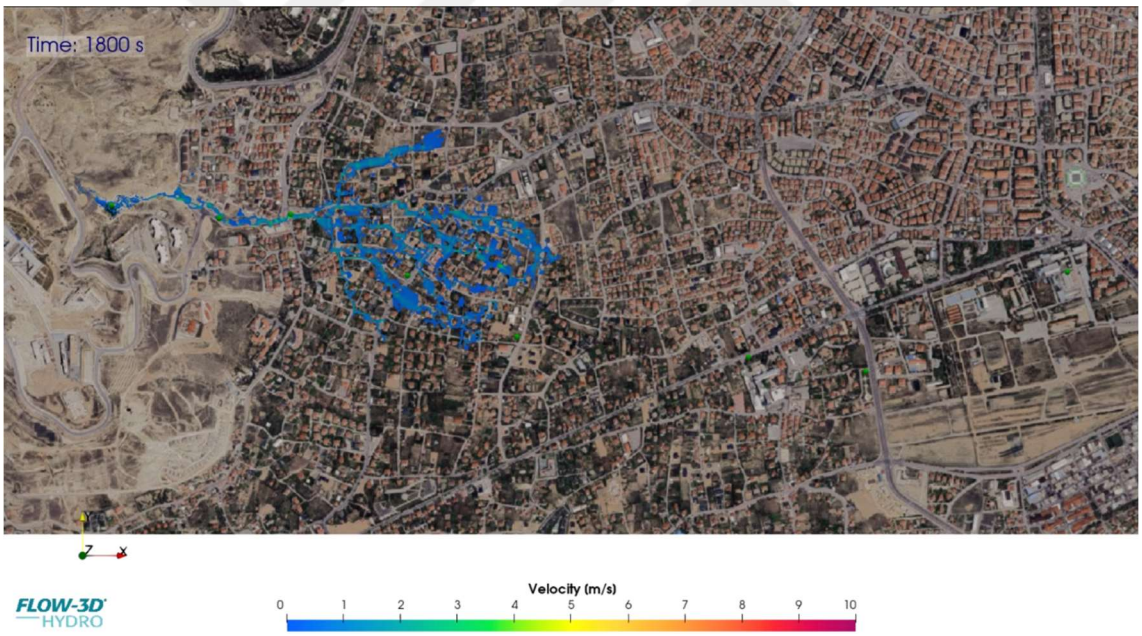
Şekil 6.34. 1800. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



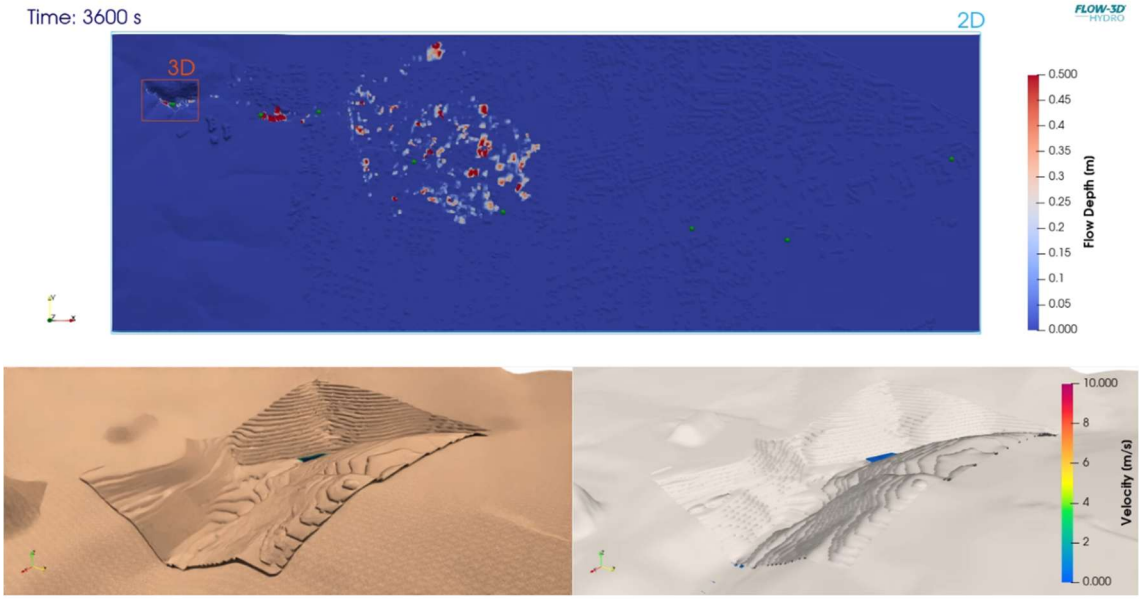
Şekil 6.35. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



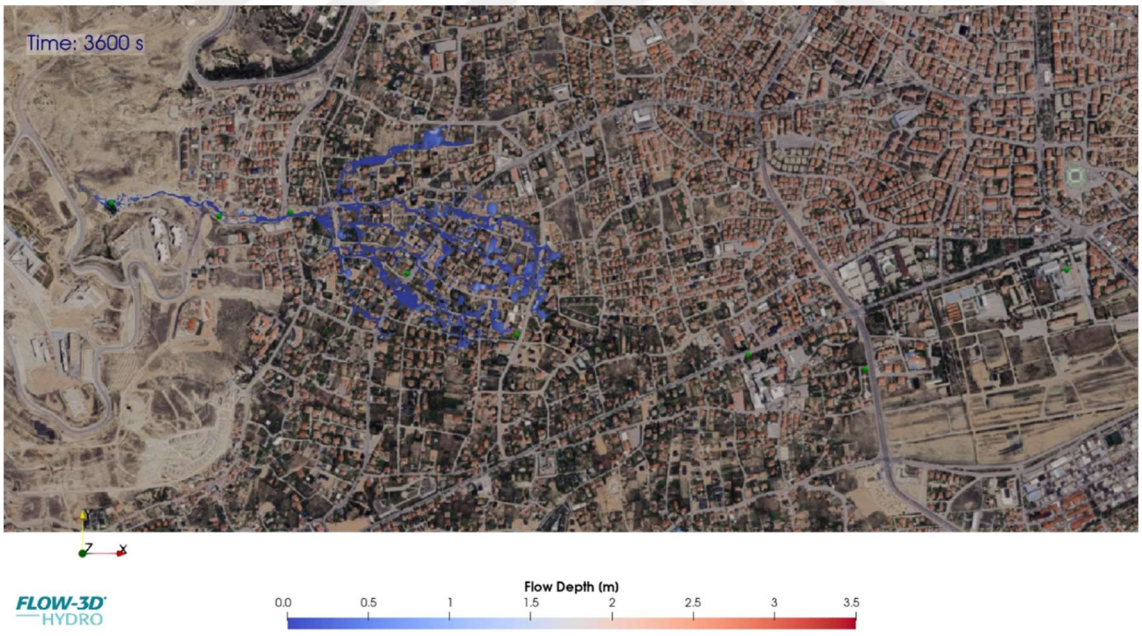
Şekil 6.36. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



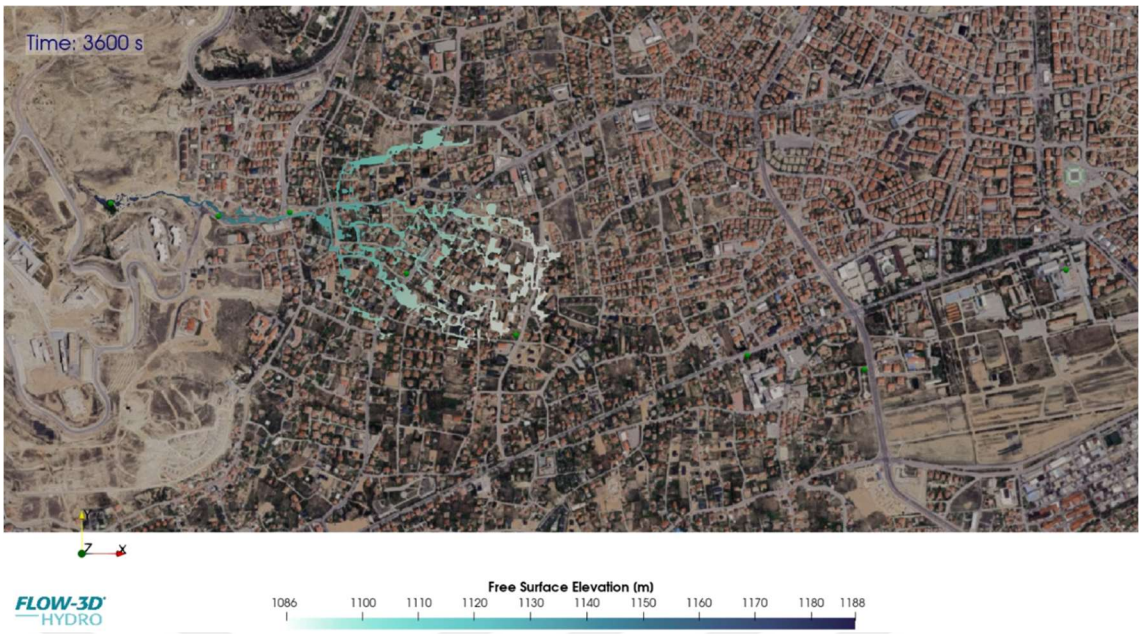
Şekil 6.37. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



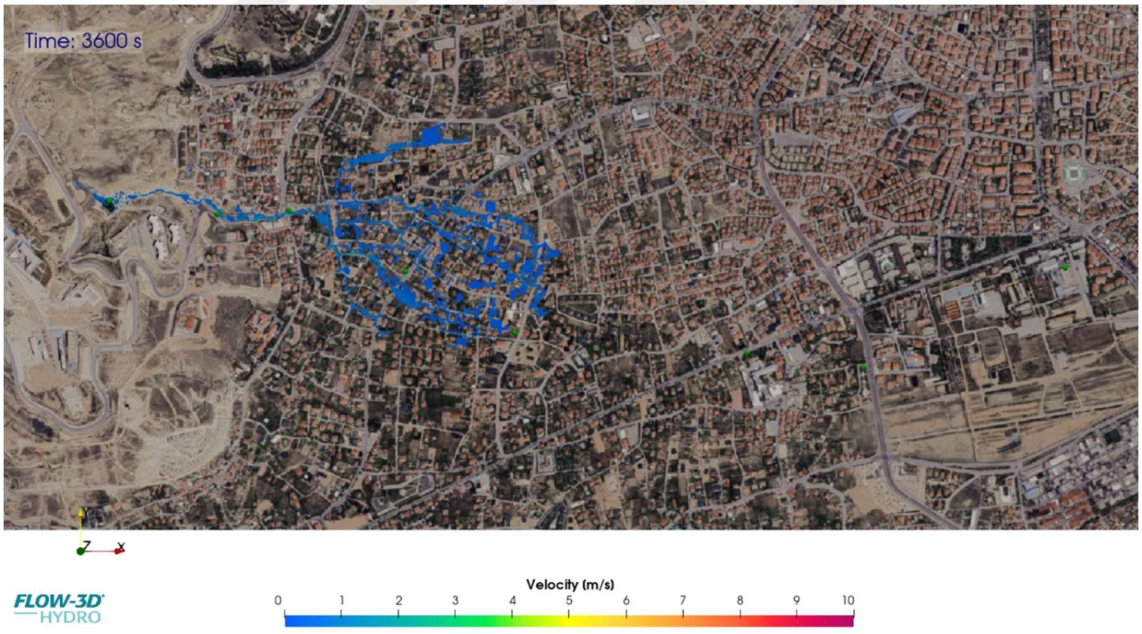
Şekil 6.38. 3600. sn'de 2B Yayılım ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım, Derinlik ve Hız Dağılımı



Şekil 6.39. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



Şekil 6.40. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



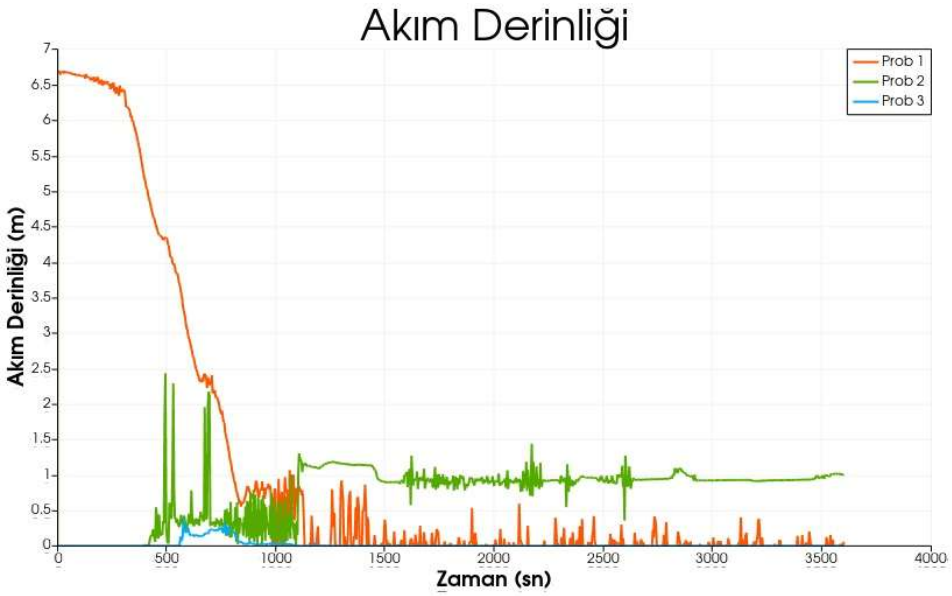
Şekil 6.41. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



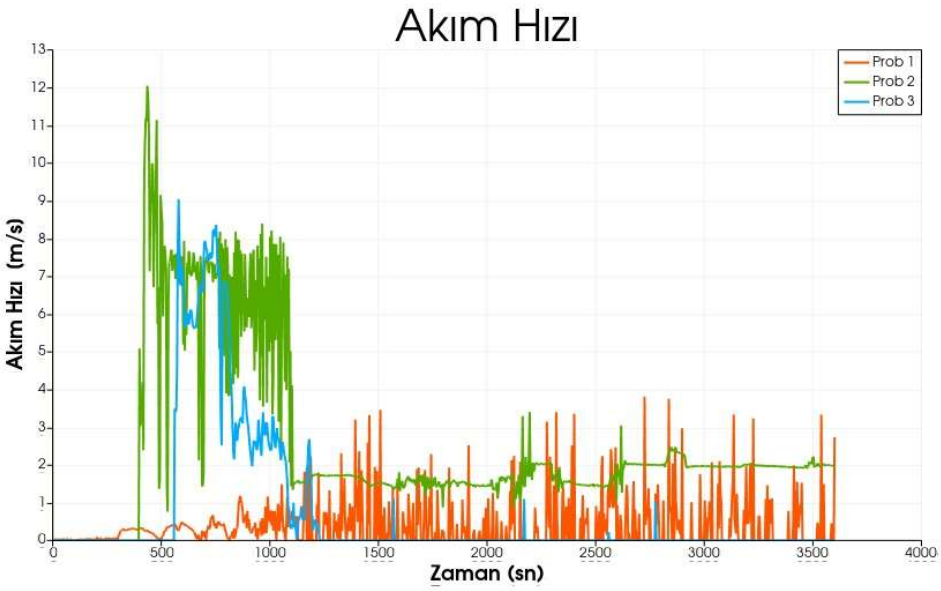
Şekil 6.42. FLOW-3D Taşkın analizinde önemli noktalara atılan prob noktaları

FLOW-3D simülasyonu kapsamında, kentsel taşkın dinamiğinin kapsamlı bir şekilde analiz edilebilmesi için sekiz adet prob noktası (Prob 1-Prob 8) belirlenmiştir.

Bu prob noktaları, akışın başlangıç koşullarından (Prob 1) son etki alanına (Prob 8) kadar olan tüm süreçteki su seviyesi, akış hızı ve debi değişimlerinin zamana bağlı olarak kaydedilmesine olanak tanımıştır.



Şekil 6.43. Prob Noktalarında Akım Derinliği-Zaman İlişkisi



Şekil 6.44. Prob Noktalarında Akım Hızı-Zaman İlişkisi

- Başlangıç aşamasında (Zaman: 0sn-180sn), FLOW-3D HYDRO simülasyon haritaları, kentsel alanda su derinliğinin ve akış hızının sıfır olduğunu net bir şekilde göstermektedir. Prob noktası verileri de bu durumu doğrulamakta; Prob 2 ve Prob 3'ün derinlik ve hız grafikleri bu periyotta sıfır değerlerini korurken, Prob 1'in derinlik grafiği baraj rezervuarının başlangıçtaki yüksek su seviyesini (yaklaşık 6,7 m) yansıtmaktadır. Bu durum, sel tehlikesinin henüz maruz kalan kentsel varlıklarla doğrudan etkileşime girmediği "tehlike" fazının başlangıcını temsil etmekte olup, riskin bu periyotta minimal olduğunu göstermektedir.

- Hızlı Yayılım ve Yüksek Dinamik Etki Aşaması (Zaman: 360sn- 720sn), baraj yıkılma selinin en dinamik ve potansiyel olarak en yıkıcı fazını temsil etmektedir. Harita görselleri, Zaman: 360. sn'den itibaren suyun kentsel alana hızla yayıldığını, derinliklerin genellikle 0,0-0,5 metre aralığında sığ kalmasına rağmen, akış hızı haritalarının gölet çıkışına yakın bölgelerde 4-7 m/s gibi oldukça yüksek değerlere ulaşan dinamik akışları gösterdiğini ortaya koymaktadır. Prob verileri bu durumu nicel olarak desteklemekte; Prob 2'nin yaklaşık 400 sn'den sonra derinlikte (yaklaşık 2,5 m'ye) ve hızda (yaklaşık 12 m/s'ye) dramatik bir artışla ana taşkın dalgasının varışını kaydetmesi, bu noktadaki aşırı hidrodinamik kuvvetleri vurgulamaktadır. Bu yüksek hız ve derinlik kombinasyonu,

insan güvenliği, araç stabilitesi ve bina/altyapı bütünlüğü açısından aşırı derecede yüksek bir tehlike oluşturmakta, yapısal hasar, temel oyulması ve can kaybı için en yüksek potansiyeli taşımaktadır.

- Su Basması ve Enerji Kaybı Aşaması (Zaman: 900sn- 1800sn), sel dalgası kentsel alanda daha geniş bir coğrafi alana yayılmaya devam ederken, dinamik etkilerde bir azalma gözlemlenmektedir. Harita görselleri, taşkın alanının önemli ölçüde genişlediğini, su derinliklerinin çoğunlukla 0,0-0,5 metre aralığında kaldığını, ancak akış hızı haritalarının hızların genel olarak düşüş eğiliminde olduğunu (çoğunlukla 0-3 m/s aralığı) göstermektedir. Prob verileri bu enerji kaybını doğrulamakta; Prob 2'nin derinlik ve hız değerlerinin zirve noktalarından düşerek daha stabil seviyelere inmesi (sırasıyla 0,8-1,2 m ve 1,5-2,5 m/s), Prob 3'ün ise hızla düşerek çok düşük seviyelere inmesi (0,0-0,2 m derinlik ve 0,0-0,5 m/s hız) bu durumu desteklemektedir. Bu aşamada, hızların düşmesiyle insan ve araç güvenliği riski orta seviyeye inerken, geniş alanlardaki su basması binalarda hafif ila orta derecede iç hasara neden olmaya devam etmekte ve su basma süresinin uzamasıyla küf oluşumu ve elektrik hasarı riski artmaktadır.

- Maksimum Yayılım ve Durgunlaşma Aşaması (Zaman: 3600sn), Simülasyonun sonunu (1 saat) temsil eden bu aşamada, harita görselleri taşkın suyunun ulaşabileceği en geniş alana yayıldığını, ancak su derinliklerinin genel olarak sığ (0,0-0,5m aralığında) ve akış hızlarının büyük ölçüde düşerek (çoğunlukla 0-2 m/s aralığı) suyun büyük ölçüde durgunlaştığını göstermektedir. Tüm prob noktalarındaki derinlik ve hız değerleri düşük seviyelerde seyretmekte, bu da selin bu noktalar için büyük ölçüde çekildiğini veya durgunlaştığını doğrulamaktadır. Bu durum, selin dinamik tehlikesinin azaldığı, ancak yaygın su basmasının uzun vadeli etkileri ve ikincil risklerin ön plana çıktığı bir durumu temsil eder. Bu aşamada insan ve araç güvenliği riski düşük ila orta seviyeye inerken, geniş alanlardaki sığ su basması binalarda yaygın iç hasara ve temizlik maliyetlerine yol açmaya devam etmekte, ekonomik kayıplar ve iş kesintileri belirginleşmektedir.

6.3. FLOW-3D (Q100 Yağış ile Koruma Göletinin Yıkılması)

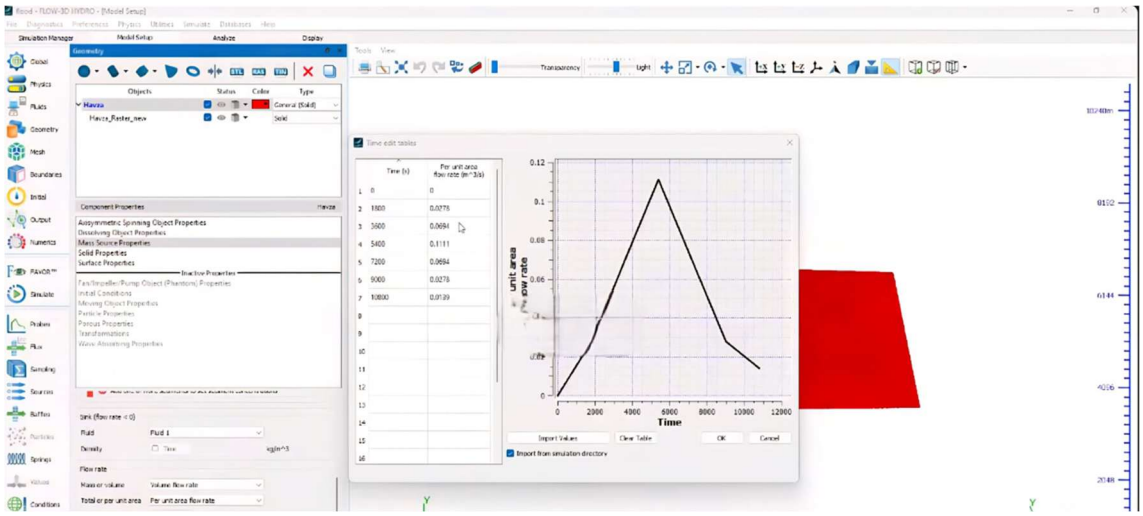
Bu bölümde, ekstrem Q100 yağış etkisi altında göletin dolusavak kapasitesinin yetersiz kalması sonucu meydana gelen taşkın senaryosu incelenmiştir. Daha önceki bölümlerde detaylandırılan modelleme prensipleri ve malzeme özelliklerine dayanarak, FLOW-3D HYDRO yazılımı ile 0–3600 sn'lik bir zaman dilimini kapsayan sayısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Simülasyonun ilk 1800 saniyesinde yağışa bağlı taşkın gelişimi, 1800. sn'den itibaren ise gövde üzerinden aşan suyun etkisiyle göletin yıkılması modellenmiştir. Elde edilen sonuçlar; akım hızı, akım derinliği ve zamansal-mekânsal yayılım açısından değerlendirilmiş, bulgular prob noktalarındaki gözlemlerle desteklenerek yorumlanmıştır.



Şekil 6.45. FLOW-3D programında tanımlanan havza alanı

FLOW-3D modellemesinin temelini oluşturan tanımlanmış havza alanını göstermektedir. Taşkın koruma göletinin beslenme alanı olarak belirlenen bu bölge, topografik veriler üzerinden modellenmiştir. Modelleme içerisinde mavi ile vurgulanan kısım, su akışının hesaplanacağı ve hidrolik etkileşimlerin inceleneceği çalışma alanını tanımlamaktadır.

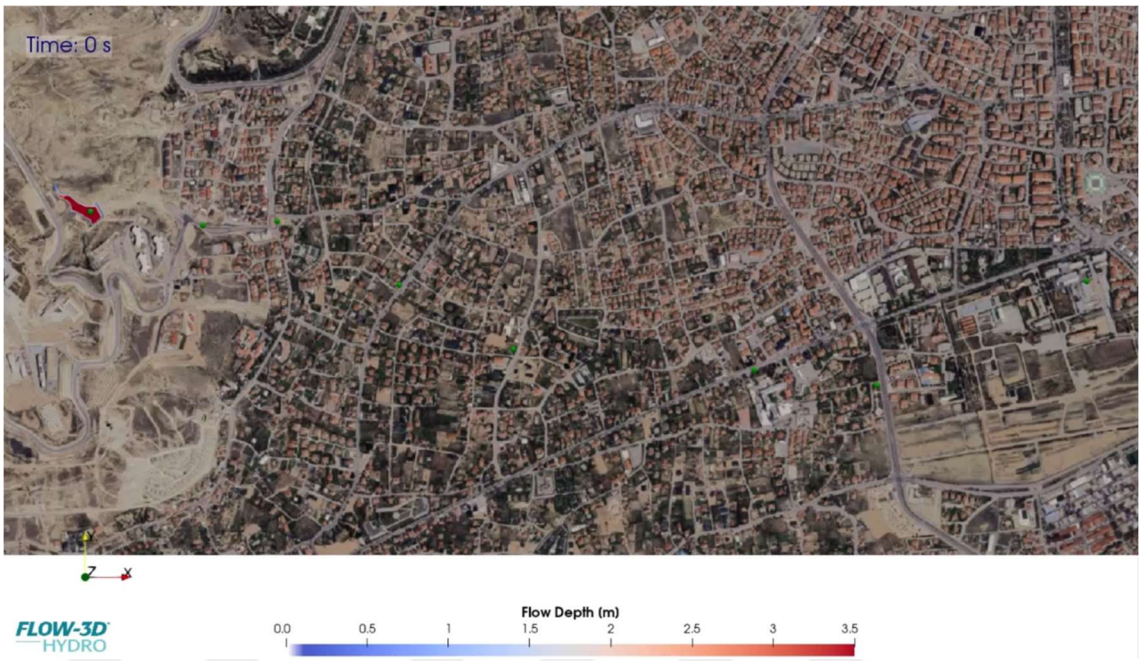


Şekil 6.46. FLOW-3D programına birim hidrograf değerlerinin tanımlanması

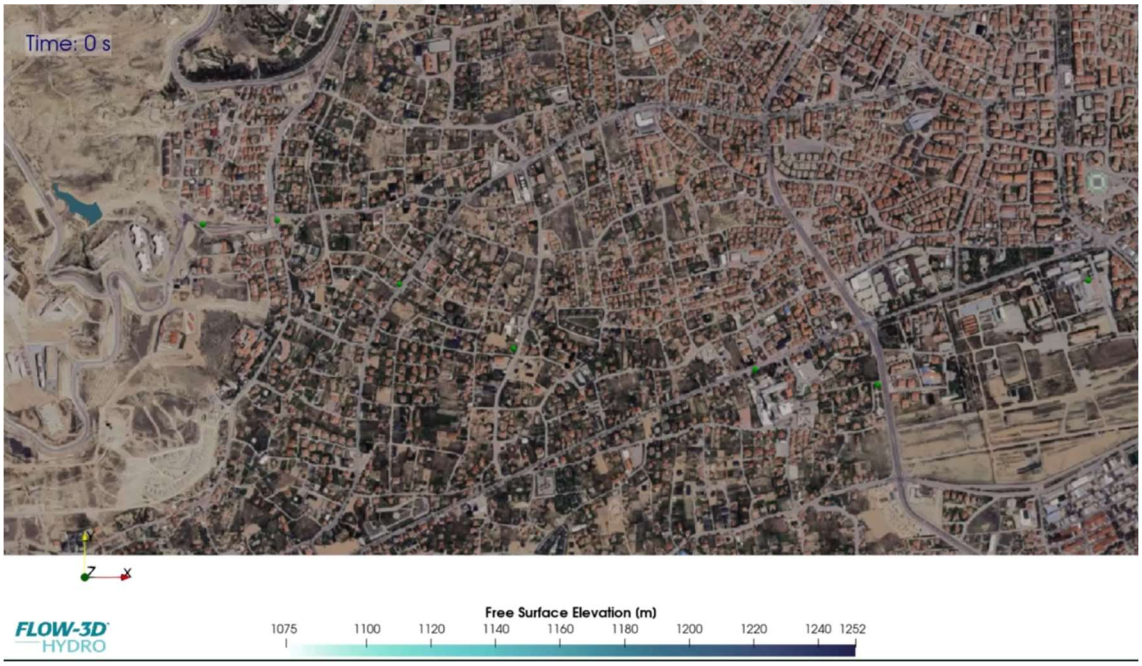
Q100 yağış senaryosu altında havza girdisini sağlamak amacıyla birim hidrograf değerlerinin FLOW-3D programına entegrasyonunu göstermektedir. Tanımlanan bu dinamik hidrolojik girdi, simülasyon boyunca gölet sistemine uygulanan yüzeysel akış miktarının zamansal değişimini belirleyerek, taşkın gelişiminin ve gölet yıkılma dinamiklerinin gerçekçi bir şekilde modellenmesine temel teşkil etmiştir.

FLOW-3D programı ile 3600. saniyeye kadar analiz yapılmıştır. 0.(Şekil 6. 47-.50), 180.(Şekil 6. 51-54), 360.(Şekil 6. 55-58), 540.(Şekil 6. 59-62), 720.(Şekil 6. 63-66), 900.(Şekil 6. 67-70), 1080.(Şekil 6. 71-74), 1800.(Şekil 6. 75-78), 2160.(Şekil 6. 79-82), 2520.(Şekil 6. 83-86), 2880.(Şekil 6. 87-90), 3240.(Şekil 6. 91-94) ve 3600.(Şekil 6. 95-98) saniye anlarındaki durumlarını göstermektedir.

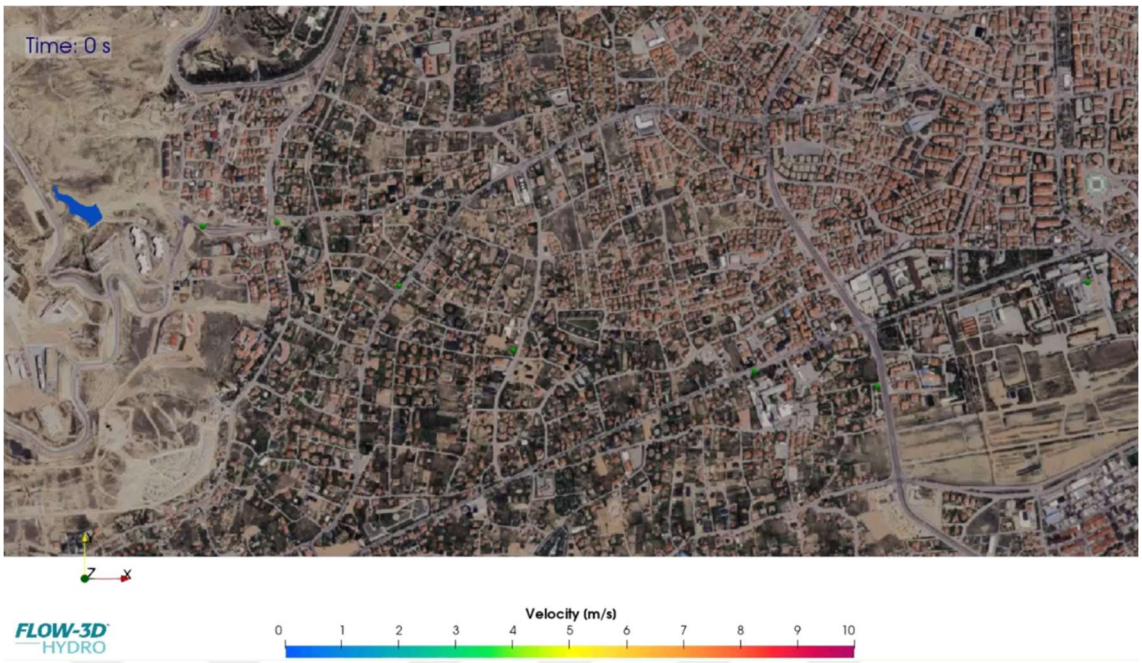
Şekil 6. 78'de göründüğü gibi 1800. sn'de taşkın koruma göleti göçmeye başlamış ve Şekil 6. 86'da gösterildiği gibi 2340. sn'de taşkın koruma göleti tamamen yıkılmıştır.



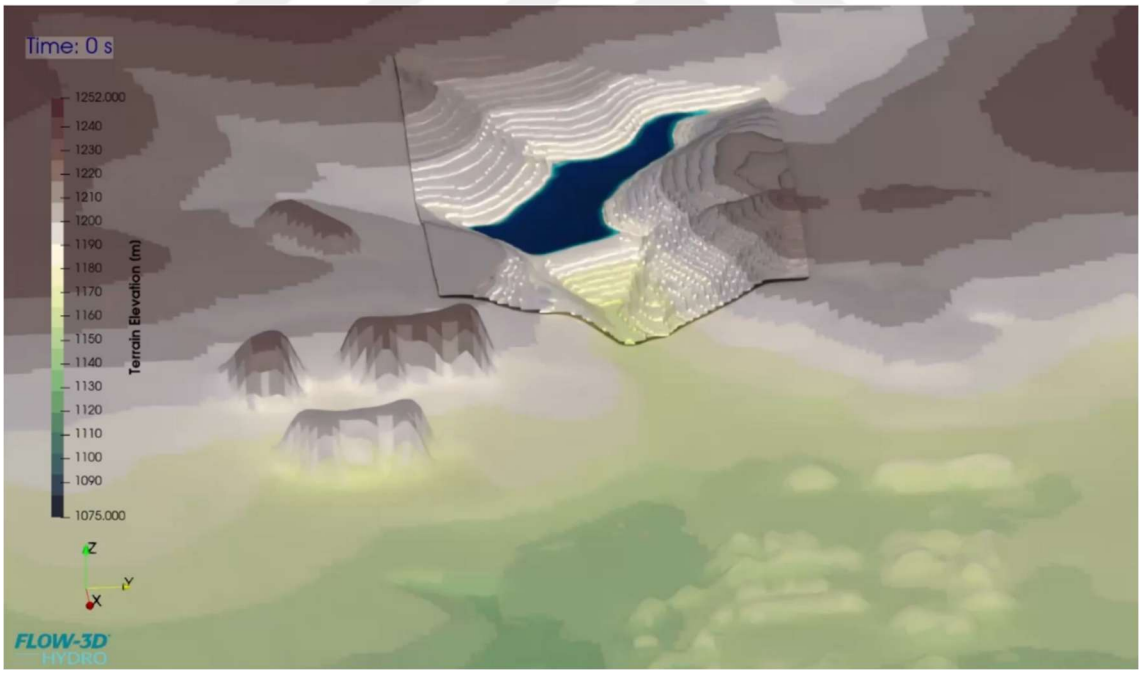
Şekil 6.47. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



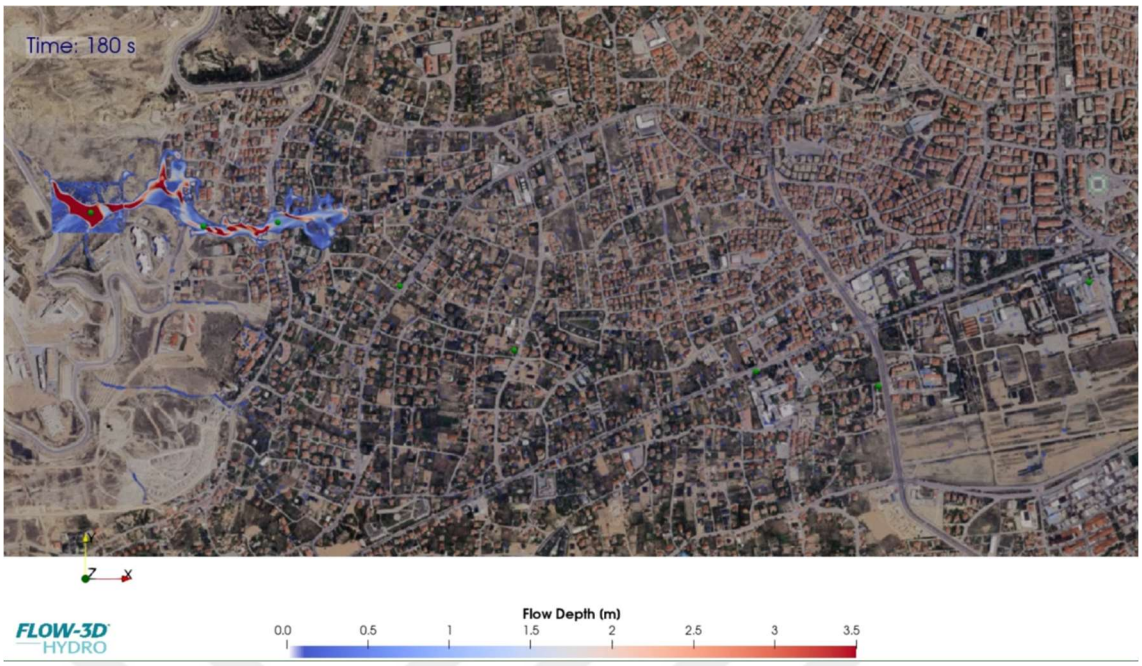
Şekil 6.48. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



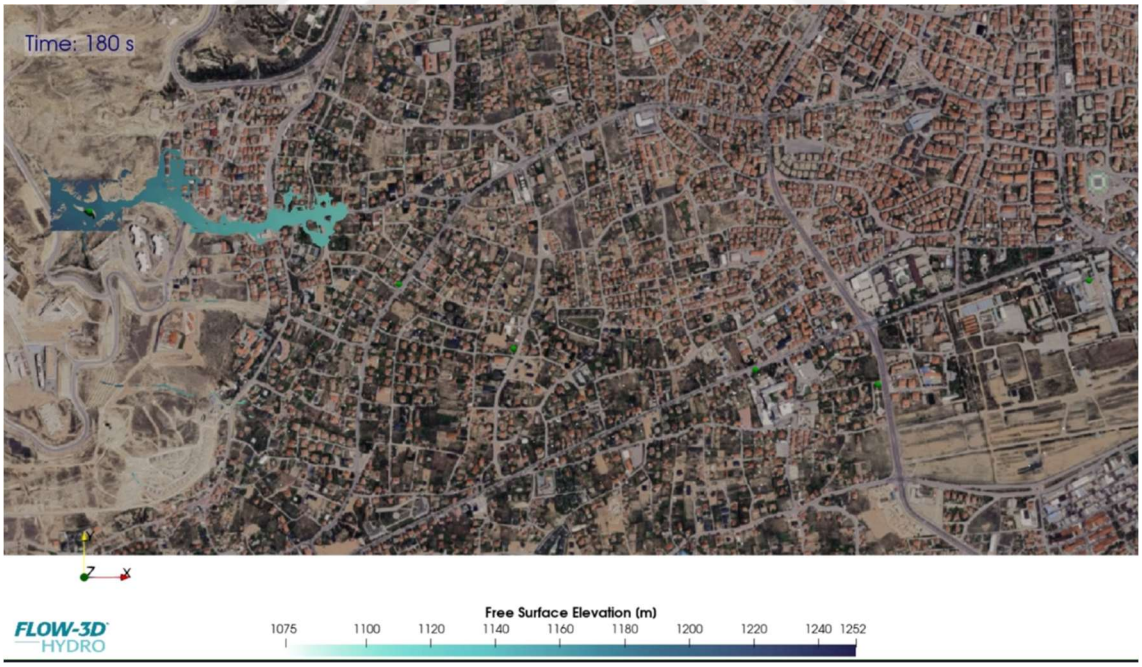
Şekil 6.49. 0. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



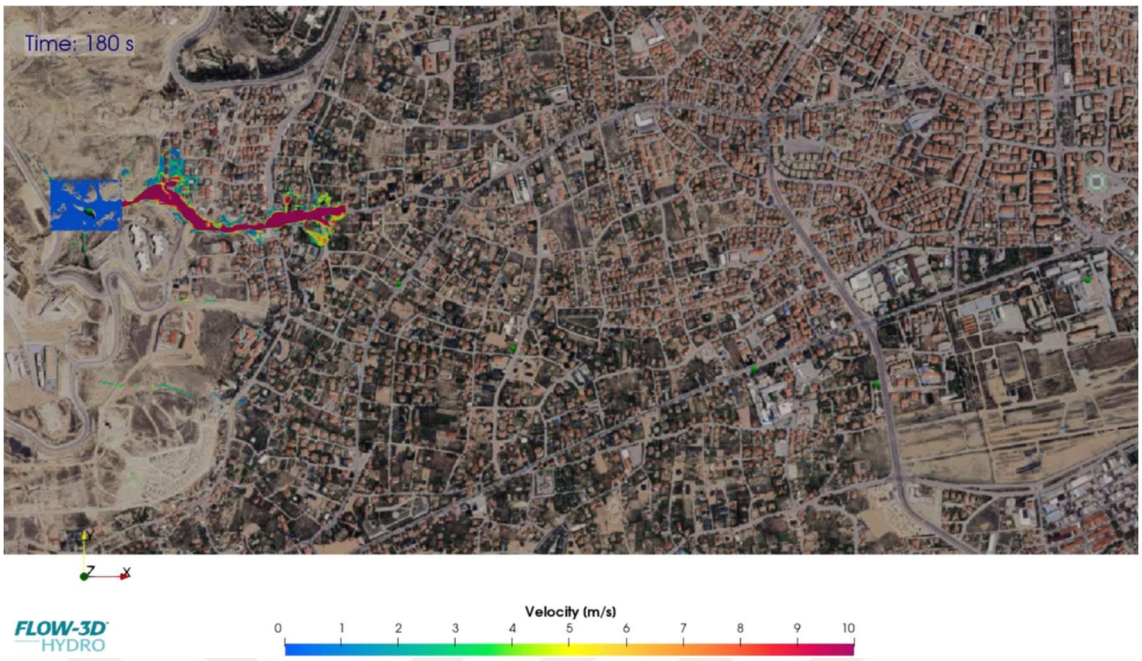
Şekil 6.50. 0. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



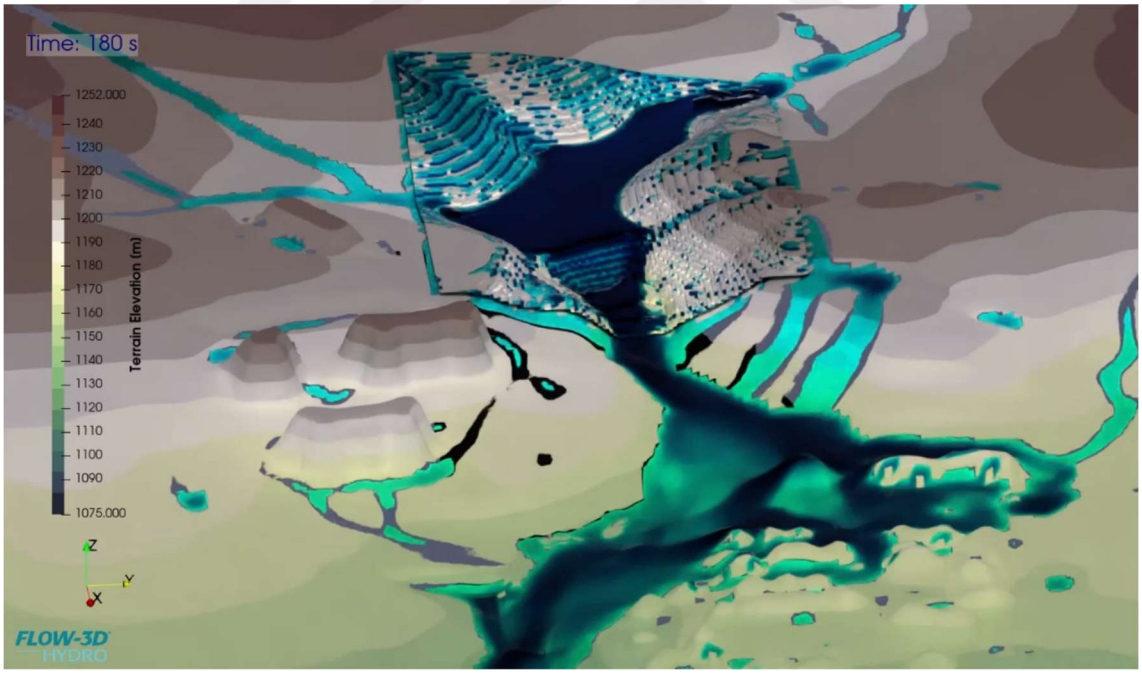
Şekil 6.51. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



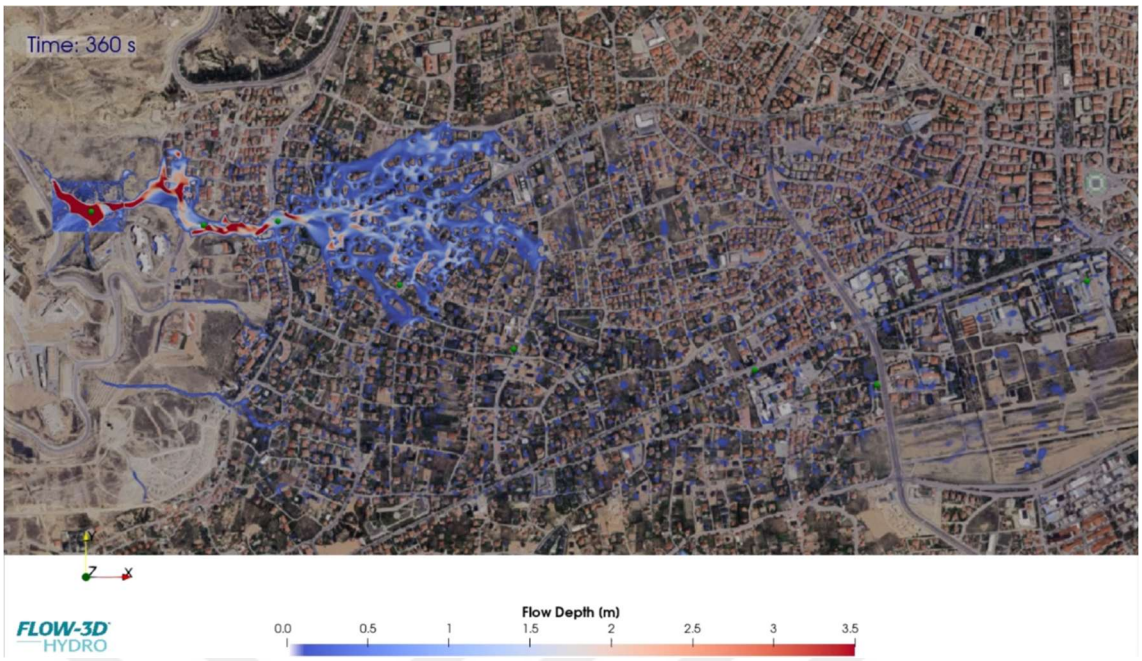
Şekil 6.52. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



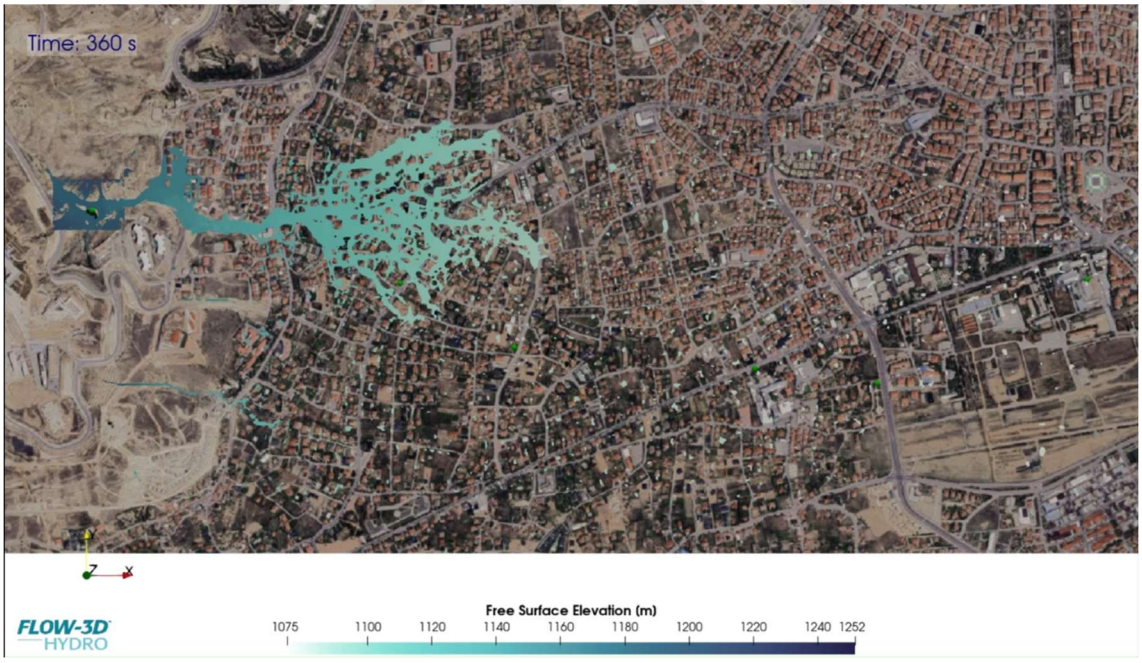
Şekil 6.53. 180. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



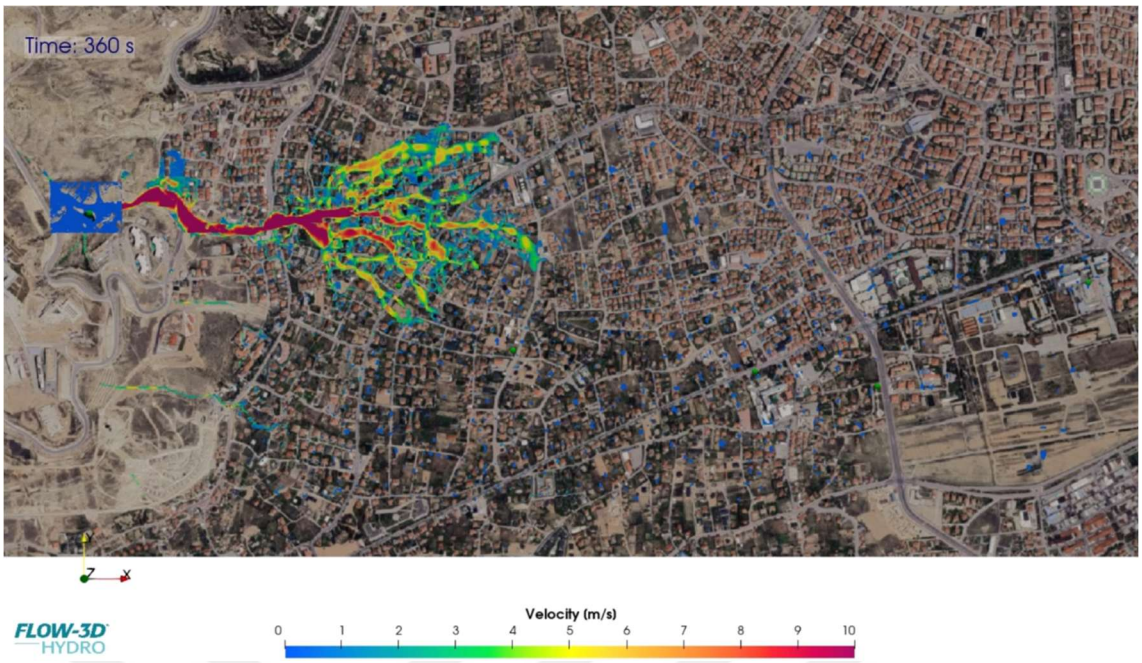
Şekil 6.54. 180. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



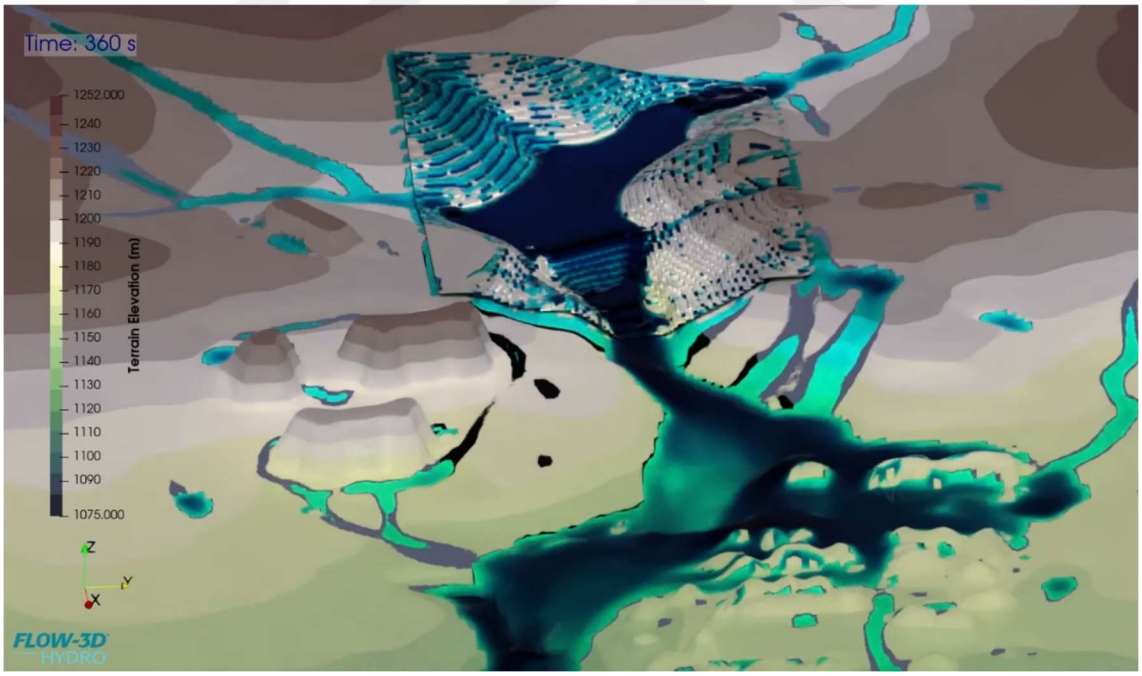
Şekil 6.55. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



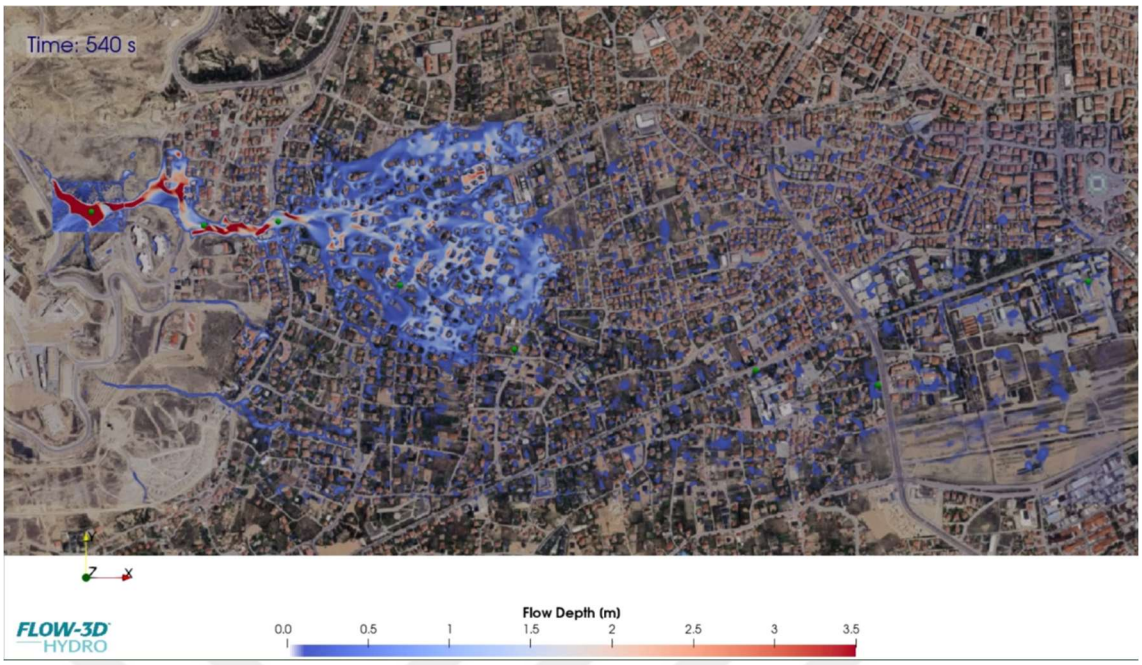
Şekil 6.56. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



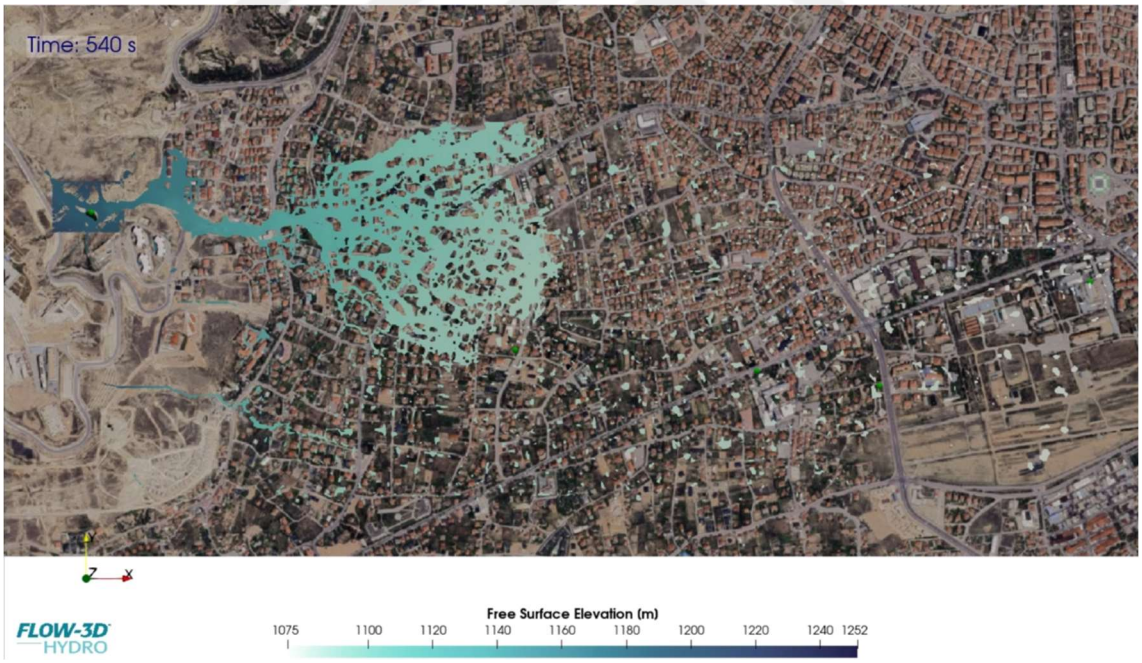
Şekil 6.57. 360. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



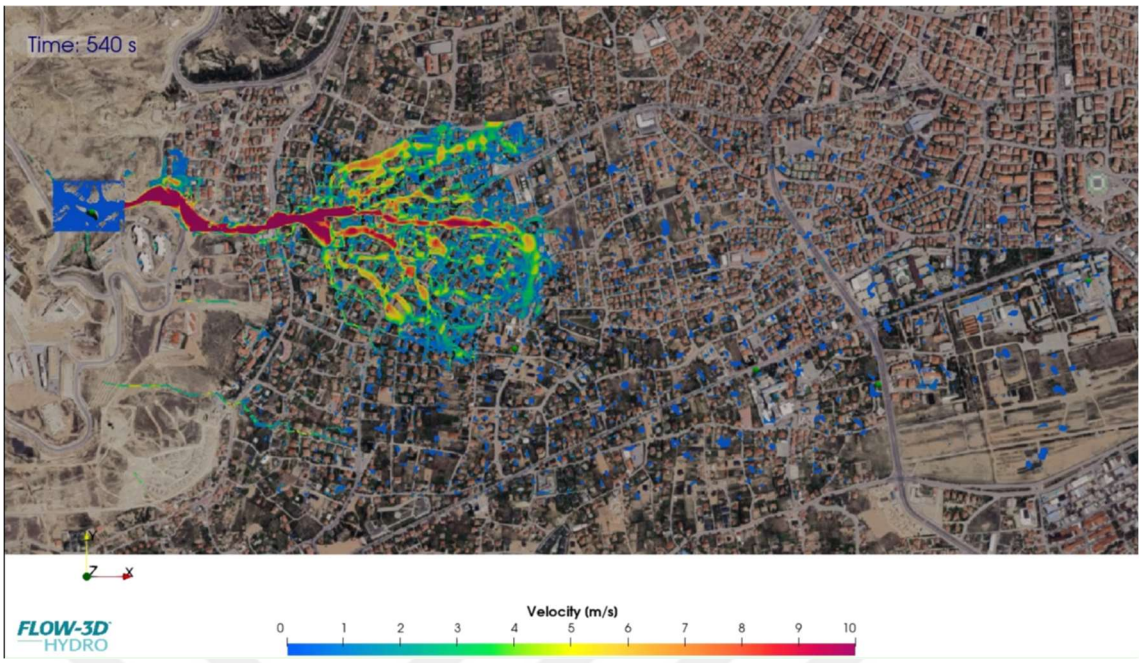
Şekil 6.58. 360. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



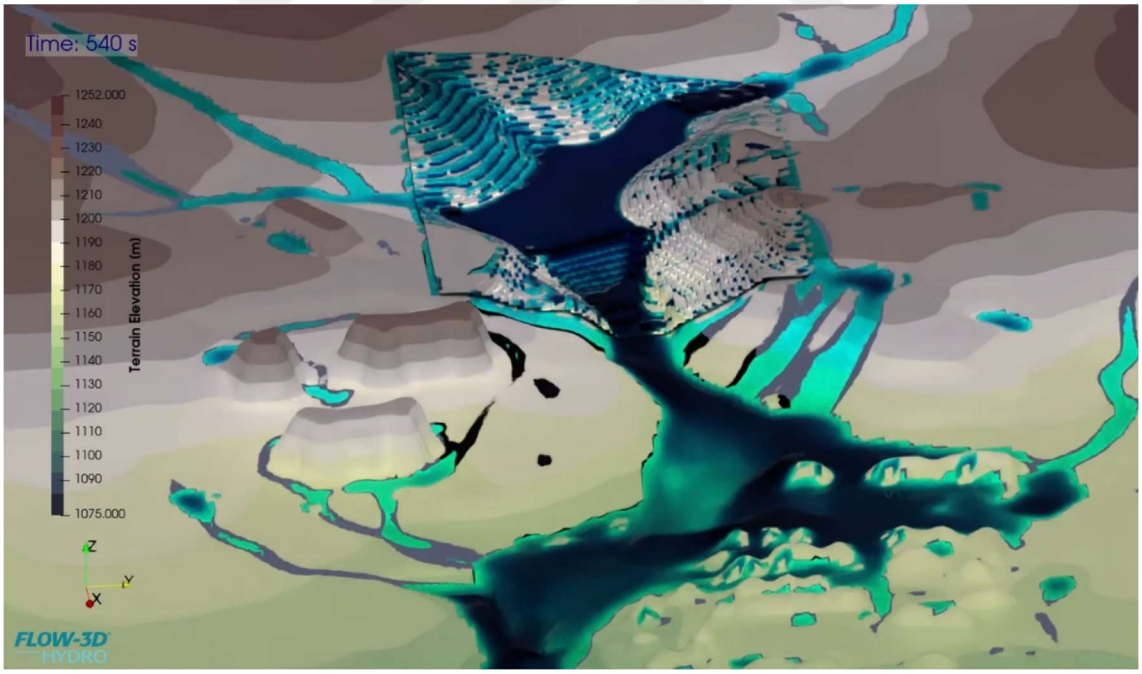
Şekil 6.59. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



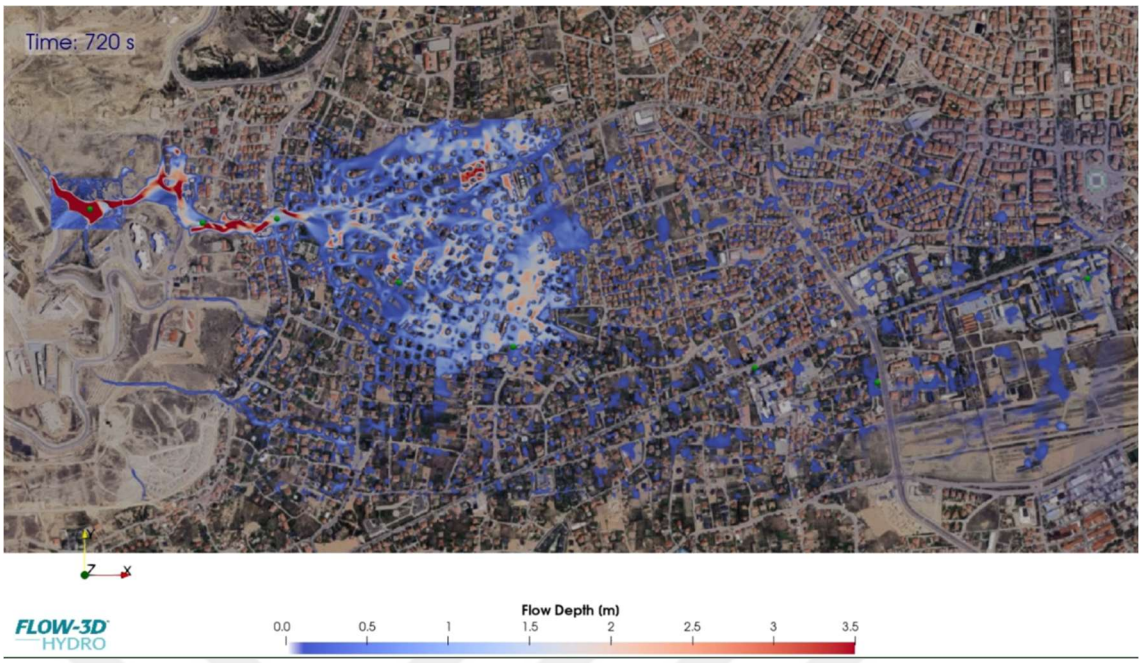
Şekil 6.60. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



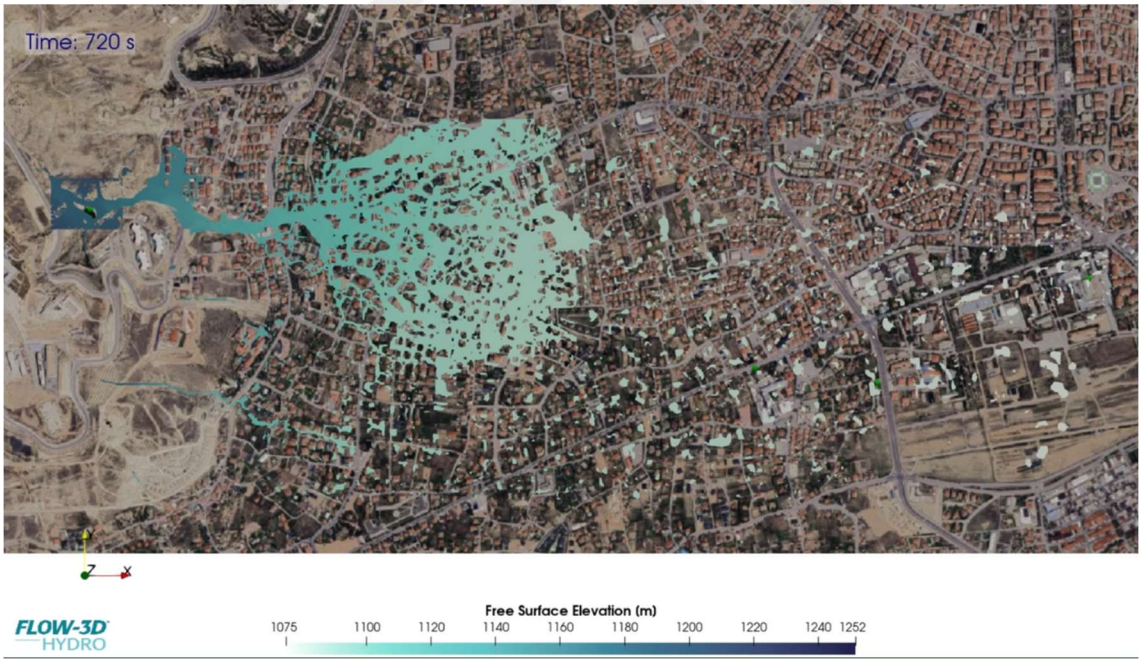
Şekil 6.61. 540. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



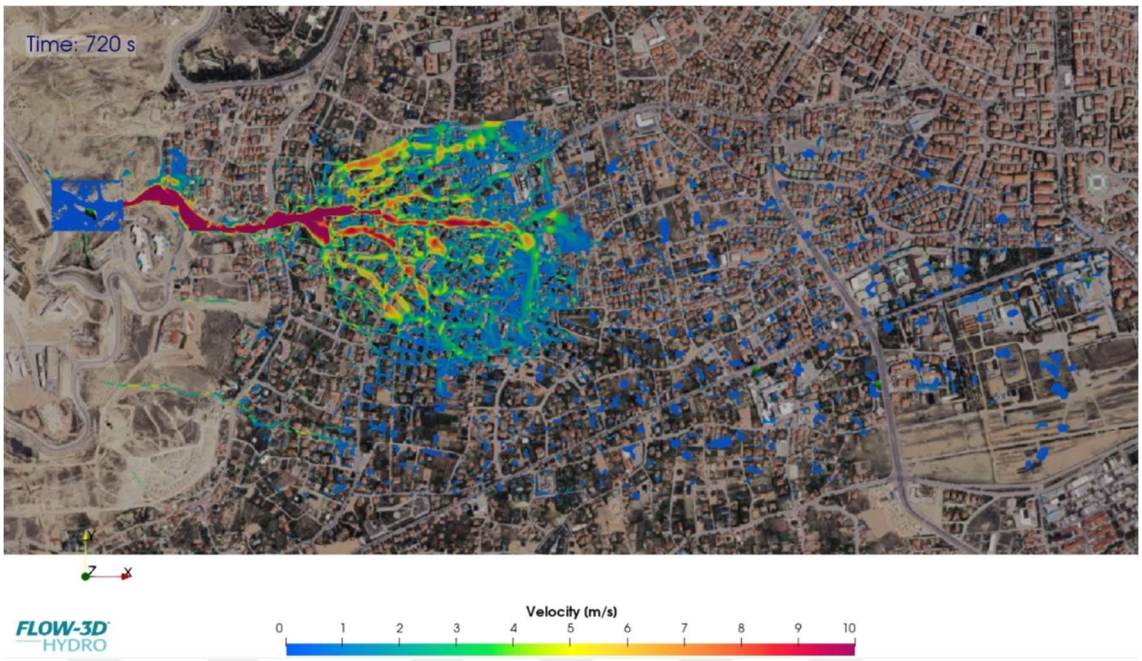
Şekil 6.62. 540. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



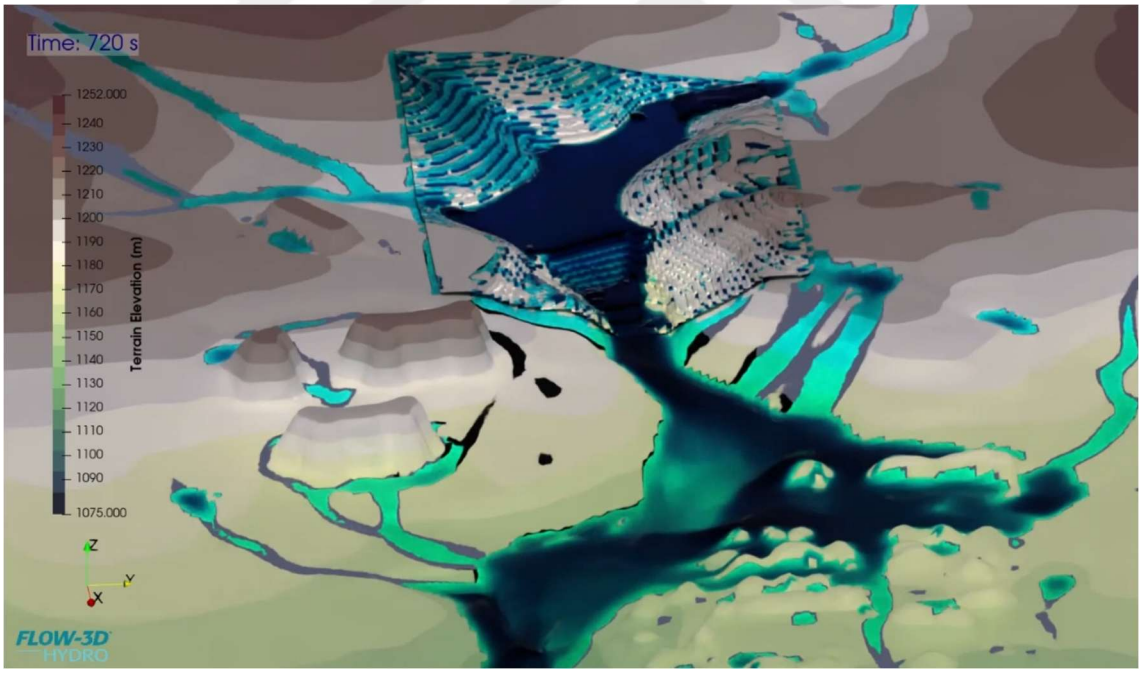
Şekil 6.63. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



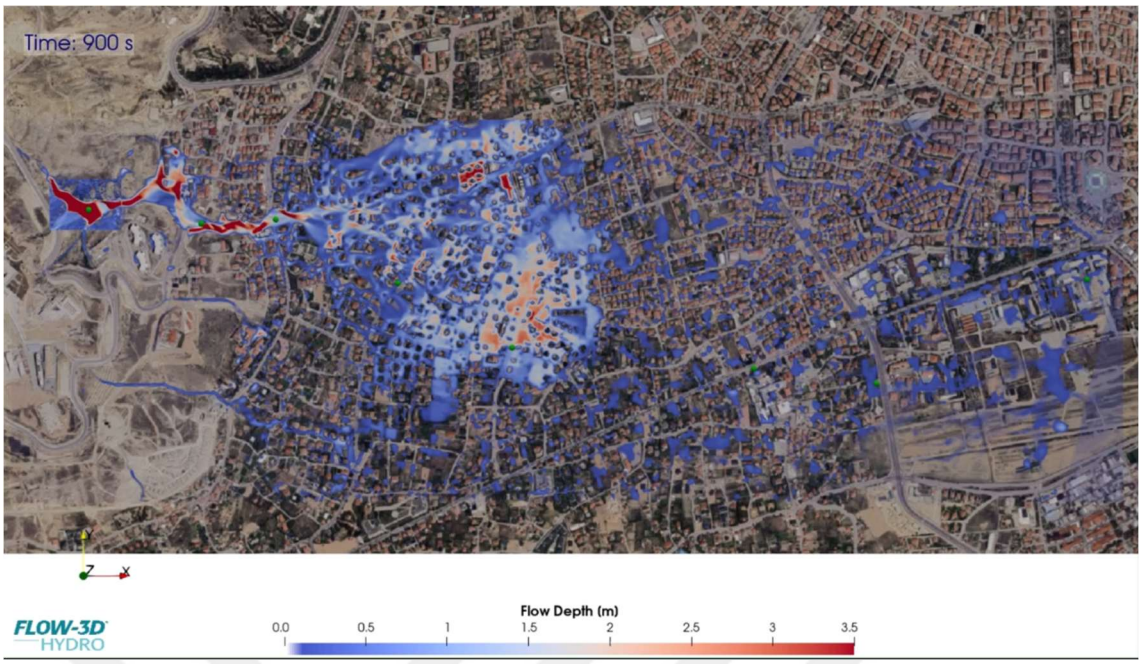
Şekil 6.64. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



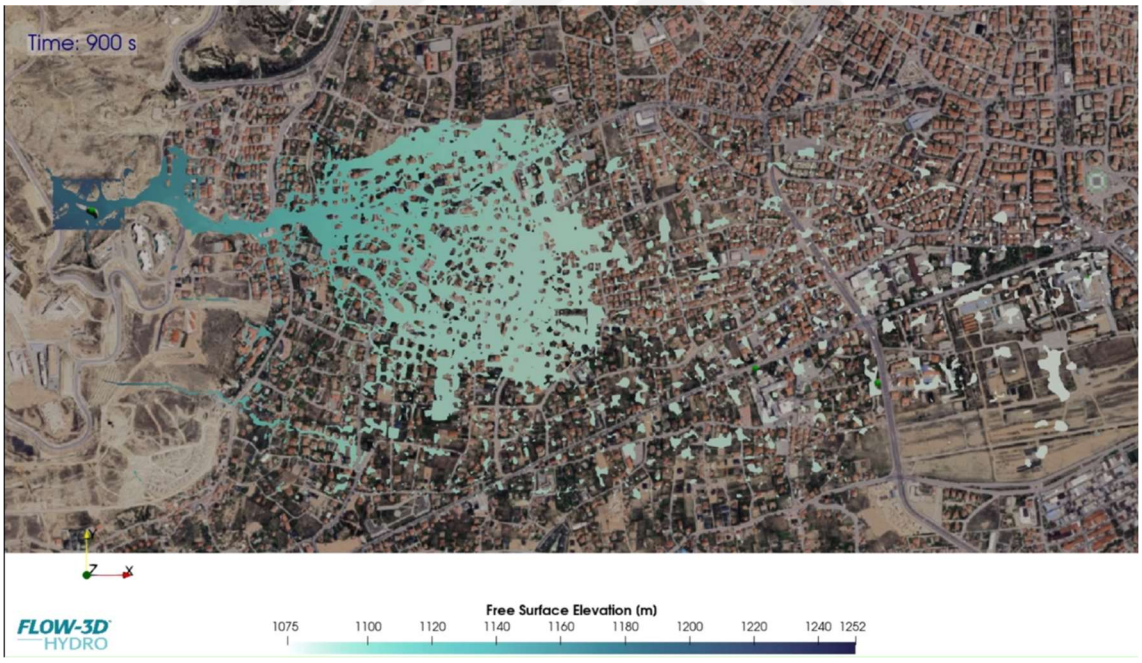
Şekil 6.65. 720. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



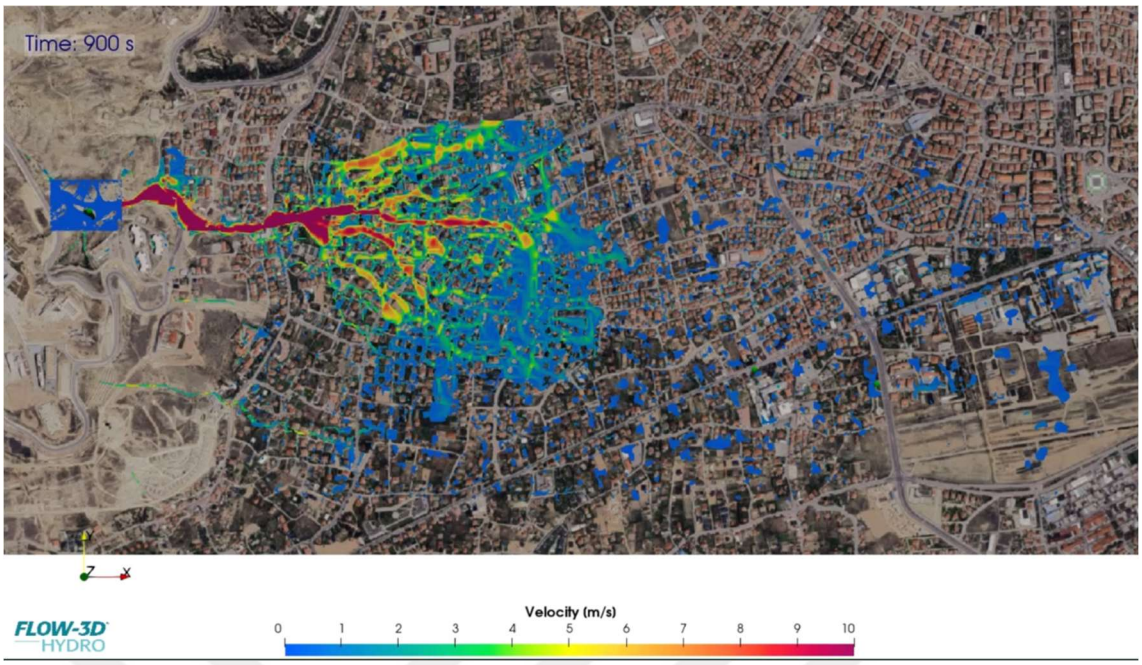
Şekil 6.66. 720. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



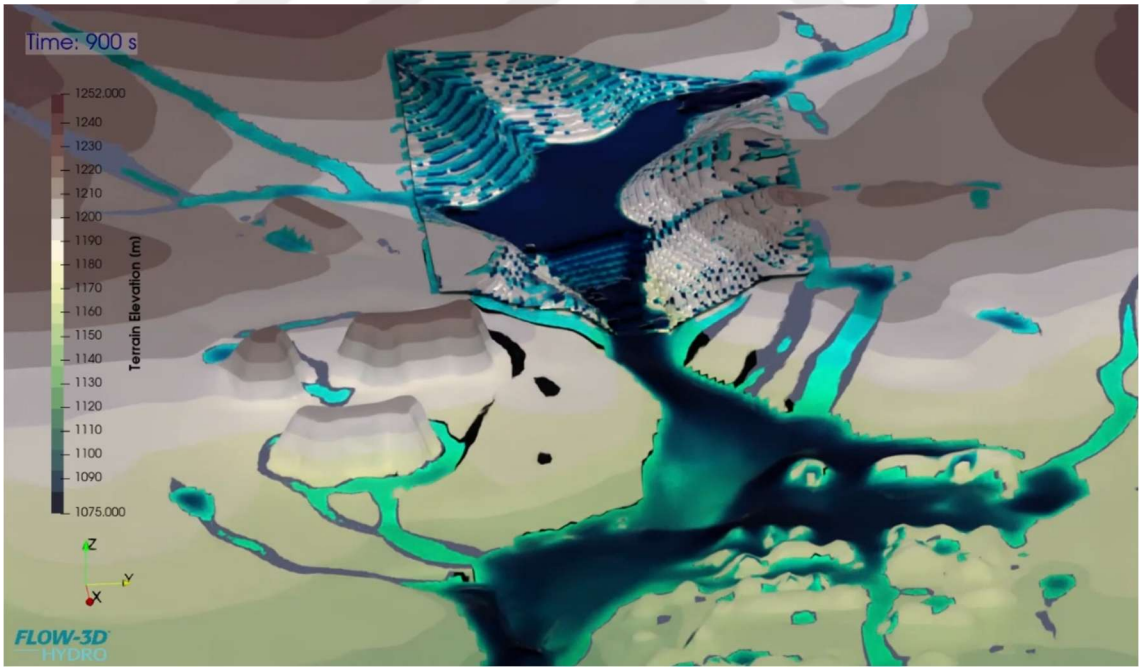
Şekil 6.67. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



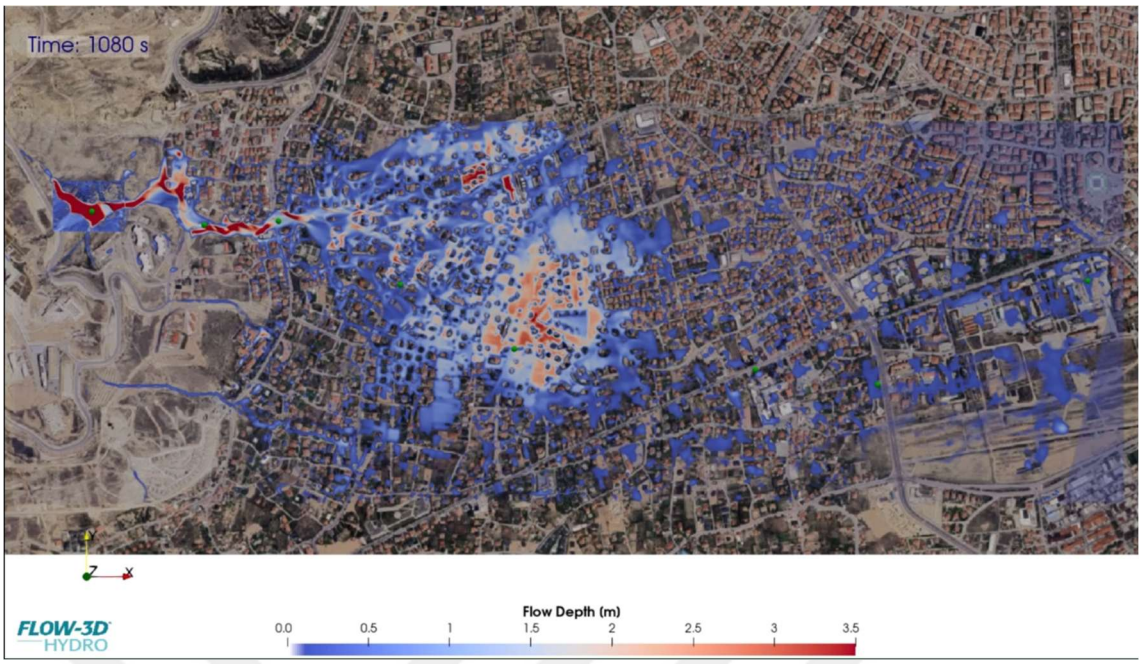
Şekil 6.68. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



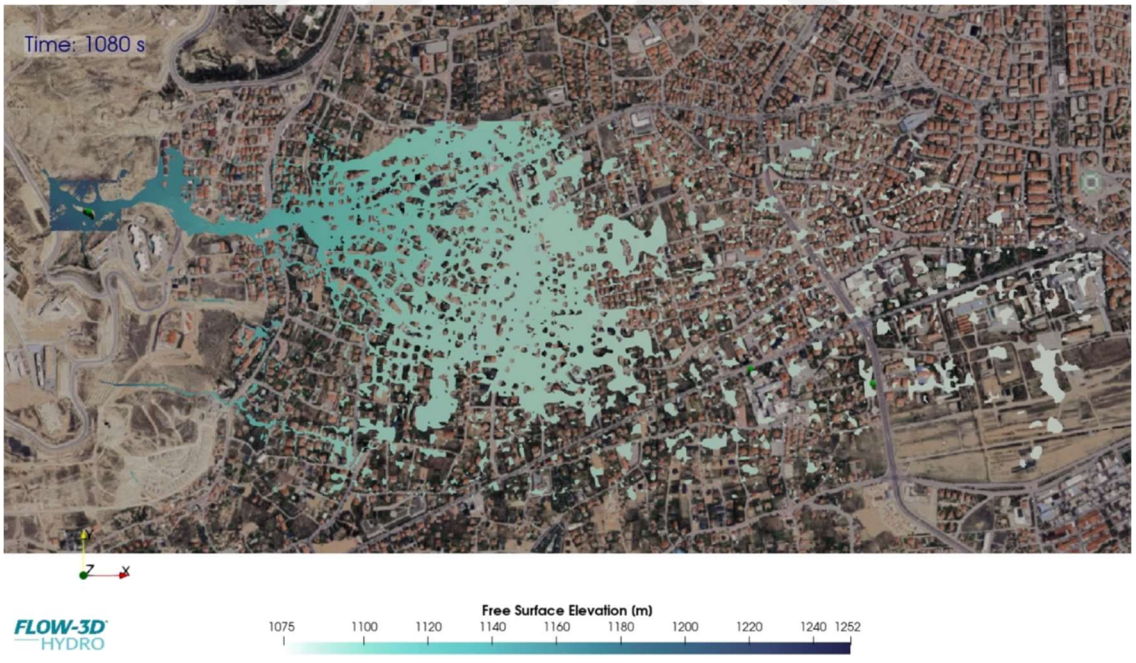
Şekil 6.69. 900. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



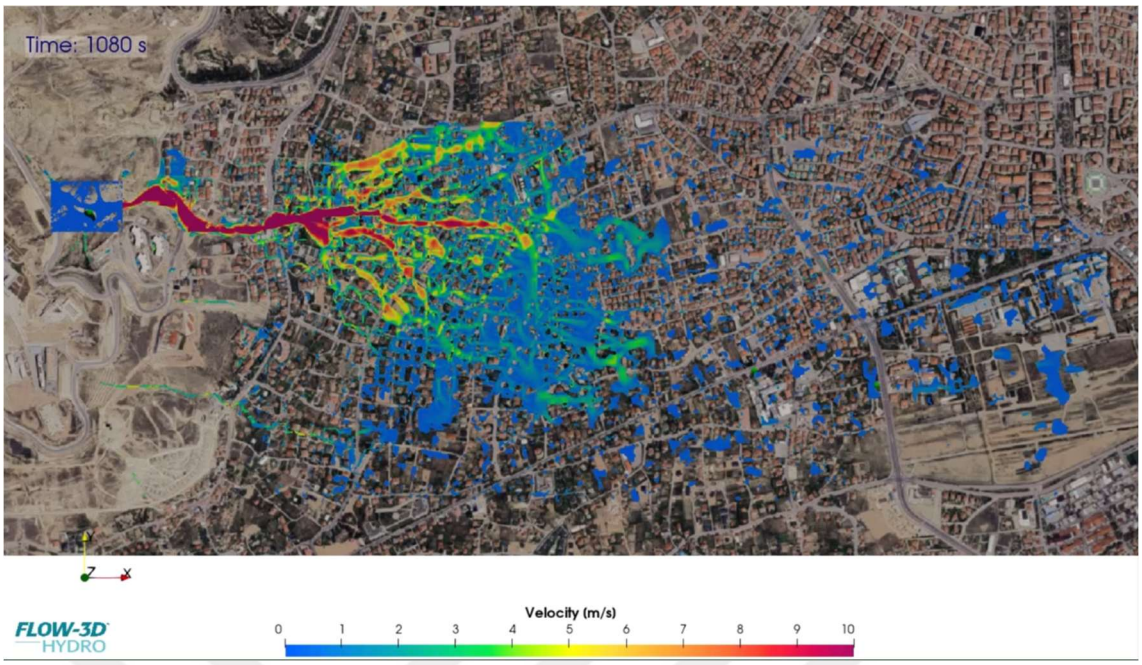
Şekil 6.70. 900. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



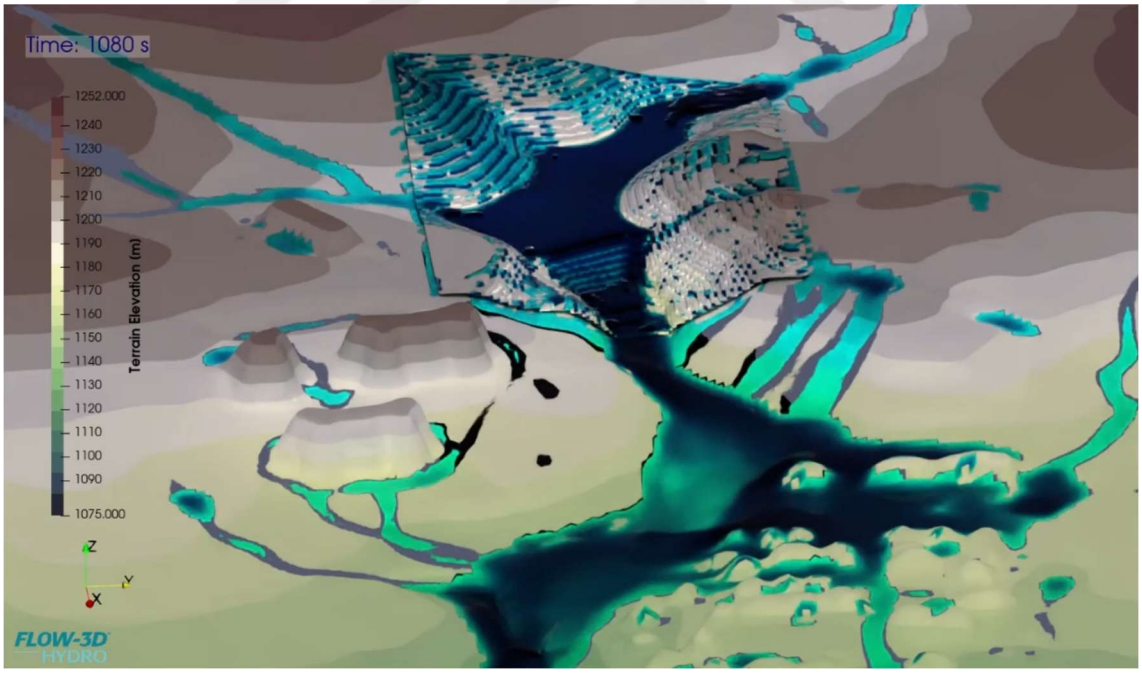
Şekil 6.71. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



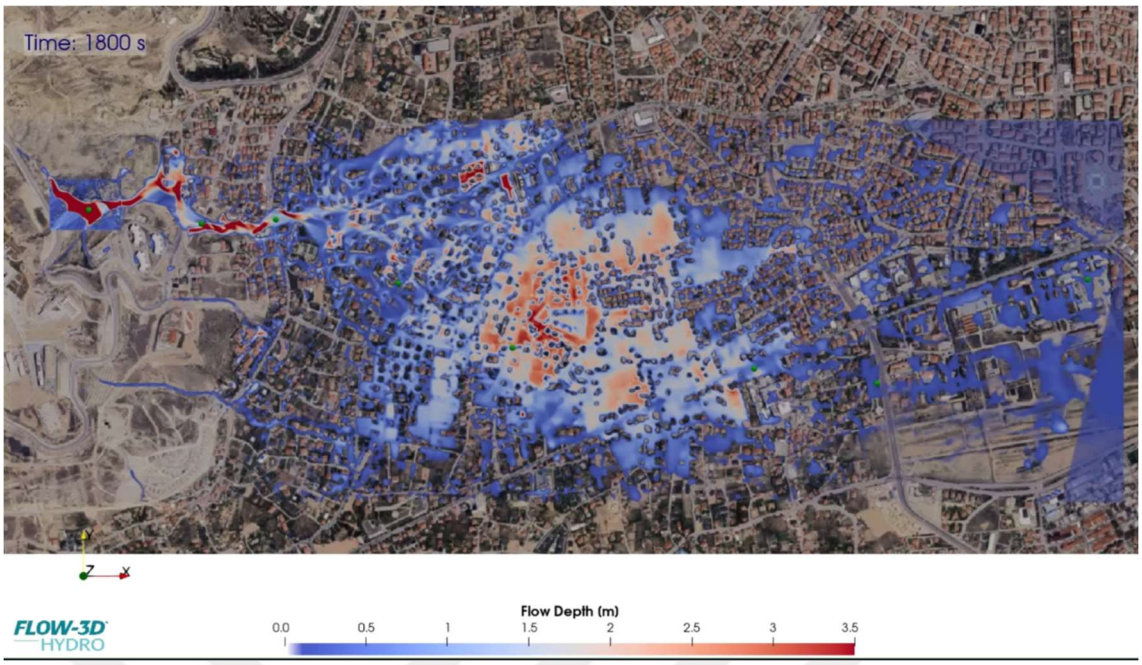
Şekil 6.72. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



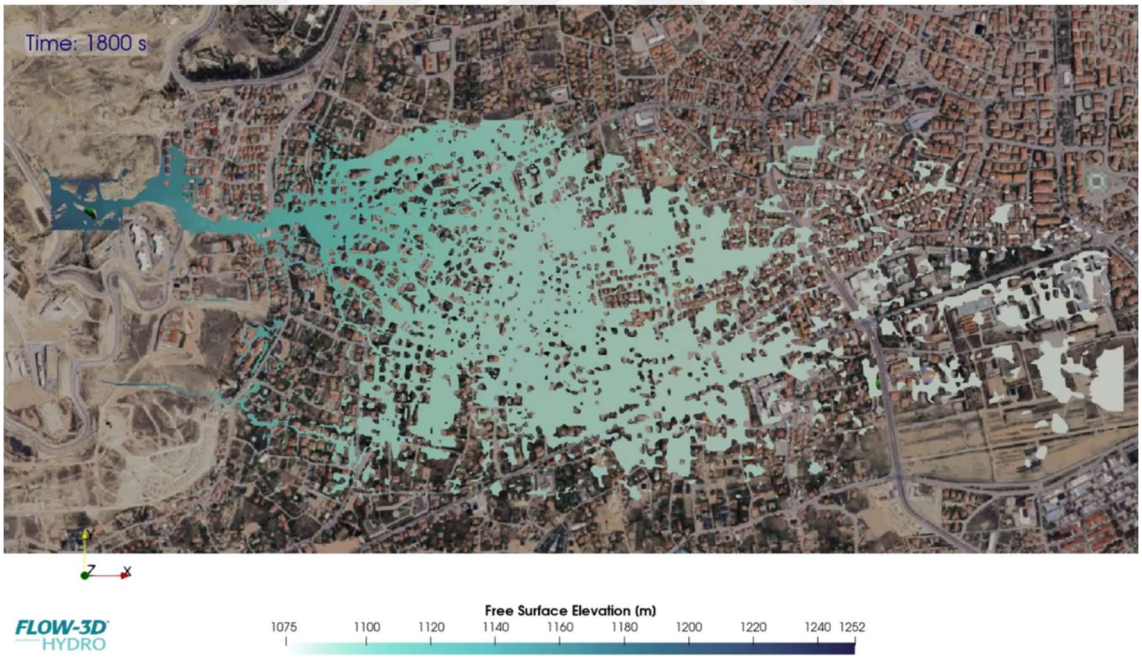
Şekil 6.73. 1080. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



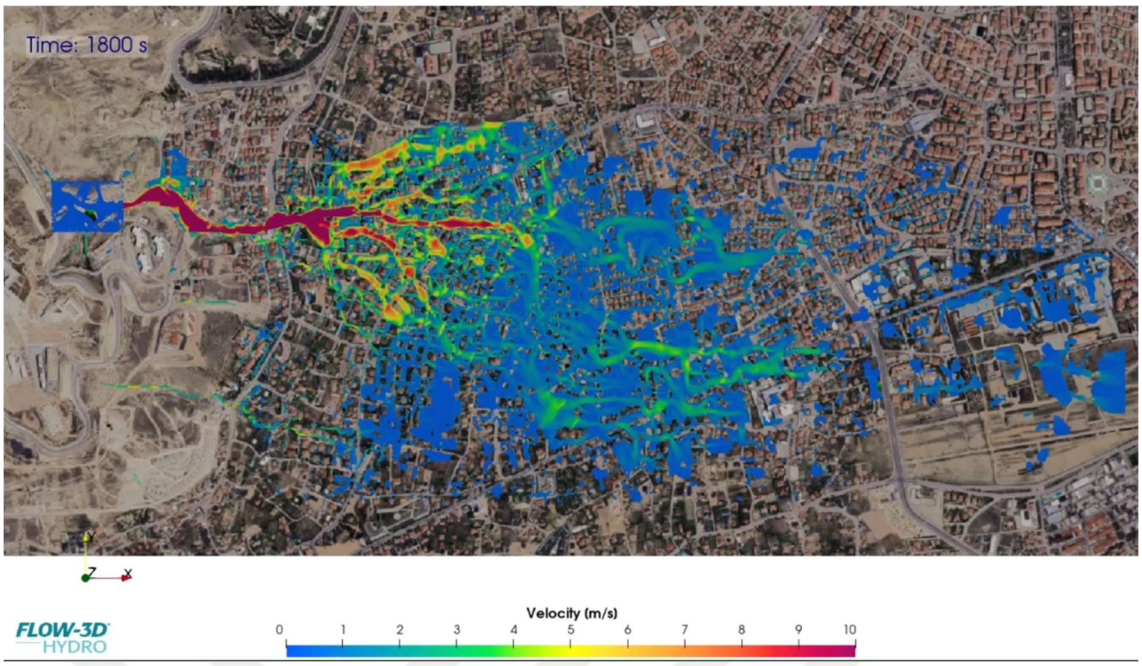
Şekil 6.74. 1080. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



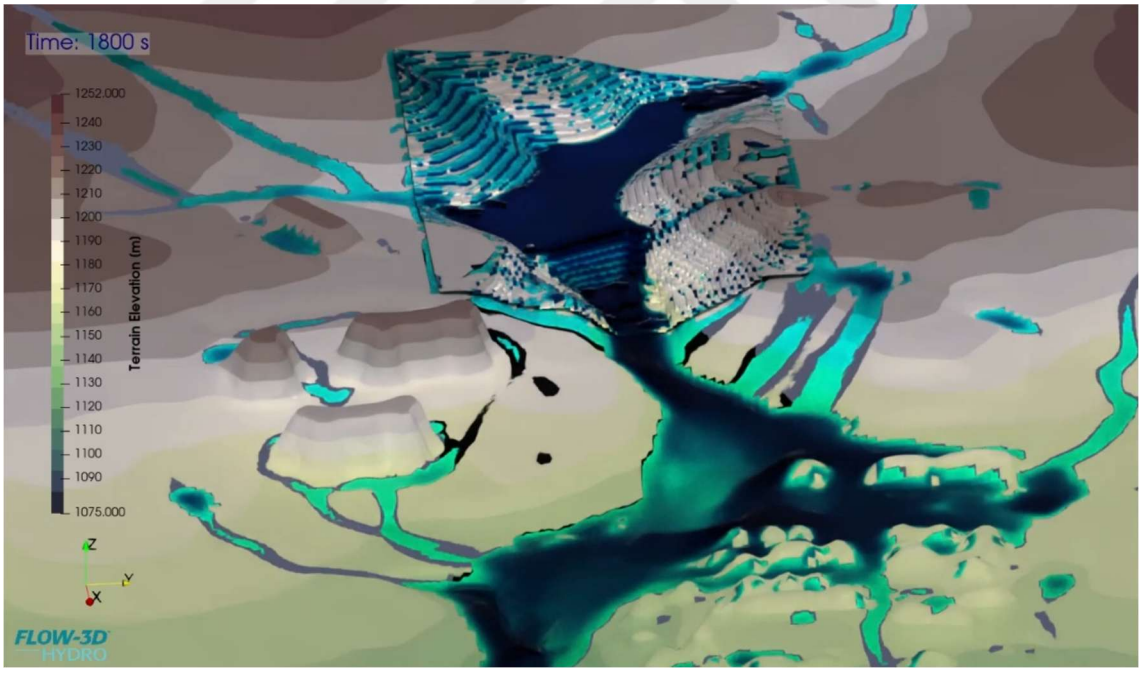
Şekil 6.75. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



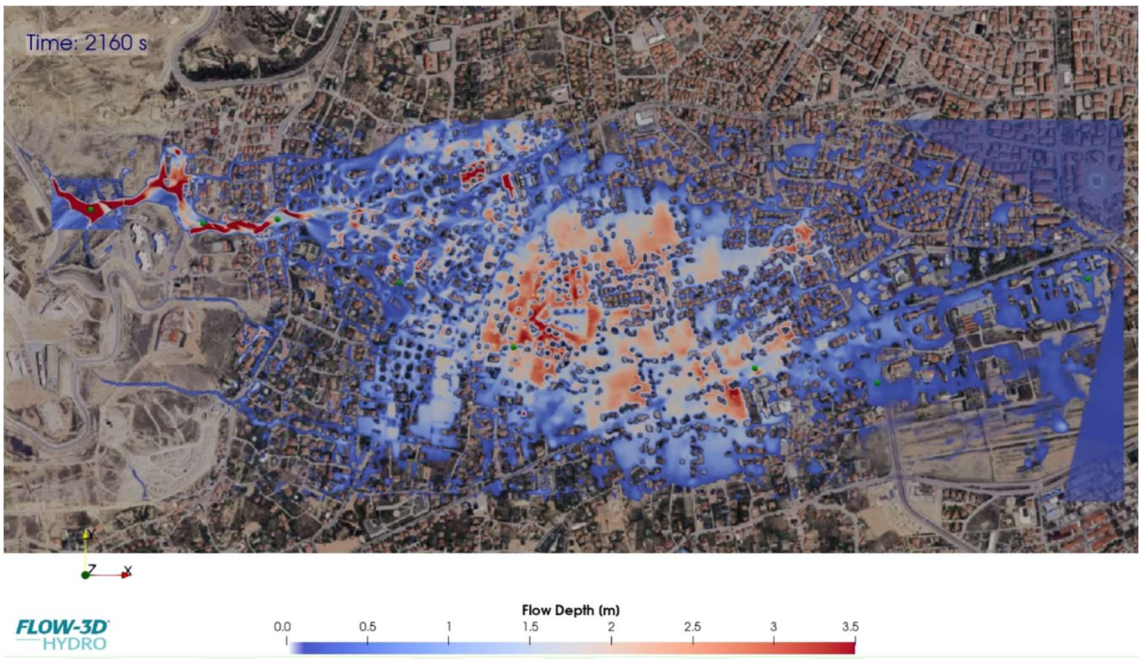
Şekil 6.76. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



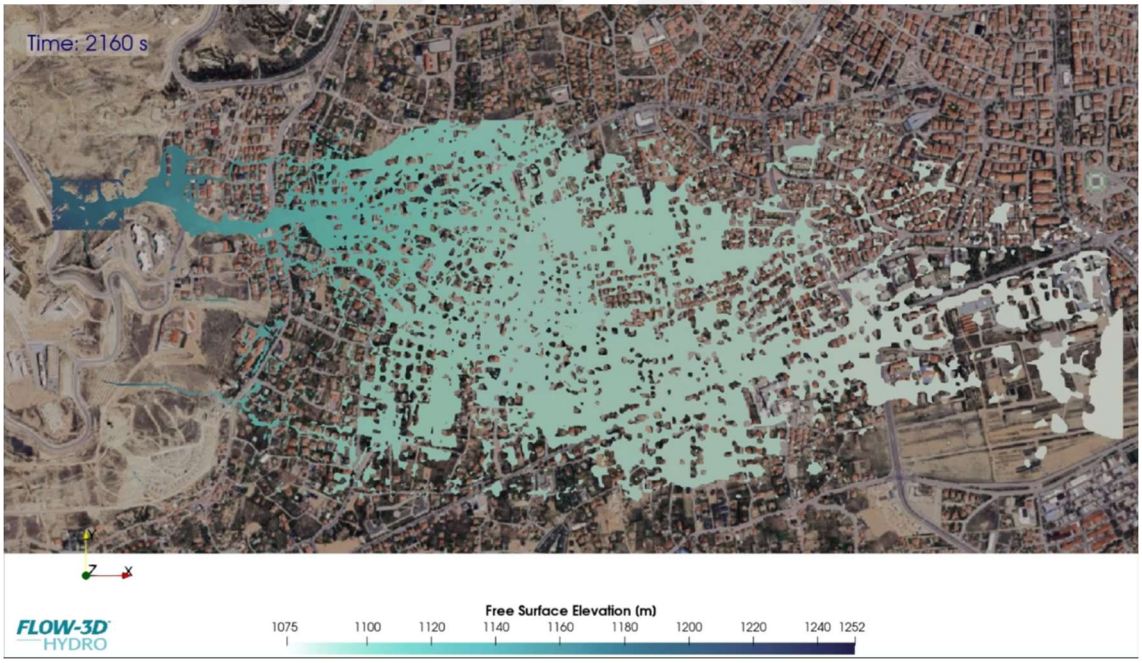
Şekil 6.77. 1800. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



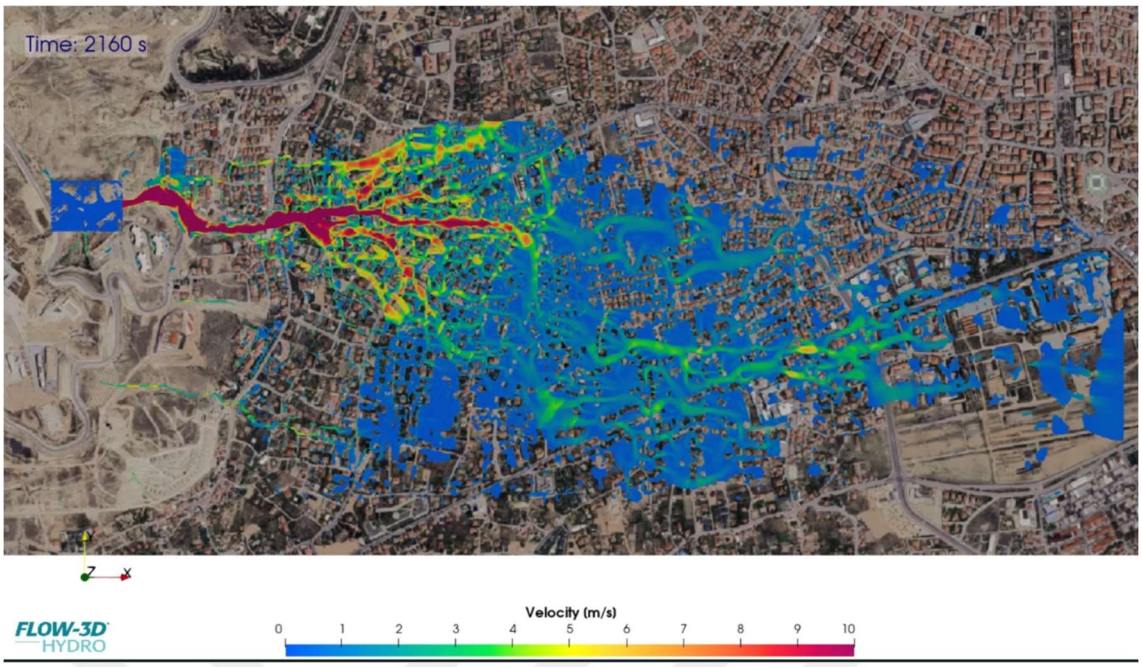
Şekil 6.78. 1800. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



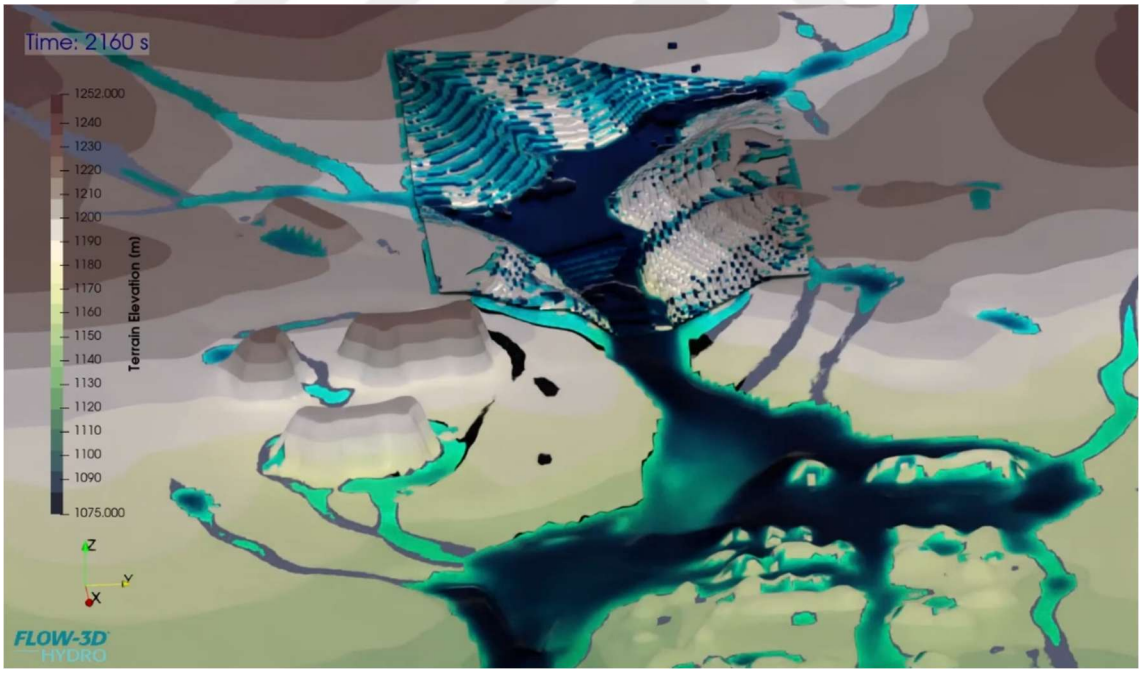
Şekil 6.79. 2160. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



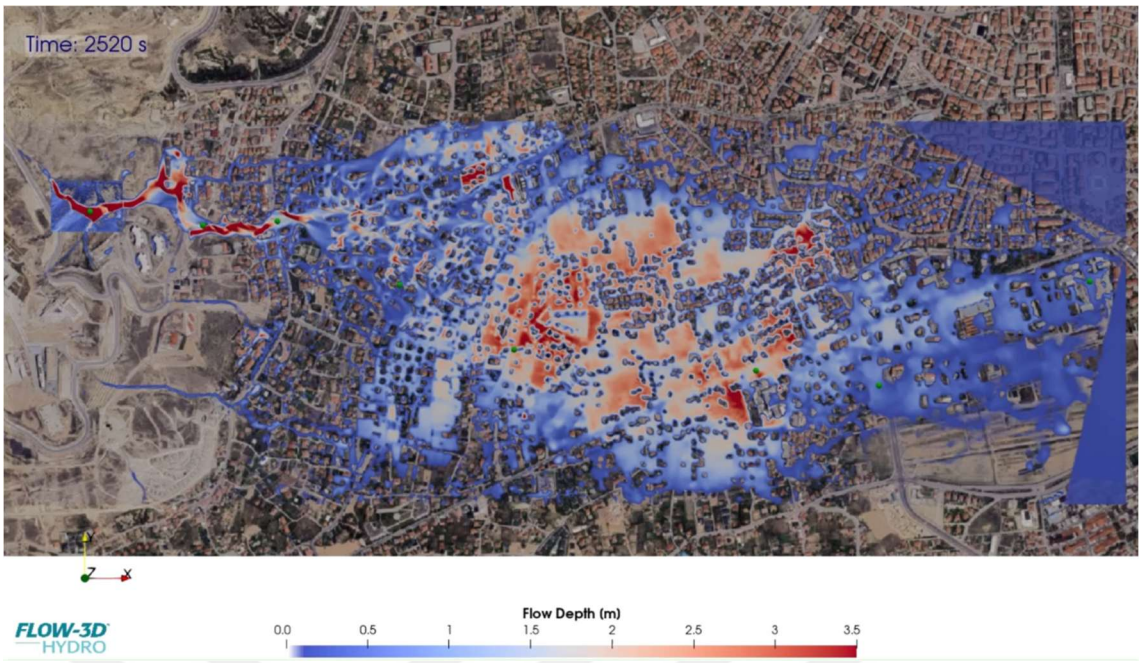
Şekil 6.80. 2160. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



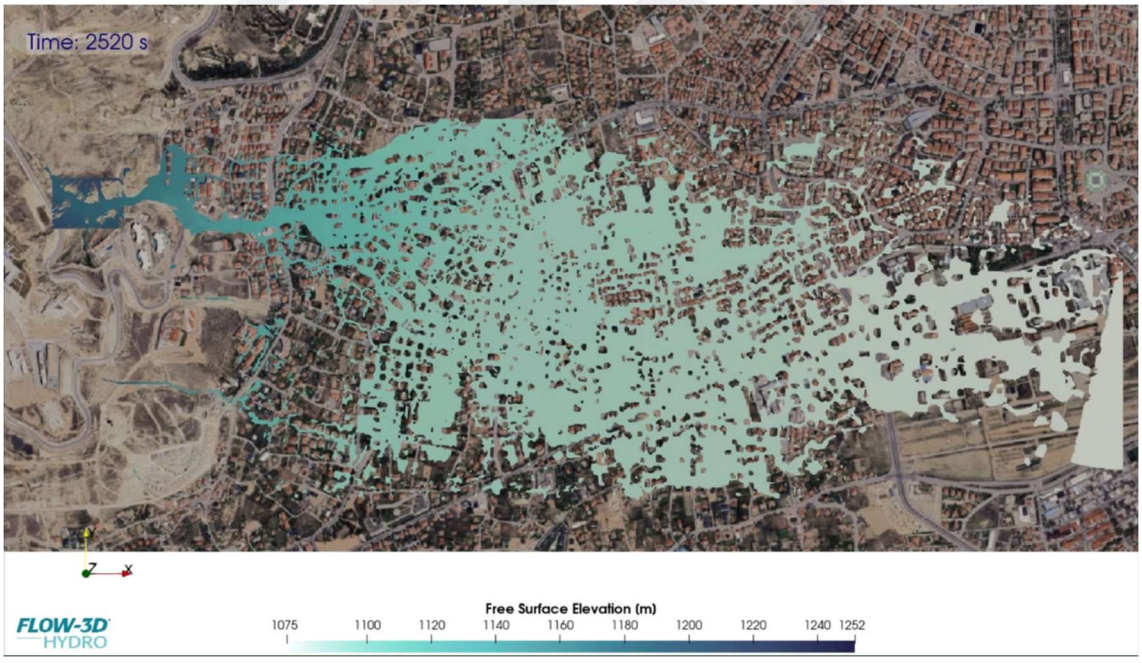
Şekil 6.81. 2160. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



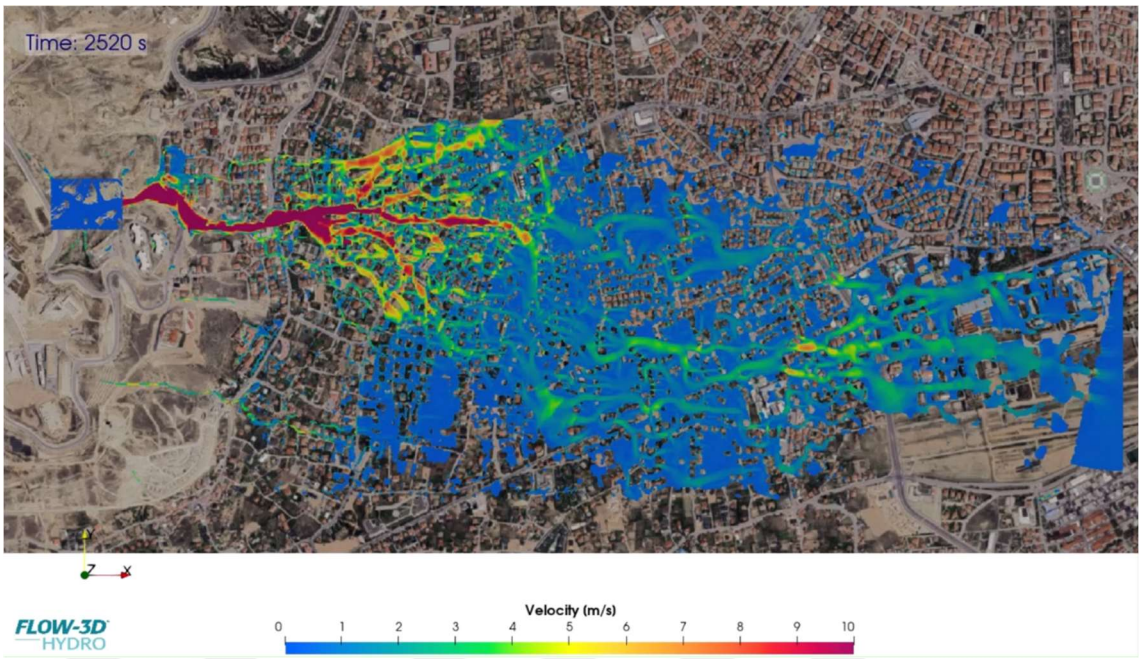
Şekil 6.82. 2160. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



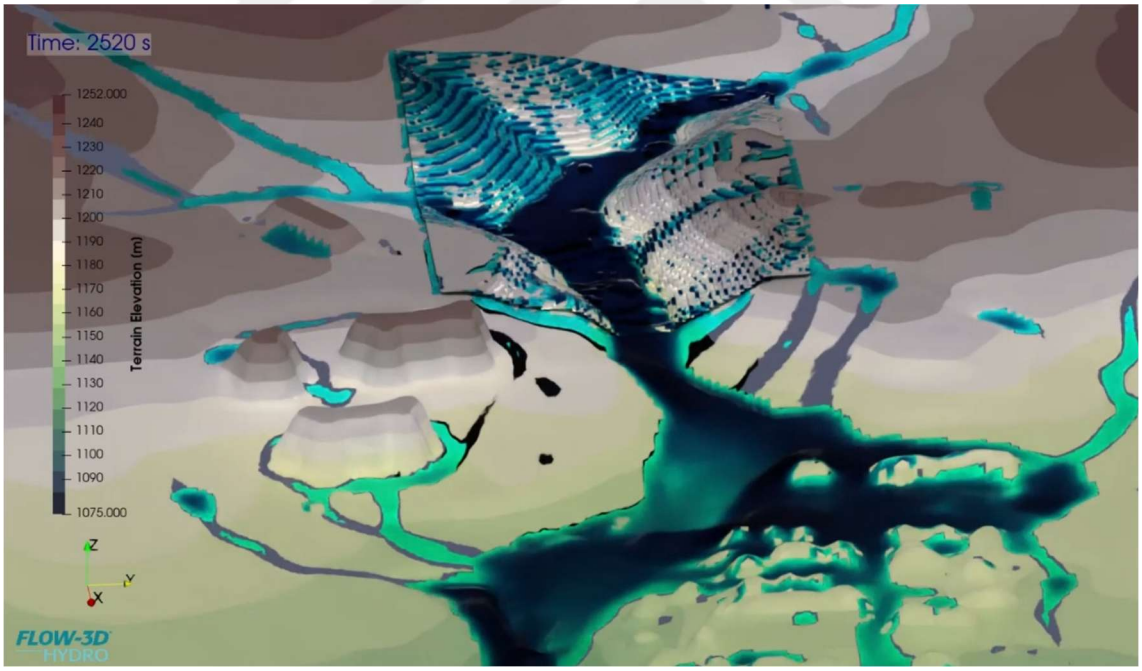
Şekil 6.83. 2520. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



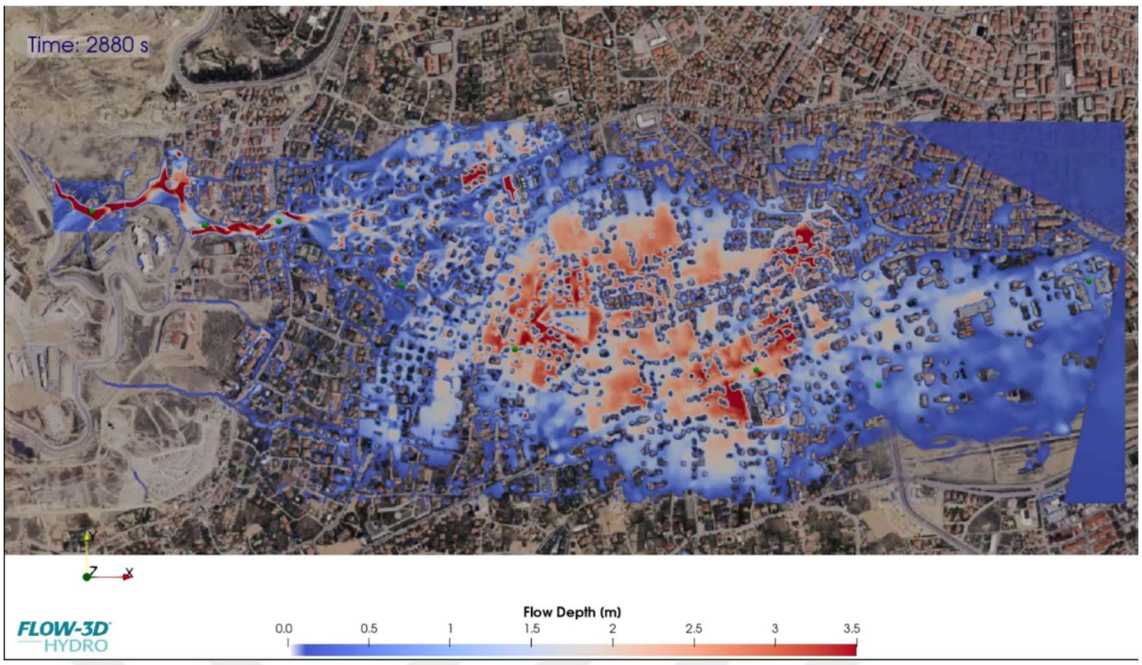
Şekil 6.84. 2520. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



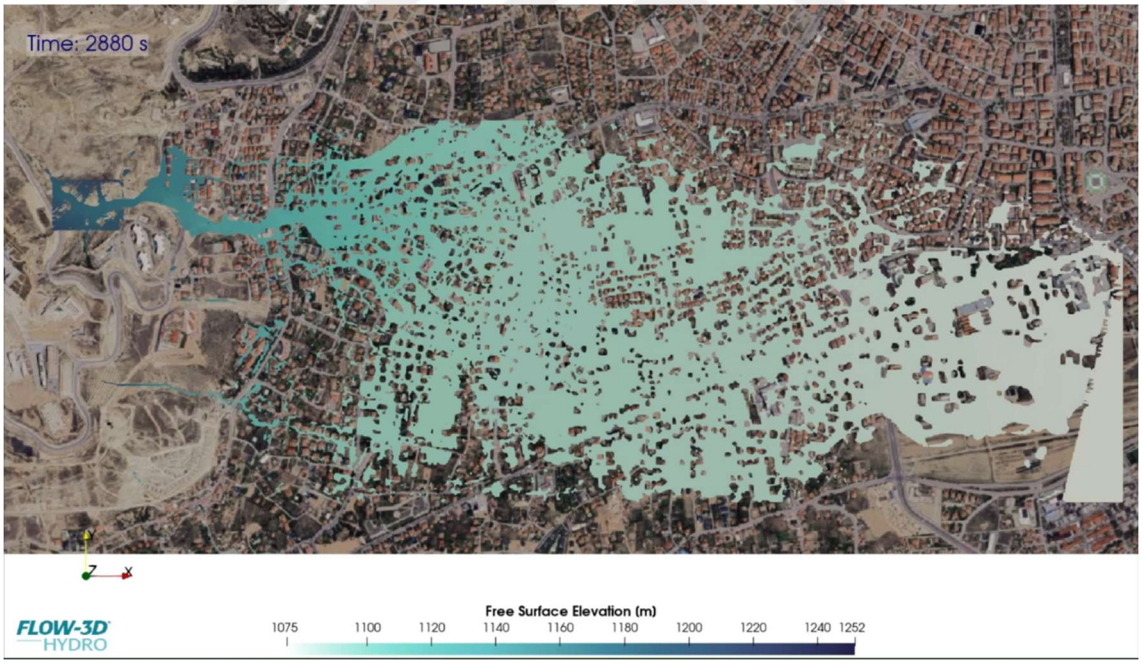
Şekil 6.85. 2520. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



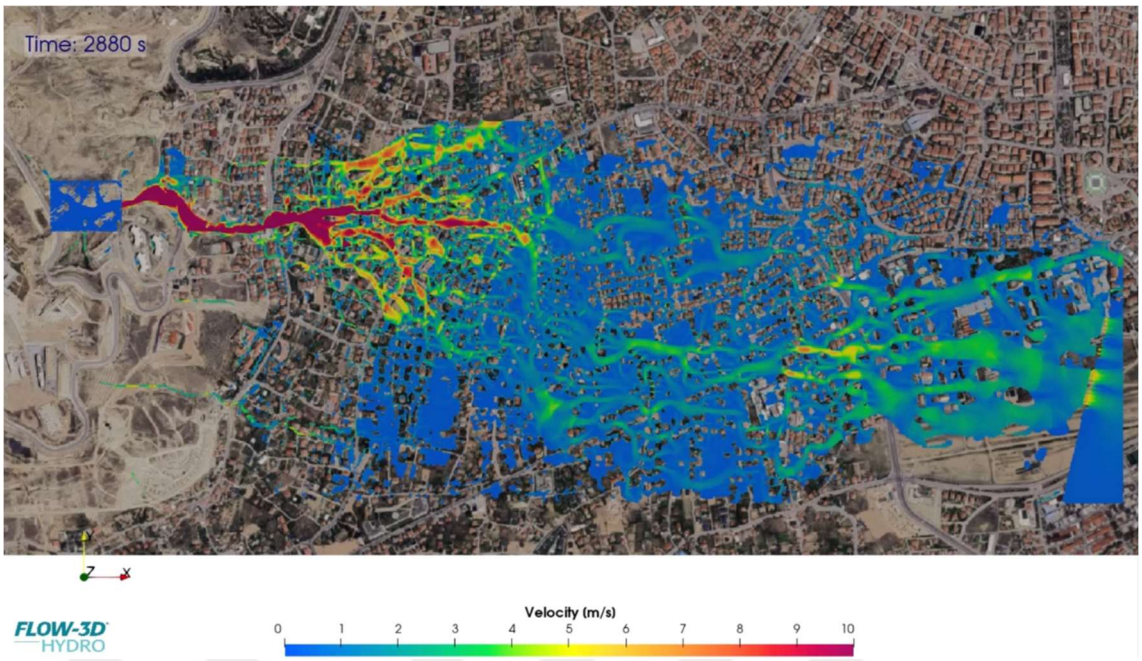
Şekil 6.86. 2520. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



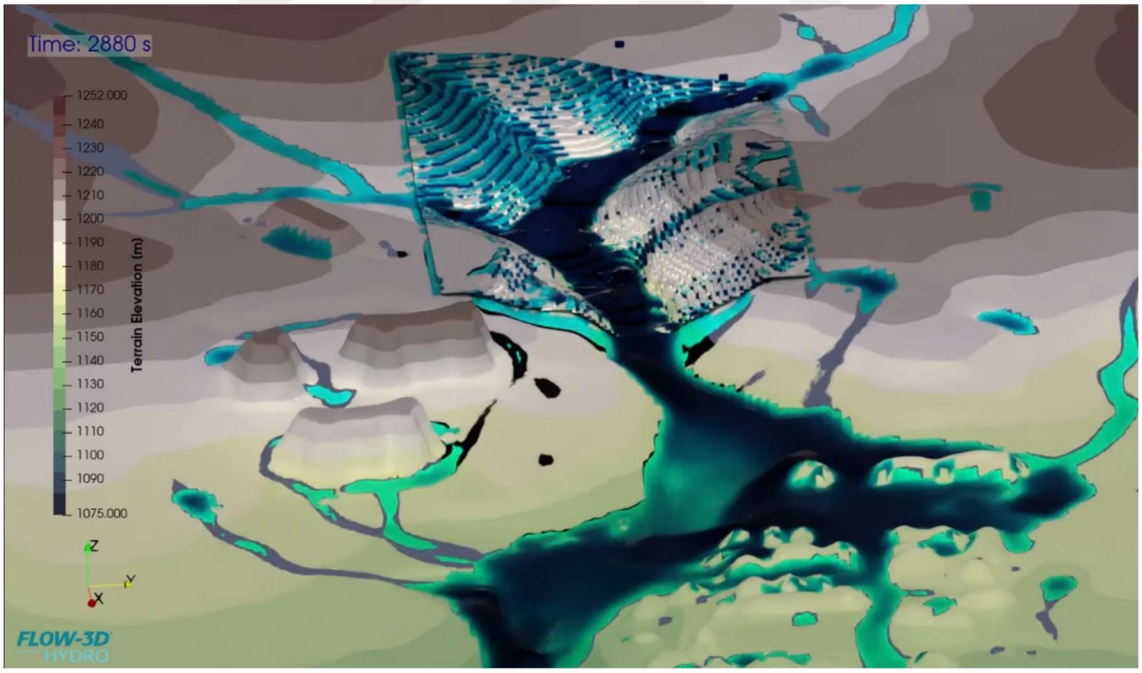
Şekil 6.87. 2880. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



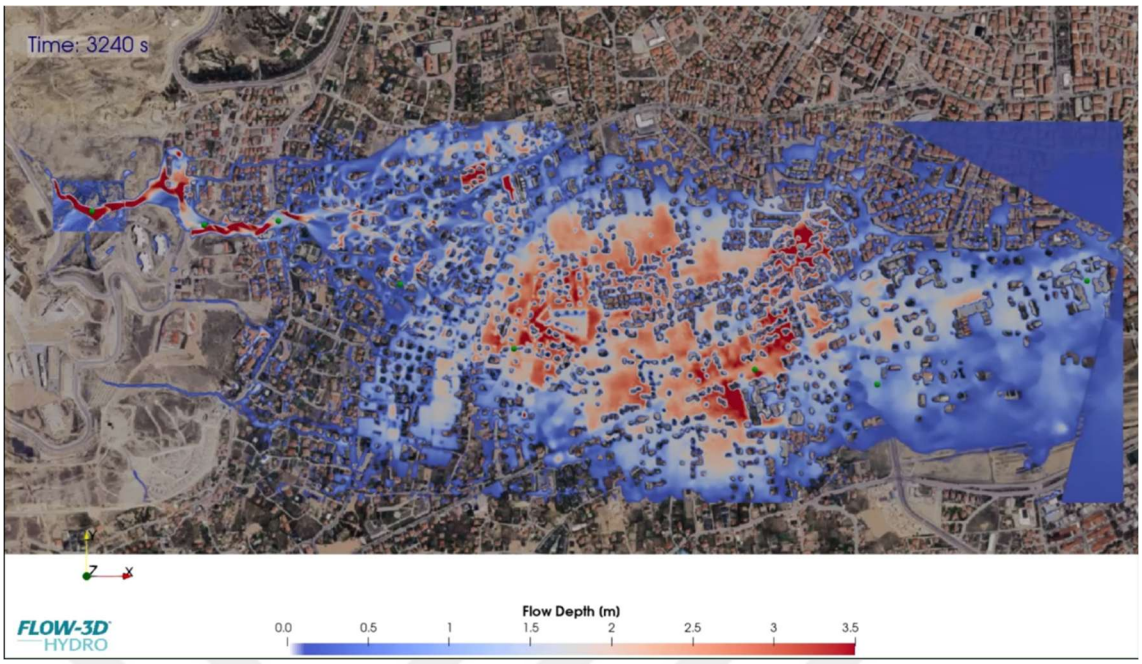
Şekil 6.88. 2880. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



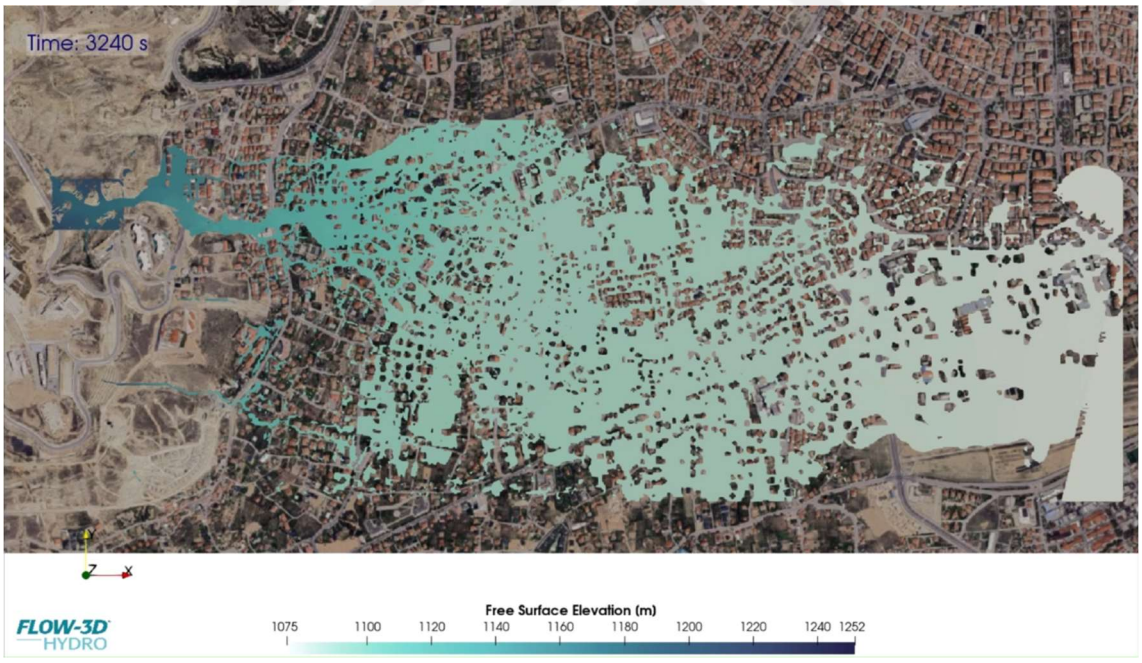
Şekil 6.89. 2880. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



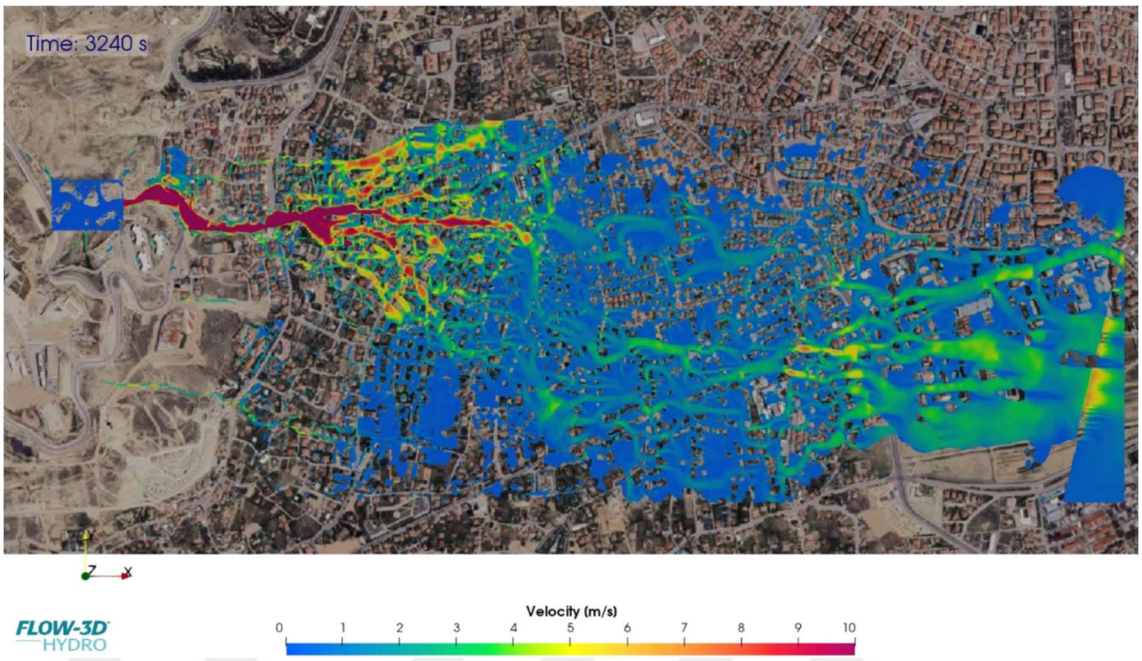
Şekil 6.90. 2880. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



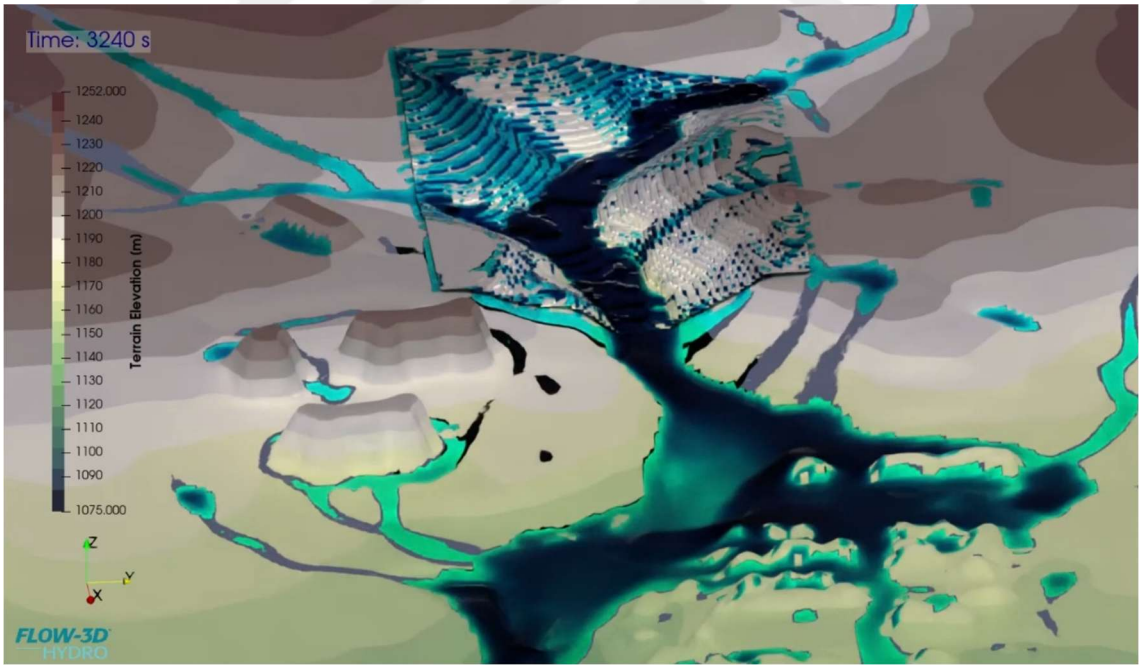
Şekil 6.91. 3240. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



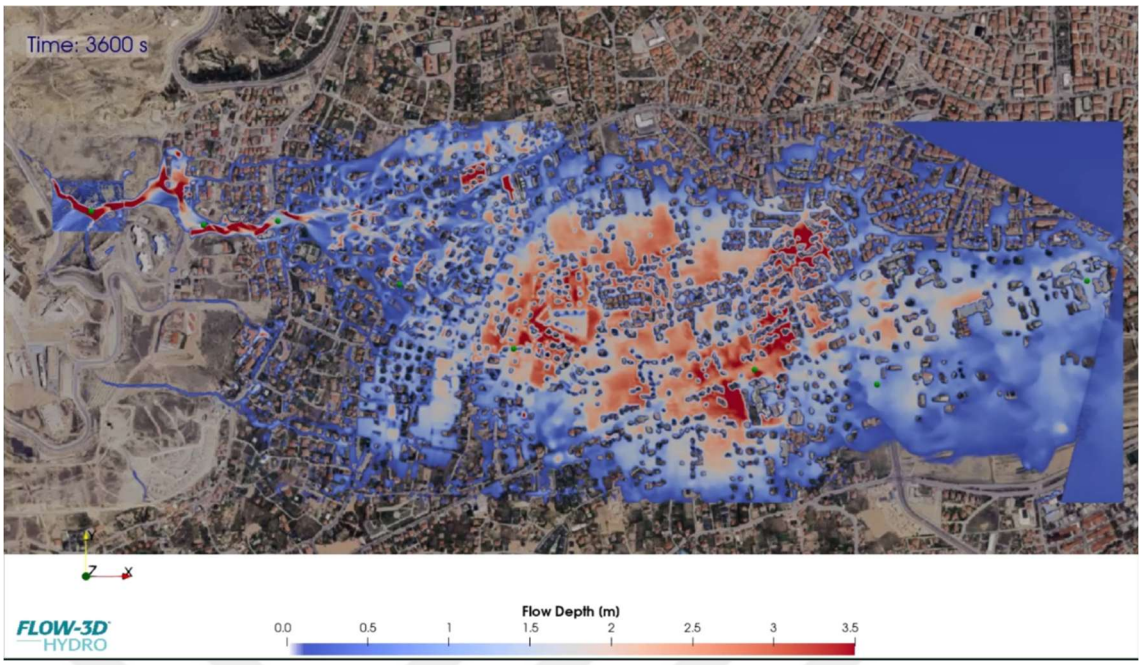
Şekil 6.92. 3240. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



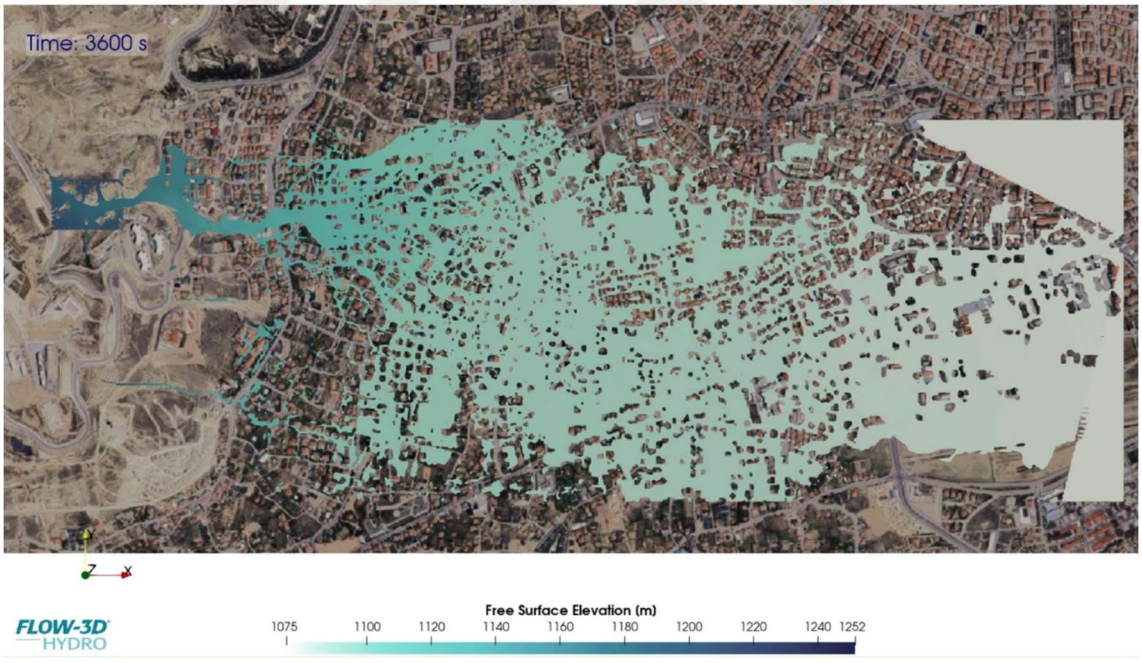
Şekil 6.93. 3240. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



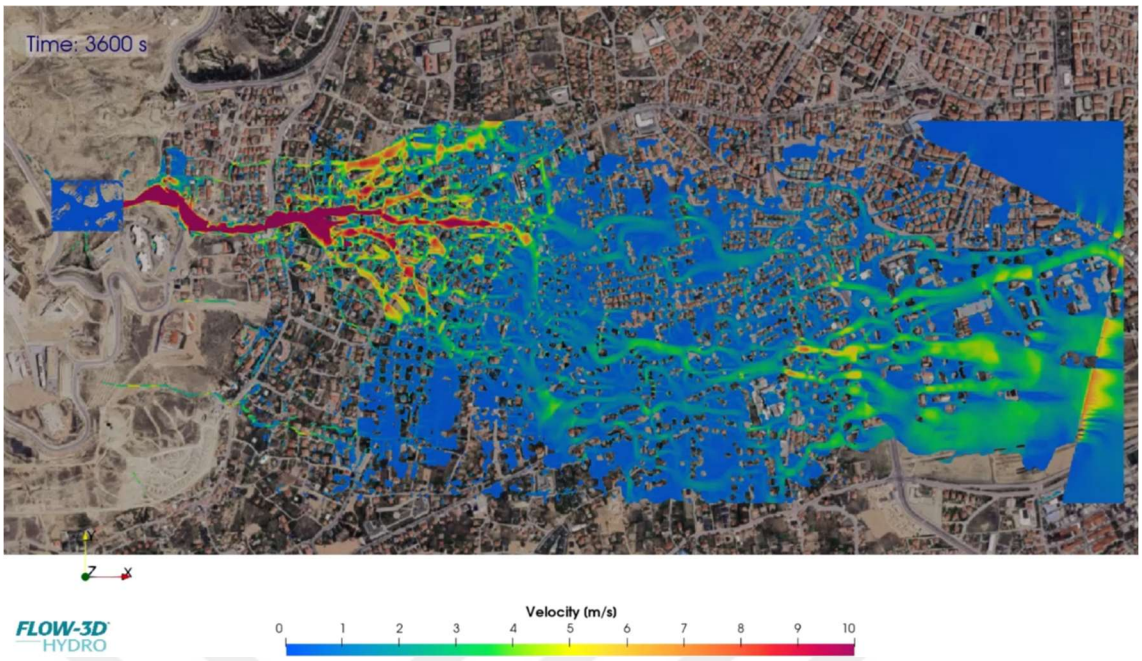
Şekil 6.94. 3240. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



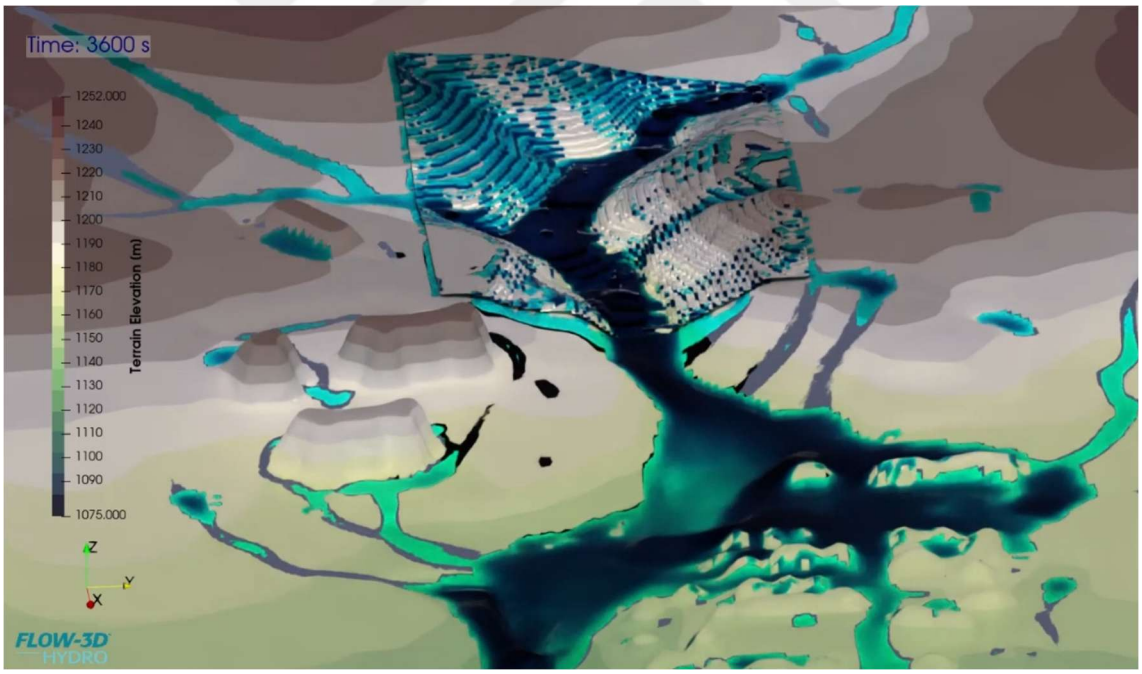
Şekil 6.95. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Derinlik Dağılımı



Şekil 6.96. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Serbest Su Yükseklik Dağılımı



Şekil 6.97. 3600. sn'de 2B (Haritalı) Analizler Sonucu Oluşan Su Hızı Dağılımı



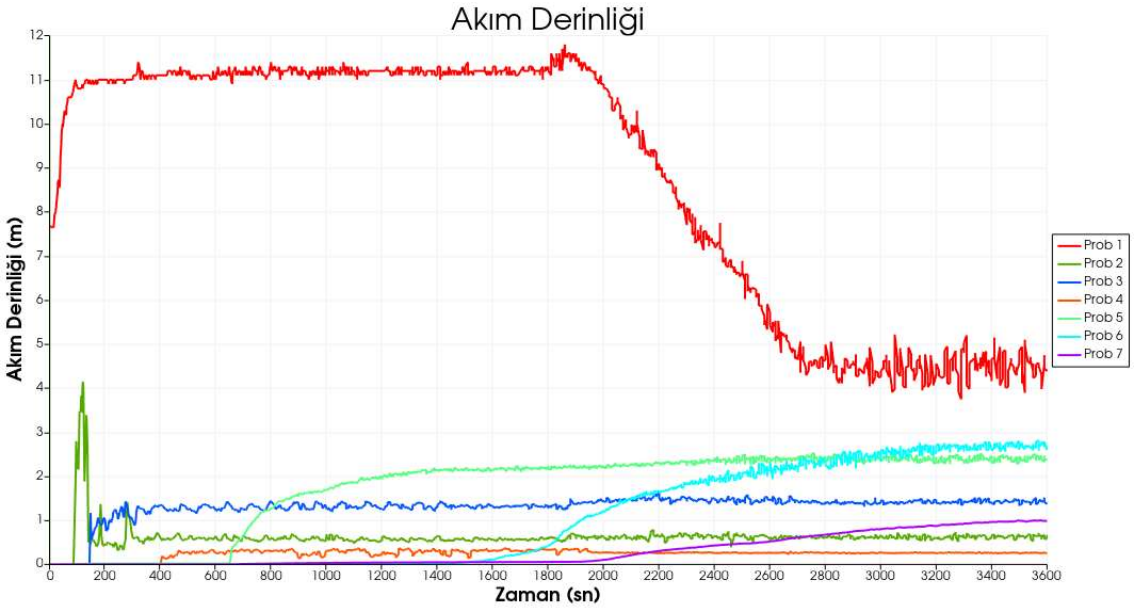
Şekil 6.98. 3600. sn'de Yağışa Bağlı Taşkın Yayılımı ve 3B Yıkılma Analizleri Sonucu Oluşan Yayılım



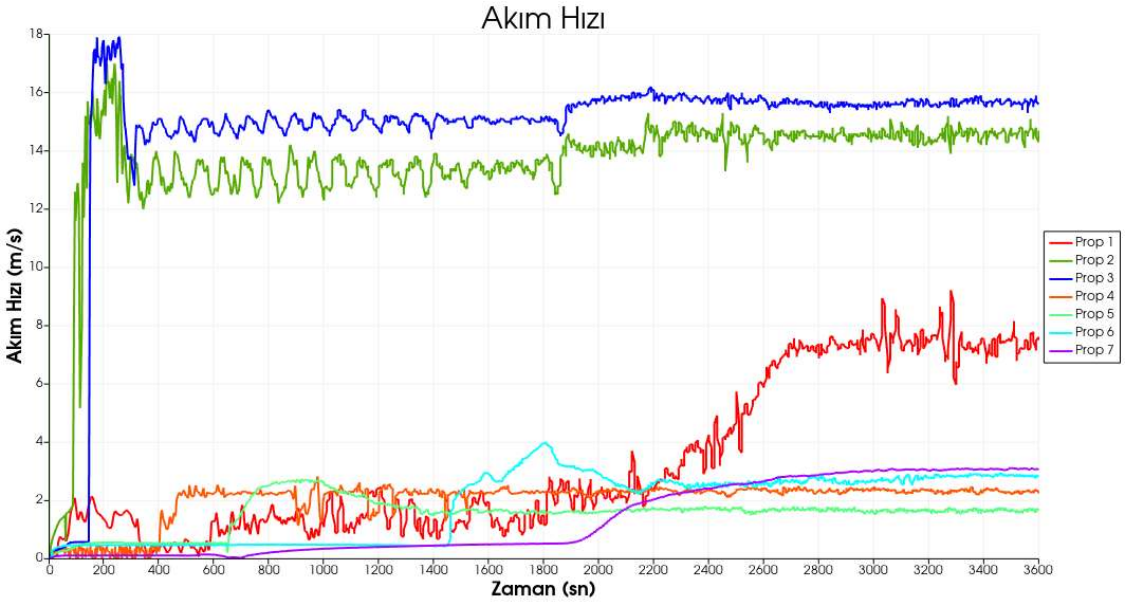
Şekil 6.99. FLOW-3D Taşkın analizinde önemli noktalara atılan prob noktaları

FLOW-3D simülasyonu kapsamında, kentsel taşkın dinamiğinin kapsamlı bir şekilde analiz edilebilmesi için sekiz adet prob noktası (Prob 1-Prob 8) belirlenmiştir.

Bu prob noktaları, akışın başlangıç koşullarından (Prob 1) son etki alanına (Prob 8) kadar olan tüm süreçteki su seviyesi, akış hızı ve debi değişimlerinin zamana bağlı olarak kaydedilmesine olanak tanımıştır.



Şekil 6.100. Prob Noktalarında Akım Derinliği-Zaman İlişkisi



Şekil 6.101. Prob Noktalarında Akım Hızı-Zaman İlişkisi

Bu bölümde, taşkın olayının farklı zaman dilimlerindeki evrimi, serbest yüzey yüksekliği (FSE), akım derinliği ve akım hızı görsel çıktıları ile prob noktalarından elde edilen nicel veriler üzerinden genel olarak değerlendirilmiştir. Prob noktalarından elde edilen veriler, taşkının kentsel alandaki belirli konumlardaki şiddetini ve potansiyel etkilerini anlamak için kritik öneme sahiptir.

İlk Evre: Yağışa Bağlı Taşkın Gelişimi (0-1800 saniye)

Bu evre, yağış nedeniyle su seviyesinin yükseldiği ve göletten taşmaların başladığı, ancak gövde yıkımının henüz gerçekleşmediği dönemi kapsar.

- Erken Safhalar (0-540 saniye): Simülasyonun başlangıcında kentsel alan kuru durumdayken, 180. sn'den itibaren gölet çıkışında su akışı başlar. Bu bölgelerde su derinlikleri 1,0-1,5 m'ye, hızlar ise 2,0-3,0 m/s'ye ulaşarak ilk su baskını tehdidini oluşturur. 540. sn'ye gelindiğinde, su kentsel alanın alçak kotlu bölgelerine yayılmış, akım derinlikleri 1,5-2,5 m'ye, hızlar ise 4,0-6,0 m/s'ye yükselmiştir. Özellikle göletin hemen yakınındaki ve ana akış koridorundaki prob noktalarında (Prob 2, Prob 3), bu ilk aşamada dahi hızlar ve derinlikler insanlar için tehlikeli seviyelere ulaşmıştır.
- Orta Safhalar (540-1080 saniye): Bu süreçte taşkın suyu kentsel alana daha derinlemesine yayılım göstererek su basan alanları genişletir. 720. sn'de derinlikler 2,0-3,0 m'ye, hızlar ise 5,0-7,0 m/s'ye ulaşır. Bu derinlikler evlerin zemin katlarını etkilemeye başlamış, hızlar ise araçlar ve yürüyen

insanlar için önemli risk oluşturmuştur. 1080. sn'ye gelindiğinde, taşkın yayılımı maksimuma yaklaşmıştır; kentsel alanın büyük bir bölümü derin su altında kalmış, derinlikler birçok yerde 3,0-3,5 m'ye kadar ulaşmış ve akım hızları 6,0-9,0 m/s gibi yüksek değerlerde seyretmiştir. Bu dönemde Prob 5 gibi kentsel alanın iç kesimlerindeki noktalarda derinlikler 2,0-2,5 m civarında stabilize olmaya başlamış, hızlar ise 1,5-2,0 m/s seviyelerine çıkarak tahliye zorluklarına yol açmıştır.

- Kritik Safhalar (1080-1800 saniye): 1800. sn'ye gelindiğinde, gövde yıkılması öncesindeki son kritik duruma ulaşılır. Taşkın suyunun yayılımı ve derinlikleri maksimum seviyededir. Kentsel alanın neredeyse tamamı su altındadır ve birçok yerde su derinlikleri 3,5 m civarındadır. Ana akış koridorunda ve kentsel alandaki hızlar 7,0-10,0 m/s gibi oldukça yüksek ve yıkıcı değerlerdedir. Özellikle Prob 1 gibi gölete en yakın prob noktalarında 11 m'ye yakın derinlikler kaydedilmiş, bu da gölet çevresindeki alanda tam bir su basmasına işaret etmiştir. Bu durum, gövde yıkılmasının tetiklenmesinden önceki en şiddetli yağış kaynaklı taşkın senaryosunu yansıtmaktadır.

İkinci Evre: Gövde Yıkılması ve Taşkın Dalgasının Yayılımı (1800-3600 saniye)

1800. sn'den itibaren gövde yıkılması senaryosu devreye girmiş ve taşkın dinamikleri radikal bir şekilde değişerek felaket düzeyine ulaşmıştır.

- Yıkımın İlk Etkileri (1800-2160 saniye): Gövde yıkımının etkileri 2160. sn'de belirginleşir. Göletten salınan su kütlesi, kentsel alana çok daha büyük bir enerji ve hacimle yayılır. Su derinliği ve yayıldığı alan önemli ölçüde artar, daha önce kuru olan bazı bölgeler de derin su altında kalır. Özellikle gölet çıkışında ve ana akış koridorunda hızlar 8,0-10,0 m/s gibi son derece tehlikeli değerlere ulaşır. Bu aşamada Prob 2 ve Prob 3'te akım hızı, 18 m/s ve 17 m/s gibi inanılmaz zirvelere çıkarak anında ve geniş çaplı yapısal yıkım potansiyeli yaratmıştır. Bu hızlar, büyük araçları dahi sürükleyebilir, sağlam yapıları temellerinden sarsabilir ve dolayısıyla can kaybı riskini dramatik şekilde artırır. Kentsel alanın içindeki akış hızları da geniş bir alanda 4,0-7,0 m/s gibi kritik seviyelere ulaşmıştır.

- Maksimum Yayılım ve Yoğunluk (2160-2880 saniye): Taşkın etkileri 2520. sn'de tamamen yerleşime yayılmış ve felaket boyutlarına ulaşmıştır. Suyun derinliği ve yayılım alanı, gözlemlenen en yüksek seviyelerdedir. Kentsel alanın büyük bir bölümünde derinlikler 2,0-3,5 m aralığında seyrederken, hızlar hala yüksekliğini korumakta; ana akış koridorunda 8,0-10,0 m/s, kentsel alanda ise 4,0-7,0 m/s civarındadır. Bu durum, yerleşim yerlerinin önemli bir bölümünün tamamen su altında kaldığını ve yıkıcı akım koşullarına maruz kaldığını gösterir. 2880. sn'de taşkın, ulaşabileceği maksimum yıkım ve yayılım potansiyeline ulaşır; kentsel alanın büyük bir bölümü derin su altında ve tehlikeli hızlar devam etmektedir. Bu dönemde Prob 6 gibi daha uzak prob noktalarında dahi derinlikler 2,5-3,0 m'ye, hızlar ise 4 m/s'ye kadar yükselmiş, bu da daha geniş bir alanda ciddi yapısal hasar riskinin arttığına işaret etmiştir.
- Taşkının Stabilizasyonu/Geri Çekilme Başlangıcı (2880-3600 saniye): 3240. sn'de gövde yıkımı senaryosunun etkileri hala yoğun bir şekilde devam etmektedir. Yayılım ve derinlik açısından maksimum seviyeler korunmaktadır. 3600. sn'de, taşkının en yoğun evresinin sona erdiği ve durağanlaşma veya yavaşça geri çekilme sürecinin başladığı düşünülebilir. Suyun yayılım alanı hala geniş olmakla birlikte, yeni yayılım alanlarında belirgin bir artış gözlenmez. Derinlikler hala yüksek olmakla birlikte, bazı kenar bölgelerde hafif azalmalar başlamış olabilir. Hızlar, özellikle ana akış koridorunda yüksek kalsa da (8,0-10,0 m/s), kentsel alanın genelinde bir miktar yavaşlama eğilimi görülebilmektedir (2,0-7,0 m/s aralığında dağılım). Ancak bu durum, riskin tamamen ortadan kalktığı anlamına gelmemektedir; Prob 7 gibi en uç noktalarda bile derinlikler 1,0-1,5 m, hızlar ise 3,0-3,5 m/s seviyelerinde kalmaktadır, bu da uzun süreli su baskını ve taşıma riski anlamına gelir.

7. SONUÇ

Bu tez çalışması taşkın riskinin, zamanla değişen derinlik ve hız profillerinin dinamik bir kombinasyonu olarak ele alınması gerektiğini net bir şekilde ortaya koymuştur. Gerçekleştirilen hidrolik simülasyonlar, yüzeydeki sığ su seviyelerinin bile yüksek akış hızlarıyla birleştiğinde, insanlar ve araçlar için ölümcül tehlikeler yaratabileceği gibi, yapılarda da ciddi hasarlara yol açabileceğini göstermiştir. Özellikle baraj yıkılmaları gibi ani, yüksek enerjili hidrolik olaylar, statik taşkın haritalarının yetersiz kaldığı, zamana bağlı hidrolik modelleme ve dinamik risk değerlendirmesi gibi ileri analiz yöntemlerinin zorunlu olduğunu vurgulamıştır. Bu bağlamda, yeşil altyapı ve taşkına dayanıklı tasarım prensiplerinin kentsel planlamaya entegrasyonu, risk azaltma stratejilerinin temelini oluşturmaktadır.

Araştırmamız, savunmasızlık kavramının tek boyutlu olmadığını; belirli sel özellikleri (derinlik, hız, süre) ile etkilenenin içsel karakteristikleri (insanın fiziksel kapasitesi, araç tipleri, yapı malzemeleri, temel yapıları ve yükseklik gibi) arasındaki karmaşık bir etkileşim olduğunu gözler önüne sermiştir. Bu çok yönlü bakış açısı, gelecekteki risk değerlendirmelerinde yalnızca yapısal varlıkları değil, aynı zamanda yapı tiplerini, inşaat yöntemlerini ve potansiyel olarak savunmasız toplulukların demografik yapısını da ayrıştırma ihtiyacını ortaya koymaktadır.

7.1. Uygulanabilir Bulgular ve Stratejik Öneriler

Bu tez kapsamında elde edilen akademik bulgular, taşkın riskini azaltma ve olası bir felakete karşı toplumsal direnci artırma konusunda kritik stratejilerin geliştirilmesine ışık tutmaktadır:

- Entegre Erken Uyarı ve Tahliye Sistemleri: Özellikle ani gelişen baraj yıkılması senaryolarına özgü olarak, gerçek zamanlı hidrolik veriye dayalı, hızlı ve doğru uyarılar sağlayacak, tahliye kararlarını destekleyecek bütünleşik erken uyarı sistemlerinin tesis edilmesi hayati bir zorunluluktur. Bu sistemler, taşkının anlık derinlik ve hız bilgilerini raporlayarak, hedeflenmiş ve etkili tahliye bölgelerinin belirlenmesine imkân tanımalıdır.
- Akılcı Arazi Kullanımı ve Yapısal Güçlendirme: Simülasyonlarımızın işaret ettiği yüksek riskli alanlarda yeni yapılaşmaya kesinlikle izin verilmemesi esastır. Mevcut yapıların ise taşkın derinlikleri ve hızlarına dayanacak şekilde

güçlendirilmesi veya kademeli olarak riskli bölgelerden taşınması düşünülmelidir. Taşkın suyunun doğal akışını kolaylaştıran, düşük kotlu ve hassas bölgelerin yeşil alan, su depolama havzaları veya kontrollü taşkın yatakları olarak ayrılması, kentsel planlamanın vazgeçilmez bir parçası olmalıdır.

- Kritik Altyapı Dayanıklılığı ve Alternatif Yönlendirme: Köprüler, yollar, enerji ve iletişim hatları gibi kritik altyapı elemanlarının taşkınlara karşı dayanıklılığının artırılması veya daha az riskli bölgelere deplase edilmesi stratejik önem taşımaktadır. Taşkın debisini kontrol edebilecek ya da kentsel alan dışına yönlendirebilecek seddeler, bentler, baypas kanalları veya geçirgen peyzaj elementleri gibi mühendislik çözümlerinin aktif olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.
- Toplumsal Bilinçlendirme ve Eğitim Programları: Toplumun taşkın riskleri konusunda kapsamlı ve sürekli olarak bilinçlendirilmesi, tahliye yolları, toplanma alanları ve acil durum planları hakkında düzenli eğitimlerin verilmesi, bireysel hazırlıkların teşvik edilmesi, potansiyel can ve mal kayıplarının minimize edilmesinde kilit rol oynayacaktır.
- Gölet Güvenliği ve Proaktif Yönetim: Çalışmamızın temelini oluşturan göletin yapısal bütünlüğünün ve güvenlik standartlarının periyodik ve titizlikle denetlenmesi, olası zayıflıkların tespiti ve güçlendirme çalışmalarının zamanında yapılması büyük önem arz etmektedir. Aşırı yağış senaryolarına karşı göletin taşıma kapasitesinin sürekli değerlendirilmesi ve acil durumlarda kontrollü boşaltma ve su seviyesi düşürme prosedürlerinin önceden belirlenmesi hayati bir gerekliliktir.
- Dinamik İzleme ve Sürekli Modelleme İyileştirmesi: Benzeri hidrolik simülasyonların periyodik olarak güncellenmesi ve iklim değişikliğine bağlı ekstrem yağışlar veya ardışık taşkınlar gibi daha şiddetli ve karmaşık senaryoların modellenmesiyle risk değerlendirmesinin sürekli olarak iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım, karar vericilere güncel ve doğru bilgi sağlayarak daha etkili müdahale ve adaptasyon planları geliştirmelerine olanak tanır.

7.2. Genel Değerlendirme ve Gelecek Araştırma Vizyonu

Bu simülasyonlar değerli içgörüler sunarken, her modelin doğruluğunun girdi verilerinin kalitesine (yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modelleri gibi) ve kapsamlı model kalibrasyonuna bağlı olduğu unutulmamalıdır. Gelecekteki risk değerlendirmelerinin sağlamlığını daha da artırmak adına, belirsizlik analizleri, iklim değişikliği projeksiyonlarının ve sosyo-ekonomik etki modellemesinin entegrasyonu, multidisipliner yaklaşımlarla derinleştirilmelidir.

Sonuç olarak ister öngörülebilir ister aşırı olaylardan kaynaklansın, taşkın risklerini etkili bir şekilde yönetmek ve azaltmak; sürekli uyanıklık, bilimsel veri iyileştirmesi, gelişmiş modelleme teknikleri ve sürdürülebilir toplum hazırlığı üzerine kurulu bütüncül bir yaklaşım gerektirmektedir. Bu tez raporundaki bulgular ve öneriler, bölgemizin ve benzer coğrafi alanların daha güvenli ve daha dayanıklı topluluklar inşa etme hedefine yönelik önemli ve bilimsel temelli bir adımı temsil etmektedir.

KAYNAKLAR

Aajami, A. ve Kaya, B., 2019, Toprak dolgu barajların yıkılmasının modellenmesi, Yüksek lisans tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi*, PQDT Global, https://www.proquest.com/dissertations-theses/toprak-dolgu-barajların-yıkılmasının-modellenmesi/docview/2964118555/se-2

Abay, O., Baykan, N. ve Baykan, N. O., 2015, Tarih boyunca barajların elden çıkma nedenleri, *Su Yapıları Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 157–166, İnşaat Mühendisleri Odası, https://www.imo.org.tr/Eklenti/6580,176473838pdf.pdf

Arkış, T. ve Güney, M. Ş., 2020, Barajın kısmi ve ani yıkılması durumlarında oluşan taşkın dalgalarının çarpıtılmış fiziksel model ile deneysel olarak araştırılması, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 22(66), 887–896, https://doi.org/10.21205/DEUFMD.2020226622

Baduna Koçyiğit, M., Palamut Kemaloğlu, N. ve Akay, H., 2019, Baraj yıkılması taşkın dalgası yayılımının 1-boyutlu sayısal simülasyonlarla incelenmesi: Rahmanlar Baraj örneği, *Gazi University Journal of Science Part C: Design and Technology*, 7(1), 97–111, https://doi.org/10.29109/gujsc.459444

BBC News, 2025, *Libya'da sel: "Bir zamanlar Derne diye bir şehir vardı"*, https://www.bbc.com/turkce/articles/cd1mp4d8xmmo [Ziyaret Tarihi: 4 Haziran 2025]

Bozkuş, Z. ve Bağ, F., 2011, Çınarcık Barajı'nın sanal yıkılma analizleri, *Teknik Dergi*, 22(109), 5675–5688, https://dergipark.org.tr/tr/pub/tekderg/issue/12750/155184

Çalamak, M., 2017, Tanyeri Barajı Örneğinde Barajların Taşkın Nedeniyle Üstten Aşılma Güvenilirliğinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32(3), https://dergipark.org.tr/tr/pub/gazimmfd/issue/31110/337652

Dal, K., Kocaman, S. ve Yılmaz, A., 2021, Mansapta trapez daralma olması durumunda baraj yıkılması taşkın dalgası yayılımının sığ su denklemleri ile

modellenmesi, *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 695–703, https://doi.org/10.28948/ngumuh.825144

DSİ, 2025, 26. Bölge Müdürlüğü, https://bolge26.dsi.gov.tr/Haber/Detay/5518 [Ziyaret Tarihi: 4 Haziran 2025]

Duvan, A. ve Yıldız, O., 2020, Kapulukaya Barajı olası yıkılma sonrası taşkın etkilerinin araştırılması, *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 2(2), 1–10, https://doi.org/10.46387/bjesr.702261

Efe, H. ve Önen, F., 2022, Batman Barajı'nın yıkılma analizi ve baraj güvenliği açısından değerlendirilmesi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 13(3), 579–587, https://doi.org/10.24012/dumf.1097025

Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltaş, I. ve Kocaman, B., 2017, Baraj yıkılması sonrası iki boyutlu taşkın yayılımının yerleşim bölgeleri için modellenmesi, *Teknik Dergi*, 28(3), 7955–7975, https://doi.org/10.18400/TEKDERG.307456

Em, A. ve Hamidi, N., 2021, Kralkızı Barajı'nın olası yıkılması sonrası bir boyutlu taşkın analizi, *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 12(3), 535–541, https://doi.org/10.24012/dumf.889307

Flow Science Inc., 2012, Hibrit sığ su 3D akış modeli | FLOW-3D | CFD yazılımı FLOW-3D documentation release 10.1.0, https://www.flow-3d.com/modeling-capabilities/hybrid-shallow-water-3d-flow/

Gül, E. ve Dursun, Ö. F., 2018, İki boyutlu baraj yıkılma modellemesi: Sürgü Barajı örneği, *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(3), 97–104, https://dergipark.org.tr/tr/pub/fumbd/issue/39229/461982

ICOLD, 2025, World register of dams, https://www.icold-cigb.org/gb/World_register/general_synthesis.asp

Palamut, N., 2014, Baraj yıkılma analizi ve uygulaması, Yüksek lisans tezi, *Afyon Kocatepe Üniversitesi*, Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi, https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/tezSorguSonucYeni.jsp

Şen, Z., 2017, Taşkınlar, kuraklıklar ve etkileri: Maruz kalma, tehditleri, ekonomik zararları, *Taşkın Bülteni*, 4, https://avesis.medipol.edu.tr/yayin/273ea430-fd97-4791-9333-3542c4109177

Üslü, A., 2024, Erzincan Barajı'nın olası yıkılma senaryolarının sayısal analizlerle incelenmesi ve taşkın etkilerinin değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, *Gümüşhane Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, https://katalog.gumushane.edu.tr/yordam/?p=1&alan=kunyeDemirbasKN_str&q=0119671

Zhang, L., Xu, Y. ve Jia, J. S., 2009, Analysis of earth dam failures: A database approach, *Georisk*, 3(3), 184–189, https://doi.org/10.1080/17499510902831759