T.C.

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOZGAT İL MERKEZİ İÇİN TAŞKIN ANALİZİ

SADİ CANTÜRK

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Murat AY

YOZGAT - 2022

T.C.

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOZGAT İL MERKEZİ İÇİN TAŞKIN ANALİZİ

SADİ CANTÜRK

Tez Danışmanı

Dr. Öğr. Üyesi Murat AY

YOZGAT - 2022

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan eder, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Sadi CANTÜRK

05/01/2022

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YOZGAT İL MERKEZİ İÇİN TAŞKIN ANALİZİ

SADİ CANTÜRK

YOZGAT BOZOK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ MURAT AY

Şehir merkezleri çevresine su depolama, sulama, taşkın koruma, yenilenebilir enerji üretimi ve sosyal alan oluşturmak amacıyla yapay göletler inşa edilmektedir. Şehir merkezlerinde nüfus yoğunluğunun yüksek, yapılaşmanın yoğun olması ve geçirimsiz yüzey alanlarının yüksek olmasından dolayı ani oluşan baraj yıkılması taşkını, yüksek oranda can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Bu çalışma kapsamında Yozgat il merkezi çevresinde bulunan Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i barajlarının olası çoklu yıkılması durumunda, il merkezi için taşkın analizi yapılmıştır. Gölet seviye-hacim eğrileri Harita Genel Müdürlüğünden (HGM) temin edilen beş metre çözünürlüğe sahip Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak ArcGIS Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı ile elde edilmiştir. Taşkın alanlarına altlık oluşturan, 50 cm çözünürlüklü SYM verisi Tapu Kadastro Genel Müdürlüğünden (TKGM) temin edilmiştir. Taşkın dağılım hızına etki eden yüzey pürüzlülük katsayısı, CORINE UA arazi kullanımı/örtüsü şehir atlası verisi ve HGM tarafından üretilen ortofotolardan faydalanılarak konuma göre belirlenmiştir. Üstten aşma (ÜA) ve borulanma (B) senaryolarında oluşabilecek gediğin en büyük taban genişliği, şev eğimi ve oluşma süresi, daha önce yıkılan barajlardan elde edilen regresyon eşitlikleri kullanılarak tahmin edilmiştir. Baraj yıkılmaları sonucunda oluşan çıkış hidrografları ve şehir merkezinden geçen Yozgat Deresi'nin kapalı kanal içerisine alınan kısmı, MIKE HYDRO River yazılımında bir boyutlu (1B) olarak modellenmiştir. Baraj yıkılması sonucunda oluşan taşkının yayılma alanı, MIKE 21 FM yazılımında iki boyutlu (2B) olarak modellenmiştir. MIKE FLOOD yazılımında 1B baraj yıkılma modeli ve 2B taşkın yayılım modeli birlikte analiz edilmiştir. Analiz sonucunda 1B baraj yıkılma modelinden elde edilen çıkış hidrograflarının, yıkılma senaryolarına bağlı değişimi incelenmiştir. Çoklu baraj yıkılması durumunda oluşabilecek afete ilişkin 2B taşkın haritaları ve tehlike haritaları oluşturulmuştur. Baraj yıkılması sonucu oluşan yüksek taşkın debisini karşılamada, kapalı dere kesitlerinin ve çıkış noktasında bulunan menfezin yetersiz kaldığı tespit edilmiştir. Taşkın sonucu şehrin içinden geçen D200 Karayolunun belirli kısmı ve karayolu üstünde bulunan altgeçidin de taşkın seviyesi altında kaldığı tespit edilmiştir. Yozgat il merkezinde olası taşkın etkilerini azaltmak amacıyla önerilerde bulunulmuştur.

2022, xvii+156 SAYFA

ANAHTAR KELİMELER: Baraj Yıkılması, MIKE 21 FM, MIKE FLOOD, MIKE HYDRO RIVER, Taşkın Analizi.

ABSTRACT

MASTER THESIS

FLOOD ANALYSIS FOR YOZGAT CITY CENTER

SADİ CANTÜRK

YOZGAT BOZOK UNIVERSITY
SCHOOL OF GRADUATES STUDIES

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. MURAT AY

Artificial ponds are built around city centers for water storage, irrigation, flood protection, renewable energy generation and social space. Due to the high population density in the city centers, the dense construction and the high impermeable surface areas, the sudden dam failure flood causes a high rate of loss of life and property. Within the scope of this study, in case of multiple failures of Kirazlı Pond, Çiftlik Dere Pond and Bekir Cevdet Dündar Pond located around Yozgat city center, a flood analysis was carried out for the city center. Pond level-volume curves were obtained with ArcGIS Geographic Information System (GIS) software using the Digital Elevation Model (DEM) with five meters resolution obtained from the General Directorate of Mapping (HGM). The 50 cm resolution DEM data, which forms the basis for the flood areas, was obtained from the General Directorate of Land Registry and Cadastre (TKGM). The surface roughness coefficient affecting the flood dispersal rate was determined by location using CORINE UA land use/cover city atlas data and orthophotos produced by HGM. The maximum base width, side slope and formation time of the breach that may occur in the Overtopping (OT) and piping (P) scenarios were estimated using the regression equations obtained from the dams that had previously collapsed. The outflow hydrographs formed as a result of the dam failures and the closed section of the Yozgat Stream passing through the city are modelled as one-dimensional (1D) in MIKE HYDRO River software. The spreading area of the flood resulting from the dam failure was modelled as two-dimensional (2D) in MIKE 21 FM software. 1D dam failure model and 2D flood propagation model were analysed together in MIKE FLOOD software. As a result of the analysis, the variation of the output hydrographs obtained from the 1D dam failure model, depending on the failure scenarios, was examined. 2D flood maps and hazard maps were created for the disaster that may occur in case of multiple dam failures. It has been determined that the closed stream sections and the culvert at the exit point are insufficient to meet the high flood flow caused by the dam failure. As a result of the flood, it has been determined that a certain part of the D200 Highway passing through the city and the underpass on the highway are below the flood level. Suggestions were made in order to reduce the possible flood effects in Yozgat city center.

2022, xvii+156 PAGES

KEYWORDS: Dam Failure, Flood Analysis, MIKE 21 FM, MIKE FLOOD, MIKE HYDRO RIVER.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması sürecindeki katkıları ve yapıcı önerileri için danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat AY hocama, yüksek lisans eğitimim süresince bana sabır gösteren ve desteklerini esirgemeyen kıymetli hocam Öğr. Gör. Dr. Hüseyin ÇİLSALAR'a, arkadaşım Arş. Gör. Behlül Furkan ÖZEL'e, tezin hazırlanması sırasında çok önemli yardımlarını gördüğüm eniştem Bilgisayar Yüksek Mühendisi Onur AYGÜN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

MIKE yazılımının lisansını sağlayan DHI kuruluşuna ve DHI Türkiye temsilcisi SUMODEL firmasına, özellikle İnşaat Yüksek Mühendisi Görkem ÖNDER'e ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmada kullanılan verilerin temin edildiği Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğüne, Tapu Kadastro Genel Müdürlüğüne, Yozgat Belediyesine ve Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğüne teşekkür ederim.

Tez çalışmam boyunca her zaman yanımda olan ve en büyük destekçim, canım eşim Nursena CANTÜRK ve biricik oğlum başta olmak üzere, tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen sevgili annem, sevgili babam ve değerli kardeşlerime en büyük teşekkürlerimi sunarım.

Sadi CANTÜRK
05/01/2022

İÇİNDEKİLER

Sayfa

Tez Onay Sayfası ii
Tez Beyanı iii
Özet iv
Abstract v
Önsöz vi
İçindekiler vii
Tablolar Listesi ix
Şekiller Listesi xi
Simgeler ve Kısaltmalar Listesi xv
1. GİRİŞ 1
2. LİTERATÜR TARAMASI 11
3. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER 22
3.1. Çalışma Alanı 22
3.2. Veriler 23
3.2.1. Sayısal Yüzey Modeli 23
3.2.2. Arazi Kullanımı/Örtüsü Haritası 26
3.2.3. Yağış Verisi 29
3.2.4. Toprak Özellikleri 33
3.2.5. Gölet ve Akarsu Özellikleri 35
3.2.6. Taşkın Alanı Bina Verisi 38
4. YÖNTEM 41
4.1. Gölet Derinlik Haritaları ve Seviye-Hacim İlişkilerinin Belirlenmesi 41
4.2. Baraj Yıkılması Gedik Parametrelerinin Belirlenmesi 44
4.2.1. Macdonald ve Langridge-Monopolis Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi 46
4.2.2. Von Thun ve Gillette Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi 47
4.2.3. Froehlich Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi (1995b) 49
4.2.4. Froehlich Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi (2008) 49
4.2.5. Xu ve Zhang Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi 50
4.3. Yağış-Akış İlişkisi 53
4.3.1. Yağış Verilerinin İstatiksel Analizi 53
4.3.2. Sentetik Yağış-Akış İlişkisi Yöntemleri 55
4.4. MIKE HYDRO River 1B Hidrodinamik Model 64
4.4.1. MIKE HYDRO River Kullanıcı Arayüzü 64

Sayfa

4.4.2. MIKE HYDRO River Hidrodinamik Model Denklemleri 66
4.5. MIKE 21 FM 2B Hidrodinamik Model 70
4.5.1. MIKE 21 FM Kullanıcı Arayüzü 70
4.5.2. MIKE 21 FM Hidrodinamik Model Denklemleri 72
4.6. MIKE FLOOD 1B/2B Birleşik Model 73
5. UYGULAMA 77
5.1. Gölet Derinlik Haritaları ve Seviye-Hacim İlişkilerinin Belirlenmesi 77
5.2. Yağış-Akış İlişkisi Parametrelerinin Belirlenmesi 83
5.2.1. Yağış Verilerinin İstatiksel Analizi 83
5.2.2. Yağış-Akış Modeli Parametrelerinin Belirlenmesi 86
5.3. Baraj Yıkılması Gedik Parametrelerinin Belirlenmesi 91
5.4. MIKE HYDRO River ile Baraj Yıkılmalarının 1B Modellenmesi 95
5.4.1. Gölet Giriş Hidrograflarının Farklı Yağış Senaryoları için Belirlenmesi 95
5.4.2. Gölet Çıkış Hidrograflarının Farklı Senaryolar için Tahmini 98
5.5. MIKE 21 FM ile Taşkın Alanının 2B Modellenmesi 107
5.5.1. Esnek Ağ (Flexible Mesh) Geometri Modeli 107
5.5.2. Hidrodinamik Model Parametrelerinin Tanımlanması 109
5.6. MIKE FLOOD ile Bütünleşik Baraj Yıkılması ve Taşkın Yayılımı Analizi 112
6. BULGULAR 113
6.1. Taşkın Yayılım Haritaları 114
6.2. Taşkın Tehlike Haritaları 121
6.3. Merkez Boykesit Profili ve Belirlenen Enkesitlerden Geçen Taşkın Debisi 129
6.3.1. Boykesit profili 130
6.3.2. Taşkın Merkez Hattından Alınan Enkesitlerden Geçen Taşkın Hidrografları 131
6.3.3. Menfezlerden Geçen Taşkın Akımları 133
6.3.4. Karayolu Alt Geçidinden Geçen Taşkın Akımı 136
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER 138
8. KAYNAKLAR 146
ÖZGEÇMİŞ

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo **Sayfa**

Tablo 1.1. Taşkınların sınıflandırılması (Kerim ve Süme, 2019) 2
Tablo 1.2. Farklı taşkın tipleri için olay başına ortalama ölüm oranı (Jonkman ve Vrijling, 2008) 4
Tablo 1.3. FEMA tehlike potansiyeli sınıflandırma sistemi (FEMA, 2004a) 5
Tablo 3.1. Arazi kullanımının alansal dağılımı ve çalışmada kullanılan pürüzlülük değerleri 28
Tablo 3.2. Yozgat MGİ standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri 31
Tablo 4.1. Baraj yıkılması gedik parametreleri veya pik debi hesabı için önerilen denklemler (Wahl, 1998) 45
Tablo 4.2. C_b (Rezervuar kapasitesine bağlı katsayı) 48
Tablo 4.3. Gumbel dağılımında rasat süresine göre γ_n değerleri 54
Tablo 4.4. Gumbel dağılımında rasat süresine göre σ_n değerleri 54
Tablo 4.5. Büyük toprak grupları ve sembolleri (Öztürk ve Batuk, 2011) 58
Tablo 4.6. Büyük Toprak Grubu (BTG) ve Toprak Özellikleri Kombinasyonu (TOK) 59
Tablo 4.7. BTG ve TOK'a göre HTG'ler (Özer, 1990; Öztürk ve Batuk, 2011) 59
Tablo 4.8. Hidrolojik toprak gruplarına göre eğri numarası (Halley ve diğerleri, 2000; Öztürk ve Batuk, 2011; USDA, 1986) 60
Tablo 4.9. Toprağın nem içeriğine göre CN koşulları 60
Tablo 4.10. SCS boyutsuz birim hidrograf koordinatları 62
Tablo 5.1. Kirazlı Gölet'i seviye-hacim-alan değerleri 80
Tablo 5.2. Çiftlik Dere Gölet'i seviye-hacim-alan değerleri 81
Tablo 5.3. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i seviye-hacim-alan değerleri 82
Tablo 5.4. Yozgat MGİ tekerrürlü yağış değerleri (mm) 83
Tablo 5.5. FEMA'nın önerdiği baraj giriş hidrografı tasarım gereksinimleri (FEMA, 2013c) 84
Tablo 5.6. Yozgat MGİ yıllık standart zamanlardaki 1000 yıl yinelemeli yağış değerleri(mm) 84
Tablo 5.7. Yozgat istasyonunda aşıra yağışa ilişkin fevk (olağanüstü olay) hadiseleri 86
Tablo 5.8. Çalışma bölgesi havza karakteristikleri 86
Tablo 5.9. Gölet havzaları hidrolojik toprak grupları 88

Tablo **Sayfa**

Tablo 5.10. CORINE UA 2018 arazi kullanımı/örtüsüne göre belirlenen SCS eğri numaraları 89
Tablo 5.11. Kirazlı Gölet'i SCS eğri numarası hesap tablosu 90
Tablo 5.12. Çiftlik Dere Gölet'i SCS eğri numarası hesap tablosu 90
Tablo 5.13. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i SCS eğri numarası hesap tablosu 90
Tablo 5.14. Kirazlı Gölet'i güneşli gün yıkılma senaryosu parametreleri 91
Tablo 5.15. Kirazlı Gölet'i yağışlı gün yıkılma senaryosu parametreleri 92
Tablo 5.16. Çiftlik Dere Gölet'i güneşli gün yıkılma senaryosu parametreleri 92
Tablo 5.17. Çiftlik Dere Gölet'i yağışlı gün yıkılma senaryosu parametreleri 93
Tablo 5.18. Çiftlik Dere Gölet'i güneşli gün yıkılma senaryosu parametreleri 93
Tablo 5.19. Çiftlik Dere Gölet'i yağışlı gün yıkılma senaryosu parametreleri 94
Tablo 5.20. Froehlich (2008) yöntemi kullanılarak elde edilen gedik parametreleri 94
Tablo 5.21. Gölet giriş hidrograflarının hesaplanmasında kullanılan 1 saat ve 24 saat süreli (1000 yıl tekerrürlü) yağış değerleri 95
Tablo 5.22. Gölet giriş hidrograflarına ait özet bilgiler 97
Tablo 5.23. Gölet çıkış hidrograflarına ait özet bilgiler (Yıkılma olmaması durumunda) 102
Tablo 5.24. Gölet çıkış hidrograflarına ait özet bilgiler (Yıkılma olması durumunda) 105
Tablo 5.25. Çalışma alanı esnek ağ elemanları alansal istatistikleri 108
Tablo 5.26. Hidrodinamik analiz zaman parametreleri 110
Tablo 5.27. MIKE FLOOD modelinde tanımlanan bağlantılar 112
Tablo 6.1. İki boyutlu taşkın yayılım haritaları 114
Tablo 6.2. Taşkın altında kalan toplam alan ve maksimum su derinlikleri istatistikleri ... 116
Tablo 6.3. Birleşik tehlike eğrileri - zafiyet sınıflandırma sınırları (Smith ve diğerleri, 2014) 121
Tablo 6.4. Borulanma ve üstten aşma senaryoları için zamana bağlı tehlike haritalarının istatistikleri ve karşılaştırması 127
Tablo 7.1. Yozgat İl merkezi mahalle nüfusları ve taşkından etkilenme durum ve oranları 141

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 1.1. Taşkın nedenleri (Adhikari ve diğerleri, 2010) 4
Şekil 1.2. Taşma ve borulanma nedeniyle baraj gediğinin gelişimi (Federico ve Cesali, 2020) 7
Şekil 3.1. Çalışma alanı haritası 22
Şekil 3.2. Sayısal yüzey modeli (SYM5) 23
Şekil 3.3. Ortofoto üretim bölgeleri ve yüksek çözünürlüklü (10 cm) Yozgat ortofotosu 24
Şekil 3.4. SYM50cm verisi detayı ve kapsamı 25
Şekil 3.5. Yozgat Merkez ilçesi CORINE UA 2018 verisi ve kapsamı 26
Şekil 3.6. Çalışma alanı arazi örtüsü/kullanımı haritası ve detayı 27
Şekil 3.7. Pürüzlük (Manning) katsayıları haritası 29
Şekil 3.8. Çalışma sahası Thiessen poligonu 30
Şekil 3.9. Yozgat MGİ yağış-şiddet-süre-tekerrür eğrileri 32
Şekil 3.10. Çalışma alanı BTG haritası 33
Şekil 3.11. Çalışma alanı toprak derinliği haritası 34
Şekil 3.12. Çalışma alanı arazi eğimi haritası 34
Şekil 3.13. Çiftlik Dere Gölet'i gövde enkesiti 35
Şekil 3.14. Çiftlik Dere Gölet'i boyuna profili 36
Şekil 3.15. Olası yıkılması modellenen göletler 36
Şekil 3.16. Belirlenen önemli noktalar ve yapılan ölçme çalışmaları 37
Şekil 3.17. Bina yerleşim planı 38
Şekil 3.18. ArcGIS 3B arazi modeli ve üç boyutlu bina modeli 39
Şekil 3.19. MIKE Zero programında hazırlanan esnek ağ ve bina geometrisi 40
Şekil 4.1. Rezervuar boyuna kesitinin tahmin edilmesi (K. Liu ve diğerleri, 2020) 42
Şekil 4.2. Rezevuar enkesit geometrisinin tahmin edilmesi (K. Liu ve diğerleri, 2020) 43
Şekil 4.3. Tahmin edilen noktalar kullanılarak derinlik haritalarının oluşturulması (K. Liu ve diğerleri, 2020) 43
Şekil 4.4. Trapez gedikli idealleştirilmiş baraj yıkılması geometrisi (Wahl, 1998) 44
Şekil 4.5. Baraj ve gedik geometrisi (Barker ve diğerleri, 2007) 47
Şekil 4.6. İdealleştirilmiş bir baraj gediğinin geometrik parametreleri (Xu ve Zhang, 2009) 51
Şekil 4.7. Süzülme-tutulma ve yağış fazlası ilişkileri (Apaydın, 2007) 56

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.8. Eğri numarasına göre değişen yağış-akış ilişkisi (USDA, 1986) 57
Şekil 4.9. SCS birim hidrografları: (a) Boyutsuz hidrograf (b) Üçgen hidrograf..... 63
Şekil 4.10. Birim hidrograflara uygulanan süperpozisyon ilkesi..... 63
Şekil 4.11. MIKE HYDRO River kullanıcı arayüzü 65
Şekil 4.12. MIKE HYDRO River 1B hidrodinamik çözüm şeması 66
Şekil 4.13. Saint-Venant denklemlerinin çözüldüğü, h (su yüksekliği) ve q (debi) noktalarına sahip hesap ağı kesiti 68
Şekil 4.14. Rezervuar modeli a) Tek bir h noktası b) Enine kesitli bir akarsu (DHI, 2017) 69
Şekil 4.15. Baraj yıkılması kurulum şeması örneği a) Baraj yıkılma yapısı b) Baraj yıkılma ve dolusavak yapısı (DHI, 2020a) 70
Şekil 4.16. MIKE 21 FM akış modeli kullanıcı arayüzü 71
Şekil 4.17. Standart bağlantıların uygulanması (DHI, 2020e)..... 74
Şekil 4.18. Yanal bağlantıların uygulanması (DHI, 2020e) 75
Şekil 4.19. MIKE FLOOD arayüzü 76
Şekil 5.1. Çalışma bölgesi hidrolojik akış ağları ve gölet sınırları 77
Şekil 5.2. Memba, mansap ve rezervuar merkez hatları ve kesişim noktaları..... 78
Şekil 5.3. Kirazlı Gölet'i derinlik haritası; solda (ADBAR), sağda (SYM5)..... 78
Şekil 5.4. Çiftlik Dere Gölet'i seviye-hacim eğrisi; solda (ADBAR), sağda (SYM5)..... 79
Şekil 5.5. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i derinlik haritası: solda (ADBAR), sağda (SYM5) 79
Şekil 5.6. Kirazlı Gölet'i seviye-hacim eğrisi..... 80
Şekil 5.7. Çiftlik Dere Gölet'i seviye-hacim eğrisi 81
Şekil 5.8. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i seviye-hacim eğrisi 82
Şekil 5.9. Yozgat MGİ yıllık standart zamanlardaki 1000 yıl tekerrürlü yağış grafiği 85
Şekil 5.10. Çalışma alanı havza sınırları ve havza karakteristikleri haritası 87
Şekil 5.11. Gölet havzalarının arazi kullanımı/örtüsü haritaları..... 89
Şekil 5.12. Gölet giriş hidrograflarının hesaplanmasında kullanılan 1 saat ve 24 saat süreli (1000 yıl tekerrürlü) toplam yağış eğrileri..... 96
Şekil 5.13. MIKE HYDRO River havza parametreleri giriş ekranı 96
Şekil 5.14. Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i giriş hidrografları (1saat ve 24 saat süreli yağış)..... 97
Şekil 5.15. Kirazlı Gölet'i giriş ve dolusavak çıkış hidrografları..... 98

Şekil **Sayfa**

Şekil 5.16. 1 saatlik ve 24 saatlik yağış sonucu Kirazlı Gölet'i rezervuar su seviyesi değişimi 99
Şekil 5.17. Çiftlik Dere Gölet'i giriş ve dolusavak çıkış hidrografları 99
Şekil 5.18. 1 saatlik ve 24 saatlik yağış sonucu Çiftlik Dere Gölet'i rezervuar su seviyesi değişimi 100
Şekil 5.19. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i giriş ve çıkış hidrografları 101
Şekil 5.20. 1 saatlik ve 24 saatlik yağış sonucu Bekir Cevdet Dündar Gölet'i rezervuar su seviyesi değişimi 101
Şekil 5.21. MIKE HYDRO River 1B model planı genel görünümü 102
Şekil 5.22. Kirazlı ve Çiftlik Dere Gölet'i baraj yıkılması şematik gösterimi 103
Şekil 5.23. Kirazlı Gölet'i baraj yıkılma yapısı memba ve mansap enkesitleri 104
Şekil 5.24. Yozgat Deresi enkesit modeli (solda) ve saha fotoğrafı (sağda) 104
Şekil 5.25. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i mansabında yer alan Taşköprü Deresi kapalı kesiti 105
Şekil 5.26. Baraj yıkılması çıkış hidrografları (Yağışlı gün ve Güneşli gün senaryosu) 106
Şekil 5.27. Çalışma alanı MIKE 21 FM esnek ağ (mesh) kurulum modeli 107
Şekil 5.28. Çalışma alanı esnek ağ modeli 108
Şekil 5.29. Üçgen ve dikdörtgen esnek ağ elemanlarının birlikte kullanımı 109
Şekil 5.30. 2B hidrodinamik model sınır koşulları 110
Şekil 5.31. D200 Karayolu altgeçidi uzun menfez yapısı 111
Şekil 5.32. MIKE FLOOD 1B/2B bütünleşik model planı 112
Şekil 6.1. Üstten aşma senaryosu maksimum su derinliği haritası 114
Şekil 6.2. Borulanma senaryosu maksimum su derinliği haritası 115
Şekil 6.3. Maksimum su derinliği farkı haritası (ÜA-B) 115
Şekil 6.4. Üstten aşma ve borulanma senaryosu taşkın yayılımı sınırları karşılaştırması 117
Şekil 6.5. Taşkın yüksekliği ve bina yüksekliklerinin karşılaştırılması 117
Şekil 6.6. Taşkın başlangıç ve pik zamanı eşdeğer eğrileri 118
Şekil 6.7. Maksimum taşkın akım hızı haritaları: a) ÜA b) B c) Fark (ÜA-B) 119
Şekil 6.8. Taşkın altında ilk kalma zamanı haritaları (derinlik > 0): a) ÜA b) B 119
Şekil 6.9. Maksimum su derinliğine ulaşma zamanı haritaları: a) ÜA b) B 120
Şekil 6.10. Birleşik sel tehlike eğrileri (Smith ve diğerleri, 2014) 122
Şekil 6.11. Üstten aşma (solda) ve borulanma (sağda) senaryosunda zamana bağlı taşkın yayılımı ve tehlike dağılımı (t: 15. dk. t: 30. dk. t: 45. dk.) 123

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.12. Üstten aşma (solda) ve borulanma (sağda) senaryosunda zamana bağlı taşkın ve tehlike dağılımı (t: 60. dk. t: 75. dk.) 124
Şekil 6.13. Üstten aşma (solda) ve borulanma (sağda) senaryosunda zamana bağlı taşkın yayılımı ve tehlike dağılımı (t: 90. dk. t: 240. dk.) 125
Şekil 6.14. Üstten aşma (üstte) ve borulanma (altta) senaryosunda maksimum taşkın tehlikesi haritası 126
Şekil 6.15. Taşkın alanı ve tehlike sınıfının zamana ve taşkın senaryosuna bağlı değişimi 128
Şekil 6.16. Taşkın alanı merkez hattından alınan boykesitin ve enkesitlerin yerleşim planı 129
Şekil 6.17. Maksimum taşkın seviyesi boykesit profili 130
Şekil 6.18. Debi-Zaman Hidrografları (ÜA) 132
Şekil 6.19. Debi-Zaman Hidrografları (B) 132
Şekil 6.20. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda Yozgat Deresi'nden geçen akım 133
Şekil 6.21. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda Taşköprü Deresi'nden geçen akım 134
Şekil 6.22. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda iki gözlü kutu menfezden geçen akım 135
Şekil 6.23. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda iki gözlü kutu menfez boykesit profili 135
Şekil 6.24. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda karayolu alt geçidinden geçen akım 136
Şekil 6.25. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda karayolu altgeçidi boykesit profili 137
Şekil 7.1. Yozgat il merkezi taşkın tehlike haritası 142

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	**Açıklamalar**
mm	**:** Milimetre
m	**:** Metre
m^2	**:** Metrekare
m^3	**:** Metreküp
m^3/s	**:** Metreküp/Saniye
km^2	**:** Kilometrekare
ha	**:** Hektar

Kısaltmalar	**Açıklamalar**
1B	**:** Bir Boyutlu
2B	**:** İki Boyutlu
3B	**:** Üç Boyutlu
ADBAR	**:** Approach for Determining the BAthymetry and water storage of channel-type Reservoirs (Kanal Tipi Rezervuarların Batimetrisini ve Su Depolama Kapasitesini Belirleme Yaklaşımı)
AEP	**:** Acil Eylem Planı
AGİ	**:** Akım Gözlem İstasyonu
ArcView	**:** CBS Yazılımı
BreZo	**:** 2B Hidrodinamik Analiz Yazılımı
BTG	**:** Büyük Toprak Grupları
CBS	**:** Coğrafi Bilgi Sistemi
	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
CORINE	**:** Coordination of Information on the Environment (Çevresel Bilginin Koordinasyonu)
CORINE CLC	**:** CORINE Land Cover (CORINE Arazi Örtüsü)
CORINE UA	**:** CORINE Urban Atlas (CORINE Şehir Atlası)
DHI	**:** Danish Hydraulic Institute (Danimarka Hidrolik Enstitüsü)
DSİ	**:** Devlet Su İşleri
DSS-WISE™	**:** CBS Destekli 2B Hidrodinamik Analiz Yazılımı

FEMA	**:** Federal Emergency Management Agency (Federal Acil Durum Yönetim Kurumu)
FERC	**:** Federal Energy Regulatory Commission (Federal Enerji Düzenleme Komisyonu)
FLO-2D	**:** 2B Hidrodinamik Analiz Yazılımı
FLOW-3D	**:** 3B Hidrodinamik Analiz Yazılımı
HEC	**:** Hydrologic Engineering Center **(**Hidroloji Mühendisliği Merkezi)
HEC-HMS	**:** HEC-Hydrologic Modeling System (Hidrolojik Modelleme Sistemi yazılımı)
HEC-RAS	**:** HEC-River Analysis System (Nehir Analiz Sistemi yazılımı)
HEC-SSP	**:** HEC-Statistical Software Package (İstatistiksel Yazılım Paketi)
HGM	**:** Harita Genel Müdürlüğü
HTG	**:** Hidrolojik Toprak Grupları
ICODS	**:** Interagency Committee on Dam Safety (Kurumlararası Baraj Güvenliği Komitesi)
ICOLD	**:** International Commission on Large Dams (Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu)
ICOLD EC	**:** ICOLD European Club (ICOLD Avrupa Kulübü)
LIDAR	**:** Light Detection and Ranging (Lazer darbeleri kullanılarak bir nesne veya bir yüzeyin uzaklığını anlamaya yarayan teknoloji)
LISFLOOD-FP	**:** 2B Hidrodinamik Analiz Yazılımı
MGİ	**:** Meteorolojik Gözlem İstasyon
MIKE	**:** DHI tarafından geliştirilen su mühendisliği yazılımı
MGM	**:** Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MIKE 21 FM	**:** MIKE 2B Hidrodinamik Analiz Modülü
MIKE FLOOD	**:** MIKE 1B/2B Bütünleşik Analiz Modülü
MIKE HYDRO River	**:** MIKE 1B Nehir Analizi Modülü
MIKE Zero	**:** MIKE Entegre Kullanıcı Arayüzü
NID	**:** National Inventory of Dams (Ulusal Baraj Envanteri)
NLCD	**:** National Land Cover Database (Amerikan Ulusal Arazi Örtüsü Veri tabanı)
NWS	**:** National Weather Service (Ulusal Hava Servisi)
NWS DAMBRK	**:** NWS Dam Break Flood Forecasting Model (1B Baraj Yıkılması Sel Tahmini Modeli)
NWS FLDWAV	**:** NWS Flood Wave Routing Model (1B Baraj Yıkılması ve Taşkın Öteleme Modeli

NWS SMPDBK	**:** NWS Simplified Dam Break Model (1B Basitleştirilmiş Baraj Yıkılması Sel Tahmini Modeli)
PMF	**:** Probable Maximum Flood (Muhtemel Maksimum Feyezan)
PMP	**:** Probable Maximum Precipitation (Muhtemel Maksimum Yağış)
SCS	**:** Soil Conservation Service (ABD Toprak Koruma Servisi)
SCS-CN	**:** SCS Eğri Numarası Yağış-Akış Modeli
SYGM	**:** Su Yönetimi Genel Müdürlüğü
SRTM	**:** Uzay Mekiği Radarı Topografya Görevi (Shuttle Radar Topography Mission)
SWE	**:** Shallow Water Equations (Sığ Su Denklemleri)
SWM-2D	**:** 2B Hidrodinamik Analiz Yazılımı
SYM	**:** Sayısal Yüzey Modeli
TELEMAC	**:** Hidrodinamik Analiz Yazılımı
TKGM	**:** Tapu Kadastro Genel Müdürlüğü
TOK	**:** Toprak Özelliklerinin Kombinasyonu
USACE	**:** U.S. Army Corps of Engineers (Amerikan Ordusu Mühendisler Birliği)
USBR	**:** United States Bureau of Reclamation (ABD Islah Bürosu)
USDA	**:** United States Department of Agriculture (Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı)

1. GİRİŞ

Canlılar için temel hayat maddesi olan su ve kaynakları değişik sosyoekonomik olaylarda önemli rol oynar. Faydaları yanında yerleşim ve tarım alanları, kentler, sanayi bölgeleri ve bunların civarları suyun zararlarına maruz da kalabilir. Zararları arasında en fazla etkili olanlar su basmaları ve özellikle taşkınlardır (Şen, 2009). İnsanların geçmişte taşkına maruz kaldığı deneyimler, taşkın tehlikelerinin ve etkilerinin hafifletilebileceğini veya azaltılabileceği ancak tamamen ortadan kaldırılamayacağını veya önlenemeyeceğini açıkça göstermektedir (Yevjevich, 1994). Aşırı hava koşulları, kentleşme ve yetersiz afet önlemleri nedeniyle taşkın kaynaklı kayıplar hızla artmaktadır (Wu, Adler, Hong, Tian ve Policelli, 2012).

Amerikan Ulusal Hava Servisi (National Weather Service (NWS)) (t.y.), taşkını normal koşullarda kuru olan arazinin üzerine suyun taşması olarak tanımlamaktadır. Taşkınlar genel olarak, kıyı taşkınları, akarsu taşkınları, ani taşkınlar olarak sınıflandırılmaktadır. Taşkınların detaylı olarak sınıflandırılması Tablo 1.1'de verilmiştir (Kerim ve Süme, 2019).

Akarsu taşkınları, uzun bir süre ve geniş bir alan üzerindeki yağan yağmurlar, kar erimesi veya buz sıkışmasından dolayı nehirlerin yatağından taşması sonucu meydana gelmekte ve çok büyük alanları kaplayabilmektedir. Mansap bölgeleri, kendileri fazla yağmur almasalar bile etkilenebilmektedir. Kıyı taşkınları, fırtına dalgaları, deprem dalgaları (tsunami), gelgit su seviyelerinin yükselmesi sonucunda dalgaların kıyıdan iç bölgelere doğru ilerlemesi sonucu oluşmaktadır. Özellikle duvarlarla korunan düşük seviyeli sabit bölgelerde, bu duvarları aşan dalgaların getirdiği suların tekrar denize geri dönmeleri mümkün olmadığından büyük alanlar uzun süre su altında kalmaktadır. NWS (t.y.), ani seli, kısa bir süre içinde, genellikle altı saatten daha kısa sürede yoğun veya aşırı yağışların neden olduğu bir sel olarak tanımlamaktadır. Ani seller genellikle şiddetli yağmurlardan sonra nehir yataklarını, şehir sokaklarını ve önlerindeki her şeyi sürükleyen şiddetli sellerle karakterize edilir. Dakikalar veya birkaç saatlik aşırı yağışlarda ortaya çıkabilirler. Ayrıca, bir akarsu bendi veya barajın yıkılmasından sonra, bir enkaz veya buz sıkışması nedeniyle ani bir su tahliyesi sonucu, yağmur yağmasa bile meydana gelebilirler. Ani seller, insanların selden korunmak için yeterli önlemleri alamamasından dolayı ve yüksek hızla birlikte yıkıcı etkiye sahip oldukları için en tehlikeli sel türüdür.

Tablo 1.1. Taşkınların sınıflandırılması (Kerim ve Süme, 2019)

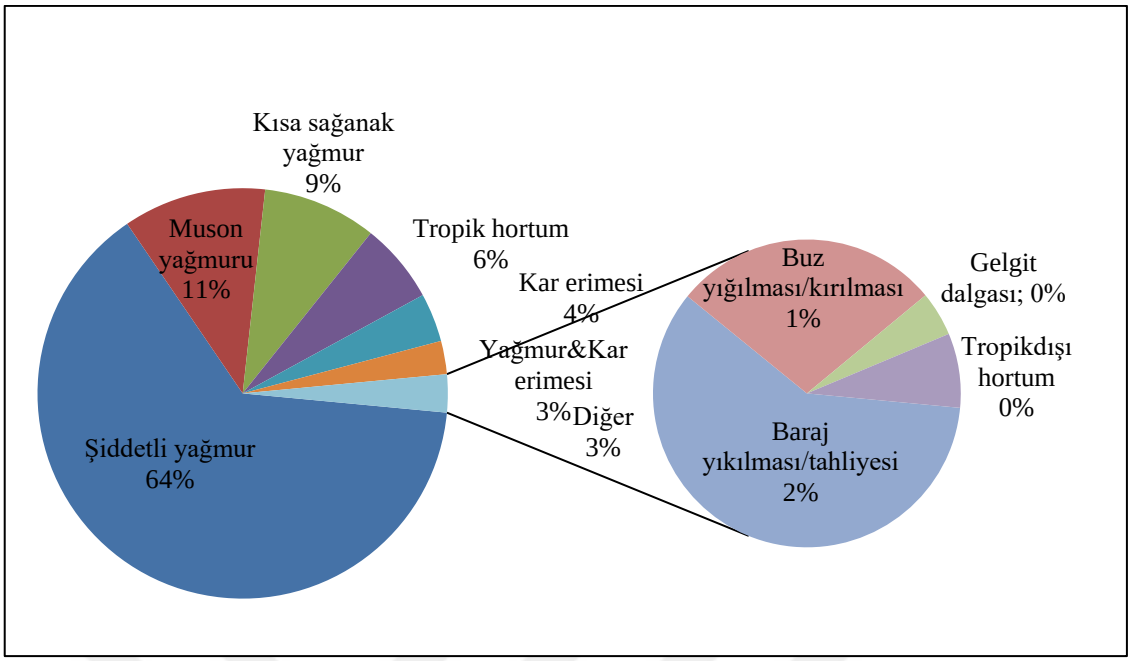
Türüne Göre Taşkınlar	**Yağışlara Bağlı Taşkınlar**	**Kar-Buzul Erimesine Bağlı Taşkınlar**	**Oluş Zamanlarına Göre Taşkınlar**
A. Nehir Taşkınları 1. Memba ve ani taşkınlar a) Süzülme hızı düşük b) Süre kısa, şiddetli yağışlar c) Can kaybı çok 2. Mansap taşkınları a) Süre uzun b) Bu süre zarfında yüksek yağış B. Kıyı Taşkınları (Okyanus, Deniz, Göl vb.)	1. Akdeniz - Doğu Karadeniz' de görülen orografik yağışlar sonucu meydana gelen taşkınlar. 2. İç ve Güneydoğu Anadolu' da görülen konvektif yağışlar sonucu meydana gelen taşkınlar. 3. Batı Karadeniz - Ege'de görülen cephesel yağmurlar sonucu meydana gelen taşkınlar.	Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerin-deki yüksek kesimlerde, çoğunlukla Nisan ayı sonları ile Mayıs ayı başlangıcı ile kar üzerine gelen yağışlarla veya hava sıcaklığının artmasıyla eriyen kar tabakası, mansap yerleşimlerinde taşkınlara sebep olan bir etkiye sahiptir.	1. Yaz Taşkınları (Yazın sağanak halindeki yağışlar sonucu oluşan taşkınlar) 2. Kış Taşkınları (Kasım-Mart arası oluşan taşkınlar) 3. İlkbahar Taşkınları (Nisan-Mayıs aylarında kar erimesi sonucu oluşan taşkınlar)
Oluşma Sürelerine göre Taşkınlar	**Oluşum Yerlerine göre Taşkınlar**	**Taşkın Zararlarının Sektörel Sınıflandırılması**	**Sebeplerine göre Taşkınlar**
1. Bir hafta veya daha uzun sürede oluşan taşkınlar. 2. 6 saat içinde oluşan (ani) taşkınlar	1. Dere ve nehir taşkınları 2. Dağlık alan taşkınları 3. Şehir taşkınları 4. Kıyı taşkınları	1. Tarımsal ve hayvansal % 45 2. Binalarda ve altyapı % 32 3. Taşınabilir mal ve araçlar % 7 4. Diğer % 16	A. Doğal Etkenler 1. Arazinin fiziki yapısı 2. Arazinin suya doygunluk miktarı-Akarsuyun debisi B. İnsan Etkenleri 1. Çarpık şehir yapılanması 2. Ağaçlandırmanın yapılmaması ve ağaçların kesilmesi 3. Akarsu yatağına çekilen bent/baraj vs. gibi yapıların yıkılması ve küresel ısınma

Yerleşim yerleri taşkınlar için yüksek risk altındadır. Binaların, yolların ve otoparkların inşası, zemin tarafından emilen yağmur miktarını azaltarak yüzey akışını ve ani sel potansiyelini artırır. Şehirlerden ve yerleşim yerlerinden geçen akarsular drenaj kanallarına yönlendirilirler ve şiddetli yağmur sırasında, drenaj kanalları selin getirdiği enkaz vb. tarafından daralabilir veya tıkanabilir. Bu durumun sonucunda yakındaki yolları ve binaları su basabilir.

Kurak ve yarı-kurak bölgelerde ani seller çeşitli nedenlerle ölümcül olabilir. Kurak bölgelerde taşkınlar seyrek görülür, ancak çok kısa sürede çok büyük miktarda su getirebilirler. Bu bölgelerin drenaj altyapı kapasiteleri, menfez kapasiteleri vs. yağışlı bölgelerin altyapı kapasitelerine göre düşüktür. Su kanallarını temizlemek için düzenli yağmur olmaması, kurak bölgelerde ani taşkınların, kayalar, dallar ve kütükler gibi büyük miktarda enkazı da önüne alarak ilerlemesine sebep olur.

Adhikari ve diğerleri (2010), 1998 ve 2008 yılları aralığında meydana gelen taşkınlar için küresel taşkın envanteri oluşturmuşlar ve sonuçlarını şematik olarak sunmuşlardır (Şekil 1.1). Bu envanteri oluştururken deprem nedeniyle oluşan dev dalgaları (tsunami) hariç tutmuşlardır. Jonkman ve Vrijling (2008) taşkın olayına neden olan faktörleri değerlendirerek, şiddetli yağmurun en sık bildirilen taşkın nedeni olduğunu bildirmişler ve taşkın kaynaklı ölümleri incelediği çalışmalarında tipik olay özelliklerini ve ortalama olay ölümlerini değerlendirmişlerdir (Tablo 1.2).

Baraj yıkılmalarından kaynaklanan taşkınlar genellikle kar erimesi veya yağıştan kaynaklanan taşkınlardan çok daha büyüktür (Costa, 1985). Bu bilgiler ışığında, nadiren gerçekleşen bir baraj yıkılması durumunda, özellikle baraj membaında büyük hacimli bir hazne barındırıyorsa mansapta oluşan taşkın dalgası erozyon ve/veya yapısal yıkıma sebebiyet verecek kadar şiddetli olabilmektedir. Baraj yıkılması sonucu oluşan felaket genellikle ani olmakta ve ölümlerle sonuçlanmaktadır. Venedik, İtalya'da bulunan 267 m yüksekliğindeki Vajont beton kemer barajının 1963'te başarısız olması iki binden fazla insanın ölümüne yol açarak tarihteki en büyük baraj kaynaklı felaketlerinden birini oluşturmuştur (Güney, Tayfur, Bombar ve Elçi, 2014). Ayrıca, baraj mansabında kentsel alanlar olması durumunda sonuçları ekonomik değer ve nüfus yoğunluğu nedeniyle kırsal alanlara göre daha yıkıcı olmaktadır.



Şekil 1.1. Taşkın nedenleri (Adhikari ve diğerleri, 2010)

Tablo 1.2. Farklı taşkın tipleri için olay başına ortalama ölüm oranı (Jonkman ve Vrijling, 2008)

Taşkın Tipi	**Etkilerin Şiddeti**	**Tahliye**	**Ölüm Oranı (büyüklük sırası)**
Tsunamiler	Şiddetli	Zor	-
Baraj Yıkılmaları	⇑	⇓	0.1
Ani Taşkınlar			-
Kıyı Taşkınları			0.01
Nehir Taşkınları			10^{-3}
Drenaj taşkınları	Daha az Şiddetli	Mümkün	10^{-4}

Baraj mansabında kalan bölgenin taşkın haritalarının oluşturulması, olası yıkılma veya işletme hatasından kaynaklı oluşabilecek taşkın felaketinin etkilerini azaltmada büyük öneme sahiptir. Baraj yıkılması taşkını çalışmasının bir parçası olarak oluşturulan taşkın haritaları; baraj tehlike potansiyeli sınıflandırması, acil eylem planlarının geliştirilmesinde, baraj yıkılması sonuçlarının değerlendirilmesi ve tehlike azaltma çalışmalarının yürütülmesinde kullanılabilmektedir (FEMA, 2013a). USACE (2014), yıkılması durumunda can ve yüksek oranda mal kaybına sebebiyet verebilecek barajlar için aşağıdaki üç taşkın senaryosu için su baskını haritaları hazırlanmasını önermiştir: 1) Barajın yıkıldığı güneşli bir gün, 2) Barajın yıkıldığı yağışlı bir gün (hidrolojik) ve 3) Barajın yıkılmadığı yağışlı bir gün (hidrolojik).

Bir barajın büyüklük (yükseklik ve kapasite) sınıflandırmasıyla birlikte tehlike potansiyeli sınıflandırması, devlet kurumları tarafından baraj tasarımını ve baraj yıkılması modellemesini düzenlemek için kullanılmaktadır. Tehlike potansiyeli sınıflandırma sistemi, baraj ne kadar küçük olursa olsun, olası yıkılması durumunda olası insan hayatı kaybına ve ekonomik, çevresel ve yaşam hattı kaybı üzerindeki etkilerine göre sınıflandırmaktadır. Kişilerin yalnızca geçici olarak potansiyel su baskını alanında bulunduğu durumlarda, olası olmayan can kaybı mevcuttur. Bu tehlike potansiyeli sınıflandırma sistemi, nehir ve mansap arazilerini rekreasyonel amaçla kullanan, yoldan geçen veya mansap arazilerini gecelemeyen açık hava kullanıcısının olası olmayan yaşam kaybını öngörmez. FEMA'nın barajları düşük, önemli, yüksek tehlike potansiyelli olmak üzere sınıflandırdığı sistem Tablo 1.3'te verilmiştir (FEMA, 2004a).

Tablo 1.3. FEMA tehlike potansiyeli sınıflandırma sistemi (FEMA, 2004a)

Tehlike Potansiyeli Sınıflandırması	**İnsan Hayatının Kaybı**	**Ekonomik, Çevresel, Yaşam Hattı Kayıpları**
Düşük (Low)	Beklenmiyor	Düşük ve genellikle baraj sahibiyle sınırlı
Önemli (Significant)	Beklenmiyor	Bekleniyor
Yüksek (High)	Muhtemelen bir veya daha fazla bekleniyor	Bekleniyor

ABD Ordu Mühendisler Birliğinin (U.S Army Corps Of Engineers (USACE)) ilk olarak 1975'te yayınladığı ve son olarak 2019 yılında güncellediği Ulusal Baraj Envanteri (National Inventory of Dams (NID)) çalışmasını yapmıştır (USACE, 2018). NID veri tabanı, aşağıdaki dört kategoriden en az birini karşılayan Amerika Birleşik Devletleri'ndeki mevcut barajları içermektedir.

- Yüksek tehlike potansiyeli sınıflandırması,
- Önemli tehlike potansiyeli sınıflandırması,
- Yüksekliği 8 m'ye eşit veya daha fazla ve depolama kapasitesi 18,500.00 m^3'ü aşan,
- Depolama kapasitesi 61,700.00 m^3'e eşit veya daha fazla ve yüksekliği 2m'den fazla.

NID veri tabanında kayıtlı tüm barajlar, barajın veya tesislerin yıkılması veya arızalanması nedeniyle beş tür mansap tehlike potansiyeline göre sınıflandırılmaktadır. Bunlar, yüksek, önemli, düşük, belirsiz ve eksik olarak tanımlanabilir (Song, Sciubba ve Kam, 2021).

Dünyada yapılan riskli barajları belirleme çalışmalarına benzer şekilde ülkemizde de Devlet Su İşleri (DSİ), 2002 yılında yaptığı bir çalışma ile yüksekliği 15m'den büyük ve yükseklikleri 5-15 m arasında olup rezervuar hacmi 3 hm^3'ten büyük olan barajları incelemiştir. Olası yıkılmaları halinde yaratacakları kayıplar düşünüldüğünde %42'sinin en yüksek risk derecesinde, %43'ünün de önemli risk derecesine, %14'ünün orta risk derecesine, %1'inin de düşük risk derecesine sahip olduğunu belirlemiştir (Dinçergök, 2007). Böylesi bir felaketle mücadele etmek için yapılacak planlama, yıkılma sonrası oluşacak muhtemel akım hızlarını ve taşkın dalgasının mansapta ne zaman nereye ulaşacağının tahminini içermeli ve mansapta yaşayan insanlarda felaketin muhtemel etkileri için farkındalık yaratabilmelidir (Elçi, Tayfur, Haltaş ve Kocaman, 2017).

Baraj arızası veya işletme hatasından etkilenebilecek bölge sakinleri, arıza veya işletme hatasından dolayı can kaybı, yaralanma ve maddi hasar riskine sahiptir. Bu riskleri azaltmak amacıyla Acil Eylem Planları (AEP) oluşturmak gerekmektedir. AEP, bir barajdaki olası acil durum koşullarını tanımlayan, can ve mal kaybını en aza indirmek için izlenecek eylemleri belirleyen resmi bir belgedir (FEMA, 2013b). AEP'ler genellikle altı öğe içerir:

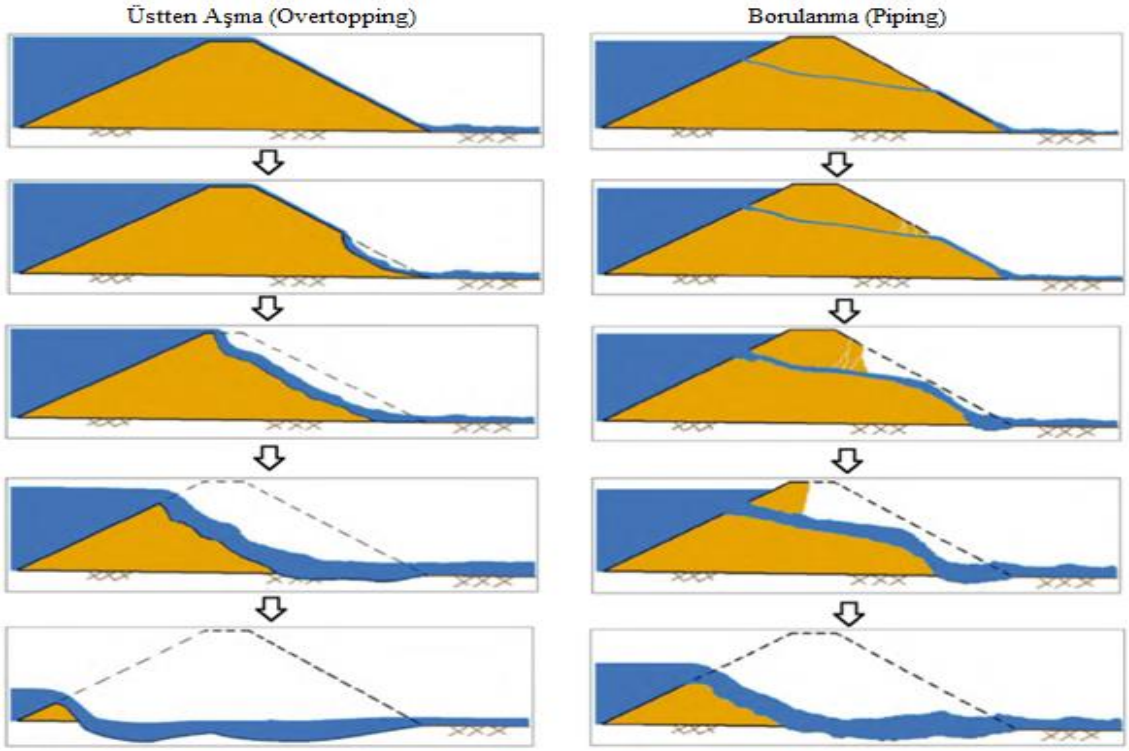
- Bildirim akış şemaları ve iletişim bilgileri
- Acil durum tespiti, değerlendirilmesi ve sınıflandırılması
- Sorumluluklar
- Hazırlık faaliyetleri
- Taşkın haritaları
- Ekler

Barajlar için acil durum planlaması, baraj güvenliğine kıyasla daha yeni bir konudur. Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu Avrupa Kulübü (International Commission on Large Dams European Club (ICOLD EC)) sunduğu bir raporda, bazı Avrupa ülkelerinin barajlar ve mansap vadileri için acil eylem planlarının geliştirilmesi için uyguladığı asgari standartları ve kriterleri paylaşmıştır (ICOLD EC, 2012). Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (International Commission on Large Dams (ICOLD)) , baraj yıkılması tehlike analizini dört farklı ana adıma ayrılabileceğini belirtmiştir (ICOLD, 1998):

- Baraj yıkılması taşkını çıkış hidrograflarını tahmin etmek
- Taşkın ötelemesi veya baraj yıkılması dalga yayılımının modellenmesi
- Taşkın haritaları ve sonuçların değerlendirilerek acil durum planlaması
- Risk analizi

Barajların yıkılmaları genellikle suyun baraj gövdesinden borulanması (piping) ve yetersiz dolusavak kapasitesi veya tasarım kriterlerini aşan yağış sonucu baraj üzerinden suyun taşması (overtopping) sonucu meydana gelmektedir. Yağışlı bir günde yıkılma, üstten aşma (ÜA), güneşli bir günde, borulanma (B) olarak modellenmelidir. Borulanma ve üstten aşma sonucu baraj gövdesinde oluşan erozyonun gelişimi Şekil 1.2'de verilmiştir (Federico ve Cesali, 2020).

Baraj yıkılması modellenirken baraj gövdesinde gedik oluştuğu varsayımı yapılmaktadır. Toprak veya kaya dolgu barajlarda gedik şekli genellikle trapez kesitli kabul edilir. Gedik geometrisi, gedik yüksekliği, ortalama gedik genişliği ve yan kenar eğimleri ile tanımlanır. Gediklenme parametreleri (gedik geometrisi ve gedik oluşum zamanı) olası baraj yıkılması sonucunda oluşan baraj çıkış hidrografı pik debi değerlerini ve taşkının zamana ve konuma bağlı yayılımını etkilemektedir (Bozkuş, 2004).



Şekil 1.2. Taşma ve borulanma nedeniyle baraj gediğinin gelişimi (Federico ve Cesali, 2020)

Baraj mansabında baraj yıkılma dalgası yayılımının taşkın ötelemesi veya modellemesi, deneysel veya sayısal (matematiksel) modelleme ile yapılabilmektedir. Deneysel çalışmaların çok büyük çoğunluğunda baraj yıkılması senaryoları kanala yerleştirilen bir kapağın kaldırılması ile gerçekleştirilmiştir (Arkış ve Güney, 2020).

Geçmişte yapılan baraj yıkılması çalışmalarında genellikle 1B sayısal modeller kullanılmıştır. Bir boyutlu modellerde barajın gövdesinde oluşacak bir gedik sonucu oluşan taşkın dalgaları belirlenen enkesitlere ötelenerek, enkesitlerde zamana bağlı seviye, debi ve hız değerleri elde edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'nin resmi bir kurumu olan Ulusal Hava Servisi (National Weather Service (NWS)) tarafından geliştirilmiş olan ve 1B hidrolik çözüm yapan DAMBRK, SMPDBK ve FLDWAV modelleri ülkemizde çeşitli barajlarda uygulanmıştır (Bozkuş ve Bağ, 2011; Bozkuş ve Güner, 2001; Bozkuş ve Kasap, 1998).

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), coğrafi verileri depolamak, görselleştirmek, analiz etmek ve yorumlamak için kullanılan bilgisayar tabanlı araçlardır. Son yıllarda CBS, ölçme yöntemleri (Uzaktan Algılama (UA)), LIDAR, fotogrametri, akustik derinlik ölçümleri vs.) ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ile birlikte taşkınının arazideki yayılımı iki boyutlu modeller ile nümerik olarak analiz edilebilmektedir. Üç boyutlu (3B) modeller ise genellikle baraj yıkılması sonucu oluşan dalga yayılımını belirlemek için kullanılmaktadır (Kocaman ve diğerleri, 2021). Geniş alanlarda 3B modellerin kullanılması ekonomik olmadığından dolayı, geniş taşkın alanlarında kullanımı yaygın değildir. Taşkın alanlarında, gerekli planlamaların yapılması ve önlemlerin alınması için 1B ve 2B modellerin kullanılması genellikle yeterli olmaktadır.

Baraj yıkılma analizini yapmak için uygun bir modelin seçimi, ihtiyaç duyulan sonuçların türüne, harcanabilecek çabanın düzeyine ve bir baraj arızasından veya yıkılmasından kaynaklanabilecek can kaybı ve ekonomik zarar potansiyeline bağlıdır. Nüfusu yoğun bölgelerin veya karmaşık taşkın yataklarının membaında yer alan yüksek tehlike potansiyeli olan barajların analizinde, olası baraj yıkılmasının sonuçlarını uygun şekilde değerlendirmek için daha karmaşık modelleme ve ek duyarlılık çalışmaları kullanılmalıdır. Bununla birlikte, seyrek nüfuslu bölgelerin membaında yer alan düşük tehlike potansiyeli olan barajların analizi, daha yaklaşık analiz yöntemlerine dayanabilir. Bu nedenle, FEMA baraj yıkılması analizlerinde kullanılmak üzere kademeli model seçimini önermektedir (FEMA, 2013a).

Bu çalışmanın amacı, aşırı yağış veya yapısal problemler gibi sebeplerden dolayı Yozgat İl Merkezi çevresinde yer alan Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i Barajlarının olası yıkılması sonucu il merkezinde meydana gelecek taşkının sayısal (hidrodinamik) modellerle analiz edilmesidir. Analiz sonucunda, maksimum su

derinliği, su hızlarının hesaplanması ve taşkın yayılım, taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasıdır. Taşkın haritalarının elde edilmesi için yapılan ana çalışmalar aşağıda açıklanmıştır:

- Gerekli yazılım ve veriler, tespit ve temin edilmiştir,
- Veriler CBS yazılımı ile taşkın analizi için hazırlanmıştır,
- Gölet haznelerinin derinlik haritaları oluşturulmuş ve seviye-hacim ilişkileri elde edilmiştir,
- Olası maksimum yağış durumunda gölet haznelerine giren maksimum taşkın giriş hidrografları sentetik yöntemle tahmin edilmiştir,
- Belirlenen yıkılma senaryolarına göre gedik oluşum parametreleri regresyon eşitlikleri ile tahmin edilmiş ve baraj yıkılması bir boyutlu olarak modellenmiştir.
- Baraj yıkılma hidrografı memba sınır şartı olarak tanımlanarak, olası taşkın yayılımı bölgesi iki boyutlu olarak modellenmiştir.
- Taşkın yayılım dalgalarının şehir merkezinde etkileri değerlendirilmiştir. Taşkın nedeniyle sular altında kalan; yerleşim yerleri, binalar, yollar ve altgeçitler CBS yazılımları kullanılarak sunulmuştur.

Bir boyutlu ve iki boyutlu model için kullanılan sayısal arazi verisi ve yüksek çözünürlüklü hava fotoğrafları HGM ve TKGM'den, yağış verileri ise MGM'den temin edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesi amacıyla CORINE arazi kullanımı/örtüsü haritaları kullanılmıştır.

ArcGIS CBS yazılımı, 1B ve 2B modellerde kullanılmak amacıyla verilerde birtakım düzenlemeler yapmak, sonuçları değerlendirmek ve görselleştirmek amacıyla kullanılmıştır. MIKE HYDRO River yazılımında yağış-akış (rainfall-runoff) modeli ve 1B baraj yıkılması modeli oluşturulmuştur. MIKE 21 FM yazılımında olası taşkın bölgesi 2B olarak modellenmiştir. 1B ve 2B modellerin bağlantılı olarak çalışmasına olanak veren MIKE FLOOD programında taşkın analizi gerçekleştirilmiştir.

T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün 2019 yılında hazırlatmış olduğu Kızılırmak Havzası Taşkın Yönetim Planında yapılan 2B hidrolik taşkın modeli sonuçlarına göre; 500, 100 ve 50 yıl tekerrürlü taşkınlar, Yozgat il merkezinde taşkın riski oluşturmaktadır. Taşkın yönetim planında 500, 100 ve 50 yıl tekerrürlü taşkın haritaları, risk haritaları verilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir. Yozgat Deresi membaında yer alan

Çiftlik Dere ve Kirazlı Göletlerinin taşkın amacının eklenip eklenemeyeceğinin araştırılması gerektiği taşkın yönetim planında belirtilmiştir. Bu bağlamda; mansapta taşkın hacminin ve taşkın pikinin azaltılması için, gövde yüksekliklerinin mümkün olabildiğince arttırılarak yeni taşkın hacmi oluşturulması veya mevcut depolama hacminin bir bölümünün taşkın ötelemesi için kullanılması gibi çalışmaların yapılması önerilmiştir (SYGM, 2019). Bu kapsamda, bu tez çalışmasında Yozgat il merkezindeki üç barajın hidrolojik ve hidrolik şartları taşkın analizine eklenerek, olası baraj yıkılmaları durumunda elde edilen taşkın haritaları Yozgat il merkezi için hazırlanmış ve bu haritaların yerleşim yerleri için gerekli olan Acil Eylem Planlarında kullanılmak üzere haritaları oluşturulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Amerika Birleşik Devletleri'nde 1970'li yıllarda oluşan baraj yıkılmaları bu ülkede dikkatlerin baraj yıkılma konusuna yönelmesine neden olmuştur. Bu konuda 70'li yıllarda başlayan ve günümüze kadar süren ciddi çalışmalar yapılmış ve halen devam etmektedir (Bozkuş, 2004).

ICOLD (1973), 5 m'den yüksek 426 adet barajda, 1966 yılından önce meydana gelen, 534 baraj arızası olayını incelediği bir rapor yayınlamıştır. Bu raporda büyük barajlarda meydana gelen (>15m) kazaların üç ana nedenin, üstten taşma (%34), temel kusurları (%30) ve borulanma (%28) olduğunu ortaya koymuştur. (ICOLD, 1998).

USACE 1975'te, ABD barajlarının bir envanterini ve denetim kılavuzlarını içeren Ulusal Baraj Denetimi Programı adlı bir rapor yayınlamıştır. Ulusal Baraj Envanteri çalışmasında, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki düzenlemeye tabi barajlar için istatistikler yer almıştır. Bu envanter günümüzde güncellenmeye devam etmektedir ve çevrimiçi erişime açıktır. En son 2020 yılında güncellenen envanterde, ABD'de yer alan 91457 barajın konumu, tehlike potansiyeli sınıfı, yüksekliği, baraj sahibi tipi, baraj tipi, baraj tamamlanma tarihi ve AEP durumu(var-yok) sunulmaktadır. (USACE, 2018).

Fread (1977), NWS DAMBRK baraj yıkılması sayısal modelini ilk olarak 1977'de geliştirmiştir. DAMBRK, bir barajdan çıkış hidrografını geliştirmek ve sel akışını mansap vadisi boyunca hidrolik olarak ötelemek için dünyada yaygın olarak kullanılmıştır. Modelin ana denklemleri, zamana bağlı bir gedik oluşabilen köprüler, barajlar/dolgu barajlar gibi yapılar boyunca hızla değişen akışı temsil eden iç sınır denklemleri ile birleştirilmiş, durağan olmayan akışın eksiksiz tek boyutlu Saint-Venant denklemleridir. Ayrıca, ötelenen nehrin memba ve mansap uçlarında uygun dış sınır denklemlerinden yararlanılır. (Fread, 1988a).

Nisan 1977'de Amerikan Başkanı Carter, tanınmış uzmanlardan oluşan özel bir panel tarafından federal baraj güvenliği faaliyetlerinin gözden geçirilmesi için bir muhtıra yayınlamıştır. Kurumlar arası Baraj Güvenliği Komitesi (Interagency Committee on Dam Safety (ICODS)) federal faaliyetleri koordine etmek ve baraj güvenliği ilkelerinin uygulanmasını sağlamak için Federal kurumlarla birlikte çalışmak için kurulmuştur. 1979'da Başkan Carter FEMA'yı kurmuş ve Federal kurumları, Baraj Güvenliği için Federal Kılavuz

İlkeleri Kılavuzunu (FEMA, 2004b) benimsemeye ve uygulamaya teşvik etmiştir. Bu kılavuz, su baskını haritalarının hazırlanması gerektiğini belirtmiştir. Bu olaylar, baraj yıkılması çıkış hidrograflarının tahmin edilmesi için yöntemlerin geliştirilmesine duyulan ihtiyacı ortaya çıkarmıştır (FEMA, 2004b).

1980'den sonra, birçok araştırmacı, gedik parametreleri ve/veya yıkılma pik debilerini belirlemek amacıyla tahmine dayalı ilişkilerde kullanmak üzere iyi belgelenmiş baraj yıkılması veri tabanlarını derlemişlerdir (Costa, 1985; Froehlich, 1995a, 1995b, 2008; Macdonald ve Langridge-Monopolis, 1984; SCS, 1981; K. P. Singh ve Snorrason, 1982; V. P. Singh, Scarlatos, Collins ve Jourdan, 1988). Bazı diğer araştırmacılar, bu veri tabanlarını, gedik parametreleri ve pik debiler hakkında daha fazla yöntem geliştirmek için kullanmışlardır (FERC, 1987; USBR, 1988; Von Thun ve Gillette, 1990). Bu çalışmalarda genellikle, baraj gerisindeki su yüksekliği ve su hacmi ile gedik parametreleri (genişlik ve zaman) ve pik çıkış debisini ilişkilendiren regresyon eşitlikleri üretmişlerdir. Bu ilişkileri geliştirmek için kullanılan baraj yıkılmaları veri tabanı, büyük barajların yıkılmalarından elde edilen verilerde nispeten eksiktir ve vakaların yaklaşık %75'inin yüksekliği 15 m'den azdır (Wahl, 1998).

SMPDBK modelini ilk olarak NWS 1984'te geliştirmiş ve en son 1991'de bir baraj arızasının neden olduğu mansap taşkınlarını tahmin etmek için kamu kullanımı için güncellemiştir (Wetmore, Fread, Lewis ve Wiele, 1991). SMPDBK, baraj yıkılması tarafından üretilen mansap taşkınlarını tahmin etmek için basitleştirilmiş bir modeldir. Wurbs (1987), mevcut olan en gelişmiş modelleri karşılaştırmış ve gereken doğruluk düzeyine, mevcut kaynaklara ve girdi verilerine bağlı olarak DAMBRK veya SMPDBK'ın kullanılmasını tavsiye etmiştir.

Fread (1988b), NWS BREACH modelini geliştirmiştir. Bu model yıkılan bir barajdan çıkış hidrografını ve gedik boyutunu, şeklini ve gediklerin borulanma veya üstten aşma ile başlatılabileceği toprak/kaya dolgu barajlarda gedik oluşum zamanını tahmin etmek için kullanılan en yaygın fiziksel tahmin modelidir. Model, yarığı oluşturan erozyon ve çökme süreçlerini simüle etmek için zemin mekaniği, hidrolik ve sediment taşınımı ilkelerini kullanmıştır. Barajın geometrik ve malzeme özellikleri (D_{50} boyutu, kohezyon, içsel sürtünme açısı, boşluk oranı ve birim ağırlık) ile birlikte rezervuar giriş hidrografı, depolama hacmi ve dolusavak özelliklerini, çıkış hidrografını tahmin etmek için kullanmıştır.

Fread (1993), NWS FLDWAV modelini DAMBRK modelinin yerine geliştirmiştir. FLDWAV modeli, DAMBRK modeli gibi, dolusavak, üstten aşma ve/veya baraj yıkılması nedeniyle bir barajdan dışarı akış hidrografını hesaplamaktadır. Ancak DAMBRK modelinde olmayan daha gelişmiş özelliklere sahiptir. Artık NWS tarafından genel kullanım için teknik olarak desteklenmeseler de, SMPDBK, FLDWAV ve BREACH yazılımlarına https://rivermechanics.net/ adresinden erişilebilir ("RiverMechanics.net", 2021).

Molu (1995), tez çalışmasında baraj gövdesinde yıkılmaya yol açacak bir gedik oluşumunun ve oluşacak taşkın dalgalarının ötelenmesinde kullanılacak çözüm teknikleri özetle vermiştir. Çalışmasında, DAMBRK bilgisayar modelini tanıtmış ve bu modeli kullanarak Aslantaş Barajı üzerinde bir uygulama yapmıştır.

Wahl (1998, 2004), ilk araştırmasında, yukarıda bahsedilen regresyon denklemi çalışmalarında belirtilen tüm vaka çalışmalarını ve sonraki yayınlarda ayrı ayrı belgelenen birkaç vaka çalışması dâhil, toplam 108 adet baraj yıkılmasını içeren tek bir veri tabanı üretmiş ve önceki çalışmalarda kullanılan denklemleri derlemiştir. Sonraki çalışmasında ise, önceden derlediği veri tabanından yararlanarak, gedik parametreleri ve pik debi tahmin yöntemlerinin birçoğunun belirsizliğinin bir analizini sunmuştur. Ayrıca, farklı senaryolar altında örnek bir vaka çalışması ile gedik parametrelerini, daha önce derlediği yöntemlerin çoğunu kullanılarak ve NWS BREACH modeliyle modelleme yaparak tahmin edip sonuçlarını değerlendirmiştir.

Bozkuş ve Kasap (1998), NWS tarafından geliştirilen iki nümerik model (SMPDBK, DAMBRK) ile faaliyette olan bir barajın laboratuvar model çalışmalarının sonuçlarını karşılaştırmıştır. Her iki nümerik modelin de, pik taşkın kotlarını kabul edilebilir bir mertebede tahmin ettiği, ancak SMPDBK modelinin daha basit bir algoritması olduğu için pik taşkın kotlarını, DAMBRK modeline kıyasla, olması gerekenden daha küçük hesapladığı sonucuna varmışlardır.

Tate (1999), iki ve üç boyutlu taşkın yataklarını haritalamak ve bir boyutlu hidrolik modelin sonuçlarını işleyerek ArcView CBS yazılımında analiz etmek için bir yöntem geliştirmiştir. Araştırmacı, taşkın yatağı haritalaması ve analizi için CBS ortamının etkili olduğu sonucuna varmıştır.

Bozkuş ve Güner (2001), çeşitli hidrolik koşullar altında ardışık iki barajın, (Nilüfer ve Doğancı barajları) dört farklı senaryo (yıkılma/dolusavak kombinasyonları) için baraj yıkılma analizlerini yapmıştır. Çalışmada, DAMBRK nümerik modeli kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, memba tarafında bulunan Nilüfer barajına olası en büyük hidrolojik taşkının geldiği ve barajın yıkılması sonucu mansabında bulunan Doğancı barajının da yıkılması halinde, en tehlikeli durumun ortaya çıkacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Kocaman (2002), Kozan Barajının borulanma nedeniyle olası yıkılması durumunda, farklı gedik parametreleri ve pürüzlülük değerlerinin baraj aksında ve mansapta taşkın hidrografına, pik debiye ulaşma süresine, su seviyelerine etkisini araştırarak su yüzü profillerini belirlemiştir. Gedik parametrelerini geçmişteki yıkılma bilgilerine dayanan regresyon denklemlerinden üretmiştir. Gedikten çıkan hidrografın belirlenmesi ve ötelenmesi için FLDWAV yazılımını kullanmıştır.

Karakaya (2005), çalışmasında Kirazlıköprü Barajı'nın nümerik baraj yıkılması analizlerini altı farklı hidrolik senaryo için gerçekleştirmiştir. Bu senaryolarda, gedik parametrelerini, pürüzlülük (Manning) katsayısını ve dolusavak açılma durumunu değişken olarak kullanmıştır. Analizleri bir boyutlu FLDWAV yazılımı ile gerçekleştirmiştir. Bu analizleri kullanarak baraj yıkılmasının baraj mansabında bulunan bölgelerde oluşturacağı olumsuz etkileri araştırmıştır. Baraja yakın bölgelerin en olumsuz etkilenen yerler olduğu sonucuna varmıştır.

Kocaman (2007) doktora tezinde, baraj yıkılması problemi deneysel, teorik ve sayısal olarak incelemiştir. Yatay dikdörtgen bir kanalda, iki farklı durgun su seviyesini ayıran düşey bir kapağın ani olarak kaldırılmasıyla elde edilen baraj yıkılması taşkın dalgasının mansap boyunca yayılmasını, farklı kuyruk suyu derinlikleri için incelemiştir. Ayrıca, baraj mansabında farklı geometriye sahip taban eşikleri kullanılarak ve daralmalar oluşturularak akarsu yatağındaki ve enkesit genişliğindeki değişimlerin baraj yıkılması taşkın dalgasının yayılmasına etkilerini araştırmıştır. Su yüzü profillerini ve kanal boyunca istenilen noktalarda zamana bağlı su seviyesi değişimlerini sayısal görüntü işleme teknikleri kullanılarak belirlemiştir. Deney sonuçlarını, FLOW-3D Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics (CFD)) yazılımı sonuçları ile karşılaştırmıştır.

Dinçergök (2007), Dünya'da ve Türkiye'de (özellikle DSİ aktiviteleri doğrultusunda) Baraj emniyeti kavramının gelişimi konusunu ana hatlarıyla ele almış ve Türkiye'de gözlenen aksaklıkları belirterek Baraj Emniyeti Şube Müdürlüğü'nün faaliyetleri çerçevesinde yapılması gereken hususlara dikkat çekmiştir.

Xu ve Zhang (2009), ABD ve Çin'den yaklaşık yüzde 50'sinin yüksekliği 15 metreden fazla 182 toprak ve kaya dolgu barajlarda meydana gelen baraj arızalarını içeren bir veri tabanı oluşturmuştur. Ancak, nihai denklemleri, eksik veriler nedeniyle bu barajların çok daha küçük bir alt kümesine dayanmaktadır. Makaleleri, homojen/zonlu toprak dolgulu, çekirdek duvarlı barajlar ve beton yüzlü barajlardan oluşan 75 barajın ayrıntılarını göstermektedir. Ortalama gedik genişliği için son denklemleri 45 baraj yıkılmasına, yıkılma zamanı için denklemleri ise sadece 28 baraja dayanmaktadır (Brunner, 2014).

Gallegos, Schubert ve Sanders (2009), ABD Güney Kaliforniya'da 1963 yılında yıkılan Baldwin Hills Barajı mansabında yer alan kentsel yerleşim bölgesinde, baraj yıkılması taşkını modellemesi yapmışlardır. Modellemeyi, Sığ Su Denklemlerini (Shallow Water Equations (SWE)) çözen, sonlu hacim modeli kullanan BreZo yazılımını kullanarak gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada, LIDAR teknolojisi kullanılarak üretilen 1,5 m çözünürlüklü SYM'den elde edilen, rezervuarı ve gedik geometrisini gösteren eşyükselti eğrilerini kullanmışlardır. Dijital ortofotolar ve vektör verilerden (parsel ana hatları vs.) türetilen arazi örtüsü sınıflandırmasına dayalı mekânsal olarak değişen pürüzlülük (Manning pürüzlülük) katsayılarını kullanmışlardır. Taşkın yayılımı model sonuçlarını, zamana bağlı olarak, gerçek baraj yıkılması sınırları ile karşılaştırmışlardır. Ayrıca 12 farklı senaryo için sonuçları ağ(mesh) çözünürlüğüne, arazi pürüzlülüğüne, gedik parametrelerine, rezervuarın yıkılma anındaki su seviyesine, kullanılan sayısal arazi modeline ve havza giriş katsayısına karşı duyarlılığını test etmişlerdir. Duyarlılık analizini, senaryoların nihai taşkın sınırlarını ve şehir çıkışında bulunan debi ölçüm istasyonundan elde edilen gerçek yıkılma hidrografı ile model sonuçlarını karşılaştırarak yapmışlardır.

Düden (2010) tez çalışmasında, Darıdere Barajının maksimum olası taşkın hidrografının baraj gölüne girmesi durumunda, yetersiz dolusavak kapasitesi yüzünden suyun baraj kret kotunu aşmasına neden olduktan kısa bir süre sonra baraj gövdesinde gelişen gediklenme sonucu yıkılmasını, HEC-RAS ve DAMBRK yazılımları ile

modellemiştir. Farklı gediklenme senaryoları için barajın mansabında seçilmiş altı enkesitte maksimum taşkın debileri ve maksimum taşkın su seviyelerini incelemiştir.

Bozkuş ve Bağ (2011), Bursa ilinde yer alan Çınarcık Barajı'nın yıkılma analizini, NWS tarafından geliştirilmiş olan FLDWAV yazılımı ile modellemişlerdir. Yapılan analizler ile yıkılmanın ardından gerçekleşen olumsuz sonuçlara odaklanmış ve barajın mansabındaki taşkın düzeyini ön görmeye çalışmışlardır. Bu analizleri esas alarak, risk altında olan yerleşim yerlerini tespit etmişlerdir.

Palamut (2014) tez çalışmasında, Rahmanlar Barajı'nın tek boyutlu ve üç boyutlu yıkılma analizlerini gerçekleştirmiştir. Çalışmasında, kademeli bir analiz yöntemi benimsemiştir. Öncelikli olarak, HEC-RAS modeli ile farklı yıkılma senaryoları için bir boyutlu analizler yaparak, elde edilen en kritik yıkılma senaryosu için FLOW-3D yazılımında üç boyutlu taşkın analizi yapmıştır. Her iki modelde analiz sonucunda oluşan taşkın haritalanarak, yerleşim yerlerindeki kesitlerde maksimum su seviyeleri ve bu seviyelerin oluşma zamanlarını belirlemiştir.

Güney ve diğerleri (2014), İzmir ilinin üst tarafında yer alan Ürkmez Barajı'nın ani yıkılma durumunu incelemek için TÜBİTAK 110M240 (Tayfur, Güney, Haltaş, Elçi ve Bombar, 2013) numaralı proje kapsamında çarpıtılmış fiziksel model inşa etmişlerdir. Yatay ölçeği 1/150 ve düşey ölçeği 1/30 olan bu fiziksel model baraj gölünü ve baraj mansabında denize kadar olan yerleşim yerini de içermektedir. Evler ve karayolu gibi hususları da modele yerleştirmişlerdir. Su derinliklerini seviye ölçer sensörler kullanarak sekiz farklı noktada ölçmüşlerdir. Su hızlarını, ultrasonik sensörler ile dört farklı yerde ölçmüşlerdir. Deneysel sonuçlar, sel dalgasının yerleşim alanlarına iki dakikada, deniz kıyısına dört dakikada ulaşabileceğini göstermiştir. Baraj gövdesinden uzak yerleşim alanlarında, hız profillerinin daha üniform, daha düşük hız değerlerine sahip olduğu sonucuna varmışlardır.

Bazı araştırmacılar, tez çalışmalarında basitleştirilmiş sığ su denklemlerinin farklı karmaşıklıktaki çözücülerini kullanan ve ticari olmayan 2B LISFLOOD-FP modelinin pürüzlülük (Manning) ve hücre çözünürlüğüne karşı hassasiyetini, 2B tam dinamik analiz yapan MIKE 21 modeli sonuçları ile karşılaştırarak test etmişlerdir (Kıyıcı, 2019; Nimaev, 2015).

Güney, Tayfur, Arkış ve Bombar (2015), Ürkmez Barajı gövdesinde yamuk bir gedik oluşması sonucu yıkılması durumunda oluşan taşkın yayılımını, çarpık bir fiziksel model aracılığıyla incelemişlerdir. Ayrıca, hidrolik parametrelerin taşkın dalgası yayılımı süresiyle değişimini, çeşitli yaklaşımlarla FLOW-3D yazılımı aracılığıyla sayısal olarak da incelemişlerdir. Deneysel ve sayısal çalışmanın sonuçlarını karşılaştırmış ve yorumlamışlardır. FlOW-3D yazılımında türbülans modeli kullanarak elde edilen sayısal hızlar deneysel olanlarla uyumlu olduğu ancak ölçülen ve hesaplanan su derinlikleri arasındaki bazı tutarsızlıkların muhtemelen sayısal modelde alınan yüzey pürüzlülük değerlerinin tahmininden kaynaklandığı sonucuna varmışlardır.

Haltaş, Tayfur ve Elçi (2016), Ürkmez Barajı'nın olası yıkılması durumunda kentsel alanda taşkın yayılımını araştırmışlardır. Barajın kısmen yıkılması üzerine taşkın hidrografının tahmini ve taşkın hidrografının mansaptaki dar vadi boyunca ötelenmesi ilk olarak tek boyutlu hidrolik model HEC-RAS ile gerçekleştirmişlerdir. Taşkın dalgası vadiden çıktıktan sonra baraj yıkılmasının yayılımını iki boyutlu FLO-2D hidrolik yönlendirme modeli ile simüle etmişlerdir. Taşkın yatağı için mekânsal olarak değişen pürüzlülük katsayısını bulmak için arazi kullanımı ve arazi örtüsü dijital haritalarını kullanmışlardır. Binaların taşkın yayılımı üzerindeki etkisi, sayısal modelde alan azaltma faktörü ve genişlik azaltma faktörü ile temsil edilmiştir. Pik akım derinliği, pik akım hızı ve ulaşım zamanı haritalarını CBS ortamında göstermişlerdir. İki boyutlu hidrodinamik model sonuçlarını, Ürkmez Barajı'nın çarpık fiziksel modelinin deneysel baraj yıkılma verileri ile test etmişlerdir. Nümerik modelin, farklı ölçüm konumlarında ölçülen deneysel akış derinliği verilerini başarıyla simüle ettiği sonucuna varmışlardır.

Haltaş, Elçi ve Tayfur (2016), mansabında yoğun yerleşim yerleri bulunması sebebiyle yüksek tehlike potansiyeline sahip Eskişehir Porsuk Barajı ve İstanbul Alibey Barajı'nın derinlik haritalarını, SYM verisini ve arazi kullanım haritalarını CBS kullanarak oluşturmuşlardır. Bir boyutlu HEC-RAS modelini kullanarak sel dalgasının vadi boyunca yönlendirilmiş ve kentsel alanda çeşitli baraj yıkılması senaryoları için taşkın dalgasının yayılımını iki boyutlu FLO-2D programı ile nümerik olarak modellemişlerdir.

Altınakar ve diğerleri (2017), acil eylem planları geliştirmek ve başka planlama amaçları için dört barajın, iki boyutlu sayısal baraj yıkılması modellemesini yapmışlardır. Modelleme ve simülasyonları, güneşli gün ve Muhtemel Maksimum Feyezan (Probable

Maximum Flood (PMF)) senaryoları için DSS-WISE™ yazılımını kullanılarak gerçekleştirmişlerdir. Baraj yıkılması olmayan bir PMF temel senaryosunu da simüle etmişlerdir. Her bir barajın bireysel olarak yıkılmasını ve ayrıca ardışık iki barajın basamaklı olarak yıkılmasını modellemişlerdir. PMF koşullarını, barajların memba drenaj havzalarına yayılan olası Muhtemel Maksimum Yağışın (Probable Maximum Precipitation (PMP)) %90'ı tarafından oluşturulan, rezervuar giren tasarım akışına dayandırarak modellemişlerdir. Göllere giriş akımlarını tahmin etmek için USACE HEC-HMS modelini kullanılarak hidrolojik analizleri yapmışlardır. Hidrolojik çalışmanın sonuçlarını, basamaklı ve bireysel baraj gediklenmesi modellemesi, taşkın modellemesini ve iki boyutlu taşkın haritalarını sunmuşlardır. Simülasyon sonuçlarının acil durum eylem planlarının geliştirilmesi ve diğer amaçlar için nasıl kullanıldığını değerlendirmişlerdir.

Önder (2018) tez çalışmasında, Terme Nehri için, nehir yatağı değişimlerinin taşkın yayılımına etkisini 1B ve 2B bütünleşik hidrodinamik ve sediment taşınım modelleri kullanarak araştırmıştır. Hassasiyet çalışmalarını 1B MIKE 11 HD ve MIKE 11 ST yazılımlarını kullanılarak gerçekleştirmiştir. Sediment taşınımının, taşkın yayılımına etkilerini ise 2B MIKE 21 HD ve MIKE 21 ST yazılımlarını kullanarak gerçekleştirmiştir. Analizlerde farklı taşkın tekerrür debilerine karşılık gelen hidrografları kullanmıştır. Taşkın yayılımlarının, modellere sediment taşınımı dâhil edildiğinde hidrodinamik modele göre azaldığı sonucuna varmıştır. Sediment taşınımı etkili ve etkisiz 1B ve 2B model sonuçlarını ve analiz sürelerini karşılaştırmıştır.

Mohd Sidek ve diğerleri (2019), Malezya'da 1930'larda inşa edilen barajların olası giriş debilerinin (PMF), iklim değişikliği nedeniyle önceden tahmin edilen PMP değerlerinin artması sonucu arttığını savunmuşlardır. Kenyir Baraj gölü havzasında bulunan tüm istasyonlar için uzun süreli yağış ve diğer meteorolojik verileri tanımlamış, toplamış, bir araya getirmiş ve işlemişlerdir. İşlenen verileri HEC-HMS programı ile PMP ve PMF değerlerinin belirlenmesi için analizlerde kullanmışlardır. Kenyir Barajı için maksimum giriş debisinin 23,923.10 m^3/s, çıkış debisinin ise 5,563.20 m^3/s olduğunu hesaplamışlardır. PMF giriş hidrografının baraj gölüne girmesi durumunda dahi, dolusavak kapasitesini göz önünde bulundurarak, barajın üstünden selin aşmayacağını tespit etmişlerdir.

Rashid Mohd Shah ve diğerleri (2019) Kenyir Barajı'nın hidrolik ve baraj yıkılma analizlerini yapmışlardır. Baraj yıkılma modellemesi PMF senaryosu altında

gerçekleştirmişlerdir. Bir boyutlu MIKE 11 modeli, gedik çıkış hidrografını türetmek için kullanılırken, iki boyutlu MIKE 21 modelini, taşkın yatağı modellemesi ve barajın mansabındaki taşkın haritalarını oluşturmak için kullanmışlardır. Taşkının mansap alanına ötelenmesini, taşkın yayılımını ve maksimum taşkın derinliğini elde etmek için 1B ve 2B modeli birleşik olarak analiz edebilen MIKE FLOOD modelini kullanmışlardır.

Karataş (2019) tez çalışmasında, Sivas ili içerisinden geçen Mısmılırmak Deresi'nin ve bu dere üzerinde bulunan Sivas 4 Eylül Barajının olası yıkılması durumunda oluşacak taşkını modellemiştir. Taşkın hidrograflarının elde edilmesinde DSİ Sentetik Yöntemini kullanmıştır. Dere yatağı pürüzlülük katsayısının hesaplanmasında Modifiye Cowan yöntemini kullanmıştır. MIKE 11 programı ile bir boyutlu, MIKE 21 programı ile iki boyutlu hidrodinamik modelleme yapmış ve bütünleşik modelleme için MIKE FLOOD yazılımını kullanmıştır. 500 yıllık ve 1000 yıllık taşkın tekerrür debileri Sivas 4 Eylül Barajı'nın da etkisinin dikkate alındığı ve alınmadığı iki farklı senaryo ile giriş akımı olarak tanımlamış ve bu frekanstaki debiler için taşkın yayılım alanlarını belirlemiştir.

Azeez, Elfeki, Kamis ve Chaabani (2019), Suudi Arabistan'ın Cidde kentindeki Um Al-Khair Barajı'nın bulunduğu kentleşmiş kurak bir bölgede, 281 dakika süreli 111 mm birim yağış yüksekliğine sahip 2011 yılı yağış fırtınasını kullanarak, baraj yıkılma analizi yapmışlardır. Fırtına yağış derinliğinin 50 ile 100 yıl arasında bir tekerrür periyoduna karşılık geldiğini göstermişlerdir. Bu fırtınadan kaynaklanan hidrografı, HEC-HMS modelini kullanarak tahmin etmişler ve hidrografın 100 ila 200 yıllık tekerrür periyodunda olduğunu bulmuşlardır. İki boyutlu HEC-RAS modelinde baraj yıkılma parametrelerini ve giriş hidrografını kullanarak, barajın yıkılması sonucu oluşan taşkın yayılımını modellemişlerdir. Modellenen ve 2011 fırtınasında gözlemlenen su derinlikleri arasındaki bir karşılaştırma yaparak, su derinlikleri için 0.57'lik bir korelasyon katsayısı ve 0.45 m karesel ortalama hata değerini hesaplamışlardır. Bu değerlerin, doğru saha ölçümlerinin azlığı nedeniyle, bu tür çalışmalarda kabul edilebilir olduğunu ileri sürmüşlerdir.

Em (2020) doktora tezinde, Diyarbakır ilinin membaında bulunan Kralkızı ve Dicle Barajlarının olası yıkılması sonucu meydana gelebilecek taşkını analiz etmiştir. CBS programları, HEC-RAS ve MIKE 11, MIKE 21, MIKE FLOOD programlarını kullanarak, toplam dokuz model üretmiştir. Analiz sonucunda, taşkın yayılım ve derinlik haritalarını elde etmiştir. Uygulamada karşılaştığı hidrodinamik stabilite problemlerinden bahsetmiştir.

Mahnamfar, Abdollahzadeh ve Ağıralioğlu (2020), Elmalı Barajı dolusavak işletmesinden kaynaklanan Göksu deresinde oluşabilecek taşkınları araştırmışlardır. Dolusavak maksimum deşarj kapasitesinin %25, %50, %75 ve %100'ü ile modellenen taşkın çıkış hidrograflarını, taşkın haritalarını MIKE 21 FM yazılımı ile elde etmiş ve riskli alanları belirlemişlerdir.

Wang, Chen ve Huang (2020), baraj yıkılması ve kademeli baraj yıkılması dâhil olmak üzere çeşitli olası göçme senaryoları altında baraj yıkılması taşkın hidrograflarını hesaplamıştır. Çin'in Shenzhen bölgesinde bulunan Minzhi Barajı'nın aşağı havza kentsel alanları için dört farklı olası yıkılma senaryosunun neden olduğu sel dalgası yayılımını incelemek için, sonlu hacimler metodunu kullanan, iki boyutlu SWM-2D hidrodinamik modelini oluşturmuşlardır. Kentsel alanlarda meydana gelen baraj yıkılması taşkınlarının, farklı akış problemlerine (yüksek kararsızlığa sahip akışlar, hidrolik sıçramalar, ıslanma ve kuruma problemleri) yol açtığını ve bu problemlerin sayısal yöntemlerle çözülmesinin güç olduğuna vurgu yapmışlardır.

Pilotti, Milanesi, Bacchi, Tomirotti ve Maranzoni (2020), Kuzey İtalya'da bulunan Cancano 1 Barajının olası yıkılması durumunda oluşabilecek taşkını, HEC-RAS ve TELEMAC programlarında iki boyutlu olarak modellemiştir. Çalışmasında dik vadiler için nümerik olarak HEC-RAS programının verdiği sonuçların doğruluğunu araştırmış ve oluşabilecek taşkını barajın mansabında yer alan 15 km uzunluğundaki Alpine Vadisi için incelemiştir. İki boyutlu sığ su denklemlerinin dik vadilerde bile taşkın haritalaması için yeterli olduğunu bildirmiştir. HEC-RAS ve TELEMAC programında elde ettiği sonuçları, önceki çalışmalarda elde edilen fiziksel model sonuçları ile de karşılaştırmıştır. Sonuçların birbiri ile oldukça uyumlu olduğunu ortaya koymuştur.

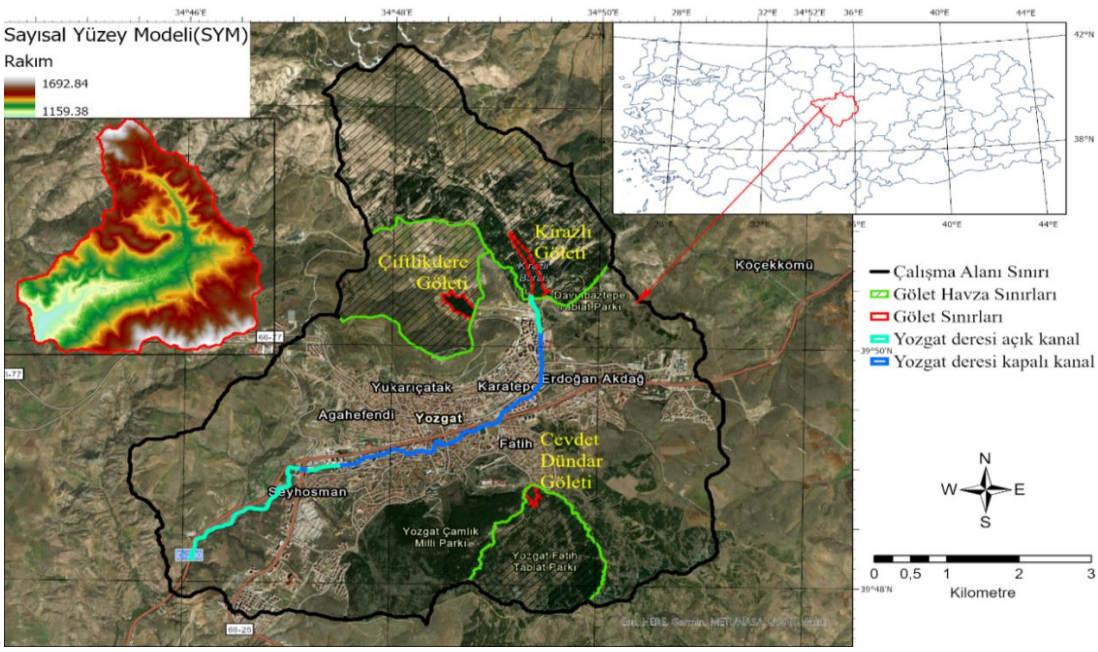
Ríha, Kotaška ve Petrula (2020), küçük barajların yıkılmaları durumunda, büyüklüğü nispeten düşük olsalar bile insanlar ve yapılar için ciddi bir tehdit oluşturabileceğini önermişlerdir. Lichnov II (14.6 m yüksekliğinde), Lichnov III (10 m yüksekliğinde) ve Pochen (8,5 m yüksekliğinde) olmak üzere üç küçük rezervuardan oluşan ardışık baraj sistemi yıkılma hidrograflarını, ampirik formüller, karşılaştırma ve hidrolik yöntemler kullanarak elde etmişlerdir. Rezervuarlar arasındaki baraj yıkılması taşkın yönlendirmesini, sığ su akış denklemlerine dayanan iki boyutlu HEC-RAS yazılımını kullanarak simüle etmişlerdir.

Tedla, Cho ve Jun (2021), Etiyopya'daki dolgu gövdeli Kesem Barajı'nın, HEC-HMS ve HEC-RAS modellerini farklı taşkın giriş periyotları altında birleştirerek, taşkın haritasını yapmışlardır. Barajın 50 yıllık tekerrür debileri için güvenli olduğu, ancak 100 ve 200 yıllık tekerrür debilerinde yıkılarak, baraj mansap alanını su bastığı sonucuna varmışlardır. Yaptıkları analiz sonucunda, 100 yıllık taşkın için 208 km^2'lik bir alanın, maksimum 20 m derinlikte ve 46 saat süreyle su altında kaldığı, 200 yıllık taşkın gelmesi durumunda ise, 93 saat boyunca maksimum 31 m derinliğe sahip 240 km^2'lik bir alanın sular altında kalacağı sonucuna varmışlardır.

3. ÇALIŞMA ALANI VE KULLANILAN VERİLER

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Kızılırmak Havzası'nın Yozgat il merkezi sınırları içinde kalan kısmıdır. Yozgat il merkezi, 34°46' - 34°52' doğu meridyenleri ile 39°48' - 39°52' kuzey paralelleri arasında olup merkezi yerleşim bakımından ise Doğu-Batı istikametinde uzanan Kızıldere Vadisi içinde, Soğukluk Tepesi ile Nohutlu Tepesi arasındadır. Yozgat merkezinin iki yüksek tepenin arasında sıkışan bir yerleşimi söz konusudur. Dolayısıyla, sel olayının oluşmasındaki şartlar düz topoğrafyaya sahip alanlara göre daha olumsuzdur. Bu şartlar altında, büyük debilerin kısa bir süre içinde havzadan çıkarılması ve yerleşim yerlerinden uzaklaştırılması söz konusu olmaktadır. Şehrin kuzeydoğusunda su temini amaçlı Kirazlı Gölet'i ve rekreasyon amaçlı kullanılan Çiftlik Dere Gölet'i, güneydoğusunda rekreasyon amaçlı kullanılan Bekir Cevdet Dündar Gölet'i yer almaktadır. Göletler, yağış ve kar erimesi kaynaklı oluşan selleri toplamakla birlikte, şehrin üst bölgelerinde bulunmaları sebebiyle, olası yıkılmaları durumunda ani bir taşkın oluşturma potansiyeline sahiptirler. Şehrin içinden geçen Yozgat Deresi kuzeydoğu-güneybatı istikametinde akmakta olup, derenin yaklaşık olarak % 80'i kapalı kesittedir. Bu durum, özellikle kanalın tıkanması durumda bölgenin taşkın su seviyelerini yükseltebileceği söylenebilir. Çalışma alanı haritası Şekil 3.1.'de verilmiştir.



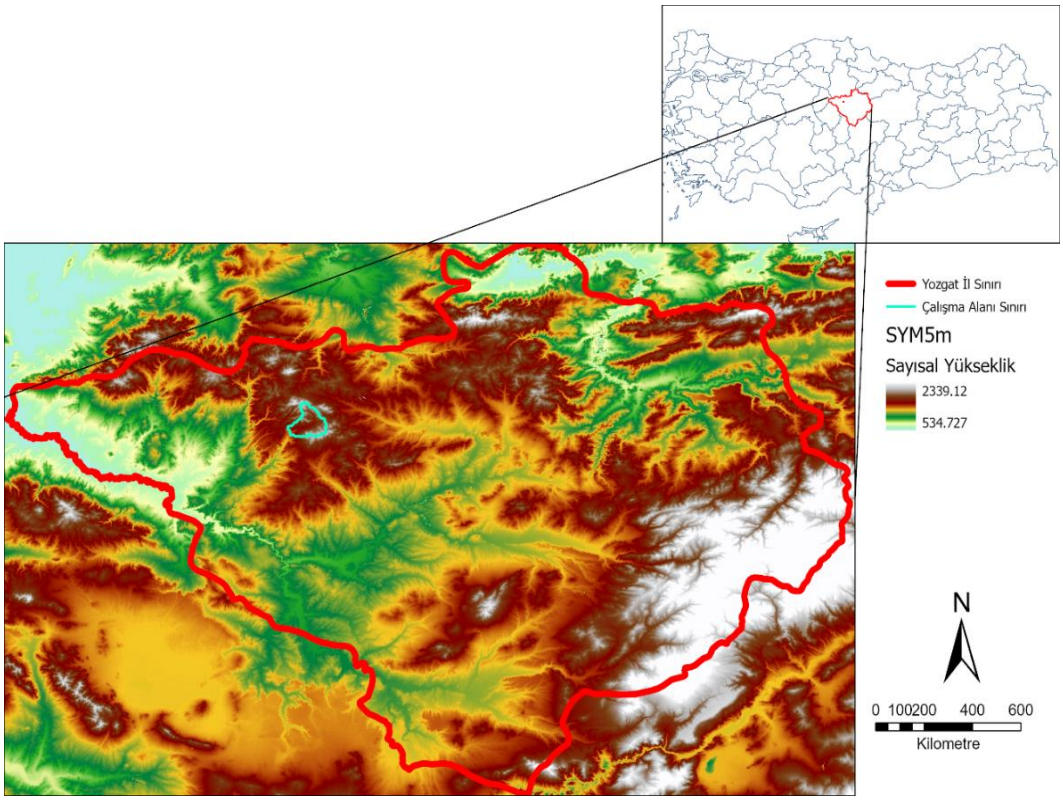
Şekil 3.1. Çalışma alanı haritası

3.2. Veriler

Taşkın analizi çalışması, istatiksel, hidrolojik ve hidrolik analiz yöntemlerinin birleşiminden meydana gelmektedir. Bu analizlerin sonuçlarının doğruluğunda, kullanılan yöntemler ile birlikte, gerekli verilerin temin edilmesi ve bu verilerin yeterli doğruluğa sahip olması büyük öneme sahiptir. Analizlerde kullanılan veriler ulusal ve uluslararası kurumlardan temin edilmiştir. Bu çalışmada, sayısal yükseklik modelleri, arazi kullanımı/örtüsü haritaları, meteorolojik (yağış) verileri, toprak özellikleri haritaları ve gölet barajlarının özellikleri kullanılmıştır.

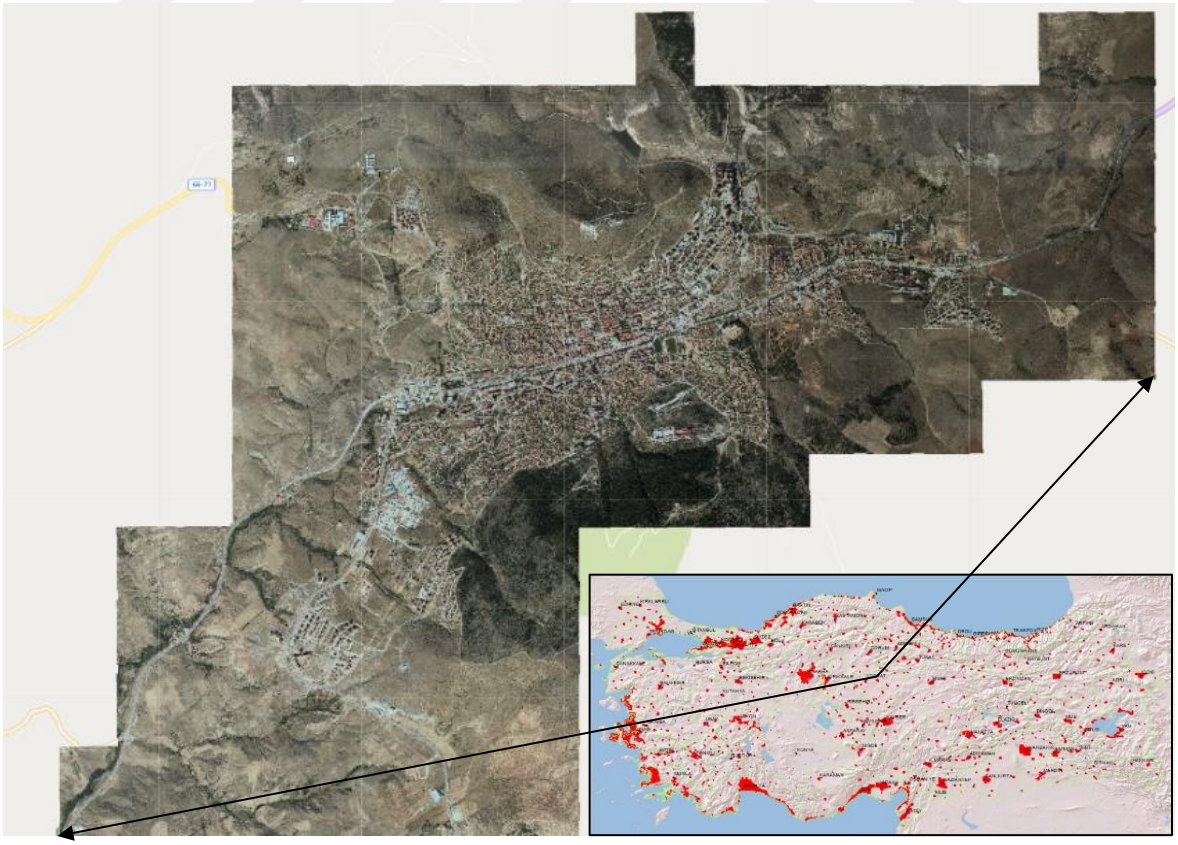
3.2.1. Sayısal Yüzey Modeli

Harita Genel Müdürlüğünden temin edilen Sayısal Yüzey Modeli 5m (SYM5), stereo hava fotoğraflarından otomatik eşlemeyle üretilmiş, arazi topoğrafyasındaki tüm detayları kapsayan (insan yapısı ve bitki örtüsü dâhil), 5 m grid aralıklı ve kaba hatalardan arındırıldıktan sonra, % 90 güven aralığında (LE90) ±3 m düşey doğruluğunda yükseklik verisidir (“HGM”, t.y.). SYM5 verisi Yozgat ilinin tamamı için temin edilmiştir. SYM5 verisi, havza analizi çalışmalarında, gölet derinlik-hacim ilişkilerinin belirlenmesinde altlık olarak kullanılmıştır. Yozgat ili için temin edilen SYM5 modeli Şekil 3.2’de verilmiştir.



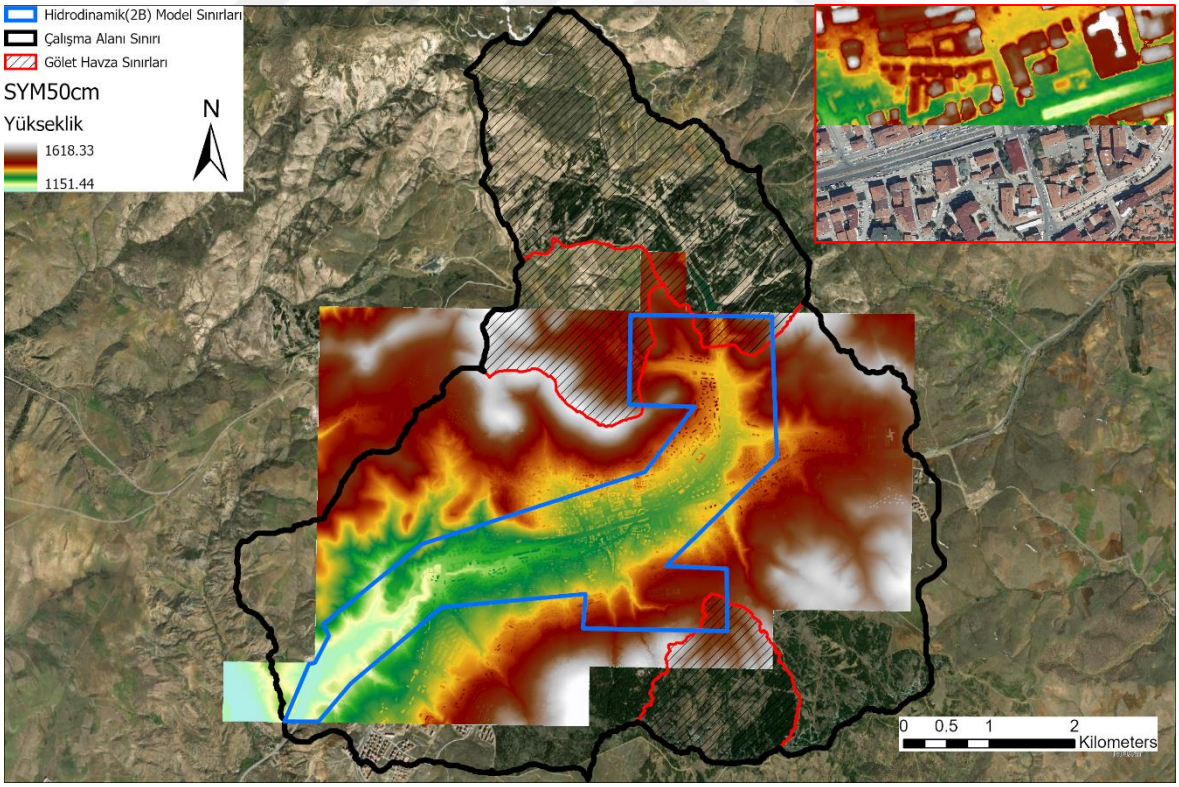
Şekil 3.2. Sayısal yüzey modeli (SYM5)

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (ÇŞB) Coğrafi Bilgi Sistemleri Genel Müdürlüğü (CBSGM) 2014 yılında gerçek (true) ortofoto ve coğrafi veri üretimi işini ihale ederek, Türkiye genelinde yerleşim alanlarında (il, ilçe ve belde) bina envanterinin çıkartılması, şehir içi ulaşım ağı verisini elde edilmesi (yol orta çizgisi), her türlü planlama, projelendirme ve konumsal uygulamalarda kullanılmak üzere 1/1000 ölçekli renkli ve yapay renkli gerçek ortofoto ve coğrafi veri (konuma bağlı veri) üretmiştir. Gerçek ortofoto ve coğrafi veri üretimi işi projesi yerleşim ve gelişme alanlarını (40,000.00 km^2) kapsayacak şekilde planlanmıştır. Proje kapsamında; kıyı bölgelerinde, sosyal-kültürel alanlarda, sanayi ve turizm alanlarında, il ve büyük beldelerde yüksek çözünürlüklü (10 cm) 2 ve 3 boyutlu gerçek ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir. Bu görüntüler üzerinden yol ve bina sayısal verileri vektörel olarak üretilmiştir. Bu fotoğrafların üretilmesinde İnsansız Hava Araçları (İHA) kullanılmıştır. Pilot proje niteliğinde olan bu proje ile Adıyaman, Batman, Çorum, Gümüşhane, Malatya, Nevşehir, Uşak ve Yozgat il ve ilçe merkezlerinin gerçek Ortofoto görüntüleri çekilmiştir (CBSGM, 2016). Bu proje kapsamında Türkiye genelinde gerçek ortofoto üretilen veya üretilmesi planlanan yerler ve Yozgat il merkezi için üretilen ortofoto Şekil 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.3. Ortofoto üretim bölgeleri ve yüksek çözünürlüklü (10 cm) Yozgat ortofotosu

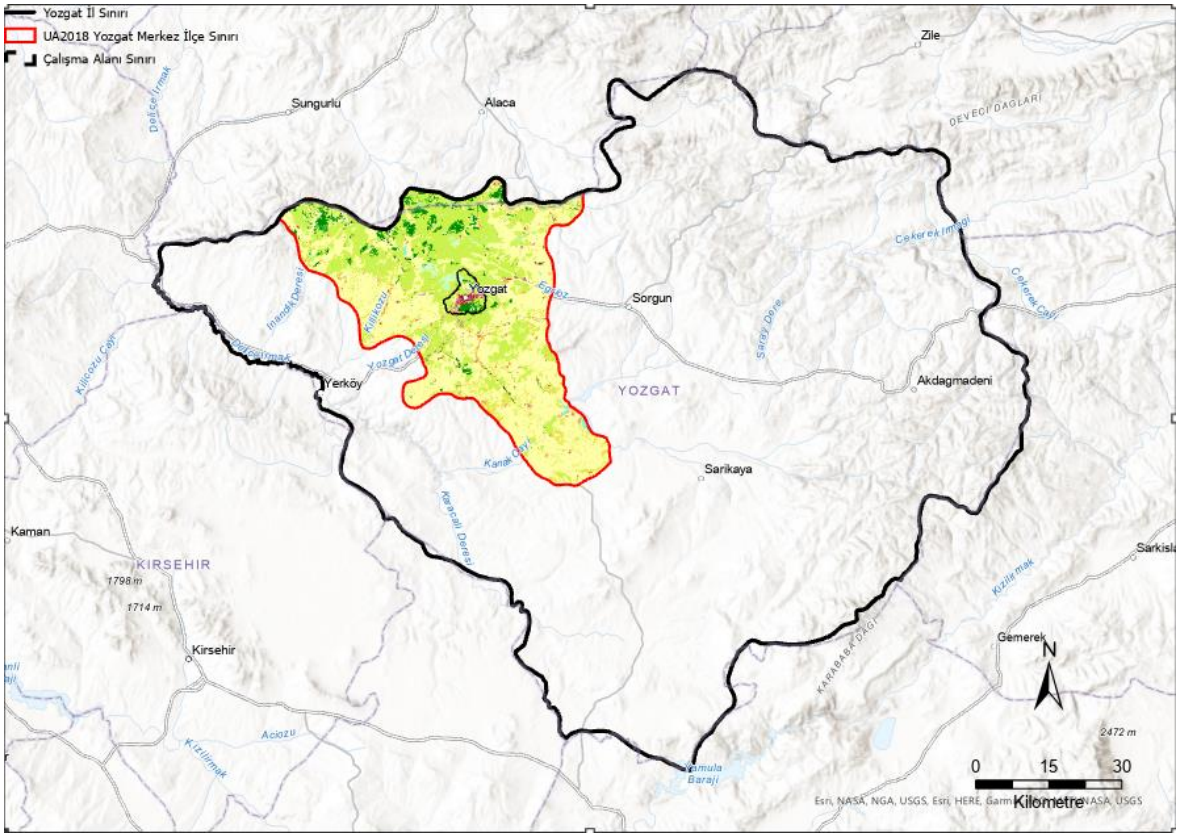
Ortofoto çalışmaları sırasında, Yozgat il merkezi için, insansız hava araçları kullanılarak yüksek çözünürlüklü (10 cm) renkli hava fotoğrafları üretilmiştir. Bu fotoğrafların ve yersel ölçümler ile koordinatları işaretlenen kontrol noktalarının fotogrametrik yazılımlar ile işlenmesi sonucu elde edilen yüksek çözünürlüklü (50 cm) sayısal yüzey modeli TKGM'den temin edilmiştir. SYM ve kaynağının çözünürlüğünün yüksek olması sebebiyle, elde edilen SYM daha hassas yatay ve dikey konum doğruluğuna sahiptir. Bu SYM gölet havzalarının ve gölet alanlarının tamamını kapsamamaktadır. Ancak olası taşkın durumunda, taşkından etkilenebilecek alanların tamamı için mevcuttur. Bu çalışmada, iki boyutlu tam hidrodinamik analiz ile taşkın yayılım alanın modellendiği MIKE21 FM yazılımına altlık oluşturan esnek ağ (flexible mesh) elemanlarının oluşturulması için kullanılmıştır. Esnek ağ elemanlarının oluşturulması için SYM50cm verisinden, iki metre aralıklı üç boyutlu noktalar üretilmiş ve *.xyz uzantılı bir metin dosyasına koordinatları kaydedilmiştir. Taşkın yayılımının modellenmesinde altlık veri olarak kullanılan SYM50cm verisi ve kapsamı Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. SYM50cm verisi detayı ve kapsamı

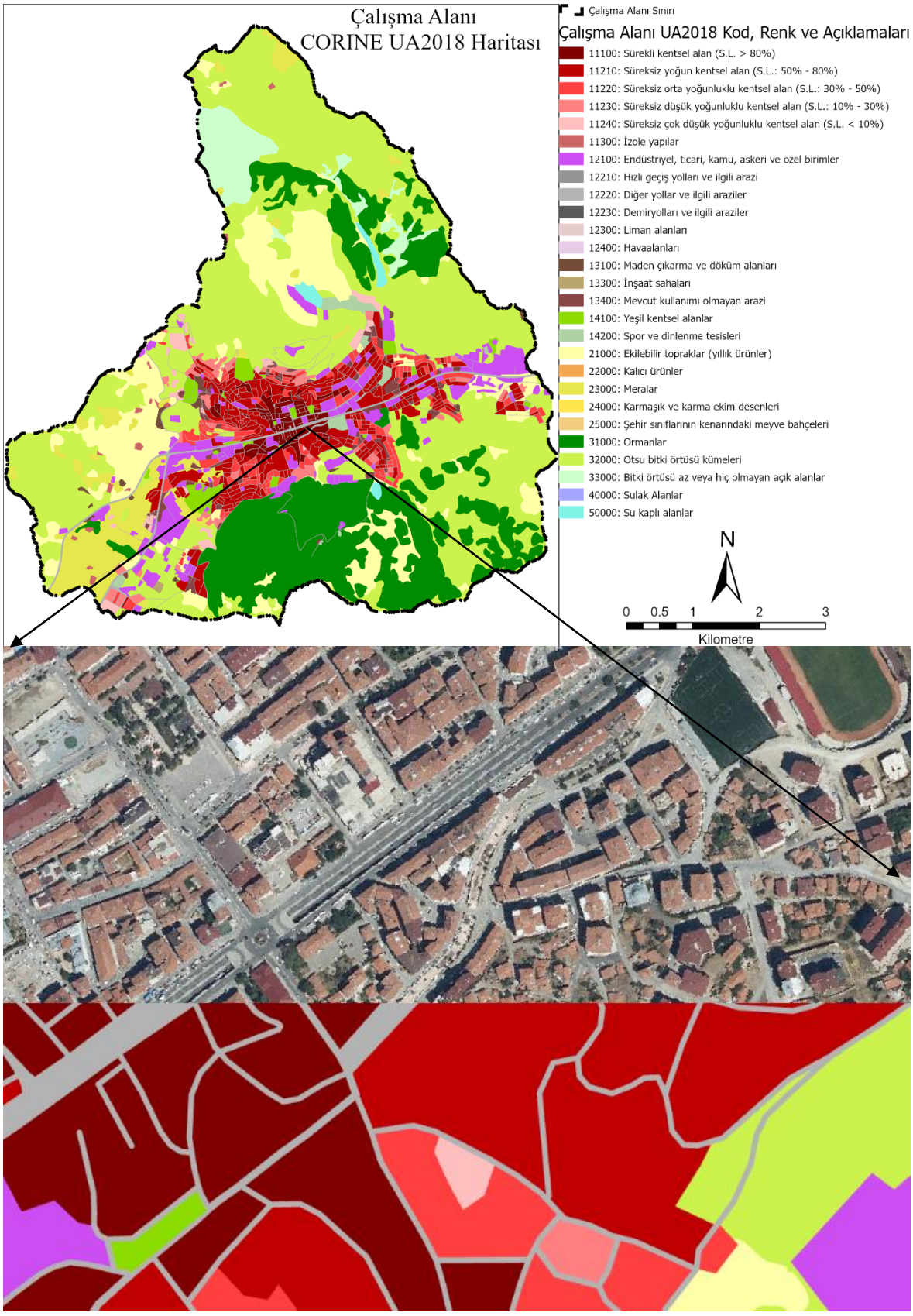
3.2.2. Arazi Kullanımı/Örtüsü Haritası

Çalışmada kullanılan arazi pürüzlülük haritası, Çevresel Bilginin Koordinasyonu (Coordination of Information on the Environment (CORINE)) projesi kapsamında oluşturulan arazi kullanımı/örtüsü sınıflandırması harita verisi kullanılarak oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan Şehir Atlası (Urban Atlas (UA)) 2018 verisi, Avrupa ve Türkiye'de belirli şehir merkezleri için çok yüksek çözünürlüklü uydu fotoğrafları (2-4m) ve Sentinel-2 Uydu görüntüleri kullanılarak üretilmiştir. Açık erişime sunulan veri, üretimi yapılan her şehir için vektör veri formatında temin edilebilmektedir (CORINE, t.y.). Çalışma alanı için elde edilen veri seti, Yozgat Merkez İlçesi'nin tamamını kapsamaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Yozgat Merkez ilçesi CORINE UA 2018 verisi ve kapsamı

Çalışma bölgesi için pürüzlülük katsayılarının belirlenebilmesi için çalışma bölgesinde kullanılacak veri ArcGIS CBS yazılımı kırpma (clip) komutu kullanılarak çıkartılmıştır. CORINE tarafından oluşturulan sistemde, veriler sistematik kod ve renkler ile temsil edilmektedir. Çalışma alanı arazi kullanımı/örtüsü haritaları ve kodlama sistemi Şekil 3.6'da verilmiştir.

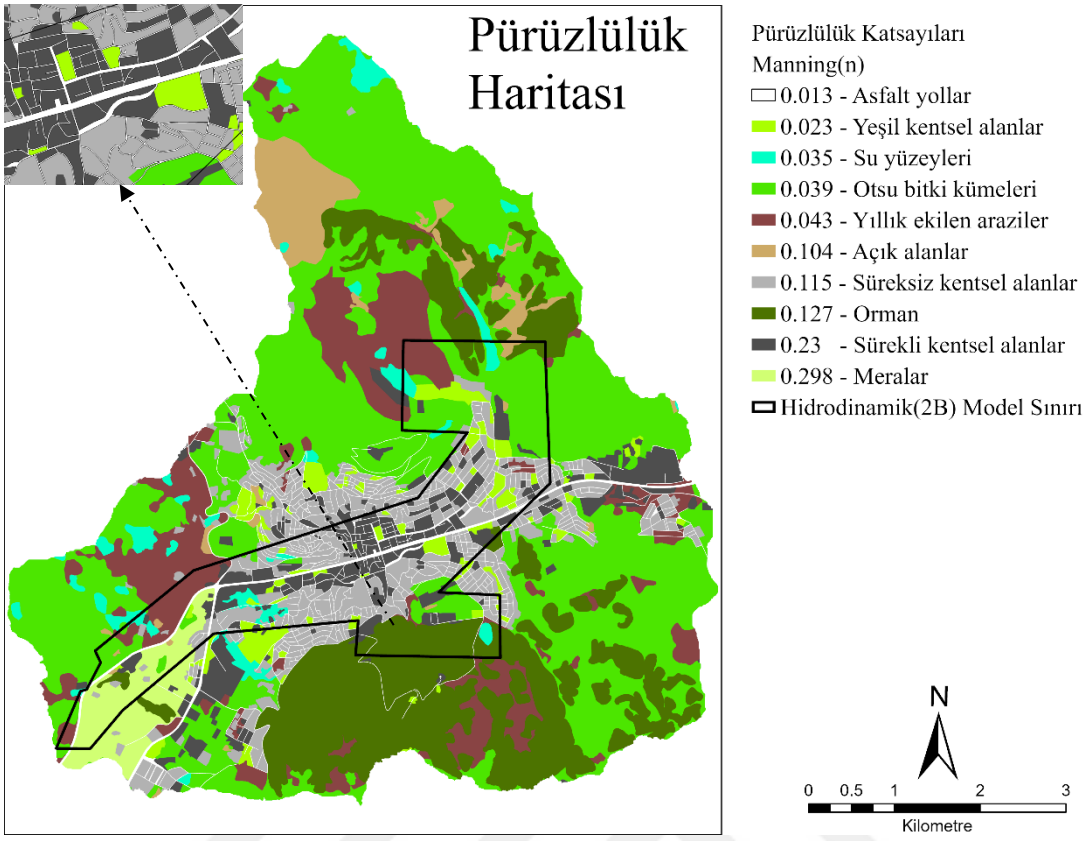


Şekil 3.6. Çalışma alanı arazi örtüsü/kullanımı haritası ve detayı

Literatürde birçok araştırmacı taşkın alanları için kullanılan pürüzlülük katsayılarını temel alarak, CORINE Arazi Örtüsü (Corine Land Cover (CLC)) ve Amerikan Ulusal Arazi Örtüsü Veri tabanı (National Land Cover Database (NLCD)) sınıflandırma sisteminde yer alan arazi kullanım/örtüsü durumları için pürüzlülük değerleri önermişlerdir. (FEMA, 2014; Kalyanapu, Burian ve McPherson, 2009; Z. Liu, Merwade ve Jafarzadegan, 2019; Papaioannou ve diğerleri, 2018; Pestana ve diğerleri, 2013). Arazi kullanımı/örtüsünün çalışma sahası içinde kapladığı alan, oranları ve çalışmada kullanılan pürüzlülük değerleri Tablo 3.1'de, pürüzlülük haritası ise Şekil 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Arazi kullanımının alansal dağılımı ve çalışmada kullanılan pürüzlülük değerleri

UA Arazi Yüzeyi Tipi				**Alan (km^2)**	**Yüzde Alan (%)**	**Manning (n)**
1. Seviye	**2. Seviye**	**UA kodu**	**4. Seviye**			
1. Yapay Alanlar	1.1 Kentsel Alanlar	11100	Sürekli kentsel alan	0.58	1.35%	0.23
		11210	Süreksiz yoğun kentsel alan	2.56	5.93%	0.115
		11220	Süreksiz orta yoğunluklu kentsel alan	1.06	2.45%	0.115
		11230	Süreksiz düşük yoğunluklu kentsel alan	0.49	1.15%	0.115
		11240	Süreksiz çok düşük yoğunluklu kentsel alan	0.36	0.83%	0.115
		11300	İzole yapılar	0.10	0.23%	0.115
	1.2 Endüstriyel, ticari, kamu, askeri, özel ve ulaşım birimleri	12100	Endüstriyel, ticari, kamu, askeri ve özel birimler	2.23	5.17%	0.23
		12220	Diğer yollar ve ilgili araziler	1.36	3.15%	0.013
	1.3 Maden, atık sahaları ve şantiyeler	13100	Maden çıkarma ve döküm alanları	0.12	0.29%	0.104
		13300	İnşaat sahaları	0.02	0.04%	0.115
		13400	Mevcut kullanımı olmayan arazi	0.43	0.99%	0.023
	1.4 Tarım dışı yapay bitkili alanlar	14100	Yeşil kentsel alanlar	0.46	1.06%	0.023
		14200	Spor ve dinlence tesisleri	0.26	0.59%	0.023
Toplam				10.04	23.25%	
2. Tarımsal Alanlar	-	21000	Ekilebilir topraklar (yıllık ürünler)	4.58	10.62%	0.043
	-	23000	Meralar	2.07	4.79%	0.298
Toplam				6.65	15.41%	
3. Orman ve Yarı Doğal Alanlar	-	31000	Ormanlar	7.90	18.31%	0.127
	-	32000	Otsu bitki örtüsü kümeleri	17.15	39.71%	0.039
	-	33000	Bitki örtüsü az veya hiç olmayan açık alanlar	1.44	3.33%	0.104
Toplam				26.49	61.35%	
5. Su Yüzeyleri	-	50000	Su Yüzeyleri	0.22	0.50%	0.035
Genel Toplam				43.18	100.00%	

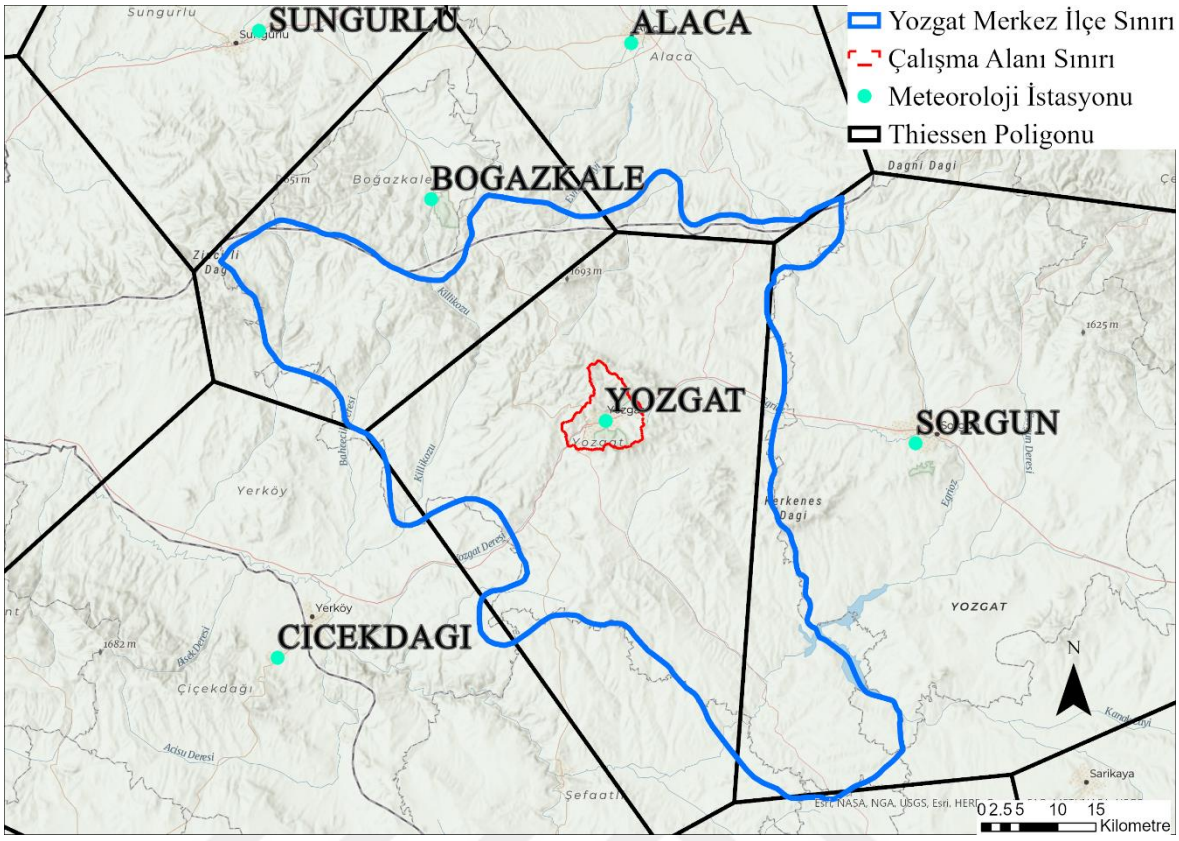


Şekil 3.7. Pürüzlük (Manning) katsayıları haritası

3.2.3. Yağış Verisi

DSİ'nin akım gözlem istasyon bilgilerini ve akım gözlem değerlerini paylaştığı "svtbilgi.dsi.gov.tr" internet adresinde, çalışmanın yapıldığı göletlerin membaında bulunan dereler için istasyon ve rasat bilgisi mevcut değildir. Akım Gözlem İstasyonlarının (AGİ) bulunmadığı akarsu ve kuru derelerde oluşabilecek aşırı akış değerleri, havza parametrelerini ve yüzey özelliklerini kullanarak yağış-akış ilişkisinin hesaplanmasını sağlayan sentetik birim hidrograf yöntemleri ile hesaplanabilmektedir.

Yağış-akış ilişkilerinin elde edilebilmesi amacıyla, çalışma bölgesi ve çevresinde bulunan Meteorolojik Gözlem İstasyon (MGİ) konumları kullanılarak, Thiessen poligonu oluşturulmuş ve çalışma bölgesi için, istasyonların yağış temsil oranları elde edilmiştir. Thiessen poligonu oluşturulurken uzun dönemli (>15 yıl) yağış kayıt verisine sahip istasyonlar kullanılmıştır. Çalışma alanı için çizilen poligon Şekil 3.8'de verilmiştir. Bu yönteme göre, Yozgat MGİ'nin çalışma alanına %100 oranında etki ettiği görülmektedir.



Şekil 3.8. Çalışma sahası Thiessen poligonu

MGM'den, Yozgat MGİ için yıllık standart zamanlarda gözlenen en yüksek yağış değerleri ve yağış şiddet süre tekerrür eğrisi temin edilmiştir. Elde edilen veri 1960-2015 yılları aralığındaki, 56 yıllık bir zaman diliminin yağış verilerini kapsamaktadır.

MGM'den alınan veri tablosunda, belirli istatiksel parametreler(ortalama, en büyük, standart sapma ve çarpıklık) ile birlikte LN3 (Log-Normal 3 parametreli) olasılık dağılım fonksiyonuna göre standart zamanlar için hesaplanmış 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 yıl tekerrür periyoduna sahip olası yağış değerleri verilmiştir. Ayrıca plüviyograf katsayısı (PLV) ve standart zamanlardaki noktasal yağış frekans değerlerinden hesaplanan plüviyograf oranı (PLF) katsayıları verilmiştir. PLV taşkın hesaplarında kullanılan önemli bir girdidir. İstasyonların plüviyograf oranları; standart zamanlardaki yağış verileri ve frekans analiz sonuçlarının 24 saatlik değerleri dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Değerlerinin güvenilirliği, yılda 24 ile 18 saatlik maksimum yağış değerleri farkının, 6 saatlik değerden büyük veya küçük kalmasına bağlı olarak tespit edilmektedir. Bu farkın büyük olduğu yıllarda plüviyografın aksak veya yıl boyu çalışmamış olduğu kabul edilmektedir. Bu durumdaki yılların değerleri tablolarda verilmekte, ancak değerlendirmeye alınmamaktadır.

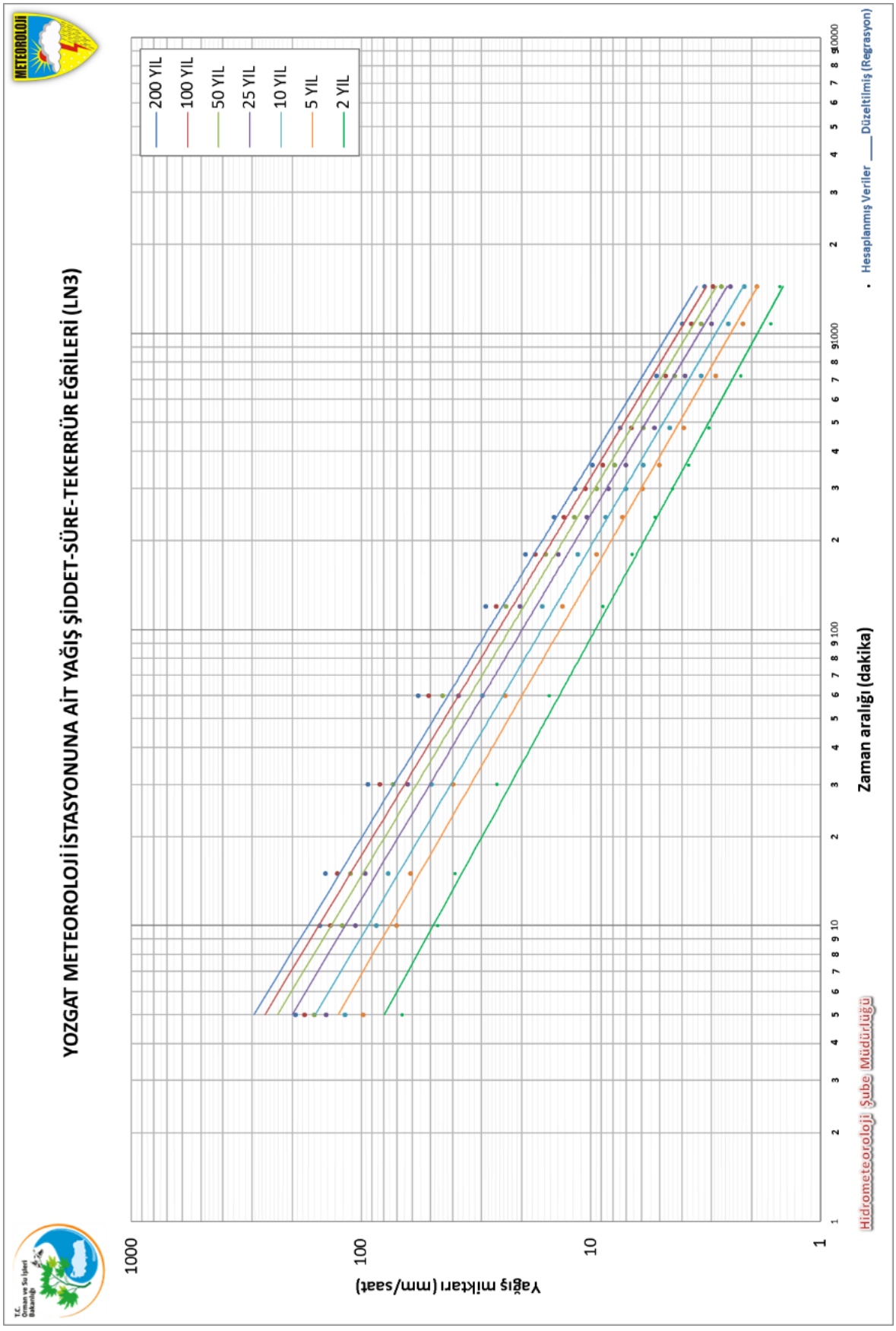
PLV katsayısı, standart zamanlardaki yağışın, güvenilirliği onaylanmış yıllar için, yılda maksimum yağış değerlerine bölünerek ortalaması alınması sonucu elde edilmektedir (Kandır, 2020). PLV katsayısının güvenilir bulunmadığı 17 yıl, istatistiksel hesaplamalarda kullanılmamıştır. Bu nedenle standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri için yapılan istatiksel analizlerde 39 yılın verileri kullanılmıştır. Bu analiz sonucunda, Yozgat MGİ için 24 saatlik süre için 200 yıl tekerrür periyoduna sahip yağış değeri 76,2 mm olarak belirtilmiştir. Bu veri ve istatiksel analiz sonuçları, MGM'den temin edilen veri tablosunda hazır olarak bulunmaktadır. Yozgat MGİ yağış verisi ve istatistik analizi Tablo 3.2'de, yağış-şiddet-süre-tekerrür eğrisi Şekil 3.9'da verilmiştir (MGM, t.y.).

Tablo 3.2. Yozgat MGİ standart zamanlarda gözlenen en büyük yağış değerleri

METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ
YOZGAT METEOROLOJİ İSTASYONUNDA
STANDART ZAMANLARDA GÖZLENEN EN BÜYÜK YAĞIŞ DEĞERLERİ (mm)

GÖZLEM	DAKİKA				SAAT										
YILI	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24	24 +
2015	9,9	10,5	12,1	20,1	22,7	22,8	24,8	24,8	24,8	24,9	25,1	31,1	45,3	47,1	
⋮	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	⋮	
⋮	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	....	⋮	*
1960	1,8	3,3	4,6	6,0	7,3	9,1	11,0	12,9	12,9	12,9	13,0	22,1	22,1	27,6	
N	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	39	56
Y-ORT	6,0	8,5	11,0	14,4	17,3	19,8	21,6	22,8	23,6	24,0	26,0	28,2	31,6	37,7	38,8
Y-EB	15,0	20,8	31,1	39,9	51,2	53,9	54,0	54,0	54,0	54,0	54,0	56,4	67,2	67,2	68,0
Std.S	2,93	4,41	6,25	8,04	9,73	9,95	9,62	9,10	8,84	8,71	7,85	8,74	10,56	10,47	10,93
Car.K	0,96	1,34	1,60	1,63	1,82	1,61	1,48	1,51	1,46	1,43	1,45	1,46	1,40	1,22	0,96
UDF	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3	LN3
2 YIL	5,5	7,7	9,7	12,8	15,1	17,7	19,8	21,0	21,9	22,4	24,5	26,6	29,6	36,0	37,2
5 YIL	8,2	11,7	15,2	19,8	23,6	26,5	28,3	29,0	29,7	30,1	31,5	34,3	39,0	45,3	47,0
10 YIL	9,8	14,3	19,0	24,7	29,6	32,5	34,1	34,5	35,1	35,3	36,2	39,6	45,3	51,4	53,2
25 YIL	11,8	17,6	24,0	31,2	37,7	40,5	41,6	41,7	42,0	42,1	42,3	46,4	53,4	59,1	60,7
50 YIL	13,3	20,1	27,8	36,2	44,0	46,6	46,9	47,1	47,2	47,2	47,3	51,5	59,5	64,8	66,2
100 YIL	14,7	22,7	31,8	41,3	50,6	51,6	52,3	52,5	52,7	52,9	53,1	56,7	65,7	70,5	71,5
200 YIL	16,1	25,2	35,8	46,6	56,4	57,4	57,6	57,8	58,4	59,1	59,4	62,1	72,0	76,2	76,8
PLF	**0,19**	**0,29**	**0,39**	**0,51**	**0,61**	**0,66**	**0,68**	**0,69**	**0,70**	**0,71**	**0,72**	**0,78**	**0,89**	**1,00**	**1,03**
PLV	**0,11**	**0,17**	**0,21**	**0,30**	**0,39**	**0,47**	**0,53**	**0,57**	**0,61**	**0,65**	**0,71**	**0,81**	**0,92**	**1,00**	**1,00**

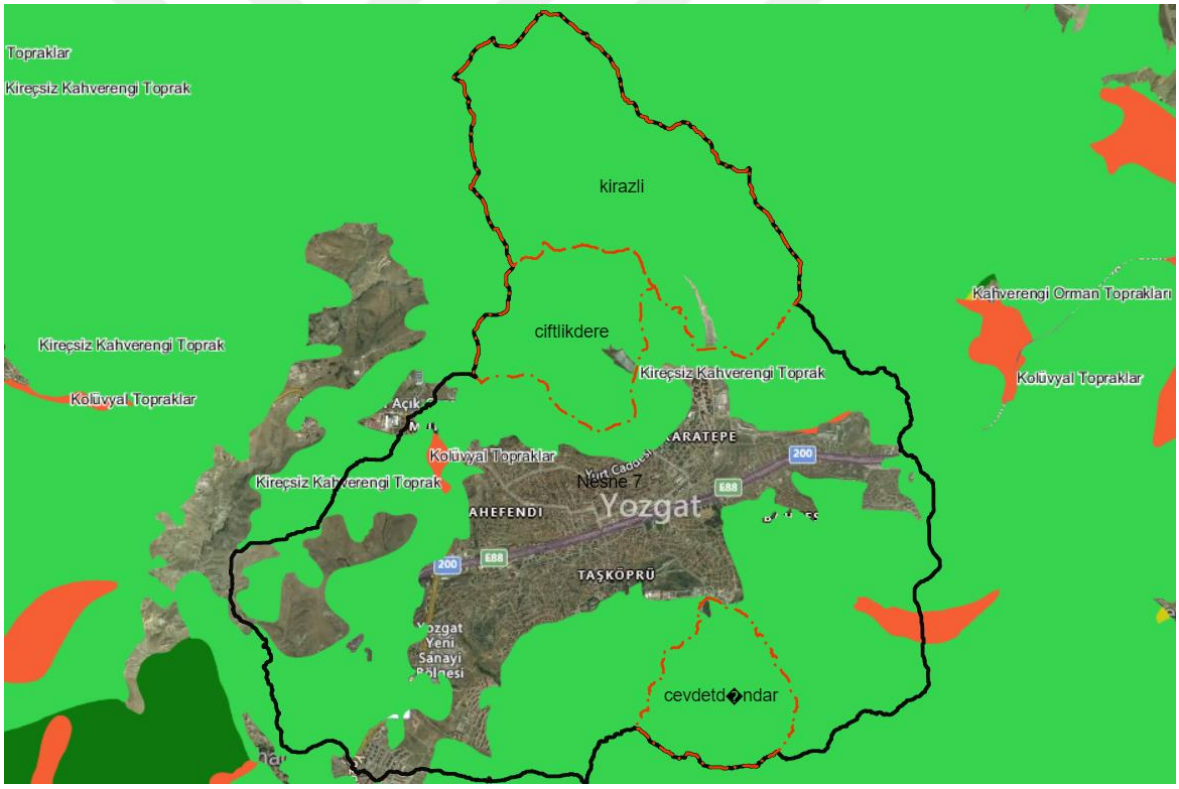
* : PLV hesaplamasının güvenli bulunmadığı ve hesaba katılmayan yıllar



Şekil 3.9. Yozgat MGİ yağış-şiddet-süre-tekerrür eğrileri

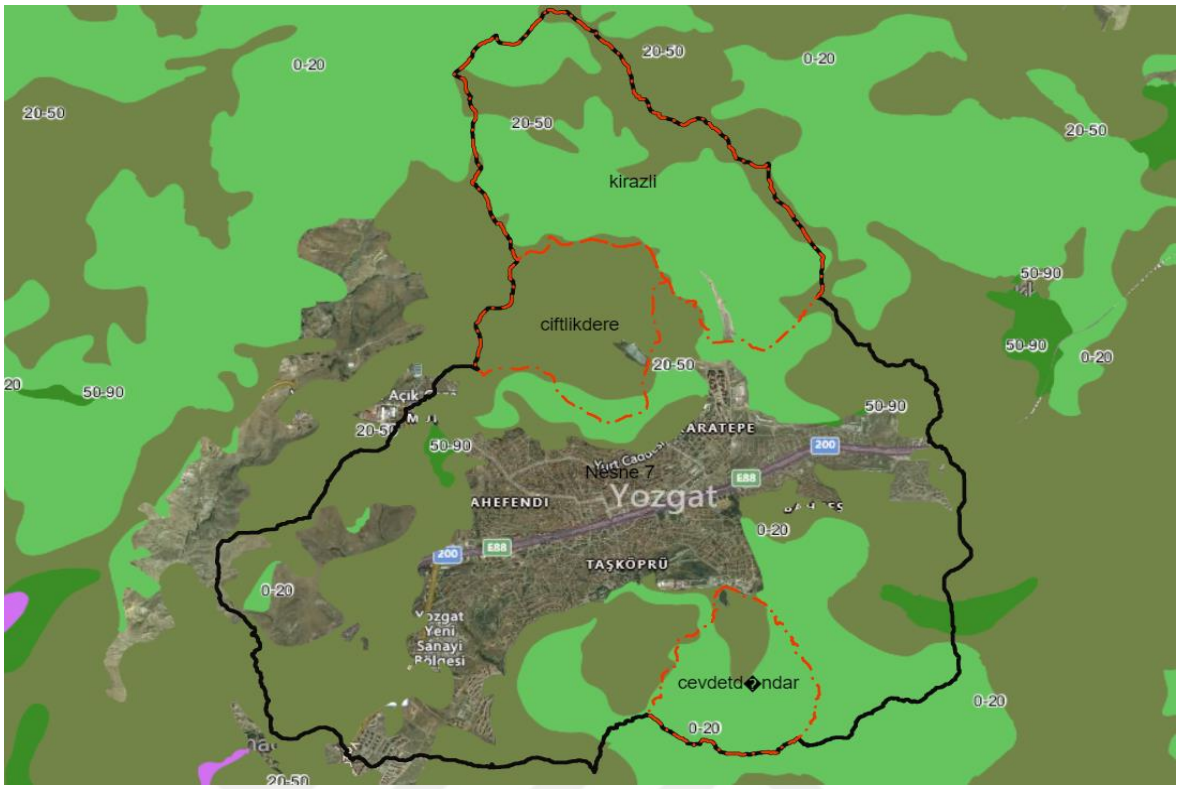
3.2.4. Toprak Özellikleri

Bu çalışmada kullanılan Amerikan Toprak Koruma Servisi-Eğri Numarası (Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN)) yağış-akış ilişkisi yöntemi, zemin su tutma potansiyeli ve akış değerlerini belirlemek için Hidrolojik Toprak Grupları (HTG) ve arazi kullanımı/örtüsü bilgilerini kullanmaktadır. HTG, Büyük Toprak Grupları (BTG) ve Toprak Özelliklerinin Kombinasyonu (TOK) verileri kullanılarak belirlenebilmektedir (Öztürk ve Batuk, 2011). Çalışma alanı için ihtiyaç duyulan BTG, toprak derinliği ve arazi eğimi haritaları, Tarım ve Orman Bakanlığı'nın tarımsal arazi ve ovaların korunması ve izlenmesi amacıyla geliştirdiği, TAD Portal internet sayfasından (Tarım Dışı Yetkilendirme ve Toprak Etüt Portalı) temin edilmiştir ("Tad Portalı", t.y.). Çalışma alanı BTG haritası Şekil 3.10'da verilmiştir.

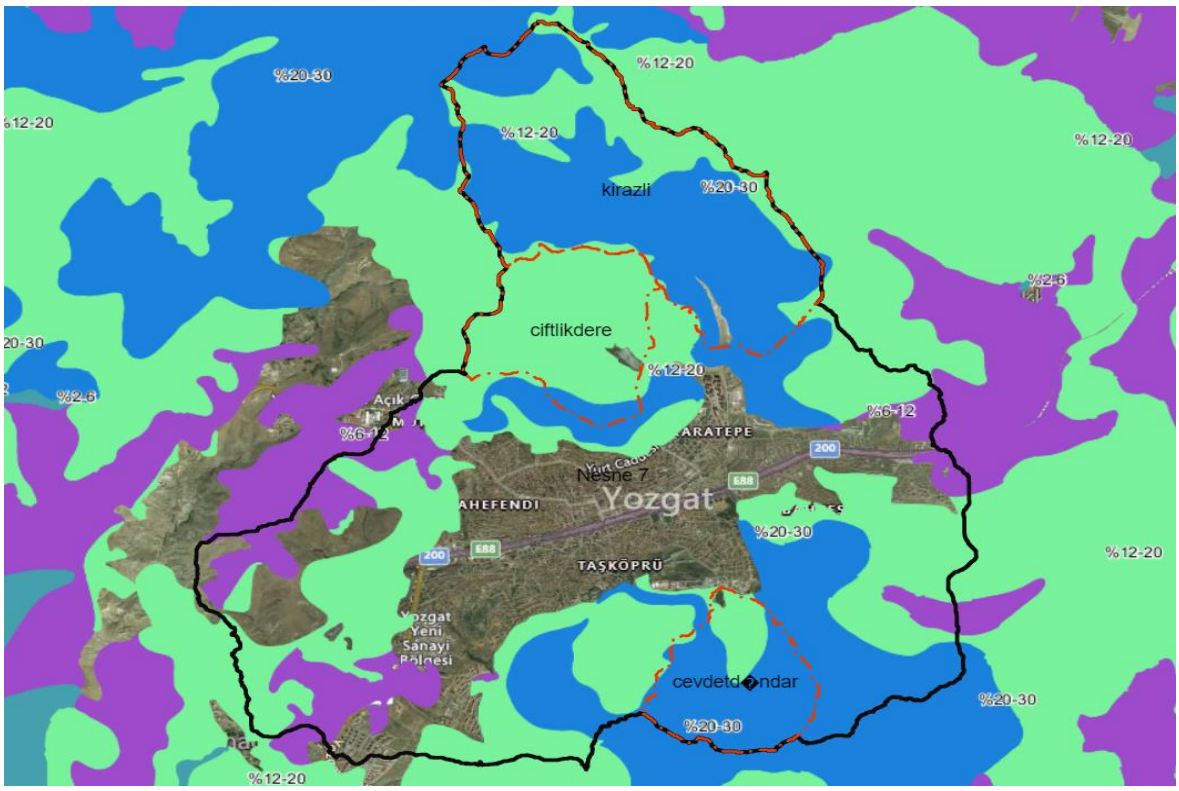


Şekil 3.10. Çalışma alanı BTG haritası

BTG haritasında görüldüğü üzere, gölet yağış alanları Kireçsiz Kahverengi Toprak grubundadır. Toprak derinliği haritasında toprak derinliğinin gölet havzalarında, 0-20 cm ve 20-50 cm aralıklarında olduğu, arazi eğiminin ise %12-20 ve %20-30 aralığında olduğu sırasıyla Şekil 3.11 ve Şekil 3.12 görülmektedir.



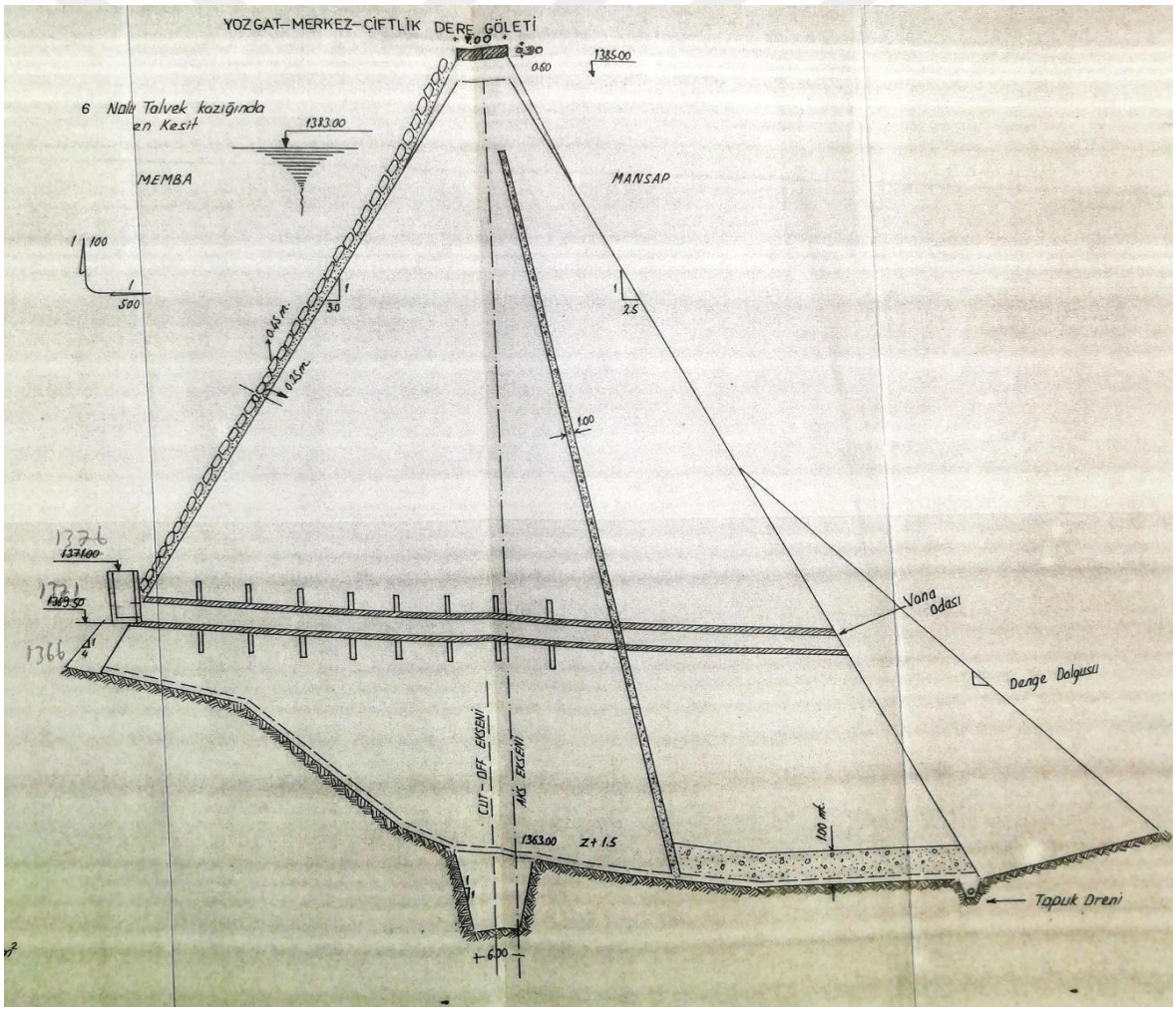
Şekil 3.11. Çalışma alanı toprak derinliği haritası



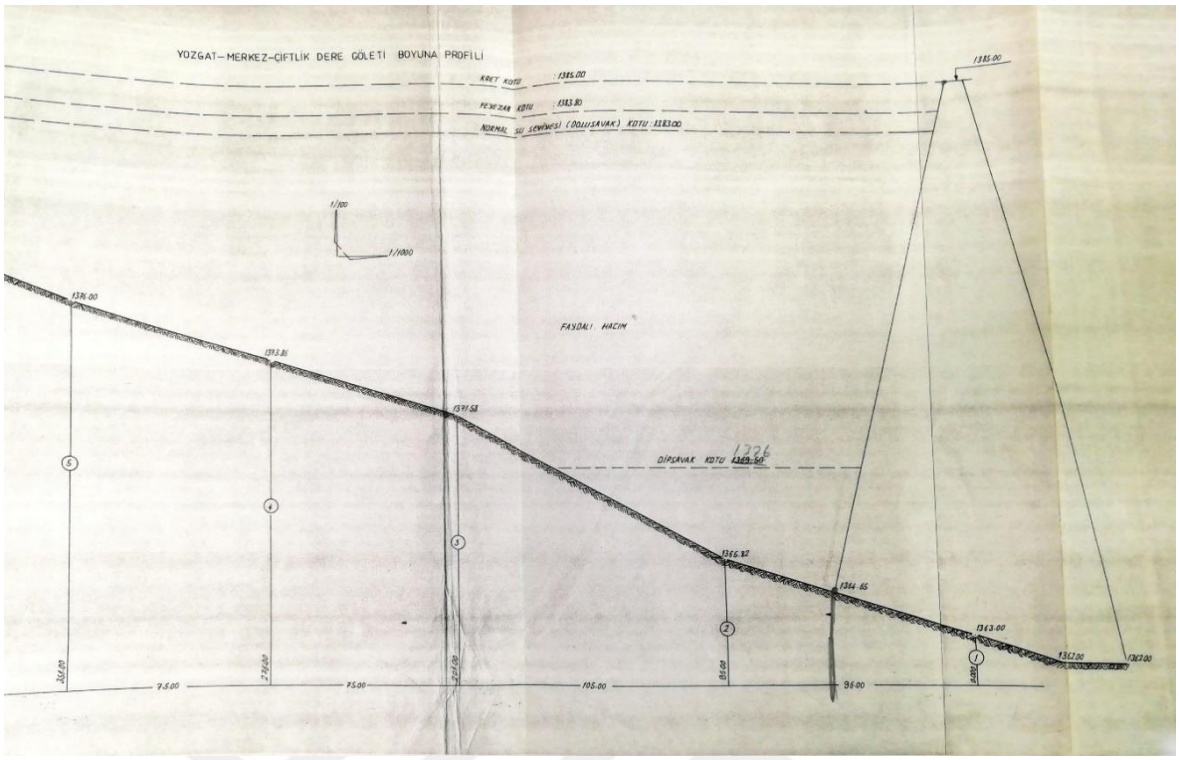
Şekil 3.12. Çalışma alanı arazi eğimi haritası

3.2.5. Gölet ve Akarsu Özellikleri

Barajların olası yıkılmasının modellenebilmesi için barajlar ve Yozgat Deresi ile ilgili belirli fiziksel özelliklere (gövde yüksekliği, kret uzunluğu ve dolusavak boyutları) ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışmada, yıkılması modellenen göletlerin projelerini temin etmek amacıyla yetkili kuruluşlar ile iletişim kurulmuştur. Yapılan görüşmeler sonucunda Çiftlik Dere Gölet'inin Yozgat İl Özel İdaresi sorumluluğunda, Kirazlı ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'inin ise Yozgat Belediyesi'nin sorumluluğunda olduğu öğrenilmiştir. Kirazlı ve Bekir Cevdet Dündar göletlerine ait projeler temin edilememiştir. Çiftlik Dere Gölet'inin projeleri Yozgat İl Özel idaresinden temin edilmiştir. Çiftlik Dere Gölet'i gövdesinin enine kesiti Şekil 3.13'te, boyuna profili ise Şekil 3.14'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Çiftlik Dere Gölet'i gövde enkesiti



Şekil 3.14. Çiftlik Dere Gölet'i boyuna profili

Projelerden yeterli bilgi sağlanamadığından dolayı, baraj göletlerinin ve Yozgat Deresi'nin fiziksel özellikleri, Küresel Navigasyon Uydu Sistemi (Global Navigation Satellite System (GNSS)) cihazı ile yapılan saha ölçümleri, sayısal yükseklik modelleri ve hava fotoğrafları kullanılarak elde edilmiştir. Saha çalışmaları ve UA yöntemleri birlikte kullanılarak, gölet kret kotları, gövde yükseklikleri, dolu savak özellikleri ve derelerin özellikleri mümkün olduğunca hassas olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada, olası yıkılması modellenen göletler Şekil 3.15'te, çalışma sahasında belirlenen önemli noktalar ve bu bölgelerde yapılan ölçme çalışmaları Şekil 3.16'da görülmektedir.



Şekil 3.15. Olası yıkılması modellenen göletler



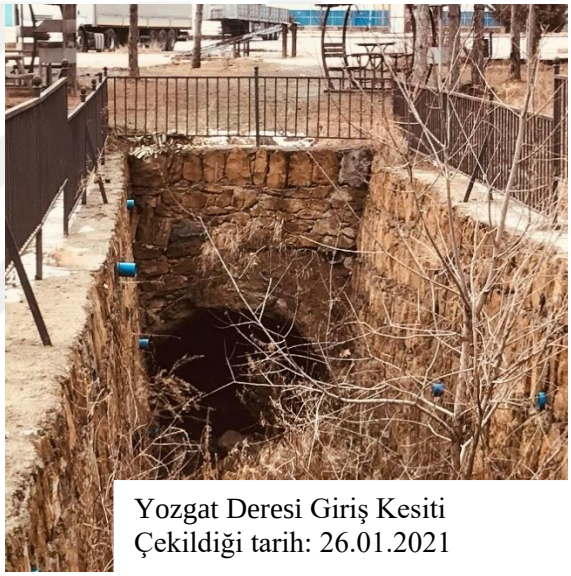
Kirazlı Dolu Savağı
Çekildiği tarih: 23.10.2021



Kirazlı GNSS Ölçümü
Çekildiği tarih: 23.10.2021



Çiftlik Dere Dolu Savağı
Çekildiği tarih: 23.10.2021



Yozgat Deresi Giriş Kesiti
Çekildiği tarih: 26.01.2021



Yozgat Deresi Çıkış Kesiti
Çekildiği tarih: 26.01.2021

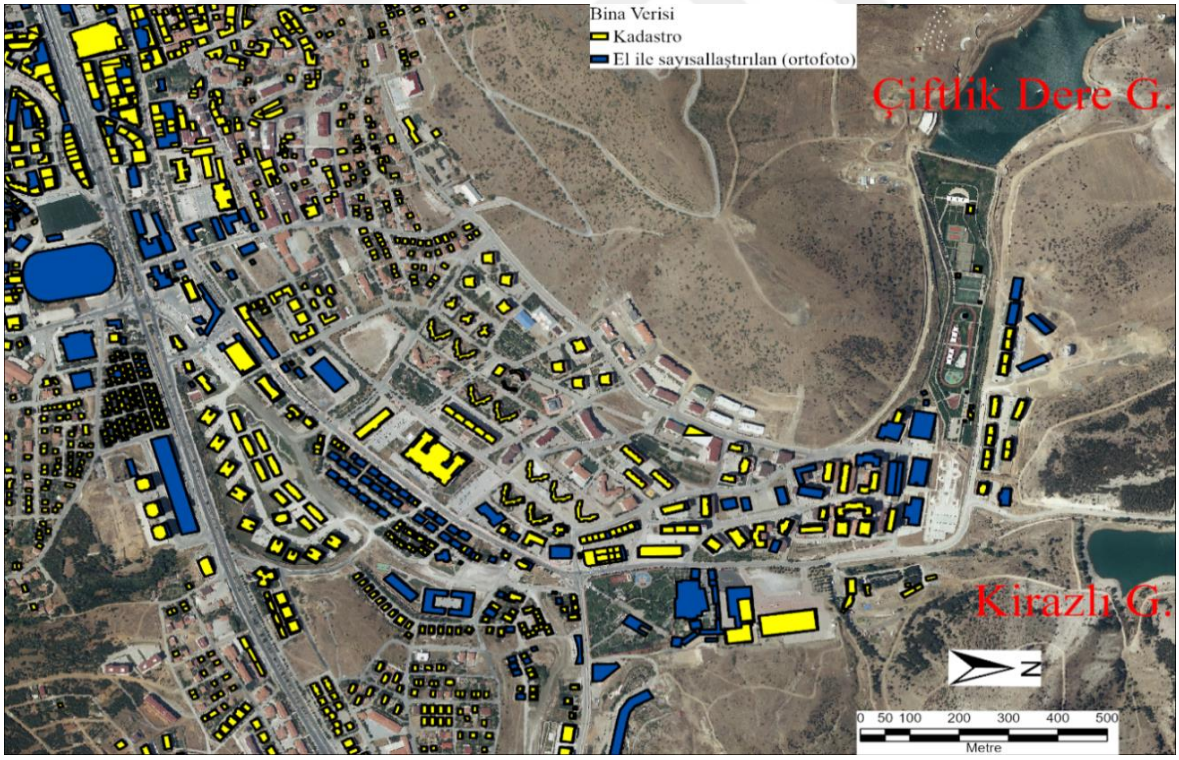


Taşkın Çıkış Noktası (Kutu Menfez)
Çekildiği tarih: 26.01.2021

Şekil 3.16. Belirlenen önemli noktalar ve yapılan ölçme çalışmaları

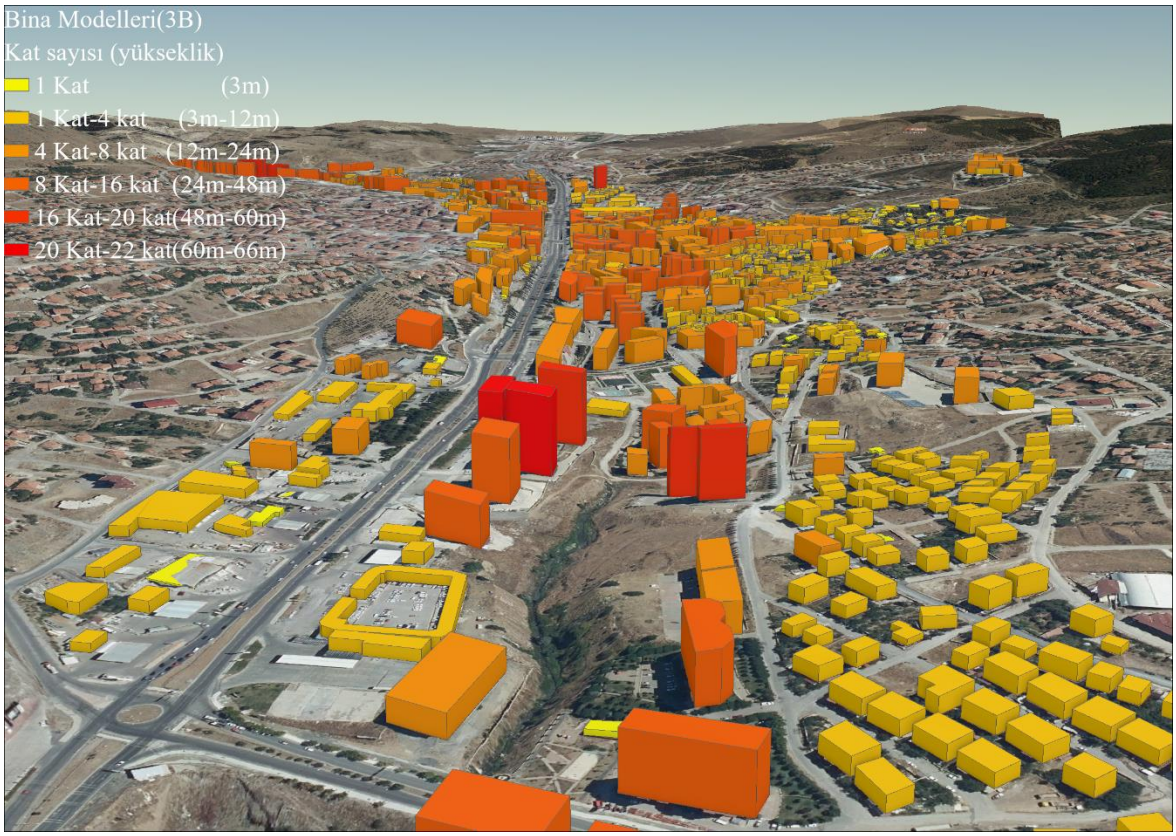
3.2.6. Taşkın Alanı Bina Verisi

Hidrodinamik modelde altlık olarak kullanılan arazi modeline, akıma engel teşkil eden binalar dâhil edilmemektedir. Bu sebeple, bina oturum koordinatları belirlenerek, gerekli geometri verisi hazırlanıp, arazi modelinde kullanılmıştır. Çalışma alanı içerisinde bulunan binaların taban oturum koordinatları, ilgili kuruluşlardan temin edilmiştir. Temin edilen proje projeksiyonu Evrensel Enlem Merkatör UTM (Universal Transver Merkator) ve datumu Uluslararası Yersel Referans Sistemi ITRF96'dır. Elde edilen kadastro projesinden bina katmanı seçilerek, NetCAD Araçlar menüsü veri tabanı yönetimi kısmında oluşturulan Netcad spatial tablosuna kopyalanmıştır. Veri tabanı tablosuna kopyalanan bina oturumları, ArcGIS yazılımında kullanılmak üzere "shapefile" geometri dosyası olarak "export" seçeneği ile dışarı aktarılmıştır. Ancak ortofoto üzerinde kontrol edilen bina geometrilerinin kısmen eksik olduğu gürülmüş ve eksik olan bina geometrileri, fotoğraf üzerinden sayısallaştırılmıştır. Kadastrodan alınan ve el ile sayısallaştırılan bina yerleşim planının bir kısmı ve gölet konumları Şekil 3.17'de görülmektedir.



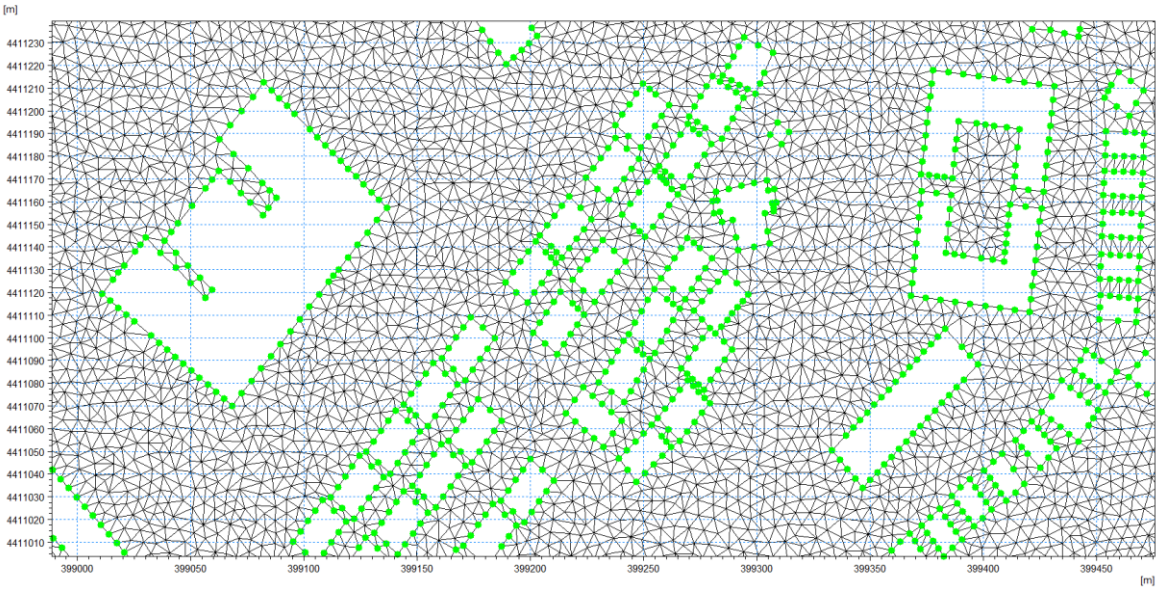
Şekil 3.17. Bina yerleşim planı

Hazırlanan bina geometri dosyasında, yükseklik bilgisi bulunmamaktadır. MIKE 21 programında binaların olduğu kısımlar arazi modeline dâhil edilmediği için, bina yükseklik bilgisine ihtiyaç duymamaktadır. Ancak taşkın sonuçlarının değerlendirilebilmesi için bina yükseklikleri SYM50cm raster verisi üzerinden tespit edilip, bina poligon verisine aktarılarak üç boyutlu bina verisi elde edilmiştir. Üç boyutlu arazi modeli ve üç boyutlu binaların dâhil olduğu çalışma alanı geometrisi Şekil 3.18'de görülmektedir.



Şekil 3.18. ArcGIS 3B arazi modeli ve üç boyutlu bina modeli

Bina köşe koordinatları bir metin dosyasına (*.xyz uzantılı) kaydedilerek MIKE Zero Ağ Üreticisi (Mesh Generator) modülüne aktarılmıştır. MIKE Zero, ağ üretici modülünde ağ elemanları ve bina çokgen elemanları geometrisi hazırlanmıştır (Şekil 3.19). Çok kırıklı geometriye sahip bina çokgenlerinin çok olması durumunda, MIKE Zero programında, mesh geometrisi oluşmamakta ya da oluşan küçük üçgenler hidrodinamik analizde kararsızlıklara sebep olmaktadır. Bu nedenle, çokgenler basitleştirilerek köşe noktaları azaltılmıştır.



Şekil 3.19. MIKE Zero programında hazırlanan esnek ağ ve bina geometrisi

4. YÖNTEM

4.1. Gölet Derinlik Haritaları ve Seviye-Hacim İlişkilerinin Belirlenmesi

Baraj ve gölet rezervuarı derinlik (batimetri) ve kapasite tahminleri, hidrolojik süreçler ve su kaynakları yönetimi üzerindeki önemli etkileri nedeniyle büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, rezervuar derinliğinin belirlenmesi için mevcut yaklaşımlar, genellikle bölgesel ve küresel ölçekte uygulamalarını kısıtlayan saha ölçümlerine dayanmaktadır (K. Liu ve diğerleri, 2020).

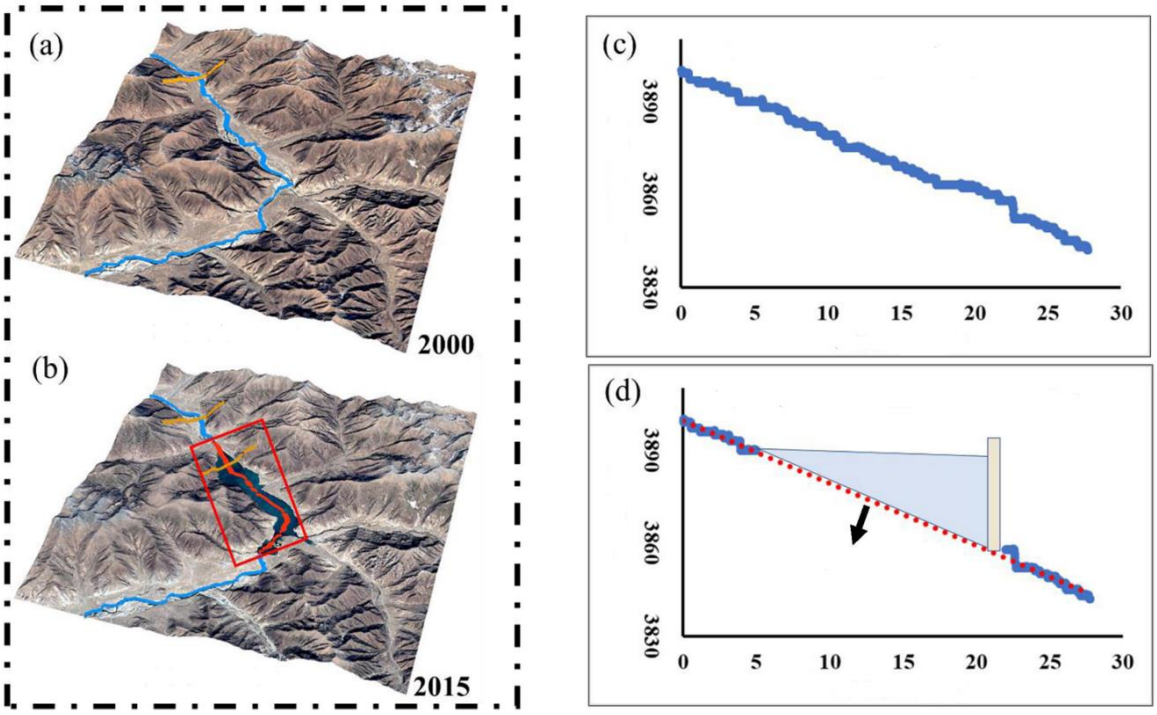
Türkiye'de, genel olarak DSİ'nin inşa ettiği büyük boyutlu gölet ve barajlar dışında birçok küçük ve orta ölçekli göletin derinlik ölçümleri mevcut değildir. Bu çalışmada, olası yıkılması durumu incelenen gölet rezervuarlarına ilişkin, saha çalışmasına dayanan, derinlik haritası ve depolama kapasitesi bilgileri ilgili kurumlardan temin edilememiştir. Gölet rezervuarlarının derinliğinin belirlenebilmesi için, HGM'den temin edilen SYM5 verisi incelenmiştir. Bu yükseklik verisi hava fotoğrafları kullanılarak üretildiği için, su altı derinliği geometrisini içermemektedir. Batimetrik saha ölçüm çalışmaları için yüksek altyapı ve maddi gereksinim gerektiği için UA ve CBS kullanılarak, batimetrinin tahmin edilmesi yoluna gidilmiştir.

Bu çalışmada, K. Liu ve diğerlerinin (2020) geliştirdiği açık erişimli sayısal yükseklik modeli ve uydu görüntülerinin gerekli olduğu, rezervuarların derinliğini ve su depolamasını belirlemek için yeni bir yaklaşım olan ADBAR (Approach for Determining the BAthymetry and water storage of channel-type Reservoirs) yöntemi kullanılmıştır. Bu yaklaşımda kullanılan SYM, yeryüzünün yükseklik haritasının çıkarılması amacıyla, NASA tarafından 2000 yılında, yürütülen uluslararası bir proje olan Mekik Radar Topografya Görevi (Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)) sonucu üretilmiştir. Bu projede üretilen sayısal yükseklik modeli, 60° kuzey ve güney enlemleri arasındaki arazi için raster veri olarak üretilmiş ve açık erişime sunulmuştur (Farr ve diğerleri, 2007).

K. Liu ve diğerlerinin (2020) önerdikleri ADBAR yönteminde, sualtı batimetrisini tahmin etmek için yanal vadileri ve memba/mansap bölgeleri ile rezervuar taşkın alanının jeomorfolojik benzerliğini ve topoğrafik sürekliliğini kullanmışlardır. Yöntemi doğrulamak için, farklı topoğrafik ve geometrik özelliklere sahip kırk sekiz rezervuarda test etmişlerdir. Seçilen rezervuarların tümünü SRTM projesi üretim tarihi olan 2000 yılından sonra

tutmuşlardır. Böylece, modellenen rezervuar batimetrisini, SRTM yükseklik modelinde açıkta kalan topografyayı ve uydu görüntülerinden haritalanmış su kapsamlarını kullanarak, hesapladıkları referans rezervuar depolaması ile doğrulamışlardır. Tahmini ve referans depolama kapasiteleri arasındaki farkı ortalama %13 civarında bulmuşlardır. Önerilen yöntemi bir Python komut dosyası kullanarak otomatikleştirmişler ve açık erişime sunmuşlardır. Bu python komut dosyası, ArcGIS programının python programlama dilinde kullanılmasını sağlayan "arcpy" kütüphanesi ve "gdal" kütüphanesine ve temel python kütüphanelerine gereksinim duymaktadır. Komut dosyası kademeli olarak çalıştırılan, dört ayrı komut dosyasından oluşmaktadır.

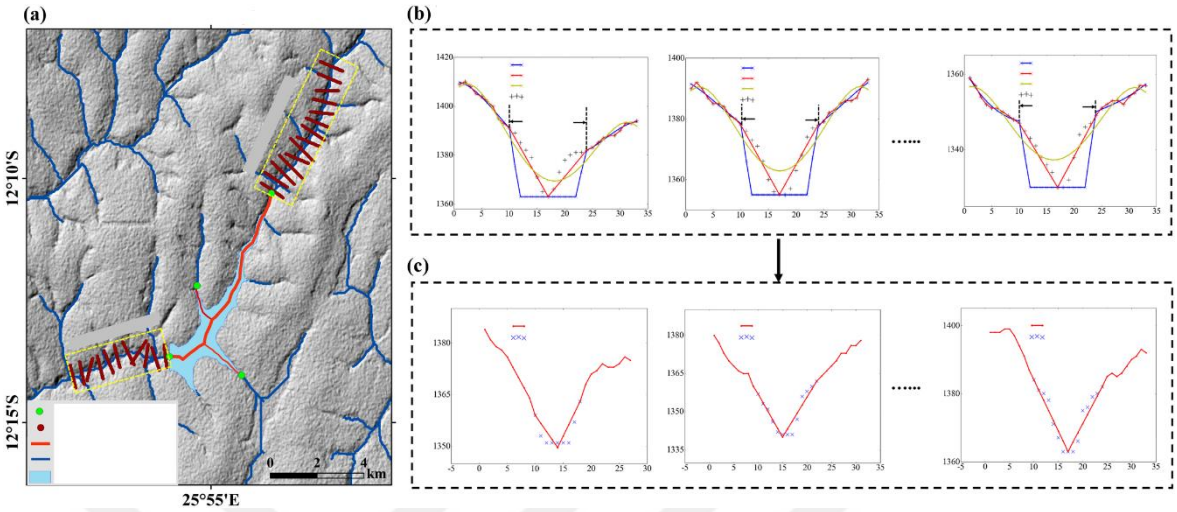
Bu yöntemin aşamaları şu şekilde özetlenebilir: İlk olarak, ArcGIS ile yapılan hidrolojik havza analizi ile suyolları belirlenir. İkinci olarak, belirlenen suyolları kullanılarak barajın bulunduğu vadi içinden geçen akarsu memba merkez çizgisi ve mansap merkez çizgisi kullanılarak rezervuar merkez hattı geometrisi tahmin edilir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Rezervuar boyuna kesitinin tahmin edilmesi (K. Liu ve diğerleri, 2020)

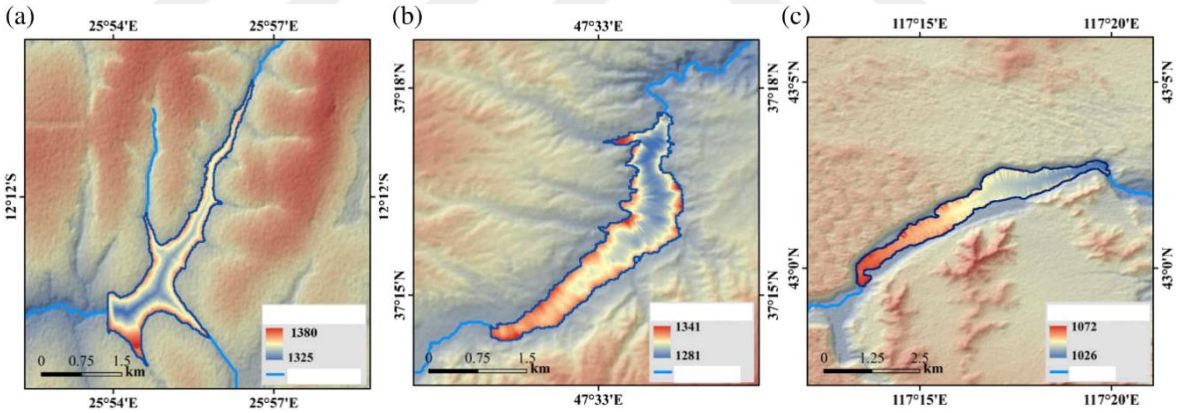
İkinci aşamada, baraj memba ve mansap bölgesinden alınan enkesitler yardımıyla rezervuar geometrisi standart olarak belirlenen "U, V, düz" kanal enkesit geometrilerinden biri olacak şekilde tahmin edilir (Şekil 4.2). Kanal enkesit geometrisi belirlenirken, memba

ve mansap bölgesinden alınan kesit ile bu üç geometriye göre tahmin edilen enkesitlerin mutlak ortalama hatası kullanılmaktadır.



Şekil 4.2. Rezevuar enkesit geometrisinin tahmin edilmesi (K. Liu ve diğerleri, 2020)

Son olarak, tahmin edilen boykesit ve enkesit noktaları kullanılarak derinlik (batimetri) haritası oluşturulmaktadır (Şekil 4.3).

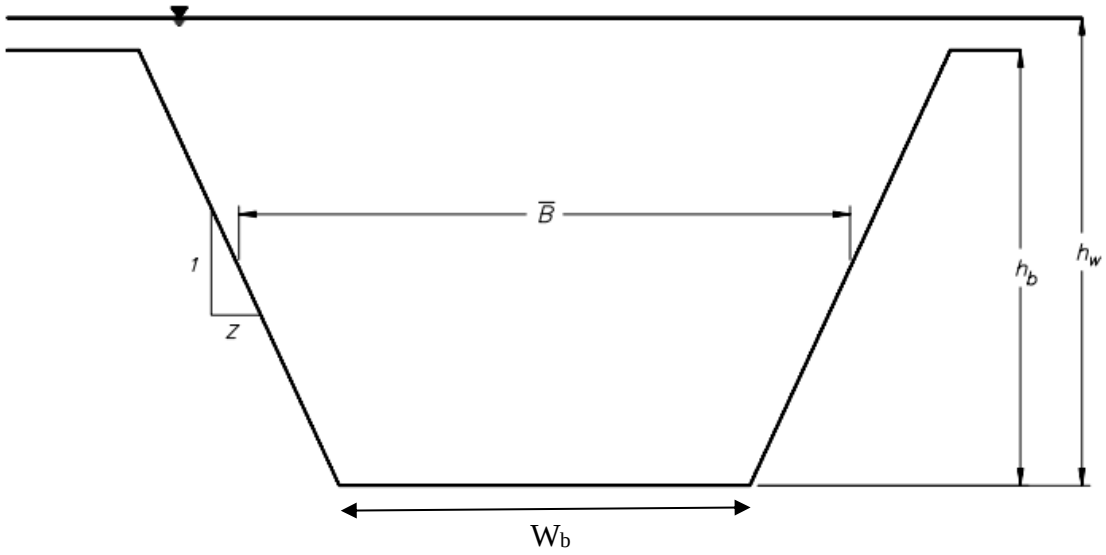


Şekil 4.3. Tahmin edilen noktalar kullanılarak derinlik haritalarının oluşturulması (K. Liu ve diğerleri, 2020)

4.2. Baraj Yıkılması Gedik Parametrelerinin Belirlenmesi

Toprak ve kaya dolgu barajlarda, baraj yıkılmasının borulanma veya üstten aşma sonucu, baraj gövdesinde trapez enkesitli bir gedik oluşması sonuca meydana geldiği varsayılmaktadır. Gedik geometrisi; ortalama gedik genişliği ($\overline{B}$), gedik şev eğimi (z), baraj yüksekliği (h_b) ve yıkılma anındaki baraj su yüksekliği (h_s) ile birlikte oluşuma süresi ile ifade edilmektedir (Şekil 4.4).

Gedik oluşumu farklı parametrelere bağlı olarak gelişmektedir. Bu parametreler arasında baraj yüksekliği, baraj yapımında kullanılan malzemenin cinsi, malzemenin D_{50} boyutu, birim ağırlığı, sürtünme açısı, kohezyonu, malzemenin sıkıştırılma miktarı vardır (Bozkuş, 2004). Ancak her zaman baraj gövdesini oluşturan dolgu malzemesinin zemin özelliklerine ilişkin yeterli bilgi elde edilememektedir. Bu nedenle birçok araştırmacı geçmişte yıkılan barajların yıkılma anındaki rezervuar hacmini, su/gövde yüksekliği parametrelerini kullanarak gedik taban genişliği, gedik şev eğimi ve gedik oluşma süresini tahmin eden regresyon eşitlikleri geliştirmişlerdir (Tablo 4.1).



Şekil 4.4. Trapez gedikli idealleştirilmiş baraj yıkılması geometrisi (Wahl, 1998)

Wahl, (1998)'de yaptığı bir araştırmada, 1995 yılına kadar farklı araştırmacıların türettiği, baraj yıkılması regresyon eşitliklerini derlemiştir. Bu tarihten sonra da araştırmacılar, örnek vaka sayısının artırarak yeni denklemeler üretmeye devam etmişlerdir (Froehlich, 2008; Xu ve Zhang, 2009).

Tablo 4.1. Baraj yıkılması gedik parametreleri veya pik debi hesabı için önerilen denklemler (Wahl, 1998)

Sonuç Tipi	Referans	İncelenen Vaka sayısı	Önerilen İlişkiler
Gedik Genişliği	(Macdonald ve Langridge-Monopolis, 1984)	*42*	$V_{er}=0.0261*(V_w*h_w)^{0.769}$ Toprak Dolgu
			$V_{er}=0.00348*(V_w*h_w)^{0.852}$ Kil Çekirdek veya kaya dolgu
	(USBR, 1988)	-	$\overline{B}=3(h_w)$
	(Von Thun ve Gillette, 1990)	*57*	$\overline{B}=2.5h_w+C_b$ (Rezervuar kapasitesine bağlı katsayı)
	(Froehlich, 1995b)	63	$\overline{B}=0.1803*Ko*V_w^{0.32}*h_b^{0.19}$ Ko=(1.4 üstten aşma; 1.0 borulanma)
Yıkılma Süresi	(USBR, 1988)		t_f = (0.011)*B
	(Macdonald ve Langridge-Monopolis, 1984)	*42*	$t_f=0.0179\ (V_{er})^{0.364}$
	(Von Thun ve Gillette, 1990)	*57*	$t_f=0.15*(h_w)$ kolayca aşınabilir
			$t_f=0.02*(h_w)+0.25$ erozyona dirençli
	(Von Thun ve Gillette, 1990)		$t_f=\overline{B}/(4*h_w+61)$ kolayca aşınabilir
			$t_f=\overline{B}/(4*h_w)$ erozyona dirençli
	(Froehlich, 1995b)	63	$t_f=0.00254*V_w^{0.53}*h_b^{(-0.90)}$
Pik Debi	(Kirkpatrick, 1977)	*16 (artı 5 varsayım)*	$Q_p=1.268(h_w+0.3)^{1.24}$
	(SCS, 1981)	*13*	$Q_p=16.6(h_w)^{1.85}$
	(Hagen, 1982)	*6*	$Q_p=0.54(S*h_d)^{0.5}$
	(USBR, 1982)	*21*	$Q_p=19.1(h_w)^{1.85}$
	(K. P. Singh ve Snorrason, 1984)	*20 gerçek yıkılma ve 8 benzetilmiş yıkım*	$Q_p=13.4(h_d)^{1.89}$
			$Q_p=1.776(S)^{0.47}$
	(Macdonald ve Langridge-Monopolis, 1984)	*42*	$Q_p=1.154(V_w*h_w)^{0.412}$
			$Q_p=3.85(V_w*h_w)^{0.411}$
	(Costa, 1985)	*31 tamamlanmış baraj*	$Q_p=1.122(S)^{0.57}$
			$Q_p=0.981(S*h_d)^{0.42}$
			$Q_p=2.634(S*h_d)^{0.44}$
	(Evans, 1986)	-	$Q_p=0.72(V_w)^{0.53}$
	(Froehlich, 1995a)	*22*	$Q_p=0.607*V_w^{0.295}*h_w^{1.24}$

Bu tez çalışmasında, olası yıkılması modellenen 3 ayrı göletin, üstten aşma (overtopping) ve borulanma (piping) senaryoları için gedik parametreleri 5 farklı yöntem ile tahmin edilmiştir (Froehlich, 1995b, 2008; Macdonald ve Langridge-Monopolis, 1984; Von Thun ve Gillette, 1990; Xu ve Zhang, 2009). Bu yöntemler detaylı olarak bu bölümde açıklanmıştır.

4.2.1. Macdonald ve Langridge-Monopolis Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi

Macdonald ve Langridge-Monopolis (1984), gedik çıkan toplam su hacmini (V_w) ve yıkılma anında gedik tabanının üzerindeki su derinliğinin (h_w) fonksiyonu olan bir gedik oluşum faktörü önermiştir (V_w*h_w). Hem toprak dolgu hem de toprak dolgu olmayan barajlar (örneğin, kaya dolgu veya erozyona dayanıklı çekirdekli toprak dolgu) için aşınan dolgu malzemesinin (V_{er}) hacmini bu faktörle ilişkilendirmişlerdir. Ayrıca, makalelerinde belirtilen 42 vaka çalışmasının analizinden, çoğu durumda gedik yan eğimlerinin 0.5:1 (yatay:dikey) olarak varsayılabileceği sonucuna varmışlardır. Ayrıca gedik şeklinin, gediğin barajın tabanına ulaşıp ulaşmadığına bağlı olarak üçgen veya yamuk şeklinde olduğu sonucuna varmışlardır. Toprak dolgu barajlar için baraj gövdesinden erozyona uğrayan dolgu malzemesinin (V_{eroded}) hacmini (m^3) Denklem 4.1 ve gedik oluşum süresini (t_f) Denklem 4.2 ile ifade etmişlerdir. Kil çekirdekli toprak dolgu barajlar ve kaya dolgu barajlar için ise baraj gövdesinden erozyona uğrayan dolgu malzemesi hacmini (m^3) Denklem 4.3 ile hesaplamışlardır. Toprak dolgu olmayan barajlarda gedik oluşumunun aşamalı erozyondan ziyade yapısal dengesizliklerden kaynaklanmış olabileceği için göçme zamanını tahmin edememişlerdir (Brunner, 2014).

MacDonald ve Langridge-Monopolis'in regresyon analizleri için kullandıkları veriler aşağıdaki aralıklara sahiptir (Brunner, 2014):

Barajların yüksekliği: 4,27 – 92,96 m (%76 < 30 m ve % 57 < 15 m)

Yıkılma anındaki su hacmi: 0,0037–660,0 m^3 x10^6 (%79<25,0 m^3 x 10^6 ve %69<15.0 m^3 x 10^6)

Toprak dolgu barajlar için:

$$V_{er}=0.0261*(V_w*h_w)^{0.769} \quad (4.1)$$

$$t_f=0.0179\ (V_{er})^{0.364} \quad (4.2)$$

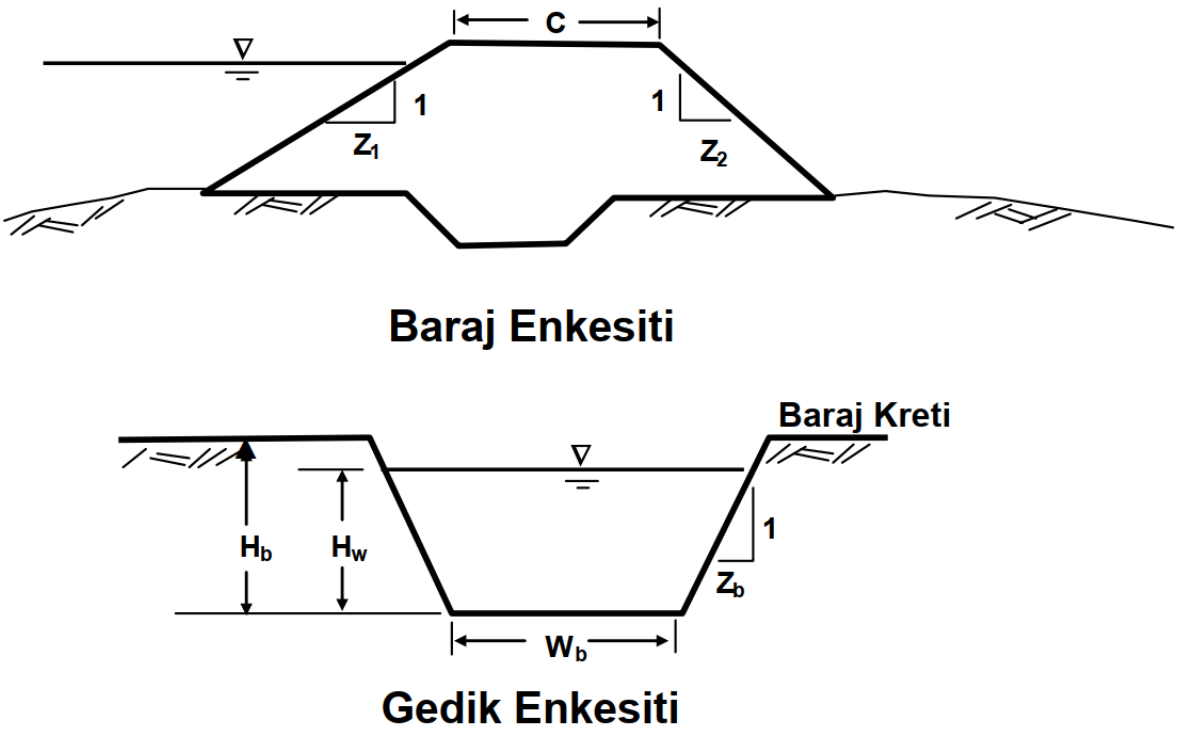
Kil çekirdekli toprak dolgu barajlar ve kaya dolgu barajlar için:

$$V_{er}=0.00348*(V_w*h_w)^{0.852} \quad (4.3)$$

Gedik taban genişliği, gediğin barajın dibine dikey olarak oluştuğu ve maksimum malzeme aşındırılana veya barajın tabanına ulaşılana kadar yatay olarak aşındığı varsayılarak hesaplanabilmektedir (Barker, Schaefer ve Dam Safety Office, 2007). Gedik taban genişliği, baraj geometrisinden Denklem 4.4 ile hesaplanabilir. Bu yöntemde kullanılan geometrik terimler şekil 4.5'te görülmektedir.

$$W_b = \frac{V_{eroded} - h_b^2\,(CZ_b + h_b Z_b Z_3/3)}{h_b(h_b Z_3/2)} \tag{4.4}$$

W_b : Gedik taban genişliği (m)
h_b : Barajın tepesinden gedik tabanına kadar olan yükseklik (m)
C : Barajın tepesinin kret genişliği (m)
Z_3 : $Z_1 + Z_2$
Z_1 : Barajın memba yüzünün ortalama eğimi (Z_1:1)
Z_2 : Barajın mansap yüzünün ortalama eğimi (Z_2:1)
Z_b : Gediğin yan eğimleri (Z_b:1), MacDonald yöntemi için 0.5



Şekil 4.5. Baraj ve gedik geometrisi (Barker ve diğerleri, 2007)

4.2.2. Von Thun ve Gillette Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi

Von Thun ve Gillette (1990), Froehlich (1987) ve Macdonald ve Langridge-Monopolis'ten (1984) gelen toplam 57 adet yıkılma verisini, gedik yan eğimlerini, ortalama

gedik genişliğini ($\overline{B}$) ve gediklenme zamanını (t_f) tahmin etmek için bir yöntem geliştirmek için kullanmıştır. Yöntem, gedik yan eğimlerinin 0.5Y:1.0D ila 0.33Y:1D arasında olması gereken kohezyonlu zeminlere sahip barajlar haricinde 1.0Y:1.0D gedik kenarı eğimlerinin kullanılmasını önermektedir. Von Thun ve Gillette'in regresyon analizi için kullandıkları veriler aşağıdaki aralıklara sahiptir (Brunner, 2014):

Barajların yüksekliği: 3,66 – 92,96 m (%89 < 30 m ve %75 < 15 m)

Yıkılma anındaki su hacmi: 0.027 – 660.0 m^3 x 10^6 (%89 < 25,0 m^3 x 10^6 ve %84 < 15,0 m^3 x 10^6)

Von Thun ve Gillette (1990), ortalama gedik genişliği için Denklem 4.5'i önermişlerdir. Erozyona dirençsiz ve dirençli baraj gövde zeminlerinde, gedik oluşma zamanı (t_f) için sadece h_w parametresine bağlı olarak, sırasıyla Denklem 4.6 ve Denklem 4.7'yi önermişlerdir. Ayrıca dirençsiz ve dirençli baraj gövde zeminlerinde, gedik oluşma zamanı (t_f) için h_w ve $\overline{B}$ parametresini bağlı olarak, sırasıyla Denklem 4.8 ve Denklem 4.9'yi önermişlerdir (Brunner, 2014).

$$\overline{B}=2.5h_w+C_b \quad (4.5)$$

$\overline{B}$: Ortalama gedik genişliği (m)
h_w : Yıkılma anındaki su yüksekliği (m)
C_b : Rezervuar kapasitesine bağlı katsayı (Tablo 4.2)

$t_f = 0.15h_w$ (Erozyona dirençsiz) (4.6)

$t_f = 0.02*(h_w)+0.25$ (Erozyona dirençli) (4.7)

$t_f = \overline{B}/(4h_w+61)$ (Erozyona dirençsiz) (4.8)

$t_f = \overline{B}/(4*h_w)$ (Erozyona dirençli) (4.9)

Tablo 4.2. C_b (Rezervuar kapasitesine bağlı katsayı)

Rezervuar hacmi, m^3	C_b katsayısı, metre
< $1.23*10^6$	6.1
$1.23*10^6$ - $6.17*10^6$	18.3
$6.17*10^6$ - $1.23*10^7$	42.7
> $1.23*10^7$	54.9

4.2.3. Froehlich Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi (1995b)

Froehlich (1995b), ortalama gedik genişliğini ($\bar{B}$), gedik şev eğimlerini ve gediklenme süresini (t_f) tahmin etmek için 63 toprak, zonlu toprak, kil çekirdekli toprak ve kaya dolgu baraj yıkılması veri setlerini kullanarak, yeni tahmin denklemleri geliştirmiştir. Ortalama gedik genişliği için Denklem 4.10'u, gedik oluşma süresini tahmin etmek için Denklem 4.11'i önermiştir. Froehlich'in regresyon analizi için kullandığı veriler aşağıdaki aralıklara sahiptir (Brunner, 2014):

Barajların yüksekliği: 3.66 – 92.96 m (%90 < 30 m ve %76 < 15 m)

Yıkılma anındaki su hacmi: 0.0130 – 660 m^3 x 10^6 (%87 < 25 m^3 x 10^6 ve %76 < 15 m^3 x 10^6)

$$\bar{B}=0.1803*Ko*V_w^{0.32}*h_b^{0.19} \quad (4.10)$$

$$t_f=0.00254*V_w^{0.53}*h_b^{(-0.90)} \quad (4.11)$$

$\bar{B}$	:	Ortalama gedik genişliği (m)
Ko	:	Sabit (Üstten aşma için 1.4, borulanma için 1.0)
V_w	:	Yıkılma anındaki rezervuar hacmi (m^3)
h_b	:	Son gedik yüksekliği (m)
t_f	:	Gedik oluşma süresi (saat)

Froehlich, ortalama gedik yan eğimlerin şöyle olması gerektiğini belirtmiştir.

1.4Y:1.0D (üstten aşma)
0.9Y:1.0D (borulanma/sızıntı)

4.2.4. Froehlich Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi (2008)

Froehlich (2008), yeni verilerin eklenmesine dayalı olarak gediklenme denklemlerini güncellemiştir. Ortalama gedik genişliğini ($\bar{B}$), yan eğimleri ve yıkılma süresini (t_f) tahmin edebilen denklem setleri geliştirmek için 74 toprak, zonlu toprak, çekirdek duvarlı toprak (yani kil) ve kaya dolgu veri setlerini kullanmıştır. Froehlich'in regresyon analizi için kullandığı veriler aşağıdaki aralıklara sahiptir (Brunner, 2014):

Barajların yüksekliği: 3.05 – 92.96 m (%93 < 30 m ve %81 < 15 m)

Yıkılma anındaki su hacmi: 0.0139 – 660 m^3 x 10^6 (%86 < 25 m^3 x 10^6 ve %82 < 15 m^3 x 10^6)

$$\bar{B}=0.27*Ko*V_w^{0.32}*h_b^{0.04} \quad (4.12)$$

$$t_f=63.2\sqrt{\frac{V_w}{gh_b^2}} \quad (4.13)$$

$\bar{B}$	:	Ortalama gedik genişliği (m)
Ko	:	Sabit (Üstten aşma için 1.3, borulanma için 1.0)
V_w	:	Yıkılma anındaki rezervuar hacmi (m^3)
h_b	:	Son gedik yüksekliği (m)
t_f	:	Gedik oluşma süresi (saniye)
g	:	Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

Froehlich (2008), ortalama gedik şev eğimleri için aşağıdaki ilişkiyi önermiştir:

1.0Y:1.0D (üstten aşma)
0.7Y:1.0D (borulanma/sızıntı)

4.2.5. Xu ve Zhang Yıkılma Parametreleri Tahmin Yöntemi

Xu ve Zhang (2009) tarafından toplanan veri tabanı, ABD ve Çin'den 182 toprak ve kaya dolgu barajını içeriyordu ve barajların yaklaşık %50'sinin yüksekliği 15 metreden fazlaydı. Ancak, nihai denklemleri, eksik veriler nedeniyle bu barajların çok daha küçük bir alt kümesine dayanmaktadır. Makaleleri, homojen toprak dolgulu, zonlu dolgulu, çekirdek duvarlı barajlar ve beton yüzlü barajlardan oluşan 75 barajın ayrıntılarını göstermektedir. Ortalama gedik genişliği için son denklemleri 45 baraj yıkılmasına, yıkılma zamanına ilişkin denklemleri ise sadece 28 baraj yıkılmasına dayanmaktadır. Xu ve Zhang'ın (2009), regresyon analizi için kullandıkları veriler aşağıdaki aralıklara sahiptir (Brunner, 2014):

Barajların yüksekliği: 3.2 – 92,96 m (%78 < 30 m ve %58 < 15 m)

Yıkılma anındaki su hacmi: 0.105 – 660 m^3 x 10^6 (%80 < 25 m^3 x 10^6 ve %67 < 15 m^3 x 10^6)

$$\frac{\bar{B}}{h_b}=0.787\left(\frac{h_d}{h_r}\right)^{0.133}\left(\frac{V_W^{1/3}}{h_w}\right)^{0.652}e^{B_3} \quad (4.14)$$

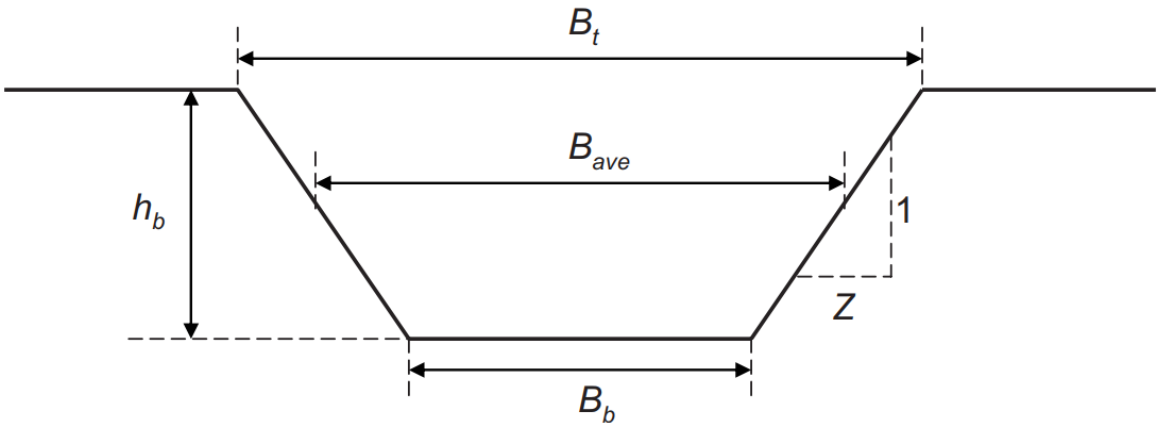
$\bar{B}$: Ortalama gedik genişliği (m)
V_w : Yıkılma anındaki rezervuar hacmi (m^3)
h_b : Son gedik yüksekliği (m)
h_d : Baraj yüksekliği (m)
h_r : Büyük barajları küçük barajlardan ayırt etmek için referans yükseklik olarak kabul edilen 15 metre
h_w : Yıkılma sırasındaki gedik alt kotunun üzerindeki suyun yüksekliği (m)
B_3 : $b_3+b_4+b_5$ Baraj özelliklerinin bir fonksiyonu olan katsayı
b_3 : Kil çekirdekli barajlar, beton yüzlü barajlar ve homojen/zonlu dolgu barajlar için sırasıyla -0.041, 0.026 ve -0.226
b_4 : Üstten aşma ve sızıntı/borulanma için sırasıyla 0.149 ve -0.389
b_5 : Yüksek, orta ve düşük aşınabilirlik için sırasıyla 0.291, -0.14 ve -0.391

Xu ve Zhang, doğrudan yan eğimler için bir tahmin sağlamamıştır. Bunun yerine, yan eğimleri hesaplamak için, gediğin üst genişliğini tahmin etmek için Denklem 4.15'i önermiştir (Brunner, 2014).

$$\frac{B_T}{h_b} = 1.062\left(\frac{h_d}{h_r}\right)^{0.092}\left(\frac{V_W^{1/3}}{h_w}\right)^{0.508} e^{B_2} \quad (4.15)$$

B_T : Gedik üst genişliği (m)
B_2 : $b_3+b_4+b_5$ Baraj özelliklerinin bir fonksiyonu olan katsayı
b_3 : Kil çekirdekli barajlar, beton yüzlü barajlar ve homojen/zonlu dolgu barajlar için sırasıyla 0.061, 0.088 ve -0.089
b_4 : Üstten aşma ve sızıntı/borulanma için sırasıyla 0.299 ve -0.239
b_5 : Yüksek, orta ve düşük aşınabilirlik için sırasıyla 0.411, -0.062 ve -0.289

Şekil 4.6'da görüldüğü üzere gedik taban genişliği (B_b) ve gedik üst genişliği (B_t), kullanılarak, denklem 4.16 yardımıyla gedik şev eğimi (z) hesaplanabilmektedir.



Şekil 4.6. İdealleştirilmiş bir baraj gediğinin geometrik parametreleri (Xu ve Zhang, 2009)

$$Z = \frac{B_T - B_b}{h_b} \tag{4.16}$$

Yukarıda açıklanan diğer dört farklı yöntemde kullanılan gedik gelişim süresi denkleminden, Denklem 4.17 daha büyük gedik oluşum süreleri üretmektedir (Brunner, 2014).

$$\frac{T_f}{T_r} = 0.304 \left(\frac{h_d}{h_r}\right)^{0.707} \left(\frac{V_W^{1/3}}{h_w}\right)^{1.228} e^{B_5} \tag{4.17}$$

T_f : Gedik oluşma süresi (saat)
T_r : 1 saat (birim zaman)
B_5 : b_3+b_4+b_5 Baraj özelliklerinin bir fonksiyonu olan katsayı
b_3 : Kil çekirdekli barajlar, beton yüzlü barajlar ve homojen/zonlu dolgu barajlar için sırasıyla -0.327, -0.674 ve -0.189
b_4 : Üstten aşma ve sızıntı/borulanma için sırasıyla -0.579 ve -0.611
b_5 : Yüksek, orta ve düşük aşınabilirlik için sırasıyla -1.205, -0.564 ve 0.579

4.3. Yağış-Akış İlişkisi

Akarsu havzasına ait akım verilerinin yeterli olması durumunda, taşkın debilerinin hesabında istatistik yöntemler olumlu sonuçlar vermektedir. Ancak, yağış alanlarının birçoğunda birim hidrografın çıkarılabilecek düzeyde yağış–akış verileri mevcut değildir. Yağış – akış verilerinin yetersiz olması veya verilerin olmaması durumu için birçok sentetik birim hidrograf yöntemi geliştirilmiştir (Sönmez, Öztürk ve Doğan, 2012).

4.3.1. Yağış Verilerinin İstatiksel Analizi

Akış verisinin yeterli olmadığı durumlarda, yağış verisi için istatiksel analiz uygulanmaktadır. İstatiksel yağış analizi ile yıllık olarak standart zamanlardaki maksimum yağış değerleri belirli tekerrür periyotları için tespit edilir. Bu çalışmada 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 ve 1000 yıllık tekerrür periyotlarında 24 saatlik zaman diliminde, oluşması muhtemel yağış miktarını tahmin etmek için kullanılan 5 farklı olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıda verilmiştir.

- Normal Dağılım (N)
- Log-Normal 2 Dağılımı (LN2)
- Pearson Tip 3 Dağılımı (P3)
- Log-Pearson Tip 3 Dağılımı (LP3)
- Gumbel Dağılımı (G)

Yağışların çeşitli büyüklükleri ve bunların frekansları arasındaki ilişkiyi veren yağış frekans değerleri, diziye en iyi uyan olasılık dağılım fonksiyonlarının Kolmogrov-Simirnov uygunluk sınamalarından geçirilerek belirlenmesiyle gerçekleşmektedir. Bölüm 5'te detayı verilecek olan Kolmogrov-Simirnov sınaması sonucunda, Gumbel Dağılımı seçildiğinden bu yöntem aşağıda detaylıca anlatılmıştır.

4.3.1.1. Gumbel Dağılımı

Gumbel (1958), tekrarlanan örneklemelerdeki en küçük ve en büyük değerlerin dağılımlarını göz önüne alarak uç (ekstrem) değerler teorisini teklif etmiştir. Gumbel dağılımı, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, maksimum yıllık yağış serileri nispeten kısa olduğundan ve aykırı değerler gözlendiğinden, ekstrem değerler frekans analizi için yaygın olarak kullanılmaktadır (A. Singh, Singh ve AR, 2018).

Gumbel dağılımı, eklenik (kümülatif) dağılım fonksiyonu Denklem 4.18'de, olasılık dağılım fonksiyonu Denklem 4.19'da verilmiştir (Naghettini, 2017).

$$F_Y(\mathrm{y}) = \exp\left[-\exp\left(-\frac{y-\beta}{a}\right)\right], -\infty < y < \infty, -\infty < \beta < \infty, \alpha > 0 \quad (4.18)$$

$$f_Y(\mathrm{y}) = \frac{1}{\alpha}\exp\left[-\frac{y-\beta}{a} - \exp\left(-\frac{y-\beta}{a}\right)\right], -\infty < y < \infty, -\infty < \beta < \infty, \alpha > 0 \quad (4.19)$$

α: Ölçek parametresi (scale parameter), β: Yer parametresi (location parameter)

Küçük örneklemeler için (n<30), α ve β sırasıyla Denklem 4.20 ve Denklem 4.21 yardımıyla bulunurlar:

$$a = \frac{\sigma_y}{\sigma_n} \quad (4.20)$$

$$\beta = \mu_y - \gamma_n \frac{\sigma_y}{\sigma_n} \quad (4.21)$$

Burada μ_y, gözlenmiş x yağış değerlerin ortalaması, σ_y ise standart sapmasıdır. σ_n ve γ_n gözlenen değer sayısı n ile değişken iki sabit değerdir. Bu değerler sırasıyla Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te rasat süresi n'nin bir fonksiyonu olarak verilmiştir.

Tablo 4.3. Gumbel dağılımında rasat süresine göre γ_n değerleri

n	**γ_n değeri**									
(yıl)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,5320	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5402	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5401	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5572	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

Tablo 4.4. Gumbel dağılımında rasat süresine göre σ_n değerleri

n	**σ_n değeri**									
(yıl)	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
10	0,9496	0,9476	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,03160	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1086
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1657	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1959	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

Rasat (ölçüm), uzun olduğunda ($n \geq 30$), γ_n ve σ_n değerleri sabitleşir ve α ve β sırasıyla Denklem 4.22 ve Denklem 4.23 yardımıyla bulunurlar (Naghettini, 2017).

$$\sigma_y^2 = \frac{\pi^2 \alpha^2}{6} \rightarrow \alpha \cong \frac{\sigma_y}{1.2825} \tag{4.22}$$

$$\beta = \mu_y - 0.5772\alpha \tag{4.23}$$

4.3.2. Sentetik Yağış-Akış İlişkisi Yöntemleri

Yağış verisi kullanarak, sentetik olarak taşkın debisi hesaplanmasında kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

- DSİ sentetik yöntemi,
- SCS-CN yöntemi,
- Mockus yöntemi,
- Snyder yöntemi,
- Rasyonel yöntem.

Bu tez çalışmasında, gölet giriş hidrografları hesaplarında SCS-CN (SCS-eğri numarası) yöntemi kullanıldığından bu yöntemin detayları aşağıda verilmiştir.

4.3.2.1. SCS-CN Yöntemi

4.3.2.1.1. SCS Yağış Kayıp Modeli

ABD Toprak Koruma Servisi Eğri Numarası (US Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN)) yöntemi, yağış verilerinden akışın belirlenmesinde sıkça kullanılan bir yöntemdir. Akışı elde etmek için gerekli veriler; yağış, hidrolojik toprak sınıfları ve arazi kullanımı/örtüsüdür. Bu yönteme göre, düşen yağış ile oluşan yüzey akış arasında Denklem 4.24'te ifade edildiği gibi bir ilişki vardır (Özcan, 2017). Süzülme-tutulma ve yağış fazlası ilişkileri Şekil 4.7'de görülmektedir (Apaydın, 2007).

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P - I_a} \tag{4.24}$$

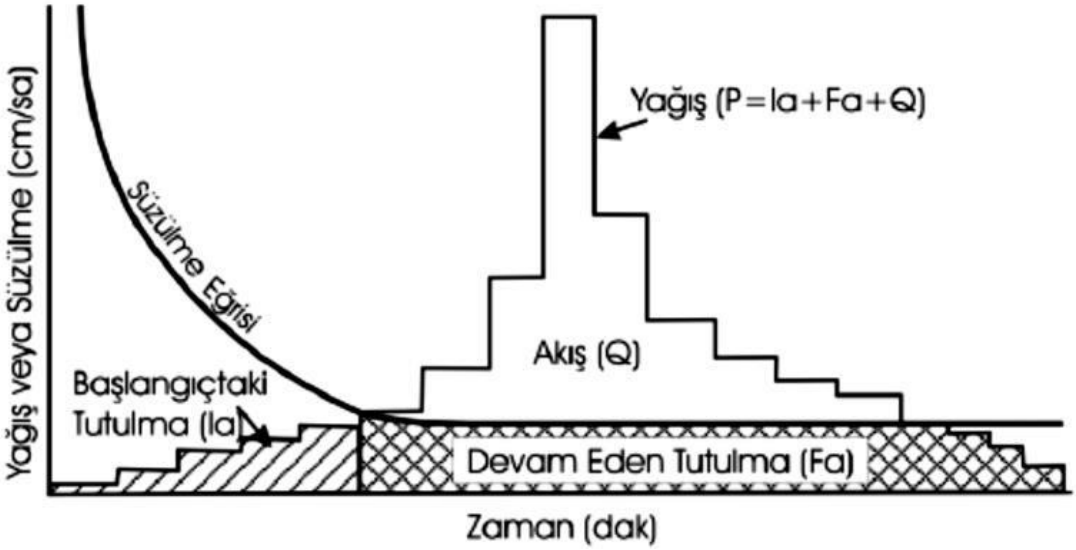
F : Sızma Miktarı (mm)
S : Potansiyel maksimum yağış tutulması (mm)
Q : Yüzey akış miktarı (mm)
P : Toplam yağış miktarı (mm)
I_α : Başlangıçta tutulan yağış miktarı (mm)

Ayrıca süreklilik prensibinden Denklem 4.25 elde edilir.

$$P = Q + I_a + F \tag{4.25}$$

Denklem 4.24 ve Denklem 4.25'in birlikte çözülmesi sonucu, $P > I_\alpha$ koşulu için yüzey akış miktarı için Denklem 4.26 elde edilmiştir.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \tag{4.26}$$



Şekil 4.7. Süzülme-tutulma ve yağış fazlası ilişkileri (Apaydın, 2007)

İlk tutulan su (I_α), akış başlamadan önceki tüm su kayıplarıdır. Yüzey çukurlarında tutulan suyu, bitki örtüsü tarafından tutulan suyu, buharlaşmayı ve sızmayı içerir. I_α oldukça değişkendir ancak genellikle zemin ve arazi örtüsü parametreleri ile ilişkilidir. Birçok küçük tarımsal havzada yapılan deneysel çalışmalar yoluyla, I_α değeri için ampirik olarak elde edilen Denklem 4.27 önerilmiştir (USDA, 1986):

$$I_a = 0.2S \tag{4.27}$$

Denklem 4.27'yi Denklem 4.26'da yerine koyduğumuzda Denklem 4.28 elde edilir.

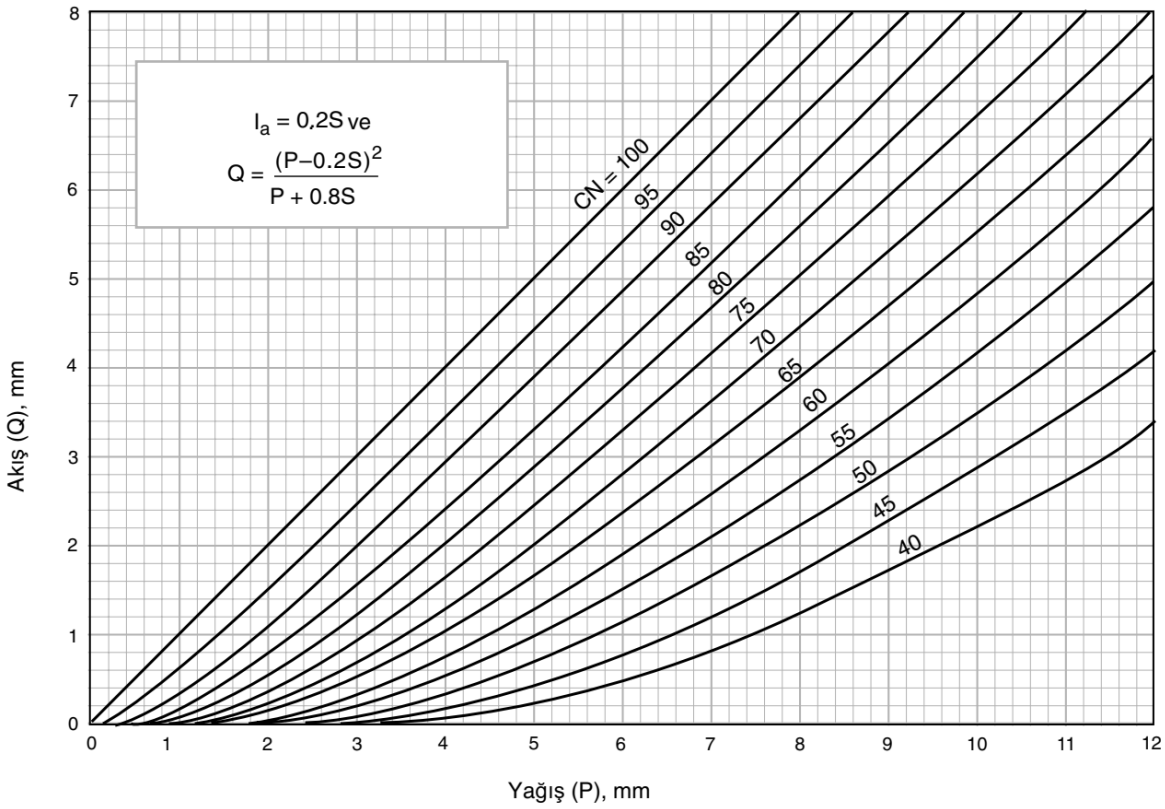
$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P + 0.8S)} \tag{4.28}$$

Toprak su tutma potansiyeli (S), CN üzerinden havzanın toprak ve arazi örtüsü koşulları ile ilgilidir. CN, 0 ila 100 aralığındadır ve S, CN ile Denklem 4.29'da verildiği gibi ilişkilendirilmiştir (USDA, 1986).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \tag{4.29}$$

CN : Yüzey akış eğri numarası (Curve Number)

Denklem 4.27, Denklem 4.28 ve Denklem 4.29 için farklı eğri numaraları(CN) kullanıldığında elde edilen yağış-akış ilişkisi grafiği Şekil 4.8'de görülmektedir.



Şekil 4.8. Eğri numarasına göre değişen yağış-akış ilişkisi (USDA, 1986)

4.3.2.1.2. SCS Eğri Numarasının Belirlenmesi

Bir toprağın ya da toprak grubunun hidrolojik özellikleri, su toplama havzasının hidrolojik analizinde temel faktördür ve topraklar hidrolojik özelliklerine göre dört grupta sınıflandırılmaktadır (Özer, 1990; Öztürk ve Batuk, 2011).

- Grup A (Düşük Akış Potansiyeli-İyi Drenajlı): Tamamen ıslanmaları durumunda bile orta infiltrasyon derecesine sahip, derin ve iyiden aşırıya kadar drene olmuş, başlıca kumlu ve çakıllı topraklardır. Bu topraklar yüksek su geçirme derecesine sahiptir.
- Grup B (Normal Akış Potansiyeli-Orta Drenajlı): Tamamen ıslanmaları durumunda orta infiltrasyon derecesine, orta derinden derine kadar derinliğe sahip, orta iyiden iyiye kadar drene olmuş, orta inceden orta kabaya kadar bünyeye sahip topraklardır. Bu topraklar orta derecede su geçirme derecesine sahiptir.
- Grup C (Yüksek Akış Potansiyeli-Düşük Drenajlı): Tamamen ıslanmaları durumunda yavaş infiltrasyon derecesine, orta inceden inceye kadar bünyeye ve yavaş infiltrasyon derecesine sahip topraklardır. Bu topraklar yavaş su geçirme derecesine sahiptir.
- Grup D (Çok Yüksek Akış Potansiyeli-Çok Düşük Drenajlı): Tamamen ıslanmaları durumunda çok yavaş infiltrasyon derecesine sahip, şişme potansiyeli yüksek killi topraklardır. Devamlı yüksek taban suyu seviyesine sahip topraklar, yüzeye yakın kil peni ya da kil katına sahip topraklar, hemen hemen geçirimsiz materyaller üzerindeki sığ topraklar bu gruba girer. Bu topraklar çok yavaş su geçirme potansiyeline sahiptir.

TOPRAKSU Genel Müdürlüğü tarafından 1966 yılında arazi çalışmalarına başlanan ve 1970 yılında tamamlanan Türkiye Toprak Haritaları Etütlerinde saptanan Büyük Toprak Grupları (BTG) Tablo 4.5'te verilmiştir (Öztürk ve Batuk, 2011).

Tablo 4.5. Büyük toprak grupları ve sembolleri (Öztürk ve Batuk, 2011)

A	Alüvyal Topraklar	N	Kireçsiz Kahverengi Orman Toprakları
C	Kestanerengi Topraklar	O	Organik Topraklar
Ç	Çorak Topraklar	P	Kırmızı-Sarı Podzolik Topraklar
D	Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar	R	Rendzinalar
E	Kırmızı-Kahverengi Akdeniz Toprakları	S	Alüvyal Sahil Bataklıkları
F	Kırmızımsı Kahverengi Topraklar	T	Kırmızı Akdeniz Toprakları
G	Gri-Kahverengi Podzolik Topraklar	U	Kireçsiz Kahverengi Topraklar
H	Hidromorfik Alüvyal Topraklar	V	Vertisoller
K	Kolüvyal Topraklar	X	Bazaltik Topraklar
L	Regosoller	Y	Yüksek Dağ Çayır Toprakları
M	Kahverengi Orman Toprakları	Z	Sierozemler

Büyük Toprak Gruplarının (BTG), Eğim-Derinlik Kombinasyonu (EDK) Tablo 4.6'ya göre yapılmaktadır. Elde edilen kombinasyonlara göre Hidrolojik Toprak Grupları Tablo 4.7 kullanılarak elde edilmektedir (Özer, 1990; Öztürk ve Batuk, 2011).

Tablo 4.6. Büyük Toprak Grubu (BTG) ve Toprak Özellikleri Kombinasyonu (TOK)

BTG-EDK Kombinasyonu							
		Eğim-Derinlik Kombinasyonu (EDK)					
Sembol	Anlamı	Eğim %	Derinlik (cm)				
			Derin 90+	Orta Derin 90-50	Sığ 50-20	Çok Sığ 50-20	Litozolik
P G M N CE D T E B U F R V Z L X Y	Kırmızı Sarı Podzolik Topraklar Gri Kahverengi Podzolik Topraklar Kahverengi Orman Toprakları Kireçsiz Kahverengi Orman toprakları Kestanerengi Topraklar Kırmızımsı Kestanerengi Topraklar Kırmızı Akdeniz Toprakları Kırmızı Kahverengi Akdeniz Toprakları Kahverengi Topraklar Kireçsiz Kahverengi Topraklar Kırmızımsı Kahverengi Topraklar Rendzinalar Vertisoller Sierozemler Regosoller Bazaltik Topraklar Yüksek Dağ Çayır Toprakları	A 0-2	1	2	3	4	25
		B 2-6	5	6	7	8	26
		C 6-12	9	10	11	12	27
		D 12-20	13	14	15	16	28
		E 20-30	17	18	19	20	29
		F 30+	21	22	23	24	30

Tablo 4.7. BTG ve TOK'a göre HTG'ler (Özer, 1990; Öztürk ve Batuk, 2011)

HTG	BTG	Arazi Tipi	Toprak Özelliklerinin Kombinasyonu
A Minimum İnfiltrasyon Derecesi: 7,5-10 mm/sa	L		1-11, 13-15, 17-19, 21, 22
	A		3, 6, 9, 10
	E, T		1-16
	O		m, p, r ya da bunlarla birlikte h, s, a, k, v sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
		KK, SK, IY	
B Minimum İnfiltrasyon Derecesi: 3-7,5 mm/sa	P, G		1, 2, 5, 6, 9, 10
	C, D, M, N		1-10
	E, T		17-24
	B, F, R, Y		1-8
	U		1, 2, 3
	L		12, 16, 20, 24
	X		1-4
	K		4-6, 13-15, 22-24
	A		3, 6, 9, 10 ile h, s, a, k, v sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
C Minimum İnfiltrasyon Derecesi: 0,8-3 mm/sa	P, G		3, 4, 7, 8, 11-22
	C, D, M, N		11-18
	B, F		9-23
	U		4-21
	R		9-21
	L, E, T		25
	Y		9-25
	X		5-20
	K		1-3, 10-12, 19-32
	Ç		3, 6, 9
	A		2, 5, 8 ile h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası ile
D Minimum İnfiltrasyon Derecesi: 0-0,8 mm/sa	P, G		23, 24, 25
	C, D, M, N		19-25
	B, F		24, 25
	R, U		22-25
	V		1-25
	Z		1-4
	A		1, 4, 7 ya da h, s, a, k, v, y sembollerinden biri ya da daha fazlası ile
	H		H veya h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası ile
	S		S veya h, s, a, k, v sembollerinden biri veya daha fazlası ile
	X		21-25
	Ç		1, 2, 4, 5, 7, 8
		SB, ÇK	

Hidrolojik toprak grupları belirlendikten sonra, arazi kullanımı/örtüsü ile olan birleşimi kullanılarak yağış alanı eğri numarası Tablo 4.8 kullanılarak belirlenmektedir (Halley, White ve Watkins, 2000; Öztürk ve Batuk, 2011; USDA, 1986).

Tablo 4.8. Hidrolojik toprak gruplarına göre eğri numarası (Halley ve diğerleri, 2000; Öztürk ve Batuk, 2011; USDA, 1986)

Arazi Kullanımı/Örtüsü	Ortalama Geçirimsiz Alan (%)	Hidrolojik Toprak Gruplarına Göre Eğri Numarası			
		A	B	C	D
Yerleşim (Yüksek yoğunluklu)	65	77	85	90	92
Yerleşim (Orta yoğunluklu)	30	57	72	81	86
Yerleşim (Düşük yoğunluklu)	15	48	66	78	83
Ticari alanlar	85	89	92	94	95
Endüstriyel alanlar	72	81	88	91	93
Çakıl, taş ocağı vb.	5	76	85	89	91
Tarım alanları	5	67	77	83	87
Açık alanlar (park, çim saha vb.)	5	39	61	74	80
Çayır, otlak	5	30	58	71	78
Sık orman, koru	5	30	55	70	77
Seyrek orman, koru	5	43	65	76	82
Su / Sulak alanlar	100	100	100	100	100

Süzülme ve yüzeysel akış potansiyelinin belirlenmesinde yukarıda açıklanan özelliklere ek olarak, zeminin yağış başladığındaki nem içeriği de belirleyici rol oynamaktadır. Kuru, normal ve nemli koşullardan hangisinin geçerli olduğuna, yağışın başlamasından önceki son beş günlük toplam yağış miktarı dikkate alınarak karar verilmektedir. Dolayısıyla, yöntemin uygulanması için günlük yağış değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Son 5 günlük toplam yağış (P) mm cinsinden olmak üzere CN durumu Tablo 4.9'a göre belirlenmektedir (Apaydın, 2007).

Tablo 4.9. Toprağın nem içeriğine göre CN koşulları

Kışın	Büyüme döneminde	CNN
P< 12.7	P >35.6	CN_I (kuru)
12.7<P>27.9	35.6<P>53.3	CN_{II} (normal)
P< 27.9	P >53.3	CN_{III} (nemli)

Toprağın nem içeriğine göre toprak eğri numarasında farklılıklar görülmektedir. Tablo 4.8'de belirlenen eğri numarası, CN_{II} değeridir. Bu durumda, Eğri numaraları CN_I ve CN_{III} eğri numarası, sırasıyla Denklem 4.30 ve Denklem 4.31 yardımıyla hesaplanabilmektedir (Apaydın, 2007).

$$CN_I = \frac{(4.2 * CN_{II})}{(10 - 0.058 * CN_{II})} \tag{4.30}$$

$$CN_{III} = \frac{(23 * CN_{II})}{(10 + 0.013 * CN_{II})} \tag{4.31}$$

Yağış-akış ilişkisi hesaplanan her bir su toplama havzası için bir tane eğri numarası belirlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle, havza içerisinde eğri numarası belirlenen arazi parçalarının alansal ağırlığı kullanılarak havza eğri numarası Denklem 4.32 kullanılarak belirlenmektedir (Özdemir, 2007).

$$CN_{II} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(CN_i * A_i)}{\sum_{i=1}^{n} A_i} \tag{4.32}$$

CN_{II} : Havzaya ait CN_{II} değeri
CN_i : Her bir arazi kullanımı/örtüsü ve hidrolojik toprak grubuna ait CN değeridir
A_i : Her bir arazi kullanımı/örtüsü ve hidrolojik toprak grubunun alanıdır

4.3.2.1.3. SCS Boyutsuz Birim Hidrograf Modeli

Birim hidrograf yöntemi, herhangi bir miktarda artık yağıştan (akış) elde edilen hidrografı türetmek için kullanılabilen basit doğrusal bir modeldir. SCS boyutsuz sentetik birim hidrografında debi, q debisinin pik debiye (q_p) oranı ve t zamanının birim hidrograf yükseliş zamanına (t_p) oranı ile tanımlanır. Belirli bir pik debi ve artık yağışın gecikme zamanı için boyutsuz sentetik birim hidrograf ordinatları kullanılarak birim hidrograf elde edilebilir. SCS boyutsuz birim hidrograf ordinatları Tablo 4.10'da verilmiştir.

Bu iki özellikten, pik debiye kadar geçen süre (t_p), yani fırtına olayının başlangıcından tepe akışının meydana gelmesine kadar geçen süre Denklem 4.33 yardımıyla hesaplanabilir.

$$t_p = \frac{t_r}{2} + t_l \tag{4.33}$$

t_p : Pik debiye ulaşma zamanı (saat)
t_r : Artık yağış süresi (saat)
t_l : Gecikme zamanı (saat)

Gecikme zamanı (t_l) ise Denklem 4.34 yardımı ile hesaplanabilir.

$$t_l = (L * 3.28 * 10^3)^{0.8} * \frac{(100/CN - 9)^{0.7}}{(1900 * S^{0.5})} \tag{4.34}$$

L : Havza hidrolik uzunluğu (km)
CN : Havza SCS eğri numarası
S : Havza ortalama eğimi (%)

Bir cm artık yağış için oluşan pik debi ise Denklem 4.35 kullanılarak hesaplanmaktadır.

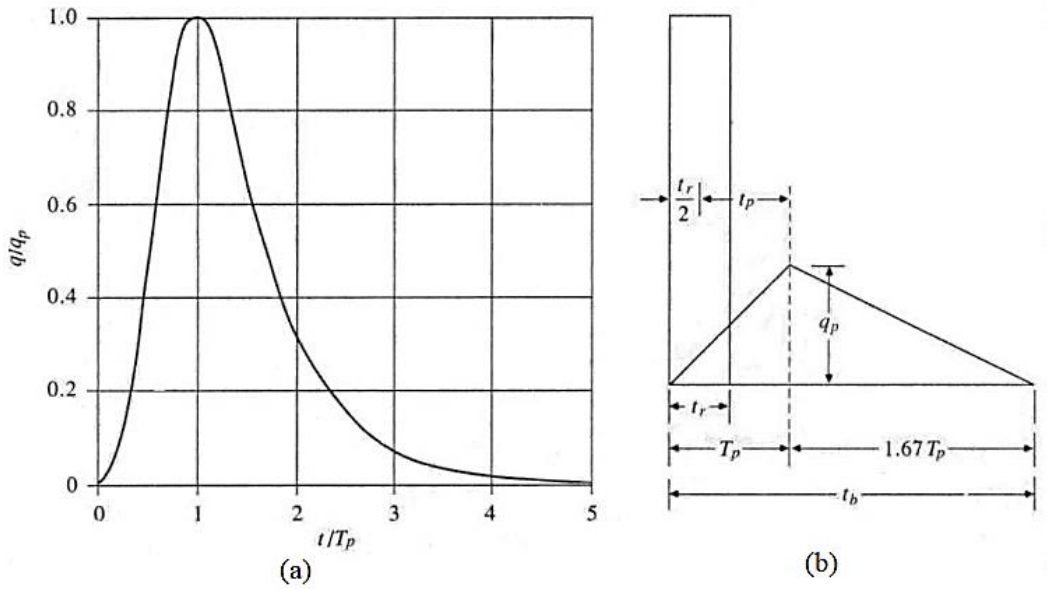
$$q_p = \frac{C * A}{t_P} \tag{4.35}$$

C : 2.08 (katsayı)
A : Drenaj alanı (km^2)

Tablo 4.10. SCS boyutsuz birim hidrograf koordinatları

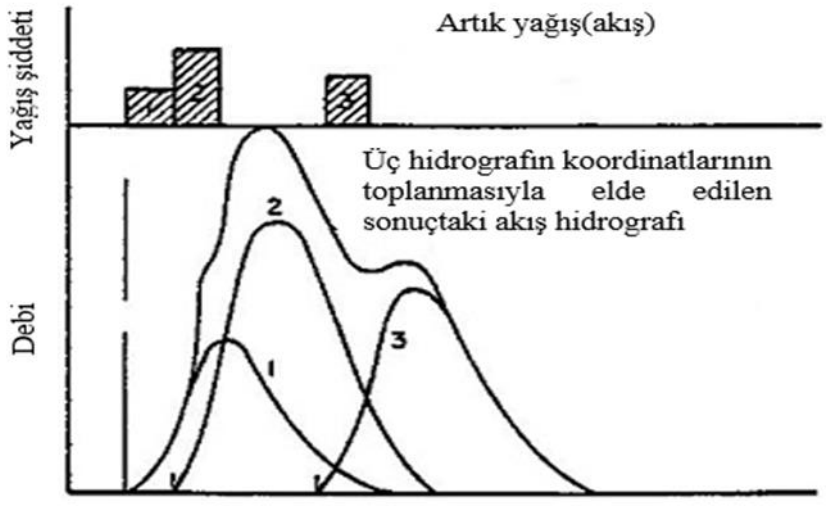
t/t_p	q/q_p	t/t_p	q/q_p
0	0.00	1.70	0.46
0.10	0.03	1.80	0.39
0.20	0.10	1.90	0.33
0.30	0.19	2.00	0.28
0.40	0.31	2.20	0.207
0.50	0.47	2.40	0.147
0.60	0.66	2.60	0.107
0.70	0.82	2.80	0.077
0.80	0.93	3.00	0.055
0.90	0.99	3.20	0.04
1.00	1.00	3.40	0.029
1.10	0.99	3.60	0.021
1.20	0.93	3.80	0.015
1.30	0.86	4.00	0.011
1.40	0.78	4.50	0.005
1.50	0.68	5.00	0
1.60	0.56		

MIKE HYDRO River yazılımında havza yağış-akış ilişkisini belirlemek için kullanılabilen, SCS boyutsuz birim hidrograf ve SCS üçgen birim hidrografı Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9. SCS birim hidrografları: (a) Boyutsuz hidrograf (b) Üçgen hidrograf

SCS birim hidrograf modelinde, süperpozisyon ilkesine uygun olarak, her bir hesaplama zaman adımı için, bu zaman adımında kayıp modeli tarafından oluşturulan fazla yağışa karşılık gelen hidrografı belirlenerek önceki zaman adımlarında üretilen akış hidrografına eklenmektedir (Şekil 4.10).



Şekil 4.10. Birim hidrograflara uygulanan süperpozisyon ilkesi

4.4. MIKE HYDRO River 1B Hidrodinamik Model

4.4.1. MIKE HYDRO River Kullanıcı Arayüzü

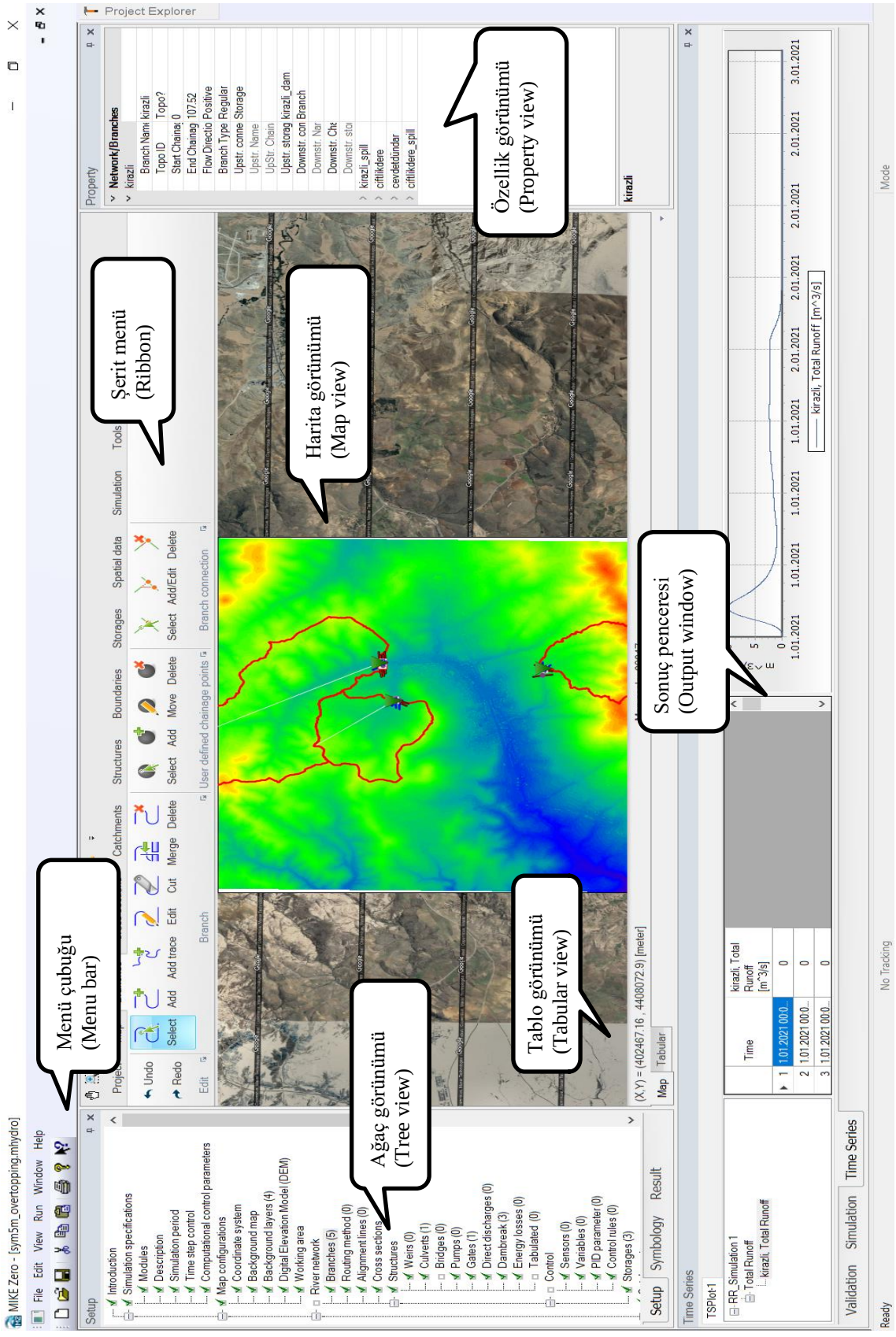
MIKE HYDRO, DHI tarafından geliştirilen MIKE uygulamasının bazı su kaynakları ürünlerinin ortak grafik kullanıcı arayüzüdür. MIKE HYDRO aşağıdaki modülleri içermektedir:

- Havza modülü (MIKE HYDRO Basin)
- Nehir modülü (MIKE HYDRO River)

Bu çalışmada kullanılan MIKE HYDRO River nehir modülü, nehirle ilgili çok çeşitli proje uygulamaları için tek boyutlu nehir modellerini tanımlamak ve analiz etmek için bir modelleme çerçevesidir. Nehir modülü tipik uygulama alanları aşağıda verilmiştir:

- Nehir hidroliği uygulaması
- Taşkın analizi ve taşkın koruma tasarım çalışmaları
- Gerçek zamanlı sel veya kuraklık tahmini
- Baraj yıkılması analizi
- Rezervuar ve savak operasyonlarının optimizasyonu
- Nehirlerde ve sulak alanlarda ekoloji ve su kalitesi değerlendirmeleri
- Su kalitesi tahmini
- Sediment taşınımı ve nehir morfolojisi değişikliklerinin uzun vadeli değerlendirilmesi
- Sulak alan restorasyon çalışmaları

MIKE 11'in halefi olan MIKE HYDRO River, modern, harita tabanlı ve son derece sezgisel grafik kullanıcı arayüzü ile verimli olarak bir boyutlu nehir modelleri oluşturmaya olanak sağlamaktadır. Bir boyutlu sonuçları sayısal yükseklik modeline dayalı olarak iki boyutlu haritalarda görselleştirerek sunmamızı sağlamaktadır. Ayrıca yağış-akış (rainfall-runoff (RR)) modülü ile nehirlere ve rezervuarlara gelen akışın tahmin edilmesine olanak sağlamaktadır (DHI, 2020a). MIKE HYDRO kullanıcı arayüzü altı ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 4.11).



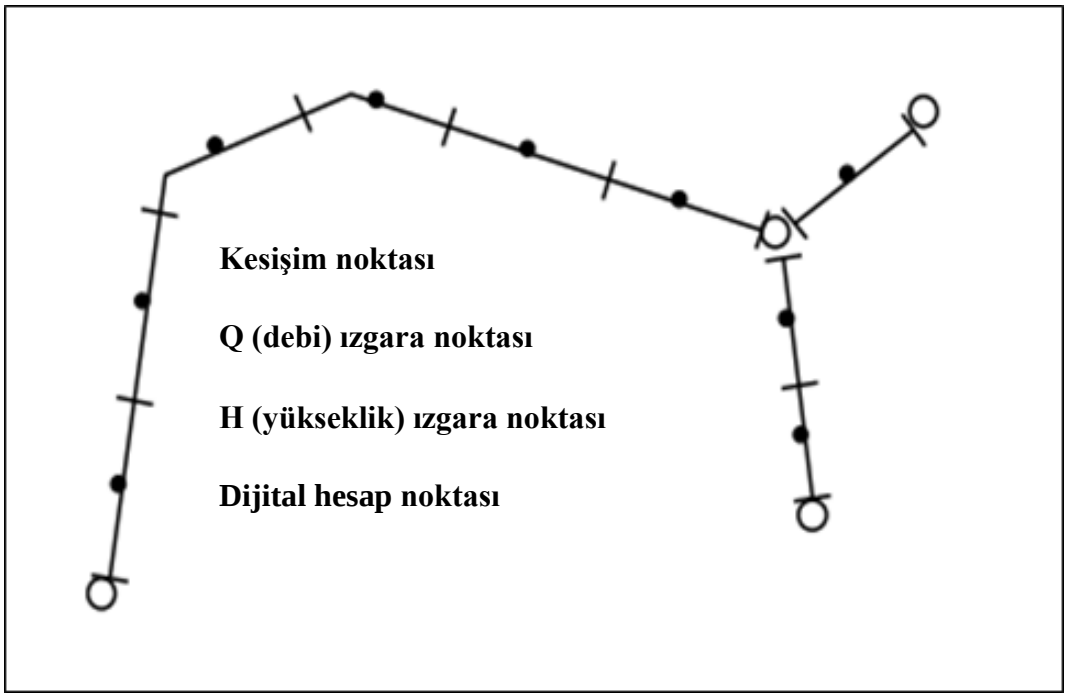
Şekil 4.11. MIKE HYDRO River kullanıcı arayüzü

4.4.2. MIKE HYDRO River Hidrodinamik Model Denklemleri

MIKE HYDRO River 1B çözücü motoru kararsız akış modeli, bir boyutlu sığ su denklemlerinin (Saint Venant denklemleri) örtük, sonlu fark sayısal çözümüne dayanmaktadır. Sayısal algoritmalar, dallanmış ve kavisli (menderesli) kapalı drenaj sistemleri ve nehir ağlarında verimli ve doğru çözümler sağlamaktadır (DHI, 2020b).

Bir boyutlu hidrodinamik çözücü, akarsu dalı, düğüm noktası ve yapı elemanları ağından oluşan bir akışkan problemini çözmektedir (Şekil 4.12). Problem, ağ sınırları ve başlangıç koşullarındaki sınır koşulları ile tam olarak belirlenir. Bu çözüm ağı şunlardan oluşmaktadır (DHI, 2020b):

- Akarsu dalları (Branches)
- Kesişim noktaları (Nodes)
- Izgara noktaları (Grid points)
- Dijital hesap noktaları (Digi points)
- Enkesitler (Cross sections)
- Baraj, savak, pompa vs. yapı elemanları (Structures)



Şekil 4.12. MIKE HYDRO River 1B hidrodinamik çözüm şeması

4.4.2.1. Saint-Venant Denklemleri

Üç boyutlu kanallardan rastgele bir su akışı problemini çözmek, hesaplama açısından pratik değildir. Ancak, boru ve kanalların geometrisi, problem alanına doğal olarak uyan bir dizi yaklaşıma izin vermektedir. Yaklaşımlar aşağıdaki varsayımlara dayanmaktadır (DHI, 2020b):

- Su sıkıştırılamaz ve homojendir, yani yoğunlukta ihmal edilebilir farklılıklar vardır.
- Boru ve kanalların alt eğimi küçük olduğundan yatayla yaptığı açının kosinüsü bir alınabilir.
- Dalga boyları su derinliğine göre büyüktür. Bu, her yerdeki akışın tabana paralel bir yöne sahip olarak kabul edilmesini sağlar, yani dikey ivmeler ihmal edilebilir ve dikey boyunca bir hidrostatik basınç değişimi varsayılabilir.
- Güzergâhın akış yönüne dik su ivmesi yoktur

Bu varsayımlarla, Navier-Stokes denklemlerinden türetilmiş, genellikle Saint-Venant denklemleri veya Sığ Su Denklemleri olarak adlandırılan iki basitleştirilmiş denklem elde edilir (Denklem 4.36 ve Denklem 4.37).

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial A_{fl}}{\partial t} = q_{in} \tag{4.36}$$

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\alpha \frac{q^2}{A_{fl}}\right)}{\partial x} + gA_{fl}\frac{\partial h}{\partial x} + gA_{fl}l_f = \frac{f}{\rho_w} \tag{4.37}$$

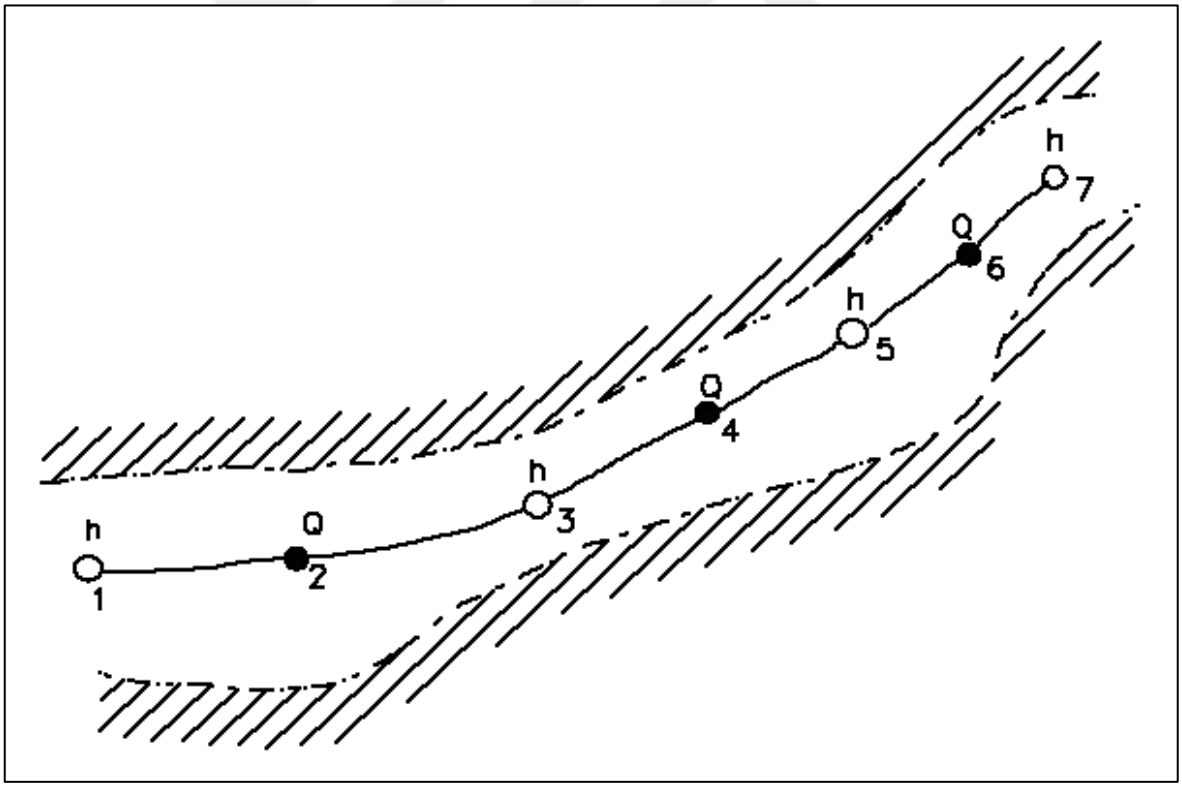
Bu denklemlerde,

q	:	Debi (Deşarj)
A_{fl}	:	Enine kesit alanı olarak da adlandırılan akış alanı
q_{in}	:	Yanal akış (Birim uzunluk başına)
h	:	Su seviyesi
α	:	Momentum dağılım katsayısı
l_f	:	Sürtünme eğimine bağlı akış direnci terimi
f	:	Momentum kuvveti (Birim uzunluk başına)
ρ_w	:	Suyun yoğunluğu

Denklem 4.36 kütle denklemi veya süreklilik denklemi olarak adlandırılır ve kütlenin korunumunu ifade eder; ∂x uzunluğundaki akış kesitinde eklenen suyun hacmi ∂q, kesit alanındaki ∂A_{fl} (hacimdeki) artışla dengelenir.

Denklem 4.37 momentum denklemi olarak adlandırılır ve momentumun korunumunu ifade eder; momentum denkleminin sol tarafındaki ilk iki terim atalet kuvvetlerini (yerel ve konvektif ivme), üçüncü terim yerçekiminden kaynaklanan basınç kuvvetlerini ve son terim direnç/sürtünmeyi temsil eder. Eşitliğin sağ tarafı, harici bir momentum kuvvetini temsil eder.

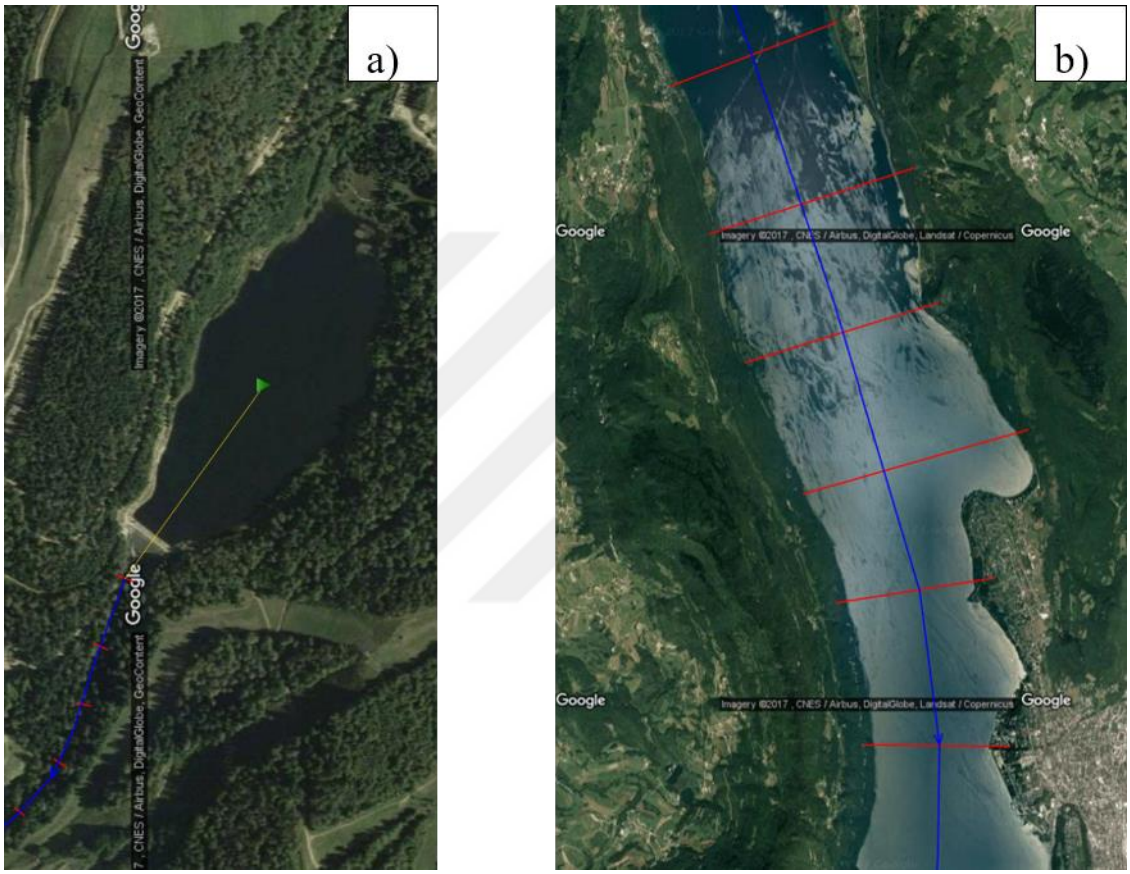
Denklemler (4.36 ve 4.37), akarsu ağı boyunca su derinliğini ve debiyi bulmak için çözülen birleştirilmiş denklemler sistemine dönüştürülür. Saint-Venant denklemlerinin çözüldüğü, h (su yüksekliği) ve q (debi) noktalarına sahip hesap ağı kesiti Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13. Saint-Venant denklemlerinin çözüldüğü, h (su yüksekliği) ve q (debi) noktalarına sahip hesap ağı kesiti

4.4.2.2. Baraj Yıkılması 1B Modeli

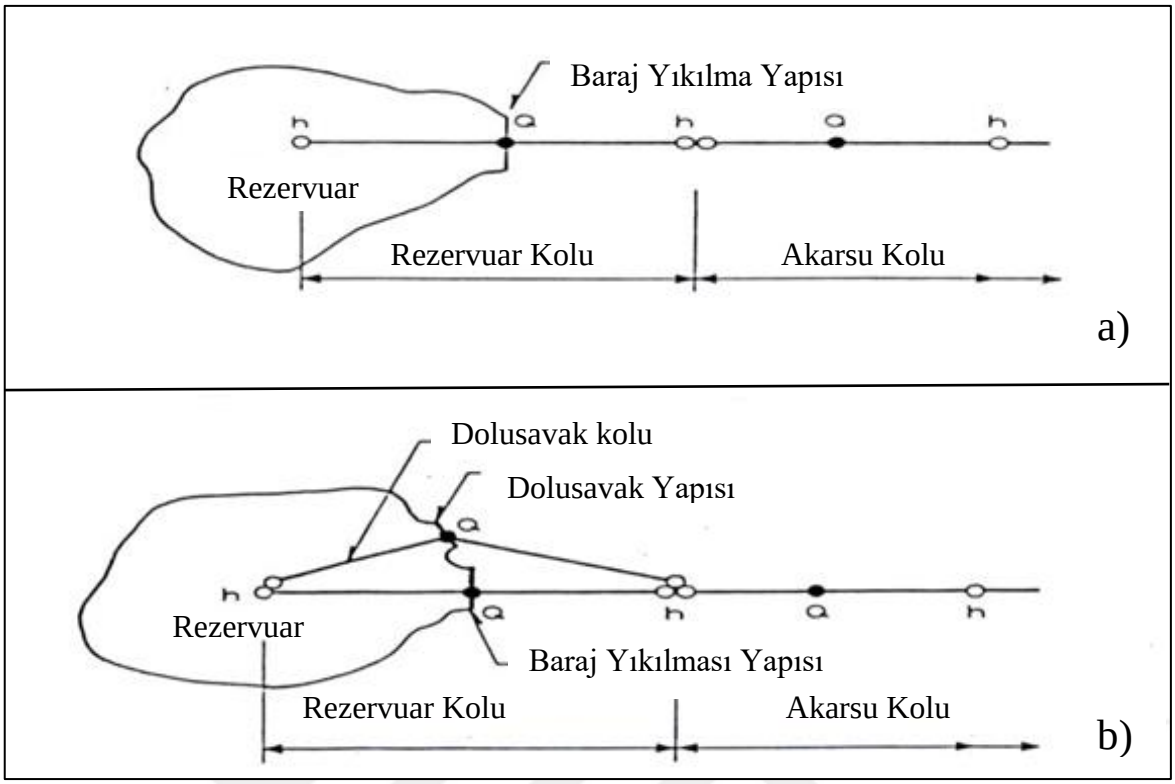
Baraj rezervuarı depolama özelliklerinin doğru bir tanımını elde etmek için, rezervuar ya modelde tek bir h noktası (Şekil 4.14a) olarak ya da topografyayı ve dolayısıyla rezervuar boyunca hacim özelliklerini doğru bir şekilde tanımlayan bir dizi enine kesitli bir akarsu (Şekil 4.14b) olarak modellenebilir (DHI, 2017).



Şekil 4.14. Rezervuar modeli a) Tek bir h noktası b) Enine kesitli bir akarsu (DHI, 2017)

Rezervuarın yalnızca bir h noktası ile temsil edilmesi durumunda, bu aynı zamanda içeri akış hidrograflarının belirtildiği modelin yukarı akış sınırına da tekabül edecektir. Bu durumda, barajın yüzey depolama alanının, su seviyesinin bir fonksiyonu olarak tanımlanması gerekmektedir. En düşük su seviyesi, barajın son gedik kotunun altında bir yerde olmalıdır.

Baraj yıkılması yapısını sadece üç hesaplama noktası (2h:1Q noktası) içeren ayrı bir kola yerleştirmek pratik olabilir (Şekil 4.15a). Bunun yanında dolusavak yapısı ayrı bir akarsu kolu olarak tanımlanabilir (Şekil 4.15b).



Şekil 4.15. Baraj yıkılması kurulum şeması örneği a) Baraj yıkılma yapısı b) Baraj yıkılma ve dolusavak yapısı (DHI, 2020a)

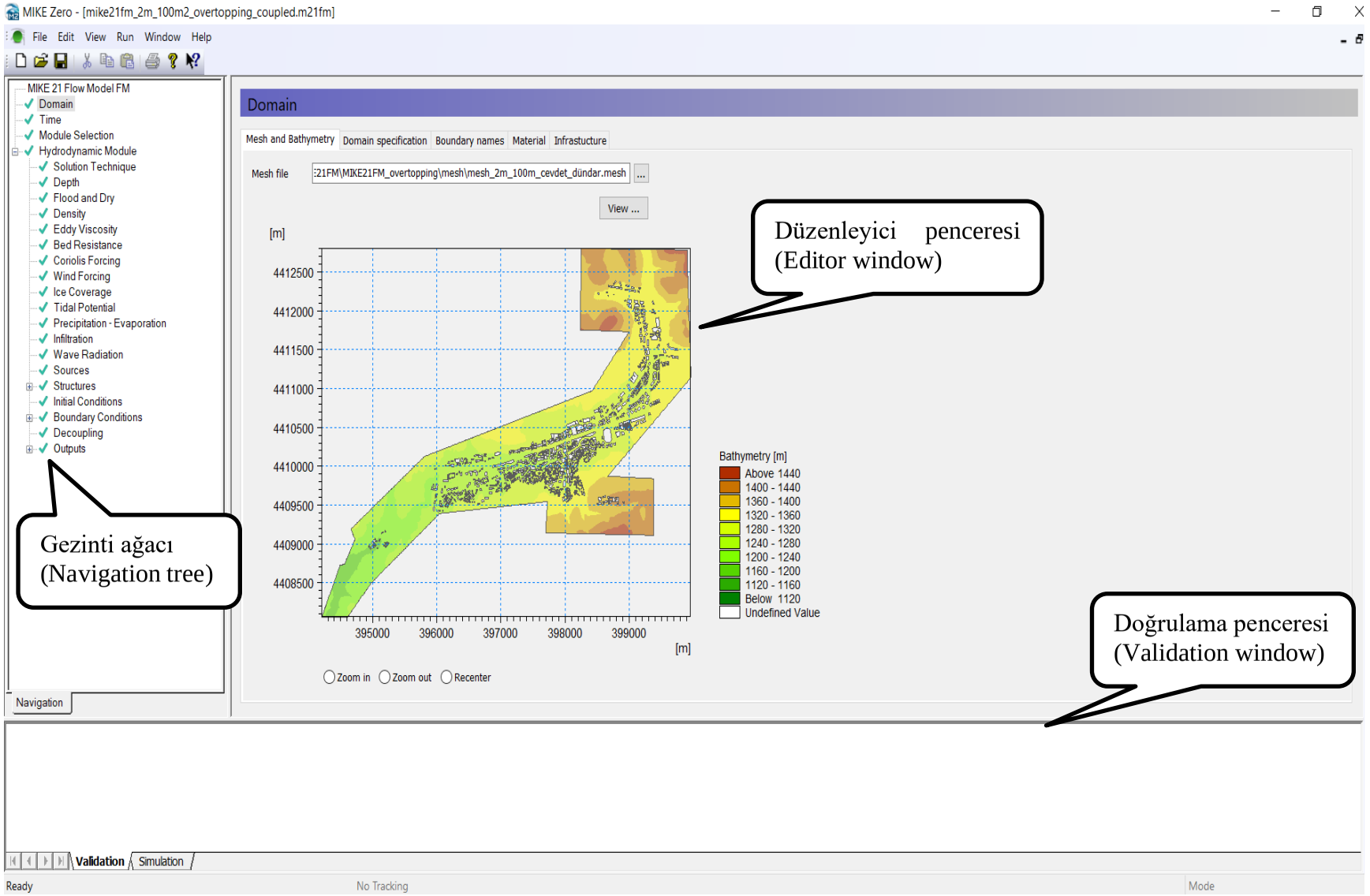
Dolusavak yapısı için ayrı bir kol tanımlanması şart değildir. Baraj ve dolusavak yapısı aynı ızgara noktasında, yani kompozit yapı olarak yer alabilir. İki ayrı kola sahip olmanın avantajı, dolusavak içinden deşarjın ve baraj yapısının sonuç dosyasında iki ayrı zaman serisi olarak verilmesidir.

4.5. MIKE 21 FM 2B Hidrodinamik Model

4.5.1. MIKE 21 FM Kullanıcı Arayüzü

MIKE 21 FM arayüzü, üç ayrı bölmeden oluşmaktadır (Şekil 4.16). MIKE 21 FM, oşinografi, kıyı ve nehir çevresindeki akışı modellemek için kullanılmaktadır (DHI, 2020c).

- Gezinti ağacı (Navigation tree)
- Düzenleyici penceresi (Editor window)
- Doğrulama penceresi (Validation window)



Şekil 4.16. MIKE 21 FM akış modeli kullanıcı arayüzü

4.5.2. MIKE 21 FM Hidrodinamik Model Denklemleri

MIKE 21 FM hidrodinamik modeli, iki boyutlu sığ su denklemlerinin (süreklilik ve momentum denklemleri) sayısal çözümüne dayanmaktadır (Denklem 4.38, Denklem 4.39 ve Denklem 4.40). Denklemlerin mekânsal ayrıklaştırılması, hücre merkezli bir sonlu hacim yöntemi kullanılarak gerçekleştirilir. Sığ su denklemleri bir kartezyen koordinat sisteminde çözülür. İki boyutlu sığ su denklemleri, hidrostatik bir basınç dağılımı varsayılarak ve Navier-Stokes denklemlerinin su derinliği üzerinde integrali alınarak elde edilir. Konservatif formdaki iki boyutlu sığ su denklemleri şu şekilde ifade edilebilir (DHI, 2020d):

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial hu}{\partial x}+\frac{\partial hv}{\partial y}\ =\ 0 \tag{4.38}$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t}+\frac{\partial hu^2}{\partial x}+\frac{\partial huv}{\partial y}\ =fhv-gh\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_A}{\partial x}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x}-\frac{\tau_{fx}}{\rho_0}+\frac{\tau_{sx}}{\rho_0}+\frac{\partial hT_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial hT_{xy}}{\partial y} \tag{4.39}$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t}+\frac{\partial hvu}{\partial x}\ +\frac{\partial hv^2}{\partial y}=fhu-gh\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_A}{\partial y}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial p}{\partial y}-\frac{\tau_{fy}}{\rho_0}+\frac{\tau_{sy}}{\rho_0}+\frac{\partial hT_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial hT_{yy}}{\partial y} \tag{4.40}$$

Burada t zamandır; x ve y kartezyen koordinatlarıdır; h = η + d toplam su derinliğidir, burada η yüzey yüksekliği ve d durgun su derinliğidir; u ve v, x ve y yönündeki derinlik ortalamalı hız bileşenleridir; f = 2Ω$sin\phi$ Coriolis parametresidir (Ω açısal dönüş hızı ve ϕ coğrafi enlemdir); g yerçekimi ivmesi; pA serbest yüzeydeki atmosfer basıncıdır; ρ suyun yoğunluğudur; ρ_0 suyun referans yoğunluğudur. τ_{fx}, τ_{fy} taban sürtünmesi, yüzey sürtünmesi ve akış direncinden kaynaklanan gerilimlerin x- ve y- bileşenleridir. τ_{sx}, τ_{sy} rüzgârdan kaynaklanan yüzey gerilmelerinin x- ve y- bileşenleridir. Yanal gerilmeler, T_{xx}, T_{xy} and T_{yy}, viskoz sürtünme, türbülanslı sürtünme ve diferansiyel adveksiyonu içerir. Yanal gerilmeler, derinlik ortalamalı hızlara dayalı bir girdap viskozite formülasyonu kullanılarak tahmin edilirler (Denklem 4.41).

$$T_{xx}=2\nu\frac{\partial u}{\partial x}\qquad\qquad T_{xy}=\nu\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial v}{\partial x}\right)\qquad\qquad T_{yy}=2\nu\frac{\partial u}{\partial y} \tag{4.41}$$

Denklem 4.41'de ν girdap viskozitesidir. Akışkanın sıkıştırılamaz olduğu varsayılır. Bu nedenle, yoğunluk basınca değil, sadece sıcaklığa(T) ve tuzluluğa(S), Denklem 4.42 yoluyla bağlıdır.

$$\rho\ =\ \rho(\mathrm{S},\mathrm{T}) \tag{4.42}$$

4.6. MIKE FLOOD 1B/2B Birleşik Model

MIKE FLOOD, tek boyutlu MIKE URBAN (MOUSE), MIKE HYDRO River, MIKE 11 ve iki boyutlu model MIKE 21'i dinamik olarak eşleştirilmiş tek bir modelleme sisteminde birleştiren bir DHI ürünüdür. Birleştirilmiş bir yaklaşım kullanmak, hem tek boyutlu hem de iki boyutlu modellerin en iyi özelliklerinin kullanılmasını olanak vermektedir. Aynı zamanda MIKE HYDRO River, MIKE 11, MIKE URBAN (MOUSE) veya MIKE 21'i ayrı ayrı kullanırken karşılaşılan birçok çözünürlük ve doğruluk sınırlamasından kaçınılmasını sağlamaktadır (DHI, 2020e).

MIKE URBAN, ayrı veya birleşik olarak su dağıtım sistemlerini, yağmur suyu drenaj sistemlerini ve şehir kanalizasyon sistemi dâhil olmak üzere şehirdeki tüm su şebekelerini modellenebilmesini sağlayan bir DHI ürünüdür.

MIKE FLOOD kullanılarak üç model birleşeninden, ikisi veya üçü arasında bağlantı kurularak bütünleşik analiz yapılabilmektedir. Bu üç model birleşeni şu şekilde ifade edilebilir:

- 1B Nehir Modeli (MIKE HYDRO River veya MIKE 11)
- 1B Altyapı (Kanalizasyon, drenaj) Modeli (MIKE URBAN (MOUSE))
- 2B Hidrodinamik Akış Modeli (MIKE 21 HD (Dikdörtgen ızgara/sonlu farklar) veya MIKE 21 FM HD (Esnek ağ/sonlu hacim))

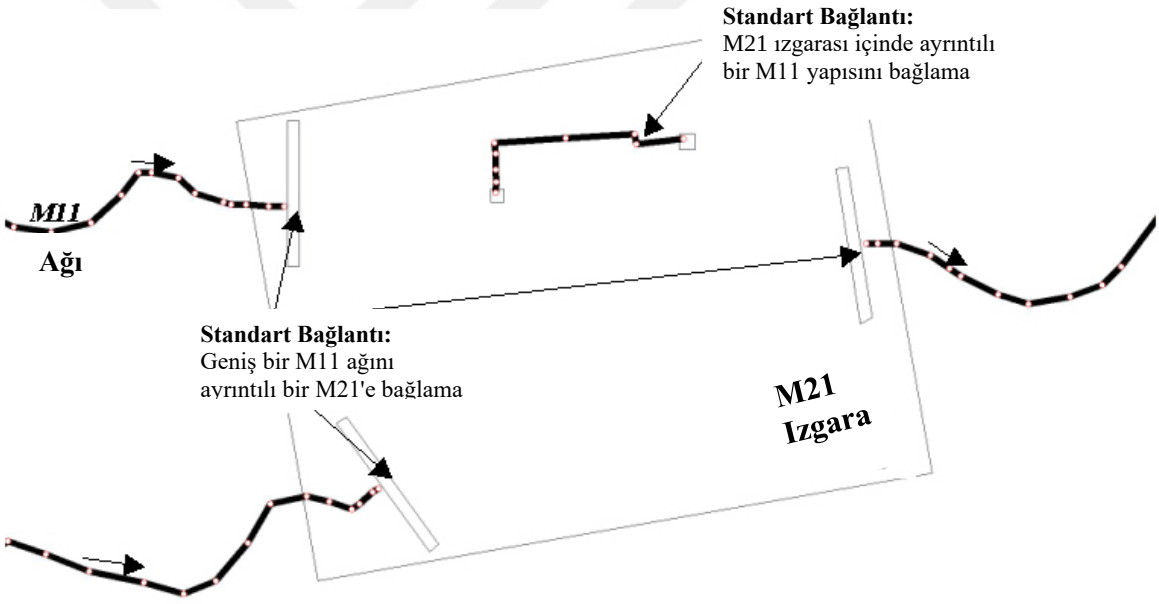
Farklı modellerin birleştirilmesi, farklı bağlantı seçenekleri ile yapılır. MIKE Flood'da yedi farklı bağlantı türü mevcuttur:

- Standart Bağlantı
- Yanal Bağlantı
- Yapı Bağlantısı
- Yanal Yapılar Bağlantısı
- Sıfır Akış bağlantıları (XFlow=0 ve YFlow=0)
- Kentsel Bağlantı
- Nehir-Kentsel Bağlantı

Yukarıdaki 1'den 5'e kadar olan bağlantı tipleri, MIKE 11/ MIKE HYDRO River ve MIKE 21/MIKE 21 FM'in birleştirilmesi için kullanılmaktadır. Bağlantı tipi 6, MIKE URBAN'ı MIKE 21'deki bir veya daha fazla hücre/eleman ile bağlamak için tasarlanmıştır. Son olarak, bağlantı tipi 7 nehir ağını (MIKE 11/ MIKE HYDRO River) altyapı sistemi (MIKE URBAN) ile bağlamak için kullanılmaktadır.

MIKE 11/MIKE HYDRO River nehir ağı sistemlerini, MIKE 21/MIKE 21 FM modelinin birleştirilmesinde genellikle standart ve yanal bağlar kullanılmaktadır.

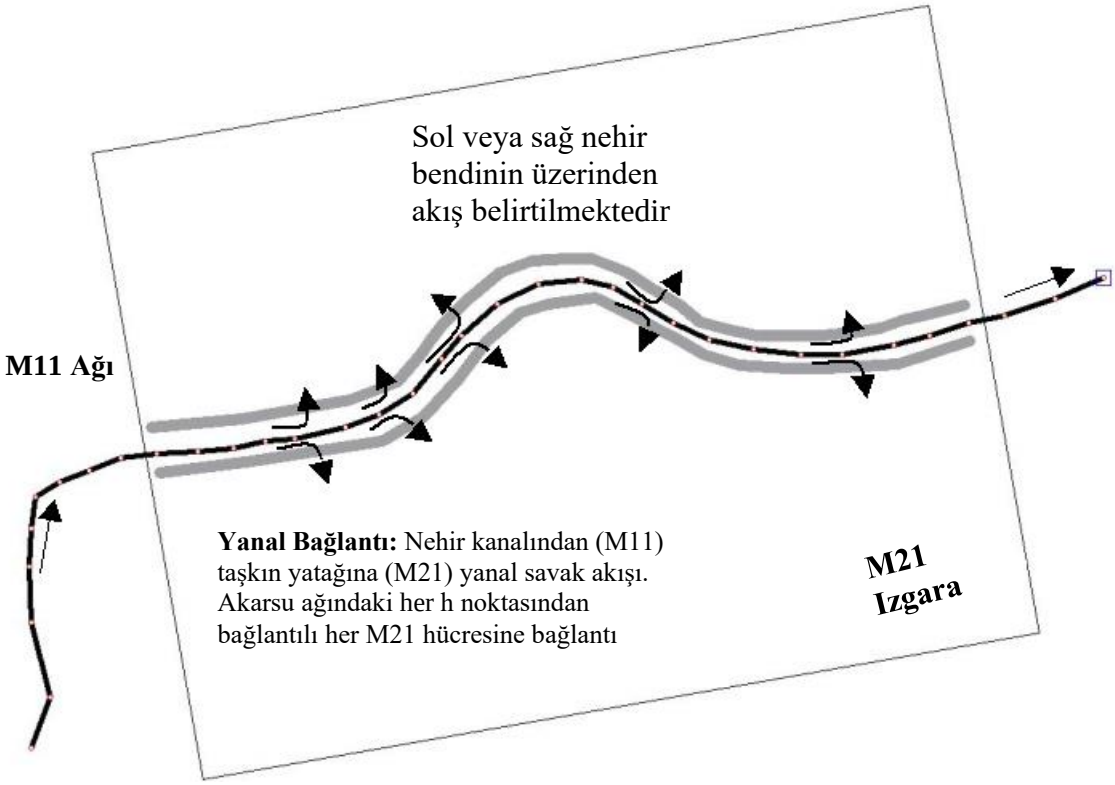
Standart bağlantı, bir veya daha fazla MIKE 21/MIKE 21 FM hücresinin/öğesinin bir MIKE 11/ MIKE HYDRO River nehir kolunun başlangıcına veya sonuna bağlandığı bağlantı türüdür (Şekil 4.17).



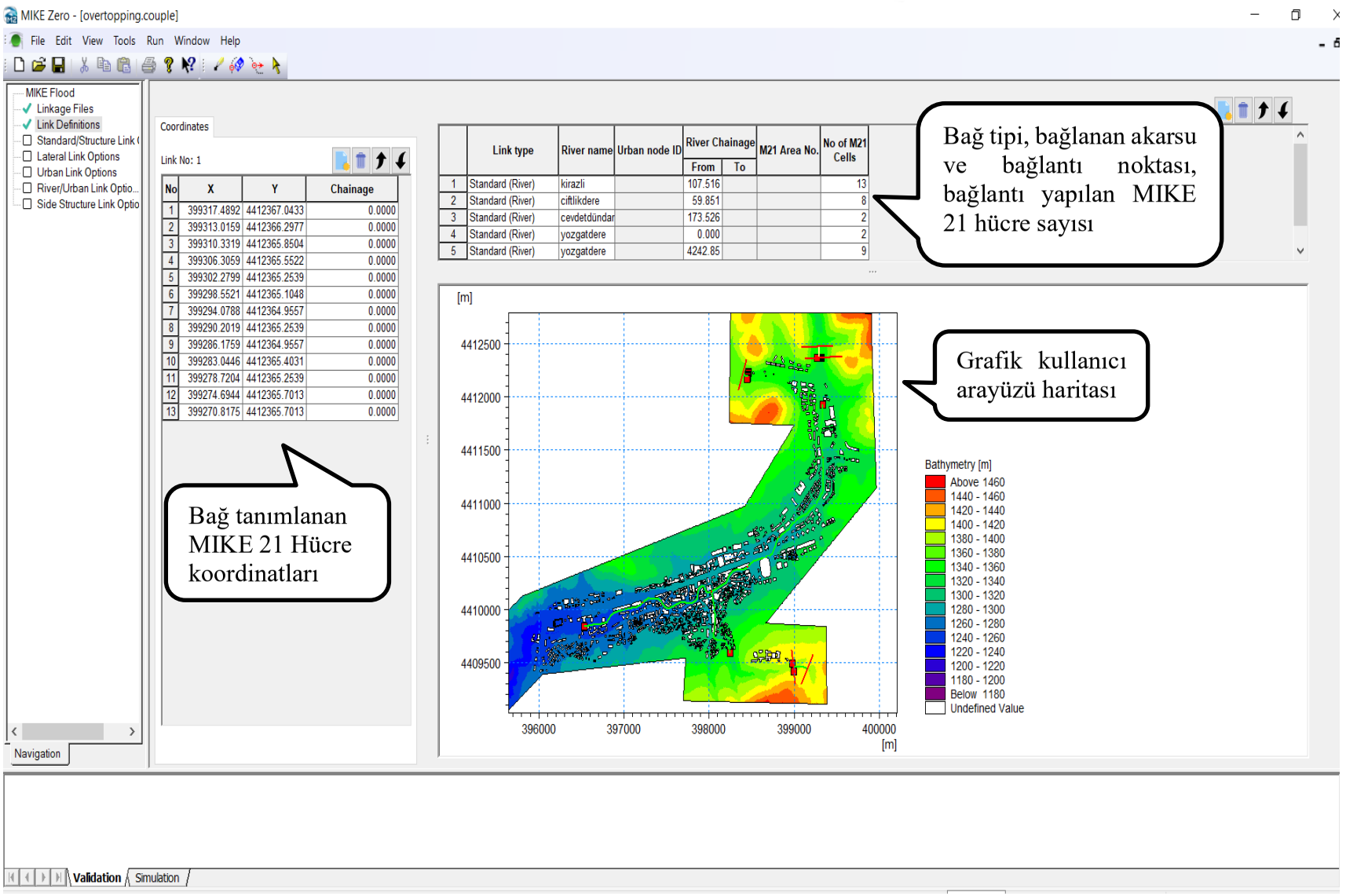
Şekil 4.17. Standart bağlantıların uygulanması (DHI, 2020e)

Yanal (lateral) bağlantı, bir MIKE 21 hücre/eleman dizisinin, bir akarsu dalının bir bölümü veya tamamı olmak üzere, MIKE 11'deki belirli bir akarsuya yanal olarak bağlanmasına olanak sağlar. Yanal bağlantı boyunca akış, bir yapı denklemi kullanılarak hesaplanır. Bu bağlantı türü, genellikle bir nehir kanalından bir taşkın ovasına taşmayı simüle etmek için kullanılmaktadır (Şekil 4.18).

Yapı (structure) bağı sadece nehir ağını, MIKE 21 (dikdörtgen ızgara) modeline bağlamak için kullanılabilmektedir. MIKE FLOOD kullanıcı arayüzü üç ana bölümden oluşmaktadır (Şekil 4.19).



Şekil 4.18. Yanal bağlantıların uygulanması (DHI, 2020e)



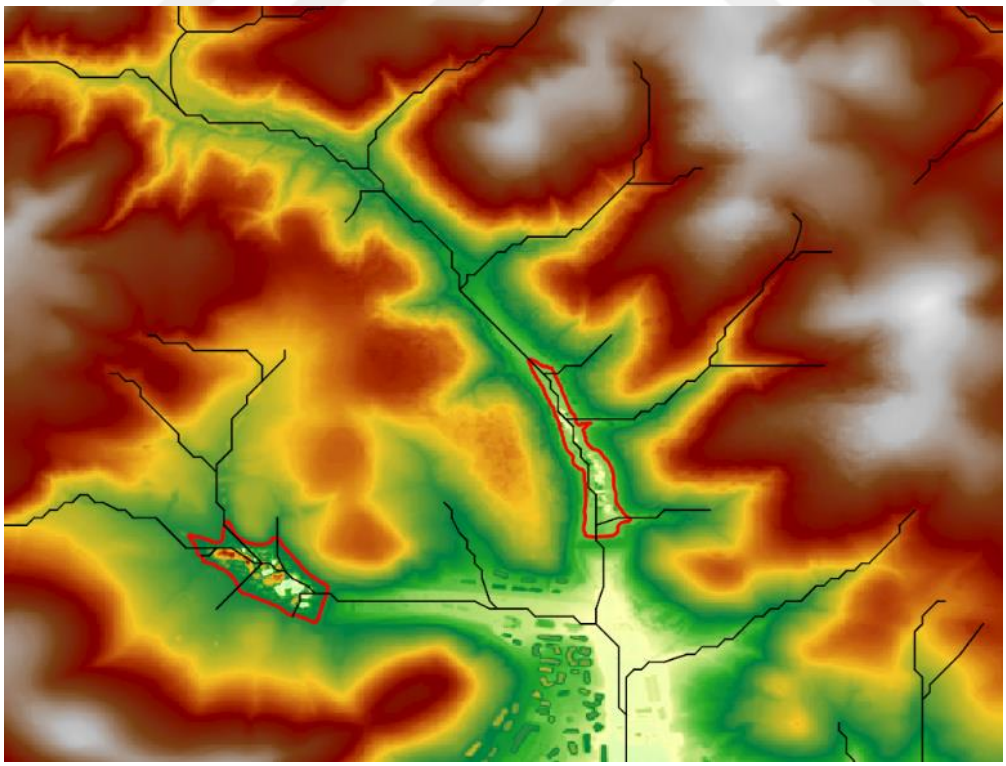
Şekil 4.19. MIKE FLOOD arayüzü

5. UYGULAMA

5.1. Gölet Derinlik Haritaları ve Seviye-Hacim İlişkilerinin Belirlenmesi

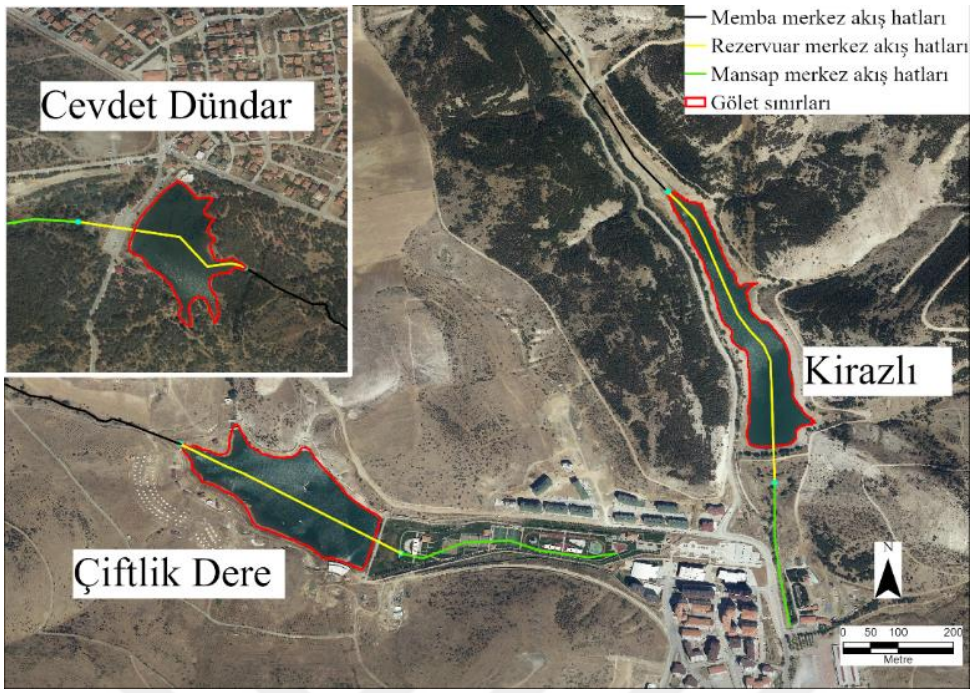
Bu tez çalışmasında, gölet derinlik haritaları ve seviye-hacim ilişkilerini belirlemek için Bölüm 4.1'de bahsedilen yeni bir yaklaşım (ADBAR) kullanılmıştır. K. Liu ve diğerleri (2020), geliştirdikleri tahmin yönteminde, 30 m çözünürlüğe sahip açık erişime sunulmuş SRTM sayısal yükseklik modeli kullanmışlardır. Ancak, bu çalışmada derinlikleri tahmin edilen Kirazlı, Çiftlik Dere ve Bekir Cevdet Dündar Göletleri nispeten küçük yüzey alanına sahip oldukları için 30 m çözünürlüklü SRTM verisi ile üretilen derinlik haritaları hassasiyeti yeterli bulunmamıştır. Hassasiyeti daha yüksek derinlik tahminlerinde bulunmak amacıyla HGM'den temin edilen SYM5 verisi kullanılarak derinlik haritası tahmin modelleri oluşturulmuştur.

Yöntemin ilk aşamasında, ArcGIS yazılımı kullanılarak hidrolojik akarsu analizi yapılmış ve modellenen gölet havzaları için akış ağları ve gölet sınırları tespit edilmiştir (Şekil 5.1).



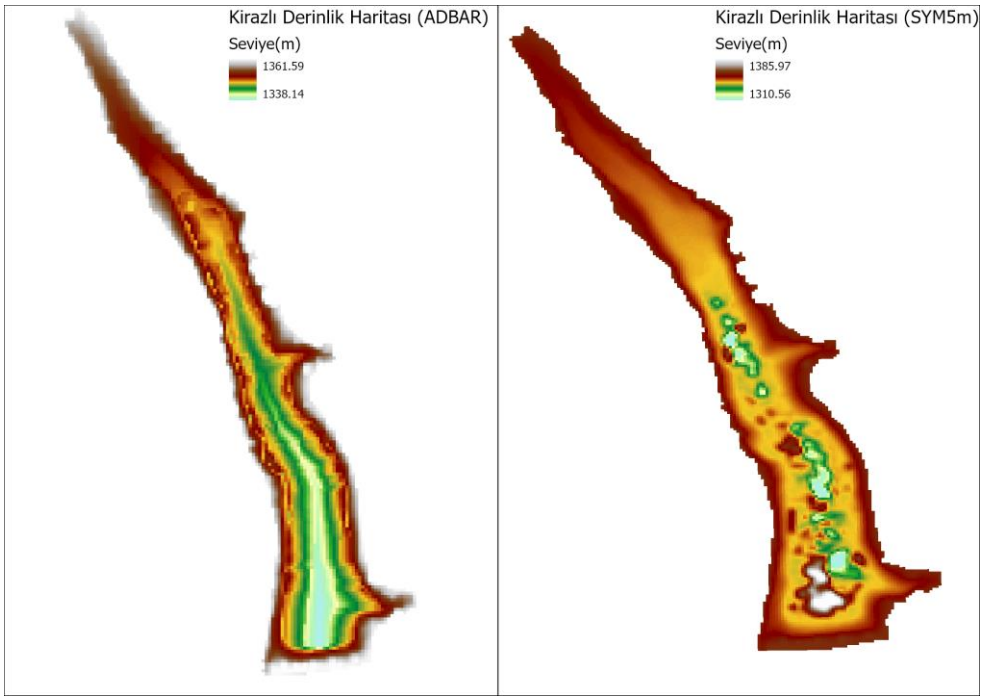
Şekil 5.1. Çalışma bölgesi hidrolojik akış ağları ve gölet sınırları

Yöntemin ikinci aşamasında, hidrolojik akış ağları kullanılarak memba, mansap ve rezervuar merkez hatları ve kesişim noktaları belirlenmiştir (Şekil 5.2).

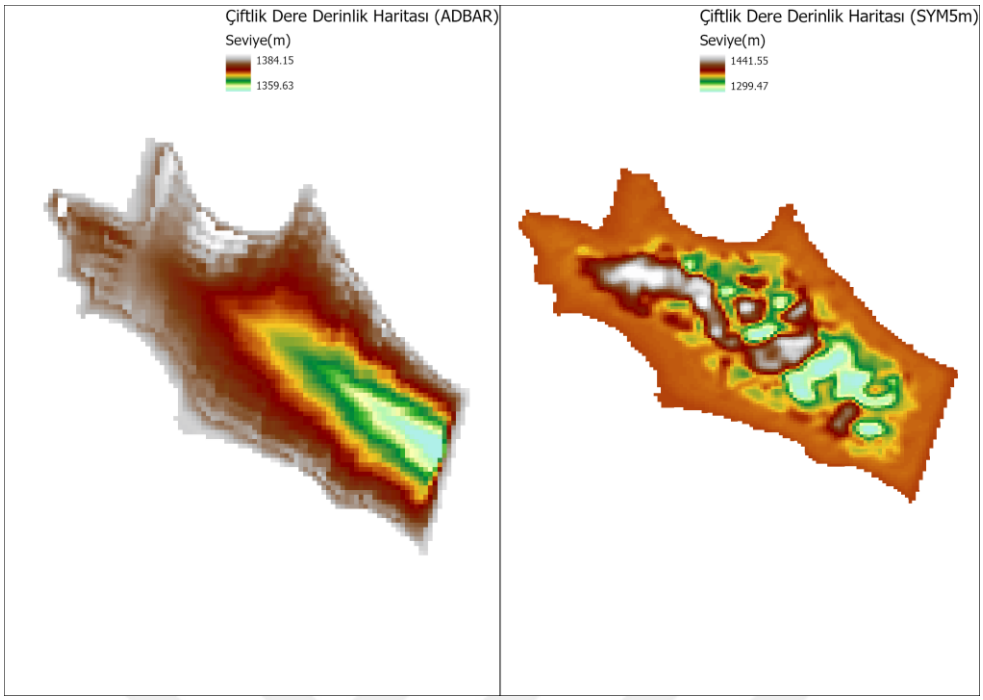


Şekil 5.2. Memba, mansap ve rezervuar merkez hatları ve kesişim noktaları

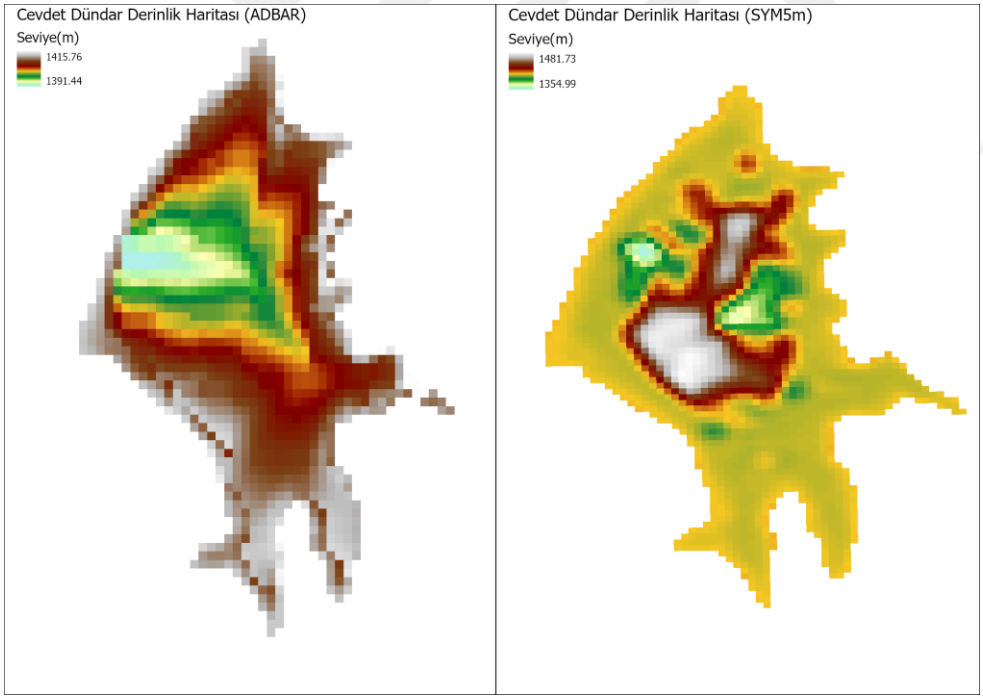
Son olarak merkez hatları ve rezervuar dış sınırları kullanılarak enkesitler oluşturulmuş ve su altında kalan kısımlar tahmin edilerek gölet derinlik haritaları hazırlanmıştır. Kirazlı Gölet'i için tahmin edilen derinlik haritası ve işlenmemiş SYM5 verisinden elde edilen derinlik haritası Şekil 5.3'te, Çiftlik Dere Gölet'i derinlik haritası Şekil 5.4'te, Bekir Cevdet Dündar Gölet'i derinlik haritası Şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.3. Kirazlı Gölet'i derinlik haritası; solda (ADBAR), sağda (SYM5)



Şekil 5.4. Çiftlik Dere Gölet'i seviye-hacim eğrisi; solda (ADBAR), sağda (SYM5)



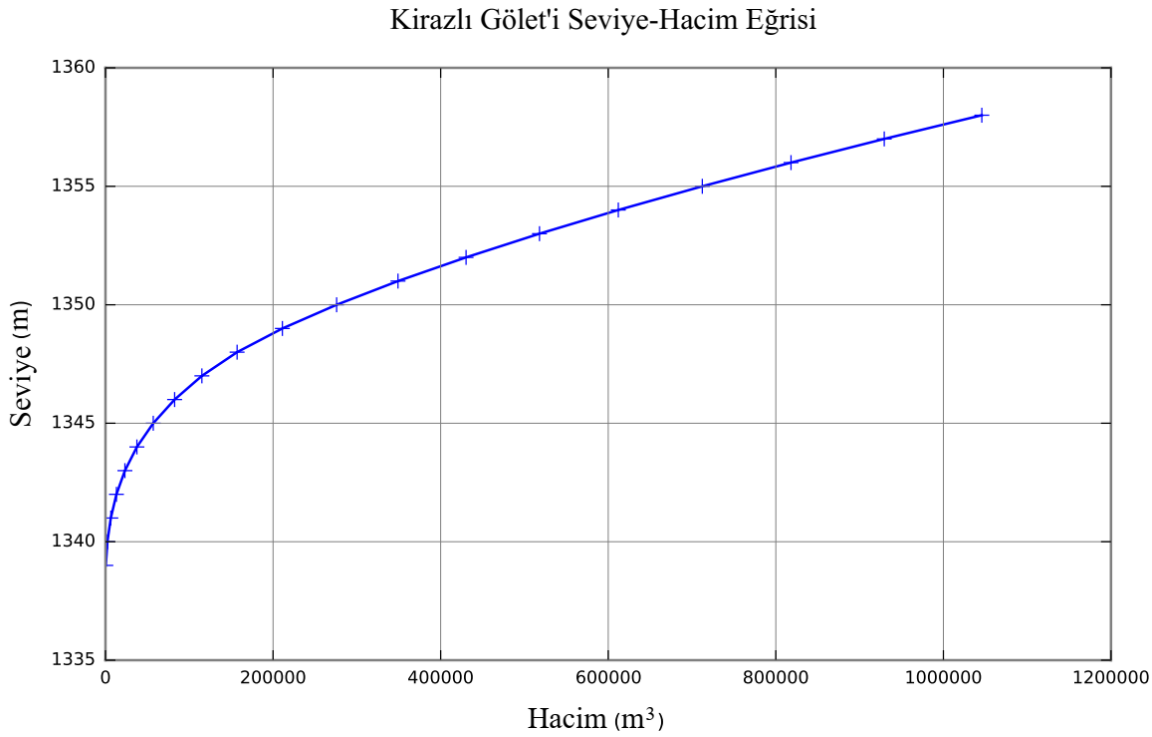
Şekil 5.5. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i derinlik haritası: solda (ADBAR), sağda (SYM5)

Derinlik haritalarında görüldüğü üzere SYM5 verisi kullanılarak elde edilen derinlik haritaları (sağda), fotogrametri kullanılarak üretildiği için su altı arazi yüzeyini yansıtmamaktadır. Ancak ADBAR yöntemi kullanılarak tahmin edilen derinlik haritaları (solda) mantıklı sonuçlar vermiştir. Bu nedenle baraj yıkılması taşkın analizinde gölet

seviye-hacim eğrilerinin oluşturulmasında kullanılmıştır. ArcGIS yazılımı kullanılarak oluşturulan Kirazlı Gölet'i için seviye-hacim-alan değerleri Tablo 5.1'de, seviye-hacim eğrisi Şekil 5.6'da verilmiştir.

Tablo 5.1. Kirazlı Gölet'i seviye-hacim-alan değerleri

Seviye (m)	Hacim (m^3)	Alan (m^2)
1338	0	0
1339	410.97	850
1340	2287.69	2875
1341	6358.55	5150
1342	13055.98	8175
1343	23180.6	11975
1344	37498.84	16875
1345	57015.62	22325
1346	82512.49	28850
1347	115046.22	36950
1348	157086.18	47750
1349	211104.28	59950
1350	275867.75	69125
1351	349104.26	77275
1352	430330.41	84525
1353	517960.06	91125
1354	612022.89	96975
1355	712269.61	103225
1356	818131.47	108625
1357	929404.1	113950
1358	1045839.5	118950

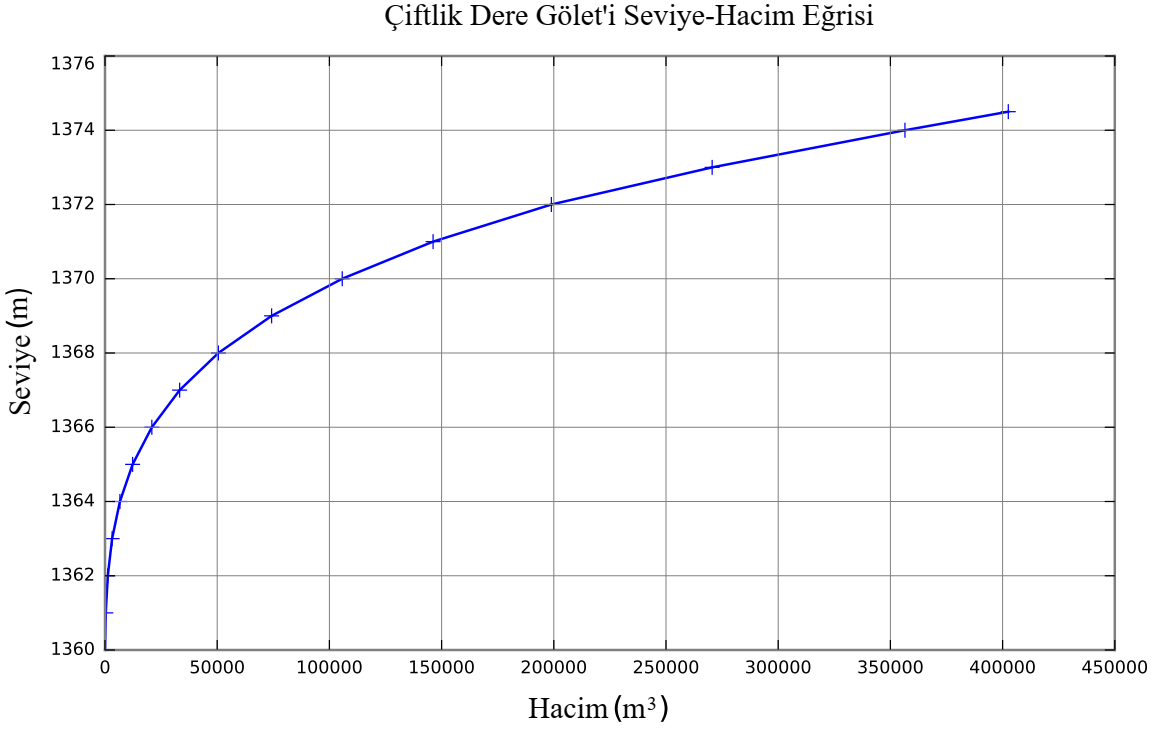


Şekil 5.6. Kirazlı Gölet'i seviye-hacim eğrisi

Çiftlik Dere Gölet'i için seviye-hacim-alan değerleri Tablo 5.2'de, seviye-hacim eğrisi Şekil 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.2. Çiftlik Dere Gölet'i seviye-hacim-alan değerleri

Seviye (m)	Hacim (m^3)	Alan (m^2)
1359	0	0
1360	22.33	100
1361	343.08	550
1362	1246.26	1350
1363	3168.36	2625
1364	6640.93	4400
1365	12303.4	7025
1366	20871.04	10350
1367	33270.33	14400
1368	50523.16	20325
1369	74247.43	27300
1370	105722.86	35550
1371	146207.62	46000
1372	198920.17	61075
1373	270563.41	80475
1374	356488.12	91000
1374.5	402536.6	92850

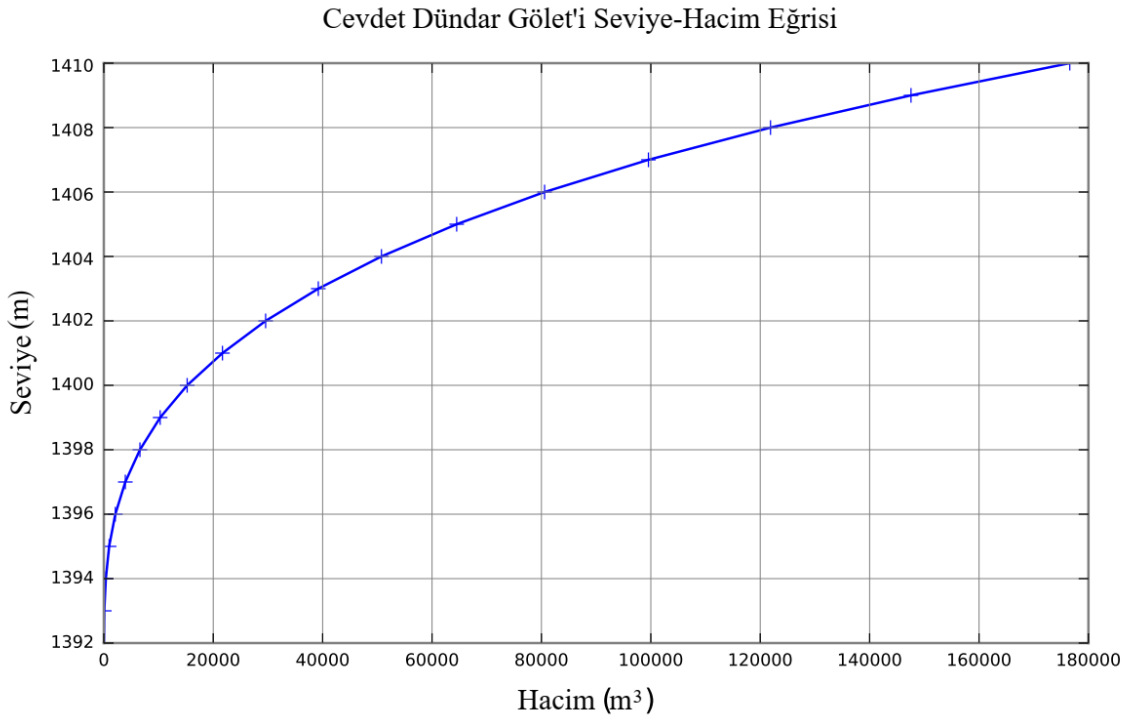


Şekil 5.7. Çiftlik Dere Gölet'i seviye-hacim eğrisi

Bekir Cevdet Dündar Gölet'i için seviye-hacim-alan değerleri Tablo 5.3'te, seviye-hacim eğrisi Şekil 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.3. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i seviye-hacim-alan değerleri

Seviye (m)	Hacim (m^3)	Alan (m^2)
1391	0	0
1392	19.69	50
1393	85.39	125
1394	365.48	400
1395	970.15	950
1396	2101.42	1400
1397	3927.37	2150
1398	6602.62	3150
1399	10298.19	4300
1400	15236.38	5675
1401	21686.37	7250
1402	29579.62	8700
1403	39210	10600
1404	50754.42	12600
1405	64507.23	14925
1406	80580.17	17525
1407	99562.18	20550
1408	121879.59	24100
1409	147564.52	27225
1410	176588.43	30575



Şekil 5.8. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i seviye-hacim eğrisi

5.2. Yağış-Akış İlişkisi Parametrelerinin Belirlenmesi

5.2.1. Yağış Verilerinin İstatiksel Analizi

Çalışma bölgesinde bulunan göletler için, olası yıkılma anında gölet rezervuarına giriş debisi sentetik yöntemlerle hesaplanmıştır. Bu kapsamda, Yozgat meteorolojik gözlem istasyonundan 1960-2015 yıllarındaki, en büyük yağış değerleri alınarak, 5 faklı olasılık dağılımı kullanılmış ve 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 ve 1000 yıl tekerrürlü, günlük (24 saat süreli) muhtemel maksimum yağışlar HEC-SSP yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 5.4). Kolmogrov-Simirnov testi sonucuna göre, Gumbel dağılımı taşkın debileri hesabında kullanılmak üzere seçilmiştir.

Tablo 5.4. Yozgat MGİ tekerrürlü yağış değerleri (mm)

Dağılım Tipi	**2 yıl**	**5 yıl**	**10 yıl**	**25 yıl**	**50 yıl**	**100 yıl**	**200 yıl**	**500 yıl**	**1000 yıl**	**Kolmogrov-Simirnov testi istatistiği (D)**
Gumbel	36.00	45.25	51.38	59.11	64.86	70.55	76.23	83.72	89.38	**0.066**
Pearson Tip 3	35.65	45.37	51.75	59.61	65.28	70.79	76.18	83.16	88.36	0.067
Log-Pearson Tip 3	35.56	44.77	51.27	59.95	66.77	73.89	81.39	91.95	100.49	0.074
Log-Normal 2	36.48	45.26	50.66	57.13	61.74	66.21	70.58	76.27	80.53	0.075
Normal	37.72	46.53	51.14	56.05	59.22	62.07	64.68	67.85	70.07	0.114

DSİ tarafından 2019 yılında hazırlanan T.C. Taşkın ve Rüsubat Kontrolü Yönetmeliği 7 inci maddesinin (2) inci fıkrasının (a) bendinde yüksekliği talvegden itibaren yirmi beş metreden küçük olan sel kapanlarında dolusavak hesap debisi seçim kriteri tanımlanmıştır. Bu tanımda, depolama hacmi bir milyon metreküpten küçük olan dolgu sel kapanlarında, mansabında yerleşim alanı yok veya büyük maddi zarar beklenmiyor ise 500 yıl tekerrürlü, mansabında yerleşim alanı var veya büyük maddi zarar bekleniyor ise 1000 yıl tekerrürlü feyezan debisi seçilir ibaresi yer almaktadır (T.C. Resmi Gazete, 2019).

Ayrıca FEMA (2013c) barajlar için giriş hidrografı tasarım debilerinin seçilmesi ve uygulanmasına yönelik hazırladığı kılavuzda, "Yüksek, Önemli, Düşük" tehlike potansiyeline sahip barajlar için tasarım kriterleri önermiştir (Tablo 5.5). Bu kılavuzda, yüksek tehlike potansiyeline sahip barajlar için PMF debisinin, artımlı sonuç analizi veya risk bilgili karar verme süreci ile belirlenebileceği, ancak 500 yıl tekerrürlü bir selden düşük olamayacağını belirtmiştir.

Tablo 5.5. FEMA'nın önerdiği baraj giriş hidrografı tasarım gereksinimleri (FEMA, 2013c)

Tehlike Potansiyeli Sınıflandırması	Tehlike Potansiyel Sınıflandırmasının Tanımı	Giriş Tasarımı Taşkını
Yüksek	Barajın arızalanması veya yanlış işletilmesi nedeniyle olası can kaybı (ekonomik kayıp, çevresel hasar veya yaşam hattı tesislerinin bozulması da olası olabilir, ancak bu sınıflandırma için gerekli değildir)	MMF [1]
Önemli	Barajın arızalanması veya yanlış işletilmesi nedeniyle insan hayatını kaybetme olasılığı yoktur, ancak ekonomik kayıplara, çevresel hasara veya yaşam hattı tesislerinin bozulmasına neden olabilir.	%0,1 Yıllık Aşılma Olasılıklı Sel(1,000-yıllık sel) [2]
Düşük	Baraj arızası veya yanlış işletme nedeniyle insan yaşamının olası kaybı ve düşük ekonomik ve/veya çevresel kayıpların olmaması	%1 Yıllık Aşılma Olasılıklı Sel(100 yıllık sel) veya gerekçeli daha küçük bir sel

(1) Öngörülen standarttan daha düşük bir giriş hidrografı seçme potansiyelini değerlendirmek için artımlı sonuç analizi veya risk bilgili karar verme kullanılabilir. Yıllık %0.2'den daha az aşılma olasılıklı bir sel (500 yıllık sel) önerilmez.
(2) Öngörülen standarttan daha düşük bir giriş hidrografı seçme potansiyelini değerlendirmek için artımlı sonuç analizi veya risk bilgili karar verme çalışmaları kullanılabilir. Yıllık %1'den daha az aşılma olasılıklı bir sel (100 yıllık sel) tavsiye edilmez.

Çalışma bölgesinde bulunan göletler, mansabında yerleşim alanları olduğu için FEMA kılavuzuna göre yüksek tehlike potansiyeline sahiptir. Bu nedenle beş yüz yıl tekerrürlü feyezan debisinden küçük bir sel seçilemez. Ayrıca, T.C. Taşkın ve Rüsubat Kontrolü Yönetmeliği'ne göre mansabında yerleşim alanı bulunan, yüksekliği 25 m'den küçük ve rezervuar hacmi bir milyon metreküpten düşük dolgu barajlar olduğu için bin yıl tekerrürlü feyezan debisi seçilmiştir. Bu bilgileri göz önünde bulundurarak 1000 yıl tekerrür periyoduna sahip tasarım debisi hesabında, Gumbel dağılımına göre hesaplanan 1000 yıl tekerrür periyoduna sahip günlük (24 saat) muhtemel maksimum yağış kullanılmıştır.

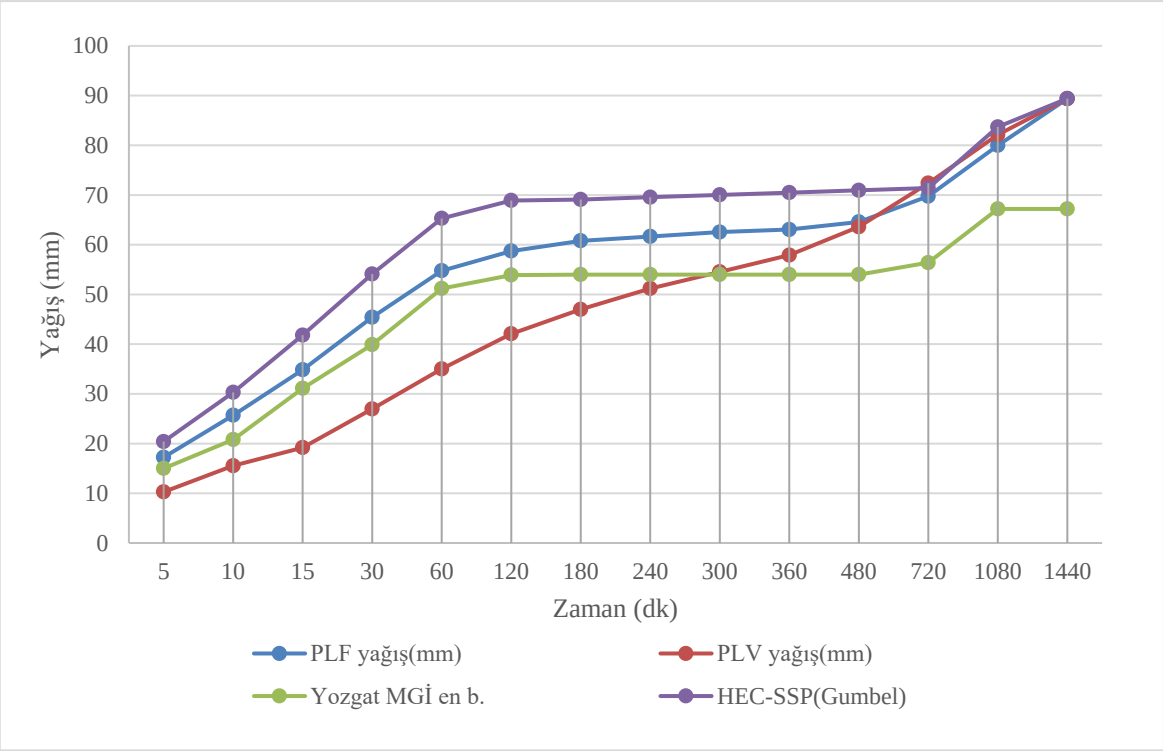
Yozgat MGİ yıllık olarak standart zamanlardaki (5, 10, 15 ve 30 dk. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 12, 18 ve 24 saat) 1000 yıl tekerrürlü, maksimum yağış değerleri PLV, PLF katsayıları ve Hec-SSP yazılımı kullanılarak hesaplanmıştır (Tablo 5.6).

Tablo 5.6. Yozgat MGİ yıllık standart zamanlardaki 1000 yıl yinelemeli yağış değerleri(mm)

Yozgat MGİ	DAKİKA				SAAT									
	5	10	15	30	1	2	3	4	5	6	8	12	18	24
PLF katsayısı	0.19	0.29	0.39	0.51	0.61	0.66	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.78	0.89	1.00
PLV katsayısı	0.11	0.17	0.21	0.30	0.39	0.47	0.53	0.57	0.61	0.65	0.71	0.81	0.92	1.00
PLF yağış (mm)	17.2	25.7	34.8	45.4	54.8	58.7	60.8	61.7	62.5	63.1	64.6	69.7	80.0	89.4
PLV yağış (mm)	10.3	15.5	19.2	27.0	35.0	42.1	47.0	51.2	54.5	57.9	63.6	72.4	82.1	89.4
HEC-SSP (mm)	20.4	30.3	41.8	54.1	65.3	68.9	69.1	67.7	67.3	66.3	64.8	71.4	83.7	89.4

Altı çizili değerler: Uygun bulunmayan ve hesaba katılmayan yağış değerleri

Yozgat MGİ, PLV ve PLF katsayıları kullanılarak elde edilen 1000 yıl yinelemeli ve 24 saat süreli eklenik yağış eğrileri Şekil 5.9'da verilmiştir. MIKE HYDRO River yazılımında, gölet giriş hidrograflarının oluşturulmasında, PLF katsayıları kullanılarak elde edilen yağış eğrisi kullanılmıştır.



Şekil 5.9. Yozgat MGİ yıllık standart zamanlardaki 1000 yıl tekerrürlü yağış grafiği

Yapılan ekstrem değer istatiksel analizi ile birlikte MGM'den temin edilen Yozgat MGİ fevk (olağanüstü olay) raporunda, bölgede geçmiş dönemlerde aşırı yağış, sel olaylarının yaşandığı, bunun sonucunda canlıların zarar gördüğü ve mal kaybı yaşandığı rapor edilmiştir (Tablo 5.7).

Tablo 5.7. Yozgat istasyonunda aşıra yağışa ilişkin fevk (olağanüstü olay) hadiseleri

İstasyon	Tarih	Olay	Zarar	Toplam Yağış Miktarı (mm)	Yağış Periyodu	Şiddet
YOZGAT	13.06.2009	44- Şiddetli yağış nedeniyle yerleşim alanlarında sel	44- İnsan - hayvan - ulaşım ve yerleşim yerleri zarar gördü	39.40		
YOZGAT	17.06.2010	43- Şiddetli yağış _ Sel _ Su baskını	01- Ekili tarım alanları zarar gördü			02- Orta
YOZGAT	18.06.2010	43- Şiddetli yağış _ Sel _ Su baskını	05- Yerleşim yerleri zarar gördü			02- Orta
YOZGAT	22.06.2010	43- Şiddetli yağış _ Sel _ Su baskını	05- Yerleşim yerleri zarar gördü	47.50	1 Saat	03- Kuvvetli
YOZGAT	29.05.2015	43- Şiddetli yağış _ Sel _ Su baskını	05- Yerleşim yerleri zarar gördü	24.20	6 Saat	01- Hafif
YOZGAT	06.03.2018	43- Şiddetli yağış _ Sel _ Su baskını	05- Yerleşim yerleri zarar gördü	20.80	24 Saat	03- Kuvvetli
YOZGAT	14.06.2019	43- Şiddetli yağış _ Sel _ Su baskını	07- Hayvanlar zarar gördü			01- Hafif
YOZGAT	18.06.2019	43- Şiddetli yağış _ Sel _ Su baskını	01- Ekili tarım alanları zarar gördü	36.30	6 SAAT	02- Orta

5.2.2. Yağış-Akış Modeli Parametrelerinin Belirlenmesi

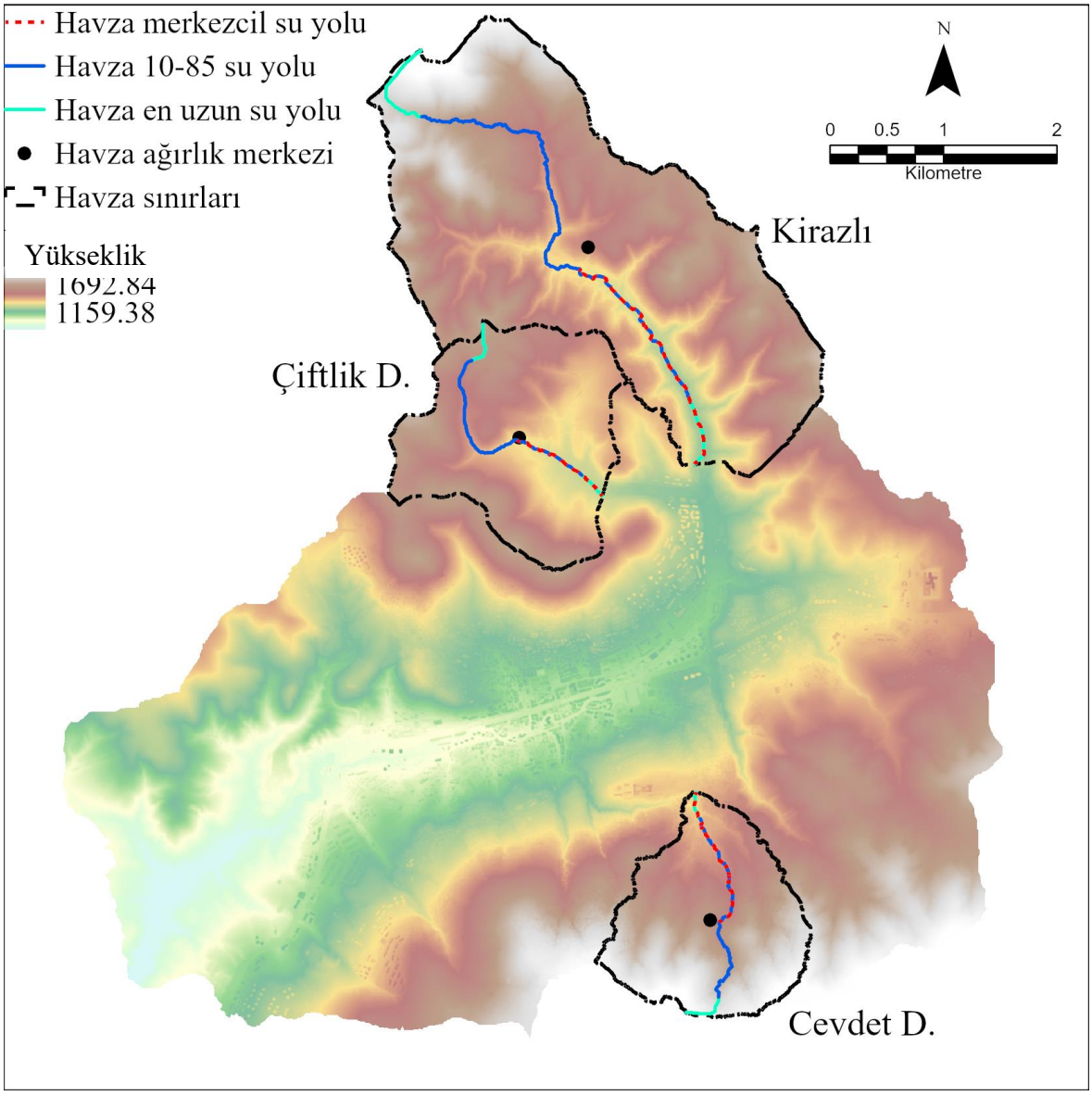
5.2.2.1. Havza Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Yağış-Akış modelinin oluşturulabilmesi için öncelikli olarak havza karakteristiklerinin (alan, eğim vs.) bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla Hec-HMS hidrolojik havza modelleme yazılımında, SYM5 verisi kullanılarak havza analizi yapılmış, havza sınırları ve havza karakteristikleri belirlenmiştir (Tablo 5.8).

Tablo 5.8. Çalışma bölgesi havza karakteristikleri

Havza	Havza alanı(km^2)	En uzun akış yolu uzunluğu(km)	En uzun akış yolu eğimi	Merkez akış yolu uzunluğu	Merkez akış yolu eğimi	Havzanın 10-85 uzunluğu(km)	Havzanın 10-85 eğimi	Ortalama havza eğimi	Havza Rölyefi	Rölyef oranı	Uzama oranı	Drenaj yoğunluğu
Çiftlik Dere	3.044	2.75	5.71%	0.99	1.45%	2.06	5.97%	2.11%	171.17	0.06	0.72	0.11
Kirazlı	8.065	6.42	5.08%	2.50	1.27%	4.82	4.13%	3.06%	326.57	0.05	0.50	0.45
Bekir Cevdet Dündar	2.396	2.70	9.16%	1.45	5.42%	2.02	7.80%	3.12%	269.94	0.10	0.65	0.04

Hec-HMS yazılımında belirlenen havza karakteristikleri, ArcGIS yazılımına aktarılarak göletlerin havza sınırları ve karakteristikleri haritası hazırlanmıştır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10. Çalışma alanı havza sınırları ve havza karakteristikleri haritası

Havzanın 10-85 uzunluğu; havza çıkışından yukarı akış yönünde ölçülen en uzun akış yolunun toplam uzunluğunun %10'u temsil eden bir noktada başlar ve toplam uzunluğun %85'ini temsil eden bir noktada biter. 10-85 eğimi (Benson eğimi), genellikle havza ayrımının yakınında bulunan en uzun akış yolunun aşırı memba yüksekliklerinden etkilenmediğinden, havza içindeki bir bütün olarak akış yolu eğimlerini daha çok temsil eder (HEC-HMS, t.y.). Bu nedenle MIKE HYDRO River yağış-akış modelinde havza 10-85 uzunluğu ve eğimi kullanılmıştır.

5.2.2.2. SCS Eğri Numarasının Belirlenmesi

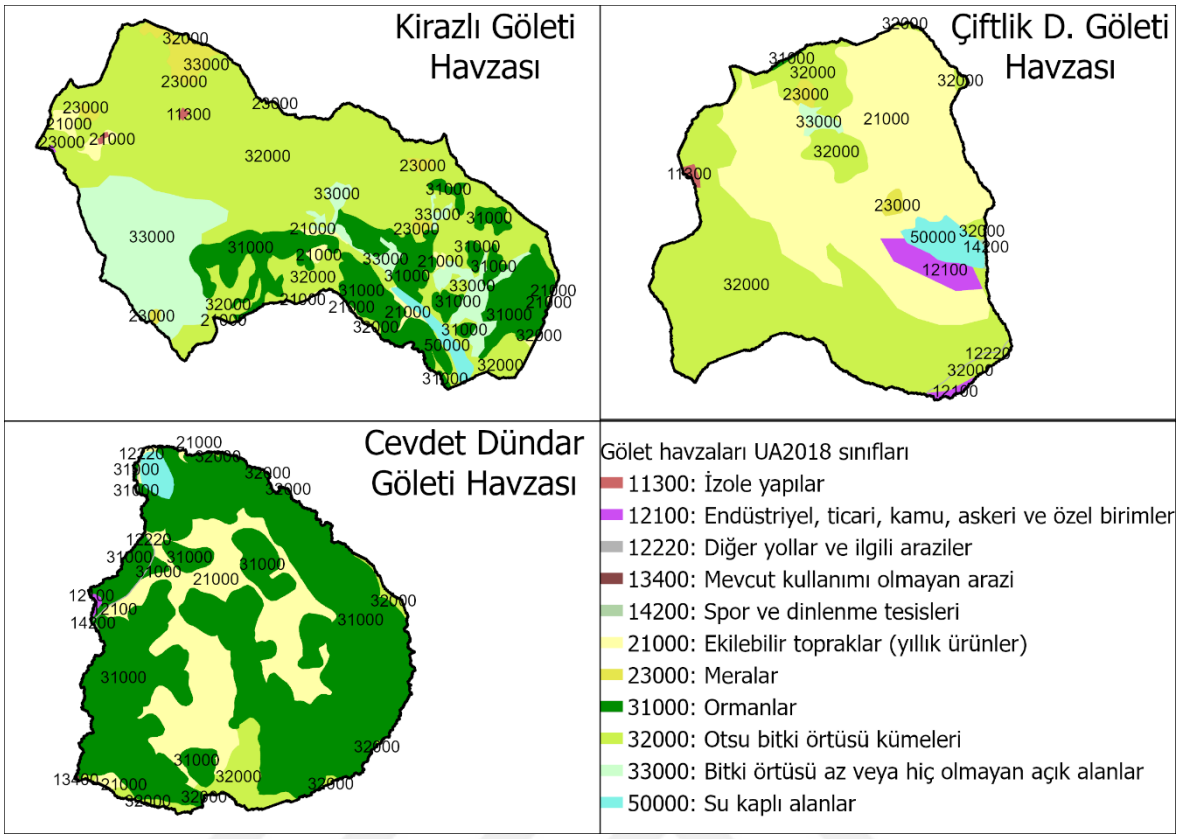
SCS eğri numarası yönteminde, eğri numarasının belirlenebilmesi için öncelikli olarak Hidrolojik Toprak Gruplarının (HTG) belirlenmesi gerekmektedir. Bu kapsamda BTG (Bkz. Şekil 3.10), toprak derinliği (Bkz. Şekil 3.11), Eğim (Bkz. Şekil 3.12) haritaları sayısallaştırılmıştır. Alansal dağılımlarına göre (Bkz. Tablo 4.6) HTG-EDK kombinasyon değerleri elde edilmiştir. BTG ve Toprak Özelliklerinin Kombinasyonu (TOK) değerine göre (Bkz. Tablo 4.7) hidrolojik toprak grupları, gölet havzaları için belirlenmiştir (Tablo 5.9).

Tablo 5.9. Gölet havzaları hidrolojik toprak grupları

Büyük Toprak Grubu (BTG)	Havza	Eğim (%)	Toprak derinliği (cm)	Alan (m^2)	Alan (%)	Eğim – Derinlik Kombinasyonu (EDK)	Hidrolojik Toprak Grubu (HTG)
Kireçsiz Kahverengi Topraklar (U)	Bekir Cevdet Dündar	-	-	30000	1%	-	-
		20-30	0-20	1923300	80%	20	C
		12-20	20-50	445300	19%	15	C
		-	-	2398600	100%	18.8	C
Kireçsiz Kahverengi Topraklar (U)	Kirazlı	-	-	100000	1%	-	-
		20-30	0-20	5637805	70%	20	C
		12-20	20-50	2335195	29%	15	C
		-	-	8073000	100%	18.3	C
Kireçsiz Kahverengi Topraklar (U)	Çiftlik Dere	-	-	70000	2%	-	-
		20-30	0-20	235774	8%	20	C
		12-20	20-50	2740726	90%	15	C
		-	-	3046500	100%	15.0	C

Gölet havzaları HTG'si genel olarak C grubu olarak belirlenmiştir. ArcGIS yazılımında gölet havzalarının arazi kullanımı/örtüsü haritaları hazırlanmış ve arazi kullanımı/örtüsü sınıflarına göre, arazi parçalarının alanları hesaplanmıştır (Şekil 5.11).

CORINE UA 2018 arazi kullanımı/örtüsü verisi, HTG'ye göre eğri numarası sınıflandırma değerleri ile eşleştirilmiş (Bkz. Tablo 4.8) ve gölet havzaları için yağış-akış modelinde kullanılacak eğri numaraları belirlenmiştir (Tablo 5.10).



Şekil 5.11. Gölet havzalarının arazi kullanımı/örtüsü haritaları

Tablo 5.10. CORINE UA 2018 arazi kullanımı/örtüsüne göre belirlenen SCS eğri numaraları

CORINE UA 2018 arazi kullanımı/örtüsü sınıfı	**Arazi kullanımı (Bkz. Tablo 4.8)**	**SCS Eğri Numarası**	**HTG**
Bitki örtüsü az veya hiç olmayan açık alanlar (plajlar, kum tepeleri, çıplak kayalar, buzullar)	Açık alanlar(Park, çim saha vb)	74	C
Mevcut kullanımı olmayan arazi			
Spor ve dinlenme tesisleri			
Meralar	Çayır, otlak	71	
Otsu bitki örtüsü kümeleri (doğal otlaklar, bozkırlar...)			
Endüstriyel, ticari, kamu, askeri ve özel birimler	Endüstriyel alanlar	91	
Ormanlar	Seyrek orman, koru	76	
Su Yüzeyleri	Su/sulak alanlar	100	
Ekilebilir topraklar (yıllık ürünler)	Tarım alanları	83	
İzole yapılar	Yerleşim (Düşük yoğunluklu)	78	
Diğer yollar ve ilgili araziler	Yerleşim (Yüksek yoğunluklu)	90	

Son olarak, eğri numarası (CN) belirlenen arazi parçalarının alansal ağırlığı kullanılarak elde edilen, Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i havzaları, SCS eğri numaraları hesap tabloları sırasıyla aşağıda verilmiştir (Tablo 5.11, Tablo 5.12, Tablo 5.13).

Tablo 5.11. Kirazlı Gölet'i SCS eğri numarası hesap tablosu

CORINE UA 2018 Arazi kullanımı/örtüsü sınıfı	Alan(ha)	Alan(%)	HTG	CN	Ağırlıklı CN
Otsu bitki örtüsü kümeleri (doğal otlaklar, bozkırlar)	454.03	56.31%	C	71	39.98
Ormanlar	162.27	20.12%	C	76	15.29
Bitki örtüsü az veya hiç olmayan açık alanlar (plajlar, kum tepeleri, çıplak kayalar, buzullar)	141.56	17.56%	C	74	12.99
Meralar	21.26	2.64%	C	71	1.87
Ekilebilir topraklar (yıllık ürünler)	15.61	1.94%	C	83	1.61
Su Yüzeyleri	10.12	1.26%	C	100	1.26
İzole yapılar	1.19	0.15%	C	78	0.11
Endüstriyel, ticari, kamu, askeri ve özel birimler	0.26	0.03%	C	91	0.03
Genel Toplam	**806.31**	**100%**	**C**	**-**	**73**

Tablo 5.12. Çiftlik Dere Gölet'i SCS eğri numarası hesap tablosu

CORINE UA 2018 arazi kullanımı/örtüsü sınıfı	Alan(ha)	Alan(%)	HTG	CN	Ağırlıklı CN
Otsu bitki örtüsü kümeleri (doğal otlaklar, bozkırlar)	143.31	47.10%	C	71	33.44
Ekilebilir topraklar (yıllık ürünler)	137.09	45.05%	C	83	37.39
Su Yüzeyleri	8.46	2.78%	C	100	2.78
Endüstriyel, ticari, kamu, askeri ve özel birimler	8.30	2.73%	C	91	2.48
Meralar	3.15	1.04%	C	71	0.74
Bitki örtüsü az veya hiç olmayan açık alanlar (plajlar, kum tepeleri, çıplak kayalar, buzullar)	2.18	0.72%	C	74	0.53
İzole yapılar	0.74	0.24%	C	78	0.19
Ormanlar	0.41	0.14%	C	76	0.10
Diğer yollar ve ilgili araziler	0.37	0.12%	C	90	0.11
Spor ve dinlence tesisleri	0.26	0.09%	C	74	0.06
Genel Toplam	**304.28**	**100%**			**78**

Tablo 5.13. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i SCS eğri numarası hesap tablosu

CORINE UA 2018 arazi kullanımı/örtüsü sınıfı	Alan(ha)	Alan(%)	HTG	CN	Ağırlıklı CN
Ormanlar	170.32	71.09%	C	76	54.03
Ekilebilir topraklar (yıllık ürünler)	53.55	22.35%	C	83	18.55
Otsu bitki örtüsü kümeleri (doğal otlaklar, bozkırlar)	11.64	4.86%	C	71	3.45
Su Yüzeyleri	3.11	1.30%	C	100	1.30
Diğer yollar ve ilgili araziler	0.49	0.20%	C	90	0.18
Endüstriyel, ticari, kamu, askeri ve özel birimler	0.34	0.14%	C	91	0.13
Spor ve dinlence tesisleri	0.07	0.03%	C	74	0.02
Mevcut kullanımı olmayan arazi	0.04	0.02%	C	74	0.01
Genel Toplam	**239.57**	**100%**	**-**	**-**	**78**

5.3. Baraj Yıkılması Gedik Parametrelerinin Belirlenmesi

Baraj yıkılması gedik parametreleri Bölüm 4.2'de bahsedilen beş farklı tahmin yöntemi kullanılarak farklı yıkılma senaryoları için belirlenmiştir. FEMA (2013a), hazırlamış olduğu rehberde güneşli gün ve yağışlı gün için iki farklı yıkılma senaryosuna göre taşkın yayılım alanlarının belirlenmesini önermiştir.

İlk senaryoda, yağış olmayan bir günde yıkılmanın gerçekleştiği varsayılmıştır. Bu durumda rezervuar su seviyesi dolu savak giriş kotunda iken baraj gövdesinde oluşan borulanma sonucu barajın yıkılması durumuna göre gedik parametreleri belirlenmiştir. Kirazlı Gölet'inin yağış olmayan bir günde, su seviyesi dolu savak giriş kotunda iken yıkılması durumunda oluşan gedik parametreleri beş farklı yöntem kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 5.14).

Tablo 5.14. Kirazlı Gölet'i güneşli gün yıkılma senaryosu parametreleri

Kirazlı Gölet'i Güneşli Gün Yıkılma Senaryosu			
Gölet Kret Seviyesi (m):	1358	Gedik Taban seviyesi (m):	1338
Yıkılma Anında Rezervuar Su Seviyesi: (m)	1352	Yıkılma Anında Rezervuar Hacmi: (1000 m^3)	430.33
		Yıkılma Tipi:	Borulanma (Piping)
Macdonald vd. Parametreleri			
Gölet Kret Genişliği (m):	12	Gölet Gövdesi Memba Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Baraj Dolgu Tipi	Homojen toprak dolgu	Gölet Gövdesi Mansap Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Xu & Zhang ve Von Thun & Gillette Parametreleri			
Baraj Tipi:	Homejen/Zonlu dolgu	Gölet Gövde Erozyon Durumu:	Yüksek
Yöntem	Gedik Taban Genişliği (m)	Gedik Şev Eğimi(Y:D)	Gedik Oluşma Süresi(saat)
Macdonald vd.	-4	0.5	0.38
Froehlich (1995)	2	0.9	0.17
Froehlich (2008)	5	0.7	0.18
Von Thun & Gillette	31	0.5	0.21
Xu & Zhang	15	1.01	0.40

İkinci senaryoda, yağışlı bir günde yıkılmanın gerçekleştiği varsayılmıştır. Bu durumda, yağış sonucu baraj gövdesi üzerinden suyun taşması sonucu barajın yıkılması durumuna göre gedik parametreleri belirlenmiştir. Kirazlı Gölet'inin yağışlı bir günde, su seviyesi kret kotunun üzerine çıktığında yıkılması durumunda oluşan gedik parametreleri beş farklı yöntem kullanılarak belirlenmiştir (Tablo 5.15).

Tablo 5.15. Kirazlı Gölet'i yağışlı gün yıkılma senaryosu parametreleri

Kirazlı Gölet'i Yağışlı Gün Yıkılma Senaryosu			
Gölet Kret Seviyesi (m):	1358	Gedik Taban seviyesi (m):	1338
Yıkılma Anında Rezervuar Su Seviyesi (m):	1358.1	Yıkılma Anında Rezervuar Hacmi: (1000 m^3)	1045.84
		Yıkılma Tipi:	Üstten aşma (Overtopping)
Macdonald vd. Parametreleri			
Gölet Kret Genişliği (m):	12	Gölet Gövdesi Memba Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Baraj Dolgu Tipi	Homojen toprak dolgu	Gölet Gövdesi Mansap Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Xu & Zhang ve Von Thun & Gillette Parametreleri			
Baraj Tipi:	Homejen/Zonlu dolgu	Gölet Gövde Erozyon Durumu:	Yüksek
Yöntem	Gedik Taban Genişliği (m)	Gedik Şev Eğimi(Y:D)	Gedik Oluşma Süresi(saat)
Macdonald vd.	1	0.5	0.53
Froehlich (1995)	10	1.4	0.27
Froehlich (2008)	13	1	0.29
Von Thun & Gillette	46	0.5	0.3
Xu & Zhang	24	1.71	0.38

Çiftlik Dere Gölet'i, güneşli ve yağışlı gün için belirlenen yıkılma parametreleri sırasıyla Tablo 5.16'da ve Tablo 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.16. Çiftlik Dere Gölet'i güneşli gün yıkılma senaryosu parametreleri

Çiftlik Dere Gölet'i Güneşli Gün Yıkılma Senaryosu			
Gölet Kret Seviyesi (m):	1374.5	Gedik Taban seviyesi (m):	1359
Yıkılma Anında Rezervuar Su Seviyesi (m):	1373	Yıkılma Anında Rezervuar Hacmi: (1000 m^3)	270.56
		Yıkılma Tipi:	Borulanma (Piping)
Macdonald vd. Parametreleri			
Gölet Kret Genişliği (m):	6	Gölet Gövdesi Memba Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Baraj Dolgu Tipi	Homojen toprak dolgu	Gölet Gövdesi Mansap Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Xu & Zhang ve Von Thun & Gillette Parametreleri			
Baraj Tipi:	Homejen/Zonlu dolgu	Gölet Gövde Erozyon Durumu:	Yüksek
Yöntem	Gedik Taban Genişliği (m)	Gedik Şev Eğimi(Y:D)	Gedik Oluşma Süresi(saat)
Macdonald vd.	-2	0.5	0.33
Froehlich (1995)	3	0.9	0.16
Froehlich (2008)	6	0.7	0.19
Von Thun & Gillette	33	0.5	0.21
Xu & Zhang	9	0.97	0.27

Tablo 5.17. Çiftlik Dere Gölet'i yağışlı gün yıkılma senaryosu parametreleri

Çiftlik Dere Gölet'i Yağışlı Gün Yıkılma Senaryosu			
Gölet Kret Seviyesi (m):	1374.5	Gedik Taban seviyesi (m):	1359
Yıkılma Anında Rezervuar Su Seviyesi (m):	1374.6	Yıkılma Anında Rezervuar Hacmi: (1000 m^3)	402.54
		Yıkılma Tipi:	Üstten aşma (Overtopping)
Macdonald vd. Parametreleri			
Gölet Kret Genişliği (m):	6	Gölet Gövdesi Memba Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Baraj Dolgu Tipi	Homojen toprak dolgu	Gölet Gövdesi Mansap Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Xu & Zhang ve Von Thun & Gillette Parametreleri			
Baraj Tipi:	Homejen/Zonlu dolgu	Gölet Gövde Erozyon Durumu:	Yüksek
Yöntem	Gedik Taban Genişliği (m)	Gedik Şev Eğimi(Y:D)	Gedik Oluşma Süresi(saat)
Macdonald vd.	0	0.5	0.38
Froehlich (1995)	5	1.4	0.2
Froehlich (2008)	9	1	0.23
Von Thun & Gillette	37	0.5	0.23
Xu & Zhang	16	1.67	0.29

Bekir Cevdet Dündar Gölet'i, güneşli ve yağışlı gün için belirlenen yıkılma parametreleri sırasıyla Tablo 5.18 ve Tablo 5.19'da verilmiştir. Bekir Cevdet Dündar Gölet'inde dolu savak yapısı gözlemlenmediği için üstten aşma ve borulanma senaryolarında, yıkılma anındaki su seviyesi kret üst kotu olarak belirlenmiştir.

Tablo 5.18. Çiftlik Dere Gölet'i güneşli gün yıkılma senaryosu parametreleri

Bekir Cevdet Dündar Gölet'i Güneşli Gün Yıkılma Senaryosu			
Gölet Kret Seviyesi (m):	1410	Gedik Taban seviyesi (m):	1391
Yıkılma Anında Rezervuar Su Seviyesi: (m)	1410	Yıkılma Anında Rezervuar Hacmi: (1000 m^3)	176.59
		Yıkılma Tipi:	Borulanma (Piping)
Macdonald vd. Parametreleri			
Gölet Kret Genişliği (m):	10	Gölet Gövdesi Memba Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Baraj Dolgu Tipi	Homojen toprak dolgu	Gölet Gövdesi Mansap Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Xu & Zhang ve Von Thun & Gillette Parametreleri			
Baraj Tipi:	Homejen/Zonlu dolgu	Gölet Gövde Erozyon Durumu:	Yüksek
Yöntem	Gedik Taban Genişliği (m)	Gedik Şev Eğimi(Y:D)	Gedik Oluşma Süresi(saat)
Macdonald vd.	-5	0.5	0.32
Froehlich (1995)	-2	0.9	0.11
Froehlich (2008)	1	0.7	0.12
Von Thun & Gillette	44	0.5	0.29
Xu & Zhang	6	0.85	0.18

Tablo 5.19. Çiftlik Dere Gölet'i yağışlı gün yıkılma senaryosu parametreleri

Bekir Cevdet Dündar Gölet'i Yağışlı Gün Yıkılma Senaryosu			
Gölet Kret Seviyesi (m):	1410	Gedik Taban seviyesi (m):	1391
Yıkılma Anında Rezervuar Su Seviyesi: (m)	1410.1	Yıkılma Anında Rezervuar Hacmi: (1000 m^3)	176.59
		Yıkılma Tipi:	Üstten aşma (Overtopping)
Macdonald vd. Parametreleri			
Gölet Kret Genişliği (m):	10	Gölet Gövdesi Memba Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Baraj Dolgu Tipi	Homojen toprak dolgu	Gölet Gövdesi Mansap Tarafı Eğimi(Y:D)	3
Xu & Zhang ve Von Thun & Gillette Parametreleri			
Baraj Tipi:	Homejen/Zonlu dolgu	Gölet Gövde Erozyon Durumu:	Yüksek
Yöntem	Gedik Taban Genişliği (m)	Gedik Şev Eğimi(Y:D)	Gedik Oluşma Süresi(saat)
MacDonald vd.	-5	0.5	0.32
Froehlich (1995)	-6	1.4	0.11
Froehlich (2008)	0	1	0.12
Von Thun & Gillette	44	0.5	0.29
Xu & Zhang	11	1.46	0.19

Gölet barajlarının yıkılmaları durumunda, yıkılma anında haznede bulunan suyun tamamının tahliye olması amaçlanmıştır. Bu nedenle gedik taban seviyesi, gölet taban seviyesi olarak belirlenmiştir. Bu durumda MacDonald vd. (1984) ve Froehlich (1995) yöntemleri kullanıldığında bazı senaryolarda, gedik taban genişlikleri negatif değerler almıştır. Ayrıca Von Thun & Gillette (1990) ve Xu & Zhang (2009) yöntemleri için girdi parametreleri (gövde tipi, erozyon durumu) tam olarak tespit edilememiştir. Sonuç olarak üç gölet için üstten aşma ve borulanma senaryolarında, gedik taban genişliğinin pozitif olması ve girdi parametrelerinin yeterli doğrulukta tespit edilebildiği için Froehlich (2008) yöntemi kullanılarak elde edilen gedik parametreleri kullanılmıştır (Tablo 5.20).

Tablo 5.20. Froehlich (2008) yöntemi kullanılarak elde edilen gedik parametreleri

Gölet	Senaryo	Yöntem	Gedik Taban Seviyesi (m)	Rezervuar Su Seviyesi(m)	Gedik Taban Genişliği (m)	Gedik Şev Eğimi(Y:D)	Gedik Oluşma Süresi(saat)
Kirazlı	Borulanma	Froehlich (2008)	1338	1352	5	0.7	0.18
Kirazlı	Üstten aşma		1338	1358.1	13	1	0.29
Çiftlik Dere	Borulanma		1359	1373	6	0.7	0.19
Çiftlik Dere	Üstten aşma		1359	1374.6	9	1	0.23
B. Cevdet Dündar	Borulanma		1391	1410	1	0.7	0.12
B. Cevdet Dündar	Üstten aşma		1391	1410.1	0	1	0.12

5.4. MIKE HYDRO River ile Baraj Yıkılmalarının 1B Modellenmesi

5.4.1. Gölet Giriş Hidrograflarının Farklı Yağış Senaryoları için Belirlenmesi

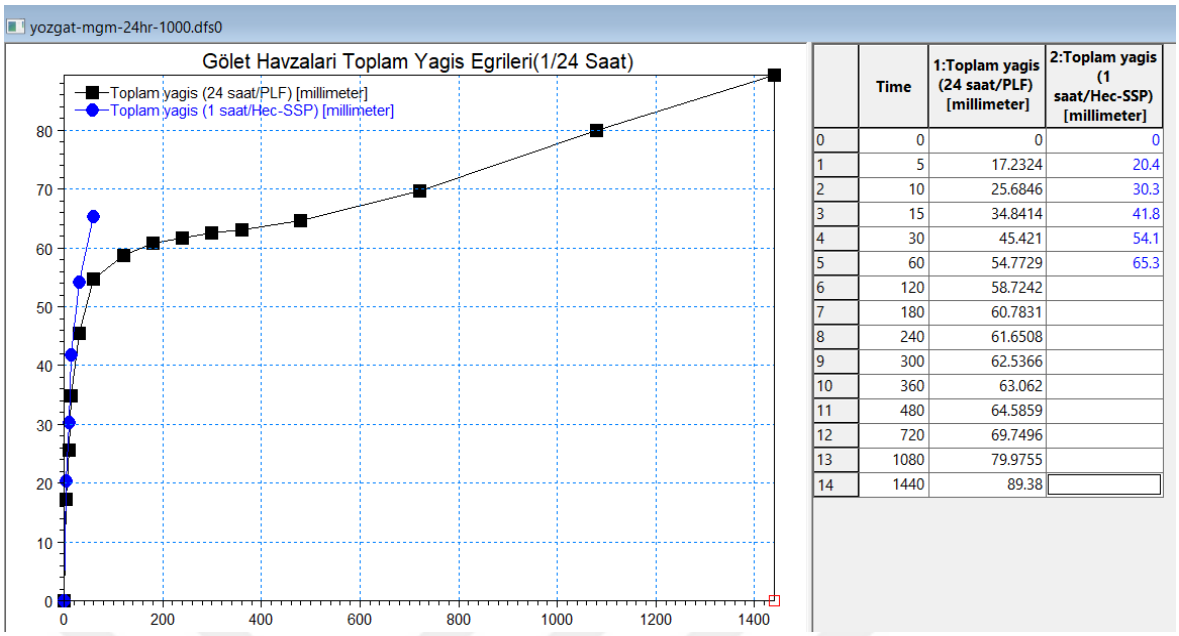
Gölet giriş hidrografları iki farklı yağış senaryosu için belirlenmiştir. Birinci senaryoda, Gumbel dağılımı kullanılarak elde edilen ve bir yılda aşılma olasılığı % 0.1 (1000 yıl) olan 1 saatlik toplam yağış eğrisi kullanılmıştır. Bir saat süreli yağıştan kısa süreli standart zamanlarda görülen yağış değerleri (5dk, 10dk, 15dk ve 30dk) ayrı ayrı analiz edilerek, Gumbel dağılımına göre bir yılda aşılma olasılığı % 0.1 (1000 yıl) olan değerler elde edilmiştir.

İkinci senaryoda ise Gumbel dağılımı kullanılarak elde edilen ve bir yılda aşılma olasılığı % 0.1 (1000 yıl) olan 24 saatlik toplam yağış eğrisi kullanılmıştır. Ancak 24 saat süreli yağıştan kısa süreli standart zamanlarda görülen yağış değerleri (5, 10, 15 ve 30 dk. 1,2,3,4,5,6,8,12 ve 18 saat), MGM'den temin edilen Yozgat MGİ tablosunda (Bkz. Tablo 3.2) yer alan PLF katsayıları kullanılarak elde edilmiştir (Tablo 5.21). Bu şekilde kullanılmasının sebebi, Gumbel dağılımı kullanılarak elde edilen ara değerlerin bir kısmının (4 saat, 5 saat, 6 saat, 8 saat), daha kısa süreli maksimum yağışlardan küçük olmasıdır (Bkz. Tablo 5.6). Çalışmada kullanılan 1 saatlik ve 24 saatlik toplam yağış değerleri Tablo 5.21'de, MIKE Zero yazılımında oluşturulan toplam yağış zaman serileri (dfs0 uzantılı) ise Şekil 5.12'de görülmektedir.

Tablo 5.21. Gölet giriş hidrograflarının hesaplanmasında kullanılan 1 saat ve 24 saat süreli (1000 yıl tekerrürlü) yağış değerleri

Yozgat MGİ	**DAKİKA**				**SAAT**									
	5	**10**	**15**	**30**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**8**	**12**	**18**	**24**
PLF katsayısı	0.19	0.29	0.39	0.51	0.61	0.66	0.68	0.69	0.70	0.71	0.72	0.78	0.89	1.00
24 saat (PLF)	17.2	25.7	34.8	45.4	54.8	58.7	60.8	61.7	62.5	63.1	64.6	69.7	80.0	89.4
1 saat(Hec-SSP)	20.4	30.3	41.8	54.1	65.3									

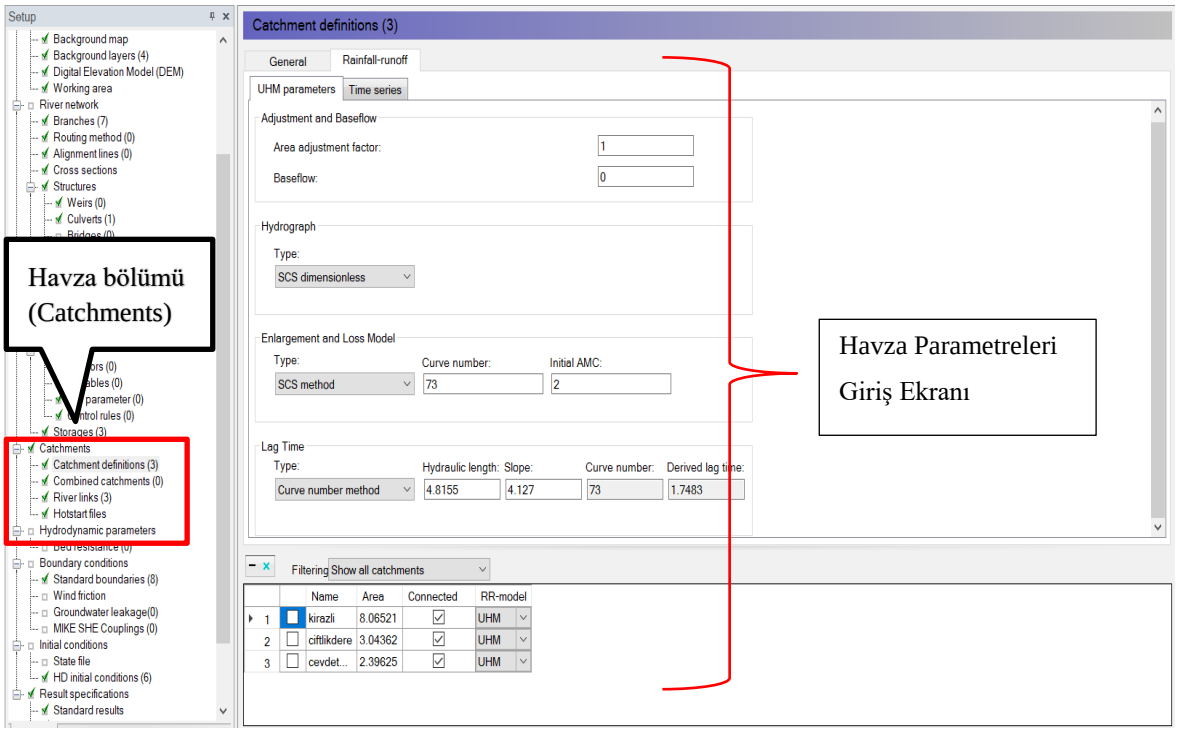
Toplam yağış eğrisi ve yağış-akış modeli parametreleri (birim hidrograf tipi, yağış kayıp modeli, eğri numarası, gecikme zamanı, havza alanı, havza eğimi, havza suyolu uzunluğu vs.) MIKE HYDRO River modülünde tanımlanarak, yağış-akış modeli kurulmuştur (Şekil 5.13).



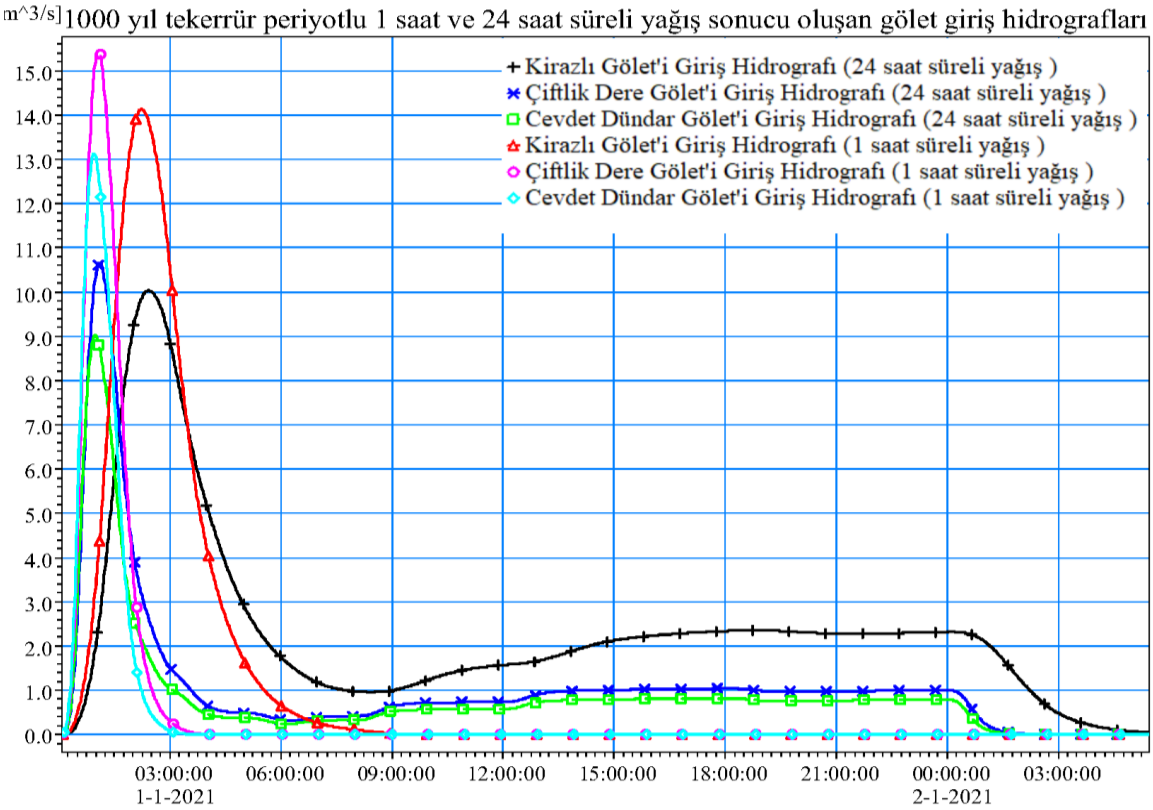
	Time	1:Toplam yagis (24 saat/PLF) [millimeter]	2:Toplam yagis (1 saat/Hec-SSP) [millimeter]
0	0	0	0
1	5	17.2324	20.4
2	10	25.6846	30.3
3	15	34.8414	41.8
4	30	45.421	54.1
5	60	54.7729	65.3
6	120	58.7242	
7	180	60.7831	
8	240	61.6508	
9	300	62.5366	
10	360	63.062	
11	480	64.5859	
12	720	69.7496	
13	1080	79.9755	
14	1440	89.38	

Şekil 5.12. Gölet giriş hidrograflarının hesaplanmasında kullanılan 1 saat ve 24 saat süreli (1000 yıl tekerrürlü) toplam yağış eğrileri

Gölet giriş hidrografları, SCS eğri numarası yöntemi kullanılarak 1 saatlik ve 24 saatlik yağışlar için MIKE HYDRO River yağış-akış modülünde hesaplanmıştır. Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i için hesaplanan giriş hidrografları Şekil 5.14'te verilmiştir.



Şekil 5.13. MIKE HYDRO River havza parametreleri giriş ekranı



Şekil 5.14. Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i giriş hidrografları (1saat ve 24 saat süreli yağış)

SCS sentetik birim hidrograf ve SCS eğri numarası yağış kayıp modeli kullanılarak elde edilen gölet giriş hidrograflarına ait özet bilgiler Tablo 5.22'de verilmiştir.

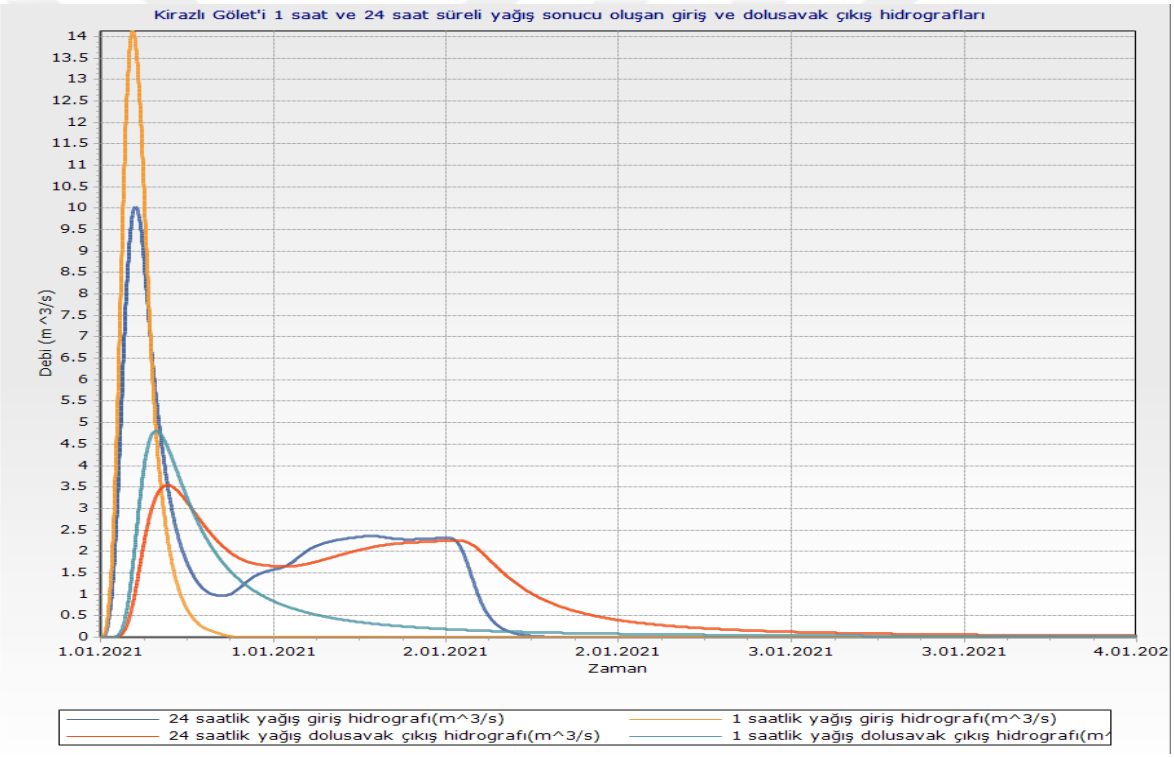
Tablo 5.22. Gölet giriş hidrograflarına ait özet bilgiler

Gölet Adı	Drenaj Alanı (km^2)	Gecikme süresi (saat)	Yağış Başlangıç Zamanı	Pik Zamanı	Yağış Süresi (saat)	Pik Giriş Debisi (m^3/s)	Toplam Giriş Hacmi ($1000m^3$)
Kirazlı	8.07	1.75	1-1-2021 00:00:00	1-1-2021 02:26:00	24	10.03	244.12
				1-1-2021 02:14:00	1	14.13	124.22
Çiftlik Dere	3.04	0.64		1-1-2021 01:07:00	24	10.657	116.81
				1-1-2021 01:04:00	1	15.44	64.49
Bekir Cevdet Dündar	2.40	0.55		1-1-2021 00:59:00	24	9.01	91.96
				1-1-2021 00:56:59	1	13.13	50.78

Gölet havza parametrelerinin (alan, eğim, hidrolik uzunluk, eğri numarası) farklı olmasından kaynaklı olarak, giriş hidrografları pik debileri ve gecikme zamanlarında farklılıklar olduğu görülmektedir.

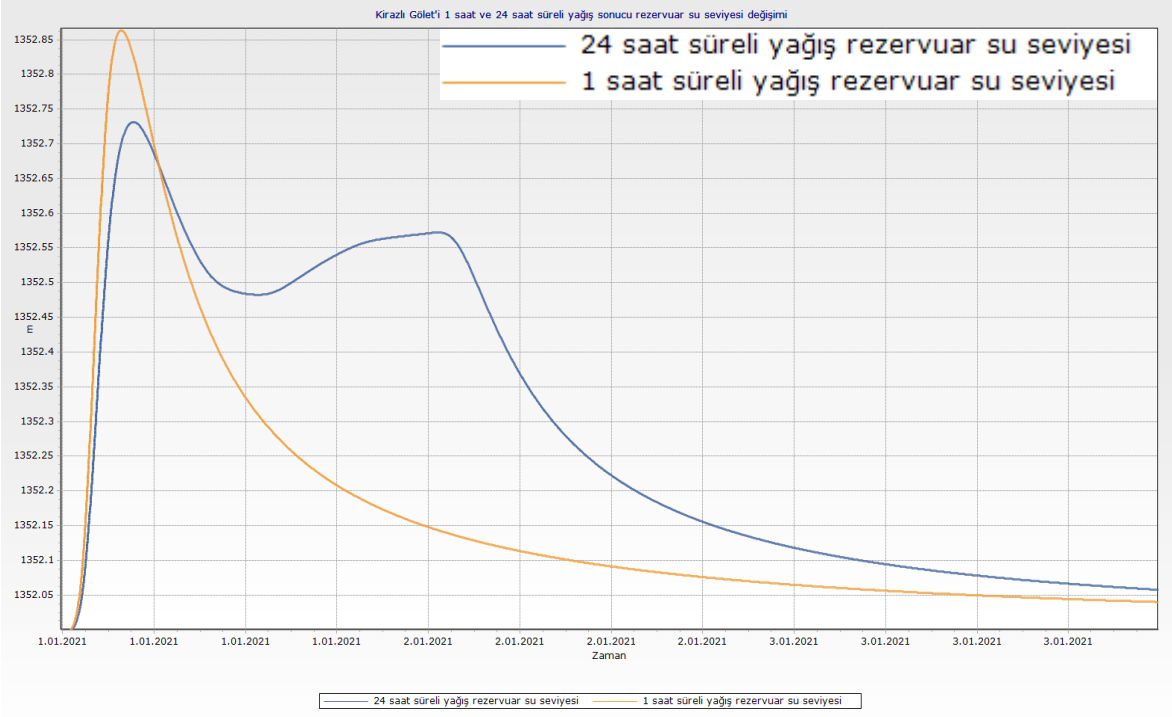
5.4.2. Gölet Çıkış Hidrograflarının Farklı Senaryolar için Tahmini

Farklı yağış süreleri (1 saat ve 24 saat) ve farklı yıkılma senaryoları (güneşli gün (borulanma) / yağışlı gün (üstten aşma) için, gölet çıkış hidrografları belirtilen yıkılma parametreleri kullanılarak tahmin edilmiştir (Bkz. Tablo 5.20). Ancak öncelikli olarak 1000 yıl tekerrürlü, 1 saat süreli ve 24 saat süreli yağışlar için göletlerin dolusavak kapasiteleri test edilmiştir. Rezervuar su seviyeleri, dolu savak giriş kotunda iken gelen yağış sonucu, su seviyesinin gölet kret seviyesi üzerine çıkıp çıkmadığı tespit edilmiştir. Farklı yağış senaryoları için Kirazlı Gölet'i giriş ve dolusavak çıkış hidrografları Şekil 5.15'te verilmiştir.



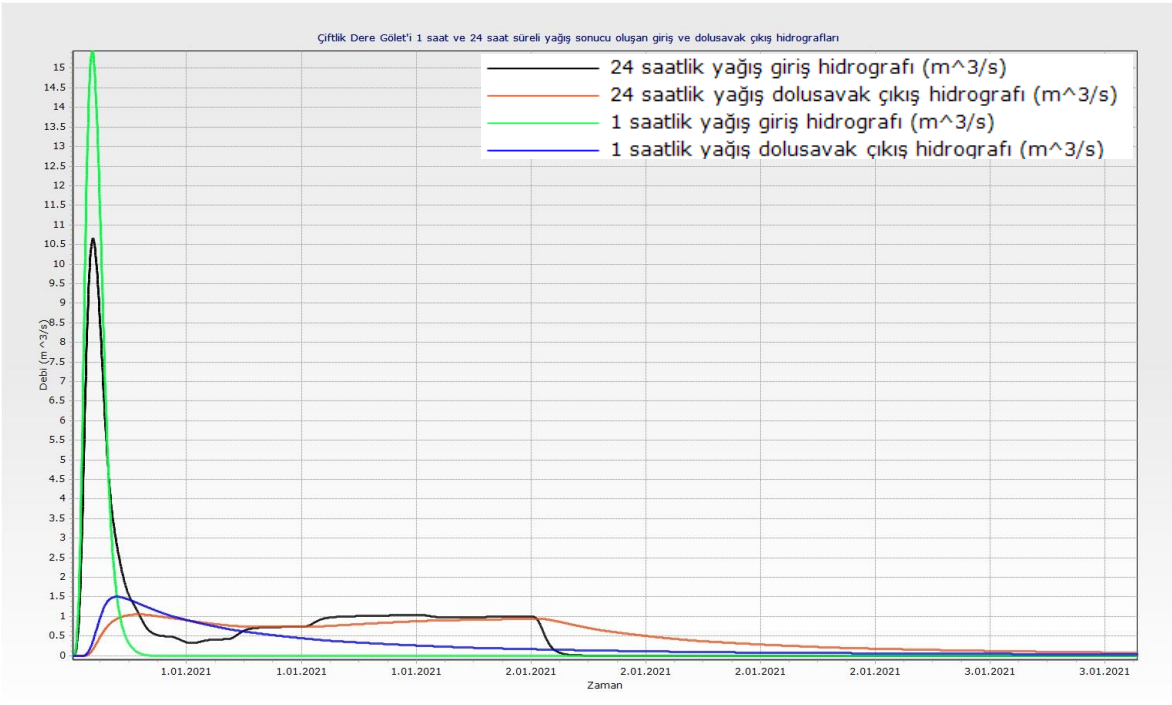
Şekil 5.15. Kirazlı Gölet'i giriş ve dolusavak çıkış hidrografları

Zamana bağlı olarak elde edilen Kirazlı Gölet'i rezervuar su seviyesi değişimi Şekil 5.16'da görülmektedir. Rezevuar su seviyesi, dolusavak giriş seviyesinde (1352 m) iken, 1 saatlik yağış sonucunda maksimum 1352.86 m seviyesine, 24 saatlik yağış sonucunda maksimum 1352.73 m seviyesine yükselmektedir. Bu durumda iki farklı senaryo için dolusavak kapasitesinin yeterli olduğu ve Kirazlı Gölet'i kret seviyesi (1358 m) üzerinden suyun aşmadığı belirlenmiştir.



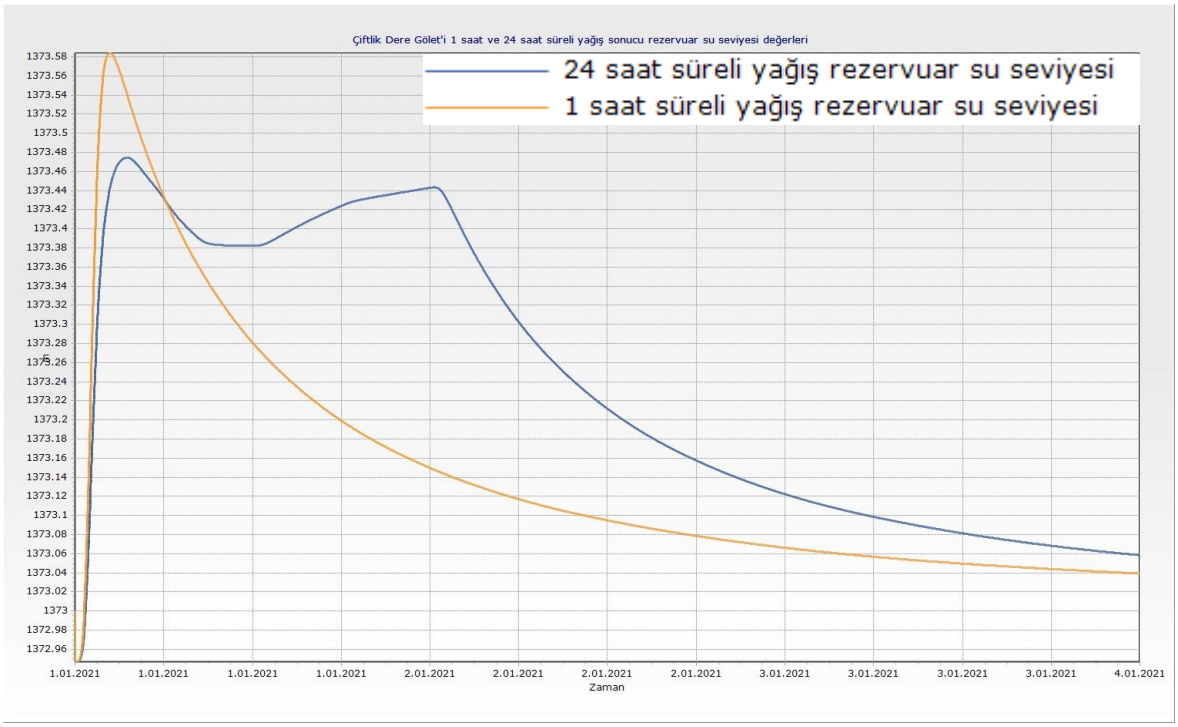
Şekil 5.16. 1 saatlik ve 24 saatlik yağış sonucu Kirazlı Gölet'i rezervuar su seviyesi değişimi

Çiftlik Dere Gölet'i giriş ve dolusavak çıkış hidrografları, farklı yağış senaryoları için Şekil 5.17'de verilmiştir.



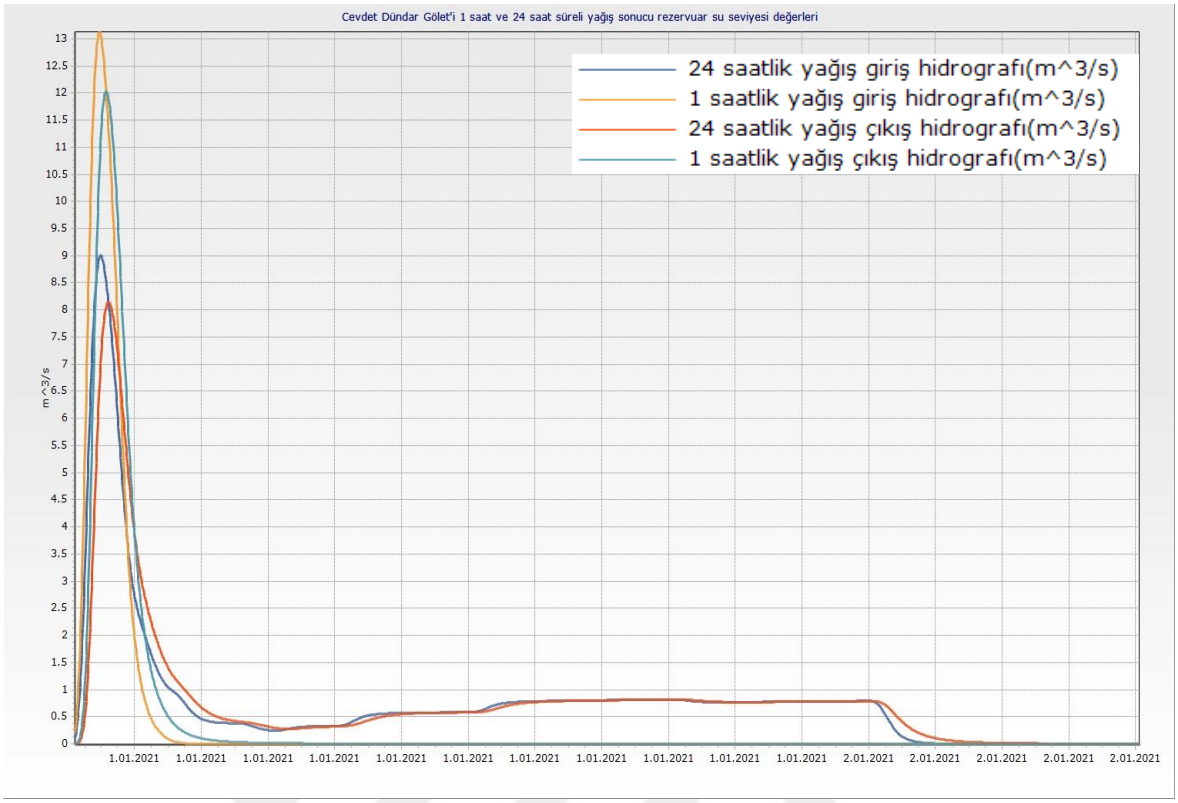
Şekil 5.17. Çiftlik Dere Gölet'i giriş ve dolusavak çıkış hidrografları

Zamana bağlı olarak elde edilen Çiftlik Dere Gölet'i rezervuar su seviyesi değişimi Şekil 5.18'de görülmektedir. Rezevuar su seviyesi, dolusavak giriş seviyesinde (1373 m) iken, 1 saatlik yağış sonucunda maksimum 1373.58 m seviyesine, 24 saatlik yağış sonucunda maksimum 1373.48 m seviyesine yükselmektedir. Bu durumda iki farklı senaryo için dolusavak kapasitesinin yeterli olduğu ve Kirazlı Gölet'i kret seviyesi (1374.5 m) üzerinden suyun aşmadığı belirlenmiştir.

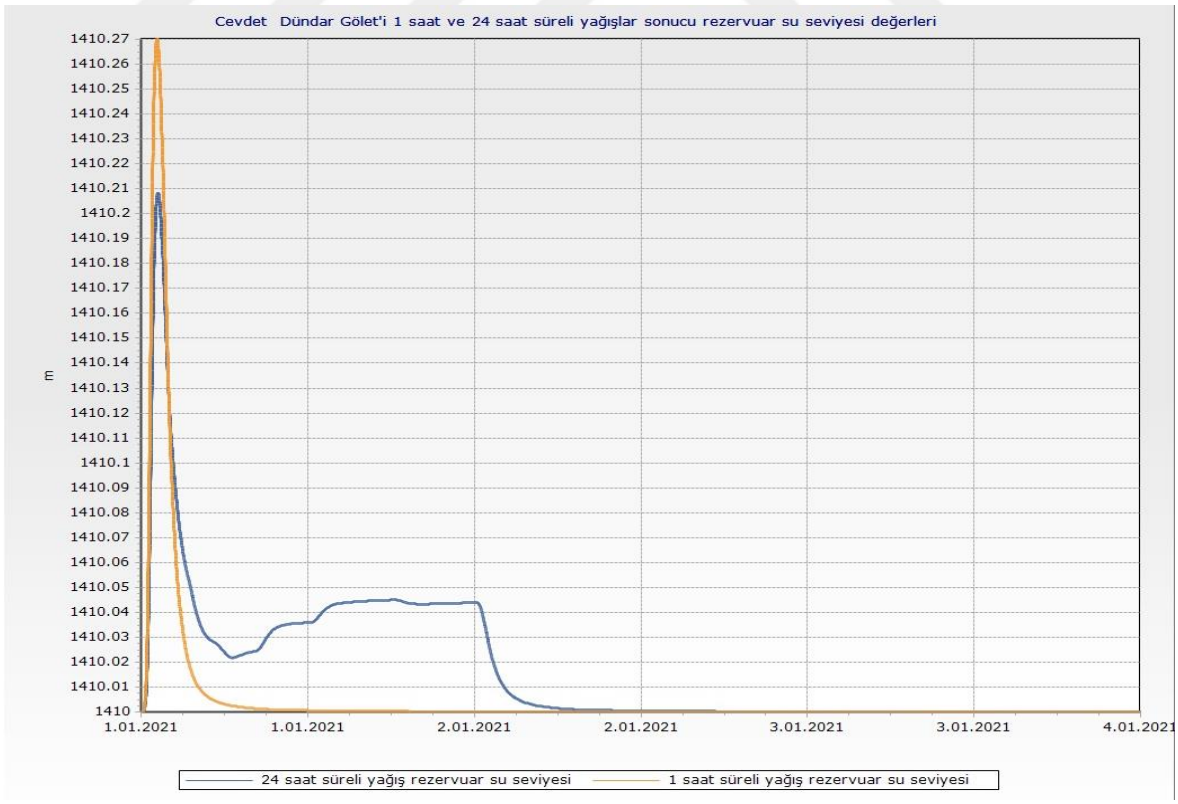


Şekil 5.18. 1 saatlik ve 24 saatlik yağış sonucu Çiftlik Dere Gölet'i rezervuar su seviyesi değişimi

Bekir Cevdet Dündar Gölet'inde dolusavak yapısı gözlemlenmemiştir. Bu nedenle başlangıçta su seviyesinin kret seviyesinde (1410 m) olması durumunda, yıkılma gerçekleşmeden suyun üstten aşması sonucu gölet mansabında oluşan çıkış hidrografı eğrileri belirlenmiştir (Şekil 5.19). Ayrıca Bekir Cevdet Dündar Gölet kreti üzerinden suyun savaklanması durumunda rezervuar su seviyesinin zamana bağlı değişimi hesaplanmıştır (Şekil 5.20). Bekir Cevdet Dündar Gölet'i rezervuar su seviyesi, 1 saatlik yağış sonucunda maksimum 1410.27 m seviyesine, 24 saatlik yağış sonucunda maksimum 1410.21 m seviyesine yükselmektedir. Bu su seviyelerinde Bekir Cevdet Dündar Gölet'inin yıkılma ihtimali oldukça yüksektir.



Şekil 5.19. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i giriş ve çıkış hidrografları



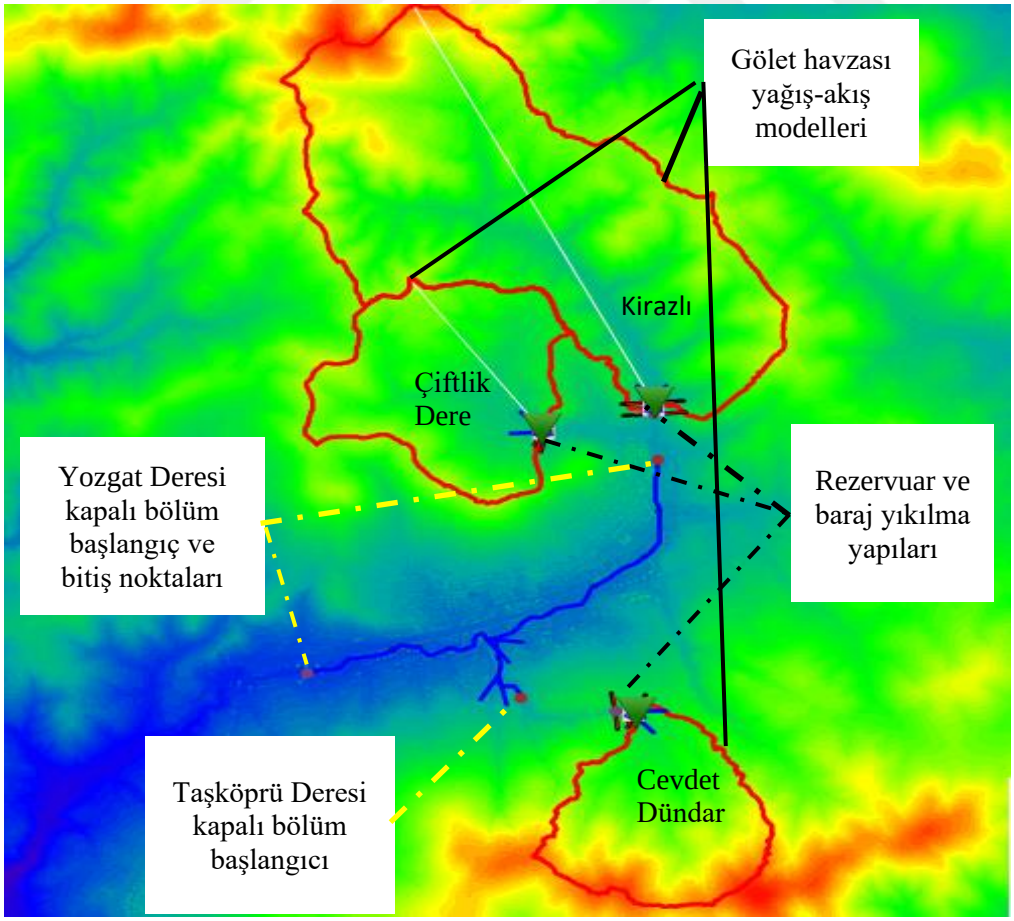
Şekil 5.20. 1 saatlik ve 24 saatlik yağış sonucu Bekir Cevdet Dündar Gölet'i rezervuar su seviyesi değişimi

Gölet barajlarının yıkılmaması durumunda, gelen giriş hidrograflarının ötelenmesi sonucu elde edilen, savak çıkış hidrograflarına ait özet bilgiler Tablo 5.23'te verilmiştir.

Tablo 5.23. Gölet çıkış hidrograflarına ait özet bilgiler (Yıkılma olmaması durumunda)

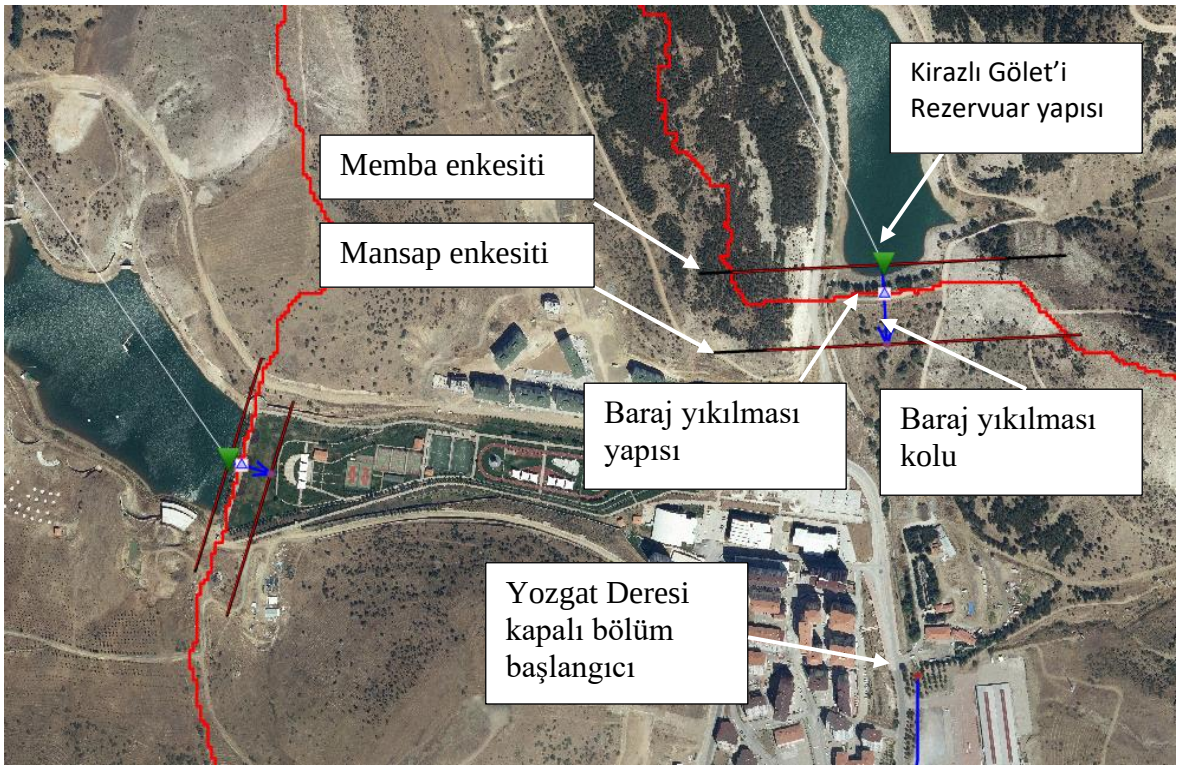
Gölet Adı	Drenaj Alanı (km^2)	Yağış Başlangıç Zamanı	Pik Zamanı	Yağış Süresi (saat)	Pik Çıkış Debisi (m^3/s)	Toplam Çıkış Hacmi (1000 m^3)
Kirazlı (Dolusavak)	8.07	1-1-2021 00:00:00	1-1-2021 04:39:00	24	3.545	238.609
			1-1-2021 03:50:59	1	4.807	120.322
Çiftlik Dere (Dolusavak)	3.04		1-1-2021 03:30:59	24	1.052	107.029
			1-1-2021 01:08:59	1	1.502	64.493
Bekir Cevdet Dündar (Üstten aşma)	2.40		1-1-2021 01:13:00	24	8.145	56.400
			1-1-2021 02:21:59	1	12.031	50.776

MIKE HYDRO River modülünde gölet havzaları, baraj yıkılma yapıları ve kapalı dere hatları, enkesitler kullanılarak bir boyutlu olarak modellenmiştir (Şekil 5.21).



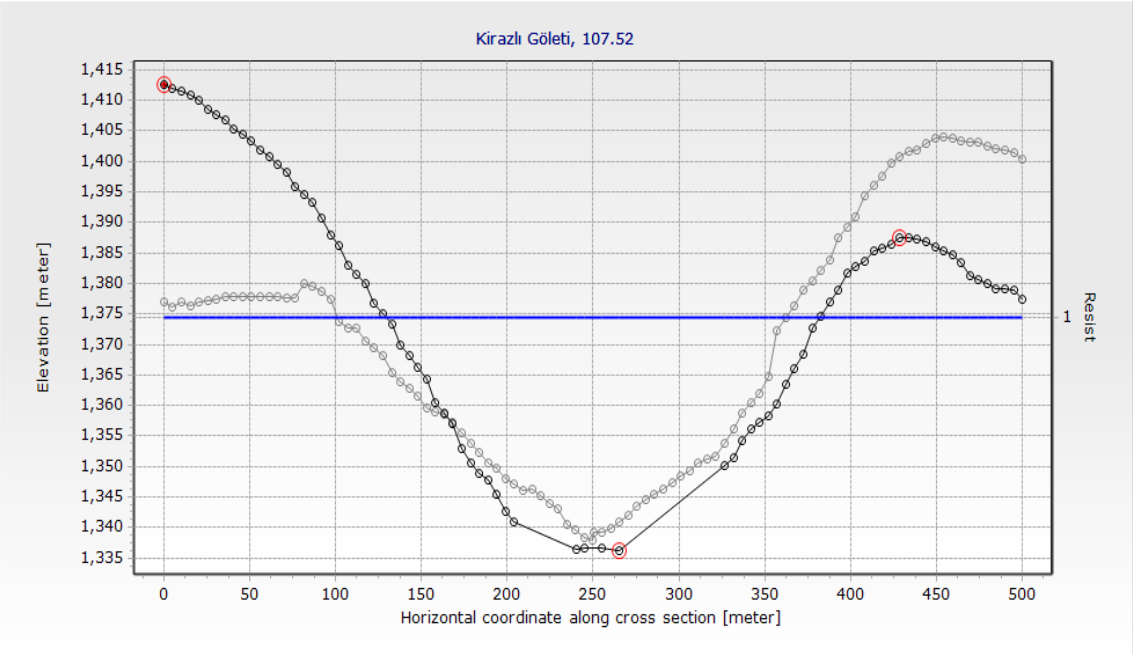
Şekil 5.21. MIKE HYDRO River 1B model planı genel görünümü

İlk olarak baraj yıkılması akarsu kolu tanımlandıktan sonra gölet memba ve mansap tarafından enkesitler alınmıştır. Bölüm 5.1'de belirlenen gölet seviye-hacim eğrileri kullanılarak memba sınır koşulları tanımlanmıştır. Son olarak, tanımlanan baraj yıkılması kolu üzerine baraj yıkılması yapısı tanımlanarak model tamamlanmıştır (Şekil 5.22).



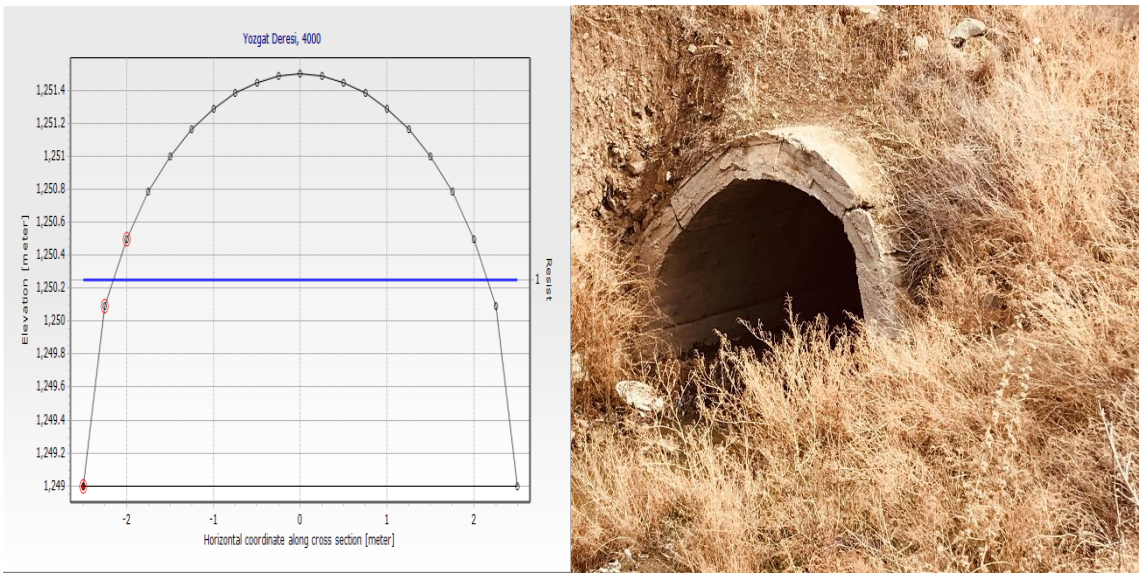
Şekil 5.22. Kirazlı ve Çiftlik Dere Gölet'i baraj yıkılması şematik gösterimi

Kirazlı Gölet'i baraj yıkılma yapısı membaı ve mansabından alınan enkesitler Şekil 5.23'te görülmektedir. Enkesitler, ADBAR yöntemi ile düzeltilen SYM5 verisinden faydalanılarak oluşturulmuştur. Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i için aynı işlemler yapılmıştır.



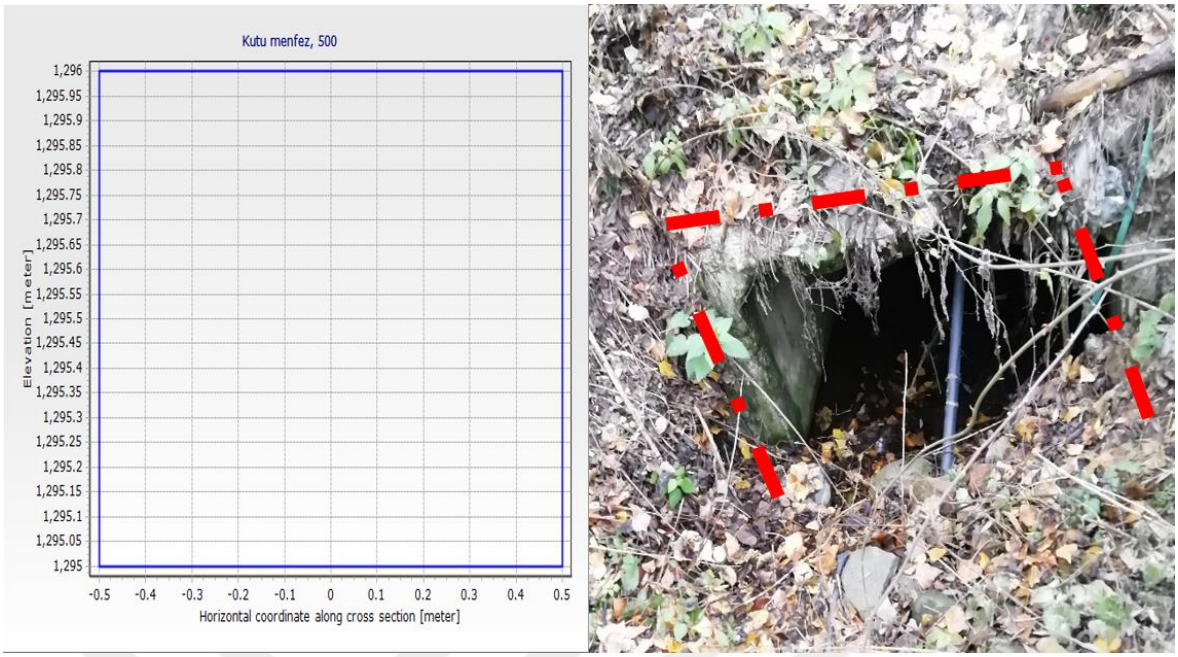
Şekil 5.23. Kirazlı Gölet'i baraj yıkılma yapısı memba ve mansap enkesitleri

Kirazlı Gölet'i ve Çiftlik Dere Gölet'i mansabına yakın bir noktadan başlayarak şehir merkezi boyunca devam eden kapalı kesitli Yozgat Deresi enkesiti saha çalışmaları sonucu belirlenmiş ve bir boyutlu modele dâhil edilmiştir (Şekil 5.24).



Şekil 5.24. Yozgat Deresi enkesit modeli (solda) ve saha fotoğrafı (sağda)

Bekir Cevdet Dündar Gölet'i mansabından yaklaşık bir kilometre sonra başlayarak, Yozgat Deresine bağlandığı düşünülen, 1m*1m kapalı kesitli Taşköprü Deresi saha çalışmaları sırasında gözlemlenmiş ve bir boyutlu modele dâhil edilmiştir (Şekil 5.25).

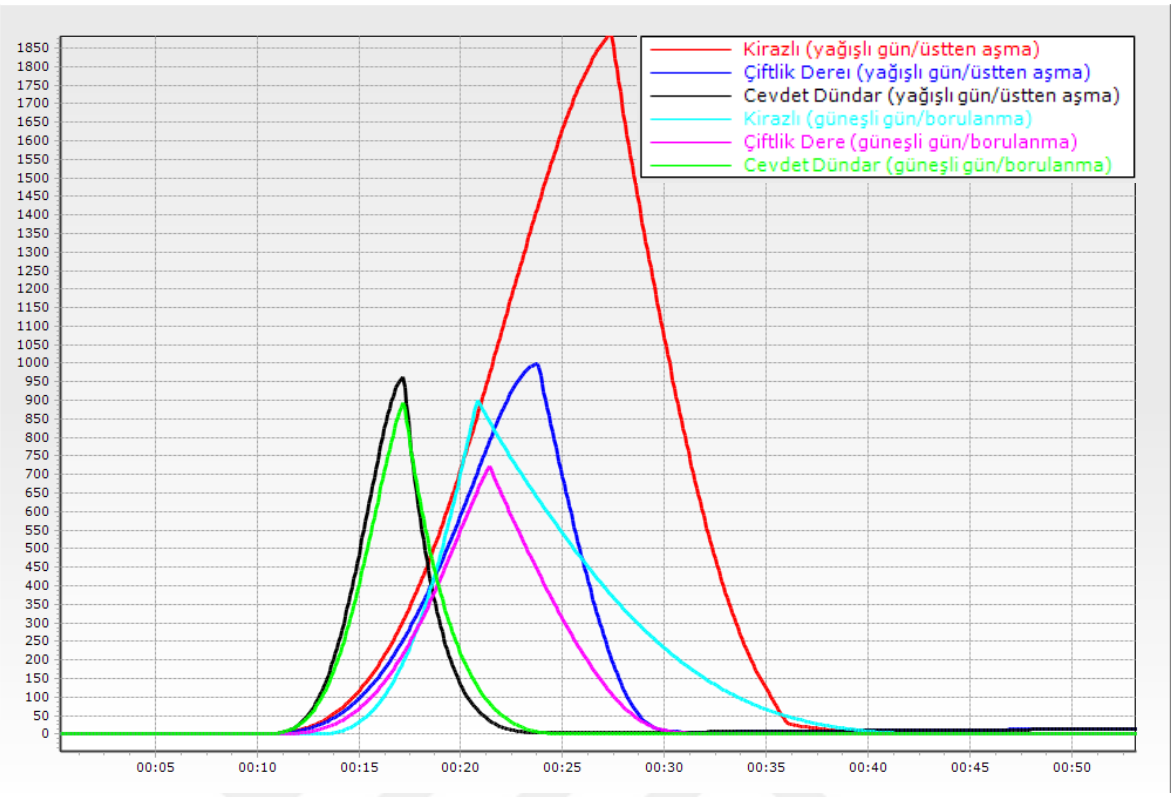


Şekil 5.25. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i mansabında yer alan Taşköprü Deresi kapalı kesiti

Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'inin bir saatlik yağış başlangıcından 10 dakika sonra, aynı anda yıkılmaya başladığı varsayılmıştır. Tablo 5.20'de verilen yıkılma parametreleri kullanılarak, yağışlı gün ve güneşli gün senaryoları için baraj yıkılması sonucu oluşan çıkış hidrografları elde edilmiştir. Güneşli gün senaryosunda rezervuar su seviyesinin dolu savak giriş kotunda olduğu, üstten aşma senaryosu için dolusavak yapılarının çalışmadığı varsayılmıştır. Yağışlı ve güneşli gün senaryosu için hesaplanan baraj yıkılması çıkış hidrografları Şekil 5.26'da verilmiştir. Gölet barajlarının farklı senaryolar altında yıkılması durumunda, baraj yıkılması sonucu oluşan taşkının dar bir vadi boyunca ötelenmesi sonucu elde edilen çıkış hidrograflarına ilişkin özet bilgiler Tablo 5.24'te verilmiştir.

Tablo 5.24. Gölet çıkış hidrograflarına ait özet bilgiler (Yıkılma olması durumunda)

Gölet Adı	Rezervuar Su Seviyesi(m)	Senaryo	Yıkılma Başlangıç Zamanı	Pik Zamanı	Yağış Süresi (saat)	Pik Çıkış Debisi (m^3/s)	Toplam Çıkış Hacmi ($1000m^3$)
Kirazlı	1358	Yağışlı gün(ÜA)	1-1-2021 00:10:00	00:27:20	1	1888.644	1242.817
	1352	Güneşli gün (B)		00:20:49	-	901.502	467.219
Çiftlik Dere	1374.5	Yağışlı gün(ÜA)		00:23:45	1	998.203	487.159
	1373	Güneşli gün (B)		00:21:24	-	721.706	286.327
Bekir Cevdet Dündar	1410	Yağışlı gün(ÜA)		00:17:10	1	962.891	269.258
	1410	Güneşli gün (B)		00:17:10	-	893.486	218.500
Toplam	-	Yağışlı gün(ÜA)	-				1999.234
	-	Güneşli gün (B)	-				972.046



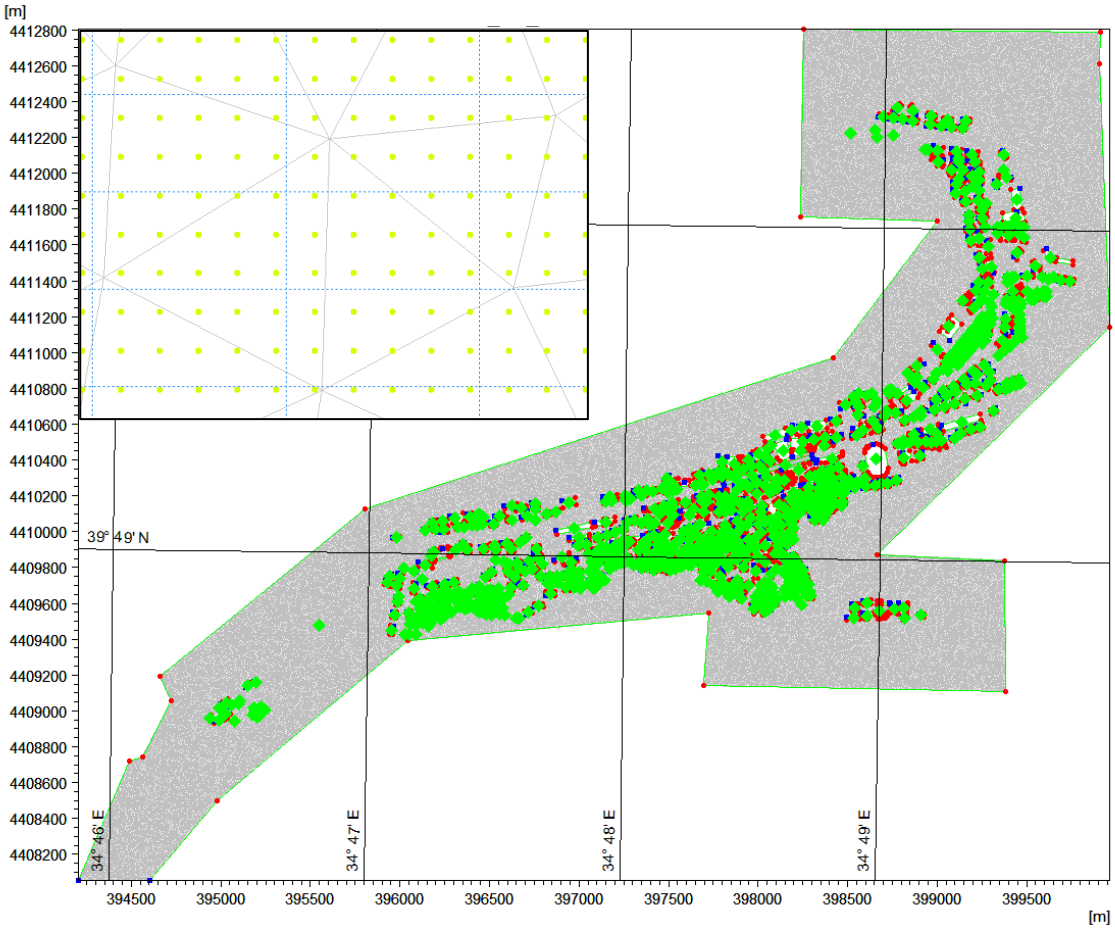
Şekil 5.26. Baraj yıkılması çıkış hidrografları (Yağışlı gün ve Güneşli gün senaryosu)

5.5. MIKE 21 FM ile Taşkın Alanının 2B Modellenmesi

5.5.1. Esnek Ağ (Flexible Mesh) Geometri Modeli

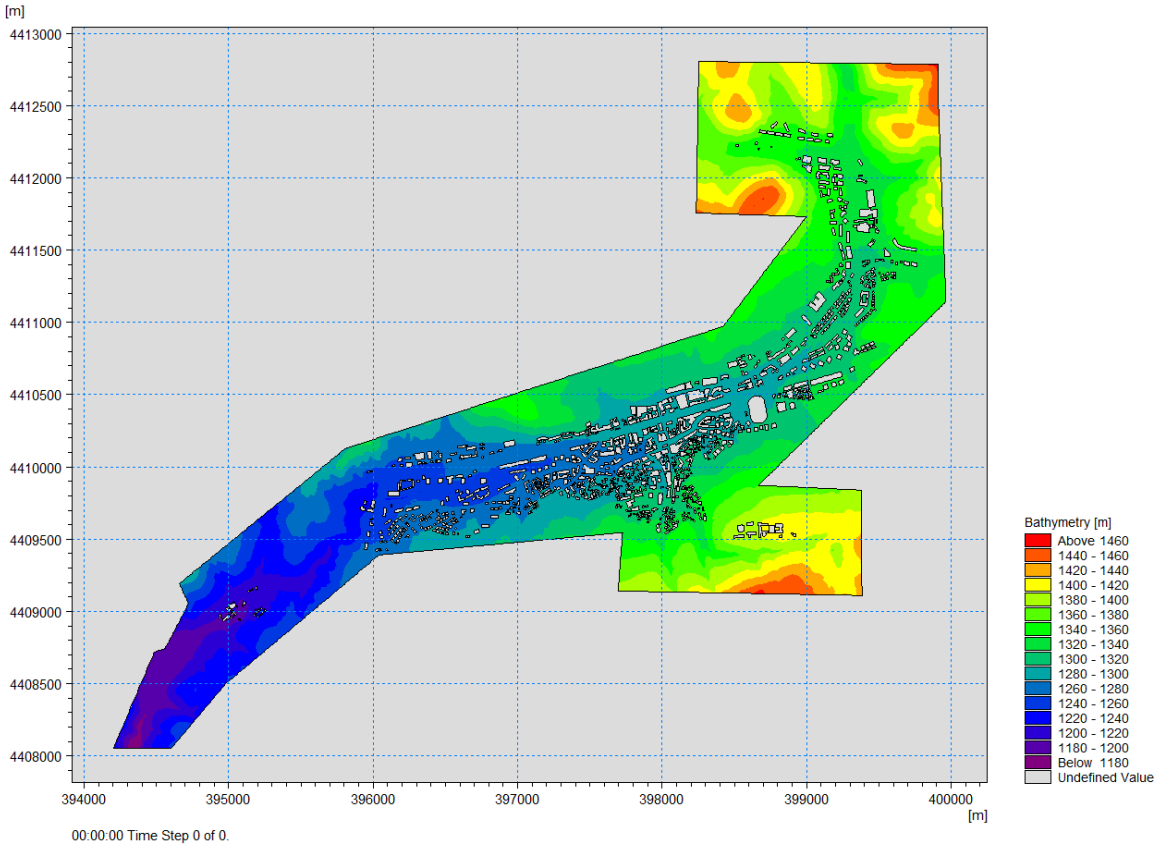
Olası baraj yıkılması senaryoları sonucu elde edilen çıkış hidrograflarının, baraj mansabında yayılımını belirlemek amacıyla, hidrodinamik analiz yapan MIKE 21 FM yazılımında, taşkın alanı geometrisi ve hidrolik parametreleri modellenmiştir.

İlk olarak, iki boyutlu modele altlık oluşturan esnek ağ (flexible mesh) geometri dosyası, MIKE Zero Mesh Generator modülünde oluşturulmuştur. Bölüm 3.2.2'de bahsedilen 50 cm çözünürlüğe sahip SYM verisinden, ArcGIS yazılımı kullanılarak üç boyutlu noktalar üretilerek, nokta koordinatları *.xyz uzantılı bir metin dosyasına kaydedilmiş ve esnek ağ (mesh) model dosyasına aktarılmıştır (Şekil 5.27).



Şekil 5.27. Çalışma alanı MIKE 21 FM esnek ağ (mesh) kurulum modeli

Bina oturum sınırları, esnek ağ kurulum modelinde sınır koşulu olarak aktarılmıştır. Bu alanlar boşluk olarak tanımlanmış ve arazi geometrisine dâhil edilmemiştir. Esnek ağ köşe noktası yükseklikleri, nokta verisine enterpolasyon uygulanarak hesaplanmaktadır. İki boyutlu hidrodinamik analiz yapılan çalışma alanı için oluşturulan esnek ağ geometrisi Şekil 5.28'de görülmektedir. Ağ elamanlarının geometrisine ilişkin istatiksel bilgiler Tablo 5.25'te verilmiştir.

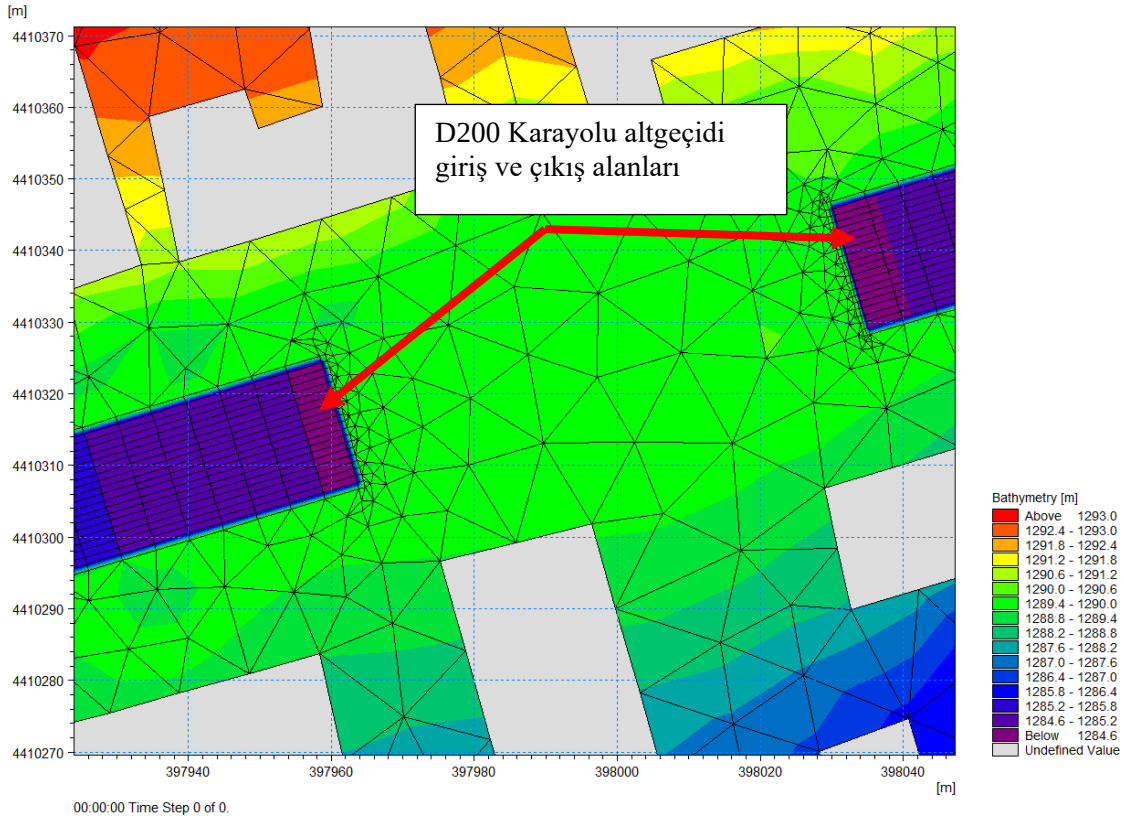


Şekil 5.28. Çalışma alanı esnek ağ modeli

Tablo 5.25. Çalışma alanı esnek ağ elemanları alansal istatistikleri

İstatistik	Değer
Eleman sayısı	131292
Toplam alan	$7.92*10^6$ m^2
Ortalama alan	60.30 m^2
Orta değer (medyan)	61.34 m^2
Standart Sapma	21.34 m^2
Minimum	0.082 m^2
Maksimum	227.562 m^2
Aralık	227.48
Q1	49.3985
Q3	73.56

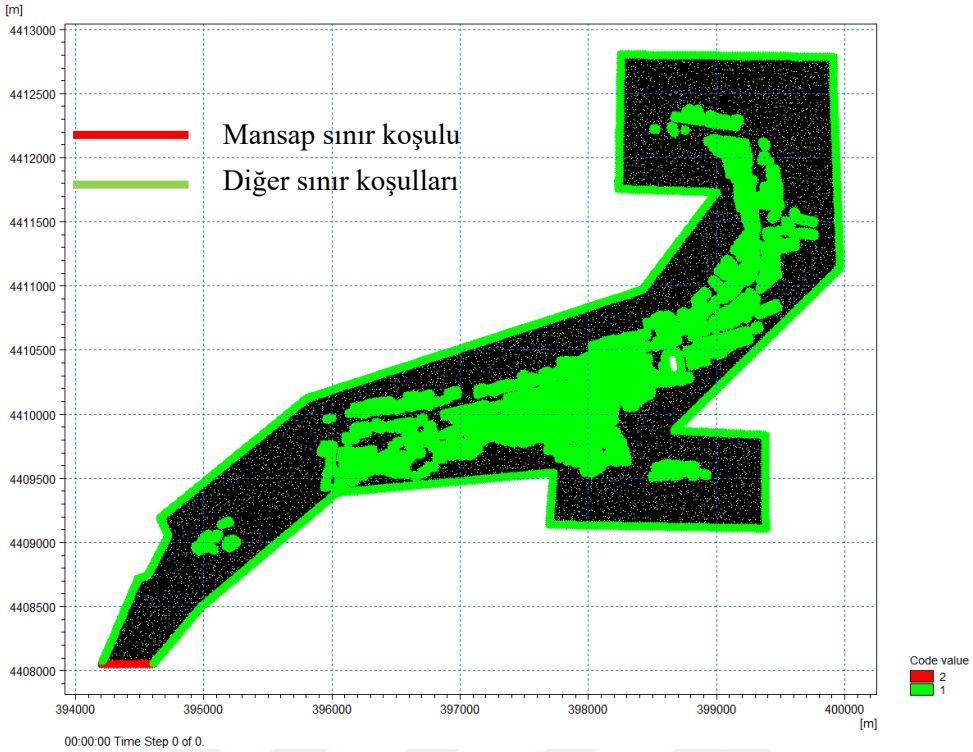
Taşkın alanının farklı bölgeleri için üçgen ve dikdörtgen ağ elemanları birlikte kullanılmıştır (Şekil 5.29). Önemli görülen ve daha detaylı olarak modellenmek istenilen bölgelerde, ağ elemanı boyutları daha küçük tanımlanmıştır.



Şekil 5.29. Üçgen ve dikdörtgen esnek ağ elemanlarının birlikte kullanımı

5.5.2. Hidrodinamik Model Parametrelerinin Tanımlanması

MIKE 21 FM modelinde yükseklik verisi (mesh) ile birlikte bölüm 3.2.3'te detayları verilen pürüzlülük (Manning katsayısı) verisi tanımlanmıştır. Memba ve diğer sınır koşulları karasal sınır (hız=0) olarak tanımlanırken, mansap sınır koşulu serbest çıkış (free outflow) olarak belirlenmiştir (Şekil 5.30).



Şekil 5.30. 2B hidrodinamik model sınır koşulları

Yapılan ön çalışmalar sonucunda, yağış başlangıcından itibaren hidrodinamik analiz süresi dört saat olarak belirlenmiştir. Hidrodinamik analiz zaman parametreleri Tablo 5.26'da verilmiştir.

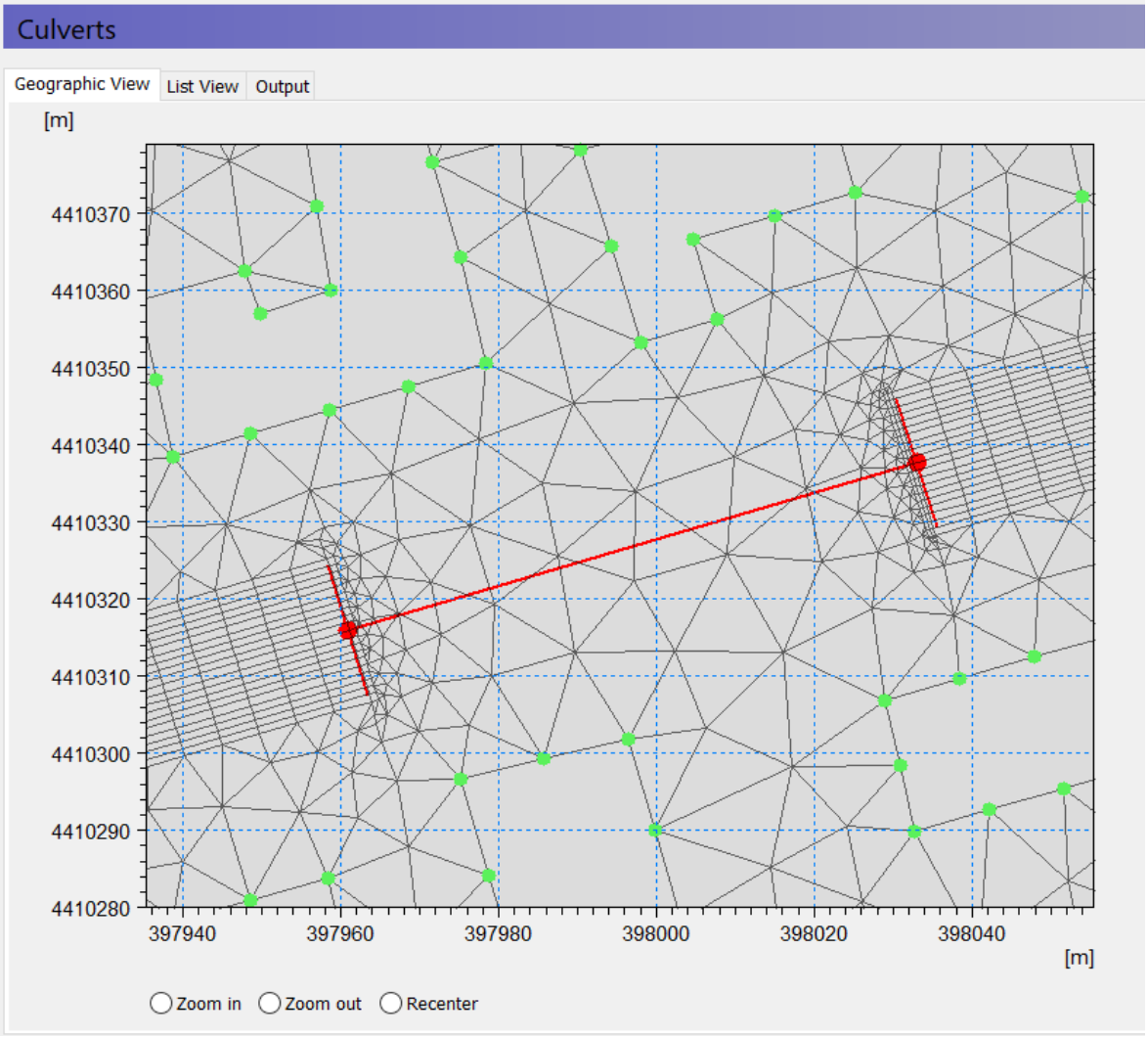
Tablo 5.26. Hidrodinamik analiz zaman parametreleri

Zaman adımı sayısı	2880
Sığ su denklemleri çözümü en küçük zaman adımı (saniye)	0.0001
Sığ su denklemleri çözümü en büyük zaman adımı (saniye)	5
Süreklilik denklemleri çözümü en küçük zaman adımı (saniye)	0.0001
Süreklilik denklemleri çözümü en büyük zaman adımı (saniye)	5
Analiz zaman adımı (saniye)	5
Analiz sonuçları zaman adımı (saniye)	60
Simülasyon süresi (saat)	4
Simülasyon başlangıç zamanı	01.01.2021, 00:00
Simülasyon bitiş zamanı	01.01.2021, 04:00

Analiz kararlılığını etkileyen en önemli faktör, ağ (mesh) eleman geometrisi ile zaman adımı arasında bulunan ilişki olmaktadır. Bu nedenle, ağ geometrisine uygun zaman adımı seçimi, kararlılık ve analiz süresi açısından büyük önem teşkil etmektedir. Giriş debisine bağlı olarak değişen, hız ve su yüksekliği de zaman adımı hassasiyetini artırmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında, baraj yıkılması kaynaklı oluşan ani taşkın debisi ve yüksek eğimli arazi topoğrafyasının da etkisiyle yaşanan stabilite problemleri, geometri verisinde yapılan düzenlemeler ve minimum zaman adımını azaltmak suretiyle çözülmüştür.

Arazi çalışmaları sonucu gözlemlenen Yozgat Deresi'nin kapalı bölümü ve bu hatta bağlanan Taşköprü Deresi'nin kapalı kesitli bölümü bir boyutlu olarak modellenmiştir. Ayrıca çalışma sahasında gözlemlenen ve analiz sonuçlarına etkisinin yüksek olacağı düşünülen, taşkın alanı çıkış noktasında bulunan iki gözlü kutu menfez ve D200 karayolu üzerinde bulunan altgeçit, iki boyutlu modelde uzun menfez (long culvert) yapısı olarak tanımlanmıştır.

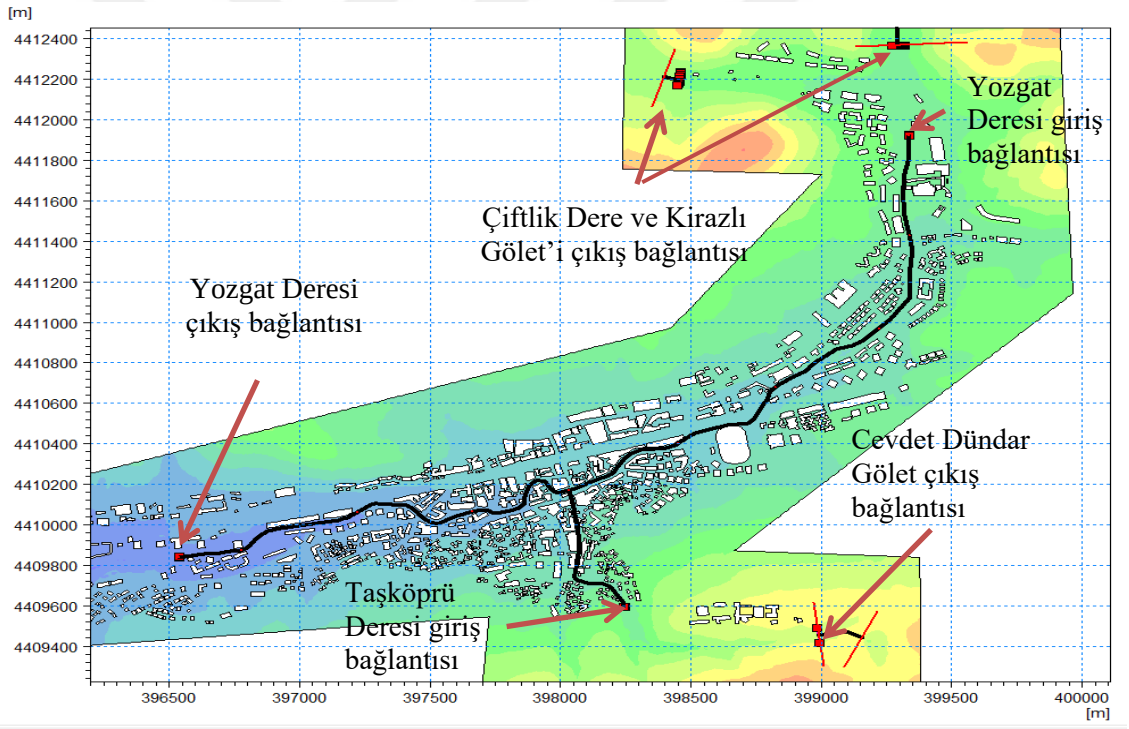
Uzun menfez yapısı merkez hattı çizgisi ya da başlangıç ve bitiş çizgisi koordinatları ile tanımlanabilmektedir. Uzun menfez yapısı tanımlandığında, menfez kapasitesi aşıldıktan sonra artan akım, üstten aşarak yoluna devam etmektedir. Ayrıca birden çok sonlu eleman yüzeyine aktarım yapmaktadır. D200 Karayolu (Ankara- Sivas) üzerinde bulunan altgeçidi temsil etmesi amacıyla oluşturulan uzun menfez yapısı Şekil 5.31'de görülmektedir.



Şekil 5.31. D200 Karayolu altgeçidi uzun menfez yapısı

5.6. MIKE FLOOD ile Bütünleşik Baraj Yıkılması ve Taşkın Yayılımı Analizi

Bu çalışmada MIKE HYDRO River modelinde tanımlanan baraj yıkılması yapısı çıkış noktaları ve Yozgat Deresi'nin kapalı kesitli bölümü giriş ve çıkışları standart bağ ile MIKE 21 FM modeline bağlanarak taşkın yayılımı iki boyutlu olarak modellenmiştir (Şekil 5.32). Taşkının modellendiği bölge, yapılaşmanın yoğun olduğu kentsel bir alan olduğu için açık kesitli akış yolları bir boyutlu olarak değil iki boyutlu olarak modellenmiştir. Bu nedenle yanal (lateral) bağlantılar modelde kullanılmamıştır. Şehir drenaj ve kanalizasyon altyapısına ilişkin yeterli veriler elde edilemediği için MIKE URBAN modeli, bütünleşik modele dâhil edilememiştir. Ancak Yozgat Deresi'nin kapalı kesit içerisine alınan bölümü MIKE HYDRO River modülünde 1B modellenerek, bütünleşik modele entegre edilmiştir. Bütünleşik modelde tanımlanan bağlantı bilgileri Tablo 5.27'de verilmiştir.



Şekil 5.32. MIKE FLOOD 1B/2B bütünleşik model planı

Tablo 5.27. MIKE FLOOD modelinde tanımlanan bağlantılar

Bağlantı numarası	Bağlantı tipi	Nehir adı	Nehir bağlantı noktası (m)	M21 bağlanan hücre sayısı
1	Standart	Kirazlı	107.52	13
2	Standart	Çiftlik Dere	59.85	8
3	Standart	Bekir Cevdet Dündar	173.53	2
4	Standart	Yozgat Deresi giriş	0.00	2
5	Standart	Yozgat D. çıkış	4242.86	9
6	Standart	Taşköprü D. giriş	0.00	2

6. BULGULAR

MIKE FLOOD yazılımında kurulan 1B/2B bütünleşik model ile Yozgat il merkezi etrafında bulunan Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i barajlarının olası yıkılması modellenmiştir. Elverişsiz koşulları oluşturmak amacıyla üç barajın aynı anda yıkıldığı varsayılmıştır. Baraj yıkılmaları çıkış hidrografları, iki farklı senaryo için MIKE HYDRO River yazılımında bir boyutlu olarak modellenmiştir.

İlk senaryoda, göletlerin güneşli (yağışsız) bir günde ve rezervuar su seviyesi, dolusavak giriş kotunda iken aniden yıkıldığı varsayılmıştır. Güneşli gün senaryosuna yağış-akış modeli dâhil edilmemiş ve gölet haznelerine giriş hidrografı tanımlanmamıştır. Ampirik yöntemlerle gedik parametreleri belirlenmiş ve baraj yıkılma çıkış hidrografları, bir boyutlu model kullanılarak hesaplanmıştır.

İkinci senaryoda ise Gumbel olasılık dağılımı kullanılarak, 1000 yıl tekerrürlü, bir saat süreli yağış yüksekliği tahmin edilmiştir. Sentetik bir yağış-akış modeli olan SCS-CN yöntemi kullanılarak gölet giriş hidrografları belirlenmiştir. Gölet rezervuar su seviyeleri kret seviyesinde iken, rezervuar giriş hidrografları ile birlikte suyun üstten aşması sonucu yıkılmanın gerçekleştiği varsayılmıştır. Ampirik yöntemlerle gedik parametreleri belirlenmiş ve baraj yıkılması çıkış hidrografları, bir boyutlu model kullanılarak hesaplanmıştır.

Bir boyutlu model sonuçları, iki boyutlu model için memba sınır koşullarını oluşturmuştur. İki boyutlu modele aktarılan çıkış hidrograflarının, taşkın alanında dağılımı farklı formatlarda elde edilen sonuç dosyaları kullanılarak değerlendirilmiştir.

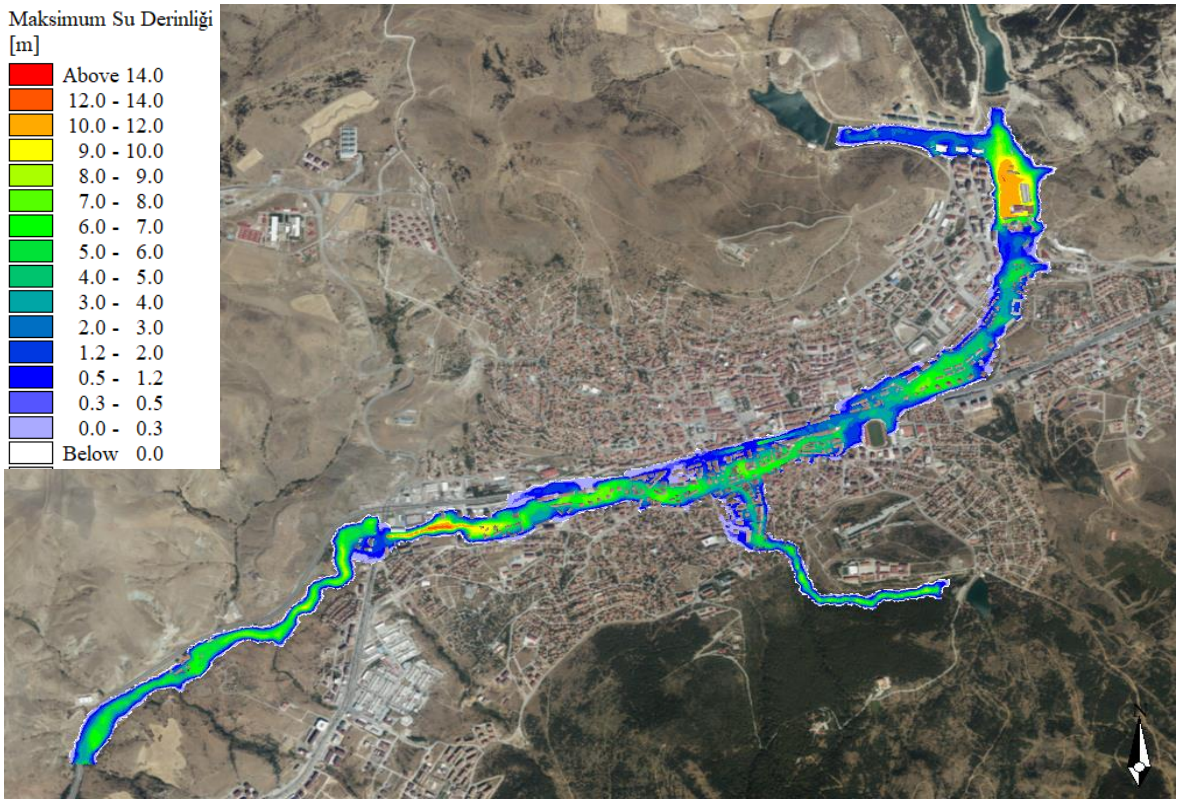
6.1. Taşkın Yayılım Haritaları

Yağış başlangıç zamanından itibaren, yağmurlu gün ve güneşli gün senaryoları için dört saat süreli hidrodinamik akış analizi yapılmıştır. Bu süre boyunca oluşan taşkına ilişkin Tablo 6.1'de verilen taşkın haritaları elde edilmiştir. Taşkın eşik su derinliği varsayılan olarak sıfır metre seçilmiştir. Elde edilen bu haritalar maksimum değerleri vermektedir. Ayrıca bu haritalar kullanılarak taşkınların en büyük yayılım alanları da elde edilmiştir.

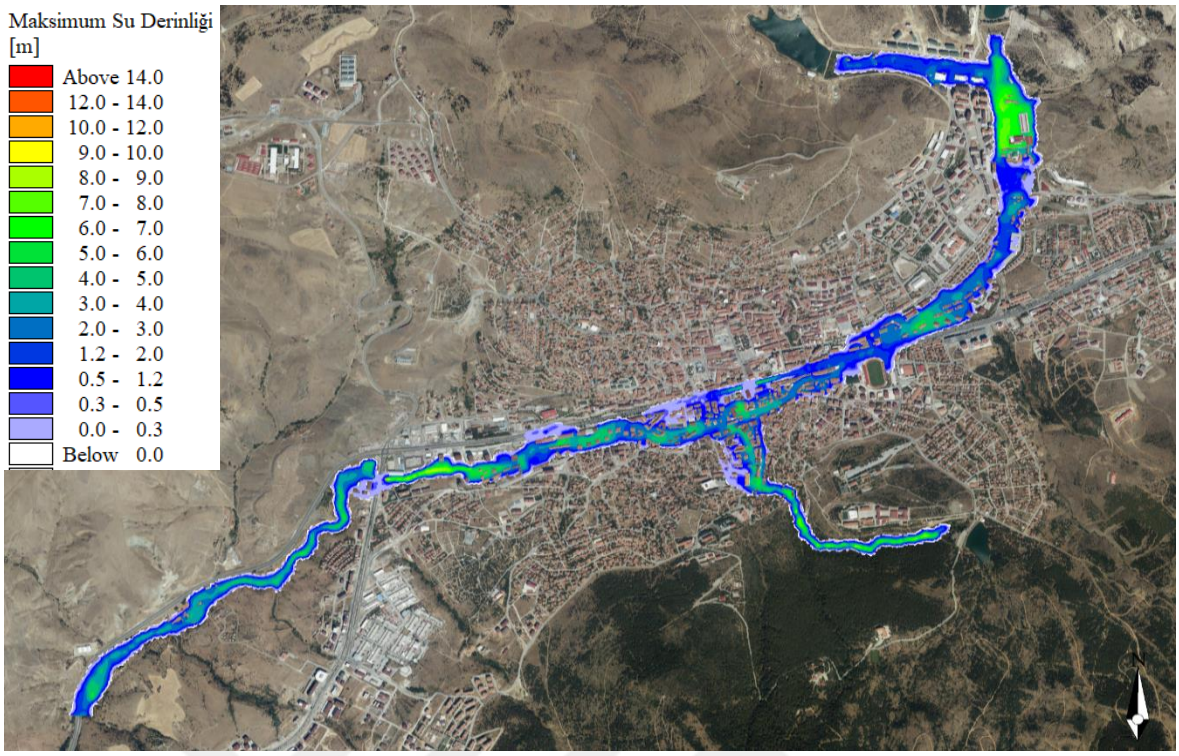
Tablo 6.1. İki boyutlu taşkın yayılım haritaları

Harita
1. Maksimum su derinliği (m)
2. Maksimum akım hızı (m/s)
3. Taşkın altında ilk kalma zamanı (dk.)
4. Maksimum su derinliğine ulaşma zamanı (dk.)

Yağışlı gün ve güneşli gün senaryoları için elde edilen maksimum su derinliği haritaları, olası taşkın zararlarını tahmin etmek ve gerekli önlemleri almak amacıyla kullanılmaktadır. Analiz sonucunda, üstten aşma ve borulanma senaryoları için elde edilen maksimum su derinliği haritaları sırasıyla Şekil 6.1 ve Şekil 6.2'de verilmiştir.

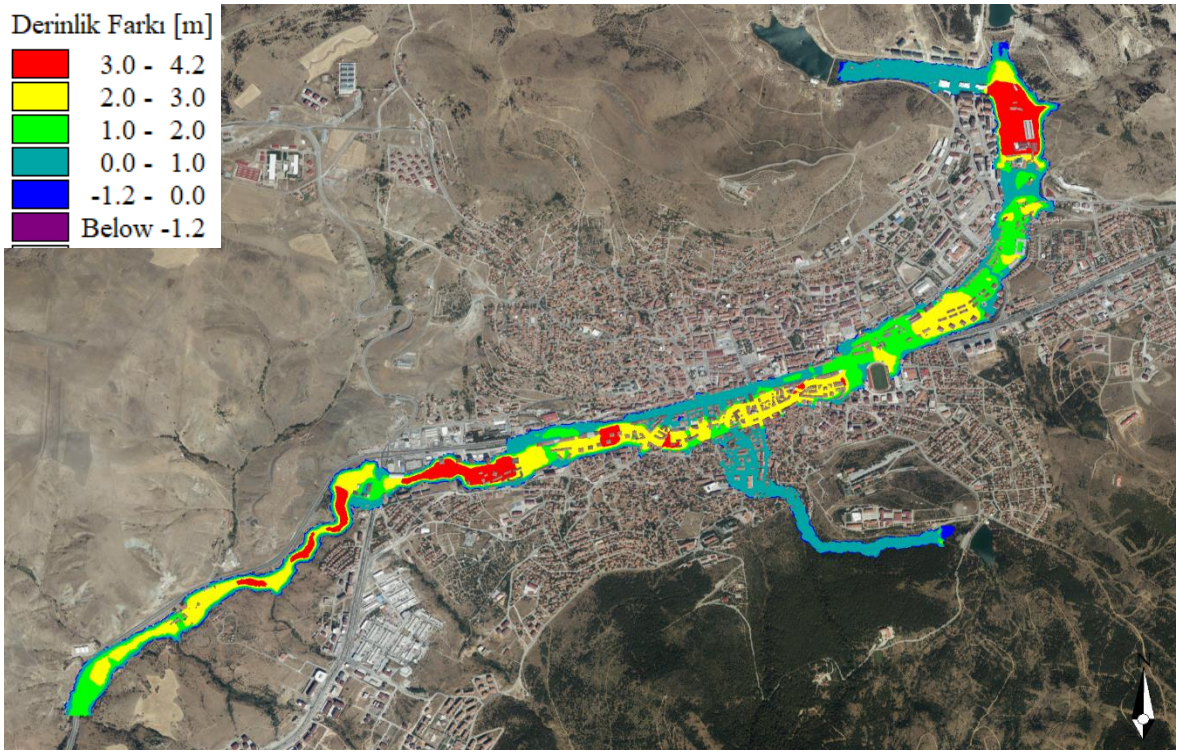


Şekil 6.1. Üstten aşma senaryosu maksimum su derinliği haritası



Şekil 6.2. Borulanma senaryosu maksimum su derinliği haritası

Üstten aşma senaryosu ve borulanma senaryosunda, maksimum su derinliği farkının 0 ile 4.2 metre arasında değiştiği Şekil 6.3'te görülmektedir.



Şekil 6.3. Maksimum su derinliği farkı haritası (ÜA-B)

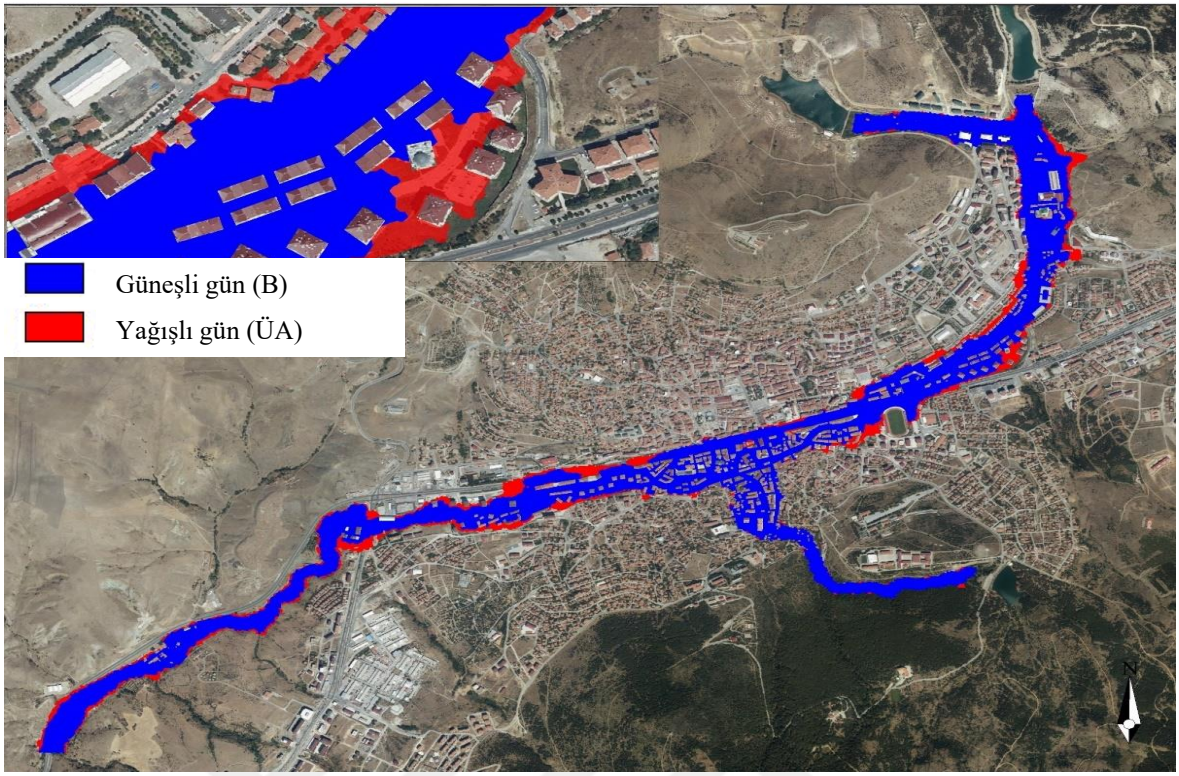
Üstten aşma senaryosu için yapılan taşkın analizleri sonucunda, ağ elemanları ile iki boyutlu olarak modellenen toplam 7.92 milyon m^2'lik bölgede, 1.26 milyon m^2'lik alan taşkın altında kalmıştır. Maksimum su derinliği 15.90 m, ortalama maksimum su derinliği 3.74 m olduğu, analiz sonuçlarına göre tespit edilmiştir.

Borulanma senaryosu için yapılan taşkın analizleri sonucunda ise, yaklaşık 7.92 milyon m^2'lik çalışma alanının, yaklaşık toplam 1.04 milyon m^2'lik kısmı su altında kalmıştır. Maksimum su derinliğinin 11.89 m, ortalama maksimum su derinliğinin 2.50 m olduğu belirlenmiştir. Üstten aşma ve borulanma senaryoları için taşkın altında kalan toplam alan ve maksimum su derinlikleri ile ilgili istatiksel bilgiler Tablo 6.2'de verilmiştir. Üstten aşma senaryosu sonucunda oluşan taşkının daha geniş bir yayılım alanına dağıldığı Şekil 6.4'te görülmektedir.

Tablo 6.2. Taşkın altında kalan toplam alan ve maksimum su derinlikleri istatistikleri

İstatistik	**Üstten aşma**		**Borulanma**		**Fark (%)**	
	Alan (m^2)	**Derinlik (m)**	**Alan (m^2)**	**Derinlik (m)**	**Alan (m^2)**	**Derinlik (m)**
Hücre Sayısı	24607	24607	20960	20960	15%	15%
Toplam	$1.26*10^6$	92085.5	$1.04*10^6$	52466.70	17%	43%
Ortalama	51.22	3.74	49.79	2.50	3%	33%
Ortanca (Medyan)	56.04	3.11	55.06	1.94	2%	38%
Standard Sapma	28.25	3.10	28.98	2.24	-3%	28%
Minimum	0.08	0	0.08	0	-	-
Maksimum	204.20	15.90	204.20	11.89	0%	25%
Q1	35.01	1.28	30.04	0.75	14%	41%
Q3	70.54	5.46	70.10	3.66	1%	33%
IQR	35.53	4.18	40.07	2.91	-13%	30%
∑Derinlik(m)/ ∑Alan(m^2)	0.07		0.05		31%	

Üstten aşma senaryosunda yıkılma anındaki rezervuar su seviyelerinin daha yüksek olması ve yağışında etkisiyle daha geniş bir alanın sular altında kaldığı görülmektedir. Ancak yayılım alanında yaklaşık % 17'lik bir artış gözlemlenirken, ortalama maksimum derinliğin yaklaşık % 33 oranında arttığı görülmektedir. Bu duruma, çalışma alanının dar bir vadi içinde olmasının neden olduğu düşünülmektedir. Nispeten düz alanlarda artan taşkın debisiyle beraber, taşkın yayılım alanı artarken derinlik nispeten daha az artmıştır.



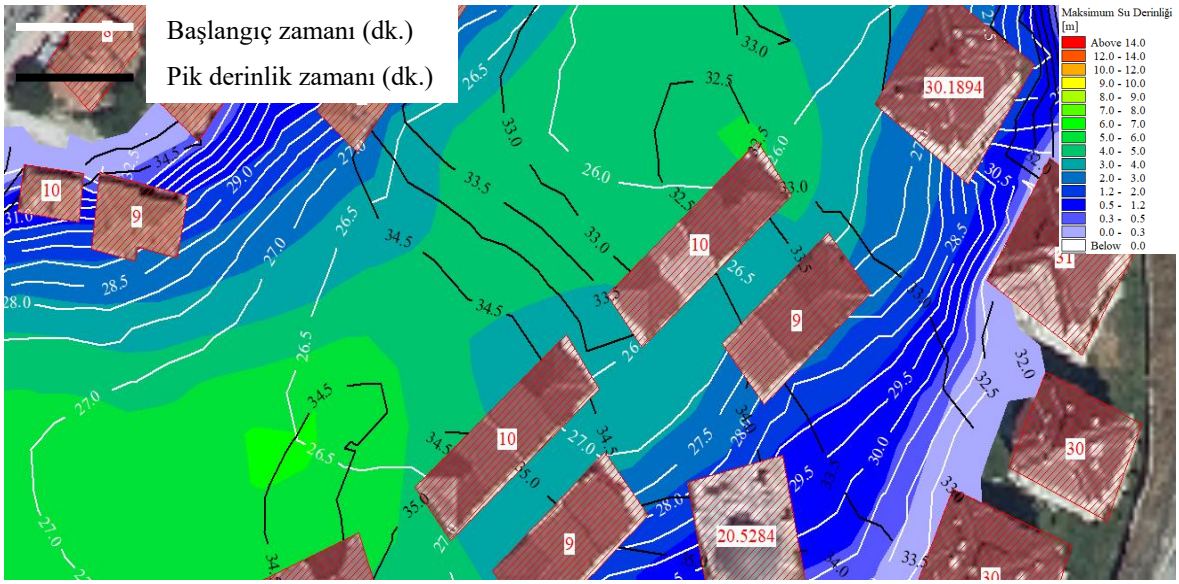
Şekil 6.4. Üstten aşma ve borulanma senaryosu taşkın yayılımı sınırları karşılaştırması

Taşkın alanında yer alan yapıların, taşkından etkilenme seviyelerini tespit etmek amacıyla maksimum su derinliği değerleri ile yapı yükseklikleri karşılaştırılmıştır. Bu haritaların acil eylem planlarına altlık teşkil ederek, yüksek riskli binaların ve yerleşim alanlarının tespit edilmesinde kullanılabileceği düşünülmektedir (Şekil 6.5).



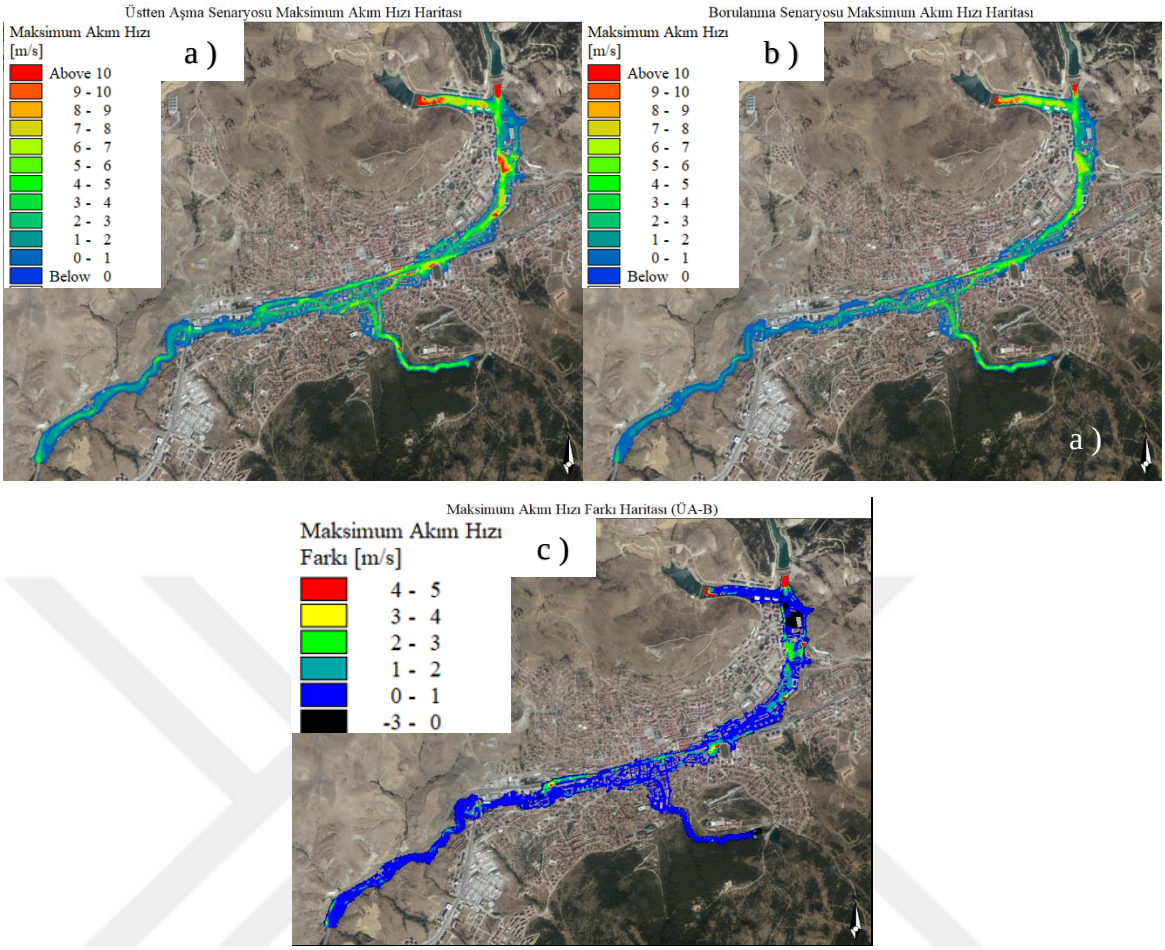
Şekil 6.5. Taşkın yüksekliği ve bina yüksekliklerinin karşılaştırılması

Maksimum taşkın yükseklikleri ve taşkın yayılım sınırları kadar, bu olayların oluşma zamanı da büyük önem taşımaktadır. Çünkü ani olarak gerçekleşen bir baraj yıkılması taşkını olayında, tahliye için gerekli zamanın önceden belirlenip insanların uyarılması gerekmektedir. Bu amaçla ilk taşkın oluşma zamanı ve maksimum su derinliğine ulaşma zamanı eş eğrileri, yükseklik haritasına dâhil edilmiştir. Şekil 6.6'da görülen beyaz çizgi ve değerler, analiz (yağış) başlangıcından itibaren geçen ilk taşkın oluşma zamanını, siyah çizgi ve değerler ise maksimum su derinliğine ulaşma zamanını göstermektedir. Bu haritalar üzerinde yapılan değerlendirmelerde, baraj yıkılması olayına yakın bölgelerde, ilk taşkın zamanı ile maksimum taşkın zamanı arasındaki süre (yaklaşık 6-7 dk.) oldukça kısa iken, membadan uzaklaştıkça bu sürenin arttığı tespit edilmiştir.



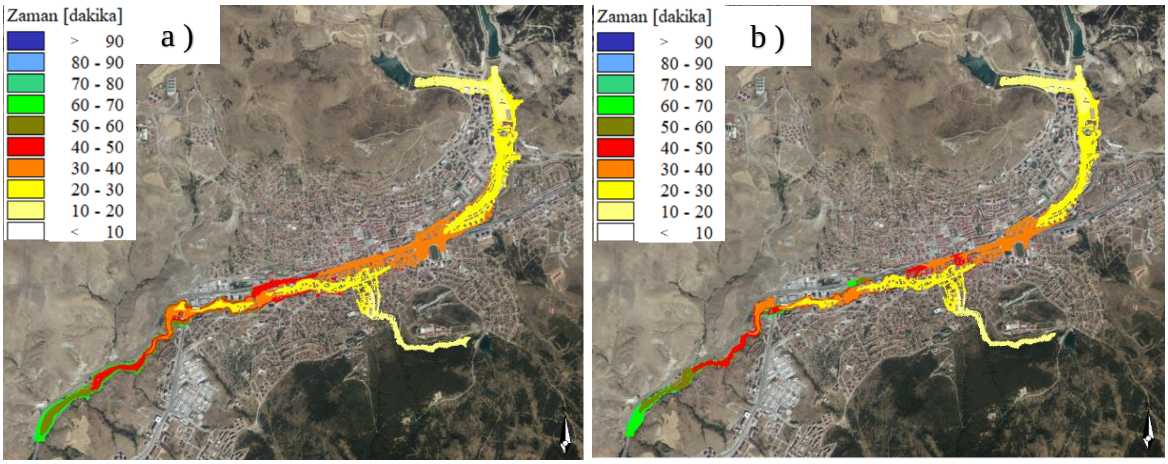
Şekil 6.6. Taşkın başlangıç ve pik zamanı eşdeğer eğrileri

Hidrolojik bir taşkın olayına kıyasla baraj yıkılması durumunda oluşan taşkın olayları çok daha ani ve ölümcül olmaktadır. Bunun sebebi kısa sürede baraj rezervuarından deşarj olan suyun, çok daha hızlı hareket etmesidir. Yapılan analiz sonuçları bu gerçeği destekler nitelikte olmuştur. Özellikle gölet mansaplarına yakın bölgelerde yüksek hız değerleri elde edilmiştir. Üstten aşma ve borulanma senaryosu için özellikle baraj yıkılmasının gerçekleştiği bölgeye yakın alanlarda maksimum su hızının 15 m/s'den yüksek olduğu analiz sonucunda tespit edilmiştir. Taşkın yayılım alanında ise hız değerinin 0-10 m/s aralığında aldığı değerler aldığı ve maksimum su hızlarının üstten aşma senaryosunda, taşkın bölgesinin çoğunluğunda 0-1 m/s aralığında daha yüksek olduğu Şekil 6.7'de görülmektedir.



Şekil 6.7. Maksimum taşkın akım hızı haritaları: a) ÜA b) B c) Fark (ÜA-B)

Baraj yıkılmalarının ardından, Yozgat Deresinden geçen sel, 28(ÜA)-30(B) dakika sonra şehrin sonunda yer alan iki gözlü kutu menfeze gelerek analiz başlangıcından 61(ÜA)-65(B) dakika sonra analiz bitiş noktasına ulaşmıştır. Üstten aşma senaryosunda artan su hacminin de etkisiyle yayılımın daha hızlı olduğu görülmektedir (Şekil 6.8).



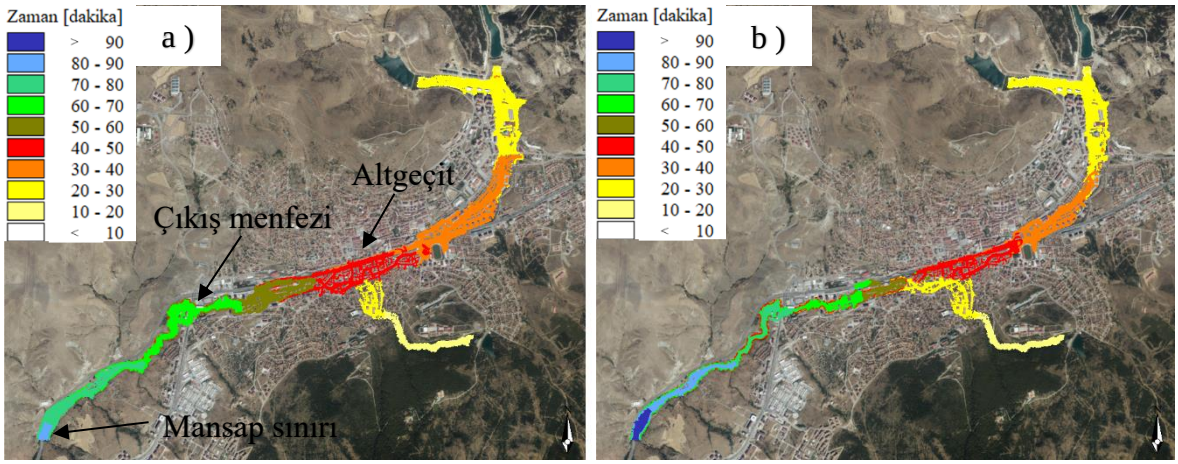
Şekil 6.8. Taşkın altında ilk kalma zamanı haritaları (derinlik > 0): a) ÜA b) B

Taşkın altında ilk kalma zamanı ile maksimum su derinliğinin oluşması arasında geçen süre, taşkının zararlarından kaçınmak için önemli olmaktadır. Ani olarak gerçekleşebilecek baraj yıkılması olaylarında, rezervuarın ardında depolanan su hacmine ve baraj gövdesi fiziksel özelliklerine göre yıkılma süresi değişmektedir. Buna bağlı olarak da maksimum su derinliğine ulaşma süresi değişmektedir. Ayrıca arazi eğimi ve pürüzlülüğü de yayılımın hızına yüksek oranda etki etmektedir.

Üstten aşma senaryosu analizinin 10. dakikasında, göletlerin toplu olarak yıkılmaya başladığı varsayılmıştır. Baraj yıkılmaları yaklaşık 10-20 dakika içeresinde tamamlanmıştır. D200 Karayolu üzerinde bulunan altgeçitte maksimum su derinliğine 41. dakikada, çıkış menfezinde ise 62. dakikada ulaşıldığı tespit edilmiştir. Analiz, mansap sınırında ise 81. dakikada maksimum su derinliğine ulaşılmıştır (Şekil 6.9).

Borulanma senaryosunda da analizinin 10. dakikasında, göletlerin toplu olarak yıkılmaya başladığı varsayılmıştır. Baraj yıkılmaları 10-20 dakika içeresinde tamamlanmıştır. D200 Karayolu üzerinde bulunan altgeçitte maksimum su derinliğine yine 41. dakikada ulaşıldığı görülmüştür. Ancak çıkış menfezinde maksimum su derinliğine 71. dakikada ulaşıldığı tespit edilmiştir. Mansap sınırında ise 94. dakikada maksimum su derinliğine ulaşılmıştır.

Taşkın altında ilk kalma zamanları, iki senaryo için oldukça yakın iken, maksimum derinliğe üstten aşma senaryosunda daha kısa sürede ulaşıldığı tespit edilmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9. Maksimum su derinliğine ulaşma zamanı haritaları: a) ÜA b) B

6.2. Taşkın Tehlike Haritaları

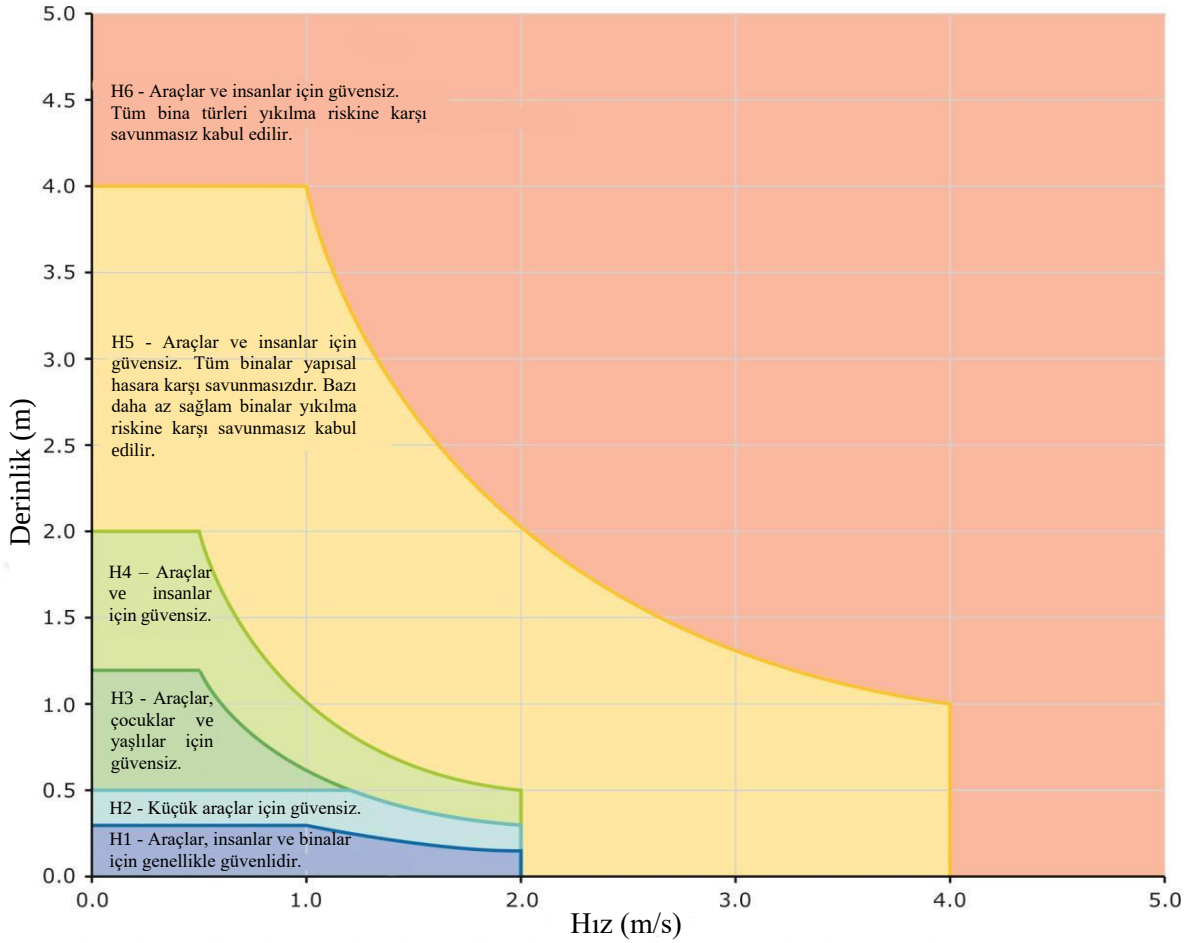
Taşkın sonuçları genellikle derinlik ve hız haritaları ile birlikte sunulan yayılım haritaları ile ifade edilmektedir. Bu haritalar ile birlikte, taşkının olası etkilerinin daha anlaşılır bir biçimde sunmak amacıyla tehlike haritaları da hazırlanmaktadır. Tehlike haritaları hazırlanırken, genellikle su derinliği değerleri ve akım hızları birlikte kullanılmaktadır.

USBR (1988) yılında hazırlamış olduğu, Mansap Tehlike Sınıflandırma Kılavuzunda, derinlik-hız sel tehlike seviyesi ilişkilerini; düşük tehlike, karara bağlı ve yüksek tehlike olmak üzere üç ayrı bölgeye ayırmıştır. Taşkın mansabında olası taşkın tehlikesi bölgelerini, temel üzerine oturmuş kalıcı yapılar, taşınabilir (mobil) yapılar, binek araçlar, yetişkin insanlar ve çocuklar için ayrı ayrı hız-derinlik çizelgeleri ile ifade etmiştir.

Smith, Davey ve Cox (2014), taşkın risklerin ön değerlendirmesinde veya tehlike analizinin bir parçası olarak, bir taşkın yatağındaki taşkın tehlikesinin genel bir sınıflandırması için kullanılabilecek birleştirilmiş bir eğri seti önermişlerdir. Şekil 6.10'da sunulan birleşik sel tehlike eğrileri, taşkın durumunda topluluğun savunmasızlığıyla ilgili tehlike eşiklerini belirlemektedir. Birleşik eğriler, Tablo 6.3'te açıklandığı gibi belirli hassasiyet eşikleriyle ilgili tehlike sınıflandırmalarına bölünmüştür.

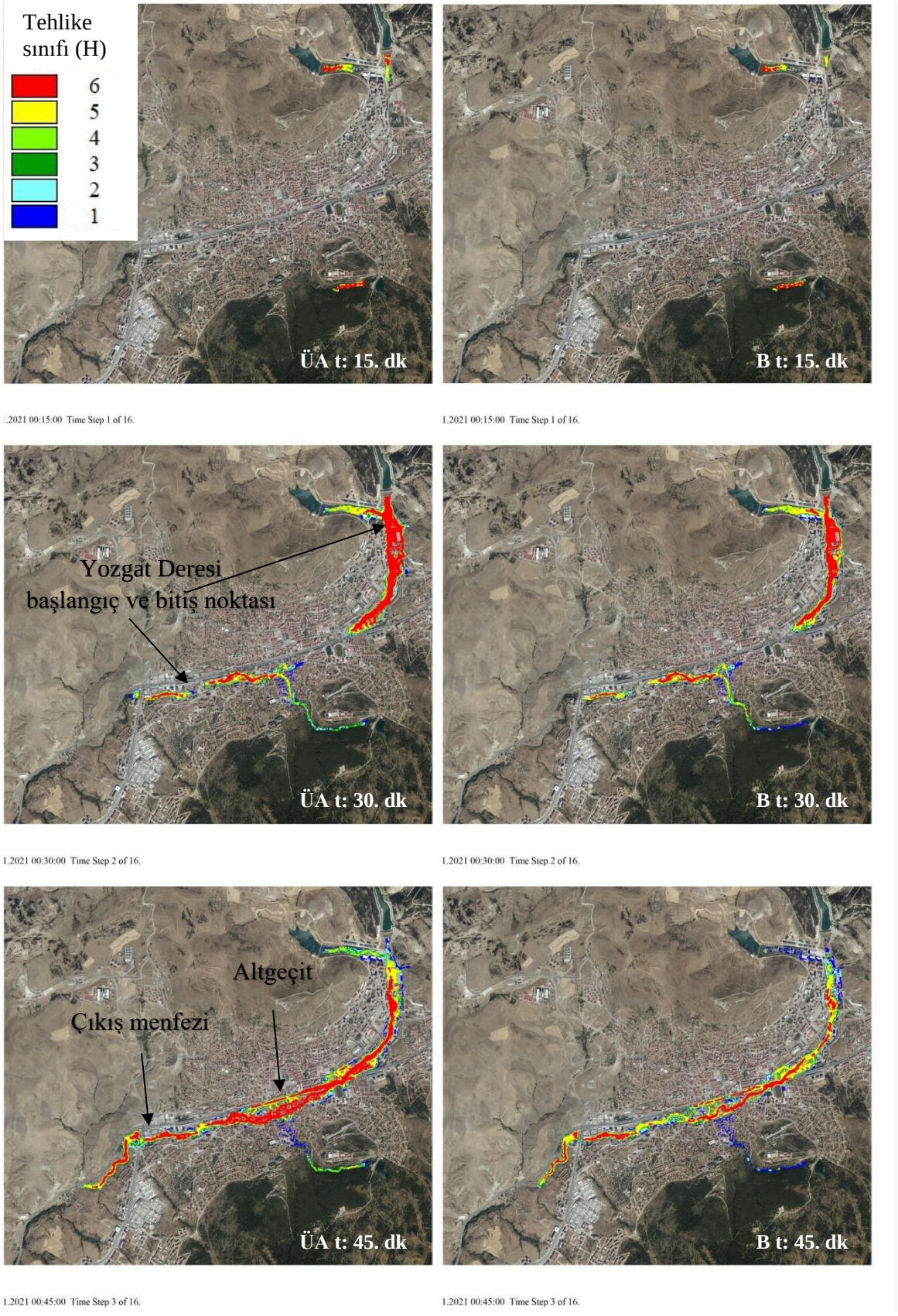
Tablo 6.3. Birleşik tehlike eğrileri - zafiyet sınıflandırma sınırları (Smith ve diğerleri, 2014)

Tehlike Savunmasızlığı Sınıflandırması	Tanım	Sınıflandırma Sınırı (Derinlik ve Hız Kombinasyonu)	Durgun Su Derinlik Eşiği (D)	Eşik Hız (H)
H1	Araçlar, insanlar ve binalar için genellikle güvenlidir.	$D*V \leq 0.3$	0.3	2
H2	Küçük araçlar için güvensiz.	$D*V \leq 0.6$	0.5	2
H3	Araçlar, çocuklar ve yaşlılar için güvensiz.	$D*V \leq 0.6$	1.2	2
H4	Araçlar ve insanlar için güvensiz.	$D*V \leq 1.0$	2	2
H5	Araçlar ve insanlar için güvensiz. Tüm binalar yapısal hasara karşı savunmasızdır. Bazı daha az sağlam binalar yıkılma riskine karşı savunmasız kabul edilir.	$D*V \leq 4.0$	4	4
H6	Araçlar ve insanlar için güvensiz. Tüm bina türleri yıkılma riskine karşı savunmasız kabul edilir.	$D*V > 4.0$	-	-



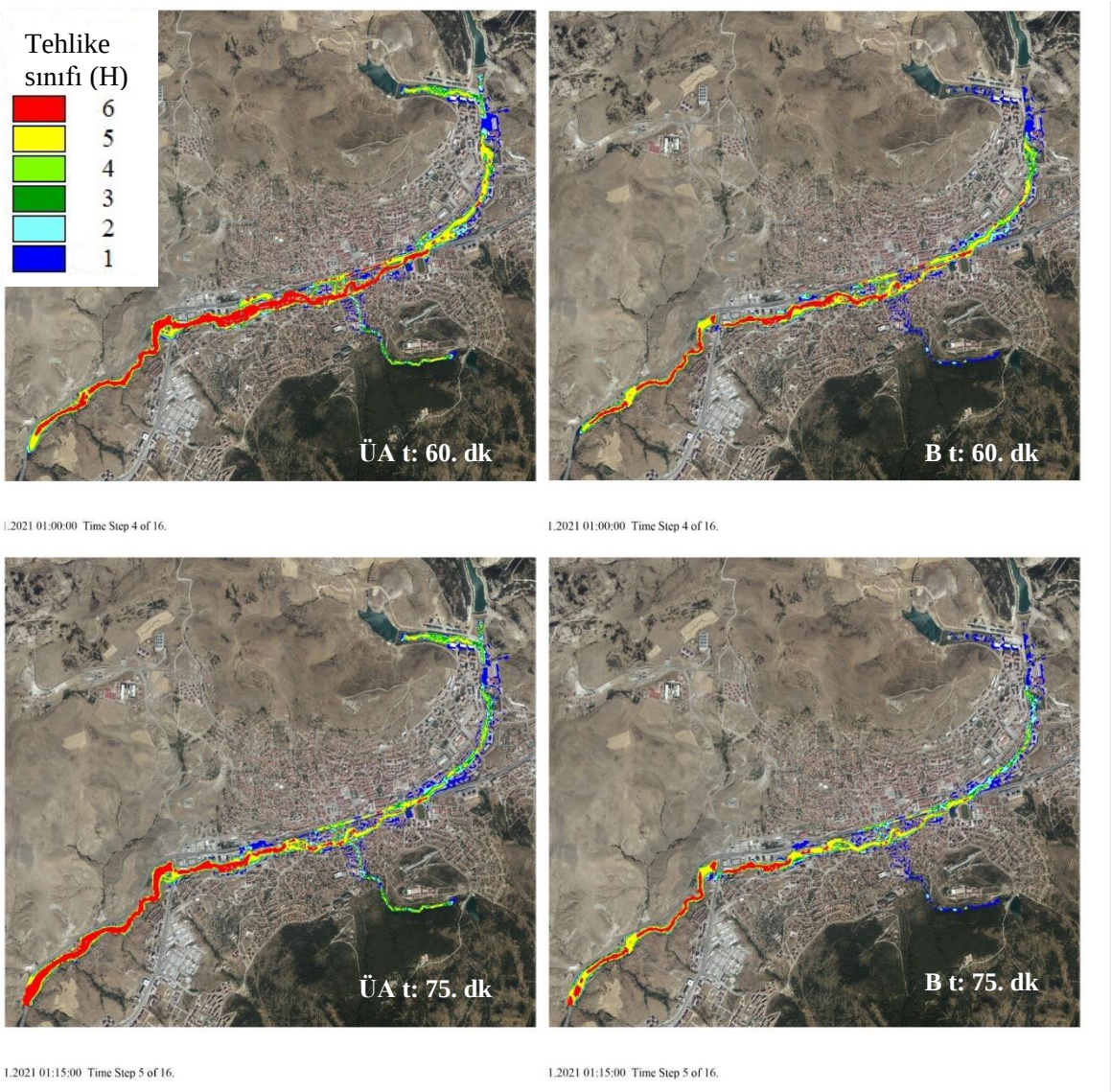
Şekil 6.10. Birleşik sel tehlike eğrileri (Smith ve diğerleri, 2014)

Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'i barajlarının analiz başlangıcından 10 dakika sonra aynı anda olası yıkılmasının sonuçları 15 dakika aralıklı, zamana bağlı tehlike haritaları kullanılarak değerlendirilmiştir. Ayrıca üstten aşma ve borulanma senaryoları için haritalardan elde edilen bilgiler kullanılarak, zamana bağlı taşkın yayılım alanları, maksimum su derinlikleri, maksimum akım hızları elde edilmiştir. Ayrıca zamana bağlı olarak H3 tehlike sınıfı üzeri alanlar tespit edilerek, o andaki toplam taşkın alanı ile kıyaslanmıştır. Taşkın tehlike haritaları, iki senaryo için zamana bağlı olarak elde edilmiştir. Analiz başlangıcından 15 dakika sonra üç farklı noktadan taşkın yayılımının başladığı görülmektedir. Taşkın suları 30. dakika sonunda kapalı dere hattı bitiş noktasından çıkmış ve membaa yakın bölgeler yüksek tehlike altında bırakmıştır. Karayolu altgeçidi yaklaşık 45. dakikada yüksek tehlike altındadır. Ayrıca taşkın suları, şehir çıkış noktasındaki menfezden çıkmaya başlamıştır. Bu zaman adımında, taşkın tehlikesi orta bölümlerde artmıştır. Üstten aşma senaryosunda taşkın tehlikesinin daha yüksek olduğu da aşağıda görülmektedir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Üstten aşma (solda) ve borulanma (sağda) senaryosunda zamana bağlı taşkın yayılımı ve tehlike dağılımı (t: 15. dk. / t: 30. dk. / t: 45. dk.)

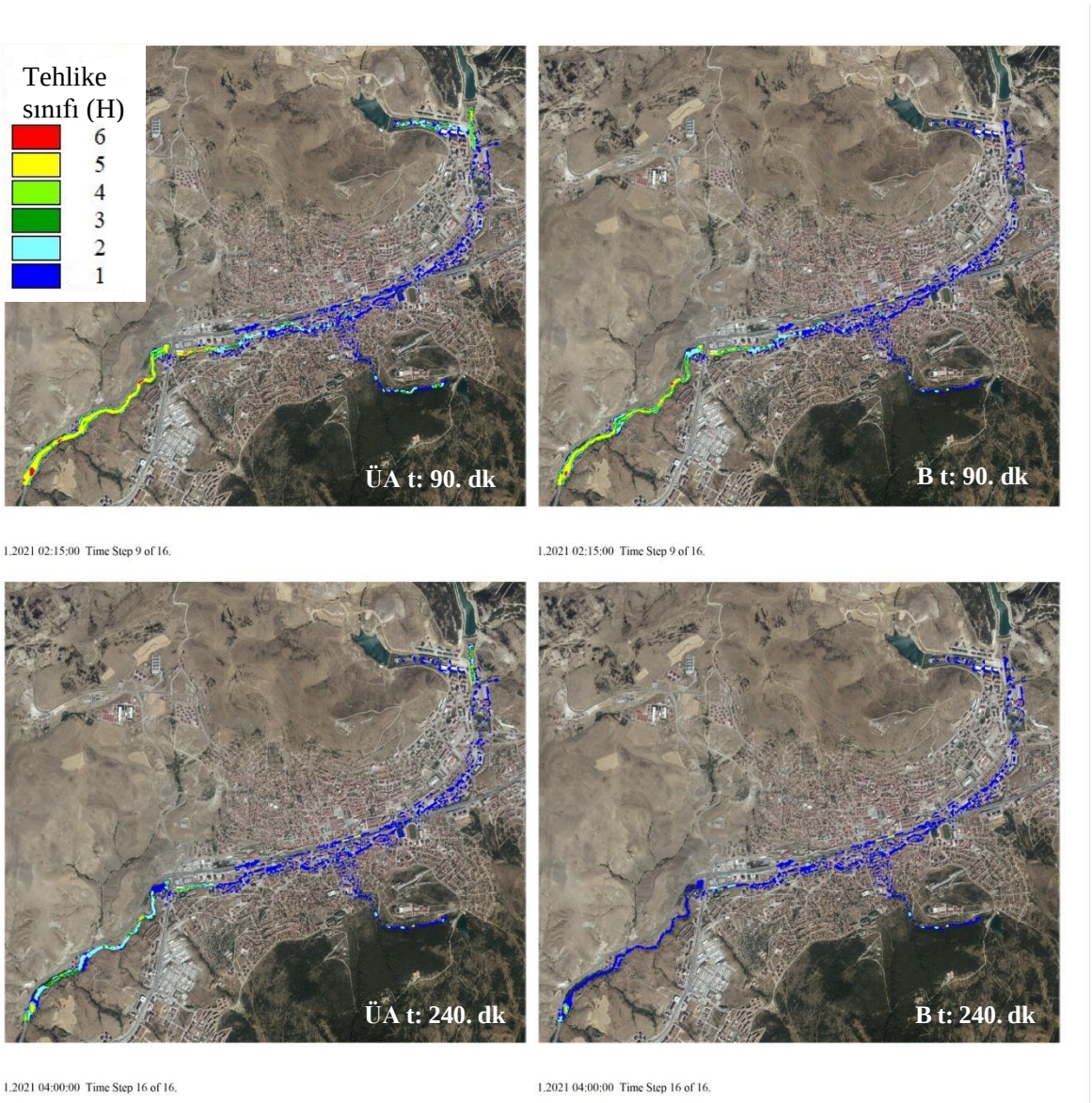
Analizin yaklaşık 60. dakikasında tehlike iki senaryo içinde şehir çıkış noktasında artmıştır. Ancak borulanma senaryosunda memba kısımlarında tehlike geçerken, üstten aşma senaryosunda devam ettiği görülmektedir. Taşkın başlangıcının 75. dakikasında üstten aşma senaryosunda mansap çıkış noktasının en yüksek tehlike sınıfına ulaştığı, borulanma senaryosunda ise tehlikenin nispeten daha düşük olduğu Şekil 6.12'de verilen tehlike haritasında görülmektedir.



Şekil 6.12. Üstten aşma (solda) ve borulanma (sağda) senaryosunda zamana bağlı taşkın ve tehlike dağılımı (t: 60. dk. / t: 75. dk.)

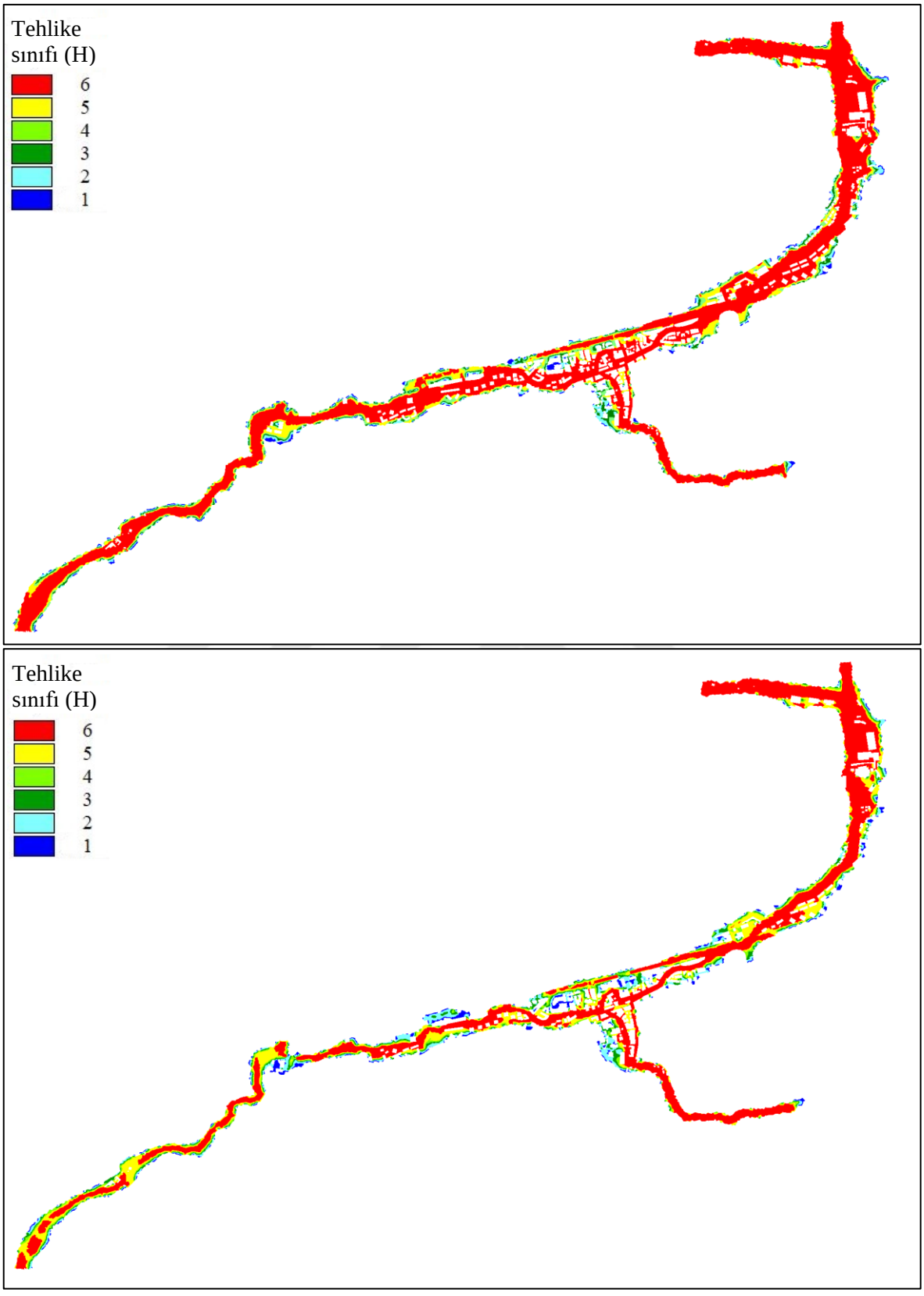
Analizin 90. dakikasında iki farklı senaryo içinde, yerleşim alanlarının bulunduğu bölgede taşkın tehlikesinin H1, H2 seviyesine düştüğü ancak çıkış menfezinin öncesinde biriken hacim nedeniyle bu bölgede tehlikenin H4, H5 seviyesinde olduğu görülmektedir.

Analiz bitiş anında (240. dk.), iki senaryo için neredeyse bütün çalışma alanının H1 tehlike seviyesine düştüğü, sadece üstten aşma senaryosunda çıkış menfezinden sonraki yapılaşmanın olmadığı bölgede tehlikenin kısmen H2 seviyesinde olduğu Şekil 6.13'te görülmektedir.



Şekil 6.13. Üstten aşma (solda) ve borulanma (sağda) senaryosunda zamana bağlı taşkın yayılımı ve tehlike dağılımı (t: 90. dk. / t: 240. dk.)

Yağış başlangıcından analiz bitimine kadar, zamana göre değişen taşkın dağılım alanları ve yüksek (H>3) seviyede tehlikeli alanlar ile maksimum derinlik ve hız değerleri iki faklı senaryo için 15 dakika aralıkla elde edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ayrıca Şekil 6.14'te iki farklı taşkın senaryosu (ÜA, B) için elde edilen maksimum tehlike sınıfı haritası verilmiştir.



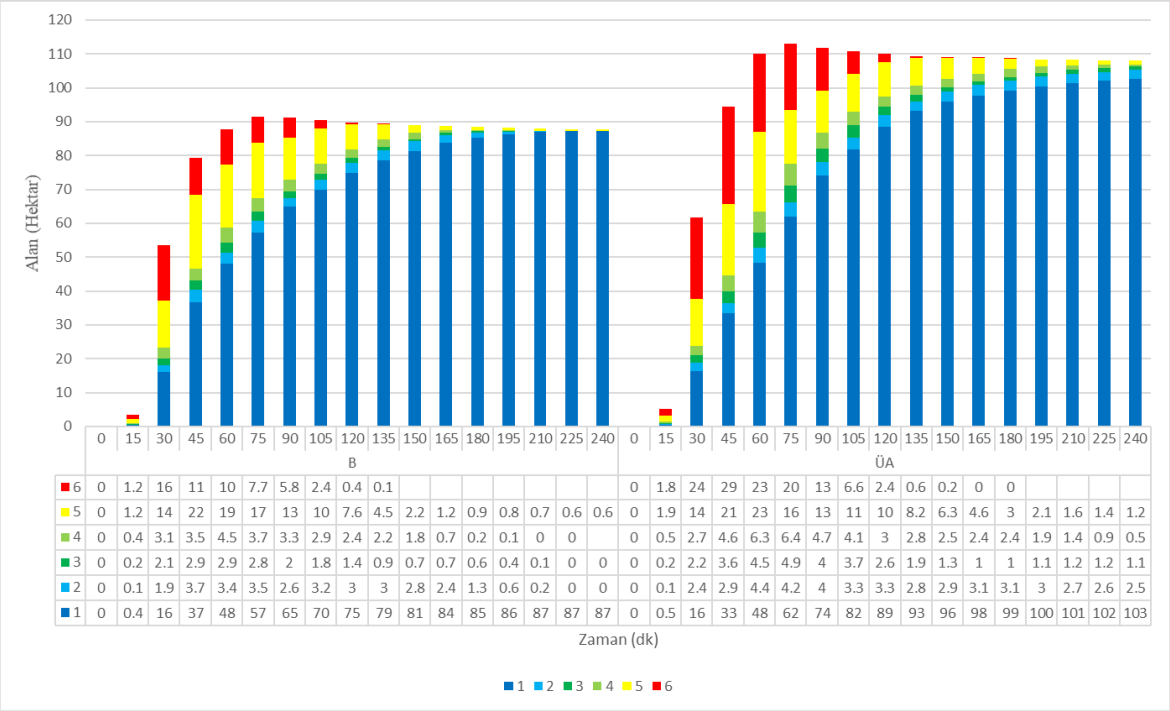
Şekil 6.14. Üstten aşma (üstte) ve borulanma (altta) senaryosunda maksimum taşkın tehlikesi haritası

Analiz sonuçlarına ilişkin detaylı istatistikler Tablo 6.4'te verilmiştir.

Tablo 6.4. Borulanma ve üstten aşma senaryoları için zamana bağlı tehlike haritalarının istatistikleri ve karşılaştırması

Zaman(dk.)	Toplam taşkın alanı (ha)			Yüksek tehlike taşkın alanı (H> 3)			Yüksek Tehlike Oranı (%)			Maksimum Derinlik (m)			Ortalama derinlik (m)			Maksimum hız (m/s)			Ortalama hız (m/s)		
	B	ÜA	Fark (%)	B	ÜA	Fark (%)	B	ÜA	Fark (%)	B	ÜA	Fark (%)	B	ÜA	Fark (%)	B	ÜA	Fark (%)	B	ÜA	Fark
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	3.4	5.0	32%	2.8	4.2	33%	82%	83%	1%	6.2	6.9	9%	1.1	1.1	1%	10.7	14.8	28%	2.62	2.78	16%
30	53.6	61.6	13%	33.4	40.7	18%	62%	66%	5%	11.4	15.6	27%	2.0	3.0	33%	18.6	83.4	78%	1.37	1.74	21%
45	79.4	94.4	16%	36.2	54.5	33%	46%	58%	21%	10.6	11.6	8%	1.5	2.2	29%	11.4	15.4	26%	1.11	1.42	22%
60	87.8	109.9	20%	33.6	52.7	36%	38%	48%	20%	9.5	13.8	32%	1.2	1.8	32%	13.3	14.6	9%	0.76	0.98	22%
75	91.6	113.0	19%	28.0	41.9	33%	31%	37%	18%	10.8	12.5	14%	1.1	1.5	28%	7.7	13.3	42%	0.47	0.69	32%
90	91.2	111.9	19%	21.7	29.9	27%	24%	27%	11%	7.6	11.0	31%	0.8	1.1	21%	6.1	7.9	23%	0.29	0.40	29%
105	90.4	110.8	18%	15.7	21.9	28%	17%	20%	12%	5.7	7.4	23%	0.6	0.8	19%	5.8	6.4	9%	0.20	0.27	28%
120	89.7	110.0	18%	10.4	15.5	33%	12%	14%	18%	4.8	6.1	21%	0.5	0.6	18%	4.5	5.7	20%	0.13	0.19	35%
135	89.3	109.4	18%	6.8	11.6	42%	8%	11%	28%	4.3	5.2	17%	0.4	0.5	16%	4.4	4.8	8%	0.08	0.14	43%
150	88.9	109.0	18%	4.0	8.9	55%	5%	8%	45%	4.0	4.6	13%	0.3	0.4	19%	3.5	4.4	20%	0.05	0.11	49%
165	88.7	108.8	18%	1.9	7.0	73%	2%	6%	67%	3.8	4.2	10%	0.3	0.4	18%	3.0	5.8	49%	0.04	0.09	60%
180	88.4	108.6	19%	1.1	5.5	79%	1%	5%	74%	3.5	4.0	11%	0.3	0.3	18%	2.5	4.3	42%	0.02	0.07	68%
195	88.2	108.4	19%	0.8	4.0	79%	1%	4%	74%	3.4	3.8	11%	0.3	0.3	15%	2.3	3.5	36%	0.01	0.06	77%
210	88.0	108.3	19%	0.7	3.0	77%	1%	3%	72%	3.3	3.7	9%	0.3	0.3	15%	1.6	3.4	54%	0.01	0.05	85%
225	87.9	108.1	19%	0.6	2.2	72%	1%	2%	65%	3.3	3.6	6%	0.2	0.3	12%	1.3	3.3	60%	0.00	0.05	92%
240	87.8	108.0	19%	0.6	1.7	65%	1%	2%	57%	3.3	3.5	4%	0.2	0.3	11%	0.7	3.1	77%	0.00	0.04	95%

Toplam taşkın alanı ve taşkın alanı tehlike sınıfının zamana ve taşkın senaryosuna bağlı dağılımı Şekil 6.15'te verilmiştir. Aşağıda görüldüğü üzere üstten aşma senaryosunda toplam taşkın alanının daha geniş olmasının yanında yüksek tehlikeli (>H3) taşkın alanı oranı, ilk 45-75 dakika aralığında %20 daha fazladır. İki senaryo için de, analiz yapılan bölgede ilk 120 dakika sonunda tehlikenin azaldığı grafikte görülmektedir.

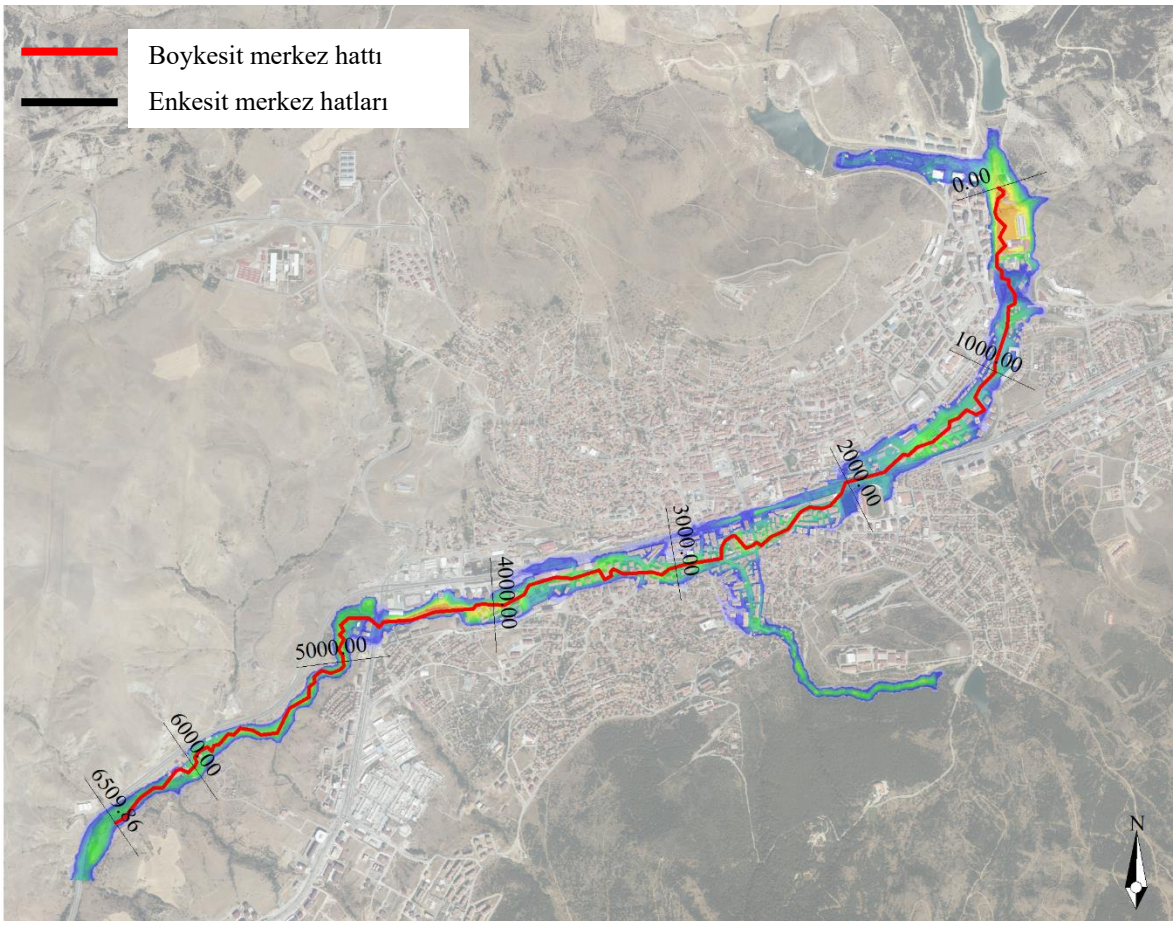


	B																	ÜA															
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240
6	0	1.2	16	11	10	7.7	5.8	2.4	0.4	0.1								0	1.8	24	29	23	20	13	6.6	2.4	0.6	0.2	0	0				
5	0	1.2	14	22	19	17	13	10	7.6	4.5	2.2	1.2	0.9	0.8	0.7	0.6	0.6	0	1.9	14	21	23	16	13	11	10	8.2	6.3	4.6	3	2.1	1.6	1.4	1.2
4	0	0.4	3.1	3.5	4.5	3.7	3.3	2.9	2.4	2.2	1.8	0.7	0.2	0.1	0	0		0	0.5	2.7	4.6	6.3	6.4	4.7	4.1	3	2.8	2.5	2.4	2.4	1.9	1.4	0.9	0.5
3	0	0.2	2.1	2.9	2.9	2.8	2	1.8	1.4	0.9	0.7	0.7	0.6	0.4	0.1	0	0	0	0.2	2.2	3.6	4.5	4.9	4	3.7	2.6	1.9	1.3	1	1	1.1	1.2	1.2	1.1
2	0	0.1	1.9	3.7	3.4	3.5	2.6	3.2	3	3	2.8	2.4	1.3	0.6	0.2	0	0	0	0.1	2.4	2.9	4.4	4.2	4	3.3	3.3	2.8	2.9	3.1	3.1	3	2.7	2.6	2.5
1	0	0.4	16	37	48	57	65	70	75	79	81	84	85	86	87	87	87	0	0.5	16	33	48	62	74	82	89	93	96	98	99	100	101	102	103

Şekil 6.15. Taşkın alanı ve tehlike sınıfının zamana ve taşkın senaryosuna bağlı değişimi

6.3. Merkez Boykesit Profili ve Belirlenen Enkesitlerden Geçen Taşkın Debisi

Taşkın alanı için elde edilen yayılım ve tehlike haritaları ile birlikte, iki boyutlu model sonuçlarından faydalanılarak üstten aşma ve borulanma senaryoları için taşkın boykesit profili elde edilmiştir. Ayrıca taşkın merkez hattı boyunca bir km aralıkla alınan enkesitlerden geçen taşkın debisinin zamana ve kesite bağlı değişimi elde edilmiştir. Ayrıca taşkın alanında bulunan derelerin, altgeçit ve menfezlerin altından geçen ve üstünden taşan taşkın debileri zamana bağlı grafikleri elde edilmiştir. Merkez hattından alınan boykesit ve enkesitlerin, taşkın alanında yerleşimi Şekil 6.16'da görülmektedir.

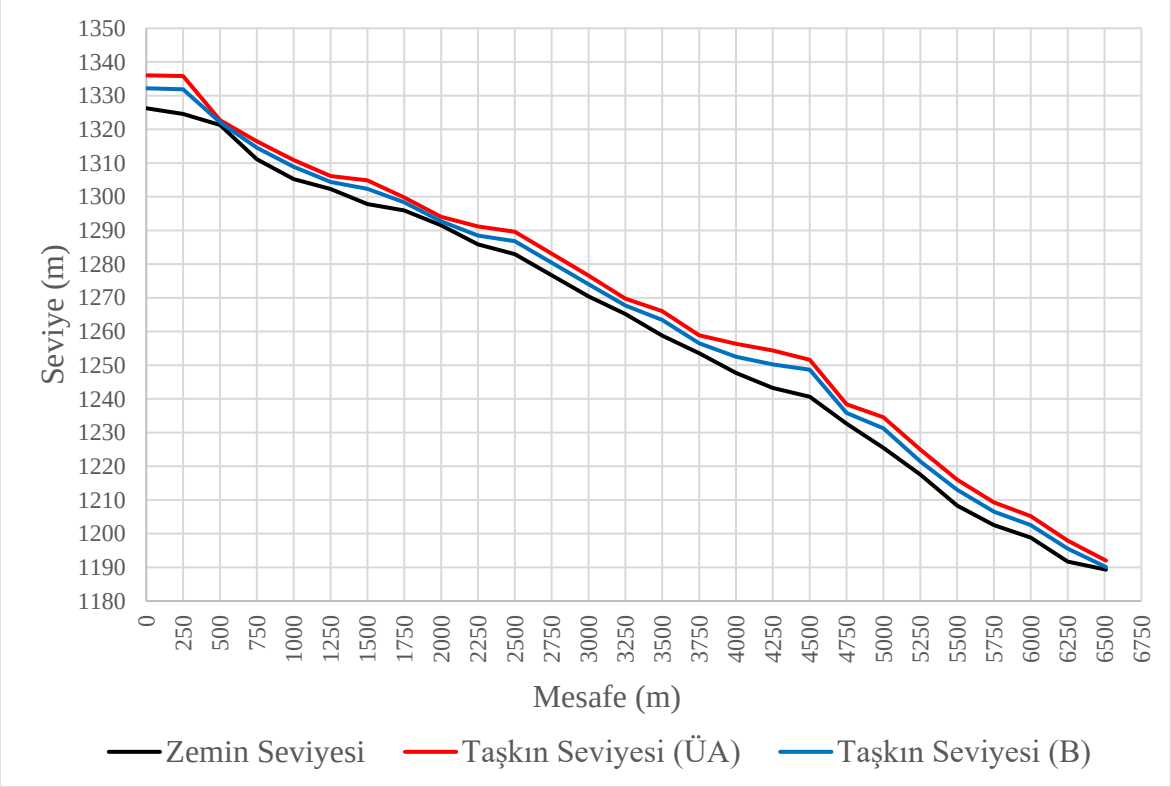


Şekil 6.16. Taşkın alanı merkez hattından alınan boykesitin ve enkesitlerin yerleşim planı

6.3.1. Boykesit Profili

Taşkın alanı merkez hattından alınan maksimum taşkın seviyesi boykesit profili Şekil 6.17'de verilmiştir. Taşkın alanından alınan zemin profili yaklaşık 6500 metre uzunluğa sahiptir ve bu mesafe boyunca zemin kotunda yaklaşık 137 metre azalma olmuştur. Bu bilgilere dayanarak taşkın merkez hattının ortalama % 2.1 eğime sahip olduğu belirlenmiştir. Merkez hattından alınan boykesit profiline göre, üstten aşma senaryosunda en büyük su yüzü profili maksimum 4.14 metre, ortalama olarak 2.57 metre borulanma senaryosu su yüzü profilinden daha yüksektir.

İki senaryo için de 250. ve 4500. metrelerde görülen birikmeler dikkat çekmektedir. İlk birikmenin olduğu 250. metrede yer alan binalar nedeniyle, taşkın yavaşlayarak birikmekte daha sonra ise 750. metrede, yüksekliği azalarak tahliye olmaktadır. İkinci birikmenin olduğu 4500. metrede ise çıkış noktasında bulunan kutu menfezin, bu boyutta debiye sahip bir taşkın için yeterli olmaması sebebiyle seviye yükselmektedir. Ardından 4750. metrede menfezden deşarj olmaktadır.



Şekil 6.17. Maksimum taşkın seviyesi boykesit profili

6.3.2. Taşkın Merkez Hattından Alınan Enkesitlerden Geçen Taşkın Hidrografları

Taşkın debisinin kesite ve zaman bağlı değişimini sayısal olarak ifade etmek amacıyla üstten aşma ve borulanma senaryoları için bir kilometre aralıklarla enkesitler alınmış ve bu kesitlerden geçen hidrograflar elde edilmiştir. Taşkın debi-zaman hidrografları incelendiğinde en yüksek pik debilerinin, göletlere en yakın kesitlerde olduğu Şekil 6.18 (ÜA) ve Şekil 6.19 (B) görülmektedir.

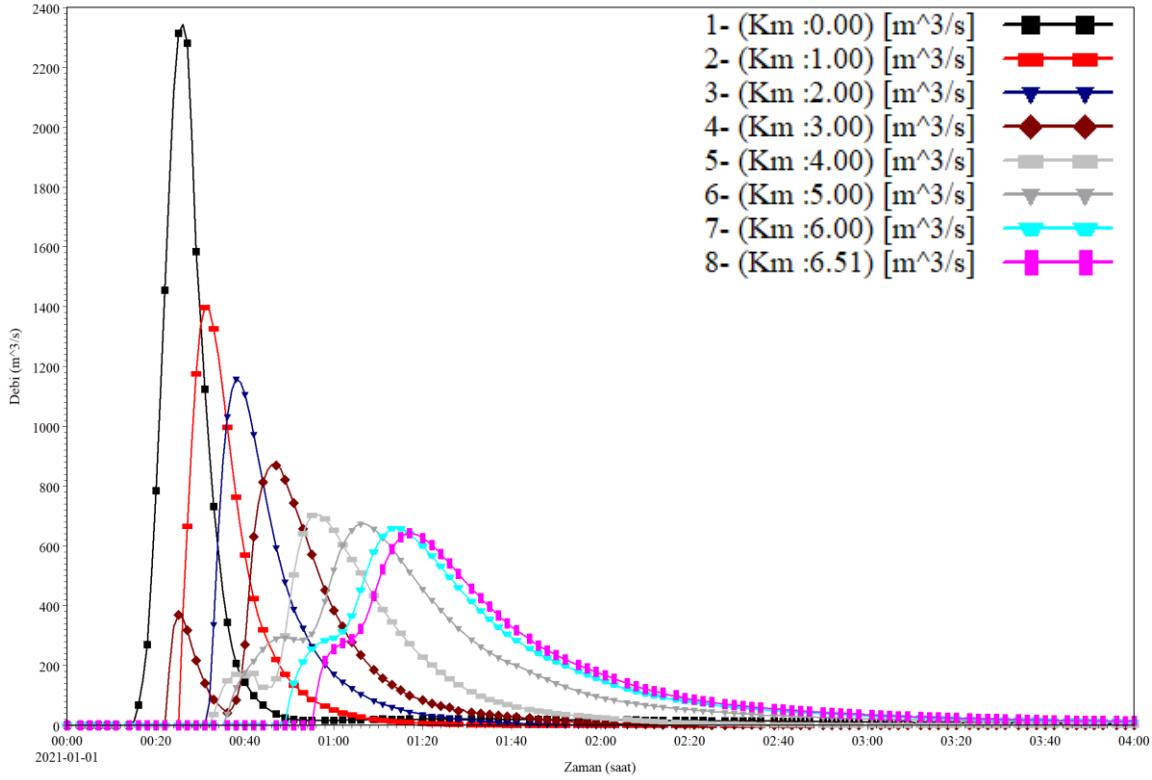
Bir, iki, üç ve dört nolu kesitlerde pik debilerin zamanla nispeten daha çok azaldığı tespit edilmiştir. Bu kesitler yapılaşmanın yüksek olduğu bölgede yer almaktadır. Pik debilerdeki bu düşüşe pürüzlülük ile birlikte esnek ağ geometri verisinde binaların temsil edilmesi sonucu oluşan dargeçitlerin neden olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, gelen taşkın akımının caddelerde dallanarak ilerlemesi de pik debinin azalarak, hidrografın zamana yayılmasında etkisi yüksektir.

Beş, altı, yedi ve sekiz nolu enkesitlerde, pik debiler yaklaşık olarak sabit kalmıştır. Bu duruma, belirtilen enkesitlerin bina yoğunluğunun azaldığı bölgede yer almasının etkisinin yüksek olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bu bölümde taşkın akımının sadece bir koldan ilerlemesi de, hidrografın pik debisinin sabit kalmasında etkili olmuştur.

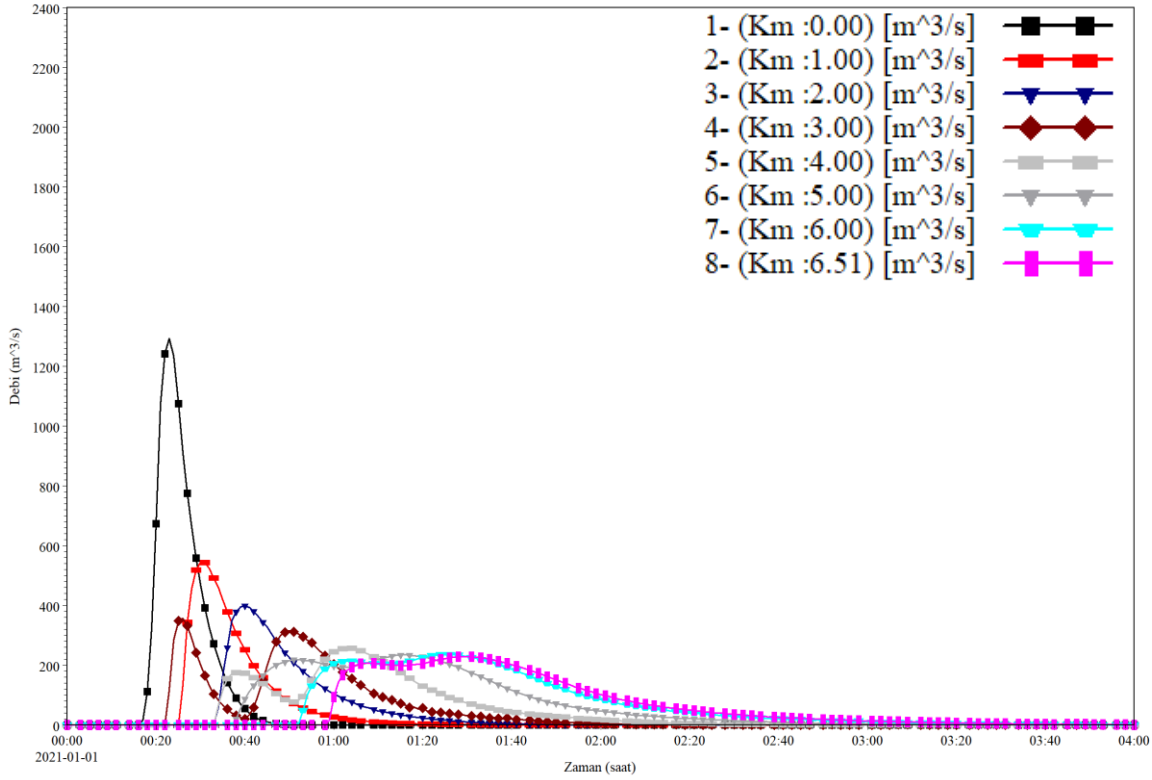
Üstten aşma senaryosu bir nolu enkesitinde analizin 26. dakikasında 2344.46 m^3/s değeri ile pik debiye ulaşılmıştır. Son enkesitte ise analizin 77. daikikasında 642.58 m^3/s değeri ile pik kesit debisine ulaşılmıştır. Başlangıç ve bitiş enkesitlerinde, pik debiye ulaşma süreleri arasında yaklaşık 51 dakika gecikme olmuştur.

Borulanma senaryosu bir nolu enkesitinde analizin 23. dakikasında 1293.49 m^3/s değeri ile pik debiye ulaşılmıştır. Son enkesitte ise analizin 89. dakikasında 229.06 m^3/s değeri ile pik kesit debisine ulaşılmıştır. Başlangıç ve bitiş enkesitlerinde, pik debiye ulaşma süreleri arasında yaklaşık 66 dakika gecikme olmuştur.

Üstten aşma senaryosunda gölet rezervuarlarından daha fazla hacimde suyun tahliye olması ve yağış nedeniyle gelen giriş hidrografları ile birlikte kesitlerden geçen pik debiler daha yüksek olmuş ve taşkın daha kısa sürede çıkış kesitinden deşarj olmuştur.



Şekil 6.18. Debi-Zaman Hidrografları (ÜA)



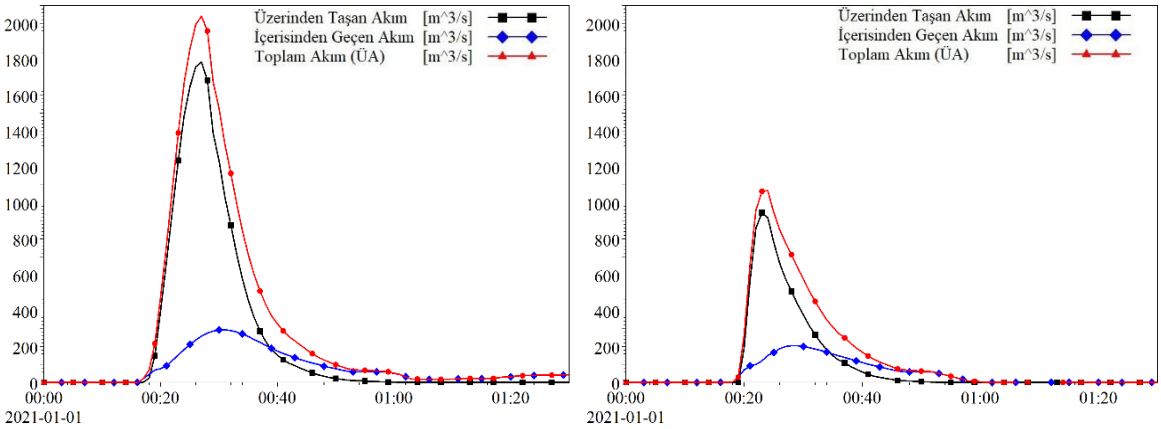
Şekil 6.19. Debi-Zaman Hidrografları (B)

6.3.3. Menfezlerden Geçen Taşkın Akımları

Kirazlı Gölet'i ve Çiftlik Dere Gölet'i mansabına yakın bir noktada başlayarak, şehir çıkışına kadar devam eden kapalı kesitli Yozgat Deresi ve bu dereye bağlanan, Bekir Cevdet Dündar Gölet'i mansap yüzünün alt tarafında başlayan Taşköprü Deresi'nin kapalı kısmı bir boyutlu olarak modellenmiştir (Bkz. Şekil 5.32). Üstten aşma ve borulanma senaryosu için bir boyutlu olarak modellenen kapalı dere kesiti kapasitelerinin yeterliliği test edilmiştir. Bu amaçla derelerin içerisinden geçen ve üzerinden taşan hidrograflar belirlenmiştir.

Şekil 6.20'de üstten aşma ve borulanma senaryoları için Yozgat Deresi'nin kapalı bölümü içerisinden geçen akım ve üzerinden geçen taşkın akımı gösterilmiştir. Üstten aşma senaryosunda, (solda) ilk taşkın akımı 16. dakikada gelmektedir. İlk olarak kapalı kesitli dere içerisinden akmaya başlayan taşkın akımı 17. dakikada giriş kesiti üzerinden taşmaya başlamaktadır. Kapalı giriş kesiti üzerinden taşan akım 27. dakikada 1783.93 m^3/s değerine ulaşmıştır. Dere içerisinden geçen akım ise 31. dakikada 293.04 m^3/s değerine ulaşmıştır. Borulanma senaryosu için de benzer bir akış durumu gerçekleşmiş, ancak pik debiler nispeten daha küçük olmuştur.

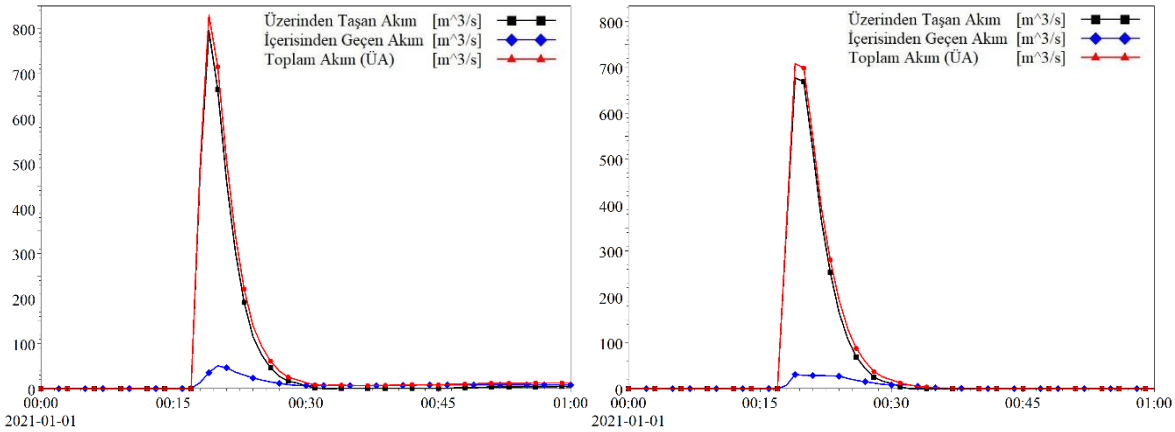
Aniden gelen baraj yıkılması taşkın debisi nedeniyle, Yozgat Deresi kapalı kesiti iki taşkın senaryosu için yetersiz kalmıştır. Sonuçta, taşkın akımı üstten aşma senaryosunda 47 dakika, borulanma senaryosunda ise 35 dakika boyunca dere hattı üzerinden taşmaya devam etmiştir.



Şekil 6.20. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda Yozgat Deresi'nden geçen akım

Şekil 6.21'de üstten aşma ve borulanma senaryoları için Taşköprü Deresinin kapatılan bölümü içerisinden geçen akım ve üzerinden geçen taşkın akımı gösterilmiştir. Üstten aşma senaryosunda (solda), ilk taşkın akımı 18. dakikada gelmektedir. Aynı dakika içerisinde, giriş kesiti üzerinden taşmaya başlamaktadır. Kapalı dere hattı üzerinden taşan akım 19. dakikada 794.65 m^3/s değerine ulaşmıştır. Kapalı dere hattı içerisinden geçen akım ise 20. dakikada 50.63 m^3/s değerine ulaşmıştır.

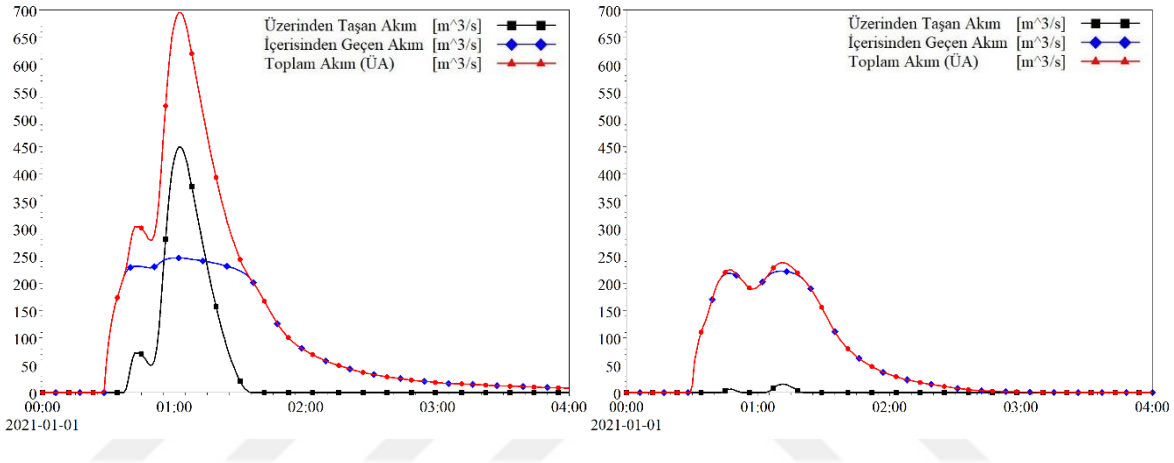
Yozgat Deresi'nin kapalı bölümünde yaşanan duruma benzer olarak, Taşköprü Deresi'nin kapatılan bölümü iki senaryo için de yetersiz kalmaktadır. Taşkın akımı 15 dakika boyunca kapalı hat üzerinden taşmaya devam etmiştir. Üstten aşma senaryosunda, Bekir Cevdet Dündar Gölet'ine giren yağış hidrografının etkisiyle pik debiler nispeten daha yüksek olmuştur.



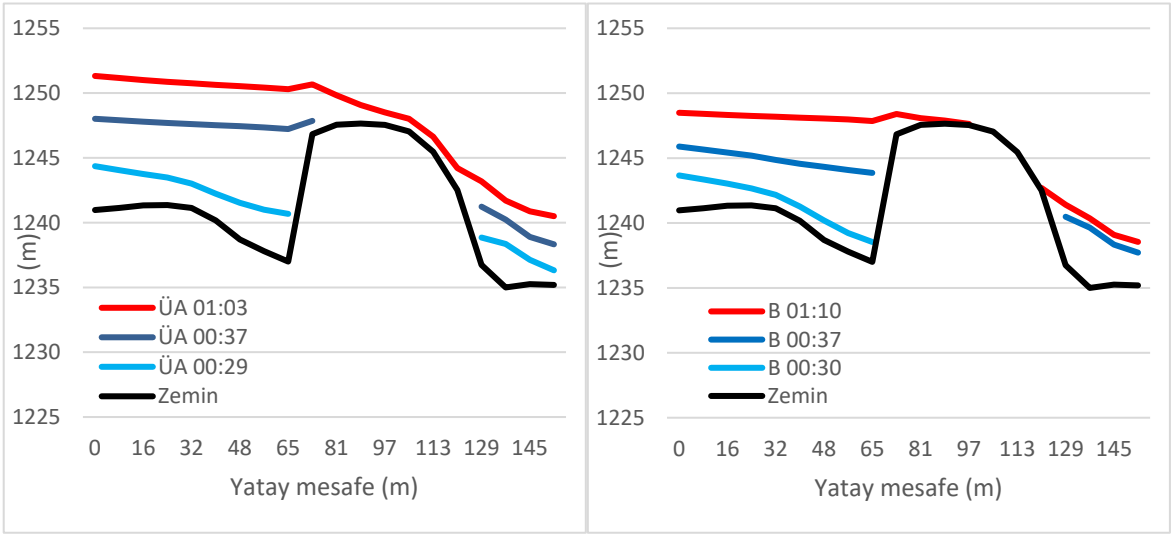
Şekil 6.21. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda Taşköprü Deresi'nden geçen akım

İki boyutlu modelde üstten aşma ve borulanma senaryoları için uzun menfez (long culvert) olarak tasarlanan iki gözlü kutu menfezden geçen akım hidrografları Şekil 6.22'de, boykesit profili Şekil 6.23'te verilmiştir. Bu menfez, gelen taşkın hidrografını, kentsel alandan tahliye etmesi nedeniyle büyük öneme sahiptir. Üstten aşma senaryosunda, menfez girişine ilk akım 28. dakikada ulaşmaktadır. İlk olarak menfez içerisinden akmaya başlayan taşkın akımı 37. dakikada menfez üzerinden taşarak karayolu üzerinden akmaya başlamıştır. Menfez girişi üzerinden taşan akım 63. dakikada 449.02 m^3/s pik debi değerine ulaşmış ve içerisinden geçen akım ise 62. dakikada 246.33 m^3/s değerine ulaşmıştır. Kesitten geçen toplam pik debi ise 63. dakikada 695.19 m^3/s'dir. Menfez içerisinden toplam 1,267,450 m^3 hacimli taşkın tahliye olmuştur. Menfez üzerinden ise toplamda 612,773.00 m^3 taşkın hacmi geçmiştir. Menfezin bulunduğu kesitten ise toplamda 1,880,223.00 m^3 taşkın hacmi tahliye

olmuştur. Borulanma senaryosunda ise menfez girişine ilk akım 29. dakikada ulaşmaktadır. Borulanma senaryosunda, üstten aşma senaryosundan farklı bir durum gerçekleşmiş ve gelen taşkın debisinin neredeyse tamamı, menfez içerisinden tahliye olmuştur. Menfez girişi üzerinden taşan akım 71. dakikada 15.57 m^3/s pik debi değerine ulaşmış ve içerisinden geçen akım da 71. dakikada 222.22 m^3/s değerine ulaşmıştır. Kesitten geçen toplam pik debi ise 71. dakikada 237.79 m^3/s'dir. Menfez içerisinden toplam 857,912.00 m^3 hacimli taşkın tahliye olmuştur. Menfez üzerinden ise toplamda 10,868.00 m^3 taşkın hacmi geçmiştir. Menfezin bulunduğu kesitten ise toplamda 868,780.00 m^3 taşkın suyu tahliye olmuştur.



Şekil 6.22. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda iki gözlü kutu menfezden geçen akım



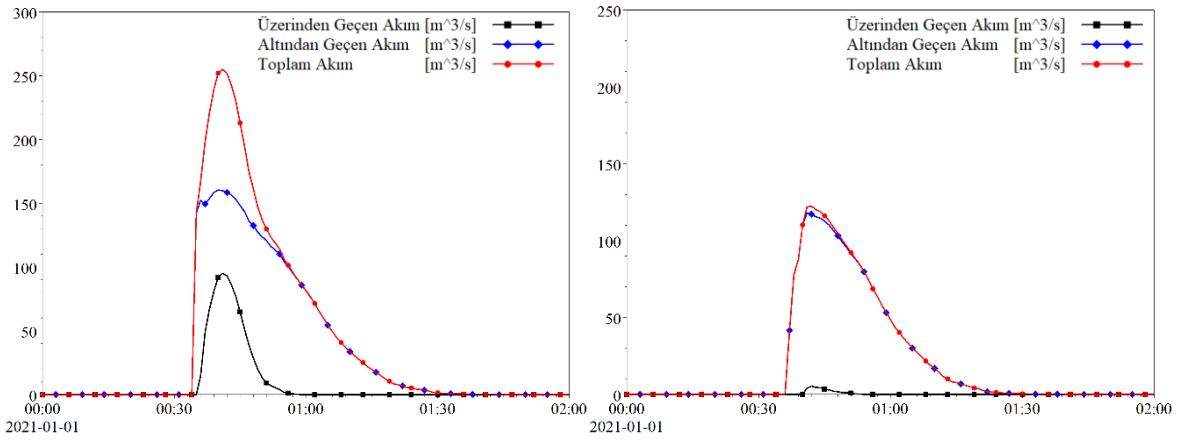
Şekil 6.23. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda iki gözlü kutu menfez boykesit profili

6.3.4. Karayolu Alt Geçidinden Geçen Taşkın Akımı

D200 Karayolu üzerinde bulunan alt geçit, üstten aşma ve borulanma senaryosunda taşkın suları altında kalmıştır. Karayolu alt geçidi iki boyutlu modelde uzun menfez yapısı olarak modellenmiştir. Alt geçit yapısına ilişkin taşkın hidrografları Şekil 6.24'te verilmiştir.

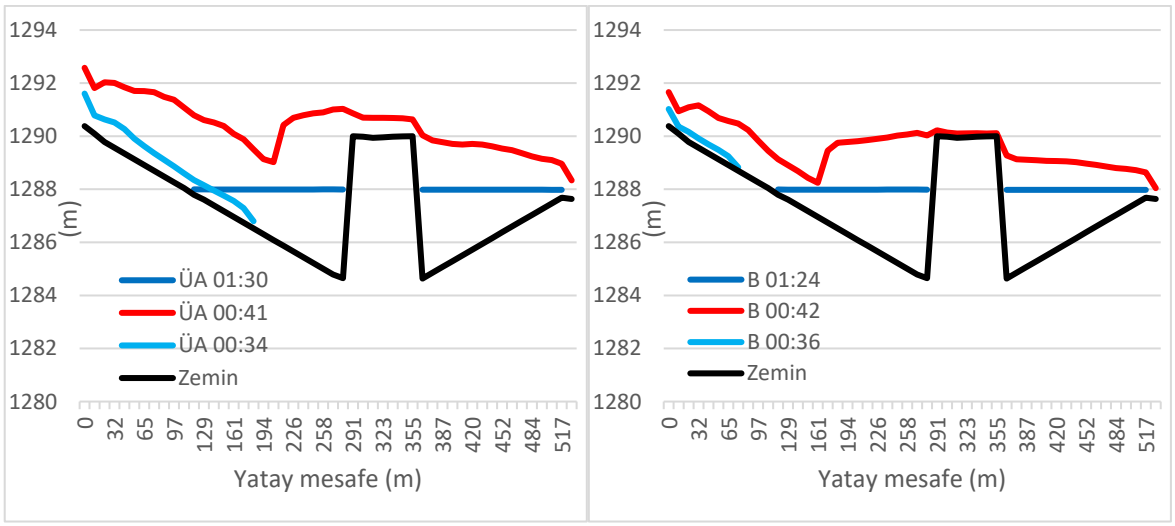
Üstten aşma senaryosunda, taşkın suları ilk olarak yaklaşık 35. dakikada alt geçit girişine ulaşmıştır. İlk başta sadece alt geçidin altından geçmeye başlamıştır ve 40. dakikada 160.22 m^3/s pik debi değerine ulaşmıştır. Analizin 36. dakikasında üsten taşmaya başlayan taşkın akımı 41. dakikada 95.04 m^3/s pik debi değerine ulaşmıştır. Kesitten geçen toplam pik debi 41. dakikada 254.94 m^3/s olmuştur.

Borulanma senaryosunda ise gelen akımın neredeyse tamamı alt geçidin altından geçmiştir. İlk olarak 37. dakikada altgeçide ulaşan taşkın akımı, 42. dakikada 122.56 m^3/s pik debi değerine ulaşmıştır.



Şekil 6.24. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda karayolu alt geçidinden geçen akım

Alt geçit yapısı için önemli zamanlarda alınan boykesit profili Şekil 6.25'te verilmiştir. Üstten aşma senaryosunda kesitten maksimum akımın geçtiği zaman adımında, üstten taşma durumu gerçekleşmiştir. Borulanma senaryosunda ise çok daha az miktarda taşkın suyu üstten taşmıştır. Analiz başlangıcından yaklaşık bir buçuk saat sonra, iki senaryo içinde alt geçitten geçen akım durularak sabit su seviyesinde kalmıştır.



Şekil 6.25. ÜA (solda) ve B (sağda) senaryosunda karayolu altgeçidi boykesit profili

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Yozgat il merkezinde bulunan Kirazlı Gölet'i, Çiftlik Dere Gölet'i ve Bekir Cevdet Dündar Gölet'inin yağmurlu gün (üstten aşma) ve güneşli gün (borulanma) senaryoları için çoklu yıkılma ve taşkın yayılım analizleri gerçekleştirilmiştir. Baraj yıkılması modelleri, gölet havzaları ve kapalı dere hatları (Yozgat Deresi ve Taşköprü Deresi), bir boyutlu olarak MIKE HYDRO River yazılımında hidrolojik ve hidrodinamik olarak modellenmiştir. Taşkın yayılım alanı ise MIKE 21 FM yazılımında iki boyutlu olarak modellenmiş ve MIKE FLOOD yazılımında 1B/2B bütünleşik hidrodinamik analiz yapılmıştır. Bu analizlerin sonucunda, il merkezi için olası baraj yıkılması kaynaklı taşkın olayının derinlik ve hız haritaları ile birlikte bunlara bağlı olarak değişen tehlike haritaları elde edilmiştir. İki farklı senaryo altında, taşkın haritalarından alınan boykesit ve enkesitler kullanılarak taşkın hidrograf ve profilleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Son olarak, menfezlerin taşkını karşılamada yeterli olup olmadığı, menfez girişlerinden alınan enkesitler kullanılarak değerlendirilmiştir.

Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkının boyutu, yıkılma parametreleri ve yağış sonucu baraj haznelerine giren akıma göre değişmekle birlikte, yüksek oranda baraj yıkılma anındaki rezervuar su seviyesine ve rezervuarda depolanan su hacmi ile ilişkilidir. Baraj rezervuarı seviye-hacim ilişkisi, hazne geometrisine göre değişmekte olup doğru olarak belirlenmesi baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın hidrografının tespiti için büyük önem arz etmektedir. Çalışma bölgesinde bulunan nispeten düşük depolama kapasitesine sahip göletlerin seviye hacim ilişkileri ve maksimum depolama kapasiteleri ilgili kuruluşlarından temin edilememiştir. Bu nedenle, sualtı geometrisi tahmin etmek için yanal vadileri ve memba/mansap bölgeleri ile rezervuar taşkın alanının jeomorfolojik benzerliğini ve topoğrafik sürekliliğini kullanan yenilikçi bir yaklaşım (ADBAR) kullanılmıştır. Bu yöntemde HGM'den temin edilen beş metre çözünürlüklü SYM5 verisi altlık olarak kullanılmıştır.

Yapılan araştırmalar neticesinde, çalışma yapılan göletlerin membaında yer alan derelere ilişkin akım kayıtlarına rastlanmamıştır. Bu nedenle, öncelikli olarak çalışması bölgesi için Yozgat MGİ yağış verisi ve istatiksel analiz yöntemleri kullanılarak, muhtemel 1000 yıl tekerrür periyotlu yağış miktarı (1/24 saat süreli) tahmin edilmiş ve sentetik bir yağış-akış modeli olan SCS CN (eğri numarası) yöntemi kullanılarak göletlerin taşkın giriş

hidrografları hesaplanmıştır. Kirazlı ve Çiftlik Dere Gölet'i Dolu savak kapasitelerinin, normal şartlar altında 1000 yıllık taşkın akımını karşılamak için yeterli kapasitede olduğu tespit edilmiştir. Ancak elverişsiz koşullar altında analizi değerlendirmek için (en olumsuz senaryo), dolusavak yapılarının çalışmadığı ve baraj yapılarının yıkıldığı varsayılmıştır.

Birinci senaryoda (yağışlı gün), rezervuar su seviyesi kret kotunda iken yağış etkisiyle gölet gövdeleri üzerinden suyun taşması sonucu, erozyon etkisiyle gölet gövdelerinde kademeli olarak gelişen gediğin göletlerin aynı anda yıkılmaya başlamasına sebep olduğu varsayılmıştır. Literatürde, araştırmacılar yıkılan barajlardan elde ettikleri verileri kullanarak, yıkılma anındaki rezervuar su hacmi ve seviyesi parametrelerine bağlı farklı amprik eşitlikler önermişlerdir. Bu eşitlikler kullanılarak, üstten aşma sonucu oluşan trapez şekilli gediğin; taban genişliği, oluşma süresi, taban seviyesi ve gedik yan eğimleri elde edilmiştir. Bu parametreler bir boyutlu modelde kullanılarak, üstten aşma sonucu oluşan çıkış hidrografları hesaplanmıştır.

İkinci senaryoda (güneşli gün), rezervuar su seviyesi dolu savak giriş kotunda iken yağış olmayan bir günde, gölet gövdelerinde başlayan borulanmanın erozyon etkisiyle kademeli olarak genişlediği ve barajların yıkılmasına sebep olduğu varsayılmıştır. Borulanma sonucu oluşan trapez şekilli gediğin; taban genişliği, oluşma süresi, taban seviyesi ve gedik yan eğimleri regresyon eşitlikleri kullanılarak elde edilmiştir. Bu parametreler bir boyutlu modelde kullanılarak, borulanma sonucu oluşan çıkış hidrografları hesaplanmıştır.

Farklı hidrolojik şartlar altında ve farklı rezervuar su seviyeleri için elde edilen baraj yıkılması taşkını çıkış hidrograflarının, olası taşkın yayılım alanı, iki boyutlu olarak modellenmiştir. İki boyutlu modele altlık oluşturan esnek ağ (flexible mesh) geometri modeli, TKGM'den temin edilen 50 cm hücre çözünürlüğüne sahip sayısal yükseklik verisinden, iki metre aralıkla alınan noktalar kullanılarak oluşturulmuştur. Bina oturum geometrileri tespit edilerek modele dâhil edilmiş ve bu alanlarda akış olmadığı varsayılmıştır. Taşkın yayılımı, büyük oranda taşkın debisine ve arazi geometrisine bağlı olmakla birlikte pürüzlülük (Manning katsayısı) değeri de taşkın yayılım hızına etki etmektedir. Arazi pürüzlülük katsayısı, konuma bağlı olarak değişen CORINE UA 2018 arazi kullanımı/örtüsü verisi ve bu değerler için literatürde önerilen katsayılar kullanılarak belirlenmiştir.

Bir boyutlu modellenen baraj yıkılması yapıları ve kapalı dereler ile iki boyutlu modellenen taşkın yayılım alanı standart bağlar ile birbirine bağlanarak, eşzamanlı hidrodinamik 1B/2B bütünleşik analiz yapılmıştır. Analiz süresi bir saatlik yağış başlangıcından itibaren dört saat olarak seçilmiş ve analizin yaklaşık 10. dakikasında üç barajın da aynı anda yıkılmaya başladığı varsayılmıştır.

Bir boyutlu baraj yıkılması modelinden iki boyutlu taşkın yayılımı modeline, ilk 35 dakikalık analiz süresi boyunca üstten aşma senaryosunda toplam $2*10^6$ m^3 hacimli taşkın suyu aktarılırken, borulanma senaryosunda $1*10^6$ m^3 hacimli taşkın suyu aktarılmıştır. Bunun sonucunda, iki boyutlu olarak modellenen toplam 792 hektar alanın, üstten aşma senaryosunda 126 hektarlık bölümü, borulanma senaryosunda ise 104 hektarlık bölümü taşkın suları altında kalmıştır. Üstten aşma senaryosunda en büyük su derinliği 15.90 metre olur iken, borulanma senaryosunda bu değer 11.89 m olmuştur. Üstten aşma senaryosunda taşkın akımı, çıkış sınırına ilk olarak 61. dakikada ulaşırken, borulanma senaryosunda 66. dakikada ulaştığı görülmüştür. Üstten aşma senaryosunda, çıkış noktasında maksimum su derinliğine 81. dakikada ulaşılırken, borulanma senaryosunda bu süre 94 dakika olmuştur. Baraj yıkılması kaynaklı deşarj olan taşkın hacmi ile doğru orantılı olarak, yayılım alanı ve ortalama taşkın su derinliği artarken, taşkının altında ilk kalma süresi ile pik derinlik ve pik hıza ulaşma süresi azalmıştır. Çalışma bölgesinde modellenen olası çoklu baraj yıkılması kaynaklı taşkın dalgalarının, yüksek eğimli bir güzergâha sahip olması ve dar bir vadi içerisinde ilerlemiştir. Bu nedenle taşkın yayılım alanındaki artış kısıtlı kalırken, su derinlikleri daha yüksek oranda artmıştır.

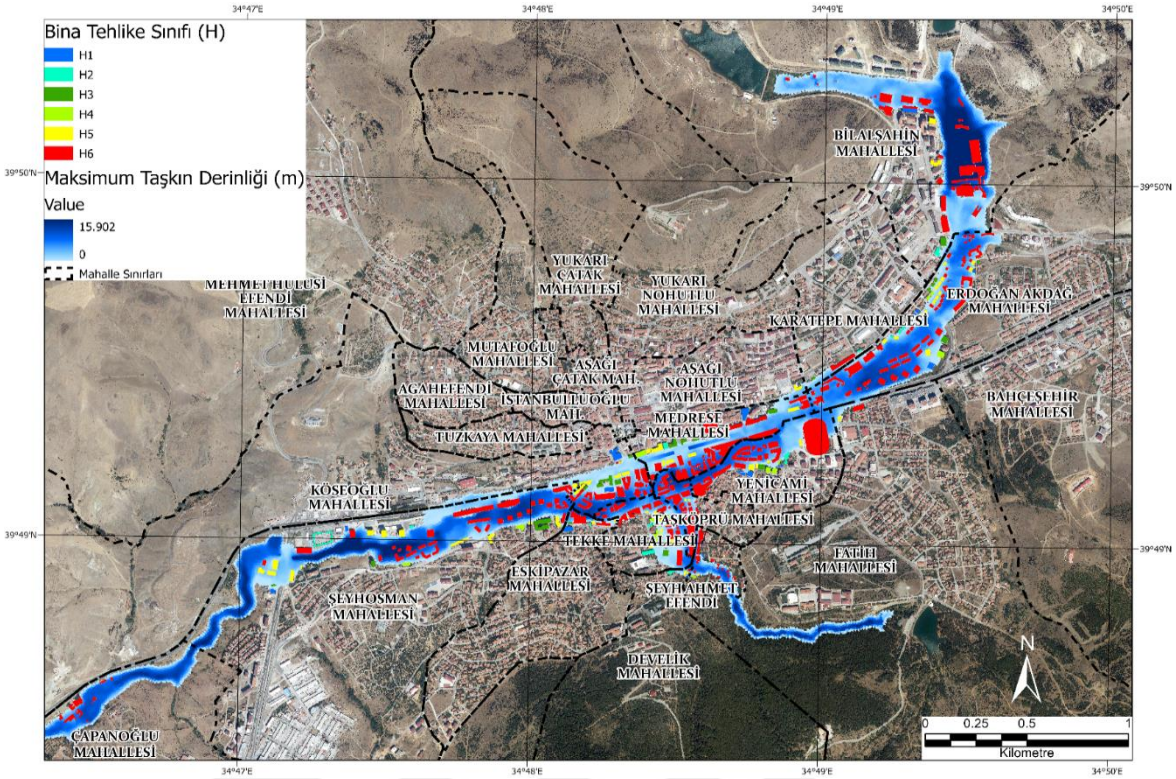
Maksimum su derinliği değerleri ve maksimum akım hızı değerleri kullanılarak taşkın alanı için tehlike haritaları oluşturulmuştur. Tehlike haritaları, taşkın sularının insanlara, araçlara ve binalara olası zararlarını altı kategoride derecelendirmiştir. Üstten aşma senaryosunda toplam 103 hektarlık alan yüksek (H4+H5+H6) tehlike sınıfına dâhil olurken, borulanma senaryosunda bu değer yaklaşık 77 hektar olmuştur.

Baraj yıkılması kaynaklı olası taşkın afetinden Bilal Şahin, Erdoğan Akdağ, Köseoğlu, Medrese, Şeyh Ahmet Efendi, Şeyhosman, Taşköprü, Tekke, Yenicami mahallelerinin doğrudan ve yüksek oranda etkilenmesi beklenmektedir. Aşağınohutlu, Çapanoğlu, Develik, Eskipazar, Fatih, Karatepe, Sarıhacılı mahalleleri ise kısmen ve düşük oranda etkilenmesi beklenmektedir. Bununla birlikte taşkın dalgalarının, kamu binalarının

ve ticarethanelerin yüksek yoğunlukta olduğu bir bölgeden geçtiği ve bölgede bulunan birçok binanın en yüksek tehlike sınıfında olduğu görülmektedir (Şekil 7.1). Bu nedenle Yozgat il merkezinde ikamet eden, toplamda yaklaşık 90000 kişinin taşkından doğrudan veya dolaylı olarak etkileneceği düşünülmektedir. Yozgat il merkezinde yer alan mahalle nüfusları ve taşkından etkilenme durum ve oranları Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1. Yozgat İl merkezi mahalle nüfusları ve taşkından etkilenme durum ve oranları

Yıl	Mahalle adı	Nüfus (Kişi)	Etkilenme durumu	Etkilenme oranı
2020	Bilal Şahin Mah.	7415	Doğrudan	Yüksek
	Erdoğan Akdağ Mah.	5953	Doğrudan	Yüksek
	Köseoğlu Mah.	4466	Doğrudan	Yüksek
	Medrese Mah.	2851	Doğrudan	Yüksek
	Şeyh Ahmet Efendi Mah.	454	Doğrudan	Yüksek
	Şeyhosman Mah.	8239	Doğrudan	Yüksek
	Taşköprü Mah.	2148	Doğrudan	Yüksek
	Tekke Mah.	1838	Doğrudan	Yüksek
	Yenicami Mah.	3824	Doğrudan	Yüksek
	Aşağınohutlu Mah.	6744	Doğrudan	Düşük
	Çapanoğlu Mah.	13806	Doğrudan	Düşük
	Develik Mah.	289	Doğrudan	Düşük
	Eskipazar Mah.	3255	Doğrudan	Düşük
	Fatih Mah.	3587	Doğrudan	Düşük
	Karatepe Mah.	3761	Doğrudan	Düşük
	Sarıhacılı Mah.	168	Doğrudan	Düşük
	Agahefendi Mah.	923	Dolaylı	Düşük
	Aşağı Çatak Mah.	1325	Dolaylı	Düşük
	Azizlibağları Mah.	103	Dolaylı	Düşük
	Bahçeşehir Mah.	5440	Dolaylı	Düşük
	Divanlı Mah.	484	Dolaylı	Düşük
	İstanbulluoğlu Mah.	1311	Dolaylı	Düşük
	Mehmet Hulusi Efendi Mah.	4472	Dolaylı	Düşük
	Mutafoğlu Mah.	1471	Dolaylı	Düşük
	Tuzkaya Mah.	1377	Dolaylı	Düşük
	Yukarıçatak Mah.	787	Dolaylı	Düşük
	Yukarınohutlu Mah.	3715	Dolaylı	Düşük
	Toplam Etkilenen Nüfus	**90206**		



Şekil 7.1. Yozgat il merkezi taşkın tehlike haritası

Taşkın merkez hattından alınan 6500 metre uzunluğa sahip boykesit profilinde, üstten aşma senaryosu için ortalama maksimum su derinliği 6.5 metre olurken, borulanma senaryosunda bu değer 3.8 metre olmuştur. Çiftlik Dere ve Kirazlı Gölet'i mansabına oldukça yakın olan Bilal Şahin mahallesinde ve taşkın sularının şehirden tahliye olduğu Cemil Çiçek Bulvarı altından geçen kutu menfez öncesinde maksimum su derinliğinin yükseldiği, taşkın haritaları ve boykesit kullanılarak tespit edilmiştir.

Merkez hattından bir km aralıkla enkesitler alınarak, enkesitlerden geçen taşkın hidrografları belirlenmiştir. Baraj yıkılmalarının gerçekleştiği bölgelere yakın alanlarda taşkın hidrografı pik debilerinin oldukça yüksek olduğu, ancak taşkın membaından uzaklaştıkça özellikle binaların yoğun olduğu bölgelerde pik debi değerlerinin azalarak, hidrograf süresinin uzadığı görülmüştür. Ancak akımın tek bir kolda toplandığı ve bir akarsu vadisi içinde ilerlediği kısımlarda hidrograf pik debilerinde kayda değer bir azalma gözlemlenmemiştir.

Kirazlı ve Çiftlik Dere göletleri mansabına yakın bir bölgeden başlayarak, şehir merkezinin büyük bir bölümünden kapalı bir kesit içerisinde geçen Yozgat Deresi üstten aşma ve borulanma senaryoları için yetersiz kalmıştır. Ani baraj yıkılması kaynaklı gelen

taşkın akımının neredeyse tamamı kapalı dere kesit girişi üzerinden aşarak birçok alanı sular altında bırakmıştır. Bekir Cevdet Dündar Gölet'i mansabında yer alan kapalı kesitli Taşköprü Deresi de taşkın sularını karşılamada yetersiz kalmıştır. Şehrin çıkışında bulunan çift gözlü kutu menfez, borulanma senaryosunda gelen taşkın sularını karşılamada yeterli olurken, üstten aşma senaryosunda yetersiz kalmış ve taşkın suları menfez üzerinden geçen karayolu üzerinden taşmıştır. D200 Karayolu üzerinde bulunan alt geçit, iki senaryo içinde sular altında kalırken, üstten aşma senaryosunda yüksek miktarda su altgeçit üzerinden aşarak yoluna devam etmiştir.

Baraj yıkılması taşkın analizi sonuçlarının gerçek durumlara daha da yaklaşılması amacıyla, kullanılan veri ve yöntemin hassasiyeti çok önemlidir. Bu çalışmada, aşağıda belirtilen hususların gerçekleşmesi durumunda daha detaylı ve hassasiyeti daha yüksek sonuçlara ulaşılabileceği düşünülmektedir:

1. Gölet rezervuarları maksimum hacim ve seviye-hacim ilişkileri, saha ölçümleri ve/veya akustik ölçüm yöntemleri ile daha yüksek doğrulukta belirlenebilir.
2. Yüksek hassasiyette ölçüm yapan, sık aralıklarla kurulmuş yağış gözlem istasyonları ve akım gözlem istasyonları vasıtasıyla gölet havzaları yağış-akış ilişkileri daha hassas olarak belirlenebilir. Bu noktada, bir mikro klima ölçüm istasyonunun maliyeti 2021 yılı için yaklaşık 145000 TL civarındadır. Otomatik akım gözlem istasyonu ise yaklaşık 45000 TL civarındadır.
3. Gölet gövdelerine ve yardımcı yapılarına (dolusavak, dipsavak vs.) ilişkin detaylı bilgiler ve derelerin altyapısına ait detaylı projeler vasıtasıyla bir boyutlu model hassasiyeti arttırılabilir.
4. Lazer (LIDAR) teknolojisi kullanılarak elde edilebilen, yüksek doğrulukta ve çözünürlükte sayısal yükseklik modeli kullanılması durumunda, arazi geometrisi daha doğru olarak modellenebilir. Bu durum için Yozgat merkezinin yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modelinin havadan lazer vasıtasıyla taranarak üretilmesi için İstanbul'daki bir şirket ile temasa geçilip fiyat alınmıştır. 2021 yılı için alınan fiyat 300000 TL'dir.
5. Yüksek kapasiteli bilgisayar donanımların (işlemci, ekran kartı, vs.) temin edilmesi durumunda, daha yüksek çözünürlükte modeller kurabilir ve daha detaylı hidrodinamik analizler yapılabilir.

Son olarak, Yozgat il merkezi konumu itibariyle, nispeten yüksek seviyelerdeki üç barajın altında daha düşük kotlarda olduğu için bu durum, bir bakımdan avantaj olup diğer bakımdan ise dezavantajdır. Dezavantaj olarak, barajların ani yıkılması senaryosuna göre il merkezinde taşkın riskinin yüksek olduğu çalışma sonuçlardan da görülmektedir. Avantaj olarak ise, yıkılma olmayan senaryoya göre taşkın debilerinin etkisini azaltıp taşkın ve taşkın sonucu oluşabilecek rüsubat (sediment) malzemesinin şehir merkezine ulaşmasını engelleyerek taşkın riskini azaltmaktadırlar. Diğer taraftan, yapılan iklim projeksiyonları ve bölgesel yağış ve sıcaklık değerlerinin trend analizi sonuçlarına göre il merkezinde yüksek miktarda yağmurların gelecek zamanlarda gelmesi ihtimalinin de düşük olduğu literatürdeki bazı çalışmalardan (Ay ve Kisi, 2015; Ay ve Özyıldırım, 2017) ve MGM'nin son raporlarında yağışın geçmiş yıllara göre genel olarak normalden daha az olduğu da (www.mgm.gov.tr) görülmektedir. Üstelik yaklaşık son 13 yılda da şehir merkezinde ölçülen kar kalınlıklarında da zamansal olarak azalmaların olduğu görülmektedir. Bu kapsamda ve tez sonuçlarına göre, olası taşkın zararlarından kaçınmak amacıyla aşağıdaki önlemlerin alınması tavsiye edilmektedir.

1. Çalışmanın sonuçlarına göre, her iki senaryo için üretilen taşkın haritaları genel ve yerel yönetimler tarafından imar planlamalarında kullanılabilir.
2. Taşkın riskinin yüksek olduğu yerlerde, yeni yapılaşmaya izin verilmemeli ve yapılaşma olan bölgelerde tespit edilen gerekli önlemler alınmalıdır. Özellikle, caddelerdeki sıkışıklık ve mahallelere giriş ve çıkışlardaki alternatif yol güzergâhları imar planlarına eklenebilir ve ek yollar yapılabilir.
3. Menfezlerde, köprü ayaklarında, kapalı kesitlerde ve diğer kesit geçişlerinde biriken atık ve çöp malzemelerinin temizliğinin her birikimden sonra mutlaka titizlikle yapılması gerekmektedir.
4. İl merkezindeki kapalı kesitlerin tıkanması durumunda su yüksekliğini artması kaçınılmaz olup bu bölgelerdeki yapıların taşkın riski daha da artmaktadır. Bu bölgelere ayrıca dikkat edilmelidir.
5. Şehir içi mazgalların ve rögarların temizliğinin de kısa zaman aralıklar ile yapılması gerekmektedir.
6. Tespit edilen riskli alanlar için genel bir sigortalama yaptırılabilir.

7. Taşkın tehlikesinin yüksek olduğu yerlerde ikamet edenler için broşür dağıtılabilir ve bilgilendirme toplantıları düzenlenebilir.
8. Baraj yıkılması kaynaklı olası bir taşkının meydana gelmesi halinde can kaybını azaltmak amacıyla erken uyarı sistemleri kurulabilir.
9. Bu çalışma kapsamında ortaya konulan sonuçlar göz önüne alındığında, yetkili kurumlar tarafından her bir baraj için acil eylem planları da hazırlanmalıdır.

8. KAYNAKLAR

Adhikari, P., Hong, Y., Douglas, K. R., Kirschbaum, D. B., Gourley, J., Adler, R. ve Brakenridge, G. R. (2010). A digitized global flood inventory (1998-2008): Compilation and preliminary results. *Natural Hazards*, *55*(2), 405–422. doi:10.1007/S11069-010-9537-2

Altınakar, M. S., McGrath, M. Z., Dabak, T., Thomas, W., Scroggins, C., Gauntt, T., … Kelly, J. (2017). Two-Dimensional Dam-Breach Flood Modeling and Inundation Mapping with Cascading Failures. *World Environmental and Water Resources Congress 2017* içinde (ss. 368–381). doi:10.1061/9780784480625.034

Apaydın, A. (2007). Yeraltı suyu besleniminin eğri numarası (SCS-CN) yöntemi ile hesaplanması: Çakıloba-Karadoruk akifer sisteminde (Beypazarı-Ankara) örnek uygulama. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi*, *28*(3), 159–172.

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. doi:10.21205/deufmd.2020226622

Ay, M. ve Kisi, O. (2015). Investigation of trend analysis of monthly total precipitation by an innovative method. *Theoretical and Applied Climatology*, *120*(3–4), 617–629. doi:10.1007/S00704-014-1198-8

Ay, M. ve Özyıldırım, S. (2017). Trend Analysis of Monthly Total Rainfall and Monthly Mean Air Temperature Variables of Yozgat in Turkey. *Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture*, *32*(2), 65–75.

Azeez, O., Elfeki, A., Kamis, A. S. ve Chaabani, A. (2019). Dam break analysis and flood disaster simulation in arid urban environment: the Um Al-Khair dam case study, Jeddah, Saudi Arabia. *Natural Hazards*, *100*(3), 995–1011. doi:10.1007/S11069-019-03836-5

Barker, B., Schaefer, M. ve Dam Safety Office, W. (2007). Dam safety guidelines—Technical Note 1: Dam break inundation analysis and downstream hazard

classification. *Washington State Dept. of Ecology, Water Resources Program*.

Bozkuş, Z. (2004). Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri. *İMO Teknik Dergi*, *15*(74), 3335–3350. doi:10.18400/td.95990

Bozkuş, Z. ve Bağ, F. (2011). Virtual Failure Analysis of the Çınarcık Dam. *Teknik Dergi*, *22*(110), 1537–1549.

Bozkuş, Z. ve Güner, A. İ. (2001). Pre-Event Dam Failure Analyses for Emergency Management. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, *25*, 627–641.

Bozkuş, Z. ve Kasap, A. (1998). Comparison of physical and numerical dam-break simulations. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, *22*(5), 429–443.

Brunner, G. (2014). *Using HEC-RAS for Dam Break Studies*. *Hydrologic Engineering Center*. Davis, CA.

CBSGM. (2016). Ortofoto haritaları kullanılarak coğrafi veri altyapısı üretiminin gerçekleştirilmesi hizmet alımı işi çalışma raporu. 18 Ekim 2021 tarihinde http://webdosya.csb.gov.tr/db/cbs/webmenu/webmenu36904.pdf adresinden erişildi.

CORINE. (t.y.). Urban Atlas 2018 — Copernicus Land Monitoring Service. 19 Ekim 2021 tarihinde https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018 adresinden erişildi.

Costa, J. E. (1985). Floods from dam failures. *US Geological Survey*, *85*(560).

DHI. (2017). Frequently Asked Questions. 19 Kasım 2021 tarihinde https://faq.dhigroup.com/default.asp?module=MIKE+HYDRO&ID=474 adresinden erişildi.

DHI. (2020a). *Mike Hydro River User Guide*.

DHI. (2020b). *Mike 1d DHI Simulation Engine for 1D river and urban modelling Reference Manual*.

DHI. (2020c). *MIKE 21 Flow Model FM Hydrodynamic Module User Guide*.

DHI. (2020d). *MIKE 21 Flow Model FM Hydrodynamic Module Scientific Documentation*.

DHI. (2020e). *Mike FLOOD 1D-2D Modelling User Manual*.

Dinçergök, T. (2007). Dünya'da Ve Türkiye'de Baraj Emniyeti Kavramının Gelişimi. *1. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu ve Sergisi* içinde (ss. 557–570).

Düden, İ. (2010). *Darıdere Barajının Tedrici Yıkılması ve Yarıktan Çıkan Taşkının Hec-Ras ve Dambrk Programlarında İncelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltaş, İ. ve Kocaman, B. (2017). Baraj Yıkılması Sonrası İki Boyutlu Taşkın Yayılımının Yerleşim Bölgeleri İçin Modellenmesi. *Teknik Dergi/Technical Journal of Turkish Chamber of Civil Engineers, 28*(3), 7955–7975. doi:10.18400/tekderg.307456

Em, A. (2020). *Kralkızı Ve Dicle Barajlarının Yıkılması Sonrası Nümerik Taşkın Modellemesi Ve Simülasyonu*. Doktora Tezi, Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Diyarbakır.

Evans, S. G. (1986). The maximum discharge of outburst floods caused by the breaching of man-made and natural dams. *Canadian Geotechnical Journal, 23*(3), 385–387.

Farr, T. G., Rosen, P. A., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., … Alsdorf, D. E. (2007). The shuttle radar topography mission. *Reviews of Geophysics, 45*(2). doi:10.1029/2005RG000183

Federico, F. ve Cesali, C. (2020). Effects of Dam Failure Mechanisms on Downstream Flood Propagation. *Springer Series in Geomechanics and Geoengineering*, 149–162. doi:10.1007/978-3-030-46351-9_13

FEMA. (2004a). *Federal Guidelines for Dam Safety - Hazard Potential Classification System for Dams*.

FEMA. (2004b). *Federal Guidelines for Dam Safety*.

FEMA. (2013a). *The Federal Guidelines for Inundation Mapping of Flood Risks Associated with Dam Incidents and Failures*.

FEMA. (2013b). *Federal Guidelines for Dam Safety - Emergency Action Planning for Dams*.

FEMA. (2013c). *Selecting and Accommodating Inflow Design Floods for Dams*.

FEMA. (2014). *Region II Storm Surge Project – Spatially Varying Nodal Attribute Parameters*.

FERC. (1987). Engineering guidelines for the evaluation of hydropower projects. *Office of Hydropower Licensing, Washington, DC*.

Fread, D. L. (1977). The development and testing of a dam-break flood forecasting model. *Proceedings of Dam-Break Flood Routing Model Workshop* içinde (ss. 164–197). Bethesda, Maryland,.

Fread, D. L. (1988a). National Weather Service Models to Forecast Dam-Breach Floods. *Hydrology of Disasters*, 192–211.

Fread, D. L. (1988b). BREACH: An Erosion Model for Earthen Dam Falures. *Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service, NOAA*.

Fread, D. L. (1993). NWS FLDWAV Model: The replacement of DAMBRK for dam-break flood prediction. *10th Annual Conference of the ASDSO*.

Froehlich, D. C. (1987). Embankment-Dam Breach Parameters. *Hydraulic Engineering, Proceedings of the 1987 National Conference* içinde (ss. 570–575).

Froehlich, D. C. (1995a). Peak Outflow from Breached Embankment Dam. *Journal of Water Resources Planning and Management*, *121*(1), 90–97.

Froehlich, D. C. (1995b). Embankment dam breach parameters revisited. *International Water Resources Engineering Conference - Proceedings*, *1*(January 1995), 887–891.

Froehlich, D. C. (2008). Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties, *134*(12), 1708–1721. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134

Gallegos, H. A., Schubert, J. E. ve Sanders, B. F. (2009). Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. *Advances in Water Resources*, *32*(8), 1323–1335. doi:10.1016/J.ADVWATRES.2009.05.008

Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. Columbia university press.

Güney, M. Ş., Tayfur, G., Arkış, T. ve Bombar, G. (2015). Experimental and numerical investigation of flood propagation due to trapezoidal breach in the distorted physical model of Ürkmez Dam. *Dam Engineering*, *25*(4), 171–187.

Güney, M. Ş., Tayfur, G., Bombar, G. ve Elçi, Ş. (2014). Distorted Physical Model to Study Sudden Partial Dam Break Flows in an Urban Area. *Journal of Hydraulic Engineering*, *140*(11), 05014006. doi:10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000926

Hagen, V. K. (1982). Re-evaluation of design floods and dam safety: Fourteenth ICOLD Congress. *Rio de Janiero*.

Halley, M. C., White, S. O. ve Watkins, E. W. (2000). ArcView GIS extension for estimating curve numbers. *Esri International User Conference*. https://proceedings.esri.com/library/userconf/proc00/professional/papers/PAP657/p657.htm adresinden erişildi.

Haltaş, İ., Elçi, Ş. ve Tayfur, G. (2016). Numerical Simulation of Flood Wave Propagation in Two-Dimensions in Densely Populated Urban Areas due to Dam Break. *Water Resources Management*, *30*(15), 5699–5721. doi:10.1007/s11269-016-1344-4

Haltaş, İ., Tayfur, G. ve Elçi, Ş. (2016). Two-dimensional numerical modeling of flood wave propagation in an urban area due to Ürkmez dam-break, İzmir, Turkey. *Natural Hazards*, *81*(3), 2103–2119. doi:10.1007/s11069-016-2175-6

HEC-HMS. (t.y.). Havza Karakteristikleri. 5 Kasım 2021 tarihinde https://www.hec.usace.army.mil/confluence/hmsdocs/hmsum/latest/geographic-information/basin-characteristics adresinden erişildi.

HGM. (t.y.). 18 Ekim 2021 tarihinde https://www.harita.gov.tr/urun/sayisal-yuzey-modeli-sym-5-m/1 adresinden erişildi.

ICOLD. (1973). *Lessons from dam incidents*. ICOLD.

ICOLD. (1998). Dam break flood analysis: review and recommendations. *Bulletin 111*.

ICOLD EC. (2012). *Safety of Existing Dams*.

Jonkman, S. N. ve Vrijling, J. K. (2008). Loss of life due to floods. *Journal of Flood Risk Management*, *1*(1), 43–56. doi:10.1111/j.1753-318x.2008.00006.x

Kalyanapu, A. J., Burian, S. J. ve McPherson, T. N. (2009). Effect of land use-based surface roughness on hydrologic model output. *Journal of Spatial Hydrology*, *9*(2), 51–71.

Kandır, F. S. (2020). Taşkın Debi Hesaplarında Plüviyograf Katsayısının Önemi,

Plüviyograf Nedir? Ne İşe Yarar? *TMMOB Meteoroloji Mühendisleri Odası E-Bülteni*, (5).

Karakaya, K. (2005). *Numerical Simulation Of The Kirazlıköprü Dam Failure on The Gökırmak River*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Karataş, B. (2019). *Sivas 4 Eylül Barajının Yıkılma Senaryolarına Göre Taşkın Analizi ve Taşkın Tehlike Raporunun Hazırlanması*. Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yozgat.

Kerim, A. ve Süme, V. (2019). Taşkınlar, Taşkın Koruma ve Kontrol Yapıları; Rize İlinde Örnek Çalışmalar. *Türk Hidrolik Dergisi: Taşkın ve Taşkın Koruma Yapıları*, *3*(1), 1–13.

Kirkpatrick, G. W. (1977). Evaluation guidelines for spillway adequacy. *Evaluation of Dam Safety; Proceedings of the Engineering Foundation Conference* içinde (ss. 395–414).

Kıyıcı, E. (2019). *2-B Bir Hidrolik Model Olan Lısflood-Fp'nin Mekansal Çözünürlüğe Ve Pürüzlülük Parametresine Göre Duyarlılık Analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Kocaman, S. (2002). *Baraj Yıkılması Analizi ve Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Adana.

Kocaman, S. (2007). *Baraj Yıkılması Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Adana.

Kocaman, S., Evangelista, S., Guzel, H., Dal, K., Yilmaz, A. ve Viccione, G. (2021). Experimental and Numerical Investigation of 3D Dam-Break Wave Propagation in an Enclosed Domain with Dry and Wet Bottom. *Applied Sciences*, *11*(12), 5638. doi:10.3390/app11125638

Liu, K., Song, C., Wang, J., Ke, L., Zhu, Y., Zhu, J., … Luo, Z. (2020). Remote Sensing-Based Modeling of the Bathymetry and Water Storage for Channel-Type Reservoirs Worldwide. *Water Resources Research*, *56*(11), 1–19. doi:10.1029/2020WR027147

Liu, Z., Merwade, V. ve Jafarzadegan, K. (2019). Investigating the role of model structure

and surface roughness in generating flood inundation extents using one- and two-dimensional hydraulic models. *Journal of Flood Risk Management*, *12*(1). doi:10.1111/JFR3.12347

Macdonald, T. C. ve Langridge-Monopolis, J. (1984). Breaching Characteristics Of Dam Failures. *ASCE Journal of Hydraulic Engineering*, *110*(5), 567–586.

Mahnamfar, F., Abdollahzadeh, Y. ve Ağıralioğlu, N. (2020). Flood Risk Analysis of Residential Areas at Downstream of the Elmali Dam. *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management*, *1*(1), 49–58.

MGM. (t.y.). Ürünler - Meteoroloji Genel Müdürlüğü. 21 Ekim 2021 tarihinde https://www.mgm.gov.tr/site/urunler.aspx?u=tum adresinden erişildi.

Mohd Sidek, L., Razali, J., Marufuzzaman, M., Yalit, M. R., Radzi, M. R. bin M. ve Shabbir Hossain, M. (2019). Flood Hydrograph Generation for Kenyir Dam Using Hydrological Modeling System. *1st International Conference on Dam Safety Management and Engineering* içinde (ss. 64–75). doi:10.1007/978-981-15-1971-0_7

Molu, M. (1995). *Dam-break flood in a natural channel: A case study*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Naghettini, M. (2017). *Fundamentals of statistical hydrology*. Switzerland: Springer International Publishing.

Nimaev, A. (2015). *2 Boyutlu Taşkın Yayılımı Modellemesinde Sığ Su Denklemlerinin Basit Eylemsizlik Formülasyonunun Kullanılması*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

NWS. (t.y.). Definition of flood and flash flood. https://www.weather.gov/mrx/flood_and_flash#:~:text=Flood%3A An overflow of water,%2C stream%2C or drainage ditch. adresinden erişildi.

Önder, G. (2018). *Effects Of Sediment Transport On 1-D And 2-D Hydrodynamic Modeling And Flood Inundatıon*. Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Özcan, O. (2017). Taşkın Tespitinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi: Ayamama Deresi Örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi Artvin*, *3*(1).

doi:10.21324/dacd.267200

Özdemir, H. (2007). SCS CN Yağış-Akış Modelinin CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle Uygulanması: Havran Çayı Havzası Örneği (Balıkesir). *Coğrafi Bilimler Dergisi*, *5*(2), 1–12.

Özer, Z. (1990). Su yapılarının projelendirilmesinde hidrolojik ve hidrolik esaslar. *Köy Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Havza Islahı ve Göletler Daire Başkanlığı, Ankara*, 378–380.

Öztürk, D. ve Batuk, F. (2011). SCS Yüzey Akış Eğri Numarasının Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Belirlenmesi. *TUFUAB V. Teknik Sempozyumu*.

Palamut, N. (2014). *Baraj Yıkılma Analizi Ve Uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexiou, S. M., Koukouvinos, A., … Kossieris, P. (2018). An Operational Method for Flood Directive Implementation in Ungauged Urban Areas. *Hydrology 2018, Vol. 5, Page 24*, *5*(2), 24. doi:10.3390/HYDROLOGY5020024

Pestana, R., Matias, M., Canelas, R., Araújo, A., Roque, D., Van Zeller, E., … Heleno, S. (2013). Calibration Of 2D Hydraulic Inundation Models In The Floodplain Region Of The Lower Tagus River. *ESA Living Planet Symposium 2013* içinde (ss. 2–7).

Pilotti, M., Milanesi, L., Bacchi, V., Tomirotti, M. ve Maranzoni, A. (2020). Dam-Break Wave Propagation in Alpine Valley with HEC-RAS 2D: Experimental Cancano Test Case. *Journal of Hydraulic Engineering*, *146*(6). doi:10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001779

Rashid Mohd Shah, M., Mohd Sidek, L., Ruzaimei Yalit, M., Marufuzzaman, M., Basri, H. ve Kamal Yaacob, M. (2019). 2D Hydraulic Modelling of Dam Break Analysis Using MIKE FLOOD for Kenyir Dam. *1st International Conference on Dam Safety Management and Engineering* içinde (ss. 214–225). doi:10.1007/978-981-15-1971-0_22

Říha, J., Kotaška, S. ve Petrula, L. (2020). Dam Break Modeling in a Cascade of Small Earthen Dams: Case Study of thě Cižina River in the Czech Republic. *Water*,

12(08), 2309. doi:10.3390/w12082309

RiverMechanics.net. (2021). 24 Eylül 2021 tarihinde https://rivermechanics.net/ adresinden erişildi.

SCS. (1981). Simplified dam-breach routing procedure (First edition). *Technical Release No. 66, Rev. 1*.

Şen, Z. (2009). *Taşkın Afet ve Modern Hesaplama Yöntemleri*. İstanbul: Su Vakfı Yayınları.

Singh, A., Singh, V. P. ve AR, B. (2018). Computation of probable maximum precipitation and its uncertainty. *International Journal of Hydrology*, *2*(4). doi:10.15406/IJH.2018.02.00118

Singh, K. P. ve Snorrason, A. (1982). *Sensitivity Of Outflow Peaks And Flood Stages To The Selection Of Dam Breach Parameters And Simulatıon Models (Dam Safety Program). University of Illinois, State Water Survey Division, Surface Water Section*. Champaign, Illinois.

Singh, K. P. ve Snorrason, A. (1984). Sensitivity of outflow peaks and flood stages to the selection of dam breach parameters and simulation models. *Journal of Hydrology*, *68*(1–4), 295–310. doi:10.1016/0022-1694(84)90217-8

Singh, V. P., Scarlatos, P. D., Collins, J. G. ve Jourdan, M. R. (1988). Breach Erosion of Earthfill Dams (BEED) Model. *Natural Hazards*, *1*(2), 161–180.

Smith, G. P., Davey, E. K. ve Cox, R. (2014). *Flood Hazard*. Australia.

Song, J., Sciubba, M. ve Kam, J. (2021). Risk and Impact Assessment of Dams in the Contiguous United States Using the 2018 National Inventory of Dams Database. *Water 2021, Vol. 13, Page 1066*, *13*(8), 1066. doi:10.3390/W13081066

Sönmez, O., Öztürk, M. ve Doğan, E. (2012). İstanbul Derelerinin Taşkın Debilerinin Tahmini. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *16*(2), 4–9.

SYGM. (2019). *Kızılırmak Havzası Taşkın Yönetim Planı*.

T.C. Resmi Gazete. Taşkın ve Rüsubat Kontrolü Yönetmeliği. Pub. L. No. 30763 (2019). Türkiye Cumhuriyeti.

Tad Portalı. (t.y.). 21 Ekim 2021 tarihinde https://tad.tarim.gov.tr/ adresinden erişildi.

Tate, E. C. (1999). Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcView GIS. *Technical*

Report - University of Texas at Austin, Center for Research in Water Resources, *1999*(September).

Tayfur, G., Güney, M. Ş., Haltaş, İ., Elçi, Ş. ve Bombar, G. (2013). *Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkının Deneysel ve Nümerik Metodlar ile Araştırılması—Gerçek Barajlara CBS Ortamında Uygulanması (TÜBİTAK-110M240)*. İzmir.

Tedla, M. G., Cho, Y. ve Jun, K. (2021). Flood Mapping from Dam Break Due to Peak Inflow: A Coupled Rainfall–Runoff and Hydraulic Models Approach. *Hydrology 2021, Vol. 8, Page 89*, *8*(2), 89. doi:10.3390/HYDROLOGY8020089

USACE. (2014). Engineering and Design Safety of Dams Policy and Procedures.

USACE. (2018). National Inventory of Dams (NID). *National Inventory of Dams (NID)*. 15 Eylül 2021 tarihinde https://nid.usace.army.mil/ adresinden erişildi.

USBR. (1982). Guidelines for defining inundated areas downstream from Bureau of Reclamation dams. *Reclamation planning instruction No. 82-11*.

USBR. (1988). *USBR ACER Technical Memorandum No. 11 Downstream Hazard Classification Guidelines*. Denver, Colorado.

USDA. (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds*. *Technical Release* (C. 55).

Von Thun, J. L. ve Gillette, D. R. (1990). *Guidance On Breach Parameters*.

Wahl, T. L. (1998). Prediction of Embankment Dam Breach Parameters - A Literature Review and Needs Assesment. *Water Resources Research* içinde (C. DSO-98-004, s. 67).

Wahl, T. L. (2004). Uncertainty of Predictions of Embankment Dam Breach Parameters. *Journal of Hydraulic Engineering*, *130*(5), 389–397. doi:10.1061/(asce)0733-9429(2004)130:5(389)

Wang, W., Chen, W. ve Huang, G. (2020). Research on Flood Propagation for Different Dam Failure Modes: A Case Study in Shenzhen, China. *Frontiers in Earth Science*, *8*(527363). doi:10.3389/feart.2020.527363

Wetmore, J. N., Fread, D. L., Lewis, J. M. ve Wiele, S. M. (1991). The NWS Simplified Dam-Break Flood Forecasting Model. *National Weather Service, Silver Spring, Maryland*, 164–197.

Wu, H., Adler, R. F., Hong, Y., Tian, Y. ve Policelli, F. (2012). Evaluation of Global Flood Detection Using Satellite-Based Rainfall and a Hydrologic Model. *Journal of Hydrometeorology*, *13*(4), 1268–1284. doi:10.1175/JHM-D-11-087.1

Wurbs, R. A. (1987). Dam-Breach Flood Wave Models. *Journal of Hydraulic Engineering*, *113*(1), 29–46. doi:10.1061/(asce)0733-9429(1987)113:1(29)

Xu, Y. ve Zhang, L. M. (2009). Breaching Parameters for Earth and Rockfill Dams. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, *135*(12), 1957–1970. doi:10.1061/(asce)gt.1943-5606.0000162

Yevjevich, V. (1994). *Floods and society*. (G. Rossi, N. Harmancioğlu ve V. Yevjevich, Ed.)*Coping with Floods*. Dordrecht: Springer Netherlands. doi:10.1007/978-94-011-1098-3