



**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
UYGULAMALARI KULLANILARAK
AKDEĞİRMEN BARAJI'NIN 2-D BARAJ
YIKILMA ANALİZLERİNİN YAPILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet KART

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2024

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ UYGULAMALARI
KULLANILARAK AKDEĞİRMEN BARAJI'NIN 2-D BARAJ
YIKILMA ANALİZLERİNİN YAPILMASI**

Ahmet KART

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Şubat 2024

TEZ ONAY SAYFASI

Ahmet KART tarafından hazırlanan “Coğrafi Bilgi Sistemleri Uygulamaları Kullanılarak Akdeğirmen Barajı’nın 2-D Baraj Yıkılma Analizlerinin Yapılması” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca ... / ... / tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği / oy çokluğu** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

Başkan : Prof. Dr. Yılmaz İÇAĞA İmza
Afyon Kocatepe Üniv., Müh. Fakültesi

Üye : Doç. Dr. Halil İbrahim BURGAN İmza
Akdeniz Üniversitesi, Müh. Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT İmza
Afyon Kocatepe Üniv., Müh. Fakültesi

Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..... /..... /..... tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. Bekir YALÇIN
Enstitü Müdürü

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

23 / 02 / 2024

AhmetKART

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ UYGULAMALARI KULLANILARAK AKDEĞİRMEN BARAJI'NIN 2-D BARAJ YIKILMA ANALİZLERİNİN YAPILMASI

Ahmet KART

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Hidrolik Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Murat KİLİT

Bu araştırmada, Akdeğirmen Barajı'nın yıkılması halinde oluşabilecek taşkın dalgasının incelemesi yapılmıştır. Çalışma ile zonlu dolgu barajların yıkılma senaryoları üzerinde durulmuş ve gerçekleşmesi halinde taşkın yayılımı incelenerek verebileceği zararların neler olabileceği hususunda fikir sahibi olmak amaçlanmıştır. Araştırmamızda Hidrodinamik yöntemleri kullanarak taşkın modellemesi yapabilen bir bilgisayar yazılımı olan HEC-RAS kullanılmış ve hassas sayısal yükseklik modellerinden faydalanılarak (2D) analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sayesinde Akdeğirmen Barajı mansabında yer alan meskun mahallerin hangilerinin sular altında kalacağını tespiti, zamana bağlı olarak su derinliği, su hızı ve su kotu değerlerini ortaya koyan haritalar yardımıyla yapılmıştır. Pürüzlülük değerleri her cins mahal için ayrı ayrı ele alınarak elde edilen sonuçların güvenilirliği artırılmıştır. Bu araştırma sonucu; bu tarz bir felaketin Afyonkarahisar ili ve çevresinde ciddi zararlara yol açacağıdır.

2024, xi + 79 sayfa

Anahtar Kelimeler: Baraj yıkılması, HEC-RAS, iki boyutlu analiz, Akdeğirmen Barajı, Akarçay

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PERFORMING 2D DAM FALL ANALYSIS OF AKDEĞİRMEN DAM USING GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS APPLICATIONS

Ahmet KART

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst.Prof Murat KİLİT

In this research, the flood wave that may occur in the event of the collapse of Akdeğirmen Dam on the Akarçay river has been investigated. With this study, the collapse scenarios of zoned fill dams were emphasized and it was aimed to have an idea about the damages that could be caused by examining the spread of the flood in case of such a scenario. Afyonkarahisar province, which is one of the important junction points with its location in the geography of Turkey, is located very close to the Akdeğirmen Dam. This supports the fact that conducting this study may be beneficial in order to be better prepared for possible threats. In our research, HEC-RAS, a computer software capable of flood modeling using hydrodynamic methods, was used and (2D) analysis was carried out by using precision digital elevation models. Thanks to this process, the determination of which of the residential areas located downstream of Akdeğirmen Dam will be flooded was made with the help of maps that reveal the water depth, water speed and water level values depending on time. The reliability of the obtained results has been increased by considering the roughness values separately for each type of location. As a result of this research; that such a disaster will cause serious damage in Afyonkarahisar province and its surroundings.

2024, xi + 79 pages

Keywords: Dam break, HEC-RAS, two dimensional analysis, Akdeğirmen Dam, Akarçay, flood risk

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Murat Kilit'e, araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve bu çalışmanın yapılması için önemli yapıtaşlarına ulaşmamızı sağladıklarından dolayı Harita Genel Müdürlüğü'ne ve Devlet Su İşleri'ne teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme teşekkür ederim. Çalışmamı, en büyük motivasyon kaynaklarım olan canım eşime, kızım Ecrin'e, biricik annem ve babama armağan ediyorum.

Ahmet KART
Afyonkarahisar 2024

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
1.1 Çalışmanın amacı.....	2
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	4
2.1 Tarihte Yaşanmış Baraj Yıkılma Olayları	4
2.2 Geçmişte Baraj Yıkılması Olayı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	4
2.3 Çalışma Alanı	10
3. MATERYAL ve METOT	14
3.1 Baraj Yıkılma Mekanığı	14
3.2 Baraj Yıkılma Hidrodinamiği	20
3.2.1 Navier – Stokes Denklemleri	20
3.2.2 Saint – Venant denklemleri.....	21
3.2.3 Manning Pürüzlülük Katsayısı.....	22
3.3 Akdeğirmen Barajı ve Karakteristik Bilgiler.....	23
3.4 ArcMap 10.7 Programının Tanıtılması.....	25
3.5 HEC-RAS 6.2 Programının Tanıtılması	32
4. BULGULAR	34
4.1 Verilerin Hazırlanması.....	34
4.1.1 Projeksiyon Verisi.....	34
4.1.2 Arazi Pürüzlülük Haritası.....	34
4.2 HEC-RAS ile Modelleme	36
4.2.1 RAS MAPPER.....	37
4.2.2 Edit Geometric Data Bölümü.....	40
4.2.3 Gedik Parametreleri	41
4.2.4 Zamanla Değişen Akış Verileri.....	47
4.2.5 Zamanla Değişen Akış Analizi	49

4.3 Taşkın Etki Analizi	66
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	73
6. KAYNAKLAR.....	75



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

%	Yüzde
1D	Bir Boyutlu
2D	İki Boyutlu
3D	Üç Boyutlu
cm	Santimetre
ha	Hektar
km	Kilometre
m	Metre
m ²	Metrekare
m ³	Metreküp
Max	Maksimum
mm	Milimetre
Sn	Saniye

Kısaltmalar

CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DEM	Digital Elevation Model
DSİ	Devlet Su İşleri
GIS	Geographical Information System
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center - River Analysis System
MGM	Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MTA	Maden Tetkik ve Arama
SYM	Sayısal Yükseklik Modeli
SMS	Surface Water Modeling System
USACE	United States Army Corps of Engineers

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Çalışma alanı sınırları (Map Data © 2023 Google, Image © 2023 CNES/Airbus.) .	11
Şekil 2.2 Çalışma alanı diri fay haritası (https://www.mta.gov.tr).....	12
Şekil 3.1 Üstten aşma nedenli yıkılma mekaniği (USACE 2014).	16
Şekil 3.2 Borulanma nedenli yıkılma mekaniği (USACE 2014).	17
Şekil 3.3 Akdeğirmen Barajı genel yerleşim planı (DSİ, 1989)	26
Şekil 3.4 Baraj Gövdesi max enkesiti (DSİ 1989).....	27
Şekil 3.5 Akdeğirmen Barajı Kot-Alan-Hacim Grafiği	28
Şekil 3.6 Katastrofal Taşkın Hidrografi (DSİ 1989).	29
Şekil 3.7 Baraj Uydu Görüntüsü(Map Data © 2023 Google, Image © 2023 CNES/Airbus) ..	30
Şekil 3.8 Sayısal Yükseklik Modeli (DEM Verisi).....	31
Şekil 3.9 CORINE arazi pürüzlülük haritası.....	31
Şekil 3.10 ArcMap programının çalışmada kullanım şeması	32
Şekil 3.11 HEC-RAS programının çalışmada kullanım şeması.....	33
Şekil 4.1 Türkiye Pafta Bölümlemesi (İnt. Kyn. 9).	34
Şekil 4.2 “Raster to Polygon” işlemi.....	35
Şekil 4.3 ArcMap programında arazi pürüzlülük haritası görüntüsü	36
Şekil 4.4 Uygulamaya hazır DEM verisi	37
Şekil 4.5 HEC-RAS 6.2 Açılış Ekranı	37
Şekil 4.6 Ras Mapper ekranı	38
Şekil 4.7 HEC-RAS programı dem verisi görüntüsü	39
Şekil 4.8 HEC-RAS programı arazi pürüzlülük haritası	39
Şekil 4.9 Manning değerleri tablosu (Pinto 2014)	40
Şekil 4.10 Taşkın sınırı ve baraj rezervuarının çizimlerinin görüntüsü	41
Şekil 4.11 Geometric data bölümünde alan sınırları	42
Şekil 4.12 “MacDonald et al” denklem seti için gedik parametreleri.....	42
Şekil 4.13 “MacDonald et al” denklem seti için gedik şekli.....	43
Şekil 4.14 “Froehlich 1995” denklem seti için gedik parametreleri	43
Şekil 4.15 “Froehlich 1995” denklem seti için gedik şekli.....	44
Şekil 4.16 “Froehlich 2008” denklem seti için gedik parametreleri	44
Şekil 4.17 “Froehlich 2008” denklem seti için gedik şekli.....	45
Şekil 4.18 “Von Thun & Gillette” denklem seti için gedik parametreleri	45
Şekil 4.19 “Von Thun & Gillette” denklem seti için gedik şekli.....	46

Şekil 4.20 “Xu & Zhang” denklem seti için gedik parametreleri	46
Şekil 4.21 “Xu & Zhang” denklem seti için gedik şekli	47
Şekil 4.22 Katastrofal taşkın hidrografının programa girilmesi.....	48
Şekil 4.23 Katastrofal taşkın hidrografı	48
Şekil 4.24 Zamanla Değişen akış analizi için girilen parametreler.....	49
Şekil 4.25 5 farklı denklem setiyle yapılan analiz neticesinde elde edilen taşkın hidrografları	50
Şekil 4.26 Macdonald and Langridge- Monopolis’e göre batimetri haritası	51
Şekil 4.27 Froehlich 1995’e göre batimetri haritası.....	52
Şekil 4.28 Froehlich 2008’e göre batimetri haritası.....	53
Şekil 4.29 Von Thun ve Gillette’e göre batimetri haritası	54
Şekil 4.30 Xu ve Zhang’e göre batimetri haritası	55
Şekil 4.31 Macdonald and Langridge- Monopolis’e göre taşkın hız haritası	56
Şekil 4.32 Froehlich 1995’e göre taşkın hız haritası.....	57
Şekil 4.33 Froehlich 2008’e göre taşkın hız haritası.....	58
Şekil 4.34 Von Thun ve Gillette’e göre taşkın hız haritası	59
Şekil 4.35 Xu ve Zhang’e göre taşkın hız haritası	60
Şekil 4.36 Afyonkarahisar kent merkezi taşkın yayılımı (Froehlich 2008’e göre).....	61
Şekil 4.37 Afyonkarahisar kent merkezi taşkın yayılımı (Froehlich 1995’e göre).....	62
Şekil 4.38 Afyonkarahisar kent merkezi taşkın yayılımı (Macdonald and Langridge- Monopolis’e göre)	63
Şekil 4.39 Afyonkarahisar kent merkezi taşkın yayılımı (Von Thun ve Gillette’e göre ..	64
Şekil 4.40 Afyonkarahisar kent merkezi taşkın yayılımı (Xu ve Zhang’e göre)	65
Şekil 4.41 Afyonkarahisar il merkezi sınırları	66
Şekil 4.42 İl merkezi sınırlarında sınıflandırılmış arazi haritası	67
Şekil 4.43 İl sınırları içerisinde yer alan yerleşim birimleri.....	68
Şekil 4.44 Taşkın yayılım haritasının il merkezi sınırları içerisinde kalan yerleşim yerleri alan sınırları (Froehlich 2008 yöntemine göre)	69

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 Tarihte Yaşanmış Baraj Yıkılma Hadiseleri (İnt. Kyn.1).	4
Çizelge 2.2 Taşkın Sahası Meskun Mahalleri Nüfus Verileri (İnt. Kyn. 2, İnt. Kyn 3). 10	
Çizelge 2.3 Çalışma alanı arazi kullanım dağılımı.....	12
Çizelge 3.1 Çeşitli baraj tipleri için yıkılma türleri (Costa 1985, Atallah 2002).	15
Çizelge 3.2 Akdeğirmen Barajı Karakteristik Bilgileri (DSİ Akdeğirmen Barajı Kati Projesi).....	23
Çizelge 4.1 Çeşitli hesaplama yöntemlerine göre bulgular	69
Çizelge 4.2 Meskun mahaller özelinde taşkın analizi (Froehlich 2008) (İnt. Kyn. 2) ...	71
Çizelge 4.3 Meskun mahaller özelinde taşkın analizi (Froehlich 1995)(İnt. Kyn. 2)	72

1. GİRİŞ

Su biriktirerek hazne oluşturmak için bir akarsu vadisini kapatıp su akışını engelleyen yapıya baraj denir. Barajın su biriktirmek ile birlikte, su seviyesini yükseltme ve geniş su yüzeyi meydana getirme gibi iki önemli fonksiyonu daha vardır. Baraj kelimesi, sözlükte engel anlamına gelmektedir. XX. Yüzyılın ortasından sonra Fransızcadan dilimize geçmiştir. Akarsu tabanından baraj kretine kadar olan düşey uzaklık talvegten (akarsu tabanından) yükseklik ve baraj temelinden krete kadar olan yükseklik ise temelden yükseklik (yapı yüksekliği) olarak tanımlanır (Ağırlioğlu 2007).

Temelden yüksekliği 15 m veya daha fazla, gövde hacmi $5 \times 10^5 \text{ m}^3$ den fazla ve göl hacmi $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ den daha fazla olan su yapılarına “Baraj” ve bu değerlerden az olan su yapılarına ise “Gölet” adı verilir. Baraj ya da Gölet yapısal olarak temel, gövde, dolu savak, dip savak, derivasyon yapısı, memba ve mansap batardolarından meydana gelmektedir (DSİ 1978).

Doğrudan ve dolaylı olarak baraj yapımının faydalarını sayacak olursak, Doğrudan faydalarını; Tarım alanlarının uygun şekilde sulanması, Hidroelektrik santraller ile enerji üretiminin sağlanması, İçme, kullanma ve endüstriyel amaçlar ile düzenli ve sürekli su temini ve Meskun mahaller ile tarım arazilerinin taşkınlardan korunması olarak sıralamak mümkündür.

Dolaylı faydaları ise; Su biriktirerek iklim üzerinde olumlu etki yapmaktadır, Su üzerinde ulaşım imkanı oluşturmaktadır, Su ürünleri üretilmesi ve özellikle balıkçılığın gelişmesine olumlu katkı yapar, Mesire alanlarının oluşmasını sağlar, İş istihdamı yapılmasını sağlar, Su kalitesinin artmasına, kirlenmenin kontrol edilmesine imkan sağlar.

Bu faydaları yanında baraj yapımında dikkat edilmesi gereken konularda vardır. Bunlar; doğanın dengesinin bozulması, Oluşan göl alanı nedeniyle su altında kalan tarım alanlarının, yerleşim yerlerinin, doğal ve tarihi değerlerin kullanım dışı kalması, Rezervuar içinde kalan meskun mahallerin nakli, Rezervuar içerisinde kalan yol, köprü ve viyadük gibi yapıların yerlerine benzer yatırımlar yapılması gereği, Buharlaştırmanın

artması neticesinde kullanılabilir su miktarında azalma olması, Su yükünün artmasından dolayı baraj çevresinde heyelan ve benzeri jeolojik olayların oluşma ihtimalinin artması, Yer altı su seviyesini yükselterek oluşturduğu olumsuz etkiler, Olarak sıralanabilir (İnt. Kyn. 8).

Yukarıda sayılmış olan olumlu ve olumsuz özelliklerinin yanı sıra barajlar potansiyel olarak büyük tehlike oluşturabilmektedir. Bunun nedeni rezervuarında çok büyük hacimli su depolayabilme kabiliyetine sahip olmasıdır. Esas itibariyle barajlar çok güvenli yapılar olmasına karşın çeşitli sebeplerden dolayı barajda oluşabilecek herhangi bir tahribat, rezervuarda biriktirdiği büyük su kütlelerini mansap bölgesine hızla aktaracak ve bu da can ve mal kayıplarına yol açabilecektir.

Esas itibariyle çok sık yaşanmayan baraj yıkılma olayının, meydana geldiği takdirde son derece yıkıcı ve ölümcül sonuçları olabilmektedir. Baraj yıkılmasının en sık karşılaşılan nedeni; kısa sürede çok büyük yağışların gözlenmesidir. Bunun yanında, iklim değişikliği, geçerli olmayan tasarım kriterleri ve bakımsızlık gibi nedenleri olabilmektedir. Baraj yıkılması sonucunda meydana gelen büyük ve güçlü taşkından mansap bölgesinde yer alan yapılar son derece olumsuz etkilenecektir. Baraj mansabında yer alan yapıların yıkılması çok sayıda can kaybı ile sonuçlanabilir. Bahsi geçen taşkın dalgası nedeniyle oluşacak etkinin doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi ile yapısal zararların azaltılmasına yönelik tasarım kriterleri belirlenebilecektir (DSİ 2018).

1.1 Çalışmanın amacı

Bu çalışmada; Türkiye'nin en önemli kavşak noktalarından birinde yer alan Afyonkarahisar il merkezine oldukça yakın bir konumda inşa edilmiş olan Akdeğirmen Barajı'nın yıkılma senaryosunun sayısal olarak ele alınması ve elde edilen çıktılar ile olası bir felaket durumunda ne gibi tedbirler alınabileceği hususunda fikir sahibi olmak amaçlanmaktadır. Afyonkarahisar il merkezi Akdeğirmen Barajına kuş uçuşu 28 km mesafede yer almaktadır. Bu güzergah üzerinde çok sayıda köy ve meskun mahal mevcuttur. Analiz neticesinde bu taşkın felaketinden ne kadar insanın maddi ve manevi olarak etkilenebileceği yaklaşık olarak tespit edilebilecektir. Afyonkarahisar ili mgm.gov.tr 'den alınan verilere göre günde yıllık ortalama 36,91 mm yağış almaktadır.

Yine meteoroloji verilerine göre 1929 – 2022 yılları arasında görülmüş olan en yüksek yağış 1 günde 79,2 mm'dir. Bu verilere göre Afyonkarahisar ili yaklaşık yüz yıllık bir periyotta mevsim normallerinin 2 katından daha fazla yağış görmüştür ve yine görme ihtimali söz konusu olacaktır. Baraj yapıları 10000 yıllık taşkın debisini güvenle taşıyacak şekilde hidrolik ve statik hesaplar neticesinde inşa edilmektedirler. Bu nedenle esas itibariyle oldukça emniyetli yapılardır. Ancak yukarıda örnekleri ve sebepleri mevcut bulunan yıkılma ve taşkın olayları bize bu çalışmanın faydalı olabileceğini göstermektedir. Akdeğirmen barajı gövde yüksekliği temelden 41,5 m, kret uzunluğu 804,173 m ve maksimum su seviyesinde depolama hacmi $47,46 \times 10^6 \text{ m}^3$ olan hatırı sayılır büyüklükte bir barajımızdır.

Bu çalışmada ABD ordusu tarafından geliştirilen, hidrodinamik yöntemleri kullanarak taşkın modellemesi yapabilen bir bilgisayar yazılımı olan HEC-RAS kullanılmış hassas sayısal yükseklik modelleri, pürüzlülük haritaları, çalışma alanı projeksiyon verisi vs faydalanılarak (2D) analiz işlemi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizden elde edilecek olan taşkın yayılım haritası ile CORINE arazi örtüsü sınıflandırma haritasından elde edilecek alanlardan, yüzölçümüne düşen nüfus yoğunluğu tespit edilerek bu felaketten etkilenecek insan sayısının analizi yapılabilecektir.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

2.1 Tarihte Yaşanmış Baraj Yıkılma Olayları

Tarihte yaşanmış baraj yıkılması olaylarının sonuçları bu hadisenin ne denli ciddi zararlara yol açabileceğini gösterir niteliktedir. Burada tarihte yaşanmış tüm baraj yıkılması felaketlerini paylaşmak mümkün olmadığından, ölüm sayısının en fazla olduğu ilk 20 olay sebepleriyle birlikte paylaşılmıştır.

Çizelge 2.1 Tarihte Yaşanmış Baraj Yıkılma Hadiseleri (İnt. Kyn.1).

Sıra	Baraj	Yıl	Ülke	Ölü sayısı	Yıkılma Nedeni
1	Banqiao/Shimantan	1975	Çin	90.000-230.000	Katastrofik yağışlar
2	Derna	2023	Libya	11.300+	Katastrofik yağışlar
3	Machchu-2	1979	Hindistan	5000	Katastrofik yağışlar
4	South Fork	1889	ABD	2208	Katastrofik yağışlar
5	Vajont	1963	İtalya	2000	Üstten su aşması
6	Möhne	1943	Almanya	1579	Sabotaj
7	Tigra	1917	Hindistan	1000	Temele su sızması
8	Panşet	1961	Hindistan	1000	Gövde yıkılması
9	Iruka Gölü	1868	Japonya	941	Katastrofik yağışlar
10	Puentes	1802	İspanya	608	Uygunsuz zemin
11	St. Francis	1928	ABD	600	Heyelan
12	Malpasset	1959	Fransa	423	İnşaat sırasında
13	Gleno	1923	İtalya	356	Hatalı imalat - tasarım
14	El Cobre	1965	Şili	400	Deprem
15	Brumadinho	2019	Brezilya	270	Aşırı atık yüklemesi
16	Val di Stava	1985	İtalya	268	Bakım-tasarım hatası
17	Koshi	2008	Nepal	250	Katastrofik yağışlar
18	Dale Dike	1864	İngiltere	244	Hatalı inşaat
19	Kanyon Gölü	1972	ABD	238	Katastrofik yağışlar
20	Vega de Tera	1959	İspanya	144	Gövde yıkılması

2.2 Geçmişte Baraj Yıkılması Olayı ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Ülkemizde baraj yıkılma hadisesi yaşanmamıştır. Ancak olası risklere karşı tedbir alınması amacıyla birçok baraj için yıkılma senaryosu ve vereceği tahribatın tahmini için çalışmalar yapılmaktadır. Türkiye’de baraj yıkılması ile ilgili yapılmış çalışmaların bazıları, Yeşildere, Darlık, Ürkmez, Kirazdere (yuvacık), Kartalkaya, Kozan, Kirazlıköprü, Aslantaş, On dokuz mayıs, İhsaniye, Avcıdere, Alibeyköy, Nilüfer,

Doğancı, Rahmanlar, Hasanlar, Melen, Atatürk, Porsuk, Ayvalı, Berdan, Çınarcık,, Çokal, Darıdere, Doğantepe, Kapulukaya, Kestel, Tahtalı, 4 Eylül, Borçka vs. Dünya’da ve Türkiye’de baraj yıkılması olayı birçok kişinin araştırmalarına konu olmuştur. Burada birkaç tanesi hakkında bilgi paylaşılacaktır.

Bharath (2021), Hindistan’da yer alan Hidkal Barajı’nın yıkılma analizini yaparak pik taşkın dalgasının oluşum süresini ve hidrografını çıkarmak ve bu taşkını mansap bölümüne yönlendirmeyi amaçlamıştır. Ayrıca bu çalışmada su baskını haritaları da oluşturulmuştur. Yazar çalışmasında HEC-RAS programından faydalanmış ve 1 boyutlu tam dinamik dalga yönlendirmesi yönteminden faydalanmıştır. Gedik parametrelerinin tahmini için Froehlich (2008) tarafından önerilen regresyon denklemlerini kullanmıştır. Çalışmasında hem borulanma hem de üstten aşma senaryolarını incelemiştir. Çalışma neticesinde Hidkal Barajı’nın mansabında 22 km’lik bir kısım için taşkın yayılım haritasını çıkarmıştır. Bu bölümde bulunan yaklaşık 20 köyün selden etkilendiğini ve bunlardan 17 tanesinin çok ciddi zarar gördüğünü ortaya koymuştur.

Gündüzalp (2020), Küçük Melen Çayı üzerine inşa edilmiş olan Hasanlar Barajı’nın yıkılmasını HEC-RAS programı ile 2 boyutlu analiz ile simüle etmiştir. Pürüzlülük değerlerinden CBS sistemlerinden ve haritalardan faydalanmıştır. Yaptığı çalışma neticesinde taşkın dalgasının Düzce Ovası üzerinde 110 km² büyüklüğünde bir alana yayıldığı tespit etmiştir. Hasanlar Barajı’nın yıkılması durumunda 85 bin kişinin doğrudan, 160 bin kişinin ise dolaylı olarak bu olaydan etkileneceğini ortaya koymuştur.

Kocaman (2019), Kahramanmaraş’ta bulunan Kartalkaya Barajı’nın yıkılması halinde taşkın yayılımını incelemiştir. Çalışmasını (2D) analiz kullanarak yapmış, HEC-RAS ve FLO-2D programlarından faydalanmıştır. Çalışmasında iki programdan elde ettiği sonuçları kıyaslamıştır. Diğer bir amacı ise pürüzlülüğünün taşkın yayılımı üzerine etkisini araştırmaktır. Elde ettiği sonuçlara göre dar vadilerde akım derinliklerinin ve hızlarının FLO-2D ve HEC-RAS programlarında kayda değer değişiklikler göstermektedir. Ovalık alanlarda ise bu değerlerin daha yakın olduğunu ve HEC-RAS yazılımının FLO-2D programına göre daha hızlı çözüm verdiğini belirtmektedir.

Alppay (2019), Kocaeli Kirazdere Çayı üzerinde bulunan Kirazdere (Yuvacık) Barajı'nın yıkılması durumunu HEC-RAS programını kullanarak 2D analiz ile incelemiştir. İncelemesi neticesinde bu olayın gerçekleşmesi durumunda büyük miktarda mal kaybının oluşacağını ve bu kayıplara sanayi ve ticari üretim tesislerinin de ekleneceğini belirtmiştir.

Kocaman (2002), NWS FLDWAV isimli yazılımı kullanarak Adana'da bulunan Kozan Barajı'nın üzerinde uygulama yapmıştır. Farklı gedik parametreleri ve pürüzlülük değerleri için hidrograflar, su seviye değişimleri ve taşkın oluşum sürelerini karşılaştırmıştır. Taşkının mansap bölgesine ötelenmesinde kütle ve momentumun korunumu denklemlerine dayanan dinamik dalga yöntemi kullanılmıştır. Denklemlerin sayısal çözümünde ağırlıklı dört noktalı sonlu farklar yönteminden yararlanılmış ve elde edilen denklem sisteminin çözümünde Newton Raphson iterasyon tekniği kullanılmıştır. Çalışması neticesinde Kozan Barajı'nın mansabında yer alan Kozan İlçesi'nin büyük bir kısmının taşkından zarar göreceğini ortaya koymuştur. Ayrıca pürüzlülük değerini değişmesinin öteleme mesafesi içinde akımın değişmesine yol açmaktadır, bu sebeple baraj yıkılma analizinde taşkın sahasındaki pürüzlülük değerlerinin doğru tespit edilmesinin son derece önemli olduğunu belirtmiştir.

Arkiş (2020), İzmir Seferihisar'da yer alan Ürkmez Barajı'nın rezervuar ve gövdesinin ölçekli fiziksel bir modeli oluşturulmuştur. 3 farklı senaryo ile Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın yayılımı incelenmiştir. Yatay ölçek 1/150 ve düşey ölçek ise 1/30 olacak şekilde modelleme yapılmıştır. Ayrıca bu model oluştururken taşkın sahasındaki yollar ve evlerde modelde yansıtılmıştır. Trapez ve üçgen gedikler oluşturarak kısmi yıkılma olayı ve ani yıkılma olayı incelenmiş mansap bölgesindeki su derinlikleri ölçülmüştür. Yapılan deneylerde su yüksekliğinin meskun mahalde 12 cm'e kadar yükseldiği görülmüştür ve bu değer gerçek yaşamda 3,6 m'ye karşılık gelmektedir. Deney sırasında baraja yakın bölgelerde su derinlikleri ölçülmüş ve aynı analizler Flow 3D programı ile de yapılmış ve elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır.

Marangoz (2020), HEC-RAS programını kullanarak bir ve iki boyutlu analiz yöntemi ile Trabzon İlimizde yer alan Atası Barajı'nın taşkın analizini gerçekleştirmiştir. Difüzyon dalga metodu ile ötelenen taşkın dalgası Trabzon il merkezine simülasyon

başlangıç süresinin 27. Dakikasında ulaşmıştır. Maksimum su derinliği 14 m olarak ölçülmüştür. Dinamik dalga metodu ile ötelenen taşkın dalgası simülasyon başlangıç süresinin 42. Dakikasında Trabzon il merkezine ulaşmıştır. Maksimum su derinliği 17,6 m olarak tespit edilmiştir.

Yıldız (2021), Bursa ilimizde yapımı devam etmekte olan Yeşildere Barajı'nın yıkılma analizini yapmış ve henüz yapım aşamasında olan bir barajın analizini yaparak erken uyarı sistemlerinin, acil eylem ve müdahale planlarının hazırlanmasına katkı sağlamayı amaçlamıştır. Çalışmasında HEC-RAS programında 2D analiz yönteminden faydalanmıştır. Baraj yıkılma analizi neticesinde baraj mansabına 1 km mesafede bulunan Yeşildere Mahallesi 9 dakika sonra 5 m yüksekliğinde taşkın dalgalarının ulaştığını, meskun mahalin büyük bir kısmının sular altında kaldığını ve taşkın 40 dakika sonra ortalama 7,0 m yüksekliğindeki Bursa-Çanakkale otoyoluna ulaştığını belirtmektedir.

Froehlich (2008), Barajlarda dolu savak tasarımının yapılabilmesi için dolgu barajların yıkılması durumunda oluşabilecek potansiyel tehditlerin analizinin yapılması gerektiğini öne sürmüştür. Bu analizin yapılabilmesi için 74 adet dolgu barajın yıkılmasından elde ettiği verilerle geliştirdiği ampirik formüller neticesinde oluşacak gediğin nihai yüksekliğini, taban veya ortalama genişliğini, yan eğimlerini ve tamamen oluşması için gereken süreyi elde etmiştir. Ayrıca Froehlich çalışmasında gediğin şekilsel olarak oluşum sürecini de ele almış ve bunu yaparken yine geçmişte yaşanan baraj yıkılma felaketlerini ve diğer bilim insanlarının teorilerinden faydalanmıştır. Sonuç olarak gediğin başlangıçta üçgen formunda olduğunu ve gedik nihai yüksekliğine ulaştıktan sonra trapez formuna geçerek genişlediği kanaatine varmıştır. Froehlich'in oluşturduğu denklemler tezin ileriki bölümlerinde ele alınacaktır.

MacDonald ve Langridge-Monopolis (1984), gedik deşarj hacmi (ilk depolama hacmi ve giren akım da dahil) ve gediğin oluşumunu tamamladığı andaki su yüksekliğine bağlı bir gedik oluşum faktörü açıklamışlardır. Hem toprak dolgu hem de toprak dolgu olmayan barajları bu faktörle ilişkilendirdiler. Makalelerinde atıfta bulundukları 42 yıkılma olayının analizinden gedik şev eğimlerinin çoğu durumda $1h : 2v$ olacağını belirtmişlerdir. Gediğin şeklinin, gediğin barajın tabanına ulaşıp ulaşmadığına bağlı

olarak üçgen yada trapezoidal olabileceği sonucuna varmışlardır. Toprak dolgu barajlar için aşınmış malzemenin bir fonksiyonu olarak gediğin oluşum süresine dair bir zarf eğrisi oluşturmuşlardır. Toprak dolgu olmayan barajlar için böyle bir tahminin yapılmasının olanağının olmadığını belirtmişlerdir. Bunun nedenini ise bu tür barajlarda erozyonun ilerlemesinden daha ziyade yapısal sorunlardan kaynaklı olarak oluşmasının muhtemel olmasıdır.

Von Thun ve Gillette (1990) ve Dewey ve Gillette (1993), gedik şev eğimlerini, orta yükseklikte gedik genişliğini ve gedik genişliğini tahmin etmek için kılavuz geliştirmek üzere Froehlich (1987) ve MacDonald ve Langridge-Monopolis (1984) verilerini kullandı. Gedik şevleri için 1:2 veya 1:3 (h:v) eğimlerin daha uygun olabileceği, yapışkan kabuklu veya çok geniş yapışkan çekirdekli barajlar hariç, gedik eğimlerinin 1:1 olarak varsayılmasını önerdiler. Froehlich (1987) ve MacDonald ve Langridge-Monopolis (1984) verilerini kullanarak gedik şev eğimlerini, orta yükseklikte gedik genişliğini ve gedik genişliğini tahmin etmek için kılavuz geliştirmek üzere çalışmalar yapmışlardır. Gedik şev eğimlerinin 1:1 olarak kabul edilebileceğini ancak kohezyonlu ve çok geniş yüzeyli kohezyonlu çekirdekli barajlarda 1:2 ya da 1:3 olarak kabul edilmesinin daha uygun olduğunu öne sürmüşlerdir.

Xu ve Zhang (2009), tarafından çalışmalarında ele alınan analizler, tarihsel olarak belgelenmiş 182 baraj yıkılma vakası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte veri yetersizliğinden dolayı nihai formüllerini 182 baraj yıkılma olayının bir alt kümesi olan 75 adet barajın yıkılma olayını derleyerek oluşturmuşlardır. Ancak çalışmalarında veri olarak kullandıkları barajların yüksekliklerinin yaklaşık %80'lik bölümü 30 m den azdır. Ayrıca ortalama gedik genişliğini hesaplamak için bir denklem geliştirmemişlerdir. Önceki yöntemlerden farklı olarak yazarlar gediğin yan eğimlerini tahmin etmemektedirler. Bunun yerine gediğin üst genişliğini ve nihai yüksekliğini oluşturdukları denklem vasıtasıyla hesaplamaktadırlar.

Mei, Zhong, Yang, Chen, Shan ve Zhang (2023) Çin'de bulunan ve 2005 yılında yıkılan Taum Sauk Barajı'nın yıkılma olayını fiziksel tabanlı sayısal bir modelle analiz etmiştir. Taum Sauk Barajı rezervuarına başka alt rezervuarlardan su taşıyan pompaların

arızalanması ve gelen suyun kapatılamaması sebebiyle su barajın üzerinden aşmıştır ve yıkıma neden olmuştur. Ön yüzü beton kaplı kaya dolgu türünde olan barajın gövde dolgusu yıkılmış ancak beton parapet bir süre daha ayakta kalmıştır. Bu parapet bir süre sonra su yüküne dayanamayarak kırılmıştır. Yazarlar araştırmalarında bu tezde de olduğu gibi daha önceki yıkılma olaylarından elde edilmiş olan ampirik formüllerle hesap yapmışlardır. Bununla birlikte Pik debi hesabı için Kirkpatrick, Costa, USBR, Froehlich, Xu ve Zhang, Azimi et al., Rong et al., tarafından geliştirilen denklemler kullanılmış, ortalama gedik genişliği hesabı için USBR, Froehlich, Xu ve Zhang, Rong et al., gedik oluşum süresi hesabı için USBR, Froehlich, Xu ve Zhang, denklem setleri kullanılmıştır. Araştırmacılar sonuç olarak rezervuar kademe sensörlerinin arızalanması sebebiyle rezervuara su akışının kesilmediği ve tahliye savaklarının da yetersiz kalmasından dolayı suyun barajın kretini aşarak yıkıma sebep olduğunu belirtmişlerdir. Şev dengesizliği, sediment taşınımı ve beton yüzey plakasının eğilmesi gibi birçok etkeni de dikkate alan araştırmacıların kaya dolgu barajdaki gedik oluşumu beton döşemenin kırılma süreci gedik hidrografi gibi parametrelerin yıkılan barajdaki ölçümlerle modellerindeki ölçümlerin birbirleriyle örtüştüğünü belirtmişlerdir.

Marangoz (2022), çalışmasında Trabzon Atası Barajı için 2D hidrolik yönlendirme modeli uygulayarak ani baraj yıkılması durumunu incelemiştir. Mansap bölgesinde bulunan şehir merkezine taşkın yayılımını simüle etmeyi amaçlamıştır. Çalışmasında dinamik dalga yaklaşımından faydalanmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre akış derinliğinin 8 m'ye taşkın başlamasından 32 dk sonra ulaşmaktadır. Potansiyel risk altında olan alanların belirlenerek acil eylem planı hazırlanabileceğini ortaya koymuştur.

Burgan (2013), büyük çoğunluğu Afyonkarahisar ilinde yer almakta iken bir kısmında Konya il sınırları içerisinde yer alan akarçay havzasının taşkın modellemesini “SMS” programını kullanarak oluşturmuştur. Taşkın felaketinin tamamen önlenmesi mümkün olmasa da kullandığı verilerin güncellenmesi şartıyla gelecek yıllarda bu felaket için tedbir alınmasında yaptığı çalışmanın kullanılabilmesini amaçlamıştır. ArcGIS programından faydalanarak oluşturduğu modelde havza sınırları, sayısal yükseklik verileri, hidrolojik ve meteorolojik verileri programa girmiştir. Havzadaki dereleri modellerken “SMS” programında bulunan “FESWMS” ve “ADH” modüllerinden

faaydalanmıştır. Özellikle dere kenarındaki bazı bölgelerde bulunan tarım arazilerinde taşkın sonucu zarar oluşabileceği sonucuna varılmıştır.

2.3 Çalışma Alanı

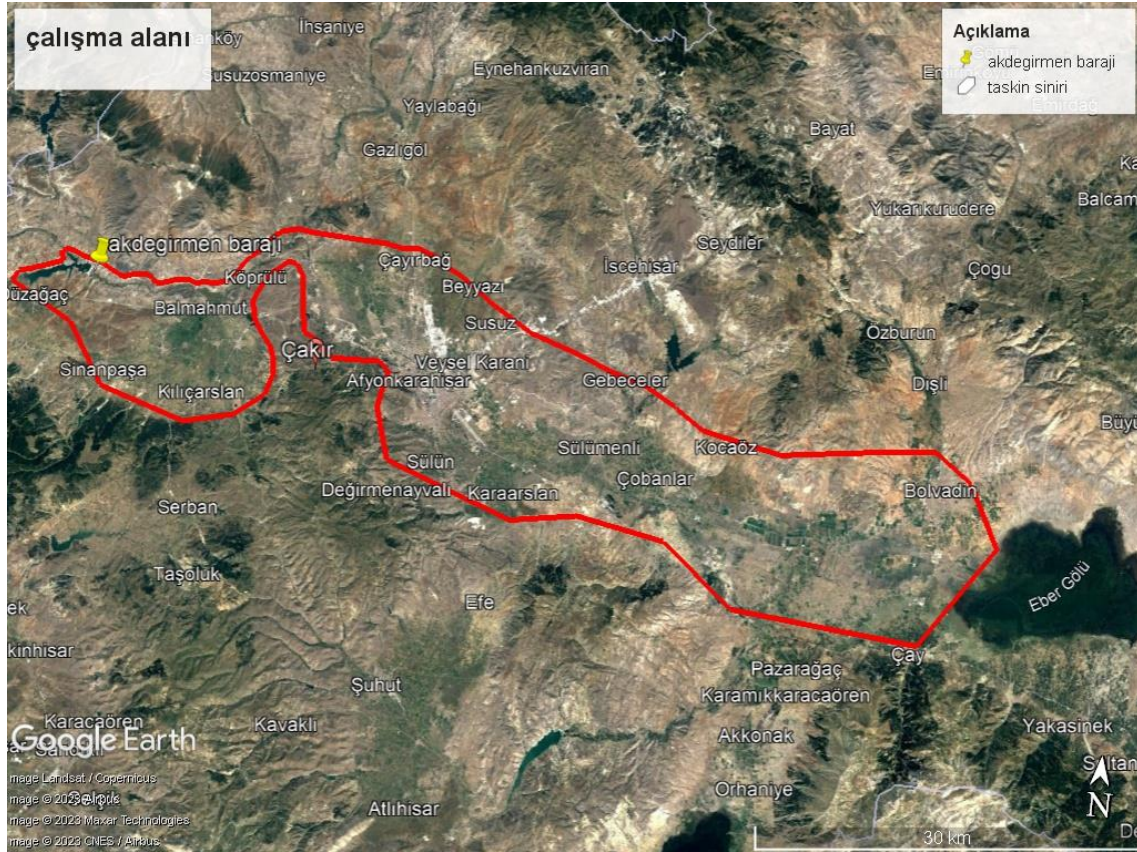
Çalışma alanı Akdeğirmen Barajı ve mansabını kapsamaktadır. Akdeğirmen Barajı mansap bölgesinde tehdit altında bulunan yerleşim yerleri ve nüfus bilgileri aşağıdaki tabloda yer almaktadır.

Çizelge 2.2 Taşkın Sahası Meskun Mahalleri Nüfus Verileri (İnt. Kyn. 2, İnt. Kyn 3).

Sıra	Yerleşim yeri	Güncel nüfusu
1	Akdeğirmen	112
2	Ayvalı	171
3	Balmahmut	490
4	Köprülü	990
5	Bulca	926
6	Akören	367
7	Saraycık	238
8	Garipe	1120
9	Küükhüyük	2099
10	Ahmetpaşa	3254
11	Kılıçaslan	2723
12	Saraydüzü	441
13	İsmail	487
14	Sadıkbey	2105
15	Küçükçobanlı	739
16	Bayatcık	187
17	Erenler	1126
18	Sülümenli	3703
19	obanlar	4542
20	Işıklar	7372
21	Değirmendere	589
22	Afyon Kent Merkezi	Analiz edilecek

Akdeğirmen Barajı Afyonkarahisar il merkezine 30 km uzaklıkta ve Akdeğirmen Köy sınırları içerisinde yer almaktadır. Akarçay üzerine, sulama amacıyla 1998-2008 yılları arasında inşa süreci bitmiş bir barajdır. Baraj inşası planlanan süreden daha geç tamamlanabilmiştir. 2008 yılı Aralık ayı itibariyle Afyon iline içme suyu sağlamaya başlamıştır.

Akarçay havzasına da adını veren Akarçay Nehri Afyon ilinde yer almaktadır. Ana kaynağı Aksu deresi olmakla birlikte Seyitler, Çayözü ve Kali Çayınında Aksu deresine katılmasıyla Akarçay Nehri oluşmaktadır. Nehir Eber Gölüne dökülmektedir. Selçuklular devrinden kalma Altıgöz Köprüsü’de bu nehir üzerinde yer almaktadır. Nehir uzunluğu 424 km’dir (İnt. Kyn. 4).

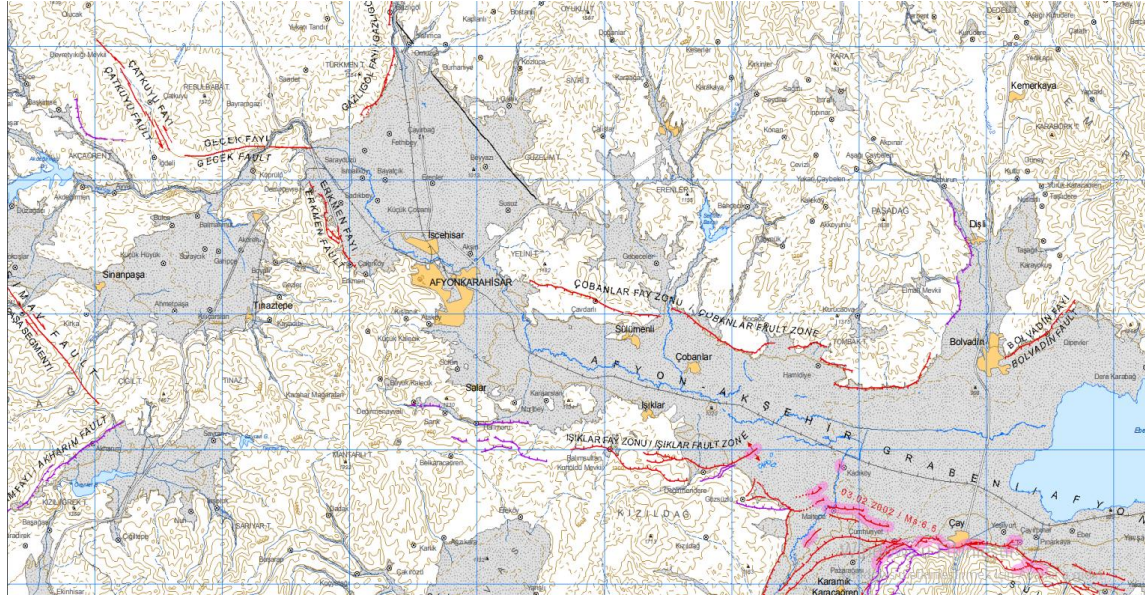


Şekil 2.1 Çalışma alanı sınırları (Map Data © 2023 Google, Image © 2023 CNES/Airbus.)

Çalışma alanının sınırlarının belirlenmesinde sayısal yükseklik modelinin sınırları belirleyici olmuştur ve bu modelden taşkınının ulaşmasının teknik olarak mümkün olmadığı düşünülen bölgeleri çıkartarak araştırma daha spesifik hale getirmeye çalışılmıştır. İlerleyen bölümde yapılan analizin sonuçları da bu öngörüğü destekler niteliktedir. CORINE (Coordination of Information on the Environment) Avrupa Çevre Ajansı tarafından hazırlanmış olan Arazi sınıflandırma sisteminden elde edilen veriler çalışma alanı sınırları ölçüsüne indirgenmiş ve bu alandaki arazilerin kullanım tipine göre oranları elde edilmiştir. Bu veriler Çizelge 2.3’te belirtilmektedir.

Çizelge 2.3 Çalışma alanı arazi kullanım dağılımı

Sıra	Arazi Örtüsü Tipi	Alan (km ²)	Alan (%)
1	Sulanamayan Tarım arazisi	775,52	48,45
2	Doğal Çayırliklar	265,58	16,59
3	Sulanabilir tarım arazisi	159,22	9,95
4	Meralar	66,79	4,17
5	Yerleşim ve Ticari alanlar	98,52	6,15
6	Ormanlık alanlar	21,38	1,34
7	Diğer	17,63	1,1



Şekil 2.2 Çalışma alanı diri fay haritası (<https://www.mta.gov.tr>)

Türkiye Deprem riski haritasına göre Afyonkarahisar il merkezi 2. derece riskli deprem bölgesinde yer almaktadır. Bununla birlikte Afyon ili yüzey alanının neredeyse yarısı 1. Derece deprem bölgesinde yer almaktadır. Geçmişten günümüze kadar Afyonkarahisar ve ilçelerinde çok sayıda yıkıcı deprem meydana gelmiştir. Son 20 yılda oluşmuş en önemli depremler 01.10.1995 Dinar depremi ($M_w=6,1$), 03.02.2002 ($M_w=6,5$) Sultandağı depremleri ile yine 03.02.2002 tarihinde meydana gelen Çay depremidir ($M_w=6,0$) (Yıldız vd. 2012). Afyonkarahisar İli az nemli ve yarı kurak, su fazlası kış mevsiminde ve orta derecede olan bir iklim tipine sahip olduğu için İç Anadolu iklim tipi görülmektedir. Bu iklim tipinde bölgede yazlar sıcak, kışlar ise soğuk geçmektedir.

Yaz mevsiminde az da olsa konveksiyonel yağışlar dűřmektedir. Ancak yarı kurak bir iklim tipine sahip olmasına rağmen yıl içerisinde taşkın olayları yaşanabilmektedir (T.C. Afyonkarahisar Valiliğı 2020).



3. MATERYAL ve METOT

3.1 Baraj Yıkılma Mekanikliği

Tarihe bakıldığında tüm baraj türlerinde bir veya daha fazla sayıda yıkılma meydana geldiği görülmektedir. Bununla birlikte yıkılma olaylarının büyük bir çoğunluğu aşırı yüklenmeden dolayı meydana gelen toprak dolgu barajların yıkılması durumudur (USACE 2014).

Gövde malzemesine göre barajlar; kagir baraj, beton baraj, dolgu baraj, ahşap baraj, çelik baraj ve lastik baraj olarak sınıflandırılabilirler. Beton barajlar kendi aralarında ağırlık barajları, payandalı barajlar, kemer barajlar, silindire sıkıştırılan beton barajlar olmak üzere sınıflandırılabilir. Dolgu barajlar ise toprak dolgu ve kaya dolgu barajlar olarak ayrılırlar (Ağralıoğlu 2007).

Baraj yıkılmasına neden olabilecek mekanizmalar şunlardır:

Uzun ve çok şiddetli yağışlar ve taşkınlar (baraj yıkılmasının en fazla görülen nedeni), Yetersiz dolusavak veya hava payı kapasitesi. (bu durum suyun barajın üzerinden aşmasına neden olur). Gövdede borulanma olayı (Teton Barajı örneği). Borular, kapaklar, vanalar gibi teknik ekipmanlara yetersiz ve/veya uygun olmayan bakım yapılması. (Val di Stava Barajı, Lawn Lake Barajı örneği). Tasarım hataları (South Fork Barajı örneği). Uygunsuz malzeme kullanımı (Gleno Barajı örneği). Büyük dalga ve erozyona sebep olabilecek rüzgarlar. Terör saldırıları (Abay vd 2015).

Barajın yıkılmasının farklı olası mekanizmaları olabilmektedir. Baraj türleri ve olası yıkılma türleri aşağıdaki tabloda paylaşılmıştır.

Üstten aşma olayından dolayı meydana gelen yıkılmalarda, rezervuar su yüzeyi kotunun baraj kret kotunu aşması gerekmektedir. Gövdeden aşan su nedeniyle gedik oluşumu öncelikle şekil 3.1’de de görüleceği üzere barajın mansap bölgesinden başlar ve barajın merkezine doğru ilerlemeye devam eder. Bu diyagonal ilerleme baraj kretini aşarak memba bölgesine ulaştığında gedik düşey doğrultuda büyümeye devam eder ve bu büyüme akarsu tabanına ulaşıncaya dek devam eder. Akarsu eksenini aynı zamanda barajın en yüksek olduğu enkesittir (Fread 1991).

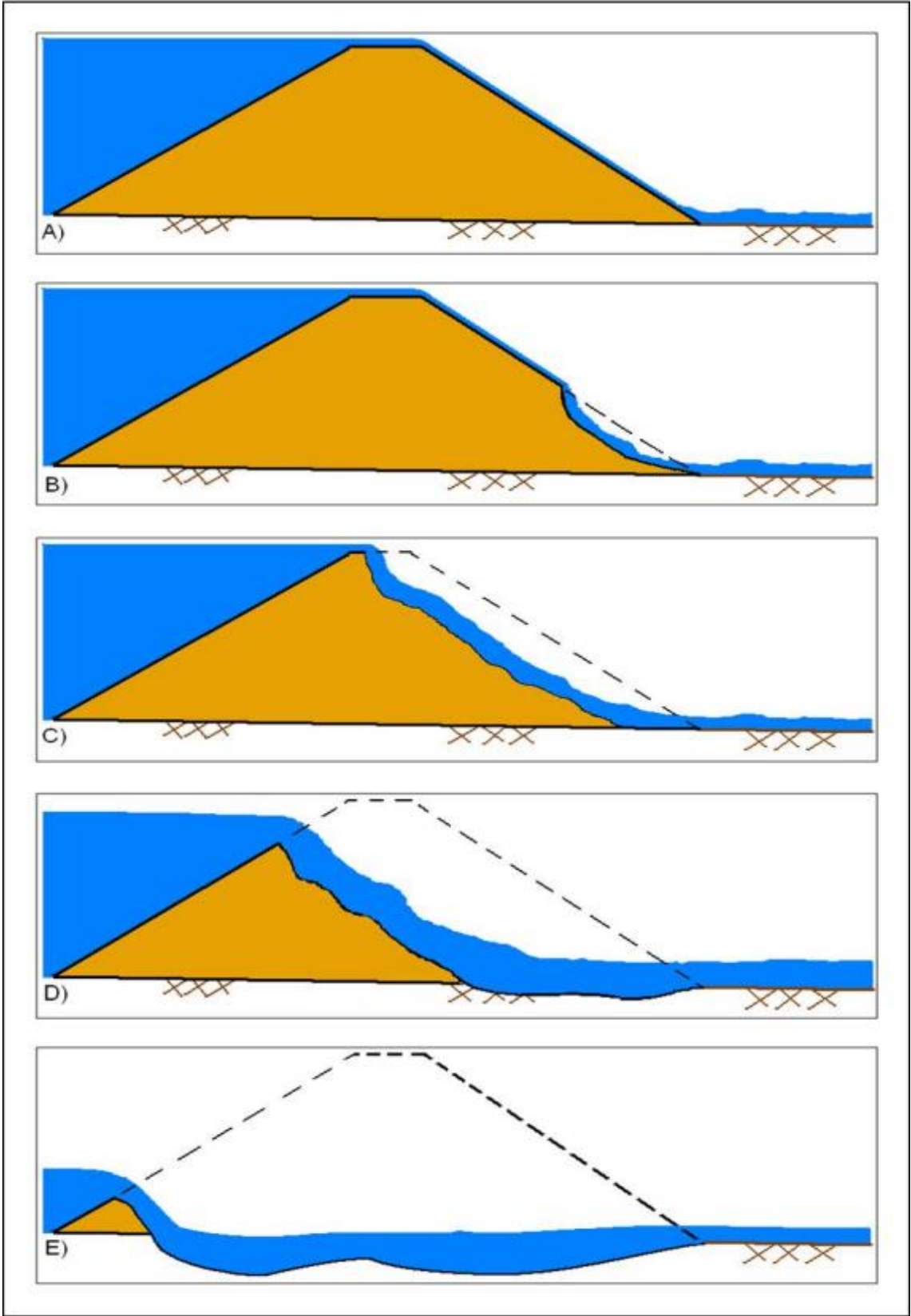
Çizelge 3.1 Çeşitli baraj tipleri için yıkılma türleri (Costa 1985, Atallah 2002).

Arıza tipi	Toprak dolgu	Beton ağırlık	Beton kemer	Beton payanda
Üstten aşma	X	X	X	X
Borulanma	X	X	X	X
Temel hataları	X	X	X	X
Heyelan	X	X		X
Devrilme		X	X	
Çatlama	X	X	X	X
Ekipman arızası	X	X	X	X

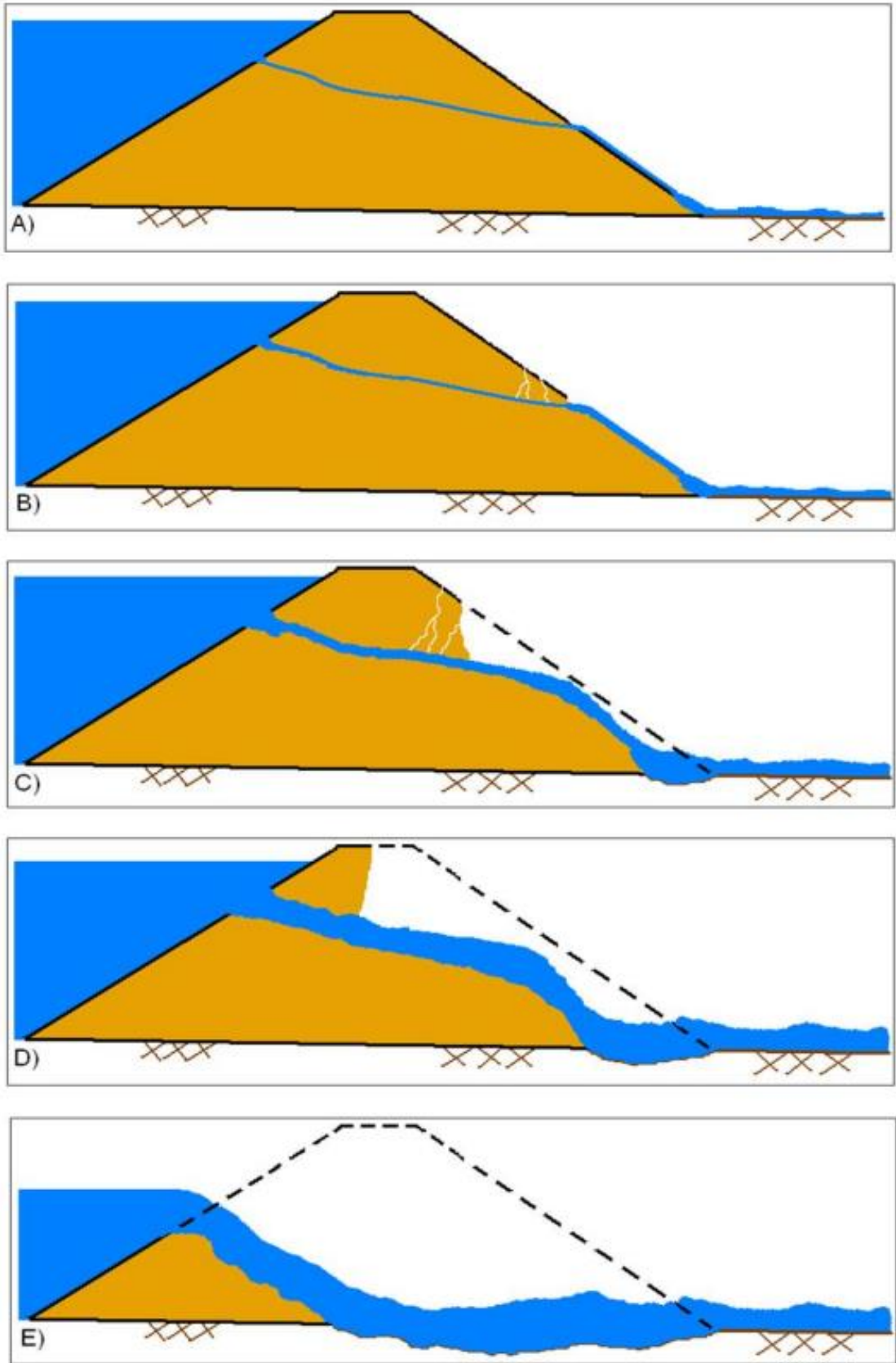
Borulanma yoluyla baraj yıkılma olayında önemli miktarda suyun baraj gövdesinden sızması sonucunda içerideki malzeme aşındırılarak mansap bölgesine taşınmaktadır. Malzeme aşınmaya devam ettikçe oluşan basınçlı kanallar büyüyecek ve mansap bölgesinden başlayan bir gedik oluşturacaktır. Bu gedik yeterli büyüklüğe ulaştığında barajda kitle halinde bir kayma meydana gelir ve gedik kret kotuna ulaşır. Düşey doğrultuda büyüme akarsu kotuna ulaşınca kadar devam edebilir (USACE 2014).

HEC-RAS programında baraj yıkılma analizinde kullanılabilmesi için yerleştirilmiş olan 5 farklı denklem seti bulunmaktadır. Bunlar 2. bölümde yaptıkları çalışmalar ile alakalı bilgiler verilmiş olan MacDonald, Froehlich (1995) , Froehlich (2008), Von Thun & Gillete ve Xu & Zhang denklem setleridir. Bu denklemler kullanılarak baraj gövdesinde oluşacak olan gedik geometrisi ve taşkın süresi barajın hangi mekanizma ile yıkılacağına göre (borulanma veya üstten aşma durumu) hesaplanabilmektedir. Bu ampirik denklemlerin oluşturulmasını sağlayan referans yapıların büyük çoğunluğunun küçük su yapıları olması nedeniyle bu formüllerden hangisinin kullanılacağına karar verilirken dikkatli olunması gerekmektedir. Bunun sebebi kesin bir yargıya ulaşmanın mümkün olmayışıdır. Bundan dolayı çalışmamızda 5 farklı denklem seti için ayrı ayrı analiz yapılacaktır.

MacDonald ve Langridge–Monopolis (1984), 42 barajın verilerinden faydalanarak oluşturduğu 3 denklemiyle baraj gövdesinden aşınan malzeme miktarı, ortalama gedik genişliği ve gedik oluşum süresi hesaplamıştır.



Şekil 3.1 Üstten aşma nedenli yıkılma mekanizması (USACE 2014).



Şekil 3.2 Borulanma nedenli yıkılma mekaniği (USACE 2014).

$$V_{eroded} = 0,00348(V_{out}h_w)^{0,852} \quad (3.1)$$

$$B_{ave} = \frac{V_{eroded} - h_b^2(CZ_b + \frac{h_b Z_b Z_3}{3})}{h_b(C + \frac{h_b Z_3}{2})} \quad (3.2)$$

$$t_f = 0,0179(V_{eroded})^{0,364} \quad (3.3)$$

V_{eroded} : Gövdeden boşalan malzeme hacmi

V_{out} : Gedikten geçen su hacmi

h_w : Gedik tabanı üzerindeki su yüksekliği

t_f : Gedik oluşma süresi (saat)

Von Thun ve Gillette (1990), ortalama gedik genişliği ve gedik oluşum süresini hesaplamak için aşağıdaki denklemleri oluşturmuştur. Gedik şev eğimlerinin 1:1 olarak kabul edilebileceğini ancak yüzeyleri kohezif olan ve çok geniş kohezif çekirdeğe sahip barajlar için 1:2 ya da 1:3 olarak kabul edilmesinin daha uygun olacağını öne sürmüşlerdir.

$$B_{ave} = 2,5h_w + C_b \quad (3.4)$$

$$\text{(erozyona dirençli yüzey)} \quad t_f = 0,020h_w + 0,025 \quad (3.5)$$

$$\text{(kolay aşınan)} \quad t_f = 0,015h_w \quad (3.6)$$

$$\text{(erozyona dirençli yüzey)} \quad t_f = \frac{B_{ave}}{4h_w} \quad (3.7)$$

$$\text{(kolay aşınan)} \quad t_f = \frac{B_{ave}}{4h_w + 61,0} \quad (3.8)$$

B_{ave} : Ortalama gedik genişliği

h_w : Gedik tabanı üzerindeki su derinliği

C_b : Gedik genişliği katsayısı

t_f : Gedik oluşum süresi

Xu ve Zhang (2009), tarafından oluşturulan gedik ortalama genişliği, gedik üst genişliği ve gedik oluşum süresi ile ilgili denklemler;

$$\frac{B_{ave}}{h_b} = 0,787 \left(\frac{h_d}{h_r} \right)^{0,133} \left(\frac{V_w^{1/3}}{h_w} \right)^{0,652} e^{B_3} \quad (3.9)$$

$$\frac{B_t}{h_b} = 1,062 \left(\frac{h_d}{h_r} \right)^{0,092} \left(\frac{V_w^{1/3}}{h_w} \right)^{0,508} e^{B_2} \quad (3.10)$$

$$\frac{T_f}{T_r} = 0,304 \left(\frac{h_d}{h_r} \right)^{0,707} \left(\frac{V_w^{1/3}}{h_w} \right)^{1,228} e^{B_5} \quad (3.11)$$

B_{ave} ortalama gedik genişliği, B_{top} gedik üst genişliği t_f gedik oluşum süresi, h_b yıkılma anındaki gedik yüksekliği, h_d baraj yüksekliği, h_w yıkılma anındaki gedik yüksekliği, h_r sabit =15 m, V_w yıkılma anındaki rezervuar hacmi, B_{3-2-5} erozyon katsayısıdır.

Froehlich (1995), 63 barajın yıkılma olaylarından elde ettiği verilere dayanarak ürettiği denklemlerle ortalama gedik genişliği ve gedik oluşum süresini hesaplamıştır.

$$B_{ave} = 0,1803 K_0 V_w^{0,32} h_b^{0,19} \quad (3.12)$$

$$t_f = 0,00254 V_w^{0,53} h_b^{-0,90} \quad (3.13)$$

B_{ave} : Ortalama gedik genişliği

K_0 : Sabit ; üstten aşma durumu için 1.4, borulanma için 1.0

V_w : Yıkılma anında rezervuar hacmi

H_b : Gedik nihai yüksekliği

T_f : Gedik oluşum süresi

Ayrıca gedik şev eğimlerinin yıkılma türüne göre şu şekilde olması gerektiğini ifade etmektedir.

1.4H:1V	üstten aşma durumu
0.9H:1V	borulanma

Froehlich (2008), 2008 yılında daha önce yaptığı çalışmalarına yeni verilerin eklenmesiyle birlikte 74 adet dolgu barajın yıkılma verilerine kullanarak gedik oluşum parametrelerini hesapladığı denklemlerini güncellemiştir.

$$B_{ave} = 0,27K_0V_w^{0,32}h_b^{0,04} \quad (3.14)$$

$$t_f = 63,2 \sqrt{\frac{V_w}{gh_b^2}} \quad (3.15)$$

B_{ave} : Ortalama gedik genişliği

K_0 : Sabit ; üstten aşma durumu için 1.3, borulanma için 1.0

V_w : Yıkılma anında rezervuar hacmi

h_b : Gedik nihai yüksekliği

T_f : Gedik oluşum süresi

3.2 Baraj Yıkılma Hidrodinamiği

Baraj yıkılma olayının yaşanması halinde rezervuarında depo ettiği suyun mansabında oluşturacağı sonuçları analiz edebilmek için gedikten geçen taşkın hidrografının akarsu boyunca ötelenmesi gerekmektedir. Taşkın ötelenmesi için kullanılmakta olan hidrolojik yöntem süreklilik denkleminde dayanmaktadır ve hacim debi ilişkisine dayanarak çözüm yapılır. Ancak bu analiz için uygun değildir. Bunun sebebi baraj yıkılırken oluşan akımın değişken akım olmasıdır. Çalışmada hidrolik taşkın ötelenmesi yapılacaktır (Kocaman 2007).

3.2.1 Navier – Stokes Denklemleri

Akışkanlar mekaniğinin temel denklemlerinden olan Navier – Stokes denklemleri süreklilik ve momentum denklemlerinden meydana gelmektedir. Akımdaki türbülans da dikkate alınmasından ve (3D) üç boyutlu analiz imkanı sunmasından dolayı doğadaki akımın çözümünü en iyi yapan denklemler Navier – Stokes denklemleridir.

Navier – Stokes denklemleri ;

$$\text{Süreklilik denklemi} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho V) = 0 \quad (3.1)$$

$$\text{Momentumun korunumu} \quad \rho \frac{dV}{dt} = -\nabla p + \nabla \tau + \rho g \quad (3.2)$$

V: Hız vektörü

ρ : Yoğunluk

τ : Gerilim tansörü

g: Yerçekimi ivmesi

p: Basınç

Baraj yıkılma analizi yapılırken analizi yapılan olayın ölçeğinin aşırı büyük olmasından dolayı Navier – Stokes denklemlerinin kullanımı mümkün olmakla beraber kullanışlı olmamaktadır. Bunun sebebi bilgisayar çözümünün günler alabilecek olmasıdır.

Düşey ivme ihmal edilerek Navier – Stokes denklemlerinin yatay doğrultuya indirgenmesiyle oluşturulan Saint – Venant denklemleri analiz için kullanışlıdır.

3.2.2 Saint – Venant denklemleri

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

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

(kt).....: Yerel ivme

(kc).....: Taşınasal ivme

(kp).....: basınç değişimi

(kf).....: yerçekimi ve sürtünme faktörleri

Saint – Venant denklemlerinin çözümünde kullanılan dalga yaklaşımlarına bağlı olarak yukarıdaki katsayılar “0” yada “1” değerlerini alabilmektedir. Bu yaklaşımlar;

- (1) Kinematik dalga: $kt=kc=kp=0$ ve $kf=1$.
- (2) Ataletsiz dalga: $kt=kc=0$ ve $kp=kf=1$.
- (3) Ağırlık dalgası: $kt=kc=kp=1$ ve $kf=0$
- (4) Yarı kararlı dinamik dalga: $kt=0$ ve $kc=kp=kf=1$.
- (5) Dinamik dalga: $kt=kc=kp=kf=1$.

Momentum denkleminde yerel ve taşınal ivme faktörlerinin ihmal edilir ve diğer faktörler dikkate alınır doğrusallaştırılmış pertürbasyon yöntemiyle denklem;

$$\frac{\partial Q'}{\partial t} + C \left(\frac{\partial Q'}{\partial x} \right) = D_h \frac{\partial^2 Q'}{\partial x^2} \quad (3.5)$$

formuna dönüşmektedir. Oluşturulan yaklaşım difüzyon dalga yaklaşımı olarak isimlendirilmiştir. Çalışmada kullanılacak olan denklem bu olacaktır (Kaya ve Ülke 2012).

HEC-RAS programında difüzyon dalga denklemleri (Diffusion wave) ve Full Saint-Venant denklemlerinden biri seçilerek analiz yapılabilmektedir. Çalışma ölçeği büyük olduğundan dolayı difüzyon dalga yaklaşımı Full Saint-Venanta nazaran daha kullanışlı ve stabil bir çözüm sunmaktadır. Uygulama bölümünde denklem setinin nasıl seçildiğiyle ilgili görsel paylaşılacaktır.

3.2.3 Manning Pürüzlülük Katsayısı

Robert Manning (1889), tarafından açık kanal tasarımı, taşkın alanlarının yönetimi ve analizi gibi birçok hidrolik hesap işlemlerinde kullanılmakta olan manning denklemi bu araştırmanın önemli bir parametresidir.

$$Q = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} A \quad (3.6)$$

n: Boyutsuz, akışa direnci temsil için geliştirilen pürüzlülük katsayısı

R: Hidrolik Yarıçap

J: Hidrolik Eğim A: Akım Alanı

Bu çalışmada CORINE (Coordination of Information on the Environment) Avrupa

Çevre Ajansı tarafından hazırlanmış olan Arazi sınıflandırma sisteminde arazi kodlarına karşılık gelen manning değerleri HEC-RAS programına girilmiştir. Bu işlem çalışmanın 4. bölümünde detaylanmıştır.

3.3 Akdeğirmen Barajı ve Karakteristik Bilgiler

Akdeğirmen Barajı gövdesi kil çekirdek, kum çakıl karışımı filtre ve kaya dolgu zonlarından oluşmaktadır. Aşağıda bulunan çizelgede baraj karakteristik bilgileri sunulmuştur.

Çizelge 3.2 Akdeğirmen Barajı Karakteristik Bilgileri (DSİ Akdeğirmen Barajı Kati Projesi)

Sıra	Karakteristik	
1	Projenin adı	Akdeğirmen Barajı
2	Barajın yeri	Akdeğirmen Köyü
3	Amacı	Sulama/ İçme Suyu
4	Kadastral Fıyazan Piki	511,2 m ³ /sn
5	Maksimum su seviyesi	1132,1
6	Maksimum Göl Hacmi	47,46x10 ⁶ m ³
7	Kret Kotu	1134
8	Kret Uzunluğu	804,173 m
9	Kret Genişliği	10 m
10	Temelden yükseklik	41,5 m
11	Talvegten yükseklik	34,5 m
12	Dolusavak deşarj kap.	268,12 m ² /sn

Yapılacak uygulamada kullanılmak üzere Dsi'den temin edilmiş olan kati projeye ait görseller paylaşılacaktır.

Bunlardan ilki şekil 3.3'te yer alan barajın kret uzunluğunu, dolu savak yerini ve nehrin barajın hangi kesitinden geçtiğini gösteren genel vaziyet planıdır. Baraj gövdesinde oluşacak olan gediğin muhtemel yeri dere hizasında olacaktır. Bu daha önce paylaşılan geçmişte yaşanmış baraj yıkılma felaketlerinden öngörülebilmektedir. Ayrıca barajın max enkesiti de burada yer almaktadır. Bunun anlamı baraj gövde dolgusunun en yüksek olduğu yerin muhtemelen bu bölgede olacağı anlamı taşımaktadır.

Kret kotu görülerek gedik üst kotunun tespit edebileceği, kret genişliği ve dolgu zonlarının görülebileceği baraj gövde enkesiti şekil 3.4'te yer almaktadır.

Göl hacmini oluşturmak için HEC-RAS programına değerlerinin girileceği hacim satıh eğrisi şekil 3.5'te yer almaktadır. Bu eğride bulunan irtifaya karşılık gelen suyun yüzey alanı ve hacim bilgisi yer almaktadır. Dsi kati projesinde normal su seviyesine kadar yer alan kot alan hacim grafiği, analizde üstten aşma durumu incelendiğinden suyun kret kotuna kadar yükseleceği öngörülmektedir ve bu sebeple bu grafik enterpolasyon yapılarak kret kotunu kapsayacak şekilde güncellenmiştir.

Kret kotunda göl hacmi: $V_{1134} = 68,1 \times 10^6 \text{ m}^3$

HEC-RAS programı taşkın analizi bölümünde kullanılacak olan katastrofal taşkın hidrografi şekil 3.6'da yer almaktadır. Bu hidrograf taşkın yayılımının en doğru şekilde gözlemlenmesi amacıyla 45 saatlik zaman dilimine çıkarılacak ve 30. Saatten sonra debi $10 \text{ m}^3/\text{s}$ 'ye sabitlenecektir.

Akdeğirmen Barajı rezervuar alanı ve baraj gövdesi uydu görüntüsü şekil 3.7'de yer almaktadır. Uygulamada DEM verisi ile uydu görüntüsü üst üste bindirilerek taşkın sahası ve göl alanının doğru biçimde çizilmesi sağlanacaktır.

Sayısal yükseklik modeli, arazi topoğrafyasının ve arazi üzerinde yer alan doğal ve beşeri unsurların 3 boyutlu şekilde konum ve yükseklik bilgilerini kullanarak üretilmiş bir veridir. Afyon bölgesi için Harita Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiş olan yaklaşık 5 m hassasiyetindeki dem verisinin görseli şekil 3.8 de paylaşılmıştır. Bu veri sayesinde çok geniş alanlar üzerinde hassas analizler yapılabilmektedir. Uygulama kısmında anlatılacağı gibi ArcMap programını kullanarak bu veri belirlenen taşkın muhtemel yayılacağı alana göre kırılarak daha spesifik hale getirilmiştir. Bu sayede analiz süresi kısılacak ve daha az ram kullanımını sağlanmış olacaktır.

Çalışmada kullanılmak üzere sitesi üzerinde temin edilen CORINE (Coordination of Information on the Environment) (Çevre Bilgileri Koordinasyonu) pürüzlülük haritası çalışma alanı sınırları ölçüsünde ArcMap programı ile "clip" komutu yardımıyla

kırpılmıştır. Daha sonra ArcMap programı vasıtasıyla sayısallaştırılarak HEC-RAS'ta yapacağımız analizde kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir. Arazi sınıflandırma kodlarına karşılık gelen Manning pürüzlülük değerleri çizelge 3.3'de yer almaktadır.

3.4 ArcMap 10.7 Programının Tanıtılması

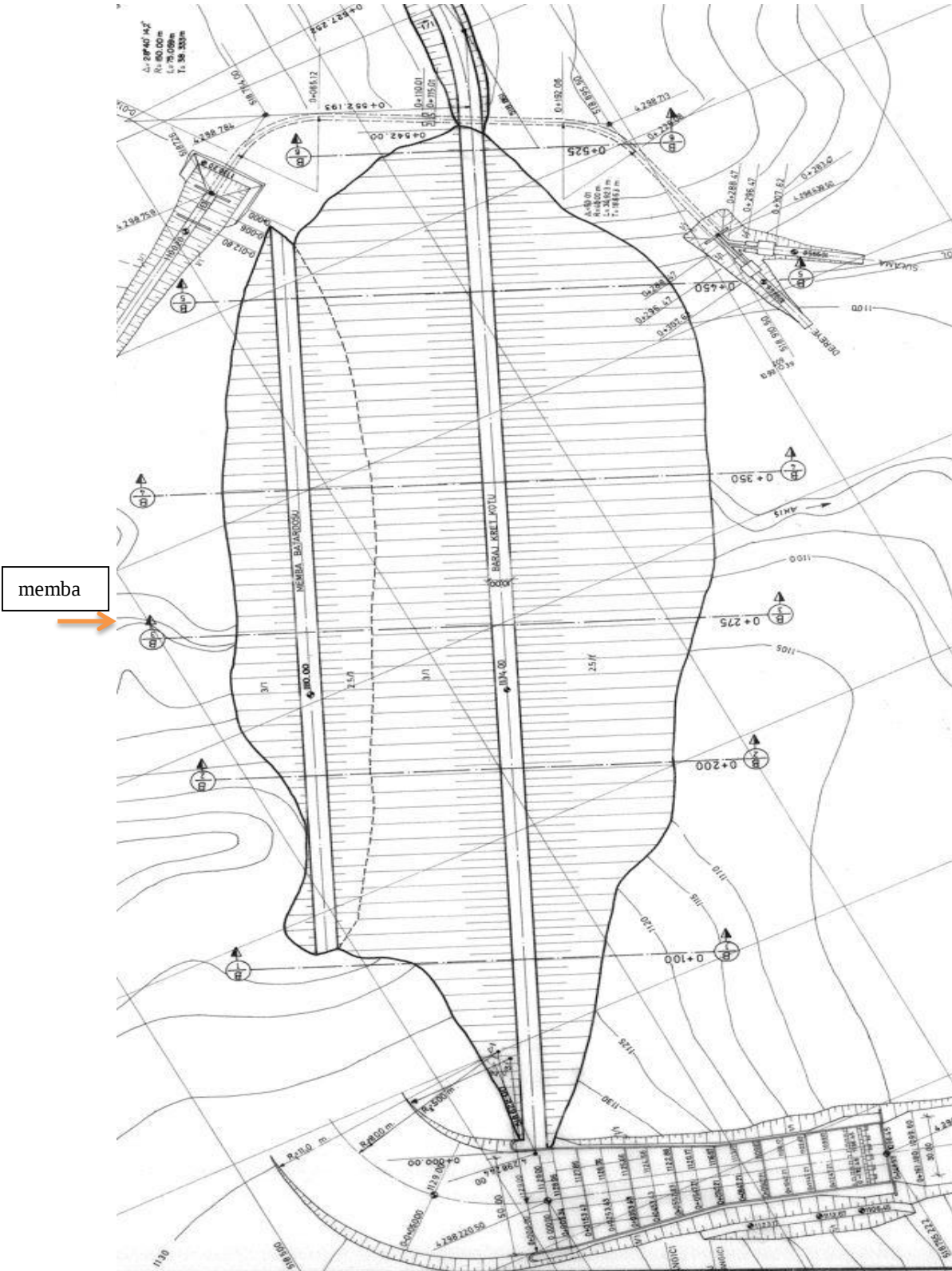
ArcGIS bilgilerin işlenmesinde, analiz edilmesinde, haritaların oluşturulmasında, projelendirilmesinde kullanılan insan gücü ve maddi anlamda tasarruf sağlayan coğrafi bilgiler doğrultusunda çalışan bir programdır. (Bulan 2019).

Dünya üzerindeki bölgeler hakkındaki verileri saklayan, tarifini yapan ve kullanan sisteme coğrafi bilgi sistemleri (CBS) denir. Akarsu, parsel, bina, taşkın koruma tesisi vs gibi bilgileri bünyesinde entegre bir şekilde saklar. ArcGIS CBS yazılım bileşenlerinin ortak kütüphanesi olan ArcObjects üzerine kurulmuş olan entegre bir coğrafi bilgi sistemidir.

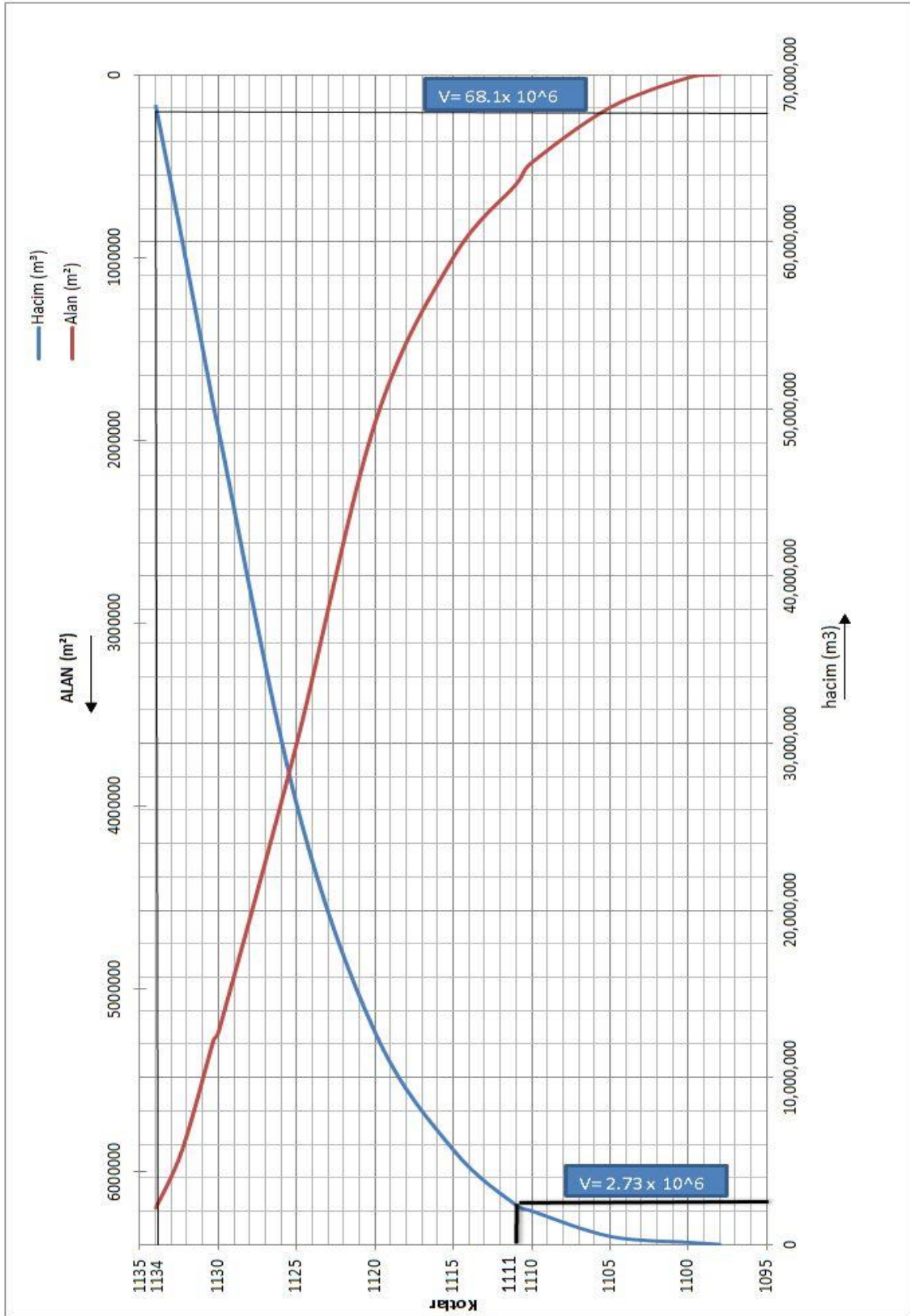
ArcMap, kullanıcılara, mevcut grafiksel ve sözlü verileri görüntüleme, güncelleme, sorgulama, analiz etme, grafik oluşturma ve raporlama becerisine sahip yüksek kaliteli harita sunumları sağlamaktadır. (Töreay vd 2010).

ArcMap programının kullanılmasıyla haritalar üzerinde yer alan kusurlar giderilebilir veya minimize edilebilir. Coğrafi ve Hidrolojik analizler yapılabilir, farklı formatlarda çıktı alınabilir. Çalışma içerisinde ArcMap programı kullanılarak yapılan işlemler şekil 3.10 ile açıklanmıştır.

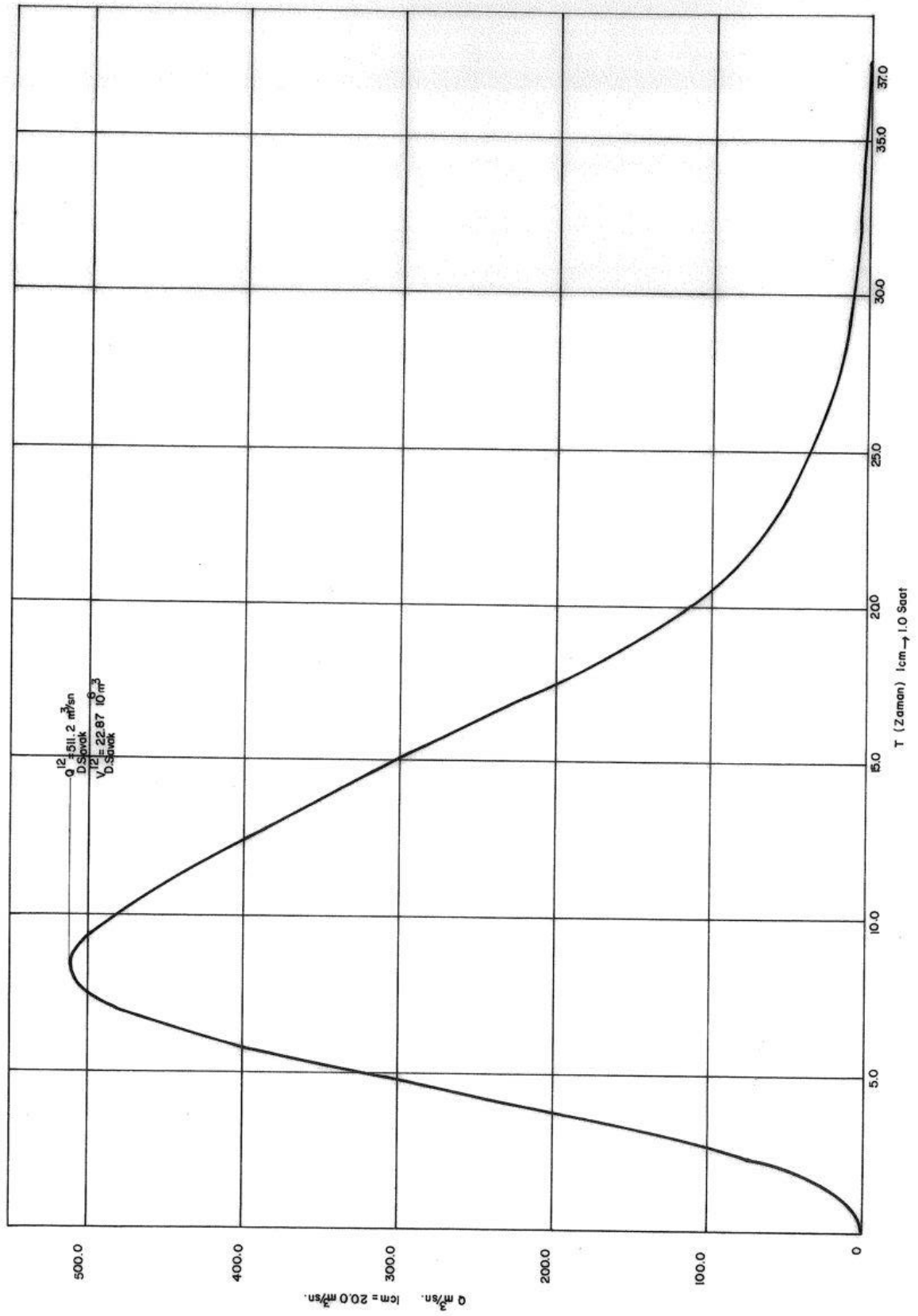
ArcMap programının çalışmada kullanılmasının amaçları; çok büyük ölçekli çalışma alanının daha spesifik hale getirilerek bilgisayar performansını artırmak ve çalışmayı daha stabil hale getirmek, veriler üzerindeki kusurların giderilerek hatalı sonuçlar elde edilmesinin önüne geçmek, sayısal olmayan verileri sayısal hale getirerek farklı programlarda ve ArcMap'in kendisinde parametreler üzerinde çalışmalar yapılmasını sağlamak, yapacağımız taşkın etki analizi için gerekli hesaplamaları kullanışlı şekilde gerçekleştirebilmek, hazırlanacak haritaları pratik bir şekilde hazırlama imkanı sunması olarak sıralanabilir.



Şekil 3.3 Akdeğirmen Barajı genel yerleşim planı (Dsi, 1989)



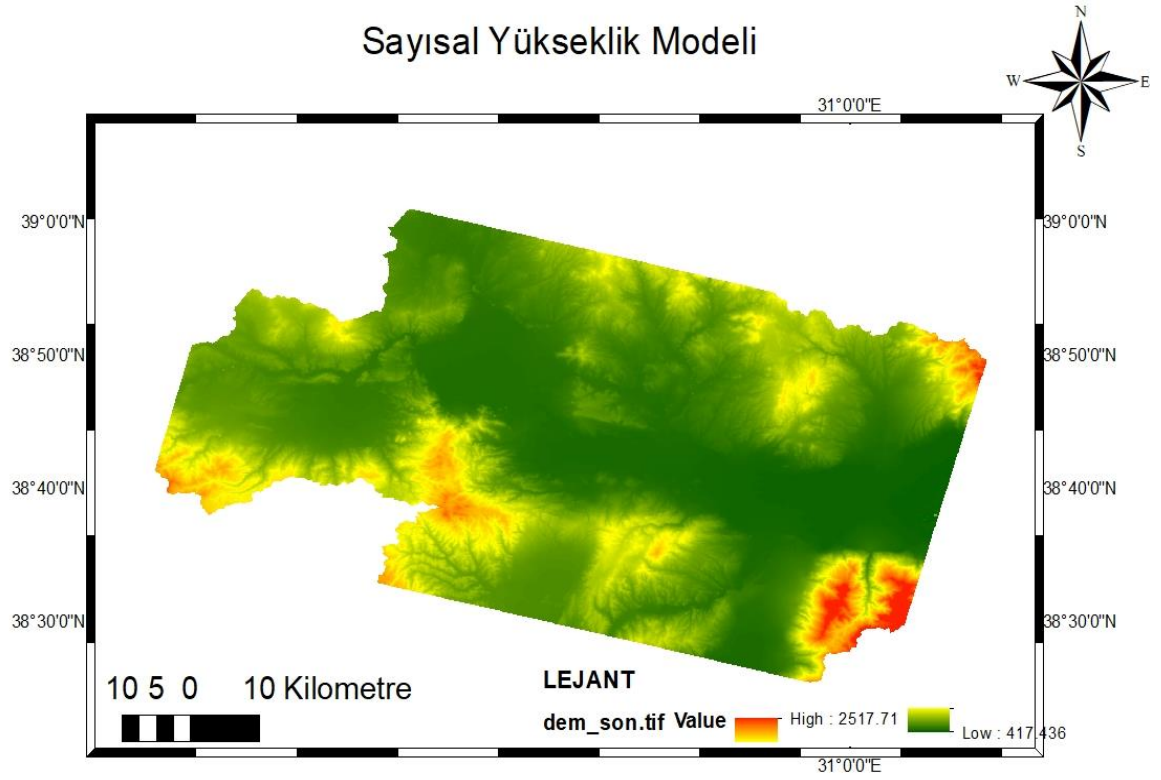
Şekil 3.5 Akdeğirmen Barajı Kot-Alan-Hacim Grafiği



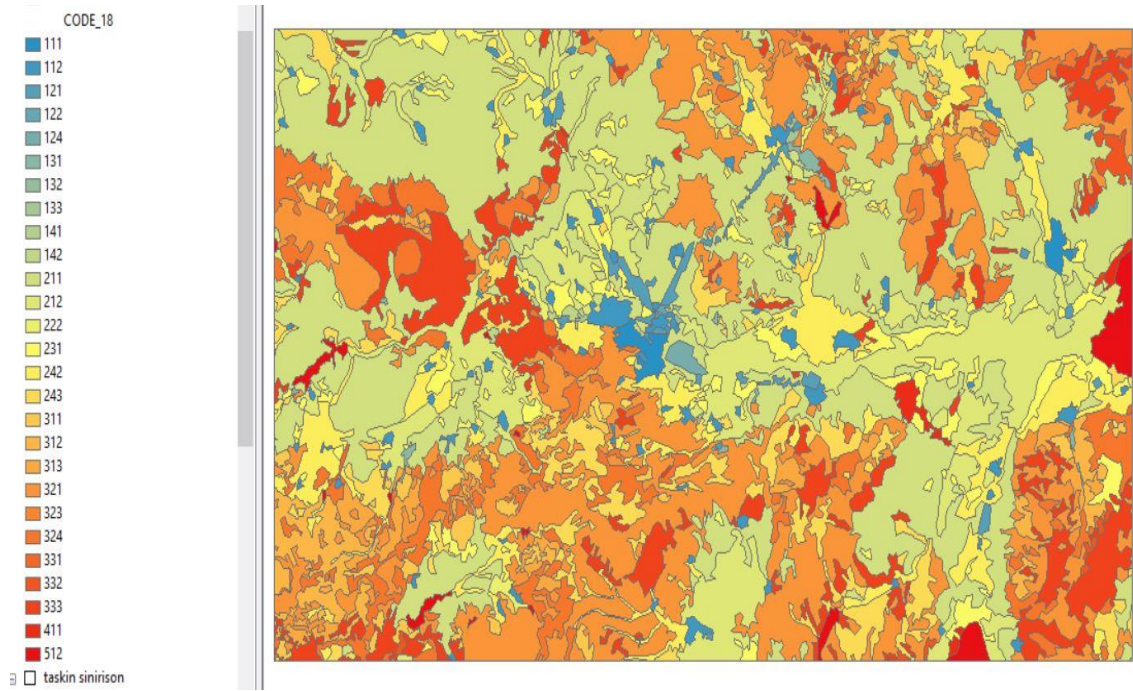
Şekil 3.6 Katastrofal Taşkın Hidrografı (Dsi 1989).



Şekil 3.7 Baraj Uydu Görüntüsü (Map Data © 2023 Google, Image © 2023 CNES/Airbus.)

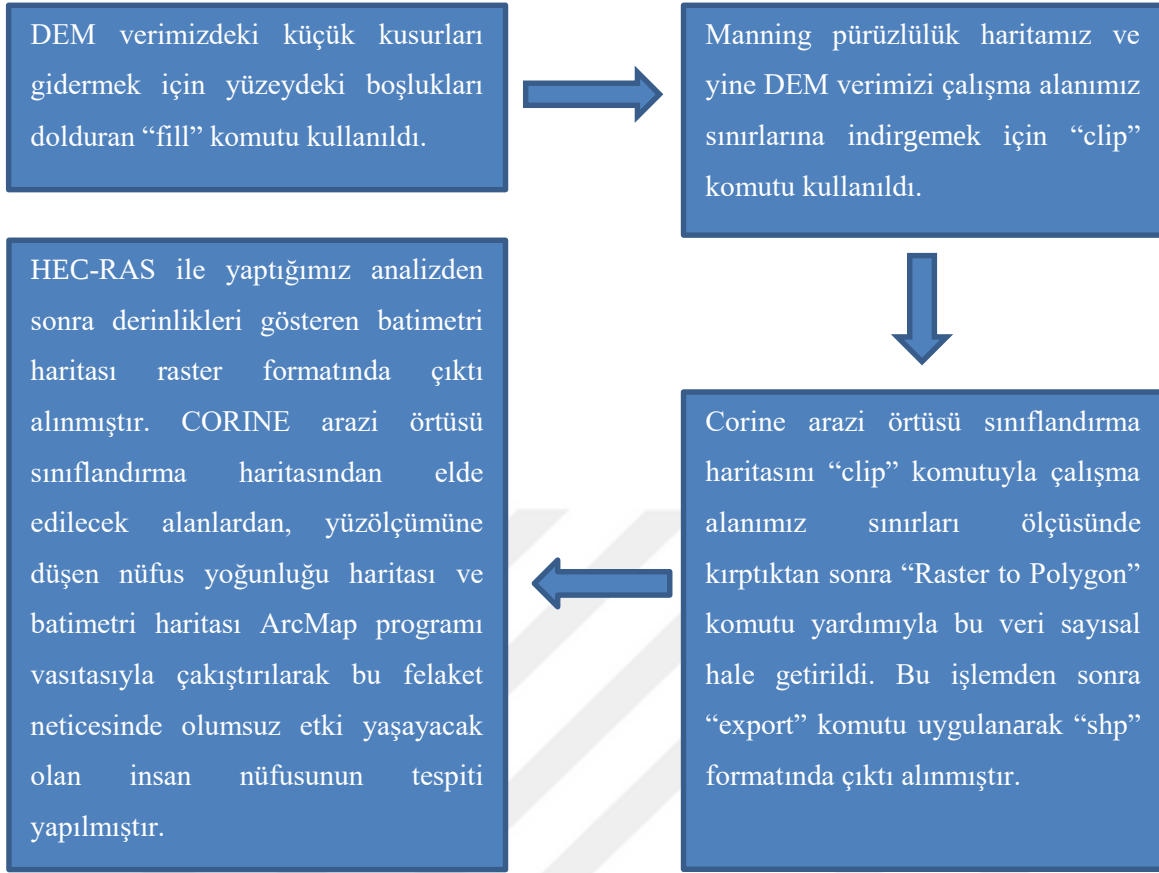


Şekil 3.8 Sayısal Yükseklik Modeli (DEM Verisi)



Şekil 3.9 CORINE arazi pürüzlülük haritası

Bu çalışma bünyesinde ArcMap programı kullanılarak;



Şekil 3.10 ArcMap programının çalışmada kullanım şeması

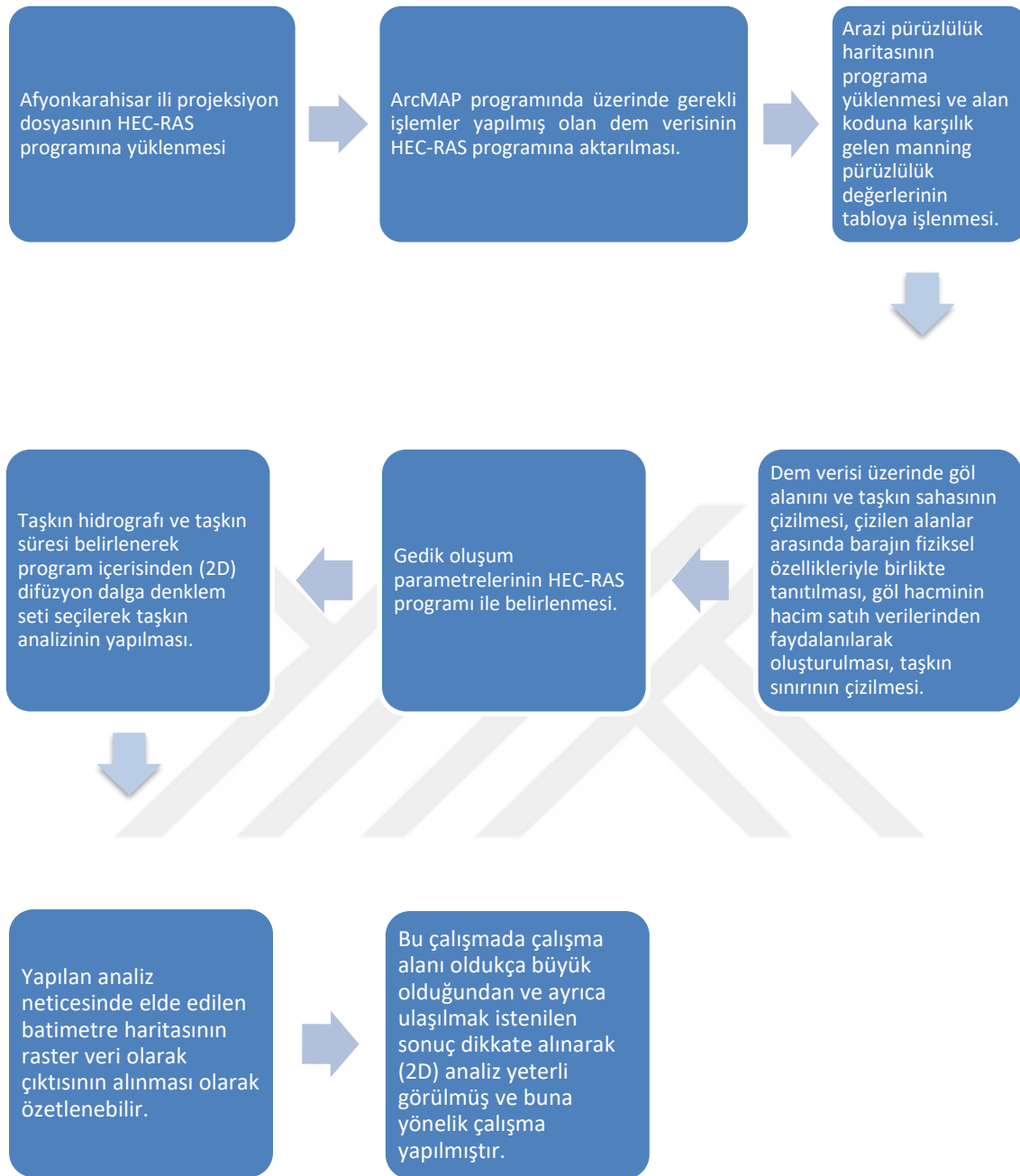
3.5 HEC-RAS 6.2 Programının Tanıtılması

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System) The U.S. Army Corps of Engineers (USACE) tarafından geliştirilmiş olan tek boyutlu sabit akış hidroliği, bir ve iki boyutlu kararsız akış hidroliği, yarı kararsız ve tam kararsız akışlı sediment taşıma hareketli yatak modellemesi, su kalitesi, su sıcaklığı analizleri gibi birçok özelliği bünyesinde barındıran bir yazılımdır. (İnt. Kyn. 6).

Baraj yıkılma mekaniği kısmında açıklanan gedik oluşum denklemleri ve analizin türüne göre kullanılmak istenilen hidrodinamik yöntemler HEC-RAS programı içerisinde mevcut olup araştırmacılara çok çeşitli analiz imkanı tanımaktadır.

Program kendi internet sitesi üzerinden ücretsiz olarak temin edilebilmektedir.

Bu çalışmada yapılan, 4. Bölümde detaylı anlatılacak olan işlemler;



Şekil 3.11 HEC-RAS programının çalışmada kullanım şeması

4. BULGULAR

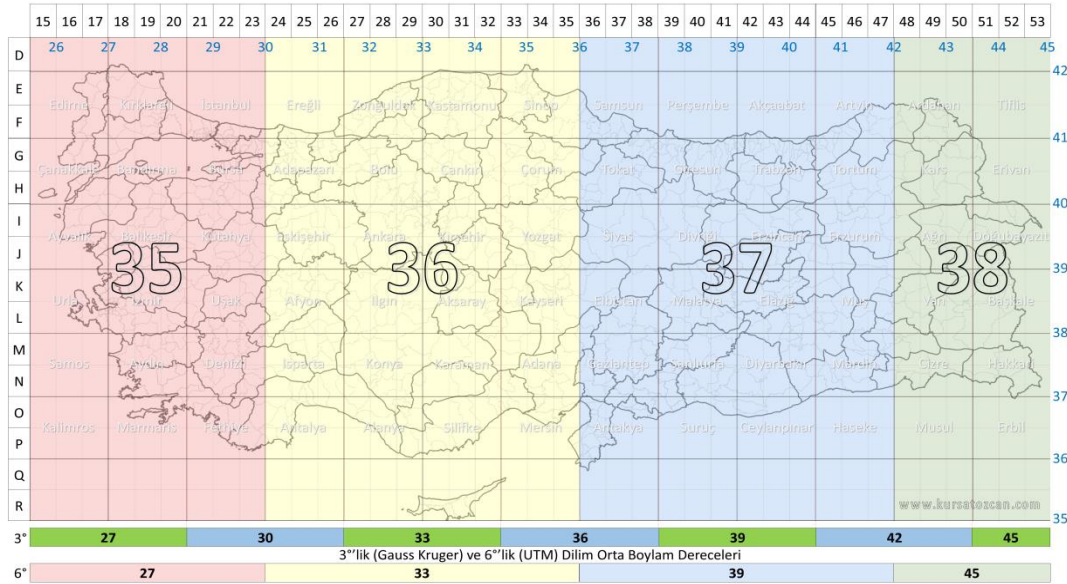
4.1 Verilerin Hazırlanması

4.1.1 Projeksiyon Verisi

Yeryüzünün 2 boyutlu düzleme matematiksel transformasyon yöntemi ile aktarılmasına projeksiyon adı verilmektedir. Uygulamada kullanılmak üzere içerisinde coğrafi verileri taşıyan bir referans dosyası olan projeksiyon dosyası indirilecektir.

Dosyanın indirilmesi için <https://spatialreference.org/> sitesinde arama motoruna Turkey yazılmalıdır. Afyonkarahisar ili Türkiye pafta bölümlenmesinde 36. Bölgede yer almaktadır. Arama sonucunda çıkan sonuçlardan ITRF96 UTM Zone 36 linkine tıklanmalıdır. Açılan sayfada “.prj file” linkine tıklanarak ihtiyacımız olan projeksiyon dosyası indirilmiştir.

TÜRKİYE PAFTA BÖLÜMLEMESİ



Şekil 4.1 Türkiye Pafta Bölümlenmesi (İnt. Kyn. 9).

4.1.2 Arazi Pürüzlülük Haritası

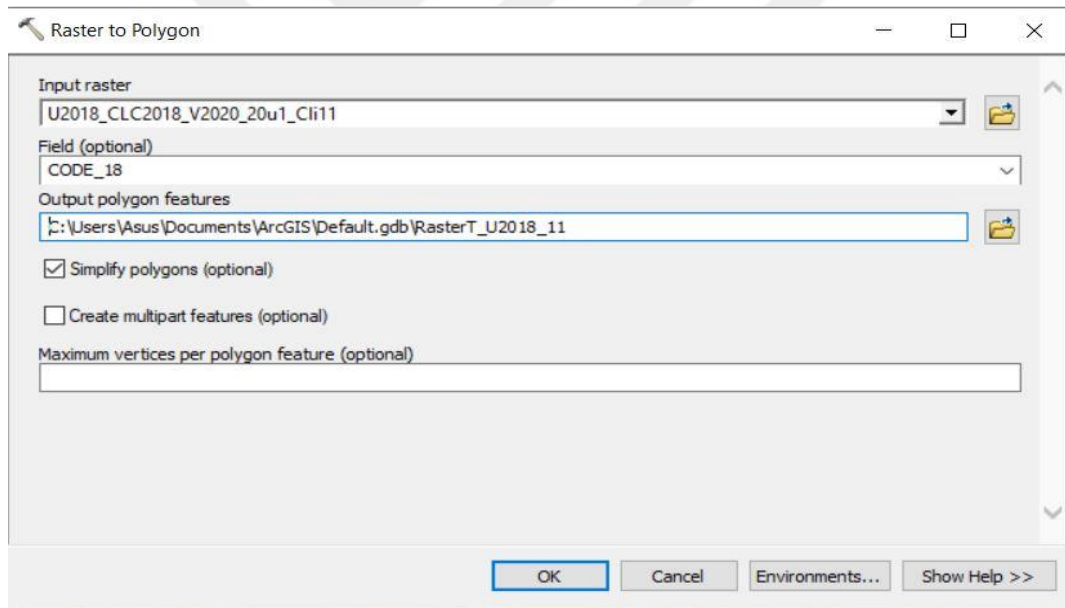
Uygulamada kullanılmak üzere daha önceki bölümlerde de bahsi geçmiş olan CORINE projesi kapsamında oluşturulmuş olan arazi pürüzlülük haritası indirilmiştir.

Bu harita <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover> adresi üzerinden raster formatında temin edilmiştir. Temin edilen verinin görseli aşağıda paylaşılmıştır.

Raster verisi ArcMap 10.7 programında “add data” komutu yardımıyla açılmıştır. Daha sonra Google Earth programı yardımıyla oluşturmuş olunan çalışma alanı sınırları “layer to kml” komutuyla ArcMap programına eklenmiştir.

Raster verisi “Data Management tools – raster – raster processing – clip” yolu ile çalışma alanımız ölçüsünde kırılmıştır.

Clip işlemi uygulanan raster verisi “Raster to Polygon” komutuyla sayısal hale getirilmiştir.

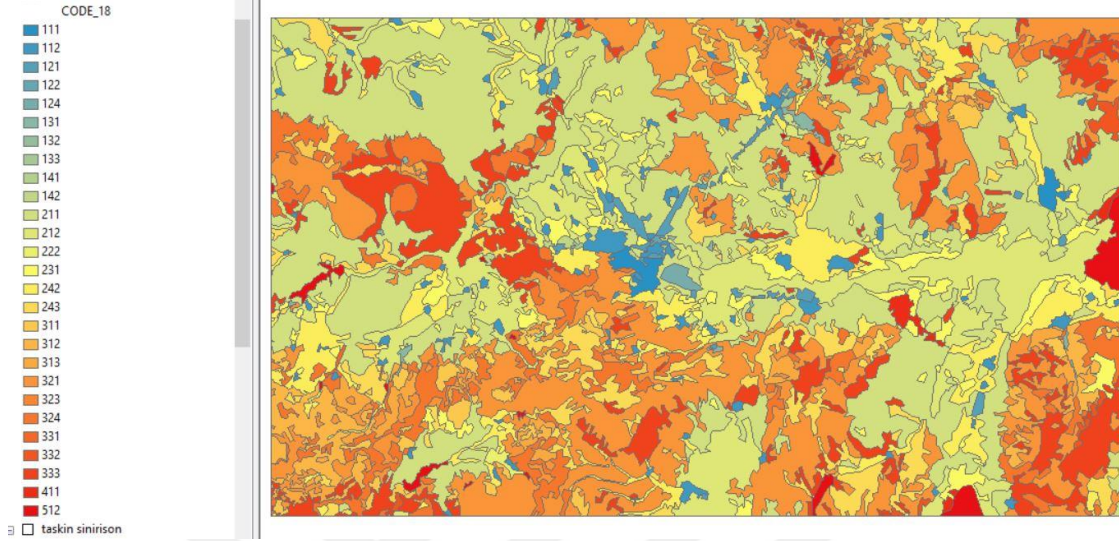


Şekil 4.2 “Raster to Polygon” işlemi

Sayısal hale getirilen dosya sağ tık yapılarak “data – export data” komutuyla “shapefile” formatında çıktı alınmıştır.

Coğrafi koordinat ve konum bilgileri kullanılarak fotogrametrik ve/veya yer alımlar ile yeryüzünün üzerindeki doğal ve yapay unsurların 3 boyutlu şekilde modellenmesine sayısal yükseklik modeli denilmektedir. İngilizcesi “Digital Elevation Model” olan bu

veri, arazi planlaması, taşkın analizi, coğrafi bilgi sistemleri vs. gibi birçok alanda kullanılmaktadır.



Şekil 4.3 ArcMap programında arazi pürüzlülük haritası görüntüsü

Çalışmamızda kullanılan 5 m çözünürlükteki sayısal yükseklik modeli “Harita Genel Müdürlüğünden“ temin edilmiş olup Afyonkarahisar ilini kapsamaktadır.

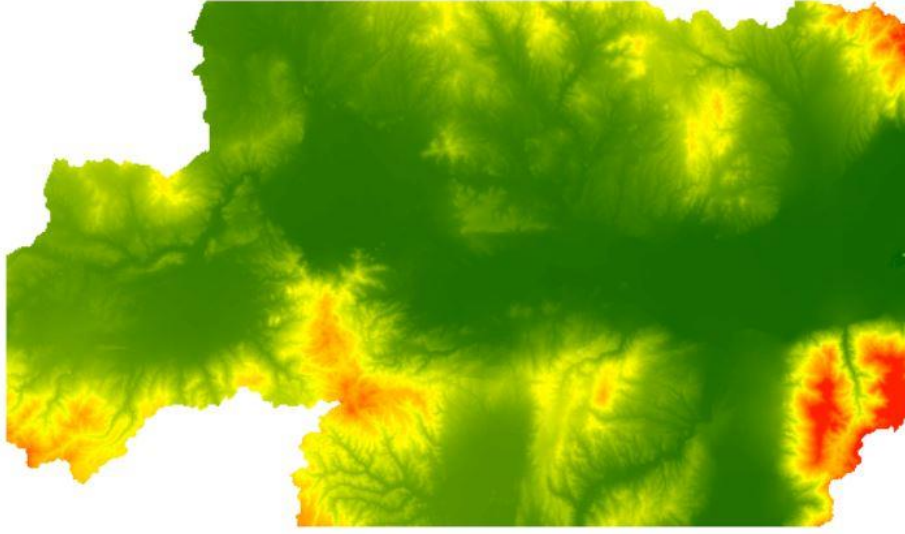
Dem verisi “add data” komutu ile ArcMap programına yüklenmiştir.

Daha sonra “Data Management tools – raster – raster processing – clip” yolu ile çalışma alanı ölçüsünde kırpılmıştır.

Dem verisindeki hataları düzeltmek amacıyla veri üzerinde fill komutuyla boşluklar ve ani yükseklik değişimleri giderilmiştir. Bu işlem “Spatial analyst tools – hydrology – fill” yolu izlenerek yapılmıştır. Bu işlemde sonra “tif” formatında çıktı alınmıştır. Bu işlem ile birlikte ArcMap programından HEC-RAS programına geçmeye hazır hale gelinmiştir.

4.2 HEC-RAS ile Modelleme

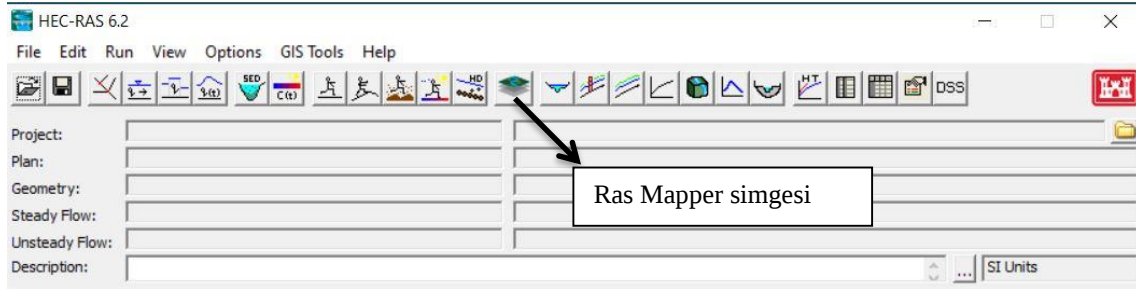
HEC-RAS programı ile analiz işlemi aşağıda sıralı şekilde paylaşılmış olan modüller yardımıyla yapılmaktadır.



Şekil 4.4 uygulamaya hazır DEM verisi

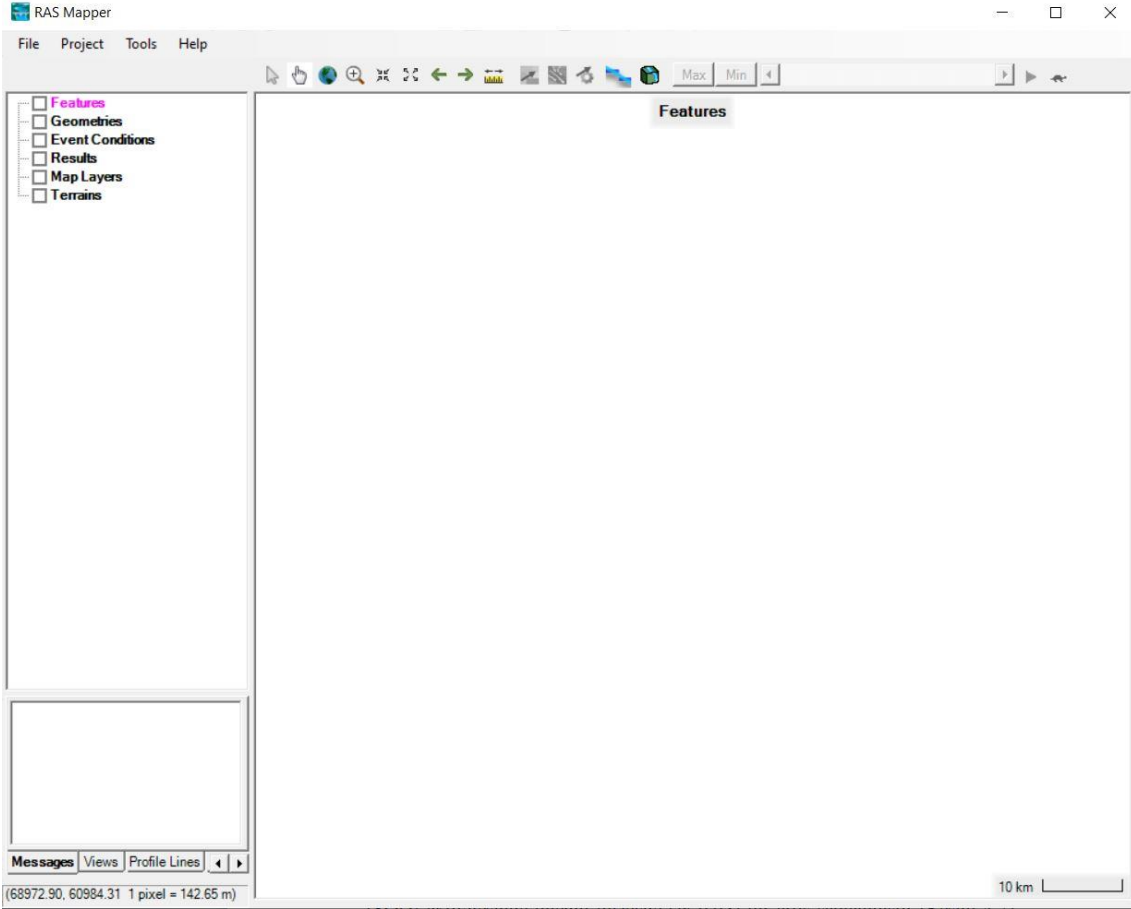
4.2.1 RAS MAPPER

HEC-RAS 6.2 programı açılış penceresinden ilk olarak “Options - Unit System” yolu ile “metric system” seçilmiştir. Ardından File sekmesinden “save as” komutu ile oluşturulan proje belirli bir yola kaydedilmiştir.



Şekil 4.5 HEC-RAS 6.2 Açılış Ekranı

Ras Mapper ekranı açılmıştır. Bu ekran hazırlanan verilerin HEC-RAS programına aktarıldığı kısımdır. Ras Mapper bölümünde ilk olarak projeksiyon dosyası yüklenmiştir. Bunun için “Project – Set Projection” yolu izlenerek açılan pencereden, 3.bölümde anlatıldığı şekilde temin edilen projeksiyon dosyası programa yüklenmiştir. Projeksiyon dosyasının doğru konumu içerdiğinden emin olunmalıdır.

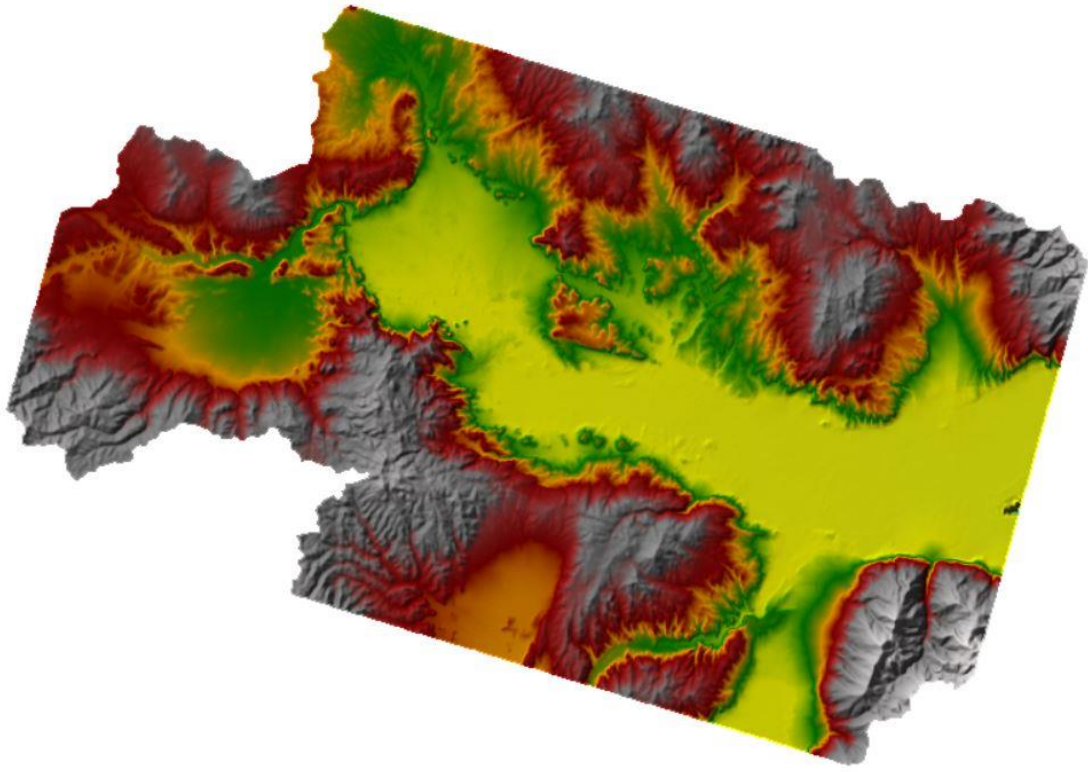


Şekil 4.6 Ras Mapper ekranı

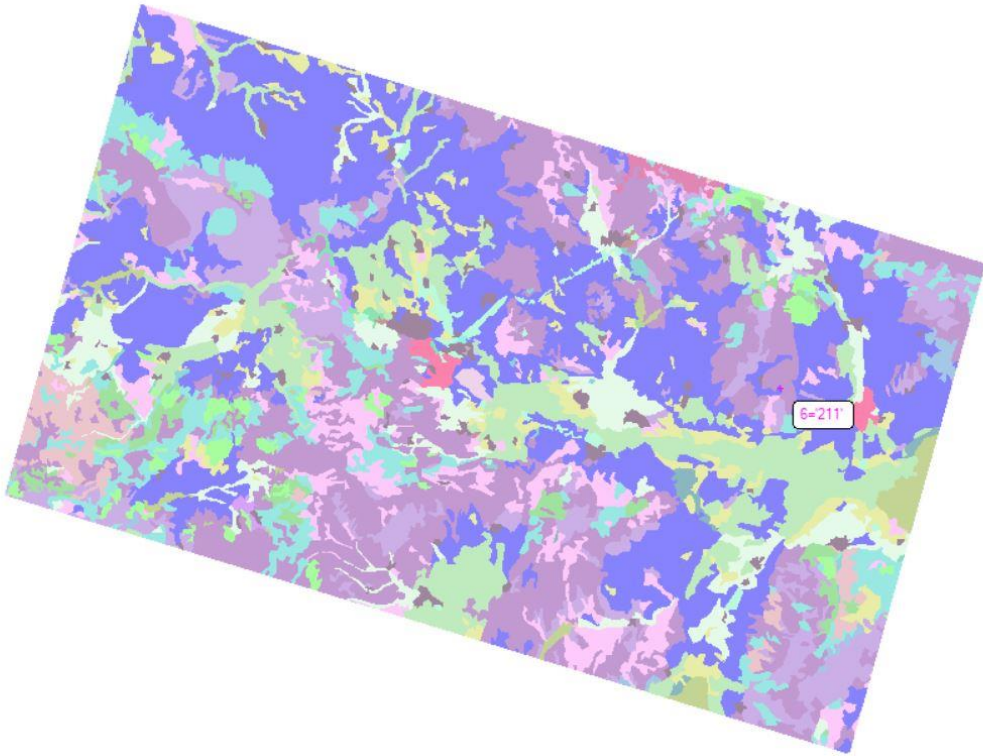
Dem verisi terrains kutucuğu aktif hale getirilip “sağ tık – create a new ras terrain” yolu ile programa yüklenmiştir.

Arazi pürüzlülük haritasının yüklenmesinde “Map Layers kutucuğu aktif hale getirilip sağ tık yapılmış ve Create a New Ras Layer – Land cover layer” yolu izlenmiştir. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra “edit land cover data table” komutu ile “CODE_18” sütunundaki sayılarına karşılık gelen manning pürüzlülük değerleri eklenmiştir.

Geometries sekmesi aktif hale getirilerek bir geometri dosyası oluşturulmuştur. Geometri dosyası oluşturulduktan sonra “Project - Manage layer associations” yolu ile hazırlanan pürüzlülük haritası bu geometri içerisine tanımlanmıştır. Bu sayede analiz işlemi yapılırken yüzey pürüzlülüğünün dikkate alınması sağlanmıştır.



Şekil 4.7 HEC-RAS programı dem verisi görüntüsü



Şekil 4.8 HEC-RAS programı arazi pürüzlülük haritası

Code	Designation	n	Code	Designation	n
111	Continuous urban fabric	0.230	242	Complex cultivation patterns	0.023
112	Discontinuous urban fabric	0.115	243	Agriculture, w/significant natural vegetation	0.058
121	Industrial or commercial units	0.230	244	Agro-forestry areas	0.058
122	Roads and rail networks and associated land	0.038	311	Broad-leaved forest	0.230
124	Airports	0.230	312	Coniferous forest	0.127
131	Mineral extraction sites	0.104	313	Mixed forest	0.230
132	Dump sites	0.115	321	Natural grasslands	0.039
133	Construction sites	0.115	322	Moors and heathland	0.058
142	Sport and leisure facilities	0.023	323	Sclerophyllous vegetation	0.058
211	Non-irrigated arable land	0.043	324	Transitional woodland-shrub	0.058
212	Permanently irrigated land	0.043	331	Beaches, dunes, sands	0.138
213	Rice fields	0.023	332	Bare rocks	0.104
221	Vineyards	0.043	333	Sparsely vegetated areas	0.104
222	Fruit trees and berry plantations	0.043	334	Burnt areas	0.104
223	Olive groves	0.043	411	Inland marshes	0.115
231	Pastures	0.298	511	Water courses	0.035
241	Annual crops associated w/permanent crops	0.043	512	Water bodies	0.035

Şekil 4.9 Manning değerleri tablosu (Pinto 2014)

Map layers sekmesi içerisinde “Add web imagery” yolu ile uydu görüntüsü ve dem verisi üst üste çakıştırılarak Akdeğirmen barajının rezervuar alanı ve tahmini taşkın sınırı çizilmiştir.

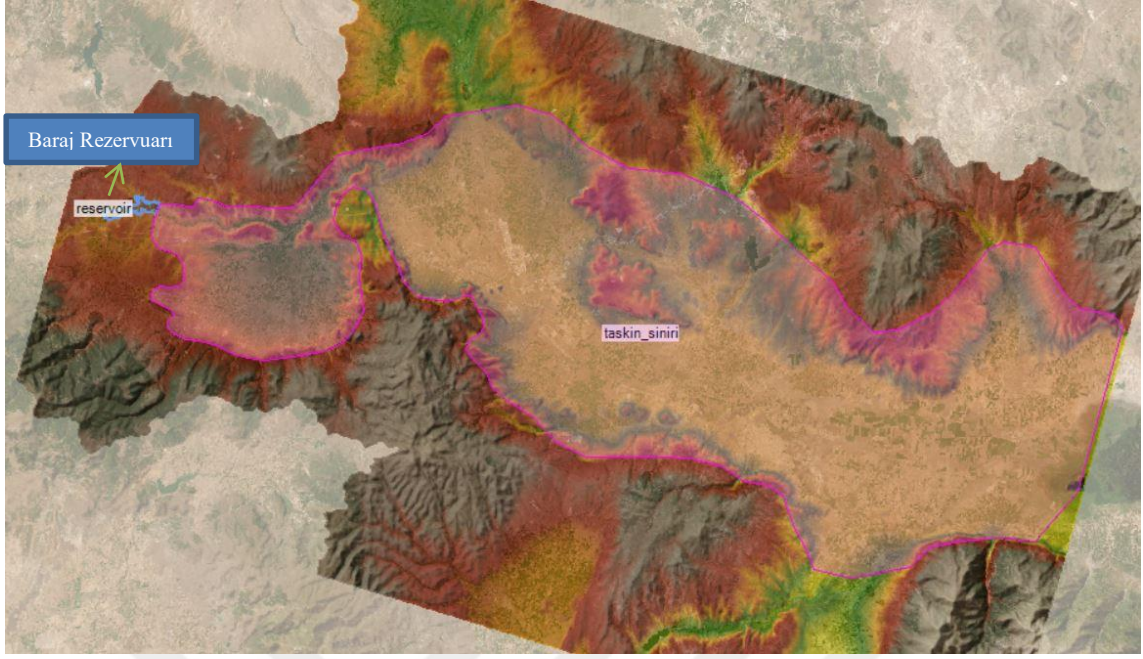
Rezervuar alanının çizimi oluşturulan geometri altındaki “storage areas” bölümünden göl alanı taşkının çıkamayacağı yükseklik takip edilerek çizilmiştir.

Taşkın sınırı “2D flow areas” sekmesi altında “perimeters” komutu yardımıyla taşkının ulaşabileceği tahmini sınırlar takip edilerek çizilmiştir. Bu işlemlerden sonra kaydedilerek Ras Mapper’den çıkılmıştır.

4.2.2 Edit Geometric Data Bölümü

“View/Edit geometric data” sekmesi açılarak oluşturulan geometri dosyası açılmıştır. Baraj karakteristikleri bu bölümde oluşturulmuştur.

Bu bölümde ekrandaki komut satırında yer alan “Storage area/2D flow areas” komutu ile baraj kret uzunluğu ölçüsünde rezervuar ve taşkın sınırı birleşim kısmına baraj aksı yerleştirilmiştir. Komut satırındaki “boundary conditions” komutu ile taşkının sınır koşulu çizilerek belirlenmiştir.



Şekil 4.10 taşkın sınırı ve baraj rezervuarının çizimlerinin görüntüsü

Komut sütununda bulunan düzenleme komutları bölümünde yer alan “2D flow areas” komutu ile taşkın sahamızı eşit hücrelere bölerek çalışma hassasiyeti belirlenmiştir. Çalışmada taşkın sahası 30x30 m boyutunda hücrelere bölünerek hassas bir analiz elde edilmesi amaçlanmıştır.

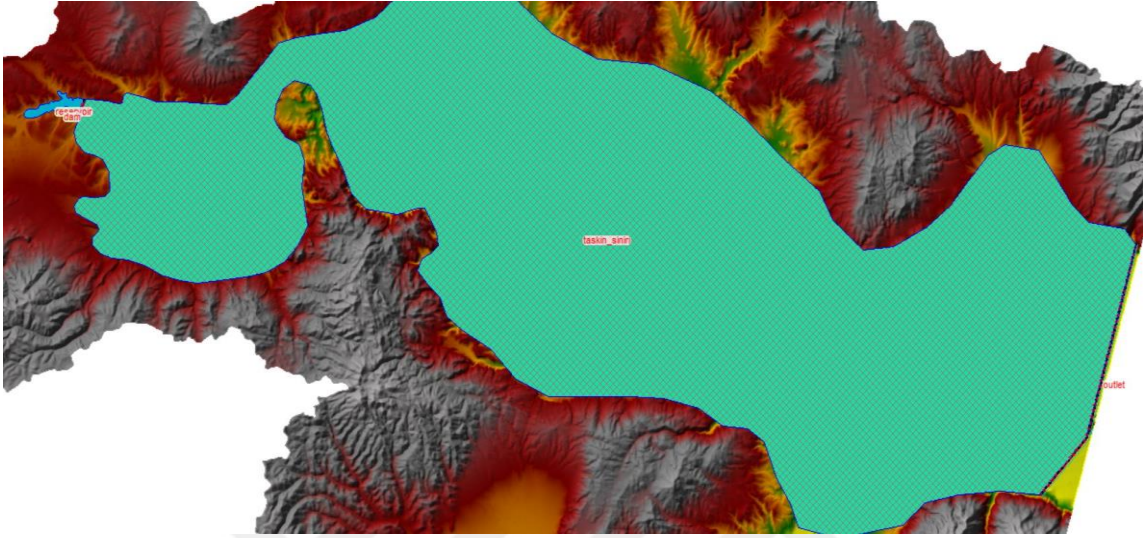
“Storage area” düzenleme komutu ile Dsi kati projelerindeki verileri kret kotuna kadar yükseltile hacim-kot-alan grafiği tabloya girilerek göl hacmi oluşturulmuştur.

“Edit Sa/2D conn” komutu yardımıyla baraj gövdesi oluşturulmuştur. Kret uzunluğu ve dolu savak genişliği “weir/embankment” kısmından eklenmiştir. Breach plan data kısmı ile baraj gedik verilerini oluşturma kısmına geçilmiştir.

4.2.3 Gedik Parametreleri

HEC-RAS programı baraj hakkındaki verilerin girilmesi ve gedik taban kotunun tahmini neticesinde diğer gedik parametrelerini baraj yıkılma mekaniği kısmında bahsedilen denklemler vasıtasıyla hesaplamaktadır. Bu çalışmada 5 farklı denklem setiyle analiz yapılmış ve ortalama değer bulgular için kabul edilmiştir. Aşağıda

parametrelerin “Breach Plan Data” editörüne girilen ve elde edilen veriler paylaşılmıştır. Bu işlem yapılırken “Breach this structure” kutucuğu mutlaka işaretlenmelidir.



Şekil 4.11 Geometric data bölümünde alan sınırları

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: dam [v] [f] [u] Delete this Breach ... Delete all Breaches ...

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: User Entered Data [v]

Center Station: 275

Final Bottom Width: 97

Final Bottom Elevation: 1104

Left Side Slope: 0.5

Right Side Slope: 0.5

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 1.76

Failure Mode: Overtopping [v]

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev: []

Trigger Failure at: WS Elev [v]

Starting WS: 1134

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1134 Breach Bottom Elevation (m): 1104

Pool Elevation at Failure (m): 1134 Pool Volume at Failure (1000 m³): 68100

Failure mode: Overtopping [v]

MacDonald

Dam Crest Width (m): 10 Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 3

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill [v] Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 2.5

Xu Zhang (and Von Thun)

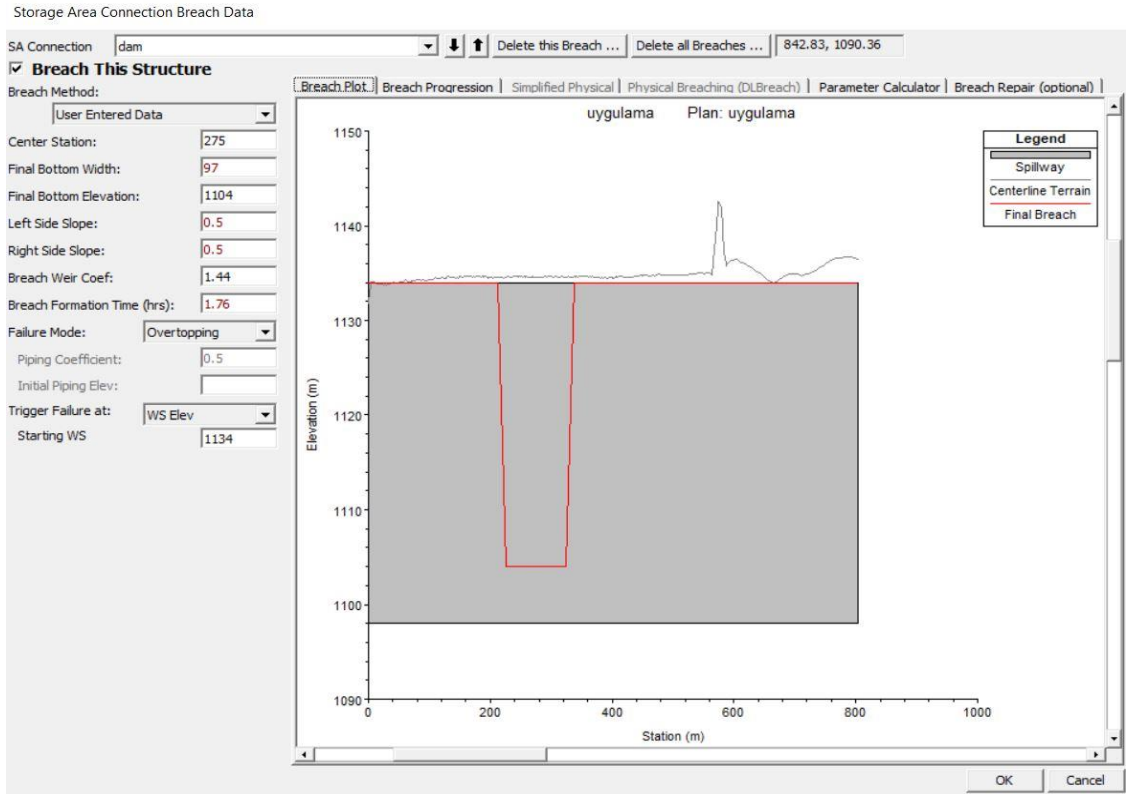
Dam Type: Dam with corewall [v] Dam Erodibility: Medium [v]

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	97	0.5	1.76	Select
Froehlich (1995)	113	1.4	1.69	Select
Froehlich (2008)	99	1	1.54	Select
Von Thun & Gillete	115	0.5	0.85	Select
Xu & Zhang	103	1.16	2.82 *	Select

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

OK Cancel

Şekil 4.12 “MacDonald et al” denklem seti için gedik parametreleri



Şekil 4.13 “MacDonald et al” denklem seti için gedik şekli

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: dam

Delete this Breach ... Delete all Breaches ...

☒ Breach This Structure

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 275

Final Bottom Width: 113

Final Bottom Elevation: 1104

Left Side Slope: 1.4

Right Side Slope: 1.4

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 1.69

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1134

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1134 Breach Bottom Elevation (m): 1104

Pool Elevation at Failure (m): 1134 Pool Volume at Failure (1000 m3): 68100

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 10 Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 3

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 2.5

Xu Zhang (and Von Thun)

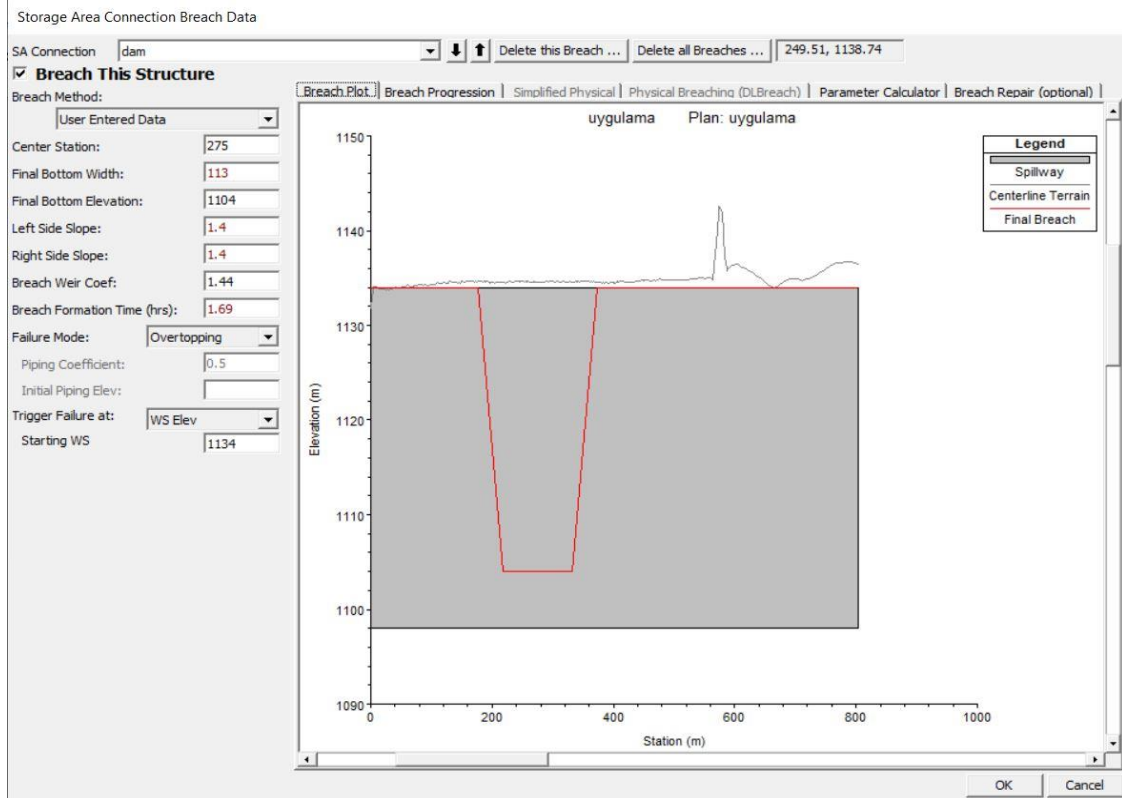
Dam Type: Dam with corewall Dam Erodibility: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	97	0.5	1.76	Select
Froehlich (1995)	113	1.4	1.69	Select
Froehlich (2008)	99	1	1.54	Select
Von Thun & Gillete	115	0.5	0.85	Select
Xu & Zhang	103	1.16	2.82 *	Select

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

OK Cancel

Şekil 4.14 “Froehlich 1995” denklem seti için gedik parametreleri



Şekil 4.15 “Froehlich 1995” denklem seti için gedik şekli

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: dam

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 275

Final Bottom Width: 99

Final Bottom Elevation: 1104

Left Side Slope: 1

Right Side Slope: 1

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 1.54

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1134

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1134 Breach Bottom Elevation (m): 1104

Pool Elevation at Failure (m): 1134 Pool Volume at Failure (1000 m3): 68100

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 10 Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 3

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 2.5

Xu Zhang (and Von Thun)

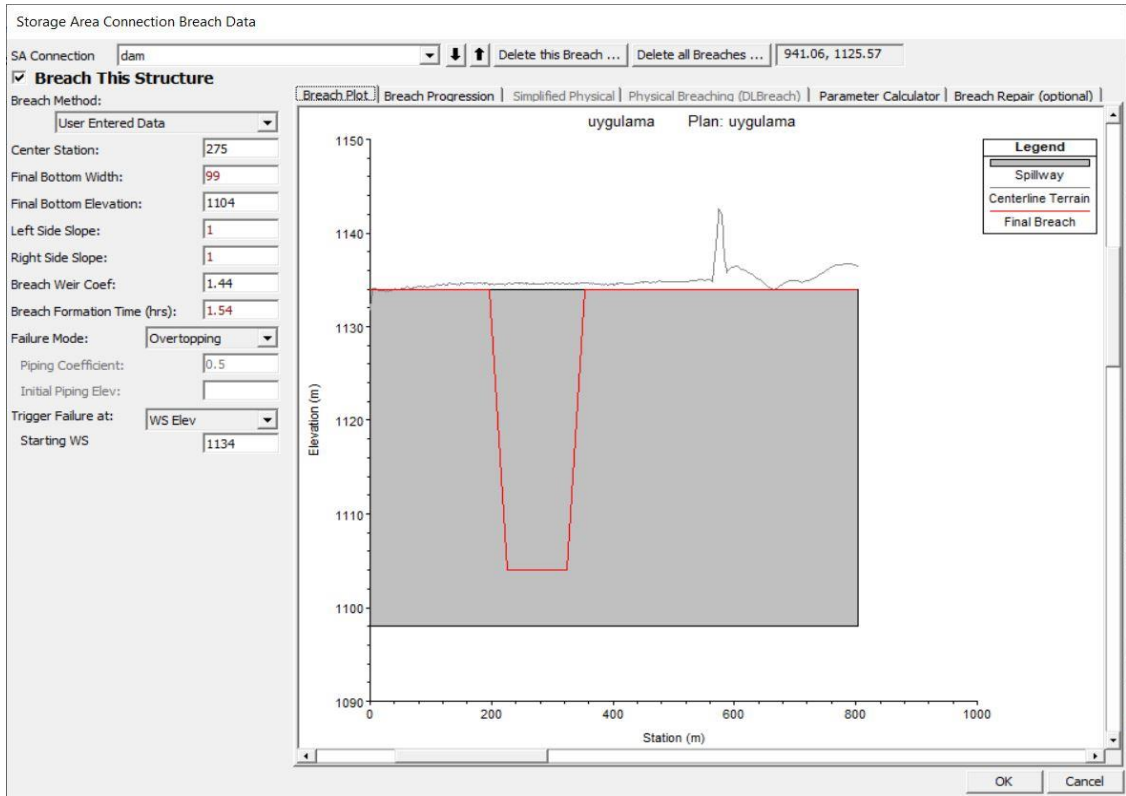
Dam Type: Dam with corewall Dam Erodibility: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	97	0.5	1.76	Select
Froehlich (1995)	113	1.4	1.69	Select
Froehlich (2008)	99	1	1.54	Select
Von Thun & Gillete	115	0.5	0.85	Select
Xu & Zhang	103	1.16	2.82 *	Select

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

OK Cancel

Şekil 4.16 “Froehlich 2008” denklem seti için gedik parametreleri



Şekil 4.17 “Froehlich 2008” denklem seti için gedik şekli

Storage Area Connection Breach Data

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

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: [User Entered Data]

Center Station: 275

Final Bottom Width: 115

Final Bottom Elevation: 1104

Left Side Slope: 0.5

Right Side Slope: 0.5

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 0.85

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1134

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1134 Breach Bottom Elevation (m): 1104

Pool Elevation at Failure (m): 1134 Pool Volume at Failure (1000 m³): 68100

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 10 Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 3

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 2.5

Xu Zhang (and Von Thun)

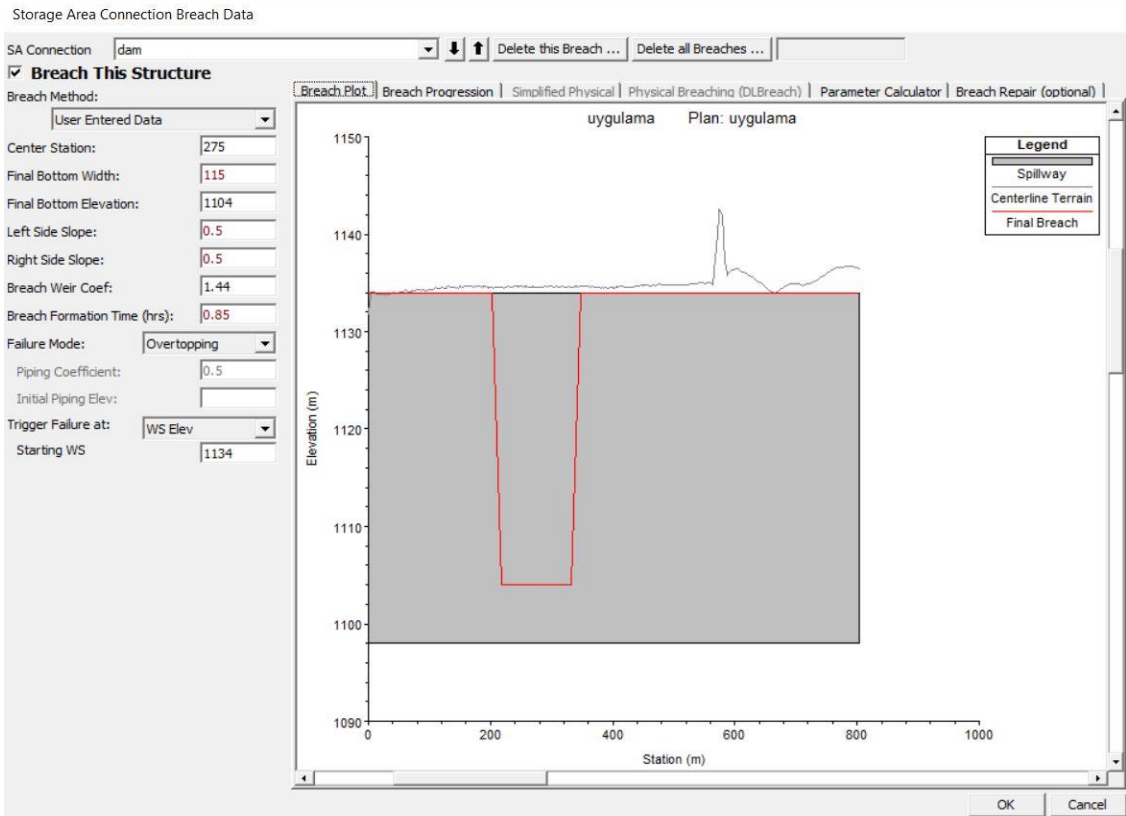
Dam Type: Dam with corewall Dam Erodiability: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	97	0.5	1.76	Select
Froehlich (1995)	113	1.4	1.69	Select
Froehlich (2008)	99	1	1.54	Select
Von Thun & Gillette	115	0.5	0.85	Select
Xu & Zhang	103	1.16	2.82 *	Select

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

OK Cancel

Şekil 4.18 “Von Thun & Gillette” denklem seti için gedik parametreleri



Şekil 4.19 “Von Thun & Gillette” denklem seti için gedik şekli

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: dam

☒ **Breach This Structure**

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 275

Final Bottom Width: 103

Final Bottom Elevation: 1104

Left Side Slope: 1.16

Right Side Slope: 1.16

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 2.82

Failure Mode: Overtopping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev:

Trigger Failure at: WS Elev

Starting WS: 1134

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

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 1134

Breach Bottom Elevation (m): 1104

Pool Elevation at Failure (m): 1134

Pool Volume at Failure (1000 m³): 68100

Failure mode: Overtopping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 10

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 3

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 2.5

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Dam with corewall

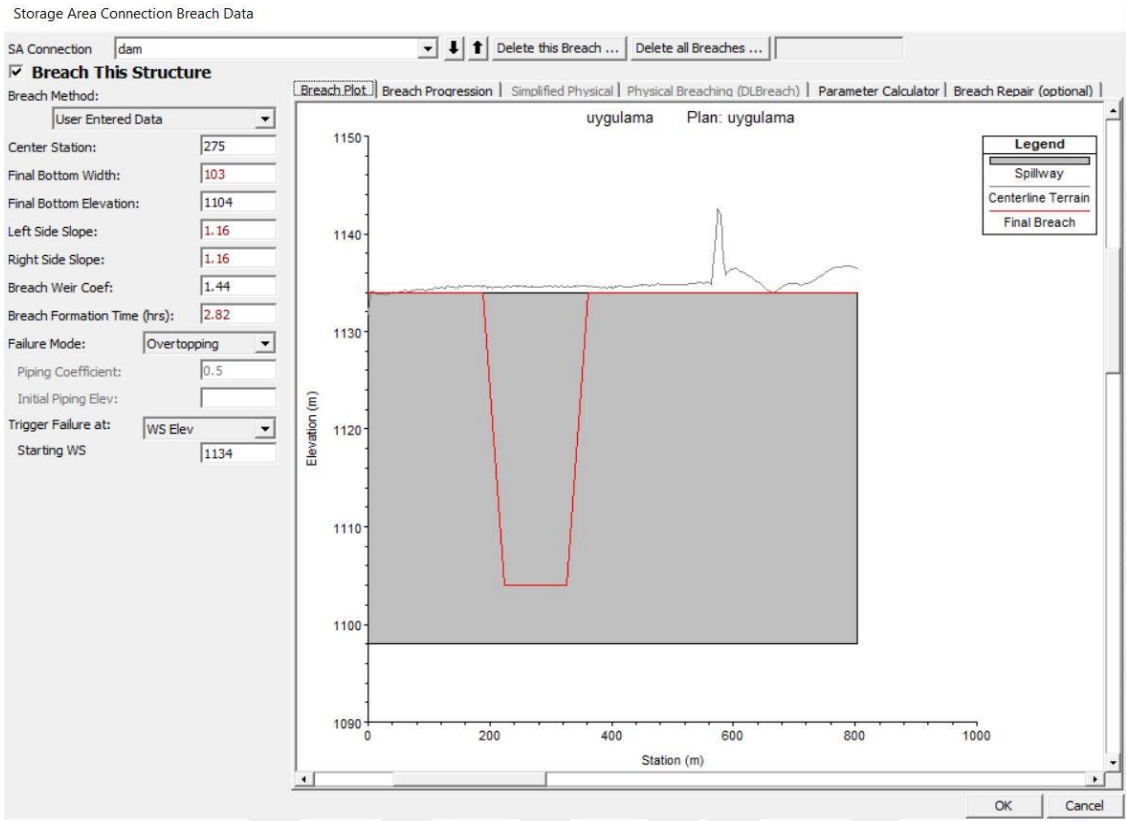
Dam Erodiability: Medium

Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	97	0.5	1.76	Select
Froehlich (1995)	113	1.4	1.69	Select
Froehlich (2008)	99	1	1.54	Select
Von Thun & Gillete	115	0.5	0.85	Select
Xu & Zhang	103	1.16	2.82 *	Select

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

OK Cancel

Şekil 4.20 “Xu & Zhang” denklem seti için gedik parametreleri



Şekil 4.21 “Xu & Zhang” denklem seti için gedik şekli

Yukarıdaki denklem setleri ile “Gedik oluşum süresi” ve “Ortalama gedik genişliği” parametreleri hesaplanmış ve 5 farklı analiz yapılarak taşkın hidrografları bulunmuştur. Bu taşkın hidrografları tek bir grafik halinde paylaşılacaktır.

Gedik parametrelerinin belirlenmesinin ardından geometri editöründe yapılan değişiklikler kaydedilerek çıkılmıştır. Bu kısımdan sonra taşkın hidrolojisi ile ilgili verilerin girileceği “Unsteady Flow Data” editörüne giriş yapılmıştır.

4.2.4 Zamanla Değişen Akış Verileri

Unsteady Flow Data editöründe göl alanı “Add Storage Area” komutu ile eklenmiştir. Daha önceki bölümlerde bahsi geçen kati projedeki veriler referans alınarak hazırlanan katastrofal taşkın hidrografi “Lateral inflow hydrograph” sekmesine girilerek eklenmiştir.

Lateral Inflow Hydrograph

SA: reservoir

☐ Read from DSS before simulation Select DSS file and Path

File:

Path:

☒ Enter Table Data time interval: 1 Hour

☐ Select/Enter the Data's Starting Time Reference

☐ Use Simulation Time: Date: Time:

☒ Fixed Start Time: Date: 16DEC2023 Time: 00:00

Hydrograph Data			
	Date	Simulation Time (hours)	Lateral Inflow (m3/s)
1	15Dec2023 2400	0:00:00	0
2	16Dec2023 0100	1:00:00	2
3	16Dec2023 0200	2:00:00	35
4	16Dec2023 0300	3:00:00	110
5	16Dec2023 0400	4:00:00	225
6	16Dec2023 0500	5:00:00	320
7	16Dec2023 0600	6:00:00	375
8	16Dec2023 0700	7:00:00	413
9	16Dec2023 0800	8:00:00	511.2
10	16Dec2023 0900	9:00:00	500
11	16Dec2023 1000	10:00:00	480
12	16Dec2023 1100	11:00:00	470
13	16Dec2023 1200	12:00:00	415
14	16Dec2023 1300	13:00:00	380
15	16Dec2023 1400	14:00:00	322
16	16Dec2023 1500	15:00:00	300
17	16Dec2023 1600	16:00:00	285
18	16Dec2023 1700	17:00:00	250
19	16Dec2023 1800	18:00:00	180
20	16Dec2023 1900	19:00:00	120
21	16Dec2023 2000	20:00:00	115
22	16Dec2023 2100	21:00:00	105
23	16Dec2023 2200	22:00:00	95
24	16Dec2023 2300	23:00:00	62
25	16Dec2023 2400	24:00:00	42

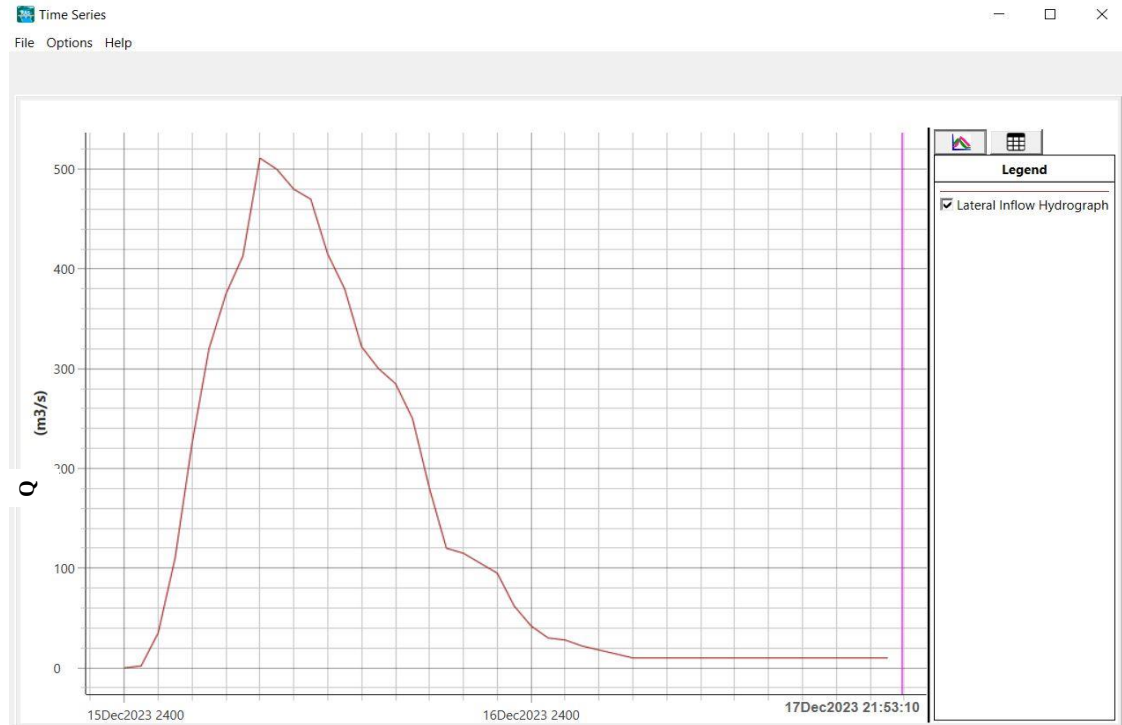
Time Step Adjustment Options ("Critical" boundary conditions)

☐ Monitor this hydrograph for adjustments to computational time step

Max Change in Flow (without changing time step):

Min Flow: Multiplier:

Şekil 4.22 Katastrofal taşkın hidrografının programa girilmesi



Şekil 4.23 Katastrofal taşkın hidrografı

4.2.5 Zamanla Değişen Akış Analizi

Unsteady Flow Analysis editörü ile öncelikle analizin hangi geometri dosyası ve kararsız akış veri seti için yapılacağı seçilmiştir. Simülasyonun başlangıç, bitiş saatleri, haritalama süresi ve hesap aralıkları belirlenmiştir.

Daha sonra “Options – Computation Options and Tolerances” yolu ile açılan pencere üzerinden 2D flow options sekmesi açılmış ve baraj yıkılma hidrodinamiği kısmında bahsedilmiş HEC-RAS programında varsayılan denklem seti olan Diffusion wave seçilmiştir.

“Advanced time step control” sekmesi ile modelin stabilitesinin sağlanabilmesi için maksimum değer “1” ve Minimum değer “0,1” seçilmiştir. Bu aşamadan sonra kararsız akış analizi ekranına geri dönülerek “Compute” komutu ile analiz başlatılmıştır.

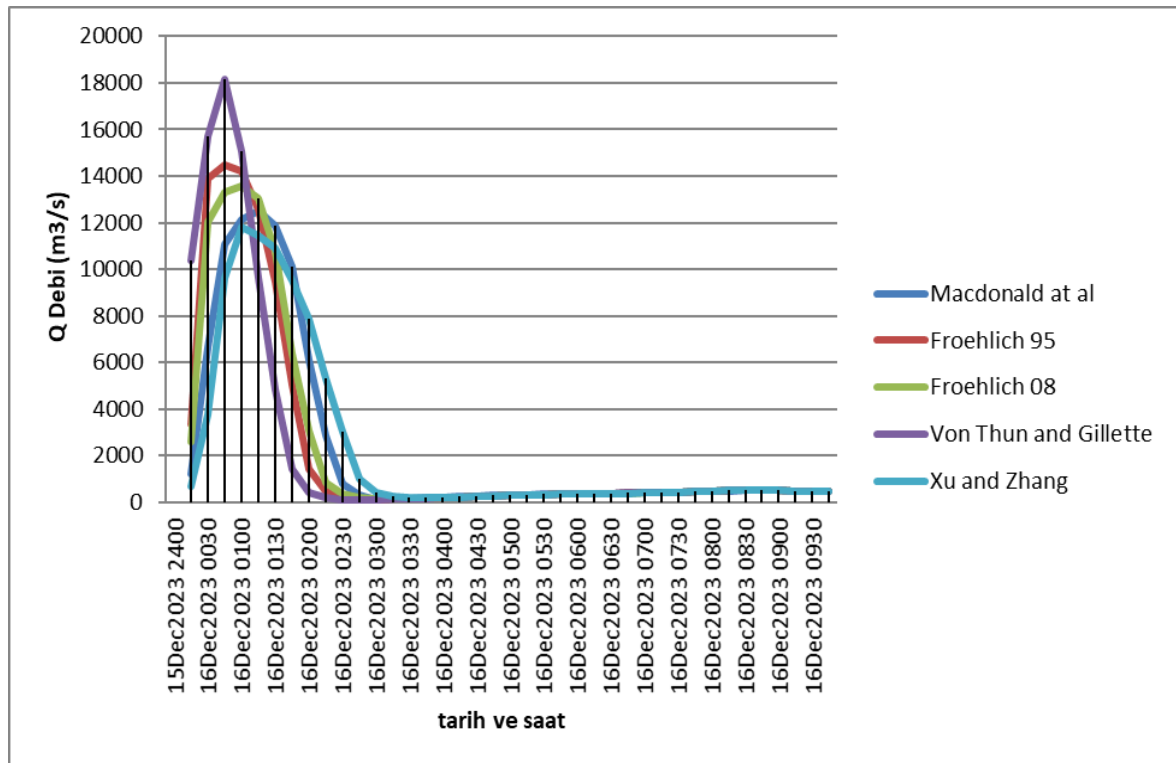
The screenshot displays the 'Unsteady Flow Analysis' window. The 'Plan' is set to 'plan' and the 'Short ID' is also 'plan'. The 'Geometry File' is 'geo_son' and the 'Unsteady Flow File' is 'uygulama_flow'. Under 'Programs to Run', the following options are checked: 'Geometry Preprocessor', 'Unsteady Flow Simulation', 'Sediment' (unchecked), 'Post Processor', and 'Floodplain Mapping'. The 'Simulation Time Window' shows a 'Starting Date' of 16DEC2023 and an 'Ending Date' of 17DEC2023. The 'Starting Time' is 00:00 and the 'Ending Time' is 21:00. In the 'Computation Settings' section, the 'Computation Interval' is set to 5 Second, the 'Mapping Output Interval' is 1 Minute, the 'Hydrograph Output Interval' is 15 Minute, and the 'Detailed Output Interval' is 15 Minute. The 'Project DSS Filename' is set to 'C:\Users\Asus\Desktop\yukse_k_lisans_tez\ahmet_kart_tez\'. A status message at the bottom indicates '1 Storage Area Connection with breach data. 1 set to breach. Time Step is controlled by courant condition.' A 'Compute' button is located at the bottom right of the window.

Şekil 4.24 Zamanla Değişen akış analizi için girilen parametreler

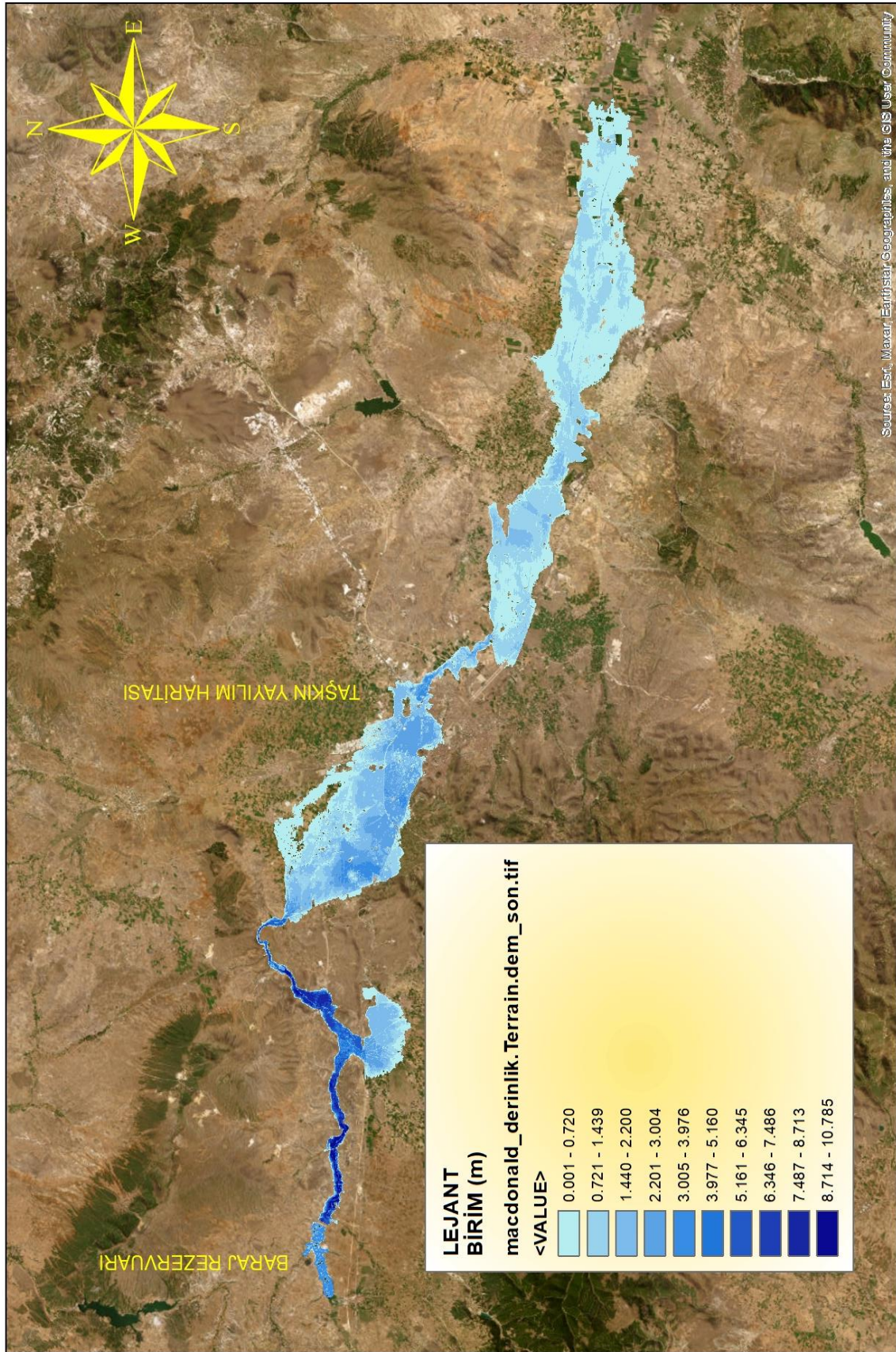
5 farklı denklem seti ile analiz sonuçlandırılmıştır. Her analizden sonra gedikten geçen taşkın hidrografları, maksimum derinlik haritaları ve hız haritaları kaydedilmiştir.

Oluşturulan haritalar “export layer – export raster” yolu ile tiff formatında kaydedilmiştir.

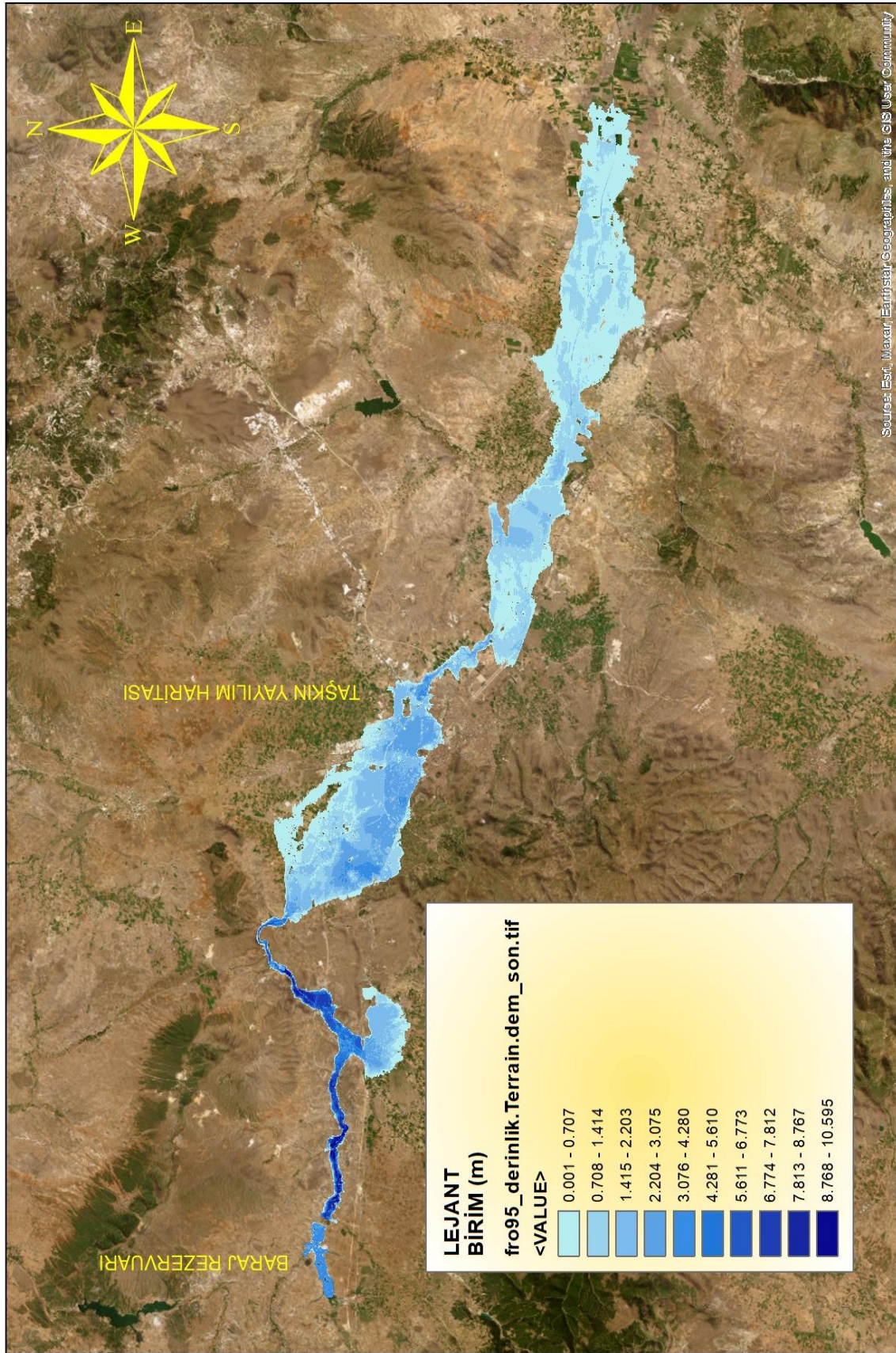
Taşkın hidrografları tek bir grafik içerisinde birleştirilerek birbirleriyle kıyaslaması yapılmak istenmiştir. Aşağıda paylaşılan grafikte görüldüğü üzere taşkın pik debileri içerisinde en yüksek olan Von Thun ve Gillette çözümü ve en düşük olan Xu ve Zhang çözümü olmuştur. Froehlich 2008 çözümü ise taşkın pik debileri içerisinde ortalama değer vermiştir. Gedik nihai yüksekliğe ulaşma sürelerinde de yine Froehlich 2008 çözümünün ortalama değerinde çıktığı görülmüştür. Taşkın hidrografları hesaplanırken 15 dakikalık periyotlarla hesaplanmıştır. Çalışma sonunda yapılacak olan taşkın etki analizinde Froehlich 2008 ve Froehlich 1995 metotlarına göre analiz yapılmıştır. Yapılan literatür taramalarında yerli ve yabancı araştırmacılar tarafından tarafından yapılmış baraj yıkılma analizlerinde Froehlich’e ait denklemlerin kabul gördüğü ve daha sağlıklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.



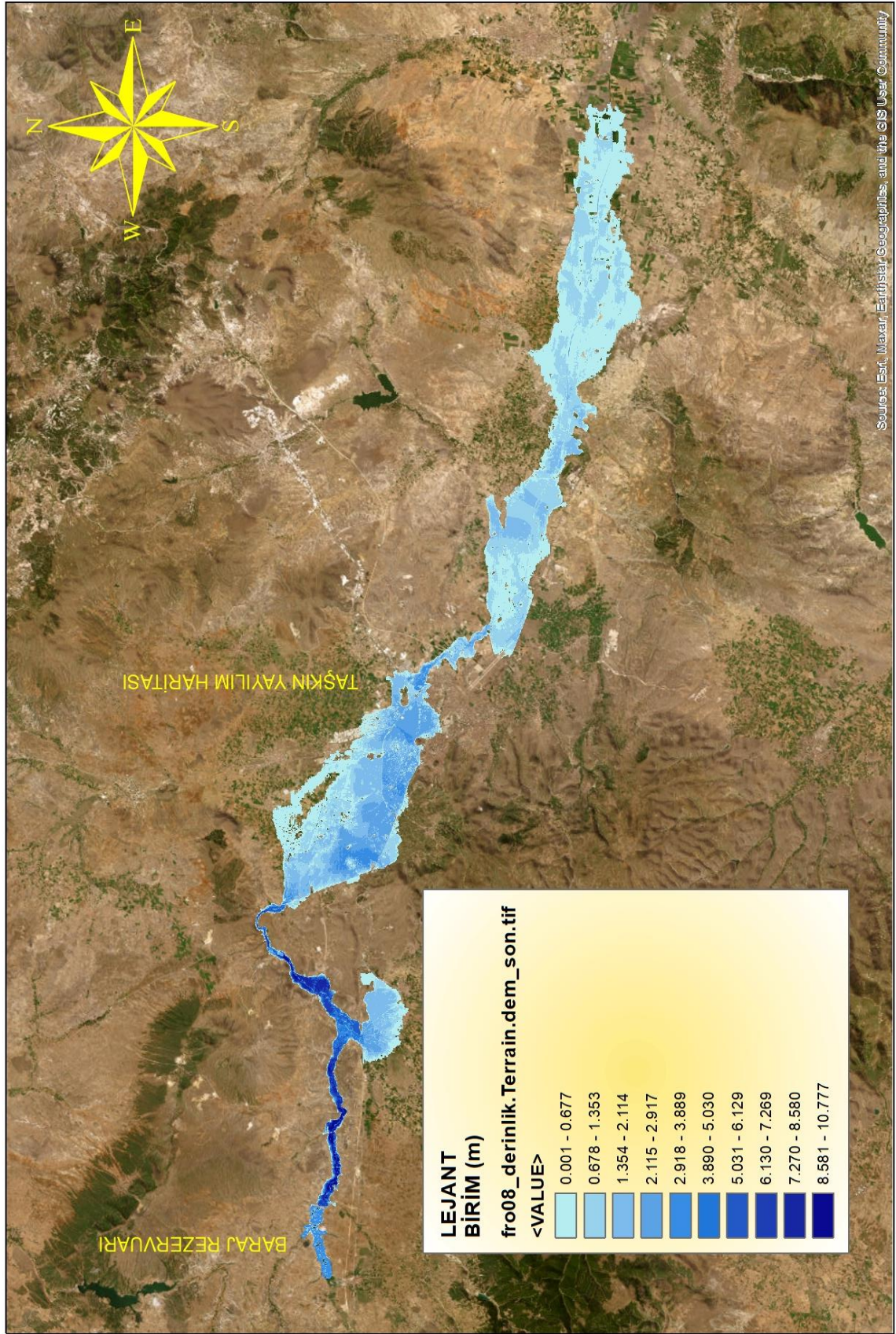
Şekil 4.25 5 farklı denklem setiyle yapılan analiz neticesinde elde edilen taşkın hidrografları



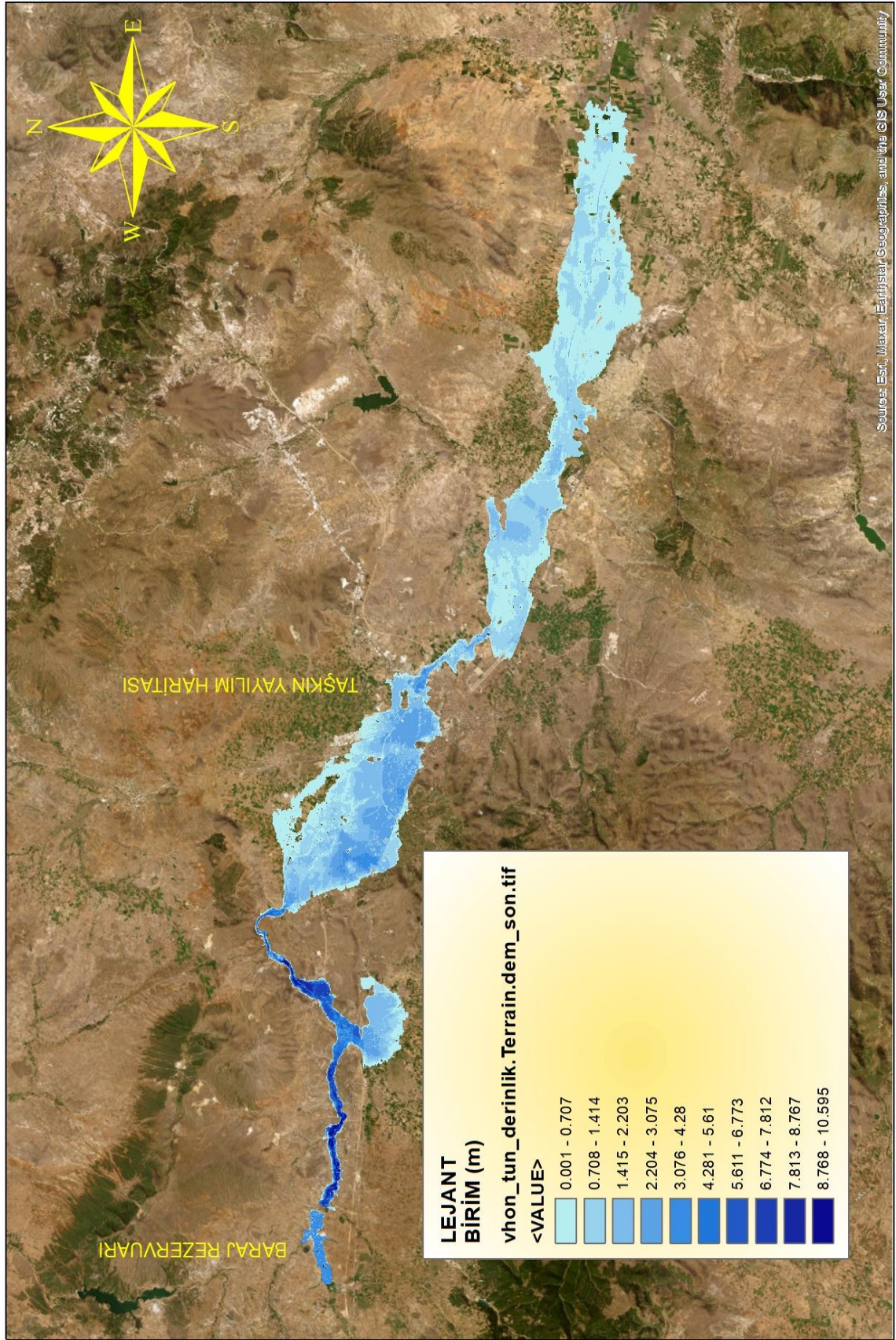
Şekil 4.26 Macdonald and Langridge- Monopolis'e göre batimetri haritası



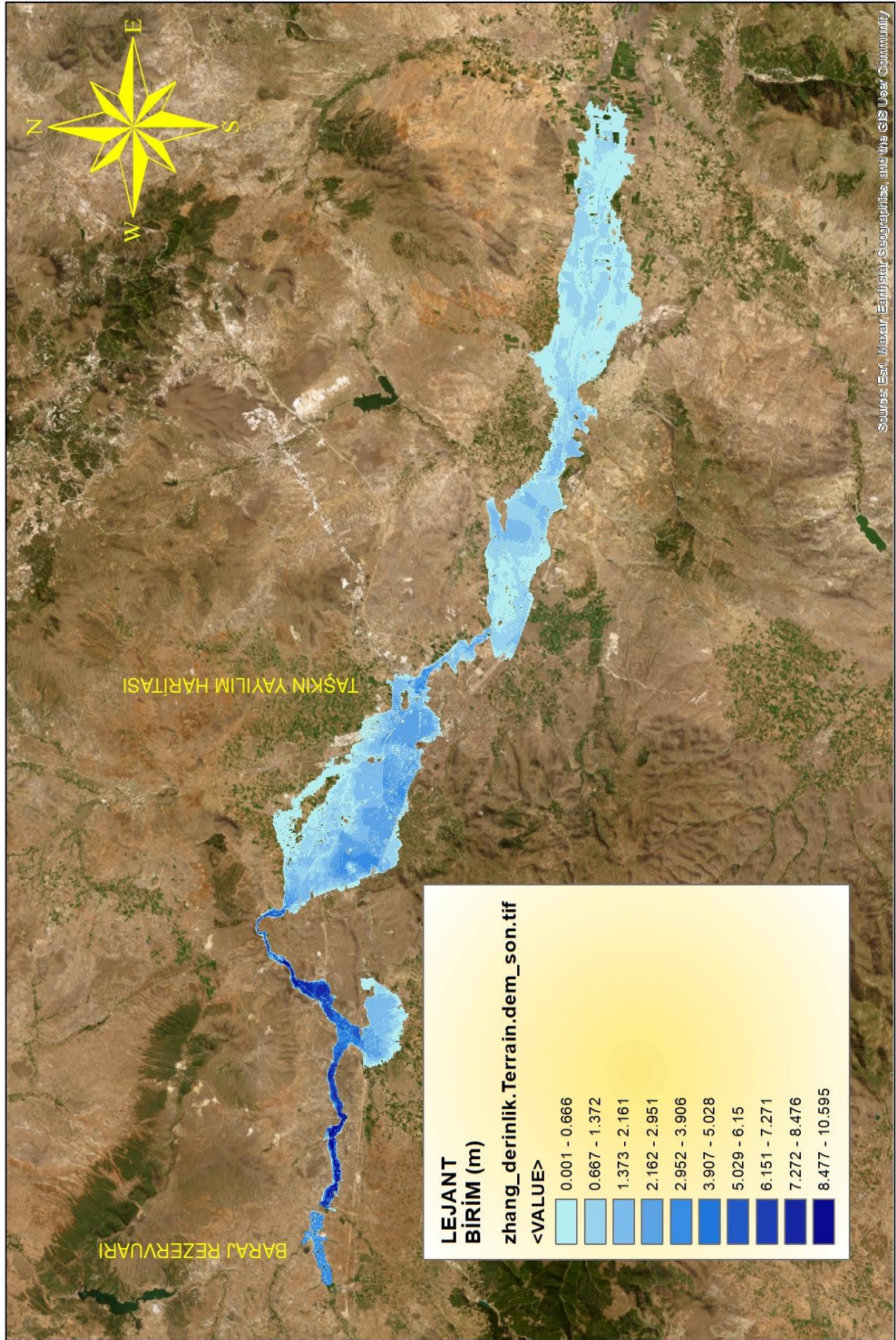
Şekil 4.27 Froehlich 1995'e göre batimetri haritası



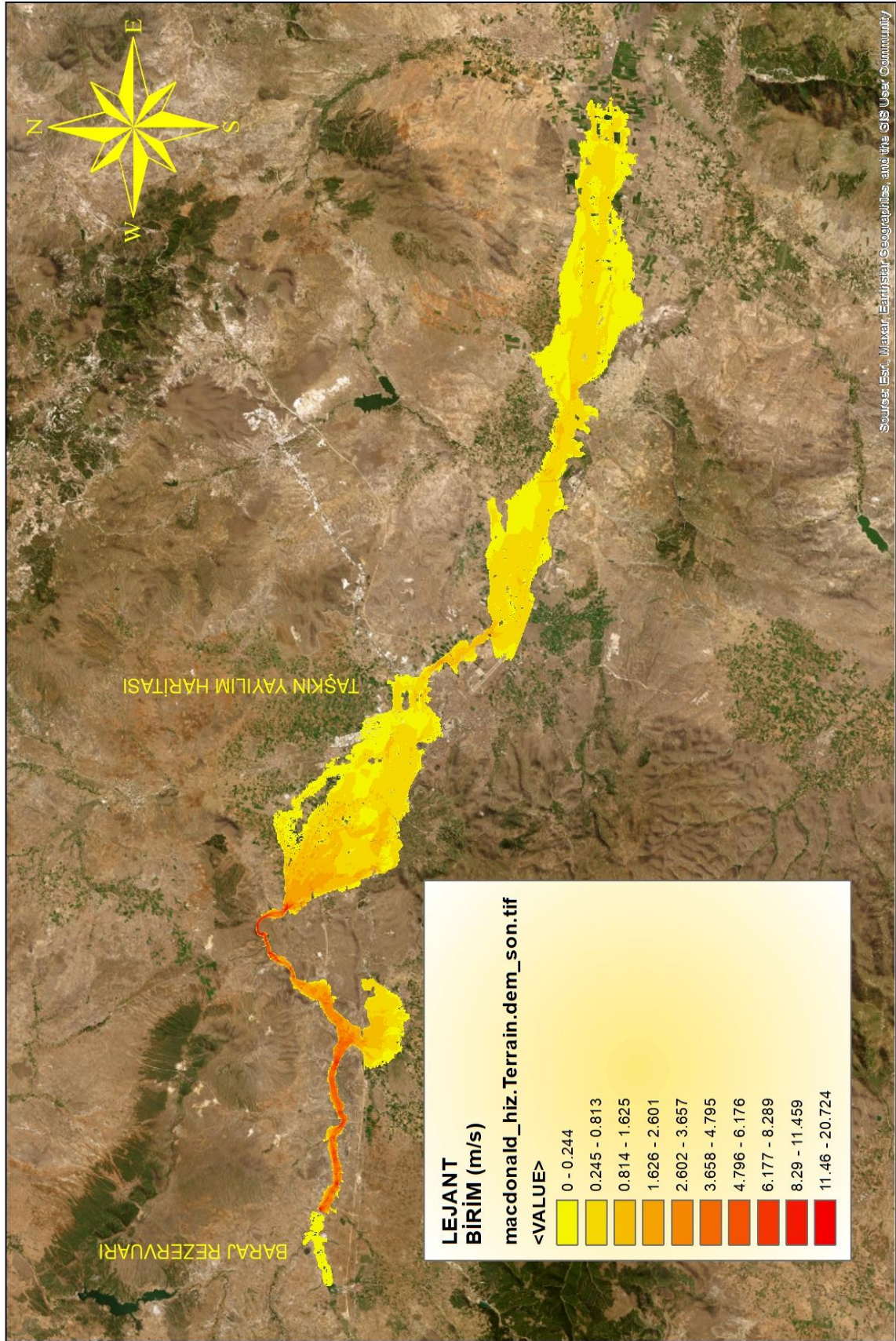
Şekil 4.28 Froehlich 2008'e göre batimetri haritası



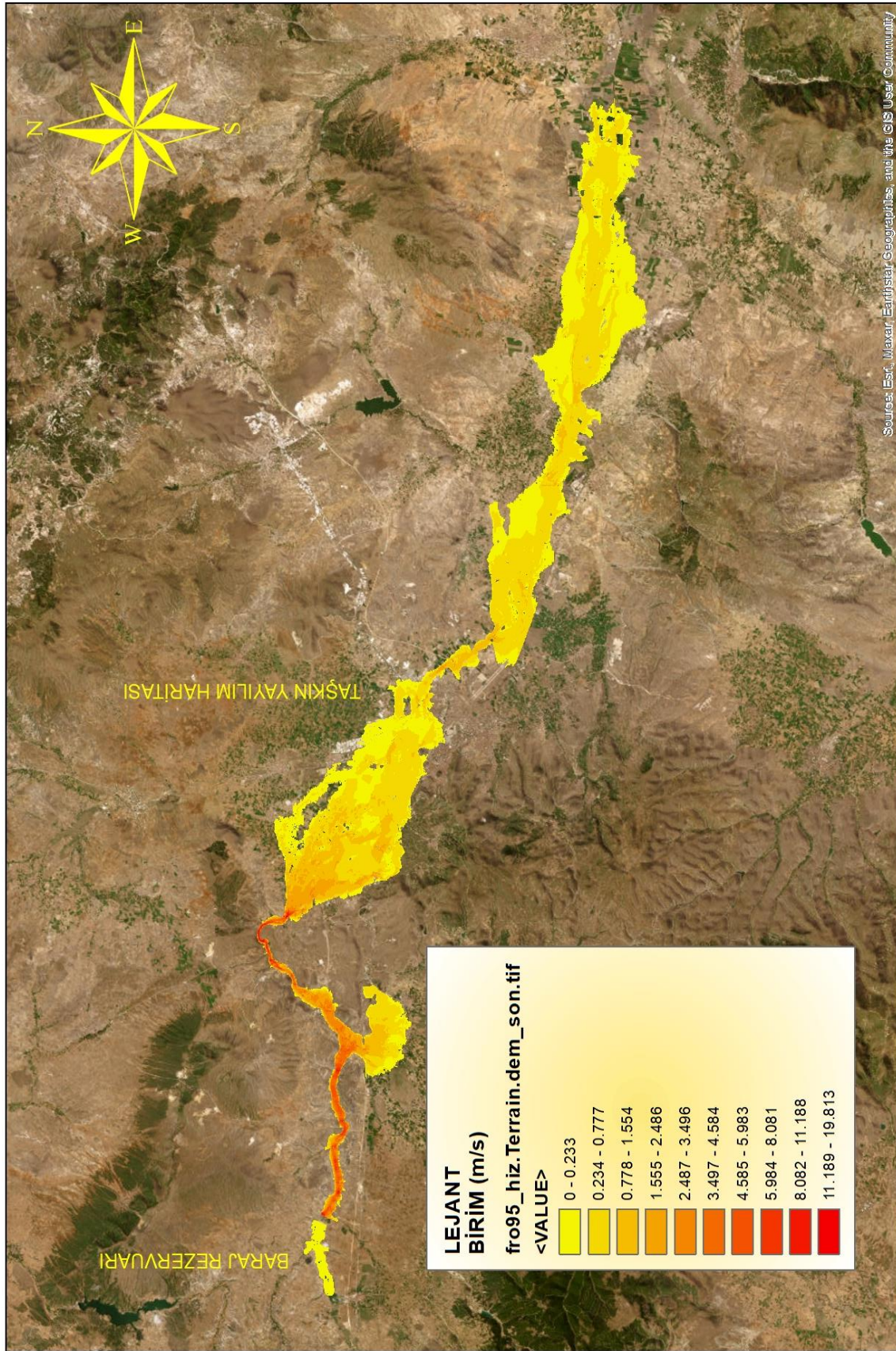
Şekil 4.29 Von Thun ve Gillette'e göre batimetri haritası



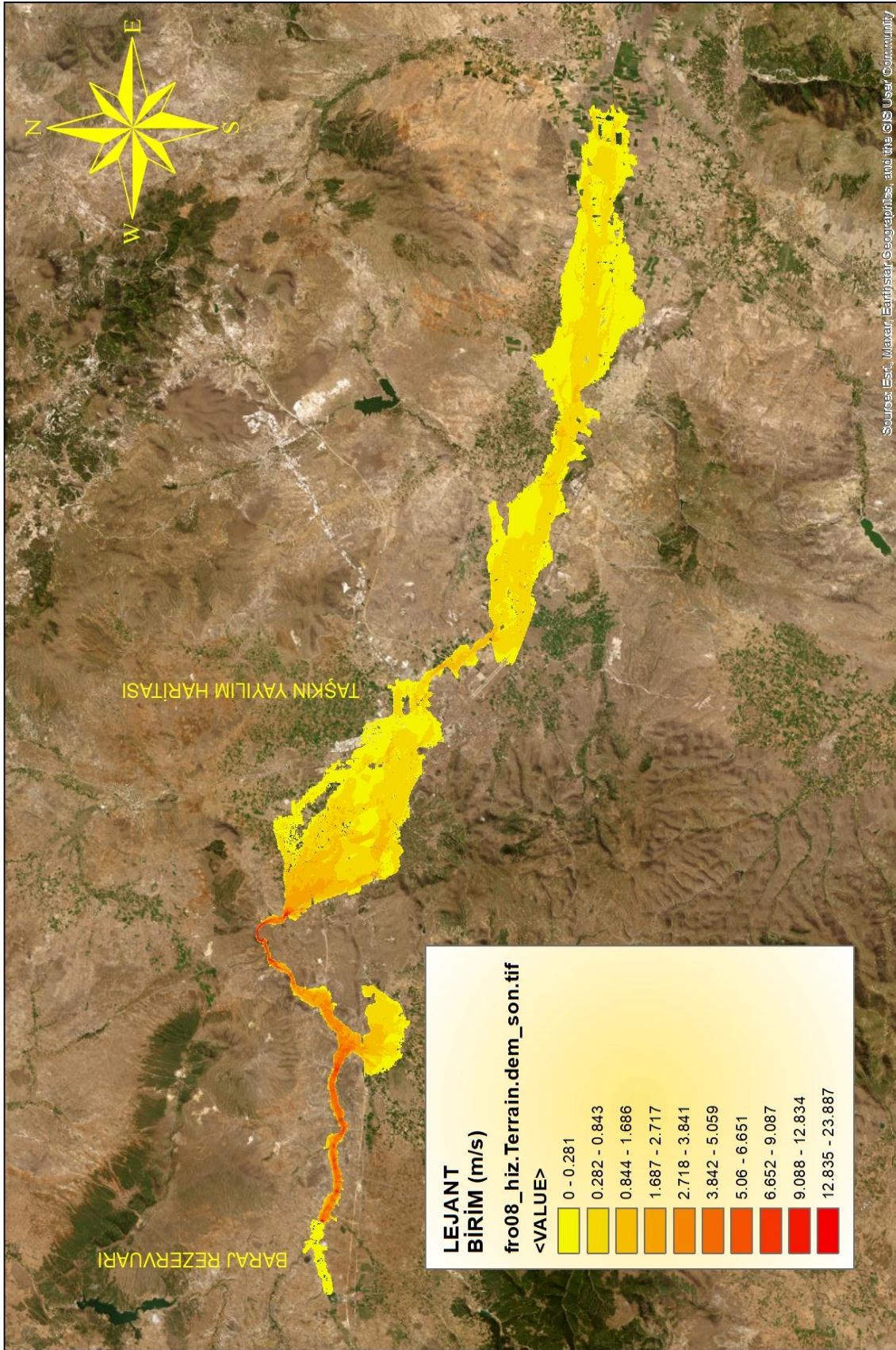
Şekil 4.30 Xu ve Zhang'e göre batimetri haritası



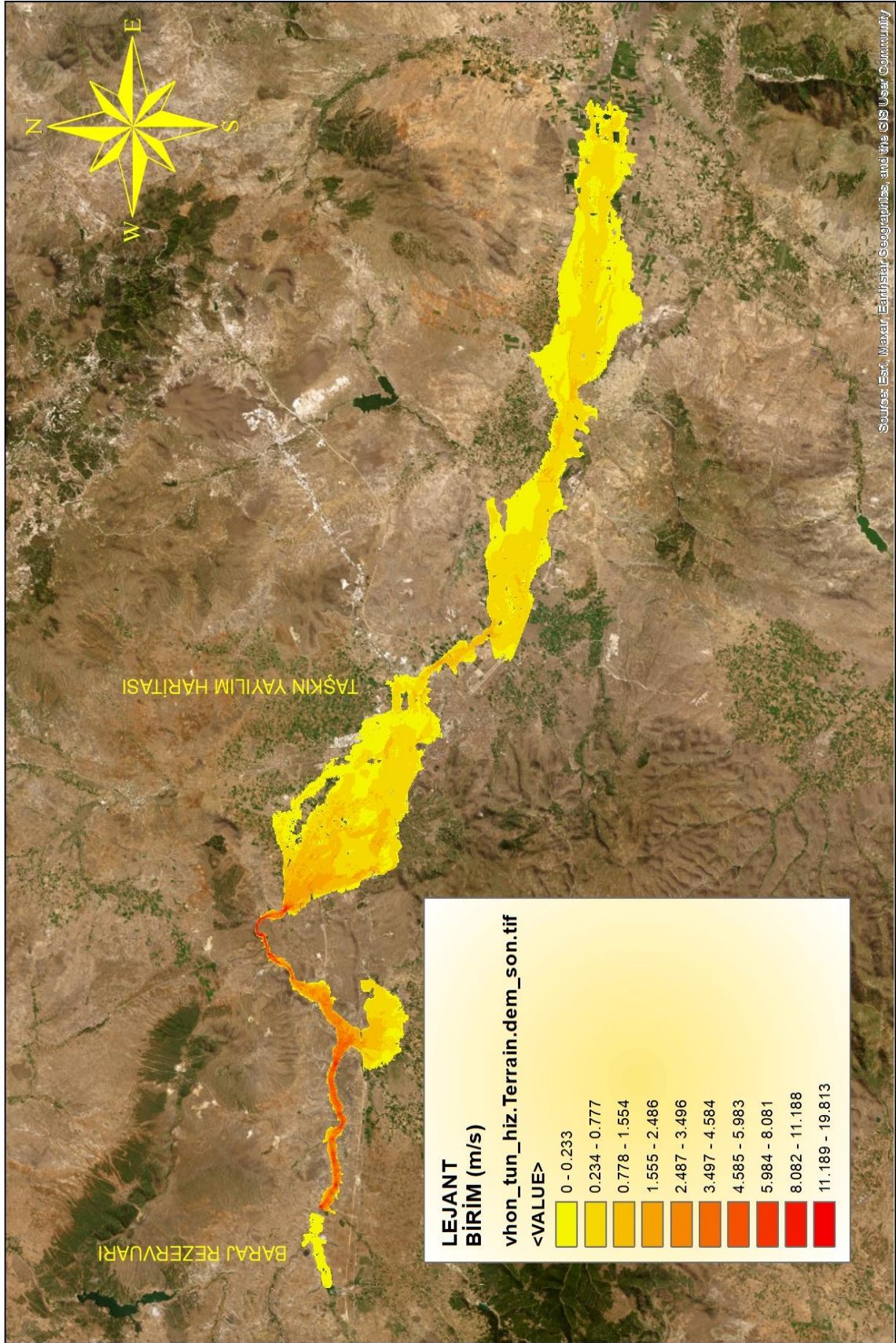
Şekil 4.31 Macdonald and Langridge- Monopolis'e göre taşkın hız haritası



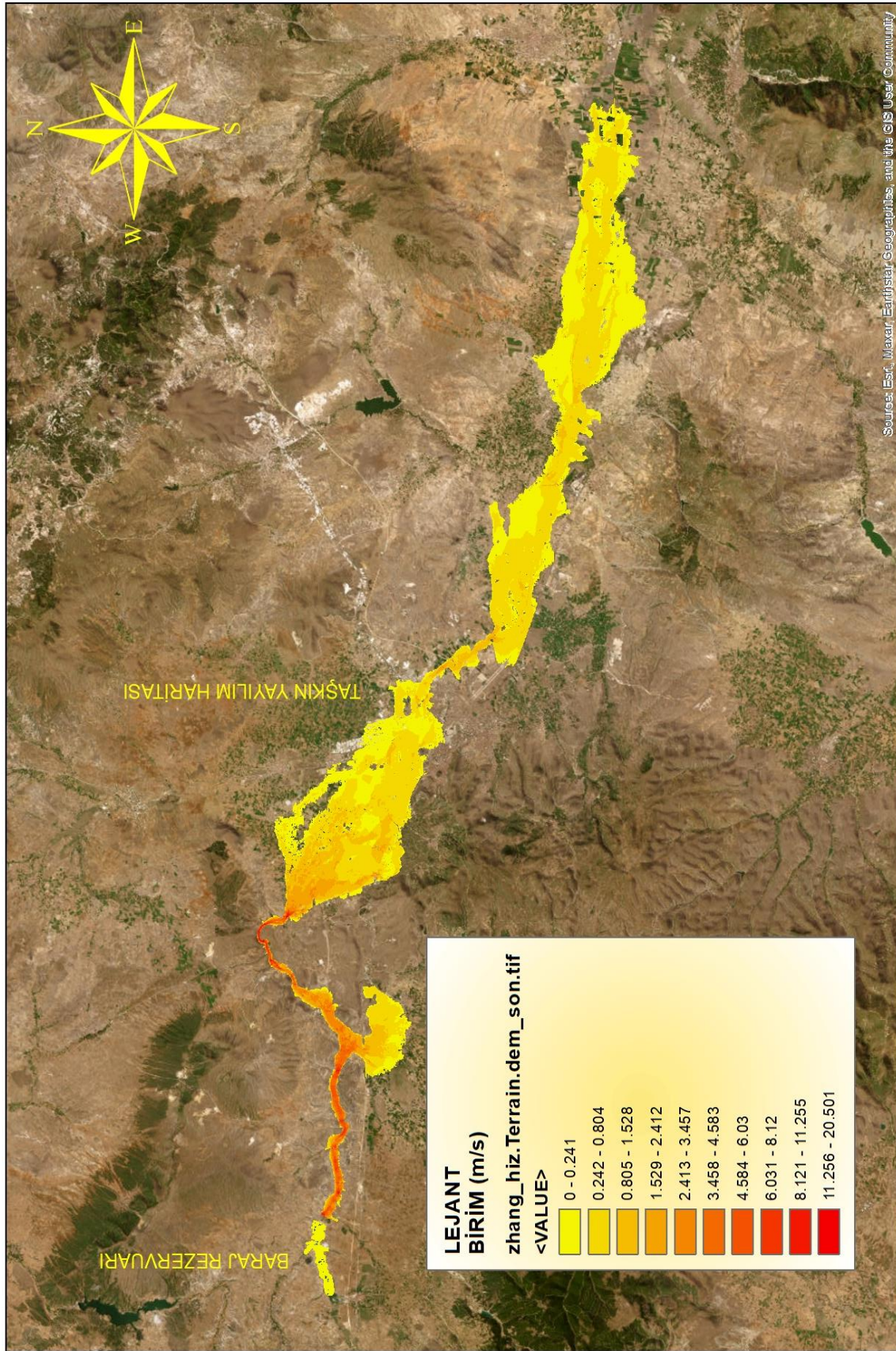
Şekil 4.32 Froehlich 1995'e göre taşkın hız haritası



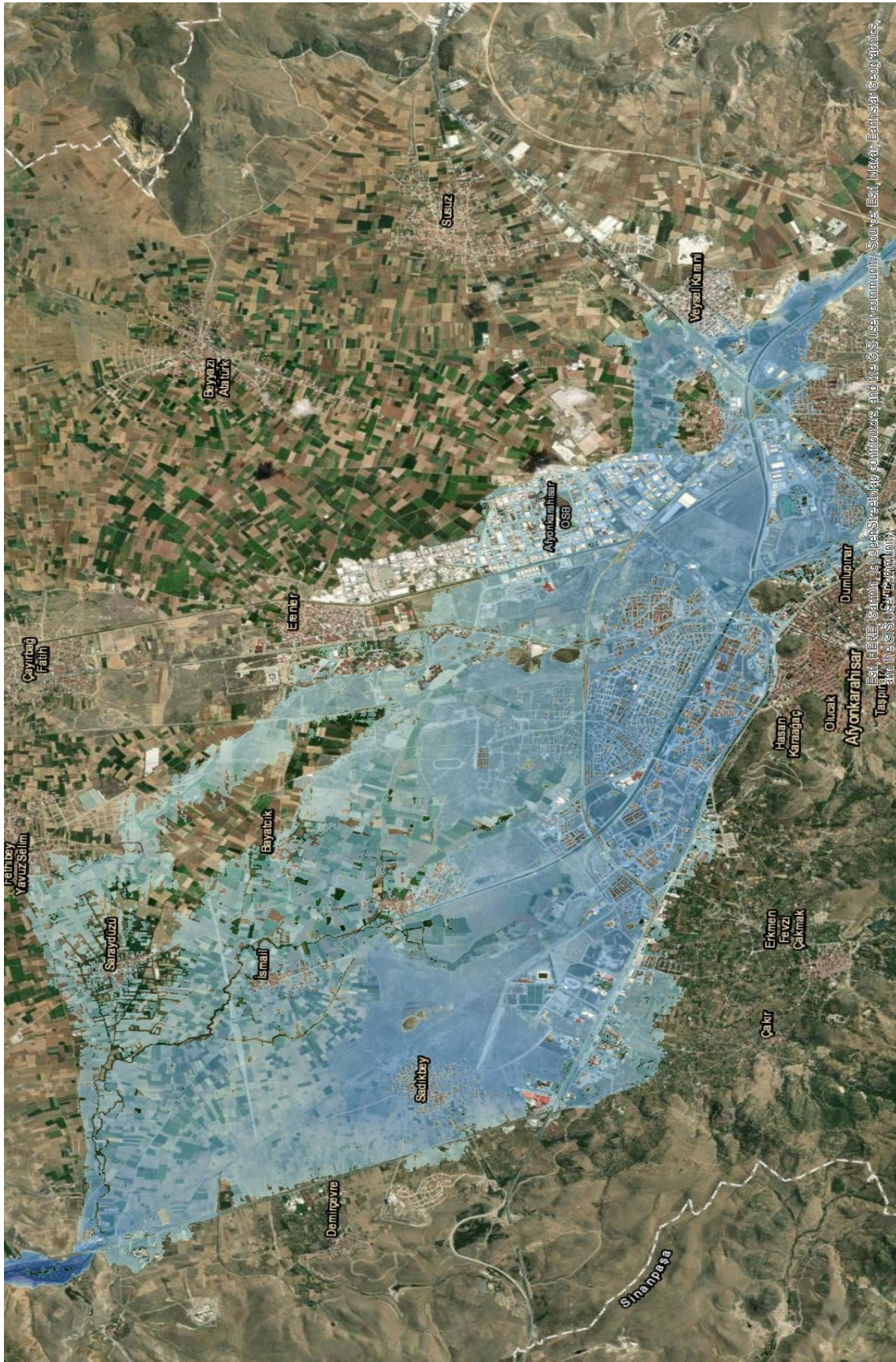
Şekil 4.33 Froehlich 2008'e göre taşkın hız haritası

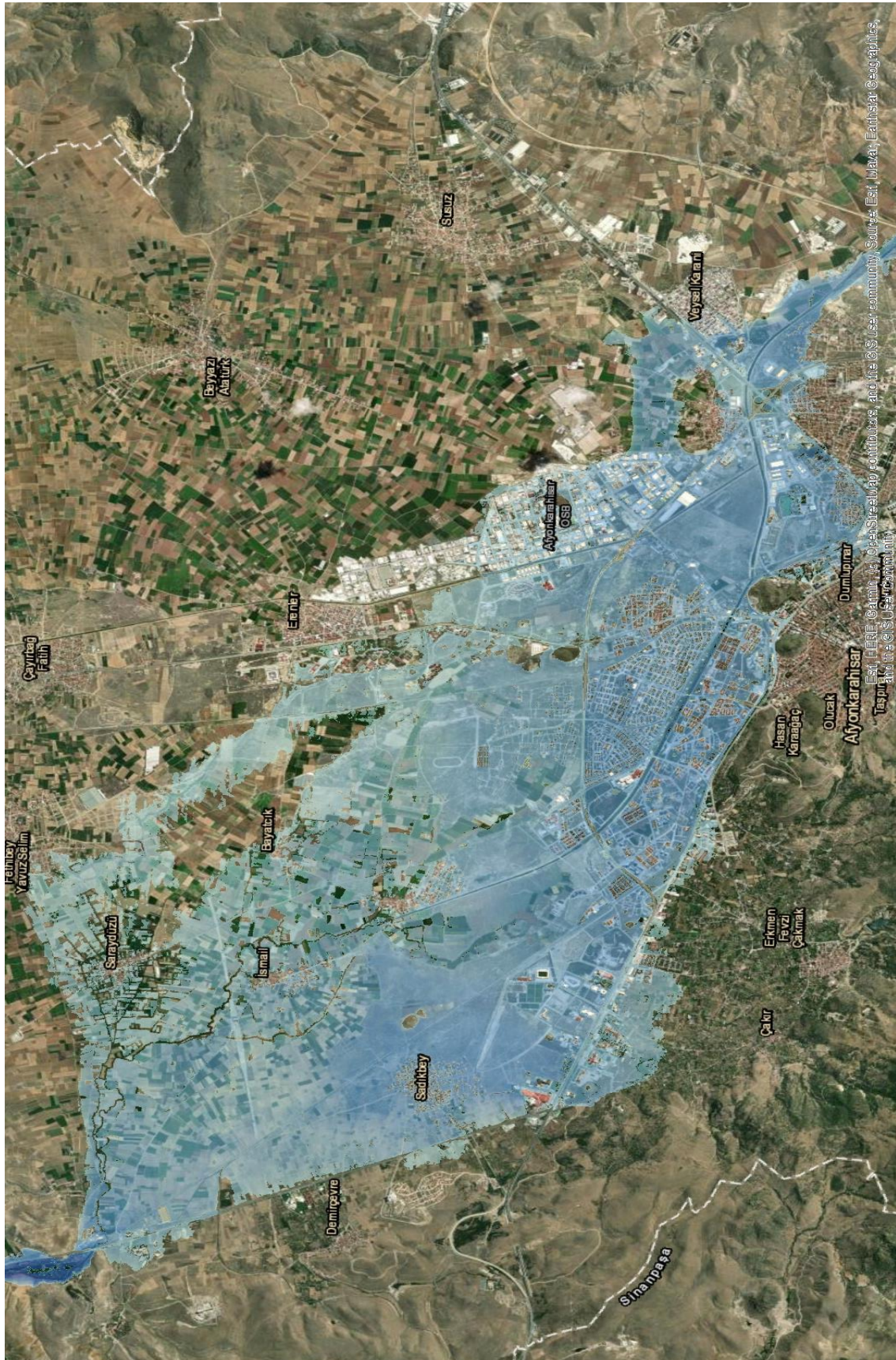


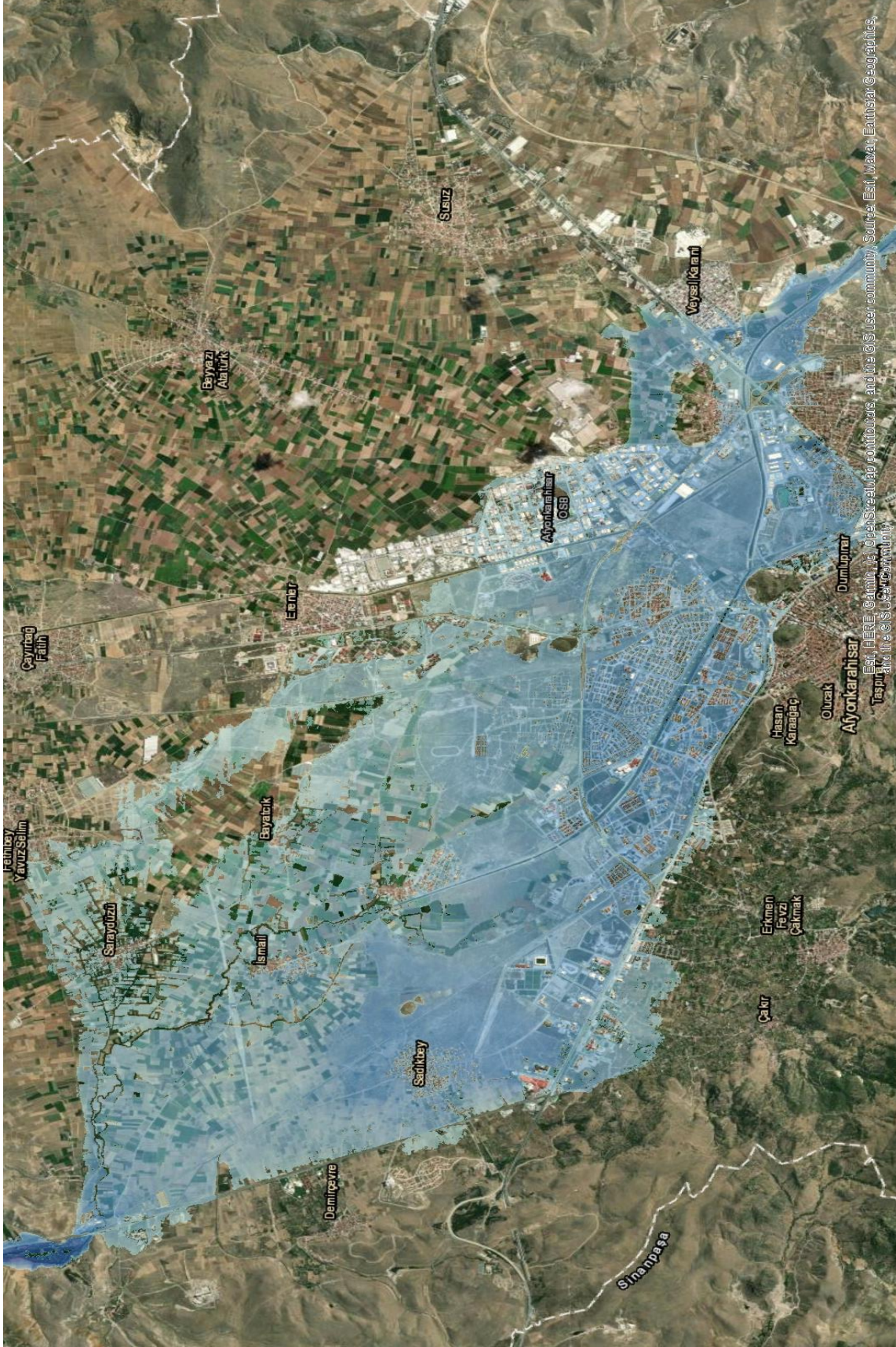
Şekil 4.34 Von Thun ve Gillette'e göre taşkın hız haritası



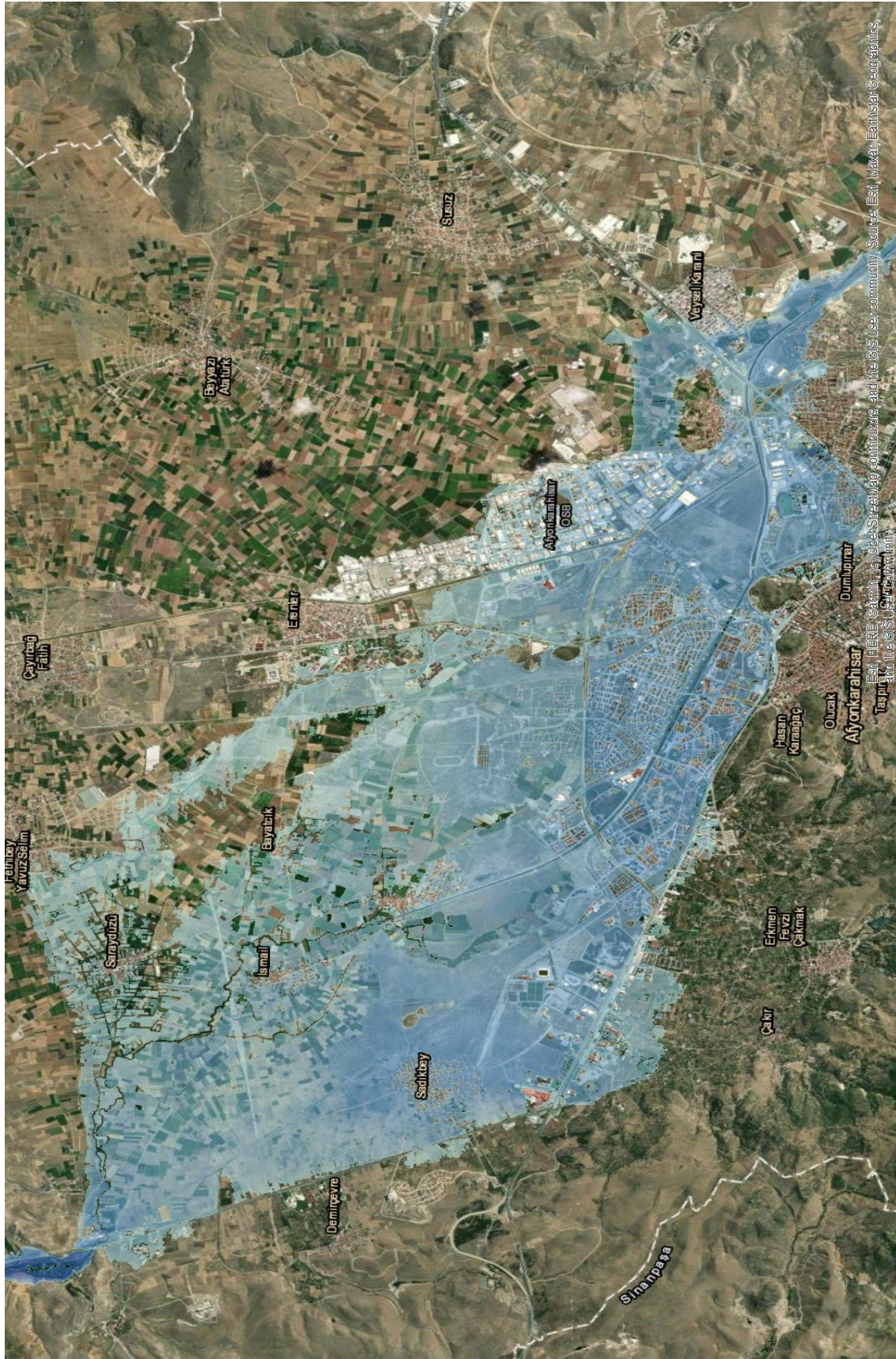
Şekil 4.35 Xu ve Zhang'e göre taşkın hız haritası







Şekil 4.39 Afyonkarahisar kent merkezi taşkın yayılımı (Von Thun ve Gillette'e göre)

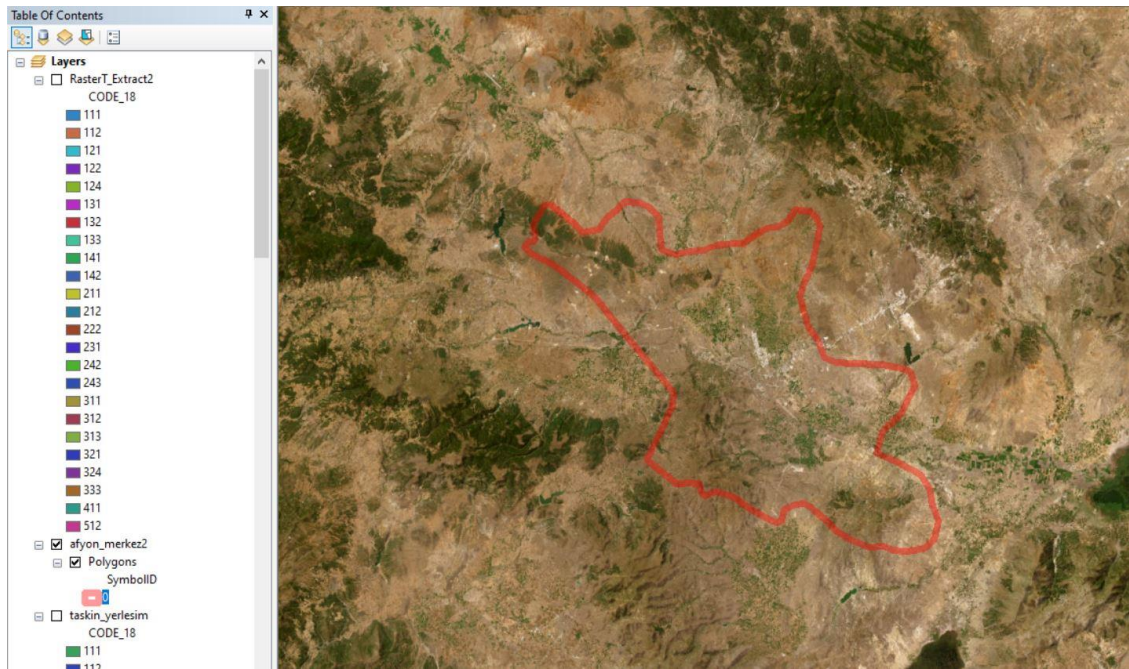


Şekil 4.40 Afyonkarahisar kent merkezi taşkın yayılımı (Xu ve Zhang'e göre)

4.3 Taşkın Etki Analizi

HEC-RAS programından elde edilen bulgular ile baraj yıkılması olayından etkilenecek insan sayısının bulunması için öncelikle Afyonkarahisar İli'nin merkez ilçesinin sınırları “kmz” formatında hazırlanmıştır.

Hazırlanan kmz dosyası ArcMap programı içerisinde “kml to layer” komutu yardımıyla açılmıştır.



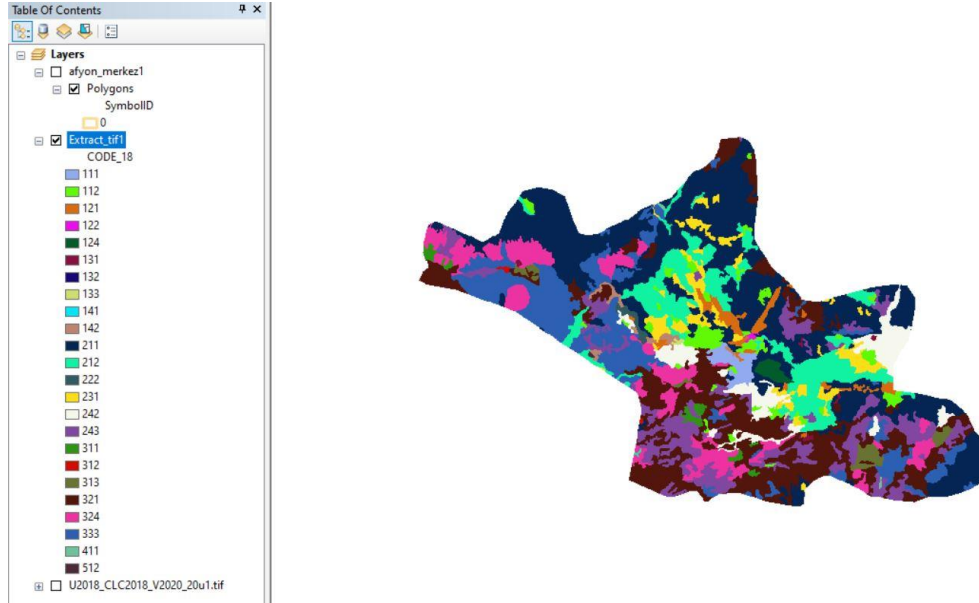
Şekil 4.41 Afyonkarahisar il merkezi sınırları

CORINE arazi sınıflandırma sistemi raster verisi program içerisine “add data” komutu ile yüklenmiştir.

CORINE haritası “extract by mask” komutu ile Afyonkarahisar il merkezi sınırları ölçüsünde kırılmıştır. Kırpma işlemi tamamlandıktan sonra “Raster to Polygon” komutu ile veri sayısallaştırılmıştır. Bunun yapılmasının sebebi sınıflandırılmış alanların özelliklerini görebilmek istememizdir.

Sayısallaştırılmış veri üzerine sağ tık yapılarak “properties – symbology – categories –

unique values – value field sekmesinden CODE 18 seçilir – add all values” yolu izlenerek tüm alan sınırları ekran üzerinde görüntülenmiştir.

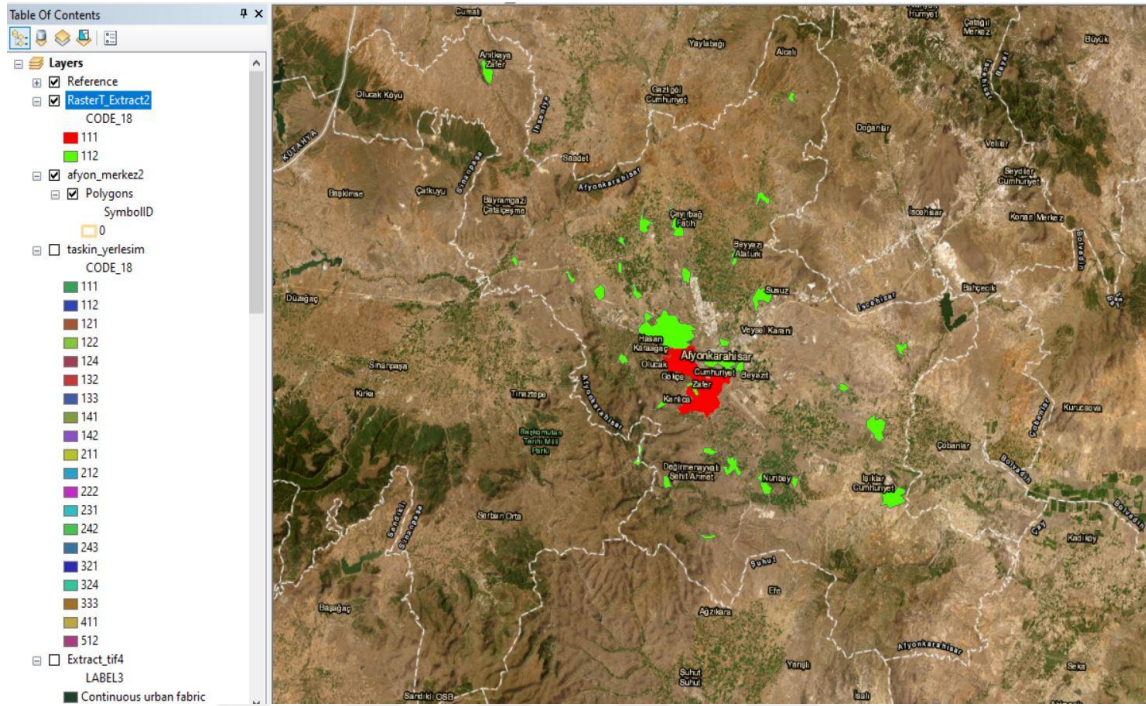


Şekil 4.42 İl merkezi sınırlarında sınıflandırılmış arazi haritası

Bu veri üzerinde yine sağa tıklanarak “open attribute table” komutuna tıklanmıştır. Açılan pencereye alan sütunu eklenmiş ve calculate geometry komutu ile tüm alanlar (ha) cinsinden hesaplanmıştır. Bu alanlardan 111 ve 112 kod numaralı araziler şehirleşmenin olduğu yerleri göstermektedir. Şehirleşme dışında kalan diğer alan sınırları kapatılarak, yalnızca meskun mahallerin bulunduğu alanlar aktif bırakılmıştır.

Afyonkarahisar ili merkez ilçesi nüfusu 2022 yılında 324,996 kişi olarak açıklanmıştır. 2007 yılı ile 2022 yılı arasındaki ortalama nüfus artışı %2,19 olarak hesaplanmıştır. Nüfusun 2023 yılına gelindiğinde yine bu oranda artacağı kabulü yapılarak 2023 nüfusu 332.125 kişi olarak hesaplanmıştır.

ArcMap programı yardımıyla il merkezi sınırları içerisindeki şehirleşmenin bulunduğu alan miktarı 44.340.000 m² olarak bulunmuştur. Bulunan alan metrekareye düşen insan sayısını bulmak amacıyla kullanılacaktır. Bu alanların içerisinde bazı turizm yerleşkeleri yer almadığından dolayı analize takribi bir turizm nüfusu eklenecektir.



Şekil 4.43 il sınırları içerisinde yer alan yerleşim birimleri

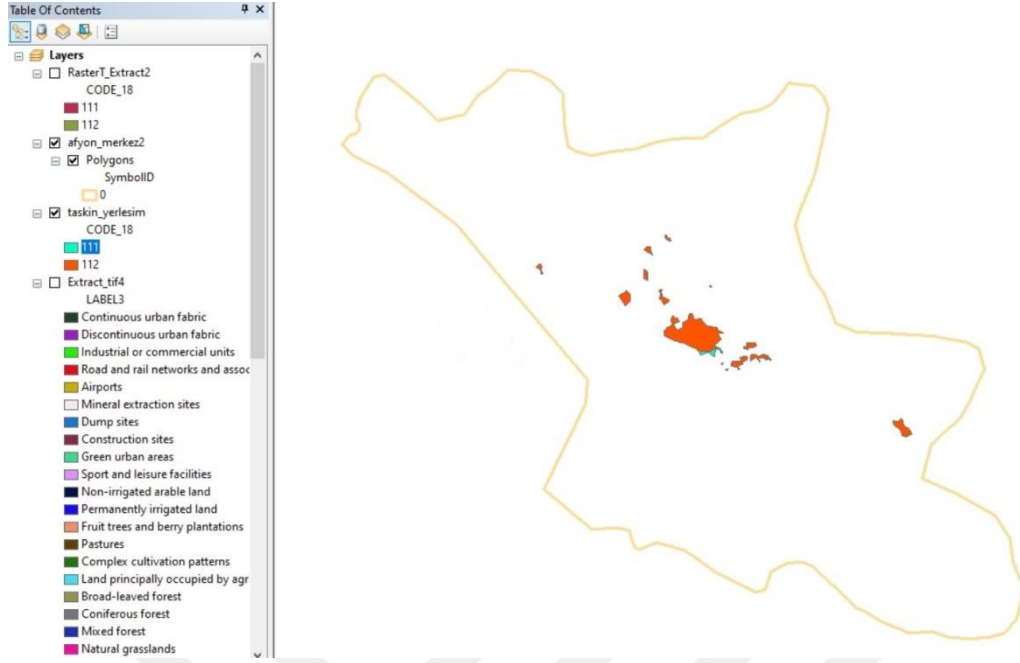
Afyonkarahisar il merkezinde yaşayan insan sayısı CORİNE arazi sınıflandırma sisteminden elde edilen veriler yardımıyla hesaplanan şehirleşme alan miktarına bölünerek m² başına düşen insan sayısı bulunmuştur. Bu işlem nüfus yoğunluğu miktarını öğrenmek için yapılmıştır. Buna göre;

$$332.125 \div 44.340.000 = 0,007490415 \quad (3.7)$$

Katsayının bulunmasının ardından HEC-RAS'tan elde edilen Froehlich 2008 yöntemine göre hesaplanmış taşkın yayılım haritası da ArcMap programında açılarak yine “extract by mask” komutu ile Afyonkarahisar il merkezi sınırları ölçüsünde kırılmıştır.

İl merkezi içerisinde Froehlich 2008 yöntemiyle yapılan analize göre taşkından etkilenecek olan şehirleşme alanları ArcMap programı yardımıyla hesaplanmıştır. Bu alan 13.360.000 m² dir. Hesaplanan alan denklem 3.7’de bulunan m²’ye düşen insan sayısı ile çarpılarak yaklaşık olarak taşkından etkilenen insan sayısı bulunmuştur. Buna göre;

$$13.360.000 \times 0,007490415 = 100.071,9441 \approx 100.072 \quad (3.8)$$



Şekil 4.44 Taşkın yayılım haritasının il merkezi sınırları içerisinde kalan yerleşim yerleri alan sınırları (Froehlich 2008 yöntemine göre)

Çizelge 4.1 Çeşitli hesaplama yöntemlerine göre bulgular

Sıra no	Hesap Yöntemi	Gedik taban genişliği (m)	Gedik şev eğimleri	Gedik nihai oluşum süresi (saat)	Taşkın pik debisi (m ³ /s)	Taşkından etkilenen alan (km ²)	Taşkından etkilenen nüfus
1	MacDonald and L.M.	97	0.5	1,76	12.484,42	219,92	100.671
2	Froehlich 1995	113	1.4	1,69	14.501,92	225,99	104.941
3	Froehlich 2008	99	1	1,54	13.564,42	218,72	100.072
4	Von Thun & Gillette	115	0.5	0,85	18.158,37	225,99	104.941
5	Xu & Zhang	103	1.16	2,82	11.805,86	219,04	100.521

* Tabloda yer alan taşkın analiz verileri yukarıda Froehlich 2008 yöntemine göre yapılan hesabın diğer yöntemlere de uygulanması neticesinde bulunmuştur

Çizelge 4.1'in ilk 3 sütununda HEC-RAS ile yapılan analizde kullanılan gedik geometrik özellikleri, 4. Sütunda elde edilen taşkın pik debileri yöntemlere göre sınıflandırılarak paylaşılmıştır. 5.sütunda taşkından etkilenen toplam alan bulunmaktadır. Bu alanın hesaplanmasında şehirleşme bulunup bulunmamasından bağımsız olarak taşkın yayılım haritalarının alanları ArcMap programı kullanılarak hesaplanmıştır. 6. sütunda yukarıda Froehlich 2008 yöntemine göre yapılan taşkından etkilenen nüfus hesaplaması diğer analiz yöntemlerine göre de hesaplanarak elde edilen

veriler yer almaktadır. Burada görüldüğü üzere Froehlich 1995 ve Von Thun & Gillette yöntemleri kullanıldığında taşkından etkilenen alan ve nüfus büyüklükleri en büyük değerlerini almaktadırlar. Taşkın hidrogaflarında ortalama değerde yer almasına karşın Froehlich 2008 yönteminde alan ve nüfus verileri en düşük değerde olmuştur.

Aralarında farklar bulunmasına karşın taşkın yayılma alanları tüm yöntemlerde birbirine yakın değerlerde bulunmuştur. Bunun sebebi arazi topoğrafyasının ve gedik taban kotlarının değişmemesidir. Yöntemlerin kullanılmasındaki kritik nokta taşkın hızının ve pik debisinin büyüklüğü olduğu söylenebilir.

Froehlich'in ampirik formüllerini oluştururken referans olarak aldığı barajların Akdeğirmen Barajı'na daha benzer olması ve literatür incelendiğinde Froehlich'in kullanıdığı denklemlerin çoğu çalışmada nihai neticeler için tercih edildiği gözlemlenmiştir. Froehlich 2008 ve 1995 yönteminin kullanılmasıyla elde edilmiş çizelge 4.2 ve 4.3'te görüldüğü üzere;

Taşkın ilk olarak barajın da sınırları içerisinde bulunduğu Akdeğirmen köyüne son olarak da Sülümenli Beldesine ulaşmaktadır. Taşkın en büyük etkiyi Afyonkarahisar şehir merkezinde bulunan mahalleler üzerinde göstermektedir. Su derinliği 3.5 – 1 metre aralığında değişmekte olup çok sayıda insan için hayati tehlike ve çok sayıda yapı üzerinde ağır hasar oluşturabilecek büyüklüktedir.

Yukarıda yer alan analiz bir yaklaşımdır. Bu felaketten doğrudan veya dolaylı olarak etkilenecek insan sayısının tespiti için kullanılmıştır. Bu analiz can kaybı veya maddi zararın tespiti için kesinlik arz etmeyecektir. Ancak olayın doğuracağı etkinin büyüklüğünü gözler önüne sermektedir ve bununla birlikte hangi mahallelerde tehlikenin boyutunun daha büyük olduğunu anlamamızda bize yol gösterici olmaktadır.

Çizelge 4.2 Meskun mahaller özelinde taşkın analizi (Froehlich 2008) (İnt. Kyn. 2)

Meskun mahalin adı	Sular altında kalan alanı (%)	Su derinliği aralığı (m)	Nüfusu	Taşkın ulaşım süresi
Akdeğirmen Köyü	100	6,00 – 8,00	112	30 dk
Ayvalı köyü	30	4,30 – 6,00	171	40 dk
Balmahmut Köyü	50	0,00 – 2,20	475	1 saat 30 dk
Saraycık Köyü	10	0,00 – 0,30	248	3 saat 15 dk
Garipce Köyü	30	0,30 – 1,00	1120	3 saat 30 dk
Köprülü Köyü	100	1,50 – 8,00	990	1 saat 50 dk
Saraydüzü Mahallesi	20	0,20 – 0,50	441	3 saat 45 dk
İsmail Mahallesi	10	0,60 – 2,10	487	3 saat 15 dk
Sadıkbey Mahallesi	100	1,75 – 2,50	2105	3 saat 15 dk
Bayatcık Mahallesi	100	0,64 – 0,91	187	4 saat 15 dk
Küçükçobanlı Mahallesi	100	0,57 – 1,54	739	4 saat 15 dk
Ertuğrul gazi Mahallesi	100	1,68 – 1,94	1029	6 saat
Battal gazi Mahallesi	100	1,68 – 1,94	4552	6 saat 40 dk
Orhan gazi Mahallesi	100	2,87 – 3,21	2244	5 saat 40 dk
Osman gazi Mahallesi	100	2,54 – 3,21	6381	7 saat 10 dk
Yeşilyurt Mahallesi	100	2,10 – 2,87	2651	7 saat 10 dk
Selçuklu Mahallesi	50	2,92 – 3,21	9655	6 saat
Selçuklu Mahallesi	30	2,63 – 2,92	5793	6 saat 15 dk
Selçuklu Mahallesi	10	2,25 – 2,63	1931	6 saat 40 dk
Selçuklu Mahallesi	10	1,73 – 2,25	1931	7 saat 10 dk
Karşıyaka Mahallesi	100	1,69 – 2,95	5033	8 saat
Afyonkarahisar Org. San. Böl.	50	0,45 – 2,03	419	9 saat 30 dk
Yenice Mahallesi	100	1,30 – 3,05	4600	9 saat 30 dk
Akçin Mahallesi	50	0,00 – 2,24	1835	11 saat 40 dk
Veysel Karani Mahallesi	50	1,21 – 2,56	4094	12 saat 40 dk
Afyonkarahisar Havaalanı	5	0,00 – 1,50	-	16 saat 40 dk
Afyon Kocatepe Üniversitesi	40	0,00 – 0,60	35177	6 saat 15 dk
Turizm Bölgeleri (yaklaşık)	100	Çok çeşitli	10000	-
Sülümenli Beldesi	40	0,97 – 1,50	5514	21 saat 30 dk

* Tabloda yer alan derinlik verileri Froehlich 2008 yöntemine göre yapılan analizden elde edilen batimetri haritası incelenerek tespit edilmiştir. Alanlar ArcMap programında tespit edilmiş ve yukarı yuvarlanmıştır

Çizelge 4.3 Meskun mahaller özelinde taşkın analizi (Froehlich 1995) (İnt. Kyn. 2)

Meskun mahalin adı	Sular altında kalan alanı (%)	Su derinliği aralığı (m)	Nüfusu	Taşkının ulaşım süresi
Akdeğirmen Köyü	92	3,98 – 9,68	112	12 dk
Ayvalı köyü	30	2,62 – 9,50	171	28 dk
Balmahmut Köyü	24	0,75 – 4,44	475	1 saat 07 dk
Saraycık Köyü	10	0,18 – 0,84	248	1 saat 59 dk
Garipce Köyü	38	0,30 – 1,21	1120	1 saat 59 dk
Köprülü Köyü	65	4,00 – 8,64	990	1 saat 28 dk
Saraydüzü Mahallesi	30	0,20 – 0,50	441	3 saat 28 dk
İsmail Mahallesi	55	0,60 – 1,68	487	2 saat 53 dk
Sadıkbey Mahallesi	100	1,65 – 2,50	2105	2 saat 56 dk
Bayatcık Mahallesi	80	0,33 – 1,20	187	3 saat 47 dk
Küçükçobanlı Mahallesi	85	0,74 – 1,66	739	3 saat 42 dk
Ertuğrul gazi Mahallesi	100	1,63 – 2,01	1029	5 saat 20 dk
Battal gazi Mahallesi	100	1,53 – 1,83	4552	6 saat 08 dk
Orhan gazi Mahallesi	100	2,51 – 3,11	2244	5 saat 26 dk
Osman gazi Mahallesi	100	2,22 – 2,76	6381	6 saat 24 dk
Yeşilyurt Mahallesi	100	2,21 – 2,89	2651	6 saat 20 dk
Selçuklu Mahallesi	50	2,53 – 3,19	9655	5 saat 05 dk
Selçuklu Mahallesi	30	2,45 – 3,05	5793	6 saat
Selçuklu Mahallesi	10	2,06 – 2,63	1931	6 saat 47 dk
Selçuklu Mahallesi	10	1,86 – 2,41	1931	7 saat
Karşıyaka Mahallesi	100	1,52 – 2,73	5033	7 saat 26 dk
Afyonkarahisar Org. San. Böl.	50	0,55 – 2,21	419	8 saat 56 dk
Yenice Mahallesi	100	2,29 – 2,86	4600	9 saat 23 dk
Akçin Mahallesi	50	0,89 – 2,21	1835	10 saat 22 dk
Veysel Karani Mahallesi	50	0,64 – 3,04	4094	11 saat 10 dk
Afyonkarahisar Havaalanı	5	0,52 – 1,61	-	15 saat 42 dk
Afyon Kocatepe Üniversitesi	40	0,00 – 0,60	35177	16 saat 37 dk
Turizm Bölgeleri (yaklaşık)	100	Çok çeşitli	10000	-
Sülümenli Beldesi	40	0,97 – 1,50	5514	22 saat 54 dk

* Tabloda yer alan derinlik verileri Froehlich 1995 yöntemine göre yapılan analizden elde edilen batimetri haritası incelenerek tespit edilmiştir. Alanlar ArcMap programında tespit edilmiş ve yukarı yuvarlanmıştır

5. TARTIŞMA ve SONUÇ

Barajlar sudan maksimum seviyede fayda sağlamamıza yarayan, insanlık adına oldukça önemli sanat yapılarıdır. Bu tez çalışması baraj yapılarının çeşitli sebeplerden dolayı yıkılması olayını ele almış ve bu durumda ne gibi sonuçlar doğuracağını tahmin etmeyi amaçlamıştır. Elbette her baraj yapısının kendine ait karakteristik özellikleri vardır ve yapılacak olan analiz bu karakteristiklere uygun olarak yapılmalıdır.

Yapılan çalışmada geçmişte yaşanmış kil çekirdekli kaya dolgu barajların yıkılma olayları referans alınmaya çalışılmıştır. Akdeğirmen Barajı'nın Afyonkarahisar'a içme suyu temini sağlaması, oldukça büyük bir gövde ve rezervuar hacmine sahip olması ve baraj mansap bölgesinde Afyonkarahisar il merkezi de dahil olmak üzere bir çok meskun mahallin yer alması yapılan çalışmanın faydalı bir içerik oluşturacağı düşüncesini güçlendirmektedir.

Bu çalışmada yapılan analizler yaklaşımlar neticesinde elde edilmiştir. Kullanılan denklemler ampiriktir ve geçmiş olaylar referans alınarak oluşturulmuştur. Bu sebeple yapılan hesaplar kesinlik arz etmemektedir. Ancak elde edilen sonuçlar akla ve mantığa yatkındır. Analizden çıkan batimetri haritasından görüleceği üzere rezervuardan deşarj olan su Afyonkarahisar il merkezine yayılmakta ve Eber Gölü'ne doğru yönelmektedir. Bu yönelim yaklaşık yüz bin insanın hayatını doğrudan veya dolaylı olarak etkilemektedir. Ayrıca büyük ölçüde maddi hasara yol açması kuvvetle muhtemeldir. Böyle bir olayın yaşanması ihtimaline karşı felaket senaryosu oluşturulabilir. Analizden görüleceği üzere taşkın yıkılma olayı başladığı andan itibaren 3-4 saat içerisinde nüfusun yüksek olduğu Afyonkarahisar il merkezine ulaşabilmektedir. Bu süre içerisinde gerçekleştirilecek bir tahliye planı veya ilave mansap tedbirleri alınması olanaklıdır.

Bu tez çalışmasında HEC-RAS 6.2, ArcMap 10.7, Google Earth ve Microsoft Excel gibi çeşitli programlar kullanılarak Akdeğirmen Barajı'nın 5 farklı senaryo ile baraj yıkılması taşkın analizleri gerçekleştirilmiştir. Programda kullanılan Afyonkarahisar'a ait sayısal yükseklik modeli T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel

Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Akdeğirmen Barajı projeleri ve karakteristikleri Devlet Su İşleri'nden temin edilmiştir. Meydana getirilen taşkın senaryoları ile baraj yıkılması neticesinde oluşması muhtemel taşkın yayılım alanları belirlenmiş, taşkın derinlik ve hız haritaları oluşturulmuş, taşkın oluşma zamanı belirlenmiş ve taşkın etki analizi yapılmıştır.

Tezin başında yapılan taşkın yayılacağı muhtemel alan ve yerleşim yerleri öngörümüzün tutarlı olduğu görülmüştür. Taşkın etki alanını oldukça spesifik bir hale getirerek her meskun mahallin kendi içerisinde incelemesi yapılabilmektedir.

Tez çalışması yapılırken her adımı son derece açık bir şekilde açıklanmıştır ve ilerde böyle bir çalışma yapmak isteyen bir araştırmacı için yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

- Abay O, Baykan N, Baykan N O, 2015, Tarih Boyunca Barajların Elden Çıkma Nedenleri. 4. Su Yapıları Sempozyumu, 157–166.
- Ağırlioğlu N, 2007, Baraj Planlama ve Tasarımı Cilt 1 Genişletilmiş 2. Baskı, Su Vakfı, 254s, İstanbul.
- Alppay H, 2019, Baraj Yıkılması Taşkın Risk Değerlendirmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 79s, Sakarya.
- Arkiş T, 2020, Baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgalarının deneysel ve nümerik metodlar ile araştırılması / Experimental and numerical investigation of propagation of flood waves due to dam break, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi, 142s, İzmir.
- Atallah T A, 2002, A Review on dams and breach parameters estimation, Dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 120s.
- Bharath A, Shivapur A V, Hiremath C G, & Maddamsetty R, 2021, Dam Break Analysis Using HEC-RAS And HEC-Georas: A Case Study of Hidkal Dam, 14s Karnataka State India.
- Burgan H İ, 2013, Akarçay Havzası Taşkın Modellemesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 102s, Afyonkarahisar.
- Costa J E, 1985, Floods from dam failures, Open file report 85–560, Secretary, 59s.
- DSİ, (1978). Su Yapıları Cilt - 1 (Baraj ve Göletler), DSİ Yayınları, Ankara, 1-6.
- DSİ, 2018, DSİ Teknik Bülteni, Sayı 127, DSİ Matbaası, 45s.
- Fread Dr Danny L, 1988 (revised 1991), BREACH: An Erosion Model for Earth Dam Failures, Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Silver Springs MD, 1988 (revised August 1991). 35s

- Froehlich D, 1995, Embankment Dam Breach Parameters Revisited, 1 st Annual Conf. on Water Resources Engineering, American Society of Civil Engineers, New York, 887-891.
- Froehlich D, 2008, Embankment Dam Breach Parameters And Their Uncertainties. Journal of Hydraulic Engineering, 1708-1721.
- Gündüzalp G, 2020, İki Boyutlu (2D) Analiz ile Baraj Yıkılma Taşkınının Havza Üzerinde İncelenmesi: Melen Çayı Örneği, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Sakarya.
- Kaya B, Ülke A, 2012, Diferansiyel Kuadratur Yöntemi Kullanılarak Difüzyon Dalga Yaklaşımı ile Taşkınların Ötelenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, cilt 27 sayı 2, 313–322.
- Kocaman B, 2019, Baraj Yıkılması Sonucu Taşkın Yayılım Alanın İki Farklı Hidrodinamik Modelle Belirlenmesi Kıyaslanması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Taşkın Üzerindeki Hassasiyetinin İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 109s, Ankara.
- Kocaman S, 2002, Baraj Yıkılması Analizi ve Uygulaması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 157s, Adana.
- Kocaman S, 2007, Baraj Yıkılma Probleminin Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana, 303s.
- MacDonald C T ve Langridge-Monopolis J, 1984, Breaching Characteristics of Dam Failures, Journal of Hydraulic Engineering, 567-586.
- Marangoz H O, 2020, Baraj yıkılma sonrası oluşacak taşkın dalgasının difüzyon ve momentum dalga yaklaşımlarıyla modellenmesi / Modelling of dam break induced flood wave using diffusion and momentum wave approaches, Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 178s, Trabzon.

- Marangoz H O, 2022, Two-dimensional modeling of flood wave propagation in residential areas after a dam break with application of diffusive and dynamic wave, Natural Hazards, Cilt 110, 429 - 449
- Mei S, Zhong Q, Yang M, Chen S, Shan Y, Zhang L, 2023, Overtopping-Induced breaching process of concrete-faced rockfill dam: A case study of Upper Taum Sauk dam, Engineering Failure Analysis, Sayı 144, 21s
- Pinto R P A, 2014, Floodplain Inundation Models and SAR Imagery Analysis, Universidade Técnica de Lisboa UTL, Master's thesis, 85s, Lisbon
- T.C. Afyonkarahisar Valiliği İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü, 2020, İRAP İl Afet Risk Azaltma Planı, 239s.
- Usace, 2014, Using HEC-RAS for Dam Break Studies T-39, Us Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center, 74s.
- Von Thun J L ve Gillette D R, 1990, Guidance on Breach Parameters, Internal Memorandum, U.S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver Colorado, 1-5.
- Yıldız A, Dumlupınar İ, Bağcı M, Ulutürk Y, Başaran C, Erdoğan E, 2012, Afyonkarahisar ve Çevresinin Depremselliği, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 1-7.
- Yıldız C, 2021, Baraj yıkılması taşkın risk analizi yeşildere barajı örneği / Dam break flood risk analysis; An example of yeşildere dam, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, 69s, Elazığ.
- Zhang L M, Xu Y ve Jia J S, 2009, Analysis of Earth Dam Failures: A Database Approach, Georisk, 184-189.

İnternet Kaynakları

- 1- https://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure#List_of_major_dam_failures, 07.11.2023
- 2- <https://www.nufusune.com/>, 08.11.2023
- 3- <http://www.sinanpasa.bel.tr/>, 08.11.2023
- 4- https://tr.wikipedia.org/wiki/Akar%C3%A7ay_Nehri, 12.11.2023
- 5- https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/doc/diri_fay_haritalari/afyon.pdf,
15.11.2023
- 6- <https://www.hec.usace.army.mil/> 11.12.2023
- 7- https://www.kursatozcan.com/turkiye_pafta_bolumlemesi_google_earth/ 12.12.2023
- 8- <https://avesis.yildiz.edu.tr/resume/lessonmaterieldownload/ghosbas?key=cf982490-99d1-4dd4-8010-c099f442d1d4/> 12.23.2023
- 9- https://www.kursatozcan.com/turkiye_pafta_bolumlemesi_google_earth/ 24.12.2023