

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ATATÜRK BARAJI'NIN YIKILMASI DURUMUNDA OLUŞABİLECEK SU
BASKINININ CBS KULLANILARAK MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih YEKELER

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**ATATÜRK BARAJI'NIN YIKILMASI DURUMUNDA OLUŞABİLECEK SU
BASKINININ CBS KULLANILARAK MODELLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Fatih YEKELER
(501171620)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Himmet KARAMAN

ŞUBAT 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501171620 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Fatih YEKELER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ATATÜRK BARAJI’NIN YIKILMASI DURUMUNDA OLUŞABİLECEK SU BASKINININ CBS KULLANILARAK MODELLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Himmet KARAMAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Turan ERDEN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Arif Çağdaş AYDINOĞLU
Gebze Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 14 Ocak 2022
Savunma Tarihi : 18 Şubat 2022





Canım Anneme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmam sürecinde edindiği bilgi, yorum ve tecrübelerini benimle paylaşan kıymetli danışman hocam Prof. Dr. Himmet Karaman'a teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca bana her konu yardımcı olan kardeşim/arkadaşım Araş.Gör. Muhammed Oğuzhan Mete'ye teşekkür ederim.

Öte yandan, çalışmam süresince alan dışı disiplinlerden olan, hidrolik alanında benimle tecrübe ve desteklerini esirgemeyen Araş.Gör. Hasan Oğulcan Marangoz'a, yine çalışmam kapsamında Türkiye'de ilk defa bu çalışmada kullanılan CADDIES 2D programının kurucusu Exeter Üniversitesi öğretim üyesi Dr. Michael Gibson'a teşekkürü borç bilirim.

Yakın dönemde benzer bölgede çalışmalar yürütmüş değerli meslektaşım Tuğba Şen'e ve ömrüm boyunca yanımda olan ve desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme şükranlarımı sunarım.

Şubat 2022

Fatih YEKELER
(Geomatik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
2. TAŞKINLAR	5
2.1 Taşkın Çeşitleri	6
2.1.1 Oluşma Mevsimlerine Göre Taşkınlar	6
2.1.2 Meydana Geldiği Bölgelere Göre Taşkınlar	6
2.1.3 Oluşum Sürelerine Göre Taşkınlar	5
2.2 Taşkınların Nedenleri	7
2.2.1 Jeomorfolojik Özellikler	7
2.2.2 İklim	7
2.2.3 Hidrolojik Özellikler	8
2.2.4 Havza Morfometrik Özellikleri	8
2.2.5 Zemin Litolojik Özellikleri	8
2.2.6 Volkanizma	8
2.2.7 Bitki Örtüsü	9
2.2.8 İnsan	9
2.3 Taşkınların Meydana Getirdiği Etkiler	9
3. BARAJLAR	11
3.1 Barajların Kullanım Durumları	11
3.2 Baraj Yapısı ve Çeşitleri	13
3.3 Barajların Katkıları	15
3.4 Barajların Yıkılması	15
3.5 Tarihteki Baraj Yıkılma Olayları	17
4. BARAJ TAŞKINLARINA İLİŞKİN YAPILAN ÇALIŞMALAR	21
5. MATERYAL VE YÖNTEM	29
5.1 Kullanılan Programlar	29
5.1.1 ArcGIS Programı Üzerine Bilgiler	29
5.1.2 CADDIES 2D Çalışması Üzerine Bilgiler	32
5.1.2.1 Caflood Yazılımı Üzerine Genel Bilgiler	33
5.1.2.2 Caflood Yazılımının Baraj Yıkılma Uygulamaları	44
6. YAPILAN ÇALIŞMALAR	45
6.1 Çalışma Alanı	46
6.2 CADDIES 2D – Caflood Ortamında Yapılan İşlemler	48

6.3 Taşkın Yayılım Modellerinin CBS Ortamında Analiz ve İnceleme Çalışmaları	61
7. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	73
KAYNAKLAR.....	75
ÖZGEÇMİŞ.....	79



KISALTMALAR

ABD : Amerika Birleşik Devletleri

CADDIES : Cellular Automata Dual-DraInagE Simulation

CBS : Coğrafi Bilgi Sistemleri

DEM : Digital Elevation Model

DSİ : Devlet Su İşleri

GIS : Geographic Information Systems

HGM : Harita Genel Müdürlüğü

ICOLD : Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (International Commission on Large Dam)

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

OGM : Orman Genel Müdürlüğü

SYM : Sayısal Yükseklik Model

TIN : Üçgenlenmiş Düzensiz Ağ (Triangulated Irregular Network)

WCA2D : Weighted Cellular Automata 2D



SEMBOLLER

g	: Yerçekimi ivmesi
h	: Su derinliği
m	: Kanalın kıvrım düzeyi için düzeltme katsayısı
n	: Manning pürüzlülük katsayısı
n0	: Kanalın geçtiği zemin ile ilgili temel değer
n1	: Yüzeyde gözlenen düzensizlikler için bir düzeltme katsayısı
n2	: Kanal kesitinin şeklinde ve büyüklüğünde gözlenen değişimler için bir değer
n3	: Engeller için düzeltme katsayısı
n4	: Bitki örtüsü ve akım şartları için değer
R	: Hidrolik yarıçap
S	: Eğim
t	: Zaman
V	: Akım hızı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Mevsimsel Taşkın Tipleri.....	6
Çizelge 2.2 : Meydana Geldiği Yerlere Göre Taşkın Tipleri.	6
Çizelge 2.3 : Oluşum Sürelerine Göre Taşkın Tipleri.	7
Çizelge 2.4 : Türkiye’de 1995-2015 Yılları Arasında Gerçekleşen Taşkın Olayları ve Etkileri.	10
Çizelge 3.1 : Osmanlı Dönemi İnşası Yapılmış Bentler.....	12
Çizelge 3.2 : Dünyada gerçekleşmiş bazı baraj yıkılmaları.	20
Çizelge 6.1 : DSİ Pürüzlülük Katsayıları.	52



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Türkiye’de Sel - Taşkın - Şiddet Yağış Afetleri 1940-2010 Yılları Arasındaki Gözlenme Sayıları.	2
Şekil 2.1 : Taşkın Yatağı Temsili Gösterimi.	5
Şekil 3.1 : Dünya Geneli Tek ve Çok Amaçlı Barajlar.	11
Şekil 3.2 : Cumhuriyet döneminin ilk barajı Çubuk I Barajı.....	13
Şekil 3.3 : Baraj Yapısının Temel Bileşenleri.	14
Şekil 3.4 : Barajların kullanılan malzeme, yükseklik ve su hacmine göre sınıflandırılması.	14
Şekil 3.5 : Barajların sınıflarına göre dağılımı.	15
Şekil 3.6 : Baraj yıkımlarının baraj tiplerine (a) ve coğrafik dağılımlarına (b) göre istatistiksel gösterimi.	16
Şekil 3.7 : İtalya Vajont Barajı.	17
Şekil 3.8 : Vajont Longarone şehri, Vajont Barajı felaketinden öncesi ve sonrası. .	18
Şekil 3.9 : Çin’deki Shimantan Barajı.	18
Şekil 3.10 : ABD’deki Teton Barajı.	19
Şekil 5.1 : ArcGIS Mimarisi.	30
Şekil 5.2 : ArcGIS – ArcMap Arayüzü.	31
Şekil 5.3 : İki ve Tek Boyutlu Hücrelerin Simülasyonla İlişkisi.	32
Şekil 5.4 : Hücresel Veriler Üzerindeki Analizin Çalışma Prensibi.....	33
Şekil 6.1 : Çalışma Kullanılan Akış Şeması.	45
Şekil 6.2 : Atatürk Barajının Konumu.	46
Şekil 6.3 : Atatürk Barajının Fiziki Özellikleri.	47
Şekil 6.4 : Atatürk Barajı Havadan Görünüm.	48
Şekil 6.5 : Caflood Dosya Yolu.	48
Şekil 6.6 : CPU ve Bellek Ağırlıklı “caflood.exe” Dosyasının Kapladığı İşlem Hacmi.....	49
Şekil 6.7 : Setup Dosyası.	50
Şekil 6.8 : Inflow Event CSV Dosyası.	54
Şekil 6.9 : Atatürk Barajı Hidrografı.	55
Şekil 6.10 : Atatürk Barajı Hec-RAS Görüntüsü.	55
Şekil 6.11 : 1813. Baraj Benti Kesiti.	56
Şekil 6.12 : Baraj Bentinde Bulunan Kesitin Debi Değerleri.....	56
Şekil 6.13 : WDRaster CSV Dosyası.	57
Şekil 6.14 : VELRaster CSV Dosyası.	58
Şekil 6.15 : PowerShell Üzerinde Analizin Başlama Adımı.....	59
Şekil 6.16 : PowerShell Üzerinde Analizin İşleme/İlerleme Adımı.....	59

Şekil 6.17 : PowerShell Üzerinde Analizin Sonuçlanma Adımı. ...	60
Şekil 6.18 : Analiz Sonucu Output Dosya İçeriği.....	60
Şekil 6.19 : Atatürk Barajı Eğim Haritası.....	61
Şekil 6.20 : Atatürk Barajı Taşkın Hız Haritası.....	62
Şekil 6.21 : 6 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası.	62
Şekil 6.22 : 6 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Haritası.	63
Şekil 6.23 : 6 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası. ...	63
Şekil 6.24 : 12 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası.	64
Şekil 6.25 : 12 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Haritası	64
Şekil 6.26 : 12 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası ..	65
Şekil 6.27 : 18 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası	65
Şekil 6.28 : 18 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Haritası	66
Şekil 6.29 : 18 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası ..	67
Şekil 6.30 : 24 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası	67
Şekil 6.31 : 24 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Haritası	68
Şekil 6.32 : 24 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası ..	69
Şekil 6.33 : Maksimum Yayılımlı Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası.....	69
Şekil 6.34 : Maksimum Yayılımlı Atatürk Barajı Taşkın Haritası	70
Şekil 6.35 : Maksimum Yayılımda Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası	71

ATATÜRK BARAJI'NIN YIKILMASI DURUMUNDA OLUŞABİLECEK SU BASKINININ CBS KULLANILARAK MODELLENMESİ

ÖZET

Su kaynakları, yeryüzünde tüm canlılar için vazgeçilmez bir yaşam kaynağı olmuştur. Dünyada birçok kaynak gibi su kaynakları da sınırlı miktarda var olmaktadır. Canlı popülasyonu ve bilinçsiz kaynak kullanımı arttıkça su kıtlıkları baş gösterebilmektedir. Tarih boyunca su kaynaklarının en optimum şekilde kullanım amacı baraj yapılarının ortaya çıkmasına neden olmuştur. Barajlar bulundukları toplumlara su kaynağı sağlamakla kalmayıp, enerji, sulama, turizm gibi farklı alanlarda da faydalar sağlamaktadır. Barajlar yapıları itibariyle su biriktirme alanı, ana gövde, kret, dolu savak, dip savak ve bentlerden oluşmaktadır. Barajların inşasında yapılan projelendirmelerde, imalatların hassas yapılması ve işletme koşullarının uygun hale getirilmesi baraj güvenliği açısından kritik öneme sahiptir. Geçmiş ve günümüz çalışmalarına bakıldığında barajların yıkılma çeşitleri ve yapılan hatalar üzerinde sıkça değinilmiştir. Gelişen teknolojik koşullarla beraber yeni inşası gerçekleştirilecek barajlarda baraj güvenliği daha da ön plana konulmuştur. Her ne kadar bu noktalara dikkat ediliyor olsa da, doğal afetler veya dışarıdan kaynaklı etmenler nedeniyle baraj yapı unsurları zarar görerek, bulundukları bölgelere büyük taşkınlar oluşturabilmektedirler.

Taşkınlar, akarsu ve nehirlerde de meydana gelebilmektedir. Fakat meydana gelen baraj taşkınları, akarsularda oluşan taşkınlardan, taşıdıkları su kütlesinin daha fazla olması nedeniyle daha büyük felaketlere sebep olabilmektedir. Her ne şekilde olursa olsun taşkınlar, bulundukları bölgede tarım alanlarının toprak yapısının bozulmasına, yapılaşmanın olduğu bölgelerdeki konut ve iş yerlerinin kullanılmaz hale gelmesine, ulaşım ağlarının çökme ve zarar görmesine, temiz su kaynaklarının çamurlaşarak kirlenmesine, hayvan ve insanların taşkına kapılarak vefat etmesine neden olan afetlerdendir. Gelişen teknoloji, hayatta çoğu şeye çözüm sunduğu gibi taşkınlarında oluşma riskini azaltmak adına önemli çözümler sunmaktadır. Barajların yıkılmaları sonucu oluşacak taşkın yayılacağı alanların belirlenmesinde, taşkın dalgasının hızı ve süresinin kestiriminde, etkilenecek alanların sınıflandırılması gibi birçok analizlerin yapılmasıyla taşkın riskine karşı tedbirler alınmaktadır.

Yapılan bu çalışmada, taşkın etki alanlarının belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) teknolojisi ürünlerinden ArcGIS yazılımının ArcMap ara yüzünden faydalanılmıştır. ArcMap ara yüzünde Harita Genel Müdürlüğü (HGM)'den alınan grafik ve grafik olmayan veriler düzenlenerek hazır hale getirilmiştir. Hazır hale getirilen verileri yine aynı ortamda coğrafi analizleri ve haritalanması yapılmıştır. Taşkınların gerçekleşmesi durumunda taşkın su kütlesinin simülasyonu ve modelleme çalışmaları CADDIES 2D projesinin ürünü olan Caflood yazılımı ile oluşturulmuştur. Bu yazılım kullanıcılarına ücretsiz şekilde açık kaynak kodlu geliştirme imkanı sunmaktadır. Yazılıma girdi komut dosyaları csv uzantılı olacak şekilde kodlama yapılarak, taşkın bölgesinin dijital yükseklik modeli ASCII uzantılı olacak şekilde tanıtılmış ve açıklamaları çalışmanın içerisinde değinilecek olan diğer girdiler ile birlikte çalıştırılarak modellemeler oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında, Türkiye'nin en büyük dolgu barajı olan Atatürk Barajı'nın baraj bendinde oluşacak doğal veya dışarıdan etmenlerle zarar görüp yıkılması sonucu taşkın senaryosu üzerine çalışılmıştır. Atatürk Barajı, barındırdığı devasa su hacmi

sayesinde ÷lkemize ciddi ölçüde hidroelektrik üretimi gerçekleştiren barajlar arasında olmuştur. Atatürk Baraj bendinin yıkılması sonucu senaryonun oluşturulmasında öncelikle geometrik veriler taşkın gerçeğeşeceği bölgede olacak şekilde yeniden düzenlenmiş, gereksiz veriler temizlenip, ITRF96 (TUREF) koordinat sistemine dönüşümleri yapılmıştır. Ayrıca, OpenStreetMap üzerinden taşkın bölgesindeki karayolu ağları alınmış ve gerekli düzenlemeler sonrası kullanılmıştır. Öte yandan, hidrolik modelin oluşturulması için Caflood yazılımı üzerinden girdi dosyaları (taşkın akış debi bilgileri, pürüzlülük katsayıları ve diğer bilgiler) hazır hale getirilmiştir. Çalışma içerisinde bölgede yağış bilgisi temin edilemediği için yağışın olmadığı, baraj hacminin tam kapasite dolu olduğu varsayılarak çalışılmıştır. Hidrolik modelin oluşması için baraj bendinde dikdörtgen yapısında bir gedik olduğu varsayılmıştır. Baraj bölgesinde taşkın su akım hızını saptayabilmek için eğim hesaplanmıştır. Taşkın sonrası taşkın dalgalarının derinliği ve hızı modellenmiştir. Tüm bu sonuç verileri birleştirilerek 6 saatlik sıklıkta 1 Günlük (24 Saat) olacak şekilde, CBS yardımıyla taşkın yayılım haritaları oluşturulmuştur. Oluşan 6, 12, 18 ve 24 saatlik modeller göstermiştir ki, bölgenin geçim kaynağı olan tarım alanları ve ormanlık alanlar en çok etkilenen alanlar olmuştur. Taşkın gerçeğeşeceği bölgede yapılaşmanın daha seyrek olması nedeniyle taşkın etkisinin yerleşim alanlarında daha düşük olabileceği gözlemlenmiştir.

GIS BASED FLOOD RISK MODELLING OF POSSIBLE DAMAGE OF THE ATATURK DAM

SUMMARY

Water resources have been an indispensable source of life for all livings on earth. Like many other resources in the world, water resources also exist in limited quantities. As the living population and unconscious resource use increase, water shortages may occur. Throughout history, the aim of using water resources in the most optimum way has led to the emergence of dam structures. Dams not only provide water resources to the communities in which they are located, but also provide benefits in different fields such as energy, irrigation and tourism. Dams consist of water collection area, main body, crest, spillway, bottom weir and weirs. It is critical for dam safety to make the productions sensitively and to make the operating conditions suitable in the projects made in the construction of the dams.

When we look at the past and present studies, the types of failure of the dams and the mistakes made are frequently mentioned. With the developing technological conditions, dam safety has been put even more in the foreground in new dams to be constructed. Although attention is paid to these points, dam building elements may be damaged due to natural disasters or external factors, and large floods may occur in the regions where they are located. Due to the existence of the dam, it provides employment opportunities for thousands of people. In a flood scenario that may occur, it will cause the people living in the region to lose their jobs and cause great migration, except for the damage to their lives and properties.

Floods can also occur in streams and rivers. However, dam floods that occur can cause greater disasters than the floods occurring in streams, due to the greater amount of water they carry. In any case, floods are among the disasters that cause the deterioration of the soil structure of agricultural lands in their region, the collapse and damage of transportation networks, the pollution of clean water sources, the death of animals and people by flooding. Developing technological opportunities offer solutions to many things in life, as well as important solutions to reduce the risk of flooding. Measures are taken against flood risk by performing many analyzes such as determining the areas where the flood will occur as a result of the collapse of the dams, estimating the speed and duration of the flood wave, and classifying the affected areas.

In this study, ArcMap interface of ArcGIS program, which is one of the Geographical Information Systems (GIS) technology products, was used to determine the flood impact areas. In the ArcGIS-ArcMap, graphical and non-graphical data received from the General Directorate of Mapping (GDM) were arranged and made ready. Geographical analysis and mapping of the prepared data were made in the same environment. In case of floods, the simulation and modeling studies of the flooded water body were created with the Caflood program, which is the product of the CADDIES 2D project. This program offers its users the opportunity to develop open source code free of charge. The input scripts to the program were coded with csv extension, the digital elevation model of the flood zone was introduced with ASCII extension, and the models were created by running their explanations together with other inputs that will be mentioned in the study.

Within the scope of the study, the flood scenario as a result of the destruction of Atatürk Dam, which is the largest filling dam in Turkey, by natural or external factors that will occur in the dam, has been studied. In addition, the dam is located on the eastern Anatolian Fault Line. Studies have shown that the dam may be damaged as a result of a major earthquake in this region and the dam may collapse due to leaks, so there is a possibility of flooding. Thanks to the huge water volume it contains, the Atatürk Dam has been among the dams that have produced a significant amount of hydroelectricity in our country. Although it is the largest hydroelectric power plant in Turkey, it provides significant revenues to the public. The money spent for this dam investment paid for itself in a short period of 5 years thanks to the generation of electrical energy.

In the creation of the scenario as a result of the collapse of the Atatürk Dam, first of all, the geometric data were rearranged to be in the region where the flood would occur, unnecessary data were cleaned, and their conversions were made to the ITRF96 (TUREF) coordinate system. In addition, road networks in the flood zone were taken from OpenStreetMap and used after editing. The unconfirmed road information was cleaned and compared with other data and used in the study. On the other hand, input commands (flood flow rate information, roughness coefficients and other information) were made available via the Caflood program to create the hydraulic model. Since precipitation information could not be obtained in the region, it was assumed that there was no precipitation and that the dam volume was full at full capacity. In order to form the hydraulic model, it was assumed that a rectangular breach occurred in the dam. In order to determine the flood water flow rate in the dam area, the slope was calculated.

The depth and velocity of the post-flood flood waves were modeled. By combining all these result data, flood spread maps were created with the help of GIS, with a frequency of 6 hours, for 1 day (24 hours). In fact, 3 hours of data were obtained during the analysis phase. The reason for this is to make alternative comparisons in case of possible data loss or similar problems. The resulting 6, 12, 18 and 24-hour models showed that agricultural areas, which are the livelihoods of the region, were the most affected areas. It has been observed that the flood effect may be lower due to the less frequent construction in the area where the flood will occur. The Caflood software used in the study allows users to access their own interface while creating these modeling studies, and offers the opportunity to make more specific arrangements according to the flood types. Thus, it offers more practical use than software with other stereotypical interfaces.

This study has shown that Caflood software will frequently be mentioned in flood analysis. In the conclusion part of the study, inferences were made by making comparisons with the work done with Hec-RAS software in the similar region. As a result of the comparison, it was observed that the flood patterns that emerged in Hec-RAS affected a wider area. The reason for this is that the downstream region from the inputs of the Hec-RAS software must be defined as a polygon. In fact, with this area created, it contains the information to which area the water flow should flow at the time of the flood. As a result of the analysis by drawing the flood area in Hec-RAS in this way, the flood spread has caused a larger area of influence. The flood area in the study with Hecras revealed an impact area almost 3 times the flood area in the study with Caflood. Likewise, the building and vegetation areas, as a result of the demarcation of the downstream region in the study with Hec-RAS, revealed a much more impact area than the study with Caflood. Many studies with this and similar

software show that societies need to take precautionary measures against flood disasters. Even though its incidence is low, similar studies should be increased in regions with flood risk in countries. The use of GIS technology also plays a more explanatory role in the analysis and mapping of these possible disasters.





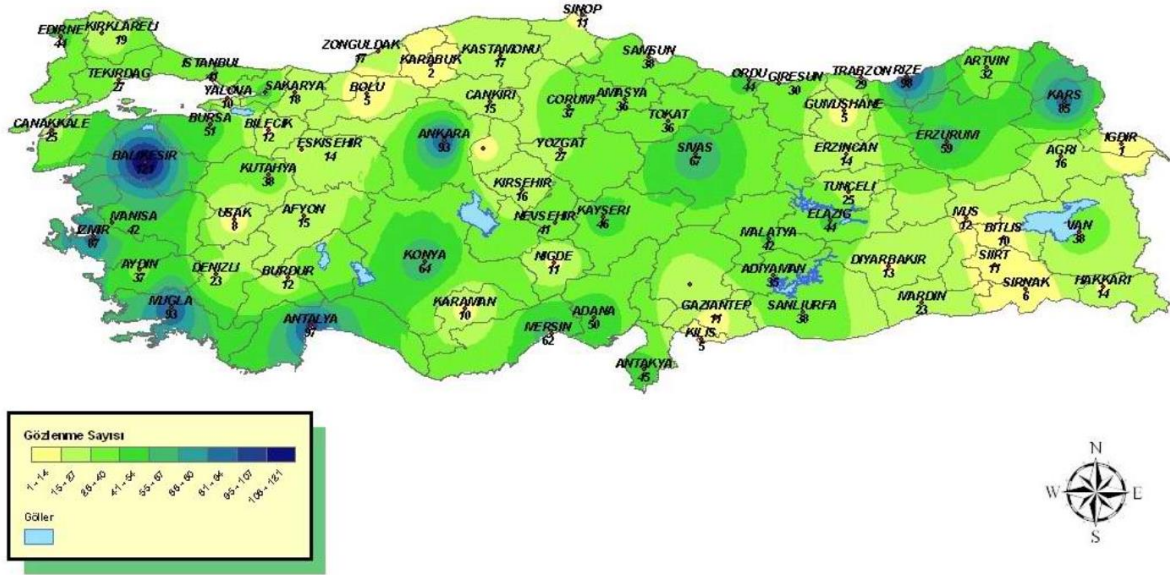
1. GİRİŞ

Çağlar boyu var olmuş birçok medeniyet, nehir ve göl gibi su kaynaklarının bulunduğu bölgelere yerleşmiş ve yaşamını devam ettirmiştir. Zaman içerisinde bu kaynakların sınırlı olması, akarsu üzerinde içme veya sulama suyunun depolanması ve uzun süreli kullanım fikri, modern anlamda baraj yapısını ortaya çıkarmıştır. Aynı zamanda insanlar yaşam alanlarında veya tarım arazilerinde yoğun yağışlar nedeniyle oluşan taşkınların önlenmesi, elektrik enerjisi üretimi, ulaşım, akarsu havzalarının yönlendirilmesi gibi nedenlerle de barajlar inşa etmişlerdir. Barajlar, inşa edildikleri bölgelerde toplumların sosyo-ekonomik yapılarına katkı sunmakla beraber, bölgenin iklimsel ve ekolojik yapısında da değişimlere neden olmaktadır.

Barajların en önemli kısımlarından biri, var olan yüksek hacimli su kütlesini tutan bentlerdir. Baraj bentleri, barajların yapım esnasında hassas mühendislik hesaplamaları sonucunda inşa edilmektedirler. Nitekim nadiren gerçekleşse de terör saldırıları, depremler, barajdaki kapasite fazlalığı, heyelanlar, baraj yapısından kaynaklı sorunlar gibi doğal veya yapay nedenlerden dolayı baraj bentleri hasar görerek yıkılabilmektedir. Yıkılan baraj benti, taşıdığı su kütlesini taşkın şeklinde ani ve hızlı bir şekilde yaşam alanlarına ve arazilere zarar vererek, ciddi can ve mal kayıplarına sebebiyet vermektedir.

Bir akarsuyun muhtelif nedenlerle havzasından taşıp, bulunduğu bölgedeki yerleşim alanlarına, arazilere, canlılara ve altyapı unsurlarına zarar vermesi olayına taşkın denilmektedir (Karataş, 2019). İnsanlar ve hayvanlar dahil doğadaki tüm canlılar meydana gelen taşkın olaylarından birinci derece etkilenmektedirler. Meydana gelen taşkınlar sonucunda ölüm ve yaralanmalar, toprak verimliğinin yitirilmesi, arazilerin kullanılamaz hale gelmesi, içme suyunun kirlenmesi gibi birçok sorunlar meydana gelmektedir. Çoğu doğal afetlerin oluşmasında etkisi olduğu gibi, taşkınlarında oluşmasında insan faktörü önemli bir yer tutmaktadır. Örneğin, taşkın havzasında ve havzanın memba bölgelerinde inşa edilen kontrolsüz yapılaşma ve bunların doğal sonuçları olarak ormanlık alanların ve bitki örtüsünün tahrip edilmesi, doğal zemin üzerine yapılan yanlış kaplamalar, yanlış arazi kullanımı vb faaliyetler bu

müdahalelerden olmuştur (Uçar, Gürer ve Yıldız, 2010). Ülkemizde de dönem dönem Şekil 1.1’de de görüldüğü üzere seller ve taşkınlar meydana gelmiştir.



Şekil 1.1: Türkiye’de Sel - Taşkın - Şiddet Yağış Afetleri 1940-2010 Yılları Arasındaki Gözlenme Sayıları (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2021).

Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de çeşitli bölgelerde ciddi zararlara sebep olan taşkınlar meydana gelmiştir. İncelenen veriler ışığında, ülkemizde taşkınlar sebebiyle ortaya çıkan ekonomik kayıp her yıl ortalama 100.000.000 ABD dolarına ulaşmakta olup, taşkın kontrolü ve yapısal önlemler amacıyla devam eden proje bazlı yatırımlar ise yılda 30.000.000 ABD doları civarındadır (Uşay ve Aksu, 2002).

Günümüz dünyasında teknolojik gelişmeler birçok alanda önemli faydalar sunmaktadır. Bu teknolojik gelişmelerden biri olan CBS, su kaynaklarının yönetiminde de önemli rol oynamaktadır. CBS teknolojisi, verilerin düzenlenmesi, toplanması, saklanması ve ilgili verilerin görüntülenip işlenmesine olanak sağlayan bir bilgi sistemidir. Böylelikle, taşkın oluşturabilecek havzaların bulunduğu bölgelerin planlanmasında, kullanım ve içme suyunun saklanmasına yönelik alan bazlı çalışmalarda, taşkın öncesi ve sonrasına ilişkin dijital harita altlıklarının oluşturulması gibi birçok başlıkta yaygın olarak kullanılmaktadır.

Oluşan taşkın modellerinin yorumlanması, verilerin hazırlanması gibi zaman alabilen işlemler CBS ile oldukça basit hale gelmiştir. Akarsulara ait hidrolik modellemeler CBS sayesinde daha kolaylaşmıştır (Maidment ve Djokic, 2000). Böylelikle hem taşkın yazımları hem de CBS, taşkın modellemeleri ile taşkına ait birçok hesaplamalara dair uçtan uca çözümler sunabilmektedirler.

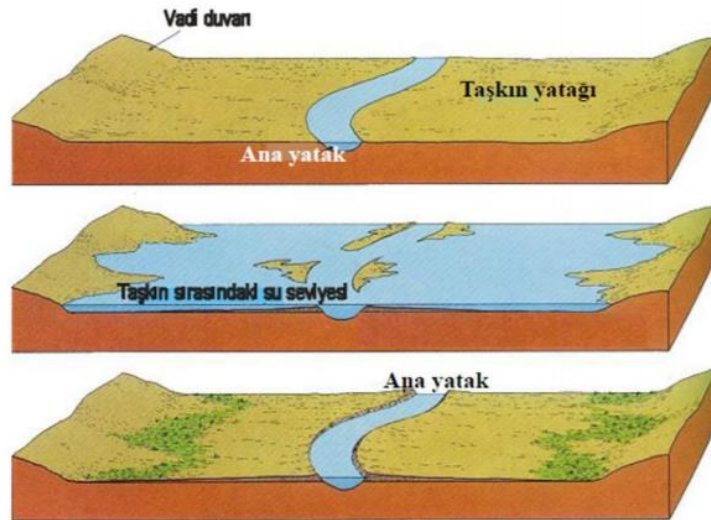
CBS teknolojilerindeki ilerleme ve yükseklik modellerindeki kalitenin artmasıyla hidrolik, hidrolojik, çevre ve su kaynakları ile bunlarla alakalı çalışmalarda yapılan uygulamaların sayısı giderek artmıştır (Moore, Grayson ve Ladson, 1991).

Yapılan bu çalışmada, Atatürk Baraj bendinin doğal veya yapay nedenlerle yıkılması sonucu oluşacak taşkının analiz ve modellenme çalışmaları, taşkın yazılımlarından olan CADDIES 2D (Caflood) ile çıkan sonuç verilerinin CBS ortamında analizi için ArcGIS programı kullanılmıştır.



2. TAŞKINLAR

Taşkınlar, insanlar ile diğer canlıların bulunduğu bölgelerdeki ekonomik ve sosyal yaşamlarını etkileyen doğal afetlerdir. Su kütlesinin geçmesi istenen yataklardaki kapasitesini aşması sonucu su baskınlarına, taşkın ve sellere sebep olmaktadır (Şen, 2003). Meydana gelen taşkın olayları sadece meteorolojik olaylar sonucunda meydana gelmemektedir. Sanayileşme, sektörel gelişmeler sonucunda yaygın kentleşme ve akarsu havzalarının bulunduğu bölgelerdeki insan yoğunluğu giderek artmaktadır. Bu durum, havza genelindeki ekolojik ve hidrolojik dengeyi bozmakta ve ciddi zararlar ortaya koyan taşkınlar meydana getirebilmektedir. Akarsu havzalarında giderek artan yerleşim alanları, yapılan yeni yollar ve inşa edilen yeni tesislerle arazi yapısı değişmekte, elverişli olmayan tarım yöntemleri ile topraklar yoğun bir biçimde kullanılmakta, mera ve ormanlar tahrip edilmekte, tüm bu yapılanlar neticesinde taşkınlar her geçen gün daha sık ve büyük ölçüde görülmektedir (ANON, 2003). Ekosisteminin korunması gereken akarsu havzalarının bulunduğu bölgeler, genellikle düşük eğimli, yoğun yeşil alan ve çeşitli doğal güzelliklere sahip olması nedeniyle insanlar tarafından yapılaşma alanları olarak seçilmektedir. Bu yanlış seçimler sonucu bu bölgelerde yaşanan taşkınlar (Şekil 2.1), daha fazla ekonomik kayıplara ve yaşamsal faaliyetlerin olumsuz etkilenmesi gibi olumsuz sonuçlar ortaya koymaktadır.



Şekil 2.1 : Taşkın Yatağı Temsili Gösterimi (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017).

2.1 Taşkın Çeşitleri

Taşkınlar; oluşma mevsimlerine, meydana geldiği yerlere ve oluşum sürelerine göre kendi içinde sınıflandırılabilir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017).

2.1.1 Oluşma Mevsimlerine Göre Taşkınlar

Oluşma mevsimlerine göre taşkınlar, aşağıdaki Çizelge 2.1'deki gibi alt sınıflara ayrılmaktadır.

Çizelge 2.1 : Mevsimsel Taşkın Tipleri (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017)

Taşkın Tipi	Taşkının Nedeni
İlkbahar Taşkınları	Nisan Mayıs aylarında yağışlar sonucu
Yaz Taşkınları	Yazın sağanak halindeki yağışlar veya dağlık bölgelerde kar ve buzul erimesi
Kış Taşkınları	Kasım Mart arası yağışlar sonucu

2.1.2 Meydana Geldiği Bölgelere Göre Taşkınlar

Meydana geldiği bölgelere göre taşkın Çizelge 2.2'deki gibi alt sınıflara ayrılmaktadır.

Çizelge 2.2 : Meydana Geldiği Yerlere Göre Taşkın Tipleri (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017)

Taşkın Tipi	Taşkının Nedeni
Nehir Taşkınları	Yoğun yağış ve / veya kar erimesi, nehir kesitinin daralması, baraj yıkılması veya koruyucu diğer yapıların tahrip olması
Kıyı Taşkını	Fırtına Tsunami Yüksek Dalgalar
Dağlık Alan Taşkınları	Genellikle karların erimesi sonucu oluşan sulardan meydana gelen taşkınlardır
Yer altı suyu taşkınları	Yoğun ve uzun süren yağışlarda yağmur suyunun toprağa normalden daha fazla sızmasıyla yeraltı su seviyesinin yükselmesi ve toprak yüzeyine çıkması ile oluşan taşkınlardır
Göl taşkınları	Göllerdeki seviye değişiklikleri ile dalga etkilerinden meydana gelen taşkınlardır

2.1.3 Oluşum Sürelerine Göre Taşkınlar

Oluşum sürelerine göre taşkınlar Çizelge 2.3’deki gibi alt sınıflara ayrılmaktadır.

Çizelge 2.3 : Oluşum Sürelerine Göre Taşkın Tipleri (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017)

Taşkın Tipi	Taşkının Süresi
Uzun Sürede Oluşan Taşkınlar	Bir hafta veya daha uzun sürede oluşan taşkınlar
Ani Taşkınlar	6 saat içinde oluşan taşkınlar

2.2 Taşkınların Nedenleri

Yapılan araştırmalar, taşkınların doğal veya insan müdahalesine dayanan nedenlerle oluştuğunu göstermektedir. Bu kapsamda taşkınların nedenleri; jeomorfolojik özellikler, iklim, hidrolojik özellikler, havza morfometrik özellikleri, zeminin litolojik özellikleri, volkanizma, bitki örtüsü ve insan olmak üzere 8 ana grupta toplanabilir.

2.2.1 Jeomorfolojik Özellikler

Taşkın bölgesinin bakı ve yükselti durumu, yağışın oluşmasıyla terleme ve buharlaşmanın oluşmasına, dolayısıyla taşkınlara sebep olmaktadır. Buharlaşma ve oluşan sızma durumu eğim ile orantılıdır. Eğimin fazla olması, buharlaşma ve sızmanın az olmasına işarettir ki bu durum taşkın oluşum süreçlerini hızlandırmaktadır. Böylelikle, oluşan taşkınlar diğer akarsu kollarıyla birleşerek etkisini arttırabilmektedir.

2.2.2 İklim

Belirli bir bölgede belirli bir sürede sıcaklık, nem, hava basıncı, rüzgâr, yağış ve yağış şekli gibi meteorolojik gözlemlerin ortalamasına iklim adı verilir. Şiddetli yağışların olması taşkınların oluşmasıyla ilişkili olmakla beraber, yağışın şiddetli oluşu taşkının zirve noktasına ulaşmasına olanak sağlar. Sağanak yağışlar ile birlikte kar örtüsünün de var olması, taşkın tehlikesinin en yüksek olduğu durumdur. Öte yandan, iklim değişikliğinin yağışların karakter ve yoğunluğundaki değişime sebep olması sonucu, taşkınların daha sık oluşmasına mümkün hale gelmiştir.

2.2.3 Hidrolojik Özellikler

Akarsu kollarının ve su akımının meydana geldiği havzalarda yağışlar sonrası taşkının tepe noktasına ulaşacağını söyleyebiliriz. Ülkemizde Akdeniz iklimi bu konuya önemli bir örnektir. Akdeniz ikliminin yaşandığı bölgelerde kış aylarında yoğun yağışlar sonucu akarsu seviyelerinin yükselmesiyle taşkınlar oluşabilmektedir. Zemin yapısının kuru ve arazi eğiminin uygun olması taşkınların artmasını engelleyebilmektedir.

2.2.4 Havza Morfometrik Özellikleri

Suyun havza üzerinde taşkını meydana getirmesi; sahanın litolojik, jeolojik, zemin-toprak geçirgenlik özellikleri gibi parametreler belirleyici özelliktedir. Bu özelliklerin doğru anlaşılabilmesi için havza-morfometri araştırmaları taşkın çalışmalarının temelini oluşturmaktadır (Özdemir, 2011). Akım istasyonları bulunmayan ana akarsu havzalarında taşkın anlaşılmaması için sıklıkla havza morfometrisi kullanılmaktadır. Aynı zamanda Oruonye, Ezekiel, Atiku, Baba ve Musa (2016) - taşkınların ortaya çıkmasında havza morfometrik özelliklerinin önemine değinmişler ve bazı belirli parametrelerin taşkına doğrudan etkilerini ortaya koymuşlardır. Diakakis (2011) - akarsu havzasındaki hidrolojik karakterlerin belirlenmesinde havza morfometrik özelliklerin en kritik parametrelerden biri olduğuna değinmekle beraber taşkın dinamiklerinin kavranmasında yine morfometri çalışmalarının önemli bir rol oynadığını belirtmişlerdir.

2.2.5 Zemin Litolojik Özellikleri

Havza zeminin geçirimli bir yapısının olması olası bir yağış durumunda, zeminin suyu tutmasını zorlaştırır ve taşkın oluşumunu elverişli kılmaz. Öte yandan, aşınması kolay olan zeminlerde ise akarsuların taşıdığı katı yük (kütle hareketi) fazla olup, yatağın tıkanmasıyla taşkın oluşumları görülebilmektedir.

2.2.6 Volkanizma

Volkanik dağların bulunduğu bölgelerde, dağların üzerinde biriken kar ve buz kütlesi, volkanik hareketler sonucu sıcaklığın artmasıyla barındırdığı kar ve buz kütlesini eriterek taşkın oluşumuna neden olabilmektedir. Ülkemizde görülmesi de dünyada İzlanda gibi volkanik dağların olduğu bölgelerde bu durumla karşılanabilmektedir.

2.2.7 Bitki Örtüsü

Bitkiler, taşkınlara neden olan yağışları yaprak ve dallarıyla tutmakla birlikte zemine düşen yağışı kendileri kullanarak taşkın riskini azaltırlar. Aynı zamanda, gövdeleri sayesinde oluşan taşkınların hızının kesilmesinde kritik öneme sahiptirler.

2.2.8 İnsan

Orman arazilerinin tahrip edilip yapılaşmaya açılmasıyla, oluşan kentleşme yoğunluğu ve tarım alanlarının yanlış veya hiç ekilmemesi sonucu arazinin yanlış kullanımı, taşkınların oluşmasını oldukça kolaylaştırmaktadır.

2.3 Taşkınların Meydana Getirdiği Etkiler

Günümüzde birçok doğal afette olduğu gibi taşkınlarında vaktinde alınacak önlemler sayesinde oluşturduğu olumsuz etkiler azaltılabilmektedir. Taşkınlar oluşturdukları etkilere göre; direk ve dolaylı olmak üzere ikiye ayrılmakta olup; taşkınların oluş zamanına, şiddetine, süresine ve etkilediği alana göre değişiklik göstermektedirler. Can ve mal kaybıyla birlikte çevresel tahribata (altyapı ve yerleşim yerleri, tarım ve sanayi alanlarında oluşan tahribatlar) neden olan fiziksel etkiler, direk (birincil) etkilerdir. Taşkınlar sonrasında ülkelerde ekonomik ve sosyal kırılmalar gibi dolaylı (ikincil) etkilerde yaşamaktadır. Avrupa’da son 30 yıldan fazladır oluşan taşkınların ülkelere maliyeti 300 milyar €’ı geçtiği bilinmektedir (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017). Ekonomik yıpranmanın yanı sıra sosyal kırılmalar, işsizlik ve kitlesel göçün artması, dahası toplum sağlığına kadar etkileyecek uçtan uca olumsuz sonuçları olmuştur. Dünyada olduğu gibi taşkınlar, ülkemizde de yıkıcı etkilere neden olmuştur. Ülkemizde depremlerden sonra en fazla tahribata neden olan doğal afet Çizelge 2.4’de de rakamlarla gösterilen taşkınlardır.

Ülkemizde ortalama her yıl taşkınlar nedeniyle birçok insan vefat etmekte olup, yine birçok vatandaşın hayatlarını doğrudan etkilemektedir. 2014 yılında Hatay’da meydana gelen yoğun yağış neticesinde Erzin ilçesi, İçmeler beldesinden geçen Sarı Çayın taşması sonucu 5 kişi vefat etmiş ve büyük hasarlara sebep olmuştur. Yine 2012 yılının yaz aylarında Samsun ili Canikli ilçesinde meydana gelen yoğun yağışlar nedeniyle 1111 konut, 1507 işyeri, 327 depo, 36 kamu binası, 23 ahır ve samanlık zarar görmüş, Sinop karayolu yağış nedeniyle 30-40 cm çamurla kaplanmış ve 3-4 saat ulaşım kapanmıştır (Orman ve Su İşleri Bakanlığı, 2017).

Çizelge 2.4 : Türkiye’de 1995-2015 Yılları Arasında Gerçekleşen Taşkın Olayları ve Etkileri (Devlet Su İşleri (DSİ)).

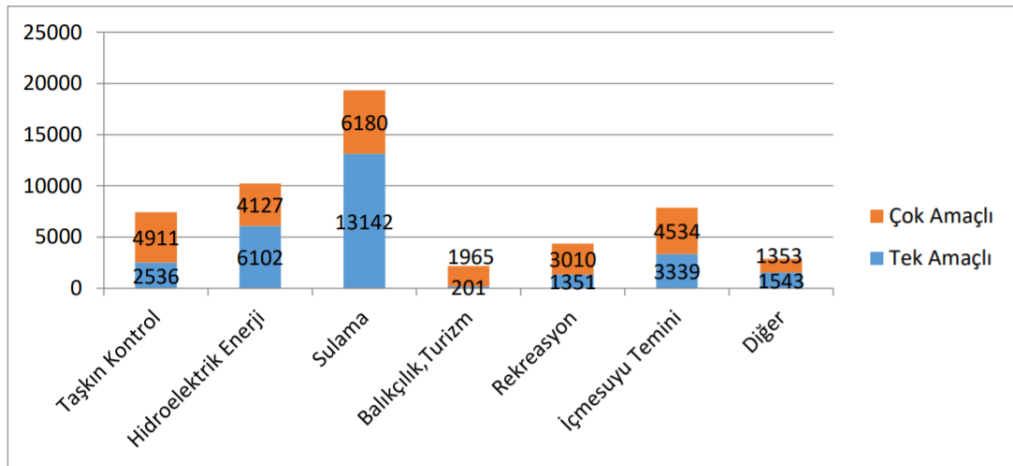
Yıl	Taşkın Sayısı	Can Kaybı	Su Altında Kalan Alan (ha)
1995	20	164	201.100
1996	4	1	11.000
1997	1	0	1.390
1998	2	57	7.000
1999	1	3	0
2000	4	0	8.066
2001	42	8	43.297
2002	27	27	510
2003	21	7	64.200
2004	23	3	25.750
2005	25	14	13.855
2006	24	45	85.810
2007	22	11	1.050
2008	10	2	10
2009	84	59	3.250
2010	110	25	44.279
2011	56	13	202
2012	69	23	19.685
2013	38	7	17.569
2014	118	9	4.455
2015	122	9	7.985
TOPLAM	823	487	560.463

3. BARAJLAR

Barajlar, akarsu akışının olduğu yönde engellenerek oluşturulan, insanların ilk başta su ve taşkınlardan korunmak amacıyla inşa ettikleri, sonrasında turizm, atık toplama ve enerji gibi nedenlerle inşa edilen büyük su yapılarıdır. Barajlar tek bir amaç dışında birden çok amaç içinde kullanılabilir. Tarihte ilk Mısır imparatorluğunda görülen barajlar, sulama ve içme suyu elde edebilmek amacıyla inşa edilmiştir. Sonraki dönemlerde, Çin-Hindistan bölgesinde de barajlar inşa edilmiş, hala birkaçı günümüzde kullanılmaya devam edilmektedir (Abay ve Baykan, 2015).

3.1 Barajların Kullanım Durumları

Dünya genelinde temiz su kaynakları sınırlı olmakla birlikte düzensiz dağılmış durumdadır. Bu kapsamda barajlar, su yönetimi, bölgenin kalkınması ve akarsu yataklarının kontrol altına alınmasında kritik rol oynamaktadır. Medeniyetler geliştikçe suya, dolayısıyla barajlara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır. Tek amaçlı kullanılan barajların %48'i sulama, %17'si elektrik, %13 su tedarigi, %10'u taşkın kontrolü, %5'rekreasyon ve %1 ve altı yön bulma ile balıkçılık amacıyla kullanılmaktadır (Engin, 2018). Şekil 3.1'de de görüldüğü üzere dünya genelinde barajlar kullanım amaçlarına göre tek veya çok amaçlı olarak da kullanılabilir.



Şekil 3.1 : Dünya Geneli Tek ve Çok Amaçlı Barajlar (ICOLD, 2020).

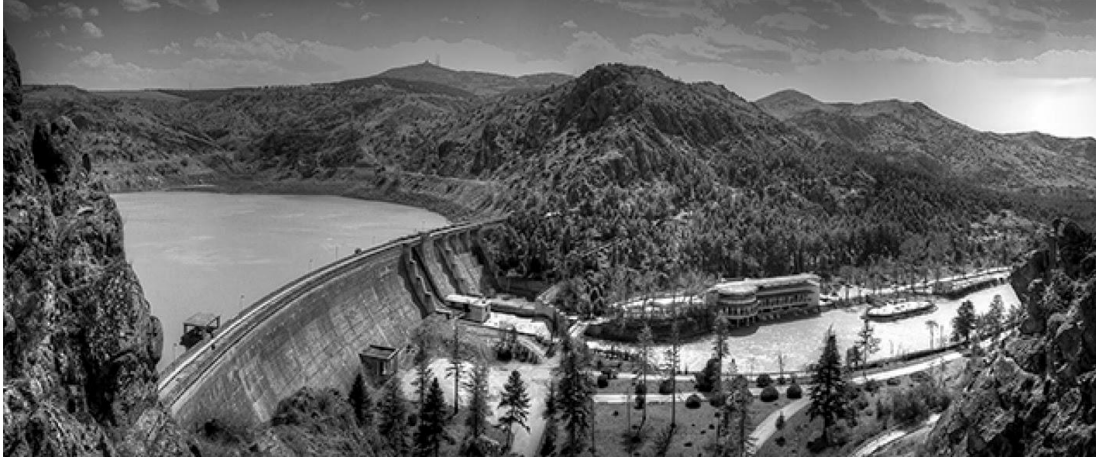
Barajların mühendislik ve teknik altyapısı, şehirlerin medeniyetleşme süreçlerinde önemli bir yere sahiptir. Dünya genelinde barajların geçmişine bakıldığında medeniyetlerin yükseliş ve çöküş dönemleriyle paralellik göstermektedir. Örneğin, Mısır bölgesinde yaz aylarında görülen yağışlar ve Nil nehri üzerinde inşa edilen baraj sayesinde bölge toplumu uzun yıllar refah içerisinde bir yaşam sürmüşlerdir (Engin, 2018).

Osmanlı ve Cumhuriyet dönemlerinde genellikle içme suyu ihtiyacını gidermek amacıyla ilk başlarda Anadolu’da bentler inşa edilmiş ve beraberinde İstanbul ve yakın çevresine de baraj bentleri yapılmıştır. Çizelge 3.1’de Osmanlı dönemi yapılmış bentler gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 : Osmanlı Dönemi İnşası Yapılmış Bentler (Yiğitbaşıoğlu, 1996).

Adı	İli	Göl Hacmi (m3)	Yüksekliği (m)	Bitiş Yılı
Çavdarhisar Bendi	Kütahya	-	-	-
Örökkaya Bendi	Çorum	500.000	-	-
Büget Bendi	Niğde	-	-	-
Löştüğün Bendi	Amasya	-	-	-
Semalı Bendi	Amasya	-	-	-
Topuz Bendi	İstanbul	70.000	8,60	620
Büyük Bent	İstanbul	1.318.000	12,15	1724
Topuzlu Bendi	İstanbul	160.000	16,00	1750
Ayvant Bendi	İstanbul	156.000	13,45	1765
Valide Bendi	İstanbul	255.000	13,50	1796
Kirazlı Bendi	İstanbul	130.080	13,00	1818
Yeni Bent	İstanbul	217.500	17,00	1839
Elmalı Benti	İstanbul	1.700.000	19,75	1893

Cumhuriyet dönemi sonrası yapılan ilk baraj, içme ve sulama suyu ihtiyacını karşılamak amacıyla 1936 yılında Ankara’nın Çubuk ilçesinde Şekil 3.2’deki Çubuk I Barajı olmuştur (Akarun, 1983).



Şekil 3.2 : Cumhuriyet döneminin ilk barajı Çubuk I Barajı.

3.2 Baraj Yapısı ve Çeşitleri

Barajlar; kret, baraj gövdesi, baraj gölü, su alma yapısı, dip savak ve dolu savak yapılarından Şekil 3.3’de gösterildiği şekilde oluşmaktadır.

Kret, barajın en üst kısmını oluşturmaktadır.

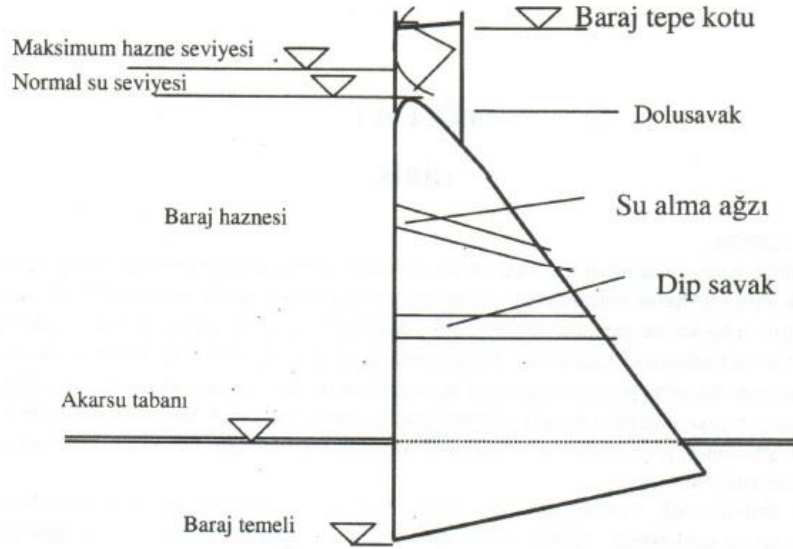
Baraj gövdesi, havzanın olduğu vadinin kapanmasıyla yapay gölü oluşturan gövdedir.

Baraj gölü, vadinin kapanmasıyla oluşan yapay göldür.

Su alma yapısı, yapay gölde biriken suyun gerekmesi durumunda alınmasını sağlayan yapıdır.

Dip savak, gereken durumlarda baraj gölünün komple boşaltılmasına veya debinin düşürülmesini, sağlayan yapıdır.

Dolu savak, biriken taşkın sularının mansap bölgelerine güvenle aktarılmasını sağlayan yapıdır.



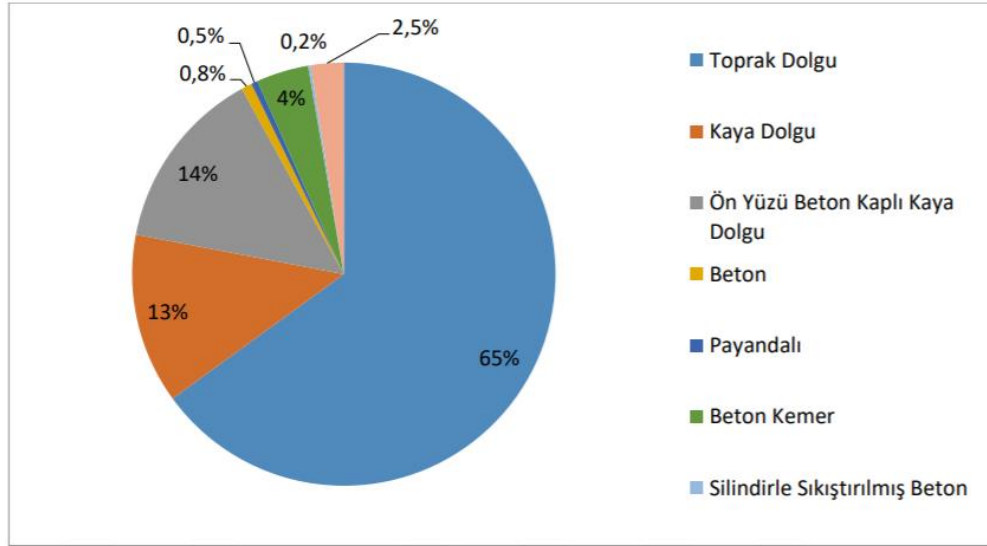
Şekil 3.3 : Baraj Yapısının Temel Bileşenleri.

Gövde dolgu malzeme türlerine göre barajlar, dolgu ve beton barajlar olmak üzere ikiye ayrılır. Dolgu barajlar; toprak ve kaya birleşimlerinden, beton barajlar; beton ağırlıklı, kemerli ve payandalı malzemelerden oluşmaktadır. Şekil 3.4’de de barajların sınıflandırılması gösterilmektedir.

B A R A J L A R				
Kullanılan Malzemeye Göre		Yüksekliğe göre (m)		Su hacmine göre (m ³)
Beton	Ağırlık	H<10	Gölet	$V < 5 \cdot 10^4$
	Kemer			
	Payandalı			
Dolgu	Toprak	10<H<15	Küçük Baraj	$5 \cdot 10^4 < V < 10^6$
	Homojen			
	Zonlu	H>15	Büyük Baraj	$V > 10^6$
	Kaya			
	Toprak+Kaya			

Şekil 3.4 : Barajların kullanılan malzeme, yükseklik ve su hacmine göre sınıflandırılması (Orhon, 1997).

Barajlar, Şekil 3.5’de gösterildiği üzere çoğunlukla toprak dolgu şeklinde yapılmış olup, en az ise silindirle sıkıştırılmış beton malzemesinden oluşmaktadır.



Şekil 3.5 : Barajların sınıflarına göre dağılımı (ICOLD, 2020).

3.3 Barajların Katkıları

Barajların barındırdığı su potansiyeli ile toplum ve çevreye büyük faydalar sağlamaktadır. Her ne amaca binaen yapılmış olursa olsun barajların katkılarını şu şekilde sıralayabiliriz;

- Tarım alanlarının vaktinde ve istenildiği şekilde sulanmasını sağlarlar,
- Hidroelektrik enerjisi üretmektedirler,
- Kullanım ve içme suyu bakımından düzenli ve sürekli kullanım imkanı sunarlar,
- Arazi ve kentleri taşkın tehlikesinden korurlar,
- Barındırdığı su üzerinde ulaşım ve spor imkanları sağlarlar,
- Su ürünleri üretimine katkı sağlarlar,
- Bulunduğu bölgelere mesire alanları oluştururlar,
- Toprağın erozyon gibi durumlardan korunmasını sağlarlar,
- Bölge iklimi üzerinde olumlu etkiler sağlarlar,
- İstihdam imkanı sunarlar,
- Su kalitesinin korunmasını sağlarlar.

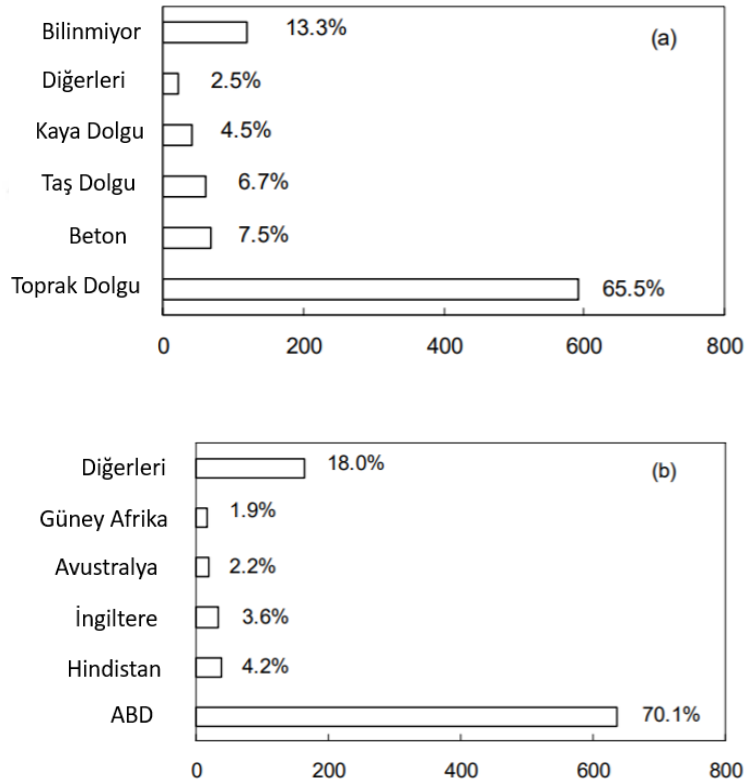
3.4 Barajların Yıkılması

Tarih boyunca ilk inşa edilen barajlardan itibaren birçok barajda yıkılma vakaları yaşanmıştır. Barajların gövdelerinin kısmi veya tamamen zarar görmesi, baraj inşaatı

sırasında doğru teknik analizlerin yapılmaması gibi birçok farklı nedenden yıkılmalar yaşanabilmektedir. Geçmişten günümüze baraj yıkılmaları araştırıldığında; yağışlar ve taşkınlar, dolusavak yetersizliği, sızıntıya neden olabilecek deformasyon, baraj ekipmanlarının yetersiz bakımı, yanlış tasarım ve malzemenin kullanımı, yer kayması nedeniyle oluşan su taşmaları, barajın bulunduğu bölgede bir başka barajın yıkılması, terör saldırıları, baraj gövdesinde çatlaklara sebep olacak depremler, insan ve diğer teknik hatalar nedeniyle yıkımlar meydana gelmiştir (Abay ve diğeleri, 2015).

Barajların yıkılmalarıyla alakalı ilk çalışmalar 1850-1950 yılları arasında 200 örnekle yapılmış ve bu çalışmalardan çıkan sonuçlarda barajların %30'u hava payı veya dolusavak yetersizliği sonucu su taşmasının getirdiği yıkımlar, %25'i sızma ve borulanmadan kaynaklı yıkımlar ve %15'i de şev yetersizliğinin getirdiği yıkımlar olmuştur (Yıldız, 2007).

Dünya üzerinde birçok farklı lokasyonda yapılan 900 baraja ait yıkımlar incelendiğinde yıkılan barajların istatistiksel olarak Şekil 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.6 : Baraj yıkımlarının baraj tiplerine (a) ve coğrafik dağılımlarına (b) göre istatistiksel gösterimi (Zhang, Xu ve Jia, 2009).

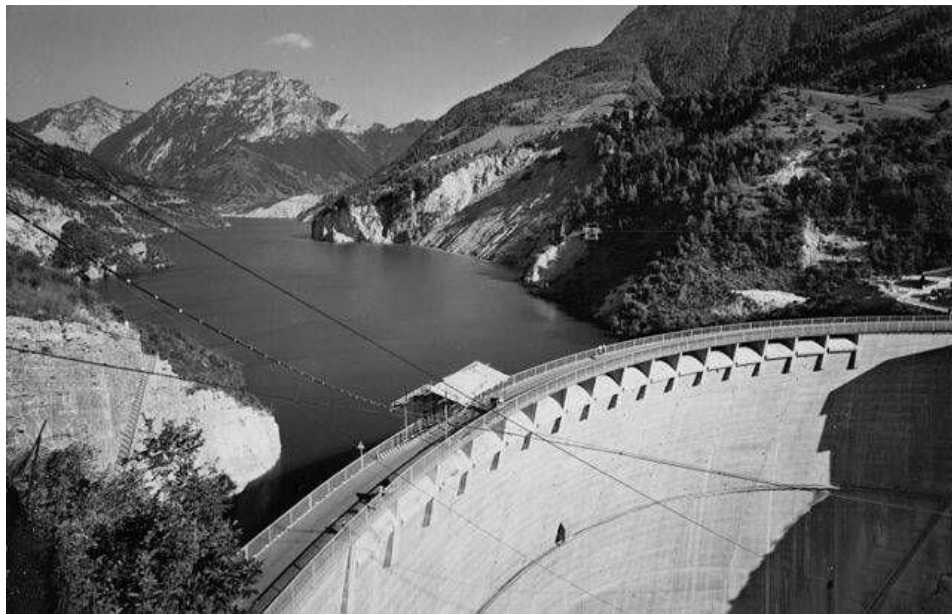
3.5 Tarihteki Baraj Yıkılma Olayları

Son iki yüz yılda yıkıldıkları zaman büyük taşkınlara sebep olan barajlar, toplum ve çevresine büyük zararlar vermiştir. Baraj yıkılmaları maddi anlamda oluşturduğu zararın yanı sıra büyük can kayıplarına da neden olmaktadır. Nüfusun yoğunluğu, taşkın erken uyarı sistemlerinin varlığı, halihazırda bulunan taşkının alanı gibi unsurlar olası can kayıplarını doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle can ve mal kayıplarını en aza indirmek için barajların yıkılma karakteristiklerini iyi analiz etmek gerekir (Palamut, 2014).

Mısır'da M.Ö. 2600'lerde, 12 metre yükseliğinde inşa edilen ve yapımında savak olmayan ve çimento gibi bağlacı maddeler bulunmayan Sedd-el-Kefere barajı, yapımı sonrası yıkılan ilk baraj olmuştur (Abay ve diğerleri, 2015).

1889 yılında Amerika Birleşik Devlet'inin Pensilvanya eyaletinde bulunan South Fork Barajı, yoğun yağışlar neticesinde kapasitesinden fazla su birikmesi ve baraj gövdesinden aşması nedeniyle 12 metre dalgalar oluşmuş ve 2200 kişinin ölümüne neden olmuştur (Palamut, 2014).

1963 yılında İtalya'da beton kemer yapısında, 267 m yüksekliğinde olan Şekil 3.7'de gösterilen Vajont Barajı meydana gelen heyelandan dolayı rezervuarındaki su, mansap bölgesine tsunami etkisiyle taşarak 2000'den fazla insanın hayatını kaybetmesine ve Şekil 3.8'de gösterilen büyük yıkımlara neden olmuştur.



Şekil 3.7 : İtalya Vajont Barajı.



Şekil 3.8 : Vajont Longarone şehri, Vajont Barajı felaketinden öncesi ve sonrası.

1975 yılında Çin’de meydana gelen yağışlar neticesinde 1950 yıllarında inşa edilmiş Banqiao ve Şekil 3.9’da da gösterilen Shimantan Barajlarının yanı sıra 62 küçük barajın daha yıkılmasıyla 26 000 kişi hayatını kaybetmiştir. Taşkın sonrası olumsuz şartlar neticesinde salgın hastalık ve açlık nedenleriyle de 145 000 kişi hayatını kaybetmiş, toplamda 10 milyondan fazla insanın hayatını etkilemiştir (Abay, 2015).



Şekil 3.9 : Çin’deki Shimantan Barajı.

1976 yılında ABD’de kaya dolgu tipinde inşası yapılmış Şekil 3.10’ da gösterilen Teton Barajı, rezervuarında su tutulmasından ardından yıkılmış ve 10 kişi hayatını

kaybetmiş, 2000 kişi yaralanmış, 135 kişi kaybolmuş ve 7000'den fazla konut ve iş yeri zarar görmüştür (Uysal, 1976).



Şekil 3.10 : ABD'deki Teton Barajı.

2008 yılında Nepal'de meydana gelen aşırı yağışlar nedeniyle Koshi Barajının yıkılmasıyla 250 kişi hayatını kaybetti (Abay ve diğerleri, 2015).

1972 yılında ABD'de inşa edilmiş Buffallo Creek Barajının yıkılması sonucu 125 kişi hayatını kaybetmiş, 65 milyon dolar maddi hasar meydana gelmiştir (Abay ve diğerleri, 2015).

Dünya genelinde meydana gelen baraj yıkılmaları sonucu oluşan taşkınlar sebebiyle 200 000'e yakın insan hayatını kaybetmiş, ciddi boyutta maddi hasarlar meydana gelmiştir. Tarihte gerçekleşmiş bazı baraj yıkılma ve can kayıpları aşağıda Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2 : Dünyada gerçekleşmiş bazı baraj yıkılmaları.

S.N.	Baraj	Yıl	Ülke	Ölü Sayısı	Yıkılma Nedeni
1	Tiware Barajı	2019	Hindistan	23	Yoğun Yağış
2	Brumadinho Barajı	2019	Brezilya	270	Baraj Yıkılması
3	Swar Chaung Barajı	2018	Myanmar	4	Baraj Yıkılması
4	Xe-Pian Xe-Namnoy Barajı	2018	Laos	36	Yoğun Yağış
5	Panjshir Valley Barajı	2018	Afganistan	10	Yoğun Yağış
6	Patel Barajı	2018	Kenya	47	Yoğun Yağış
7	Mariana Barajı	2015	Brezilya	19	Baraj Yıkılması
8	Gökdere Köprü Barajı	2012	Türkiye	10	Yoğun Yağış
9	Ivanovo Barajı	2012	Bulgaristan	8	Kar/Buz Erimesi
10	Fujinuma Barajı	2011	Japonya	8	Deprem
11	Niedow Barajı	2010	Polonya	1	Yoğun Yağış
12	Kyzyl-Agash Barajı	2010	Kazakistan	43	Kar/Buz Erimesi
13	Sayano-Shushenskaya Barajı	2009	Rusya	75	Güç İstasyon Arızası
14	Algodões Barajı	2009	Brezilya	7	Yoğun Yağış
15	Situ Gintung Barajı	2009	Endonezya	98	Yoğun Yağış
16	Gusau Barajı	2006	Nijerya	40	Yoğun Yağış
17	Ka Loko Barajı	2006	ABD	7	Yoğun Yağış
18	Shakidor Barajı	2005	Pakistan	70	Yoğun Yağış
19	Camará Barajı	2004	Brezilya	3	Baraj Yıkılması

4. BARAJ TAŞKINLARINA İLİŞKİN YAPILAN ÇALIŞMALAR

Barajlar, emniyeti sağlanması gereken kritik yapılardır. Dünya genelinde yapılan çalışmalarda barajların başarısız olması veya beklenen verimi vermemesi maalesef insan hayatına ve ekonomik kayıplara mal olmuştur. Barajların gövdelerinde biriktirdikleri su hacminin artması, gövdenin yıkılmasına ve taşkın miktarının daha büyük boyutlarda yaşanmasına sebep olmaktadır. Bu durumlarla karşılaşıldığında daha hazırlıklı olmak adına baraj ve çevresinde taşkın haritalama ile hidrografik modelleme çalışmaları yapılmaktadır. Böylelikle taşkın anında taşkın su seviyesi ve taşkın yayılım alanlarının belirlenmesi hedeflenmektedir.

Taşkınları önleyebilmek nedeniyle hidrografik taşkın modellemeleri tek boyuttan üç boyuta kadar yapılabilmektedir. Su akımının boyuna yönle ilerlediği varsayılan modellemeler tek boyutlu modellemelerdir. Tek boyutlu modellemeler sıralı en kesitler ile araziye temsil etmektedir. Bununla birlikte ortalama hız ile kesitlerdeki su derinliğinin bulunabilmesi için su akışının simülasyonu yapılmaktadır. 2 boyutlu modellemelerde, düşey yönde su hızı ihmal edilerek, su akımının boyuna ve yanal yönlerde ilerlediği varsayılmaktadır. Tek boyutlu modellemelerin aksine 2 boyutlu modellemelerde sonlu elemanların hücreleri araziye temsil etmektedir (Palamut, 2014).

Günümüzde teknolojik gelişmelerin hızlanması ve bilgisayar kullanımının yaygınlaşmasıyla birlikte artık modelleme çalışmaları manuel süreçlerden daha otomatik ve pratik süreçlere doğru yol almıştır. Birçok teknolojik çözümlerin ilerlediği gibi CBS teknolojisi de gelişim göstermiştir. Taşkın alanlarında doğru taşkın analizi ve modelleme çalışmalarının yapılmasında, CBS teknolojisi büyük katkı sağlamaktadır.

Djokic, Beavers ve Deshakulakarni, 1994 yılında CBS teknolojisiyle hidrolik modelleme çalışmasını entegre bir biçimde, zamandan bağımsız tek boyutlu taşkın analizi yapabilen Arc/HEC-2 yazılımını geliştirdiler. Arc/HEC-2 yazılımını, bir CBS programı olan ArcGIS programında hazırlanmış olan alan ve arazi verileri üzerinde

denediler. Teknolojinin gelişmesiyle beraber Arc/HEC-2 yazılımı geliştirilerek Hec-RAS yazılımı kullanılmaya başlandı (Yaylak, 2016).

Yazıcılar ve Önder (1998) çalışmalarında Hec-RAS yazılımı Türkiye’de Bartın Çay’ında olası taşkın senaryosunda oluşabilecek su yüzü seviyelerinin hesaplanmasında kullanmışlardır. Nitekim hesaplanmış su yüzeyi kotları ve oluşturulmuş taşkın haritaları, 1998’de Bartın Merkez’de yaşanan taşkın sonucu oluşan durumla paralellik göstermiştir.

Demirkesen (2003), CBS programlarından olan River Tools’u kullanılarak taşkın çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında ABD’de bulunan Cumberland havzası analiz edilmiş ve su seviyelerinin sınırları şekillendirilmiştir.

Kara ve Akar (2007), Karadeniz bölgesinin doğu ve orta kesimlerinin dahil olmuş olduğu Beşikdüzü-Solaklı Havzasında çalışmalar yapmışlardır. Çalışma kapsamında bölgenin 1:100.000 ölçekli topoğrafya haritası, Landsat uydu görüntüleri, ArcGIS yazılımı ve Erdas uzaktan algılama programları kullanılarak çalışmaya uygun bir veri tabanı oluşturulmuştur. Elde edilen veriler ışığında taşkın risk analiz çalışmaları yapılmıştır.

Usul (2008) çalışmasında Fethiye Çayboğaz’ında CBS ve hidrolojik modelleme programı olan MIKE 11 modeli kullanılmıştır. Havzaya ait hidrometeorolojik verilerde süre farklılığının olması ve süregelen bir devamlılığının olmaması sonucu uzun yıllar önceki debi verileri kullanılarak çalışılmıştır. Bölgeye dair elde edilen bu verilerin CBS ortamına girilmesiyle taşkın seviyeleri haritaları oluşturulmuştur.

Özcan, Musaoğlu ve Şeker (2009), uzaktan algılama verileri, arazi çalışmaları ve diğer ilgili veri grupları kullanılarak, Aşağı Sakarya Havza’sında olası taşkın etki alanları belirlemek amacıyla CBS çalışmaları yapılmıştır.

Selvanathan ve Dynmond (2010), Hec-RAS, Floodway GIS ve ArcGIS gibi CBS teknolojileri kullanılarak program ve eklentilerinin taşkın analizlerinde uygulanması sonucu incelemelerde bulunulmuştur. Çalışma kapsamında MIKE11, WSPRO, FLOODSIM, RMA-2, MIKE21, Hec-RAS ve FLO-2D gibi programlar kullanılarak hidrolojik model çalışmaları yapılmıştır. Yapılan çalışmada taşkın, taşkın alanları ve haritalarına dair görsel sonuçlarda görülebileceği ifade edilmiştir.

Uçar (2010), Doğu Karadeniz Bölgesi Değirmendere Havzasının taşkın oluşması riskini incelemek adına bir çalışma yapılmıştır. Çalışma kapsamında bölgeye ait 1:2000 ölçekli Sayısal Yükseklik Modeli haritaları ile hidrometeorolojik veriler ışığında taşkın hidrolojik modeli oluşturulmuştur. Çalışmada CBS programı ArcGIS ile taşkın analiz yazılımı Hec-RAS kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucu çözüm önerileri sunulurken, bölgeye dair 3 boyutlu taşkın risk haritaları oluşturulmuştur.

Özşahin (2013) çalışmasında Arnavutluk bölgesindeki ekonomik ve can kayıplarının fazlaca yaşandığı taşkınlar incelenmiştir. Çalışmada ülkenin hangi boyutta ve hangi alanlarda taşkınların yaşanabileceği CBS teknikleri kullanılarak irdelenmiştir. Akarsuya uzaklık, jeoloji, yeraltı suyu, jeomorfoloji, eğim, yağış, bakı, arazi ve toprak kullanımı verileri ile elde edilen diğer haritalar karşılaştırılarak taşkın risk bölgeleri belirlenmiştir. Çalışmada elde edilen sonuçlara göre ülkenin yarısından fazlası orta ve yüksek riskte olduğu saptanmıştır.

DSİ (2013), Konya ili İnsuyu Deresinde taşkın analiz çalışmaları bölge CBS Müdürlüğünce yapılmıştır. Çalışmada bölgeye ait 1:25 000 ölçekli haritalar ile CBS programlarından ArcGIS ve yine CBS ile çalışabilen Hec-GeoRAS ve tek boyutlu hidrolik modelleme yazılımı olan Hec-RAS kullanılmıştır. Bölgeye ait Sayısal Yükseklik Modeli haritasıyla CBS ortamında çalışma bölgesinin 2D ve 3D modelleri hazırlanarak hidrolojik veriler sayesinde su yüzeyi yükseklikleri oluşturulmuştur. Hec-RAS yazılımı sayesinde taşkın alanların haritalaması yapılmıştır. Fakat, çalışmada kullanılan harita ölçeği yeterince büyük olmadığından dolayı daha doğru çıktıların elde edilebilmesi için daha büyük ölçekli haritalarla çalışılması önerilmiştir.

Akkaya, Saraylı, Doğan, Akçalı, Akpınar ve Yıldırım (2013), ülkemizin en çok yağış alan bölgelerinden Doğu Karadeniz’de bulunan Rize Taşlıdere mevkindeki taşkınlar üzerine çalışmışlardır. Taşkın analiz programlarından Hec-RAS ile CBS yazılımı ArcGIS kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda DSİ tarafından öncesinde oluşturulmuş en kesitler karşılaştırmalı çalışılmıştır. Analiz ve simülasyonlar sonucunda bu enkesitlerden hangisinin riskli veya güvenli olduğu belirlenmiştir.

Şahin, Akıntuğ ve Yanmaz (2013), 2010 yılında Kıbrıs’ın Güzelyurt ilçesinde meydana gelen taşkın hidrolojik modelleme çalışmaları yapmışlardır. Taşkın bölgesinde debi bilgisi elde edilemediği için sentetik birim hidrograf yönetimiyle debi

tahmininde bulunmuşlardır. Yapılan çalışma neticesinde bölgede bulunan derelere sel kapanı ve çevirme kanalı yapılması önerilmiştir.

Nas ve Nas (2013), Gümüşhane'den de geçen Harşit Çayı'nda diğer benzeri çalışmalar gibi CBS ve Hidrolojik modelleme çalışmaları yapılmıştır. Havzaya ait taşkın debileri 2 ila 1000 yıllık sıklıkta istatistik yöntemlerle tespit edilmiştir. Bulunan bu veriler Hec-RAS uygulamasına girilerek taşkın su seviyeleri çıkarılmıştır. Çalışma sonucunda öneri olarak taşkınların oluşumunu engelleyebilecek koruma yapılarının yapılması tavsiye edilmiştir.

Bağdatlı, Albut ve Altürk (2013), Tekirdağ iline bağlı merkez bölgesindeki imar sahalarına dair yapmış oldukları çalışmada, 12 adet dere yatağına dair özelliklerin yanı sıra topoğrafik ve jeolojik haritalar yardımıyla veriler toplanmıştır. ArcGIS yazılımının modüllerinden ArcMAP ve ArcCatalog yardımıyla toplanan veriler analiz edilmiştir. Çıkan sonuç haritaları ile taşkına dair önerilerde bulunulmuştur.

Bayraktar (2004), İstanbul Avrupa yakasında en yoğun yerleşim bölgelerinden olan Eyüpsultan ilçesindeki Alibeyköy Barajına dair taşkın analiz çalışması yapılmıştır. Çalışmada su seviyesinin baraj üst kotundan fazla olduğu durum göz önüne alınmıştır. Taşkın senaryosunun oluşması için CBS ve Uzaktan Algılama metodlarından faydalanılmıştır. Çalışmada hava fotoğrafları kullanılarak 5 m aralıkta Sayısal Yükseklik Modeli hazırlanmıştır. Bölgede 10 adet kesit belirlenmiş ile poligon noktaları seçilmiştir. ERDAS programı ve lineer interpolasyon yöntemleri kullanılarak su yüksekleri tespit edilmiştir. Değişen su yüksekliklerinden simülasyonlar oluşturulmuştur. Çalışma neticesinde CBS ve diğer teknolojilerin kullanımı taşkın kestirimlerinde oldukça faydalı olduğuna yer verilmiştir.

Sharma ve Mujumdar (2016), Hindistan ili Vadadora şehrinde bulunan Ajwa Barajının yıkılmasıyla ilgili olarak farklı senaryo çalışmaları yapılmıştır. Barajın bulunduğu bölgede sıklıkla yoğun yağış alan ve taşkınların yaşandığı bölgedir. Taşkın analizi öncesinde ArcMap modülü kullanılarak Sayısal Yükseklik Modeli elde edilmiştir. Hec-RAS yazılımında kararsız akış analiz çalışması yapılmıştır. Çalışmada 24 saatlik maksimum derinlik ile akış hızı için modelleme yapılmıştır. Hec-RAS dan elde edilen sonuç verileri ArcMap'de haritalandırılmıştır.

Dölek (2013), Muş'ta meydana gelebilecek taşkın olaylarını sıklık, tarih ve taşkın faktörleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Meteorolojik ve jeomorfolojik veriler kullanılarak ovanın bulunduğu alandaki taşkın dönemleri saptanmıştır. Çalışma neticesinde taşkın öncesi önemli kestirimlerde bulunulmuştur.

Dursun ve Gül (2018) Malatya ilinde bulunan Sürgü Barajının yıkılmasıyla oluşacak hasarın yerleşim ve kırsal alandaki etkilerini 2 boyutlu taşkın analiz çalışması şeklinde incelemişlerdir. Çalışmada artan su kütlesinin barajın gövdesinden aştığı düşünülerek modellenmiştir. Sayısal yükseklik ve bölgeye dair tematik haritalar kullanılmıştır. Çalışma neticesinde bin civarı insanın etkilenebileceği, 30 km² lik alanın taşkın içerisinde kalacağı tespit edilmiştir.

Özşahin ve Kaymaz (2013), Hatay ili sınırlarında bulunan Amik Ovası taşkınların risk durumları, haritalanması ve indeks değerlendirmesi yapılmıştır. Çalışmada 1:25000 ve 1:250000 ölçekli topoğrafik haritalar, Sayısal Yükseklik Modeli, köy tutanak raporları, TÜİK ve 2012 yılı taşkın tespiti verilerinden faydalanılmıştır. CBS programlarından ArcGIS – ArcMap ve 2012 yılı Spot uydu görüntüleri kullanılarak taşkın risk çalışması yapılmıştır.

Ergen (2019), Sakarya ilinde bulunan Doğantepe Barajının yıkılması üzerine Geyve ve yakın ilçeleri etkilemesi risk çalışması yapılmıştır. Çalışmada ArcGIS, Hec-RAS ve Netcad yazılımlarından faydalanılmıştır. 1:1000 ölçekli halihazır haritalar düzenlenmiş ve ArcMap üzerinde oluşturulan sayısal yükseklik modeli ve TIN oluşturulmuştur. Düzenlenen ve oluşturulan veriler ile Hec-RAS yazılımında taşkın simülasyonu oluşturulmuştur. Çalışma neticesinde oluşan taşkının yaklaşık 40 dakikalık sürede ilçe merkezine ulaştığı ve su seviyesinin 3 metreyi aştığı gözlemlenmiştir.

Gökçe, Ayvaz, Genç ve Koç (2013), Denizli ilinde bulunan Pamukkale Üniversitesi kampüs alanında taşkın risk çalışması yapılmıştır. Kampüs alanına yakın mesafede bulunan Hamamdere Havzasında taşkın olması durumu değerlendirilmiş, Hec-RAS tabanlı hidrolojik model oluşturulmuştur. Netice olarak taşkın sonucu oluşacak debi ile üniversite kampüsüne ulaşılabilceği sonucu çıkmıştır.

Annunziato, Andredakis ve Probst (2016), Irak bölgesinin kritik öneme sahip barajlarından Musul Barajında meydana gelebilecek taşkın ve sonuçları üzerine

Çalışma gerçekleştirilmiştir. Taşkının yaklaşık yüzde 26'lık kısmının yıkımının gerçekleşmesi durumunda saatte 40 kilometre hızına ulaşabilecek taşkın dalgalarının olacağı tespit edilmiştir. Taşkın dalgaları başta Musul'un merkezi olmak üzere Tikrit, Samarra, Bakuba zerinden Bağdat'a ulaşacağı sonucuna ulaşılmıştır. Taşkın dalgalarının 3 saat içerisinde 300 bine yakın nüfuslu Musul'a ulaşacağı ve bu sürede tahliyenin gerçekleşmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Dutta, Herath ve Musiake (2005), Japonya Chiba bölgesinde bulunan Ichinomiya havzasında olası taşkın riski incelemek ve taşkını kontrol altına almak adına çalışmalarda bulunulmuştur. Çalışmada CBS ve hidrolojik çalışmalar birlikte yapılmıştır. Taşkın miktarının durumuna göre havzanın etkilenme durumu irdelenmiştir.

Haltaş ve Kocaman (2015), Kahramanmaraş ili Erkenez ayı üzerinde bulunan Ayvalı Barajında yapılan çalışmalarda taşkının yaşanması durumundaki tespitler yapılmış, il merkezi ve çevresindeki taşkın tehlikesinin tespiti amaçlanmıştır. Bölgeye dair topoğrafik ve diğer geometrik verilerin CBS ortamında düzenlemeleri yapılmış ve Hec-GeoRAS yardımıyla Hec-RAS'a aktarılmıştır. Öte yandan taşkın alanı yayılım modellemeleri iki boyutlu FLOOD programı yardımıyla oluşturulmuştur. Elde edilen iki boyutlu veriler ışığında taşkın risk haritaları oluşturularak; taşkın alanı, akım hızı, su yüksekliği ve derinliğinin zamana bağlı değişimleri üzerine değerlendirmeler yapılmıştır.

Overton (2005), Avustralya'nın Alplerinden doğan ve en uzun nehri olan Murray Nehri'nde taşkın ve çevreye etkisi konusunda alakalı çalışmalar yapılmıştır. Uydu görüntüleri, Hidrolojik modellemeler ve CBS kullanılarak yapılan çalışmada Avustralya'dan Galler'e 5 kilometrelik alan genişliğinde taşkın ve evre etkileri değerlendirilmiştir.

Sunkar ve Tonbul (2010), Yoğun yağışlarda taşkınların görüldüğü Batman ilinde bulunan İluh Deresi havzasında taşkın risk çalışmaları üç farklı yöntemle yapılmıştır. Geniş alanda risk analizi, taşkın sonrası yapılan gözlemler sonucu hasar tespit raporu ve hidrolojik model ile CBS analizleri, bahsedilen bu yöntemlerdendir. Yapılan bu bilimsel çalışma göstermiştir ki bu dere havzasında ilerleyen dönemlerde de kalıcı önlemler alınmazsa bölgeyi risk altına almaya devam edecektir.

Demir ve Kişi (2015), Samsun ilinde Canik dağlarından akmaya başlayan Mert Irmağı, defaten karşılaşılan taşkınlar sonucu bu çalışma yapılmıştır. Çalışmada, zamanında DSİ yetkilileri tarafından hazırlanmış en kesit ve geometrik veriler, hidrolojik model oluşturulması amacıyla Hec-RAS'a aktarılmış ve ırmağın geçmiş yıllarda oluşturduğu debi verileri kullanılarak risk alanları haritalanmıştır.

Bayazıt ve Bakış (2015), Sakarya – Eskişehir havzasında bulunan Seydisu (Seydi) ayının bulunduğu havzanın taşkın risk değerlendirmesi yapılmıştır. Uzaktan algılama ve CBS yöntemleri kullanılarak taşkın debileri çıkarılmıştır. Elde bulunan veriler Hec-RAS'a aktarılıp taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Çalışma sonucunda tarım arazileri ve yerleşim alanlarına olan etkileri değerlendirilmiştir.

şen (2019), Adıyaman Merkez ilçesi sınırlarında bulunan, modern Türkiye'nin ilk barajlarından olan Atatürk Barajı'nın baraj bendinin yıkılması sonucu taşkın risk çalışması yapılmıştır. Harita Genel Komutanlığında elde dilen uydu görüntüleri, geometrik veriler ve Sayısal Yükseklik Modeli verileri CBS programı olan ArcGIS üzerinde düzenlemeleri yapıldıktan sonra hidrolojik modeller oluşturmak amacıyla Hec-RAS programına girilen veriler ile taşkın modeli oluşturulmuştur. Oluşan taşkın modelleri CBS üzerinde analiz edilerek 6 saatlik dilimlerde tarım alanları ve yerleşim alanlarına oluşan etkileri ile taşkın su derinlik ve su akım hız süreleri haritalanmıştır. Yapılan çalışmada taşkın su yükseklikleri 90 metreyi bulmuş, 15.000 hektardan fazla alan taşkından etkilenmiştir.

Literatürde ortaya konmuş bu çalışmalar ve gelişen teknoloji şunu göstermektedir ki taşkınların CBS ve hidrolojik modelleme çalışmaları yapan yazılımlar taşkın kestirimlerinde sık kullanılmaya başlanmıştır.



5. MATERYAL VE YÖNTEM

CBS, belirli bir amaca yönelik gerçek dünyaya ait, konumsal ve öznitelik verilerinin toplanması, düzenlenmesi, depolanması, sorgulanması, dönüştürülmesi, analizi ve görüntülenmesine yarayan mekânsal teknoloji aracı veya sistemidir. Bu çalışmada mühendislik alanlarında kullanıldığı gibi; jeoloji, şehir planlama, ulaşım, navigasyon, gayrimenkul vb. sektörlerde de CBS teknolojisi kullanılmaktadır. Eski metodlar ile araziler üzerinde yapılan analiz çalışmaları, CBS sayesinde kolaylaşmakla beraber kullanıcı hata payları en aza indirgenmektedir. Birçok alanda CBS teknolojisi ile çalışmalar yapıldığı gibi su havzalarında da taşkın analizi, hidrolojik modelleme çalışmaları yapılmakta olup, CBS teknolojisi ile beraber Hec-RAS, CADDIES 2D, FLOOD 2D gibi yan yazılımlar kullanılarak taşkın analiz çalışmaları yapılmaktadır.

5.1 Kullanılan Programlar

Atatürk Baraj Bendinin çeşitli nedenlerle zarar görüp yıkılması sonucu etkilenebilecek taşkın bölgelerin netleştirilmesi için gerekli olan geometrik ve raster veriler CBS programlarından olan ArcGIS programı ile taşkın senaryosunun modellenmesinde açık kaynak kodlu CADDIES 2D – Caflood yazılımı kullanılmıştır.

5.1.1 ArcGIS Programı Üzerine Bilgiler

CBS ve bilhassa açık kaynak kodlu yazılımlar birçok kurum ve şirketler tarafından geliştirilmektedir. Ülkemizde ve dünyada CBS üzerine en çok yatırımları yapan program, ESRI firmasının ürünü ArcGIS olmuştur. ArcGIS mimarisi Şekil 5.1'deki gibi masaüstü, mobil, 3D görüntüleyici, web servisleri, yazılım geliştirici CBS ve diğer görüntüleyiciler olmak üzere 6 ana başlıktan oluşmaktadır.



Şekil 5.1 : ArcGIS Mimarisi (Ocak, Sert ve Ünsal, 2013).

ArcGIS Deskop: ArcView, ArcEditor ve ArcInfo şeklinde ileri düzey üç ürün sunmaktadır. Aynı zamanda CBS kullanıcıların kullandığı temel fonksiyondur. Bu fonksiyonda coğrafi veriyi ölçekleyebilmekle beraber bu verinin görselleştirilmesi, veri tabanı yönetimi, yayınlanması gibi fonksiyonları ortaya koymaktadır.

ArcGIS Server: CBS teknolojisinin dış dünyaya açılımını sağlayan fonksiyondur. Bu fonksiyonda Web üzerinden CBS platformlarını oluşturma, paylaşma ve yönetme özelliklerini kazandırmaktadır. Ayrıca veri tabanı yönetimi imkanı sağlamakla beraber coğrafi verilerin kontrolünü sağlamaktadır.

ArcSDE: Bu teknoloji sayesinde geodatabase onarımı ile birlikte birden fazla kullanıcı ortamında güncelleme yapılabilmektedir. Böylelikle ilişkisel veri tabanı ve CBS kullanıcıları arasındaki bağın kurulmasını mümkün kılar.

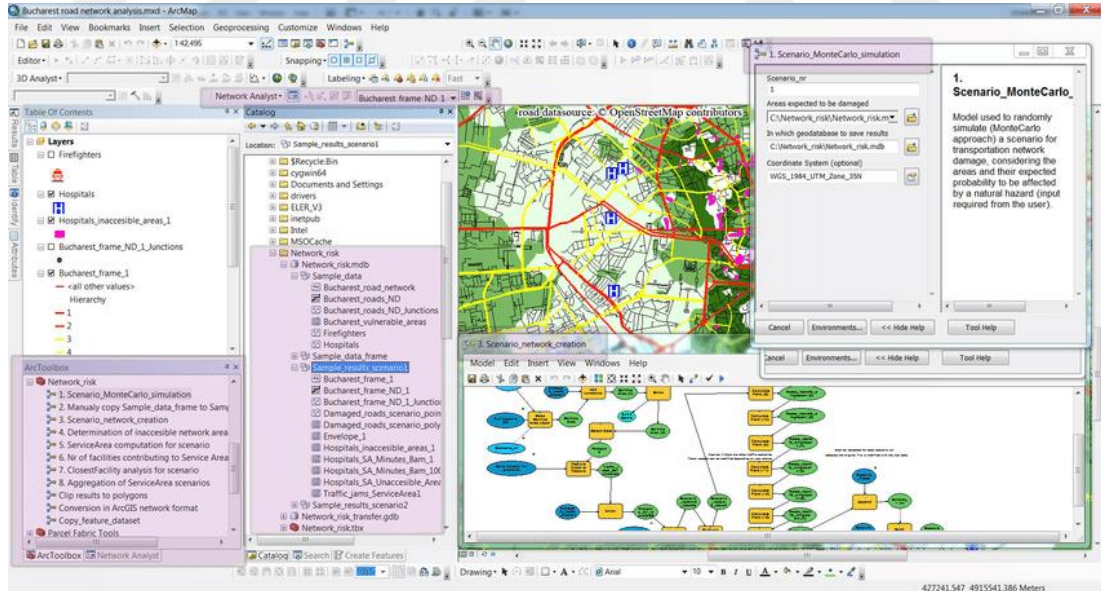
ArcGIS Mobile: Kullanıcıların arazi üzerinde detay verilerin toplanmasını kolaylaştıran CBS uygulamalarını içeren teknoloji aracıdır.

ArcGIS Engine: Sıradan uygulamaların dışında farklı yazılım dillerinin (C++, Java kullanımına ve yazılım bileşenlerinin bulunduğu kütüphanelere erişim imkanı vermektedir. CBS ile entegre çalışan uygulamalara grafiksel verileri oluşturma ve çizme, yapılandırma, üç boyutlu gösterim, analiz ve kod kütüphanesine erişim ve kullanım imkanı sağlamaktadır.

ArcGIS Online: Bu ara yüzde internet kullanımı ile uygulama geliştirme imkanı sunmaktadır. Önceden birçok kullanıcı tarafından oluşturulmuş haritaların paylaşıldığı ve görüntülediği platformdur.

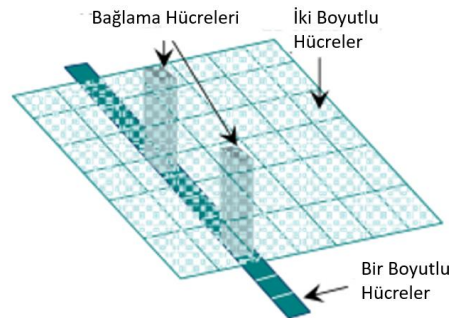
ArcGIS Desktop: CBS kullanıcılarına veriler üzerine her türlü ileri düzey işlem (haritalama, veri bilgi paylaşımı, verilerin analizi, verilerin görselleştirilmesi vb.) yaptırma imkanı sağlayan platformdur. ArcGIS Desktop kullanıcılarına, ArcInfo, ArcView ve ArcEditor gibi farklı arayüzler sunmaktadır. ArcView arayüzü kullanıcılarına daha pratik ve basit özellikler barındırırken, ArcInfo daha kapsamlı kullanıcı özellikleri bulundurmaktadır. ArcEditor ise diğerlerine kıyasla biraz daha fazla analiz ve düzenleme imkanları sunmaktadır. Kullanıcılar ihtiyaçlarına göre bu arayüzleri seçip işlemlerine devam etmektedir.

Yapılan bu çalışmada ArcGIS Desktop arayüzlerinden olan ArcMap arayüzü (Şekil 5.2) kullanılmıştır. Bu arayüz sayesinde grafik ve sözel (grafik olmayan) verilerin güncellenmesi, görüntülenmesi, analiz edilip sorgulanması ve grafik gösterimler ile raporlanması/sunulması imkanını sağlamaktadır.

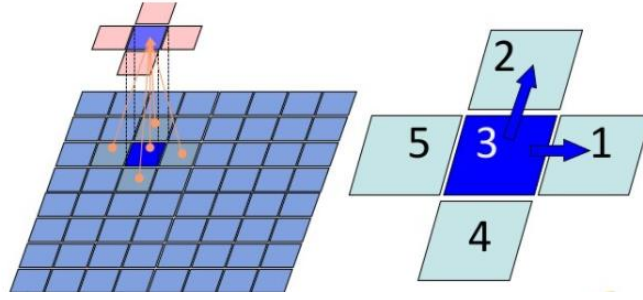


Şekil 5.2 : ArcGIS – ArcMap Arayüzü.

CADDIES (Cellular Automata Dual-DraInagE Simulation) 2015 yılında Exeter Üniversitesi Su Sistemleri ve Bilgisayar Bilimleri Merkezi'ndeki ekibin oluşturduğu basit taşkın modellemelerinin oluşturmaya çözüm sunan taşkın modelleme çalışmasıdır. CADDIES çalışmasının bir yazılımı olan Caflood programı, taşkın modellemeleri oluşturan bir program olup, iki veya tek boyutlu hücresel simülasyonda bulunan, açık kaynak kodlu, hızlı sonuçlar verebilmektedir. Gerçek zamanlı uygulamalarda hem drenaj ve hem de yüzey sistemlerindeki taşkın modellenmelerinde kullanılmaktadır. Şekil 5.3'de de gösterildiği gibi iki boyutlu seçenekte şehir ve diğer bölgelerde, tek boyutlu seçenekte ise borulama kanalizasyon sistemlerinde simülasyonlar oluşturabilmektedir.



Birçok farklı taşkın simülasyon yazılımları tam hidrodinamik modeller kullanmaktadır. Bu yazılımlar hassas çözümler üretebilmenin yanı sıra kullanıcılara ciddi maliyetler doğurabilmektedir. Öte yandan güncel donanımlar kullanılsa bile analizlerin tamamlanması oldukça fazla zaman almaktadır. Caflood'da hücresel bilgileri içeren algoritmalar bütüncül hidrodinamik denklemleri çözüme kavuşturmasa da Şekil 5.4'deki gibi çalışma göstererek, basit hücresel işlemlerin uygulanmasında oldukça hızlı sonuçlar vermektedir. Bir hücrenin taşkın modelindeki durumunun hesaplanması, komşu hücrelerin önceki ve sonraki durumlarına bağlı olduğu Caflood'un da bu paralellikte çalıştığı için modelleme çözümlerine hızlı sonuçlar verebilmektedir. Caflood çoğunlukla büyük ölçekli alanlardaki taşkın çalışmalarında yaklaşık çözümlerin üretilmesine olanak sağlamaktadır (Gibson, Guidolin, Chen ve Pasquale, 2018).



Şekil 5.4 : Hücresel Veriler Üzerindeki Analizin Çalışma Prensipleri.

5.1.2.1 Caflood Yazılımı Üzerine Genel Bilgiler

Caflood uygulamasını nihai amacı, kentsel yüzey akışının (ana sistem) kanalizasyon akışıyla (alt sistem) birleştirildiği durumlarda, ikili drenaj taşkın modellemesinin ele alınması için daha hızlı algoritmalar üretmek olan CADDIES projesinin bir parçasıdır. Caflood yazılımı, karmaşık fiziksel tabanlı denklemler ve matematiksel işlemler kullanmak yerine, su baskını olaylarını simüle etmek için basitleştirilmiş geçiş kurallarıyla Weighted Cellular Automata 2D (WCA2D) modelini uygulamaktadır. Ağırlıklar, toplam birimler arasında değiş tokuş edilen su miktarının bir kısmını temsil eder. Örneğin, minimum değer, merkezi birimin ağırlığını temsil edebilir. Bu durumu aşağıdaki formül ile izah etmektedir (5.1):

$$W_i = \frac{\Delta V_{0,i}}{\Delta V_{ter} - \Delta V_{min}}, W_0 = \frac{\Delta V_{min}}{\Delta V_{ter} - \Delta V_{min}} \forall i \in \{1 \dots m\} \quad (5.1)$$

Formül hesaplarında kullanılan W_i , i değerinin ağırlığıdır. Yazılımın güncelleme süresince su derinliğinin hesaplamak amacıyla aşağıdaki formül kullanılmaktadır (5.2):

$$d_0^{t+\Delta t} = d_0^t - \frac{\sum_{i=1}^m J_i^{t+\Delta t}}{A_0} + \frac{\Delta V_0^{in}}{A_0} - \frac{\Delta V_0^{out}}{A_0} \quad (5.2)$$

Formülde m , bitişik elemanların sayısıdır. A_0 (m^2) yanal birim alanın merkezidir. ΔV_0^{in} merkezi akım giriş birimi, ΔV_0^{out} merkezi son akım çıkış birimi d_0^t (m) $d_0^{t+\Delta t}$ (m)

merkezi zamana bağılı birim derinlik, $d_0^{t+\Delta t}$ (m) bir sonraki güncelleme merkezi birim derinliği (Gibson ve diğerleri, 2018).

Modelin ana detay başlıkları aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Merkezde bulunan hücreden başlayan su akışı altında bulunan komşu hücrelere (hücrelerin birbirine bağılı hacmi) akıtılan suyun oranı, minimal ve hız ağırlık tabanlı bir sistem kullanılarak hesaplanır.
- Merkezde bulunan hücre ile komşusunda bulunan hücreler arasındaki aktarımı olan suyun hacmi, basitleşmiş Manning formülü ve su akım koşulunun birleşimi olan tek bir denklem ile sınırlanmaktadır.
- Simülasyonu hızlandırmak gerektiğinde hem hız faktörü hem de zaman adımları adapte edilmektedir.

Caflood yazılımı, CADDIES Uygulama ve Programlama Arayüzü'nü (UPA) tek ve iki boyutlu modellerin oluşturulmasında kullanılmaktadır. CADDIES UPA, paralel hücre algoritmaları geliştirmek için kullanılabilecek standart bir dizi yöntem, veri yapısı ve değişken tanımlar. Program geliştiricilerinin hücre modelini oluştururken hücre model kodunu yalnızca bir kez kullanması gerekmektedir. CADDIES UPA, çalışma prensibi olarak herhangi bir kare-altıgen-üçgen hücre ızgarası için aynı hücre modellerini üretme ve mevcut kodu değiştirmeden ve kullanıcılara esneklik tanıyarak, yüksek performanslı hızlandırma tekniklerini kullanmaktadır. Windows PowerShell gibi bir komut satırı arayüzü kullanarak çalıştırılabilen ve 'cafllood' adında tek bir çalıştırılabilir dosyadan oluşmaktadır. Caflood yazılımı, bir simülasyonu birden fazla çekirdekli bir CPU'da veya grafik kartı GPU'sunda çalıştırabilmektedir. GPU kulanılan versiyonu ayrıca oluşturulmuştur ve CPU'ya kıyasla çok daha hızlı sonuçlar vermektedir. Ayrıca simülasyon çalışma çeşitliliği olarak, tek hassasiyetli veya çift hassasiyetli kayarak ilerleyen nokta değerleriyle de gerçekleştirilebilir. Özetle uygulamanın genel özellikleri aşağıdaki gibidir;

- Çoklu çekirdekli CPU veya grafik kartı GPU'su üzerinden çalışabilmektedir,
- Kompleks olmayan basit bir CSV kurulum dosyalarıyla kolayca kontrol veya yönlendirme yapılabilir,
- Değiştirilebilir bir zaman dilimi seçeneği sunar,
- Tüm çalışma alanında veya çalışma alanının belirli bir bölgesinde üç çeşit olayı (yağış, debi ve su seviyesinin artması veya düşmesi) simüle edebilmektedir,

- Çalışma alanı içerisinde tek bir pürüzlülük katsayısı kullanılmaktadır,
- Tek hassasiyetli veya çift hassasiyetli akış ile kayarak ilerleyen nokta değerleri kullanmak üzere hazırlanabilmektedir,
- Sadece belirlenmiş koordinat sistemine sahip ASCII/GRID DTM/DEM uzantılı dosyaları girdi olarak kullanılabilir,
- Seçilmiş bir zaman aralığında ve istenilen maksimum değerler için su derinliği ve hızının ASCII/GRID uzantılı raster görüntü dosyalarını üretebilir,
- Çalışma alanındaki seçilmiş bir noktadaki su derinliği ve hızının zamana bağlı grafiğiyle CSV uzantılı dosyalar üretebilmektedir.

Hazırlanan simülasyonu çalıştırmak için, CAFLOOD dosyası içerisindeki “caflood.exe” çalıştırıldığında aşağıda bulunan sıraya göre oluşturulması gereken üç ana başlık hazır olması gerekmektedir:

- 1) Giriş klasörü,
- 2) Kurulum dosyası,
- 3) Çıktı klasörü.

Kullanıcının, herhangi bir ada sahip olabilen ancak giriş klasörü içinde bulunması gereken bir virgülle ayrılmış değer (CSV) kurulum dosyaları oluşturması gerekir. Bu dosyalar, modelin bir simülasyonu çalıştırması ve bir veya daha fazla çıktı üretmesi için ihtiyaç duyduğu komutlar, dosyalar, talimatlar ve parametrelerin bir listesidir. Aşağıda, örnek bir kurulum dosyası bulunmaktadır (Gibson ve diğerleri, 2018).

[sample.csv]

1. Simulation Name	, Simple Sloping Domain Simulation
2. Short Name (for outputs)	, simple
3. Pre-proc Name	, simple
4. Version	, 1,0,0
5. Model Type	, WCA2Dv2
6. Time Start (seconds)	, 0
7. Time End (seconds)	, 43200
8. Max DT (seconds)	, 60
9. Min DT (seconds)	, 0.01
10. Update DT (seconds)	, 60
11. Slope Tolerance (%)	, 0.528
12. Max Iterations	, 4000000
13. Roughness Global	, 0.015
14. Ignore WD (meter)	, 0.005
15. Tolerance (meter)	, 0.0025

16. Boundary Ele (Hi/Closed-Lo/Open)	, -9000
17. Elevation ASCII	, simple.asc
18. Rain Event CSV	, Rain40mm60min.csv
19. Water Level Event CSV	,
20. Inflow Event CSV	,
21. Time Plot CSV	, WLpoints.csv, VELpoints.csv
22. Raster Grid CSV	, WDraster.csv, VELraster.csv
23. Output Console	, true
24. Output Period (s)	, 600
25. Output Computation Time	, true
26. Check Volumes	, true
27. Remove Proc Data (No Pre-Proc)	, true
28. Remove Pre-Proc Data	, true
29. Raster VEL Vector Field	, true
30. Raster WD Tolerance (meter)	, 0.01
31. Update Peak Every DT	, false
32. Expand Domain	, false
33. Ignore Upstream	, true
34. Upstream Reduction (meter)	, 1.0

Bu örnek dosya, tek bir simülasyon için çalıştırma talimatı vermektedir. Verilecek talimatlar, dosyanın adını, çıktı klasörlerini kaydetmek için kullanılacak ön ek adını, bazı modellerle aşamasındaki parametrelerini (pürüzlülük katsayısı, zaman adımı, giriş ve çıktı kurulum dosyaları vb.) içermektedir. Yazılım tarafından ihtiyaç duyulan ve oluşturulan girdi ve çıktı dosya verileri belirtilmelidir. Her komut satırının detayları aşağıda açıklanmıştır:

1. Simulation Name, simülasyonda kullanılacak İngilizce karakterli tam adıdır.

2. Short Name, seçilmiş simülasyon adının kısa adıdır. Verilen bu ad, çıktı dosya adlarının bir ön eki olarak kullanılacaktır. Çıktı dosyalarının son eki, girdi ve çıktı kurulum dosyasının adından ve verilerin oluşturulduğu zaman ile maksimum değerler için “PEAK” adı arasında bir ön addan oluşmaktadır. Örnek dosyada, tüm veri çıktı dosyaları (hız, su derinliği, vb.) otomatik olarak simple_WDraster_1800.asc, simple_VELraster_PEAK.asc, simple_WLpoints.csv, vb. olarak adlandırılacaktır.

3. Pre-proc Name, kısa ad ile benzerdir. Modelleme çalışmasındaki ilk aşamada oluşturulan öden işlenen dosyalara verilmek üzere kullanılmaktadır. Bu ad, modellenecek bir barajın veya havzanın simüle edilmesi için birden farklı olay olması durumunda oluşan senaryoların karışmaması için verilen addır. Böylelikle simüle edilen çalışmalar karışıklık göstermeden hızlı bir şekilde modellenebilmektedir.

4. Version, kullanılan yazılımın aktif olan sürümünü ifade etmektedir. Girdi verisi olarak farklı parametrelerle simülasyon oluşturulduğunda farklı sürümlerde kullanılan modelin ayırt edilmesi içinde kullanılabilir. Yazılımı geliştirenlerce bu parametrenin modelleme çalışmasına ekstra bir etki veya katkısı yoktur ve '1.0.0' olarak kalması önerilmiştir.

5. Model Type, simülasyon çalışmasında aktif kullanılan taşıma modelini ayırt etmek için kullanılmaktadır. Caflood yazılımı sağladığı bu imkanla birden çok modeli çalıştırabilecek şekilde tasarlanmıştır. Mevcut olan bu sürüm iki modeli çalıştırabilir: WCA2Dv1 ve WCA2Dv2. WCA2Dv1, ağırlıklı hesap tabanlı modelin kullanımı aktif devam eden ilk sürümüdür. WCA2Dv2, yukarıda da açıklanan ve kullanıma sunulan şuan için en güncel sürüm modelidir.

6. Time Start (seconds), simülasyonda değer olarak çoğunlukla sıfır değeri kullanılmaktadır. Bu durum, simülasyonun başlangıcına karşılık gelen başlangıç zaman değeridir. Öte yandan, istenilen bir zaman dilimi yazılarak da simülasyonun o zamanda başlaması sağlanabilmektedir.

7. Time End (seconds), başlangıç değeri girilen simülasyonun sona erme zamanıdır.

8. Max DT (seconds), simülasyonda kullanılan DT zamanının üst sınır değeridir. DT aşağıdaki gibi formülellenmiştir (5.3):

$$\Delta t = \frac{\Delta l}{v_{max}} \cdot \alpha \quad (5.3)$$

Burada Δl bir hücrenin uzunluğu, v_{max} etki alanındaki maksimum hızdır. (α daha sonra anlatılacaktır). Hız değeri sıfır değerine yakınsadığında, zaman değeri sonsuza yakınsamaktadır. Böylelikle yapılan hesaplama çalışmayıp duraksayacaktır. Bu sebeple, DT değeri bir üst sınır değeri ile tanımlama yapılması gerekmektedir. DT değeri, yazılım tarafından belirlenen her güncelleme DT saniyesinde otomatik güncellenecektir. Yazılım geliştiricilerin önerisi bu üst sınır değeri 60 saniye alınmasıdır.

9. Min DT (seconds), su akış hareketlerini doğru anda yakalayabilmek için değiştirilebilir zaman dilimi kullanımına izin vermektedir. Çalışma prensibinde

tanımlanan maksimum hız arttırıldıkça zaman aralığı da azalacaktır. Maksimum DT değerini aksine, hız yüksek olursa çok küçük bir zaman dilimi sonucu ortaya çıkacaktır ve bu durum model performansını önemli ölçüde etkilecektir. Böylelikle, seçilen değer minimum olmasına önem gösterilmektedir. Yazılım geliştiricilerin önerisi, bu alt sınır değer 0.01 saniye alınmasıdır.

10. Update DT (seconds), Δt hıza göre değişir. Teorik olarak her zaman adımında güncellenmelidir; ancak her zaman adımında Δt 'yi hesaplamak zaman alacak bir iştir. Kullanıcı, aynı Δt t'nin kullanıldığı güncelleme DT adlı bir aralık ayarlayabilir. Her aralığın sonunda yeni Δt hesaplanır. Yazılımın bu versiyonunda değer 60'ın üzerinde olması istenmemiştir ve 10, 20 veya 30 saniye gibi 60 tamsayı olmalıdır. Yazılım geliştiricileri, performansı etkilememek ve daha iyi doğruluk sağlamak için 60 saniye kullanılmasını önermektedir.

11. Slope Tolerance (%), WCA2Dv2 modelinde, yazılımın her güncelleme aralığında kullandığı Δt zaman adımı aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır (5.4):

$$\Delta t = \frac{\Delta x^2}{4} \min \left(\frac{2n}{R^{5/3}} S^{1/2} \right), S > \sigma \quad (5.4)$$

Fakat bu formülün dezavantajları vardır, iki hücre arasındaki eğim sıfır olma eğiliminde olduğunda, zaman adımı sıfıra ilerler. Bu durum eğim toleransı olan σ değerini, su akış eğiminin tolerans değerden daha az olacağı tüm hücreleri yok saymak için kullanacaktır. Burada temel kural, çalışma alanının ortalama eğim yüzdesinden daha küçük bir değer kullanmaktır. Örneğin, ortalama eğim değeri %11,23 çıkan bir bölge için eğim toleransının değeri 1,123 olması gerekmektedir.

12. Max Iterations, bu parametre yalnızca DT'nin çok küçük bir değer oluyor olması durumunda çalışan simülasyonun durduğundan emin olmak için bir verilen bir değerdir.

13. Roughness Global, çalışma alanında seçilen uygun parametreler sonucu hesaplanmış ve tüm hücreler için kabul edilecek pürüzlülük değeridir.

14. Ignore WD (meter), bu parametre, çok sığ suya sahip hücreler için akış dinamiğini göz ardı ederek modeli hızlandırmak için kullanılmaktadır. Simülasyon sırasında, belirli bir zaman adımında bir hücrenin su derinliği (WD) < 0,005 m ise model, hücre için hiç bir çıkış olmadığını varsayar ve hesaplamayı atlar. Ancak, çevredeki

hücrelerden her zaman içeri su akışı olabilir. Başka bir deyişle, belirli bir hücreden su çıkışı olması için $WD \geq 0,005$ m koşulunun sağlanması gerekmektedir.

15. Tolerance (meter), simülasyonu hızlandırmak için kullanılan başka bir parametredir. Simülasyon sırasında, iki komşu hücrenin su seviyesi farkı toleranstan daha düşükse, cdflood uygulaması bu çift arasında çıkışın olmadığını varsayar ve hesaplamayı atlar.

16. Boundary Ele (Hi/Closed-Lo/Open), bu parametre çalışma alanının sınır koşulunun belirlenmesine imkan sunmaktadır. Çalışma alanındaki havzanın alt derece bir sınır elemanları varsa, oluşacak suyun akışıyla belirtilen bu alanı terk etmeye imkanı olacaktır. Böylelikle çıkan hacimle kayıp hacim benzer olacaktır. Fakat, sınır hücre değerini yüksek bir değer ayarlamak, alanı sanal olarak kapatmak gibidir ve havzanın akış aşağısında veya alanın çıkış noktasında su birikmeye devam eder. Burada amaç çok düşük ve negatif bir değer (örneğin -9000) belirlemek önerilmiştir.

17. Elevation ASCII, arazi dijital yükseklik modeli dosyası olup, ASCII dosya formatında olması önerilmiştir.

18. Rain Event CSV, bir girdi kurulum dosyasıdır ve tam etki alanına veya belirli bir alana uygulanabilecek yağış durumunu gösterir. Yağmur zamana göre değişebilir şekilde ve mm/saat olarak gösterilir. Her koşul tek bir CSV'den oluşmaktadır. Birden fazla dosya programa girdi oluşturularak birden fazla koşul çalıştırabilmektedir.

19. Water Level Event CSV, çalışma alanının belirli bir kısmı veya tamamını kapsayacağı su derinliğini gösteren bir girdi kurulum dosyasıdır. Böylelikle, belirlenmiş bir zaman aralığında metre cinsinden belirlenmiş su derinliğini göstermektedir. Her koşul tek bir CSV'den oluşmaktadır. Birden fazla dosya programa girdi oluşturularak birden fazla koşul çalıştırabilmektedir.

20. Inflow Event CSV, tam etki alanına veya belirli bir alana uygulanabilen bir içeri su akış olayını belirtir. Giriş, zamana göre değişebilir ve m³/s olarak gösterilir. Dikkat edilmesi gereken şudur ki, bu girdi içeri akış değeri enterpolasyonu ile hesaplandığından, yağış olayından farklı olmaktadır. Her koşul tek bir CSV'den oluşmaktadır. Birden fazla dosya programa girdi oluşturularak birden fazla koşul çalıştırabilmektedir.

21. Time Plot CSV, bu bir çıktı kurulum dosyasıdır ve belirli bir fiziksel değişkenin (örn. su derinliği, hızı, vb.) zamanla değişen değerlerinin kaydedilmesi gereken etki alanındaki noktaları belirtir. Her zaman grafiği, tek bir CSV dosyasıyla tanımlanır ve bir zaman aralığı kullanarak birden çok noktada yalnızca tek bir fiziksel değişkeni kaydedebilir. Üretilen veri çıktısı bir CSV dosyasıdır.

22. Raster Grid CSV, simülasyon sonunda maksimum değerleri ve nihai değerleri kaydetmek mümkündür. Her raster taraması tek bir CSV dosyasıyla tanımlanır ve yalnızca tek bir değişken kaydedebilir. Üretilen veri çıktısı bir ASCII dosyasıdır.

23. Output Console, verilebilecek değerler True veya False olabilmektedir. Seçilen değer True ise, simülasyonun ilerleyişi konsola belirtilen her periyotta saniye olarak görüntülenir. False ise hiçbir şey görüntülenmez.

24. Output Period (s), bu kavram ekranda görüntülenen çıktı sıklığıdır. Simülasyonun başlangıcından itibaren her belirtilen saniyede bir güncellenir. Oluşan çıktılar simülasyonun uzunluğuna bağlıdır.

25. Output Computation Time, bu koşulda True veya False seçilir. Parametre "true" olarak ayarlanırsa hesaplama süresi ekrana yazdırılır. Ters durumda yazdırılmaz.

26. Check Volumes, bu koşulda True veya False seçilir. Kütle korunumuna uyulduğunu veya en azından belirli bir hata içinde korunduğunu kontrol etmektedir.

27. Remove Proc Data (No Pre-Proc), bu koşulda True veya False seçilir. Bu parameter aktifleştirildiğinde, tüm simülasyon esnasında oluşturulan geçici CADDIES-2D verileri temizlenir. Ancak, sadece ön işleme adımında oluşturulan dosyalar bu komut kapsamına girmemektedir.

28. Remove Pre-Proc Data, bu koşulda True veya False seçilir. Parametre "true" olarak ayarlanırsa, ön işleme sırasında oluşturulan tüm dosyalar da silinir.

29. Raster VEL Vector Field, bu koşulda True veya False seçilir. Bu komut çalıştırılmadığında ve hız için kullanılacak bir "Raster Grid" çıktı dosyası olduğu durumda, su akışı olup olmadığına bakılmaksızın her hücre için su hızı ve açıl su hızı olacak şekilde iki çıktı ASCII uzantılı dosya oluşturulur. Öte yandan, bu komutun etkinleştirilmesi durumunda, her satırın bir hücrenin hız bilgisini içerdiği yalnızca tek bir çıktı CSV dosyası oluşturulur. Oluşan parametreler şunlardır: raster hücre

merkezinin X ve Y koordinatları, su hızı, radyan ve derece cinsinden açı. Bu komut, hücrelerin hızını bir raster grid yerine CBS yazılımında vektörler olarak çizmek için kullanılır.

30. Raster WD Tolerance (meter), Caflood simülasyonu çalıştırdığında, çıktıyı kaydetmeden önce su olan ve su olmayan hücreler için bir eşik değeri ayarlamak için bu komut girilir. Örneğin, 0,01 m'den daha az su derinliğine sahip tüm hücreler su bulunan olarak işlem görecektir ve bu nedenle bu hücreler için hiçbir su derinliği dışı aktarılmayacaktır. Tüm çıktıları bu parametreden, yani olası derinlik ve hız çıktılarından etkilenir. Kullanıcı, bu parametrenin değerinin, sayısal yükseklik modelinin dikey doğruluğuna, arazi tipine, grid çözünürlüğüne, yağış kalitesine ve sızma tipine güçlü bir şekilde bağlı olduğunu dikkate almalıdır.

31. Update Peak Every DT, bu koşulda True veya False seçilir. Bu komut etkinleştirildiğinde, her zaman adımında bir fiziksel değişkenin maksimum/tepe değerleri kaydedilir. Maksimum değerler yalnızca her güncelleme DT'sinde kaydedilir (genellikle 60 saniye). Yapılan çalışmalarda, bu komutun etkinleştirildiğinde doğruluk üzerinde önemsiz bir etkisi olduğunu ancak simülasyonun çalışma süresi üzerinde büyük bir etkisi olduğunu göstermektedir.

32. Expand Domain, bu koşulda True veya False seçilir. Bu komut etkinleştirilmediğinde, hesaplama alanı tam etki alanıdır, yani yükseklik verisine sahip her hücre işlenir. Bu komut etkinleştirildiğinde, hesaplama alanı verilen olaylarla aynı olacak şekilde ayarlanır ve su hesaplama alanının sınırına ulaştığında genişler. Bu komut, simülasyonun küçük bir alandan içeri akış olayı gibi sınırlı sayıda noktasal su kaynağına sahip olduğu durumlarda çalışma süresinden tasarruf etmek için kullanışlıdır.

33. Ignore Upstream, bu koşulda True veya False seçilir. Bu komut etkinleştirildiğinde, model suyun durgun olduğu yüksekliği tanımlar, yani bir güncelleme adımı sırasında herhangi bir çıkış oluşturulmaz. Yeni bir yükseklik tanımlandığında, yüksekliğin üzerinde olan tüm hücreler artık hesaplama için dikkate alınmaz. Bu, araziye ve modellenen olayların tipine bağlı olarak bir miktar çalışma süresi kazandırabilir.

34. Upstream Reduction (meter), ayarlanmış her bir güncelleme adımında metre cinsinden yüksekliği azaltacak kadar değer kullanılır.

CSV girdi dosyasındaki komut satırlarının sıralaması önemli değildir, herhangi bir sırada olabilirler. Eğer, bir komut satırında bir değer varsa bir sonraki satıra geçiş yapmaktadır. Simülasyon, girdi dosyasındaki herhangi bir komut satırını tanıyamıyorsa, hesaplama otomatik duruyor olacak ve yazılım hata döndürecektir. Aşağıda bulunan, WDraster.csv adlı Raster Grid CSV için bir çıktı dosyası örneği bulunmaktadır;

[WDraster.csv]

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1. Raster Grid Name | , Simple Sloping Domain WD |
| Raster Grid | |
| 2. Physical Variable | , WD |
| 3. Peak | , true |
| 4. Period (seconds) | , 0 |

Her talimat satırının ayrıntıları aşağıdaki gibi açıklanmıştır;

- 1. Raster Grid Name**, raster grid dosyasını tanımlamak için kullanılan tam addır.
- 2. Physical Variable**, ASCII grid şeklinde kaydedilecek olan fiziksel değişkendir. Seçenekler şunlardır: su derinliği (WD), su seviyesi (WL) ve "açısal" hız (VEL).
- 3. Peak**, bu koşulda True veya False seçilir. Bu komut etkinleştirildiğinde simülasyon, seçilen fiziksel değişkenin tepe/maksimum değerleri ile bir raster grid ezberler ve üretir.
- 4. Period**, raster grid için simülasyonun başlangıcından itibaren belirtilen her saniye periyodunda çıktı üretiyor olacaktır. Örneğin; bir çalışmada kullanıcı her 20 dakikada bir çıktı almak isterse 1200 saniye kullanması gerekecektir.

WLpoints.csv adlı Time Plot CSV için bir çıktı dosyası örneği aşağıdaki gibidir;

[WLpoints.csv]

- | | |
|----------------------|----------------------------|
| 1. Time Plot Name | , Simple Sloping Domain WL |
| Points | |
| 2. Physical Variable | , WL |
| 3. Points Name | , 1, 2 |

4. Points X Coo	, 264682, 264538
5. Points Y Coo	, 664581, 664665
6. Period (seconds)	, 60

Her komut satırının ayrıntıları aşağıdaki gibi açıklanmıştır;

1. **Time Plot Name**, zaman grafiği dosyasını tanımlamak için kullanılan tam addır.
2. **Physical Variable**, veri çıkışı CSV dosyasına kaydedilecek olan fiziksel değişkendir. Seçenekler şunlardır: su derinliği (WD), su seviyesi (WL) ve "açısal" hız (VEL).
3. **Points Name**, fiziksel değişkenin zamanla değişen değerlerinin kaydedileceği yerleri tanımlayan bir isim listesi.
4. **Points X Coo**, noktaların X koordinatlarıdır. Koordinat sayısı, 'Nokta Adı' listesindeki isim sayısı ile aynı olmalıdır.
5. **Points Y Coo**, noktaların Y koordinatlarıdır. Koordinat sayısı, 'Nokta Adı' listesindeki isim sayısı ile aynı olmalıdır.
6. **Period**, raster grid için simülasyonun başlangıcından itibaren belirtilen her saniye periyodunda çıktı üretiyor olacaktır. Örneğin; bir çalışmada kullanıcı her 20 dakikada bir çıktı almak isterse 1200 saniye kullanması gerekecektir.

Rain 40mm 60ml.csv adlı Rain Event CSV parametresi için bir çıktı kurulum dosyası örneği aşağıda bulunmaktadır;

[Rain40mm60min.csv]

1. Event Name	, Rain Intensity for An Hour
2. Rain Intensity (mm/hr)	, 40, 0
3. Time Stop (seconds)	, 3600, 7200
4. Zone (tlx tly w h)	,

Her komut satırının ayrıntıları aşağıdaki gibi açıklanmıştır;

1. **Event Name**, yağış olayını tanımlamak için kullanılan tam addır.
2. **Rain Intensity**, belirli zamanlarda mm/saat cinsinden düşen yağış miktarını gösteren bir değerler listesidir.
3. **Time Stop**, bu değer, 'Rain Intensity' değerine karşılık gelen tüm değerlerin simülasyon içerisinde kullanılmak üzere bitireceği saniye cinsinden bir değer

olacaktır. Bu değer, 'Rain Intensity' değeri boyutuyla eş değer uzunlukta olmalıdır.

4. **Zone**, modelin üretileceği alanı kapsamaktadır. Bu alan, raster görüntünün sol üst köşesindeki x ve y koordinatları ile beraber genişlik ve yükseklik boyutlarının tanıtılması gerekmektedir. Bu tanıma değer atanmazsa simülasyon tüm bölgeyi kapsayacak şekilde uygulanacaktır.

Windows ve UNIX'te caflood programının komut satırı yürütme örneği sırasıyla şunlardır:

- `caflood /sample C:\Indir sample.csv C:\Outdir`
- `caflood -sim C:\Indir sample.csv C:\Outdir`

Daha önce açıklanan zorunlu üç klasör (giriş klasörü, kurulum dosyası, çıktı klasörü) dışında, program Windows işletim sisteminde "/" ön eki ve UNIX işletim sisteminde "-" ön eki ile tanımlanan çoklu isteğe bağlı argümanlarla başlatılabilir. Bu durumda, istenen modelin ağırlıklı hücre 2B modeli olduğunu belirtmek için "WCA2D" argümanı kullanılır; bu argüman olmadan hiçbir simülasyon yürütülmeyecektir (Gibson ve diğerleri, 2018).

5.1.2.2 Caflood Yazılımın Baraj Yıkılma Uygulamaları

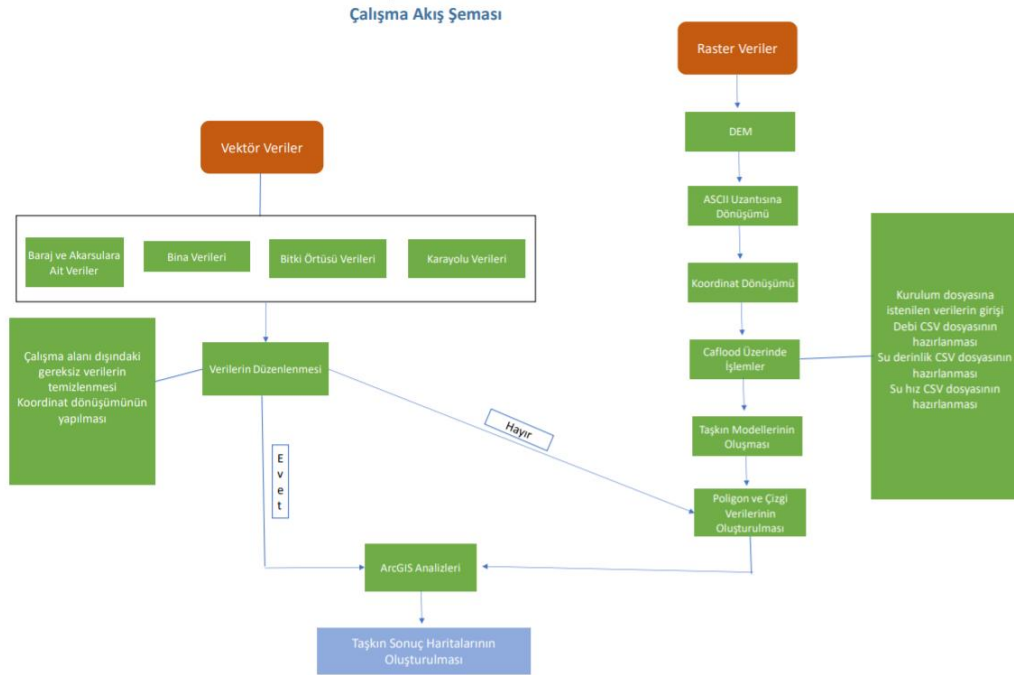
Caflood baraj yıkılma analizleri kapsamında Gibsona, Savica, Djordjevica, Chena, Fraserb ve Watson yapılan çalışmada LIDAR görüntüleri kullanılarak GPU ve CPU üzerinden analiz tamamlama performansları incelenmiştir.

Khoury, Gibson, Savic, Chen, Lyroudia, Langford ve Wigley tarafından yapılan çalışmada, kentsel ve kırsal alanlarda sel risklerini azaltmak için simülasyon gösterimleri yapılmıştır. Çalışmada Birleşik Krallıkta bulunan Millbrook köyünde selin azaltılması oyun ve simülasyonları caflood aracılığı ile yapılmıştır. Kullanıcılar oyun simülasyonunda akıl yürütmeleri istenmiş ve sel durumunda karışılacakları durumlar gösterilmiştir.

Gibson, Chen, Khoury, Lyroudia , Stewart, Wood, Savic' ve Djordjevic yapılan çalışmada kentsel alanların iklim değişiklikleri nedeniyle sellerin meydana gelebilecek durumları incelenmiştir. Çalışma Birleşik Krallığın güneyinde yer alan Torbay ve Paignton bölgelerinde Caflood aracılığı ile simüle edilmiş olası taşkın durumlarında su derinlikleri ve süreleri modellenmiştir.

6. YAPILAN ÇALIŞMALAR

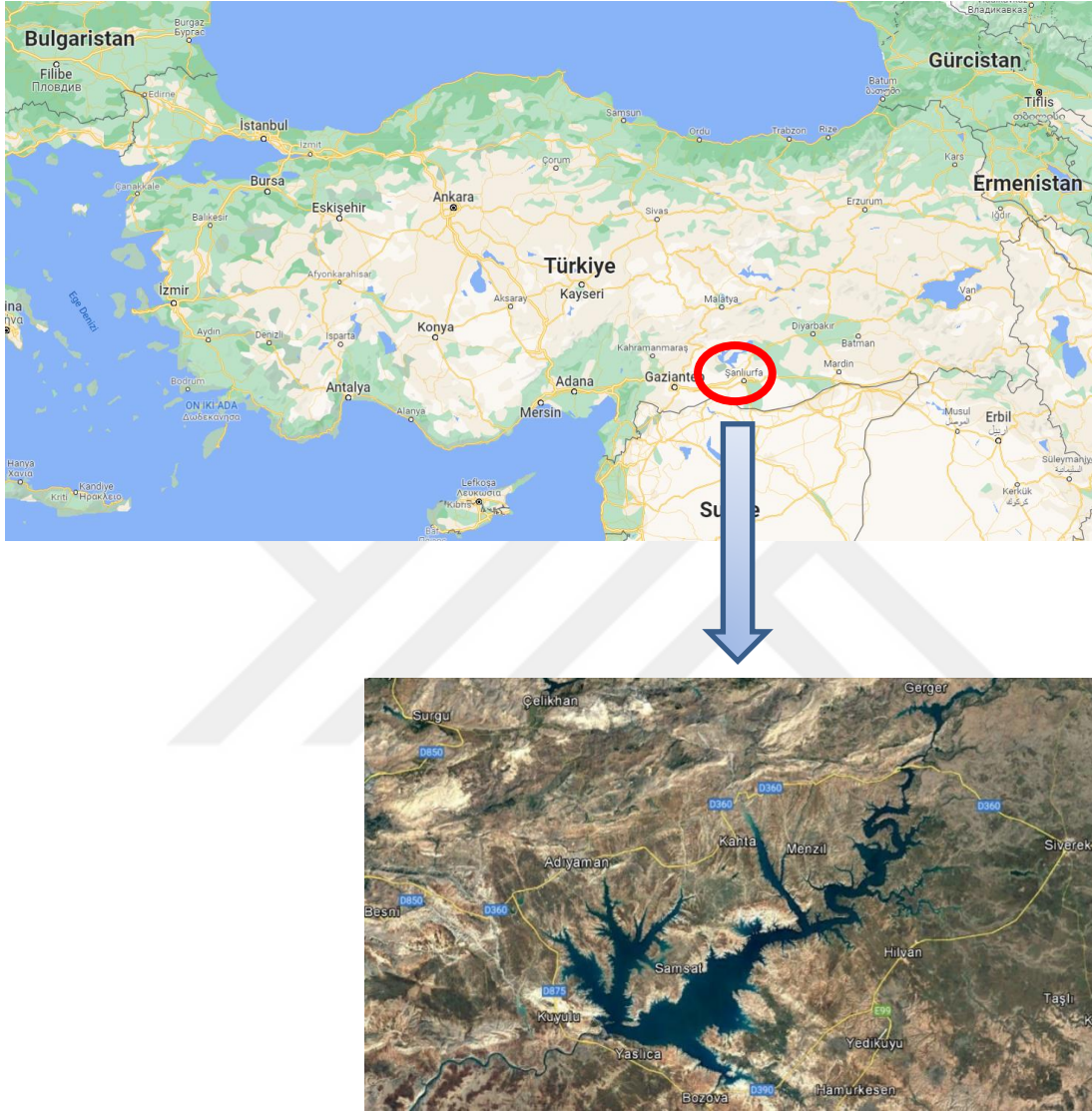
Bu çalışmada (Şekil 6.1) taşkın modellemesinde, raster verileri aşamasında ilk önce Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) üzerinde koordinat dönüşümü ve düzenlenmeler yapılmıştır. Caflood yazılımına girdi dosyaları oluşturulmuş ve yazılıma girilen kod ile hidrolik modeller elde edilmiştir. Elde edilen modellerin shape file dosyalarına dönüşümü gerçekleştirilmiştir. Öte yandan, vektör verileri üzerinde de düzenleme ve dönüşümler yapılmış, oluşan shape file uzantılı taşkın modeli ile ArcMap üzerinde analizleri gerçekleştirilip, taşkın yayılım haritaları çıkarılmıştır.



Şekil 6.1: Çalışma Kullanılan Akış Şeması.

6.1 Çalışma Alanı

Çalışma havzası olarak seçilmiş Atatürk Barajı, Türkiye'nin Şanlıurfa Bozova ilçesinde Adıyaman ilçesine 51 km uzaklıkta bulunmaktadır (Şekil 6.2).



Şekil 6.2: Atatürk Barajının Konumu.

Atatürk Barajı, yapıldığı dönem itibariyle dünya da gövde hacmi olarak 4., su hacmi açısından 9. Sırada yer almaktadır. Atatürk Barajı, 1983 yılında inşasına başlanan ve fiziki özellikleri Şekil 6.3'de gösterilen, Türkiye'deki en büyük kaya dolgu barajı olmuştur. Aynı zamanda kurulu gücü 2400 MW, 8.9 milyar kWsaat ürettiği enerji ile ülkemizdeki en büyük hidroelektrik santrali olmuştur (Özdemir, Alpat, Barışeri, Böncü, Ergin, Bildirici, Özgür ve Çimen, 2007).

Atatürk Barajındaki Fiziki Büyüklükler:

Drenaj Havzası	: 92.338 km ²
Yıllık Ort. Su akışı	: 26.654 milyon m ³
Baraj Tipi	: Kil çekirdekli kaya dolgu
Talvegden / Temelden yükseklik	: 169 m / 184 m
En yüksek su kotu	: 542,00 m
Kret kotu	: 549,00 m
Kret uzunluğu	: 2000 m
Faydalı su depo hacmi 526 kotunda	: 11,0 milyar m ³
Toplam su depo hacmi 542 kotunda	: 48,7 milyar m ³
Göl Alanı	: 817 km ²
Hidrolik türbinler (8 Ad. 300 MW)	: Düşey eksenli Francis tipi
Toplam kurulu güç	: 2.400 MW
Yıllık enerji üretimi	: 8,9 milyar kWh
Yapılan muhtelif Kazılar	: 50.200.000 m ³
Yeraltı Kazıları	: 579.800 m ³
Toplam Dolgu	: 84.500.000 m ³
Dökülen Beton miktarı	: 3.000.000 m ³
Betonarme Demiri	: 114.000 ton

Şekil 6.3 : Atatürk Barajının Fiziki Özellikleri (Özdemir ve diğerleri, 2007).

Atatürk Barajı (Şekil 6.4), aktif fay hatlarından olan Doğu Anadolu Fay hattının yakın bölgesinde bulunmaktadır.

Barajın bulunduğu bölgede ortalama sıcaklık 18 C° olduğu gözlemlenmiştir. Yaz aylarının kurak geçtiği, diğer mevsimlerin nispeten daha fazla yağışlı olduğu bilinmektedir.

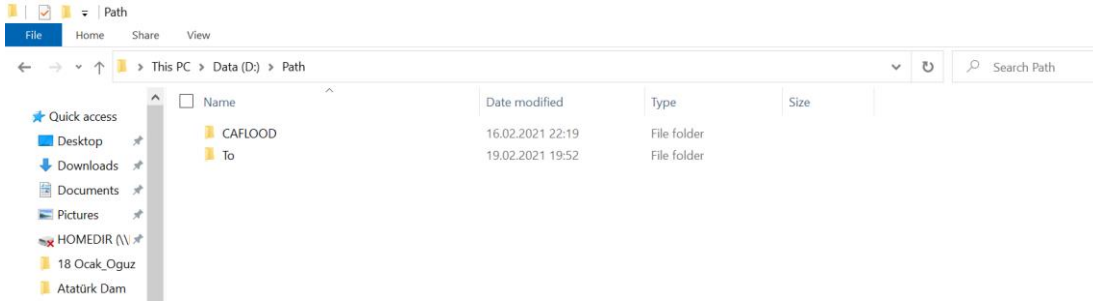
Bölgede sulama projelerinin hayata geçirilmesiyle binlerce insana iş istihdamı, tarım faaliyetler artış ve mahsül çeşitliliği sağlanmıştır.



Şekil 6.4 : Atatürk Barajı Havadan Görünüm

6.2 CADDIES 2D – Caflood Ortamında Yapılan İşlemler

Caflood yazılımını çalıştırmadan önce Şekil 6.5’de gösterildiği gibi bilgisayar sürücülerinden herhangi birinde dosya yolu (Path dosyası) oluşturulur.



Şekil 6.5 : Caflood Dosya Yolu.

“CAFLOOD” dosyası içerisine “caflood.exe” çalıştırılacak dosyası konulmalıdır. Yapılan çalışmada Exeter Üniversitesinin herkese açmış olduğu dosyalardaki “caflood.exe” dosyası bilgisayarın CPU ağırlıklı işlemciyle çalıştırılmak üzere Şekil 6.6’da gösterildiği gibi programlanmıştır. Bu dosya kullanıldığında yapılan modelleme analizleri günleri hatta haftaları alabilmektedir.

Ad	Durum	%13 CPU	%76 Bellek	%3 Disk	%0 Ağ	%0 GPU	GPU altyapısı	Güç kullanımı
Windows PowerShell (3)		%12.4	3,898.8 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Orta
Hizmet Ana Bilgisayar: SysMain		%0	80.5 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Antimalware Service Executable		%0	49.5 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
ESET Service (32 bit)		%0.3	35.3 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Görev Yöneticisi		%0.2	28.5 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Windows Gezini		%0	27.8 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Hizmet Ana Bilgisayar: Tanı Ilke...		%0.4	17.6 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Masaüstü Pencere Yöneticisi		%0	9.3 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Hizmet Ana Bilgisayar: DCOM S...		%0	8.8 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Hizmet Ana Bilgisayar: Uzaktan ...		%0	6.1 MB	0 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Microsoft OneDrive (32 bit)		%0	5.5 MB	0.1 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük
Hizmet Ana Bilgisayar: Window...		%0	5.4 MB	0.1 MB/sn	0 Mb/sn	%0		Çok düşük

Şekil 6.6 : CPU ve Bellek Ağırlıklı “caflood.exe” Dosyasının Kapladığı İşlem Hacmi.

Yapılan araştırmalar neticesinde yazılımın kurucularından olan Dr. Michael Gibson’a ulaşarak “caflood.exe” dosyasının daha hızlı işlemler yapılmasına imkan sağlayan grafik işlemci GPU ağırlıklı olan sürümü alınmış ve modelleme çalışmaları bu sürüm ile daha kısa sürede oluşturulmuştur.

Caflood yazılımının çalıştırılması için girdi dosyaları “To” dosyası içerisinde olmalıdır. “To” dosyası içerisinde “Input” ve “Output” dosyaları bulunmaktadır. “Input” girdi dosyası içerisinde ASCII uzantılı Sayısal Yükseklik Modeli, csv uzantılı “setup”, “InflowBC”, “RainBC”, “VELRaster” ve “WDRaster” dosyaları bulunmaktadır. “Output” dosyası içerisinde girdi aşamasında herhangi bir dosya bulunmamalıdır. Analiz sonucu oluşan yeni veriler “Output” dosyası içerisine otomatik olarak akacaktır.

InflowBC dosyası içerisinde barajın yıkılması durumunda oluşacak debi bilgilerini içermektedir. Barajın debisi, modelin oluşturulma sıklığı olan 3 saatte bir olacak şekilde saniye biriminde girişleri yapılmıştır. Debi bilgisi baraja dair daha önceden birimi m³/sn olarak alınmıştır. Debinin gerçekleşeceği nokta barajın yıkılması planan bölümü olan baraj bentini kapsayacak şekilde koordinatlar x, y, w ve h cinsinden belirlenmiştir.

VELRaster dosyası içerisinde barajın yıkılması sonucu oluşan taşkın su hızı modellerinin oluşması için konulmuştur.

WDRaster dosyası içerisinde barajın yıkılması sonucu oluşan taşkın suyunun derinlik modellerinin oluşturulmasıdır.

Setup dosyası içerisinde yukarıda açıklamaları yapılmış Şekil 6.7’deki alt parametrelerden oluşmaktadır.

[setup.csv]

	A
1	Simulation Name, Ataturk_Baraji
2	Short Name (for outputs), Ataturk_Brj
3	Version, 1, 0, 0
4	Model Type, WCA2D
5	Time Start (seconds), 0
6	Time End (seconds), 86400
7	Max DT (seconds), 60
8	Min DT (seconds), 0.01
9	Update DT (seconds), 60
10	Alpha (Fraction DT 0.0-1.0), 0.1
11	Max Iterations, 4000000
12	Roughness Global, 0.08625
13	Ignore WD (meter), 0.005
14	Tolerance (meter), 0.0025
15	Slope Tolerance (%), 1.123
16	Boundary Ele (Hi/Closed-Lo/Open), 0
17	Elevation ASCII, dem_ataturk_baraji.asc
18	Rain Event CSV,
19	Water Level Event CSV,
20	Inflow Event CSV, InflowBC.csv
21	Time Plot CSV,
22	Raster Grid CSV, Wdraster.csv, VELraster.csv
23	Output Console, true
24	Output Period (s), 10800
25	Output Computation Time, true
26	Check Volumes, true
27	Remove Proc Data (No Pre-Proc), true
28	Remove Pre-Proc Data, true
29	Raster VEL Vector Field, true
30	Raster WD Tolerance (meter), 0.01
31	Update Peak Every DT, false
32	Expand Domain, true
33	Ignore Upstream, true
34	Upstream Reduction (meter), 0.05
35	

Şekil 6.7 : Setup Dosyası.

Setup dosyası içerisinde bulunan tanımlamalar şu şekilde oluşturulmuştur;

Simulation Name: Simülasyon adı “Ataturk_Baraji” olarak girilmiştir.

Short Name (for outputs): Kısa ad (takma ad) “Ataturk_Brj” olarak girilmiştir.

Version: Versiyon olarak yazılımın ücretsiz açık kaynaklı kullanım sürümü 1,0,0 olarak girilmiştir.

Model Type: Model tipi olarak ağırlıklı 2 boyutlu hücre modeli olan WCAD2D modeli kullanılmıştır.

Time Start (seconds): Analizin başlayacağı zaman olarak 0. saniyeden başlangıcı yapılmıştır.

Time End (seconds): Analizin biteceği zaman olarak 86400. saniyede sona ermesi planlanmıştır.

Max DT (seconds): Maksimum hız limiti olarak yazılım geliştiricelerinin de önerdiği şekilde 60 saniye olacak şekilde seçilmiştir.

Min DT (seconds): Minimum hız limiti olarak yazılım geliştiricelerinin de önerdiği şekilde 0.01 saniye olacak şekilde seçilmiştir.

Update DT (seconds): DT değerinin işlem içerisinde güncellenme sıklığıdır. Yazılım geliştiricelerinin de önerdiği şekilde 60 saniye olacak şekilde seçilmiştir.

Alpha (Fraction DT 0.0 – 1.0): Zemin sürtünme alfa değeri olarak minimum değer olarak 0.01 seçilmiştir.

Max Iterations: Maksimum iterasyon sayısı olarak daha doğru sonuçlar elde edebilmek için yüksek bir değer olarak 4000000 seçilmiştir.

Roughness Global: Pürüzlülük katsayısı olarak aşağıda Çizelge 6.1’de açıklanmış global değerlerden, n0 kanalın içerdiği malzeme kaya değeri 0,025, n1 düzensizlik derecesi orta değeri 0.010, n2 kanal yarıçapındaki değişim değeri sık değişen değeri 0.010, n3 engellerin benzer etkileri kayda değer değeri 0.020, bitki örtüsü orta değer olan 0.010, kıvrım derecesi kayda değer olarak 1.150 değerleri seçilmiştir.

Çizelge 6.1 : DSİ Pürüzlülük Katsayıları

Kanal Koşulları		Değerler	
Kanalın içerdiği malzeme	Toprak	n ₀	0.020
	Kaya		0.025
	Kum		0.024
	Çakıl		0.028
Düzensizlik derecesi	Pürüzsüz	n ₁	0.000
	Önemsiz		0.005
	Orta		0.010
	Şiddetli		0.020
Kanal yarıçapındaki değişimler	Aşamalı	n ₂	0.000
	Ara Sıra Değişen		0.005
	Sık Değişen		0.010-0.015
Engellerin benzer etkiler	İhmal Edilebilir	n ₃	0.000
	Önemsiz		0.010-0.015
	Kayda Değer		0.020-0.030
	Şiddetli		0.040-0.060
Bitki örtüsü	Düşük	n ₄	0.005-0.010
	Orta		0.010-0.025
	Yüksek		0.025-0.050
	Çok Yüksek		0.050-0.100
Kıvrım derecesi	Önemsiz	m	1.000
	Kayda Değer		1.150
	Şiddetli		1.300

Bu parametrelerin her bir etkisi hesaba katılarak Cowan Yöntemi olan (6.1);

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m \quad (6.1)$$

formülü yardımıyla n pürüzlülük katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplama sonucu 0.08625 değeri kullanılmıştır.

Ignore WD (meter): Çok sık suya sahip hücreler için akış dinamiğini göz ardı edilmesi ve modeli hızlandırması için küçük bir değer olan 0.005 metre kullanılmıştır.

Tolerance (meter): Simülasyonu hızlandırmak için kullanılan bu parameter için yine küçük bir değer 0.0025 metre alınmıştır.

Slope Tolerance (%): Bölgenin ortalama eğiminin tolerans değeri olarak ortalama eğimin yüzde değerinin 10 katı kadarının ondalık gösterimi alınmıştır. Bu çalışma bölgesinde bulunan ortalama eğim değeri %11,23 bulunmuştur. Bu değer eğim toleransına yöntem gereği 1,1123 olarak girilmiştir.

Boundary Ele (Hi/Closed-Lo/Open): Çalışma kapsamında bir sınır koşulu koyulmamıştır ve değeri 0 alınmıştır.

Elevation ASCII: Sayısal yükseklik modelinin asc uzantılı dosya adı alınmıştır.

Rain Event CSV: Çalışma bölgesine dair yağış parametreleri olmadığı varsayılmıştır.

Water Level Event CSV: Çalışma bölgesinde birden fazla su havzasının olmadığı varsayılmıştır.

Inflow Event CSV: Bölge debi-zaman bilgisini içeren csv uzantılı dosyadır.

Time Plot CSV: Baraj benti dışında farklı noktalardaki yıkım durumu olmadığı varsayılmıştır.

Raster Grid CSV: Su derinliği ve su hızına dair zaman aralıkları ve ölçüm değerlerini içeren csv dosyaları girilmiştir.

Output Console: Konsol çıktısı için “true” değeri alınmıştır.

Output Period (s): Çıktı periyodu 3 saatte bir olacak şekilde planlanmıştır.

Output Computation Time: Çıktı zamanlama değeri oluşması için “true” değeri alınmıştır.

Check Volumes: Simülasyon esnasında hacim kontrolü olması gerektiği için “true” değeri alınmıştır.

Remove Proc Data (No Pre-Proc): Simülasyon esnasında oluşan fazla çerezlerin temizlenmesi simülasyon hızı ve doğruluğun sağlanması için “true” değeri alınmıştır.

Raster VEL Vector Field: Su hızına dair verilerin oluşması için “true” değeri alınmıştır.

Raster WD Tolerance (meter): Su derinliği toleransı olarak simülasyonun belirli bir sınırlamada kalmamasını istediğimiz için 0.01 metre gibi küçük bir değer alınmıştır.

Update Peak Every DT: DT değerinin en yüksek değerinin revise edilmeyip hangi değer çıktıysa onun simülasyonda kullanılmasını istediğimiz için “false” değeri alınmıştır.

Expand Domain: Yükseklik verisinin her hücresinde taşkın riskinin değerlendirilmesi gerektiği için “true” değeri alınmıştır.

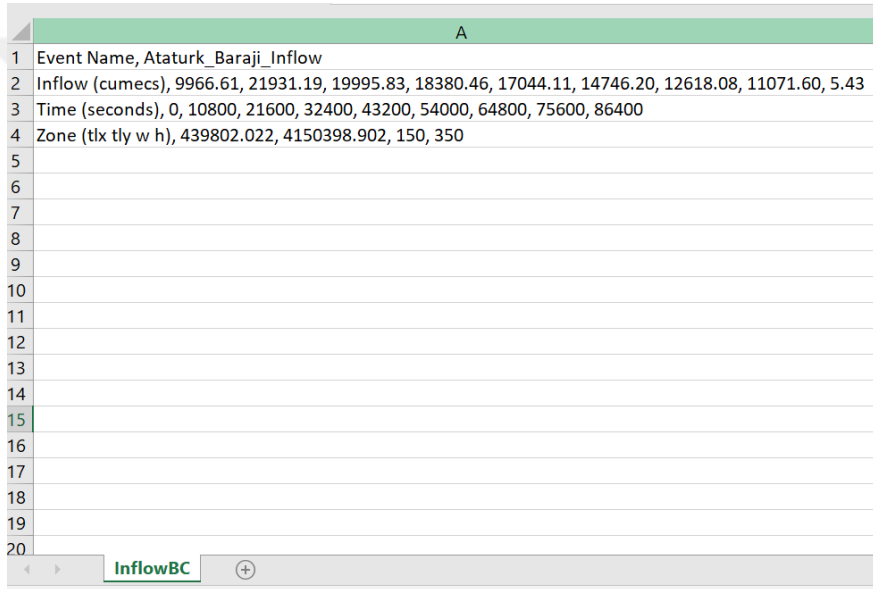
Ignore Upstream: Her yöndeki su akışlarının hesaba katılarak simülasyon oluşturulması hedeflendiği için “true” değeri alınmıştır.

Upstream Reduction (meter): Yazılım geliştiricilerinin de önerdiği küçük değer olan 0.05 metre değeri kullanılmıştır.

Aşağıda, setup dosyası içerisinde kullanılan Inflow Event CSV, WDraster CSV ve VELRaster CSV dosyalarının detaylarına yer verilmiştir;

[InflowEvent.csv]

Çalışma kapsamında Şekil 6.5’de gösterilen debi akış değerleri kullanılmıştır.

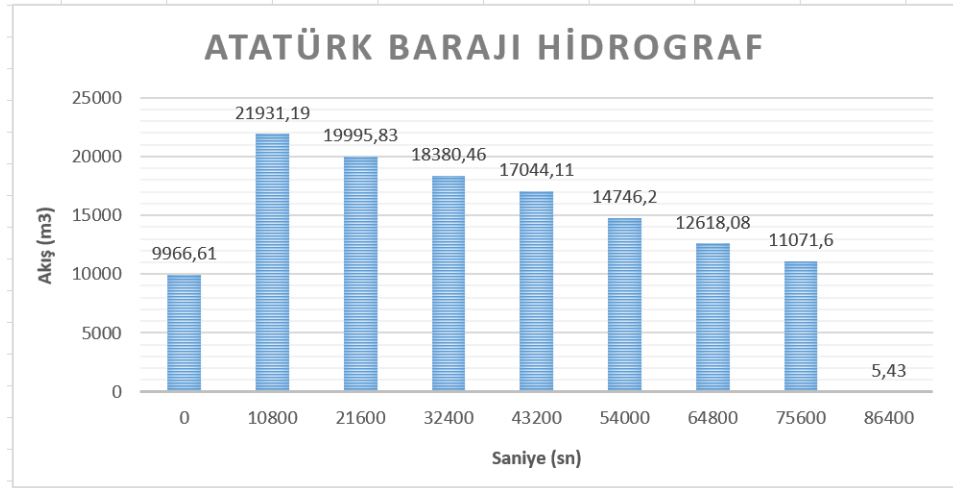


	A
1	Event Name, Ataturk_Baraji_Inflow
2	Inflow (cumecs), 9966.61, 21931.19, 19995.83, 18380.46, 17044.11, 14746.20, 12618.08, 11071.60, 5.43
3	Time (seconds), 0, 10800, 21600, 32400, 43200, 54000, 64800, 75600, 86400
4	Zone (tlx tly w h), 439802.022, 4150398.902, 150, 350
5	
6	
7	
8	
9	
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	

Şekil 6.8 : Inflow Event CSV Dosyası.

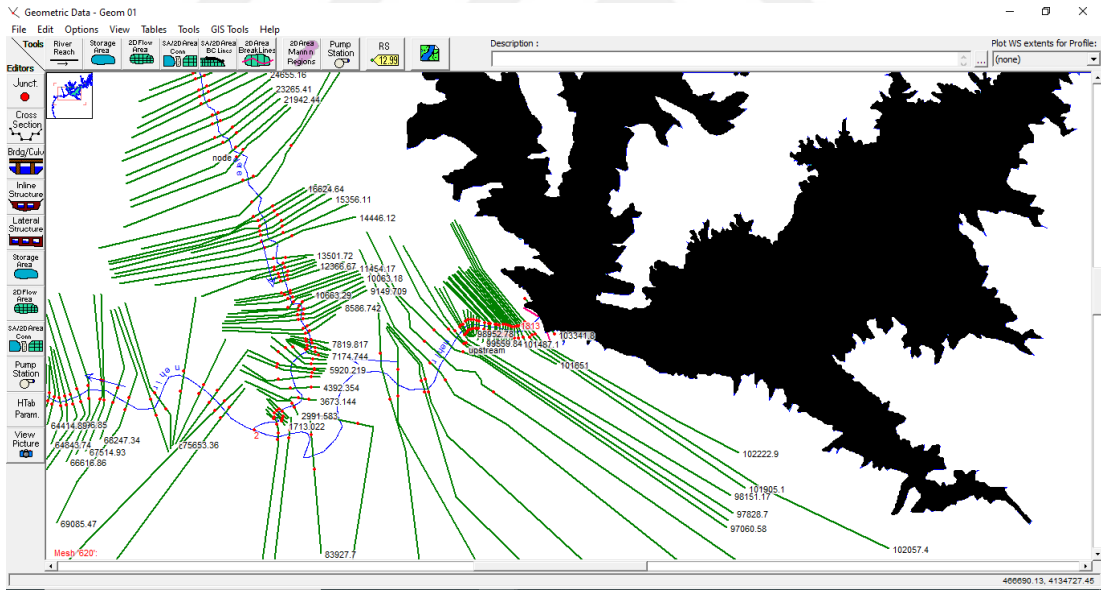
Event Name: Debi bilgisi için oluşturulan dosya adı “Ataturk_Baraji_Inflow” kullanılmıştır.

Inflow (cumecs): m3/sn cinsinden debi değeri. Barajın oluşturulan Şekil 6.9’daki hidrograf değerleri girilmiştir.

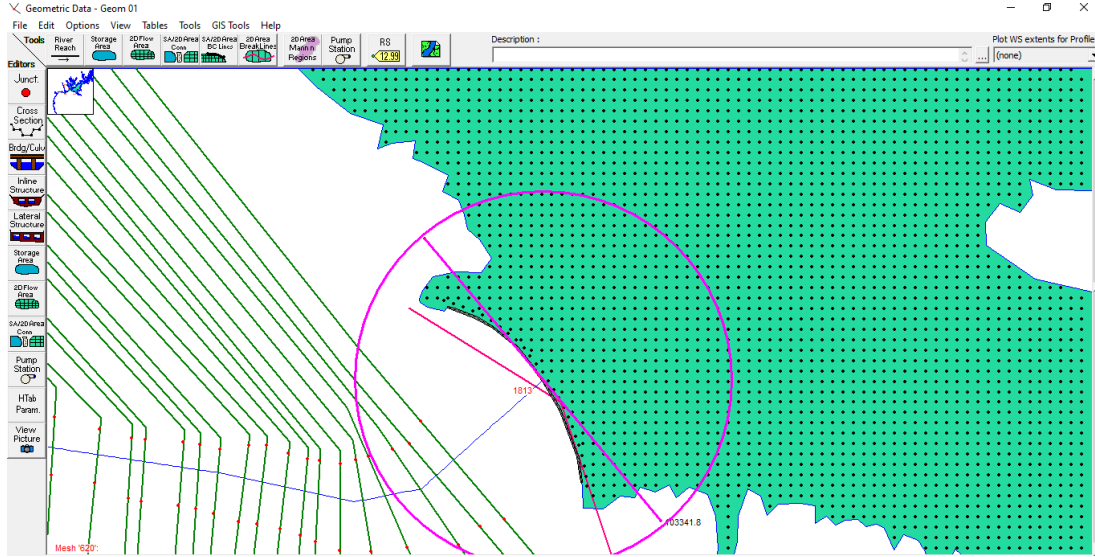


Şekil 6.9: Atatürk Barajı Hidrografı.

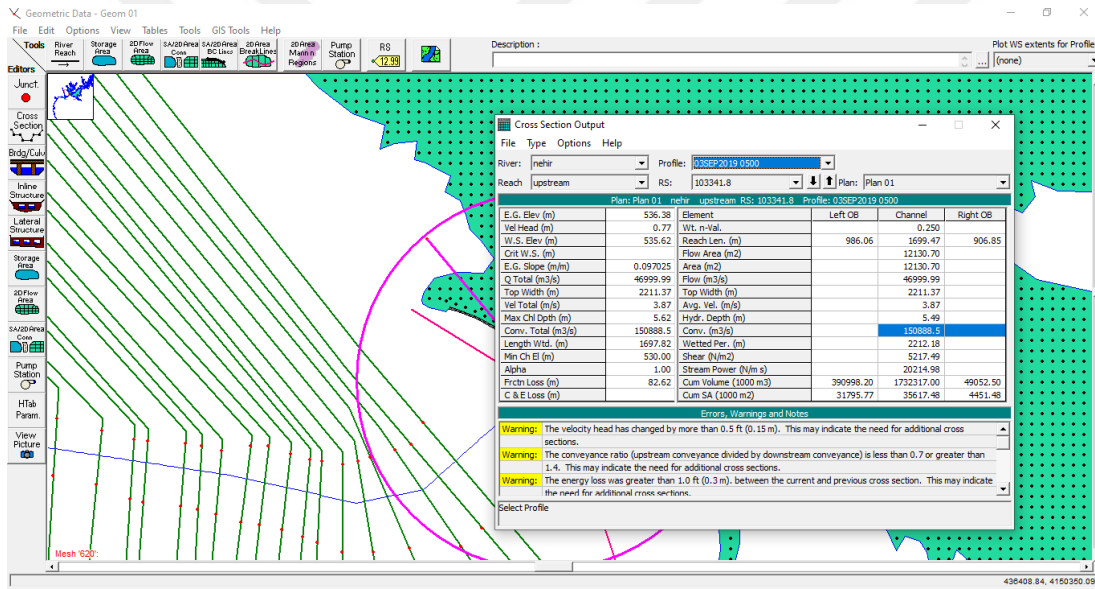
Atatürk barajına ait hidrograf oluşturulurken daha önce bu baraja dair çalışmalar yapan meslektaşım Tuğba Şen'in dosyaları referans alınarak yine Şekil 6.10'daki gibi Hec-RAS kullanılarak baraj bentindeki Şekil 6.11'deki kesitte ölçülen debi değerleri Şekil 6.12'de 3 saatlik dilimlerle 24 saate yayılımı yapılarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.10: Atatürk Barajı Hec-RAS Görüntüsü.



Şekil 6.11: 1813. Baraj Benti Kesiti.



Şekil 6.12: Baraj Bentinde Bulunan Kesitin Debi Değerleri.

Time (seconds): Saniye cinsinden debi değerlerinin 3 saatlik aralıklar toplamda 24 saatlik karşılığıdır.

Zone (tlx tly w h): Taşkın gerçekleşmesine neden olacak baraj bentinin x,y,w,h koordinat yükseklik ve genişlik değerleri ile tanımlanmıştır.

[WDRaster.csv]

Çalışma kapsamında Şekil 6.13’de gösterilen su derinliği modelinin oluşması için aşağıdaki parametreleri kullanılmıştır.

	A	B	C	D	E
1	Raster Grid Name, Water_Dept_raster_Ataturk_Baraji				
2	Physical Variable, WD				
3	Peak, true				
4	Period (seconds), 10800				
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					

Şekil 6.13 : WDRaster CSV Dosyası.

Raster Grid Name: “Water_Dept_raster_Ataturk_Baraji” adı kullanılmıştır.

Physical Variable: Fiziksel değişken olarak su derinliği anlamına gelen “WD” kısaltma adı kullanılmıştır.

Peak: Su derinliğinin maksimum noktadaki modelin çıkarılmasını istediğimiz için “true” değeri tanımlanmıştır.

Period (seconds): Su derinliği bilgisini 10800 saniyede (3 Saat) bir oluşturacaktır.

[VELRaster.csv]

Çalışma kapsamında Şekil 6.14’de gösterilen su hızı modelinin oluşması için aşağıdaki parametreleri kullanılmıştır.

	A	B	C	D
1	Raster Grid Name, Ataturk_Baraji_VEL			
2	Physical Variable, VEL			
3	Peak, true			
4	Period (seconds), 10800			
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				

Şekil 6.14 : VELRaster CSV Dosyası.

Raster Grid Name: “Ataturk_Baraji_VEL” adı kullanılmıştır.

Physical Variable: Fiziksel değişken olarak su derinliği anlamına gelen “VEL” kısaltma adı kullanılmıştır.

Peak: Su hızının maksimum noktadaki modelin çıkarılmasını istediğimiz için “true” değeri tanımlanmıştır.

Period (seconds): Su hızı bilgisini 10800 saniyede (3 Saat) bir oluşturacaktır.

Tüm bu veri hazırlıkları tamamlandığında Input dosyasını işlemeye başlatılması için PowerShell veya CMD üzerinden “D:\Path> CAFLOOD\caflood.exe /WCA2D D:\Path\To\Input setup.csv D:\Path\To\Output” şeklinde bir script ile Caflood.exe dosyası çalıştırılıp Input dosyaları kullanılarak analiz süreci başlatılmıştır. Analiz süreci Şekil 6.15’deki gibi başlama, Şekil 6.16’daki gibi işleme ve Şekil 6.17’deki gibi sonuçlandırma adımları gösterilmiştir.

```
Windows PowerShell
PS D:\Path> CAFLOOD\caflood.exe /wCA2D D:\Path\To\Input setup.csv D:\Path\To\output
Pre-processing : Ataturk_Baraji
-----
No config file found [config_NVIDIA_GPU.csv], using default settings...
Getting platform etc details....
Saved Grid information
Saved Elevation data
-----
Total run time taken (s) = 29.5206
-----
Simulation : Ataturk_Baraji
Model      : 2
Date start : 2021-2-16 22:21:5
-----
No config file found [config_NVIDIA_GPU.csv], using default settings...
Getting platform etc details....
Loaded Grid data
-----
CA API Version : 120
Impl Name      : OpenCL 1L VN Square Grid
Impl Version   : 120
Grid
  xNum         : 6511
  yNum         : 7103
  length       : 27.7673
  xCoo         : 379461
  yCoo         : 4.03599e+06
OpenCL Platform
  Requested    :
  Name         : Intel(R) OpenCL
  Vendor       : Intel(R) Corporation
  Version      : OpenCL 2.1
  Warp Size    : 32
OpenCL Device
  Name         : Intel(R) UHD Graphics 620
  Device Num   : 0
  ComputeUnits : 24
  Fission      : 0
  Device Type  : GPU
  Mem          : 6776434688
  Max Mem Buff: 3388217344
```

Şekil 6.15: PowerShell Üzerinde Analizin Başlama Adımı.

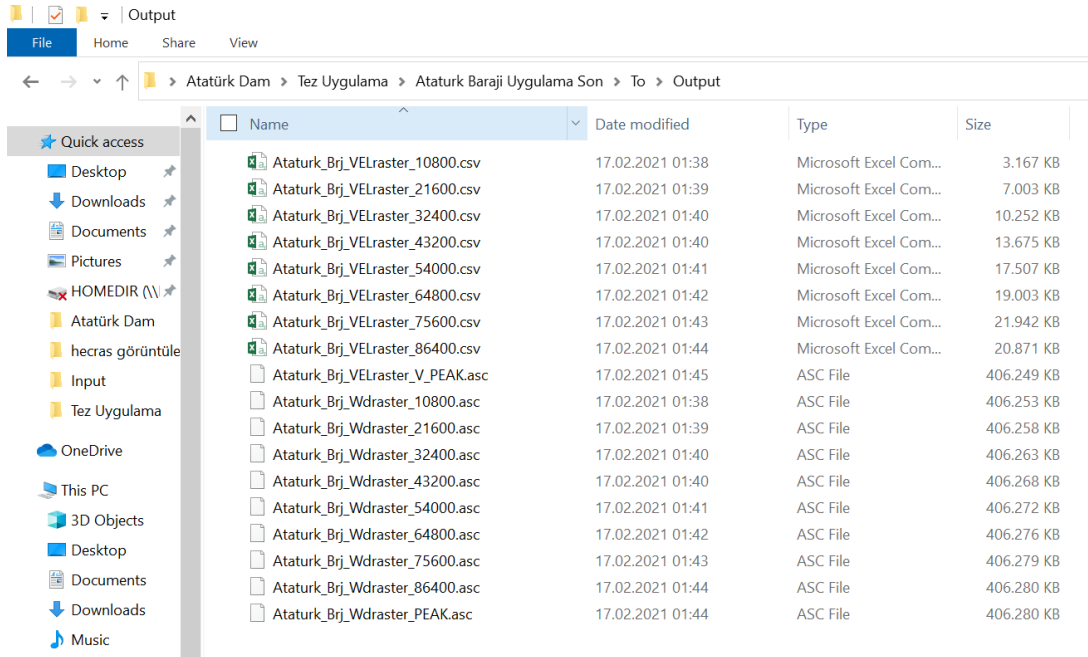
```
Windows PowerShell
CA Function Range : waterdepthwCA2Dv2 (32,4)
-----
Loaded Elevation data
Highest elevation = 2693
-----
Infiltration computation : no
-----
The events will end at 0 (s) simulation time
-----
Initialisation time taken (s) = 8.65222
Start main loop
-----
Write Raster Grid (MIN 180): WD WDPEAK VA VAPEAK
-----
Progress (%): 12.50
Total iterations = 57498 simulation time (MIN) = 180 Last DT = 0.154639
Last iterations = 57498 Average DT = 0.187833 Min DT = 0.135747 Max DT = 2.14286
UPSTRELV = 2684
VAMAX = 11.0684
DOMAIN = (1755,2564):(842,849)
-----
Volume check:
RAIN = 0 INFLOW = 1.72248e+08 INFILT = -0 WD = 1.72248e+08
-----
Partial run time taken (s) = 160.021
Write Raster Grid (MIN 360): WD WDPEAK VA VAPEAK
-----
Progress (%): 25.00
Total iterations = 134731 simulation time (MIN) = 360 Last DT = 0.13363
Last iterations = 77233 Average DT = 0.139837 Min DT = 0.114286 Max DT = 0.257511
UPSTRELV = 2675
VAMAX = 10.5718
DOMAIN = (1541,2350):(1270,1277)
-----
Volume check:
RAIN = 0 INFLOW = 3.98654e+08 INFILT = -0 WD = 3.98654e+08
-----
```

Şekil 6.16 : PowerShell Üzerinde Analizin İşleme/İlerleme Adımı.

```
Windows PowerShell
-----
Progress (%) : 100.00
Total iterations = 571462 Simulation time (MIN) = 1440 Last DT = 2.06897
Last iterations = 41016 Average DT = 0.263312 Min DT = 0.0839161 Max DT = 2.22222
UPSTRELV = 2621
VAMAX = 1.33525
DOMAIN = (761,1570):(2830,2837)
-----
Volume check:
RAIN = 0 INFLOW = 1.30435e+09 INFILT = -0 WD = 1.30435e+09
-----
Total run time taken (s) = 11801.6
Simulation : Ataturk_Baraji
Model : 2
Date End : 2021-2-17 1:37:47
-----
Post-processing : Ataturk_Baraji
-----
No config file found [config_NVIDIA_GPU.csv], using default settings...
Getting platform etc details....
Loaded Grid data
Loaded Elevation data
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_10800
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_VELraster_10800.csv
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_21600
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_VELraster_21600.csv
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_32400
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_VELraster_32400.csv
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_43200
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_VELraster_43200.csv
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_54000
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_VELraster_54000.csv
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_64800
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_VELraster_64800.csv
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_75600
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_VELraster_75600.csv
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_86400
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_VELraster_86400.csv
Write Raster Grid: D:\Path\To\Output\Ataturk_Brj_Wdraster_PEAK
```

Şekil 6.17 : PowerShell Üzerinde Analizin Sonuçlanma Adımı.

Analizleri süresi 11.801,60 saniye sürdüğü görülse de sonuç datalarının şekillenip çıktısı ortalama 7 saate yakın bir sürede nihayete ermiştir. Sonuç dosyaları Şekil 6.18'deki gibi Output dosyası içerisine otomatik oluşturulmuştur.



Name	Date modified	Type	Size
Ataturk_Brj_VELraster_10800.csv	17.02.2021 01:38	Microsoft Excel Com...	3.167 KB
Ataturk_Brj_VELraster_21600.csv	17.02.2021 01:39	Microsoft Excel Com...	7.003 KB
Ataturk_Brj_VELraster_32400.csv	17.02.2021 01:40	Microsoft Excel Com...	10.252 KB
Ataturk_Brj_VELraster_43200.csv	17.02.2021 01:40	Microsoft Excel Com...	13.675 KB
Ataturk_Brj_VELraster_54000.csv	17.02.2021 01:41	Microsoft Excel Com...	17.507 KB
Ataturk_Brj_VELraster_64800.csv	17.02.2021 01:42	Microsoft Excel Com...	19.003 KB
Ataturk_Brj_VELraster_75600.csv	17.02.2021 01:43	Microsoft Excel Com...	21.942 KB
Ataturk_Brj_VELraster_86400.csv	17.02.2021 01:44	Microsoft Excel Com...	20.871 KB
Ataturk_Brj_VELraster_V_PEAK.asc	17.02.2021 01:45	ASC File	406.249 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_10800.asc	17.02.2021 01:38	ASC File	406.253 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_21600.asc	17.02.2021 01:39	ASC File	406.258 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_32400.asc	17.02.2021 01:40	ASC File	406.263 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_43200.asc	17.02.2021 01:40	ASC File	406.268 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_54000.asc	17.02.2021 01:41	ASC File	406.272 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_64800.asc	17.02.2021 01:42	ASC File	406.276 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_75600.asc	17.02.2021 01:43	ASC File	406.279 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_86400.asc	17.02.2021 01:44	ASC File	406.280 KB
Ataturk_Brj_Wdraster_PEAK.asc	17.02.2021 01:44	ASC File	406.280 KB

Şekil 6.18 : Analiz Sonucu Output Dosya İçeriği.

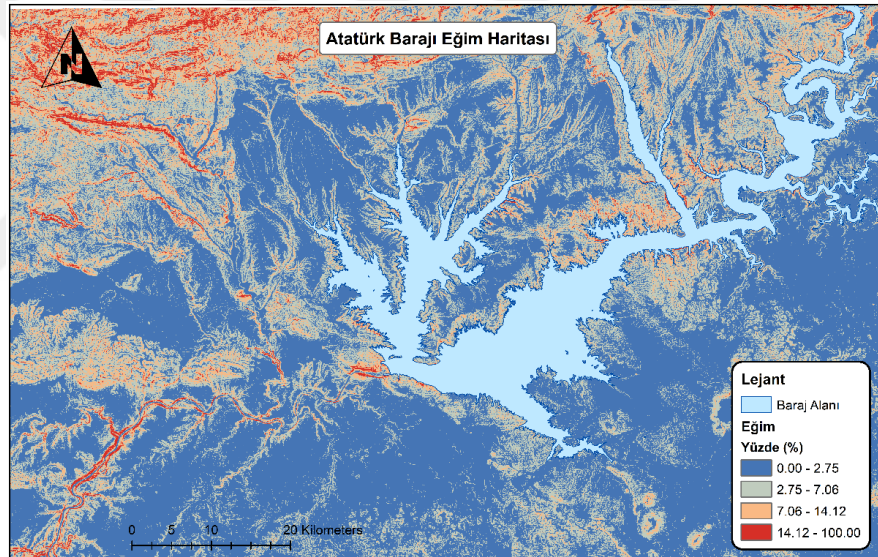
Analiz sonucu oluşturulan taşkın yayılım modelleri CBS ortamında analiz ve inceleme çalışmaları yapılmıştır.

6.3 Taşkın Yayılım Modellerinin CBS Ortamında Analiz ve İnceleme Çalışmaları

Caflood yazılımı ile elde edilen modelleme dosyaları ArcMap üzerinde açılabilen ve analizlendirilebilen uzantılara sahiptir.

Caflood yazılımından elde edilen ASCII uzantılı taşkın yayılım raster görüntüleri, ArcMap üzerinde analizlerin yapılabilmesi için poligon haline raster calculator yardımıyla dönüşümü sağlanmıştır.

Çalışma alanına ait veriler arasında yapı ve bitki örtüsü (tarım alanları ve ormanlık (yeşil) alanları) verileri kullanılmıştır. Ayrıca bölgeye ait karayolu ağı verileri üzerinde de analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerin doğru sonuç verebilmesi aşamalarından olan bölgeye dair Şekil 6.19'daki eğim haritası da ArcMap üzerinden oluşturulmuştur.



Şekil 6.19 : Atatürk Barajı Eğim Haritası.

Çalışma alanına ait oluşturulan eğim haritası incelendiğinde bölgede eğimin maksimum %15 seviye ile minimum %2'lik bir eğime sahip olduğu anlaşılmaktadır. Eğimin yüksek olduğu bölgeler çalışma alanının kuzey bölgeleri ile baraj taşkın senaryosunun döküleceği alanların olduğu görülmektedir.

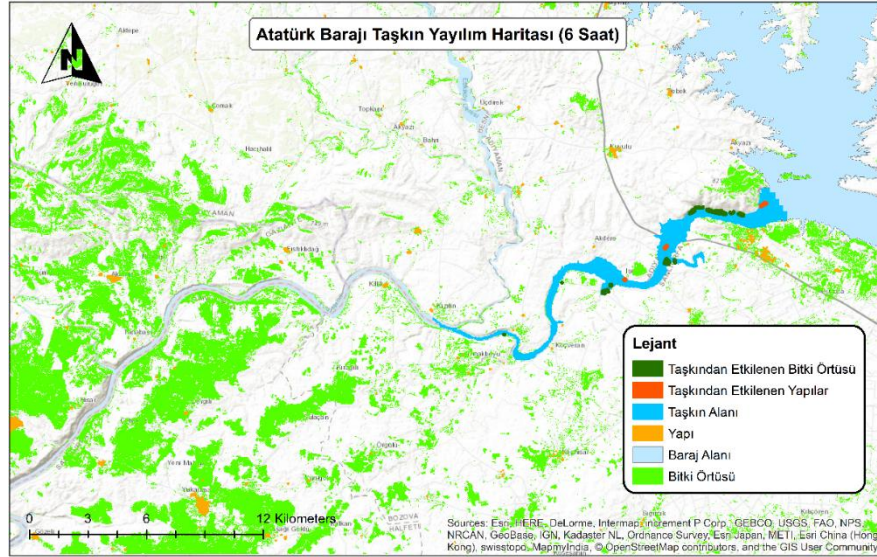


Şekil 6.20 : Atatürk Barajı Taşkın Hız Haritası.

Çalışma kapsamında Atatürk barajının baraj bentinin yıkılması sonucu oluşan senaryoda Caflood yazılımı üzerinden elde edilen görüntülerin renklendirilmesi sonucu oluşturulan Şekil 6.20'deki taşkın hız haritasında, taşkın hızının saniyede maksimum 13 - 14 metrelere, minimum saniyede 2 - 3 metrelere olacak şekilde taşkın hız modeli oluşturulmuştur.



Şekil 6.21 : 6 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası.



Şekil 6.22 : 6 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Haritası.

Atatürk Baraj bendinin yıkılması sonucu 6 saatlik zaman dilimi içerisinde Şekil 6.21'deki taşkın dalgalarının akarsu havza bölgelerinde 80 metreyi bulduğu, etki alanındaki yakın bölgelerinde ise 30 metrelere ulaşan taşkın dalgalarının olduğu gözlenmiştir.

Taşkın gerçekleşmesiyle ilk 6 saat içerisinde Şekil 6.22'deki 0.70 hektarlık alana sahip 6 adet kamu ve özel konutlardan oluşan yapıların etkilendiği, 173,36 hektarlık tarım ve ormanlık alanının taşkın etki alanında olduğu tespit edilmiştir.

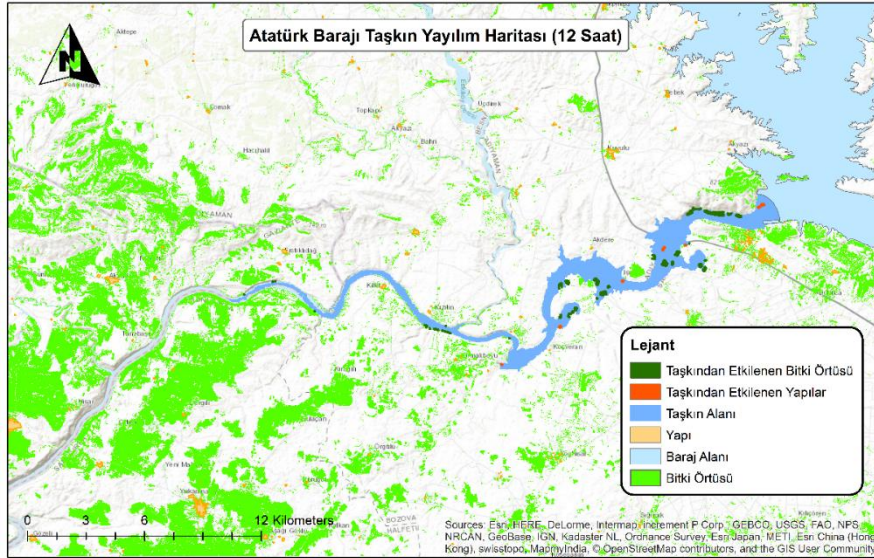


Şekil 6.23 : 6 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası.

6 saatlik dilim içerisinde baraj bendinin yıkılmasıyla Şekil 6.23'deki bölgenin karayolu ulaşımına dair taşkın yayılım karayolu haritası oluşturulmuştur. Taşkın sonrası 28.99 km uzunluğunda karayolu erişime kapandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.24 : 12 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası.



Şekil 6.25 : 12 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Haritası.

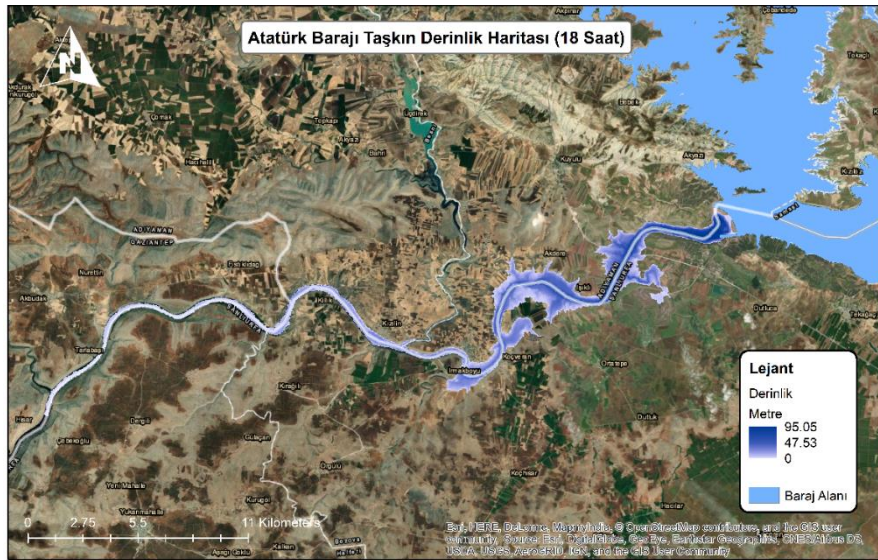
Atatürk Baraj bendinin yıkılması sonucu 12 saatlik zaman dilimi içerisinde Şekil 6.24'deki taşkın dalgalarının akarsu havza bölgelerinde 90 metreyi bulduğu, etki alanındaki yakın bölgelerinde ise 45 metrelere ulaşan taşkın dalgalarının olduğu gözlemlenmiştir.

Taşkın gerçekleşmesiyle 12 saat içerisinde Şekil 6.25’de gösterilen 2.236,50 hektarlık taşkın yayılımının olduğu, 1.05 hektarlık alana sahip 9 adet kamu ve özel konutlardan oluşan yapıların etkilendiği, 245,74 hektarlık tarım ve ormanlık alanının taşkın etki alanında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taşkın sularının Göksu Çayına ulaşip çayın su yüksekliğini yükselttiği tespit edilmiştir.

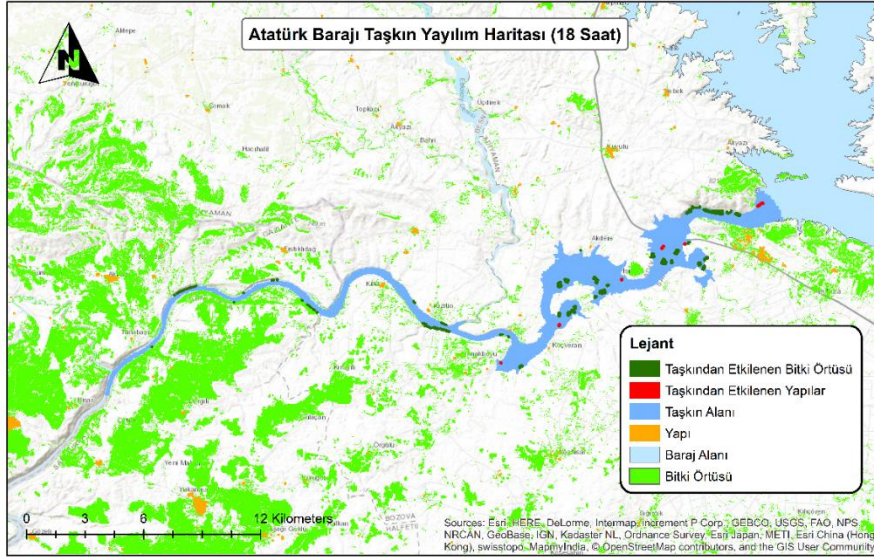


Şekil 6.26 : 12 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası

12 saatlik dilim içerisinde baraj bendinin yıkılmasıyla Şekil 6.26’daki bölgenin karayolu ulaşımına dair taşkın yayılım karayolu haritası oluşturulmuştur. Taşkın sonrası 38.13 km uzunluğunda karayolu erişime kapandığı gözlemlenmiştir.



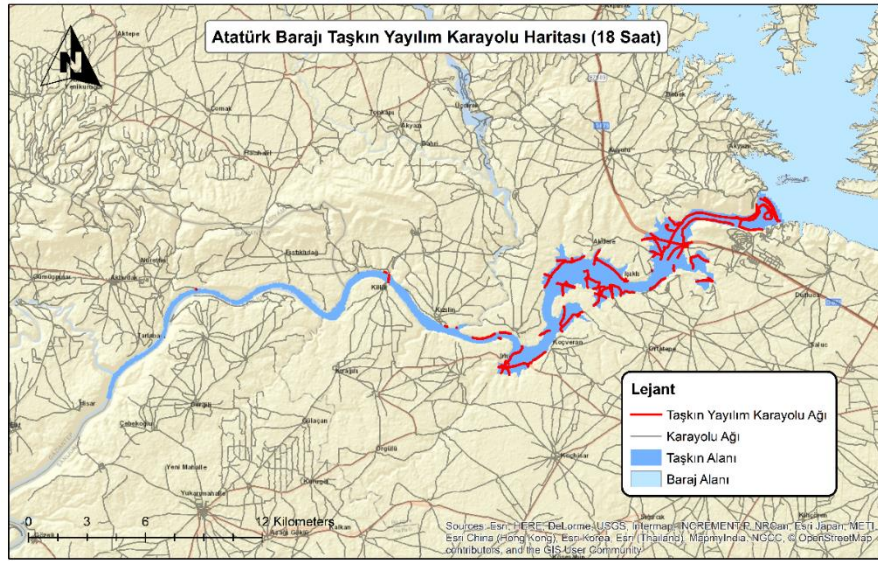
Şekil 6.27 : 18 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası.



Şekil 6.28 : 18 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Haritası.

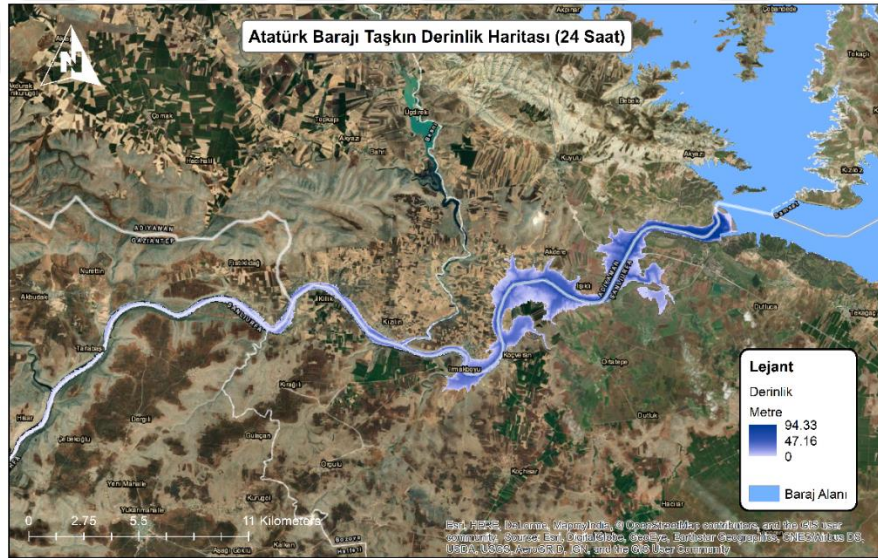
Atatürk Baraj bendinin yıkılması sonucu 18 saatlik zaman dilimi içerisinde Şekil 6.27’de taşkın dalgalarının akarsu havza bölgelerinde 95 metreyi bulduğu, etki alanındaki yakın bölgelerinde ise 48 metrelere ulaşan taşkın dalgalarının olduğu gözlemlenmiştir.

Taşkın gerçekleşmesiyle 18 saat içerisinde Şekil 6.28’de gösterilen 3.189,78 hektarlık taşkın yayılımının olduğu, 1.16 hektarlık alana sahip 10 adet kamu ve özel konutlardan oluşan yapıların etkilendiği, 356,32 hektarlık tarım ve ormanlık alanının taşkın etki alanında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taşkın sularının Akdere, Işıklı ve Irmakboyu köylerine 25 metreleri bulan taşkın dalgalarıyla ulaşacağı tespit edilmiştir.

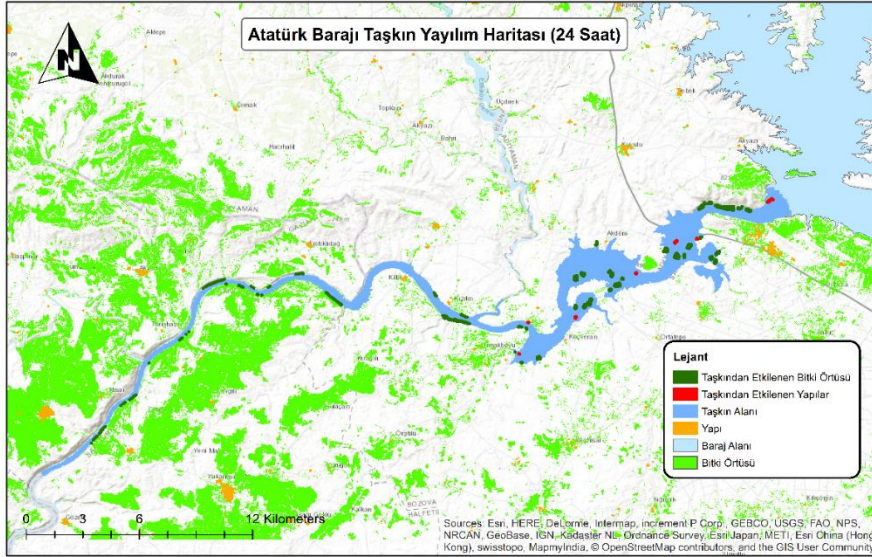


Şekil 6.29 : 18 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası.

18 saatlik dilim içersinde baraj bendinin yıkılmasıyla Şekil 6.29’da bölgenin karayolu ulaşımına dair taşkın yayılım karayolu haritası oluşturulmuştur. Taşkın sonrası 45.69 km uzunluğunda karayolu erişime kapandığı gözlemlenmiştir.



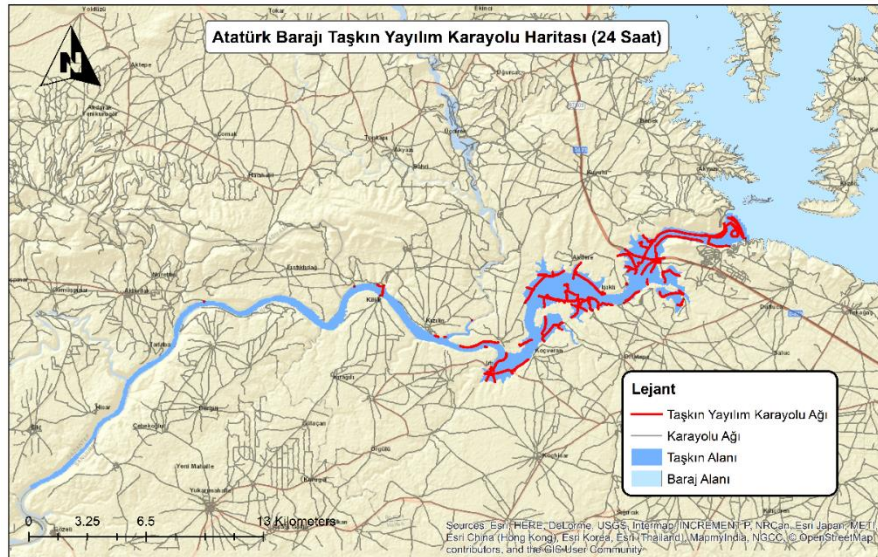
Şekil 6.30 : 24 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası.



Şekil 6.31 : 24 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Haritası.

Atatürk Baraj bendinin yıkılması sonucu 24 saatlik zaman dilimi içerisinde Şekilde 6.30'da taşkın dalgalarının akarsu havza bölgelerinde yayılım göstererek 90 metreyi bulduğu, etki alanındaki yakın bölgelerinde ise 47 metrelere ulaşan taşkın dalgalarının olduğu gözlemlenmiştir.

Taşkın gerçekleşmesiyle 24 saat içerisinde Şekilde 6.31'de gösterilen 3.547,79 hektarlık taşkın yayılımının olduğu, 1.28 hektarlık alana sahip 11 adet kamu ve özel konutlardan oluşan yapıların etkilendiği, 416,41 hektarlık tarım ve ormanlık alanının taşkın etki alanında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taşkın sularının Tarlabası, Hisar ve Çebekoğlu köylerine 15 metreleri bulan taşkın dalgalarıyla ulaşacağı tespit edilmiştir.

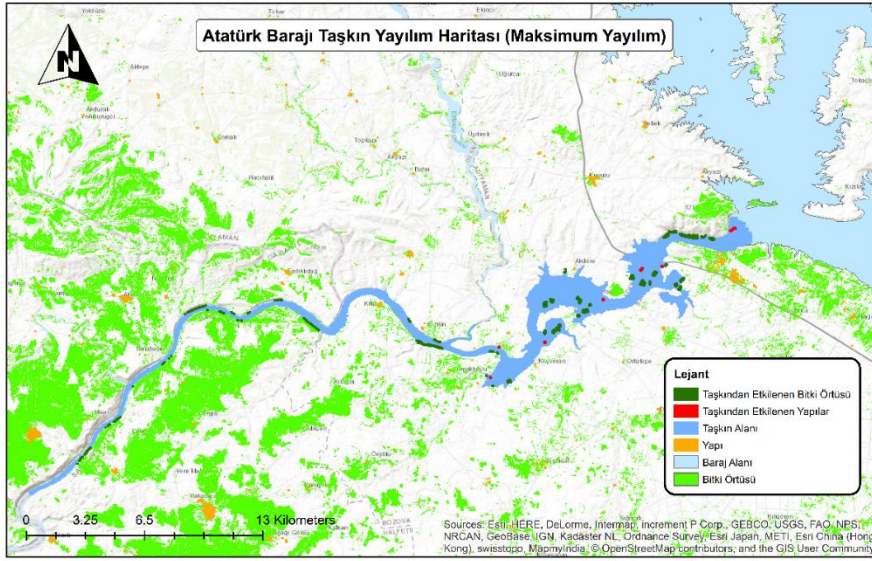


Şekil 6.32 : 24 Saatlik Dilimde Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası.

24 saatlik dilim içersinde baraj bendinin yıkılmasıyla Şekil 6.32’de görülen bölgenin karayolu ulaşımına dair taşkın yayılım karayolu haritası oluşturulmuştur. Taşkın sonrası 66.83 km uzunluğunda karayolu erişime kapandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.33 : Maksimum Yayılımlı Atatürk Barajı Taşkın Derinlik Haritası.

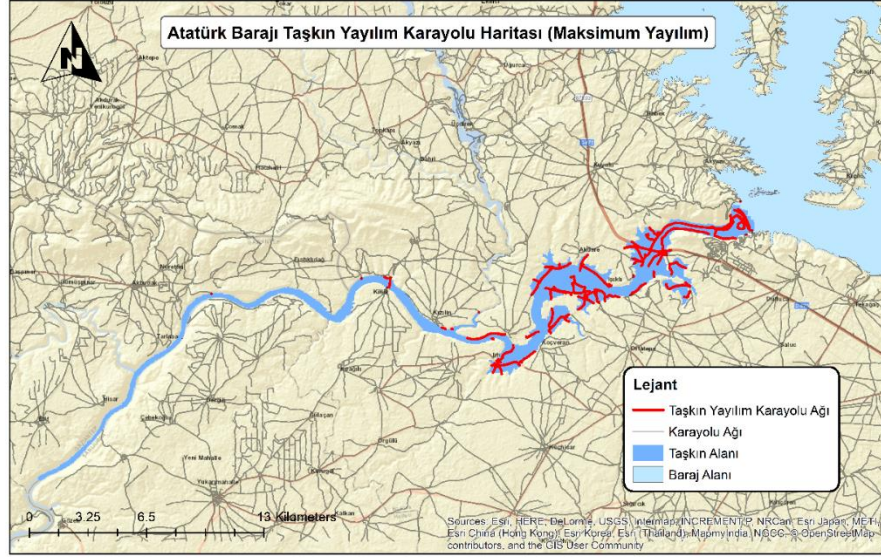


Şekil 6.34 : Maksimum Yayılımlı Atatürk Barajı Taşkın Haritası.

Atatürk Baraj bendinin yıkılması sonucu maksimum yayılım gösterdiği süreçte Şekil 6.33’de görüldüğü şekilde taşkın dalgalarının akarsu havza bölgelerinde yayılım göstererek 96 metreyi bulduğu, etki alanındaki yakın bölgelerinde ise 48 metrelere ulaşan taşkın dalgalarının olduğu gözlemlenmiştir.

Taşkın maksimum yayılımlı gerçekleşmesiyle Şekil 6.34’de görüldüğü şekilde 4.473,00 hektarlık taşkın yayılımının olduğu, 1.30 hektarlık alana sahip kamu ve özel konutlardan oluşan yapıların ve 3.10 hektar yerleşim alanlarının etkilendiği, 488,07 hektarlık tarım ve ormanlık alanının taşkın etki alanında olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca taşkın sularının Koçveran ve Dutluca köylerine ilerlediği tespit edilmiştir.

Maksimum yayılım içerisinde baraj bendinin yıkılmasıyla bölgenin Şekil 6.35’de görüldüğü üzere karayolu ulaşımına dair taşkın yayılım karayolu haritası oluşturulmuştur. Taşkın sonrası 71.13 km uzunluğunda karayolu erişime kapandığı gözlemlenmiştir.



Şekil 6.35 : Maksimum Yayılımda Atatürk Barajı Taşkın Yayılım Karayolu Haritası.



7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışma kapsamında Türkiye ve Dünyada en büyük barajlar arasında yer alan Atatürk Barajının baraj bentinde doğal veya yapay unsurlar nedeniyle oluşabilecek hasar sonucu taşkın yayılım çalışması yapılmıştır. Çalışmada barajın tamamen dolu hacmi referans alınarak, 6, 12, 18, 24 ve Maksimum saatlerdeki taşkın modelleri CADDIES 2D çalışmasının araçlarından olan Caflood yazılımı ile üretilmiştir. Caflood yazılımına debi ve ortalama eğim veri girişinin sağlanabilmesi için Hec-RAS yazılımından debi, ArcMap yazılımı yardımıyla eğim haritası oluşturulup ortalama eğim elde edilmiştir. Oluşturulan modeller ArcMap yazılımı üzerinde taşkın sonrası yapı, bitki örtüsü ve karayolu ağı verileriyle analizleri yapılarak, olası taşkın senaryosunda taşkın bu unsurlara verebileceği etkiler saptanmaya çalışılmıştır.

Çalışmada baraj bendinin programın kendi belirlediği gedikleme biçimiyle sızıntılamaya yaptığı ve bölgede yağışın olmadığı varsayılarak hareket edilmiştir. Taşkın dalgalarının taşkın yayılım alanlarında 95 metreleri bulduğu, en düşük 20 metrelere ulaştığı gözlemlenmiştir. Taşkın bölgesinde bulunan nehir ve çayların taşkından etkilendiği ve su yükseklerinin arttığı gözlemlenmiştir.

Baraj bölgesinde yerleşim alanlarının fazla olmaması, taşkın çoğunlukla tarım ve ormanlık alanları etkilediği gözlemlenmiştir. Yapılan bu taşkın senaryosu neticesinde 24 saatlik maksimum dilim içerisinde ortalama toplamda 4.473,00 hektarlık taşkın etki alanı, 1.30 hektarlık alana sahip 12 bina, ortalama 500 hektarlık tarım ve orman arazisi ve ortalama 70 kmlik karayolu ağı taşkından etkilendiği saptanmıştır.

Benzer bölgeyi Hec-RAS ile çalışan meslektaşım Tuğba Şen'in çalışması sonucunda ise 21 saatlik maksimum dilim içerisinde ortalama toplamda 15.758,38 hektarlık taşkın etki alanı, 3.16 hektarlık alana sahip bina alanı, ortalama 1.245,39 hektarlık tarım ve orman arazisi taşkından etkilendiğini saptamıştır. Oluşan bu farklılıkların nedeni Hec-RAS'da yapılan çalışmada mansap bölge çizilerek taşkın alanının belirli bir alana kadar yayılımı planladığı içi daha dar bir alanda taşkın modellemesi gerçekleşmiştir.

Barajlar diğ er toplumlara getirdiği ekonomik faydalar gibi Atatürk Barajı da bulunduğu bölgede tarımsal faaliyetlerin yoğunlaşmasına ve birçok kişiye ekonomik imkanlar sunmaktadır. Bu nedenle olası taşkın senaryosunda tarım ve orman alanlarının taşkın altında kalması sonucu bölgenin toprak yapısındaki değişimlere ve uzun süreli verim kaybına neden olacağı yadsıtılamaz bir gerçektir.

Günümüz teknolojik gelişmeler özellikle CBS teknolojisindeki gelişmeler sayesinde taşkın analizlerinin oluşması, yorumlanması ve olası tedbir senaryolarının alınmasına olanak sağlamaktadır. CBS teknolojisi kullanılarak taşkın analizlerinden elde edilen sonuçlar girdi verilerinin kalite ve doğru ile doğru orantılı olmaktadır. Taşkın analizleri yapılırken bölgeye ait yüksek  z n rl kl  Sayısal Yükseklik Modeli, güncel bölge yağış, nüfus, yerleşim alanları, yapı türleri, arazi kullanım türüne göre veriler doğru ve güncel olmalıdır.

Baraj bendinde oluşacak hasarın türü, süresi ve diğ er parametler daha detay hidrolik hesaplamalara dayalı bütüncül bir yaklaşımla modelleme çalışmaları yapılmalıdır. Baraja ait yağış bilgileri bulunmadığı için barajın tamamen dolu olduğu varsayılarak analize dahil edilmiş ve bu nedenle oluşan analizler mümkün olduğu en doğru şekilde olması hedefiyle belirli kabuller esasıyla oluşturulmuştur. Güncel verilerin elde edilmesiyle en doğru model ancak bu şekilde oluşturulabilinecektir.

Çok bilinen bir yazılım olmayan Caflood yazılımı çeşitli eksikliklerinin bulunması, açıklayıcı çalışmalar veya yapılmış örnek uygulamaların yeterli olmaması nedeniyle çalışmanın analiz süreçlerinde sorunların çözümü zaman almıştır. Her ne kadar geliştirilmesi gereken noktaları olsa da taşkın modelleme çalışmalarında alternatif olabilecek açık kaynak kodlu bir yazılımdır. Arayüzü içerisine kolaylıkla girilebilmekte ve taşkın parametrelerinde değişiklikler yapılarak, kalıplaşmış tek düze çalışma presibi bulunan yazılımlara kıyasla daha esnek ve kullanıcı insiyatifli bir yazılım olmuştur. 3 boyutlu pro güncellenmiş versiyonu çıktığında büyük  l de iyileştirmelerin yapılacağı  n görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abay, O., Baykan, N. ve Baykan, N. O.** (2015). Tarih Boyunca Barajların Elden Çıkma Nedenleri, 4. Su Yapıları Sempozyumu (s. 157-166), TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Antalya.
- Akarun, R.** (1983). Baraj Yapımcılığında Türkiye Pratiğinin Değerlendirilmesi ve Baraj ve Hidroelektrik Santraller Hakkında Tablolar, DSİ İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara.
- Akkaya U, Saraylı S, Doğan E, Akçalı E, Akpınar A, Yıldırım MS,** (2013). Rize Taşlıdere'nin Taşkın Analizinin Yapılması. Taşkın ve Heyelan Sempozyumu Trabzon, 503-512.
- ANON,** (2003). Türkiye Ulusal Meteorolojik ve Hidrolojik Afetler Programı (TUMEHAP), Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği, Ankara.
- Annunziato, A., Andredakis, I., & Probst, P.** (2016). Impact of flood by a possible failure of the Mosul dam. Ispra: European Commission.
- Bağdathı MC, Albut S, Altürk B,** (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Destekli Taşkın Veri Tabanının Oluşturulması: Tekirdağ İli Marmara Kıyı Havzaları Örneği. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri 2013 Kongresi, Ankara.
- Bayazıt Y, Bakış R,** (2015). Seydisuyu Çayının Havza Taşkın Haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Oluşturulması. VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, 157-164.
- Bayraktar, Ö.** (2004). Baraj Yıkılmaları Nedeniyle Oluşacak Su Baskınlarının İzlenmesi ve CBS Yardımıyla Analizi. Baraj Yıkılmaları Nedeniyle Oluşacak Su Baskınlarının İzlenmesi ve CBS Yardımıyla Analizi Yüksek Lisans Tezi.
- Demirkesen AC.** (2003). Sayısal Yükseklik Modeli Yardımıyla Taşkın Alanlarının Belirlenmesi. Niğde Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 7 (1-2): 61-73.
- Demir V, Kişi Ö,** (2015). Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Taşkın Haritalarının Oluşturulması: Samsun Mert Irmağı Örneği. VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı, 107-120.
- Diakakis, M.** (2011). A method for flood hazard mapping based on basin morphometry: application in two catchments in Greece. Natural Hazards, 56, 803-814.
- Dölek İ,** (2013). Muş'ta Yaşanan Sel ve Taşkınlara Neden Olan Doğal Faktörlerin Analizi. Marmara Üniversitesi Coğrafya Dergisi, 28: 408-422.
- DSİ,** (2013). Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Taşkın Riski Ön Değerlendirmesi. Orman ve Su İşleri Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü Teknoloji Daire Başkanlığı.

- Dursun, Ö., & Gül, E.** (2018). İki Boyutlu Baraj Yıkılma Modellemesi; Sürgü Barajı Örneği. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimi Dergisi, 97-104.
- Dutta D, Herath S, Musiake K,** (2005). An Application of a Flood Risk Analysis System for Impact Analysis of a Flood Control Plan in a River Basin. Hydrological Processes, (20): 1365–1384.
- Engin, S.** (2018, Haziran). Tarihteki Barajlar ve Hidrolik Yapılar. Kalkınmada Anahtar Verimlilik. Türkiye: Türkiye Cumhuriyeti Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı.
- Gibson, M. J., Guidolin, M., Chen, A. S., Pasquale N.** (2018). University Of Exeter Center For Water Systems, CADDIES Instructions and User Guide.
- Gibson M. J. , A. S. Chen, M. Khoury, L. S. Vamvakeridou-Lyroudia ,D. Stewart, M. Wood, D. A. Savic' and S. Djordjevic,** (2020). Case study of the cascading effects on critical infrastructure in Torbay coastal/pluvial flooding with climate change and 3D visualisation, 2020.
- Gibsona M. J., Dragan A Savica, Slobodan Djordjevica, Albert S Chena, Stuart Fraserb, Tim Watson,** (2016) . 12th International Conference on Hydroinformatics, HIC 2016.
- Gökçe Ş, Ayvaz MT, Genç Ö, Koç AC,** (2013). Taşkın Alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemi ve Hidrolik Modelleme Teknikleri ile Belirlenmesi: Pamukkale Üniversitesi Kınıklı Yerleşkesi İçin Bir Uygulama. Taşkın ve Heyelan Sempozyumu Trabzon, 391-403.
- Gürer, İ., Yıldız, . F., Gürer, N. ve Uçar, İ.** (2010). "Environmental Politics - Wetland Management in Turkey Case Study: Sultansazlığı", AQUA mundi, 197-208.
- Haltaş, İ., & Kocaman, B.** (2015). Ayvalı Barajı Olası Yıkılma Taşkın Tehlike Modellemesi ve Haritalaması. VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi (s. 70-79). Şanlıurfa: Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
- ICOLD General Synthesis, Url 2** < https://www.icold-cigb.org / article / GB / world_register / general_synthesis / general-synthesis > erişim tarihi 01 Mayıs 2020.
- Kara S, ve Akar İ,** (2007). Sel ve Taşkınların; Nedenlerinin, Sonuçlarının ve Çözüm Önerilerinin Belirlenmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) ve Uzaktan Algılamanın (UA) Kullanımı “Beşikdüzü-Solaklı Arasındaki Karadeniz Akları Örneği”. 5. Türkiye Kuvaterner Sempozyumu, İstanbul.
- Khoury M., Gibson ,Dragan Savic ,Albert S. Chen , Lydia Vamvakeridou-Lyroudia ,Harry Langford and Sarah Wigley,** (2018). A Serious Game Designed to Explore and Understand the Complexities of Flood Mitigation Options in Urban–Rural Catchments.
- Maidment, D. ve Djokic, D.,** (2000) Hydrologic and Hydraulic Modelling Support with GIS, ESRI Press, USA.
- Moore, I., D., Grayson, R.B., Ladson, A.R.,** (1991). Digital Terrain Modeling: A Review of Hydrological, Geomorphological and Biological Applications, Hydrological Processes 5 (1): 3-30.

- Nas S, Nas E,** (2013). Taşkın Alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri Yardımıyla Belirlenmesi ve Risk Analizi: Harşit Çayı (Gümüşhane) Örneği. Taşkın ve Heyelan Sempozyumu Trabzon, 405-419 .
- Ocak, F., Sert, S., ve Ünsal, Ö.** (2013). ArcGIS for Desktop 10.1. Esri Türkiye Yayınları, Ankara.
- Orman ve Su İşleri Bakanlığı,** (2017). Taşkın Yönetimi, Ankara.
- Oruonye, E. D., Ezekiel, B. B., Atiku, H. G., E. Baba, E., & Musa, N. I.** (2016). Drainage basin morphometric parameter of river Lamurde: Implication for hydrologic and geomorphic process. Journal of Agriculture and Ecology Research International, 5(2), 1–11.
- Orhon, M.** (1997). Baraj Tipleri ve Yapım Kriterleri. Türkiye Mühendislik Haberleri, 12-16.
- Overton IC,** (2005). Modelling Floodplain Inundation on A Regulated River: Integrating GIS, Remote Sensing & Hydrological Models. River Research& Applications, 21: 991–1001.
- Özşahin E, Kaymaz ÇK,** (2013). Taşkın Riskinin Değerlendirilmesine Bir Örnek: Amik Ovası Taşkınları. Turkish Studies-International Periodical For the Languages, Literature and History of Turkish or Turkic, 8(8): 2021-2039.
- Özdemir, H.** (2011). Havza morfometrisi ve taşkınlar, fiziki coğrafya araştırmaları: Sistematik ve bölgesel. D. Ekinci (Ed.), Havza morfometrisi ve taşkınlar içinde (s. 507–526). İstanbul: Türk Coğrafya Kurumu Yayınları.
- Özcan O, Musaoğlu N, Şeker DZ.** (2009). Taşkın Alanlarının CBS ve Uzaktan Algılama Yardımıyla Belirlenmesi ve Risk Yönetimi; Sakarya Havzası Örneği. TMMOB Harita ve 75 Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel Teknik 2009 Kurultayı, Ankara.
- Özşahin E,** (2013). Arnavutluk'ta Taşkın Risk Analizi. Uluslararası Avrasya Sosyal Bilimler Dergisi 12: 91-109.
- Özdemir G., Alpat İ., Barışeri B., Böncü A., Ergin İ., Bildirici A., Özgür Ö., Çimen C.,** (2007). 50.Yılda 50 Eser İMO.
- Palamut, N.** (2014). Baraj Yıkılma Analizi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sharma, P., & Mujumdar, S.** (2016). Dam Break Analysis Using Hec-RAS and HEC-GeoRAS - A Case Study of Ajwa Reservoir. Journal of Water Resources and Ocean Science, 108-113.
- Selvanathan S, Dynmond RL.** (2010). FloodwayGIS: An ArcGIS Visualization Environment to Remodel a Floodway. Research Article, Transactions in GIS, 14(5): 671–688.
- Sunkar M, ve Tonbul S,** (2010). İluh Deresi Havzası'na (Batman) Yönelik Sel ve Taşkın Riski Analizleri. E-Journal of New World Sciences Academy Nature Sciences, 5(4): 255-273.
- Şahin E, Akıntuğ B, Yanmaz MA,** (2013). Güzelyurt Taşkını Modellemesi ve Çözüm Önerileri. İMO Teknik Dergi, 6447-6462.

- Şen, T.** (2019). Atatürk Baraj Bendinin Yıkılmasıyla Oluşacak Taşkın ve Etkilerinin CBS Yardımıyla İncelenmesi Yüksek Lisans Tezi.
- Şen, Z.** (2003). Su Bilimi ve Yöntemleri, Su Vakfı Yayınları, İstanbul.
- Uçar İ,** (2010). Trabzon Değirmendere Havzası'nda Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Bir Hidrolik Model Yardımıyla Taşkın Analizi Yapılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Usul N.** (2008). Çayboğazı Havzasında Hidrolojik-Hidrolik Model ve CBS ile Taşkın Çalışması. Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı Bildiriler Kitabı, 147-159.
- Uşkay, S. ve Aksu, S.** (2002). Ülkemizde Taşkınlar, Nedenleri, Zararları ve Alınması Gereken Önlemler, Türkiye Mühendislik Haberleri Sayı 420-421-422.
- Uysal, T.** (1976). ABD'de Yıkılan Büyük Bir Baraj "Teton", Türkiye Mühendislik Haberleri, 18-22.
- Yaylak, M.** (2016, eylül). COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ (CBS) YARDIMIYLA BİTLİS DERESİ TAŞKIN RİSK ANALİZİ. Bitlis, Türkiye.
- Yazıcılar F, Önder H.** (1998). Taşkın Yatakları Planlamasında Hec-RAS Bilgisayar Programı ile Su Yüzü Profili Hesaplanması-Bartın Nehrinde Bir Uygulama. Su Mühendisliği Problemleri Semineri (V), Fethiye, Muğla, 1-21.
- Yıldız, G.** (2007) Tarihte Baraj Yıkılmaları ve Yıkılmалardan Öğrenilenler. 1. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 701-717.
- Yiğitbaşıoğlu, H.** (1996). Türkiye'deki Barajlar, AÜ Türkiye Coğrafya Araştırmaları ve Uygulama Merkezi Dergisi No:5, 172-181.
- Zhang, L., Xu, Y., & Jia, J.** (2009). Analysis of earth dam failures - A database approach. ISGSR2007 First International Symposium on Geotechnical Safety & Risk, (s. 184-189). Shangai.
- Url 1** < <http://www1.mgm.gov.tr/arastirma/dogal-afetler.aspx?s=taskinlar> > erişim tarihi 10.11.2021.
- Url 3** < <https://tr.asayamind.com/california-s-pollution-problem-is-very-real>> erişim tarihi 10.12.2021
- Url 4** < <https://globalenergy-news.com/the-1975-banqiao-dam-failure/> >
- Url 5** < https://en.wikipedia.org/wiki/Teton_Dam >
- Url 6** < https://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure >
- Url 7** < https://www.researchgate.net/figure/Screen-capture-of-ArcGIS-Desktop-ArcMap-with-Network-risk-toolbox-added-contributing-to_fig2_341599539 >
- Url 8** < http://www.yapi.com.tr/haberler/ataturk-barajinda-su-seviyesi-2-metre-dustu_120001.html>

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fatih YEKELER

--

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2017, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği.