

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HİDRO-CBS İLE SEL AFETİ ETKİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Emiray KAHYA

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

HİDRO-CBS İLE SEL AFETİ ETKİ ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Emiray KAHYA
(501211615)**

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Geomatik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Caner GÜNEY

HAZİRAN 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

FLOOD DISASTER IMPACT ANALYSIS WITH HYDRO-GIS

M.Sc. THESIS

**Emiray KAHYA
(501211615)**

Department of Geomatics Engineering

Geomatics Engineering Programme

Thesis Advisor : Assoc. Prof. Dr. Caner GÜNEY

JUNE 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501211615 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Emiray KAHYA, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “HİDRO-CBS İLE SEL AFETİ ETKİ ANALİZİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Caner GÜNEY**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Filiz Bektaş BALÇIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ali Melih BAŞARANER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 22 Mayıs 2024
Savunma Tarihi : 25 Haziran 2024



ÖNSÖZ

Eğitim hayatım boyunca hep yanımda olan sevgilerini hiç esirgemeyen annem, babam ve ablama, ayrıca tez sürecinde bana desteklerinden ötürü danışman hocam Doç. Dr. Caner GÜNEY' e sonsuz teşekkürlerimi iletiyorum.

Mayıs 2024

Emiray Kahya
(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
1.1 Problemin Tanımı	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Yöntem	2
2. TEMEL KAVRAMLAR	3
2.1 İklim Değişikliği	3
2.1.1 Türkiye’de iklim değişikliği	4
2.1.2 İklim projeksiyonları	6
2.1.3 İklim değişikliği nedeniyle sel afetleri	6
2.2 Hidroloji	9
2.2.1 Hidrograf	11
2.2.2 Sayısal modeller	16
2.3 CBS	18
2.3.1 Topografya	18
2.3.2 Sayısal yükseklik modeli	19
2.3.3 CBS teknolojisi	21
2.4 Hidro-CBS	24
2.4.1 Hidro-CBS ve afet yönetimi	25
2.4.2 Hidro-CBS ve şehir planlama	27
3. UYGULAMA	29
3.1 Çalışma Bölgesi	30
3.2 Sayısal Yükseklik Modelinin Elde Edilmesi	31
3.3 Su Akış Yolu ve Sel Havzası Tespiti	32
3.1 2 Boyutlu Düzensiz Akış Modeli	32
3.2 Sel Afeti Etki Analizi	33
4. SONUÇLAR	37
KAYNAKLAR	39
ÖZGEÇMİŞ	43



KISALTMALAR

CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
UNEP	: United Nations Environment Programme
WMO	: World Meteorological Organization
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
RCP	: Representative Concentration Pathways
UNDRR	: United Nations Office for Disaster Risk Reduction
USGS	: United States Geological Survey
DSİ	: Devlet Su İşleri
EVT	: Extreme Value Theory
ANN	: Artificial Neural Networks
HEC-RAS	: Hydrologic Engineering Center's River Analysis System
LiDAR	: Light Detection and Ranging
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NGA	: National Geospatial-Intelligence Agency
ANN	: Artificial Neural Networks
ALOS	: Advanced Land Observing Satellite
SWAT	: Soil and Water Assessment Tool
AFAD	: Afet ve Acil Durum



SEMBOLLER

$\Gamma(\alpha)$	: Gamma fonksiyonu
E	: Havza parametresi
L	: Akarsu uzunluğu
S	: Harmonik eğim
A	: Havza alanı
Q_p	: Tepe debi
V_b	: Hidrograf hacmi
t_b	: Hidrograf devam süresi
h_a	: Yağış yüksekliği
α	: Eğim açısı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Maksimum debi hesaplama yöntemleri..... 12





ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: 1991 – 2023 Türkiye ortalama sıcaklık farkları	5
Şekil 2.2	: 2023 Türkiye ortalama sıcaklık farkları haritası	5
Şekil 2.3	: Sel afeti uzun yıllar dağılım grafiği.....	7
Şekil 2.4	: Sel afeti öncesi ve sonrası uydu görüntüsü karşılaştırılması.....	8
Şekil 2.5	: DSI tarafından kullanılan debi ölçme cihazı	10
Şekil 2.6	: Hidrograf	11
Şekil 2.7	: Eş yükselti eğrileri.....	19
Şekil 2.8	: Sayısal Yükseklik Modeli	19
Şekil 2.9	: Su akış yolu belirleme işlemi	23
Şekil 2.10	: Afet yönetimi aşamaları	26
Şekil 2.11	: Birleşik Krallık debi izleme uygulaması.....	27
Şekil 3.1	: İş akış şeması.....	29
Şekil 3.2	: Bozkurt sel afeti öncesi ve sel afeti sırasında görseller.....	30
Şekil 3.3	: Bozkurt ilçesinin sayısal yükseklik modeli.....	31
Şekil 3.4	: Su akış yolu ve sel havzası haritası	32
Şekil 3.5	: Model sonucunda üretilen su yüksekliği haritası	33
Şekil 3.6	: Üretilen etki tahmin haritaları	34
Şekil 3.7	: Gerçekleşen sel afeti sonrası derlenen etkilenme haritası	35



HİDRO-CBS İLE SEL AFETİ ETKİ ANALİZİ

ÖZET

İklim değişikliğinin etkisi gün geçtikçe kendini daha fazla hissettirmektedir. İklim değişikliği sürecinde artan küresel sıcaklıklar aşırı yağışlara neden olmaktadır. Bu etki, sel afetlerini daha sık ve daha şiddetli gerçekleşmesine yol açmaktadır. Gerçekleşen sel afetleri can kayıplarına ve ekonomik hasara sebep olmaktadır. Bu durumda, iyi planlanmış afet yönetimi süreçlerine olan gereksinim artmaktadır. Afet yönetiminin özellikle planlama aşaması, artan afet sıklığının ve şiddetinin verebileceği zararı azaltmaktadır. Bu bağlamda, sel felaketlerinin sosyal etkilerini azaltmak, fiziksel hasarları en aza indirmek ve afet yönetimi hazırlık aşamasında planlama faaliyetlerini desteklemek için etkili önleyici yapısal çözümler geliştirmek büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışmada, sel felaketlerinden etkilenebilecek yapıları ve alanları belirlemek için CBS teknolojisi ve hidrolojik analiz araçlarını bir arada kullanılabilen bir yöntem geliştirilmiştir. Hidroloji bilimi, suyun fiziksel davranışının modellenmesine olanak sağlar. CBS teknolojisi, sel riski taşıyan bölgeleri belirlemek ve bu bölgelerdeki yapıları ve alanları incelemek için etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. Çalışma kapsamında, hidroloji bilimi ve CBS teknolojisi araştırılarak sel tehlikesinin önlenmesi için uygulamalar incelenmiştir. Bu çalışmada, sel tehlikesini belirlemek için iki ana olgunun birlikte kullanıldığı bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntem, seçilen bir çalışma alanında sınanmıştır. Çalışma alanında topografik koşulların neden olabileceği su akışının yönü, yükseklik ve eğim verileri kullanılarak belirlenmiştir. Suyun birikebileceği alanlar modellenerek olası taşkın alanlarının yerleri belirlenmiştir. Akış yollarının ve su seviyelerinin etkisinin modellenmesiyle sel riski taşıyan alanlar SWAT ve HEC-RAS gibi hidrolojik analiz araçlarıyla irdelenmiştir. Şiddetli yağışlarda debi hızı değişimleri, iki boyutlu değişken akış modeliyle hesaplanmıştır. Bu bölgelerdeki debi hızı değişikliği sonucunda sel havzasında suyun yayılması modellenmiştir. Modelleme sonrasında, sel felaketinden etkilenebilecek alanlar ile taşkın yayılma alanları mekansal olarak karşılaştırılmasını gösteren ve yapıların sel felaketinden etkilenme düzeylerini sınıflandırılmış biçimde gösteren bir sel afeti etki haritası üretilmiştir. Gerçek ve tahmin sonuçları karşılaştırıldığında, tahmin sonuçlarının SRTM yükseklik verisiyle %65, ALOS PALSAR yükseklik verisiyle %70 oranında gerçek verilerle tutarlılık gösterdiği görülmüştür. Bu tutarlılık oranı, sel felaketleri için yağış ve topografik verilerin birlikte kullanılarak kullanılmasıyla geliştirilecek mekansal modellerin başarılı olacağını ve karar vericiler tarafından kullanılabileceğini göstermektedir.

Çalışma sonucunda CBS teknolojisi ve hidroloji araçları kullanılarak sel felaketlerinden etkilenebilecek yapılarla ilgili karar destek süreçlerinin etkili biçimde gerçekleştirilmesinin mümkün olduğu görülmüştür. Gelecekte yaşanabilecek sel felaketleriyle başa çıkmak için bu tür bir karar destek sisteminin oluşturulması afetler gerçekleşmeden önlem alınabilmesine katkı verecektir.



FLOOD DISASTER IMPACT ANALYSIS WITH HYDRO-GIS

SUMMARY

Throughout human history, there has been a constant state of change. These changes can include climatic events as well. In the past, natural events have caused changes in the climate. During this process, humanity has experienced ice ages at certain times when the average temperatures dropped. After the Industrial Revolution, human-induced changes were added to these natural changes. These human-induced changes have affected the world order. Due to the effects of the Industrial Revolution, greenhouse gases such as CO₂, methane, and nitrous oxide began to accumulate in the atmosphere, trapping long-wave radiation. As a result, average surface temperatures are rising. These changes affect meteorological events. As we approach the present day, we see that the pace of change has accelerated.

The frequency of extreme heatwaves is increasing, and changes in precipitation patterns are being observed in our living environment. In this context, scientists are continuously conducting research and development to better understand climate change and determine what measures need to be taken against it. Those who conduct these studies are referred to as climatologists. Climatologists use numerical models to try to predict future changes based on current data. Around the world, national leaders are also investigating what needs to be done to address this issue. Therefore, the IPCC has been established. This organization strives to implement scientific policies to combat climate change.

The issue of climate change, which is addressed globally, naturally affects Türkiye as well. Due to its geographical location and the diversity in its topographical characteristics, Türkiye has a climate structure that varies across different regions. Therefore, when looking at the impacts that climate change can cause, Türkiye is one of the sensitive areas. In Türkiye, there is an institution under the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, called the General Directorate of Meteorology (MGM), which produces and provides data related to meteorology and climatology. MGM continuously collects weather data through meteorological stations located in various regions of Türkiye and analyzes this data to provide weather forecasts to the public and relevant institutions. In climate change reports published annually by MGM, attention is drawn to increasing temperatures and meteorological disasters in Türkiye.

Meteorological disasters can include floods and flash floods. Various rivers and streams are located within Türkiye's geography. Sudden precipitation increases the flow rates of these water bodies, leading to flood and flash flood events. The establishment of settlements near rivers, the insufficiency of rehabilitation efforts, and the lack of preventative measures such as flood walls result in these flood events reaching disaster levels, causing loss of life and property. Preventing these losses can be achieved through effective planning processes within the framework of disaster management.

In the planning and preparation process of disaster management, hazard maps are of great importance. Maps that can be produced using hydrology and GIS technology can reduce the loss of life and property. Therefore, it is first necessary to understand the capabilities of hydrology. Hydrology is the science that studies and models the circulation, distribution, properties, and movements of water on Earth. Hydrology is used to better understand flood and flash flood events by analyzing flow rates. In this context, measuring the flow rate of a river is a primary condition for understanding flood and flash flood events. The highest instantaneous flow observed during a water year is called the Annual Instantaneous Peak Flow. Peak flow is a critical parameter used by hydrologists and engineers to evaluate flood risk and plan water management strategies. There are two main methods for calculating this flow. If historical records of precipitation and flow rates for the study area are available, statistical methods can be used. If there are difficulties in obtaining data, various calculations can be made with the help of hydrology. The methods used for such calculations are called deterministic methods. The obtained peak flow values are used as input data for running hydrological numerical models.

Numerical models are tools that simulate physical systems using mathematical equations and computational techniques. HEC-RAS is one of the most preferred tools for flood and flash flood simulation. GIS technology is also utilized in running numerical models. In the framework of modeling water flow, the use of DEM data in hydrodynamic models is a prerequisite. The behavior of water on the terrain can be simulated using elevation and slope information obtained from DEM.

The integration of hydrology and GIS technology can be utilized in disaster management. This integration can provide decision support capabilities for planning, mitigating the impacts of, and managing flood and flash flood disasters, which are among meteorological disasters. The integration of hydrology and GIS technology also makes significant contributions to urban planning. It helps urban planners manage water resources more efficiently, optimize water supply infrastructure, and be prepared for potential water crises.

Increased extreme and sudden precipitation due to climate change leads to flood and flash flood disasters, resulting in loss of life and property. One of the challenges for decision-makers is responding to the increasing disasters due to deficiencies in the planning stages of disaster management. Settlements spreading into floodplains are also among the factors increasing the risk. Therefore, incorrect urban planning can exacerbate potential damage. The main aim of this thesis is to identify the impact of potential flood disasters. Another objective of the study is to demonstrate that significant information can be obtained against flood disasters by using hydrology and GIS technology together. Furthermore, interpreting the outputs and visualizing them on maps lay the groundwork for understandable and effective solutions. Similar methodologies could be developed to demonstrate that the necessary information for the planning stage of disaster management can be obtained through such studies.

In this study, the Bozkurt district of Kastamonu, which experienced a major flood disaster in July 2021, was selected as the study area. Using elevation and slope data, were determined potential water flow directions due to topographic conditions in the study area. Floodplains were identified by modeling water accumulation in two dimensions. Hydrological analysis tools such as SWAT and HEC-RAS were used to classify areas at risk of flooding by modeling flow paths and water levels. The flood that could be caused by changes in flow rate due to heavy precipitation was calculated

using a two-dimensional variable flow model. As a result of flow changes in these areas, the spread of water in the floodplain was determined through modeling. Areas susceptible to flooding were spatially overlaid with flood inundation areas, and classes of building vulnerability to flood disasters were determined.

As a result of this methodology, structures susceptible to flood disasters can be identified. When comparing the actual and predicted results, it was observed that the predicted results showed a consistency of 65% with the SRTM elevation data and 70% with the ALOS PALSAR elevation data. Higher consistency determinations may be possible with high-resolution spatial data such as DEM data.

In this information, a methodology for conducting flood disaster simulations and identifying affected buildings has been developed. In this methodology, developed using hydrology and GIS technology, an estimation of the buildings that could be affected has been made. Upon reviewing the results, a consistency rate of 65% was determined. To achieve higher consistency, higher spatial resolution DEM data is required. It has been observed that such studies have a certain level of consistency compared to open-source and free data. By conducting flood simulations with hydrology and GIS, vulnerable artificial structures can be identified. Applying this approach to water sources near settlements could provide a prediction to prevent loss of life and property during periods of increased flood disasters. Determining flood risk and emphasizing it statistically can contribute to the working processes of the insurance and banking sectors. It can also assist decision-making bodies in decision support systems.



1. GİRİŞ

İklim değışikliğı insanlık için ciddi bir endişe kaynağı haline gelmiştir. İnsan faaliyetlerinden kaynaklanan sera gazı emisyonları atmosferin dengesini bozarak iklim sistemini etkilmektedir. Bu olgu, insanlığın yaşamına ekonomik ve sosyal olarak zarar vermektedir. Bozulan bu düzen sel afeti başta olmak üzere çeşitli afetlerin de daha sık ve şiddetli yaşanmasına neden olmaktadır. Sel felaketlerinin sıklığının giderek artması afet yönetiminin özellikle afet yönetiminin planlama aşamasının önemini giderek arttırmaktadır. Planlama sürecinde tehlikeyi öngörerek yapılacak çalışmalar olası can ve mal kayıplarını azaltacaktır. Bu kapsamda planlama aşamasını destekleyecek, tehlikeyi öngöreceğ bir tahmin mekanizmasının oluşturulması, olası zararı en alt düzeye indirebilir (Glago, 2020). Çalışma kapsamında geliştirilen yöntemde Hidroloji bilimi ve CBS tekniğinin bir arada kullanılmasıyla olası sel afetlerinin etkileyebileceği yapıların önceden belirlenebileceği görülmüştür.

1.1 Problemin Tanımı

Dünya’da ve Türkiye’de gerçekleşen sıcaklık ortalamaları her geçen yıl artmaktadır. Bu sıcaklık artışları havadaki nem oranını arttırmaktadır. Artan nem, soğuk hava ile karşılaştığında ani yağışlar meydana gelebilmektedir. Bu ani yağışlar sel ve taşkın afetlerine neden olmaktadır. 100 yılda bir olabilecek yağışlar, artık tekrarlı olarak yaşanmaktadır ve şiddetleri de gittikçe artmaktadır. Afet yönetiminin planlama aşamalarının yetersizliği nedeniyle bu yoğun yağışlar sonrası oluşan seller ise can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Öyleki sel yatağına yayılan yerleşim bölgeleri riski arttıran en önemli etkenler arasındadır. Yeterli olmayan planlama ve etkin olamayan yönetim ile birlikte iklim değışikliğı kaynaklı afetlerin sıklığının artması bir araya geldiğinde toplumların afetlere olan direnci zayıf kalmaktadır (Noren ve diğ., 2016).

1.2 Tezin Amacı

Olası sel afetlerinin yapılar üzerindeki etkisini tespit etmek bu tezin ana amacıdır. Hidrolojik araçların ve CBS teknolojisinin birlikte kullanılmasıyla sel afetlerine karşı önemli bilgiler elde edilebildiğini ve elde edilen bilgilerin karar destek süreçlerinde etkin olarak kullanılabileceğini göstermek çalışmanın bir diğer amacıdır. Ayrıca, mekânsal analiz sonuçlarının yorumlanması ve selden etkilenen alanlara ilişkin tematik haritaların üretilmesi mekânsal karar destek süreçlerini zenginleştirmektedir. Karar vericiler ve şehir planlama faaliyetlerini yürüten uzmanlar, değişen iklim koşullarında yaşanan sıra dışı hava olayları sonucunda olası şiddetli sel felaketleri için uygun yerleşim bölgelerinin belirlenmesinde bu ve benzeri çalışmalarda geliştirilen yöntemlerden yararlanabilir.

1.3 Yöntem

Çalışmanın yöntemi, hidrolojik araçların CBS teknolojisinin birlikte kullanılmasına dayanan iki ana kol üzerinde yapılandırılmıştır. Yöntemin ilk kolu, yağış ve debi ilişkisini incelemektir. Yağışın debi üzerindeki etkilerinin belirlenmesine ve taşkın debisini nitelemeye odaklanılmaktadır. Yağış miktarının artmasıyla birlikte nehir ve akarsulardaki su seviyelerinin nasıl değiştiği, bu değişimlerin hangi şartlar altında taşkın riskine yol açtığı ve taşkınların şiddetinin belirlenmesi bu çalışmanın kritik bileşenlerini oluşturmaktadır. Çalışmanın ikinci kolu ise topoğrafya ile debi arasındaki ilişkiyi analiz etmeye yöneliktir. Bölgenin topoğrafik özellikleri, arazi eğimleri, yüzey şekilleri ve akarsu havzalarının yapısı gibi faktörler suyun akış yönünü ve hızını etkileyen önemli unsurlardır. Bu unsurların detaylı bir şekilde incelenmesi, hangi bölgelerin taşkın riski altında olduğunu ve taşkın mekânsal yayılımının nasıl gerçekleştiğinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır. Hidroloji biliminin ve CBS teknolojisinin bu iki ana olgusunu bütünleştirerek gerçekleştirilen modelleme işlemleri, sel afetinin mekânsal yayılım davranışını daha doğru bir şekilde öngörülmesini sağlamaktadır. Sel afetinin sebep olduğu taşkın yayılımı, mevcut insan yapımı yapıların konumlarıyla karşılaştırılarak, hangi yapıların ve altyapıların selden etkilenebileceği tespit edilebilir. Böylece, olası zararların en aza indirilmesi için gerekli önlemler alınabilir ve acil durum planlamaları daha etkin bir şekilde gerçekleştirilebilir.

2. TEMEL KAVRAMLAR

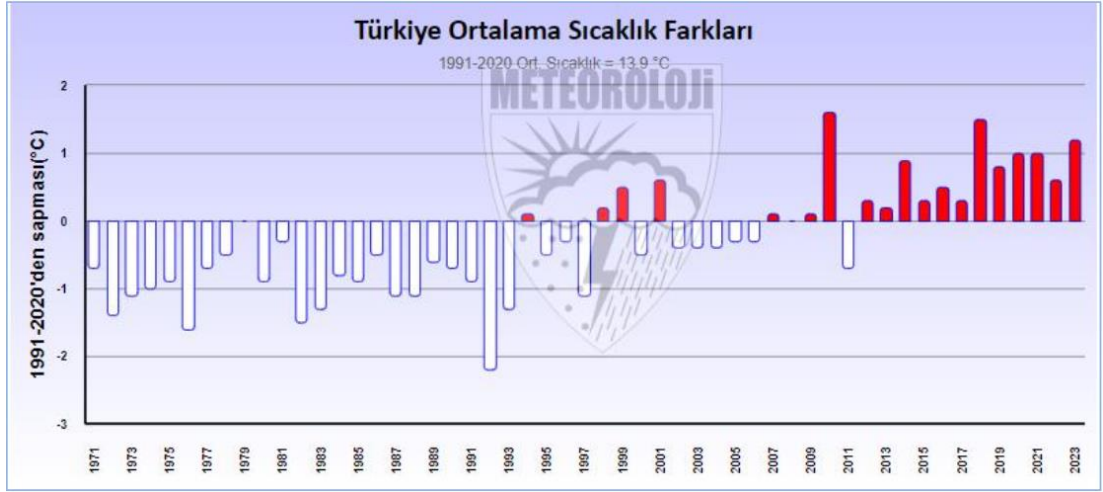
2.1 İklim Değişikliği

İnsanlık tarihi boyunca olgular sürekli bir değişim halindedir. İnsanlığın yaşamının değiştiği gibi tarih boyunca iklimsel olaylarda değişmiştir. Bu doğal olarak tanımlanan değişimler tarihe kaydedilmiştir. Bu süreç boyunca, insanlık belli zamanlarda sıcaklık ortalamasının düştüğü buzul çağları da yaşamıştır. Sanayi devriminden sonra artık doğal değişimlerin yanında beşeri değişimler de eklenmiştir. Beşeri değişimler dünya düzenini etkilemiştir. İklimsel olaylar da beklenenden daha hızlı değişim göstermektedir. Ortalama sıcaklıklar yükselmekte ve bununla birlikte yaşam alanımızda yağış rejimleri de değişiklikler tespit edilmektedir. Artık bu değişim, tüm bilim camiası tarafından bilinmekte ve kabullerini beyan etmektedir. Özellikle teknolojinin gelişmesiyle elde edilen sayısal modeller sonucunda iklim sisteminde bozulma olduğunu kabul edilmektedir. (Öztürk, 2002). Bu çalışmaları gerçekleştirenlere iklim bilimci tanımlaması yapılmaktadır. İklim bilimciler, iklim sistemini ve değişimini inceleyen bilim insanları olarak açıklanmaktadır. İklim bilimciler yaptıkları çalışmalar ile atmosfer, hidrosfer, litosfer ve biyosfer gibi bileşenler arasındaki etkileşimleri anlamak için çeşitli bilimsel disiplinlerden yararlanmaktadır. İklim değişikliğinin nedenlerini, etkilerini ve gelecekteki olası senaryolarını araştıran iklim bilimcileri, insan faaliyetlerinin ve doğal süreçlerin iklim üzerindeki etkilerini anlamaya çalışmaktadır. Bu konuda bilimsel çevreler ve karar verici organizmalar birlikte hareket etmek ve çalışmalarını genişletmektedir. IPCC, İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli anlamına gelir. IPCC, 1988 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı ile Dünya Meteoroloji Örgütü tarafından kurulmuş bir bilimsel ve politika oluşturma amacıyla oluşturulmuştur. Yapılan çalışmalar ile dünya çapında iklim değişikliği ile ilgili en güncel bilimsel bilgiyi toplamak birincil amaçtır. IPCC tarafından belirlenen iklim değişikliğinin tanımı şu şekildedir: Bir zaman periyodunda gözlenen doğal iklim değişikliğine paralel olarak, doğrudan veya dolaylı atmosferin bileşimini bozan insan etkinlikleri sebebiyle iklimde olan değişiklik.

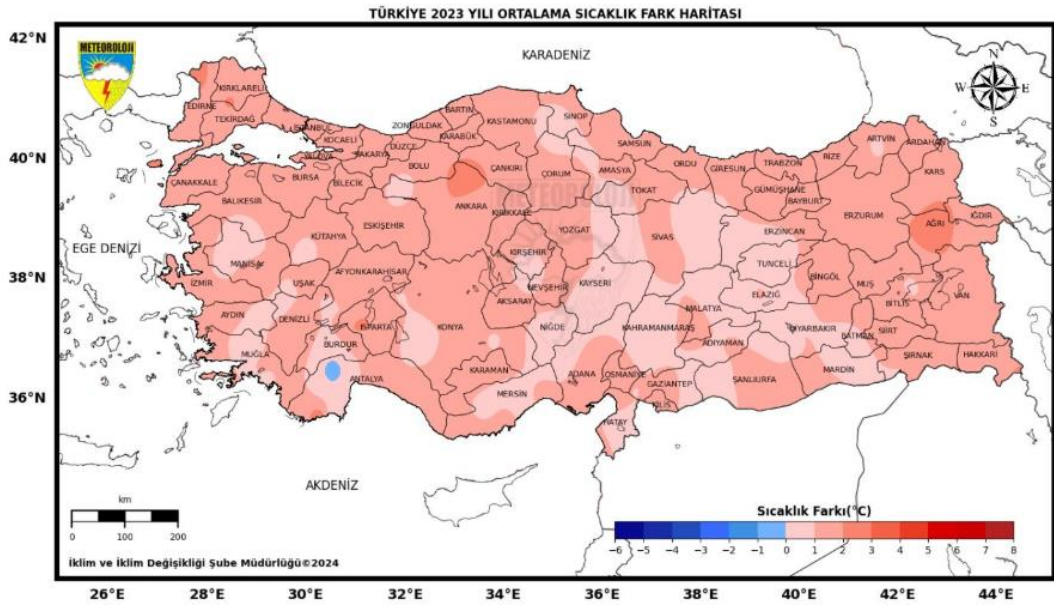
Sanayi devriminin etkisiyle atmosferde birikmeye başlayan CO₂ gazı başta olmak üzere, metan ve azot oksit gibi sera gazları uzun dalgalı ışınları tutmaktadır. Bu sebeple yüzeydeki ortalama sıcaklıklar yükselmektedir. Sanayi devrimi sonrası artan üretim ve fosil yakıt yakımı sebebiyle sera gazları sürekli bir artış eğiliminde olduğu tespit edilmektedir. Bu da küresel bir ısınmaya sebep olur. Bu sebeplerin artarak devam etmesi halinde, uzun dalgalı ışınlar tutunum gerçekleştirilmesi ve ortalama sıcaklıkların artması beklenmektedir. Beşeri neden olarak belirtilen açıklamalar bu çerçeveye ile açıklanmaktadır (Öztürk, 2002).

2.1.1 Türkiye’de iklim değişimi

Türkiye, coğrafi konumu ve topografya karakteristliğindeki çeşitliliği sebebiyle belli bölgelerde farklılık gösteren bir iklim yapısına sahiptir. Bu sebeple, iklim değişikliğinin sebep olabileceği etkilere bakıldığında hassas bölgelerden biri Türkiye’dir. Türkiye’nin farklı bölgeleri arasında büyük iklimsel farklılıklar bulunmaktadır. Bazı bölgelerde Akdeniz iklimi hakimken, iç kesimlerde karasal iklim etkili olmaktadır. Bu çeşitlilik, iklim değişikliğinin etkilerini farklı bölgelerde farklı şekillerde hissetme potansiyelini ortaya çıkartmaktadır. Türkiye’de meteoroloji ve klimatoloji bilimiyle ilgili veri üreten ve servis eden Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına bağlı Meteoroloji Genel Müdürlüğü adı altında bir kurum bulunmaktadır. MGM, Türkiye’nin çeşitli bölgelerinde yer alan meteoroloji istasyonları aracılığıyla sürekli olarak hava durumu verileri toplamakta ve bu verileri analiz ederek halka ve ilgili kurumlara hava durumu tahminleri sunmaktadır. Ayrıca, iklim değişikliğinin Türkiye’nin farklı sektörlerine ve bölgelerine olan etkilerini değerlendirmek için çeşitli projeler yürütmekte ve ilgili kurumlarla işbirliği içinde çalışmaktadır. Dönemlik raporlar sunarak Türkiye coğrafi bölgesindeki iklim değişikliği süreçlerini ve etkilerini kamuoyuna aktarmaktadır. 2023 yılında yayınlanan rapora göre Türkiye’de sıcaklık anomalileri pozitif ve sürekli yükselen eğilimde olduğu görülmektedir (Şekil 2.1). Raporda 2023 yılı Türkiye ortalama sıcaklığı 15.1 °C ile 1991–2020 ortalaması olan 13.9 °C’nin 1.2°C üzerinde gerçekleştiği belirtilmektedir. 2023 yılının ortalama sıcaklığının genel ortalamaya olan farkı Türkiye’nin genelinde artış eğilimindedir (Şekil 2.2). Özellikle Sonbahar mevsiminde sıcaklık anomali değerleri, diğer mevsimlere göre daha yüksektir.



Şekil 2.1: 1991 – 2023 Türkiye ortalama sıcaklık farkları (2023 yılı iklim değerlendirmesi, 2024, s. 3)



Şekil 2.2: 2023 Türkiye ortalama sıcaklık farkları haritası (2023 yılı iklim değerlendirmesi, 2024, s. 5)

Küresel ısınmanın bu hızda ve şiddette sürmesi durumunda, atmosferin doğal akışı da aynı hızla ve şiddette değişeceği tahmin edilmektedir. Bu değişimin, aşırı hava olayları olarak tanımlanan şiddetli fırtınalar ve kuvvetli yağışlar gibi meteorolojik olayları da arttıracığı belirtilmektedir. Bu artışın doğrudan sebebi olabilecek sel gibi hidrolojik doğal afetlerin sıklığı ve şiddetinin de artması beklenmektedir (Türkeş ve diğ, 2000).

2.1.2 İklim projeksiyonları

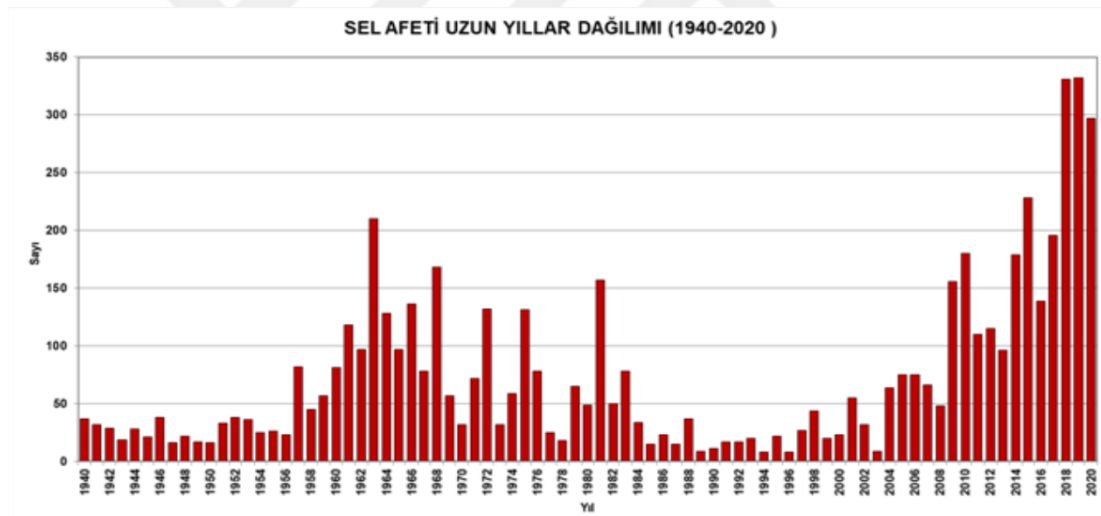
İklim değişikliği için üretilen gelecek projeksiyonlarında tahmin işlemleri sonucunda her kara parçasında sıcak ve aşırı sıcak günlerin sayısının artacağı öngörülmektedir. Ayrıca, birçok bölgede aşırı yağış olaylarının şiddetinin ve frekansının artması tahmin edilmektedir. Bu durumun, aşırı yağışların daha sık gerçekleşmesine ve bunun sonucunda daha fazla sel ve toprak kayması yaşanmasına neden olabileceği gelecek projeksiyonların bir diğer çıktısı olarak gösterilmektedir (Maarten, 2006).

İklim projeksiyonları, gelecekte iklim koşullarını tahmin eden sayısal modellerdir. Bu modeller, çeşitli faktörlerin etkileşiminin atmosfer içerisindeki etkilerini simüle etmektedir. Tüm dünya çevresi için çalıştırılan modellere Küresel İklim Modeli adı verilir. Bazı bölgesel iklim modelleri de bulunmaktadır. İklim modelleri kurulurken iki ana senaryo türünü baz aldığı belirtilmektedir (Collins ve diğ, 2013). RCP adı verilen senaryolarda farklı sera gazı konsantrasyon değerleri üzerinden sayısal hesaplamalar gerçekleştirilmektedir. RCM adı verilen senaryolarda ise sosyoekonomik durumlar incelenmektedir. Elde edilen çıktılar geçmiş dönem iklim verileri ile kalibre edilmektedir.

2.1.3 İklim değişikliği sebebiyle sel afetleri

Türkiye coğrafyasında çeşitli akarsu ve nehirler bulunmaktadır. Bu akarsular, Türkiye'nin coğrafi yapısı ve iklim özellikleriyle birlikte çeşitli sulama, içme suyu temini, enerji üretimi ve endüstriyel kullanım gibi alanlarda kullanılabilir. Türkiye'de akarsular çeşitli debi rejimlerine sahiptir. Kuzey bölgelerdeki akarsular, Karadeniz'in etkisi altında yıl boyunca yüksek debilere sahipken, iç ve güney bölgelerdeki akarsular, yağış rejiminin daha az olması nedeniyle daha düşük debilere sahiptir. Ancak, son yıllarda iklim değişikliği gibi faktörlerin etkisiyle akarsuların debi düzenleri değişmektedir.

Ani yağışlar, akarsuların debilerinin şiddetini artırarak sel olaylarına sebep olmaktadır. Yerleşim bölgeleri de akarsuların yakınlarında oluşturulması, ıslah çalışmalarının yetersizliği ve sel duvarı gibi önlemlerin olmaması sebebiyle sel olayları afet boyutuna ulaşmakta can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Bu kapsamda, MGM (2020) tarafından yayınlanan iklim değişikliği raporunda belirtildiğine göre sel afetlerinin yıllık sayısındaki artış 2004 yılı sonrası süreklilik kazanmaktadır (Şekil 2.3). Aynı raporda, 2020 yılında gözlenen ve Türkiye’yi etkileyen meteorolojik karakterli doğa kaynaklı afetler içinde en yüksek orana sahip afet sel olaylarının oluşturduğu belirtilmektedir. Zachariah ve diğ. (2023) yaptığı çalışma çıktısında ise Türkiye’de sel afetlerinin olasılıklarının 10 kat arttığı ve %40 oranında daha şiddetli hale geldiği belirtilmektedir. Türkiye’de meydana gelen seller can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. 2021 yılında Batı Karadeniz bölgesini etkileyen sel afetinde 97 kişi hayatını kaybettiği kaydedilmiştir. 2023 yılında Adıyaman – Şanlıurfa illerini etkileyen sel afetinde ise 21 can kaybı meydana gelmiştir.



Şekil 2.3: Sel afeti uzun yıllar dağılım grafiği (2020 yılı meteorolojik afetler değerlendirmesi, 2020, s. 51)

Dünyanın birçok yerinde sel felaketlerinin şiddeti ve frekansı artmaktadır. Dünya genelinde sel afetlerinin artışı ile ilgili detaylı istatistiklere göre, 2000-2019 yılları arasında sel olaylarının sayısında %70’lik bir artış tespit edilmiştir. Bu dönemde toplam 3.254 sel olayı kaydedilmişken, 1980-1999 yılları arasında bu sayı 1.389 olarak belirtilmektedir (UNDRR, 2019). Bu afetlerde yüksek sayıda can ve mal kayıpları yaşanmaktadır. Eylül 2023 tarihlerinde Libya’nın Demre bölgesinde sel afeti

yaşanmıştır. Afet geniş bir coğrafyada etkili olmuştur. Olayda en az 11.000 insan hayatını kaybettiği belirtilmektedir. Temmuz 2010 yılında Pakistan'ı etkileyen sel afeti yaklaşık 2.000 insanın hayatının kaybetmesine yol açmıştır. Temmuz 2021 yıllarında ise Almanya, Belçika ve Hollanda ülkelerini etkileyen sel afeti yaşanmıştır. Sel afeti öncesi ve sel afeti sonrası görüntülere bakıldığında afetin çevresel etkisi görülebilmektedir (Şekil 2.4). Bu sel afetinin sonucunda 134 kişi yaşamını yitirmiş ve yerleşim bölgelerine maddi zararlar vermiştir.



Şekil 2.4: Sel felaketi öncesi ve sonrası uydu görüntüsü karşılaştırılması
(Davies, 2021)

2.2 Hidroloji

Suyun Dünya üzerindeki dolaşımını, dağılımını, özelliklerini ve hareketlerini inceleyen ve modelleyen bilim dalı Hidroloji adı altında tanımlanmaktadır. Yeryüzünde, yer altında veya atmosferde bulunan suyu üç ana çerçevede etkileşimine Hidroloji bilimi odaklanır. Üç çerçeve fiziksel, kimyasal ve biyolojik olarak sınıflandırılır (USGS, 2024). Hidroloji temel olarak suyun güvenilirliğini sağlamaktadır. Suyun kıtlığı veya yönetimi konusunda destekleyen bilgiler üretmektedir. Hidrolojinin temel aldığı konulardan biri meteorolojik yağış parametresidir. Atmosferdeki nemin yoğunlaşarak sıvı veya katı hale dönüşmesiyle yeryüzüne inmesine yağış adı verilmektedir. Nem, atmosferde soğuyarak hal değişimi gerçekleştirir. Bu sebeple su buharı katı veya sıvı hal alarak tutunma işlemini gerçekleştiremez ve yer çekimi etkisiyle yeryüzüne düşer. Sıvı haldeki yağışa yağmur adı verilmektedir. Katı haldeki yağışa ise kar veya kırılgı olarak tanımlanmaktadır. Yağmurun yağma metriğine yağış yüksekliği denir. Yağış yüksekliği, yağmurun birikiminin metrik ifadeyle anlatış biçimidir. Yağış yüksekliğin birimi mm veya kg/m² olarak kullanılır. Yağış yüksekliğinin ölçülmesi manuel, otomatik veya uzaktan algılama tekniği ile yapılabilmektedir. Manuel ve otomatik ölçerlerin prensibi bir kapta biriken suyun farklı teknik ve yöntemle ölçülmesini esas alır. Uzaktan algılama tekniğinde radar veya uydu görüntüleri kullanılabilir. Meteoroloji radarları, bulutlardan yansıyan sinyalleri kullanarak yağış miktarını ve dağılımını belirler. Bu yöntem, geniş alanlar üzerinde yağışın takibini sağlar. Meteorolojik uydular, bulutların ve yağışın özelliklerini izleyerek yağış miktarını tahmin edebilir.

Suyun belirli bir referans noktasının su yüzeyiyle arasındaki mesafeye su yüzeyi yüksekliği denir. Su yüzeyi yüksekliği genellikle hidrometrik istasyonlar kullanılarak ölçülür. Bu istasyonlar, su seviyesini sürekli olarak kaydeder ve belirli aralıklarla rapor eder. Ölçüm işlemleri ile suyun akış hızını ve potansiyel sel tehlikelerini anlamak için yapılmaktadır. Genellikle su yüzeyi yüksekliği deniz seviyesine göre ölçülür. Bu, evrensel bir referans noktası sağlar Debi ise bir akarsunun belli bir kesitinden geçen

su miktarı olarak tanımlanmaktadır. Su kaynaklarının yönetimi, sel analizi ve mühendislik tasarımları için debi değerleri kullanılabilir (Ward ve diğ., 2004).

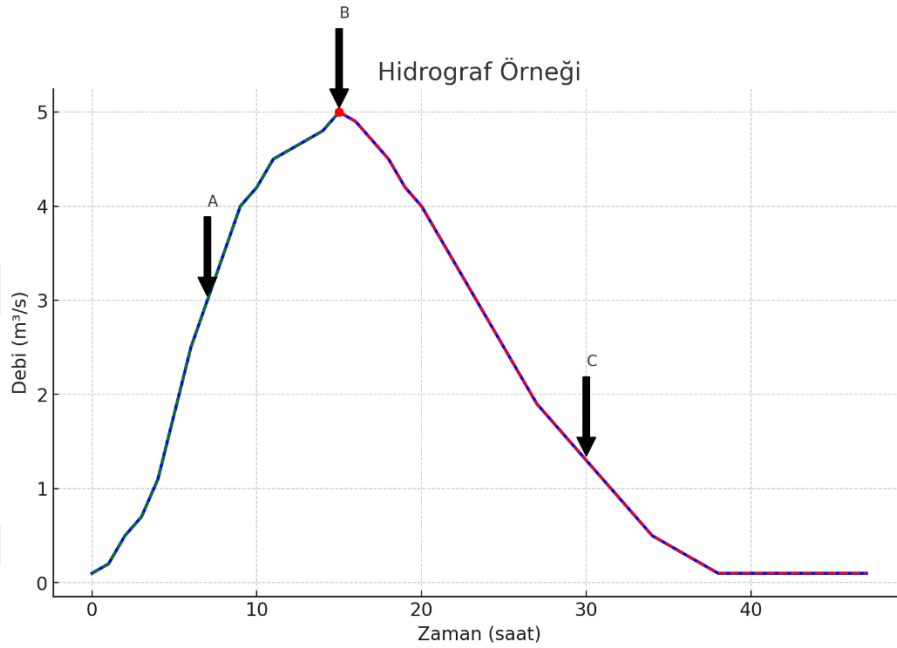
Aşırı ani yağışlar veya sıcaklık yükselmesi getirdiği su kütlesi sebebiyle akarsudaki su miktarını arttırmaktadır. Bu su miktarının artması su yüzeyinin yükselmesini ve debinin hızlanmasına sebep olmaktadır. Bu süreç, akarsuyun yatağından taşmasına ve çevredeki doğal veya beşeri tüm olgulara zarar verecek şekilde yayılıma sebep olmaktadır. Bu duruma sel adı verilmektedir. Sel afetine sebep olarak can ve mal kaybına yol açmaktadır. Sel afetini daha iyi anlamak için debi değerleri üzerinde hidroloji bilimi kullanılmaktadır. Gözlemler hidroloji için önemli bilgi kaynağıdır. Akarsuyun debisini ölçmek için çeşitli yöntemler kullanılır. Akarsu debisi ölçüm yöntemleri arasında yüzey hızı ölçümleri, taşkın kapakları, dalgıç debi ölçerler ve ultrasonik akış ölçerler bulunmakta olup, bu yöntemler doğruluk ve uygulama koşulları açısından farklılık göstermektedir (Kara, 2015). Debi genellikle hacimsel birimler cinsinden ifade edilir. Metreküp/Saniye (m^3/s) yaygın olarak kullanılan debi birimlerinden biridir. Türkiye’de hidrolojik gözlemlere görevine sahip olan resmi kurumu DSİ’dir. DSİ, Türkiye’deki su kaynaklarının geliştirilmesi, yönetilmesi ve korunmasıyla ilgili çalışmalar yürütmektedir. Kurum, akarsulara yerleştirilmiş cihazlarla debi ölçmeleri gerçekleştirir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: DSİ tarafından kullanılan debi ölçme cihazı

2.2.1 Hidrograf

Debiyi bir zaman serisi üzerinde grafik ile gösterime hidrograf adı verilmektedir. Hidrograf, sel gibi ekstrem akış olaylarının anlaşılmasını ve yönetimini iyileştirme işlemlerine bilgi sağlamak için hidrograflar kullanılır. Hidrograflar kabarma eğrisi, tepe noktası ve alçalma eğrisinden oluşmaktadır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6: Hidrograf

Şekil 2.6’da kabarma eğrisi A harfi, tepe noktası B harfi ve alçalma eğrisi C harfi şeklinde gösterilmiştir. Kabarma eğrisi, akış hızının arttığı dönemi; tepe noktası , akış hızının en yüksek olduğu anı; alçalma eğrisi ise akış hızının azaldığı dönemi temsil eder.

Bir su yılı içerisindeki anlık olarak gözlemlenen en büyük debiye yıllık anlık maksimum akım denilmektedir. Maksimum akım, hidrologlar ve mühendisler tarafından sel riskini değerlendirmek ve su yönetim stratejilerini planlamak için kritik bir parametre olarak kullanılır. Bu veriler, gelecekteki sel olaylarının tahmin edilmesine yardımcı olur ve sel koruma yapılarının tasarımında kullanılır (Catugno, 2021).

Sel debisini, yıllık anlık maksimum akım verileri ile tahmin edilebilmektedir. Bu debiyi hesaplamak için iki ana yöntem dizileri bulunmaktadır (Çizelge 2.1). Çalışma bölgesi için geçmiş kayıtlı yağış ve debi değerleri elde edilebiliyor ise istatistiksel yöntemler kullanılabilir. Verileri elde etmede problemler yaşıyorsa, hidroloji biliminin yardımıyla çeşitli hesaplamalar yapılabilmektedir. Bu tür hesaplamalar için kullanılan yöntem dizilerine de deterministik yöntem adı verilmektedir.

Çizelge 2.1: Maksimum debi hesaplama yöntemleri (Semerci ve diğ, 2020)

İstatistiksel Yöntemler	Deterministik Yöntemler
Log-Normal (2 ve 3 Parametrelili)	DSİ Sentetik Yöntemi
Aşırı Değer (Tip I, II ve III)	Mockus Yöntemi
Pearson Tip III	Snyder Yöntemi
Log-Pearson Tip III	Gecikme Zamanı Yöntemi
Gamma Dağılımları	McMath Yöntemi
Yapay Sinir Ağları	Rasyonel Yöntem
Bulanık Mantık	Kresnik Yöntemi

Frekans analizi, ekstrem değer teorisi, log-normal, yapay sinir ağları ve bulanık mantık modelleri istatistiksel yöntemler dizisinde kullanılmaktadır. Frekans analizi, belirli bir büyüklükteki sel olaylarının tekrarlanma olasılığını hesaplamak için kullanılır. Örneğin on, yirmi beş, elli veya yüzyılda bir gibi belli bir dönem içerisinde meydana gelebilecek maksimum değerler hesaplanmaktadır. Frekans analizinde Gamma Dağılımı (2.1) ve Pearson Tip 3 Dağılımları kullanılan istatistik hesaplama araçları olarak belirtilmektedir.

$$p(x)=\frac{1}{\Gamma(\alpha)}x^{\alpha-1}e^{-x} \quad (2.1)$$

Denklem 2.1’de bir Gamma dağılımının olasılık fonksiyonu verilmiştir. X bir bağımsız değişkendir. $\Gamma(\alpha)$ ise bir Gamma fonksiyonudur.

Ekstrem Değer Teorisi, veri setlerinin en uç değerlerini analiz etmeye odaklanan bir istatistiksel teoridir. Log-Normal dağılımı, bir rastgele değişkenin doğal logaritmasının normal dağılım gösterdiği bir sürekli olasılık dağılımıdır. Bu dağılım, genellikle verilerin pozitif olduğu ve geniş bir aralıkta değişim gösterdiği durumlarda kullanılır. Yapay Sinir Ağları, biyolojik sinir ağlarının işleyişini taklit eden bilgi işlem

sistemleridir. Makinelerin yağış, su yüzeyi yüksekliği ve debi veriseti ile öğrenmesini ve analitik sonuçlar elde edilmesini amaçlanmaktadır (Chebii ve diğ, 2022). Bulanık Mantık, klasik mantığın kesinliğine alternatif olarak ara değerleri kabul edilmesine yönelik geliştirilmiş bir mantık sistemidir. Bu mantık sistemi ile belirsizlikleri ele alarak doğru modelleme sistemleri geliştirilebilmektedir.

Deterministik yöntemler, belirli başlangıç koşulları ve sistem parametreleri kullanılarak sonuçların hesaplandığı yöntemlerdir. Deterministik modeller ile sistemin fiziksel süreçlerini matematiksel olarak ifade ederek gelecekteki durumları öngörmek için çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu yöntemler, özellikle yeterli debi gözlem kaydı ve yağış yüksekliği verisi bulunmayan veya ilgili çalışma bölgesinde ölçüm değerlerinin olmadığı hesaplamalar için kullanılır. Farklı havza büyüklüğü ve özelliklerine göre, farklı metodlar kullanılarak yıllık maksimum debi hesaplanabilmektedir.

DSİ tarafından geliştirilen sentetik metot, birim hidrografın hesaplanması için çeşitli ampirik formüller kullanır. 1000 km² alandan küçük havzalarda yapılan çalışmalar için tercih edilmektedir. Havzanın 1000 km² alanından büyük ise, parçalara ayrılarak birimsel olarak çalışmalar gerçekleştirilebilir. Genel anlamda küçük ve orta ölçekli havzalar için kullanılmaktadır. Bu yöntem uygulamaya başlamanın ilk adımı harmonik eğimin hesaplanmasıdır. Projede kullanılan memba noktasından başlanarak proje kesitleri uyarınca bölünen akarsuyun her bölümü için ayrı olarak eğim hesaplanarak, harmonik eğim tespit edilir. Eğim tespit edildikten sonra havza parametresi olan E hesaplama işlemi gerçekleştirilir (3.2).

$$E = \frac{LL_C}{\sqrt{S}} \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de, L parametresini akarsuyun uzunluğunu, L_C ise havza ağırlık merkezinin ana akarsu kolu üzerindeki izdüşümünün havza çıkışına olan uzaklığı olarak tanımlanmaktadır. S parametresi ise harmonik eğim değeridir. Uzunluk birimleri km olarak hesaba dahil edilmelidir. Ardından q_p verim değeri hesaplanır (3.3). Bu değer bir yağışın 2 saat sürmesi ve havza üzerinde 1 mm yağışın etki edeceği

maksimum debi zamanında yağış alanından birim km² çevresinde etki edecek debi değeri olarak açıklanmaktadır.

$$q_p = \frac{414}{(A^{0.255} E^{0.16})} \quad (3.3)$$

Denlem 3.3’de A parametresi havzanın alanını, E ise havza parametresini temsil etmektedir. Verim değeri hesaplandıktan sonra hidrograf içerisindeki tepe debi değerini tespit edilmesi için Q_p parametresi hesaplanır (3.4).

$$Q_p = A q_p 10^{-3} \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’de A parametresi havza alanını temsil etmektedir. q_p ise verim değeridir. Hidrograf hacmi V_b parametre hesabıyla gerçekleştirilir (3.5).

$$V_b = A h_a 10^{-3} \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’de A parametresi havza alanını temsil etmekten h_a parametresi yağış yüksekliğini temsil etmektedir. Hidrografın devam süresi ise denklem 3.6 ile hesaplanır.

$$t_b = \frac{3.65 V_b}{Q_p} \quad (3.6)$$

Denklem 3.6’da V_b değeri hidrograf hacminden gelen değer, Q_p değeri ise hidrograf için hesaplanan tepe değeridir. Hidrografın yükselme zamanı ise denklem 3.7 ile tespit edilmektedir.

$$t = \frac{t_b}{5} \quad (3.7)$$

Denklem 3.7’de temsil edilen t_b , hidrogram devam süresidir. Bu formüllerde elde edilen değerler ile hidrograflar üretilebilir. Hesaplamalar sonucunda, tepe değeri maksimum debi olarak tanımlanabilir (Demir, 2020).

10 km² alandan küçük havzalar için kullanılmak için tercih edilen yöntem ise Mockus yöntemi olarak belirtilebilir. Bu yöntemde hesaplamaların daha kısa sürmesi ve hidrograf çiziminin daha az adımda gerçekleştirilmesi sebebiyle tercih edilebilmektedir. Bu yöntemde hesaplama yapmadan önce harmonik eğim hesaplanmalıdır. Ardından, T_c suyun toplanma zamanı parametresi hesaplanır (3.8).

Bu parametre suyun havzaya düşmesinden sonra , havzadan çıkışına kadar olan süreyi temsil etmektedir.

$$T_c = \frac{0.00032 L^{0.77}}{S^{0.385}} \quad (3.8)$$

Denklem 3.8’de L parametresi akarsuyun uzunluğunu temsil etmektedir. S parametresi ise harmonik eğim değeridir. Toplanma zamanı bulunduktan sonra taşkın süresi hesaplanır (3.9).

$$D = 2 \sqrt{T_c} \quad (3.9)$$

Denklem 3.9’da temsil edilen T_c parametresi suyun toplanma zamanıdır. Hesaplanan taşkın süresi ve toplanma zamanı yardımıyla hidrografta temsil edelin kabarma eğrisi ve alçalma eğrisi zamanları hesaplanabilir.

$$T_p = 0.5D + 0.6 T_c \quad (3.10)$$

$$T_r = HT_p \quad (3.11)$$

$$T_b = T_p + T_r \quad (3.12)$$

Denklem 3.10’da kabarma eğrisi zamanı, denklem 3.11’de alçalma eğrisi zamanı ve denklem 3.12’de ise hidrografın tüm zamanını tespit edilmesini temsil eden hesaplamalardır. Denklem 3.11’de parametresi hesabında H parametresi iklim katsayısına bağlı sabit değerdir. Tepe değer tespitinde ise denklem 3.13 hesabı kullanılır.

$$Q_p = \frac{K A h_a}{T_p} \quad (3.13)$$

Denklem 3.13’de T_p kabarma eğrisi zamanını temsil eder, A ise havza alanının değeridir. K ise havzanın sahip olduğu iklimi temsil eden bir katsayıdır. h_a ise yağış yüksekliğini temsil etmektedir. Bu hesaplar sonrasında elde edilen parametreler ile bir hidrograf çizimi gerçekleştirilebilir (Sönmez, 2020).

Snyder yöntemi bir diğer çok kullanılan yöntemlerden biridir. Bu yöntemde daha çok havzanın fiziksel özelliklerinin katsayılarıyla ilgili hesaplamaların dahil edildiği görülmektedir. Bu yöntemde ilk hesaplanan parametre ise t_p olarak tanımlanan havza gecikmesidir (3.14).

$$t_p = 0.75C_t(LL_c)^{0.3} \quad (3.14)$$

Denklem 3.14’de L olarak tanımlanan değer akarsuyun uzunluğudur. L_c olarak tanımlanan değer ise havzanın ağırlık merkezinden havzanın su çıkış noktasına dik bir çizginin çizilmesiyle oluşturulan kesitin havzanın çıkış noktasına olan en kısa mesafesidir. Uzunluk birimleri km cinsinden hesaplanmalıdır. C_t ise havzanın karakteristik özelliği olan depolama kapasitesi ve eğimini temsil eden katsayıdır (Sönmez, 2020). C_t değeri dağlık arazilerde 1.2, düzlük yerlerde 0.72 veya vadilerde 0.35 alınabilir. C_t değeri ardından tepe değeri bulunabilmesi için 0.89 ile çarpılarak C_p parametresi elde edilir. Hesaplana C_p ve t_p parametreleri ile q_p parametresi hesaplanır (3.15).

$$q_p = \frac{2760 C_p}{T_p} \quad (3.15)$$

Bu hesaplamalar sonucunda tepe debi değerinin tespiti için Q_p parametresi elde edilebilmektedir (3.16).

$$Q_p = A q_p h_a 10^{-3} \quad (3.16)$$

Denklem 3.16’da A ile temsil edilen katsayı havza alanıdır. h_a ise yağış yüksekliği değeridir. h_a yağış yüksekliğinde olabilecek maksimum debi bu hesaplamaları sonrasında elde edilebilmektedir.

Belirtilen yöntemler dışında birçok yöntemler de maksimum debi değerini ve hidrograf üretimi için kullanılmaktadır. Gecikme Zamanı yöntemi, yağış olayının merkezi ile akış hidrografının tepe değeri arasındaki zaman gecikmesini hesaplayarak tepe debiyi tahmin eder. McMath yöntemi, tepe debiyi havza özellikleri ve yağış yüksekliği ile ilişkilendiren daha az yaygın bir yaklaşımdır. Rasyonel Yöntem, küçük havzalardan tepe değeri debiyi hesaplamak için kullanılan yöntemlerden biridir. Kresnik yöntemi teorik yaklaşımlar ile geliştirilmiş bir süreç barındırmaktadır. Bu yaklaşımlarda havza özellikleri, toprak tipleri, arazi örtüsü ve meteorolojik veriler dahil edilmiştir (Semerci, 2020).

2.2.2 Sayısal modeller

Çeşitli parametreler ve katsayılar yardımıyla yapılan hesaplamalar sonucunda tespit edilen hidrograflar, sel afetlerinin modellenmesi için ön veri sağlamaktadır. Modellemeler, olası sel afetinin kaynağı ve şiddeti hakkında bilgiler verebilmektedir.

Bu kapsamda, sel afeti modellerinde kullanılan çeşitli teknikler bulunmaktadır. Bu tekniklerin uygulanması sürecinde hidroloji biliminin getirdiği bilgi birikimi kullanılmaktadır. Modellerin ana amacı suyun hareket davranışını tespit etmeye yöneliktir. Bu kapsamda incelenen hidroloji dalına hidrodinamik denir.

Sel modelleme süreçlerinde hidrodinamik problemlerin çözülmesinde sayısal modeller kullanılmaktadır. Sayısal modeller, matematiksel denklemleri ve hesaplamalı teknikleri kullanarak fiziksel sistemleri simüle eden araçlardır. Bu kapsamda, sel modellerini üretmek için çeşitli modelleme araçları üretilmiştir.

HEC-RAS, sel simülasyonunda en çok kullanılması tercih edilen araçlardan biridir (Dasallas, 2019). HEC-RAS, ABD Ordusu Mühendisler Birliği'nin bir birimi olan Hidroloji Mühendislik Merkezi tarafından geliştirilmiştir ve ücretsiz olarak kullanılmaktadır. Genel amaçları olarak taşkın analizleri, su yüzeyi profili hesaplamaları ve sediment taşınımı gibi çeşitli hidrolik hesaplamalar olduğu söylenebilir. Modeller bir boyutlu, iki boyutlu veya her iki boyutun işlemlerini bir arada gösteren karışık modelleme olarak gerçekleştirilebilir. Bir boyutlu modeller kanal, kanalizasyon veya nehir gibi tek yönlü bir eksen boyunca simüle edilen verilerdir. İki boyutlu modeller ise bir alan içerisine odaklanır, suyun tek bir doğrultu yerine bir alana yayılma işlemini modelleyi amaçlamaktadır. Genel anlamda sel simülasyonları, suyun yayılımı göstermek amacıyla olduğu için iki boyutlu modelleme gerçekleştirilir. Her iki boyut türünün de bir arada gerçekleştirilen analizlerde, geniş anlamda sel analizine odaklanır. Bu analizler her bir kesit için çıktılar oluşturabilir. Modellerin girdi debileri durağan veya değişken akım olabilmektedir. Durağan akım, debinin zamanla değişmediğini ve bu sebeple basınç ve diğer faktörlerin sabit kaldığı duruma denir. Bu tür modellerin değişkenleri olmadığı için simülasyon bilgisayar ortamında daha hızlı tamamlanmaktadır. Değişken akım, debinin zaman içerisinde değişime uğradığını tanımlamaktadır. Basınç ve diğer akış özellikleri bu zaman serisinde sürekli değişim içerisindedir. Zamana bağlı değişim gösteren debinin davranışını daha ayrıntılı analiz etmek için değişken akımlı modellemeler uygulanmaktadır.

Peker ve diğ. (2024) yaptıkları çalışmada, HEC-RAS modelindeki işlemleri 2 boyutlu ve değişken akım kullanarak gerçekleştirmiştir. Göksu Nehri'nin 50, 100 ve 500 yıllık

taşkın dönemleri için akış oranlarını simüle etmiştir. Bu modelleme, su yüzeyi profillerini ve akış hızlarını değişken koşullar altında hesaplamıştır.

Dasallas ve diğ. (2019) yaptıkları çalışmada, HEC-RAS modelindeki işlemleri 1 ve 2 boyutlu modellerin her ikisini de kullanarak değişken akım üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu modelleme, Mississippi Nehrinde kıyı erozyonu ve su taşkınlarının etkilerini değerlendirmek için kullanılmıştır.

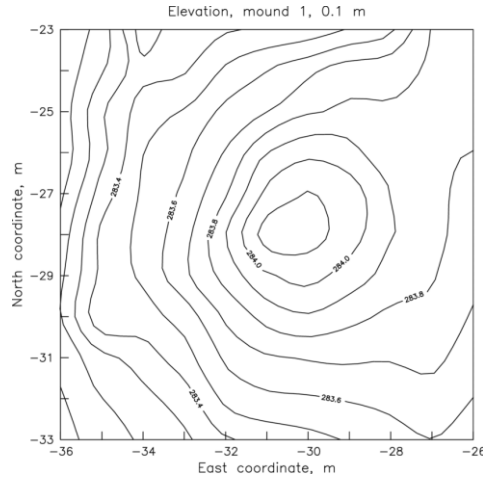
Vashist ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada HEC-RAS modelindeki işlemleri 2 boyutlu ve değişken akım kullanarak gerçekleştirmiştir. Krishna Nehri üzerinde sel afeti simülasyonları gerçekleştirerek, sonuçları değerlendirmişlerdir.

2.3 CBS

2.3.1 Topografya

Yeryüzünün yükseklik gibi fiziksel özelliklerinin tanımlaması ve bunların harita üzerinde görselleştirmesini konu alan bilime topografya denir. Topografya bilimi ile belirli bir bölge için yeryüzünü modelleyerek yükselti veya eğim gibi özellikleri tespit edilebilmektedir. Yükseklik bilgisi farklı yöntemlerle ölçülebilir ve her yöntemin kendine özgü avantajları ve dezavantajları vardır. Zaman alıcı ve manuel iş gerektiren yersel  l me yöntemiyle yükseklik verisi elde edilebilir. Bu yöntem yüksek hassasiyetle yükseklik verisi elde etme işlemine olanak sağlamaktadır. LiDAR ile yükseklik ölçmeleri gerçekleştirilebilir. Çeşitli araçlara takılan sensörlerden lazer ışınları kullanılarak elde edilebilecek yükseklik verisi, geniş alan hakkında veri toplama imkanı avantajı olsa da maliyet açısından dezavantaja sahiptir. Fotogrametri tekniği ile yükseklik verisi toplanabilir. Geniş alanda veri toplama imkanına sahip olursa da hava koşullarına bağımlılık ve maliyet dezavantajları hesaba katılmalıdır. Uzaktan Algılama tekniği ile uyduların sahip olduğu sensör teknolojileriyle yükseklik bilgisi elde edilebilir. Uydu yapım maliyeti, yörüngeye gönderim ve işletme maliyetleri yüksek olsa da hali hazırda elde edilen veriler geniş bir lokasyon için ulaşım imkanı kolay ve ücretsizdir. Yükseklik bilgisi aktarımı harita üretimi gerçekleştirilerek yapılabilir. Kullanıcılar analog veya dijital ortamda topografik haritalar ile belirli bir bölgenin ayrıntılı fiziksel özelliklerini öğrenebilir ve analiz işlemlerine dahil edebilir. Bu haritalarda, yükseklikler ve arazi şekillerini temsil etmek için eş yükselti eğrilerini kullanılabilir. Eş yükselti eğrileri, aynı yükseklik

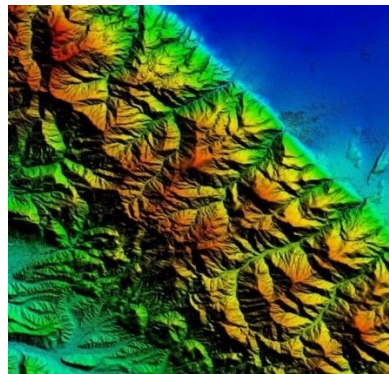
seviyesindeki noktaları birleştirir ve böylece arazi eğimlerinin ve yükseklik değişimlerinin görsel bir temsilini sağlar (Şekil 2.7).



Şekil 2.7: Eş yükselti eğrileri (Bevan, 1996)

2.3.2 Sayısal yükseklik modeli

Yükseklik ve konum verisini dijital ortamda modelleyerek gösterilmesine Sayısal Yükseklik Modeli denir. SYM'ler çevredeki tüm olguların yükseklik verisini içermektedir (Şekil 2.8). Örneğin, binalar veya kaldırımlar SYM içerisinde modellenmektedir. Sadece topografyanın modellendiği, içerisinde bina ve kaldırımlar gibi olguların olmadığı modellere de Sayısal Arazi Modeli adı verilmektedir. Analiz istekleri ve istenen sonuç özelinde uygun modeller tercih edilmektedir. Modeller, geniş alanda mühendislik çalışmalarında mekansal analiz amacıyla kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak hidroloji bilimi verilebilir. Suyun akışının modellenmesi çerçevesinde hidrodinamik modellerde SYM verilerin kullanılması bir önkoşuldur. Suyun arazideki davranışı SYM ile elde edilecek yükseklik ve eğim bilgisi ile simüle edilebilmektedir.



Şekil 2.8: Sayısal Yükseklik Modeli

SYM'lerin kalitesi yapılan analizlerin doğruluğunu etkilemektedir. Mekansal çözünürlük analizlerin ilk önemli parametresidir. Verinin mekansal çözünürlüğü yüksek olması, özellikle akış analizlerinde suyun davranışını gerçeğe en yakın şekilde modellenmesine katkı sağlamaktadır. SYM'lerde yüksekliği tanımlayan değerlerin tam sayı veya rasyonel sayı olması da kalite açısından önemlidir. Rasyonel sayı ile temsil edilen yükseklik değerlerinin, analizlerdeki hesaplamalarda ara değer tespitlerinde gerçeğe daha yakın sonuçlar verebilmektedir. Eğim ve baki hesaplarında rasyonel değerli yükseklik verilerinin tam sayılara göre daha fazla hesaplama aralığı bulunmaktadır. SYM'lerde görüntü işlemler veya veri aktarım hatalarından kaynaklanan ani yükselme ve düşme sonucunda çukur ve tepe oluşumları da verinin kalitesini etkilemektedir. Bu sorun, çeşitli araçlar yardımıyla çözümlenebilmektedir.

SYM verilerini elde edilebilen çeşitli kaynaklar bulunmaktadır. Bu kaynaklardan ilki SRTM olarak verilebilir. SRTM, NASA ve NGA tarafından yürütülen bir çalışmadır. Dünya yüzeyinin büyük bir kısmını yaklaşık 30 metre mekansal çözünürlükte yükseklik verisini elde etme imkanı sağlar. Veriler, USGS EarthExplorer ve NASA EarthData üzerinden indirilebilmektedir. Diğer bir veriseti örneği ASTER GDEM'dir. ASTER GDEM, yaklaşık 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Dünyanın büyük bir bölümünü kapsayan veritabanına sahiptir. Terra uydusunun ASTER sensörü tarafından üretilmiştir. ASTER GDEM veriseti, NASA EarthData ve ASTER GDEM web sitesi üzerinden elde edilebilir. ALOS AW3D30 veri seti Japon Uzay Ajansı tarafından sağlanır. Yaklaşık 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahip olan veri seti, JAXA web sitesi üzerinden indirilebilir. Copernicus DEM veriseti, Avrupa Uzay Ajansı tarafından sağlanan 30 ve 90 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. Veriler Copernicus Open Access Hub üzerinden erişilebilir. ALOS PALSAR veri seti, JAXA tarafından işletilen ALOS uydusu tarafından toplanan radar verilerinden oluşur. SAR teknoloji kullanarak yükseklik modeli üretilmiştir. 12,5 ve 30 metre çözünürlükte verilerden oluşur. Türkiye'nin geniş kısmını kapsar. Sentinel-1 uydularıyla, farklı sensör pozisyonlarından alınan iki karmaşık SAR görüntüsü arasındaki faz farkını kullanarak yükseklik verisi elde edilebilmektedir. Bu veriler ile SYM üretimi gerçekleştirilebilir. Üretim sürecinde atmosferik koşullar, çözümleme hataları, aşırı engebeli arazi ve sulak alanlarda verinin kalitesi düşebilmektedir.

Garotte 2022 yılında yaptığı çalışmada, ücretsiz SYM verilerinin taşkın modellemesinde kullanılmasının doğruluğunu 2015 yılında yaşanmış sel felaketi üzerinden karşılaştırmıştır. Sonuç olarak ücretsiz SYM'ler ile taşkın modellemelerin yapılabilirliğini ve Copernicus DEM verisinin daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmektedir.

Ejikeme ve diğ. (2017) yaptıkları çalışmada, hidrolojik modellemede SRTM ve ASTER GDEM verisi kullanmıştır. Bu verilerin doğruluğu konusunda karşılaştırmalar ve sonuçlarını aktarmıştır. Çalışma sonucunda hidrolojik çalışmalarda SRTM verisinin kullanılması önerilmektedir.

Kjoeh ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada, sel afeti yayılım haritalarını SRTM, ALOS ve ASTER GDEM verileri ile üretti. Doğruluklarını karşılaştırıldığında en kötü performansı ASTER GDEM verisi tarafından üretilen analizlerin gösterdiğini belirtmektedir.

2.3.3 CBS teknolojisi

CBS, mekansal verilerin elde edilmesi, depolanması, analiz edilmesi, yönetilmesi ve görselleştirilmesi süreçler bütünü konuları alan bir bilgi sistemidir (Longley, 2005). Bu sistemler, çeşitli alanlarda karar verme süreçlerini desteklemek için mekansal bilgiyi kullanarak karmaşık analizler yapabilirler. CBS, konuma bağlı bilgileri analiz ederek şehir planlaması, çevre yönetimi, ulaşım, lojistik ve afet yönetimi gibi pek çok alanda önemli bir rol oynar. CBS ile yükseklik verilerini dijital ortamda görselleştirebilir ve analiz işlemlerine girdi verisi olarak kullanabilmek mümkündür. Sel afeti modelleme süreçlerinde yükseklik verilerinin düzenlenmesi, görselleştirilmesi ve araçlar yardımıyla hidrolojik işlemleri yapabilme imkanı CBS ile sağlanabilmektedir. Bu amaçla hidroloji yönünden CBS yazılımları çeşitli araçlar geliştirmektedir. CBS araçları ile su yollarını tespit edebilir, sel havzasını belirleyebilir ve su akış yön ve hızları hesaplanabilmektedir.

CBS yazılımları içerisinde, SYM kullanarak su yolunu ve akış yönünü çeşitli yazılım araçları kombinasyonu ile elde edilebilmektedir (Tarbaton, 1997). İlk olarak analiz öncesi süreçte SYM modeli içerisinde veri hatasından kaynaklı çukur ve tepe oluşumlarını düzenlemek gereklidir. Fill DEM adı verilen araçlar kullanılır. Örneğin 3x3 bir hücre matrisinde orta hücredeki değer komşu hücredeki değerlerden küçük ise orası çukur olarak belirlenir. Bu yükselti farkının belirli bir sınır koşulu belirlenerek

çukur olarak belirlenebilir. Tespit edilen çukurlar, komşu hücrelerin yükseklik değerleri kullanılarak doldurulur. Çukurun çevresindeki hücrelerden en düşük olanı belirlenir ve çukurun yüksekliği bu değere eşitlenir. Bu doldurma işlemi ile akış eğimi korunmak istenmektedir (Wang ve diğ, 2006). Düzeltilen SYM verisi Akış Yönü belirleme işlemine girer. Bu işlem genel olarak Flow Direction olarak tanımlanır. Bu işlemin genel amacı, suyun var olması durumunda ana hücrenin hangi komşu hücreye gideceğini tespit etmektir. Hesaplama sürecinde D8, MFD veya D_{∞} algoritmaları ile yapılır. D8 algoritması her hücre için en dik eğim yönü hesaplar ve su bu yöne doğru akar. Eğimin en dik olduğu yön, akış yönü olarak atanır (Grenleei, 1987). MFD algoritması, suyun bir hücreden birden fazla komşu hücreye akabileceği yönleri belirler (3.17). Bu algoritma, suyun daha gerçekçi bir şekilde yayılmasını simüle etmektedir (Qin ve diğ, 2007). D_{∞} algoritması, her hücredeki su akış yönünü daha hassas bir şekilde belirlemek için hücre merkezinden köşelere doğru sürekli bir eğim hesaplar (3.18). Bu algoritma, akış yönünün daha kesin belirlenmesini sağlamaktadır (Tarbaton, 1997).

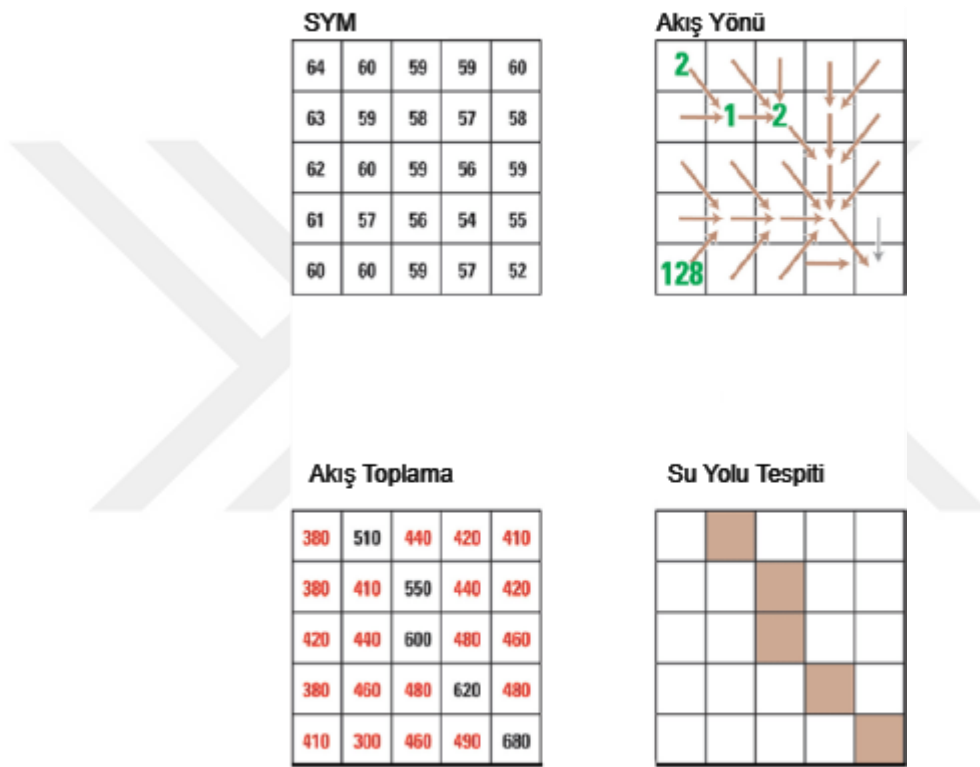
$$w_k = \frac{\tan(\alpha_k)}{\sum_{k=1}^n \tan(\alpha_k)} \quad (3.17)$$

Denklem 3.17’de w_k suyun *bir* komşu hücreye akış yüzdesini, α hücreler arası eğim açısını temsil etmektedir. n toplam komşu hücre sayısını ifade eder.

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{z(i,j) - z(i+\Delta x, k+\Delta y)}{\sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}} \right) \quad (3.18)$$

Denklem 3.18’de θ akış yönü açısını, Δx ve Δy hücre merkezleri arasındaki mesafe değişimini temsil eder. Akış yönünü belirledikten sonra, akışın toplanmasını hesaplama işlemine geçilmektedir. Bu işleme Flow Accumulation adı altında araçlarla yapılmaktadır. Bu işlemde, bir hücrede beklenen toplam birikimin modellenmektedir. İlk olarak başlangıç hücreleri belirlenir. Hesaplamada belirtilen başlangıç hücrelerinin yükseklik verisi diğer hücrelere göre daha yüksek olan hücrelerdir. Başlangıç hücresinden komşu hücreler su birikimi paylaşılır. Paylaştırma işleminde daha önce hesaplanan ve belirlenen akış yönünde yükseklik oranlarına göre yapılmaktadır. Her hücre, komşu hücrelerinden gelen su birikimini toplatılarak bir değer matrisi oluşturulur. Akış toplama değer matrisi oluşturulduktan sonra, bir sınır koşulu değeri belirlenir. Sınır koşulu belirleme işlemi analizin gereklilikleri ve coğrafi yapıya göre analizi yapan kişi belirler. Sınır koşul değeri ne kadar yüksekse, akış toplama değer

matrisi yüksek değerler yakalanır. Sınır koşulu değeri, akış toplama analizi sonucunda elde edilen değer matrisindeki her bir hücreden çıkartılır. İşlem sonucunda pozitif değere sahip hücreler bir su yolunu temsil etmektedir. Hücre değeri yüksek olan kesitler ana kanalı oluştururken, değerleri daha düşük kesimler dalları oluşturmaktadır. Bu işlem silsilesi ile SYM verisinden su yolları modellenenmektedir (Şekil 2.9). SYM verisinin mekânsal çözünürlüğü bu işlemin doğruluğunu belirleyen en önemli faktördür. Yüksek mekânsal çözünürlüğe sahip SYM verileri ile daha hassas şekilde su akış yolları belirlenebilmektedir.



Şekil 2.9: Su akış yolu belirleme işlemi (Yun ve diğ, 2016)

CBS işlemleri yapabilmek için yazılımlar bulunmaktadır. Bu yazılımlar açık kaynaklı veya ücretli olabilmektedir. Genel kapsamda Python yazılım dili ile CBS işlemleri yapılabilmektedir, ancak kullanıcı arayüzü işlemleri ve daha kolay kullanım sebebiyle yazılımlar da tercih edilebilmektedir.

Python yazılım dilinde bulunan çeşitli kütüphaneler mekânsal analiz işlemlerini yapabilme yeteneğine sahiptir. Bu kütüphaneler ile coğrafi veri işlenebilir, analiz edilebilir ve harita üretimi gerçekleştirilebilir. GeoPandas kütüphanesi ile coğrafi verileri kolayca manipüle edebilir ve analiz edebilir. Shapely kütüphanesi ile nokta,

çizgi ve poligon gibi veri tipleri üzerinde çeşitli işlemler gerçekleştirebilir. Fioana kütüphane ile shpfile veri formatındaki veriler içerisinde işlemler gerçekleştirilebilir. Folium veya Mathplot kütüphanelerini kullanarak harita üretimi gerçekleştirilebilir. Bu kütüphaneler kullanılarak, hidrolojik analizler gerçekleştirilebilmektedir.

CBS yazılımları, coğrafi verilerin işlenmesi ve analiz edilmesi için çeşitli yeteneklerde analiz araçlarını sunar. Esri ArcGIS, popüler ve yaygın kullanılan ücretli CBS yazılımlarından biridir. Masaüstü, web ve mobil platformlar için çeşitli versiyonları mevcuttur. QGIS, açık kaynak kodlu bir CBS yazılımıdır ve ücretsiz olarak kullanılabilir. Esri ArcGIS'e alternatif olarak kabul edilir ve sürekli güncellenen geniş bir eklenti yelpazesine sahiptir. MapInfo ve GrassGIS diğer bilinen yazılımlara örnek olarak gösterilebilir. Bu yazılımların hidroloji bilimini esas alan araç ve eklentileriyle hidrolojik analizler yapılabilmektedir.

2.4 Hidro-CBS

CBS, mekansal verilerin toplanması, analizi ve görselleştirilmesi için kullanılan güçlü bir teknolojidir. Hidroloji bilimi ise suyun hareketi, dağılımı ve kalitesini inceler. Bu iki ana olgunun bir arada kullanılmasının sağlanmasıyla çeşitli problemlerin çözülmesi yönünde çalışmalar geliştirilebilir. Su kaynaklarının yönetimi, taşkın modellemesi ve çevresel izleme gibi alanlarda Hidroloji bilimi ve CBS teknolojisi kullanım çalışmaları gerçekleştirilebilir. Hidroloji biliminin yetenekleriyle suyun hareketini anlama çalışmalarında mekânsal bilginin önemi büyüktür. Bölgenin topografik koşulları, bu çalışmaların gerçekleştirilmesinde önemli bir girdi verileridir. Topografik koşullar suyun hareketinin doğrultusu ve yönlerini anlamak için veri kaynağıdır. Bu nedenle hidrolojik problemlerin çözülmesinde kullanılan sayısal modellemelerin eklendiği araçlarda CBS teknolojisi de dahil edilmektedir. HEC-RAS yazılımında Ras-Mapper bunun bir örneğidir. Ras-Mapper içerisinde harita üretiminde gerekli olan koordinatlar dahil edilir, çevrenin görselleştirilmesinde çeşitli Google veya Openstreetmap gibi haritalar ile sağlanabilir. Çalışma bölgesindeki geometri çizimleri poligon veri tipinde gerçekleştirilir. Çıktılar katman olarak gösterilir ve CBS teknolojisinde kullanılan kesme, ekleme gibi shapefile verileri düzenleme analizleri gerçekleştirilebilir. SWAT yazılımı da hidroloji bilimi ve CBS teknolojisinin bir arada kullanıldığı bir başka yazılım olarak örnek gösterilebilir. SWAT yazılımı çeşitli CBS yazılımlarına eklenti olarak entegre olabilmektedir. Girdi verilerinde SYM verisi başta olmak üzere, arazi

kullanım verisi ve toprak envanter verisi de yazılıma raster veri tipinde dahil edilebilmektedir. QGIS ve ArcMap yazılımlarının SWAT entegreleri bulunmaktadır. QGIS tarafında eklenti, sürekli olarak güncellenmektedir. ESRI ArcGIS yazılımına üretilen ArcHydro araçları da, Hidroloji biliminin ve CBS teknolojisinin bir arada kullanımına bir diğer örnektir.

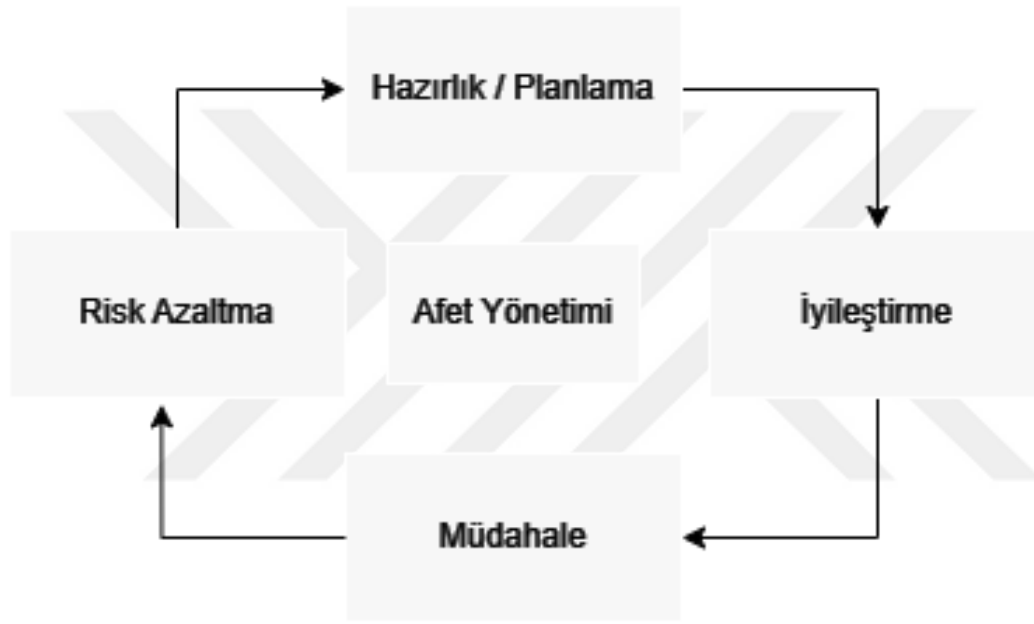
Peker ve diğ. (2024) yaptıkları çalışmada, HEC-RAS ve CBS yazılımları kullanarak sel afeti tehlikesi haritalarını üretmiştir. Satriagasa ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada, SWAT ve HEC-RAS modellerini CBS teknolojisi kullanarak iklim değişikliğinin sel afetlerinin tahmininde olacak etkileri araştırmıştır. İcaga ve diğ. (2016) yılında yaptıkları çalışmada, Akarçay Bolvadin Alt Havzası'nda taşkın modellemesi için HEC-RAS ve CBS teknolojisi kullanılmıştır.

2.4.1 Hidro-CBS ve afet yönetimi

Hidroloji bilimi ve CBS teknolojisinin entegrasyonu, afet yönetiminde kullanılabilmektedir. Meteorolojik afetlerden biri olan sel afetlerinin planlaması, etkilerini azaltmak ve afet sürecinde karar verici organizmalar için karar destek yeteneklerini bu entegrasyon ile sağlanabilir (Şekil 2.10). Bu işlemlerin yapılabilmesi için yağış, akış, buharlaşma ve yeraltı suyu gibi su döngüsünün çeşitli bileşenlerinin verisi gerekmektedir. CBS teknolojisi, bu verilerin elde edilmesini, harita üretimini ve mekânsal olarak analiz edilmesini sağlar. CBS ve hidrolojik modellerin birleşimi, su döngüsü süreçlerinin simülasyonu ve gelecekteki senaryoların tahmin edilmesi için kullanılır. Hidrolojik modeller, nehir havzalarında su akışının tahmin edilmesine yardımcı olur, CBS teknolojileri bu modellerin mekansal bileşenlerini sağlar. Hidroloji bilimi ve CBS teknolojisi, erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesinde önemli bir rol oynar. Planlama aşaması için geliştirilen tahmin modelleri ile, sel afeti tehlike haritaları üretilebilir. Su seviyeleri, yağış miktarları ve diğer hidrolojik veriler gerçek zamanlı olarak izlenebilir. Bu şekilde geliştirilen çalışmalar sonucunda sel veya kuraklık gibi olaylar önceden tahmin edilebilir. Afet durumunda, etkin müdahale ve kurtarma çalışmalarını desteklenebilir. Sel baskınları sırasında, CBS ile selin etkilediği bölgeler hızlı bir şekilde haritalanabilir ve bu bilgiler acil müdahale ekiplerine hızlı bir şekilde iletilebilir.

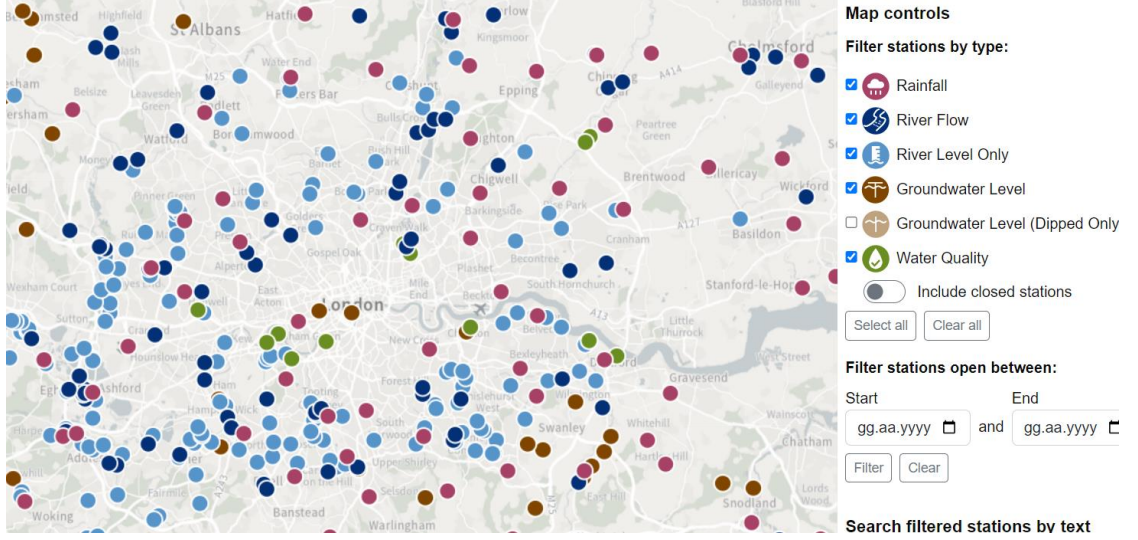
Radatu ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada, CBS teknolojisiyle yer altı suyu hidrolojini inceleyerek, çöküntü olabilecek alanları tespit etme analizlerine odaklanmıştır. Araştırmalarının temel konusu olarak şehir planlama faaliyetlerinde olabilecek katkılara odaklanmaktadır.

Akallouch ve diğ. (2024) yılında yaptığı çalışmada, yerleşim yerlerinde sel risklerine odaklanarak olası hasar alabilecek yapıları CBS teknolojisi kullanarak belirlemektedir. Çalışmanın afet yönetim süreçlerine katkı sağlanması amaçlanmaktadır.



Şekil 2.10: Afet yönetimi aşamaları (Kadıoğlu, 2008)

Birleşik Krallık Çevre Bakanlığının yaptığı bir çalışmada, ülke bütününde akarsuların debi, su yüksekliği ve su kalitesi gibi parametreleri CBS tabanlı bir web uygulamasında açık kaynaklı bir şekilde yayınlamaktadır (Şekil 2.11). Bu çalışma ile kullanıcılar, olası debi veya su yüksekliği değişimlerinde uyarılarak sel tehlikesine karşı bilgilendirilmektedir. Ayrıca, sel tehlikesine karşı tehlikeli alanlar için sel duvarları inşaat ederek, olası sel zararlarını en aza indirmek için çalışmalar gerçekleştirmektedirler.



Şekil 2.11: Birleşik Krallık debi izleme uygulaması

2.4.2 Hidro-CBS ve şehir planlama

Hidroloji bilimi ve CBS teknolojisi entegrasyonu şehir planlamaya da önemli katkılar sağlamaktadır. Şehir plancılarının su kaynaklarını daha verimli yönetmelerine, su temin altyapısını optimize etmelerine ve potansiyel su krizlerine karşı hazırlıklı olmalarına bu entegrasyonun kurulmasıyla katkı sağlanır. Sel risk haritalarının oluşturulması ve sel havzaların belirlenmesi, CBS ile entegre edilen hidrolojik modeller sayesinde mümkün olur. Bu çıktılara bakılarak şehir ve bölgeler planlanabilir. Bu sayede olası afetlerde can ve mal kayıplarının önüne geçilmiş olur. Özellikle iklim değişikliğiyle birlikte artan aşırı hava olaylarına karşı, şehirlerin dirençli hale getirilmesi için hidroloji ve CBS'nin birlikte çalışması önemli faydalar sağlayabilir.

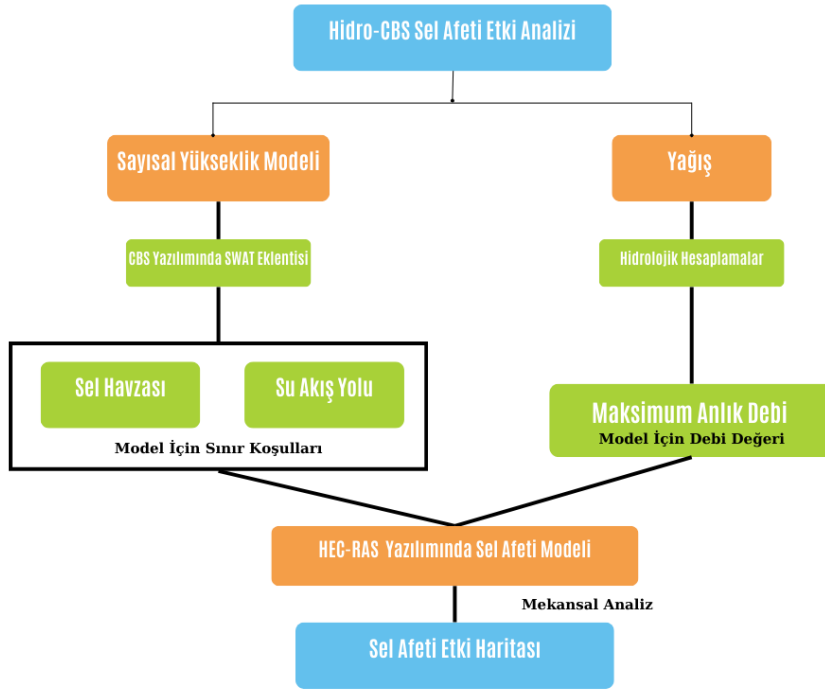
Saikh ve diğ. (2023) yaptıkları çalışmada, hidrolojik bilimi ve CBS teknolojisi kullanarak taşkın duyarlılık haritalar üretmiştir. Bu çalışma sonucunda bu tarz araştırmaların karar destek süreçlerine katkı sağlayabileceği belirtilmektedir.

Pradeep ve diğ. (2022) yaptıkları çalışmada, Hidro-CBS analiz araçlarının şehirlerde sel afetlerine karşı olan yönetim süreçlerinde karar verici organizmalara olan katkılarını araştırmıştır.



3. UYGULAMA

Araştırmalar çerçevesinde, hidroloji bilimi ve CBS teknolojisi kullanarak bir yöntem geliştirilmiştir (Şekil 3.1). Geliştirilen yöntemin amacı olası sel felaketinde etkilenecek olan yapıların belirlenmesidir. Çalışma kapsamında geliştirilen yöntemle ilişkin iş akışı Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1: İş akış şeması

Çalışma bölgesini kapsayan Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kullanılarak, SWAT modeli içerisinde ilgili bölgenin ana akış yolu ve sel havzası belirlenmiştir. Aynı zamanda yağış verisi kullanılarak ve hidrolojik hesaplamalar yapılarak bir akarsuyun sel debisi belirlenmiştir. Farklı iki koldan üretilen bilgiler, HEC-RAS yazılımında iki boyutlu düzensiz akış modeli olarak çalıştırılmıştır. Model çıktısı olarak ilgili bölgede en yüksek debi değerindeki selin çevresel yayılım verisi elde edilmiştir. Elde edilen sel afetinin çevresel yayılım verisi, raster veri yapısında bir CBS yazılımına

aktarılmıştır. CBS yazılımında etkilenebilecek yapılar ile çevresel yayılım raster verisi katmanları jeodezik olarak karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonrası çevresel yayılım alanında bulunan yapılar “etkilenebilir” ve bulunmayan yapılar “etkilenmeyebilir” sınıf bilgisi türünde öznitelik bilgisine eklenmiştir. Bu çalışma sonucunda sel debisi sonrası olası sel ve taşkın afetinde etkilenebilecek yapılar belirlenebilmektedir.

3.1 Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi olarak 2021 yılında şiddetli bir sel afeti yaşayan Kastamonu ilinin Bozkurt ilçesi seçilmiştir. İlçenin ortasından geçen Ezine Çayı etrafında sel afeti meydana gelmiş, Şekil 3.2’de görüldüğü üzere birçok yapıya zarar vermiştir. Yaşanan olaylarda Anadolu Ajansı verilerine göre Kastamonu ilinde 72 kişi hayatını kaybetmiştir.

Çalışma alanı olarak bu bölgenin seçilmesinin diğer nedenleri aşağıda ifade edilmiştir:

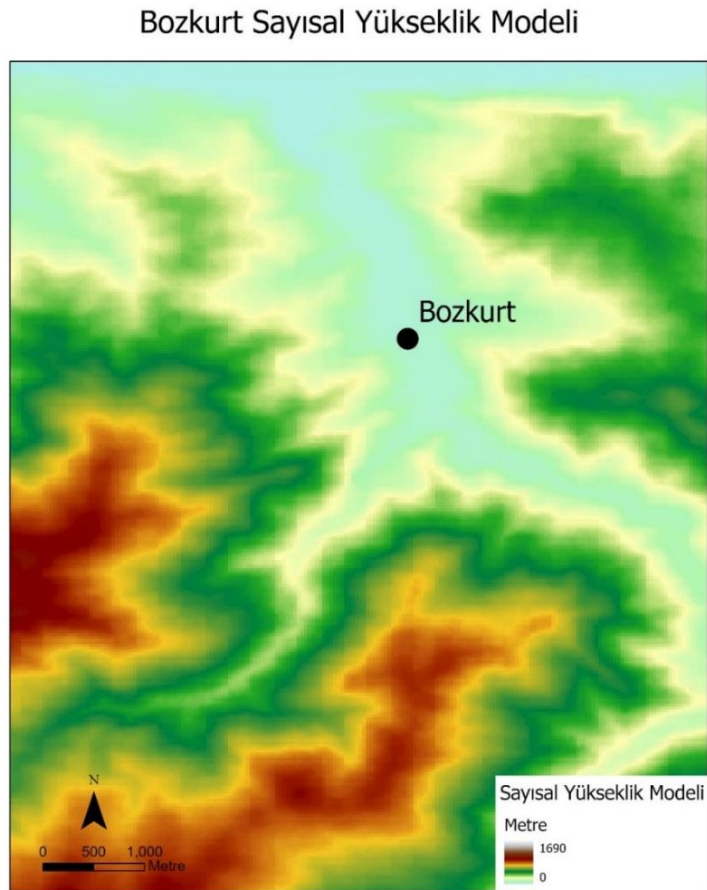
- Taşkın debisi verisinin DSİ tarafından planlama raporlarında belirtilmiş olmasıdır.
- Sel afeti sırasında görüntülerin, haritaların ve sel afeti sonrası hasar raporlarının var olmasıdır. Raporların, haritaların ve görüntülerin yardımıyla etkilenen yapılar tespit edilerek geliştirilen yöntemin ve modelin doğrulama işlemi yapılabilir.



Şekil 3.2: Bozkurt sel afeti öncesi ve sel afeti sırasında görseller

3.2 Sayısal Yükseklik Modelinin Elde Edilmesi

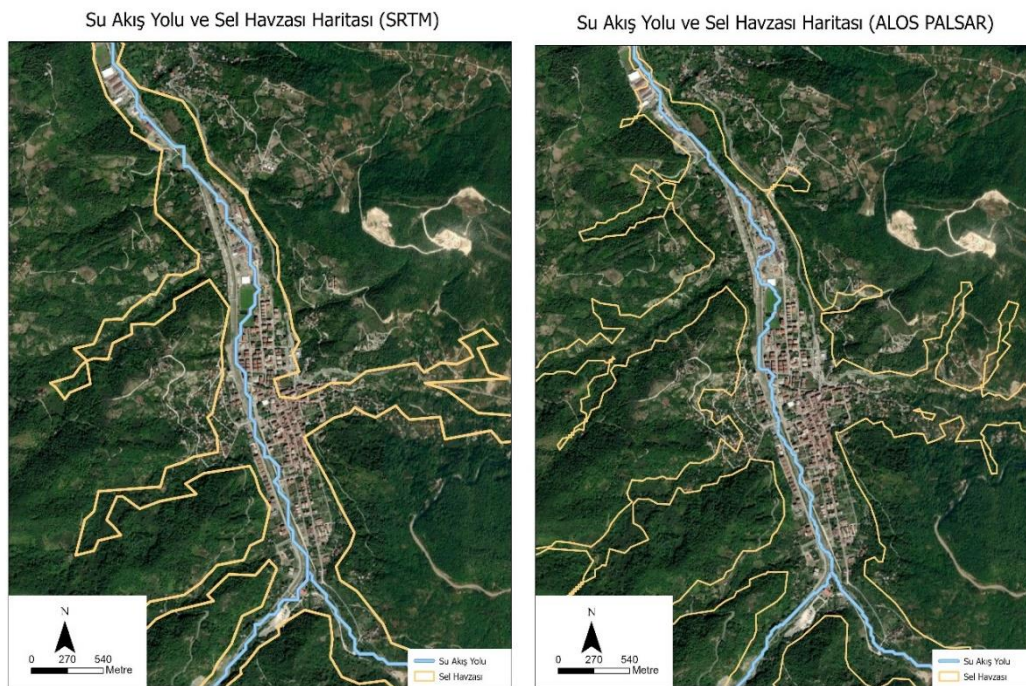
Çalışma bölgesinde analiz yapabilmek için iki adet SYM verisi kullanılmıştır. Kullanılan veriler, ALOS PALSAR ve SRTM yükseklik verileridir. İki ayrı veri de açık kaynaklıdır. ALOS PALSAR verisi 12,5 metre mekânsal çözünürlüğe, SRTM verisi 30 metre mekânsal çözünürlüğe sahiptir. ALOS PALSAR verisi çalışma bölgesini kapsamaktadır. SRTM verisinde ise iki grid birleştirildikten sonra çalışma bölgesi sınırlarıyla kesme işleme gerçekleştirilerek çalışma alanının sayısal yükseklik modeli elde edilmiştir. Şekil 3.3'deki SYM verisine bakıldığında Bozkurt ilçesi 3 ayrı tepenin birleşim noktasında yer aldığı görülmektedir. İki ayrı kolun ana hatta birleşimiyle oluşan Ezine Çayı üzerine kurulmuştur. Bölgenin ortalama yüksekliği, deniz seviyesinden 40 metre olarak hesaplanmıştır. SYM verisine göre çalışma bölgesinde maksimum yükseklik 1690 metredir.



Şekil 3.3: Bozkurt ilçesinin sayısal yükseklik modeli

3.3 Su Akış Yolu ve Sel Havzası Tespiti

Elde edilen SYM verileri SWAT eklentisinin de kurulu olduğu QGIS yazılımına getirilmiştir. CBS projesinde ITRF96 koordinat sisteminde UTM 36 projeksiyonu kullanılmıştır. CBS ortamında SWAT modeli kullanılarak Ezine Çayı'nın akış doğrultusu belirlenmiş ve buna bağlı olarak su ana akış kanalı ve sel havzası oluşturulmuştur. Tüm bunlar Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Su ana akış kanalı yaklaşık 4 kilometre uzunluğundadır. Yerleşim bölgesinin genelini sel havzasında olduğu görülmektedir.

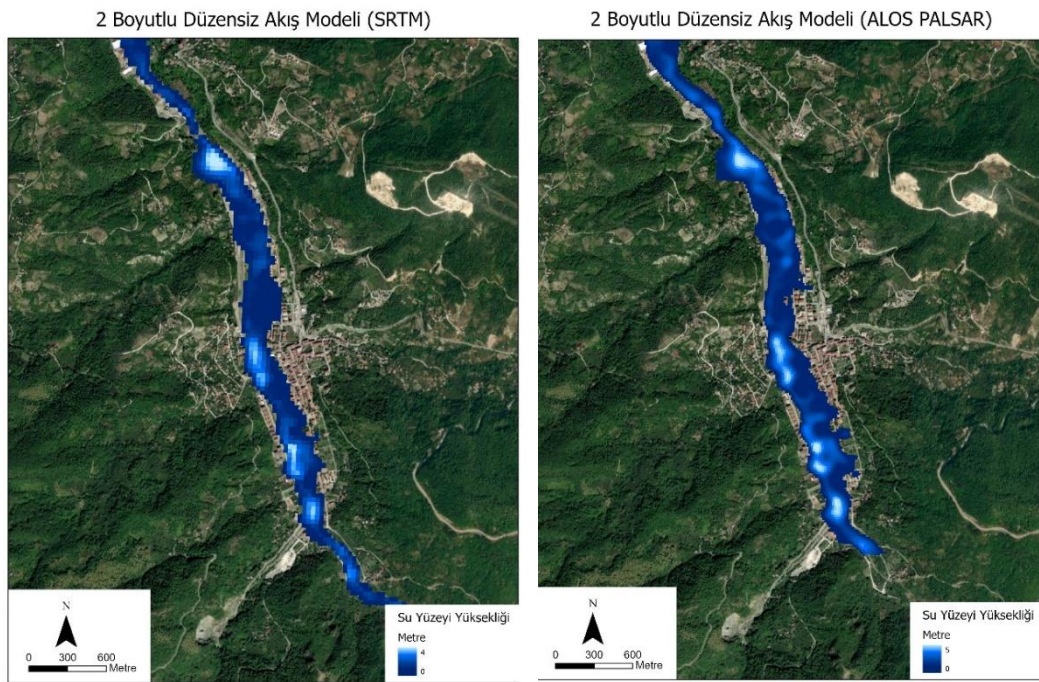


Şekil 3.4: Su akış yolu ve sel havzası haritası

3.4 2 Boyutlu Düzensiz Akış Modeli

ITRF96 UTM 36 koordinat sisteminin prj dosyası ve SYM kullanılarak HEC-RAS uygulaması geliştirilmiştir. SYM verisinin uygulamaya eklenmesinden sonra hidrolojik model çalıştırabilmek için geometri oluşturma işlemine geçilmiştir. Sel havzasının ana kanal üzerindeki bölümü geometrinin genel çevresini oluşturmuştur. Geometri oluşturulduktan sonra, sınır koşulları belirlenmiştir. İki ana kolun birleşim noktası memba noktası olarak modele girilmiştir. Ana kanalın denize aktığı nokta ise mansap olarak modele girişi gerçekleştirilmiştir. İki boyutlu düzensiz akış modelini çalıştırmak için menba noktasına debi değerleri girilmesi gereklidir. DSİ raporlarında

yer alan Q100 (100 yılda bir olasılıklı debi) değeri taşkın debisi olarak belirlenmiştir. Ezine Çayı için taşkın debisi 289 m³/s olarak hesaplamalarda kullanılmıştır. Ezine Çayı'nın taban eğimi, aynı raporlardan belirtilen %0.0011 olarak modele girişi gerçekleştirilmiştir. Model başlangıç debisi 5 m³/s, tepe debisi 289 m³/s ve bitiş debisi 5 m³/s olarak belirlenmiştir. Model çalıştırıldıktan sonra, maksimum debide gerçekleşecek sel yayılım alanı elde edilmiştir. Simülasyon sonucunda, Şekil 3.5'te görüldüğü üzere SRTM verisi ile 4 metre ve ALOS PALSAR verisi ile 5 metre su seviyesine kadar çıkabilecek su yüksekliği alanları tespit edilmiştir. Bu işlemler sonucunda sel çevre yayılım verisi raster veri yapısında dışarı aktarılmıştır.

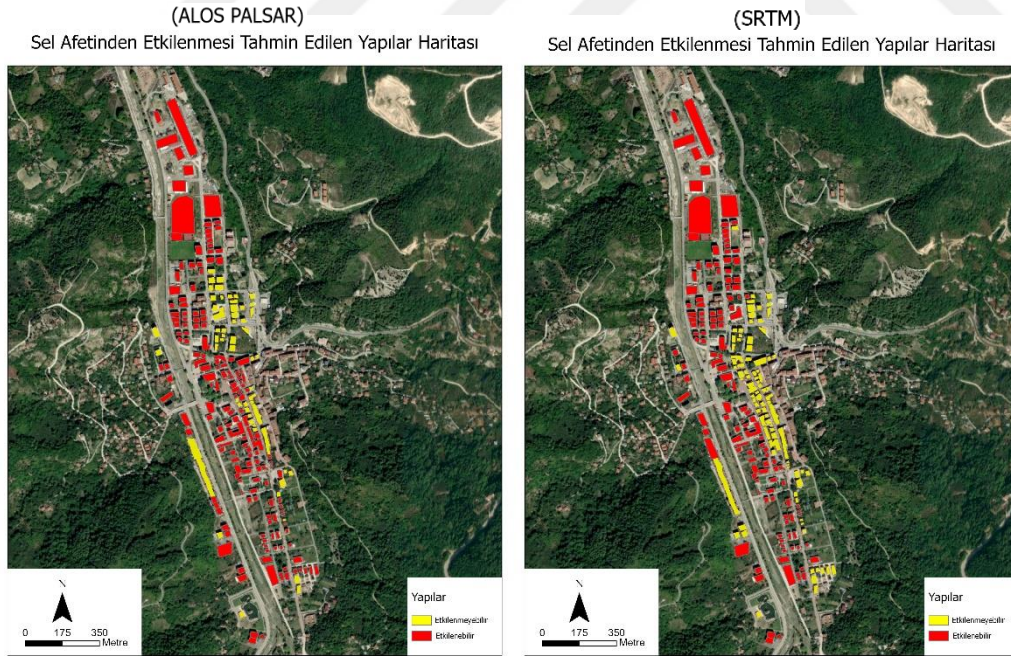


Şekil 3.5: Model sonucunda üretilen su yüksekliği haritası

3.5 Sel Afeti Etki Analizi

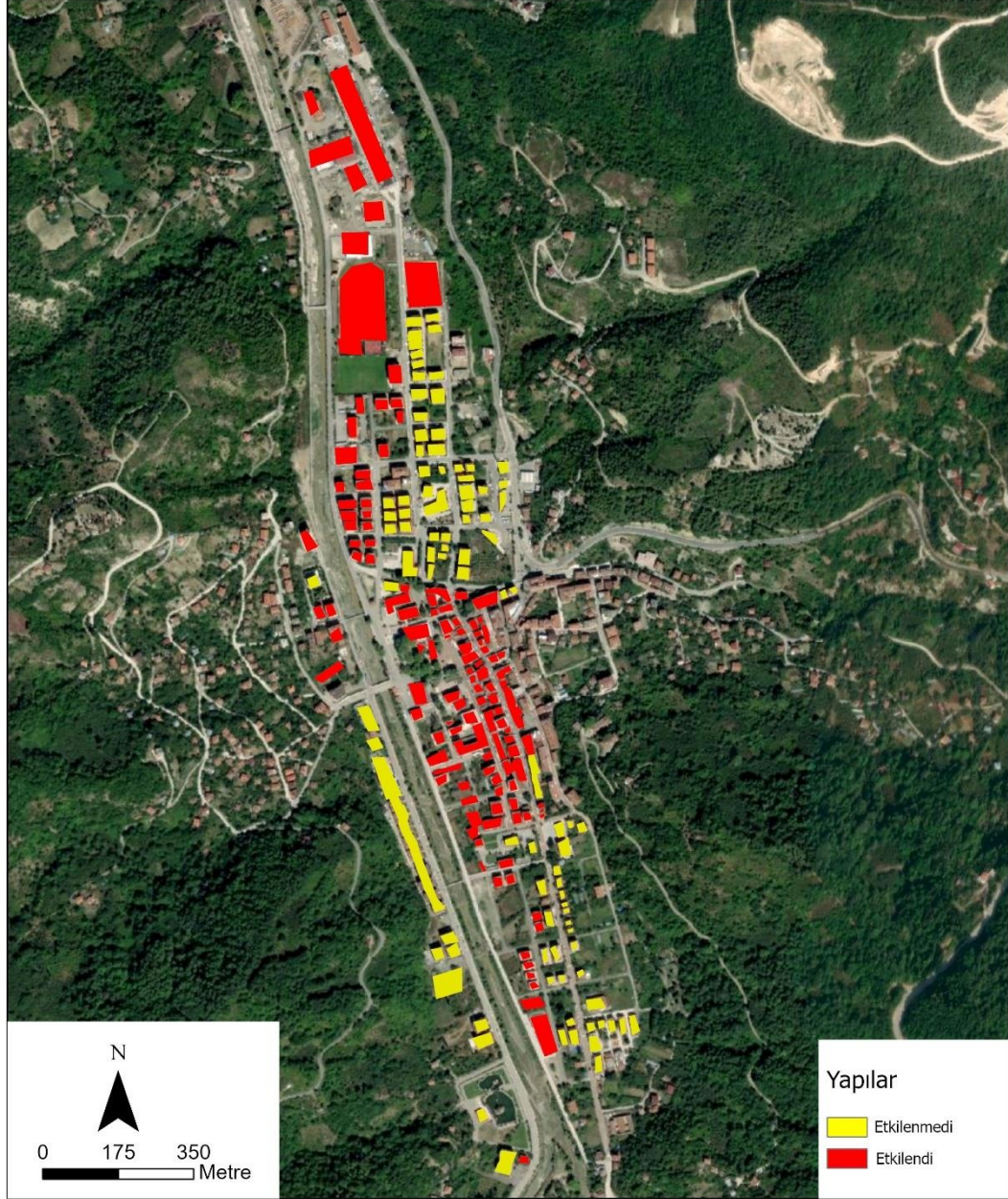
Etkilenebilecek binaları tespit edebilmek için, afet öncesi elde edilmiş uydu görüntüleri üzerinden vektörizasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, afet sonrası yayınlanan AFAD sel afeti tespit haritası, olay sonrası uydu görüntüleri yardımıyla sel yayılım bölgeleri ve olay anı çekilen Anadolu Ajansı fotoğrafları ile selden etkilenen binalar tespit edilmiş ve öznitelik olarak veritabanına kaydedilmiştir (Nazlıer, 2024) (İTÜ Medya ve İletişim Ofisi, 2021). Sel sularının yayıldığı alanlarda bulunan binalar selden etkilendi sayılmıştır. Simülasyon sonrası sel çevre yayılım raster verisi ile

Çalışma bölgesindeki yapılar arasında katmanlar arası konumsal çakıştırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sel evre yayılım raster verisi içerisinde kalan yapılara “selden etkilenebilir” öznitelik verisi; dışında kalan yapılarak “selden etkilenmeyebilir” öznitelik verisi veritabanına eklenmiştir. Tüm bu veriler CBS teknolojisi yardımıyla manipüle edilmiş ve Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de görülen tematik haritaları üretilmiştir. Çalışma bölgesinde vektörizasyon işlemi gerçekleştirilen 240 binadan, selden etkilenen 128 adet bina tespit edilmiştir. Etkilenen ve etkilenmeyen binaların sayısının doğru tahmin edilme sayının tüm binaların sayısına oranı hesaplanarak tutarlılık değerleri tespit edilmiştir. SRTM verisi ile çalışılan model sonucunda etkilenmesi tahmin edilen binaların 86 adeti referans verisine göre doğru tahmini yapılmış, etkilenmemesi tahmin edilen binaların 69 adeti referans verisine göre doğru tahmini yapılmıştır. Bu sonuçlara bakıldığında yaklaşık %65 oranında tutarlılık tespit edilmiştir. ALOS PALSAR verisi ile çalışılan model sonucunda tahmin edilen binaların 109 adeti referans verisine göre doğru tahmini yapılmıştır. Etkilenmemesi tahmin edilen binaların 57 adeti referans verisine göre doğru tahmin edilmiştir. Sonuçlar oranlandığında yaklaşık %70 oranında tutarlılık tespit edilmiştir.



Şekil 3.6: Üretilen etki tahmin haritaları

Sel Afetinden Etkilenen Yapılar Haritası



Şekil 3.7: Gerçekleşen sel afeti sonrası derlenen etkilenme haritası



4. SONUÇLAR

İklim değışikliğinin etkisiyle sıra dışı hava olaylarındaki sıklık ve şiddet artmaktadır. Bu durum insanlığın meteorolojik afetlerle daha sık karşılaşmasına yol açmaktadır. Yařanan sel ve taşkın afetleri ekonomik gelişmişliğe bakılmaksızın tüm dűnyada can ve mal kayıplarına neden olmaktadır. Uluslararası kuruluşlar, her yıl yayınlanan raporlarında artan değışen hava koşullarına ve artan afet sayılarına dikkat çekmektedir. İnsanlık iklim değışikliğini durduramayabilir ancak küresel ısınmanın daha da artmaması için çaba gösterebilir ve karar vericiler bu yönde kararlar alıp uygulayabilir. Bununla birlikte, iklim değışimi nedeniyle ortaya çıkan afetlere karşı etkili bir afet yönetimi politikalarının geliştirilmesi de kaçınılmazdır.

Hidroloji bilimi, suyun davranışı anlamak için önemli altyapı sağlamaktadır. Hidrolojik araçların taşkın ve sel afetlerini analiz etmede kullanılması kaçınılmazdır. Bu konuda geliştirilmiş çeşitli sayısal yöntemlerin ve yazılımların bu yeteneği uygulamada ulaşılabilirliği giderek arttırmaktadır. Hidrolojik hesaplamaların gerçek durumu yansıtabilmesi için öncelikle gerçekliği yansıtan bir mekânsal model gerekmektedir. Bu tür mekânsal modelin üretimi için jeodezik bir altyapıya, bu altyapıya dayalı jeodezik ölçölere ve buradan üretilecek üç boyutlu konum bilgilerine dayalı bir arazi modeline gereksinim bulunmaktadır.

CBS teknolojisi bir mekânsal bilişim teknolojisidir ve konum bilgisine dayalı problemlerin çözümlünde ve mekânsal karar destek süreçlerinde etkin olarak kullanılmaktadır. Yukarıda ifade edilen nitelikte bir arazi modeli üzerinde gerçekteşirecek mekânsal analizlerle sel afetlerine yönelik karar destek süreçleri için önemli bilgiler açığa çıkarılabilir.

Hidrolojik araçların ve CBS teknolojisinin bir arada kullanılması sel ve taşkın afetlerinin etkilerinin analiz edilmesi yanında su ile ilgili başka tür işlerin yapılmasında ve konum bilgisine dayalı problemlerin çözümlünde etkili bir yaklaşım olabilir. CBS yazılımlarına eklenen hidroloji biliminin öngördüğu konuları içeren eklenti ve

araçların kullanımı su ile ilgili çeşitli modellemelerin ve analizlerin gerçekleştirebilmesine olanak sağlamaktadır. Bu iki yaklaşım birleştirildiğinde sel ve taşkınlara ilişkin afet yönetimi ve şehir planlama süreç problemlerine yardımcı olacak çözümler ortaya çıkarılabilmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntemle afetlerin etkilerini azaltmak ve afet sürecinde karar vericilerin karar destek yeteneklerini zenginleştirmek mümkün olabilmektedir. Şehir plancılarının su kaynaklarını daha verimli yönetmelerine, su temin altyapısını optimize etmelerine ve potansiyel afetlere karşı dirençli kentlerin hazırlıklı planlar yapmalarına Hidro-CBS bütünleşmesi katkı sağlayacaktır.

Çalışma kapsamında sel afeti simülasyonu gerçekleştirip, etkilenecek binaların tespitine yönelik bir çalışma yöntemi geliştirilmiştir. Hidroloji bilimi ve CBS teknolojisi kullanarak geliştirilen bu yöntemde, selden etkilenmesi olası binalar belirlenmiştir. Gerçekleşen sel afeti sonucunda üretilen gerçek bilgi ile karşılaştırıldığında SRTM verisi ile gerçekleştirilen simülasyonda %65 ve ALOS PALSAR verisi ile gerçekleştirilen simülasyonda %70 oranında tutarlılık tespit edilmiştir. Bu çalışma açık veriye dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. Tutarlılık oranının daha da arttırılabilmesi için daha yüksek mekânsal çözünürlüklü ve ticari SYM verisi kullanılabilir. Bu veriler ile suyun akışının modellenmesinin hassasiyeti arttırılabilir. Ayrıca, sel afetinden etkilenen yapılar çeşitli kaynaklar kullanılarak tespit edilip referans kabul edilmiştir, resmi veri değildir. Binaların etkilenme sınıfının öznitelik verisi vektörizasyon işlemi sonrası eklenmiştir. Bu çalışma sürecinde vektörizasyon işlemlerinde kullanılan görüntü kaynaklı ve üretici kaynaklı hatalar olabilir. Ayrıca hidrolojik sayısal modellerin parametrelerinde kalibrasyon işlemleri gerçekleştirilerek tutarlılık oranlarında artış gerçekleştirilebilir. Sonuç olarak, açık kaynak ve ücretsiz veriler ile yapılacak bu tür çalışmaların belirli bir tutarlılık oranına sahip olduğu görülmüştür. Hidrolojik araçlar ve CBS teknolojisi ile birlikte sel simülasyonu yapılarak, zarar görebilecek binalar belirlenebilir. Bu yaklaşımı yerleşim yerlerine yakın akarsulara uygulayarak, sel felaketlerinin arttığı bu dönemlerde can ve mal kayıplarını önlemek için tahminler yapılabilir. Sel riskini belirlemek ve bunu istatistik olarak vurgulamak, sigorta ve bankacılık sektörlerindeki çalışma süreçlerine katkı sağlayabilir. Yerel ve merkezi yönetimlerin daha doğru ve etkin karar almaları için sözü edilen tahminler kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- Akkuş, H., Yıldız, E., & Bulut, İ.** (2023). HEC-RAS 2B Modeli Kullanılarak Yazılıkaya Deresi (Nallıhan Ankara) Sel Tehlike Haritalarının Hazırlanması ve Sel Kontrol Yapısının Etkinliği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 47(1), 29-46.
- Ardıçlıoğlu, M.** (t.y.). HEC-RAS mapper ile akarsuların 1d/2d modellenmesi ve uygulamalar.
https://www.mehmetardiclioglu.com/_files/ugd/4045bc_cd8ad0e7513345a6b7fd02ef003500ab.pdf
- Bevan, B.** (1996). Geophysical surveys over mounds at Wright-Patterson Air Force Base. ResearchGate.
- Bilgen, G., Balcı, E., & Kalça, M. Y.** (2022). Kastamonu Bozkurt ilçesinde 11.08. 2021 tarihinde meydana gelen sel felaketinin yerinde incelenmesi. *Tasarım Mimarlık ve Mühendislik Dergisi*, 2(1), 20-35.
- Chebii, S. J., Mukolwe, M. M., & Ong'or, B. I.** (2022). River flow modelling for flood prediction using artificial neural network in ungauged Perkerra catchment, Baringo County, Kenya. *Water Practice & Technology*, 17(4), 914-929.
- Collins, M., Knutti, R., Arblaster, J., Dufresne, J. L., Fichet, T., Friedlingstein, P., ... & Wehner, M.** (2013). Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility.
- Cotugno, A., Smith, V., Baker, T., & Srinivasan, R.** (2021). A framework for calculating peak discharge and flood inundation in ungauged urban watersheds using remotely sensed precipitation data: a case study in freetown, sierra leone. *Remote Sensing*, 13(19), 3806.
- Dasallas, L., Kim, Y., & An, H.** (2019). Case study of HEC-RAS 1D–2D coupling simulation: 2002 Baeksan flood event in Korea. *Water*, 11(10), 2048.
- Davies, R.** (2021). Germany floods map – Before and after. FloodList.
<https://floodlist.com/europe/germany-floods-map>
- Demir, V.** (2020). Samsun Mert havzasında bir ve iki boyutlu modeller ile taşkın alanlarının belirlenmesi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü.** (t.y.). Hidrolik gözlemler.
- Erkal, T., & Değerliyurt, M.** (2009). Türkiye’de afet yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164.
- Ejikeme, J., Igbokwe, J., Igbokwe, E., & Aweh, D.** (2017). Evaluation of horizontal and vertical accuracies of SRTM and ASTER GDEMs for topographic

and hydrological modeling in Onitsha, South East Nigeria. *Int. J. Innov. Res. Sci. Eng. Technol.*, 4, 634-643.

- İcaga, Y., Tas, E., & Kilit, M.** (2016). Flood inundation mapping by GIS and a hydraulic model (HEC RAS): A case study of Akarcay Bolvadin subbasin, in Turkey. *Acta Geobalcanica*, 2(2), 111-118.
- İTÜ Medya ve İletişim Ofisi.** (2021, Ağustos 20). Bozkurt sel afeti: Sebepler ve tespitler. İstanbul Teknik Üniversitesi. Erişim adresi: <https://haberler.itu.edu.tr/haberdetay/2021/08/20/bozkurt-sel-afeti-sebepler-ve-tespitler>
- Garrote, J.** (2022). Free global DEMs and flood modelling—a comparison analysis for the January 2015 flooding event in Mocuba City (Mozambique). *Water*, 14(2), 176.
- Gлаго, F. J.** (2021). Flood disaster hazards; causes, impacts and management: a state-of-the-art review. *Natural hazards-impacts, adjustments and resilience*, 29-37.
- Goodchild, M. F.** (2009). Geographic information systems and science: today and tomorrow. *Annals of GIS*, 15(1), 3-9.
- Goodchild, M. F.** (1991). Geographic information systems. *Progress in Human geography*, 15(2), 194-200.
- Greenlee, D. D.** (1987). "Raster and Vector Processing for Scanned Linework." *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 53 (10): 1383–1387.
- Kadioğlu, M.** (2012). Türkiye’de iklim değişikliği risk yönetimi. *Türkiye’nin İklim Değişikliği II. Ulusal Bildiriminin Hazırlanması Projesi Yayını*, 172.
- Kadioğlu, M.** (2008). Modern, bütünleşik afet yönetimin temel ilkeleri. *Afet Zararlarını Azaltmanın Temel İlkeleri*, 1.
- Kara, M.** (2015). Akarsu debisi ölçüm yöntemleri ve çevresel uygulamalar. *Hidroloji Araştırmaları Dergisi*, 29(3), 120-135.
- Katwal, D.** (2018). Mapping Flood Risk Buildings: Using QGIS and HEC-RAS.
- Khojeh, S., Ataie-Ashtiani, B., & Hosseini, S. M.** (2022). Effect of DEM resolution in flood modeling: a case study of Gorganrood River, Northeastern Iran. *Natural Hazards*, 112(3), 2673-2693.
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W.** (2015). *Geographic information science and systems*. John Wiley & Sons.
- NASA Earth Observatory.** (n.d.). Measuring precipitation from space. Retrieved May 16, 2024, from <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringPrecipitationdxsd>
- Nazher, M.** (2024, Ocak 12). Bozkurt’taki olay afet ya da sel değil – 2. Bölüm. Ekol Ekspertiz. Erişim adresi: <https://www.ekolekspertiz.com.tr/mustafanazher-bozkurttaki-olay-afet-ya-da-sel-degil-2-bolum/>
- Norén, V., Hedelin, B., Nyberg, L., & Bishop, K.** (2016). Flood risk assessment—Practices in flood prone Swedish municipalities. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 18, 206-217.

- Öztürk, K.** (2002). Küresel iklim değişikliği ve Türkiye'ye olası etkileri. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 22(1).
- Pradeep, R. M. M., & Wijesekera, N. T. S.** (2022). Role of Hydro GIS Tools in Hydrological Modelling and Urban Flood Management: A Literature Review.
- Peker, İ. B., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N.** (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping. *Sustainability*, 16(3), 1226.
- Radutu, A., Luca, O., & Gogu, C. R.** (2022). Groundwater and urban planning perspective. *Water*, 14(10), 1627.
- Saikh, N. I., & Mondal, P.** (2023). Gis-based machine learning algorithm for flood susceptibility analysis in the Pagla river basin, Eastern India. *Natural Hazards Research*, 3(3), 420-436.
- Satriagasa, M. C., Tongdeenok, P., & Kaewjampa, N.** (2023). Assessing the Implication of Climate Change to Forecast Future Flood Using SWAT and HEC-RAS Model under CMIP5 Climate Projection in Upper Nan Watershed, Thailand. *Sustainability*, 15(6), 5276.
- Semerçi, A., Tayfur, G., & Pulat, H. F.** (2020). Obtaining of the unit hydrograph by selecting appropriate flood prediction method for designing Filyos river levees. In IV. International Congress on New Trends in Science, Engineering and Technology (ICONTRENDS). Young Scholars Union.
- Sönmez, O., Öztürk, M., & Doğan, E.** (2012). İstanbul derelerinin taşkın debilerinin tahmini. *Sakarya University Journal of Science*, 16(2), 130-135.
- Tarboton, D. G.** (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water resources research*, 33(2), 309-319.
- Türkeş, M., Sümer, U. M., & Çetiner, G.** (2000). Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri. *Turkish State Meteorological Service*.
- Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji Genel Müdürlüğü.** (2024). 2023 yılı iklim raporu. <https://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/yillikiklim/2023-iklim-raporu.pdf>
- Türkiye Cumhuriyeti Meteoroloji Genel Müdürlüğü.** (2021). 2020 yılı meteorolojik afetler değerlendirmesi. <https://mgm.gov.tr/FILES/genel/raporlar/2020MeteorolojikAfetlerDeg-erlendirmesi.pdf>
- United Nations Office for Disaster Risk Reduction.** (2020). The human cost of disasters: An overview of the last 20 years (2000-2019). <https://www.undrr.org/sites/default/files/inline-files/Human%20Cost%20of%20Disasters%202000-2019%20FINAL.pdf>
- U.S. Geological Survey.** (n.d.). What is hydrology?. U.S. Department of the Interior. Retrieved May 16, 2024, from <https://www.usgs.gov/special-topic/water-science-school/science/hydrology>

- Van Aalst, M. K.** (2006). The impacts of climate change on the risk of natural disasters. *Disasters*, 30(1), 5-18.
- Vashist, K., & Singh, K. K.** (2023). HEC-ras 2D modeling for flood inundation mapping: A case study of the Krishna River Basin. *Water Practice & Technology*, 18(4), 831-844.
- Wang, L., & Liu, H.** (2006). "An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling." *International Journal of Geographical Information Science*, 20(2), 193-213.
- Ward, A. D., & Trimble, S. W.** (2003). *Environmental hydrology*. Crc Press.
- Qin, C., Zhu, A. X., Pei, T., Li, B., Zhou, C., & Yang, L.** (2007). "An adaptive approach to selecting a flow partition exponent for a multiple flow direction algorithm." *International Journal of Geographical Information Science* 21(4): 443-458.
- Yun, S. H., & Chang, C.** (2016). Lahar flow simulation using Laharz_py program: Application for the Mt. Halla volcano, Jeju, Korea. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 25(4), 361-372.
- Zachariah, M., Kotroni, V., Kostas, L., Barnes, C., Kimutai, J., Kew, S., ... & Otto, F.** (2023). Interplay of climate change-exacerbated rainfall, exposure and vulnerability led to widespread impacts in the Mediterranean region

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Emiray Kahya

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Kahya E., Güney C. (2024).** Flood Disaster Impact Analysis With Hydro-GIS. *International Graduate Research Symposium*, May 8-10, 2024 İstanbul, Türkiye.