

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**OYUN MOTORU VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK  
TAŞKIN SİMÜLASYONUNUN GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdulkadir ÖZTÜRK**

**Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı**

**Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı**

**HAZİRAN 2024**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**OYUN MOTORU VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK  
TAŞKIN SİMÜLASYONUNUN GELİŞTİRİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Abdulkadir ÖZTÜRK  
(706211001)**

**Bilişim Uygulamaları Anabilim Dalı**

**Coğrafi Bilgi Teknolojileri Programı**

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Enes ATİK**

**HAZİRAN 2024**



**ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL**

**DEVELOPMENT OF FLOOD SIMULATION USING GAME ENGINE AND  
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS**



**M.Sc. THESIS**

**Abdulkadir ÖZTÜRK  
(706211001)**

**Department Of Applied Informatics  
Geographical Information Technologies Programme**

**Thesis Advisor: Asst. Prof. Muhammed Enes ATİK**

**JUNE 2024**



İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 706211001 numaralı Yüksek Lisans / Doktora Öğrencisi Abdulkadir ÖZTÜRK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “Oyun Motoru Ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanılarak Taşkın Simülasyonunun Geliştirilmesi” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Enes ATİK** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Prof. Dr. Zaide DURAN** .....  
İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Füsun Balık ŞANLI** .....  
Yıldız Teknik Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **24 Mayıs 2024**

**Savunma Tarihi** : **26 Haziran 2024**







*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Bu çalışma, akademik ve profesyonel gelişimimde önemli bir yere sahiptir ve bu süreçte bana destek olan kişilere ve kuruma teşekkür etmek isterim.

Öncelikle, değerli danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Enes Atik'e en içten teşekkürlerimi sunmak isterim. Kendisinin engin bilgi birikimi, yol gösterici tavsiyeleri ve sabrı sayesinde bu çalışmayı tamamlayabildim. Hocamın sürekli teşvik edici yaklaşımı ve desteği, araştırmamın her aşamasında bana güç ve ilham verdi.

Ayrıca, bana her zaman destek olan ve yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum. Onların sabrı, anlayışı ve sevgisi olmadan bu noktaya gelmem mümkün olmazdı. Ailem, her zaman en büyük motivasyon kaynağım olmuştur ve bu çalışmayı onlara ithaf ediyorum.

Son olarak, çalıştığım şirket olan ODAKENT'e teşekkürlerimi iletmek istiyorum. Çalışma ortamında sağladıkları esneklik ve destek ile bu çalışmanın gerçekleşmesine büyük katkıda bulundular. ODAKENT'teki değerli çalışma arkadaşlarım ve yöneticilerime de teşekkür ederim; onların anlayışı ve iş birliği sayesinde bu araştırmayı tamamlayabildim.

Bu çalışmanın, bilimsel literatüre ve uygulamalı alanlara katkı sağlayacağına inanıyorum. Destek veren herkese tekrar teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Mayıs 2024

Abdulkadir ÖZTÜRK  
(Çevre Mühendisi)



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ÖNSÖZ</b> .....	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SEMBOLLER</b> .....	<b>xv</b>
<b>ÇİZELGE LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xxi</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Tezin Amacı .....	2
1.2 Literatür Araştırması .....	2
1.3 Hipotez .....	5
<b>2. VERİ VE YÖNTEM</b> .....	<b>7</b>
2.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri .....	7
2.1.1 Çalışma alanı .....	7
2.1.1.1 Arazi kullanımı .....	8
2.1.1.2 İklim .....	8
2.1.1.3 Nüfus .....	9
2.1.1.4 Tarım .....	9
2.1.2 Kullanılan veri .....	10
2.1.2.1 Verilerdeki eksik parametreleri tamamlama .....	12
2.1.2.2 Toprak özellikleri .....	12
2.1.2.3 Gerekli iklim verilerinin istatistiksel hesapları .....	15
2.2 Yöntem .....	15
2.2.1 Soil & Water Assessment Tool modeli .....	15
2.2.2 Analitik hiyerarşi süreci .....	18
2.2.3 Oyun motoru - Unreal Engine .....	21
<b>3. UYGULAMA</b> .....	<b>25</b>
3.1 Soil & Water Assessment Tool Modeli Geliştirmesi .....	25
3.1.1 Verilerin Soil & Water Assessment Tool modeli için hazırlanması .....	25
3.1.2 Havzanın çizilmesi .....	26
3.1.3 Hidrolojik yanıt birimlerinin(HRU) tanımlanması .....	27
3.1.4 Meteorolojik gözlem istasyonlarının içeri aktarılması .....	28
3.1.5 Modelin çalıştırılması .....	30
3.1.6 Model sonuçları .....	30
3.2 Analitik Hiyerarşi Süreci Uygulaması .....	34
3.2.1 Risk analizi .....	34
3.2.1.1 Sayısal yükseklik modeli .....	35
3.2.1.2 Eğim .....	36
3.2.1.3 Bakı .....	37

3.2.1.4 Yağış.....	38
3.2.1.5 Nispi nem .....	39
3.2.1.6 Sıcaklık.....	40
3.2.1.7 Arazi kullanımı.....	41
3.2.1.8 Toprak tipleri.....	42
3.2.2 Analitik hiyerarşi süreci sonuçları.....	43
3.3 Unreal Engine Canlandırması.....	45
3.3.1 Doğruluk analizi .....	55
<b>4. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>59</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>63</b>



## **KISALTMALAR**

<b>CBS</b>	: Coğrafi Bilgi Sistemi
<b>MGM</b>	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
<b>MGİ</b>	: Meteorolojik Gözlem İstasyonu
<b>HRU</b>	: Hydrologic Response Units
<b>UE</b>	: Unreal Engine
<b>FAO</b>	: Food and Agriculture Organization
<b>SWAT</b>	: Soil and Water Assessment Tool
<b>USLE</b>	: Universal Soil Lost Equation
<b>AHP</b>	: Analitik Hiyerarşi Süreci
<b>SDF</b>	: Signed Distance Field
<b>TÜİK</b>	: Türkiye İstatistik Kurumu





## SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$  : Santigrat derece

**T** : Sıcaklık[ $^{\circ}\text{C}$ ]

**t** : Zaman[gün]

$\sigma$  : Standart Sapma

**t** : Zaman





## ÇİZELGE LİSTESİ

### Sayfa

Çizelge 2.1: Kastamonu iline ait mevsim normalleri. ....	8
Çizelge 2.2: Bozkurt ilçesine ait nüfus verileri. ....	9
Çizelge 2.3: Analiz için kullanılacak altlık harita ve veriler. ....	11
Çizelge 2.4: İkili karşılaştırma matrisi şablonu. ....	19
Çizelge 2.5: Karşılaştırma ölçeği. ....	20
Çizelge 3.1: 1 Numaralı havzanın giriş kanalı sonuç değerleri.....	32
Çizelge 3.2: SYM risk derecelendirmesi. ....	35
Çizelge 3.3: Eğim risk derecelendirmesi. ....	36
Çizelge 3.4: Bakı risk derecelendirmesi. ....	37
Çizelge 3.5: Yağış risk derecelendirmesi.....	38
Çizelge 3.6: Nem risk derecelendirmesi. ....	39
Çizelge 3.7: Sıcaklık risk derecelendirmesi. ....	40
Çizelge 3.8: Arazi kullanımı risk derecelendirmesi. ....	41
Çizelge 3.9: Toprak tipi risk derecelendirmesi.....	42
Çizelge 3.10: AHS anket sonuçları ortalama ağırlıklar.....	43
Çizelge 3.11: Analiz sonuçları. ....	58



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 2.1 : Türkiye'deki havza alanları ve Batı Karadeniz havzasının konumu..	7
Şekil 2.2 : Batı Karadeniz havzası ve Bozkurt ilçesinin Sentinel 2A görüntüsü..	7
Şekil 2.3 : Toprak su karakteristikleri hesaplama aracı ekran görüntüsü.....	13
Şekil 2.4 : Unreal Engine Simülasyonu üzerindeki iş akışı. ....	22
Şekil 3.1 : Toprak su karakteristikleri hesaplama aracı ekran görüntüsü.....	26
Şekil 3.2 : Yüklenen SYM dosyası ve bununla oluşturulan havza ve su yolları.	26
Şekil 3.3 : QSWAT HRU oluşturma ekranı. ....	27
Şekil 3.4 : Oluşturulan tüm HRU'lar. ....	27
Şekil 3.5 : Havza yakınındaki MGI'lerin tanımlanması.....	29
Şekil 3.6 : Bozkurt istasyonunun normalleri ve sistemdeki şekli. ....	29
Şekil 3.7 : Simulasyon çalıştırma ekranı. ....	30
Şekil 3.8 : SWAT Editör su dengesi kontrolü ve şeması.....	31
Şekil 3.9 : Havzalara göre günlük depolanan ortalama su miktarları haritası..	31
Şekil 3.10 : Minimum Sonuçlar. ....	32
Şekil 3.11 : Ortalama Sonuçlar.....	33
Şekil 3.12 : Maksimum Sonuçlar. ....	33
Şekil 3.13 : SYM Risk dereceleri. ....	35
Şekil 3.14 : Eğim risk haritası. ....	36
Şekil 3.15 : Bakı risk haritası. ....	37
Şekil 3.16 : Yağış risk haritası.....	38
Şekil 3.17 : Nem risk haritası. ....	39
Şekil 3.18 : Sıcaklık risk haritası. ....	40
Şekil 3.19 : Arazi kullanımı risk haritası. ....	41
Şekil 3.20 : Toprak tipleri risk haritası.....	42
Şekil 3.21 : AHS Sonuçları. ....	44
Şekil 3.22 : Unreal engine içerisine aktarılan verilerin haritası. ....	46
Şekil 3.23 : Landscaping eklentisi ara yüzü.....	46
Şekil 3.24 : Üst üste gelen yüzey ve 3 boyutlu model. ....	47
Şekil 3.25 : Binaların konumlarının getirilmesi. ....	47
Şekil 3.26 : Binalar için 3 boyutlu şekillerin eklenmesi. ....	48
Şekil 3.27 : İlk aşamada eklenen düz yüzey. ....	49
Şekil 3.28 : Eklenen yüzeye SYM'nin eklenmesi.....	49
Şekil 3.29 : Oluşan 3 boyutlu model. ....	50
Şekil 3.30 : Sol tarafta motorda oluşturulan temsil, sağ tarafta gerçek veri.....	51
Şekil 3.31 : Çalışma alanının SDF görüntüsü.....	52
Şekil 3.32 : Düz kanalda akış. ....	52
Şekil 3.33 : Su kanalının taşması durumu. ....	53
Şekil 3.34 : Su miktarları anormal artırılmış deneysel simulasyon. ....	53
Şekil 3.35 : Su miktarları anormal artırılmış deneysel simulasyona yukarıdan bakış. ....	54

Şekil 3.36 : Su miktarları anormal artırılmış deneysel simülasyona kuzeyden bakış. ....	54
Şekil 3.37 : Sel sınır noktalarının belirlenmesi. ....	56
Şekil 3.38 : Bir analiz test örneği. ....	57



## OYUN MOTORU VE COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANILARAK TAŞKIN SİMÜLASYONUNUN GELİŞTİRİLMESİ

### ÖZET

Taşkınlar, dünya genelinde en yaygın ve yıkıcı doğal afetlerden biridir ve can kaybı, mal kaybı ve çevresel hasarlara neden olabilir. Özellikle yoğun yerleşim alanlarında meydana gelen taşkınlar, toplumlar üzerinde büyük ekonomik ve sosyal etkilere yol açmaktadır. Günümüzde taşkınların tehlikelerini minimize etmek ve olası hasarları önceden tahmin edebilmek için çeşitli teknolojik ve bilimsel araçlar kullanılmaktadır. Hidrolojik modeller ve iki boyutlu taşkın simülasyonları gibi gelişmiş ve yüksek doğruluğa sahip araçlar, taşkın risk analizi ve planlamasında önemli roller oynamaktadır. Bu yöntemler, taşkın bölgelerini haritalandırmak ve olası su seviyelerini tahmin etmek için kullanılmaktadır. Böylece taşkın risklerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesine ve etkili önlem stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, gelişmiş oyun motorları ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanarak taşkın simülasyonlarının üretilmesini sağlamaktır. Bunu gerçekleştirmek için, AHS (Analitik Hiyerarşi Süreci) gibi yaygın kullanılan bir coğrafi istatistik aracı ve SWAT (Soil and Water Assessment Tool) gibi gelişmiş bir hidrolik modelleme aracı kullanılarak, taşkın olabilecek bölgeleri ve bu bölgelerdeki su miktarını belirlemek hedeflenmiştir. Bu araçlar kullanılarak yapılacak analizler sonucu elde edilen veriler, LudicDrive tarafından yazılan "Landscaping" eklentisi kullanılarak Unreal Engine'e aktarılacaktır. Ardından, Unreal Engine içindeki procedural generatorlar ve spline meshler kullanılarak şehrin üç boyutlu modeli oluşturulacaktır. Son olarak, Niagara eklentisi ile akışkan simülasyonu yapılacaktır. Bu yaklaşım, karar vericilere ve bölge sakinlerine daha net bilgiler sunarak, taşkınlarla karşı daha etkili önlem stratejileri geliştirmelerine yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

Çalışmada kullanılan veri setleri, çeşitli güvenilir kaynaklardan temin edilmiştir. SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) bilgileri, ALOS PALSAR verilerinden elde edilmiştir. Meteorolojik veriler, 20 yıllık bir dönem için Türkiye Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından sağlanmıştır. Arazi kullanımı verileri, ESRI'nin Sentinel 2 Land Cover haritasından alınmıştır. Toprak tipleri ise FAO'nun Harmonized World Soil Database'inden temin edilmiştir. Bu veri setleri, taşkın risk analizi ve simülasyonu için gerekli olan zengin ve detaylı bilgileri sağlamaktadır.

Çalışmanın kapsamı ve bölgesi, Kastamonu ilinin Bozkurt ilçesindeki Ezine Çayı havzasını kapsamaktadır. Prof. Dr. Ali Deniz ve çalışma arkadaşları tarafından hazırlanan raporda, Ağustos 2021'de Batı Karadeniz bölgesinde meydana gelen sel ve taşkın afeti detaylı bir şekilde incelenmiştir. Özellikle Kastamonu'nun Bozkurt ilçesinde önemli can ve mal kayıplarına yol açan bu afetin nedenleri, yağış kayıtları ve yerinde yapılan gözlemlerle değerlendirilmiştir. Meteorolojik analizler, bölgedeki ekstrem yağışların konvektif yapıda derinleşmiş bir sistem tarafından tetiklendiğini göstermiştir. Hidrolojik ve hidrolik analizler ise, selin şiddetini artıran topoğrafik

eksiklikleri ortaya koymuştur. Yerleşim alanlarının taşkın koridoru içinde yer alması, zararın boyutunu artıran faktörler arasında yer almaktadır (Deniz, A. Vd., 2021). Bu sebepler, bu bölgenin taşkın risk analizi ve simülasyon çalışmaları için seçilmesinde etkili olmuştur. Bölgenin detaylı analizi, AHS ve SWAT araçları kullanılarak yapılacak ve elde edilen veriler, Unreal Engine simülasyonunun gerçek dışında bir sonuç çıkarmasının önüne geçecektir. Oyun motorlarının böyle bir iş için uygunluğu değerlendirilecek ve potansiyeli belirtilecektir. Oyun motorundaki model ve kullanıcı arasında nasıl etkileşimler gerçekleştirilebileceği açıklanacaktır. Bunların karar verme mekanizmalarına faydalarından ve kamunun bilinendirmesinde sağlayacağı bileceği kolaylıklardan bahsedilecektir.





# DEVELOPMENT OF FLOOD SIMULATION USING GAME ENGINE AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

## SUMMARY

Floods are one of the most common and devastating natural disasters worldwide, causing loss of life, property damage, and environmental destruction. Particularly in densely populated areas, floods have significant economic and social impacts on communities. Today, various technological and scientific tools are employed to minimize the dangers of floods and predict potential damage in advance. Advanced and highly accurate tools such as hydrological models and two-dimensional flood simulations play crucial roles in flood risk analysis and planning. These methods are used to map flood-prone areas and predict possible water levels, thereby allowing for more accurate determination of flood risks and the development of effective mitigation strategies.

The primary objective of this study is to make flood risk analysis more visual and interactive. To achieve this, commonly used geostatistical tools like the Analytical Hierarchy Process (AHP) and advanced hydrological modeling tools like the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) were utilized to identify potential flood zones and estimate the water volume in these areas. The data obtained from these analyses were then transferred to Unreal Engine using the "Landscaping" plugin developed by LudicDrive. Subsequently, the three-dimensional model of the city was created using procedural generators and spline meshes within Unreal Engine. Finally, fluid simulation was conducted using the Niagara plugin. This approach aims to provide decision-makers and local residents with clearer information, helping them develop more effective flood prevention strategies.

The datasets used in this study were sourced from various reliable providers. Digital Elevation Model (DEM) data were obtained from ALOS PALSAR. Meteorological data for a 20-year period were provided by the Turkish State Meteorological Service (MGM). Land use data were acquired from ESRI's Sentinel 2 Land Cover map. Soil types were sourced from FAO's Harmonized World Soil Database. These datasets offer rich and detailed information necessary for flood risk analysis and simulation.

The scope and region of the study encompass the Ezine River basin in Bozkurt district of Kastamonu province. In the report prepared by Prof. Dr. Ali Deniz and his colleagues, the flood and inundation disaster that occurred in the Western Black Sea region in August 2021 was examined in detail. The causes of this disaster, which led to significant loss of life and property, especially in the Bozkurt district of Kastamonu, were evaluated based on rainfall records and on-site observations. Meteorological analyses showed that the extreme rainfall in the region was triggered by a convective system that had deepened. Hydrological and hydraulic analyses revealed topographical deficiencies that increased the severity of the flood. The fact that settlement areas are located within the flood corridor is among the factors that increased the extent of the damage (Deniz, A. et al., 2021). These reasons were influential in selecting this region for flood risk analysis and simulation studies. The detailed analysis of the region will

be conducted using AHP and SWAT tools, and the data obtained will prevent the Unreal Engine simulation from producing unrealistic results. The suitability of game engines for such a task will be evaluated, and their potential will be highlighted. It will be explained how interactions between the model in the game engine and the user can be facilitated. The benefits of these interactions for decision-making mechanisms and the ease they can provide in public awareness will be discussed.

The integration of game engine technology with Geographic Information Systems (GIS) offers significant advantages in flood simulation. The sandbox capabilities of game engines allow for dynamic alteration of model inputs and processes in real-time, providing a crucial advantage in testing different scenarios and observing system responses under varying conditions. Additionally, the SWAT model demonstrated the ability to process large volumes of climate and geographic data rapidly and accurately, ensuring reliable results for flood risk assessments. The AHP method facilitated quick and easy generation of geographically relevant insights, aiding in strategic decision-making processes.

Moreover, this model holds the potential for future integration with Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) technologies, enhancing the immersive and interactive experience of flood scenarios. The combination of these technologies with scientific analysis can significantly improve training and awareness, helping communities better prepare for natural disasters. The innovative use of game engines and GIS in this study showcases a novel and effective approach to flood risk management, providing valuable tools and methodologies for researchers and practitioners in the field.

This study's findings highlight the importance of using advanced technological tools for flood risk management. The integration of hydrological models, GIS, and game engines not only improves the accuracy and efficiency of flood simulations but also enhances the communication of risks to stakeholders. This is particularly important for densely populated and high-risk areas where effective risk communication can save lives and reduce economic losses.

This study contributes significantly to disaster management by enhancing flood risk analysis and preparedness through advanced technological integration. The use of game engines in combination with GIS enables the creation of highly interactive and dynamic flood simulations. These simulations allow for real-time adjustments and scenario testing, providing valuable insights into potential flood impacts and effective response strategies. By incorporating hydrological models like SWAT and decision-making tools like AHP, the model offers precise and rapid assessments of flood risks. Moreover, the potential integration with VR and AR technologies can revolutionize training and awareness programs, making them more immersive and effective. Overall, this approach provides disaster management professionals with powerful tools to better understand, communicate, and mitigate flood risks, ultimately leading to more resilient and prepared communities.

In conclusion, the integration of game engines and GIS technologies presents an innovative and effective approach to flood simulations and risk analyses. The findings of this study have the potential to offer new tools and methods for flood risk management to relevant institutions and researchers. Future studies should focus on further developing this approach and exploring its applicability to different types of natural disasters. By leveraging the capabilities of modern technologies, we can improve our ability to predict, prepare for, and mitigate the impacts of floods, ultimately contributing to more resilient communities.





## 1. GİRİŞ

Afet, insanlar için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar doğuran, normal yaşamı ve insan faaliyetlerini durdurarak veya kesintiye uğratarak toplulukları etkileyen, doğal, teknolojik veya insan kökenli olayların sonuçlarıdır. 2021 yılında toplam 432 büyük afet meydana gelmiştir, bu sayı, 2001 ile 2020 yılları arasındaki yıllık ortalama 357 büyük afetten çok daha fazladır. Bu afetler arasında en yaygın olanı, yıllık ortalama 223 afet ile taşkın olmuştur. İnsani ve ekonomik kayıplar açısından Türkiye’de depremlerden sonra ikinci en büyük doğal afet olan taşkınlar, 1960-2014 yılları arasında 795 kişinin ölümüne ve 800 milyon dolarlık ekonomik zarara neden olmuştur. Son yıllarda iklim değişikliğinin belirgin etkileri ile beraber Türkiye’de taşkın olayları sıklaşmıştır (Aydın ve İban, 2023). Taşkınlar, göller, nehirler ve okyanuslar gibi su kütlelerinden kuru arazilere büyük miktarlarda muazzam miktarda su akışıyla karakterize edilir (Veh vd., 2020). Taşkınlar en yıkıcı doğal afetler arasında yer alır; insan hayatı, altyapı ve kentsel ortamlardaki hareketlilik üzerinde yıkıcı etkiler yaratabilir (Haddad vd., 2021). Büyük modern şehirler, aşırı yağışlardan kaynaklanan su baskınlarına karşı özellikle savunmasızdır; çünkü beton ve asfalt yüzeylerden gelen hızlı akış, yağmur suyu toplama altyapısını ve kentsel drenaj sistemlerini kolayca aşar (Anni vd., 2020). Bu nedenle, mahsur kalan insanlara zamanında ve hızlı şekilde yardım sağlamak, onların geçim kaynaklarını, evlerini ve binalarını kurtarmak ve şehrin önemli altyapısını korumak için bir bölgedeki su baskınlarını tespit edebilen sistemlerin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Sorunu yönetmek ve hafifletmek için kentsel taşkın tehlikesi ve riski konusunda daha fazla çalışmanın gerekli olduğu açıktır. Taşkın riski hesaplamaları ve tasarım kriterlerinin elde edilmesi coğrafi bilgi sistemleri (CBS) sayesinde mümkün olmaktadır. Kentsel taşkın riskini değerlendirmek için çeşitli hidrolojik ve hidrolik yöntemler mevcuttur. Taşkın için uygun bir müdahale planının hazırlanmasının yolu, gerçek ortama uygun bir simülasyon modelinin geliştirilmesidir. Literatürdeki çoğu çalışmada genel bir risk haritalandırması yapılmasına rağmen anlık taşkın hareketini oyun motorları ile taşkın modellemesine yönelik çok az sayıda çalışma bulunmaktadır (Yang, 2021). Özellikle afet yönetim sisteminin müdahale aşamasında gerçek zamanlı taşkın hareketinin belirlenmesi hayati bir öneme sahiptir.

## 1.1 Tezin Amacı

Kastamonu Ezine Çay'ında taşkın riskini değerlendirmek ve gerçek zamanlı simülasyonunu oluşturmaktır. AHS yöntemini kullanılarak, taşkın riskini etkileyen faktörleri belirleyecek ve bu faktörlerin önem sırasını belirleyerek risk analizi gerçekleştirilecektir. SWAT (Soil and Water Assessment Tool) analizi sayesinde, yağış, akış, toprak erozyonu gibi çevresel faktörleri içeren bir hidrolojik model oluşturulacaktır. Bu model, olası taşkınların boyutlarını hesaplamak için kullanılacaktır. AHS ve SWAT sonuçları birleştirilerek, taşkın riski modeli oluşturulacaktır. Bu model, Ezine Havzası'nda bulunan Bozkurt ilçesinde taşkın riskini tahmin etmek ve olası bir taşkın anında suyun hangi bölgelerde nasıl hareket ettiğinin belirlenmesi için kullanılacaktır. Oluşturulan taşkın parametreleri Unreal Engine içinde kullanarak gerçek zamanlı interaktif bir canlandırılması yapılacaktır. Bu kısım, taşkın riskinin görsel bir şekilde sunulmasını ve afet planlanmasının daha başarılı şekilde yapılmasını sağlayacaktır. Özellikle literatürdeki coğrafi bilgi sistemleri analizleri ile oluşturulmuş statik taşkın risk haritalarına kıyasla dinamik ve gerçekçi bir simülasyon ortaya konulacaktır. Böylece taşkın ilk anından itibaren taşkın sularının davranışları gözlemlenecek ve taşkın seyri anlık olarak tahmin edilecektir. Bu projede, afetlere hazırlık ve alınacak önlemler noktasında oyun motorları ve CBS'nin imkanları bir araya getirilerek faydalı bir model ortaya konulması amaçlanmaktadır. Oluşturulan simülasyonun bölgenin birebir üç boyutlu (3B) modelini altlık olarak kullanması da gerçekçi bir model ortaya konulması açısından önemli bir parametredir.

## 1.2 Literatür Araştırması

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), taşkın hesaplamaları ve su yönetimi alanında büyük rol oynamaktadır. CBS ise coğrafi verilerin toplanması, depolanması, analiz edilmesi ve görselleştirilmesi için kullanılır. CBS, coğrafi olarak hassas verilere erişim sağlayarak taşkın bölgelerini tanımlama ve su yolu analizlerinde kullanışlı bir araçtır. Özellikle farklı kaynaklardan elde edilen verilerin bir arada kullanılması ile çok ölçütlü karar verme yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) yaygın kullanılan çok ölçütlü karar verme yöntemlerinden biridir. AHS, karmaşık karar verme süreçlerini analiz etmek ve önceliklendirmek için kullanılan matematiksel bir yöntemdir. AHS, mühendislik (Triantaphyllou ve Mann, 1995), yönetim

(Subramanian ve Ramanathan, 2012), kamu politikası (Petrini vd., 2016) ve çevre çalışmaları (Karimi vd., 2011) gibi çeşitli sektörlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. AHS farklı etmenleri sıralayarak ve önceliklendirerek, taşkın riski yönetiminde karar alma süreçlerini bilimsel ve sistematik hale getirmektedir. AHS, çeşitli kriterleri ele alma yeteneği, şeffaf yapısı ve karar vericilerin öznel tercihlerini ve görüşlerini karar verme sürecine entegre etmesi gibi bir dizi avantaja sahiptir (Vaidya ve Kumar, 2006). Taşkın hesaplamalarında AHS ve CBS'nin kullanımı, taşkın riskinin azaltılması ve su yönetimi konularında kritik bir öneme sahiptir. Geçtiğimiz birkaç on yılda donanım ve yazılım teknolojisinde yaşanan dikkate değer ilerleme, 3B grafik teknolojisi üzerinde önemli bir etki yaratmıştır. Bu teknolojinin yaygın etkisi yine oyun, film ve sanal gerçeklik endüstrileri dahil olmak üzere ilgili endüstrilerde ortaya çıkmıştır. 3B CBS'nin avantajı, araştırmacıların geleneksel 2B tabanlı sistemle ulaşılamayan bir doğruluk derecesiyle mekânsal analiz yapmalarına olanak sağlamasıdır. Özellikle afet yönetimi ve meteoroloji alanlarında 3B CBS yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde taşkın analizi için coğrafi bilgi sistemlerine dayalı birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Geleneksel yöntemler veri ve çok sayıda parametreye bağlı olarak taşkın analizini gerçekleştirmişlerdir. ( Li vd., 2022) tarafından yayımlanan çalışmada barajlarda bulunan yüksek miktardaki suyun kötü bir senaryoda ortaya çıkarabileceği tehlikeleri bir taşkın modellemesi yaparak ortaya koymuşlardır. Diğer bir çalışmada (Suquet vd., 2023) dijital ikiz ve uzaktan algılama teknolojilerini de kullanarak entegre bir sel riski yönetim sistemi tasarlanmıştır. Chen ve diğerlerinin yazdıkları makalede de AHS-Entropi yöntemi ile geliştirilen çok kriterli analiz modeli kullanılarak Çin'in Wuhan şehrinin sel risk değerlendirilmesi yapılmıştır (Chen vd., 2023). Hindistan'da yapılan bir konferansta AHS ve CBS araçları kullanılarak Nainital Bölgesinin sel risk değerlendirme haritaları oluşturulmuştur (Rai vd., 2023). Diğer bir çalışmada Kamerun da bulunan Limbe kentinde CBS ağırlıklı toplam metodu kullanılarak taşkın risk değerlendirilmesi yapılmıştır (Enomah vd., 2023).

Taşkın görselleştirmesi, çeşitli teknolojiler kullanılarak taşkın olaylarının görsel temsillerinin oluşturulması işlemidir. Başlangıcından bu yana, taşkın görselleştirmesi, taşkın sınırlarının kağıt haritalar üzerine elle çizilmesi yoluyla taşkın haritaları oluşturmak için kullanılan geleneksel elle çizilen yöntemlerden önemli ölçüde gelişmiştir (Ma vd., 2020). CBS ile birlikte, taşkın verilerinin dijital formatta saklanmasına ve analiz edilmesine olanak tanıyan dijital taşkın haritaları

geliştirilmiştir (Bakhtiari vd., 2023). Ancak ilk dijital haritalar genellikle iki boyutlu ve ayrıntılı, sürükleyici ve etkileşimli deneyimler sağlama yeteneğinden yoksundur (Macchione VD., 2019). Her ne kadar fiziksel tabanlı ve veriye dayalı modelleme, sel verilerininin 3B analiz edilmesini sağlamış olsa da, kullanımı özel uzmanlık gerektirmektedir (Towe vd., 2020). Sel verilerini halk için daha erişilebilir hale getiren web tabanlı taşkın haritalama araçları verileri genellikle iki boyutlu formatta sunulmaktadır. Taşkın riski yönetimindeki son teknoloji dijital görselleştirme araçları, son yıllarda sanal gerçeklik (SG), artırılmış gerçeklik (AG) ve dijital ikiz (Dİ) gibi ileri düzey teknikler sel riski yönetimine dahil ederek önemli ölçüde geliştirilmiştir (Guo vd., 2021). Sermet ve Demir (2019) afet sırasında gerekli eylemlerin görev tabanlı çok seçenekli oyun öğretimi için bir sanal gerçeklik modeli geliştirmiştir. Geliştirilen yaklaşım, afete hazırlık ve müdahale konusunda farkındalık ve eğitim amacıyla 3 boyutlu bir oyun ortamı oluşturmak için gerçek zamanlı ve geçmiş hava durumu, afet ve coğrafi verileri kullanan bir sanal gerçeklik çerçevesidir. Skinner (2020) jeomorfoloji ve akarsu taşkınlarını simüle ederek nehir taşkınlarının çeşitli etkileri hakkında merak temelli bir oyun oluşturmuştur. Fujimi ve Fujimara (2020) çeşitli ani sel tahliye senaryolarında halkın davranışlarının araştırılmasına yönelik bir çalışma sunmuştur. Su (2021) etkilenen alan ve nüfus üzerindeki taşkın etkilerinin simülasyonunu gerçekleştirmiştir. (Mol vd., 2022) risk algısını değerlendirmek ve olumsuz duyguları azaltmak için başa takılan bir görüntüleme aracı sayesinde simülasyon oluşturmuştur. Bu çalışmalarda taşkın simülasyonları kısıtlı bir yaklaşımla ele alınmıştır. 3B model ve hidrolojik modellemenin dikkate alındığı ve gerçek zamanlı bir taşkın simülasyonunun ortaya konduğu az sayıda çalışma bulunmaktadır. 3B şehir modelleri kullanılarak taşkın risk analizinin gerçekleştirildiği çalışmalarda 2B CBS analizlerine benzer şekilde sadece belirli yükseklikteki su miktarının etkilediği alanlar belirlenmektedir (Schröter vd., 2018; Zhi vd., 2020). Bu çalışmalarda hidrolojik modellerin hesaba katıldığı dinamik bir taşkın modeli yerine durağan bir taşkın risk analizi sunulmaktadır. Bu teze benzer olarak hidrolojik modeller ile taşkın simülasyonu oluşturulan çalışma da bulunmaktadır (Yang vd., 2020). Söz konusu simülasyon geliştirilme aşamasında olup, sonuçlara dair detaylı analizler sunulmamış ve afet yönetimiyle ilişkisi kurulmamıştır.



### 1.3 Hipotez

Bu çalışmada, taşkın olaylarının modellenmesi ve yönetilmesinde gelişmiş oyun motorları ve açık kaynak verilerin kullanımı üzerine odaklanılmıştır. Araştırma, gelişmiş oyun motorları ile suyun hareketinin gerçeğe yakın bir şekilde modellenip modellenemeyeceğini ve bu modellerin CBS analizleriyle üretilen risk haritalarıyla uyumunu incelemeyi amaçlamaktadır. Hipotezler, uygun hidrolojik modelleme ve doğru topoğrafya verileri kullanılarak suyun hareketinin ve taşkınların anlık ilerlemesinin modellenebileceğini öngörmektedir. Ayrıca, 3B taşkın simülasyonlarının taşkın hareketini ve etkilenecek bölgeleri CBS analizlerine kıyasla daha detaylı bir şekilde ortaya koyabileceği düşünülmektedir.

Araştırma aynı zamanda açık kaynak yazılım ve verilerle taşkın olaylarının doğru bir şekilde modellenip modellenemeyeceğini de sorgulamaktadır. Unreal Engine oyun motorunun, açık kaynak kodu, gelişmiş arayüzü ve geniş geliştirici topluluğu sayesinde afet modelleme için ileri seviye bir araç olduğu ve gerçekçi taşkın simülasyonları üretebileceği hipotez edilmektedir. Kitle kaynak yaklaşımıyla oluşturulan OpenStreetMap gibi haritaların, hızlı ve doğru bina verisi elde edilmesine olanak sağladığı düşünülmektedir. Son olarak, Unreal Engine ile üretilen taşkın simülasyonlarının, BADYS (Bütünleşik Afet ve Durum Yönetim Sistemi) kapsamında, özellikle hazırlıklı olma ve müdahale aşamalarında etkin bir şekilde kullanılabilmesi öngörülmektedir. Bu hipotezler, oyun motorlarının ve açık kaynak verilerin taşkın modelleme ve yönetiminde sağladığı faydaları ve potansiyel kullanım alanlarını araştırmayı hedeflemektedir.



## 2. VERİ VE YÖNTEM

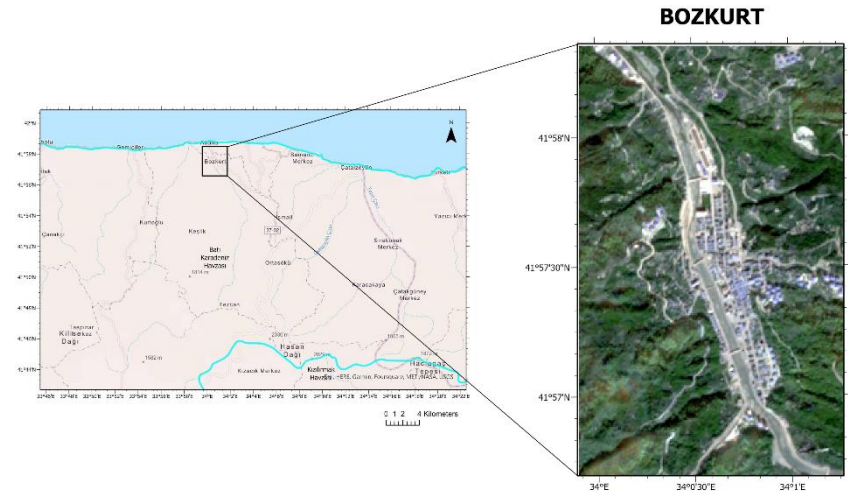
### 2.1 Çalışma Alanı ve Kullanılan Veri

#### 2.1.1 Çalışma alanı

Çalışma alanı olarak 2021 yılında büyük bir taşkın felaketi yaşayan Kastamonu ilinin Bozkurt ilçesi belirlenmiştir. Bozkurt ilçesi (Şekil 2.2), 296 km<sup>2</sup> yüz ölçümüne sahiptir ve ilin kuzeyinde, Karadeniz denizinin kıyısında yer almaktadır. İlçe merkezi, denizden 2 km içeride bulunan Ezine Çayı vadisinde kurulmuştur. Ezine Çayı, Batı Karadeniz Bölgesi'nde yer almakta olup, Kastamonu'nun önemli su kaynaklarından biridir. Bozkurt ilçesi Türkiye'deki 25 havzadan birisi olan Batı Karadeniz havzasında (Şekil 2.1) yer almaktadır. Bu havza, Türkiye yüz ölçümünün yaklaşık %3,7'sini oluşturmaktadır ve 28.855 km<sup>2</sup> yağış alanına sahiptir.



Şekil 2.1 : Türkiye'deki havza alanları ve Batı Karadeniz havzasının konumu.



Şekil 2.2 : Batı Karadeniz havzası ve Bozkurt ilçesinin Sentinel 2A görüntüsü.

### 2.1.1.1 Arazi kullanımı

Ezine Çayı havzası, büyük ölçüde ormanlık alanlardan oluşan bir arazi yapısına sahiptir. Havzanın yüksek kesimlerinde yoğun orman örtüsü hakimdir. Bu ormanlar, Karadeniz Bölgesi'nin karakteristik bitki örtüsünü yansıtmakta olup, genellikle yaprak dökken ve iğne yapraklı ağaç türlerinden oluşmaktadır.

Ormanlık alanlar, havzanın ekosistem dengesini korumada ve su döngüsünü düzenlemede önemli bir rol oynamaktadır. Ormanlar, yüzey akışını azaltarak suyun toprak tarafından emilmesini sağlar ve böylece taşkın riskini düşürür. Ayrıca, orman örtüsü, toprak erozyonunu engelleyerek havzanın topografik stabilitesine katkıda bulunur.

### 2.1.1.2 İklim

Havzanın iklimi, Karadeniz ikliminin etkisi altında olup, yıl boyunca bol miktarda yağış almaktadır. Bu yağışlar, taşkın riskini artıran önemli bir faktördür. Ayrıca, havzanın jeolojik yapısı ve toprak özellikleri de suyun akışını ve yer altı su seviyelerini etkilemektedir. Kastamonu ilinin mevsim normalleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir (Çizelge 2.1).

**Çizelge 2.1:** Kastamonu iline ait mevsim normalleri. (Url-1)

	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
<b>Ortalama Sıcaklık (°C)</b>	-0.6	1.1	4.8	9.5	14.2	17.7	20.5	20.5	16.2	11.2	4.9	0.7	10.1
<b>Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)</b>	3.6	6.9	11.5	17.0	21.7	25.3	28.8	29.1	24.6	18.7	11.2	4.8	16.9
<b>Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)</b>	-3.8	-3.1	-0.4	3.4	7.7	11.0	13.0	13.1	9.5	5.9	0.5	-2.4	4.5
<b>Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)</b>	2.0	3.4	4.1	5.4	6.4	7.4	8.8	8.6	6.4	4.8	3.5	1.8	5.2
<b>Ortalama Yağışlı Gün Sayısı</b>	12.23	10.77	12.37	12.80	14.40	12.60	6.73	6.10	7.17	9.37	9.07	12.07	125.7
<b>Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)</b>	29.4	28.1	38.5	50.5	77.9	89.6	36.0	38.2	38.7	34.8	27.5	36.1	525.3

### 2.1.1.3 Nüfus

TÜİK'ten alınan 2007-2023 yılları arasındaki nüfus verileri Çizelge 2.2'de gösterilmiştir. Bozkurt ilçesinin yıllık ortalama nüfus artış hızı %0.87 olarak hesaplanmıştır.

Bu ortalama artış hızı, ilçenin nüfusunun genel olarak istikrarlı bir şekilde artış gösterdiğini, ancak artış hızının oldukça düşük olduğunu ortaya koymaktadır. Yıllık %0.87'lik bir artış oranı, nüfusun uzun vadede yavaş fakat sürekli bir büyüme eğiliminde olduğunu göstermektedir.

**Çizelge 2.2:** Bozkurt ilçesine ait nüfus verileri.

Yıllar	Nüfus
2007	8548
2008	9082
2009	8943
2010	8945
2011	8941
2012	8946
2013	9337
2014	9292
2015	9141
2016	9332
2017	9439
2018	9920
2019	9468
2020	9620
2021	9170
2022	9064
2023	9738

### 2.1.1.4 Tarım

TÜİK'ten alınan verilere göre bölgede başlıca bitkisel ürün olarak Patates ve Yonca üretilmektedir (Url-2).2023 yılında 153 ton patates, 32 ton yonca üretilmiştir.

Bölgede ayrıca 2023 yılında sebze olarak başlıca fasulye (330 ton), salatalık (67 ton), domates (61 ton) ve bal kabağı (30 ton) üretilmiştir. Bölgede meyve olarak başlıca fındık, elma ve ceviz bulunmaktadır. TÜİK tarafından yayımlanan ilçeye ait hayvan sayılarına dair veri bulunmamakla birlikte, bölgede hayvancılık yapılmaktadır.

### 2.1.2 Kullanılan veri

Taşkın risk analizi için önceki çalışmalara benzer şekilde yağış miktarı, sıcaklık, yükseklik, arazi kullanım / arazi örtüsü, eğim, bakı, toprak özellikleri ve nem parametreleri kullanılmıştır (Ünal vd., 2022). Yağış miktarı bir taşkın için en önemli parametredir. Yağış miktarı verileri sel sıklık ve şiddetini belirlemedeki temel etkidir. Sıcaklık verileri suyun buharlaşmasında etkin olduğu gibi suyun fiziksel özelliklerini de değiştirebilmektedir, bu değişiklikler toplam su hacminin belirlenmesinde etkili olmaktadır. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) sayesinde suyun akış yolları ve güzergahı belirlenebilmektedir. SYM kaynağı olarak 12.5 M mekânsal çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR verisi kullanılacaktır. Önceki çalışmalarda (Azizian ve Brocco, 2020; Zhi vd., 2020) 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip SYM'ler taşkın haritalaması için kullanılmıştır. Bu projede 12.5 m çözünürlüğe sahip SYM topoğrafyanın yapısını belirlemek için yeterli çözünürlüğe sahiptir. Taşkın başlangıç ve bitiş noktaları, suyun derinliğine ve hızına etki eden en önemli unsurlardandır. Arazi kullanımı haritası için ESRI tarafından sağlanan Land Cover haritası kullanılacaktır. Toprak özellikleri haritası FAO'dan alınmıştır. Bu harita 2023 yılında en düşük 1 km çözünürlüklü çeşitli kaynaklar ile birleştirilerek tüm dünyayı kapsayacak şekilde yayımlanmıştır. Kılavuzundaki notlara göre Türkiye'deki verileri bakanlık tarafından sağlanmıştır. Toprak özellikleri parametresi suyun ne kadarının toprak tarafından emileceği bilgisini vermektedir. Betonlaşmış kentlerde bu çok düşüktür ve taşkın riskini ve şiddetini artırmaktadır. Ağaçlı ve uygun toprak yapısına sahip araziler ise taşkın riskini büyük ölçüde azaltabilmektedir. Havadaki nem yağış oluşumunda etkilidir. Eğim ve bakı haritaları SYM kullanılarak üretilecektir. Özellikle bakı farklı yamaçlarında evapotranspirasyon etkisi ile yaşanan su kayıplarında büyük farklılıklar oluşturmakta ve yaşanan yağışın buharlaşma ve terleme miktarını tayin eden önemli bir faktör olarak ön plana çıkmaktadır (Görcelioğlu, 2003). Kastamonu il Özel İdaresi'nden Bozkurt İlçesi'nin yağmur suyu altyapısı elde edilmiştir. Veri incelendiğinden çalışma bölgesinin az bir kısmında altyapının olduğu ve kapasitesi göz önüne alındığında daha çok sağanak yağışlarda caddelerdeki su birikmelerini engellemek üzere kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Projede simülasyonu oluşturulacak afet seviyesindeki taşkın yağmur suyu toplama sisteminin etkisinin ihmal edilmez düzeyde olduğu öngörülmektedir. Bununla beraber tahliye edilen suların ilçenin ortasından geçen dereye aktarıldığı görülmektedir. Böylece taşkın içerisinde bir döngü olduğu ve

tahliye edilebilen az miktarda suyun tekrar taşkın içerisine aktarıldığı anlaşılmaktadır. Bu sebeple yağmur suyu altyapısının taşkından su azaltmaya yönelik bir etkisi bulunmamaktadır. OpenStreetMap bölgedeki binaların geometrik yapısını sağlamaktadır. Bina modelleri 3B olarak açık kaynaklardan elde edilebilmektedir. Bu durum projenin genel uygulanabilirliği açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır. Optik uydu görüntüleri, SYM, arazi Kullanımı ve örtü haritası, oyun motorunda gerçekçi 3B zemin oluşturabilmek için kullanılmaktadır (Schröter vd., 2018). Bu veriler özet halinde Çizelge 2.4'te belirtilmiştir.

**Çizelge 2.3:** Analiz için kullanılacak altlık harita ve veriler.

Parametre	Açıklama	Veri Kaynağı	Veri Türü	Mekansal Çözünürlük / Ölçek
Yağış miktarı	Günlük yağış miktarı ve dağılımı.	Meteoroloji G. M.	Noktasal Veri	
Sıcaklık	Mevsimler olarak ortalama sıcaklık verileri.	Meteoroloji G. M.	Noktasal Veri	
Sayısal Yükseklik Modeli	Arazinin yükseklik bilgisini içermektedir.	NASA	Raster	12.5 m
Bina Yükseklik ve Modelleri	Bina yükseklikleri ve şekillerini içerir.	OSM	Vektör	
Arazi Kullanım ve Arazi Örtüsü Haritası	Arazi kullanımı ve bitki örtüsü verileri.	ESRI Land Cover	Raster	10 m
Toprak Özellikleri	Toprak türleri, hidrolik iletkenlik, su tutma.	FAO	Raster	1 km<
Nem	Mevsimler olarak ortalama nem verileri.	Meteoroloji G. M.	Noktasal Veri	
Eğim	Arazide farklı yöndeki yükseklik değişim miktarı.	SYM'den üretilecektir	Raster	12.5 m
Bakı	Bir yüzeyin bakış yönü, güneş ışınlarını alış yönü	SYM'den üretilecektir	Raster	12.5 m
Yağmur Suyu Altyapısı	Kent içerisinde yağmur suyu tahliyesi için kurulmuş sistem.	Kastamonu İl Özel İdaresi	Vektör	

### 2.1.2.1 Verilerdeki eksik parametreleri tamamlama

### 2.1.2.2 Toprak özellikleri

SWAT+ modelinin "soils.sol" dosyasında kullanılan toprak parametreleri ve bu parametrelerin açıklamaları aşağıdaki gibidir:

- **SOL\_Z (Toprak Derinliği):** Her toprak katmanının kalınlığını milimetre cinsinden belirtir.
- **SOL\_BD (Toprak Hacim Ağırlığı):** Her toprak katmanının hacim ağırlığını gram/cm<sup>3</sup> cinsinden ifade eder.
- **SOL\_AWC (Mevcut Su Kapasitesi):** Her toprak katmanının mevcut su kapasitesini, yani tarla kapasitesinden solma noktasına kadar olan su miktarını yüzde (%) olarak belirtir.
- **SOL\_K (Doymuş Hidrolik İletkenlik):** Her toprak katmanının doymuş hidrolik iletkenliğini milimetre/saat (mm/hr) cinsinden ifade eder.
- **SOL\_CBN (Toprak Organik Karbon İçeriği):** Her toprak katmanındaki organik karbon miktarını yüzde (%) olarak belirtir.
- **CLAY (Kil İçeriği):** Her toprak katmanındaki kil içeriğini yüzde (%) olarak belirtir.
- **SILT (Mil İçeriği):** Her toprak katmanındaki mil içeriğini yüzde (%) olarak belirtir.
- **SAND (Kum İçeriği):** Her toprak katmanındaki kum içeriğini yüzde (%) olarak belirtir.
- **ROCK (Kaya İçeriği):** Her toprak katmanındaki kaya parçacıkları içeriğini yüzde (%) olarak belirtir.
- **SOL\_ALB (Toprak Yüzey Albedo Değeri):** Toprak yüzeyinin yansıtma oranını belirtir.
- **USLE\_K (USLE Erozyon Katsayısı):** Evrensel Toprak Kaybı Eşitliği (USLE) için toprak erozyon katsayısını belirtir.
- **SOL\_EC (Toprak Elektriksel İletkenliği):** Her toprak katmanının tuzluluk derecesini desiSiemens/metre (dS/m) cinsinden belirtir.

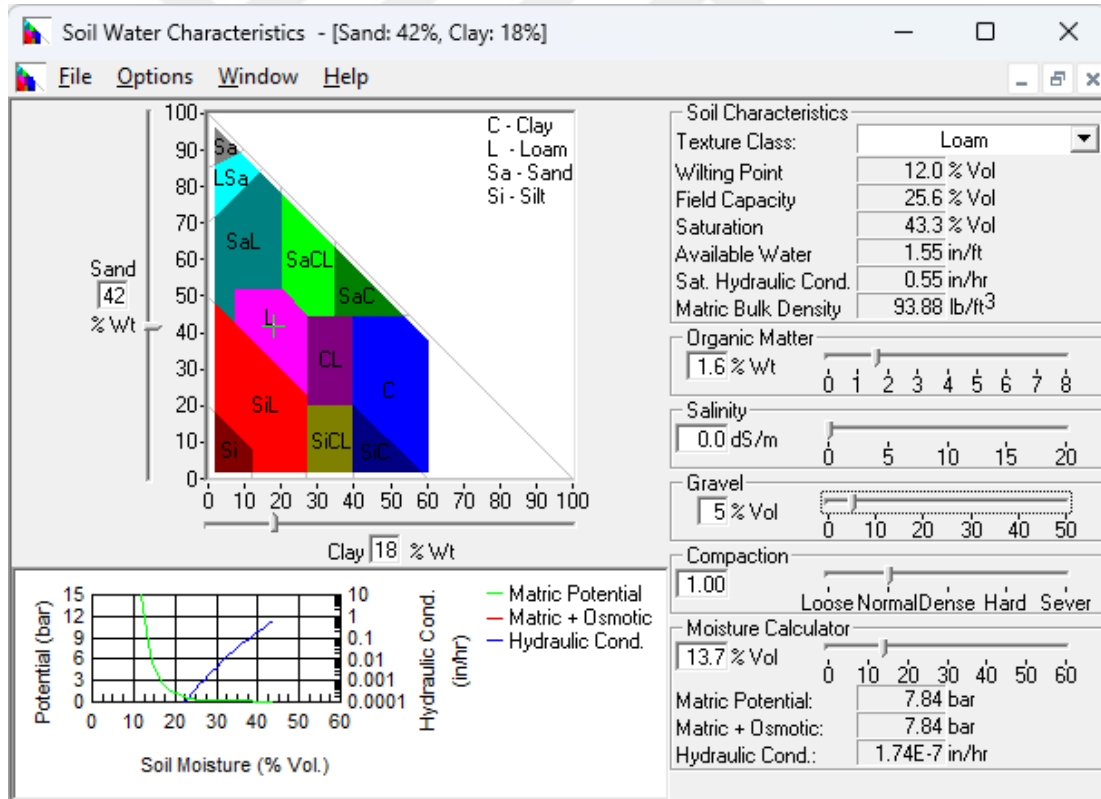


Bu parametreler, SWAT+ modelinin toprak bileşenlerinin fiziksel ve kimyasal özelliklerini tanımlamada kullanılır. Her bir parametre, toprak su dengesi, erozyon, bitki su tüketimi ve diğer hidrolojik süreçlerin modellenmesinde kritik öneme sahiptir.

Bunlar arasında mevcut su kapasitesi, doymuş hidrolik iletkenlik, toprak yüzey albedo değeri ve USLE erozyon katsayısı FAO tarafından verilen özellikler tablosunda bulunmadığı için ayrıca hesaplanmıştır.

### Mevcut su kapasitesi ve doymuş hidrolik iletkenlik hesaplaması

Bu parametrelerin hesabı Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı tarafından hazırlanan “SPAW Hydrology” programı içerisinde bulunan toprak su karakteristikleri aracı ile hesaplanmıştır (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 : Toprak su karakteristikleri hesaplama aracı ekran görüntüsü.

### USLE Erozyon katsayısı

Toprak erozyon katsayısı, Benavidez'in çalışmasında (Benavidez vd., 2018) verilen denklemler arasından; Wischmeier ve Smith (1978) tarafından geliştirilen, Renard ve arkadaşları (1997) tarafından farklı jeoklimatik bölgelerdeki doğruluğunu ve uygulanabilirliğini artırmak amacıyla revize edilen denklem kullanılarak tahmin edilmiştir.

$$M = Silt \times (100 - Clay) \quad (2.1)$$

$$K = \frac{\{[2.1 \times M^{1.14} \times 10^{-4} \times (12 - a)] + [3.25 \times (b - 2)] + [2.5 \times (c - 3)]\}}{100} \quad (2.2)$$

Bu denklemdeki harflerin anlamı aşağıdaki gibidir:

**M:** Parçacık boyutu parametresi

**Silt:** Mil (%) ve çok ince kum (0.1 ila 0.05 mm) yüzdesi

**Clay:** Kil (%)

**a:** Organik madde (%)

**b:** Toprak sınıflandırmasında kullanılan toprak yapısı kodu:

- 1: Çok ince granüler
- 2: İnce granüler
- 3: Orta veya kalın granüler
- 4: Bloklı, tabakalı veya masif

**c:** Profil geçirgenlik sınıfı:

- |               |               |
|---------------|---------------|
| 1: Hızlı      | 4: Yavaş orta |
| 2: Orta hızlı | 5: Yavaş      |
| 3: Orta       | 6: Çok yavaş  |

### **2.1.2.3 Gerekli iklim verilerinin istatistiksel hesapları**

İklim verileri üniversite aracılığı ile Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğünden son 20 yılı kapsayacak şekilde istenmiştir. Kullanılan veriler şunlardır:

- Günlük Minimum Sıcaklık
- Günlük Ortalama Sıcaklık
- Günlük Maksimum Sıcaklık
- Günlük Ortalama Nem
- Günlük Toplam Güneş Radyasyonu
- Günlük Toplam Yağış
- Saatlik Toplam Yağış

SWAT+ Modelinde hava verilerinin doğru kullanılabilmesi için ve eksik verilerin otomatik tamamlanabilmesi için hava oluşturucular eklenmektedir. Bu bir mevsim normalleri tablosu oluşturmaktadır. İstasyon verileri eklenirken ölçülememiş günlerdeki veriler için -99 yazılmaktadır ve program bunu gördüğü zaman öncesi, sonrası ve mevsim normallerindeki veriyi kullanarak o değeri tahmin edebilmektedir.

MGM'den alınan veriler oluşturulan yerel bir veri tabanına aktarılmıştır. Sonrasında bu veri tabanı üzerinde hesaplar SQL dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

## **2.2 Yöntem**

Tez temel olarak 3 kısımdan oluşmaktadır. İlk aşamada SWAT ile havza bölgesinin tespit edilerek su dengesi kurulur Sonrasında AHP ile havza içindeki riskli bölgelerin tespiti yapılarak Unreal Engine için hazır duruma getirilir. Konumsal veriler Landscaping eklentisi ile kullanılarak çevre oluşturulması yapılır. Zibra Liquids eklentisi ile akışkan modellemesi yapılır. 2021 yılında gerçekleşen sel ile karşılaştırılarak doğruluk analizi yapılır.

### **2.2.1 Soil & Water Assessment Tool modeli**

Tezin son aşamasını Unreal Engine ile gerçekleştirebilmek için hidrolojik parametrelere de ihtiyaç vardır. Bu parametreler SWAT, HEC-RAS ve ESWM gibi araçlar ile elde edilebilir. Bu çalışmada SWAT tercih edilmiştir. SWAT açılımı "Soil Water Assessment Tool" dir ve Türkçe olarak toprak ve su değerlendirme aracı

demektir. Texas Tarım ve Mekanik Üniversitesi tarafından geliştirilen açık kaynak kodlu Fortran dili ile yazılmış bir araçtır. Bir bölgenin hidrolojik modellemesini çok gelişmiş bir şekilde yapabilir. SWAT+ modeli ve LSU (Arazi Kullanımı) model kurulumu, hidrolojik süreçlerin daha doğru bir şekilde temsil edilmesine yönelik umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Bu, su döngüsünün daha ayrıntılı bir şekilde anlaşılmasına ve takip edilmesine olanak tanımaktadır. Açık kaynak uydu verilerine dayalı olarak SWAT+ modeli, ölçülemeyen havzaların su dengesi parametrelerinin bulunmasında önemli bir araç olarak öne çıkmaktadır (Abate vd., 2023).

SWAT modeli, hidrolojik koşulları tahmin etmek, geçmişten günümüze deşarjı hesaplamak ve gelecekteki durumları tahmin etmek amacıyla özellikle geliştirilmiş bir hidrolojik modeldir. Bu modelin özelliği, havza sınırlarını ve havza sınırları içinde su dengesini hesaplayabilme yeteneğidir. Bu sayede tüm alanı alt-havzalara bölebilir ve her bir alt-havzanın sayısal yükseklik modelinden (SYM) oluşturulan kullanıcının ihtiyacına dayalı olarak nehir rotasını oluşturabilir. Böylece kullanıcının bölgesel havzalardan gelen deşarj üzerine mekânsal veri analizi için büyük bir fayda sağlayan her bir alt-havzadaki deşarjı bilmesine olanak tanınmaktadır. Veri hesaplama açısından, SWAT modeli, temel olarak su dengesi denklemini kullanarak hidrolojik süreçleri hesaba katmaktadır (Eşitlik 2.3) (Guug vd., 2020).

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{qw}) \quad (2.3)$$

Burada;  $i$  geçen gün,  $SW_t$  son toprak su içeriğini (mm),  $SW_0$  başlangıç toprak su içeriğini (mm),  $t$  zamanı (gün),  $R_{day}$   $i$  gün üzerindeki yağışı (mm),  $Q_{surf}$   $i$  gün üzerindeki yüzey su içeriğini (mm),  $E_a$   $i$  gün üzerindeki evapotranspirasyon hızını (mm),  $W_{seep}$   $i$  gün üzerindeki yeraltı su içeriğini (mm) ve  $Q_{qw}$   $i$  gün üzerindeki yeraltı suyunun deşarja dönüşünü (mm) temsil etmektedir. Model kalibrasyonu ve doğrulaması, SWAT modelinden elde edilen sonuçların saha verileri ile karşılaştırılması ile gerçekleştirilecektir. Bu adımda, modelin deşarja etkisi olabilecek hidrolojik hassasiyet parametrelerinin ayarlanması gerekmektedir. Bu çalışmada SOL\_AWC, ESCO, ALPHA\_BF, SLSUBBSN, GW\_DELAY, SURLAG ve CH\_N2 dahil olmak üzere 7 parametre belirtilmiştir. Ayrıca, model değerlendirmesi için Katsayılarını Belirleme (R2), Göreceli Hata (RE) ve Nash-Sutcliffe Verimliliği (Ens)

dahil olmak üzere üç tür indeks kullanılmıştır. Bu indeksler, sırasıyla eşitlik 2.3-2.6'de gösterilmiştir (Guug vd., 2020).

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q})(Q_{si} - \bar{Q}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{oi} - \bar{Q})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{si} - \bar{Q}_s)^2}} \right)^2 \quad (2.4)$$

$$RE = \left( \frac{Q_s - Q_0}{Q_0} \right) \times 100 \quad (2.5)$$

$$E_{ns} = 1 - \left( \frac{\sum_{i=1}^n (Q_0 - Q_s)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_0 - \bar{Q}_s)^2} \right) \quad (2.6)$$

Burada,  $i$  veri sırasını,  $n$  toplam veri sayısını,  $Q_{oi}$   $i$  zamandaki gözlemlenen verileri,  $\bar{Q}$  tüm gözlemlenen verilerin ortalamasını,  $Q_{si}$   $i$  zamandaki modelden gelen verileri ve  $\bar{Q}_s$  modelden gelen verilerin ortalamasını ifade etmektedir.

Havzada Taşkın Sıklığı Analizi ve Taşkın Riski Alanı Haritalama Prosedürü üç aşamadan oluşur: alt havzaların ayrılması, deşarj, sıklık ve geri dönüş süresinin hesaplanması ve taşkın risk haritalarının oluşturulması. SWAT modelinde alt-havzaların ayrılması, bir bölgeyi daha küçük alt-havzalara bölmek ve her bir alt-havzanın hidrolojik süreçlerini ayrı ayrı değerlendirmek için kullanılan bir adımdır. Bu işlem, havzanın topografyasına ve SYM'sine dayanarak gerçekleştirilir. Geri dönüş süresi, belirli bir deşarjın veya taşkın, belirli bir süre zarfında ne sıklıkla aşılacağını tahmin etmeye yardımcı olan bir kavramdır. Bu adımda, geçmiş deşarj verileri ve olasılık dağılımları kullanılarak belirli bir deşarj düzeyinin geri dönüş süresi hesaplanır. Bu hesaplama belirli bir tasarım deşarjının ne kadar sıklıkla aşılacağını ve hangi koşullarda meydana gelebileceğini belirlemeye yardımcı olur. Bu adım, taşkınların tahmin edilmesi ve taşkın yönetimi stratejilerinin geliştirilmesi için kritik bir temel oluşturmaktadır. Farklı geri dönüş sürelerinden gelen alt-havza deşarjları, şekil dosyasına dönüştürülecek ve QGIS projesine eklenecektir. Taşkınların şiddet seviyeleri, maksimum deşarja dayalı olarak farklı aralıklara göre sınıflandırılacak ve haritada buna göre renklendirilecektir. Elde edilen sonuçlar Unreal Engine ile kullanılabilir şekilde harita ve tablolar haline getirilerek kaydedilecektir.

## 2.2.2 Analitik hiyerarşi süreci

Çok ölçütlü karar verme (ÇÖKV) problemlerinde çok değişkenli ve karmaşık yapılara sahip birden fazla alternatifin dikkate alınması gerekliliği, sorunun anlaşılmasını ve analizi için özniteliklerin göreceli ağırlıklarının doğru değerlendirilmesi gerekmektedir. Ağırlık, endeksin fiziksel özelliklerinin objektif bir yansımasıdır ve aynı zamanda öznel ve nesnel kapsamlı ölçümlerin bir sonucudur. Birkaç özneliğin niceliksel ve önyargılı doğası, karar verme sürecinin karmaşıklığını daha da artırır. Bu tür karmaşık karar verme problemleriyle başa çıkabilmek için ÇÖKV teknikleri geliştirilmiştir. Analitik hiyerarşi süreci (AHS) (Saaty, 1977), nicel analiz ile nitel analizi birleştiren etkili bir çok ölçütlü karar verme yöntemidir. Karmaşık problemlerdeki hedefleri ilgili sıralı katmanlara bölebilir ve ağırlık belirlemede daha iyi bir yöntem olarak kabul edilir. Farklı kaynaklardan elde edilen verilerin arasındaki bağımlılıkları çözmek amacıyla kullanılabilir. AHS dört aşamadan oluşur (Özdağoğlu ve Özdağoğlu, 2007). Adım 1'de problem; hedef, alternatifler ve nitelikler hiyerarşisine bölünür. AHS, nitelik ağırlıklarını ve karar matrisini (D) kullanarak özniteliklere atanacak ağırlıkları belirler. Öncelik sıralaması, alternatiflerin ağırlıklarına göre azalan şekilde sıralanmasıyla yapılır. D matrisi, performans puanı cinsinden formüle edilen belirli bir özelliğe göre bir alternatifin performansını temsil eder. D matrisinin boyutu  $m \times n$ 'dir; burada m, alternatiflerin sayısını ve n, özniteliklerin sayısını temsil eder. D matrisinde her özelliğin diğer niteliklere göre göreceli önemi karşılaştırılır (Eşitlik 2.7).

$$D = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{m1} & u_{m2} & \cdots & u_{mn} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

D matrisi hesaplandıktan sonra D karar matrisine göre, özvektör w, maksimum özdeğer  $\lambda_{max}$ 'a karşılık gelecek şekilde hesaplanır (Eşitlik 2.8).

$$D_w = \lambda_{max} \cdot W \quad (2.8)$$

Özvektör w normalleştirildiğinde, her değerlendirme faktörünün önem sırası, yani ağırlık dağılımı elde edilir. Öznitelik ağırlıkları, normalleştirilmiş A matrisinin satır elemanlarının ortalaması alınarak hesaplanır. Öznitelik ağırlıklarının doğruluğunu ve

güvenilirliğini belirlemek için tutarlılık kontrolünün yapılması gerekir (Islam vd., 2023).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.9)$$

Burada CR, karar matrisinin rastgele tutarlılık oranıdır, RI ortalama rastgele tutarlılık endeksidir ve CI tutarlılık endeksidir:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2.10)$$

RI, rastgele oluşturulmuş ikili karşılaştırma matrisinin tutarlılık endeksi olarak kabul edilen rastgele endekstir. CR değeri 0,1'den küçükse ikili karşılaştırmaların yeterince tutarlı olduğu kabul edilir; aksi takdirde D matrisinin yeniden formüle edilmesi gerekir (Şahin, 2021).

AHS'de alternatifler arasındaki tercihler ikili karşılaştırmalar yapılarak belirlenir. Karar verici karşılaştırılan parametrelerin birbirlerine kıyasla önem derecesini belirler. Çizelge 2.5’de belirtilen ölçütlerden AHS için kullanılacak olanların ağırlıklarını belirlemek için ikili karar matrisleri oluşturulacaktır. Bu belirlenen hedef kitleye yönelik anket çalışması gerçekleştirilecektir. Bu anketteki temel soru “Kastamonu Bozkurt ilçesi için yapılacak bir taşkın risk analizi için ölçüt i değeri bir başka ölçüt j ye göre ne oranda tercih edilmelidir?” olarak belirlenmiştir. Gerçekleştirilecek anketin hedef kitlesi CBS uzmanları, konu ile ilgili araştırmalar yapan akademisyenler ve çalışma bölgesindeki kamu kurumlarında (belediye, il özel idaresi vb.) görev yapan uzmanlar olarak belirlenmiştir. Anketi dolduranlardan ikili karşılaştırma matrisini Çizelge 2.5’teki ölçüğe göre doldurmaları istenmiştir.

**Çizelge 2.4:** İkili karşılaştırma matrisi şablonu.

	Yağış miktarı	Sıcaklık	SYM	AKAÖ	Toprak Özellikleri	Nem	Bakı	Eğim
Yağış miktarı	1							
Sıcaklık		1						
SYM			1					
AKAÖ				1				
Toprak Özellikleri					1			
Nem						1		
Bakı							1	
Eğim								1

Karar seçenekleri her bir ölçüte göre ayrı ayrı karşılaştırılır. Karar matrisleri, aşağıda Saaty tarafından önerilmiş olan 1-9 karşılaştırma ölçeği kullanılarak oluşturulur. Eşitlik 2.10 kullanılarak karşılaştırma matrisinin tutarlılığı ölçülür. Eğer CR değeri 0.1'den küçük çıkarsa, karar matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır.

**Çizelge 2.5:** Karşılaştırma ölçeği.

Önem Derecesi	Tanım	Açıklama
1	Eşit öneme sahip	Her iki seçenekte eşit değerde öneme sahiptir.
2	Zayıf ya da hafif	
3	Biraz önemli	Bir ölçüt değerine göre biraz daha önemli sayılmıştır.
4	Makul artı	
5	Fazla önemli	Bir ölçüt değerine göre çok daha önemli sayılmıştır.
6	Güçlü artı	
7	Çok fazla önemli	Ölçüt diğer ölçüte göre kesinlikle çok daha önemli sayılmıştır.
8	Çok çok güçlü	
9	Son derece önemli	Bir ölçütün değerine göre son derece önemli olduğu çeşitli bilgilere dayandırılmıştır.

Ağırlıklı bindirme analizi (ABA), bir olayın nedensel faktörlerine karşılık gelen ağırlıkların atandığı istatistiksel bir yöntemdir. Tematik haritanın her katmanına, ilgili tüm katmanlara kıyasla önemine göre sayısal bir değer atanır. Bu tezde ağırlık değerleri AHS sonucunda elde edilecektir. Daha sonra tüm ağırlıklı katmanlar üst üste bindirilir ve tam bir harita oluşturulur. Bu tematik haritalar, ağırlıklı bindirme yöntemi kullanılarak üst üste bindirilerek taşkın risk haritası üretilmektedir. AHS ile belirlenen ağırlıklara göre parametreler ağırlıklandırılacaktır.



### 2.2.3 Oyun motoru - Unreal Engine

Oyun motorları başlangıçta oyunlarda 3 boyutlu gerçekçi sahneler sağlamak için kullanılmıştır. Ancak oyun motorlarındaki ileri gelişmeler, geliştiricilerin bunları etkileşimli görselleştirmeler oluşturmak için çoklu platform olarak kullanmalarına olanak sağlamıştır. Güncel çalışmalar, bina bilgi modellemesi ve arkeoloji gibi birçok uygulama için coğrafi verilerin görselleştirilmesi amacıyla oyun motorlarının kullanımını göstermektedir. Oyun motorlarının çeşitli 3B veri formatlarını desteklemesi aynı zamanda çeşitli topografik verilerin kullanımına da olanak tanır. Bu potansiyel, farklı veri kaynaklarından türetilen büyük ölçekli topografik veritabanları ile yüksek kullanıcı etkileşimi olarak kriz yönetimi (Tully vd., 2015) ve etkileşimli coğrafi tasarım için kullanılabilir. Unreal Engine 25 yıldır geliştirilen bir açık kaynak kodlu oyun motorudur. İçerisinde gelişmiş dünya, animasyon, karakter, fizik ve obje gibi bir oyun içerisinde olması gerekenler ile ilgili oluşturma araçları vardır. Ayrıca C++ programlama dili desteği sayesinde kullanıcıya kendi eklentilerini geliştirme olanağı da sunmaktadır. Oyun sektörünün standartlarından biri haline gelmiş motor birçok farklı alanda da kullanılmaya başlanmıştır. NASA Ay Arazi Görselleştirmesi (NASA Lunar Terrain Visualization), Otomatik Araçlara Görünür ve Görünmez Işık Simülasyonu ile Sürüş Öğretme (Teaching Autonomous Vehicles to Drive with Visible and Non-Visible Light Simulation), Dünya Sizin Tuvaliniz: 3D Küresel Ölçekli Gerçek veya Hayali Dünyalar Oluşturma (The World is Your Canvas: Building 3D Global-Scale Real or Imaginary Worlds), Dünyanın İlk Hiper Gerçeklik Kanat Takımı Simülatörü İçin Büyük Ölçekli Çevre Yakalama (Large-Scale Environment Capture for the World's First Hyperreal Wingsuit Simulator), Sonraki Dijital İkiz... Dünya! (The Next Digital Twin is...Earth!), Uçmayı Öğrenme: CAE'nin Next-Gen Uçuş Simülatörleri İçin UE5'e Dönüşü (Learning to Fly: CAE's Pivot to UE5 for Next-Gen Flight Simulators) (Epic Games, 2023) gibi proje Unreal Engine kullanılarak geliştirilmiştir.

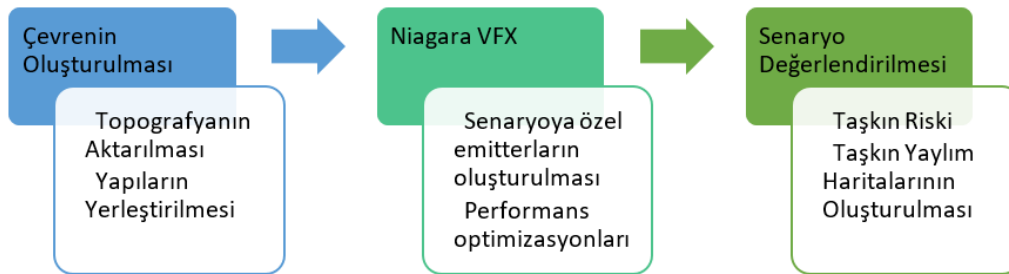
Unreal Engine, Niagara Çalışma Mantığı'na uygun şekilde çalışmaktadır. Niagara VFX 4 (Unreal Engine, 2023) temel yapıdan oluşur; Sistemler, Yayıncılar (Emitters), Modüller ve Parametreler. Bir Niagara Sistemi içinde emitter, emitter içinde modüller ve bu yapı içindeki her bileşenin kendine özgü parametreleri vardır. Emitter tasarlanan

dünyanın içinde istenen özelliklerde mesh ya da parçacık (particle) oluşturan Unreal Engine aktörleridir. Bir emitter 6 temel unsuru vardır.

1. Emitter Spawn: Emitter ilk oluşturulduğu andaki özellikleri ve yapılması gerekenleri belirler.
2. Emitter Update: Belli bir süreyle ya da tetiklenmiş olaylarla tekrar yapılandırılmasını sağlayabilir.
3. Particle Spawn: Mesh ya da particle ilk oluşturulduğu zamanki özelliklerini belirler; boyutu, rengi, konumu gibi.
4. Particle Update: Burada oluşturulan parçaların davranışları kontrol edilir. Bir yere çarptığı zamanki, bir güce maruz kaldığındaki hareketleri.
5. Event Handler: Belli olaylara karşı tepkileri denetleyebilirsiniz.
6. Render: Oluşturulan parçacık veya katı modellerin nasıl görüneceğinin belirlendiği yerdir. Bu projede akışkan temelli yapı kullanıldığı için katı model üreten emitter tasarlanacaktır.

Bu niagara sisteminda daha kolay, performanslı ve doğru işlem yapabilmek adına Zibra AI tarafından geliştirilen ücretli Zibra Liquids eklentisi kullanılacaktır. Bu eklenti sayesinde daha kolay bir şekilde akışkan üzerinde oynamalar yapılarak akışkan özellikleri ve miktarı kontrol edilebilecektir.

Üretilen çalışma alanı modelinin akışkan miktarı ve diğer objeler ile ilişkisi düzenlenecektir. Son adımda ise akışkana gerçekçi bir su görüntüsü verilecektir. Bu adımlarda üretilecek katı modelin yapısı ve yayılımındaki doğruluğun sağlanması için SWAT hidrolojik modellemesindeki sonuçlar kullanılacaktır. Unreal Engine içerisinde iş akışı Şekil 2.4'te sunulmuştur.



**Şekil 2.4 :** Unreal Engine Simülasyonu üzerindeki iş akışı.

Unreal Engine’de 3B model üretmek için ilk olarak ALOS PALSAR’dan alınan SYM dosyası Unreal Engine içine yalın arazi olarak aktarılacaktır. Bunun için Ludic Drive

(2021) tarafından geliştirilmiş UE Landscaping eklentisi kullanılacaktır. Şehir merkezi dışındaki dağlık bölge Unreal Engine içinde bulunan prosedürel oluşturma araçları ile uygun şekilde oluşturulacaktır. Bu prosedürel yöntemler, proje ortamının gerçekçi ve çeşitli bitki örtüsü oluşturulmasına olanak sağlayacaktır. Bu sayede, her alan için benzersiz ve etkileyici bir ortam oluşturmak mümkün olmaktadır. Binalar, OSM Binalar verisi kullanılarak UE StreetMap eklentisi (Street Map Plugin for Unreal Engine, 2023) kullanılarak oluşturulacaktır.





### 3. UYGULAMA

#### 3.1 Soil & Water Assessment Tool Modeli Geliştirmesi

3 Aşamalı çalışmamın sınırlarının belirlenmesi ve hidrolojik değerlere ulaşabilmek için önce SWAT modeli yapılmıştır.

##### 3.1.1 Verilerin Soil & Water Assessment Tool modeli için hazırlanması

SWAT modeli, isteğe bağlı olarak iklim ve akarsu akışı verilerine ek olarak üç ana veri setine ihtiyaç duyar: arazi kullanımı, toprak ve yükseklik verileri. Arazi kullanımı haritası olarak, 10 metre çözünürlükte ESRI'nin Sentinel 2 arazi kullanım haritası kullanılmıştır. Altı arazi örtüsü sınıfı belirlenmiş ve SWAT arazi örtüsü ve bitki büyüme veritabanıyla eşleşecek şekilde yeniden sınıflandırılmıştır: tarım (genel), orman (karışık), meralar (alı, ot ve yarı kurak), sulak alan (karışık), kentsel (düşük yoğunluklu) ve su.

Toprak verisi olarak FAO'nun en az 1 km çözünürlüğe sahip Harmonized World Soil Database kullanılmıştır.

SYM verisi olarak, 12.5 metre çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR verisi kullanılmıştır. Bu veri, havza sınırlarını belirlemek ve eğim gradyanı, eğim uzunluğu ve akarsu ağı karakteristikleri gibi mekansal alt-havza verilerini türetmek için kullanılmıştır.

Kastamonu Ezine ayı üzerinde yapılan çalışmada, 20 yıllık hava verileri kullanılmıştır. Bu hava verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir ve modelin kalibrasyonu ve doğrulaması için önemli bir veri seti sağlamıştır.

Bu verilen hepsi tezde belirtildiği gibi bu model için hazır duruma getirilmıştir.

SWAT+ Modelinin verileri QGIS'in QSWAT eklentisi ile çok kolay yapılabilmektedir. QSWAT içerisinde modelin çalışmaya hazır olması için şekil 3.1'de de görüldüğü gibi 3 adımlı bir hazırlık kısmı vardır. İlk olarak SYM datası ve su çıkış noktası belirtilerek, havzanın coğrafik sınırları ve su akış rotaları belirlenir. Sonraki adımda arazi kullanımı ve toprak özellikleri raster görüntüleri ile beraber rasterdaki piksel değerlerine karşılık gelen parametreler ile özelliklerin ilişkisini oluşturacak veri dosyaları eklenir. Bundan sonra QSWAT SWAT'ın kullanacağı

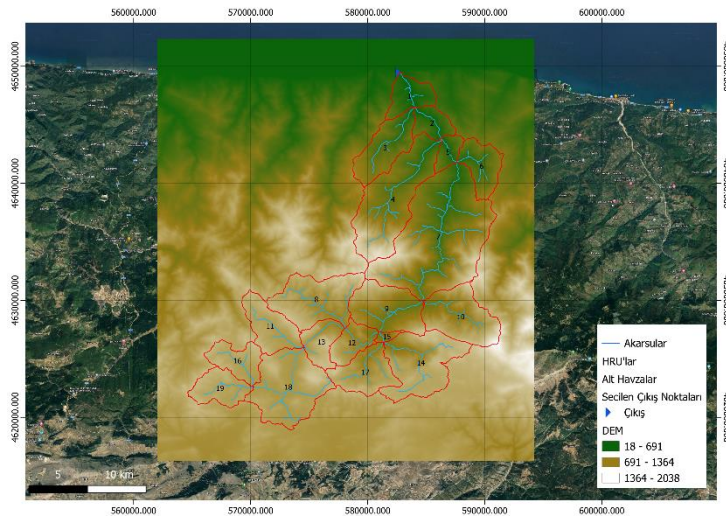
HRU bölgelerini oluşturur. En son adımda QSWAT iklim verilerini girmek üzere ve modeli çalıştırmak için SWAT Editörünü açtırır. Bu editör üzerinden istasyonlara ait mevsim normalleri eklenir ve istasyonların verileri eklenir. Sonrasında model çalıştırılarak. Çıkan sonuçlar harita üzerinde görselleştirilmek üzere tekrar QSWAT eklentisi üzerinden incelenir.



Şekil 3.1 : Toprak su karakteristikleri hesaplama aracı ekran görüntüsü.

### 3.1.2 Havzanın çizilmesi

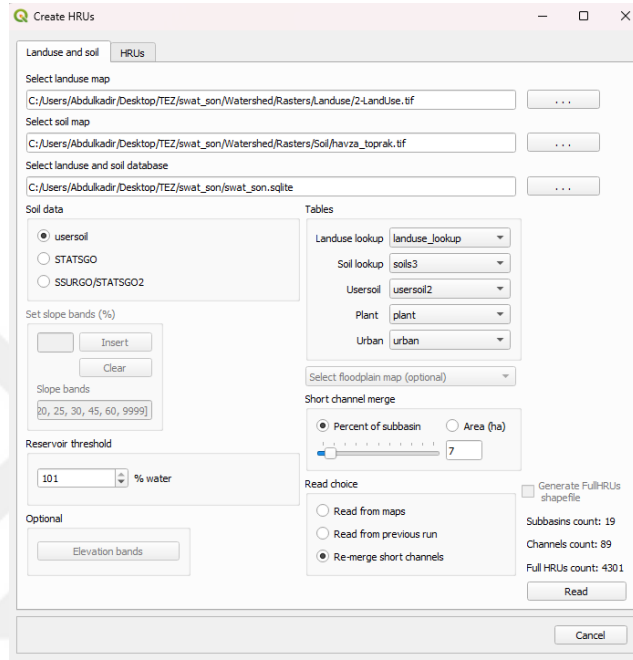
Havza çizilmesi için SYM datası sisteme yüklenmiş ve çıkış noktası belirlendikten sonra havza ve alt havzalar, su yolları ile beraber oluşmuştur. Bu işlemin sonucunda 19 alt havza, 89 yolu oluşmuştur (Şekil 3.2).



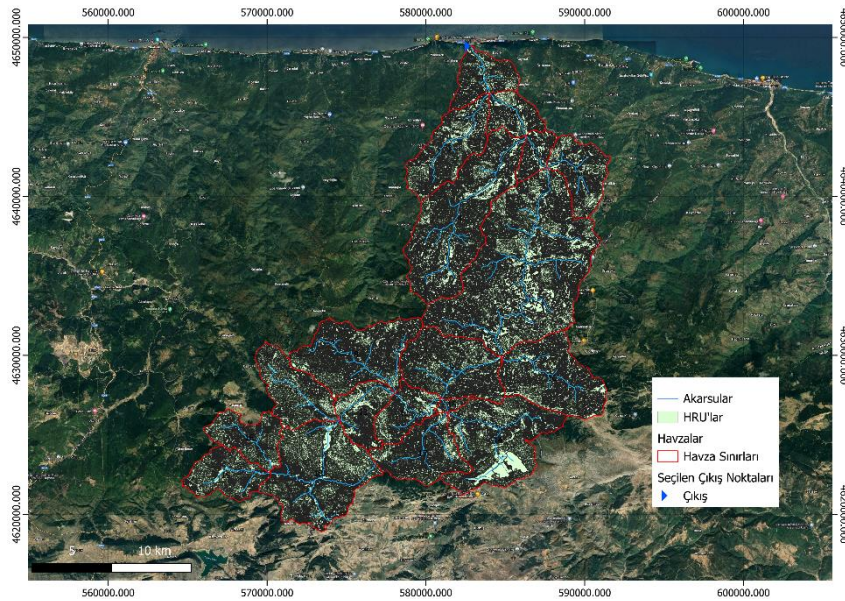
Şekil 3.2 : Yüklenen SYM dosyası ve bununla oluşturulan havza ve su yolları.

### 3.1.3 Hidrolojik yanıt birimlerinin(HRU) tanımlanması

Hidrolojik yanıt birimleri arazi kullanımı ile toprak özelliklerinin birleştirilmesi ile üretilen hesaplama alanlarıdır. Programın ikinci adımında; arazi kullanımı ve toprak özellikleri verileri yüklenerek HRU'lar hesaplanmıştır (Şekil 3.3). Bu hesabın sonucunda 4301 HRU oluşmuştur (Şekil 3.4).



Şekil 3.3 : QSWAT HRU oluşturma ekranı.



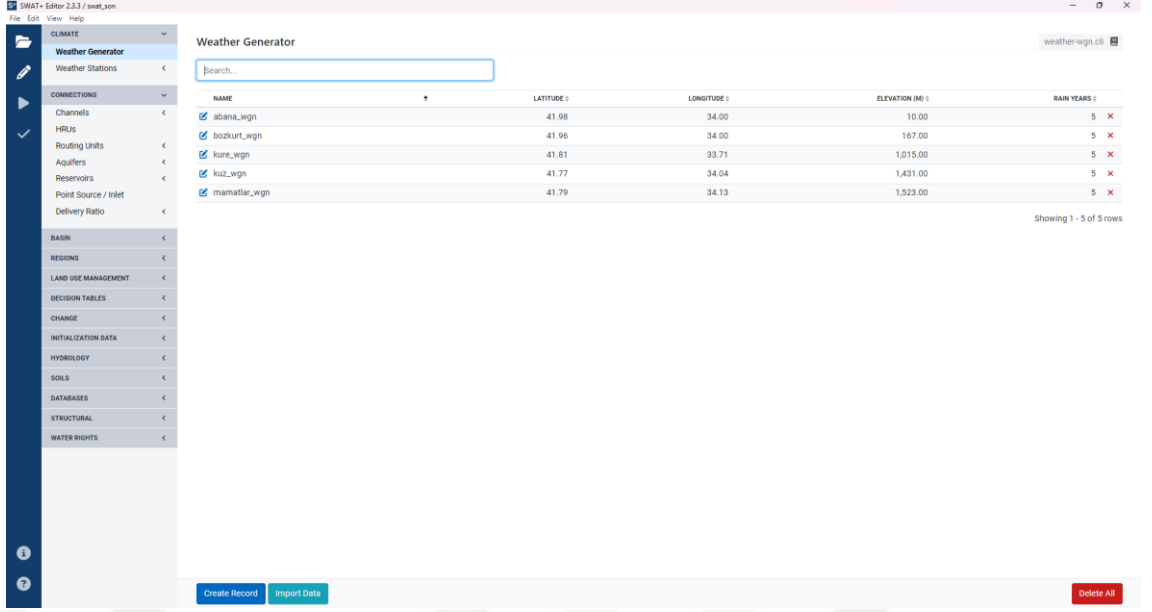
Şekil 3.4 : Oluşturulan tüm HRU'lar.

### 3.1.4 Meteorolojik gözlem istasyonlarının içeri aktarılması

İklim verileri model içerisine iki kısımda, mevsim normalleri ve ham veri olarak aktarılmıştır. Mevsim normalleri SWAT modelinde eksik verilerin tahminini için kullanılır ve burdaki doğruluğu da artırmaktadır. Bu normal parametreleri aşağıdaki gibi tanımlanmıştır:

1. **name:** Hava durumu istasyonunun adı.
2. **lat:** Hava durumu istasyonunun enlemi (derece cinsinden).
3. **lon:** Hava durumu istasyonunun boylamı (derece cinsinden).
4. **elev:** Hava durumu istasyonunun rakımı (metre cinsinden).
5. **rain\_yrs:** Kaydedilen maksimum aylık 0.5 saatlik yağış verisi.
6. **month:** Ay.
7. **tmp\_max\_ave:** Aylık ortalama günlük maksimum hava sıcaklığı (°C).
8. **tmp\_min\_ave:** Aylık ortalama günlük minimum hava sıcaklığı (°C).
9. **tmp\_max\_sd:** Aylık maksimum hava sıcaklığının standart sapması (°C).
10. **tmp\_min\_sd:** Aylık minimum hava sıcaklığının standart sapması (°C).
11. **pcp\_ave:** Aylık toplam ortalama yağış (mm).
12. **pcp\_sd:** Ortalama günlük yağışın standart sapması (mm/gün).
13. **pcp\_skew:** Ortalama günlük yağışın çarpıklık katsayısı (mm).
14. **wet\_dry:** Kuru bir günden sonra yağışlı bir gün olma olasılığı.
15. **wet\_wet:** Yağışlı bir günden sonra yağışlı bir gün olma olasılığı.
16. **pcp\_days:** Bir ayda yağışlı günlerin ortalama sayısı.
17. **pcp\_hhr:** Kayıtlı dönemdeki maksimum 0.5 saatlik yağış (mm).
18. **dew\_ave:** Aylık ortalama nispi nem (°C).
19. **wnd\_ave:** Aylık ortalama günlük rüzgar hızı (m/s).





Şekil 3.5 : Havza yakınındaki MGI'lerin tanımlanması.

Weather Generator / Edit

Name: bozkurt\_wgn

Latitude: 41,959681

Longitude: 34,003691

Elevation (m): 167

Years of recorded max monthly 0.5h rainfall data: 5

Monthly Values

	Mon	Max tmp	Min tmp	Max tmp std	Min tmp std	Pcp avg	Pcp std	Pcp skew	Prob. dry	Prob. wet	Pcp days	Max rainfall	Sir	Dew	Wnd
1	3.534	9.907	3.974	5.199	3.373	7.114	2.992	0.307	0.668	15.556	52.200	1.212	0.739	73.859	
2	3.529	10.214	4.111	5.756	3.475	7.970	3.453	0.327	0.596	12.842	65.000	1.984	0.751	75.054	
3	4.797	12.087	3.648	5.512	2.920	5.899	2.601	0.308	0.631	14.368	37.200	2.871	0.739	73.860	
4	7.903	16.011	3.399	5.310	1.781	4.558	3.501	0.259	0.493	11.316	36.100	4.396	0.734	73.449	
5	12.178	20.377	3.017	4.376	1.757	4.817	4.626	0.251	0.526	11.722	54.900	5.058	0.768	76.753	
6	16.215	24.845	2.289	3.166	2.112	6.502	4.473	0.220	0.513	10.368	53.000	5.298	0.757	75.707	
7	18.294	27.295	1.932	2.434	1.443	5.146	4.930	0.168	0.374	7.000	48.200	5.857	0.734	73.351	
8	19.066	28.016	2.051	2.367	1.402	7.603	9.535	0.124	0.415	5.579	117.300	5.232	0.727	72.749	
9	15.724	23.908	2.570	3.191	3.402	9.784	4.252	0.266	0.479	10.947	90.600	3.754	0.754	75.450	
10	12.290	19.368	3.102	4.064	4.213	10.862	3.533	0.301	0.625	14.158	76.600	2.330	0.792	79.164	
11	8.685	15.642	4.024	4.662	3.455	8.778	3.502	0.261	0.609	12.210	58.600	1.665	0.742	74.203	
12	5.551	12.109	4.050	5.062	4.574	10.298	3.986	0.315	0.666	14.737	116.800	1.108	0.730	73.013	

Şekil 3.6 : Bozkurt istasyonunun normalleri ve sistemdeki şekli.

Geri kalan ham iklim verileri programın kabul ettiği şekilde txt dosyası haline getirilmiş, eksik günler için -99 yazılmış ve sisteme eklenmiştir. Sistemdeki istasyonlar Şekil 3.5'te gösterilmiş ve örnek bir istasyonun normalleri Şekil 3.6'ta verilmiştir.

### 3.1.5 Modelin çalıştırılması

Model çalıştırılmadan önce çıkış dosyalarının konumu, çalışma periyodu ve hesaplanacak parametreler seçilir (Şekil 3.7). Bizim için en önemli parametre akarsular ve havzalardaki su dengesidir. Bunlar günlük, aylık, yıllık ve anlık olacak şekilde hesaplatılmıştır.

	Daily	Monthly	Yearly	Average	Outputs
	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
<b>Model Components</b>					
Channel	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	channel_sd channel_sdmorph
Aquifer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	aquifer
Reservoir	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	reservoir
Point Source (Recall)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	recall
Routing Unit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ru
Hydrology	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	hyd
Water Allocation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	water_allo
<b>Basin Model Components</b>					
Channel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	basin_sd_cha basin_sd_chamorph
Aquifer	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	basin_aqu
Reservoir	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	basin_res
Point Source (Recall)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	basin_psc
<b>Nutrient Balance</b>					
Basin	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	basin_nb

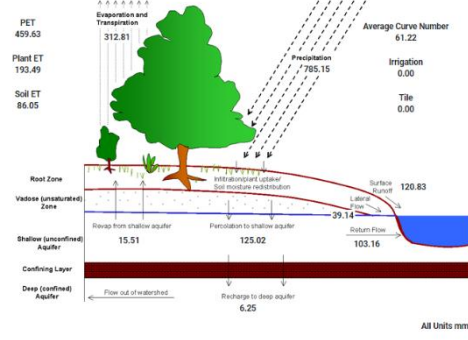
Şekil 3.7 : Simulasyon çalıştırma ekranı.

### 3.1.6 Model sonuçları

SWAT modeli sayesinde havzaların ve su kanallarının su dengesi aylık, günlük, yıllık bazda hesaplanmıştır. İstasyonların bölgedeki düzensiz dağılımı ve yetersiz sayıları sebebi ile havzanın bazı bölgelerinde beklenin aksinde sonuç göstermiştir. SWAT+ Modeli içerisinde bulunan editör yazılımında özet kısmında bir hata alınmamıştır (Şekil 3.8). Bu modelin başarılı ile tamamlandığı ve anormal bir sonuç ile karşılaşılmadığını göstermektedir.

### SWAT+ Check / Hydrology

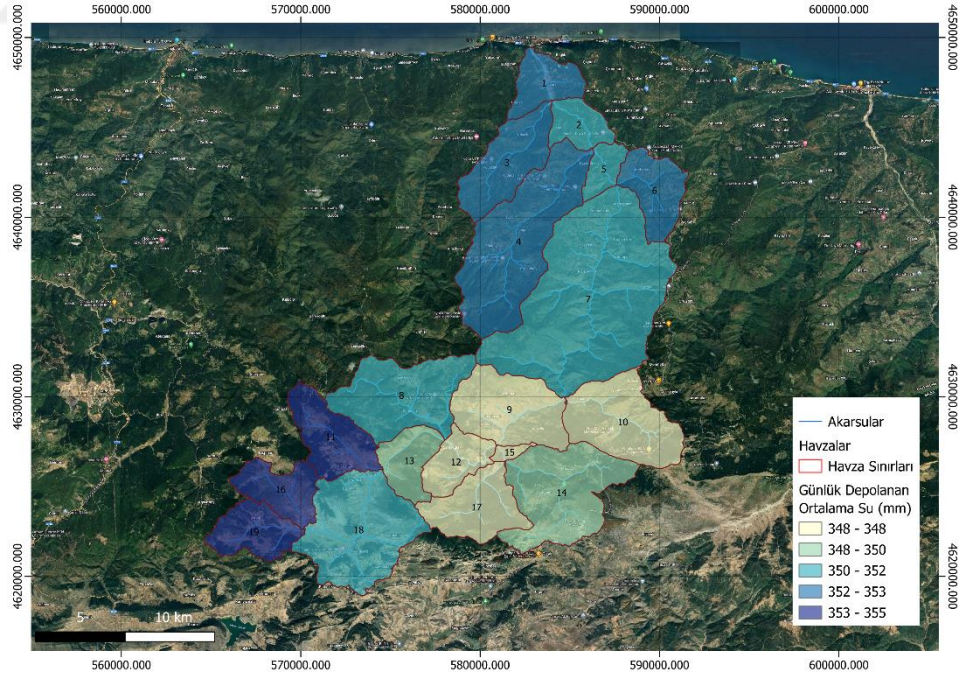
Realistic hydrology is the foundation of any model. Pay particular attention to evapotranspiration, baseflow and surface runoff ratios. Baseflow/streamflow ratios for the US are provided by the USGS, these data are accessible via the button below. The ranges specified here are general guidelines only, and may not apply to your simulation area.



Water Balance Ratios	
Streamflow/Precipitation	0.34
Baseflow/Total Flow	0.54
Surface Runoff/Total Flow	0.46
Percolation/Precipitation	0.16
Deep Recharge/Precipitation	0.01
ET/Precipitation	0.40

Şekil 3.8 : SWAT Editör su dengesi kontrolü ve şeması.

Model sonuçlandıktan sonra zaman aralıklarına ve hesap parametrelerine göre sonuçları içeren tablolar oluşmuştur. Bu çalışma için en önemli sonuç kanallar için olmaktadır. Ortalama olarak alt havzalardaki günlük ortalama su miktarları Şekil 3.9'teki harita gibidir.

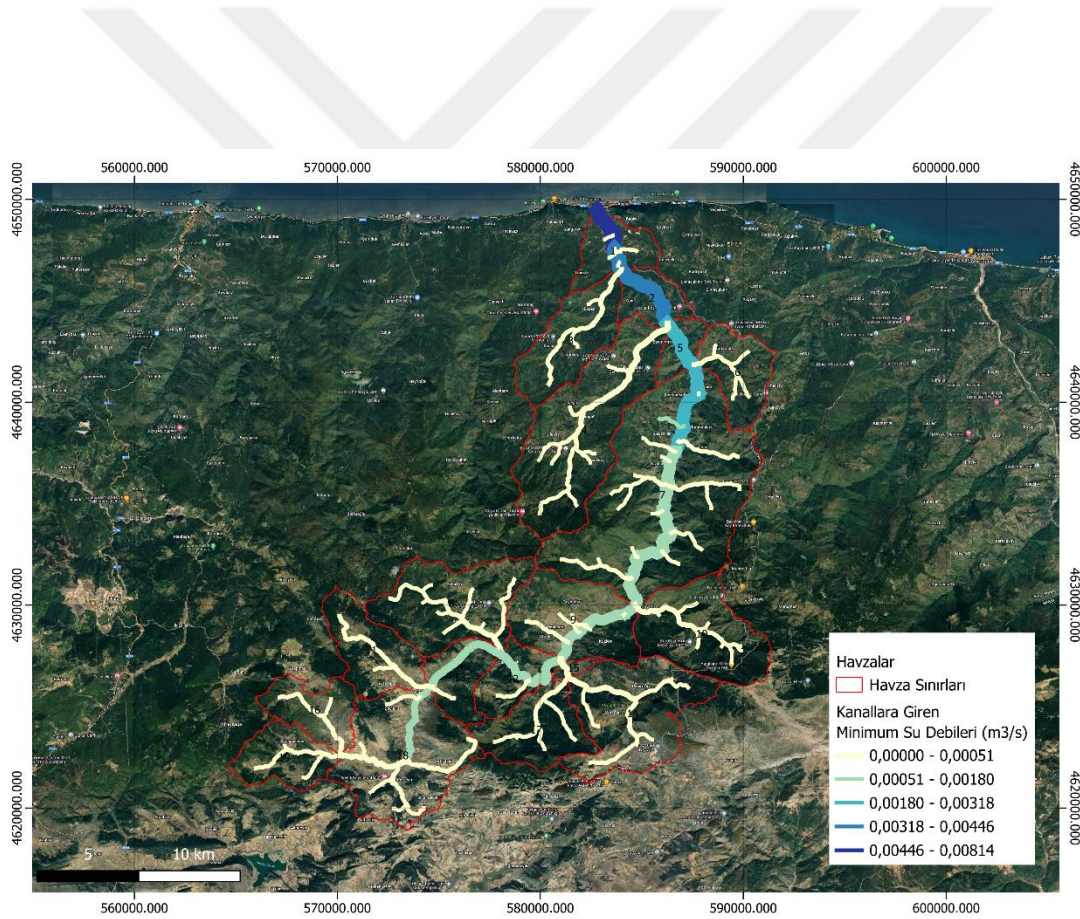


Şekil 3.9 : Havzalara göre günlük depolanan ortalama su miktarları haritası.

Unreal Engine ile görselleştirme aşamasında en yukarıda bulunan 1 numaralı alt havza kullanılacaktır. Bu 1 numaralı havza içerisinde geçen su kanalının sonuçları aşağıdaki Çizelge 3.1’de verilmiştir. Harita olarak gösterimleri ise sırasıyla Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.11’de detaylı olarak verilmiştir.

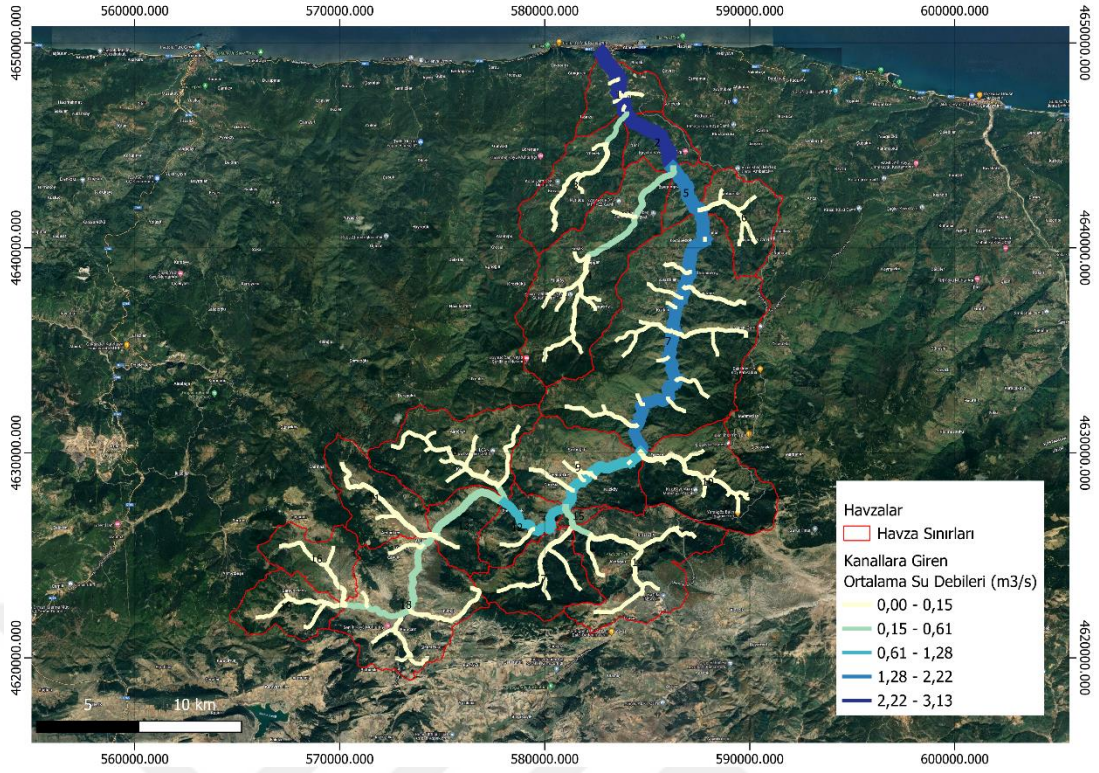
**Çizelge 3.1:** 1 Numaralı havzanın giriş kanalı sonuç değerleri.

Parametre	Değer
Günlük Ortalama Su Giriş Debisi	3,00 m <sup>3</sup> /s
Günlük Minimum Su Giriş Debisi	0,004262 m <sup>3</sup> /s
Günlük Maksimum Su Giriş Debisi	243,4 m <sup>3</sup> /s

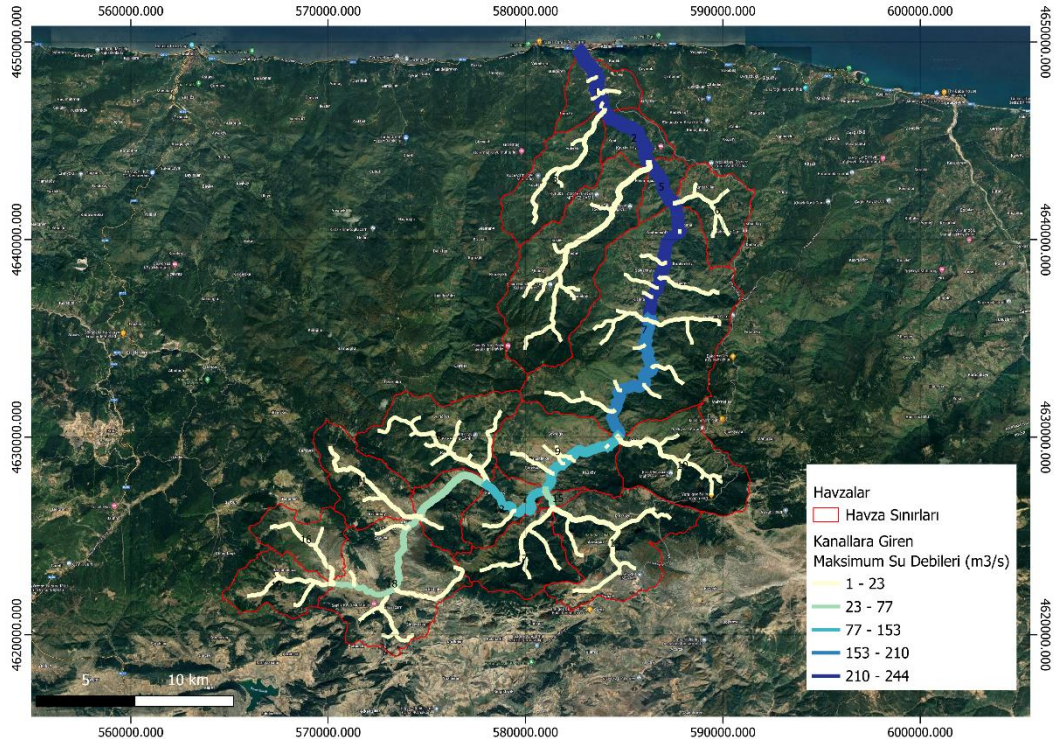


**Şekil 3.10 :** Minimum Sonuçlar.

Minimum sonuçlarda görüldüğü üzere bazı günler nerdeyse kuruduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 3.11 : Ortalama Sonuçlar.



Şekil 3.12 : Maksimum Sonuçlar.

Burdaki sonuçlara göre Bozkurt ilçesinin içinden geçen kanalın minimum, ortalama ve maksimum sonuçları sırası ile 2,48, 4,12 ve 5,81 m<sup>3</sup>/sn'dir.

## 3.2 Analitik Hiyerarşı Süreci Uygulaması

### 3.2.1 Risk analizi

Ezine Nehri havzasındaki sel riskini değerlendirmek için ikinci aşamada Analitik Hiyerarşı Süreci (AHS) kullanıldı ve bu süreçte sel dinamiklerini etkileyen çeşitli kriterler entegre edildi. Bu kriterler, eğim, gölge, sayısal yükseklik modeli (SYM), yağış, nem, sıcaklık, arazi kullanımı ve toprak türü gibi jeo-uzamsal veri katmanları ile temsil edilen fiziksel ve iklimsel faktörler ile arazi kullanım özelliklerini içermektedir. Aşağıdaki alt bölümler, analizde her bir veri türünün rolünü ve kaynağını açıklamaktadır.

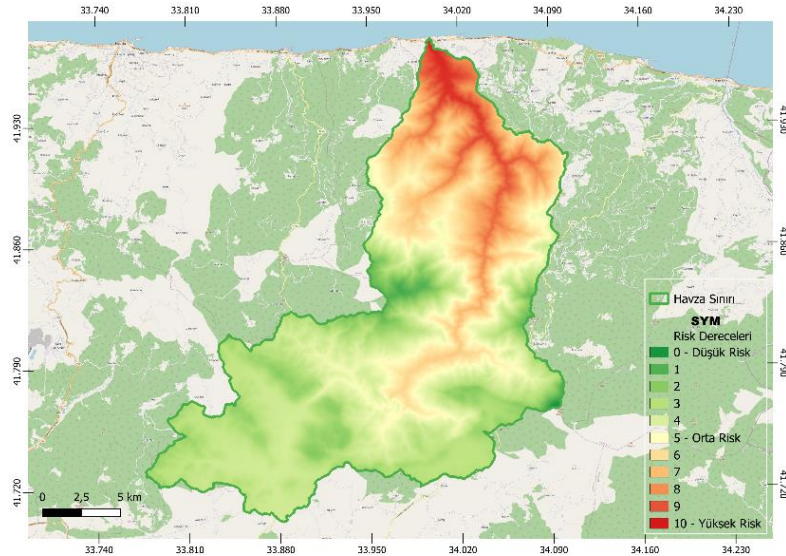
Ezine Nehri havzasının sel risk değerlendirmesi için çeşitli veriler toplanmıştır. İklim verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen yağış, sıcaklık ve nem verileri, tarihsel ve mevcut hava durumu analizleri için önemlidir. Toprak özellikleri, Gıda ve Tarım Örgütü'nün (FAO) Harmonize Dünya Toprak Veritabanı'ndan alınmış olup, toprak türleri ve hidrolojik özellikleri hakkında detaylı bilgi sağlar. Ayrıca, arazi kullanımı bilgileri, peyzaj üzerindeki insan etkisini anlamak için Çevresel Sistemler Araştırma Enstitüsü'nden (ESRI) temin edilmiştir. Tüm veriler Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) yazılımı kullanılarak entegre edilip işlenmiştir.

### 3.2.1.1 Sayısal yükseklik modeli

Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), arazi yükseltilerinin üç boyutlu bir temsilini sağlar. Su akışını modellemek, taşkın ovaları, drenaj havzaları ve suyun arazi boyunca nasıl hareket ettiğini belirleyen diğer topoğrafik özellikleri tanımlamak için önemlidir. Özellikle, düşük rakımlar, su birikme eğilimleri ve su kütlelerine yakınlıkları nedeniyle genellikle daha yüksek sel riski ile ilişkilendirilir. AHS, karmaşık karar verme süreçlerini analiz etmek ve önceliklendirmek için kullanılan bir matematiksel yöntemdir. Yüksek çözünürlüklü SYM verileri, arazi analizi için hayati öneme sahiptir ve ALOS PALSAR uydusundan (12.5 m mekansal çözünürlük) elde edilmiştir. Yapılan risk derecelendirmesi Çizelge 3.2’de ve bunun sonucunda oluşan harita Şekil 3.13’te verilmiştir.

Çizelge 3.2: SYM risk derecelendirmesi.

SYM değeri	Risk Seviyesi
0-198	10
198-397	9
397-595	8
595-794	7
794-992	6
992-1190	5
1190-1389	4
1389-1587	3
1587-1786	2
1786-1984	1



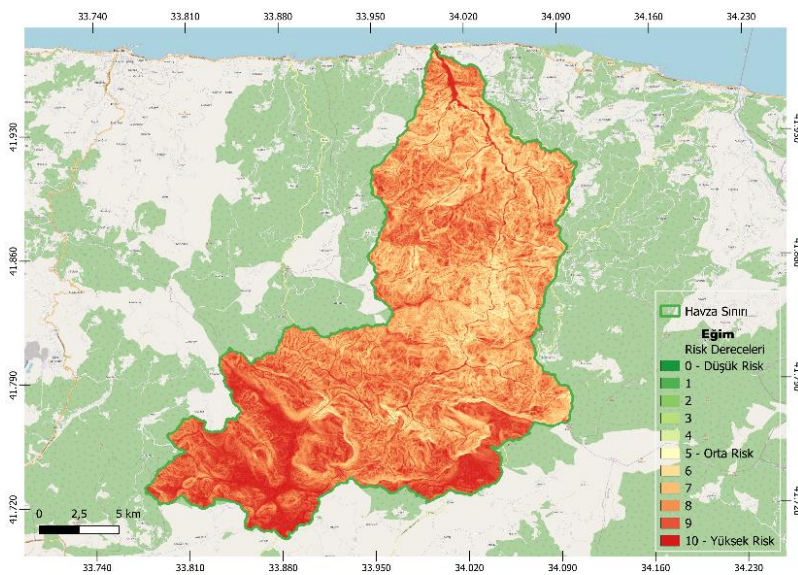
Şekil 3.13 : SYM Risk dereceleri.

### 3.2.1.2 Eğim

Arazinin eğimi, SYM'den türetilmiş olup, sel risk değerlendirmesinde kritik öneme sahiptir. Daha dik eğimler yüzey akışını hızlandırarak sel şiddetini artırabilir. Eğim verileri, yüksek yüzey akışının infiltrasyonu önleyebileceği alanları belirlemeye yardımcı olur ve bu da daha yüksek sel duyarlılığına katkıda bulunur. Eğimin azaldığı bölgelerde taşkın tehlikesine duyarlılık riskinin daha yüksek olduğu kabul edilmektedir (Yılmaz, 2022). Dağıtılmış hidrolojik model kullanarak, SYM verilerinin, özellikle yükseklik ve eğim verilerinin, yağış desenlerinin nehir akışına dönüşümünü nasıl etkilediğini araştırdılar. Çalışma, SYM'lerden elde edilen yükseklik ve eğim verilerinin akış yönünü doğru bir şekilde izlemek ve nehir ağlarını tanımlamak için kritik olduğunu göstermiştir. Eğime ilişkin Çizelge 3.3'ten üretilen verilerle oluşturulan risk haritası Şekil 3.14'te sunulmuştur

**Çizelge 3.3:** Eğim risk derecelendirmesi.

Eğim değeri	Risk Seviyesi
0-9	10
9-18	9
18-27	8
27-36	7
36-45	6
45-54	5
54-63	4
63-72	3
72-81	2
81-90	1



**Şekil 3.14 :** Eğim risk haritası.

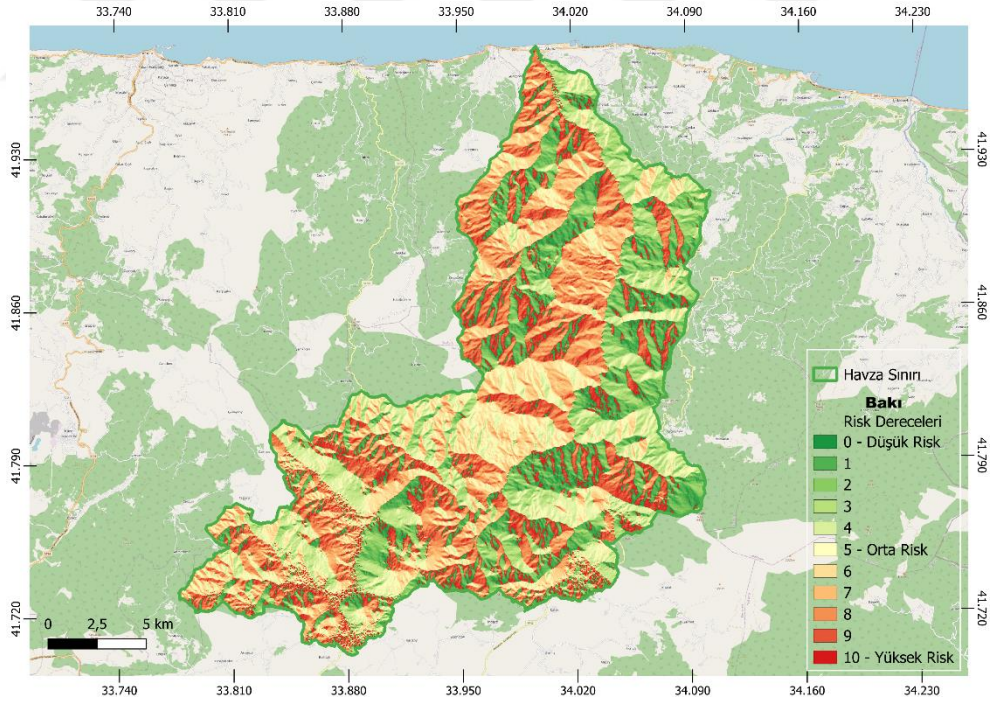


### 3.2.1.3 Bakı

SYM'den türetilen bakı modeli, araziyi görselleştirmek ve gölge özelliklerinin yerel hidrojiyolojiye nasıl etki edebileceğini analiz etmek için kullanılır. Bu model, kar erimesi ve yağmur birikimi üzerindeki gölge etkilerini anlamaya yardımcı olur ve bu unsurların sel desenlerini nasıl etkileyebileceğini gösterir. Bakıya ilişkin Çizelge 3.4'ten üretilen verilerle oluşturulan risk haritası Şekil 3.15'te sunulmuştur

**Çizelge 3.4:** Bakı risk derecelendirmesi.

Bakı değeri	Risk Seviyesi
0-36	10
36-72	9
72-108	8
108-144	7
144-180	6
180-216	5
216-252	4
252-288	3
288-324	2
324-360	1



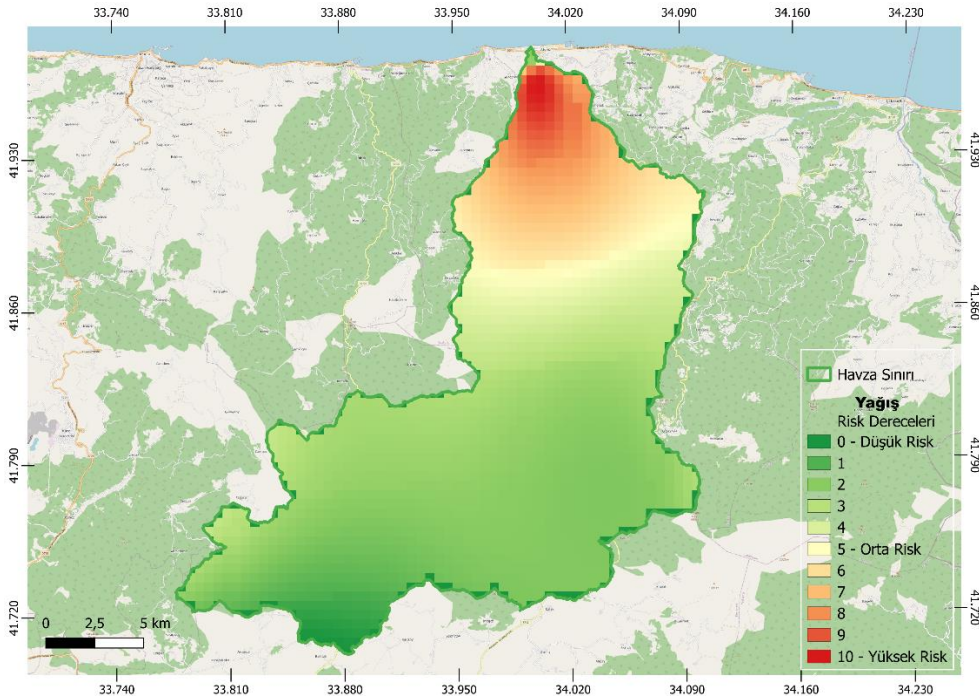
**Şekil 3.15 :** Bakı risk haritası.

### 3.2.1.4 Yağış

Tarihsel yağış verileri, taşkınlara yol açabilecek yağış olaylarının sıklığını ve şiddetini anlamak için çok önemlidir. Bu veri seti, zaman içindeki yağış desenlerinin analizine ve sel riskinin arttığı kritik dönemlerin belirlenmesine olanak tanır. Özellikle bu tür olaylar sırasında toplam yağış miktarına özel önem verilir, çünkü yüksek yağış hacimleri doğrudan artan sel riski ile ilişkilidir. Yağış miktarlarına göre risk dereceleri Çizelge 3.5'te verilmiştir. Bu verilerle oluşturulan risk haritası Şekil 3.16'te sunulmuştur

**Çizelge 3.5:** Yağış risk derecelendirmesi.

Yağış değeri	Risk Seviyesi
3300-3495	10
3495-3690	9
3690-3885	8
3885-4080	7
4080-4275	6
4275-4470	5
4470-4665	4
4665-4860	3
4860-5055	2
5055-5250	1



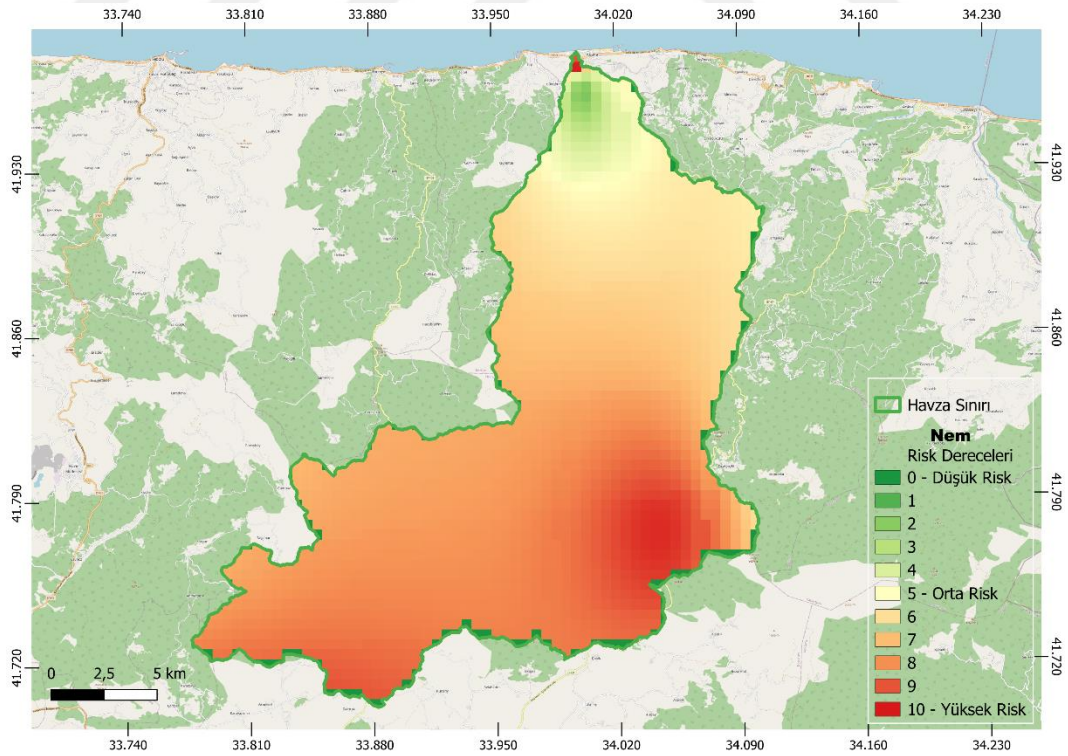
**Şekil 3.16 :** Yağış risk haritası.

### 3.2.1.5 Nispi nem

Nem, atmosferdeki buharlaşma ve yoğunlaşma oranını etkileyerek yağış desenlerini şekillendirir. Yüksek nemin diğer risk faktörleriyle çakıştığı bölgelerde, sel olasılığı artabilir (Gangrade ve diğerleri, 2018). Yapılan risk derecelendirmesi Çizelge 3.6'de ve bunun sonucunda oluşan harita Şekil 3.17'de verilmiştir.

Çizelge 3.6: Nem risk derecelendirmesi.

Nem değeri	Risk Seviyesi
79	10
78	9
77	8
76	7
75	6
74	5
73	4
72	3
71	2
70	1



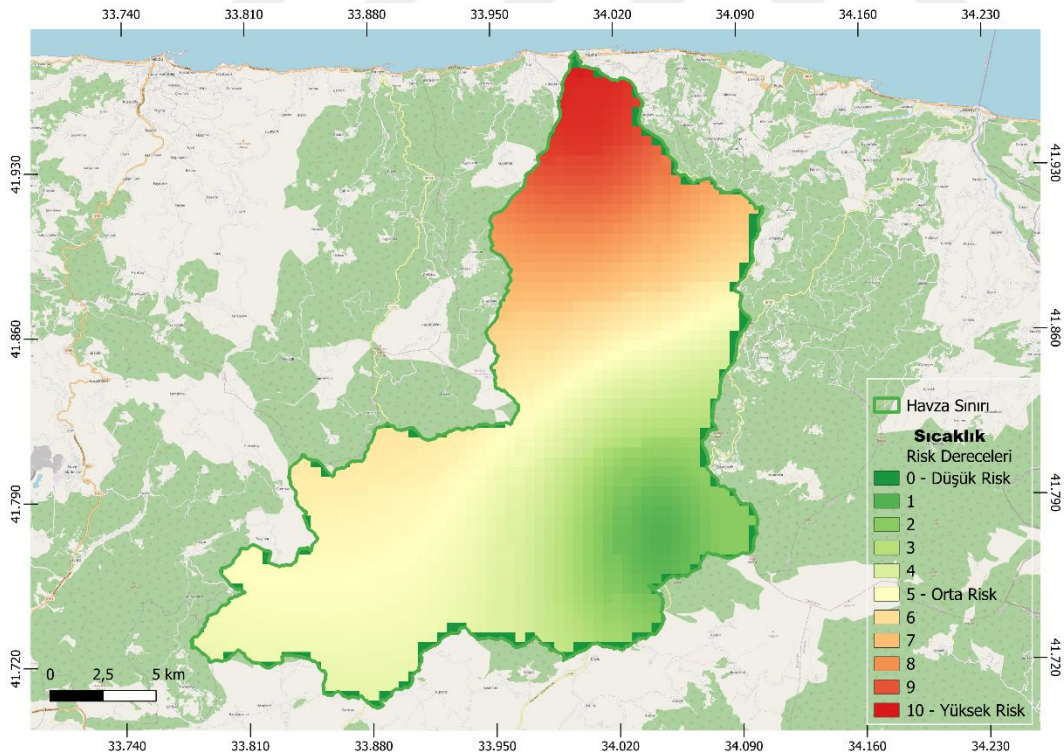
Şekil 3.17 : Nem risk haritası.

### 3.2.1.6 Sıcaklık

Sıcaklık verileri, iklim eğilimlerini ve bunların hidrojiyolojik döngüler üzerindeki etkilerini değerlendirmek için kullanılır. Artan sıcaklıklar, daha yoğun yağışlara ve daha hızlı kar erimesine yol açarak sel koşullarını kötüleştirebilir. Yapılan risk derecelendirmesi Çizelge 3.7’de ve bunun sonucunda oluşan harita Şekil 3.18’te verilmiştir.

**Çizelge 3.7:** Sıcaklık risk derecelendirmesi.

Nem değeri	Risk Seviyesi
16	10
15	9
14	8
13	7
12	6
11	5
10	4
9	3
8	2
7	1



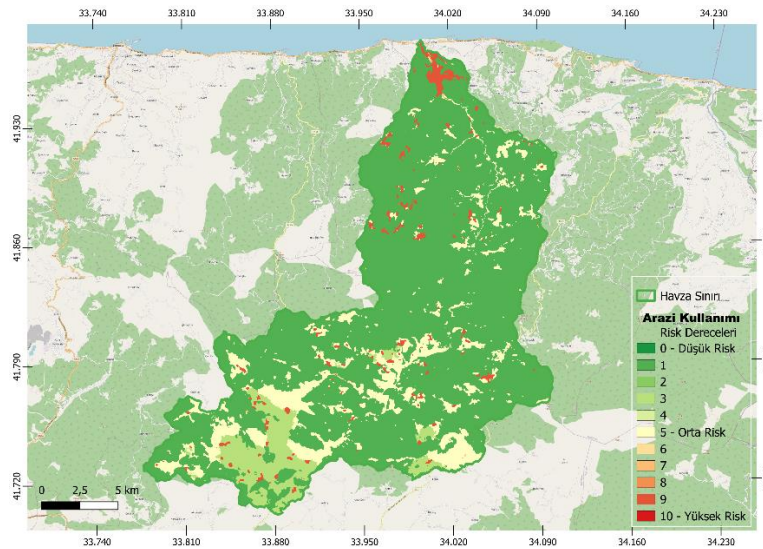
**Şekil 3.18 :** Sıcaklık risk haritası.

### 3.2.1.7 Arazi kullanımı

Arazi kullanımı verileri, insan faaliyetlerinin doğal peyzajı nasıl değiştirdiğini gösterir. Beton gibi geçirimsiz yüzeylere sahip kentsel alanlar, yüzey akışını önemli ölçüde artırır ve doğal infiltreyi azaltarak sel riskini yükseltir. Son araştırmalar, hem ormansızlaşmanın hem de kentleşmenin sel risklerini önemli ölçüde artırdığını göstermektedir (Bradshaw ve diğerleri ,2007) . 56 gelişmekte olan ülkeden elde edilen verileri analiz ederek ormansızlaşmanın sel sıklığı ve şiddetiyle doğrudan ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. %10'luk bir orman azalmasının sel sıklığını %4-28 artırabileceğini ve sel süresini %4-8 uzatabileceğini belirlemiştir. Benzer şekilde, (Feng ve diğerleri, 2021) Toronto'da bir alt havzada kentleşmenin sel riskleri üzerindeki etkisini inceleyerek, kentsel genişlemenin yüzey akışını ve nehir deşarj oranlarını önemli ölçüde artırdığını ve sel risklerini daha da kötüleştirdiğini göstermiştir. Bu çalışmalar, insan faaliyetlerinin neden olduğu sel hassasiyetlerini azaltmak için stratejik arazi yönetimi ve kentsel planlamanın önemini vurgulamaktadır. Yapılan risk derecelendirmesi Çizelge 3.8'de ve bunun sonucunda oluşan harita Şekil 3.19'te verilmiştir.

**Çizelge 3.8:** Arazi kullanımı risk derecelendirmesi.

Arazi tipi	Risk Seviyesi
Orta Yoğunluklu Yerleşim	9
Mera / Otluk	7
Çalılık	5
Tarım	3
Orman	1



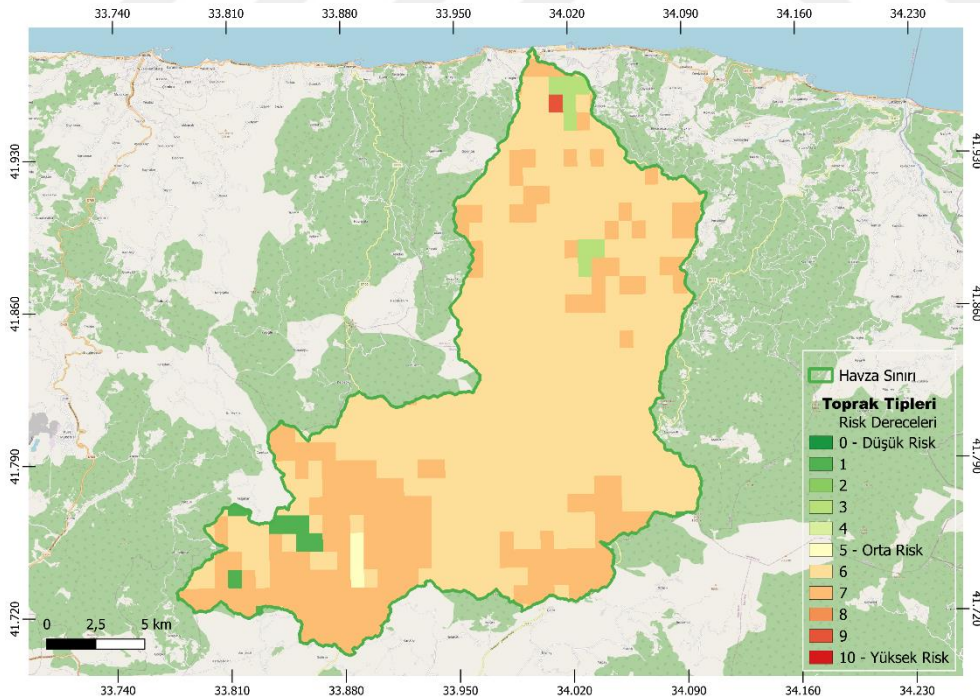
**Şekil 3.19 :** Arazi kullanımı risk haritası.

### 3.2.1.8 Toprak tipleri

Toprak türü, toprağın suyu emme kapasitesini etkiler. Pahlavan-Rad vd. (2018) tarafından yapılan bir çalışmaya göre, toprak dokusu fraksiyonları sel riski üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çalışma, nehirlerin yakınındaki kumlu toprakların su infiltrmesini artırarak yüzey akışını azalttığını ve sel riskini minimize ettiğini vurgulamaktadır. Buna karşılık, nehirlerden daha uzak olan bölgelerdeki kil ve mil içeriğinin artması, su infiltrmesini yavaşlatarak sel hassasiyetini potansiyel olarak artırabilir. Yapılan risk derecelendirmesi Çizelge 3.9’de ve bunun sonucunda oluşan harita Şekil 3.20’te verilmiştir.

**Çizelge 3.9:** Toprak tipi risk derecelendirmesi.

Toprak Tipi	Risk Seviyesi
ACh	3
LPd	4
FLe	5
LPm	6
LPk	6
KSk	7
CMc	7
UR	9



**Şekil 3.20 :** Toprak tipleri risk haritası.

### 3.2.2 Analitik hiyerarşi süreci sonuçları

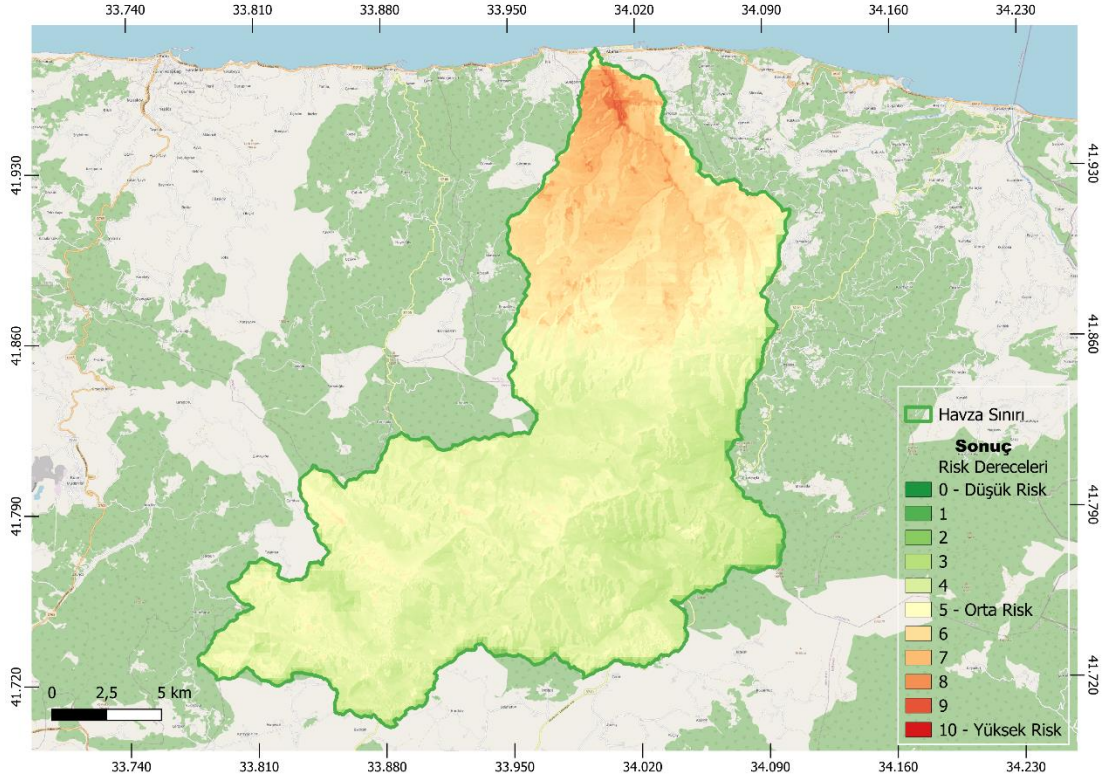
Tez kapsamında, çift yönlü karşılaştırma matrisi, Saaty (1977) değerlendirme kriterlerine uygun olarak 15 uzman tarafından doldurulmuştur. Anketlerde tutarlılık oranının 0.1 olmasına özen gösterilmiştir. Elde edilen anket sonuçlarına göre, her kriterin ağırlığı AHS sonucunda belirlenmiştir (Çizelge 3.10). Bu ağırlıklara göre her katman kendi değeri ile çarpıldıktan sonra toplanarak bir raster elde edilmiştir. Böylece sel duyarlılık haritası üretilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde, yağış kriteri sel duyarlılık haritasında en yüksek ağırlığa (0.289) sahiptir. En düşük ağırlığa sahip kriter ise nemdir (0.068). Nem, havza genelinde dar bir aralıkta değiştiği için sel duyarlılığını belirlemede düşük bir etkiye sahiptir. Beklendiği gibi, yağış selin ana nedeni olarak en yüksek ağırlık değerine sahiptir.

**Çizelge 3.10:** AHS anket sonuçları ortalama ağırlıklar.

Kriter	Ağırlık
Yağış	0.289
Sıcaklık	0.130
SYM	0.129
Eğim	0.115
Toprak Tipi	0.100
Arazi Kullanımı	0.093
Bakı	0.076
Nem	0.068

Ezine Nehri havzası için oluşturulan sel duyarlılık haritası (Şekil 3.21), sekiz koşullandırıcı kriterin ağırlıklı toplamalarının QGIS yazılımı ile birleştirilmesiyle elde edilmiştir. Değerlendirilen sekiz kritere göre, Ezine Nehri Havzası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık alanlarına ayrılmıştır. Sonuçlar, Bozkurt ilçesinin havzadaki en yüksek sel riskine sahip olduğunu göstermektedir. Bu riskin artmasında, Bozkurt'un Ezine Deresi'nin sonunda bulunması ve doğal sınırlarla çevrili olması en kritik faktörlerdir. Bozkurt ilçesi, SYM tarafından değerlendirildiğinde oldukça düşük bir eğime ve düşük rakıma sahiptir. Çevredeki tepelerde biriken yağmur suyu, hızlı bir şekilde Bozkurt'a akmakta ve düz yapısı nedeniyle burada birikmektedir. Ayrıca, yağışın etkisiyle taşan Ezine Nehri, selin en önemli nedenleri arasındadır. Tüm

bu faktörler göz önüne alındığında, yağış, SYM ve eğim faktörleri Bozkurt ilçesinin risk değerlendirmesinde önemli rol oynamaktadır. Ezine Havzası'nın güneyine doğru sel duyarlılığı azalmaktadır.



Şekil 3.21 : AHS Sonuçları.



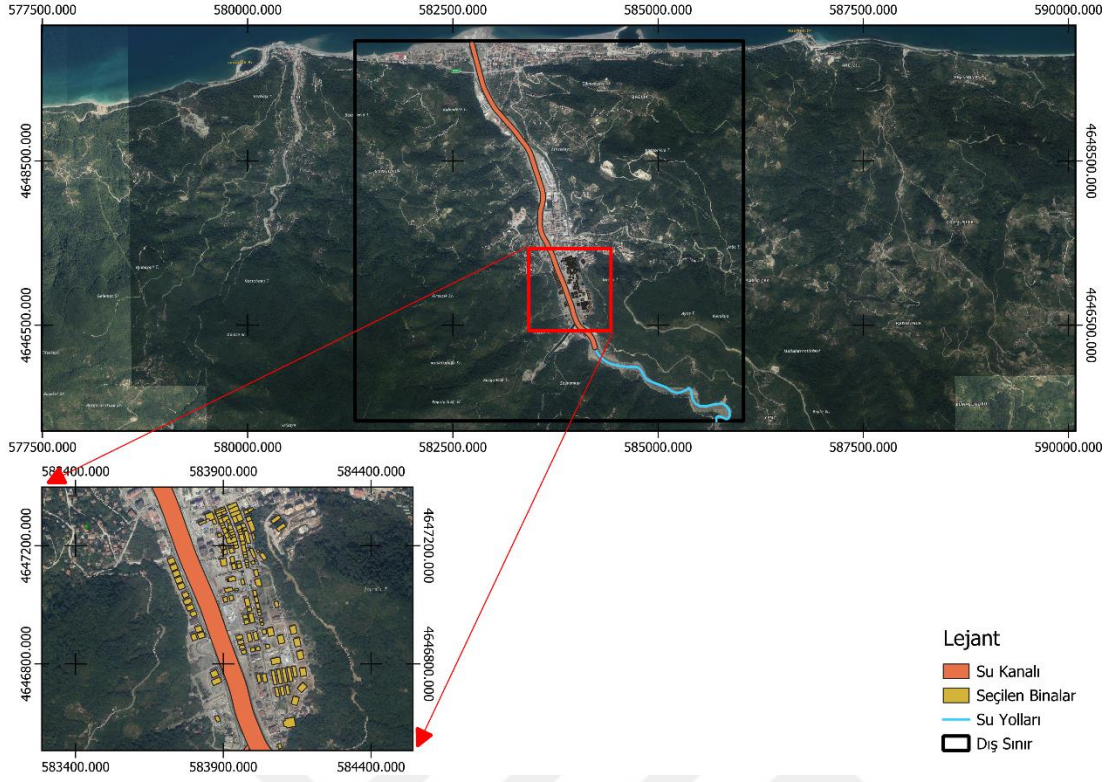
### 3.3 Unreal Engine Canlandırması

Unreal Engine içerisinde akışkan modellemesini daha detaylı ve optimize bir şekilde yapabilmek için Zibra Liquids eklentisi kullanılmıştır. Bu ücretli eklenti Zibra.AI tarafından geliştirilen yapay zeka destekli gerçek zamanlı bir akışkan simulasyon eklentisidir.

İçerisinde bir sıvı modellemesi için gerekli olan elementler mevcuttur. Yapay zeka destekli çarpışma (“collusion”) meshi oluşturma özelliği sayesinde karmaşık objelerin dış iskeletini daha doğru bir şekilde oluşturabilmektedir. Bu aşamada unreal engine içerisinde ve eklenti içerisindeki limitleri dikkate alınmalıdır. Hem unreal engine tarafında oluşturulabilecek maksimum parçacık limiti vardır, hem de yapay zekanın analiz edebileceği mesh büyüklüğü açısından limit vardır. Bunlar stabil bir simulasyon ve asgari performansı yakalayabilmesi için geliştiriciler tarafından belirlenmiştir. Bu limitler bilgisayarın özelliklerine ve uygulama versiyonlarına göre değişmektedir.

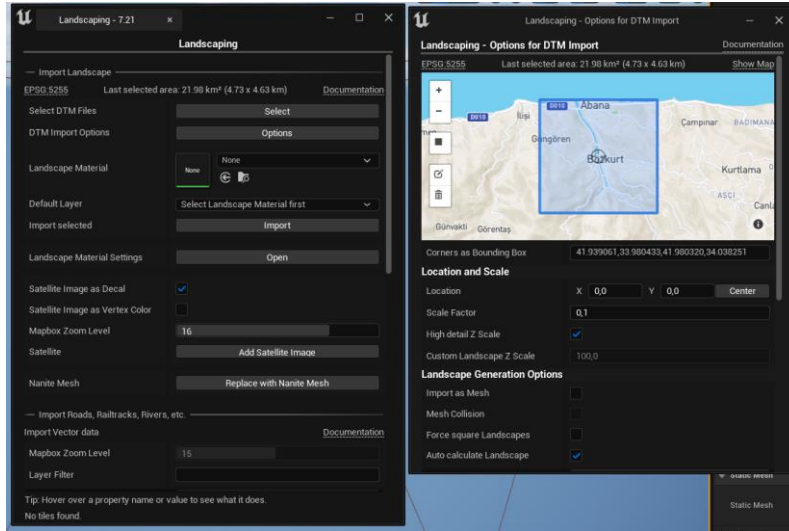
Kullanılan bilgisayarda 4.3 GHz hızına ulaşabilen 6 çekirdek ve 12 mantıksal çekirdeği bulunan bir işlemci, 64 GB RAM ile, NVIDIA markasına ait 12 GB Video RAM’i bulunan RTX 3060 ekran kartı bulunmaktadır. Unreal Engine 5.1.1 versiyonu kullanılmıştır.

Unreal Engine içerisine aktarılacak veriler QGIS ile düzenlenmiştir. Tüm havzayı modellemek mümkün olmayacağı için SWAT analizinde çıkan havzalara göre ilk havzayı kapsayacak şekilde bir kare çizilerek 3 boyutlu modelleme sınırı belirlenmiştir. Bu alan 22 km<sup>2</sup>’dir. Arazi modeli bu alan içine sığacak şekilde kesilmiştir. Sonrasında performans ve yazılım limitleri göz önünde bulunarak havza girişinden itibaren 700 metrelik bir alanı kapsayacak şekilde OSM’den alınan bina verisi kesilmiştir. Bu veriler ve sınırlar Şekil 3.22’deki haritada gösterilmiştir.



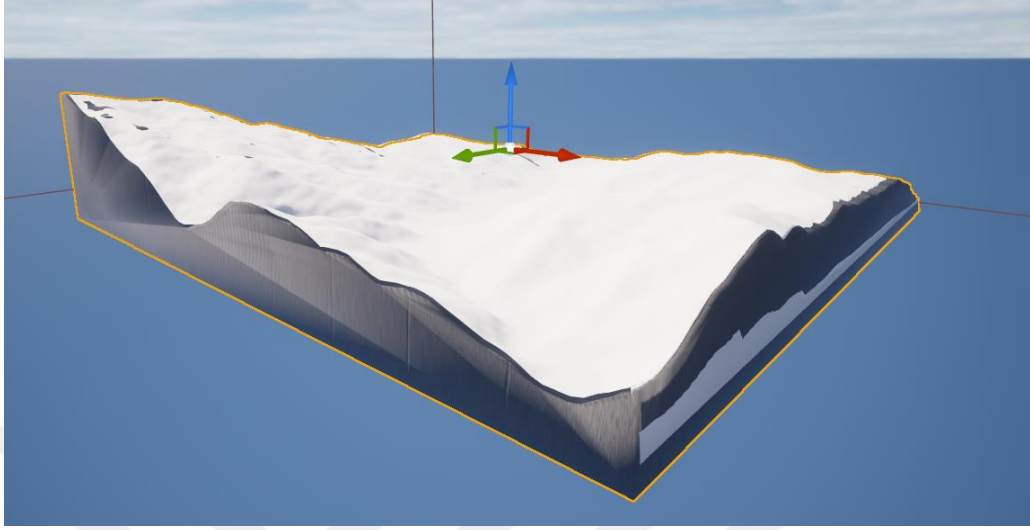
Şekil 3.22 : Unreal engine içerisine aktarılan verilerin haritası.

Bu veriler Landscaping uygulamasına sırasıyla verilerek çevre oluşturulması yapılmıştır. Ölçek olarak 0,4 seçilmiştir (Şekil 3.23).

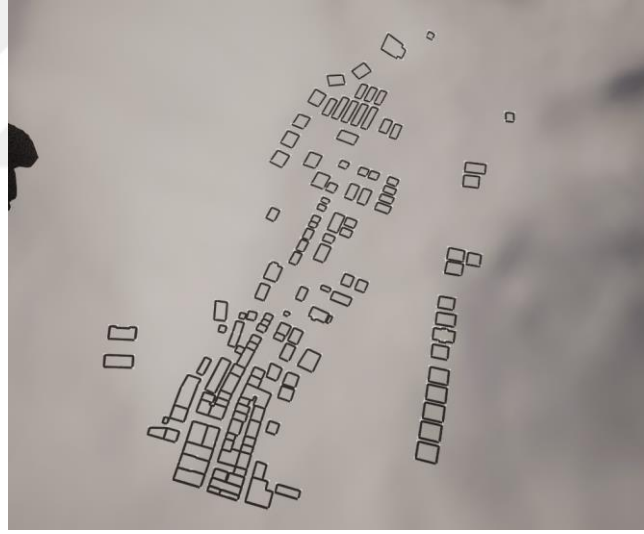


Şekil 3.23 : Landscaping eklentisi ara yüzü.

Landscaping eklentisi tarafından üretilen geo referanslı yer yüzü 2 boyutlu olduğu için akışkan eklentisi ile kullanılamamıştır. Bu eklenti ile içeri aktarılan veriler bir referans noktası ve doğrulama aracı olarak kullanılmıştır.



**Şekil 3.24 :** Üst üste gelen yüzey ve 3 boyutlu model.



**Şekil 3.25 :** Binaların konumlarının getirilmesi.

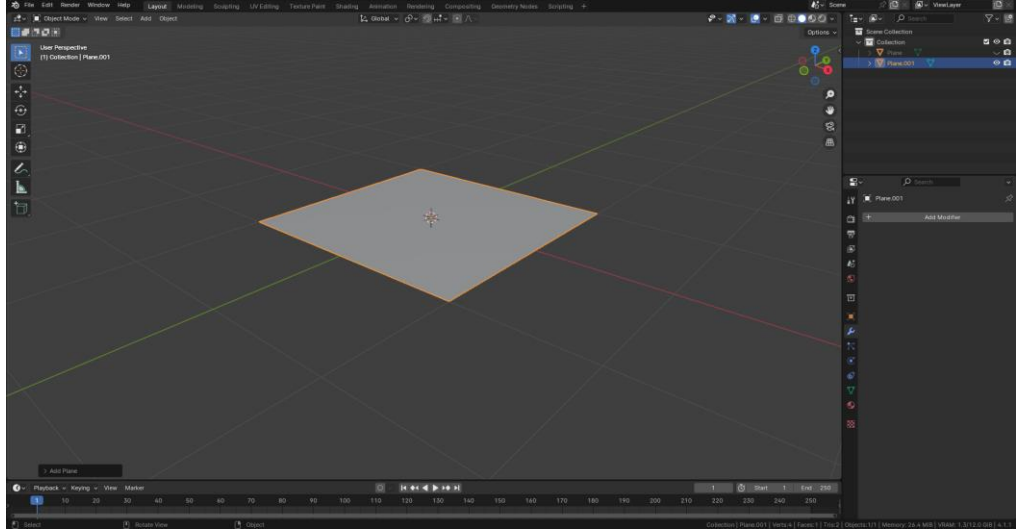


**Şekil 3.26 :** Binalar için 3 boyutlu şekillerin eklenmesi.

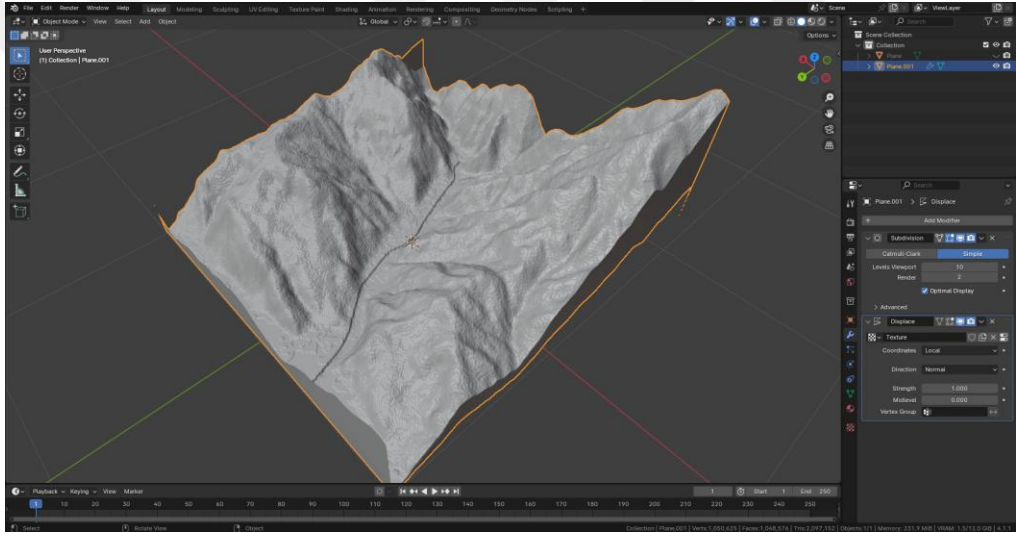
Libra liquids'in yapay zeka destekli mesh oluşturucusunu kullanabilmek için gönderilecek objenin hacime sahip, deliksiz bir şekle ve yüzeye sahip olması gerekiyor. Bunun için arazi Blender programı ile 3 boyutlu olacak şekilde tekrar oluşturulmuştur.

Su kanalının arazi modelinde bulunması suyun modellenmesi için kritik öneme sahiptir. 3 boyutlu modelleme prosesinde çözünürlük düştüğü için şehrin bulunduğu bölge dümdüz olmaktadır. Bunun önüne geçmek için su kanalı osmde bulunan vektör veriye göre 30 metre buffer eklenerek SYM'de belirgin hale getirilmiştir.

Blender yazılımında araziye 3B model oluşturmak için 12.5 m çözünürlüklü SYM haritası PNG formatında dışarı aktarılmıştır. Blender içerisinde düz bir yüzey oluşturulmuştur (Şekil 3.27). Oluşturulan yüzeye arazi yüksekli resmi Blender içerisinde yüzeye referans olarak verilerek şekli değiştirilmiştir (Şekil 3.28).

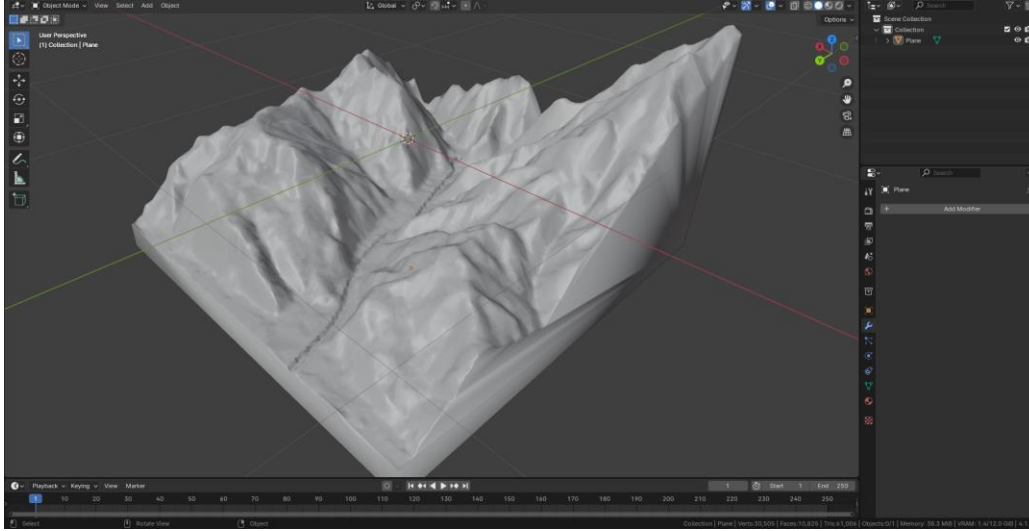


Şekil 3.27 : İlk aşamada eklenen düz yüzey.



Şekil 3.28 : Eklenen yüzeye SYM'nin eklenmesi.

Sonrasında altına eklenen düz bir yüzey ile 4 kenarı birleştirilerek 3 boyutlu hale getirilmiştir. Akışkan eklentisinde yapay zeka tarafından analiz edilebilecek obje için nokta ve yüzey sınırları konulmuştur. Bu sınırlara uyabilmek için oluşan şekle “remesh” modifikasyonu hem hacim kazanması hem yeterli nokta ve yüz sayısını karşılayacak şekilde yapılmıştır (Şekil 3.29).



Şekil 3.29 : Oluşan 3 boyutlu model.

Bu işlem su kanalının dikdörtgen yapısını bozmuştur yine de bu suyun doğru bir yörüngede akışını gerçekleştirebilmesi için yeterli olmuştur. Bu 3 boyutlu obje UE'nin desteklediği FBX formatında dışarı aktarılarak yine bu format ile UE içerisine eklenmiştir.

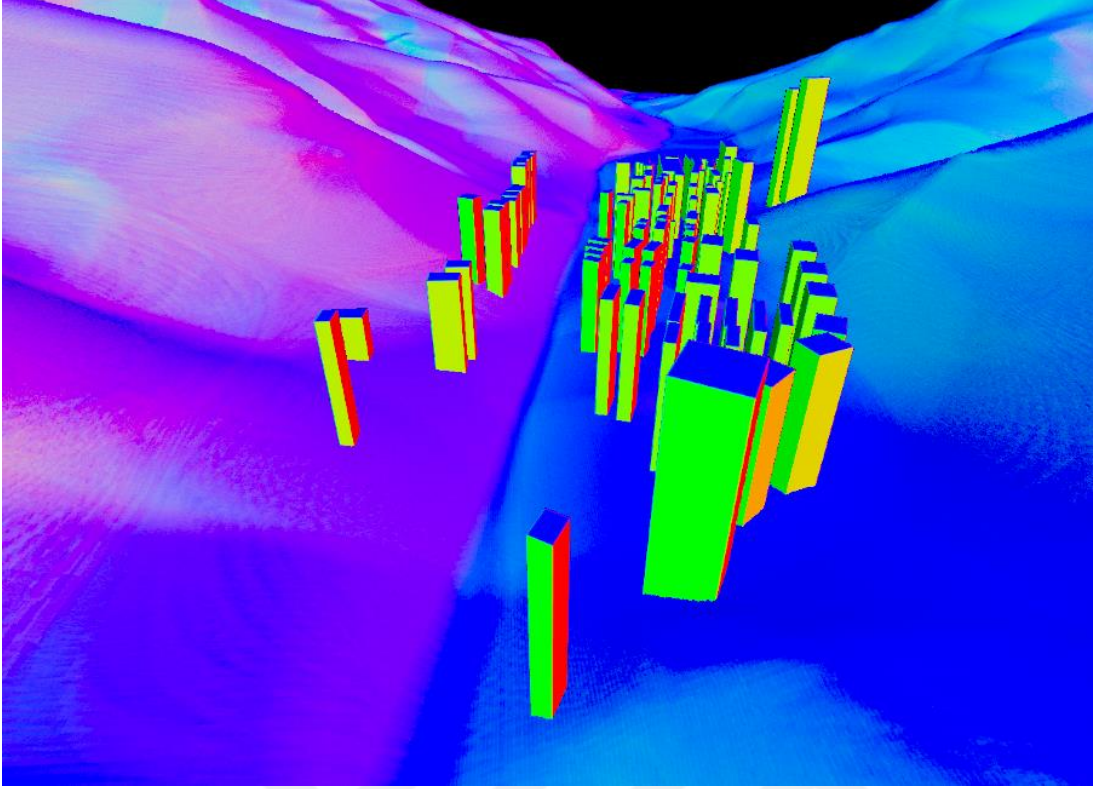
Bu eklenen 3B arazi, Landscaping tarafından eklenen yer yüzü ile üst üste gelecek şekilde hizalanmıştır. Sonrasında binaları temsilen dikdörtgen prizmalar Landscaping tarafından belirlenen sınırlar içerisine eklenmiştir. Bütün eklenen objeler beyaz veya beyaza yakın bir renkte olduğu için karmaşık bir görüntü oluşmuştur. Bu sorun dikdörtgen prizmalar ve 3 boyutlu araziye doku giydirilerek belirgin hale gelmesi sağlanmıştır.

Binalar ve su kanalı belirgin arazi modeli eklendikten sonra referans olarak bulunan objeler performansı etkilememesi için silinmiştir. Sonrasında Libra Liquid elemanları eklenmesi yapılmıştır. Ezine çayını temsilen kanalda devamlı su akışının bulunması hem referans belirleme hem sıvı kararlılığı açısından önemli olduğu anlaşılacak belirli aralıklar ile su ekleyen elemanlar eklenmiştir. Havzadan gelen iki su kanalının sonlarına da sel sularını temsil etmesi açısından su ekleyen elemanlar eklenmiştir. Şehrin sonunda da su birikmesini önlemek için su yok eden bir sınır eklenmiştir.



**Şekil 3.30** : Sol tarafta motorda oluşturulan temsil, sağ tarafta gerçek veri.

Programın ve eklentinin limitleri bakımından Ezine çayının 700 metrelik kısmı ve bu kısım içerisinde OSM veri tabanında bulunan 135 adet binanın modellenmesi yapılabilmektedir (Şekil 3.30). Bu binalardan birleşik olanlar aynı dikdörtgen prizma içerisinde gösterilerek performansı artırılmıştır. Bunun sonucunda 102 adet su engeli oluşmuştur. Arazi modelinin yapay zeka tarafından üretilen engel modeli ve binalar için eklenen engellerin hata ayıklama modundaki görüntüsü Şekil 3.31'deki gibidir.

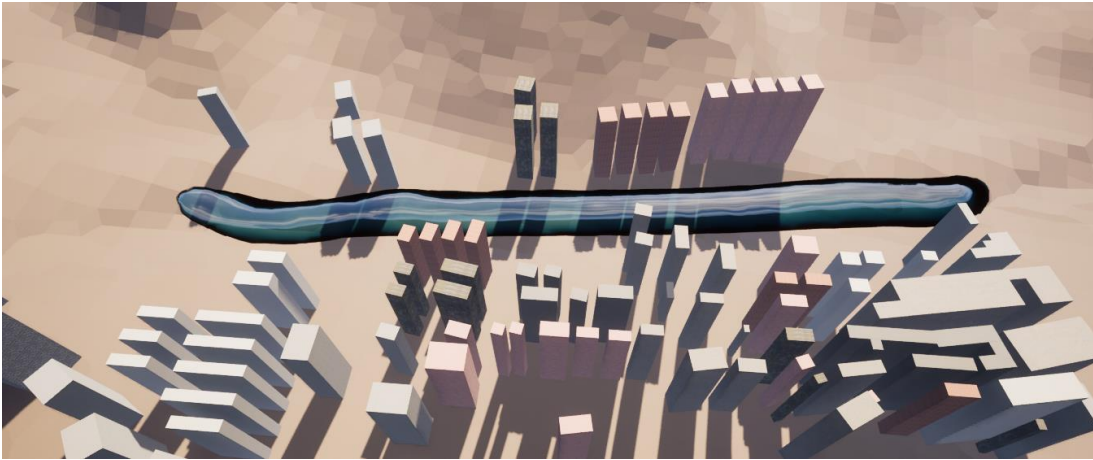


**Şekil 3.31** : Çalışma alanının SDF görüntüsü.

3 Farklı senaryo üzerine çalışılmıştır.

1. Normal taşkın olmayan akış, referans noktası.

Mevcut su kanalında sürekli akan bir suyun olması akışkan kararlılığını artırmaktadır (Şekil 3.32). Ayrıca gerçek dünya ile simülasyon arasında hacimsel ve hızsal olarak bağ kurulmasını sağlamaktadır.

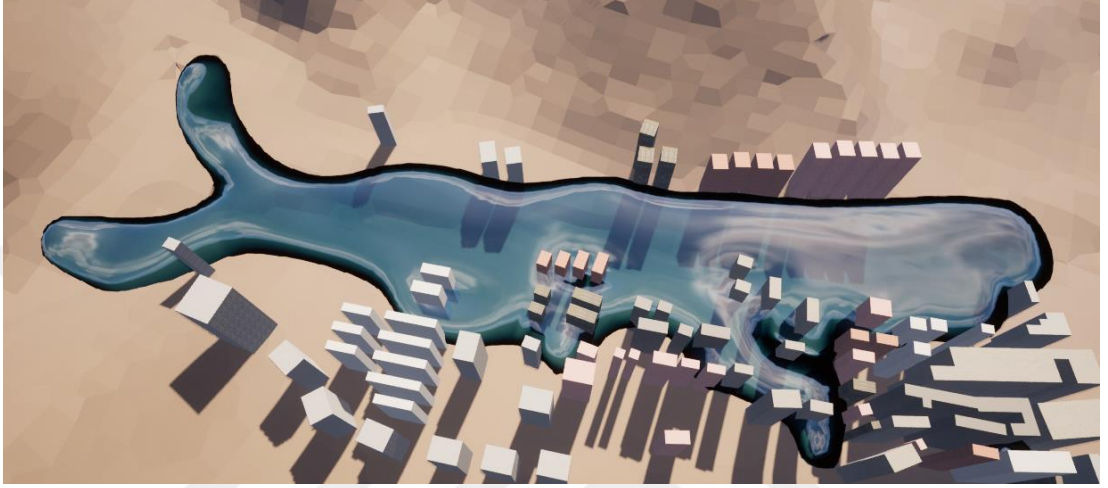


**Şekil 3.32** : Düz kanalda akış.



2. Yağışa benzer debi eklenmesi ile oluşan ekstra akışlar.

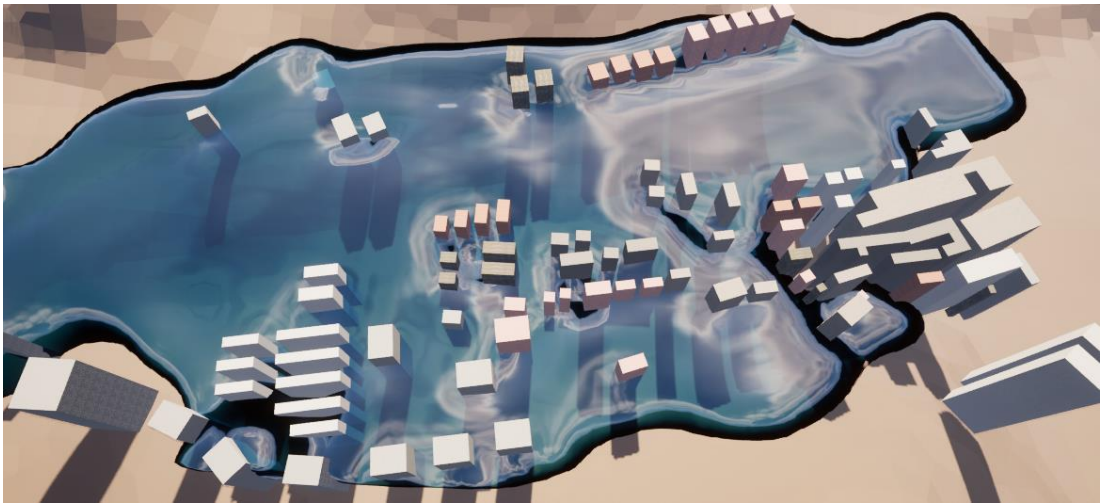
Bu aşamada suyun yükselmesini daha anlaşılır halde gözlemleyebiliriz. Oyun motoru içerisinde bulunan birden fazla su kaynağının uyumu doğrulanabilir ve gözlemlenebilir. Bu adımdaki oluşan su halinden bir ekran görüntüsü Şekil 3.33'te verilmiştir.



Şekil 3.33 : Su kanalının taşması durumu.

3. Simulasyon sınırlarını belirleyebilecek anormal akışlar.

Bu aşamada akışkanın binalar arasındaki etkileşiminin tam anlaşılabilmesi için su miktarı iyice artırılarak suyun şehrin her noktasına ulaşması sağlanır. Bu aşamada izlediği yollar incelenip gerçekçiliği yorumlanmıştır. Bu durumda gerçekleşen su modeli ile ilgili resimler sırasıyla Şekil 3.34, Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da gösterilmiştir.



Şekil 3.34 : Su miktarları anormal artırılmış deneysel simulasyon.



Şekil 3.35 : Su miktarları anormal artırılmış deneysel simülasyona yukarıdan bakış.



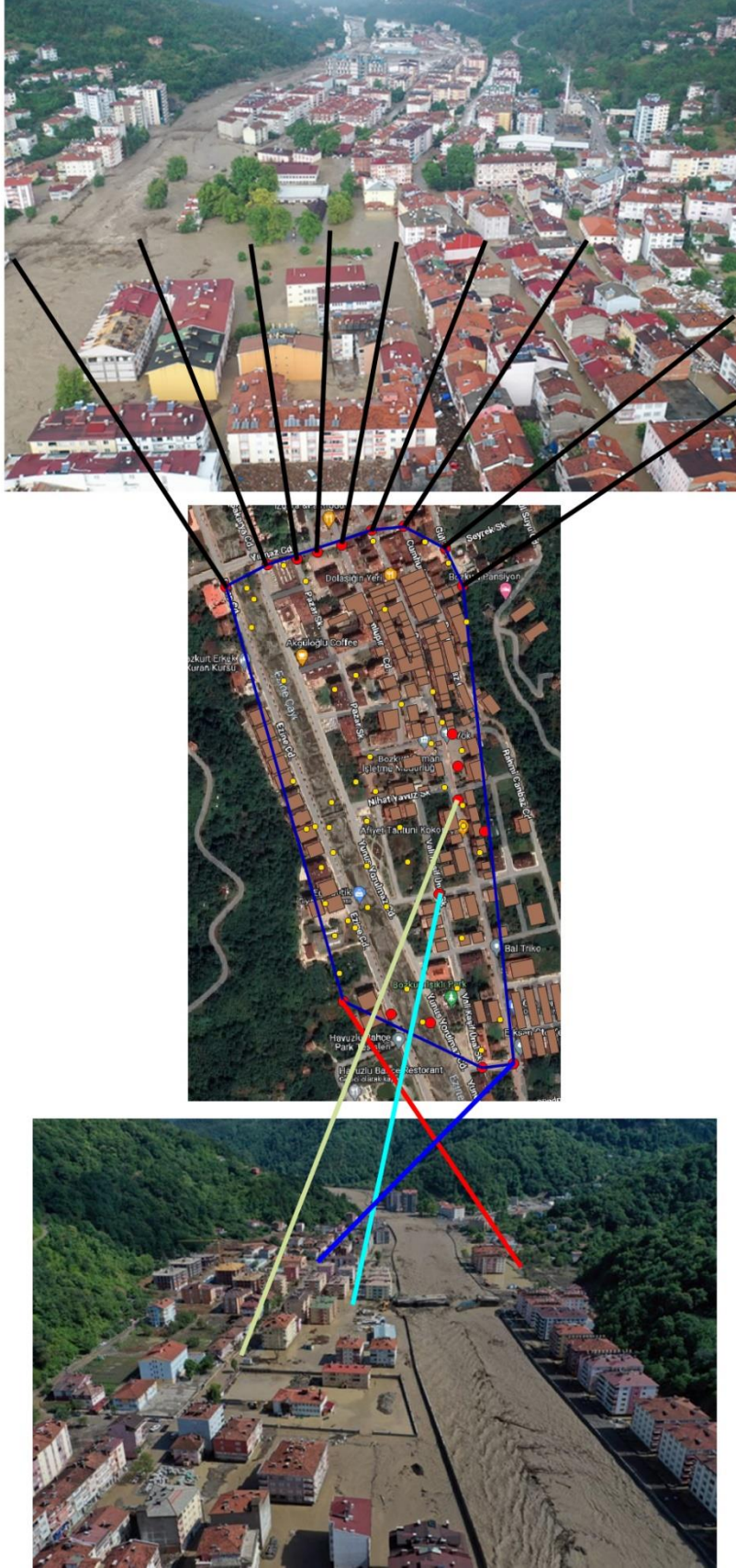
Şekil 3.36 : Su miktarları anormal artırılmış deneysel simülasyona kuzeyden bakış.

### **3.3.1 Doğruluk analizi**

Yapılan çalışmanın gerçekte olan yakınlığını ölçmek için bir analiz yapılmıştır. Bu analiz yapılırken Şekil 39'dan yararlanılmıştır. Analizin yapılma aşamaları aşağıda anlatılmıştır.

#### **Sel bölgesinin belirlenmesi:**

Doğruluk analizi çalışmasının ilk adımı olarak,2021 yılında bölgede gerçekleşen selden etkilenen bölgenin sınırlarının belirlenmesi amacıyla internet üzerinde yer alan haberlerden ve gerçekleşen seli gösteren görsellerden yararlanılmıştır. Bu haberlerde ve görsellerde, selin ulaştığı noktalar dikkatlice incelenmiş ve bu noktalar bir harita üzerinde işaretlenmiştir (Şekil 3.37). Haber resimleri kullanılarak, selin ulaştığı sınır noktalarından bir poligon oluşturulmuştur. Bu poligon, selden etkilenen bölgenin sınırlarını temsil etmektedir. Bu adım, simülasyonun doğruluğunu değerlendirebilmek için gerçek dünya verilerine dayalı referans bir model oluşturulmasını sağlamıştır.



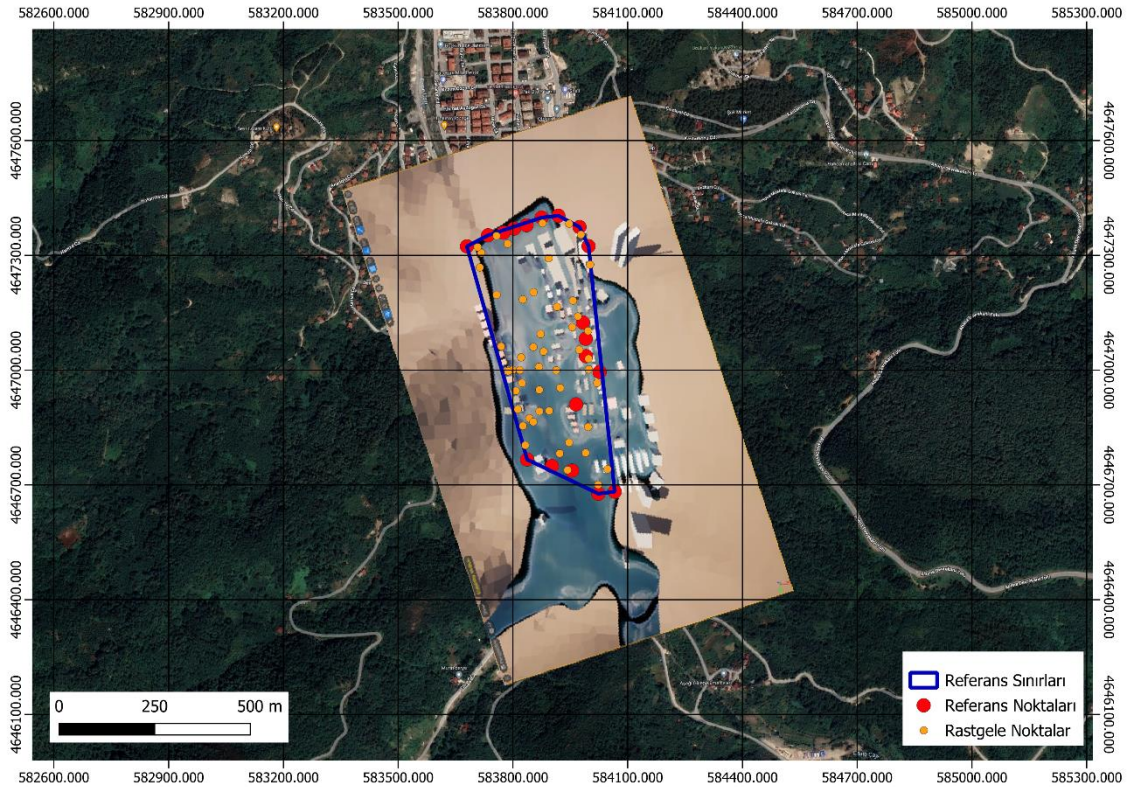
Şekil 3.37 : Sel sınır noktalarının belirlenmesi.

### Sonuçun QGIS'e aktarılması:

Unreal Engine içinde oluşturulan modelin doğruluğunu değerlendirebilmek için, bu modelin ekran görüntüsü alınarak QGIS yazılımına aktarılmıştır. QGIS içerisinde, modelin ekran görüntüsü coğrafi olarak referanslanmış ve doğru konumlandırılmıştır.

### Rastgele noktaların analizi:

Taşkın bölgesi için oluşturulan poligonun içerisinde, her test için rastgele 25 nokta oluşturulmuştur. Bu noktaların her birinin, sel bölgesinin içerisinde olup olmadığı belirlenmiştir. Her test için bu rastgele noktaların analiz edilmesi, modelin doğruluğunu değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir. Toplam 10 test yapılmış ve her bir testte 25 rastgele nokta incelenmiştir. Yapılan testlerden bir tanesi örnek olarak Şekil 3.38'de verilmiştir. Bu noktaların sel bölgesi içinde olup olmadıkları belirlenmiş ve her testte kaç noktanın yanlış olduğu kaydedilmiştir. Bu yanlış noktalar, sel bölgesi dışında kalan noktaları temsil etmektedir.



Şekil 3.38 : Bir analiz test örneği.

### Doğruluk analizi sonuçları:

Çizelge 3.11: Analiz sonuçları.

Analiz No	Yanlış Nokta Sayısı	Doğruluk Yüzdesi
1. Analiz	4	%84,0
2. Analiz	3	%88,0
3. Analiz	5	%80,0
4. Analiz	1	%96,0
5. Analiz	5	%80,0
6. Analiz	1	%96,0
7. Analiz	4	%84,0
8. Analiz	2	%92,0
9. Analiz	2	%92,0
10. Analiz	3	%88,0
<b>Ortalama</b>		<b>%88,0</b>

10 tane analiz yapılmıştır ve bu analizlerin sonuçları Çizelge 3.11’de verilmiştir. Bu yapılan doğruluk analizine göre, geliştirilen taşkın simülasyonunun doğruluk oranı %88,0 olarak bulunmuştur.

#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, oyun motoru ve CBS kullanılarak bir taşkın simülasyonu geliştirilmiştir. Çalışmanın başlıca amacı, taşkın risklerini daha etkili bir şekilde modelleyebilmek ve bu sayede ilgili kurumların ve toplumun taşkınlara karşı daha iyi hazırlık yapmasını sağlamaktır.

Yapılan simülasyonlar, oyun motorlarının dinamik modelleme ve görselleştirme yeteneklerinin, CBS'nin coğrafi veri işleme gücüyle birleştiğinde taşkın risk analizlerinde önemli bir araç olduğunu göstermiştir. Oyun motorunun getirdiği kum havuzu kabiliyetleri sayesinde, anlık model girdilerini ve süreçlerini değiştirme imkanı sağlanmıştır. Bu özellik, kullanıcıların farklı senaryoları hızlı bir şekilde test etmelerine ve çeşitli koşullar altında sistemin nasıl tepki vereceğini gözlemlemelerine olanak tanımıştır. Bu da, taşkın risk haritalarının oluşturulmasında ve olası taşkın senaryolarının değerlendirilmesinde büyük bir doğruluk ve etkinlik sağlamıştır.

Ulaşılan doğruluk oranı %88,0'dir. Bu sonuç, modelin gerçek dünyadaki sel olaylarını ve taşkın bölgelerini temsil etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Bu doğruluk analizi, geliştirilen taşkın simülasyonunun etkinliğini ve güvenilirliğini ortaya koyabilmektedir.

Çalışmada ayrıca, SWAT (Soil and Water Assessment Tool) modeli kullanılarak yüksek hacimli iklim ve coğrafi veriler işlenmiş ve bu verilerle doğru ve hızlı sonuçlar elde edilmiştir. SWAT, büyük veri setlerini etkin bir şekilde işleyebilme kapasitesi sayesinde, taşkın simülasyonlarında yüksek hassasiyetli sonuçlar üretmiştir. Bu da, modelin güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini artırmıştır.

AHS yöntemi ise, coğrafi bilgi sistemleri ile entegre edilerek, karar vericilere hızlı ve kolay bir şekilde fikir sahibi olma imkanı sunmuştur. AHS, farklı kriterlerin ağırlıklandırılması ve karşılaştırılması yoluyla, coğrafi olarak taşkın risk değerlendirmelerinde pratik ve etkili sonuçlar üretmiştir. Bu, taşkın risk yönetiminde stratejik kararlar almayı kolaylaştırmıştır.

Ayrıca, geliştirilen modelin gelecekte sanal gerçeklik (SG) veya artırılmış gerçeklik (AG) teknolojileri ile birleştirilmesi mümkündür. Bu entegrasyon, kullanıcıların taşkın senaryolarını daha sürükleyici ve etkileşimli bir şekilde deneyimlemelerini sağlayarak, eğitimi ve farkındalığı artırabilir. VR ve AR teknolojilerinin bilimle birleşmesi, afet yönetimi ve mühendislik alanlarında yeni ve etkili yöntemlerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Çalışmada kullanılan yöntemler, hem gerçek zamanlı simülasyonlar hem de geçmiş verilerle yapılan analizlerde başarılı sonuçlar vermiştir. Bu da, geliştirilen sistemin hem mühendislik hem de afet yönetimi alanlarında kullanılabilirliğini göstermektedir.

Ancak, çalışma sırasında bazı sınırlamalarla karşılaşmıştır. Bu sınırlamalardan biri, kullanılan veri setlerinin doğruluğu ve güncelliği, simülasyon sonuçlarının güvenilirliğini doğrudan etkilemektedir. Gelecekteki çalışmalarda, daha kapsamlı ve güncel veri setlerinin kullanılması, simülasyon sonuçlarının daha da iyileştirilmesine katkı sağlayacaktır. Diğerleri ise oyun motoru ve eklentilerin limitleridir. Oyun motoru geliştiricileri tarafından kararlılık ve performans düşünülerek editör içerisinden değiştirilemeyen limitler eklenmiştir. Bu limitler parçacık sayılarını ve ekran kartı kaynaklarının kullanımı ile doğrudan ilgilidir.

Bu çalışmada geliştirilen model, afet yönetimi alanında da önemli faydalar sunmaktadır. Oyun motorları ve CBS teknolojilerinin entegrasyonu, afet yönetiminde daha etkin ve verimli stratejiler geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Modelin sunduğu dinamik simülasyon ve görselleştirme yetenekleri, afet senaryolarının gerçek zamanlı olarak test edilmesine ve farklı koşullar altında sistemin tepkilerinin analiz edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, afet müdahale ekipleri ve karar vericiler, taşkınlar gibi doğal afetlere karşı daha hızlı ve etkili önlemler alabilirler. Ayrıca, modelin sanal gerçeklik (VR) ve artırılmış gerçeklik (AR) teknolojileri ile entegrasyonu, afet yönetiminde eğitim ve farkındalığı artırarak, toplulukların afetlere karşı hazırlık seviyelerini yükseltebilir. Afet risk yönetimi, tehlikelerin belirlenmesi, analizi ve değerlendirilmesiyle başlayıp, imkânlar, kaynaklar ve önceliklerin tanımlanmasıyla devam eden bir süreçtir. Bu süreç, afet senaryolarının oluşturulması, riskin azaltılması ve azaltılan riskin yönetilmesi için genel politika, stratejik planlar ve uygulama



planlarının hazırlanması ve uygulanmasıyla tamamlanır. (Kahraman vd., 2021) Bu teknolojik birleşim, afet risk yönetiminde inovatif yaklaşımlar geliştirerek, afetlerin olumsuz etkilerini minimize etme potansiyeline sahiptir.

Sonuç olarak, oyun motorları ve CBS teknolojilerinin entegrasyonu, taşkın simülasyonları ve risk analizlerinde yenilikçi ve etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Bu çalışmanın bulguları, ilgili kurumlara ve araştırmacılara, taşkın risk yönetiminde yeni araçlar ve yöntemler sunma potansiyeline sahiptir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, bu yaklaşımın daha da geliştirilmesine ve farklı doğal afet türlerinde uygulanabilirliğinin araştırılmasına yönelik olmalıdır.





## KAYNAKLAR

- Abate, B. Z., Assefa, T. T., Tigabu, T. B., Abebe, W. B., He, L.** 2023. "Hydrological Modeling of the Kobo-Golina River in the Data-Scarce Upper Danakil Basin, Ethiopia", *Sustainability*, 15(4), 3337.
- Adger, W. N.** (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281.
- AFAD.** "Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü". <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>  
Son erişim tarihi: 13 Aralık 2023.
- Anni, A. H., Cohen, S., Praskievicz, S.** 2020. "Sensitivity of urban flood simulations to stormwater infrastructure and soil infiltration", *Journal of Hydrology*, 588, 125028.
- Aydin, H. E., Iban, M. C.** 2023. "Predicting and analyzing flood susceptibility using boosting-based ensemble machine learning algorithms with SHapley Additive exPlanations", *Natural Hazards*, 116(3), 2957-2991.
- Azizian, A., & Brocca, L.** (2020). Determining the best remotely sensed DEM for flood inundation mapping in data sparse regions. *International Journal of Remote Sensing*, 41(5), 1884-1906.
- Bradshaw, C. J., Sodhi, N. S., PEH, K. S. H., & Brook, B. W.** (2007). Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global change biology*, 13(11), 2379-2395.
- Bakhtiari, V., Piadeh, F., Behzadian, K., Kapelan, Z.** 2023. "A critical review for the application of cutting-edge digital visualisation technologies for effective urban flood risk management", *Sustainable Cities and Society*, 104958.
- Benavidez, R., Jackson, B., Maxwell, D., & Norton, K.** (2018). A review of the (Revised) Universal Soil Loss Equation ((R)USLE): With a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11), 6059-6084. <https://doi.org/10.5194/hess-22-6059-2018>
- Chen, W., Li, Y., Xue, W., Shahabi, H., Li, S., Hong, H., ... & Ahmad, B. B.** (2020). Modeling flood susceptibility using data-driven approaches of naïve bayes tree, alternating decision tree, and random forest methods. *Science of The Total Environment*, 701, 134979.
- Chen, Y., Wang, D., Zhang, L., Guo, H., Ma, J., & Gao, W.** (2023). Flood risk assessment of Wuhan, China, using a multi-criteria analysis model with the improved AHP-Entropy method. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(42), 96001-96018.
- Deniz, A., Şahin, A. D., Tezer, A., & Dabanlı, İ.** (2021). Bozkurt sel afeti: Sebepler ve tespitler. *İstanbul Teknik Üniversitesi*.

- Enomah, L. D., Downs, J., Mbaigoto, N., Fonda, B., & Umar, M.** (2023). Flood risk assessment in Limbe (Cameroon) using a GIS weighed sum method. *Environment, Development and Sustainability*, 1-20.
- El-Haddad, B. A., Youssef, A. M., Pourghasemi, H. R., Pradhan, B., El-Shater, A. H., El-Khashab, M. H.** 2021. "Flood susceptibility prediction using four machine learning techniques and comparison of their performance at Wadi Qena Basin, Egypt", *Natural Hazards*, 105, 83-114.
- Epic Games.** "Unreal Fest 2022", <https://www.unrealengine.com/en-US/events/unreal-fest-2022-sessions> Son erişim tarihi: 13 Aralık 2023.
- FAO, & IIASA.** (2023). Harmonized World Soil Database version 2.0. FAO; IIASA. <https://doi.org/10.4060/cc3823en>
- Fujimi, T., Fujimura, K.** 2020. "Testing public interventions for flash flood evacuation through environmental and social cues: The merit of virtual reality experiments", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 50, 101690.
- Feng, B., Zhang, Y., & Bourke, R.** (2021). Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models. *Natural Hazards*, 106(1), 613-627.
- Gangrade, S., Kao, S. C., Naz, B. S., Rastogi, D., Ashfaq, M., Singh, N., & Preston, B. L.** (2018). Sensitivity of probable maximum flood in a changing environment. *Water Resources Research*, 54(6), 3913-3936.
- Görcelioğlu, E.** (2003). Sel ve çığ kontrolü. İÜ Orman Fakültesi Yayınları, (4415/473,384).
- Guo, K., Guan, M., Yu, D.** 2021. "Urban surface water flood modelling—a comprehensive review of current models and future challenges", *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(5), 2843-2860.
- Guug, S. S., Abdul-Ganiyu, S., Kasei, R. A.** 2020. "Application of SWAT hydrological model for assessing water availability at the Sherigu catchment of Ghana and Southern Burkina Faso", *HydroResearch*, 3, 124-133.
- He, T., Liang, S., & Wang, D.** (2018). Evaluating land surface albedo estimation from Landsat MSS, TM, ETM+, and OLI data based on the unified direct estimation approach. *Remote Sensing of Environment*, 204, 181-196.
- Islam, M. R., Aziz, M. T., Alauddin, M., Kader, Z., & Islam, M. R.** (2024). Site suitability assessment for solar power plants in Bangladesh: A GIS-based analytical hierarchy process (AHP) and multi-criteria decision analysis (MCDA) approach. *Renewable Energy*, 220, 119595.
- Karimi, A. R., Mehrdadi, N., Hashemian, S. J., Bidhendi, G. N., & Moghaddam, R. T.** (2011). Selection of wastewater treatment process based on the analytical hierarchy process and fuzzy analytical hierarchy process methods. *International Journal of Environmental Science & Technology*, 8, 267-280.
- Kahraman, S., Polat, E., Korkmazıyürek, B.** 2021. "Afet yönetim döngüsündeki ana terimler", *Avrasya Terim Dergisi*, 9(3), 7-14.

- Li, G., Shao, W., & Liu, J.** (2022, December). Simulation Research of Dam Break Flood in Urban Area Based on TELEMAC-2D Model. In 2022 International Conference on Information Technology, Communication Ecosystem and Management (ITCEM) (pp. 86-89). IEEE.
- Ludic Drive.** “Landscaping” <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/landscaping> Son erişim tarihi: 18 Şubat 2024.
- Ma, C., Zhao, Y., AL-Dohuki, S., Yang, J., Ye, X., Kamw, F., Amiruzzaman, M.** 2020. GTMapLens: Interactive lens for geo-text data browsing on map. In Computer Graphics Forum, 39 (3), pp. 469-481.
- Macchione, F., Costabile, P., Costanzo, C., De Santis, R.** 2019. “Moving to 3-D flood hazard maps for enhancing risk communication”, Environmental modelling & software, 111, 510-522.
- Mol, J. M., Botzen, W. W., Blasch, J. E.** 2022. “After the virtual flood: Risk perceptions and flood preparedness after virtual reality risk communication”, Judgment and Decision Making, 17(1), 189-214.
- Nyeko, M.** (2014). Hydrologic modelling of data scarce basin with SWAT model: Capabilities and limitations. Water Resources Management, 29(1), 81-94. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0828-3>
- Özdağoğlu, A., & Özdağoğlu, G.** (2007). Comparison of AHP and fuzzy AHP for the multi-criteria decision making processes with linguistic evaluations. İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(11), 65-85.
- Pahlavan-Rad, M. R., & Akbarimoghaddam, A.** (2018). Spatial variability of soil texture fractions and pH in a flood plain (case study from eastern Iran). Catena, 160, 275-281.
- Petrini, M. A., Rocha, J. V., Brown, J. C., & Bispo, R. C.** (2016). Using an analytic hierarchy process approach to prioritize public policies addressing family farming in Brazil. Land Use Policy, 51, 85-94.
- Rai, K., Mishra, N., Sharma, A. K., Mishra, S., & Dahale, P. P.** (2023, April). Flood Risk Assessment Mapping of Nainital District Using GIS Tools. In 2023 International Conference on Artificial Intelligence and Applications (ICAIA) Alliance Technology Conference (ATCON-1) (pp. 1-5). IEEE.
- Saaty, T. L.** (1977). A scaling method for priorities in hierarchical structures. Journal of mathematical psychology, 15(3), 234-281.
- Schröter, K., Lüdtke, S., Redweik, R., Meier, J., Bochow, M., Ross, L., ... & Kreibich, H.** (2018). Flood loss estimation using 3D city models and remote sensing data. Environmental Modelling & Software, 105, 118-131.
- Sermet, Y., Demir, I.** 2019. “Flood action VR: a virtual reality framework for disaster awareness and emergency response training”, In ACM SIGGRAPH 2019 Posters (pp. 1-2).
- Skinner, C.** 2020. “Flash Flood!: a SeriousGeoGames activity combining science festivals, video games, and virtual reality with research data for communicating flood risk and geomorphology”, Geoscience Communication, 3(1), 1-17.

- Street Map Plugin for Unreal Engine.** <https://github.com/ue4plugins/StreetMap> Son erişim tarihi: 18 Şubat 2024.
- Su, W. R., Lin, Y. J., Huang, C. H., Yang, C. H., Tsai, Y. F.** 2021. 3D GIS Platform for Flood Wargame: A Case Study of New Taipei City, Taiwan. *Water*, 13(16), 2211.
- Şahin, N.** 2009. “Afet Yönetimi ve Acil Yardım Planları”, TMMOB İzmir Kent Sempozyumu Bildiri Kitabı, 131-142.
- Şahin, M.** (2021). A comprehensive analysis of weighting and multi-criteria methods in the context of sustainable energy. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(6), 1591-1616.
- Subramanian, N., & Ramanathan, R.** (2012). A review of applications of Analytic Hierarchy Process in operations management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215-241.
- Suquet, R. R., Nguyen, T. H., Ricci, S., Piacentini, A., Bonassies, Q., Fatras, C., ... & Blanchet, G.** (2023, July). The SCO-Flooddam Project: Towards A Digital Twin for Flood Detection, Prediction and Flood Risk Assessments. In *IGARSS 2023-2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (pp. 1000-1003). IEEE.
- Triantaphyllou, E., & Mann, S. H.** (1995). Using the analytic hierarchy process for decision making in engineering applications: some challenges. *International journal of industrial engineering: applications and practice*, 2(1), 35-44.
- Tully, D., El Rhalibi, A., Carter, C., Sudirman, S.** 2015. “Hybrid 3D rendering of large map data for crisis management”, *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(3), 1033-1054.
- Towe, R., Dean, G., Edwards, L., Nundloll, V., Blair, G., Lamb, R., Manson, S.** 2020. “Rethinking data-driven decision support in flood risk management for a big data age”, *Journal of Flood Risk Management*, 13(4), e12652.
- Unreal Engine.** “Niagara Overview”. <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/RenderingAndGraphics/Niagara/Overview/> Son erişim tarihi : 13 Aralık 2023.
- Ünal, A., ÇAMCI, K. G., & TONYALOĞLU, E. E.** (2022). Çok Kriterli Karar Analizi İle Doğal Afetlerde Haritalama: Aydın İli Sel-Taşkın Riski Örneği. *Uludağ Üniversitesi İktisadi ve Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(2), 136-150.
- Vaidya, O. S., & Kumar, S.** (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of operational research*, 169(1), 1-29.
- Veh, G., Korup, O., Walz, A.** 2020. “Hazard from Himalayan glacier lake outburst floods”, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(2), 907-912.
- Yang, B., Ma, J., Huang, G., & Cao, D.** (2021). Development and application of 3D visualization platform for flood evolution in Le'an river basin of Wuyuan. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 638, No. 1, p. 012053). IOP Publishing.

**Yilmaz, O. S.** (2022). Flood hazard susceptibility areas mapping using Analytical Hierarchical Process (AHP), Frequency Ratio (FR) and AHP-FR ensemble based on Geographic Information Systems (GIS): A case study for Kastamonu, Türkiye. *Acta Geophysica*, 70(6), 2747-2769.

**Zhi, G., Liao, Z., Tian, W., & Wu, J.** (2020). Urban flood risk assessment and analysis with a 3D visualization method coupling the PP-PSO algorithm and building data. *Journal of Environmental Management*, 268, 110521.

**Url-1** <<https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=KASTAMONU>>, erişim tarihi 15.03.2024.

**Url-2** < <https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?locale=tr>>, erişim tarihi 10.02.2024.







## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad

: Abdulkadir ÖZTÜRK

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, Bilişim Uygulamaları Ana Bilim Dalı, Coğrafi Bilgi Teknolojileri

### MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2021 yılından beri Odakent Çevre Bilişim firmasında yazılım mühendisi olarak çalışmaktadır.

### YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Ozturk, A., & Atik, M. E.**, “Flood Risk Assessment Based On Analytic Hierarchy Process: A Case Study Of Bozkurt District, Kastamonu Province”, *International Conference on Cartography & GIS*, 2024.