



T.C.

ALANYA ALAADDİN KEKUBAT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GAZİPAŞA İLÇESİ İNCEAĞRI DERESİ HAVZASININ HİDRODİNAMİK
MODELİ VE TAŞKIN RİSK HARİTALARININ ÇIKARILMASI

Yüksek Lisans Tezi

İsmail Furkan ÇANAK

Danışman
Doç. Dr. Mehmet DİKİCİ

ALANYA
2025

T.C.
ALANYA ALAADDİN KEYKUBAT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

GAZİPAŞA İLÇESİ İNCEAĞRI DERESİ HAVZASININ HİDRODİNAMİK
MODELİ VE TAŞKIN RİSK HARİTALARININ ÇIKARILMASI

Yüksek Lisans Tezi

İsmail Furkan ÇANAK
Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği
Program Adı: İnşaat Mühendisliği

Danışman
Doç. Dr. Mehmet DİKİCİ

ALANYA
(2025)

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilemeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmamın Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi tarafından kullanılan “bilimsel intihal tespit programıyla tarandığını ve “intihal içermediğini” beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

İsmail Furkan ÇANAK

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın her aşamasında değerli bilgi ve tecrübeleriyle yolumu aydınlatan, engin sabrı ve yol gösterici fikirleriyle desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kıymetli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Mehmet DİKİCİ'ye ve değerli katkıları adına jüri üyeleri hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Bu zorlu ve uzun süreçte bana olan inançlarını bir an bile kaybetmeyen, maddi ve manevi destekleriyle her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim. Onların varlığı, bu çalışmayı tamamlamamdaki en büyük gücüm olmuştur.



ÖZET

GAZİPAŞA İLÇESİ İNCEAĞRI DERESİ HAVZASININ HİDRODİNAMİK MODELİ VE TAŞKIN RİSK HARİTALARININ ÇIKARILMASI

İsmail Furkan ÇANAK

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü,

Temmuz, 2025 (79 Sayfa)

Bu tez çalışmasında, Antalya ili Gazipaşa ilçesinde yer alan İnceağrı deresi Havzası'nın taşkın riski, hidrodinamik modelleme yöntemleri kullanılarak analiz edilmiştir. Havzanın dik eğimli topografik yapısı, plansız kentleşme baskısı ve iklim değişikliğinin tetiklediği ani ve şiddetli yağışlar, bölgedeki taşkın tehlikesini artırmaktadır. Çalışmanın temel amacı, farklı tekerrür periyotlarına sahip olası taşkın senaryolarını modelleyerek su yayılım alanlarını ve derinliklerini belirlemek, bu sayede etkin bir afet yönetimi ve mekânsal planlama için bilimsel bir altlık oluşturmaktır.

Metodoloji kapsamında, MIKE Zero yazılım paketi kullanılarak havzanın hidrodinamik modeli kurulmuştur. Modelin ana girdilerini Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilen yüksek çözünürlüklü Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan yağış verileri oluşturmuştur. Yağış verileriyle yapılan tekerrür analizi sonucunda 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık taşkın hidrografları elde edilmiştir. Bu hidrograflar, modelde sınır koşulu olarak kullanılarak her bir senaryo için taşkın simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, tüm tekerrür periyotları için detaylı taşkın tehlike haritaları üretilmiştir. Bulgular, düşük tekerrürlü taşkınların dere yatağı çevresindeki tarım arazilerini etkilerken, özellikle 100 yıl ve üzeri tekerrürlü taşkınların yerleşim alanlarını, kritik altyapıyı ve Selinus Antik Kenti gibi kültürel miras alanlarını ciddi şekilde tehdit ettiğini göstermiştir. Bu haritalar, Gazipaşa ilçesinin gelecekteki taşkınlara karşı direncini artırmak amacıyla yapısal (dere ıslahı, köprü iyileştirmeleri) ve yapısal olmayan (erken uyarı sistemleri, imar planlaması) önlemlerin geliştirilmesi için stratejik bir karar destek aracı niteliğindedir.

Anahtar Sözcükler: Taşkın modelleme, Hidrodinamik model, Taşkın risk haritası, İnceağrı deresi, MIKE Zero, CBS.

ABSTRACT

HYDRODYNAMIC MODEL AND FLOOD RISK MAP CREATION OF İNCEAĞRI STREAM BASIN IN GAZIPAŞA DISTRICT

İsmail Furkan ÇANAK

Department of Civil Engineering

Graduate School of Alanya Alaaddin Keykubat University,

July, 2025

In this thesis study, the flood risk of the İnceağrı Stream Basin, located in the Gazipaşa district of Antalya province, was analyzed using hydrodynamic modeling methods. The basin's steep topography, pressure from unplanned urbanization, and intense, sudden rainfall triggered by climate change increase the flood hazard in the region. The primary objective of this study is to model potential flood scenarios for various return periods to determine flood inundation areas and depths, thereby creating a scientific basis for effective disaster management and spatial planning.

Within the scope of the methodology, a hydrodynamic model of the basin was established using the MIKE Zero software package. The main inputs for the model consisted of a high-resolution Digital Elevation Model (DEM) obtained from the General Command of Mapping and rainfall data acquired from the General Directorate of Meteorology. As a result of the frequency analysis performed on the rainfall data, flood hydrographs for 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, and 500-year return periods were generated. These hydrographs were used as boundary conditions in the model to perform flood simulations for each scenario. The study produced detailed flood hazard maps for all return periods. The findings indicate that while low-return-period floods primarily affect agricultural lands surrounding the stream bed, floods with a return period of 100 years and over pose a serious threat to residential areas, critical infrastructure, and cultural heritage sites such as the Ancient City of Selinus. These maps serve as a strategic decision support tool for developing structural (stream rehabilitation, bridge improvements) and non-structural (early warning systems, zoning plans) measures to enhance the resilience of the Gazipaşa district against future floods.

Keywords: Flood modeling, Hydrodynamic model, Flood risk map, İnceağrı stream, MIKE zero, GIS.

İÇİNDEKİLER

İÇ KAPAK SAYFASI	
JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI	i
ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ.....	x
SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
GİRİŞ	1
1.1. Amaç ve Kapsam	2
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	3
2.1. Web of Science Veritabanı.....	3
2.2. Türkiye’den Çalışmalar.....	11
2.3. Taşkın ve Taşkın Riski Tanımı	16
2.4. Risk Artışının Nedenleri ve Önemi.....	19
2.5. İnşaat Mühendisliği İçin Taşkınların Taşıdığı Önem	22
2.6. Kentleşmenin Kentsel Taşkın Duyarlılığı Üzerindeki Etkileri	24
2.7. İklim Değişikliği ve Yaşlanan Altyapı Bağlamında Sel Yönetimine Yönelik İnşaat Mühendisliği Yaklaşımları	26
2.7.1. Taşkın yönetiminde yapısal ve yapısal olmayan stratejilerin rolü	27
2.7.2. Yapısal ve yapısal olmayan taşkın yönetimi stratejilerinin karşılaştırması	29
YÖNTEM.....	31

3.1. Modelleme	31
3.1.1. Hidrolojik modelleme	31
3.1.2. Hidrodinamik modelleme.....	32
3.1.3. Sayısal modelleme ve yazılım temelli yaklaşımlar	33
3.1.4. MIKE 11 ve MIKE 21 yazılımlarının temel özellikleri	34
3.2. Taşkın modellemede MIKE 11 kullanımı.....	38
3.2.1. Kanal içi akım ve yüzeysel taşkın yayılımı.....	38
3.2.2. Kentsel altyapı ile etkileşim ve yapıların analizi	38
3.2.3. Taşkın kontrolü ve müdahale senaryoları	38
3.3. Veri Gereksinimleri ve Kalibrasyon Süreçleri.....	39
BULGULAR.....	40
4.1. İnceağrı deresi Hakkında Bilgiler	42
4.1.1. Coğrafi konum	42
4.1.2. Topoğrafya ve eğim yapısı.....	43
4.1.3. Hidrografik özellikler.....	43
4.1.4. Arazi kullanımı ve yerleşim özellikleri.....	43
4.1.5. Jeoloji ve zemin özellikleri	44
4.1.6. Havza tanıtım	44
4.2. İnceağrı deresi Havzası Taşkın Modellemesi ve Analizi Uygulaması	46
4.2.1. Kullanılan yazılımlar ve veri kaynakları.....	46
4.2.2. Modelleme metodolojisi.....	49
4.2.3. Elde edilen taşkın risk haritaları ve analizleri	53
TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Yıl Bazında Gerçekleştirilen Yayın Sayıları	3
Şekil 2.2. Yıl Bazında Alınan Atıf Sayıları	7
Şekil 2.3. En Fazla Atıfa Sahip İlk Beş Yayın İçin Atıf Sayıları	7
Şekil 2.4. Doğa Tabanlı Yaklaşım Örnekleri.....	23
Şekil 2.5. Yapısal ve Yapısal Olmayan Yaklaşımların Karşılaştırılması	28
Şekil 4.1. MIKE Zero Program Ara Yüzü.....	47
Şekil 4.2. DEM Verisi	50
Şekil 4.3. Dem Verisinin İnterpol'e Edilmiş Hali	50
Şekil 4.4. 200 Yıllık Taşkın Risk Haritası	51
Şekil 4.5. Simülasyon Başlatma Komutu	51
Şekil 4.6. Launch Sekmesi.....	52
Şekil 4.7. Result Folder Sekmesi.....	52
Şekil 4.8. Output 1 Sonucu İstenilenler	53
Şekil 4.9. Mike to Google Earth'te File Komutu.....	53
Şekil 4.10. Simüle Edilen Veriyi Launch to Google Earth seçeneğiyle Ön İzleme	54
Şekil 4.11. Verinin Google Earth Pro'ya Aktarılmış Görüntüsü	54
Şekil 4.12. Bölgenin Ham Haritasının Görüntüsü	55
Şekil 4.13. 2 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası	55
Şekil 4.14. -2 Yıllık Hidrograf Verisi	55
Şekil 4.15. 5 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası	56
Şekil 4.16. -5 Yıllık Hidrograf Verisi	56
Şekil 4.17. 10 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası	57
Şekil 4.18. 10 Yıllık Hidrograf Verisi	57
Şekil 4.19. 25 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası	58

Şekil 4.20. -25 Yıllık Hidrograf Verisi.....	58
Şekil 4.21. 50 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası	59
Şekil 4.22. -50 Yıllık Hidrograf Verisi.....	59
Şekil 4.23. 100 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası ...	60
Şekil 4.24. -100 Yıllık Hidrograf Verisi	60
Şekil 4.25. 200 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası ...	61
Şekil 4.26. -200 Yıllık Hidrograf Verisi.....	61
Şekil 4.27. 500 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası ...	62
Şekil 4.28. -500 Yıllık Hidrograf Verisi.....	62

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3. 1. Hidrolojik ve Hidrodinamik Model Arasındaki Farklar	33
Tablo 3. 2. MIKE 11 ve MIKE 21 Arasındaki Farklar	36
Tablo 3. 3. Taşkın Modelleme Yazılımları.	36



SİMGELER ve KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler

A	Havza alanı
C	Akış katsayısı
g	Yer çekimi ivmesi
I	Yağış şiddeti
R ²	Belirlilik katsayısı
t	Zaman
z	Yükselti
Q	Akış hızı (debi)

Kısaltmalar

AHP	Analitik Hiyerarşi Süreci
ALKÜ	Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
DEFRA	Birleşik Krallık Çevre, Gıda ve Kırsal İşler Bakanlığı
DEM	Sayısal Yükseklik Modeli
DHI	Danimarka Hidrolik Enstitüsü
DSİ	Devlet Su İşleri
EWS	Erken Uyarı Sistemi
GLOF	Buzul Taşkını
HAND	Hidromorfik Yükseklik Modeli
HEC-HMS	Hidrolojik Modelleme Sistemi
HEC-RAS	Hidrolojik Mühendislik Merkezi - Nehir Analiz Sistemi
HD	Hidrodinamik
ICM	Entegre Havza Modellemesi
IPCC	Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli
LIDAR	Lazer Işığı ile Algılama ve Uzaklık Belirleme
PBIAS	Önyargı Yüzdesi
RMSE	Ortalama Karesel Hata Kökü
SWAT	Toprak ve Su Değerlendirme Aracı
Wos	Web of Science
WSUD	Suya Duyarlı Kentsel Tasarım

GİRİŞ

Sel, tüm doğal afetler arasında en yıkıcı ve yaygın afettir. Her yıl sel yüzlerce insan hayatına mal olur ve dünya çapında ekonomiye ve çevreye zarar verir. Selden etkilenebilecek alanların belirlenmesi kapsamlı sel riski yönetimi için önemlidir (Ullah ve Zhang, 2020). Kentleşme ve iklim değişikliği nedeniyle artan kentsel sel riskiyle birlikte, sel tehlikesi tahmini, sel riski yönetimi ve acil müdahale için giderek daha önemli hale gelmektedir (Guan vd., 2023). Thakur ve Mohanty (2024) de küresel kıyısal çoklu afet havzalarındaki sel riskleriyle ilgili karmaşıklıkların, savunmasız topluluklar, altyapı ve çevre için ciddi bir endişe kaynağı olduğunu belirtmiştir. Taşkınlar, sosyoekonomik ve can kaybı açısından en yıkıcı afetler arasındadır. Ancak bu doğal afetler, taşkın oluşmadan önce yapılan taşkın modellemesi ile yönetilebilir ve etkileri en aza indirilebilir (Peker vd., 2024). Benze şekilde Yang vd. (2023) de taşkınlar için “dünya çapında can kaybı ve mal hasarı da dahil olmak üzere ciddi sonuçlara yol açmaktadır” ifadesini kullanarak yapısal olmayan bir önlem olarak taşkın riski haritalamasının, taşkın koruması ve afet hafifletme için etkili olduğunu belirtmiştir.

Taşkın riski haritalamasında hidrolik/hidrodinamik modeller kullanılarak taşkın tehlikelerinin nicel olarak belirlenmesi, yaygın olarak uygulanan yapısal olmayan bir taşkın yönetimi stratejisidir. Ancak, çok alanlı ve çok boyutlu girdi verilerinin bulunmaması ve pahalı hesaplama kaynakları, kaynak kısıtlı bölgelerde uygulanmasını sınırlamaktadır. Beşinci ve altıncı IPCC değerlendirme raporları, doğal ve antropojenik kaynaklardan kaynaklanan insan-çevre sistemleri üzerindeki riski belirlemek için tehlikelerle birlikte kırılganlık ve maruz kalma bileşenlerinin de dahil edilmesini önermektedir (Deroliya vd., 2022).

1B ve 2B modeller de dahil olmak üzere hidrodinamik modeller, taşkın simülasyonları ve taşkın riski yönetimiyle ilgili birçok çalışmada yaygın olarak kullanılmıştır. Son zamanlarda, taşkın akışını simüle etmek için yeni bir hibrit yaklaşım, nehir kanallarındaki akışı temsil eden 1B bir modeli, taşkın yatağı alanlarındaki akışı temsil eden 2B bir modelle birleştiriyor. 1B modeller, karmaşık 2B topografya için doğru sonuçları simüle etmediği ve taşkın yatakları hakkında kapsamlı bilgi sağlamadığı için, bu konuyu doğru bir şekilde ele alabilen 2B modeller kullanılmaktadır. Günümüzde yaygın olarak bulunan bilgisayarlarla bile, 2B modellerin bir dezavantajı, hesaplama

süresi açısından verimli olmayabilecekleridir (Barthélemy vd. 2018, Rai vd. 2018; aktaran Trinh ve Molkenthin, 2021).

1.1.Amaç ve Kapsam

Tez çalışmasının amacı, Gazipaşa ilçesinde yer alan İnceağrı deresi Havzasının için etkili taşkın risk haritaları hazırlamaktır. Hidrolojik ve hidrodinamik modelleme, taşkın simülasyonları için ana akım bir tekniktir. HEC-RAS, SWAT, MIKE gibi taşkın tahmini alanında yaygın olarak uygulanan birçok gelişmiş hidrolojik ve hidrodinamik model halihazırda mevcuttur (Zhang vd., 2024). Çalışmada literatürde de sıklıkla kullanımı görülen tek boyutlu (1B) MIKE 11 hidrodinamik modeli ele alınmıştır. 1B hidrodinamik model akış hızını (Q) sağlamaktadır.

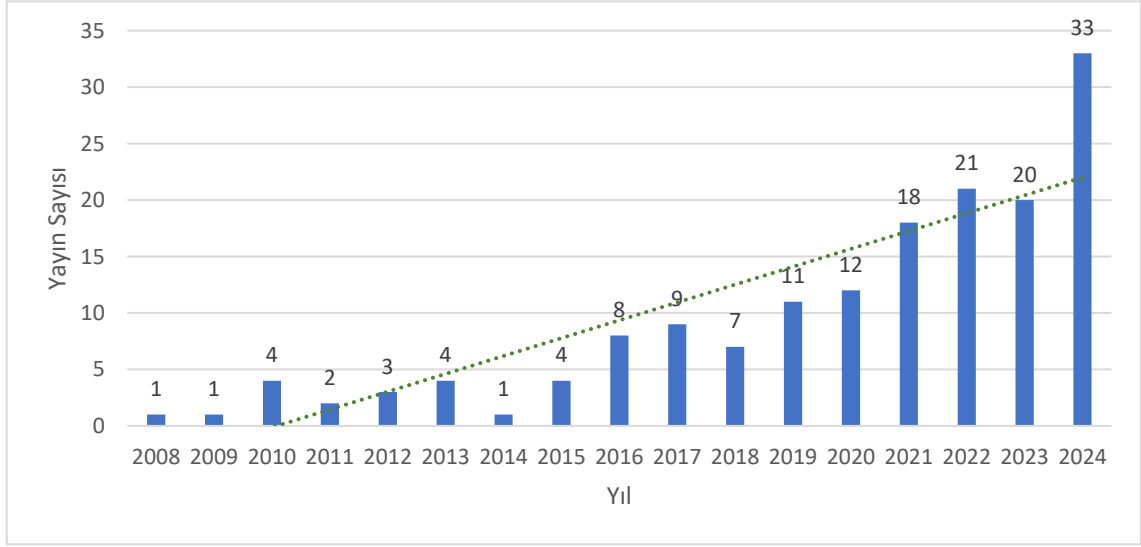
Gazipaşa özelinde yerleşim alanlarının dereye yakın konumlanması, kanal altyapısının yetersizliği ve yönlendirme sistemlerinin eksikliği, bölgeyi taşkın açısından kırılgan bir konuma taşımaktadır. Bu doğrultuda, İnceağrı deresi Havzası'nın taşkın açısından modellenmesi hem mevcut risklerin belirlenmesi hem de gelecekte oluşabilecek senaryolara hazırlık yapılması açısından önem arz etmektedir. Ayrıca, ele alınan bölge hem morfolojik özellikleri hem de artan kentsel baskılar nedeniyle yerel ölçekte önemli bir örnek teşkil etmektedir. Kalın (2024), kıyı kentlerinde taşkın etkilerinin sadece konut alanlarını değil, ulaşım ve tarımsal üretimi de doğrudan etkilediğini ifade etmektedir. Polat (2022) ise taşkınların gelecekteki etkilerinin daha şiddetli olacağını, dolayısıyla proaktif planlamanın şart olduğunu vurgulamaktadır. Şahin, Taşkın ve Aydın (2013) ise yerel yönetimlerin karar alma süreçlerinde kullanılmak üzere hazırlanacak risk haritalarının stratejik önemine dikkat çekmektedir.

Bu doğrultuda yürütülecek modelleme çalışması, yalnızca zarar azaltma değil; aynı zamanda bilimsel temelli ve mekânsal duyarlılığı yüksek afet yönetim sistemlerinin geliştirilmesine doğrudan katkı sunacaktır.

LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1.Web of Science Veritabanı

WoS veritabanında anahtar kelime, başlık, özet alanlarında ("mapping of flood risk" OR "mapping of flood hazard" OR "flood hazard mapping" OR "flood risk mapping") ve ("basin") kavramları taratılmış ve 173 adet çalışma olduğu görülmüştür. Şekil 2.1’de 2008 ve 2024 yılları arasında gerçekleştirilen çalışmaların yıl bazında dağılımı gösterilmiştir. Veriler yıl bazında artış gösteren bir eğimle çalışmaların gerçekleştirildiğini göstermektedir. En fazla yayın 2024 yılında gerçekleştirilmiştir. 173 yayının 153 tanesi makale, 20 tanesi bildiri şeklindedir. 14 yayın bulunan 2025 yılı henüz sona ermediği için dahil edilmemiştir.



Şekil 2.1.Yıl Bazında Gerçekleştirilen Yayın Sayıları

Bu tez çalışmasında ele alınan MIKE11 nehir modelleme sistemi Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından ayrı bir modül olarak geliştirilmiştir. 173 yayında anahtar kelime, başlık, özet alanlarında “MIKE” kavramı geçen çalışmalar araştırılmış ve yedi yayında bu kavramın geçtiği görülmüştür. Söz konusu çalışmalardan ilkinde Mao vd. (2017) baraj yıkılmalarından kaynaklanan sel felaketlerinin ciddi can kayıplarına ve altyapı ile ekonomik istikrara büyük zararlara neden olduğu üzerinde durarak, taşkın suları altında kalan alanların ve derinliğin haritalanması için coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojisinin hidrolojik modellemeyle bütünleştirilmesinin, riski ve olası hasarı daha da azaltmada önemli bir rol oynayabileceği ifade edilmiştir. Bu çalışmada, en ciddi senaryolar altında taşkın rotasını analiz etmek için temel arazi verileri, hidrolojik veriler ve baraj mühendisliği verileri MIKE-21 baraj yıkılma modeli kullanılarak entegre

edilmiştir. Baraj taşkını hesaplama sonuçlarının sosyal ve ekonomik araştırma verileriyle üst üste getirilmesine ek olarak ampirik bir model kullanılarak baraj hasar değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Simülasyon verileri ve çalışma sonuçları, rezervuarın acil durum yönetimi için bilimsel bir temel oluşturabilmekte ve aşağı akış bölgeleri için sosyoekonomik bir çerçeve sunabilmektedir.

Robi vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışma, Etiyopya'daki Ribb havzasındaki Fogera taşkın yatağının taşkın tehlikesi boyutunun belirlenmesi amacıyla yürütülmüştür. Çalışma alanında iklim değişikliği senaryosu altında taşkın su baskını boyutunu ve taşkın derinliğini simüle etmek için birleştirilmiş 1 boyutlu (D) ve 2 boyutlu hidrodinamik model (yani, MIKE FLOOD) kullanılmıştır. Sonuçlar, gelecekteki minimum ve maksimum sıcaklığın sırasıyla 1,99 °C ve 2,65 °C'ye çıkarılabileceğini ortaya koymuştur. Boyutsuz giriş hidrografı, 100 yıllık tekrar periyodu için Gumbel dağılımına en iyi şekilde uymuştur. Bu, hidrolojik modelin çıktısından türetilmiş ve ardından taşkın tehlike haritalarını oluşturmak için MIKE FLOOD'a aktarılmıştır. Hazırlanan taşkın tehlike haritası, taşkın alanının baz dönemi olan 2030'lar ve 2060'lar için sırasıyla 57,72 km², 59,3 km² ve 61,01 km² olarak beklenebileceğini, çalışma alanındaki taşkın akışının derinliğinin ise benzer zaman dilimleri için sırasıyla 4,23 m, 4,68 m ve 4,96 m olarak öngörülebileceğini göstermiştir.

Trinh ve Molkenhth (2021) makalelerinde, ölçülen verilerin mevcut olmadığı veya kıt olduğu küçük ve orta ölçekli kıyı nehir havzaları için taşkın ve su baskınlarını simüle etmek için bütünleşik bir yaklaşım sunmuştur. Taşkın modelleme sistemi (MIKE11 NAM, MIKE11 HD, MIKE21 FM ve MIKEFlood), uydu tabanlı yağış ürünü (CMORPH_CRT) ve sentetik açıklıklı radar görüntüleme (Sentinel-1A) ile başarıyla kurulmuş ve Orta Vietnam'da bulunan Tra Bong Nehri Havzası'ndaki nehir ve taşkın yataklarında yağıştan akışa kadar olan karmaşık süreci simüle etmek için kullanılmıştır. Bu çalışmada uygulanan birçok farklı yöntemle bütünleşik yaklaşım, veri kıtlığı olan ve ölçüm yapılmamış kıyı nehir havzalarındaki taşkın ve su baskını rejimlerini daha iyi anlaşılmasını sağlamaktadır. Nehir ve taşkın yataklarındaki taşkın simülasyonları için hidrodinamik modeller MIKE11 HD ve MIKE21 FM kullanılmış ve daha sonra dinamik bir birleştirme aracı olan MIKE Flood ile birleştirilmiştir.

Thakur ve Mohanty (2023) Hindistan'da şiddetli sel riskine maruz kalan bir bölgedeki iki değişkenli sel risklerini ölçmek için kapsamlı bir çerçeve önermiştir. Çalışma, sel tehlikelerinin yanı sıra (a) fiziksel, (b) sosyo-ekonomik ve (c) bileşik (her ikisinin birleşimi) gösterge gruplarından kaynaklanan kırılabilirlikleri de ele almıştır. Kıyı

Çoklu Tehlike Havzalarında yaygın olan veri kıtlığının üstesinden gelmek için, yüksek çözünürlüklü bir Uydu Yağış Ürünü olan CHIRPS v2.0, diğer yardımcı veri kümeleriyle birlikte, sel tehlikelerini simüle etmek için 1B-2B eşleştirilmiş MIKE+ hidrodinamik modeline bırakılmıştır. Shannon Entropi-TOPSIS çerçevesi kapsamında, üç tür kırılma türü üretmek için 24 göstergeden oluşan bir küme ele alınmıştır. Çalışma, göstergelerin genel sel riskleri üzerindeki etkilerinin belirgin bir şekilde fark edilmesi sebebiyle küresel sel yönetimi topluluğuna göstergelerin ihtiyatlı seçimi konusunda hayati bilgiler sunmuştur.

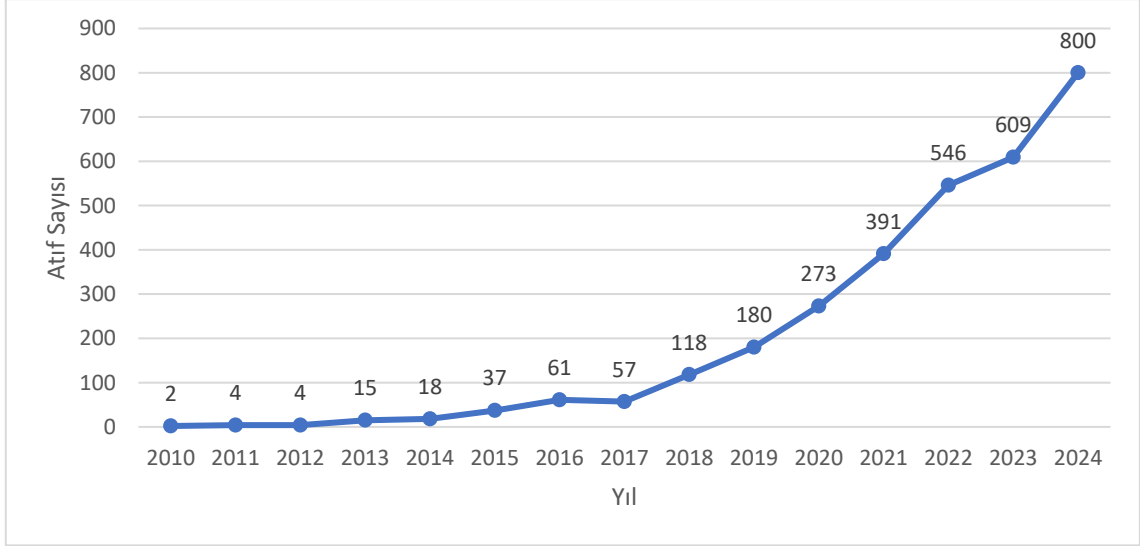
Yang vd.'nin (2023) çalışmasında, kuru bir iklime sahip olan ve buzul taşkınları (GLOF'lar) ve diğer birçok taşkından oluşan karışık taşkınlardan muzdarip olan batı Çin'deki Yarkant Nehri Vahası'nın orta kesimlerinde yer alan bölgenin taşkın riski haritalamasını tamamlamayı amaçlanmıştır. Bölgedeki taşkınların karmaşıklığı göz önüne alındığında, çalışma taşkın riski haritalamasını tamamlamak için iki tipik senaryo türü, yani taşkın senaryoları ve set kırılma senaryoları benimsemiştir. MIKE FLOOD 1B/2B birleşik modeli, taşkın riski değerlendirmesi için taşkın derinliklerini ve süresini hesaplamak amacıyla iki boyutlu taşkın akış simülasyonu için kullanılmıştır. Daha sonra, modelleme sonuçlarını ve arazi kullanımı/arazi örtüsü katmanlarını sosyoekonomik verilerle birleştirerek farklı senaryolar altında taşkın riski haritaları ve hasar kayıpları oluşturmak için mekansal bindirme analizi kullanılmıştır. Çalışma alanında buharlaşma ve sızma kayıplarının, uzun taşkın süreci, düşük yağış ve kuru yüzey/yeraltı koşulları nedeniyle ihmal edilebilir düzeyde olmadığı görülmektedir. Yetersiz buharlaşma ve sızma verileri nedeniyle, buharlaşma/sızma kayıp oranını hesaplamak için yeni bir sentez kayıp oranı yöntemi önerilmiştir. Su dengesi ilkesine dayanarak, su zayıflamasını hesaplamak için yukarı ve aşağı akış verileri kullanılır ve bu da daha sonra buharlaşma/sızma kayıp oranını tahmin etmek için kullanılır. Önerilen yöntem, bu tür veri kıtlığı olan alanlarda taşkın süreci sırasında buharlaşma/sızma kayıp oranlarını hesaplama sorununu çözebilir. Taşkın riski haritalama sonuçları, Yarkant Nehri boyunca taşkın riskinin yüksek olduğunu ve taşkınların ciddi su baskını kayıplarına neden olabileceğini göstermektedir.

Thakur ve Mohanty (2024) kıyısız çoklu afet havzalarındaki veri kıtlığının, özellikle sosyoekonomik ve fiziksel kırılma türleri söz konusu olduğunda, sel risklerine ilişkin bütüncül anlayışı sıklıkla engellediğini belirtmişlerdir. Çalışmada, yer tabanlı gözlemlere alternatif olarak görülen Uydu Yağış Ürünlerinin (UYÜ) sel riski dinamiklerini ne ölçüde etkileyebileceğinin henüz araştırılmadığı ifade edilerek sel

yönetimi literatüründeki en ilgi çekici soruları yanıtlamaya çalışılmıştır. Çalışma, ilk kez, iki yetkin UYÜ'nin çoklu afet sel riski haritalamasında uygunluğunu araştırmıştır. Eşzamanlı sel sürücülerinin dalga yayılımını hesaba katmak ve üç felaketli tarihsel sel olayı için yüksek çözünürlüklü sel tehlikesi haritaları oluşturmak üzere hesaplama açısından verimli bir MIKE+ 1B-2B hidrodinamik modeli geliştirilmiştir. Kırılğanlığın gizli özelliklerini anlamak için, Shannonentropi ve TOPSIS çerçevesinde 24 fiziksel ve sosyoekonomik göstergeden oluşan kapsamlı bir set ele alınmıştır. Köylerin %70'inden fazlasında sel riskinde büyük farklılıklar görülmüş ve bu durum verimli sel yönetiminde uygun UYÜ'lerin rolünü teyit etmektedir.

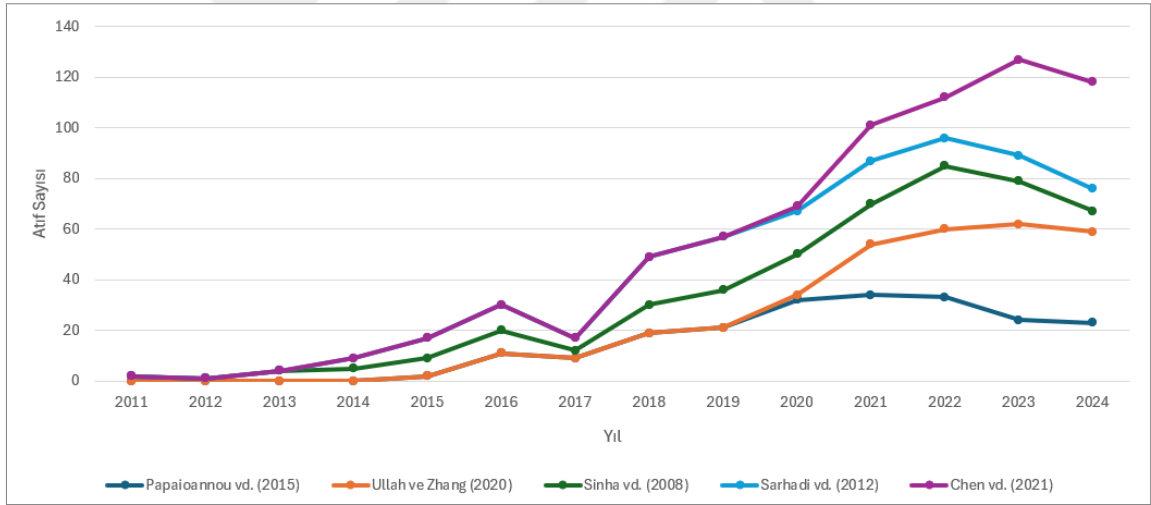
Iresh vd. (2024) Taşkın riski haritalaması ve taşkın yatağı imarları, taşkın hasarını azaltmak için pratik araçlar olarak ortaya çıkmaktadır. Çalışma, Taşkın sıklığı analizi ve MIKE 11 modellemesi kullanarak Aşağı Kelani Nehri havzasında taşkın yatağı imar haritaları geliştirmeyi amaçlamıştır. Hanwella ve Aşağı Kelani havzasındaki nehir ölçüm istasyonları için tahmin edilen taşkın kantilleri, taşkın haritası geliştirmeleri için kullanılmıştır. Hanwella'daki nehir ölçüm noktasından haliç nehir şeridine kadar olan alan, MIKE 11 modelleme yazılımı kullanılarak taşkın yatağı imarında dikkate alınmıştır. Hidrolojik modelleme, MIKE 11 Nedbor Afstromnings Modeli (NAM) kullanılarak gerçekleştirilirken, hidrolik modelleme MIKE 11 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hidroverimlilik (NSE) sonuçları sırasıyla 0,766 ve 0,607'dir. Benzer şekilde, Mike-Zero platformunda birleştirilmiş NAM ve HD modelinin kalibrasyon ve doğrulama NSE sonuçları sırasıyla 0,917 ve 0,871'dir. Hanwella Nehri ölçüm istasyonu ve Aşağı Kelani Nehri havzasında tahmin edilen tekrarlayan taşkın periyotları, taşkın haritalarının oluşturulmasında kullanılmıştır. Son olarak, Aşağı Kelani Nehri için 10, 25 ve 50 yıllık tekrarlama periyotları için taşkın yatağı bölge haritaları geliştirilmiştir. Bu haritalar, muson mevsiminde ekim alanlarını sınırlamak ve ürün kayıplarını azaltmak için kullanılabilir.

Literatür incelemesi kapsamında 2008 ve 2024 yılları arasında gerçekleştirilen 173 yayının WoS veritabanı üzerinden atıf sayıları incelenmiş, yıl bazında artış gösterdiği Şekil 2.2'den görülmektedir.



Şekil 2.2. Yıl Bazında Alınan Atıf Sayıları

En fazla atıfa sahip ilk beş yayın Papaioannou vd. (2015), Ullah ve Zhang (2020), Sinha vd. (2008), Sarhadi vd. (2012) ile Chen vd. (2021) şeklindedir. Bu yayınların yıllık aldıkları atıf sayıları Şekil 2.3'te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. En Fazla Atıfa Sahip İlk Beş Yayın İçin Atıf Sayıları

WoS veritabanında yer alan 173 yayın aldıkları atıflara göre sıralandığında en yüksek atıfa (toplam 220 atıf) Papaioannou vd.'nin (2015) çalışmasının sahip olduğu görülmüştür. Bu çalışmada CBS, bulanık mantık ve kümeleme teknikleri ile çok kriterli değerlendirme yöntemlerini içeren potansiyel taşkın riskli alanların haritalanması için bir çerçeve sunulmuştur. Faktörler, aynı düzeyde dengeye sahip olmayan farklı gruplara ayrılmıştır. Bu gruplar, havzanın jeofiziksel, morfolojik, klimatolojik/meteorolojik ve hidrolojik özelliklerinin yanı sıra antropojenik arazi kullanımıyla ilişkilidir. Coğrafi veri toplama ve işleme için CBS ve sayısal simülasyon kullanılmıştır. Seçilen faktör haritaları,

potansiyel taşkın eğilimli alanların mekansal dağılımını tahmin etmek için dikkate alınmıştır. Bu haritalar kullanılarak, çalışma alanı beş taşkın riski altındaki alan kategorisine sınıflandırılmıştır. Çok Kriterli Analiz (ÇKA) teknikleri olarak net ve bulanık analitik hiyerarşi süreci kullanılmıştır. Metodoloji, Yunanistan'ın Teselya bölgesinde yer alan, son birkaç yılda tekrar tekrar sular altında kalan Xerias Nehri havzasında uygulanmıştır. Gerçekleşen sellerin tarım alanları, ulaşım ağları ve altyapı üzerinde büyük etkileri olmuştur. Metodolojinin doğrulanması için tarihsel taşkın verileri kullanılmıştır. Sonuçlar, taşkına eğilimli alanların başlangıçtaki düşük maliyetli tespit araştırmalarında ve/veya taşkın tehlikesi haritalamasının ön analizinde birden fazla ÇKA tekniğinin dikkate alınması gerektiğini göstermiştir.

2020 yılında Ullah ve Zhang tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışma ile 2008 yılında Sinha vd. tarafından gerçekleştirilmiş olan çalışma 146'şar atıfa sahiptirler. Ullah ve Zhang'ın (2020) çalışmasının amacı, Pakistan'ın doğu Hindukuş bölgesindeki Panjkora Nehri Havzası'nda sel riski taşıyan alanları belirlemektir. Başlangıçta yapılan kapsamlı bir saha araştırması ve Landsat-7 ile Google Earth görüntülerinin yorumlanmasıyla 2010 selinde sular altında kalan 154 sel yeri belirlenmiş, toplam sel yerlerinin %70'i model oluşturmak için rastgele, %30'u ise modelin doğrulanması için kullanılmıştır. Eğim, yükseklik, arazi kullanımı, normalleştirilmiş bitki örtüsü fark indeksi, topografik ıslaklık indeksi, drenaj yoğunluğu ve yağış miktarı olmak üzere sekiz sel parametresi çalışma bölgesindeki sel riski taşıyan alanları haritalamak için kullanılmıştır. Hazırlanan tehlike haritası çok düşük, düşük, orta, yüksek ve çok yüksek duyarlılık olmak üzere beş sınıfta sınıflandırılmıştır. Çalışmanın bulgularının, hedef bölgedeki sel tehlikesi yönetiminde önemli bir rol oynayabileceği; yerel afet yönetim yetkilileri, araştırmacılar, planlamacılar, yerel yönetimler ve sel riski yönetimiyle ilgilenen kurumlar tarafından kullanılabilirliği belirtilmiştir. Sinha vd.'nin (2008) çalışmasında ise Doğu Hindistan'da yer alan Kosi Nehri havzasındaki taşkın sorunu ele alınmış ve taşkın hidrolojisinin analizi sunulmuştur. Hidrolojik analizi, havzanın bazı bölgelerinde CBS tabanlı bir taşkın riski haritalamasıyla entegre edilmiştir. Taşkın riski analizinde, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) kullanan çok parametrelili bir yaklaşım izlenmiş ve bir Taşkın Risk Endeksi önermek için jeomorfolojik, arazi örtüsü, topografik ve sosyal (nüfus yoğunluğu) parametreleri entegre edilmiştir. Taşkın risk haritası, uzun dönemli su baskını haritalarıyla doğrulanmış, taşkın riski taşıyan bölgelerde risk azaltma önlemlerinin planlanmasında uygun maliyetli bir çözüm sunmuştur.

Sarhadi vd.'nin (2012) çalışması toplam 134 atıf almış ve çalışmada ölçülmemiş nehirlerde taşkın yatağı haritalamasının kapsamlı bir metodolojisi sunulmuştur. Ölçülmemiş erişimlerde farklı tekrar periyotlarındaki taşkın kantillerinin tahmin edilmesi için bölgesel taşkın frekans analizi kullanılmıştır. Taşkın tehlike haritalarını belirlemek ve hidrolik modellemenin doğruluğunu artırmak için, 10 hidrolik model HEC-RAS için gerekli olan yüksek çözünürlüklü bir Dijital Arazi Modeli ve kanalın ayrıntılı parametrelendirmesini çıkarmak üzere Cartosat-1 uydusunun stereoskop görüntüleri Rasyonel Polinom Katsayıları ile uygulanmıştır. Taşkın eğilimli alanların gerçek zamanlı görselleştirilmesi için geometri özelliklerinin dikkatli bir şekilde optimize edilmesi amacıyla CBS tabanlı HEC-Geo RAS ön ve son işlemcisi de kullanılmıştır. Taşkın baskınlarını tahmin etmede bazı geçmiş taşkın olaylarına ait bilgiler de kullanılmıştır. Ayrıca, farklı tekrar dönemlerinde taşkınlardan etkilenen kritik altyapıları ve değerli arazi kullanım sınıflarını ayırt etmek için hassas alanlar, IRS-P6 uydu görüntülerinden alınan arazi kullanım haritalarıyla karşılaştırılmıştır.

Chen vd. (2021) tarafından gerçekleştirilen çalışma toplam 132 atıf almış ve çalışmada, daha önceki çalışmaların çeşitli tek faktörlü sel riskindeki zamansal değişiklikleri araştırdığı, çok azının iklim değişikliği, kentleşme ve sosyoekonomik gelişmenin ortak etkilerini dikkate aldığını belirtilerek; temsili konsantrasyon yolu (Representative Concentration Pathway-RCP) senaryolarına dayanarak, İnci Nehri Deltası üzerinde gelecekteki (2030-2050) sel riskinin kapsamlı bir değerlendirmesi, iklim değişikliği, kentleşme ve sosyoekonomik gelişmenin kapsamlı bir incelemesiyle birleştirilmiştir. Yağış aşırılıkları, bölgesel iklim modeli RegCM4.6 kullanılarak yansıtılmış ve kentleşme büyümesi CA-Markov modeline dayanarak yansıtılmıştır. Ekonomik ve nüfus gelişimi, paylaşılan sosyoekonomik yollar (PSY) tarafından tahmin edilmiştir. Sonuçlar, iklim değişikliği ve kentleşmenin önümüzdeki birkaç on yıl içinde İnci Nehri Deltası'nın çoğu bölgesinde sel riskini artırmasının ve buna paralel olarak daha yoğun aşırı yağış olaylarının yaşanmasının beklendiğini göstermiştir. Yüksek sel riski taşıyan alanların çoğunlukla elverişsiz arazi ve yoğun nüfusa sahip kentsel bölgelerde olacağı öngörülmüştür. Sera gazı emisyonlarının azaltılmasıyla, İnci Nehri Deltası üzerindeki sel riskini etkili bir şekilde hafifletebileceği önerilmiştir. Bu çalışmayla, sel riski ile değişen çevre arasındaki bağlantılar vurgulanmış ve sel riski yönetimi ile önleyici eylemlerin bölgesel uyum stratejilerine dahil edilmesi gerektiği önerilmiştir.

Son üç yıla ait güncel yayınlar incelendiğinde, en yüksek atıf sayısının olduğu yayınlar 2022 yılı için Deroliya vd. tarafından gerçekleştirilen 59 atıfa sahip yayın, 2023

yılı için Guan vd. tarafından gerçekleştirilen 26 atıfa sahip yayın ve 2024 yılı için Peker vd. tarafından gerçekleştirilen 27 atıfa sahip yayındır. Deroliya vd. (2022) jeomorfik taşkın tanımlayıcısına dayalı taşkın duyarlılığı ve genellikle göz ardı edilen sosyoekonomik kırılma bileşenlerinin bir kombinasyonunu dikkate alan yeni bir taşkın riski haritalama yaklaşımını sergilemiştir. Üç popüler makine öğrenmesi modeli; Karar Ağacı, Random Forest ve Gradyan Destekli Karar Ağaçları, Hindistan'ın Aşağı Mahanadi Nehri havzasında bulunan sel eğilimli bir bölge olan Jagatsinghpur'da sel duyarlılığını ölçmek için dijital arazi modeli türevi jeomorfik taşkın tanımlayıcıları birleştirme yetenekleri açısından değerlendirilmiştir. En iyi makine öğrenmesi modelini belirlemek için alıcı işletim karakteristikleri eğrisi altındaki alan ve Cohen'in kappası kullanılmıştır. Random Forest modelinin hem eğitim hem de test veri kümelerinde diğer iki modele kıyasla daha iyi performans gösterdiği ve her birinde 0,88'lik alıcı işletim karakteristikleri eğrisi puanı aldığı görülmüştür. Sosyo-ekonomik kırılma değerlendirilmesinde, Veri Zarflama Analizi'nin Charnes-Cooper-Rhodes modeli kullanılarak gösterge tabanlı bir yaklaşım izlenmiştir. Bölgenin ilgili sosyo-ekonomik duyarlılığını ve uyarlanabilir kapasite göstergeleri birleştirilmiştir. Jagatsinghpur'a yayılmış köylerin %40'ından fazlasının yüksek ve çok yüksek sel riskiyle karşı karşıya olduğu gözlemlenmiştir. Geliştirilen yaklaşımın nispeten veri ve hesaplama açısından tutumlu olması sebebiyle, geniş bölgelere kolayca uygulanabileceği belirtilmiştir.

Guan vd. (2023) yeterli yüksek kaliteli veri bulunmadığında, standart bir sel baskını modelleme yaklaşımının belirsizlikler içerdiğini belirterek, çalışmalarında açık kaynaklardan veri toplama ile şebeke tabanlı sel modellemesinin entegrasyonu üzerine kurulu, çoklu düzeylerde (şebeke-kilometre-ilçe) kentsel sel tehlikesi haritalaması için aşağıdan yukarıya bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Bu yaklaşım, veri kıtlığı ve kalitesinin tehlike modellemesi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaktadır. İlk olarak, kitle kaynaklı sosyal medya verileriyle desteklenen bir hidrodinamik model kullanılarak kentsel bir havzada şebekeli sel haritalaması için bütünlük bir yaklaşım ortaya koyulmuş, daha sonra model Ağustos 2020'de Chengdu'daki sellere uygulanarak, girdi verisi sapmasının ve parametre belirsizliğinin kentsel sel modellemesini nasıl etkilediği ortaya koyulmuştur. Sonuçlar, arazi verilerinin seçiminin ve kentsel drenaj akışlarının nicelleştirilmesinin, modellenen kentsel sel kapsamını, derinliğini ve süresini önemli ölçüde etkilediğini göstermiştir. Geliştirilen çok seviyeli tehlike haritalama yaklaşımı, çok katmanlı ve kapsamlı bir su baskını haritalaması sunmuş; böylece veri sapması veya kullanılabilirliğinin etkileri azaltılmış ve daha kaba tehlike haritalaması, veri girdi

kalitesine ve model belirsizliğine daha az duyarlılık göstererek, yüksek mekansal ölçekte nispeten daha yüksek güvenilirlik gösterdiği ifade edilmiştir.

Peker vd. (2024) Mersin ilindeki Göksu Havzası için taşkın modellemesi geliştirmişlerdir. Taşkın tehlike ve risk haritaları CBS, HEC-RAS ve HEC-HMS kullanılarak hazırlanmıştır. Hidrolik modellemede Manning'in n değerleri 2018 CORINE verilerinden, tekrarlanan periyot akış hızları (Q25, Q50, Q100, Q500) HEC-HMS'den elde edilmiş ve uygulama 5 m çözünürlüklü sayısal yüzey modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında su derinlikleri 10 m'ye kadar ulaşabilmekte ve su hızları yaklaşık 0,7 m/s olarak tespit edilmiştir. Bu değerler ve çalışma alanının kentsel bir alan olması göz önünde bulundurularak, Birleşik Krallık Çevre, Gıda ve Kırsal İşler Bakanlığı (DEFRA) yöntemine göre tehlike haritaları oluşturulmuştur. Sonuçlar, HEC-HMS ile çalışma alanında Q25 ile Q500 aralığında, 1191,7 m³/sn ile 1888,3 m³/sn aralığında olası taşkın debilerinin tespit edildiğini göstermiştir. Taşkınlar, Q25 akış hızı (4288 km² ile 5767 km²) koşullarında da meydana gelmiş ve etkilenen alanlar DEFRA yöntemine göre son derece riskli olarak sınıflandırılmıştır.

2.2. Türkiye'den Çalışmalar

Son yıllarda taşkın modelleme çalışmaları, afet yönetimi ve kentsel planlama süreçlerinin ayrılmaz bir parçası hâline gelmiştir. Özellikle HEC-RAS, MIKE FLOOD ve FLO-2B gibi hidrolik modelleme yazılımları, taşkın yayılımının mekânsal ve zamansal analizi için yaygın biçimde kullanılmaktadır. Örneğin Bozdoğan ve Canpolat (2024), Rize ili örneğinde gerçekleştirdikleri çalışmada, HEC-RAS ile yapılan taşkın simülasyonları sonucunda köprü ve menfez gibi yapısal elemanların taşkın davranışına etkilerini detaylı biçimde ortaya koymuştur. Benzer şekilde Ardıçoğlu (2024), baraj yıkılması senaryolarını HEC-RAS 6.4 yazılımı ile iki boyutlu olarak simüle etmiş ve özellikle düz alanlarda 2B modellemenin yüksek çözünürlüklü taşkın yayılım analizleri için elzem olduğunu göstermiştir. Bu tür modelleme yaklaşımları, İnceağrı deresi gibi hem yatak içi hem de yerleşim alanlarıyla etkileşimli havzalarda uygulanabilir yöntemler sunmaktadır.

Literatürde, taşkın modelleme çalışmalarında sadece fiziksel modeller değil, aynı zamanda çok kriterli karar verme teknikleri de kullanılmaktadır. Çanta (2022), AHP yöntemi ile farklı jeomorfolojik ve hidrolojik parametreleri ağırlıklandırarak taşkın tehlike alanlarını CBS ortamında sınıflandırmıştır. Bu yaklaşım, İnceağrı deresi Havzası gibi küçük ölçekli ancak karmaşık topoğrafyaya sahip alanlarda taşkın öncelikli

bölgelerin belirlenmesi için analitik bir altyapı sunmaktadır. Ayrıca Çakmak (2023), MIKE FLOOD yazılımı ile 1B ve 2B modelleri entegre ederek taşkın yayılımının daha gerçekçi bir şekilde simülasyonunu sağlamıştır. Bu da, hem kanal içi hem de taşkın yayılım alanlarının birlikte modellenmesi gereken havzalar için yol gösterici niteliktedir.

Öte yandan, veri eksikliği durumlarında kullanılacak ampirik yöntemlerin taşkın tahminlerinde ne derece etkili olabileceği çeşitli çalışmalarla gösterilmiştir. Demir ve Keskin (2022), yeterli akım verisi bulunmayan Mert Irmağı'nda DSİ sentetik yöntemleri kullanarak taşkın debilerini hesaplamış ve FLO-2B ile taşkın yayılımını simüle etmiştir. Aynı şekilde Büyükdiñç (2023), Aydın ilinde farklı ampirik taşkın debisi hesaplama yöntemlerini karşılaştırarak, havza ölçeğinde en uygun yöntemin belirlenmesi üzerine çalışmıştır. Bu örnekler, İnceağrı deresi gibi uzun yıllara dayalı debi verisi bulunmayan akarsularda model kalibrasyonu açısından yol gösterici olabilir.

Taşkın yönetiminde erken uyarı sistemlerinin kurulması da önemli bir literatür başlığıdır. Demir (2024), Sakarya Nehri'nde kurduğu gerçek zamanlı nehir izleme istasyonu ile taşkın seviyelerinin uzaktan izlenmesini sağlamış ve uyarı eşikleri tanımlamıştır. Benzer şekilde Burgan (2013), kentsel alanlarda taşkın erken uyarı sistemlerinin nasıl tasarlanması gerektiğine dair teknik ve yönetsel ilkeleri sunmuştur. Bu tür sistemlerin İnceağrı deresi gibi yerleşimle iç içe olan havzalarda uygulanması, yalnızca modelleme değil, aynı zamanda sahadan veri alınarak sistemin doğrulanması açısından önemlidir.

Taşkın olaylarının neden olduğu ekonomik kayıplar da literatürde ele alınan önemli bir boyuttur. Çelik (2017), taşkın sonrası bina ve arazi temelli ekonomik kayıpları hesaplamak üzere bir yöntem önermiştir. Bu tür analizler, Gazipaşa gibi kıyı yerleşimlerinde taşkın zararlarının sadece fiziksel değil, aynı zamanda ekonomik boyutlarıyla da değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır. Literatürde ayrıca model seçiminde dikkat edilmesi gereken teknik kriterler de değerlendirilmiştir. Demir, Beden ve Keskin (2022), taşkın modelleme yöntemlerini sayısal, kavramsal ve deneysel olarak sınıflandırmış; bu yöntemlerin veri ihtiyacı, uygulama alanı ve hesaplama karmaşıklığı açısından karşılaştırmalı analizini sunmuştur.

Konu gruplamaları yaparak ele alınan bu çalışmalar dışında Türkiye'de gerçekleştirilen diğer çalışmalar şu şekildedir:

Kaya (2012), taşkın olaylarının geçmişten günümüze değişen eğilimlerini analiz ederek özellikle Türkiye'de taşkın hasarlarının artış nedenlerini ortaya koymuştur. Bu

çalışmada, yanlış arazi kullanımı, yapılaşma baskısı ve yetersiz taşkın önlemlerinin taşkın riskini artıran temel faktörler olduğu vurgulanmıştır.

Sönmez (2013), Türkiye'deki taşkın yönetim politikalarının tarihsel evrimini ve mevcut uygulamaların zayıf yönlerini tartışmıştır. Özellikle yerel yönetimlerin koordinasyon eksikliği ve veri temelli karar süreçlerinin yetersizliği vurgulanmış; bu durumun taşkın hasarlarını artırdığı belirtilmiştir. Şahin vd. (2013), Karasu Nehri örneğinde taşkın yönetimi üzerine yaptıkları çalışmada, taşkın öncesi, anı ve sonrası için stratejik çözüm önerileri geliştirmiştir. Özellikle taşkın sonrası toparlanma kapasitesinin artırılmasına yönelik politika önerileri, yerel halkın bilgilendirilmesi ve hazırlıklı olmasına vurgu yapmaktadır.

Kaya (2017), taşkın riskinin yönetiminde yapısal olmayan önlemlerin rolünü ön plana çıkararak taşkınla mücadelede farkındalık, eğitim, arazi kullanımı planlaması gibi sosyal bileşenlerin etkisini irdelemiştir. Kuşoğlu (2017), Bartın Çayı üzerinde yürüttüğü çalışmada, HEC-RAS ve CBS entegrasyonu ile taşkın yayılım sınırlarını tespit etmiş ve bu sınırların mekânsal planlama üzerindeki etkilerini analiz etmiştir. Çalışmada ayrıca nüfus yoğunluğu, altyapı ve arazi kullanımı verileri de risk sınıflandırmasında kullanılmıştır. Şen (2017), taşkınların yalnızca meteorolojik olaylardan değil, aynı zamanda yanlış arazi kullanımı ve yetersiz altyapıdan kaynaklanan karmaşık süreçlerin sonucu olduğunu vurgulamıştır. Çalışmada taşkınların sınıflandırılması, oluşum mekanizmaları ve etkili taşkın yönetimi yaklaşımları detaylı biçimde ele alınmış, özellikle taşkın tahmini ve erken uyarı sistemlerinin yerel düzeyde uygulanabilirliğine dikkat çekilmiştir.

Hırca (2018) tarafından yürütülen çalışmada, İstanbul'un yoğun yapılaşmaya sahip bölgelerinde taşkın riski değerlendirilmiş ve erken uyarı sistemlerinin gerekliliği vurgulanmıştır. Çalışma, yerleşim içinden geçen akarsuların taşkın potansiyelini artıran faktörler olarak yüzey geçirimsizliği ve kanal daralmalarını ön plana çıkarmaktadır.

Şen (2019), taşkın olaylarının nicel analizi ve istatistiksel yöntemlerle öngörülebilirliği üzerinde durmuş, taşkın frekans analizlerinin mühendislik tasarımlarında nasıl kullanılabileceğini örneklemiştir. Ayrıca, taşkın karakteristiklerinin yerel iklim ve havza özelliklerine göre değiştiği vurgulanmıştır. Dere (2019) tarafından yürütülen çalışmada, Türkiye genelindeki farklı havzalarda meydana gelen taşkınlar analiz edilerek, iklim değişikliği ve arazi kullanım değişikliklerinin taşkın dinamikleri üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Özellikle kıyı bölgelerinde artan taşkın riskine dikkat çeken çalışma, sayısal modelleme ve hidrolojik verilerin uzun dönemli eğilim

analizleriyle bütünleştirilmesini önermektedir. Gülbaz (2019) çalışmasında, İstanbul'un kentsel alt havzalarında taşkın yayılımı yüksek çözünürlüklü raster tabanlı modelleme ile analiz edilmiştir. LIDAR destekli sayısal yükseklik modeli verileri, taşkın alanlarının milimetrik doğrulukla modellenmesini mümkün kılmıştır. Çalışma, küçük akarsu sistemleri için detaylı yüzey verisi ve modelleme entegrasyonunun, taşkın dinamiklerini anlamada ne denli önemli olduğunu vurgular.

Kaya (2022), taşkın modelleme çalışmalarında 1-boyutlu (1B) ve 2-boyutlu (2B) yaklaşımları karşılaştırmalı olarak ele almıştır. Fol Deresi üzerinde yapılan çalışmada, yüksek çözünürlüklü dijital arazi modeli, CBS tabanlı analizler ve HEC-RAS yazılımı kullanılarak taşkın yayılımı modellenmiştir. Çalışma, arazi topoğrafyasına göre 2B modellemenin daha hassas sonuçlar ürettiğini ortaya koyarken, 1B modellerin ise kanal akışına odaklı olduğu ve bazı durumlarda yetersiz kalabileceğini göstermektedir. Özdemir (2022), taşkın tahmini ve risk analizinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UZAL) ve hidrolik modelleme entegrasyonunun önemini ortaya koymuştur. Bu çalışma, özellikle akarsu yataklarının taşkın yayılım alanlarının belirlenmesinde sayısal arazi modelleri ile CBS'nin kullanılmasının analiz sürecini hem hızlandırdığını hem de doğruluk düzeyini artırdığını göstermektedir. Polat (2022) tarafından yapılan çalışmada, Bergama Havzası için mekânsal analiz yöntemleri kullanılarak taşkın tehlike haritası oluşturulmuştur. Coğrafi bilgi sistemleri destekli analizlerde LIDAR verileri ve HAND yöntemi kullanılmış, bu sayede taşkın anında su altında kalabilecek bölgeler önceden tespit edilmiştir.

Karabulut (2022), Riva Deresi Havzası'nda taşkın riski analizi gerçekleştirirken Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), Uzaktan Algılama (UA) ve LIDAR tabanlı sayısal arazi modeli gibi ileri veri teknolojilerini entegre etmiştir. Çalışma, baraj emniyeti, taşkın senaryoları ve taşkına duyarlı yapıların tespiti gibi çok katmanlı analizleri içermektedir. Yekeler (2022) tarafından gerçekleştirilen çalışma, büyük baraj yapılarına ait ani yıkılma senaryolarında oluşabilecek taşkınların coğrafi bilgi sistemleri (CBS) desteğiyle modellenmesini konu edinmiştir. Atatürk Barajı gibi büyük su yapılarının yıkılması durumunda ortaya çıkan taşkın dalgası, özellikle nehir yatakları ve çevresindeki yerleşim alanları açısından ciddi bir risk teşkil etmektedir. Bu çalışma, taşkınların sadece doğal değil, yapay nedenlerle de meydana gelebileceğini göstermesi bakımından önemlidir.

Yılmaz (2022) çalışmasında, Afyonkarahisar ili Şuhut ilçesinde gerçekleşen geçmiş taşkın olayları esas alınarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve HEC-RAS yazılımı yardımıyla taşkın modellemesi yapılmıştır. Çalışmada, saha gözlemleri, uzaktan

algılama verileri ve sentetik birim hidrograflar aracılığıyla yağış-akış ilişkileri belirlenmiş, ardından taşkın haritaları oluşturulmuştur. Bu yöntem, veri yetersizliği bulunan küçük havzalar için örnek teşkil eder. Wahidi (2022) çalışmasında ise, taşkın risk yönetimi kapsamında uzaktan algılama verilerinin ve zaman serili uydu görüntülerinin nasıl kullanılabileceği incelenmiştir. Özellikle alçak alanların hassasiyetine dayalı mekânsal analizler, taşkın tahmini ve yayılım senaryolarının doğruluğunu artırmaktadır. Taş (2022), Samsun'un Çarşamba ilçesindeki taşkın riskini modellemek için HEC-RAS ve CBS tekniklerini birleştirmiş, sayısal yükseklik modeli (DEM) yardımıyla potansiyel taşkın alanlarını haritalamıştır. Bu yöntem, taşkın sınırlarının yerleşim alanlarıyla kesişimini ve olası zarar görebilecek bölgeleri belirlemek açısından kullanılmıştır.

Spor (2023) çalışmasında, taşkın riski değerlendirmesi fiziksel parametrelerin yanı sıra sosyal hassasiyet göstergeleriyle de bütünleştirilmiş, çok kriterli karar verme yöntemleriyle risk zonları belirlenmiştir. Bu yaklaşım, yalnızca hidrolik modellemeyle değil, aynı zamanda kırılma ve maruziyet analizleriyle de desteklenen çok boyutlu bir taşkın değerlendirmesi sunmaktadır. Hacı (2023) çalışmasında, taşkın riski analizinde hem fiziksel parametrelerin (eğim, yükseklik, yağış vb.) hem de sosyal kırılma göstergelerinin (nüfus yoğunluğu, bina yoğunluğu) birlikte değerlendirildiği bütüncül bir yaklaşıma yer verilmiştir. CBS destekli bu analizde, taşkın risk haritaları çoklu kriterlerin ağırlıklandırılmasıyla oluşturulmuş ve risk zonları mekânsal olarak sınıflandırılmıştır.

İlhan (2023), taşkın modellemesinde sayısal yükseklik modeli (SYM) kalitesinin taşkın haritalarının doğruluğu üzerindeki etkisini incelemiştir. Çalışmada, farklı çözünürlükteki SYM verileri kullanılarak yapılan HEC-RAS modellemeleri sonucunda, düşük çözünürlükteki verilerin taşkın sınırlarını ciddi oranda sapmayla tahmin ettiği ortaya konmuştur. Küçüköğlü (2023) çalışmasında, taşkın yayılımı ve risk değerlendirmesi için çok kriterli karar verme yöntemleri (ÇKKV) ve CBS araçları birlikte kullanılmıştır. Arazi eğimi, akım yoğunluğu ve zemin geçirgenliği gibi parametrelerle taşkın duyarlılık haritası oluşturulmuştur. Menteşe (2023), Aydın iline bağlı bir taşkın havzasında MIKE 21 modeli kullanarak 2B taşkın yayılımı modellemesi yapmıştır. Özellikle alüvyal tabanlı alanlarda modelin yüksek doğruluk sağladığı belirtilmiştir. MIKE 21'in sunduğu ayrıntılı yayılım alanı ve derinlik verileri, Gazipaşa gibi düz alanlara yayılan taşkınlar için gerçekçi senaryolar üretme imkânı sunar.

Demirdelen (2024) çalışmasında, hidrolik modelleme ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegre edilerek taşkın riski altındaki yerleşim birimlerinin belirlenmesine yönelik yöntemsel bir çerçeve sunulmuştur. Çalışma, farklı taşkın senaryoları altında su derinliği,

taşkın yayılım alanı ve potansiyel zarar grebilirliği analiz etmiştir. Modelleme sürecinde özellikle yerleşim yerlerine yakın bölgelerde yüksek çözünürlüklü sayısal arazi modelleri kullanılmıştır. Kahya (2024), Bartın ayı üzerinde gerçekleştirdiği taşkın analizinde, farklı taşkın periyotlarına karşılık gelen debilerin HEC-RAS ile modellenmesini ve taşkın yayılım sınırlarının CBS ile görselleştirilmesini sağlamıştır. Çalışma, özellikle taşkın derinliği ve hızının yerleşim ve tarım alanları üzerindeki etkisini analiz etmiş; bu tür analizlerin afet öncesi müdahale planlarının hazırlanmasında kritik olduğunu ortaya koymuştur. Kalın (2024), Muş Havzası'nda HEC-RAS ve CBS tabanlı bir taşkın risk analizi gerçekleştirmiş ve özellikle yükselti, yağış ve akarsu yoğunluğu gibi morfometrik faktörlerin taşkın oluşumuna etkisini ayrıntılı biçimde ortaya koymuştur. Arazi kullanım verileriyle entegre edilen model, havza içi farklı debi koşullarında potansiyel taşkın alanlarını sınıflandırmıştır.

ztrkci ve Dikici (2024), Aras Havzası'nda yer alan Kars ayı için MIKE yazılımı kullanarak taşkın modelleme çalışması gerçekleştirmiştir. Çalışmada, dijital yükseklik modelleri ve farklı tekerrür sürelerine sahip debiler kullanılarak taşkın riski analiz edilmiştir. Özellikle MIKE yazılımının, farklı senaryolarda taşkın yayılım alanlarını modelleme kapasitesi vurgulanmış ve taşkın tehdidi altındaki bölgelerin belirlenmesi sağlanmıştır. Kart (2024) alışmasında, taşkın tehlikesinin zamansal değişkenlik göstermesi dikkate alınarak taşkın periyotları farklı geri dönüş aralıklarında incelenmiştir. HEC-RAS ile yapılan bu analizlerde, taşkın yayılım alanları hem derinlik hem de hız parametreleri açısından sınıflandırılmıştır. Bu yöntem, taşkının farklı büyüklüklerdeki etkisini anlamaya yönelik kapsamlı bir senaryo analizi sunar ve farklı debi senaryolarına dayalı risk haritalarının hazırlanması açısından örnek niteliği taşımaktadır.

Ergül ve Aydın (2025), HEC-RAS modeli ile gerçekleştirdikleri taşkın yayılım analizinde, farklı geri dönüş periyotlarına sahip debi senaryoları üzerinden taşkın tehlike alanlarını belirlemişlerdir. Ayrıca taşkın derinliği ve akım hızı gibi hidrolik parametreleri risk haritalarında sınıflandırarak detaylı bir karar destek sistemi sunmuşlardır.

2.3. Taşkın ve Taşkın Riski Tanımı

Taşkın, hidrolojik çevrimin doğal bir unsuru olmakla birlikte, belirli hidrometeorolojik koşullar altında çevresel, ekonomik ve sosyal sistemler üzerinde ciddi etkiler doğuran karmaşık bir olaydır. Bu olay genellikle ani ve yoğun yağışlar, hızlı kar erimeleri, deniz seviyesi yükselmeleri ya da baraj gibi hidrolik yapıların işlev

bozuklukları sonucu oluşur ve suyun doğal veya yapay akış yollarının kapasitesini aşarak çevreye yayılmasıyla tanımlanır (Şen, 2017; Maranzoni vd., 2022). Şen (2017), taşkını özellikle drenaj sistemlerinin taşıma kapasitesinin üzerinde gerçekleşen yüzey akışı olarak tanımlar ve bu durumun yerleşim alanlarında ciddi zarar potansiyeli taşıdığını vurgular.

Taşkın oluşumu sadece meteorolojik girdilere değil, aynı zamanda topografik yapı, arazi kullanım biçimleri ve insan müdahalesinin boyutuna da bağlıdır. Maranzoni vd. (2022), taşkınları yalnızca doğal süreçlerin sonucu olarak değerlendirmek yerine, artan kentleşme, geçirimsiz yüzeylerin yaygınlaşması, yetersiz altyapı sistemleri ve plansız yapılaşma gibi antropojenik faktörlerin de bu sürecin önemli bileşenleri haline geldiğini belirtmektedir. Kentleşmeyle yüzey sızmasının azalması, akışın hızlanması ve kanal kapasitesinin sınırlı kalması, taşkınların sıklığını ve etkisini artırmaktadır.

Bu çerçevede, taşkınlar hem doğal sistem dinamiklerinin hem de insan faaliyetlerinin etkileşimli sonucudur. Bu nedenle taşkınların yalnızca hidrometeorolojik olaylar olarak ele alınması yetersizdir; kentsel morfoloji, arazi planlaması ve altyapı yeterliliği gibi mekânsal ve yapısal faktörlerin de taşkın dinamikleriyle bütüncül şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Seller ve diğer hidrometeorolojik olaylar, çok sayıda atmosferik, hidrolojik ve coğrafi faktörün etkileşimiyle oluşan karmaşık doğa olaylarıdır. Sel riskini anlamak ve yönetebilmek için bu olayların sınıflandırılması büyük önem taşır. Literatürde yapılan araştırmalar, sel olaylarının nedensel mekanizmalarına göre çeşitli kategorilere ayrılabilirliğini ortaya koymaktadır (Tarasova vd., 2019; Merz & Blöschl, 2003).

Uzun süreli yağmur selleri, genellikle geniş bir alana yayılan ve birkaç gün süren yağış sistemleriyle ilişkilidir. Bu tür seller, özellikle büyük havzalarda sıkça görülür ve suyun toprak tarafından doyurulması sonucu yüzey akışının artmasıyla oluşur. Kısa süreli yağmur selleri ise daha kısa sürede gerçekleşen fakat yine de etkili yağışlarla meydana gelir (Merz & Blöschl, 2003). Diğer yandan, ani seller (flash floods), yoğun ve kısa süreli yağışların dik eğimli veya geçirimsiz zeminlerde neden olduğu ani su birikimiyle ortaya çıkar. Bu seller genellikle yüksek can kaybına yol açabilecek potansiyele sahiptir (Archer & Fowler, 2018).

Yağmurla birlikte eriyen kar kütlelerinin neden olduğu kar-üzerine-yağmur selleri ve kar erimesine dayalı seller, özellikle yüksek enlemlerde ve dağlık bölgelerde meydana gelir. Bu tür sellerin oluşumunda, mevcut kar örtüsü ve sıcaklık artışları belirleyicidir (Merz & Blöschl, 2003). Bileşik taşkınlar ise, aynı anda veya ardışık şekilde gerçekleşen

birden fazla sel sebebinin birleşmesiyle ortaya çıkar. Nehir akışı ile kıyı taşkınlarının aynı anda meydana geldiği bu tür seller, özellikle kıyı şehirlerinde ciddi etkiler yaratır (Hendry vd., 2019). Bu farklı sel türlerinin oluşmasında meteorolojik koşullar temel belirleyicilerden biridir. Fırtına sistemlerinin özellikleri, yağışın süresi ve şiddeti, atmosferik sirkülasyon desenleri gibi faktörler, selin zamanlamasını ve şiddetini belirler (Droegemeier vd., 2000). Ayrıca, iklim değişikliği kaynaklı yağış yoğunluklarındaki artış, sellerin daha sık ve daha şiddetli yaşanmasına neden olmaktadır (Kundzewicz vd., 2010).

Bölgesel muson sistemleri de taşkın dinamiklerinde etkili olmaktadır. Hindistan'da gerçekleştirilen bir örnekte olduğu gibi, muson mevsiminde gerçekleşen yoğun ve sürekli yağışlar, halihazırda nemli olan toprağın yüzey akışına neden olmasıyla taşkın riskini artırmaktadır (Dhar & Nandargi, 2003).

Son yıllarda tahmin tekniklerinde yaşanan gelişmeler, sel olaylarını öngörmede önemli ilerlemeler sağlamıştır. Topluluk temelli erken uyarı sistemleri ve hidrometeorolojik tahmin modelleri, belirsizliklerin azaltılmasına yardımcı olurken karar vericilere etkin müdahale imkânı tanımaktadır (Duan vd., 2017). Ayrıca, tarihsel ve araçsal verilerin analizi, taşkın olaylarının sıklığını ve eğilimlerini anlamaya katkı sunarak mevcut sınıflandırma sistemlerini iyileştirmektedir (Tarasova vd., 2019).

Tüm bu gelişmelere rağmen, sel olaylarının tahmini ve yönetiminde zorluklar devam etmektedir. Atmosferik süreçler ile yeryüzü koşulları arasındaki karmaşık etkileşim, iklim değişikliğinin getirdiği belirsizliklerle birleştiğinde, sürekli güncellenen bilgi ve uyarlanabilir yönetim stratejilerini gerekli kılmaktadır. Bu bağlamda, tarihsel veriler ile modern tahmin tekniklerinin entegrasyonu, sel riskinin daha doğru anlaşılmasına ve etkili azaltım stratejilerinin geliştirilmesine olanak sağlar.

Taşkın riski (flood risk), bir taşkın olayının meydana gelme olasılığı ile bu olayın doğurabileceği fiziksel, sosyal, çevresel ve ekonomik sonuçların bileşkesidir. Avrupa Birliği'nin 2007/60/EC sayılı Taşkın Direktifi'nde bu kavram, "belirli bir taşkın olayının gerçekleşme olasılığı ile bu olayın insan sağlığı, çevre, kültürel miras ve ekonomik faaliyetler üzerindeki potansiyel olumsuz etkilerinin birleşimi" olarak tanımlanmıştır (European Council, 2007). Bu yaklaşım, yalnızca hidrometeorolojik olayın kendisine odaklanmakla kalmaz; aynı zamanda bu olayın etkilediği unsurların niteliğini ve kırılganlığını da dikkate alan çok boyutlu bir değerlendirmeyi zorunlu kılar.

Kron (2005) tarafından geliştirilen ve daha sonra IPCC (2012) ile diğer akademik çerçevelerde de benimsenen formülasyona göre taşkın riski üç temel bileşenin çarpımı olarak ifade edilir:

$$\text{Taşkın Riski (Flood Risk)} = \text{Tehlike (Hazard)} \times \text{Maruziyet (Exposure)} \times \text{Duyarlılık (Vulnerability)}$$

Bu çerçevede formüldeki kavramların tanımları şu şekildedir:

Tehlike: Belirli bir taşkın olayının gerçekleşme olasılığına ve şiddetine işaret eder. Debi, su derinliği, akış hızı, taşkın süresi gibi hidrodinamik parametrelerle nicel olarak tanımlanabilir (Tsakiris, 2014).

Maruziyet: Taşkın etkisine açık olan nüfus, altyapı, yapılar ve ekonomik değerlerin mekânsal dağılımıdır. Maruziyetin yoğunluğu, riskin büyüklüğünü doğrudan etkiler (Kron, 2005).

Duyarlılık: Maruz kalan unsurların zarar görme eğilimini ifade eder ve yapı dayanımı, erken uyarı sistemlerinin varlığı, müdahale kapasitesi, sigorta kapsamı gibi faktörlerle ilişkilidir (Cea & Costabile, 2022).

Maranzoni vd. (2022), taşkın riskini daha da ayrıntılandırarak bu kavramın yalnızca oluşan fiziksel zararlarla sınırlı olmadığını; taşkın şiddeti, suyun yükselme hızı, taşkın süresi, kirleticiler ve sediman yükü gibi parametrelerin de göz önünde bulundurularak nicel risk modellemesine konu edilmesi gerektiğini belirtmektedir. Bu parametreler, risk haritalarının üretilmesinde ve karar destek sistemlerinin beslenmesinde önemli rol oynar. Öte yandan de Moel vd. (2015), taşkın riskinin değerlendirilmesinde yalnızca doğrudan zararların değil, aynı zamanda dolaylı ekonomik etkiler, sosyal kırılmalıklar ve kritik altyapının işlev kayıpları gibi ikincil sonuçların da hesaba katılması gerektiğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde Cea ve Costabile (2022), iklim değişikliği ve kentleşme gibi dinamik faktörlerin, taşkın riskini gelecekte daha karmaşık ve öngörülmesi zor bir yapı haline getirdiğine dikkat çekerek, uyarlanabilir ve bütüncül risk yönetimi yaklaşımlarının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

2.4. Risk Artışının Nedenleri ve Önemi

Son yıllarda taşkın riski, sadece olayların fiziksel büyüklüğü açısından değil, aynı zamanda toplumsal kırılmalıklık, mekânsal baskılar ve iklimsel belirsizlikler nedeniyle de belirgin biçimde artış göstermektedir. Bu artışın arkasında, birbirini pekiştiren çok sayıda doğal ve insan kaynaklı etken yer almaktadır.

Öncelikli etkenlerden biri olan iklim değışikliği, özellikle aşırı yağış olaylarının sıklığı, şiddeti ve mekânsal dağılımında gözlenen değışimlerle taşkın oluşum riskini artırmaktadır. Kundzewicz vd. (2019), küresel ölçekte sellerin frekansında ve etkilediği nüfus sayısında son on yıllarda önemli artışlar yaşandığını ve bu durumun büyük ölçüde iklim temelli dinamiklerle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. İkinci önemli faktör olan yoğun ve düzensiz kentleşme, yüzey geçirimsizliğini artırarak infiltrasyon kapasitesini azaltmakta ve yüzey akışını şiddetlendirmektedir. Morita (2014), özellikle şehir içi drenaj alanlarında, betonlaşma ve asfaltlaşmanın yüzey akışının süresini kısaltarak taşkın tepkisini hızlandırdığını göstermektedir. Buna ek olarak, plansız yapılaşma ve uygunsuz arazi kullanımı, taşkın riski altındaki bölgelerde insan yerleşimlerini artırarak maruziyeti güçlendirmektedir. Vojtek ve Vojteková (2016), yerleşimlerin sıklıkla taşkın tehlikesi yüksek bölgelerde konulduğunu ve bu durumun doğrudan ekonomik ve insani kayıplara yol açtığını ifade etmektedir.

Öte yandan, yetersiz altyapı sistemleri ve önleyici tedbir eksiklikleri, taşkın riskinin yönetilememesine neden olan bir başka yapısal sorundur. Özellikle düşük kapasiteli drenaj sistemleri, erken uyarı sistemlerinin olmayışı ve kurumlar arası koordinasyon eksikliği, afetin etkisini büyütmektedir (Cea & Costabile, 2022).

Tüm bu nedenler ışığında, taşkın riski artık yalnızca fiziksel mühendislik yapılarıyla (örneğin barajlar, setler, menfezler) kontrol altına alınabilecek bir olgu olmaktan çıkmış; bütüncül ve uyarlanabilir risk yönetimi yaklaşımları ile ele alınması gereken çok boyutlu bir sorun haline gelmiştir. Tsakiris (2014), modern taşkın risk yönetiminin yalnızca direnç esaslı değil; aynı zamanda toplumsal kapasiteyi, mekânsal planlamayı ve afetlere karşı esnekliği önceleyen stratejilerle desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu bağlamda günümüzde taşkın risk yönetimi, yapısal önlemlerle (bentler, savaklar, tahliye kanalları) birlikte yapısal olmayan çözümleri (erken uyarı sistemleri, arazi kullanım planlaması, toplumsal farkındalık ve hazırlık eğitimi) entegre eden bir çerçevede değerlendirilmekte ve bu yaklaşım, sürdürülebilir afet yönetiminin temelini oluşturmaktadır.

Geleneksel inşaat mühendisliği çözümleri, kentsel alanlarda taşkın risklerinin kontrol altına alınmasında uzun yıllar boyunca baskın yaklaşım olmuştur. Bu çözümler genellikle suyun hızlı tahliyesine ve fiziksel olarak yönlendirilmesine odaklanır. Barajlar, setler, taşkın duvarları, kanalizasyon sistemleri ve taşkın bypass tünelleri gibi yapılar, suyun yerleşim alanlarından uzaklaştırılması için tasarlanmış olup, taşkın anında fiziksel

koruma sağlamayı hedefler. Bu sistemlerin temel varsayımı, taşkınların bütünüyle kontrol altına alınabileceği yönündedir (Sörensen vd., 2016).

Modern şehirlerin çoğu, özellikle 20. yüzyılın ortalarından itibaren bu mühendislik çözümleriyle şekillendirilmiştir. Tokyo'daki dev yer altı taşkın depolama sistemleri, Londra'daki Thames Bariyeri veya Hollanda'daki Delta Works gibi mega mühendislik projeleri, taşkın riskini fiziksel müdahaleyle yönetmenin sembolleridir (Itsukushima, 2023). Bu projeler, taşkınları baskılamakta oldukça başarılı olmuş, kısa vadeli güvenlik sağlamış ve kentsel yayılmanın önünü açmıştır. Ancak bu geleneksel yapıların etkili olduğu durumlar, çoğunlukla belirli sınırlar içindedir. Öncelikle, bu sistemler genellikle tek yönlü ve sert çözümler oldukları için, doğa ile etkileşimden çok doğaya karşı bir savunma mantığıyla inşa edilmiştir. Örneğin beton kanal sistemleri, suyun doğal akış rejimini bozar, suyun çevresel kalitesini düşürür ve kent içi ekosistemlerin gelişimini sınırlar (Naghedi vd., 2024). Ayrıca bu yapılar, belirli bir kapasiteye göre tasarlanmış olup, ekstrem hava olaylarının artışıyla birlikte bu kapasitenin aşılması durumunda sistem çökebilir. 2021 yılında Almanya'da meydana gelen taşkın felaketi, baraj ve kanal sistemlerinin bu tür senaryolarda yetersiz kaldığını açıkça göstermiştir (Alshaikh vd., 2023).

Kentleşmenin artmasıyla birlikte, geçirimsiz yüzey oranlarının yükselmesi sonucu geleneksel drenaj altyapıları yağmur suyunu yeterince absorbe edememekte ve sel baskınları kent merkezlerinde tekrarlayan bir problem haline gelmektedir. Bu, özellikle birleşik kanalizasyon sistemlerinin yoğun olduğu eski şehirlerde kritik bir sorun teşkil etmektedir (Zannat vd., 2023). Dahası, bu sert altyapıların inşa ve bakım maliyetleri oldukça yüksektir; bakım yapılmadığı durumlarda sistem performansı zamanla düşer.

Tüm bu nedenlerle, geleneksel mühendislik çözümleri artık tek başına yeterli görülmemekte, daha çok karma modellerin bir parçası olarak değerlendirilmektedir. Yeni nesil taşkın yönetim stratejileri, geleneksel yapıları doğa tabanlı çözümlerle entegre ederek taşkınlara karşı daha esnek ve dirençli bir sistem oluşturmaya odaklanmaktadır. Örneğin, Londra'da baraj sistemlerinin yanında geçirgen yüzey alanları ve taşkın ovası restorasyonları da yer almakta, taşkın kontrolü çok katmanlı bir sistemle sağlanmaktadır. Sörensen vd. (2016), bu geçişi bir "rejim değişikliği" olarak tanımlar ve taşkın riskinin tamamen bertaraf edilmesinden ziyade, birlikte yaşama ve uyum kapasitesinin artırılmasına odaklanan bir paradigma kayması olduğunu belirtir. Geleneksel inşaat mühendisliği çözümleri kentsel taşkınlara karşı halen önemli bir araç olmakla birlikte, bu çözümler günümüz iklimsel ve kentsel gerçeklikleriyle başa çıkmak için artık tek başına

yeterli değildir. Etkin taşkın yönetimi, geleneksel altyapıyı esnek, doğa temelli sistemlerle destekleyen ve kent yapısıyla uyumlu bütüncül bir mühendislik yaklaşımı gerektirmektedir.

2.5. İnşaat Mühendisliği İçin Taşkınların Taşıdığı Önem

Taşkınlar hem fiziksel altyapıyı hem de toplumsal yaşamı tehdit eden en yaygın doğal afetlerden biridir. Özellikle kentleşmenin yoğunlaştığı bölgelerde, taşkın riski; arazi kullanımındaki değişimler, geçirimli yüzeylerin azalması ve altyapının yetersizliği ile daha karmaşık bir sorun haline gelmiştir. İnşaat mühendisliği disiplini, bu karmaşık yapının yönetiminde tarihsel olarak merkezi bir rol üstlenmiş ve geleneksel mühendislik uygulamalarıyla taşkın kontrolü sağlamaya çalışmıştır. Ancak artan iklim değişikliği etkileri ve toplumsal-ekolojik sistemlerdeki kırılmalıklar, mühendislik çözümlerinin kapsamını ve niteliğini yeniden tanımlamayı zorunlu kılmaktadır.

Taşkın yönetimine ilişkin geleneksel yaklaşımlar çoğunlukla fiziksel engelleyiciler üzerine kuruludur. Barajlar, setler, kanal düzenlemeleri ve betonarme drenaj sistemleri gibi yapılar, suyun kontrollü biçimde yönlendirilmesini hedeflemekte ve doğrudan müdahale temelli çözümler sunmaktadır. Örneğin, Hollanda'daki "Delta Works" projesi bu tür mühendislik çözümlerinin bir sembolü haline gelmiştir. Ancak bu tür "sert" yapılar zamanla hem doğa ile uyumsuzluk yaratmakta hem de taşkın riskini başka bölgelere transfer ederek sistemin bütüncül dayanıklılığını zayıflatmaktadır. Sörensen vd.nin (2016) da vurguladığı gibi, bu yapılar uzun vadede taşkın riskini artırabilmekte ve doğal süreçlerin bozulmasına neden olabilmektedir.

Bu noktada doğa tabanlı ve sürdürülebilir yaklaşımlar öne çıkmaktadır. Yeşil altyapı uygulamaları, yağmur bahçeleri, geçirgen yüzey sistemleri, kent içi sulak alanlar ve yeşil çatı uygulamaları gibi çözümlerle hem yüzeysel akışı düzenlemekte hem de yer altı su kaynaklarının beslenmesine katkı sağlamaktadır. Örneğin Melbourne'de uygulanan "Suya Duyarlı Kentsel Tasarım" (WSUD) yaklaşımı, kentsel taşkın risklerini azaltırken aynı zamanda kentsel çevrenin ekolojik kalitesini de artırmayı başarmıştır. Green vd. (2020), yeşil altyapıların geleneksel çözümlerle entegre edilmesinin, taşkınlarla karşı çok katmanlı bir savunma mekanizması oluşturduğunu ifade etmektedir. Rodriguez vd. (2014) ise bu sistemlerin sosyal kabul görme düzeyine bağlı olarak çok daha etkili olduğunu ve yerel bağlama uygun tasarımların başarıyı artırdığını göstermektedir.



Şekil 2.4. Doğa Tabanlı Yaklaşım Örnekleri

Kentleşme sürecinin kontrolsüz biçimde ilerlediği coğrafyalarda, taşkın duyarlılığı daha da artmaktadır. Özellikle Güneydoğu Asya’da yapılan çalışmalar, geçirimli yüzeylerin asfalt ve betonla kaplanması sonucu drenaj kapasitesinin azaldığını ve mikro-havzalarda bile kısa sürede taşkın oluşabildiğini göstermektedir. Rahman vd. (2021), Bangladeş’te yürüttükleri saha araştırmasında, kırsaldan kente göç, altyapı eksikliği ve arazi kullanımındaki hızlı değişimlerin taşkın riskini keskin biçimde artırdığını ortaya koymuştur. Bu bağlamda, sadece yapısal önlemler değil, aynı zamanda arazi kullanım politikaları, imar düzenlemeleri ve kentsel tasarım ilkeleri de taşkın yönetiminin ayrılmaz bileşenleri hâline gelmektedir.

İnşaat mühendisliği taşkınlara karşı yalnızca savunmacı değil, aynı zamanda uyarlanabilir çözümler geliştirme sorumluluğu da taşımaktadır. Sele dayanıklı yapı malzemelerinin kullanılması, zemin kotunun yükseltilmesi, bodrum alanlarının sel geçirmez malzemelerle kaplanması ve yapı içi su girişini engelleyen pasif sistemlerin entegrasyonu, bu uyarlanabilir çözümlere örnek teşkil etmektedir. Proverbs ve Lamond (2017), İngiltere’de yürütülen saha uygulamalarında, konut ölçeğinde alınan düşük

maliyetli önlemlerin bile taşkın sonrası onarım maliyetlerini %70'e kadar azaltabildiğini göstermiştir. Bu tür uygulamalar yalnızca teknik değil, aynı zamanda ekonomik ve sosyal fayda da üretmektedir. Ancak yalnızca yüzeydeki suyla mücadele yeterli değildir. Kanalizasyon sistemlerinin yaşlanması, özellikle birleşik sistemlerin taşkın sırasında geri tepmeye neden olması, yer altı su seviyesinin yükselmesiyle birlikte taşkınları daha karmaşık hâle getirmektedir. Su vd.nin (2020) Şanghay'da gerçekleştirdiği çalışmada, kanalizasyon hatlarının rehabilitasyonu sonrası yeraltı su seviyelerinde belirgin bir düşüş kaydedilmiş ve bu durum kıyı kentlerinde mühendisliğin sadece yüzeyde değil, yeraltı sistemlerinde de aktif olması gerektiğini ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Londra'da geliştirilen "Thames Estuary 2100" projesi, iklim değişikliğine ve deniz seviyesindeki artışa karşı adaptif mühendislik planlamasının gerekliliğini göstermekte ve 100 yılı aşkın bir perspektifle bütünleşik yönetim planları sunmaktadır.

Taşkın yönetimi artık yalnızca barajlar ve kanalizasyon sistemleri ile sınırlı bir teknik mesele değil, çok boyutlu, disiplinlerarası ve uzun vadeli planlamayı gerektiren bir alan hâline gelmiştir. İnşaat mühendisliği bu dönüşümde kilit bir rol oynamakta; geleneksel mühendislik uygulamalarını doğa-temelli ve sürdürülebilir çözümlerle birleştirerek, taşkınlara karşı dirençli ve adaptif şehirlerin inşasına katkı sunmaktadır. Bu bağlamda geleceğin taşkın yönetimi, yalnızca riskin fiziksel olarak bertaraf edilmesini değil, aynı zamanda sosyo-ekolojik sistemlerin uyum ve direnç kapasitesini artırmayı da içeren bütüncül bir mühendislik vizyonunu zorunlu kılmaktadır.

2.6. Kentleşmenin Kentsel Taşkın Duyarlılığı Üzerindeki Etkileri

Kentleşme, sel duyarlılığını birçok karmaşık mekanizma aracılığıyla artırır. Bu etki, yüzey geçirimsizliğinin artması, yetersiz altyapı sistemleri, düzensiz arazi kullanımı, düşük sosyoekonomik direnç kapasitesi ve iklim değişikliğiyle etkileşim gibi çok boyutlu unsurlarla açıklanabilir. Kentsel alanların hızla yayılması, doğal su emici yüzeylerin asfalt ve betonla kaplanmasıyla birlikte, infiltrasyonun azalmasına ve yüzeysel akışın artmasına neden olur. Bu durum, plüviyal taşkınların (ani yağışlarla oluşan sel olayları) artmasına yol açmaktadır (Skonieczna & Walczykiewicz, 2023). Örneğin, Tayland'ın Chiang Mai kentinde pirinç tarlalarının betonlaştırılması, suyun tutulma kapasitesini azaltarak taşkın sıklığını ve etkisini ciddi biçimde artırmıştır (Gu vd., 2025).

Kentleşmenin bir diğer kritik sonucu, mevcut altyapının bu değişim hızına ayak uyduramamasıdır. Özellikle gelişmekte olan ülkelerde, hızla gelişen kentsel alanlar, yetersiz drenaj sistemleri nedeniyle yoğun yağışlarda aşırı yüklenmekte ve sel olaylarının

sıklığı artmaktadır. Endonezya'nın Orta Java bölgesinde, kamu altyapılarının kentsel genişlemeye yetişememesi, bölgenin taşkınlara karşı direncini azaltmıştır (Dewi vd., 2024). Benzer biçimde, Madagaskar'ın Antananarivo kentinde uygun olmayan drenaj altyapısı, taşkın riskinin başlıca nedenlerinden biri olarak tanımlanmıştır (Ramiaramanana & Teller, 2021).

Arazi kullanımındaki değişimler, özellikle düşük kotlu ve taşkın yataklarına yapılan plansız yerleşimler aracılığıyla sel maruziyetini artırmaktadır. Addis Ababa'da yürütülen çalışmalarda, kentsel alanların hızlı yayılımı sonucunda taşkın eğilimli bölgelerdeki yapılaşmanın önemli ölçüde arttığı gösterilmiştir (Beshir & Song, 2021). Gana'nın Accra kentinde ise su yolları çevresinde denetimsiz yerleşimlerin yaygınlaşması, son yıllarda yaşanan taşkın felaketlerinin temel nedenlerinden biri olarak gösterilmektedir (Atanga vd., 2023).

Kentleşmenin getirdiği sosyoekonomik etkiler de ihmal edilemez düzeydedir. Yoksul nüfusun sıklıkla taşkın riski yüksek bölgelere yerleşmesi hem can kayıplarını hem de ekonomik zararları artırmaktadır. Bu tür gayri resmi yerleşimlerin, yerel yönetimlerin denetiminden uzak olması, afet müdahalesini ve risk azaltımını zorlaştırmaktadır (Dewi vd., 2024; Ramiaramanana & Teller, 2021).

İklim değişikliğiyle etkileşim de kentleşme kaynaklı taşkın riskini pekiştiren bir başka faktördür. Çin'de yürütülen kapsamlı bir çalışmada, iklim değişikliğinin etkileriyle birlikte kentleşmenin, incelenen kentlerin %90'ından fazlasında taşkın tehlikesini artırdığı tespit edilmiştir (Tang vd., 2024). Amerika Birleşik Devletleri'nde Harvey Kasırgası sırasında Houston'daki hızlı ve yoğun kentleşmenin, ekstrem yağışların yarattığı taşkın etkisini büyüttüğü gösterilmiştir (Zhang vd., 2018).

Tüm bu unsurlar değerlendirildiğinde, kentleşme sadece taşkın risklerini artırmakla kalmamakta, aynı zamanda bunlara karşı dirençli kentsel yapıların geliştirilmesini de zorlaştırmaktadır. Ancak bu tabloya rağmen, sürdürülebilir kent planlaması, yeşil altyapı uygulamaları ve afet risklerini önceliklendiren mekânsal karar destek sistemleriyle taşkın duyarlılığı yönetilebilir hale getirilebilir. Kentleşmenin sel riskini artıran doğasına karşın, bu sürecin stratejik şekilde yönetilmesi, dirençli şehirlerin inşası için aynı zamanda bir fırsat olarak da değerlendirilebilir.

2.7. İklim Değişikliği ve Yaşlanan Altyapı Bağlamında Sel Yönetimine Yönelik İnşaat Mühendisliği Yaklaşımları

İklim değişikliğinin etkileriyle birlikte, sellerin sıklığı ve şiddetinin arttığı günümüzde inşaat mühendisliği, mevcut ve yaşlanan altyapının sınırlılıklarıyla önemli uyum baskıları altındadır. Geleneksel mühendislik çözümleri artık tek başına yeterli olmaktan uzak olup, iklim değişikliğine karşı daha dirençli, doğa ile uyumlu ve çok disiplinli planlama stratejilerine ihtiyaç duyulmaktadır (Huang & Wang, 2024; Dipu & Snigdhya, 2024). Kentsel sel yönetiminde doğa temelli çözümler giderek önem kazanmaktadır. “Sünger şehirler” kavramı, geçirgen yüzeyler, yeşil çatı sistemleri ve yağmur bahçeleri gibi yapılarla yağışın absorbe edilmesini sağlayarak hem taşkınları azaltmakta hem de yeraltı su kaynaklarını desteklemektedir (Shao & Ma, 2022). Benzer şekilde mavi-yeşil altyapı, biyofiltre sistemleri, dere koridorları ve yeşil alanlarla entegre edilerek, sel riskini azaltmakta ve kentsel yaşam kalitesini artırmaktadır (Wendling & Holt, 2020).

İklim değişikliğine uyumlu mühendislik çözümleri, geleneksel sistemlerin ötesine geçerek gelecekteki belirsizlikleri de hesaba katmalıdır. Bu bağlamda “başarısızlık için tasarım” kavramı, altyapı sistemlerinin olağanüstü koşullarda bile kontrollü şekilde işlemesini sağlayacak biçimde planlanmasını önermektedir. Bu strateji, teknik optimizasyonun ötesine geçerek mekânsal planlama, günlük yaşam pratikleri ve başarısızlık senaryolarına karşı hazırlıklı olma gibi boyutları içermektedir (Huang & Wang, 2024).

Sel riskine karşı etkili uyum yalnızca mühendislikle sınırlı kalmamalı, arazi kullanımı, afet yönetimi ve su kaynakları planlaması gibi disiplinlerle entegre biçimde yürütülmelidir. Bu tür iş birlikleri, düzenleyici kurumlar arasında etkin iletişimi ve bütünleşik karar alma süreçlerini mümkün kılar (Huang & Wang, 2024). Disiplinler arası stratejiler ile birlikte, uluslararası düzeyde işbirliği de iklim temelli afetlere uyumda önemli bir rol oynamaktadır. Dipu ve Snigdhya'nın (2024) çalışmasında da belirtildiği gibi, iklime dayanıklı altyapı yatırımları için küresel stratejilerin benimsenmesi, özellikle kırılgan bölgelerde etkili sonuçlar doğurmaktadır.

Ancak bu uyum süreçleri çeşitli politik ve finansal engellerle karşılaşmaktadır. Gelişmekte olan ülkelerde veri eksikliği, kurumsal parçalanmalar ve fon yetersizliği, iklime dirençli mühendislik çözümlerinin yaygınlaştırılmasını zorlaştıran temel

etkenlerdir (Dipu & Snigdhya, 2024). Bu bağlamda uygulanabilirliğin yalnızca teknik değil, sosyo-ekonomik gerçekliklerle de uyumlu olması gerekmektedir.

Küresel örnekler, yapısal olmayan uyum stratejilerinin de sel yönetiminde etkili olabileceğini göstermektedir. Erken uyarı sistemleri, yükseltilmiş altyapılar ve afet sığınakları gibi uygulamalar, sel kaynaklı zararları azaltmada önemli roller üstlenmektedir. Örneğin, Bangladeş'te toplum temelli erken uyarı sistemleri ve yükseltilmiş barınaklar aracılığıyla sel riski azaltılabilmektedir (Dipu & Snigdhya, 2024). Ayrıca, ABD'de New York ve Louisiana gibi bölgelerde uygulanan yönetilen geri çekilme (managed retreat) politikaları ve yeşil altyapı uygulamaları, taşkın riski altındaki yerleşim alanlarının uzun vadeli planlama ile dönüştürülmesine olanak sağlamaktadır. İnşaat mühendisliği yalnızca altyapı inşa etmekle değil, aynı zamanda gelecekteki iklim senaryolarına dayanıklı, çevresel ve toplumsal bağlamla uyumlu sistemler geliştirmekle yükümlüdür. Bu dönüşümün başarısı, disiplinler arası koordinasyon, bütüncül planlama yaklaşımları ve politika-finans uyumu ile mümkündür.

2.7.1. Taşkın yönetiminde yapısal ve yapısal olmayan stratejilerin rolü

Taşkın yönetimi, artan iklim değişikliği etkileri ve hızlı kentleşmenin beraberinde getirdiği sel risklerini azaltmak amacıyla hem yapısal hem de yapısal olmayan stratejilere dayalı olarak şekillenmektedir. Yapısal stratejiler, fiziksel altyapı önlemlerine dayanırken, yapısal olmayan yaklaşımlar ise arazi kullanımı, toplum katılımı ve ekonomik araçlar gibi sosyal ve yönetsel bileşenleri içermektedir. Her iki yaklaşımın birlikte değerlendirilmesi, kapsamlı ve sürdürülebilir taşkın yönetimi politikalarının temelini oluşturur.

Yapısal taşkın yönetimi stratejileri, çoğunlukla "gri altyapı" olarak adlandırılan mühendislik çözümleriyle ilişkilidir. Setler, barajlar, akarsu düzenlemeleri ve kanalizasyon sistemleri, ani ve büyük ölçekli su baskılarına karşı fiziksel koruma sağlamaktadır. Ancak bu önlemler, yüksek maliyetleri ve çevresel etkileri nedeniyle eleştirilmektedir. Örneğin, Wesenbeeck vd. (2017), geleneksel yapısal çözümlerin ekolojik bütünlük üzerinde olumsuz etkiler yaratabileceğini ve sürdürülebilirliğe katkı sağlamayabileceğini belirtmiştir. Bu bağlamda yarı yapısal önlemler, daha esnek müdahaleler olarak değerlendirilmektedir. Poussin vd. (2012), taşkın bariyerleri gibi dönemsel kullanılan sistemlerin, mevcut yapıları güçlendirme yoluyla sel risklerini azaltabileceğini göstermektedir.



Şekil 2.5. Yapısal ve Yapısal Olmayan Yaklaşımların Karşılaştırılması

Öte yandan, yapısal olmayan stratejiler, planlama, politika ve topluluk temelli müdahalelerle sel risklerinin azaltılmasını hedeflemektedir. Bu yaklaşımlar, özellikle uzun vadeli sürdürülebilirlik açısından önem arz eder. Arazi kullanım planlaması ve bölgeleme, taşkın duyarlılığının yüksek olduğu alanlarda yapılaşmayı kısıtlayarak doğrudan risk azaltımı sağlar. Thieken vd. (2016), bu tür mekânsal stratejilerin, taşkın riskine maruziyeti azaltmada etkin bir araç olduğunu ortaya koymuştur . Taşkın tahmin ve erken uyarı sistemleri ise halkın zamanında harekete geçmesini sağlayarak olası can ve mal kayıplarını minimize eder. Kundzewicz (2002), etkili uyarı sistemlerinin kriz yönetimi süreçlerinde kritik rol oynadığını vurgulamıştır .

Toplumun bilgilendirilmesi ve eğitimi de yapısal olmayan önlemler arasında önemli bir yer tutar. Sel bilinci oluşturma ve acil durum tepkileri hakkında eğitimler, bireysel düzeyde dayanıklılığı artırır. Ayrıca, sigorta sistemleri ve finansal teşvikler, toplulukları ve bireyleri önleyici önlemler almaya teşvik eden önemli araçlardır. Bu kapsamda, Dawson vd. (2011), taşkın risklerinin ekonomik araçlarla yönetilmesinin etkinliğini ortaya koymuştur. Doğaya dayalı çözümler, taşkın yönetiminde hibrit yaklaşımların yükselişini temsil etmektedir. Sulak alanların restorasyonu, ormanlaştırma

ve doğal tampon bölgelerin oluşturulması gibi uygulamalar hem taşkın riskini azaltmakta hem de ekosistem hizmetlerini desteklemektedir. Lane (2017), doğal süreçlerin sel emme kapasitesini artırarak hem maliyet etkinliği hem de çevresel sürdürülebilirlik sunduğunu belirtmiştir . Bu yaklaşımlar aynı zamanda “ekosistem tabanlı uyum” stratejileri ile de örtüşmekte ve yapısal önlemlerle birlikte uygulanarak taşkınlara karşı dayanıklılığı artırmaktadır. Genel olarak, tek bir strateji yerine çok katmanlı ve entegre bir yaklaşımın benimsenmesi, taşkın risklerinin azaltılmasında daha etkin sonuçlar doğurmaktadır. Hem yapısal hem de yapısal olmayan önlemlerin doğaya dayalı çözümlerle birleştirilmesi, iklim değişikliği ve kentleşmenin getirdiği artan baskılara karşı dirençli sistemlerin inşasını mümkün kılmaktadır.

2.7.2. Yapısal ve yapısal olmayan taşkın yönetimi stratejilerinin karşılaştırması

Yapısal ve yapısal olmayan taşkın yönetimi stratejileri, taşkın risklerini azaltmak için benimsenen başlıca iki yaklaşımdır ve aralarındaki temel fark, sel riskini azaltma yollarında yatmaktadır. Yapısal stratejiler, fiziksel çevreyi değiştirerek selin doğrudan kontrol altına alınmasını hedeflerken, yapısal olmayan stratejiler daha çok insan davranışlarını, politikaları ve mekânsal planlamayı dönüştürmeye odaklanır (Chan vd., 2019; Buss, 2009).

Yapısal taşkın önlemleri, barajlar, setler, taşkın duvarları ve saptırma kanalları gibi büyük ölçekli mühendislik çözümlerini içerir. Bu yapılar, suyun akış yönünü düzenleyerek sel sularının hassas bölgelere ulaşmasını engeller. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri’nde Kara Kuvvetleri Mühendisler Birliği tarafından inşa edilen set ve rezervuar sistemleri, taşkınlardan korunmada uzun yıllardır kullanılmaktadır (Buss, 2009). Ancak bu tür müdahaleler yüksek maliyetli olup doğal ekosistemler üzerinde olumsuz etkiler yaratabilir. Hindistan’ın Assam bölgesinde yapılan karşılaştırmalı bir analiz, yapısal önlemlerin ekonomik verimliliğinin düşük ve çevresel etkilerinin yüksek olduğunu göstermektedir (Sarma & Saikia, 2024).

Yapısal olmayan taşkın yönetimi stratejileri ise daha çok planlama, yönetim ve toplumsal farkındalık gibi alanlara odaklanır. Arazi kullanım planlaması, taşkın uyarı sistemleri, halk eğitimi ve sigorta gibi önlemler bu kapsamda değerlendirilir (James, 1973; Dawson vd., 2011). Bu stratejiler, uygulama esnekliği ve maliyet etkinliği açısından avantaj sunar. Ayrıca değişen iklim koşullarına ve sosyal ihtiyaçlara uyulanabilir nitelikte olduklarından, özellikle kaynakları sınırlı bölgeler için daha uygulanabilir görülmektedir (Chan vd., 2019; Sarma & Saikia, 2024).

Bu tür önlemler ayrıca halkın aktif katılımını teşvik ederek yerel düzeyde dayanıklılığı artırır. Yapısal olmayan stratejiler, halkla doğrudan etkileşime dayandığı için etkili iletişim ve yerel bilgi ile desteklenmelidir (James, 1973; Petry, 2002). Toplumsal bilinçlenmenin artması, taşkınlara karşı davranışsal uyumu güçlendirir.

Bununla birlikte, en etkili taşkın yönetimi stratejileri genellikle her iki yöntemin birlikte uygulandığı entegre modellerdir. Bu yaklaşımda yapısal çözümler fiziksel koruma sağlarken, yapısal olmayan önlemler uzun vadeli uyum kabiliyeti sunar (Graham vd., 2024; Petry, 2002). Kelantan Nehri Havzası'ndaki uygulamalar ve Thames Nehri üzerindeki stratejiler, entegre yönetimin taşkın riskini azaltmada yüksek etki sağladığını göstermektedir (Chan vd., 2019; Dawson vd., 2011). Taşkın yönetimi sadece mühendislik çözümleri ile sınırlı olmayıp, sosyal ve yönetsel müdahaleleri de içeren çok boyutlu bir strateji gerektirir. İklim değişikliği ve hızlı kentleşmenin neden olduğu artan taşkın riskleri karşısında hem yapısal hem de yapısal olmayan önlemleri bütünleştiren esnek ve sürdürülebilir bir yaklaşım benimsenmelidir.

YÖNTEM

Bu bölümde modelleme teknikleri ve MIKE 11'in taşkın modellemede kullanım alanları üzerinde durulmuştur.

3.1. Modelleme

Taşkın olayları hem doğal sistemlerin dinamikleri hem de insan yerleşimleri üzerindeki etkileri açısından, çok boyutlu ve yüksek belirsizlik içeren afet türlerinden biridir. Bu olayların önceden tahmin edilmesi, etkilerinin azaltılması ve yönetilmesi, yalnızca gözleme dayalı yöntemlerle değil, aynı zamanda sayısal modelleme teknikleri ile de mümkün hâle gelmiştir. Taşkınlar, yerel yağıştan başlayarak yüzey akışına, kanal akımına ve taşkın yayılımına kadar çok sayıda fiziksel sürecin etkileşimiyle şekillenmektedir. Bu süreçlerin her biri, zamansal ve mekânsal olarak değişkenlik gösterdiğinden, basit istatistiksel yaklaşımlarla açıklanamayacak düzeyde karmaşık bir yapı sunar (Zhou & Liu, 2024).

Bu bağlamda, taşkın olaylarının güvenilir biçimde analiz edilmesi için hem yağış-akış ilişkisini çözen hidrolojik modellere hem de su hareketlerinin fiziksel dağılımını yansıtan hidrodinamik modellere ihtiyaç duyulmaktadır. Her iki model türü de taşkın risk yönetimi, senaryo analizleri, erken uyarı sistemlerinin kurulması ve taşkın haritalarının hazırlanmasında kritik rol oynamaktadır. Özellikle son yıllarda, iklim değişikliği, kentleşme ve arazi kullanımındaki hızlı değişimlerle birlikte, model temelli analizler karar vericiler için vazgeçilmez bir araç hâline gelmiştir (Zhang vd., 2024).

3.1.1. Hidrolojik modelleme

Hidrolojik modeller, bir havzanın yağış girdisine verdiği hidrolik tepkiyi hesaplayan, fiziksel veya kavramsal temelli hesaplamalı araçlardır. Temel amaçları; yağış, buharlaşma, infiltrasyon, yüzey akışı ve yeraltı suyu etkileşimlerini dikkate alarak birim zamanda oluşacak yüzey akışını, yani debi-hidrografını tahmin etmektir (Zhang vd., 2024). Bu nedenle genellikle "yağış-akış" modelleri (rainfall-runoff models) olarak da adlandırılırlar.

Hidrolojik modelleme, taşkın tahmini başta olmak üzere su kaynakları planlaması, baraj yönetimi, kuraklık analizi ve iklim değişikliğine uyum gibi birçok alanda temel bir araçtır. Zhang vd. (2024), Xin'anjiang modelini kullanarak özellikle dağlık havzalarda karmaşık hidrolojik süreçlerin daha doğru biçimde temsil edilebildiğini ve akış tahminlerinin iyileştirildiğini ortaya koymuştur. Bu modeller genellikle alan temelli

(lumped), yarı-dağıtılmış (semi-distributed) veya tam dağıtılmış (fully distributed) yapıda olabilir; bu da modelin mekânsal hassasiyetini belirler.

Zhou ve Liu (2024), BTOP-RRI (Block-wise use of the TOPMODEL with the Raster-based Rainfall Runoff Inundation) modelinin uygulanabilirliğini inceleyerek, bölgesel ölçekte taşkın riski tahminlerinde hidrolojik modellerin etkinliğini göstermiştir. Bu tür modeller, özellikle büyük alanlara sahip havzalarda düşük veri gereksinimi ve hesaplama kolaylığı sayesinde tercih edilmektedir. Ayrıca, topoğrafya, toprak tipi ve arazi kullanımı gibi girdilere dayalı olarak suyun yüzeydeki ve toprak profilindeki hareketlerini temsil edebilirler. Ancak bu modellerin en büyük sınırlılığı, yüzey akışının yalnızca hacimsel düzeyde tahmin edilmesidir. Yani suyun havza içindeki dağılımı, yönü, derinliği veya yayılım hızı gibi parametreler bu tür modellerle doğrudan hesaplanamaz. Bu nedenle özellikle taşkınların mekânsal etkilerinin modellenmesinde hidrolojik modellerin tek başına kullanımı yetersiz kalmakta, bu amaçla hidrodinamik modellerle entegrasyon gerekmektedir.

3.1.2. Hidrodinamik modelleme

Hidrodinamik modeller, akışkanların hareketini tanımlamak amacıyla fiziksel temelli diferansiyel denklemler kullanan, özellikle taşkın modelleme ve yüzey suyu yönetimi alanlarında kritik rol oynayan sayısal araçlardır. Bu modeller, akışın zamansal ve mekânsal dağılımını temsil eder; yani suyun yalnızca miktarını değil, aynı zamanda nerede, ne zaman, ne kadar derinlikte ve hangi hızda hareket ettiğini hesaplar. Temel olarak, Saint-Venant denklemleri (sığ su denklemleri) adı verilen kısmi diferansiyel denklemler üzerine kurulmuştur (Lin vd., 2005). Bu denklemler, kütle korunumu (continuity) ve momentum korunumu ilkelerine dayanır ve akarsu akımı, kanal dolusu, yüzey taşkınları ve kıyı taşkınları gibi birçok farklı senaryoda kullanılabilir. Modeller 1-boyutlu (1B), 2-boyutlu (2B) veya karma (1B/2B) yapılandırmalarda çalıştırılabilir. Lin vd. (2005), özellikle 1B kanal sistemlerinin 2B yüzey akış modelleriyle bütünleştirilmesinin, kent taşkınlarının daha doğru simülasyonu açısından büyük avantaj sağladığını belirtmektedir.

Benjankar vd. (2014), 1B ve 2B hidrodinamik modellerin karşılaştırmalı analizinde, özellikle karmaşık topoğrafyaya ve geniş taşkın düzlüklerine sahip havzalarda 2B modellerin üstünlük sağladığını ortaya koymuştur. Bu modeller, suyun taşkın alanında hangi yöne aktığını, ne kadar sürede hangi alanlara ulaştığını ve akışın yayılma biçimini yüksek çözünürlükte sunarak taşkın derinliği ve etki alanı hakkında güvenilir bilgiler

sağlar. Ayrıca hidrodinamik modellerin avantajlarından biri, yapısal önlemlerin (baraj, kanal, bent vb.) modellenmesi ve bu yapıların taşkın dinamikleri üzerindeki etkisinin senaryo bazlı analizlerle değerlendirilebilmesidir. Bu tür senaryolar, taşkın savunma sistemlerinin optimizasyonu ve karar destek süreçlerinde sıkça kullanılmaktadır (Zhou & Liu, 2024).

Tablo 3. 1. Hidrolojik ve Hidrodinamik Model Arasındaki Farklar

Özellik	Hidrolojik Model	Hidrodinamik Model	Kaynaklar
Temel Amaç	Yağış verilerini kullanarak yüzey akışını (debi/hidrograf) tahmin etmek	Oluşan akışın yüzey üzerindeki hareketini (yayılm yönü, derinlik, hız) zamansal ve mekânsal olarak simüle etmek	Zhang vd., 2024; Lin vd., 2005
Fiziksel Temel	Su bütçesi, infiltrasyon, evapotranspirasyon gibi süreçlerin parametrik veya fiziksel olarak modellenmesi	Saint-Venant denklemleri (kütle ve momentum korunumu) gibi akışkanlar mekaniğine dayalı fiziksel denklemlerin sayısal çözümü	Lin vd., 2005; Zhou & Liu, 2024
Zamansal / Mekânsal Detay	Genellikle lumped (toplam alan temelli) veya semi-distributed (alt havza ölçekli) yapıdadır	Noktasal veya grid-temelli çözüm sunar; 1B (kanal), 2B (yüzey), 3D (karmaşık akım) çözümler ile yüksek mekânsal çözünürlük sağlar	Leandro vd., 2009; Benjankar vd., 2014
Kullanım Amacı	Havza akış tahmini, hidroelektrik planlama, taşkın hacminin ve süresinin belirlenmesi	Taşkın yayılım haritaları, su derinliği, akış hızı, taşkın süresi ve taşkın riski altındaki alanların belirlenmesi	Mani vd., 2013; Hoch vd., 2019
Model Tipleri	Kavramsal (ör. SCS-CN), ampirik (ör. Rational), fiziksel (ör. TOPMODEL)	1B modeller (ör. HEC-RAS), 2B modeller (ör. TELEMAC-2B), 1B/2B entegre modeller (ör. MIKE FLOOD)	Zhang vd., 2024; Leandro vd., 2009
Veri Gereksinimi	Giriş olarak yağış, topoğrafya, toprak türü ve arazi kullanımı; düşük çözünürlüklü verilerle çalışılabilir	Detaylı topografik veriler (ör. LIDAR), sınır koşulları, başlangıç koşulları; yüksek mekânsal ve zamansal veri gereksinimi	Zhou & Liu, 2024; Lin vd., 2005
Çıktılar	Zaman-serisi olarak debi/hidrograf	Raster/vektör formatında yayılım haritaları, taşkın derinliği, su hızı gibi mekânsal çıktılar	Hoch vd., 2019
Sınırlılıklar	Yalnızca akış miktarını tahmin eder; akışın yayılma biçimi ve yönü hakkında bilgi vermez	Akışın yönünü ve yayılımını simüle eder; ancak yağış-akış dönüşümünü modellemez, dolayısıyla harici bir hidrolojik girdiye ihtiyaç duyar	Zhang vd., 2024; Benjankar vd., 2014
Entegrasyon Gereksinimi	Taşkın yayılımı analizlerinde tek başına yetersiz; genellikle hidrodinamik model ile entegre kullanılır	Giriş olarak hidrolojik model çıktısına ihtiyaç duyar (ör. sınır koşulu olarak debi verisi)	Zhou & Liu, 2024

3.1.3. Sayısal modelleme ve yazılım temelli yaklaşımlar

Taşkınlar, yalnızca fiziksel bir doğa olayı olmanın ötesinde, yerleşim alanları, altyapı sistemleri, tarım arazileri ve toplumsal yaşam üzerinde yıkıcı etkiler doğurabilen karmaşık afet türlerinden biridir. İklim değişikliğine bağlı olarak artan yağış şiddeti ve sıklığı, hızlı kentleşme, geçirimsiz yüzey artışı ve yetersiz drenaj sistemleri, taşkın riskini giderek daha karmaşık ve yönetilmesi güç bir hâle getirmektedir. Bu durum, taşkın olaylarının önceden tahmin edilmesini, etkilerinin azaltılmasını ve etkili müdahale stratejilerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır (Zhou & Liu, 2024).

Geleneksel mühendislik çözümleri (barajlar, bentler, menfezler) taşkınların etkisini sınırlı ölçüde azaltmakta, ancak bu tür yapısal çözümler hem maliyetli hem de ekosistem üzerinde kalıcı etkiler bırakabilmektedir. Bu nedenle, yeni nesil taşkın yönetimi anlayışı, mühendislik çözümlerini sayısal modelleme tabanlı yaklaşımlarla bütünleştirmeye yönelmiştir. Bu yaklaşımda amaç, taşkınların oluşmadan önce modellenmesi, farklı senaryolar altında olası etkilerin tahmin edilmesi ve karar vericilere bilimsel temelli öngörüler sunulmasıdır.

Bu bağlamda geliştirilen yazılımlar, taşkın olaylarını matematiksel denklemler aracılığıyla temsil eden, zamansal ve mekânsal olarak çözümlene yapabilen araçlardır. Özellikle hidrodinamik modelleme yazılımları, yüzey akışının yönü, hızı, derinliği ve yayılım alanı gibi parametreleri yüksek doğrulukla hesaplayarak taşkın risk haritalarının oluşturulmasında önemli rol oynamaktadır. Bu tür yazılımların en dikkat çekenlerinden biri olan MIKE 11, 1-boyutlu tam dinamik modelleme altyapısı, modüler yapısı ve farklı disiplinlerle entegre olabilme yeteneği sayesinde hem akademik çalışmalarda hem de uygulamalı projelerde yaygın olarak tercih edilmektedir (Zhang vd., 2024).

MIKE 11, kanal akımı, taşkın düzlüğü yayılımı, sediman taşınımı ve yapı-hidrolik etkileşimleri gibi çok çeşitli süreçleri kapsayan kapsamlı bir platform sunmaktadır. Lin vd. (2005), MIKE 11'in özellikle gerçek topoğrafya verileriyle birlikte çalışabilmesi sayesinde, karmaşık nehir sistemlerinde yüksek doğrulukta sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Bu tür yazılımlar yalnızca analiz ve tahmin için değil, aynı zamanda taşkınlara karşı geliştirilecek önleyici planlamaların test edilmesi, senaryo bazlı risk değerlendirmelerinin yapılması ve afet yönetim stratejilerinin optimize edilmesi için de kullanılmaktadır. Sayısal modelleme ve yazılım temelli yaklaşımlar, taşkınların fiziksel doğasına ilişkin bilimsel anlayışı güçlendirmenin ötesinde, kamu güvenliği, altyapı korunması ve sürdürülebilir kent planlaması açısından da stratejik bir rol oynamaktadır. Özellikle MIKE 11 gibi entegre yapıya sahip gelişmiş modeller, taşkın yönetimini veri temelli ve çok ölçekli hale getirerek, karar vericilere güvenilir ve uygulanabilir çözümler sunmaktadır.

3.1.4. MIKE 11 ve MIKE 21 yazılımlarının temel özellikleri

MIKE 11, Danimarka Hidrolik Enstitüsü (DHE) tarafından geliştirilen, özellikle nehir sistemleri ve kanal ağlarında taşkınların modellenmesine yönelik olarak tasarlanmış, bir boyutlu (1B) tam dinamik bir modelleme yazılımıdır. Temel olarak Saint-Venant denklemlerinin (sığ su denklemleri) sayısal çözümüne dayanır ve bu sayede

akarsu yatağı boyunca su yüzeyi profilleri, akım hızları, debiler ve taşkın yayılım süreleri gibi dinamik çıktılar üretir (Lin vd., 2005). Yazılımın yapısı modülerdir ve birçok farklı hidrolik ve çevresel süreci aynı platformda entegre şekilde modelleme imkânı sunar.

MIKE 11'in en kritik bileşeni olan HD (Hydrodynamic) modülü, sabit veya değişken debili akımların simülasyonunu sağlar. Ayrıca sediment taşınımı, su kalitesi ve kanal-yüzey etkileşim modülleri gibi ek bileşenlerle genişletilebilir. Yazılım, kanal sisteminde akımın yönü, zamanlaması ve şiddeti gibi hidrolik parametrelerin detaylı analizine olanak tanıyarak, özellikle nehir taşkınlarının tahmini, erken uyarı sistemlerinin kurulması ve yapı hidrolik tasarımlarının test edilmesi gibi uygulamalarda etkin biçimde kullanılmaktadır.

Zhang vd. (2024), MIKE 11'in hidrolojik model çıktılarıyla (ör. NAM, SWAT) entegre çalıştırıldığında, özellikle dağlık ve karmaşık topoğrafyaya sahip havzalarda taşkın tahminlerinin doğruluğunu artırdığını göstermiştir. Bu entegrasyon, yağış-akış sürecini modelleyen hidrolojik modülün çıktılarının, MIKE 11'in sınır koşulları olarak kullanılmasıyla sağlanmaktadır. Böylece hem taşkın hacmi hem de yayılım davranışı yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir.

Öte yandan, MIKE 21, yine Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından geliştirilen ve iki boyutlu taşkın modelleme ihtiyacına cevap veren, daha geniş ölçekli ve detaylı analizler için kullanılan bir yazılımdır. MIKE 21, yüzey akışını yatay düzlemde (x-y yönünde) çözer ve özellikle düzlük alanlarda, taşkın ovalarında ve kentsel taşkınlarda suyun yayılım yönü, derinliği ve etki süresini yüksek çözünürlükte simüle edebilir (Benjankar vd., 2014).

MIKE 21'in öne çıkan avantajlarından biri, topografya temelli yayılım analizlerinde yüksek mekânsal detay sunmasıdır. Bu yazılım, taşkın yayılımının yönü ve etkilediği alanların belirlenmesinde MIKE 11'e göre çok daha hassas ve görselleştirilebilir çıktılar sunar. Özellikle MIKE FLOOD adı verilen entegre sistem aracılığıyla MIKE 11 ile eşzamanlı çalıştırıldığında, hem kanal akımı (1B) hem de yüzey yayılımı (2B) birlikte simüle edilebilir. Bu yapılandırma sayesinde taşkın risk haritaları, etki-zaman haritaları ve su derinlik analizleri yüksek doğrulukla elde edilebilir (Leandro vd., 2009). Tablo 4.2 iki yazılım arasındaki temel farkları özetlemektedir.

Tablo 3. 2. MIKE 11 ve MIKE 21 Arasındaki Farklar

Özellik	MIKE 11	MIKE 21
Boyutsallık	1 Boyutlu (kanal boyunca)	2 Boyutlu (alan boyunca)
Kullanım Alanı	Nehir/kana sistemleri, akarsu taşkını	Taşkın düzlükleri, kentsel taşkınlar
Fiziksel Temel	Saint-Venant denklemleri (1B)	Saint-Venant denklemleri (2B)
Detay Seviyesi	Yönlü akım profilleri	Mekânsal yayılım ve derinlik dağılımı
Entegrasyon	NAM, SWAT vb. hidrolojik modellerle	MIKE FLOOD ile MIKE 11'e entegre
Çıktı Tipleri	Debi, hız, taşkın süresi	Yayılım alanı, su derinliği, zaman-etki haritaları

MIKE 11 ve MIKE 21 yazılımları, farklı mekânsal çözünürlük ve modelleme ihtiyaçlarına göre geliştirilmiş olup, birlikte kullanıldıklarında taşkın modellemede bütüncül bir çözüm sunmaktadırlar. MIKE 11, özellikle akarsu boyunca akış dinamiklerini anlamada kritik bir araç iken; MIKE 21, yüzey taşkınlarının davranışını detaylı biçimde analiz ederek taşkın riski altındaki alanların daha doğru haritalanmasını sağlar (Zhou & Liu, 2024).

Taşkın modelleme alanında, MIKE 11 ve MIKE 21 dışında geliştirilen çok sayıda profesyonel yazılım bulunmaktadır. Bu yazılımlar farklı boyutsal yapılandırmalara, çözüm algoritmalarına ve uygulama amaçlarına göre çeşitlilik gösterir. Tablo 4.3'de, yaygın olarak kullanılan taşkın modelleme yazılımlarının karşılaştırmalı özellikleri sunulmaktadır:

Tablo 3. 3. Taşkın Modelleme Yazılımları.

Yazılım	Geliştirici Kuruluş	Model Türü	Öne Çıkan Özellikler
MIKE 11	DHE	1B	Dinamik kanal akımı, yapı analizi, NAM-SWAT entegrasyonu, yüksek doğruluk
MIKE 21	DHE	2B	Yüzey yayılımı, yüksek çözünürlük, DEM tabanlı yüzey analizi
MIKE FLOOD	DHE	1B + 2B	MIKE 11 + MIKE 21 entegre çözümü, eş zamanlı kanal ve yüzey taşkın simülasyonu
HEC-RAS	USACE	1B / 2B	Ücretsiz, yaygın kullanım, iyi dökümantasyon, eğitim desteği
TELEMAC-2B	(ABD)	1B / 2B	Açık kaynak, paralel işlem gücü, çok yüksek mekânsal çözünürlük
InfoWorks	EDF (Fransa)	2B	Kentsel altyapı sistemleri ile bütünleşik modelleme
ICM	Innovyze (UK)	1B / 2B	(kanalizasyon, taşkın, yağmur suyu)

MIKE 11'e ek olarak, HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), ABD Ordusu Mühendislik Merkezi tarafından geliştirilen ve nehir yataklarında hem sabit hem de geçici akım koşullarında analiz yapabilen yaygın bir modelleme aracıdır. Özellikle açık kanal akışlarının hesaplanmasında kullanılır ve 1 boyutlu analizlerin yanı sıra son versiyonları ile 2 boyutlu modelleme de yapabilmektedir. HEC-RAS, köprü ve menfez gibi yapıların hidrolik etkilerini modelleyebilme avantajına

sahiptir. Ayrıca CBS tabanlı HEC-GeoRAS arayüzü ile mekânsal verilerin entegrasyonuna olanak tanır.

Hidrolojik süreçlerin modellenmesinde ise HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) öne çıkmaktadır. Bu yazılım, yağış-akış dönüşüm süreçlerini simüle ederek, özellikle taşkın debisinin zaman içindeki değişimini tahmin etmek için kullanılır. HEC-HMS ile elde edilen akım değerleri, HEC-RAS gibi hidrodinamik yazılımlara girdi olarak sağlanabilir. Böylece havza ölçekli hidrolojik süreçlerle nehir akışları arasında tutarlı bir bütünlük sağlanır.

Kentsel taşkın ve kanalizasyon sistemlerinin entegrasyonunu mümkün kılan InfoWorks ICM (Integrated Catchment Modelling), 1B kanal ağları ile 2B yüzey akışını birlikte simüle edebilen gelişmiş bir platformdur. Özellikle yoğun yapılaşmış bölgelerde, taşkın suyu hareketlerinin karmaşık yapısını analiz edebilmek adına tercih edilmektedir. Dinamik yüzey-su etkileşimleri, yer altı-su transferleri ve kanal taşmaları bu yazılım aracılığıyla entegre biçimde modellenebilmektedir.

Açık kaynak kodlu ve çok yüksek çözünürlüklü 2B analizlere olanak tanıyan bir diğer yazılım TELEMAC-2B'dir. Fransa menşeli bu yazılım, üçgen ağ sistemleri (triangular mesh) ile çalışmakta ve özellikle kıyı taşkınları, delta alanları ve sediman taşınımı gibi özel koşullarda detaylı simülasyonlar gerçekleştirmektedir. Paralel işlem teknolojisi sayesinde büyük ölçekli veri kümelerinde dahi hızlı hesaplama yapılabilir.

Birleşik Krallık merkezli Flood Modeller (önceki adıyla ISIS), hem 1B hem de 2B çözümler içeren bir taşkın modelleme platformudur. Nehir taşkınları, yüzey selleri ve kanalizasyon sistemlerinin birlikte analizine olanak tanımakta, özellikle çevre yönetim ajansları tarafından tercih edilmektedir. Gerçek zamanlı taşkın tahmin sistemlerine entegre edilebilmesi, bu yazılımın karar destek sistemlerine katkısını artırmaktadır.

Bu yazılımların seçiminde; çalışmanın coğrafi ölçeği, verilerin çözünürlüğü, fiziksel yapıların çeşitliliği ve simülasyonun hedef çıktıları belirleyici olmaktadır. İnceağrı deresi Havzası gibi dar vadiler ve kısa akış mesafelerine sahip kıyı havzalarında, hem 1B hem de 2B analizlerin birlikte değerlendirildiği hibrit modelleme yaklaşımları, daha isabetli sonuçlar elde edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle MIKE 11 gibi doğruluğu yüksek ve senaryo tabanlı çalışmalara uygun yazılımların seçimi, hem bilimsel hem de uygulamaya dönük karar süreçlerine katkı sunmaktadır.

Leandro et al. (2009), MIKE 11'in HEC-RAS'e kıyasla karmaşık kanal yapılarına, eğimli topografyaya ve değişken sınır koşullarına daha duyarlı tepkiler verdiğini ifade etmektedir. Bununla birlikte, MIKE 11'in lisans gereksinimi ve veri ihtiyacı nedeniyle

uygulanabilirliği maliyet ve veri erişilebilirliğiyle sınırlı olabilir. Öte yandan, HEC-RAS'in açık kaynak yapısı ve kullanıcı topluluğunun genişliği, başlangıç düzeyindeki uygulamalar için önemli avantajlar sunmaktadır.

TELEMAC-2B ise açık kaynak kodlu olması, çok çekirdekli işlemcilerle paralel çalışabilmesi ve çok yüksek çözünürlüklü 2B modellemeyi desteklemesi sayesinde akademik araştırmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Benjankar et al., 2014). Ancak, kullanıcı arayüzünün teknik oluşu, yazılımın öğrenme sürecini zorlaştırabilmektedir.

3.2. Taşkın modellemede MIKE 11 kullanımı

Günümüz taşkın yönetimi yaklaşımlarında, yalnızca nehir yatağı boyunca akan suyun değil, aynı zamanda yüzey üzerinde nasıl yayıldığının da modellenmesi gerekmektedir. Bu gereksinim, farklı fiziksel koşullara sahip alanlar için birbirini tamamlayan modelleme sistemlerinin kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda MIKE 11 ve MIKE 21, DHI tarafından geliştirilmiş olan ve sırasıyla bir boyutlu (1B) ve iki boyutlu (2B) taşkın modelleme yeteneklerine sahip, entegre çalışabilen yazılımlardır.

3.2.1. Kanal içi akım ve yüzeyel taşkın yayılımı

MIKE 11, özellikle nehir, dere ve kanal sistemlerinde taşkın olaylarını modellemek için tasarlanmıştır. Yazılımın HD (Hydrodynamic) modülü, akımın hızını, debisini, su yüzeyi profilini ve taşkın süresini zamana bağlı olarak simüle eder. Kanalın taşıma kapasitesinin aşıldığı durumlarda, suyun çevreye yayılımı belirlenebilir. Bu sayede, taşkın yayılım alanları ve riskli bölgeler tespit edilir (Lin vd., 2005). Benjankar vd. (2014), bu modülün özellikle alçak kotlu alanlardaki su taşmalarının sınırlarının belirlenmesi açısından yüksek doğruluk sunduğunu belirtmektedir.

3.2.2. Kentsel altyapı ile etkileşim ve yapıların analizi

MIKE 11 ayrıca altyapı ögeleri ile hidrolik sistemin etkileşimini analiz etme kapasitesine sahiptir. Köprü, menfez, set, regülatör gibi yapılar model ortamına detaylı biçimde tanımlanabilir. Bu sayede örneğin dar kesitli bir menfezin taşkına neden olup olmayacağı, ya da bir köprünün geri tepmeli akıma yol açıp açmayacağı gibi mühendislik sorunları senaryo bazlı test edilebilir (Zhou & Liu, 2024).

3.2.3. Taşkın kontrolü ve müdahale senaryoları

MIKE 11, senaryoya dayalı analiz kapasitesi sayesinde, baraj boşaltma stratejileri, kanal genişletmeleri, yönlendirme yapıları ve taşkın önleme sistemlerinin etkinliği gibi

müdahalelerin simülasyonuna olanak sağlar. Özellikle erken uyarı sistemlerinin kurulması, taşkın savaklarının davranışı ya da kritik debi eşiklerinin test edilmesi gibi stratejik uygulamalarda kullanılır (Zhang vd., 2024).

3.3. Veri Gereksinimleri ve Kalibrasyon Süreçleri

Taşkın modellenmesinin başarısı, yalnızca yazılımın teknik kabiliyetiyle değil; girdi verilerinin kalitesi, doğruluk düzeyi ve kalibrasyon sürecinin yeterliliğiyle doğrudan ilişkilidir.

Topografya verileri: Nehir boyu enine kesitler (x-z), kot bilgileri

Hidrometeorolojik veriler: Yağış, sıcaklık, buharlaşma, akım verileri

Hidrolik yapılar: Menfez, köprü, regülatör, baraj detayları

Zemin & arazi kullanımı: Opsiyonel – yüzey akışı modellemeye dahilse gerekebilir

Sınır koşulları: Debi/su seviyesi sınır koşulları

Kalibrasyon süreci, modelin çıktılarını sahada ölçülen verilerle karşılaştırarak parametre ayarlarını optimize etme sürecidir. Kalibrasyonda şu yöntemler kullanılır:

- Akım verileriyle karşılaştırma (debiler, seviye-zaman serileri)
- Su yayılım alanlarıyla uyum kontrolü (taşkın haritası eşleşmesi)
- Hata ölçütleri: NSE (Nash-Sutcliffe), RMSE, R², PBIAS gibi istatistikler
- Saha gözlemleri ve uydu verileriyle validasyon (özellikle MIKE 21 için)

Zhang vd. (2024), MIKE 11'in kalibrasyonunun NAM modeliyle eş zamanlı yapılmasının taşkın hacmi tahminlerini iyileştirdiğini göstermiştir.

BULGULAR

Bu bölümde ilk olarak Gazipaşa ilçesi, İnceağrı deresi hakkında bilgiler daha sonra ise İnceağrı deresi Havzası'nda gerçekleştirilen uygulama aktarılmıştır.

Antalya'nın doğusunda yer alan Gazipaşa ilçesi, Akdeniz ikliminin etkisiyle karakterize edilen kısa süreli, yoğun yağışların ve dağlık-kıyı topografyasının bir arada bulunduğu bir coğrafyaya sahiptir. Son yıllarda, iklim değişikliğine bağlı olarak bu kısa süreli şiddetli yağışların sayısı ve yoğunluğu artış göstermekte, bu durum eğimli arazi yapısı ve kontrolsüz kentleşme ile birleşerek taşkın riskini daha da artırmaktadır (Yılmaz, 2015; Tongal, 2019). Özellikle Akdeniz havzasında gözlemlenen toplam yağış miktarındaki azalmaya karşın, yağışın kısa sürede ve şiddetli şekilde gerçekleşmesi, yüzey akışının artmasına ve taşkın olasılığının yükselmesine neden olmaktadır (Armon vd., 2021).

İnceağrı deresi, ilçe merkezine yakın bir güzergâhta akarak kıyıya ulaşmakta, bu süreçte yerleşim alanları, tarım arazileri ve ulaşım altyapılarıyla doğrudan etkileşim göstermektedir. Nehir yatağının bazı bölümlerinde sınırlı kanal kapasitesi ve bu alana paralel ilerleyen düzensiz yapılaşma, yoğun yağış anlarında akarsuyun doğal akış yollarını daraltmakta ve taşkın tehlikesini büyütülmektedir (Demirtaş, 2015). Özellikle alçakta konumlanan tarım alanları ve gecekondü bölgeleri, bu ani taşkınlardan en çok etkilenen yerler arasındadır (Bozan vd., 2019).

İklim değişikliğine paralel olarak artan sıcaklıklar, yağışın mevsimsel dağılımını da değiştirmekte; bu durum özellikle ilkbahar aylarında erozyon ve akış hacminde ciddi yükselmelere neden olmaktadır. Nitekim modellemeler, Antalya özelinde önümüzdeki on yıllarda yağış yoğunluğunda %23'e varan artışlar olabileceğine işaret etmektedir (Yılmaz, 2015). Bu eğilim, özellikle taşkın uyarı sistemlerinin ve altyapı kapasitelerinin güncellenmesi gereğini ortaya koymaktadır. Hidrolojik açıdan değerlendirildiğinde, Gazipaşa'nın kıyı akiferi, hem içme suyu hem de tarımsal sulama açısından yaşamsal bir kaynaktır. Ancak bu akiferin sürdürülebilirliği, artan su talebi ve yağışsız dönemlerde yaşanan buharlaşma kayıpları nedeniyle tehdit altındadır (Bozan vd., 2019). Akiferin beslenmesi esas olarak yağış ve kireçtaşı-mermer birimlerinden gelen sızmalarla sağlanmakta; ancak kurak dönemlerde suyun önemli kısmı yüzey akışı ve buharlaşma ile kaybedilmektedir. Bu durum hem sel hem de kuraklık açısından ikili bir risk ortaya çıkarmaktadır.

Taşkınların yönetimi açısından, Gazipaşa'nın coğrafi özellikleri ani taşkınlar için elverişli bir ortam yaratmaktadır. Eğimli vadiler, dar nehir yatakları ve düşük infiltrasyon kapasitesi, yoğun yağışın kısa sürede yüksek debili akışlara dönüşmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda, geçmişte yaşanan Ekim 2011 taşkını gibi olaylar, topografyanın risk üretici etkisini açıkça göstermektedir (Demirtaş, 2015). Ayrıca, Baykal vd. (2024) tarafından yapılan çalışmalar, kıyı nehirlerinin ağızlarındaki bileşik taşkın risklerinin, deniz seviyesi yükselmesi ve nehir akışlarının etkileşimi sonucu nasıl yoğunlaştığını göstermektedir. Sosyo-ekonomik düzlemde, Gazipaşa'da başlıca ekonomik faaliyet tarım olduğundan, sel olaylarının ekonomik etkileri yalnızca fiziksel hasarla sınırlı kalmayıp, ürün verimliliği ve kırsal geçim kaynaklarını da doğrudan tehdit etmektedir (Bozan vd., 2019). Özellikle sera tarımının yaygın olduğu kıyıya yakın alanlarda, sel olaylarının sıklaşması doğrudan gelir kaybına ve yerel kalkınma üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır.

Altyapı iyileştirmeleri, örneğin dere yataklarının kapasite artırımı ve taşkın koruma duvarları gibi yapısal önlemlerin yanında, erken uyarı sistemleri ve sürdürülebilir su yönetimi politikaları da büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, iklim verileri ile desteklenen hidrolojik modellerin güncellenmesi, gelecekteki taşkınlara karşı daha doğru tahminlerin yapılmasına ve politikaların daha sağlam temellere oturtulmasına katkı sağlayacaktır (Avcı vd., 2021). Çeşitli akademik çalışmalar, bu tür topografik özelliklere sahip alanların taşkın yönetimi açısından öncelikli olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Hacı (2023), vadilerde yoğunlaşan akışın etkilerini incelerken, eğimin ve yüzey geçirgenliğinin taşkın yayılımı üzerindeki belirleyici rolüne dikkat çekmiştir. Karabulut (2022), Riva Deresi örneği üzerinden yapılaşmanın dere yatağını sınırlaması sonucu oluşan taşkın baskısını ortaya koyarken; İlhan (2023), benzer biçimde doğal akış yolları üzerine yayılan plansız yerleşimin taşkın riskini artırdığını göstermiştir.

Gazipaşa özelinde de bu tespitler geçerliliğini korumaktadır. Yerleşim alanlarının dereye yakın konumlanması, kanal altyapısının yetersizliği ve yönlendirme sistemlerinin eksikliği, bölgeyi taşkın açısından kırılgan bir konuma taşımaktadır. Bu doğrultuda, İnceağrı deresi Havzası'nın taşkın açısından modellenmesi, hem mevcut risklerin belirlenmesi hem de gelecekte oluşabilecek senaryolara hazırlık yapılması açısından önem arz etmektedir. Küçük yüzölçümüne sahip ancak yoğun yapılaşmış alanlar, taşkınlar karşısında daha savunmasızdır. Plansız kentleşme, yetersiz altyapı ve geçirimsiz yüzeylerin artışı, suyun doğal yollarla tahliyesini engelleyerek zarar potansiyelini

büyütmektedir. Dere (2019) ve Kaya (2022), doğal drenaj hatlarının bozulmasının, taşkınların sıklığını ve etkisini doğrudan artırdığını vurgulamaktadır.

Gazipaşa'daki durum, bu bilimsel bulgularla örtüşmektedir. Özellikle tarım arazilerinin ve düşük kotta kalan konutların su baskınlarına açık olması, bölgeyi afet riski açısından daha da ön plana çıkarmaktadır. Gülbaz (2019) ve Karabulut (2022), benzer yapısal özelliklere sahip Ayamama ve Riva derelerinde gerçekleştirdikleri taşkın modelleme çalışmaları ile bu tür alanlarda taşkın yönetimi stratejilerinin gerekliliğini ortaya koymuşlardır.

Bu çalışmanın birincil hedefi, İnceağrı deresi Havzası'nda taşkın yayılımının sayısal modelleme ile analiz edilmesi, risk altında bulunan yerleşim birimleri ile altyapı öğelerinin tespit edilerek katkı sunmaktır. Ergül ve Aydın (2025), modelleme çalışmalarında yalnızca yayılım alanlarının değil, ulaşım ve erişim üzerindeki etkilerin de dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır. Şen (2017), afet yönetiminin yalnızca mühendislik çözümleri ile sınırlandırılmayacağını, karar destek sistemlerinin ve senaryo temelli yaklaşımların entegre edilmesinin gerekliliğini vurgulamaktadır. Bu doğrultuda geliştirilecek model hem müdahale hem de önleme aşamalarını kapsayacak biçimde yapılandırılmalıdır.

4.1. İnceağrı deresi Hakkında Bilgiler

4.1.1. Coğrafi konum

İnceağrı deresi Havzası, Türkiye'nin güney kıyısında, Antalya ilinin Gazipaşa ilçesi sınırları içerisinde yer almakta olup, yaklaşık olarak 36°16' kuzey enlemi ile 32°19' doğu boylamları arasında konumlanmaktadır. Akdeniz kıyı şeridinde yer alan havza, alıcı ortam olarak doğrudan Akdeniz'e açılmakta ve bu özelliğiyle deniz seviyesi ile doğrudan etkileşim hâlinde olan kritik bir alt havza niteliği taşımaktadır. Bölge, tipik Akdeniz ikliminin etkisi altındadır; yaz ayları uzun, sıcak ve kurak geçerken, kış aylarında ılıman ve yağışlı hava koşulları hâkimdir. Bu mevsimsel yağış rejimi, yüzeysel akış rejimini belirleyen temel faktörlerden biri olarak öne çıkmakta ve taşkın riskinin özellikle kış aylarında artmasına neden olmaktadır. İnceağrı deresi'nin beslediği bu havza, coğrafi konumu itibarıyla hem meteorolojik hem de topografik faktörler bakımından taşkın modelleme çalışmalarında önemli bir örnek teşkil etmektedir.

4.1.2. Topoğrafya ve eğim yapısı

İnceağrı deresi Havzası, morfolojik açıdan oldukça parçalı ve karmaşık bir yapıya sahiptir; havzanın üst kesimleri, Toros Dağları'nın güney eteklerinden kaynaklanan yüksek kotlu alanlarla başlamaktadır. Doğu–batı doğrultusunda uzanan bu havza, kaynak noktasından itibaren dik yamaçlar ve dar vadiler boyunca ilerleyerek Akdeniz'e ulaşmaktadır. Yamaç eğimlerinin %5 ile %40 arasında değiştiği bu alanlarda, özellikle eğimin %15'in üzerinde olduğu bölgelerde yüzeysel akış hız kazanmakta ve taşkın oluşum riski artmaktadır. Ortalama eğimin %12–15 seviyelerinde olduğu havzada, maksimum yükselti yaklaşık 1500 metre civarındayken, en düşük nokta deniz seviyesi olan 0 metredir. Bu topografik özellikler, ani yağışlarla birlikte yüzeysel akışın yoğunlaştığı ve taşkın potansiyelinin yüksek olduğu alanların belirlenmesinde kritik rol oynamakta, aynı zamanda hidrodinamik modellemelerde dikkate alınması gereken temel parametrelerden biri olarak öne çıkmaktadır.

4.1.3. Hidrografik özellikler

İnceağrı deresi, Akdeniz'e ulaşan kısa mesafeli bir akarsu olmasına rağmen, özellikle mevsimsel rejimi ve topografik özellikleri nedeniyle ani taşkınlara neden olabilecek niteliktedir. Yüzeysel akış karakteri gösteren bu akarsu, yılın büyük bölümünde düşük debili ya da kuru akarken, özellikle Ekim ile Mart ayları arasında yoğun yağışların etkisiyle yüksek debili ve taşkın potansiyeli yüksek akışlara sahne olmaktadır. Bu dönem, havzada taşkın riskinin en yüksek olduğu zaman aralığını oluşturmaktadır. Yaklaşık 60–80 km²'lik bir alanı drene eden havza, bir ana kol ile ona bağlı çeşitli tali kolların birleşiminden oluşmaktadır. Bu kolların ani yağışlarla birlikte oluşturduğu birleşik yüzeysel akışlar, özellikle alt havza kesimlerinde kısa sürede yüksek taşkın debilerine ulaşabilmektedir. Bu durum, hidrodinamik modelleme çalışmalarında dikkate alınması gereken önemli bir hidrografik özelliktir.

4.1.4. Arazi kullanımı ve yerleşim özellikleri

İnceağrı deresi Havzası, arazi kullanımını açısından çeşitli doğal ve insan kaynaklı örtülere sahip olup, hem kırsal hem de yarı kentsel karakter taşıyan bir yapıya sahiptir. Havza genelinde en yaygın arazi örtüsünü ormanlık alanlar (%45) oluşturmaktadır; bunu tarım alanları (%35) ve yerleşim ile açık alanlar (%20) izlemektedir. Tarımsal faaliyetler özellikle muz seraları etrafında yoğunlaşmakta ve bu alanlar, düşük kotlarda yer almaları nedeniyle taşkına karşı yüksek hassasiyet göstermektedir. Kıyıya yakın konumlanan

Pazarcı, Kahyalar, Çıtak ve sahil şeridindeki yerleşimler ise hem yüzeysel akışın toplanma noktalarına yakınlıkları hem de altyapı eksiklikleri nedeniyle taşkın riskine en açık bölgeler olarak öne çıkmaktadır. Havza, son yıllarda artan yapılaşma ve kentsel yayılma baskısı altındadır; bu durum geçirimsiz yüzey oranını artırarak hem yüzeysel akışı hem de taşkın oluşma potansiyelini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu nedenle arazi kullanım deseninin doğru analiz edilmesi, taşkın riski değerlendirmelerinde kritik bir rol oynamaktadır.

4.1.5. Jeoloji ve zemin özellikleri

İnceağrı deresi Havzası'nın jeolojik yapısı, büyük ölçüde karstik kalker formasyonları ile karakterize edilmekte olup, yer yer kireçtaşı ve kıltaşı gibi geçirimsiz ya da yarı geçirimsiz litolojik birimlerle desteklenmektedir. Bu litolojik yapı, özellikle yüzeysel akışın kısa sürede yüksek debilere ulaşmasına olanak tanımakta ve taşkın oluşumu açısından kritik bir rol oynamaktadır. Havza genelinde infiltrasyon kapasitesi düşük ile orta düzeyde değişmekte olup, yağışın toprağa sızma oranı sınırlı kalmaktadır. Bu durum, yoğun ve kısa süreli yağışlarda yüzeysel akışın artmasına ve suyun drenaj sistemine yeterince entegre olamadan taşkın riski yaratmasına neden olmaktadır. Zemin yapısındaki geçirimsiz katmanların yüzeyde baskın olması, hidrodinamik modellemelerde Manning pürüzlülük katsayısı ve su tutma kapasitesi gibi parametrelerin dikkatle ele alınmasını zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda, havzanın jeolojik ve zemin özellikleri, taşkın yayılımının belirlenmesinde temel girdiler arasında yer almaktadır.

4.1.6. Havza tanıtım

Gazipaşa ilçesi, Antalya ilinin doğu ucunda, Akdeniz Bölgesi'nin geçiş zonunda yer alan bir yerleşim birimidir. Yüzölçümü yaklaşık 1.111 km² olup, doğuda Mersin ili Anamur ilçesi, kuzeyde ise Karaman ili Sarıveliler ilçesi ile sınır komşuluğu bulunmaktadır. Kuzeyinde yer alan Toros Dağları ve güneyde Akdeniz ile olan sınır, bölgenin morfolojik yapısını belirleyen temel faktörlerdir. Bu yerleşim alanı, hem dağlık hem de kıyı topografyasını bir arada barındırması nedeniyle kısa mesafelerde yüksek eğim farklarını barındırmakta ve bu durum, yüzeysel su akışını önemli ölçüde etkilemektedir.

İnceağrı deresi, Toros Dağları'ndan doğmakta ve vadiler boyunca güneybatı yönünde ilerleyerek ilçe merkezinden geçip Akdeniz'e dökülmektedir. Yaklaşık 3 kilometre uzunluğunda bir akış hattına sahip olan bu dere, yüksek eğimli yapısı nedeniyle

ani yüzeysel akışların oluşmasına neden olabilecek nitelikte tipik bir kıyı havzası örneğidir. Havza, kuzeydeki kaynak alanlarından başlayarak Akdeniz'e kadar olan tüm drenaj sistemini kapsamakta ve bu doğrultuda su toplama fonksiyonunu yerine getirmektedir.

İnceağrı deresi Havzası'nın sınırları, topografik su bölümü çizgileri ve sayısal yükseklik modelleri (DEM) kullanılarak CBS tabanlı olarak belirlenmiştir. Bu havza, Türkiye'nin hidrolojik sınıflandırmasında "25. Kıyı Akdeniz Havzası" içinde yer almakta olup, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından "Antalya Havzası" içindeki alt havzalardan biri olarak tanımlanmaktadır. Bu sınırlandırma, hidrolojik modelleme, arazi kullanım planlaması ve taşkın yönetimi gibi çalışmalarda temel veri kaynağı niteliği taşımaktadır.

Havzanın kuzeyinde yer alan Deliktaş (2.253 m) ve Yüglük Dağı (2.245 m) gibi yüksek doruklar, yüksek eğimli dağlık yapının öne çıkan unsurlarıdır. Bu alanlarda yağışlar, yüzeysel akışa hızlı şekilde dönüşmekte ve taşkın potansiyelini artırmaktadır. Güneyde yer alan alüvyon dolgu ovalar, tarımsal faaliyetler açısından yoğun olarak kullanılmakta; orta kesimde ise vadi yapıları ön plandadır. Bu vadiler, topografik karmaşıklığın ve taşkın yayılım potansiyelinin yoğun olduğu bölgeleri oluşturmaktadır.

Jeolojik olarak, dağlık kesimlerde kalker ve mermer gibi geçirgen litolojiler, yer altı suyu beslenmesini kolaylaştıran bir zemin oluştururken; kıyıya yaklaşıldıkça alüvyon dolgu tabakaları ve geçici akifer yapıları baskın hale gelmektedir. Bu durum, yüzey sularının kısa süreli olarak depolanmasına olanak tanımakta, ancak mevsimsel olarak yer altı su rejiminde belirgin dalgalanmalara neden olmaktadır.

Gazipaşa ilçesinde yıllık ortalama yağış miktarı 600 ila 800 mm arasında değişmekte olup, yağışların büyük bölümü kış aylarında gerçekleşmektedir. Yıllık yeraltı suyu beslenimi yaklaşık 71,1 milyon metreküp olup, bunun 32 milyon metreküplük kısmı yağışlardan, kalanı ise dağ tortularındaki geçirgenlikten kaynaklanmaktadır. Havzanın su bütçesi; evapotranspirasyon, yüzey akış, tarım ve evsel kullanım ile denize boşalım arasında dengelenmektedir. Bu denge, hidrolojik modelleme açısından önemli bir referans sunmaktadır.

Havzanın morfometrik yapısı, dik yamaçlar, kısa mesafelerdeki yüksek kot farkları ve dar nehir koridorlarıyla karakterize edilmiştir. Bu yapı, ani yağışlar sonrasında hızlı su birikimine ve taşkın oluşumuna neden olabilmektedir. Kıyıya yakın alanlarda alüvyon ovalar yoğun tarım faaliyetlerine konu olmakta; orta ve üst kesimlerde ise artan yapılaşma, doğal akış yollarını bozmaktadır. Geçirimsiz yüzeylerin (asfalt, beton vb.)

artışı, suyun doğal drenaj yollarından uzaklaşmasına neden olmaktadır. Bu durum, hem taşkın riskini hem de erozyon potansiyelini artıran çift yönlü bir etki yaratmaktadır.

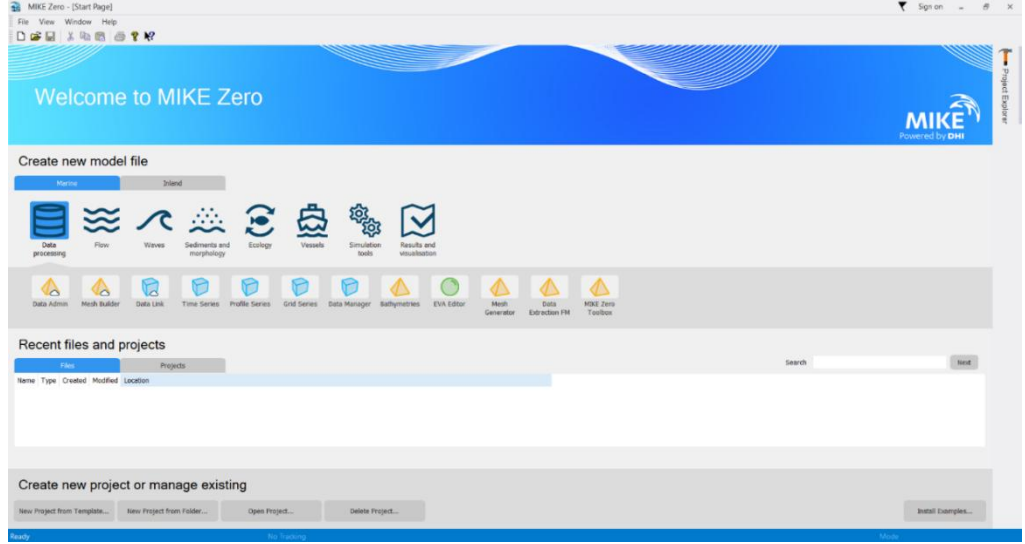
İnceağrı deresi boyunca yer alan altyapı elemanları (köprüler, menfezler vb.), özellikle ilçe merkezine yakın kısımlarda taşkın anlarında suyun akışını kısıtlayabilmekte ve yerleşim alanları için risk oluşturmaktadır. CBS tabanlı analizlerle haritalanan bu altyapının kapasitesi, bazı bölgelerde yetersiz kalmakta ve sürekli taşkın olaylarının yaşanmasına zemin hazırlamaktadır. Bu durum, taşkın yönetimi kapsamında altyapının yeniden değerlendirilmesi ihtiyacını gündeme getirmektedir.

4.2. İnceağrı deresi Havzası Taşkın Modellemesi ve Analizi Uygulaması

Bu bölümde, Antalya'nın doğusundaki Gazipaşa ilçesinde yer alan İnceağrı deresi Havzası'nda gerçekleştirilen taşkın modellemesi ve analiz çalışmalarının metodolojisi, kullanılan yazılımlar ve elde edilen sonuçlar detaylandırılmaktadır. Bir önceki bölümde havzanın coğrafi konumu, topografik yapısı, hidrografik özellikleri, arazi kullanımı, jeolojisi ve taşkın riskini artıran çevresel faktörler ayrıntılı olarak incelenmişti. Bu kısımda ise, belirlenen bu risklerin sayısal modelleme yöntemleriyle nasıl değerlendirildiği ve gelecekteki olası taşkın senaryolarına karşı hazırlıklı olma potansiyelinin nasıl artırıldığı adım adım açıklanacaktır.

4.2.1. Kullanılan yazılımlar ve veri kaynakları

Bu çalışma kapsamında, İnceağrı deresi Havzası'nda taşkın modellemesi ve risk analizi için çeşitli ileri düzey yazılımlar ve güvenilir veri kaynakları kullanılmıştır. Hidrolik modelleme süreçleri için DHI MIKE Zero yazılımı tercih edilmiştir. MIKE Zero, özellikle karmaşık topografyaya sahip alanlarda iki boyutlu (2D) hidrodinamik akış modellemesi yapabilme yeteneği sayesinde taşkın yayılımlarını yüksek hassasiyetle simüle etmede etkili bir araç olmuştur. Programın kullanıcı dostu arayüzü, model kurulumunu ve sonuç analizini büyük ölçüde kolaylaştırmıştır.



Şekil 4.1. MIKE Zero Program Ara Yüzü.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) tabanlı analizler için Global Mapper yazılımından faydalanılmıştır. Bu yazılım, havza sınırlarının belirlenmesi, arazi kullanım haritalarının oluşturulması, Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) verilerinin işlenmesi ve tüm mekânsal verilerin modelleme ortamına entegrasyonunda kritik bir rol oynamıştır.

Elde edilen model sonuçlarının gerçek coğrafya üzerinde görselleştirilmesi ve etkileşimli olarak incelenmesi amacıyla Google Earth Pro kullanılmıştır. MIKE Zero'dan dışa aktarılan taşkın yayılım verileri, Google Earth Pro'ya aktarılarak arazi üzerindeki etkileşimli incelemelere olanak tanımıştır.

Çalışmanın temel veri girdileri aşağıdaki kaynaklardan temin edilmiştir:

- **Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) Verisi:** Yüksek çözünürlüklü DEM verisi, hassas topografik temsil sağlamak amacıyla Harita Genel Komutanlığı'ndan temin edilmiştir.
- **Yağış Verileri (UDF):** Taşkın debilerinin belirlenmesi ve tekerrür analizlerinin yapılabilmesi için gerekli olan anlık yağış verileri (UDF - Uniformly Distributed Rainfall), Meteoroloji Genel Müdürlüğü Alanya İlçe Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Bu veriler, farklı taşkın senaryoları için hidrograf üretiminin temelini oluşturmuştur.

MIKE Zero Yazılımı ile Hidrodinamik Modelleme Sürecinin Aşamaları

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilen hidrodinamik modellemenin temel aşamaları, DHI tarafından geliştirilen MIKE Zero yazılım paketi kullanılarak aşağıda belirtilen sıra ile takip edilmiştir:

1. **Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) Verilerinin Hazırlanması ve Aktarılması:** Modelleme yapılacak olan çalışma alanına ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verileri, Global Mapper programı aracılığıyla işlenmiş ve .xyz formatında dışa aktarılmıştır. Elde edilen bu topoğrafik veri seti, MIKE Zero yazılım ortamına aktarılarak modelin temel altlığı oluşturulmuştur.
2. **MIKE Zero Proje Dosyasının Oluşturulması:** Yazılım arayüzünde, modelleme çalışmasına ait tüm dosyaları ve ayarları içerecek olan ana proje dosyası tesis edilmiştir.
3. **Model Girdi Dosyalarının Tanımlanması:** Oluşturulan proje dosyası bünyesinde, hidrodinamik simülasyon için gerekli olan temel girdi dosyaları yapılandırılmıştır. Bu dosyalar ve içerikleri şunlardır:
 - **Simülasyon Dosyası (.sim11):** Modelin genel ayarlarını ve çalıştırılacak modülleri belirten ana simülasyon dosyasıdır.
 - **Nehir Ağı Dosyası (.nwk11):** Nehir güzergahını, kollarını ve temel geometrik yapısını içeren ağ dosyasıdır.
 - **Enkesit Dosyası (.xns11):** Nehir yatağının belirli noktalarından alınan enkesit verilerinin tanımlandığı dosyadır.
 - **Sınır Koşulu Dosyası (.bnd11):** Modelin memba ve mansap gibi sınır noktalarındaki hidrolojik koşulların tanımlandığı dosyadır.
4. **Nehir Ağının Sayısallaştırılması:** Modelin çalışma alanı içerisinde, ana nehir güzergahı ve varsa yan kolları dijital olarak çizilerek nehir ağının geometrisi tanımlanmıştır.
5. **Hesaplama Ağının (Mesh) Oluşturulması:** Modelin sayısal çözümlemesinin yapılacağı, üçgen veya dörtgen hücrelerden oluşan hesaplama ağı (mesh), çalışma alanının geometrisi ve topoğrafyası dikkate alınarak .mdf formatında üretilmiştir.
6. **Sınır Noktalarının Belirlenmesi:** Çalışma alanına suyun giriş yapacağı memba noktaları ile suyun sistemi terk edeceği mansap noktaları, yani sınır koşullarının uygulanacağı konumlar, model üzerinde tanımlanmıştır.
7. **Zaman Serisi Verilerinin Hazırlanması ve Hidrografın Oluşturulması:** Modelin sınır koşulu olarak kullanılacak debi verilerini içeren zaman serisi dosyası .dfs0 formatında oluşturulmuştur. Bu veriler kullanılarak modele girdi olarak verilecek olan akım hidrografi elde edilmiştir.
8. **Hidrodinamik Parametre Dosyasının Oluşturulması:** Modelin hidrodinamik çözümlemesi için gerekli olan pürüzlülük (Manning 'n' katsayısı gibi), girdap

viskozitesi ve diğer fiziksel parametreleri içeren .hd11 uzantılı parametre dosyası hazırlanmıştır.

9. **MIKE 21 Akış Modelinin Kurulması:** Önceki adımlarda hazırlanan tüm coğrafi, geometrik ve hidrolojik verilerin entegre edildiği MIKE 21 Akış Modeli (.m21fm) dosyası oluşturularak simülasyon çalıştırılmaya hazır hale getirilmiştir.

4.2.2. Modelleme metodolojisi

Bu kısım, İnceağrı deresi Havzası'nda gerçekleştirilen taşkın modellemesi sürecini adım adım açıklamaktadır. Uygulanan teknik detaylar ve yöntemler aşağıda sunulmuştur.

Pik Debinin Hesaplanması (Rasyonel Yöntem)

Havza alanı ve arazinin akışa geçme potansiyeli belirlendikten sonra, belirli bir yağış olayının oluşturacağı en yüksek debiyi tahmin etmek için **Rasyonel Yöntem** kullanılmıştır. Özellikle küçük havzalarda pik debi hesabı için pratik ve güvenilir sonuçlar veren bu yöntemin temel formülü aşağıdaki gibidir:

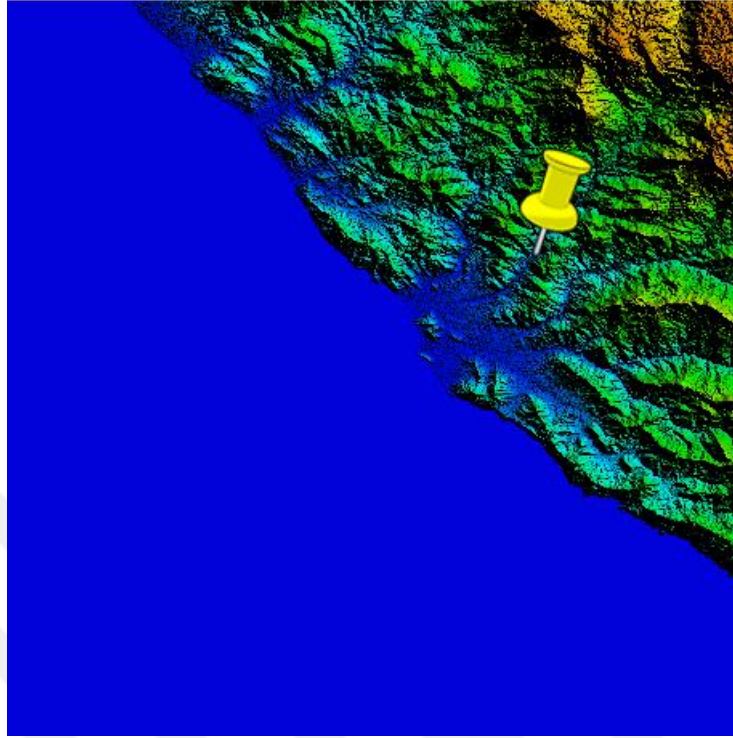
$$Q = C \cdot I \cdot A \quad 4.1$$

Formüldeki değişkenler şu anlama gelmektedir:

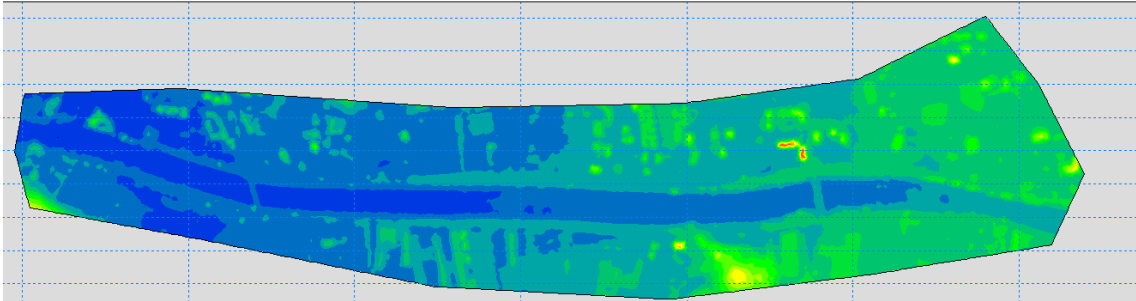
- **Q (Pik Debi):** Havza çıkış noktasından birim zamanda geçen en yüksek su miktarıdır. Genellikle birimi metreküp/saniye (m³/s) olarak ifade edilir.
- **C (Akış Katsayısı):** Yağışın ne kadarlık bir oranının yüzeysel akışa geçtiğini gösteren boyutsuz bir katsayıdır. Bu katsayı, daha önce SCS CN metoduyla bulunan arazi özelliklerine (toprak cinsi, arazi kullanımı, eğim vb.) bağlı olarak belirlenir. CN değeri yüksek olan arazilerin C katsayısı da yüksek olur.
- **I (Yağış Şiddeti):** Belirli bir tekrarlanma periyodu (örneğin 50 yıllık, 100 yıllık) için havzanın konsantrasyon süresine eşit sürede yağın yağışın birim zamandaki miktarıdır. Birimi genellikle milimetre/saat (mm/saat) veya metre/saniye (m/s) olarak kullanılır.
- **A (Havza Alanı):** Yağışın düştüğü ve toplandığı, WMS programı ile belirlenen toplam coğrafi alandır. Birimlerin uyumlu olması için genellikle metrekare (m²) veya hektar (ha) olarak formüle dahil edilir.

Havza Sınırlarının Belirlenmesi ve DEM Verisi İşleme: İnceağrı deresi Havzası'nın sınırları, temin edilen yüksek çözünürlüklü DEM verisi kullanılarak CBS tabanlı yazılımlar aracılığıyla otomatik olarak belirlenmiştir. Bu sayede, topografik su bölümü çizgileri hassas bir şekilde tespit edilerek havzanın drenaj alanı eksiksiz tanımlanmıştır. Modelin doğruluğunu artırmak ve yüzey sürekliliğini sağlamak amacıyla

DEM verisi üzerinde **interpolasyon** işlemi uygulanmıştır. Bu işlem, topografik detayların modelde daha doğru temsil edilmesine olanak sağlamıştır.



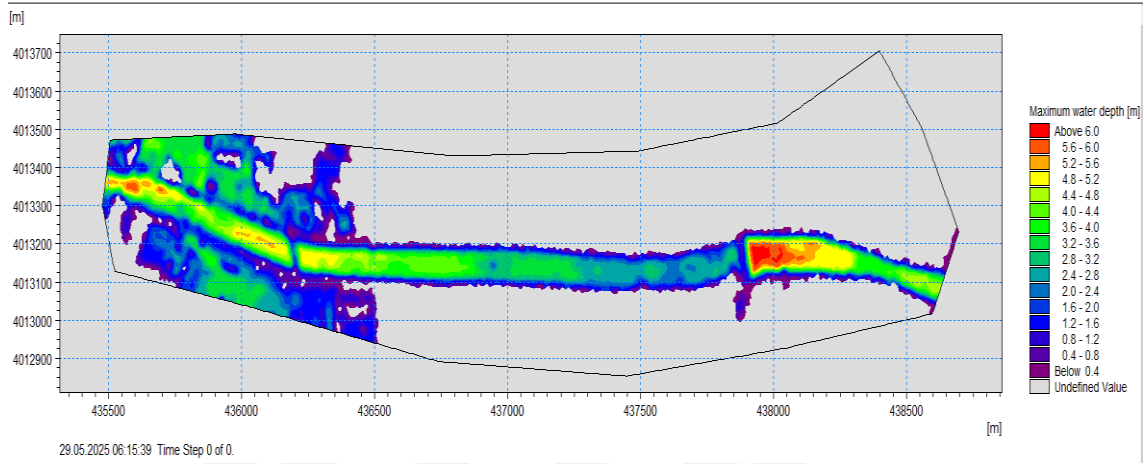
Şekil 4.2. DEM Verisi



Şekil 4.3. Dem Verisinin İnterpol'e Edilmiş Hali

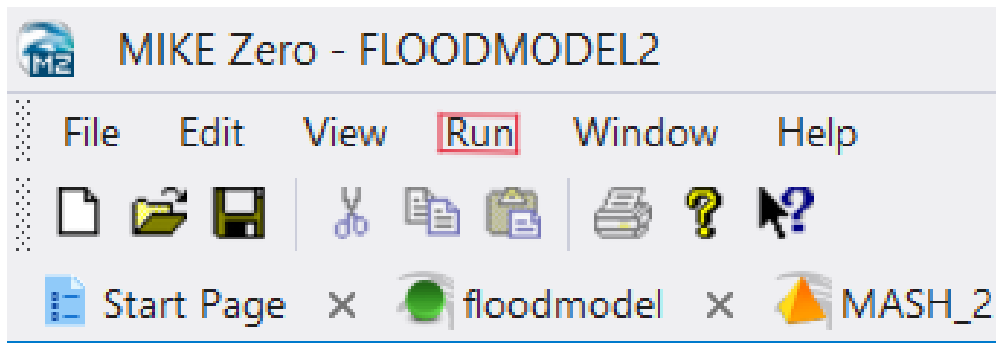
Arazi Kullanımı ve Pürüzlülük Katsayılarının Tanımlanması: Havza içindeki farklı arazi kullanım tipleri (ormanlık alanlar, tarım arazileri, yerleşim alanları vb.), güncel arazi kullanım haritaları kullanılarak belirlenmiştir. Bu harita verileri, modelde FTher bir arazi tipi için Manning pürüzlülük katsayılarının atanmasında kullanılmıştır. Manning katsayısı, su akışının yüzeydeki direncini temsil eder ve taşkın yayılımının hızı ile derinliğini doğrudan etkiler. Örneğin, yerleşim alanları ve asfalt gibi geçirimsiz yüzeyler daha düşük pürüzlülük katsayısına sahipken, yoğun bitki örtüsü olan alanlar daha yüksek katsayılara sahiptir. Bu, suyun farklı yüzeylerde farklı hızlarda akmasını ve yayılmasını sağlar.

Hidrograf Verilerinin Hazırlanması ve Tekerrür Analizi: Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri kullanılarak tekerrür analizi yapılmıştır. Bu analiz, 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür periyotlarına karşılık gelen farklı büyüklükteki taşkın olaylarının debi-zaman hidrograflarını oluşturmak için kullanılmıştır. Her bir hidrograf, ilgili tekerrür periyodunda İnceağrı deresi'ne belirli bir zaman aralığında giren su miktarının değişimini temsil etmektedir.

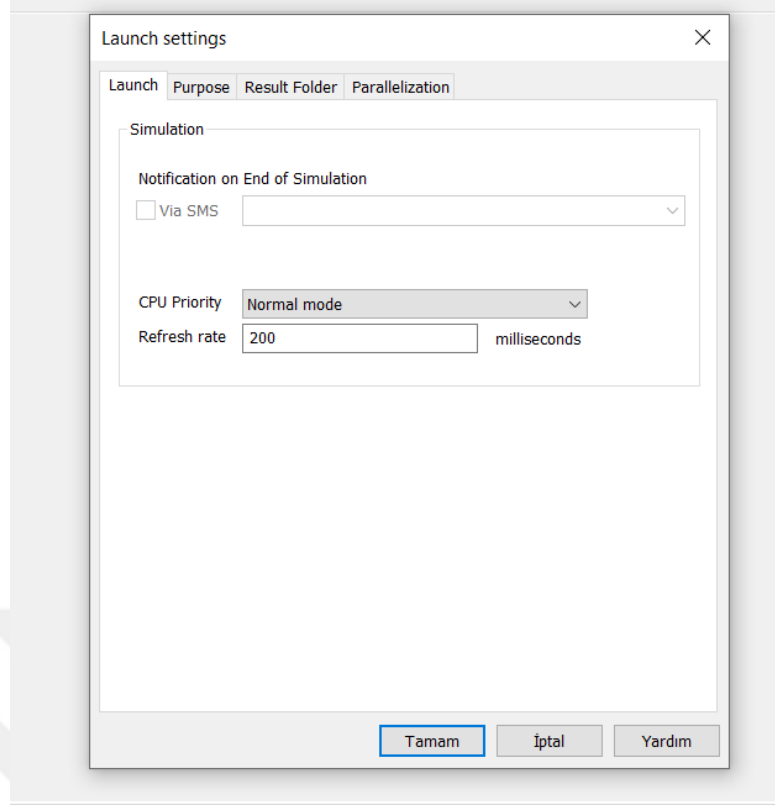


Şekil 4.4. 200 Yıllık Taşkın Risk Haritası

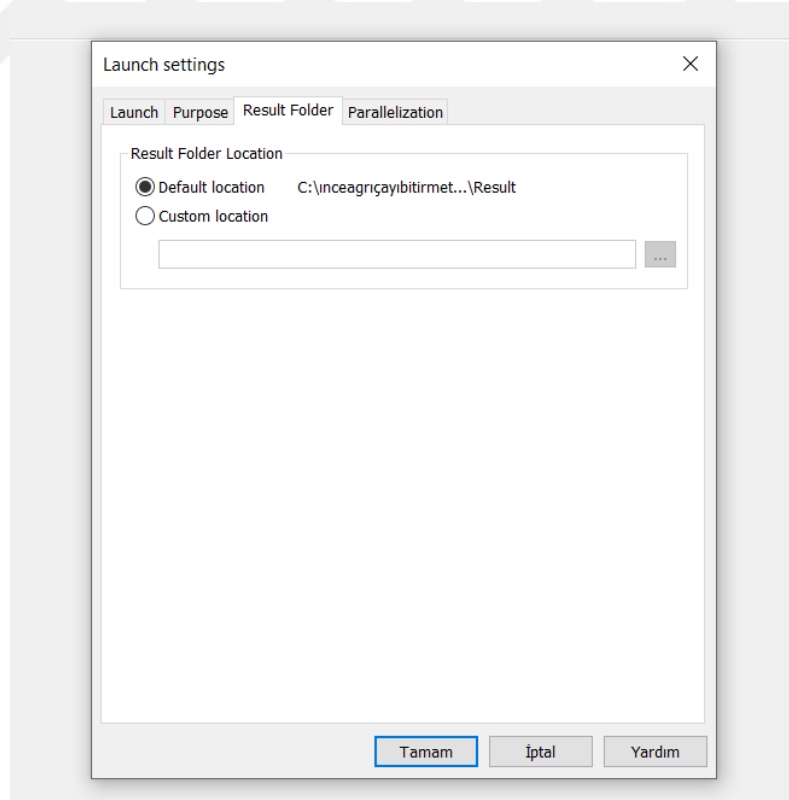
MIKE Zero ile Model Kurulumu ve Simülasyon Aşaması: MIKE Zero ortamında, hazırlanan DEM verisi, arazi kullanım katmanı ve buna bağlı pürüzlülük katsayıları model alanına entegre edilmiştir. Taşkın simülasyonları için belirlenen hidrograf verileri, dere giriş noktalarında akış sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Model, hidrodinamik denklemleri çözerek su derinliği ve akış hızı gibi parametreleri hesaplamıştır. Simülasyon başlatma işlemi, MIKE Zero'daki ilgili komutlar ve "Launch" sekmesi aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Simülasyon sonrası sonuçlar, "Result Folder" sekmesi altında toplanmıştır. "Output 1 sonucu istenilenler" simülasyon sonrası elde edilen çıktılarından belirli analizlerin yapıldığını göstermektedir.



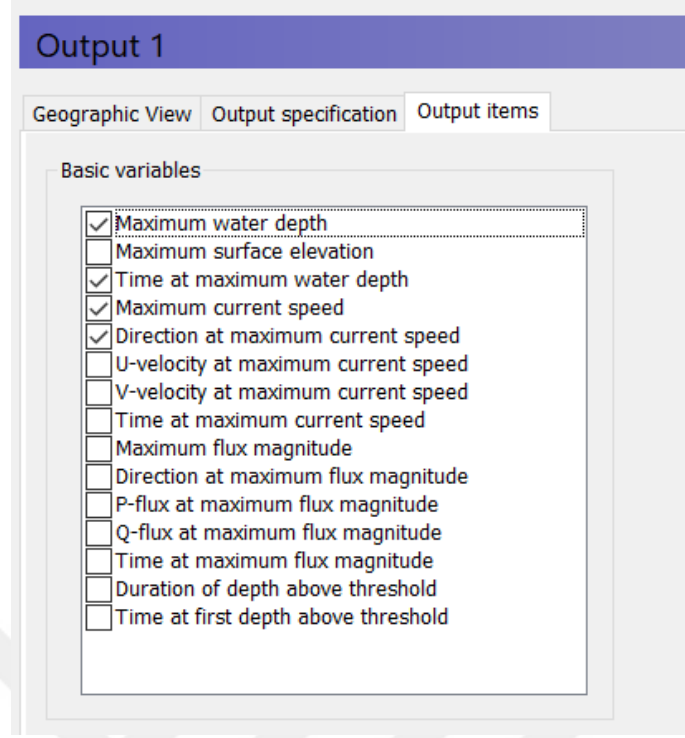
Şekil 4.5. Simülasyon Başlatma Komutu



Şekil 4.6. Launch Sekmesi



Şekil 4.7. Result Folder Sekmesi

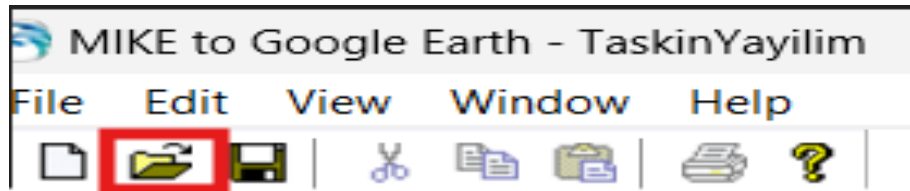


Şekil 4.8. Output 1 Sonucu İstenilenler

4.2.3. Elde edilen taşkın risk haritaları ve analizleri

Yapılan hidrolik modelleme sonucunda, farklı tekerrür periyotlarına (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıl) ait potansiyel taşkın yayılım alanlarını ve su derinliklerini gösteren detaylı **taşkın risk haritaları** oluşturulmuştur. Bu haritalar, belirli bir taşkın olayının İnceağrı deresi Havzası'nda nerelere kadar yayılabileceğini ve bu alanlardaki su derinliklerini görsel olarak sunmaktadır.

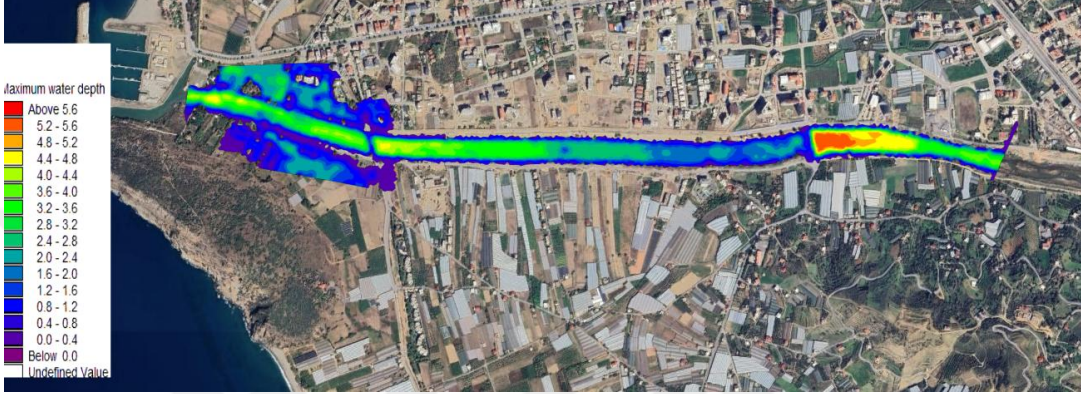
Elde edilen simülasyon verileri, "MIKE to Google Earth" özelliği ve "Launch to Google Earth" seçeneği takip edilerek **Google Earth Pro** ortamına aktarılmıştır. Bu entegrasyon, model sonuçlarının gerçek coğrafi bağlamda kolayca yorumlanmasına ve riskli alanların görsel olarak tespit edilmesine olanak tanımıştır.



Şekil 4.9. Mike to Google Earth'te File Komutu

Image				
Width:	Height:	Start time step:	Max no. of frames:	Transparency
2000 [pixels]	1600 [pixels]	1 [-]	1 [-]	0 [pct]
Output folder				
Name:				...
Export images and create KML-file			Launch Google Earth...	

Şekil 4.10. Simüle Edilen Veriyi Launch to Google Earth seçeneğiyle Ön İzleme



Şekil 4.11. Verinin Google Earth Pro'ya Aktarılmış Görüntüsü



Şekil 4.12. Bölgenin Ham Haritasının Görüntüsü

Şekil 5.11 de risk haritasında kırmızı renkte işaretlenen bölge, Şekil 5.12 de de görüldüğü üzere, gerçek coğrafi konumda bir köprü yapısına tekabül etmektedir. Bu durum, risk değerlendirme sürecinde yapısal elemanların doğru şekilde tanımlanmasının önemini ortaya koymaktadır. Risk haritasındaki kırmızı işaretleme, yüksek risk seviyesini gösterirken, aynı zamanda bu bölgenin altyapı elemanı olarak köprü yapısı olduğu gerçeğini de yansıtmaktadır. Bu tür yapısal elemanların risk analizinde özel değerlendirmeye tabi tutulması gerektiği, harita üzerindeki görsel gösterim ile desteklenmektedir.

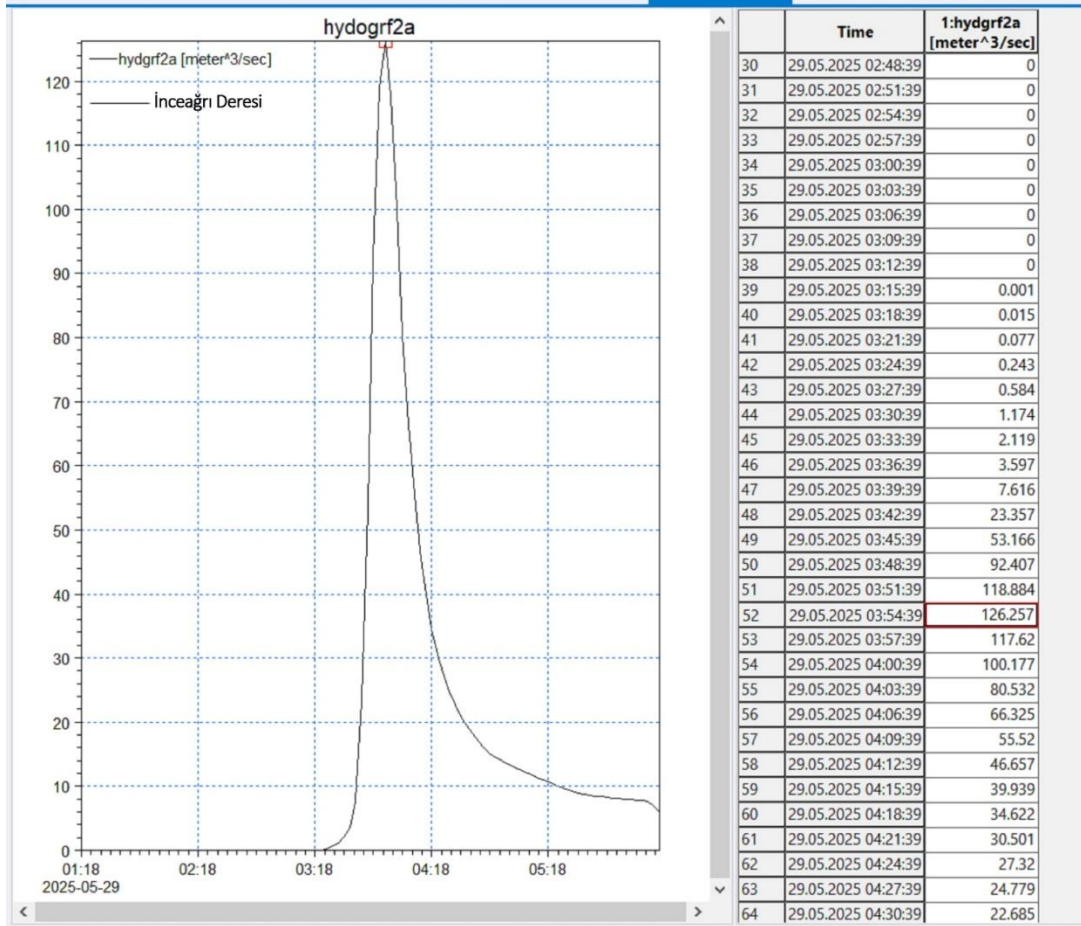
Tekerrür Periyotlarına Göre Taşkın Risk Haritaları ve Analizleri:

- 2 Yıllık Tekerrür Periyodu Taşkın Risk Haritası

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri ile tekerrür analizi yapıp **2 yıllık taşkın risk haritası** oluşturulmuştur. Bu harita, İnceağrı deresi'nde ortalama her iki yılda bir meydana gelmesi beklenen taşkın senaryosunu yansıtmaktadır. Genellikle dere yatağına en yakın, düşük kotlu ve düz alanlarda sınırlı bir yayılım göstermektedir.



Şekil 4.13. 2 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası

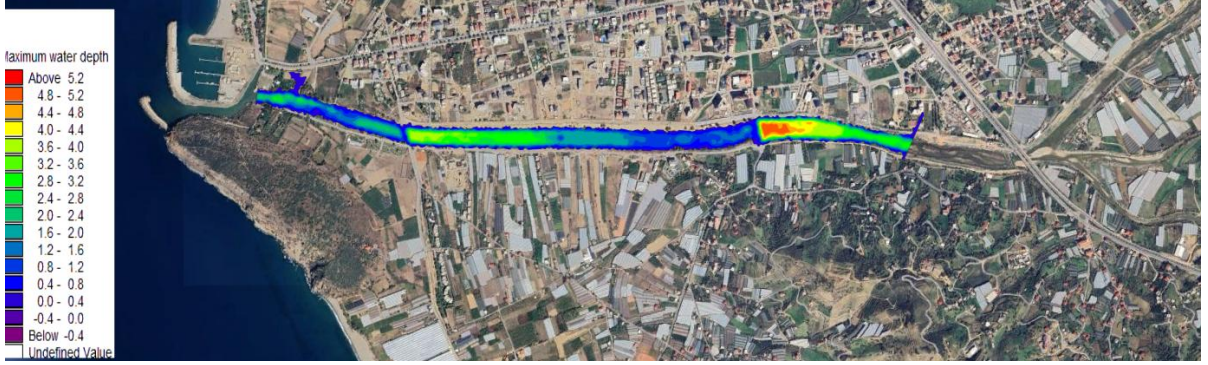


Şekil 4.14. -2 Yıllık Hidrograf Verisi

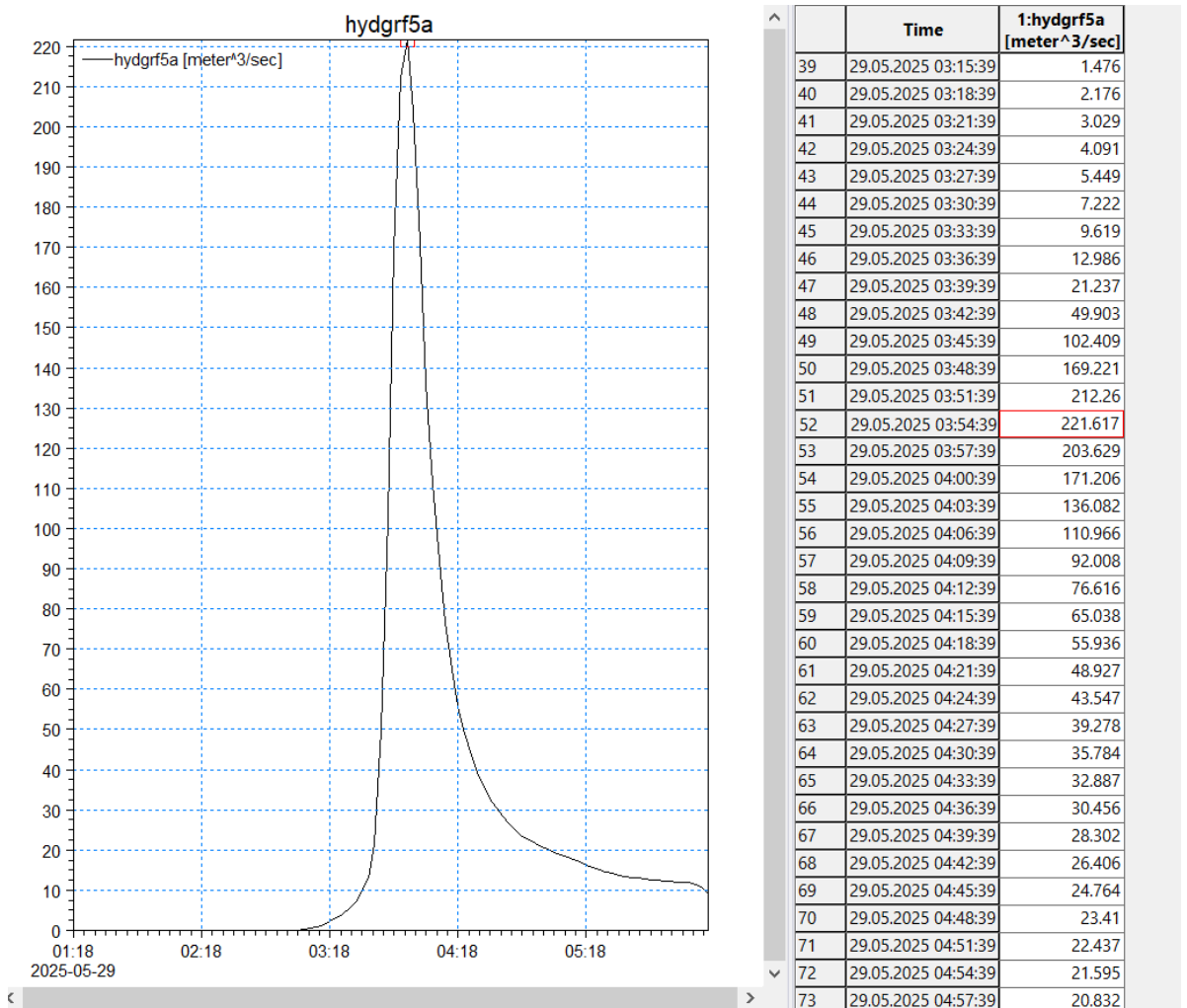
➤ 5 Yıllık Tekerrür Periyodu Taşkın Risk Haritası

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri ile tekerrür analizi yapıp **5 yıllık taşkın risk haritası** oluşturulmuştur. Bu senaryoda, taşkın suyunun yayılım alanı

2 yıllık senaryoya göre bir miktar artış göstermiş, özellikle tarım arazilerinin ve dereye yakın yerleşim yerlerinin etkilendiği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.15. 5 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası

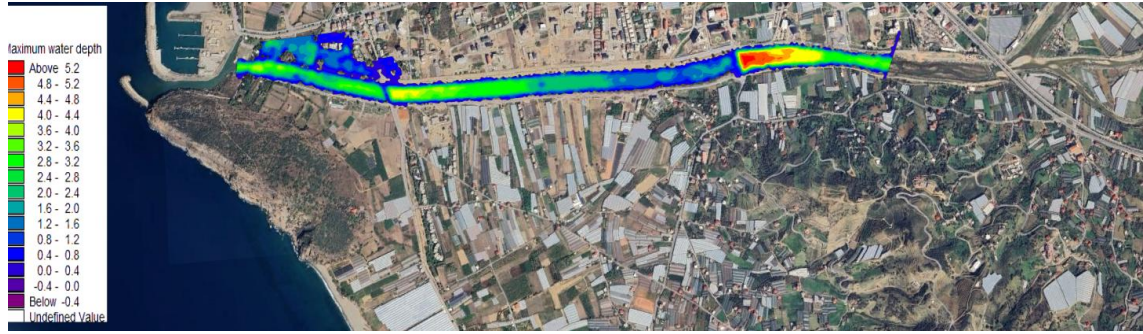


Şekil 4.16. -5 Yıllık Hidrograf Verisi

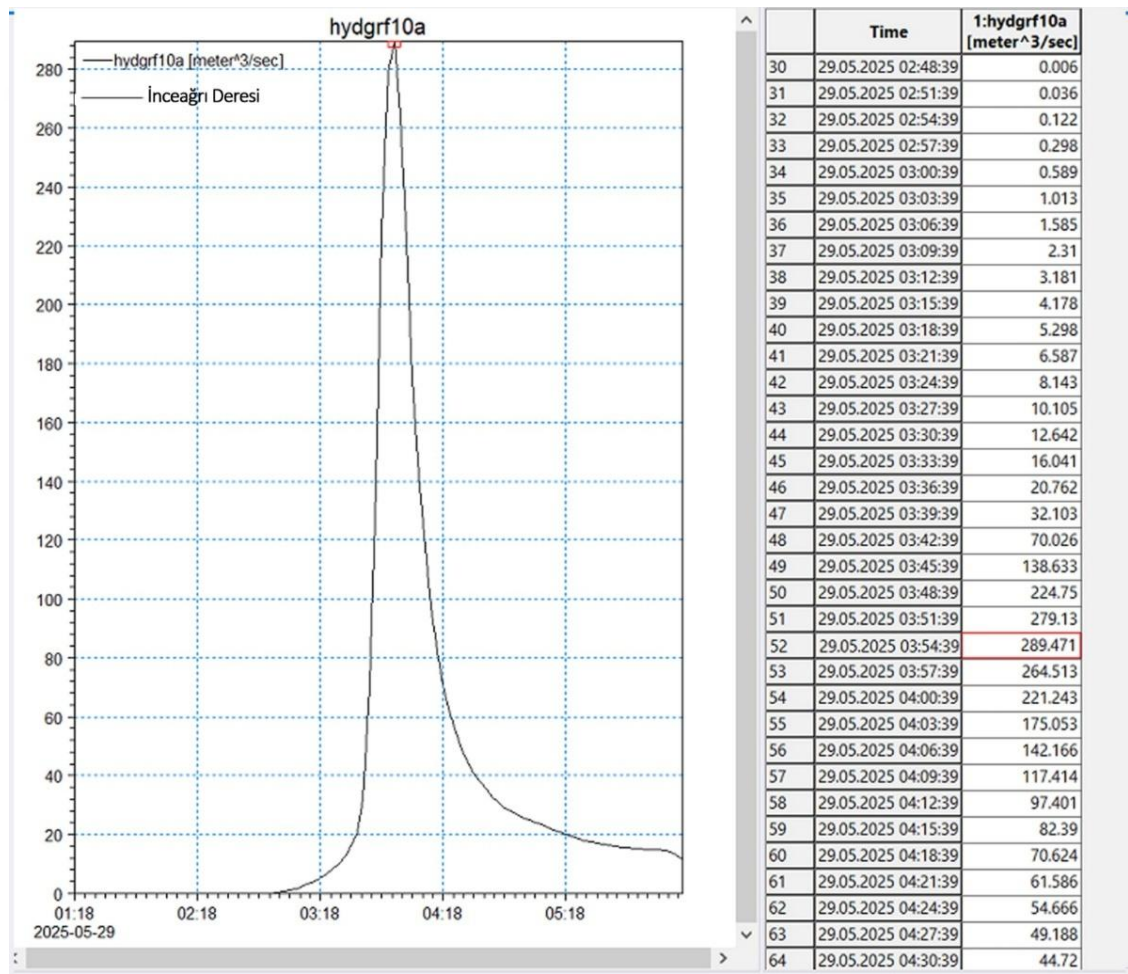
➤ 10 Yıllık Tekerrür Periyodu Taşkın Risk Haritası

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri ile tekerrür analizi yapılarak **10 yıllık taşkın risk haritası** oluşturulmuştur. 10 yıllık taşkın, daha geniş bir alanı

etkileyerek özellikle dere yatağına paralel uzanan konutları ve tarımsal seraları tehdit eden bir yayılım sergilemiştir.



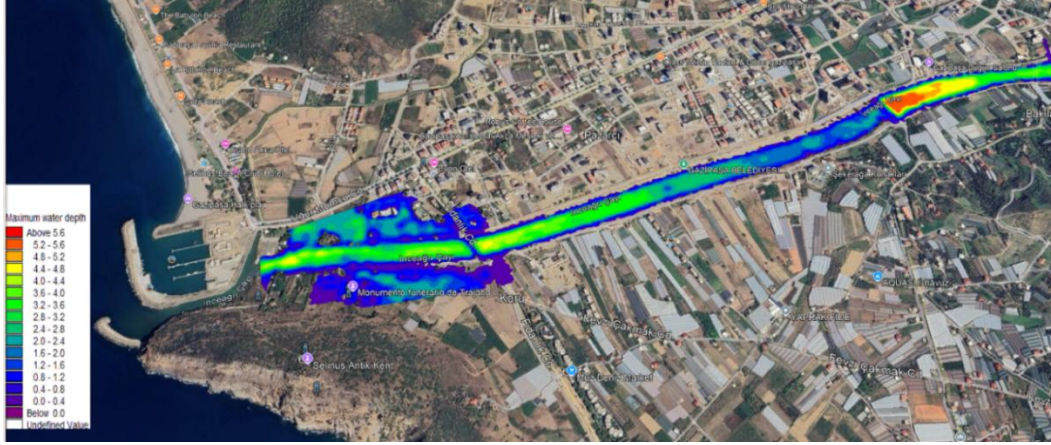
Şekil 4.17. 10 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası



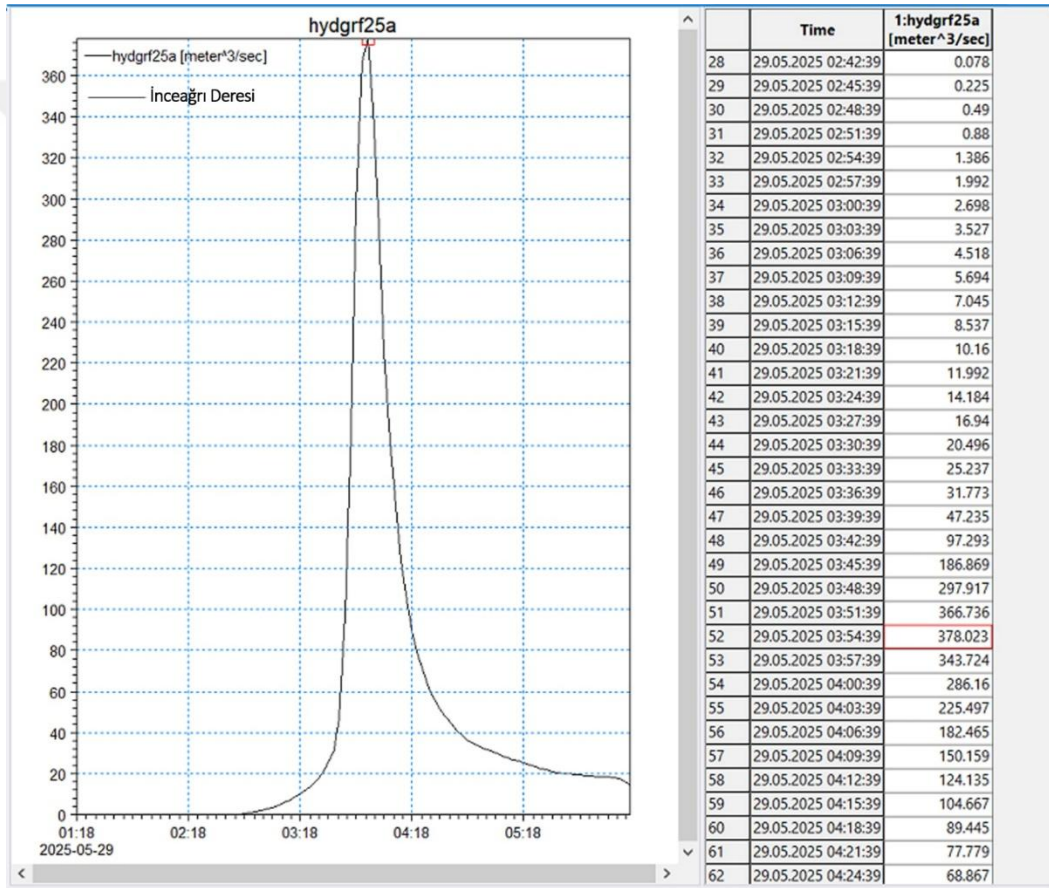
Şekil 4.18. 10 Yıllık Hidrograf Verisi

➤ 25 Yıllık Tekerrür Periyodu Taşkın Risk Haritası

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri ile tekerrür analizi yapıлып **25 yıllık taşkın risk haritası** oluşturulmuştur. Bu periyot için, taşkın suyunun etkisi önemli ölçüde artmış; bazı ana ulaşım hatları ve daha iç kesimlerdeki yerleşim alanları da su altında kalma riski taşımıştır.



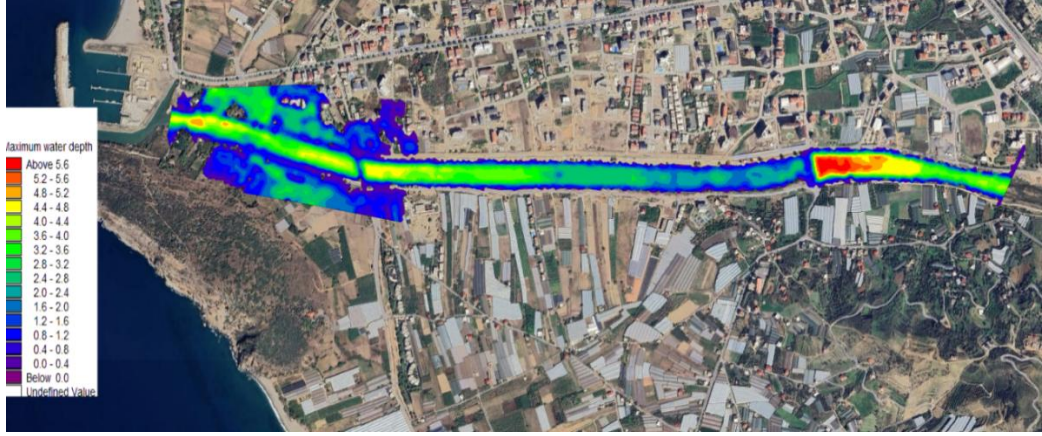
Şekil 4.19. 25 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası



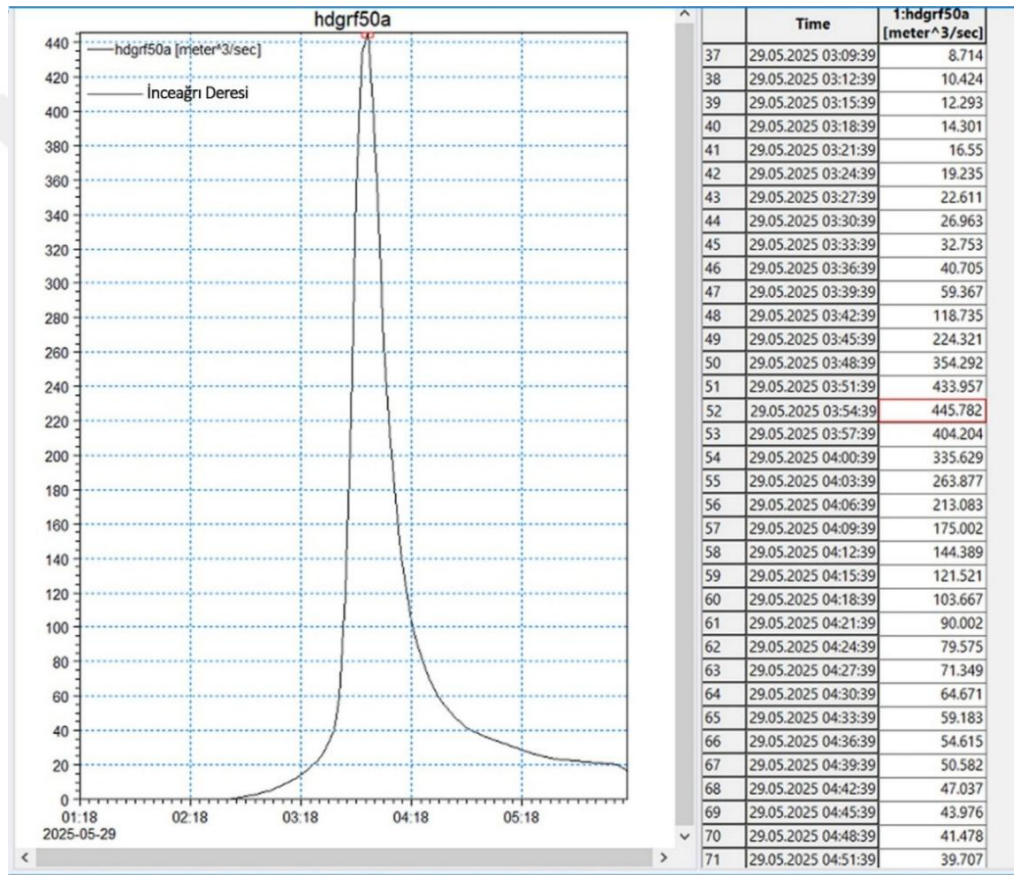
Şekil 4.20. -25 Yıllık Hidrograf Verisi

➤ 50 Yıllık Tekerrür Periyodu Taşkın Risk Haritası

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri ile tekerrür analizi yapılp **50 yıllık taşkın risk haritası** oluşturulmuştur. 50 yıllık taşkın senaryosunda, taşkın sularının Gazipaşa ilçe merkezine daha fazla yaklaştığı, özellikle alçak kotlu ve düzensiz yapılaşmanın olduğu bölgelerde ciddi etkiler yaratma potansiyeli olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.21. 50 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası



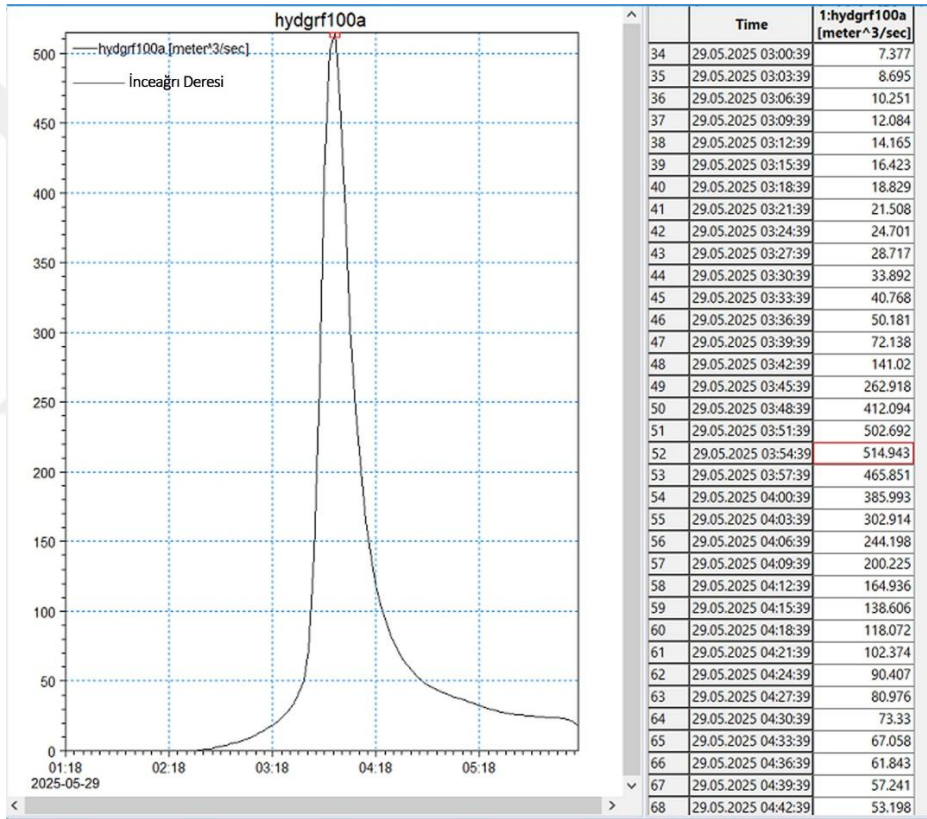
Şekil 4.22. -50 Yıllık Hidrograf Verisi

➤ 100 Yıllık Tekerrür Periyodu Taşkın Risk Haritası

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri ile tekerrür analizi yapıлып **100 yıllık taşkın risk haritası** oluşturulmuştur. Bu senaryo, "büyük taşkın" olarak kabul edilebilir ve ilçenin geniş bir kısmını, özellikle tarım alanlarını, ticari bölgeleri ve ulaşım altyapısını ciddi şekilde etkileyebilecek yayılımı göstermektedir. Su derinlikleri ve akış hızları da kayda değer bir artış sergilemiştir.



Şekil 4.23. 100 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası



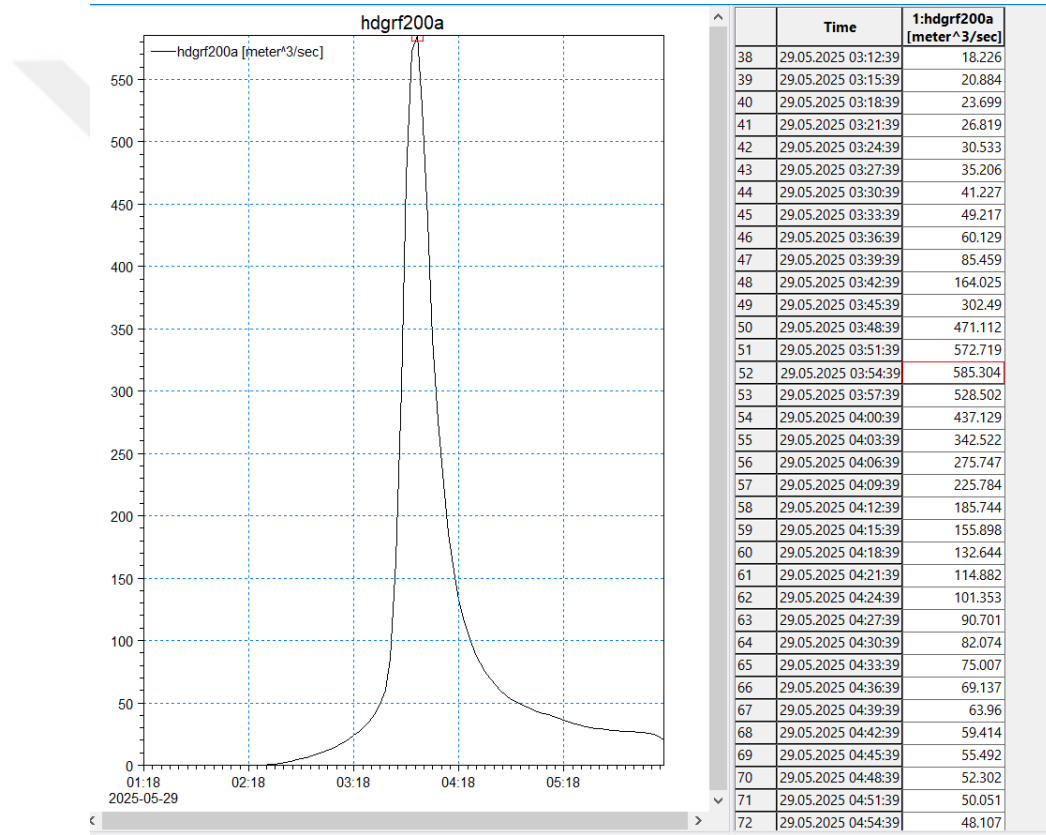
Şekil 4.24. -100 Yıllık Hidrograf Verisi

➤ 200 Yıllık Tekerrür Periyodu Taşkın Risk Haritası

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri ile tekerrür analizi yapıp **200 yıllık taşkın risk haritası** oluşturulmuştur. 200 yıllık tekerrür periyodu, Gazipaşa için en ağır taşkın senaryolarından birini temsil etmektedir. Bu durumda, su yayılımı çok daha geniş alanlara ulaşarak ilçe merkezinin önemli bir kısmını, kritik altyapıyı ve tarım alanlarını sular altında bırakma potansiyeline sahiptir.



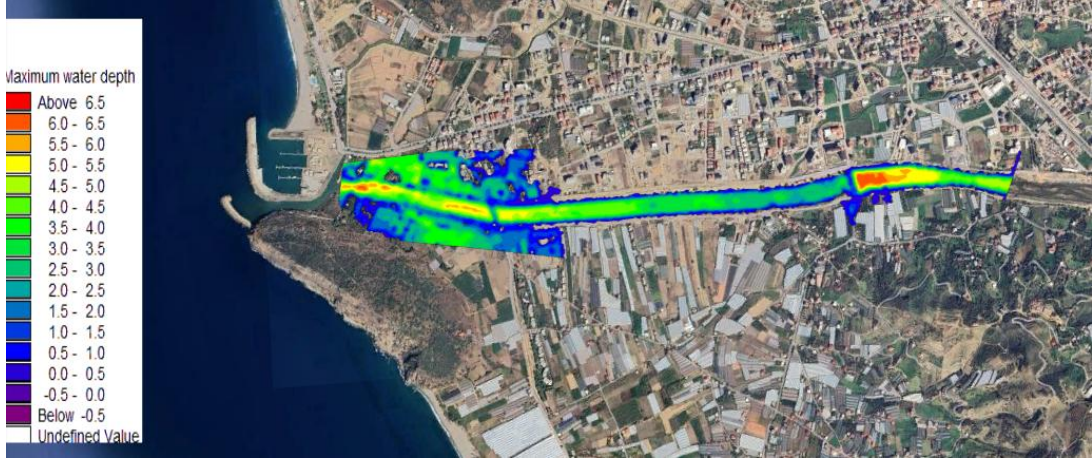
Şekil 4.25. 200 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası



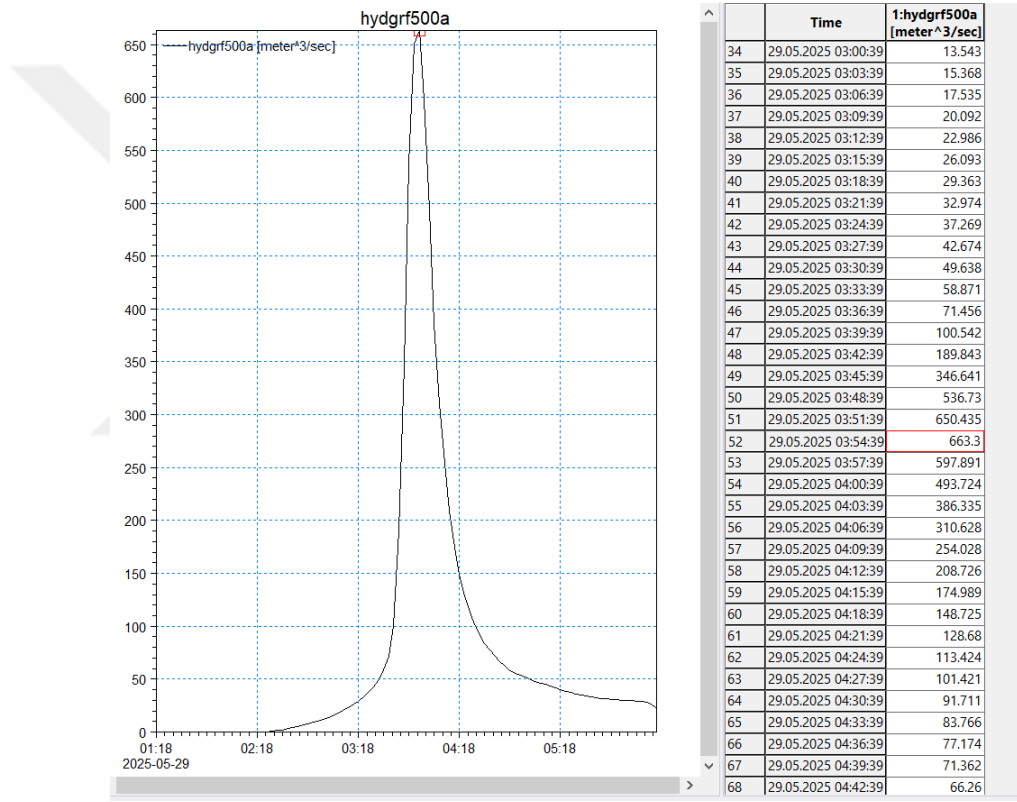
Şekil 4.26. -200 Yıllık Hidrograf Verisi

➤ 500 Yıllık Tekerrür Periyodu Taşkın Risk Haritası

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden elde edilen UDF verileri ile tekerrür analizi yapılarak **500 yıllık taşkın risk haritası** oluşturulmuştur. Bu, neredeyse afet boyutunda bir senaryoyu ifade etmekte olup, İnceağrı deresi Havzası'ndaki tüm riskli bölgeleri kapsayan, en geniş ve en derin su yayılımını gösterir. Bu harita, olası en kötü durum senaryosu için acil ve kapsamlı hazırlık yapılması gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4.27. 500 Yıllık Hidrograf Verisi Sonucu Oluşan Taşkın Risk Haritası



Şekil 4.28. -500 Yıllık Hidrograf Verisi

Modelleme sonucunda elde edilen ana bulgular yorumlanmış ve önceki bölümlerde sunulan teorik bilgilerle ve literatürdeki benzer çalışmalarla ilişkilendirilmiştir.

Modelin Güvenilirliği ve Kısıtları: Yapılan modelleme, mevcut veriler ışığında İnceağrı deresi Havzası'ndaki taşkın yayılımını yüksek bir doğrulukla simüle etmiştir. Ancak, her modelde olduğu gibi bu çalışmanın doğruluğu da kullanılan DEM verisinin çözünürlüğü, arazi kullanım verisinin güncelliği ve yağış verilerinin hassasiyeti gibi faktörlere bağlıdır.

Gelecekte daha detaylı kalibrasyon ve validasyon çalışmalarıyla modelin performansı ve öngörü yeteneği artırılabilir.

Ana Bulgular ve İklim Değişikliği Etkileri: Modelleme sonuçları, İnceağrı deresi Havzası'nın topografik yapısı (dik yamaçlar, dar vadiler) ve jeolojik özellikleri (düşük infiltrasyon kapasitesi) nedeniyle ani ve şiddetli yağışlarda hızlı yüzey akışına ve dolayısıyla yüksek taşkın potansiyeline yol açtığını açıkça doğrulamıştır. Özellikle iklim değişikliğine bağlı olarak artan kısa süreli şiddetli yağışların, havzadaki taşkın riskini önemli ölçüde artırdığı, yüksek tekerrür periyotlu taşkın haritalarında gözlemlenen geniş yayılım alanları ile teyit edilmiştir. Bu durum, Yılmaz (2015) ve Tongal (2019) gibi araştırmacıların Akdeniz havzasındaki iklim değişikliği ve taşkın ilişkisi üzerine yaptıkları tespitlerle örtüşmektedir.

Kentleşme ve Altyapı Etkileri: Modelleme sonuçları, plansız kentleşmenin ve dere yatağına paralel düzensiz yapılaşmanın, taşkın sularının doğal akış yollarını daraltarak zarar potansiyelini büyüttüğünü açıkça ortaya koymuştur. Özellikle Demirtaş (2015) ve Karabulut (2022) gibi araştırmacıların vurguladığı gibi, dere yatağının kapasitesinin yetersiz kalması ve köprüler, menfezler gibi altyapı elemanlarının kısıtlayıcı etkisi, taşkın riskini daha da artırmaktadır. Gazipaşa'nın Pazarcı, Kahyalar, Çıtak gibi kıyıya yakın ve alçak kotlu yerleşimleri ile yoğun sera tarım alanları, özellikle 25 yıl ve üzeri tekerrür periyotlarındaki taşkınlarda ciddi risk altında olduğu modellemeyle somutlaştırılmıştır.

Sürdürülebilir Taşkın Yönetimi İçin Çıkarımlar: Elde edilen taşkın risk haritaları, Gazipaşa için etkin bir taşkın yönetim stratejisi geliştirilmesi adına önemli bir karar destek aracı sunmaktadır. Bu haritalar, yapısal önlemlerin (dere yataklarının kapasite artırımı, taşkın koruma duvarları) nerelerde öncelikli olması gerektiğini ve erken uyarı sistemlerinin kurulması gereken kritik noktaları belirlemeye yardımcı olacaktır. Ayrıca, kentsel planlama süreçlerinde taşkın risk alanlarının dikkate alınması, yapılaşmanın bu alanlardan uzak tutulması ve geçirimsiz yüzey oranının azaltılması gibi yapısal olmayan önlemlerin de önemi vurgulanmaktadır. Şen (2017)'in belirttiği gibi, afet yönetiminin sadece mühendislik çözümleriyle sınırlı kalmaması, senaryo tabanlı yaklaşımların entegrasyonu ile daha bütüncül olması gerektiği bu çalışmanın bulgularıyla desteklenmektedir.

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması, İnceağrı deresi Havzası'nın karmaşık hidrolojik yapısı ve bu yapı üzerinde artan insan kaynaklı baskılar neticesinde ortaya çıkan taşkın riskini, bilimsel bir zeminde analiz etmek ve geleceğe yönelik öngörülerde bulunmak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Havzanın, Toros Dağları'nın dik yamaçlarından Akdeniz'in kıyı ovasına hızla inen morfolojik yapısı, onu ani ve şiddetli yağışlara karşı doğal olarak hassas kılmaktadır. Bu doğal hassasiyetin, plansız kentleşme ve yetersiz altyapı gibi faktörlerle birleşmesi, bölge için giderek büyüyen bir tehlike oluşturmaktadır. Bu karmaşık sorunsalı çözümlmek amacıyla, havzanın dinamik akış rejimini temsil etme kabiliyeti yüksek olan MIKE 11HD yazılımı kullanılarak tek boyutlu (1B) bir hidrodinamik model kurulmuş; yüksek çözünürlüklü topografik veriler ve uzun yıllara dayalı meteorolojik kayıtlar kullanılarak modelin bilimsel tutarlılığı güvence altına alınmıştır.

Çalışmanın en somut çıktısı olan ve farklı tekerrür periyotları için üretilen taşkın risk haritaları, havzanın kırılganlığını kademeli bir risk artışı şeklinde gözler önüne sermiştir. Elde edilen bulgular şu şekilde özetlenebilir:

- **Düşük Tekerrürlü Senaryolar (2, 5 ve 10 yıl):** Bu periyotlardaki taşkınlar, sistemin henüz başa çıkabildiği, ancak potansiyel tehlikenin ilk sinyallerini veren "uyarıcı" nitelikteki olaylardır. Taşkın suları, büyük ölçüde ana dere yatağı ve ona bitişik en alçak kotlu tarım arazileriyle sınırlı kalmaktadır. Bu durum, sık aralıklarla yaşanan ancak yıkıcı olmayan bu olayların, özellikle tarımsal faaliyetler için kronik bir sorun teşkil ettiğini göstermektedir.
- **Orta Tekerrürlü Senaryolar (25 ve 50 yıl):** Bu senaryolar, taşkın riskinin "kritik eşiği" aştığı noktayı temsil etmektedir. Taşkın suları, doğal yatağının sınırlarını net bir şekilde aşarak insan yaşamının ve ekonomik faaliyetlerin kalbine doğru ilerlemektedir. Özellikle Pazarcı ve Kahyalar gibi yerleşim alanlarının önemli bir kısmı, bölge ekonomisinin bel kemiği olan seralar ve ilçenin ana ulaşım hatları ciddi risk altına girmektedir. Bu seviyedeki bir taşkın, artık sadece bir su yönetimi sorunu olmaktan çıkıp, ciddi sosyo-ekonomik sonuçlar doğurabilecek bir tehlike haline gelmektedir.
- **Yüksek Tekerrürlü Senaryolar (100, 200 ve 500 yıl):** Bu periyotlar, tam anlamıyla bir "afet senaryosunu" ifade etmektedir. Model sonuçları, bu ölçekteki bir taşkının sadece geniş alanları su altında bırakmakla kalmayıp, aynı zamanda

ilçenin altyapı sistemlerinde sistematik bir çöküş riski yaratabileceğini göstermiştir. İlçe merkezinin büyük bölümü, hastane gibi kritik kamu binaları ve tüm ana ulaşım ağları sular altında kalma potansiyeli taşımaktadır. Böyle bir olay, Gazipaşa'nın sosyo-ekonomik işleyişinin bütünlüğünü tehdit edecek boyuttur.

Bu sonuçlar, tek bir nedene bağlı olmayıp, havzanın doğal karakteri ile insan kaynaklı baskıların tehlikeli birleşiminin bir ürünüdür. Dik topografya ve düşük sızma kapasiteli jeoloji gibi doğal faktörler, iklim değişikliğiyle şiddetlenen ani yağışlarla birleştiğinde yüksek bir taşkın potansiyeli yaratmaktadır. Bu potansiyel, dere yataklarına yakın kontrolsüz yapılaşma ve yetersiz hidrolik kapasiteye sahip altyapı ile birleştiğinde ise bir "riske" dönüşmektedir. Bu tez, bilinen ancak bugüne dek ölçülemeyen bu riski, sayısal, haritalanmış ve yönetilebilir bir olgu haline getirmiştir. Dolayısıyla bu çalışma, yerel yöneticilerin ve karar vericilerin eline, geleceğe yönelik planlama ve yatırım kararlarını alırken kullanabilecekleri bilimsel bir kanıt ve stratejik bir yol haritası sunmaktadır. Nitekim çalışma bulguları, dağlık alanlardan beslenen nehirlerin, insan yerleşimlerinin bulunduğu verimli ovalara ulaştığında ne denli büyük bir potansiyel tehlike oluşturabileceğini akademik literatürle uyumlu bir şekilde bir kez daha ortaya koymuştur (Zhang vd., 2024).

- **Taşkın Risklerinin Kültürel Miras Üzerindeki Etkisi: Selinus Antik Kenti Örneği**

Çalışma alanında yer alan ve İnceağrı deresi'nin denize döküldüğü stratejik noktada konumlanan Selinus Antik Kenti, taşkın riskinin sadece modern yaşamı değil, aynı zamanda kültürel mirası da tehdit ettiğinin önemli bir göstergesidir. Gerçekleştirilen hidrodinamik modelleme sonuçları, özellikle yüksek tekerrürlü taşkın senaryolarında (100 yıl ve üzeri) taşkın sularının ve beraberinde getireceği sediman yükünün, antik kentin agora, hamam ve liman yapıları gibi alçak kotlu kalıntılarını doğrudan tehdit etme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir. Bu durum, taşkınların bu paha biçilmez tarihi doku üzerinde geri döndürülemez zararlar bırakma riskini barındırmaktadır. Bu tespit, taşkın risk yönetiminin sadece günümüz yerleşimlerini ve tarım alanlarını değil, aynı zamanda bölgenin binlerce yıllık tarihini barındıran kültürel mirası koruma sorumluluğunu da içerdiğini ortaya koymaktadır. Dolayısıyla, önerilen dere ıslahı ve taşkın koruma önlemleri planlanırken, antik kentin arkeolojik sit alanının korunması öncelikli bir kriter olarak ele alınmalıdır.

Öneriler

Yukarıda detaylandırılan sonuçlar ışığında, İnceağrı deresi Havzası'nda taşkın riskinin etkin bir şekilde yönetilmesi ve gelecekteki olası can, mal ve kültürel miras kayıplarının en aza indirilmesi amacıyla, birbiriyle entegre edilmesi gereken yapısal, yapısal olmayan ve akademik öneriler aşağıda sunulmuştur:

Yapısal Önlemler ve Mühendislik Çözümleri:

- **Kanal Kapasitesinin Artırılması ve Islahı:** Özellikle ilçe merkezinden geçen ve yapılaşmanın yoğun olduğu kesimlerde, derenin mevcut hidrolik kapasitesinin yetersiz kaldığı açıktır. Taban genişletme, şev düzenlemeleri, düzenli rusubat temizliği ve yatak eğiminin optimizasyonu gibi mühendislik çalışmalarıyla kanalın taşıma kapasitesi, en az 100 yıllık tekerrür debisini güvenle geçirecek şekilde artırılmalıdır.
- **Taşkın Koruma Yapıları:** Model sonuçlarına göre en yüksek risk altında bulunan yerleşim alanları, kritik altyapı tesisleri ve Selinus Antik Kenti'nin hassas bölgeleri için taşkın duvarları veya toprak seddeler gibi koruma yapıları inşa edilmelidir. Bu yapıların tasarımında, sadece mühendislik güvenliği değil, aynı zamanda ekolojik denge ve peyzaj estetiği de göz önünde bulundurulmalı, mümkün olduğunca doğa ile uyumlu çözümler tercih edilmelidir.
- **Köprü ve Menfezlerin İyileştirilmesi:** Modelleme çalışmaları, mevcut köprü ve menfezlerin taşkın anında birer baraj gibi davranarak suyun tehlikeli biçimde şişmesine ve geriye doğru yayılarak etki alanını genişletmesine neden olabileceğini göstermektedir. Bu nedenle, dere üzerindeki tüm sanat yapılarının hidrolik performansları yeniden değerlendirilmeli, yetersiz kesite sahip olanlar ivedilikle yenilenmeli veya genişletilmelidir.

Planlama, Yönetim ve Politika Odaklı Yapısal Olmayan Önlemler:

- **Taşkın Haritalarının Mekânsal Planlara Entegrasyonu:** Bu çalışmada üretilen taşkın tehlike haritaları, Gazipaşa'nın Nazım ve Uygulama İmar Planları için yasal ve bağlayıcı bir altlık olarak kabul edilmelidir. Haritalarda "yapı yasaklı alanlar" ve "yapılaşmaya şartlı alanlar" net bir şekilde tanımlanmalı, özellikle yüksek riskli bölgelerde yeni yapılaşmaya kesinlikle izin verilmemelidir.
- **Etkin bir Erken Uyarı Sisteminin (EWS) Kurulması:** Havzanın ani ve hızlı taşkın karakteristiği, erken uyarıyı hayati kılmaktadır. Havzanın memba (yukarı) bölgelerine yerleştirilecek anlık yağış ölçerler (plüvyometreler) ve dere yatağındaki kritik noktalara konulacak su seviye sensörleri ile çalışacak modern

bir erken uyarı sistemi tasarlanmalıdır. Sistem, riskli seviyelere ulaşıldığında SMS, mobil uygulama ve yerel anons sistemleri aracılığıyla halkı ve yetkilileri zamanında harekete geçirmelidir.

- **Afet Müdahale ve Risk Yönetim Planlarının Geliştirilmesi:** Üretilen haritalar, mevcut afet müdahale planlarını statik belgeler olmaktan çıkarıp dinamik ve etkin kılmak için kullanılmalıdır. Güvenli tahliye koridorları, geçici barınma merkezlerinin konumları, acil durum ekiplerinin müdahale öncelikleri ve kritik altyapının korunmasına yönelik senaryolar bu haritalara göre yeniden şekillendirilmelidir.
- **Toplumsal Farkındalık ve Kapasite Geliştirme:** "Taşkın bilinci kültürü" oluşturmak amacıyla, risk altındaki mahallelerde yaşayan vatandaşlara yönelik düzenli bilgilendirme kampanyaları (broşürler, yerel medya programları, okul seminerleri) düzenlenmelidir. Vatandaşların taşkın öncesi, anı ve sonrasında ne yapmaları gerektiğini bilmeleri, zararı azaltmada en etkili faktörlerden biridir.

Gelecekteki Akademik Çalışmalar ve Araştırma Yönelimleri:

- **Gelişmiş Modelleme Yaklaşımlarının Kullanımı:** Bu çalışma, 1B modellemenin sınırları dahilinde gerçekleştirilmiştir. Gelecek araştırmalarda, MIKE 21 veya MIKE FLOOD gibi 1B-2B entegre modeller kullanılmalıdır. Özellikle taşkın sularının yatak dışına çıkarak geniş ve düz ovalara yayıldığı Gazipaşa gibi havzalarda bu modeller, suyun akış yönlerini, hız dağılımını ve su birikme alanlarını çok daha hassas bir şekilde analiz etme imkânı sunacaktır.
- **İklim Değişikliği Etkilerinin Entegrasyonu:** Gelecekteki taşkın riskini daha gerçekçi öngörebilmek için, IPCC'nin farklı iklim değişikliği senaryolarına (RCP Senaryoları) göre hazırlanmış bölgesel yağış projeksiyonları modellemeye dahil edilmelidir. Bu yaklaşım, altyapı yatırımlarının ve planlama kararlarının bugünün değil, geleceğin koşullarına göre şekillendirilmesini sağlayacaktır.
- **Modelin Kalibrasyonu ve Validasyonu:** Modelin tahmin doğruluğunu en üst seviyeye çıkarmak için, geçmişte yaşanmış (örneğin 2011 taşkını) ve belgelenmiş taşkın olaylarının verileri (su izleri, etkilenen alanlar vb.) kullanılarak detaylı bir kalibrasyon ve validasyon çalışması yapılmalıdır. Bu, modeli teorik bir simülasyondan, bölge gerçekleriyle doğrulanmış güvenilir bir öngörü aracına dönüştürecektir.
- **Sosyo-Ekonomik Kırılganlık Analizi:** Fiziksel modelleme sonuçlarının, etkilenecek nüfus, kritik tarımsal varlıklar (seralar), ticari işletmeler ve kamu

binaları gibi unsurları içeren bir kırılabilirlik analiziyle birleştirilmesi, Gazipaşa için daha kapsamlı, sürdürülebilir ve etkin bir risk yönetimi stratejisinin temelini oluşturacaktır.

Nihai olarak, gelecek çalışmalarda taşkın risk değerlendirmesinin sosyo-ekonomik faktörlerle bütünleştirilmesi önemlidir. Modern afet yönetimi anlayışına göre **Risk**, yalnızca **Tehlike (Hazard)** unsurundan oluşmaz; **Risk = Tehlike × Maruziyet (Exposure) × Kırılabilirlik (Vulnerability)** formülüyle ifade edilen çok boyutlu bir kavramdır. Bu tez çalışması, farklı tekerrür periyotlarına göre suyun yayılımını, derinliğini ve hızını modelleyerek "Tehlike" boyutunu başarıyla haritalandırmıştır. Ancak, bu tehlikenin toplum ve ekonomi üzerindeki gerçek etkisini anlamak için, suyun ulaştığı yerlerde nelerin ve kimlerin "maruz" kaldığının ve bu unsurların ne kadar "kırılabilir" olduğunun da analiz edilmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda gelecekteki araştırmalar, bu çalışmada üretilen tehlike haritalarını bir altlık olarak kullanarak aşağıdaki adımları içermelidir:

1. **Maruziyet Analizi:** Taşkın yayılım alanları içerisinde kalan tüm varlıkların mekânsal bir envanteri çıkarılmalıdır. Bu envanter; konut sayısı ve tipleri, nüfus yoğunluğu, yaş ve cinsiyet dağılımı gibi demografik verileri, bölge ekonomisi için kritik önem taşıyan seraların ve diğer tarım arazilerinin konumu ve ekonomik değerini, ticari işletmelerin ve sanayi tesislerinin dağılımını, okul, hastane, enerji nakil hatları gibi kritik kamu altyapısını kapsamalıdır. Bu analiz, "sel suları nereye ulaşırsa neyi etkiler?" sorusuna net bir cevap verecektir.
2. **Kırılabilirlik Analizi:** Maruz kalan unsurların bir taşkın karşısında ne ölçüde hasar görebileceğini ve toparlanma kapasitelerini ölçen bir analiz yapılmalıdır. Bu, sadece yapıların fiziksel dayanıklılığını değil, aynı zamanda sosyal ve ekonomik kırılabilirliği de içermelidir. Örneğin, yaşlı ve engelli nüfusun yoğunlaştığı bölgeler sosyal olarak daha kırılabilir. Geçimini yalnızca tarıma bağlamış ve sigorta güvencesi olmayan hane halkları ekonomik olarak daha kırılabilir. Bu analiz, "selden etkilenen unsurlar ne kadar zarar görür ve bu zararlar nasıl başa çıkar?" sorusunu yanıtlayacaktır.

Bu iki analizin Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında tehlike haritalarıyla bütünleştirilmesi, Gazipaşa için gerçek bir "**Risk Haritası**" oluşturulmasını sağlayacaktır. Böyle bir harita, yöneticilere sadece suyun nereye gideceğini değil, aynı zamanda en büyük can kaybı riskinin nerede olduğunu, en büyük ekonomik hasarın hangi sektörde beklendiğini ve müdahale kaynaklarının hangi bölgelere öncelikli olarak

yönlendirilmesi gerektiğini gösterecektir. Dolayısıyla, fiziksel modelleme ile sosyo-ekonomik kırılganlık analizlerinin birleştirilmesi, taşkın yönetimi stratejisini reaktif müdahalelerden proaktif, veri odaklı, adil ve sürdürülebilir bir risk azaltma planlamasına dönüştürerek Gazipaşa'nın gelecekteki afetlere karşı direncini en üst seviyeye çıkarmanın temelini oluşturacaktır.



KAYNAKLAR

- Alshaikh, R. Z., Junaid, A. M., & Saleh, T. I. (2023). A review on urban planning and its role in managing flood risks. *Journal of Urban Management*, 12(1), 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2022.12.003>
- Archer, D. R., & Fowler, H. J. (2018). Characterising flash flood response to intense rainfall and impacts using historical information and gauged data in Britain. *Journal of Flood Risk Management*, 11(S1), S121–S133. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12187>
- Ardıçoğlu, M. (2024). Adana Seyhan Barajının yıkılma ve 2 boyutlu taşkın yayılımının HEC-RAS ile modellenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 39(3), 741–752. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1560170>
- Armon, M., Morin, E., Enzel, Y., & Gvirtzman, H. (2021). Mediterranean precipitation: Trends, extremes and projections. *Hydrology and Earth System Sciences*, 25(4), 1251–1270. <https://doi.org/10.5194/hess-25-1251-2021>
- Atanga, R. A., Anornu, G. K., & Boakye-Dankwa, B. (2023). Urbanization and flood risk analysis using remote sensing and GIS: A case study of Accra, Ghana. *Journal of Environmental Planning and Management*, 66(2), 233–254. <https://doi.org/10.1080/09640568.2022.2070657>
- Avcı, M., Duran, A., & Boz, T. (2021). İklim değişikliği etkilerinin kentsel taşkın risklerine yansması: Modelleme yaklaşımları. *Türkiye Su Bilimleri ve Yönetimi Dergisi*, 5(1), 65–78.
- Barthélémy, S., Ricci, S., Rochoux, M. C., Le Pape, E., Thual, O., Goutal, N., ... & Habert, J. (2018). Ensemble-based data assimilation for operational flood forecasting—On the merits of state estimation for 1D hydrodynamic forecasting through the example of the "Adour Maritime" river. *Journal of Hydrology*, 552, 210–224.
- Baykal, C., Çağatay, M. N., & Yıldırım, G. (2024). Coastal river flooding and compound risk analysis in the Eastern Mediterranean. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 49, 101252. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101252>
- Benjankar, R., Yager, E. M., Tonina, D., & Egley, C. (2014). Comparing one-dimensional and two-dimensional hydraulic models for evaluating the effect of environmental flows on a river ecosystem. *River Research and Applications*, 30(4), 429–437.
- Benjankar, R., Yager, E. M., Tonina, D., Egley, C., Isaak, D. J., & Wenger, S. J. (2014). Comparing channel classification schemes to predict hydraulic habitat metrics. *Journal of Hydrology*, 508, 402–414. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.060>
- Beshir, A. A., & Song, X. (2021). Urbanization and its impact on flood hazard: The case of Addis Ababa, Ethiopia. *Urban Climate*, 36, 100786. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2021.100786>
- Bozan, M., Gündüz, O., & Elhatip, H. (2019). Coastal aquifers and agricultural water use in Mediterranean Turkey: Case of Gazipaşa. *Hydrogeology Journal*, 27(2), 687–703. <https://doi.org/10.1007/s10040-018-01904-2>
- Bozdoğan, R., & Canpolat, M. (2024). Taşkın yönetimi kapsamında taşkın duyarlılık analizleri: Kızılırmak Havzası örneği. *Türk Doğa ve Fen Dergisi*, 13(1), 170–183. <https://doi.org/10.46810/tdfd.1324301>

- Burgan, H. (2013). İklim değişikliğinin taşkınlar üzerine etkisi ve taşkın risk analizi [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi/>
- Buss, T. F. (2009). *The Mississippi flood of 1927 and the politics of race: A study of the interplay of natural disaster and political institutions*. Edwin Mellen Press.
- Büyükdiñç, A. (2023). Çoruh Nehri Havzası için taşkın risk analizi ve değerlendirilmesi [Yüksek lisans tezi, Artvin Çoruh Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Cea, L., & Costabile, P. (2022). Flood risk in urban areas: Modelling, management and adaptation to climate change. *Hydrology*, 9(3), 50. <https://doi.org/10.3390/hydrology9030050>
- Chan, F., Kenawy, E., Elbeltagi, I., El-Demerdash, S., & Al-Ansari, N. (2019). Integrated approach for flood risk management and assessment of urban infrastructure: A case study of the Kelantan River Basin, Malaysia. *Sustainability*, 11(8), 2211. <https://doi.org/10.3390/su11082211>
- Chen, X., Zhang, H., Chen, W., & Huang, G. (2021). Urbanization and climate change impacts on future flood risk in the Pearl River Delta under shared socioeconomic pathways. *Science of the Total Environment*, 762, 143144.
- Çakmak, B. (2023). 2 boyutlu taşkın analizleri ve afet yönetimi [Yüksek lisans tezi, Gümüşhane Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Çanta, S. (2022). Kanal sistemleri ve taşkın riskine etkileri: GIS destekli bir yaklaşım [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Çelik, A. (2017). Ağrı ili Patnos ilçesi taşkın risk analizi ve yönetimi [Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
- Dawson, R., Speight, L., Hall, J. W., Djordjević, S., Savic, D., & Leandro, J. (2011). Attribution of flood risk in urban areas. *Journal of Hydroinformatics*, 13(4), 530–546. <https://doi.org/10.2166/hydro.2011.035>
- Dawson, R. J., Ball, T., Werritty, J., Werritty, A., Hall, J. W., & Roche, N. (2011). Assessing the effectiveness of non-structural flood management measures in the Thames Estuary under conditions of socio-economic and environmental change. *Global Environmental Change*, 21(2), 628–646. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.01.013>
- Demir, V. (2024). Farklı modelleme yazılımları ile taşkın analizlerinin karşılaştırılması: Samsun örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 9(1), 33–46. <https://doi.org/10.xxxx/afet.2024.09.1.33>
- Demir, V., Beden, N., & Keskin, A. Ü. (2022). Taşkın modelleme yöntemlerinin gözden geçirilmesi ve karşılaştırılması. *European Journal of Science and Technology*, (28), 1013–1021. <https://doi.org/10.31590/ejosat.1010220>
- Demir, V., & Keskin, A. Ü. (2022). Yeterince akım ölçümü olmayan nehirlerde taşkın debisinin hesaplanması ve taşkın modellemesi (Samsun, Mert Irmağı örneği). *Geomatik*, 7(2), 149–162. <https://doi.org/10.29128/geomatik.918502>
- Demirdelen, S. (2024). Meriç Nehri Havzası'nda taşkın analizi: HEC-RAS ve CBS entegrasyonu [Yüksek lisans tezi, Trakya Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

- Demirtaş, M. (2015). Antalya'da 2011 yılı Ekim ayında yaşanan taşkın olayının değerlendirilmesi. *Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 47–59.
- Dere, C. (2019). İklim değişikliğinin taşkın frekansları üzerindeki etkisinin HEC-RAS modeli ile analizi: Mert Irmağı örneği [Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Deroliya, P., Ghosh, M., Mohanty, M. P., Ghosh, S., Rao, K. D., & Karmakar, S. (2022). A novel flood risk mapping approach with machine learning considering geomorphic and socio-economic vulnerability dimensions. *Science of the Total Environment*, 851, 158002.
- Dewi, R. S., Marfai, M. A., & Rahayu, H. (2024). Assessing flood vulnerability from rapid urban growth: A case of Central Java, Indonesia. *Sustainability*, 16(3), 1432. <https://doi.org/10.3390/su16031432>
- Dhar, O. N., & Nandargi, S. (2003). Hydrometeorological aspects of floods in India. *Natural Hazards*, 28(1), 1–33. <https://doi.org/10.1023/A:1021124104932>
- Dipu, S. U. A., & Snigdha, N. S. (2024). Integrating climate change adaptation into flood risk management: Challenges and policy perspectives. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 92, 103087. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2024.103087>
- Droegemeier, K. K., Lazarus, S. M., & Davies, R. (2000). The numerical prediction of high-impact weather systems: Recent results and future prospects. *Meteorological Applications*, 7(3), 165–179. <https://doi.org/10.1017/S1350482700001477>
- Duan, Q., Pappenberger, F., Thielen, J., Wood, A., Cloke, H. L., & Schaake, J. C. (2017). *Handbook of hydrometeorological ensemble forecasting*. Springer.
- Ergül, H., & Aydın, A. (2025). Taşkın riskine karşı yapay sinir ağı yaklaşımı: Sakarya Nehri örneği. *Afet Bilimi ve Mühendisliği Dergisi*, 11(1), 14–27. <https://doi.org/10.46807/abmd.1346607>
- European Council. (2007). Directive 2007/60/EC on the assessment and management of flood risks. *Official Journal of the European Union*, L288/27.
- Graha, L. S., Winarni, S., & Rizki, M. (2024). Evaluation of flood risk reduction policies in flood-prone areas: Learning from integrated structural and non-structural measures. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 75, 103235. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103235>
- Green, C., Petts, J., & Ashley, R. (2020). Flood risk management and sustainability: The case for Green Infrastructure. *Water Resources Management*, 34(11), 3459–3474. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02578-z>
- Gu, Z., Zhao, J., & Liu, Q. (2025). Relationship between urbanization-induced land use changes and urban flood risks: A case study of Chiang Mai, Thailand. *Science of The Total Environment*, 888, 165432. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.165432>
- Guan, M., Guo, K., Yan, H., & Wright, N. (2023). Bottom-up multilevel flood hazard mapping by integrated inundation modelling in data scarce cities. *Journal of Hydrology*, 617, 129114.
- Gülbaş, S. (2019). Üç boyutlu hidrodinamik modelleme ile taşkın yayılımının incelenmesi: İstanbul Ayamama Deresi örneği [Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

- Hacı, M. (2023). Taşkın modelleme çalışmalarında kullanılan yazılımlar ve karşılaştırmalı analizi [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Hendry, A., Haigh, I. D., Nicholls, R. J., Winter, H., Neal, R., & Wahl, T. (2019). Assessing the characteristics and drivers of compound flooding events around the UK coast. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(6), 1399–1419. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1399-2019>
- Hırca, N. (2018). Taşkın riski yönetimi ve afet eğitiminin önemi [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Hoch, J. M., van Beek, R., Winsemius, H. C., & Bierkens, M. F. P. (2019). Improving flood hazard projections by disentangling the impacts of climate change and socioeconomics. *Hydrology and Earth System Sciences*, 23(11), 4649–4664.
- Huang, C.-C., & Wang, Y.-H. (2024). Enhancing urban flood resilience: Interdisciplinary integration of climate adaptation, land use planning and disaster risk management. *Cities*, 145, 104472. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2024.104472>
- İlhan, B. (2023). Kızılırmak Nehri taşkın yayılımının CBS ve HEC-RAS ile modellenmesi [Yüksek lisans tezi, Aksaray Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- IPCC. (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. A special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Iresh, A. D. S., Athapattu, B. C. L., Obeysekera, J., & Fernando, W. C. D. K. (2024). Floodplain Zoning and Mapping for Lower Kelani River, Sri Lanka. *Engineer: Journal of the Institution of Engineers, Sri Lanka*, 57(3).
- Itsukushima, R. (2023). Learning from the past: Common sense, traditional wisdom, and flood resilience in modern infrastructure. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 93, 103947. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2023.103947>
- James, L. D. (1973). Man and water: An overview of water resources planning. *American Geophysical Union*.
- Kahya, C. (2024). Aşağı Seyhan Ovası için taşkın modellemesi: 2B HEC-RAS uygulaması [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Kalın, A. (2024). Muş havzası örneğinde taşkın risk haritasının coğrafi bilgi sistemleri ile belirlenmesi [Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Karabulut, M. S. (2022). CBS ve uzaktan algılama yöntemleriyle Riva (Çayağzı) Deresi Havzasında taşkın risk analizi [Doktora tezi, İstanbul Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Kart, M. (2024). HEC-RAS ile taşkın modellemesi: Bilecik Deresi örneği [Yüksek lisans tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Kaya, M. (2012). Kızılırmak Nehri Havzası'nda taşkın risk değerlendirmesi [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

- Kaya, M. (2017). Taşkın olaylarının modellenmesinde CBS destekli HEC-RAS uygulaması: Aksu Deresi örneği [Yüksek lisans tezi, Akdeniz Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Kaya, M. (2022). Taşkın analizi ve taşkın yönetiminde yeni yaklaşımlar [Doktora tezi, Selçuk Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Kron, W. (2005). Flood risk = Hazard × Values × Vulnerability. *Water International*, 30(1), 58–68. <https://doi.org/10.1080/02508060508691837>
- Kundzewicz, Z. W. (2002). Non-structural flood protection and sustainability. *Water International*, 27(1), 3–13. <https://doi.org/10.1080/02508060208686972>
- Kundzewicz, Z. W., Kanae, S., Seneviratne, S. I., Handmer, J., Nicholls, N., Peduzzi, P., ... & Sherstyukov, B. (2010). Flood risk and climate change: global and regional perspectives. *Hydrological Sciences Journal*, 56(1), 1–28. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.512774>
- Kundzewicz, Z. W., Su, B., Wang, Y., Wang, G., Huang, J., & Jiang, T. (2019). Flood risk in a range of spatial perspectives – from global to local scales. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 19(6), 1319–1328. <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1319-2019>
- Kuşoğlu, M. (2017). Küçük akarsu havzalarında taşkın tehlikesi haritalarının hazırlanması: Kütahya Gediz örneği [Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Küçüköğlü, C. (2023). HEC-RAS ve LIDAR verileri ile taşkın analizi: Bartın Deresi örneği [Yüksek lisans tezi, Bartın Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Lane, S. N. (2017). Natural flood management. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 4(3), e1211. <https://doi.org/10.1002/wat2.1211>
- Leandro, J., Chen, A. S., Djordjević, S., & Savić, D. A. (2009). Comparison of 1B/1B and 1B/2B coupled sewer/surface hydraulic models for urban flood simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), 495–501.
- Leandro, J., Chen, A. S., Djordjević, S., & Savić, D. A. (2009). Comparison of 1B/1B and 1B/2B coupled (Sewer/Surface) hydraulic models for urban flood simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), 495–504. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000057](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000057)
- Lin, B., Ghumman, A. R., & Falconer, R. A. (2005). Embedding water quality modelling into a decision support system for the River Thames. *Environmental Modelling & Software*, 20(2), 123–134. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2003.09.010>
- Lin, B., Wicks, J. M., Falconer, R. A., & Adams, K. (2005). Integrating 1B and 2B hydrodynamic models for flood simulation. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Water Management*, 159(1), 19–25.
- Mani, P., Chatterjee, C., & Kumar, R. (2013). Flood hazard assessment with multiparameter approach derived from coupled 1B and 2B hydrodynamic flow model. *Natural Hazards*, 70(2), 1553–1574.
- Mao, J., Wang, S., Ni, J., Xi, C., & Wang, J. (2017). Management system for dam-break hazard mapping in a complex basin environment. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(6), 162.

- Maranzoni, A., D'Oria, M., & Rizzo, C. (2022). Quantitative flood hazard assessment methods: A review. *Journal of Flood Risk Management*, 16, e12855. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12855>
- Menteşe, Y. (2023). Taşkın yayılım modellemesi ve risk değerlendirmesi: Bafra Ovası örneği [Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Merz, R., & Blöschl, G. (2003). A process typology of regional floods. *Water Resources Research*, 39(12), 1340. <https://doi.org/10.1029/2002WR001952>
- Morita, M. (2014). Flood risk impact factor for comparatively evaluating the main causes that contribute to flood risk in urban drainage areas. *Water*, 6(2), 253–270. <https://doi.org/10.3390/w6020253>
- Naghedi, S. N., Mirlotfi, M., & Yeganeh, A. J. (2024). Unveiling the interplay: Flood impacts on urban functionality and land use systems. *Sustainable Cities and Society*, 100, 104367. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104367>
- Özdemir, R. (2022). Taşkın olaylarının mekânsal analizinde ArcGIS destekli modellerin uygulanması [Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Öztürkci, F., & Dikici, F. (2024). HEC-RAS ve SWAT modellerinin taşkın tahmininde birlikte kullanımı. *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 12(1), 45–59. <https://doi.org/10.15320/sumbtd.1321092>
- Papaioannou, G., Vasiliades, L., & Loukas, A. (2015). Multi-criteria analysis framework for potential flood prone areas mapping. *Water resources management*, 29(2), 399-418.
- Peker, İ. B., Gülbaz, S., Demir, V., Orhan, O., & Beden, N. (2024). Integration of HEC-RAS and HEC-HMS with GIS in flood modeling and flood hazard mapping. *Sustainability*, 16(3), 1226.
- Petry, B. (2002). Flood risk management in Germany: Past, present and future. In J. Marsalek, W. E. Watt, E. Zeman, & F. Sieker (Eds.), *Flood issues in contemporary water management* (pp. 119–134). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-3288-8_9
- Polat, H. (2022). Küresel iklim değişikliğinin taşkın riski üzerindeki etkisi ve GIS destekli taşkın haritalaması [Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Poussin, J. K., Bubeck, P., Aerts, J. C. J. H., & Ward, P. J. (2012). Potential of semi-structural and non-structural adaptation strategies to reduce future flood risk: Case study for the Meuse. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 12(11), 3455–3471. <https://doi.org/10.5194/nhess-12-3455-2012>
- Proverbs, D., & Lamond, J. (2017). The effectiveness of property-level flood protection: Evidence from recent flood events in the UK. *Journal of Flood Risk Management*, 10(4), 434–445. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12205>
- Rahman, M. M., Hassan, Q. K., & Chowdhury, E. H. (2021). Flood vulnerability assessment in Bangladesh using geospatial techniques. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 78. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020078>

- Rai, P. K., Chahar, B. R., & Dhanya, C. T. (2018). GIS-based SWAT model for heavy metals loading assessment in an agricultural watershed. *Water Resources Management*, 32(8), 2795-2812.
- Ramiaramanana, F. N., & Teller, J. (2021). Urbanization and floods in Sub-Saharan Africa: Spatiotemporal dynamics in Antananarivo, Madagascar. *Urban Water Journal*, 18(3), 220–232. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2020.1855891>
- Robi, M. A., Abebe, A., & Pingale, S. M. (2019). Flood hazard mapping under a climate change scenario in a Ribb catchment of Blue Nile River basin, Ethiopia. *Applied Geomatics*, 11(2), 147-160.
- Rodriguez, F. S., Bertram, N., & Schwandt, M. (2014). Integrating Water Sensitive Urban Design (WSUD) into urban planning practices in Germany. *Urban Water Journal*, 11(2), 121–133. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2013.795234>
- Sarhadi, A., Soltani, S., & Modarres, R. (2012). Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis. *Journal of Hydrology*, 458, 68-86.
- Sarma, D., & Saikia, R. (2024). Structural and non-structural measures for flood disaster risk reduction in Assam: A comparative assessment. *Environmental Hazards*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/17477891.2024.2312010>
- Shao, Y.-T., & Ma, Y. (2022). Sponge city as a civil engineering solution to climate change that improves urban flood resilience. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 39(2), 115–131. <https://doi.org/10.1080/10286608.2022.2074567>
- Sinha, R., Bapalu, G. V., Singh, L. K., & Rath, B. (2008). Flood risk analysis in the Kosi river basin, north Bihar using multi-parametric approach of analytical hierarchy process (AHP). *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 36(4), 335-349.
- Skonieczna, M., & Walczykiewicz, T. (2023). Assessment of the exposure of urban landscapes to pluvial flooding due to sealed surfaces. *Urban Water Journal*, 20(1), 58–70. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2022.2110345>
- Sönmez, İ. (2013). Taşkın olaylarının değerlendirilmesi ve havza yönetimi: Kızılırmak Havzası örneği [Yüksek lisans tezi, Ankara Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Sörensen, J., Brocchetta, M., Frongia, S., & Musolino, D. (2016). Evaluating traditional and sustainable approaches to flood management: A comparative review. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(8), 1745–1755. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.192>
- Sörensen, J., Brocchetta, M., Frongia, S., & Musolino, D. (2016). Re-thinking urban flood management: Time for a regime shift. *Environmental Engineering and Management Journal*, 15(8), 1745–1755. <https://doi.org/10.30638/eemj.2016.192>
- Spor, M. (2023). Taşkın risk analizi ve su taşkınlarının mekânsal yayılımının modellenmesi: Manisa örneği [Yüksek lisans tezi, Manisa Celal Bayar Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.
- Su, Y., Liu, H., Yu, D., & Li, X. (2020). The effects of sewer system rehabilitation on groundwater level in coastal urban areas: A case study in Shanghai, China. *Science of The Total Environment*, 739, 140272. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140272>

Şahin, Ü., Taşkın, M., & Aydın, D. (2013). Taşkın riskinin modellenmesinde CBS ve uzaktan algılama yöntemlerinin birlikte kullanımı: Seyhan Havzası örneği. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 117, 27–39.

Şen, Z. (2017). *Flood modeling, prediction, and mitigation*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-52356-9>

Şen, Z. (2017). *Hidroloji ve taşkın yönetimi (3. basım)*. Su Vakfı Yayınları.

Şen, Z. (2019). Türkiye'de taşkınların sınıflandırılması ve bölgesel özellikleri. *Türkiye Su Bilimi ve Yönetimi Dergisi*, 3(2), 87–98.

Tang, Z., Wu, J., & Zhang, J. (2024). Contributions of climate change and urbanization to urban flood hazard in China. *Natural Hazards*, 119(2), 1567–1586. <https://doi.org/10.1007/s11069-023-05901-w>

Tarasova, L., Merz, R., Kiss, A., Basso, S., Blöschl, G., Merz, B., ... & Viglione, A. (2019). Causative classification of river flood events. *WIREs Water*, 6(4), e1353. <https://doi.org/10.1002/wat2.1353>

Taş, M. (2022). HEC-RAS ile taşkın analizi: Zile Deresi örneği [Yüksek lisans tezi, Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

Thakur, D. A., & Mohanty, M. P. (2023). A synergistic approach towards understanding flood risks over coastal multi-hazard environments: Appraisal of bivariate flood risk mapping through flood hazard, and socio-economic-cum-physical vulnerability dimensions. *Science of the Total Environment*, 901, 166423.

Thakur, D. A., & Mohanty, M. P. (2024). Exploring the fidelity of satellite precipitation products in capturing flood risks: A novel framework incorporating hazard and vulnerability dimensions over a sensitive coastal multi-hazard catchment. *Science of the Total Environment*, 920, 170884.

Thieken, A. H., Kreibich, H., Bubeck, P., & van Vliet, M. (2016). Coping with floods: Preparedness, response and recovery of flood-affected residents in Germany in 2002 and 2013. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3609–3623. <https://doi.org/10.5194/hess-20-3609-2016>

Tongal, H. (2019). Türkiye'de ekstrem yağış eğilimlerinin değerlendirilmesi: İklim değişikliği göstergesi olarak taşkın tehlikesi. *İklim Değişikliği ve Sürdürülebilirlik Dergisi*, 2(2), 89–98.

Trinh, M. X., & Molkenhain, F. (2021). Flood hazard mapping for data-scarce and ungauged coastal river basins using advanced hydrodynamic models, high temporal-spatial resolution remote sensing precipitation data, and satellite imageries. *Natural Hazards*, 109(1), 441–469.

Tsakiris, G. (2014). Flood risk assessment: Concepts, modelling, applications. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 14(6), 1361–1369. <https://doi.org/10.5194/nhess-14-1361-2014>

Ullah, K., & Zhang, J. (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of Panjkora River Basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. *Plos one*, 15(3), e0229153.

Vojtek, M., & Vojteková, J. (2016). Flood hazard and flood risk assessment at the local spatial scale: A case study. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(6), 1973–1992. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1166874>

Wahidi, H. A. (2022). Taşkın modelleme çalışmalarında yapay zeka destekli yöntemlerin uygulanabilirliği [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

Wendling, L. A., & Holt, P. J. (2020). Nature-based solutions for urban water management and climate resilience. *Journal of Environmental Management*, 260, 110555. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.110555>

Wesenbeeck, B. K. van, de Boer, G. J., Narayan, S., van der Star, W. R. L., van Eijk, P., & Jonkman, S. N. (2017). Coastal and riverine ecosystems as adaptive flood defenses under a changing climate. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(7), 1087–1094. <https://doi.org/10.1007/s11027-016-9690-4>

Yang, J., Wang, J., Hu, Y., Li, B., Zhao, J., & Liang, Z. (2023). Flood risk mapping for the area with mixed floods and human impact: a case study of Yarkant River Basin in Xinjiang, China. *Environmental Research Communications*, 5(9), 095005.

Yekeler, A. (2022). Hidrodinamik modelleme ile taşkın senaryolarının analiz edilmesi: Filyos Nehri örneği [Yüksek lisans tezi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

Yılmaz, A. (2022). Taşkın analizinde çok kriterli karar verme ve modelleme uygulamaları: Emet Çayı örneği [Yüksek lisans tezi, Dumlupınar Üniversitesi]. Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi.

Yılmaz, M. (2015). Antalya'da iklim değişikliğinin hidrolojik rejim üzerine etkileri. *Türkiye İklim Bilimi Araştırmaları*, 6(3), 122–134.

Zannat, M. E., & Ahmed, S. (2023). A review of nature-based infrastructures and their integration in flood management strategies. *Environmental Science & Policy*, 146, 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.05.012>

Zhang, K., Ji, Z., Luo, X., Liu, Z., & Zhong, H. (2024). Flood simulation in the complex river basin affected by hydraulic structures using a coupled hydrological and hydrodynamic model. *Water*, 16(17), 2383.

Zhang, K., Ji, Z., Luo, X., Liu, Z., & Zhong, H. (2024). Flood simulation in the complex river basin affected by hydraulic structures using a coupled hydrological and hydrodynamic model. *Water*, 16(2383), 1–17.

Zhang, W., Villarini, G., & Vecchi, G. A. (2018). Urbanization exacerbated the rainfall and flooding caused by hurricane Harvey in Houston. *Nature*, 563(7731), 384–388. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0676-2>

Zhang, W., Wang, Y., Li, Y., & Liu, M. (2024). Integrated hydrologic-hydraulic modeling for flood simulation and risk assessment in mountainous urban areas. *Water*, 16(3), 417. <https://doi.org/10.3390/w16030417>

Zhou, H., & Liu, Y. (2024). Integrated flood risk management under climate change: A data-driven approach using MIKE 11 and MIKE FLOOD. *Journal of Hydrologic Engineering*, 29(2), 04023075. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0002232](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0002232)

Zhou, L., & Liu, L. (2024). Enhancing dynamic flood risk assessment and zoning using a coupled hydrological-hydrodynamic model and spatiotemporal information weighting method. *Journal of Environmental Management*, 366, 121831. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121831>

ÖZGEÇMİŞ

Adı-Soyadı: İsmail Furkan ÇANAK

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2022-devam, Alanya Alaaddin Keykubat Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği
- 2022, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği

