



Investigation of Ünye Cevizdere flood disaster with flood inundation and hazard maps

Abdülbaki Hacı¹, İsmail Bilal Peker², Abdülkadir Uzun², Ecem Yıldız², Sezar Gülbaz^{2*}

¹Department of Civil Engineering, Faculty of Architecture and Engineering, Istanbul Gelişim University, 34310, Istanbul, Türkiye

²Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Istanbul University-Cerrahpaşa, 34320, Istanbul, Türkiye

Highlights:

- Investigation of the Ünye Cevizdere flood disaster
- Developing flood inundation and hazard maps with a hydrological-hydraulic model
- Incorporating the historical riverbed routes and old settlement patterns into flood modeling studies and a suggestion for flood prevention

Keywords:

- Ünye Watershed
- Flood inundation and hazard maps
- Flood protection measures
- HEC-HMS
- HEC-RAS

Article Info:

Research Article
Received: 27.08.2024
Accepted: 19.05.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1539636

Acknowledgement:

We would like to thank the General Directorate of Meteorology and State Hydraulic Works for their contributions to this study

Correspondence:

Author: Sezar Gülbaz
e-mail: sezarg@iuc.edu.tr
phone: +90 212 473 7000 / 17943

Graphical/Tabular Abstract

The analysis of the historical flood disaster in Ünye Cevizdere on 8 August 2018 was provided through a series of methodological processes. Figure A shows the flowchart, which begins with the calibration/validation process of the hydrological model, with the flood inundation map of the hydraulic modeling and the result of the structural measure suggestion. Initially, the Watershed Modeling System (WMS) was employed to delineate watershed boundaries and construct a stream network. It was then integrated into the Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) model to simulate the rainfall-runoff processes. Model hydrographs were calibrated and validated by comparing simulated results with observed flood data from historical events, after which a two-dimensional hydraulic model was developed using the Hydrologic Engineering Center - River Analysis System (HEC-RAS). HEC-RAS was used to analyze flood inundation areas and generate hazard maps. The HEC-HMS and HEC-RAS models provided assessments of regional flood inundation areas and hazard classifications for various return periods. This allowed for a detailed understanding of how varying flood scenarios might impact the area. To address potential flood risks, a structural flood prevention proposal was formulated. Simulations were compared for the current situation of the stream section and for scenarios where the model included both flood walls and stream restoration. The comparison provided insights into the potential benefits of the intervention in reducing flood impacts.

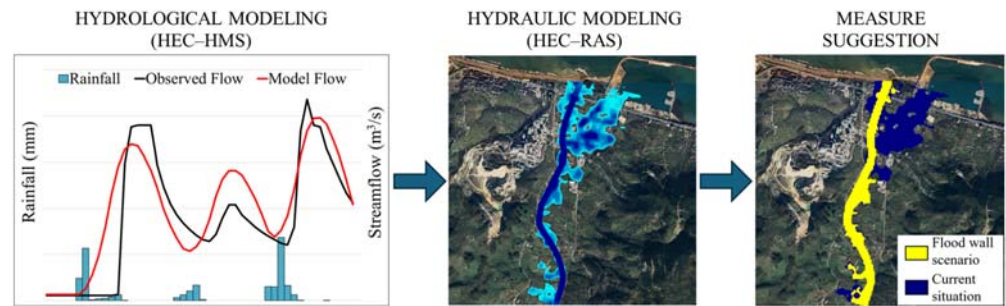


Figure A. Hydrological-hydraulic modeling and measure suggestion for the flood disaster

Purpose: This study examines the August 8, 2018 flood in Cevizdere, Ünye, Ordu, using WMS, HEC-HMS, and HEC-RAS to create flood inundation and hazard maps for different return periods. The study analyzes the causes of the flood, identifies key contributing factors, and proposes measures to mitigate future flood damages.

Theory and Methods: Hydrological-hydraulic modeling was performed using WMS, HEC-HMS and HEC-RAS. The rainfall-runoff relationship was modeled with the HEC-HMS, then analyzes and solutions were performed for the flood disaster and hazard maps with the HEC-RAS.

Results: The HEC-HMS model, calibrated for August 8-9, 2018, and validated for May 28-30, 2016, achieved Nash-Sutcliffe efficiency coefficients of 0.78 and 0.57. The August 8, 2018 flood inundation was 3.51 km², with a projected 8.56 km² for a 500-year flood. Widening the streambed from 82.5 to 115 meters and adding a 2.75-meter-high flood wall could reduce flood impact in Cevizdere.

Conclusion: Cevizdere urgently needs flood management due to its high vulnerability. Modeling indicates that a 500-year flood could increase inundation from 3.51 km² to 8.56 km². A mitigation measure was proposed, emphasizing the need to account for historical riverbeds and settlement patterns in flood planning.



Ünye Cevizdere taşkın afetinin taşkın yayılım ve tehlike haritaları ile incelenmesi

Abdülbaki Hacı¹, İsmail Bilal Peker², Abdülkadir Uzun², Ecem Yıldız², Sezar Gülbaz^{2*}

¹İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mimarlık ve Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34310, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul, Türkiye

ÖNEÇİKANLAR

- Ünye Cevizdere taşkın afetinin incelenmesi
- Hidrolojik-hidrolik modelleme ile taşkın yayılım ve tehlike haritalarının oluşturulması
- Taşkın modelleme çalışmalarında bölgenin geçmiş yıllara ait yerleşim ve akarsu planlarının dikkate alınması ve taşkına karşı önlem önerisi

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.08.2024

Kabul: 19.05.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1539636

Anahtar Kelimeler:

Ünye Havzası,
taşkın yayılım ve tehlike
haritası,
taşkın koruma önlemleri,
HEC-HMS,
HEC-RAS

ÖZ

Bu çalışma, Ordu ili Ünye ilçesindeki Cevizdere'de 8 Ağustos 2018'de meydana gelen taşkın inceleyerek farklı tekerrür periyotları için taşkın tehlike haritaları üretmeyi ve olası taşkınlarla karşı yapısal önlemleri değerlendirmeyi amaçlar. Modelin kalibrasyon ve validasyon için 2016 ve 2018 taşkınları kullanılmıştır. WMS, HEC-HMS ve HEC-RAS ile hidrolojik ve hidrolik modellemeler yapılmıştır. Önce, havzadaki yağış-akış ilişkisi HEC-HMS ile saatlik adımda gözlenen yağışlar kullanılarak modellenmiştir. Kalibrasyon 8-9 Ağustos 2018, validasyon 28-30 Mayıs 2016 verileriyle yapılmış; Nash-Sutcliffe (NS) verimlilik katsayıları sırasıyla 0,78 ve 0,57 bulunmuştur. Ardından HEC-RAS ile 2018 olayı simüle edilmiş, farklı tekerrür periyotları için taşkın yayılım alanları, akım hızı ve su derinliği dağılımları elde edilerek tehlike haritaları üretilmiştir. 8 Ağustos 2018'de tahmin edilen yayılım alanı 3,51 km² iken, 500 yıllık taşkın için 8,56 km²'ye ulaşmaktadır. Analizler, mansap kesimdeki dere yatağında yapılaşma kaynaklı değişimlerin taşkın etkisini ve yayılımını belirgin biçimde artırdığını göstermektedir. Sonuç olarak, 50, 100, 200 ve 500 yıllık taşkınların neden olacağı zararları azaltmaya yönelik bir yapısal önlem önerilmiştir. Ayrıca, taşkın modelleme ve önleme çalışmalarında eski dere yatağı güzergahlarının ve geçmiş yıllara ait yerleşim planlarının mutlaka dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Investigation of Ünye Cevizdere flood disaster with flood inundation and hazard maps

HIGHLIGHTS

- Investigation of the Ünye Cevizdere flood disaster
- Developing flood inundation and hazard maps with a hydrological-hydraulic model
- Incorporating the historical riverbed routes and old settlement patterns into flood modeling studies and a suggestion for flood prevention

Article Info

Research Article

Received: 27.08.2024

Accepted: 19.05.2025

DOI:

10.17341/gazimmfd.1539636

Keywords:

Ünye Watershed,
flood inundation and hazard
maps,
flood protection measures,
HEC-HMS,
HEC-RAS

ABSTRACT

This study analyzes the flood in Cevizdere, Ünye (Ordu) on August 8, 2018, aiming to produce flood hazard maps for return periods and to evaluate structural measures for future events. Flood observations from 2016 and 2018 supported model calibration and validation. Hydrological and hydraulic modeling used WMS, HEC-HMS, and HEC-RAS. First, the rainfall-runoff relationship was simulated in HEC-HMS with observed hourly rainfall data. The model was calibrated with streamflow from the August 8-9, 2018 storm and validated with the May 28-30, 2016 storm. The Nash-Sutcliffe (NS) efficiency was calculated as 0.78 for calibration and 0.57 for validation. HEC-RAS was used to simulate flood dynamics and delineate inundation areas for different return periods. Hazard maps were derived by combining modeled velocity and depth with standard hazard classes. The inundation area estimated for August 8, 2018 was 3.51 km²; for the 500-year event it increased to 8.56 km². Analyses indicate that urbanization and channel modifications along the downstream corridor have amplified flood impacts. A structural measure to reduce damages from the 50-, 100-, 200-, and 500-year floods is proposed. The study also highlights the need to consider historical river courses and past settlement plans in flood modeling and mitigation.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / *Corresponding Author/Authors: abdulbaki0@gmail.com, pekerbilal@iuc.edu.tr, abdulkadiruzun75@gmail.com, ecem.yildizl@ogr.iuc.edu.tr, *sezarg@iuc.edu.tr * / Tel: +90 212 473 7000 / 17943

1. Giriş (Introduction)

Uzun süreli ve şiddetli yağışlar, toprağın doygun hale gelmesine ve yeraltı su seviyelerinin yükselmesine neden olarak taşkın olaylarını tetiklemektedir [1-3]. Ayrıca, son yıllarda arazi kullanımı değişiklikleri ve iklim değişikliği gibi insan kaynaklı faktörler de taşkınların daha sık görülmesine neden olmaktadır [4, 5]. Diğer afetler ile karşılaştırıldığında taşkınlar en yıkıcı doğa olaylarından biri olarak kabul edilmektedir [6, 7]. Taşkınların her yıl büyük sosyal ve ekonomik zararlarının yanı sıra can kayıplarına da neden olması bu afetler ile ilgili çalışmaların önemini artırmaktadır. Özellikle kentsel alanlarda meydana gelen taşkınların bölgeye özgü ciddi sonuçları olmaktadır [8]. Bu kapsamda, taşkın afet riski ve neden olabileceği hasarlar her bölgeye özgü olarak farklı dinamikler içermektedir. Bu nedenle, taşkın tehlikesinin değerlendirilmesi ve olası etkilerinin incelenmesi büyük önem taşımaktadır.

Dünyanın birçok bölgesinde olduğu gibi Türkiye’de de taşkın felaketleri ciddi kayıplara ve zararlara neden olmaktadır [9, 10]. Türkiye’de özellikle yoğun yağış alan ve yüksek eğimli topografyaya sahip Karadeniz Bölgesi’nde taşkın ve heyelan gibi afetlere sıkça rastlanmaktadır. Doğu Karadeniz Havzası sınırları içerisindeki iller olan Artvin, Giresun, Rize, Gümüşhane, Ordu ve Trabzon’da 1929–2019 yılları arasında şiddetli yağışlar nedeniyle çok sayıda taşkın ve heyelan afeti yaşanmıştır. 90 yılda meydana gelen 59 büyük taşkın ve heyelanda toplam 644 kişi hayatını kaybetmiş ve büyük maddi kayıplara yol açmıştır [11]. Bu durum, Türkiye’de özellikle Karadeniz Bölgesi’nde bulunan derelerde taşkın ile ilgili yapılan çalışmaları önemli kılmaktadır.

Karadeniz Bölgesi’ndeki olası taşkınlarının kontrol altına alınması, bölgenin güvenliği ve sürdürülebilir kalkınması için kritik bir öneme sahiptir. Özellikle, taşkın konusunda yapılan çalışmalarda, taşkın neden olabilecek derelere ait havzanın ve taşkından etkilenecek bölgenin geçmiş yıllara ait durumu dikkate alınmalıdır. Taşkın ihtimali olan dere yataklarının geçmiş yıllarda güzergahının değiştirilmesi veya tamamen yok edilmesi, öngörülemez afetlerin yaşanmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle, dere yataklarının doğal akış düzenine müdahale edilmeden korunması ve taşkın riski taşıyan bölgelerde yapılaşmanın sıkı denetim altına alınması büyük önem arz etmektedir. Aksi takdirde, dere yataklarının daraltılması veya betonlaştırılması suyun doğal akışını bozarak taşkın riskini artırabilir. Karadeniz Bölgesi’nde sıkça görülen taşkınlardan biri de Ordu’nun Ünye ilçesinde meydana gelmiştir. 8 Ağustos 2018 tarihinde Ünye’nin merkezinden geçen Cevizdere’nin taşması sonucu meydana gelen afet, bölgede yaşanan en büyük taşkınlarından birisidir [12].

Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) teknolojileri ve entegre modelleme yaklaşımları, taşkın yayılım haritalarının oluşturulmasında yaygın olarak kullanılmaktadır [13, 14]. Bu sistemler ve hidrolojik ile hidrolik modelleme araçları, taşkın risk yönetimi stratejilerinin etkinliğini artırmaktadır [15, 16]. Bu amaçla, taşkın yönetimi ve analizinde kullanılan birçok farklı hidrolojik ve hidrolik modelleme yazılımı mevcuttur. Bunlar arasında, Watershed Modeling System (WMS), havza hidrolojisi ve hidroliğinin tüm aşamaları için kapsamlı bir modelleme ara yüzüne sahiptir [17]. Hydrologic Engineering Center (HEC) tarafından geliştirilen HEC-Hydrologic Modeling System (HMS) ve HEC-River Analysis System (RAS) sırasıyla bir havzanın hidrolojik ve hidrolik modellemesinde kullanılmaktadır. Hidrolojik ve hidrolik modeller kullanılarak havzanın yağış-akış ilişkisi modellenilebilmekte ve şiddetli bir yağıştan kaynaklanan taşkın yayılımı analiz edilebilmektedir. Bu analizler ile elde edilen taşkın pik debileri veya taşkın yayılım alanları gibi sonuçlar, sonrasındaki risk belirleme, planlama veya hukuksal açıdan değerlendirme çalışmaları

için altlık oluşturmaktadır [18]. HEC-HMS, olay tabanlı taşkın veya sürekli model simülasyonları yapabileceği kapasitesine sahiptir. HEC-HMS ile oluşturulan hidrolojik model sonucunda taşkın pik debileri ve hidrograflar elde edilmektedir. HEC-RAS programı, açık kanallarda ve nehirlerde hem tek boyutlu (1B) hem de iki boyutlu (2B) modelleme yapabilen bir programdır. HEC-RAS programı suyun derinliği, hızı ve debisinin hesaplanmasında, taşkın yayılım alanlarının belirlenmesinde ve taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasında kullanılmaktadır. Ayrıca, HEC-RAS taşkın koruma yapılarının, köprü ve menfez gibi sanat yapılarının ve barajların tasarımı ve performans analizine olanak tanıyarak taşkın kontrolü ve yönetimi için bilgiler sunmaktadır. HEC-HMS ile HEC-RAS birlikte kullanılarak hidrolojik modelleme sonuçlarının hidrolik analizlere entegre edilmesi mümkündür. Bu entegre modelleme yaklaşımı su havzalarının bütüncül yönetimi ve taşkın tahminleri için kullanılabilir. Bu kapsamda, literatürde HEC-HMS ve HEC-RAS’ın birlikte kullanılarak yapıldığı birçok çalışma bulunmaktadır. Bunlar arasındaki bir çalışmada, Türkiye’de Doğu Akdeniz Havzası’nda yaşanan bir taşkın afetinin analizi birbirini takip eden bir metodoloji ile HEC-HMS ve HEC-RAS modelleri yardımıyla gerçekleştirilmiştir [14]. Bu çalışmada, mevcut çalışma ile benzer biçimde taşkın yayılım alanları ve tehlike haritaları elde edilerek tehlike sınıflandırması yapılmıştır. HEC-HMS ve HEC-RAS kombine modelleme yaklaşımı ile taşkın yayılım alanlarının ortaya konması Kuzey Irak’ın Khazir Havzası [19] ve Amerika Birleşik Devletleri’nin Illinois eyaletindeki bir havza [20] için de gerçekleştirilmiştir. Hindistan’da yaşanan bir taşkın afetine ait HEC-RAS modeli, afetin ardından gözlenen su izleri ile doğrulanarak gelecek kentsel genişlemenin tahminlenmesi ile gelecek senaryoları açısından ele alınmıştır [21]. Ürdün’deki Petra antik kentinin olası taşkınlarla karşı önlem amaçlı barajlarının restorasyonu HEC-HMS ve HEC-RAS destekli çalışmalar ile yürütülmüştür [22]. Literatürdeki farklı bölgelerde ve farklı amaçlar doğrultusunda gerçekleştirilen tüm bu çalışmalar, HEC-HMS ve HEC-RAS’ın olası taşkınların analizi ve incelenmesinde kabul görmüş güvenilir ve yaygın kullanılan programlar olduğunu göstermektedir [23-25].

Bu çalışma kapsamında, hidrolojik ve hidrolik modelleme yaklaşımı ile Cevizdere’de yaşanan taşkın afetine ait taşkın yayılım ve tehlike haritalarının oluşturulması ve çözüm önerilerinin sunulması amaçlanmaktadır. Çalışma, (i) Cevizdere Havzası’nın hidrolojik ve hidrolik modeli oluşturularak 8 Ağustos 2018 tarihinde meydana gelen taşkın afetine ait taşkın yayılım haritasının elde edilmesi ve taşkın nedenlerinin irdelenmesi, (ii) yağış için farklı tekerrür periyotlarında oluşabilecek taşkın yayılım alanlarının belirlenmesi, (iii) bu tekerrür periyotlarında oluşan taşkın yayılım alanlarındaki taşkın tehlike haritalarının hız ve derinlik değerleri kullanılarak elde edilmesi, (iv) 50, 100, 200 ve 500 yıllık taşkın debisi için oluşturulan yapısal uygulamaların önerilmesi kısımlarını içermektedir. Bu çalışmada, Ünye Cevizdere’de meydana gelen tarihi taşkınların sebepleri tartışılarak gelecek yıllardaki olası taşkın afetlerine karşı alınabilecek önlemler analiz edilmiştir.

Ayrıca, 1915 yılına ait Ünye haritası incelenerek ilçenin ortasından geçen Cevizdere’nin orijinal durumu ve kentleşme sonrası meydana gelen değişimi incelenmiştir. Daha sonra, meydana gelen değişim ile ilçede taşkından etkilenen alanlar arasındaki ilişki ortaya konulmuştur. Bu kapsamda, taşkın modelleme çalışmalarında ve çözüm önerilerinin geliştirilmesinde bölgeye ait eski yerleşim durumunun dikkate alınması gerektiği vurgulanmıştır. Bu açıdan mevcut çalışmanın Ünye Cevizdere’deki taşkın afetlerine yönelik önlemlerin alınmasında ve planlamanın yapılmasında bir rehber niteliğinde olması hedeflenmektedir.

2. Materyal ve Yöntem (Materials and Methods)

2.1. Çalışma Alanı (Study Area)

Bu çalışmada ele alınan taşkın afetinin meydana geldiği Ordu ilinin Ünye ilçesi Türkiye'nin Karadeniz Bölgesi'nde yer almaktadır. Bölgedeki dereden ismini alan Cevizdere Havzası, Doğu Karadeniz Havzası'nın bir alt havzası olup Karadeniz'e dökülmektedir (Şekil 1). Yaklaşık olarak 400 km² drenaj alanına sahiptir. Cevizdere, Canik Dağları'nın yaklaşık 1700 m yüksekliğindeki bölgesinden doğup çıkış noktası deniz seviyesinde bulunmaktadır. Havzanın ortalama yükseltisi 740 m'dir. Havzadaki ortalama eğim %30'dur. Havza içerisinde memba kısımlarda dik yamaçlar mevcuttur. Dik eğimle yüksek kotlardan beslenerek alçak kotlarda düşük eğimle denize deşarj olması mansaptaki taşkın olasılığını artırmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) tarafından sağlanan Ordu iline ait 1959–2023 ölçüm periyodundaki verilere göre bölgedeki aylık ortalama yağışlar 56,8 ile 131,7 mm aralığındadır. Yıllık toplam yağış değerinin 1051,7 mm olduğu gözlemlenmiştir. Günlük toplam en yüksek yağış miktarı ise 171,3 mm olarak ölçülmüştür [26]. Havzanın yüksek dağlarla çevrili topografyası ve şiddetli orografik yağış olayları sebebiyle tarih boyunca taşkınlar görülmüştür [27]. Ünye'nin farklı bölgelerinde 1960, 1988, 2006, 2015, 2016 ve 2018 yıllarında taşkın ve su baskınları yaşanmıştır. Cevizdere, özellikle sanayi yerleşimlerinin olduğu bölgelerde taşmış ve 1965 yılında yapılan ve Şekil 1'de görülen Ordu-Samsun köprüsü yıkılmıştır [27]. Cevizdere Havzası'ndaki en büyük taşkınlardan biri de 8-9 Ağustos 2018 tarihleri arasındaki şiddetli yağışlar sonucu meydana gelmiştir.

2.2. Veri (Data)

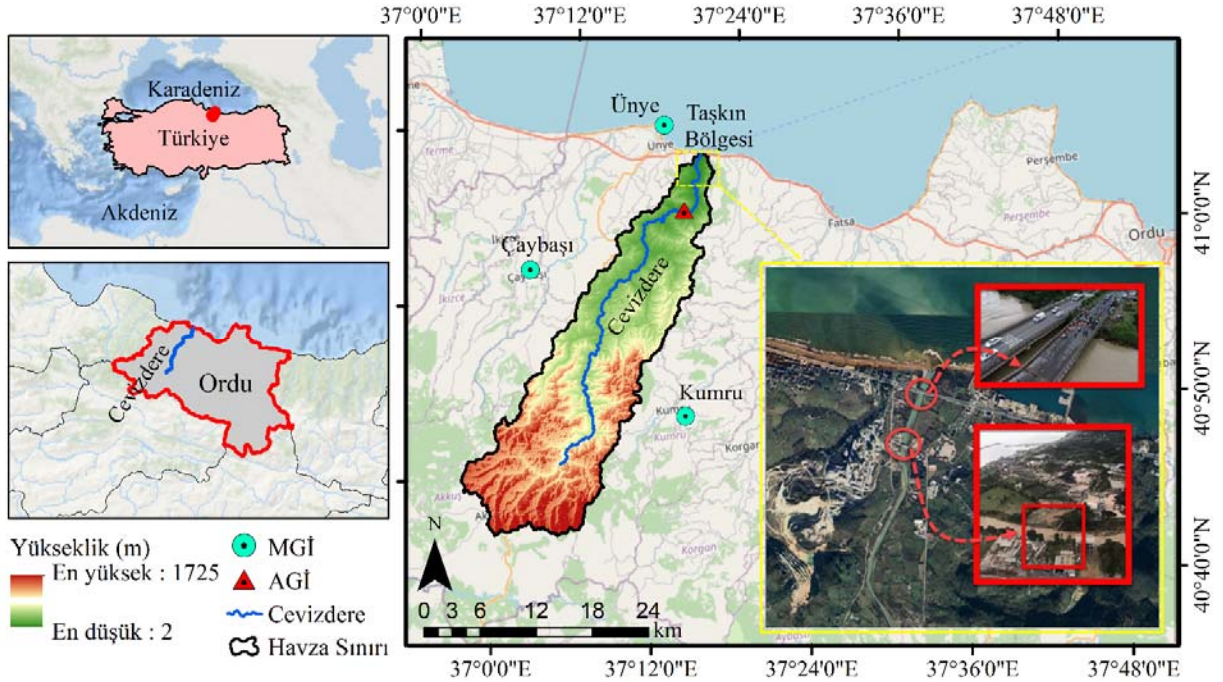
Hidrolojik ve hidrolik modeller için havzaya ait topografik bilgilere ek olarak hidrometeorolojik verilere ihtiyaç duyulmaktadır. Havzanın hidrolojik süreçlerini modelleyebilmek üzere toplam yağış ve debi değerleri sırasıyla Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) ve Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'nden alınmıştır. Meteoroloji Gözlem İstasyonlarında (MGİ) ölçülen yağış değerleri ve Akım Gözlem İstasyonlarında (AGİ) ölçülen debi değerleri, bu çalışmada

incelenen taşkın afetinin yaşandığı 8–9 Ağustos 2018 ve 28–30 Mayıs 2016 tarihleri için saatlik zaman adımında temin edilmiştir. 8–9 Ağustos 2018 tarihli yağış-akış verileri hidrolojik modelin kalibrasyonunda, 28–30 Mayıs 2016 tarihli veriler ise hidrolojik modelin doğrulamasında (validasyonunda) kullanılmıştır. Yağış değerleri kullanılan Ünye, Kumru ve Çaybaşı isimli MGİ'lerin konumları Şekil 1'de gösterilmektedir. Derede ölçülen akış değerleri için ise konumu Şekil 1'de gösterilen E22A066 kodlu Ceviz Deresi-Düzköy isimli AGİ verileri kullanılmıştır. 8–9 Ağustos 2018 ve 28–30 Mayıs 2016 tarihlerinde ölçülen yağış ve akış değerleri sırası ile Şekil 2-a ve Şekil 2-b'de gösterilmektedir.

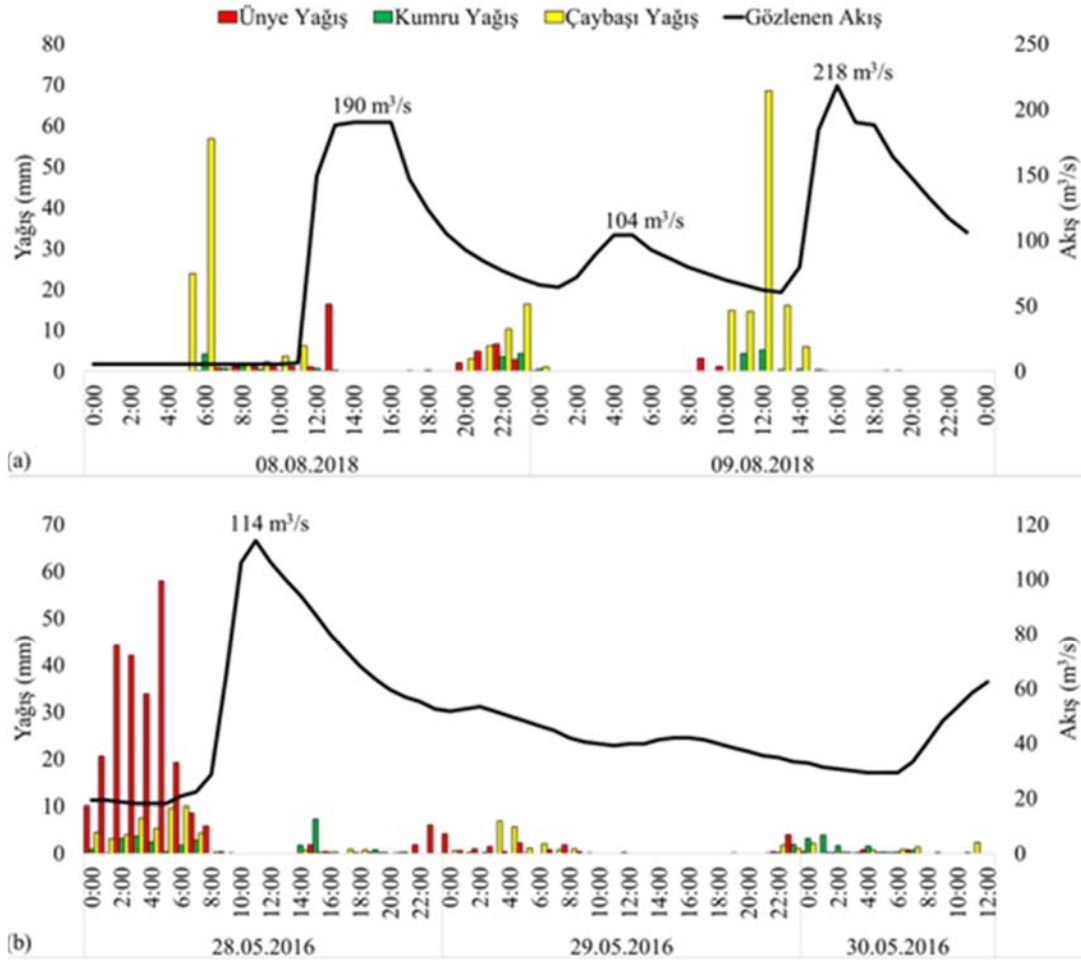
Şekil 2-a'da görüldüğü üzere 8–9 Ağustos 2018 tarihli olay periyodu boyunca ardışık üç farklı şiddetli yağış meydana gelmektedir. İstasyonlarda üç farklı saat diliminde yağış olayları gözlenmiştir. Çaybaşı istasyonunda diğer istasyonlardan daha yüksek değerlerde yağış ölçümü alınmıştır. Dere akışı değerleri bu yağış olayları ile tutarlı bir trend izlemektedir. Hidrografta yaklaşık 190 m³/s, 104 m³/s ve 218 m³/s değerlerinde üç farklı pik debi gözlenmiştir. Şekil 2-b'de ise 28–30 Mayıs 2016 tarihli olay periyodunun başında üç istasyon tarafından şiddetli bir yağış ölçülmektedir. Ünye istasyonunda diğer istasyonlardan daha fazla değerlerde yağış ölçümü görülmüştür. Olay periyodunun devamında yağış değerleri azalmıştır. Yağış değerlerine bağlı olarak hidrograf olay periyodunun başında yaklaşık 114 m³/s değerinde bir pik debiye ulaştıktan sonra, hidrografta çekilme eğrisi meydana gelmiştir.

2.3. Hidrolojik ve Hidrolik Modelleme (Hydrological and Hydraulic Modeling)

Cevizdere Havzası'nın hidrolojik ve hidrolik modellemesi için WMS [28], HEC-HMS [29] ve HEC-RAS [24] bilgisayar programları sırası ile kullanılmıştır. Bu kapsamda, kullanılan WMS programı hidrolojik ve hidrolik modelleme araçlarını içeren ve bunlar arasında ilişki kurma kabiliyeti olan bir yazılımdır. Hidrolojik modellemede ihtiyaç duyulan, havza alanı, eğimi, havzanın su ayırım çizgisi ve dere ağının oluşturulabilmesi için WMS'teki CBS araçları ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verisi kullanılmıştır. Bu kapsamda, hidrolojik



Şekil 1. Cevizdere Havzası'nın konumu ve taşkın bölgesine ait görseller (Location of the Cevizdere Basin and the images in flood zone)



Şekil 2. a) 8–9 Ağustos 2018 tarihli ve b) 28–30 Mayıs 2016 tarihli gözlenen yağış ve akış verileri (Observed rainfall and flowrate data for a) 8–9 August 2018 and b) 28–30 May 2016)

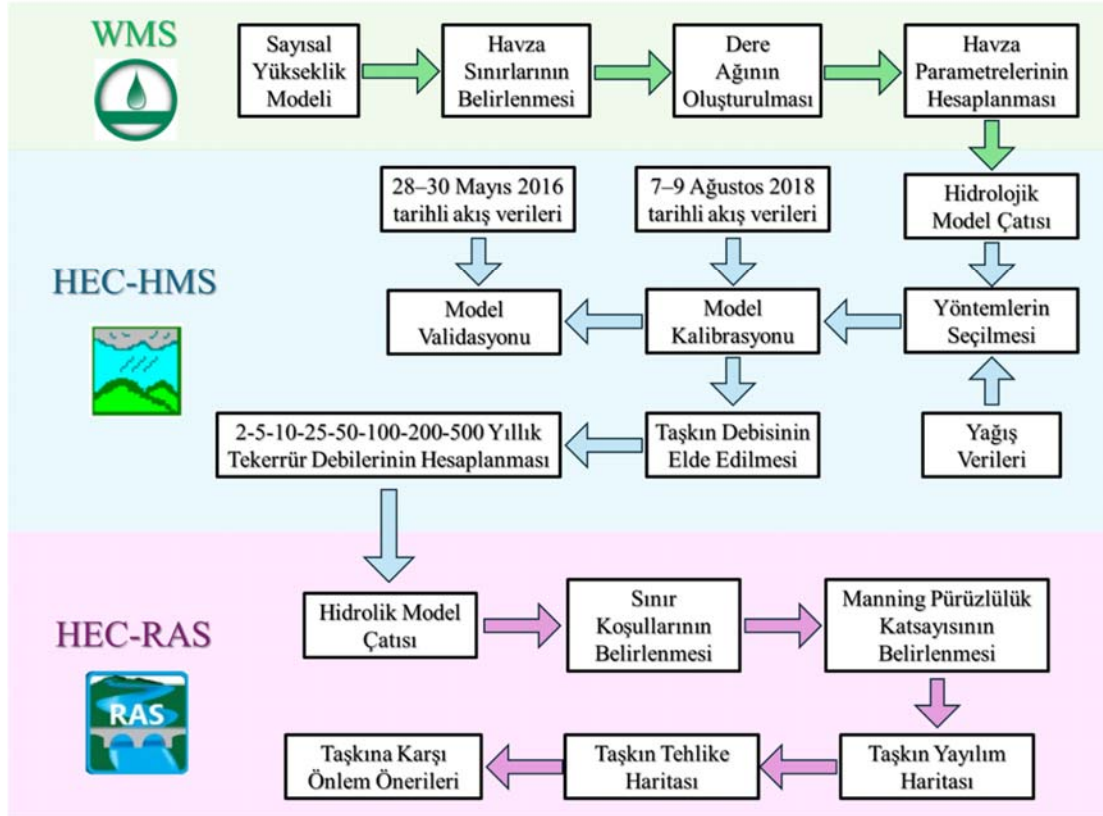
modelleme için 30 metre çözünürlüklü küresel Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) SYM verisi kullanılmıştır (<http://srtm.csi.cgiar.org>). Havza model çatısı WMS'ten HEC-HMS'e aktararak havzanın yağış-akış ilişkisi model içerisinde seçilen hidrolojik yöntem ve parametrelerle belirlenmiştir. Ardından, hidrolojik modelin kalibrasyonu 8–9 Ağustos 2018 tarihli gözlenen akış verileri ile yapılmıştır. 28–30 Mayıs 2016 tarihli akış verileri ise validasyon için kullanılmıştır. Sonraki aşamada, kalibre edilmiş ve doğrulanmış olan hidrolojik modelin farklı tekrerr periyotlarındaki akış simülasyonları hidrolik modele girdi oluşturmuştur. Hidrolik model için ise iki boyutlu HEC-RAS programı kullanılmıştır. Bu kapsamda 30 metre çözünürlüklü SYM verisi Global Mapper yazılımı ile küresel kaynaktan elde edilmiştir. HEC-RAS, taşkın yayılım ve tehlike haritalarının elde edilmesi için kullanılmıştır. Ayrıca, HEC-RAS kullanılarak olası taşkınları önleyici çözüm önerileri geliştirilmiştir. Çalışmada takip edilen hidrolojik ve hidrolik modelleme yöntemine ait akış şeması Şekil 3'te gösterilmiştir.

2.3.1. Hidrolojik model (HEC-HMS) (Hydrological model) (HEC-HMS)

WMS yardımıyla havza sınırları, alanı ve eğimi belirlenmiş ve dere ağı oluşturulmuştur. WMS'ten alınan havzaya ait bilgiler HEC-HMS modeline aktarılmıştır. Daha sonra, yağış verileri modele tanımlanmıştır. Bu kapsamda, öncelikle Thiessen yöntemine göre Ünye, Kumru ve Çaybaşı MGI'lerinin havzadaki alansal ağırlıkları sırasıyla 0,14, 0,61 ve 0,24 olarak hesaplanmıştır. Ardından, bu

ağırlıklar göz önünde bulundurularak HEC-HMS'te saatlik yağış girdileri oluşturulmuştur. Modelde yağış-akış ilişkisini benzeştirecek süreçler arasından taban akışı ve sızma yöntemleri seçilmiştir. Taban akışı yöntemi için aylık sabit değer DSI'den alınan E22A066 kodlu AGİ verisi dikkate alınarak $6,26 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak programa tanımlanmıştır. Sızma için Green-Ampt yöntemi [30] tercih edilmiş ve yöntemine ait başlangıç nem içeriği, doymuş nem içeriği, emme basıncı, hidrolik iletkenlik değerleri ile havzaya ait yüzey alanı geçirimsizlik yüzdesi değerleri modele literatürdeki değerler dikkate alınarak tanımlanmıştır. Daha sonra, geçirimsiz alan yüzdesi ile Green-Ampt yöntemine ait parametreler, ölçülen ve hesaplanan debi değerleri karşılaştırılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyonda AGİ'den alınan 8-9 Ağustos 2018 tarihli saatlik akış gözlem verileri kullanılmıştır.

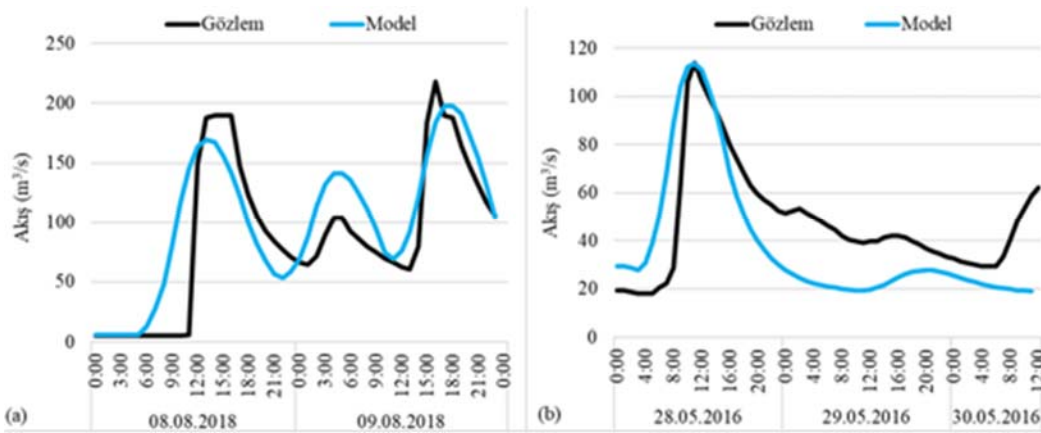
Tablo 1'de Green-Ampt model parametrelerine ait kalibrasyon sonrası değerler verilmiştir. Hidrolojik modellemenin son aşaması olarak, kalibre edilen parametreler ile 28–30 Mayıs 2016 tarihli saatlik yağış verileri kullanılarak model akış simülasyonları elde edilmiştir. Model akışları aynı tarihli gözlem akış verileri ile karşılaştırılarak model doğrulanmıştır. Kalibrasyon ve validasyon aşamasında model performansı için Nash-Sutcliffe (NS) verimlilik katsayısı gözetilmiştir. Buna göre kalibrasyon periyodunda (8–9 Ağustos 2018) NS değeri 0,78, validasyon periyodunda ise (28–30 Mayıs 2016) 0,57 değerindedir. Modellenen ve gözlenen hidrograflar Şekil 4-a ve Şekil 4-b'de sırasıyla kalibrasyon ve validasyon periyotları için gösterilmektedir.



Şekil 3. Hidrolojik ve hidrolik modelleme yönteminin akış şeması (Flowchart of the hydrological and hydraulic modeling method)

Tablo 1. HEC-HMS'te kullanılan modelleme süreçleri ve yöntemlerine ait parametreler ve kalibrasyon değerleri (Parameters and calibration values of modeling processes and methods used in HEC-HMS)

Süreç	Yöntem	Parametre (birim)	Kalibrasyon Sonrası Değer
Sızma	Green-Ampt	Başlangıç nem içeriği (oran)	0,42
		Doygun nem içeriği (oran)	0,43
		Emme basıncı (mm)	142,24
		Hidrolik iletkenlik (mm/saat)	5,50
		Geçirimsizlik alan yüzdesi (%)	6,00



Şekil 4. a) 8-9 Ağustos 2018 kalibrasyon ve b) 28-30 Mayıs 2016 validasyon periyodunda modellenen ve gözlenen hidrograflar (Simulated and observed hydrographs a) in the calibration period of 8-9 August 2018 and b) in the validation period of 28-30 May 2016)

2.3.2. Hidrolik model (HEC-RAS) (Hydraulic model (HEC-RAS))

HEC-HMS hidrolojik modelinden elde edilen hidrograflar HEC-RAS modelinde girdi olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda, ilk olarak 8 Ağustos 2018 tarihinde yaşanan taşkına ait HEC-HMS'ten alınan hidrograf HEC-RAS programına girilmiş ve taşkın yayılım haritası elde edilmiştir. Daha sonra, 24 saat süreli 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 yıllık tekerrür periyotlarına ait yağış değerlerinden HEC-HMS ile elde edilen hidrograflar HEC-RAS'a girilmiştir. HEC-RAS ile iki boyutlu hidrolik modelleme yapılmıştır. Hidrolik modelde hesaplama ağı boyutları 5×5 metre olarak seçilmiştir. Manning "n" katsayısı Chow (2009) tarafından önerilen tablolar [31] kullanılarak nehir yatağı için 0,035, taşkın yatağı için ise 0,050 olarak programa tanımlanmıştır. Hidrolik hesaplamalar için iki boyutlu difüzyon dalga denklemleri kullanılmıştır (Denklemler 1, 2, 3). Ayrıca, hidrolik modelleme kapsamında, Şekil 1'de gösterilen, 8 Ağustos 2018 tarihli taşkın sırasında yıkılan iki köprü de modele tanımlanmıştır. Hidrolik modelleme sonucunda, 8 Ağustos 2018 yılında yaşanan taşkın afetinin taşkın yayılım alanı hesaplanmıştır. Ayrıca, 24 saat süreli 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 yıllık tekerrür periyotlarına ait taşkın hidrograflarına ait taşkın tehlike haritaları oluşturulmuştur. 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür periyotlarına sahip taşkınlar için taşkın önleyici yapısal önlemler geliştirilmiştir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f_c v \\ = -g \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,xx} h \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,yy} h \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,x}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho h} \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} - f_c u \\ = -g \frac{\partial z_s}{\partial y} + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial x} \left(v_{t,xx} h \frac{\partial v}{\partial x} \right) + \frac{1}{h} \frac{\partial}{\partial y} \left(v_{t,yy} h \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{b,y}}{\rho R} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho h} \end{aligned} \quad (3)$$

Eş. 1-3'te, q tabaka akışı [L/T], u ve v hız [L/T], g yerçekimi ivmesi [L/T^2], z_s su yüzü yüksekliği [L], $v_{t,xx}$ ve $v_{t,yy}$ x ve y yönlerinde yatay eddy viskozitesi katsayıları [L^2/T], $\tau_{b,x}$ ve $\tau_{b,y}$ x ve y yönlerindeki taban kesme kuvveti [M/LT^2], $\tau_{s,x}$ ve $\tau_{s,y}$ x ve y yönlerindeki yüzey kesme

kuvveti [M/LT^2], ρ suyun özgül kütlesi (M/L^3), R hidrolik yarıçap [L], h su derinliği [L], f_c Coriolis parametresi olarak tanımlanmıştır.

3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

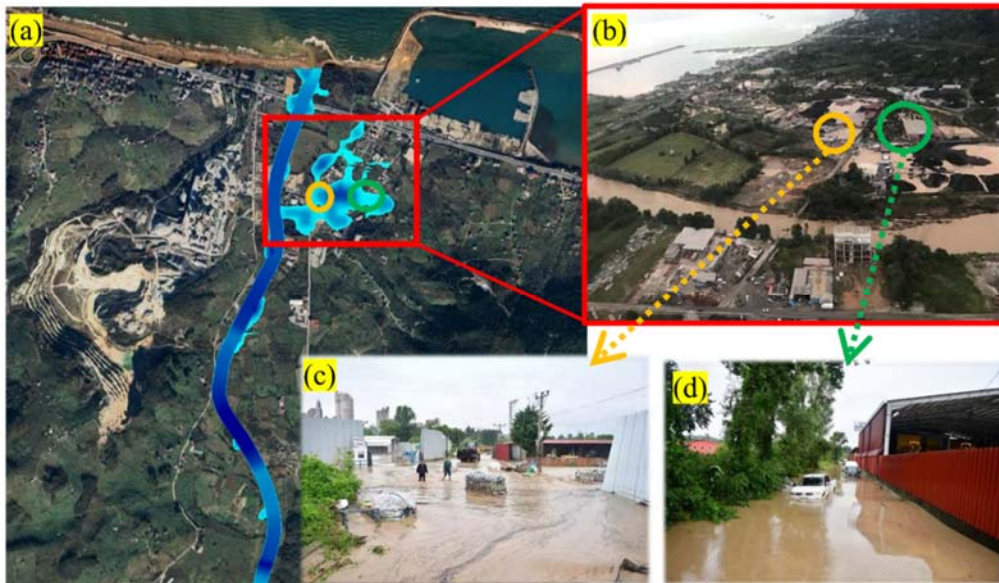
Çalışma alanına ait bulgular, "8 Ağustos 2018 tarihinde yaşanan taşkın", "Farklı tekerrür periyotlarında oluşabilecek taşkın yayılım alanları", "Taşkın tehlike haritaları" ve "Farklı tekerrür periyotlarına sahip taşkın için yapısal çözüm önerisi" olmak üzere dört başlık altında incelenmiştir. Takip eden alt başlıklarda bulgular detaylandırılmıştır.

3.1. 8 Ağustos 2018 Tarihinde Yaşanan Taşkın Afeti (Flood Disaster on August 8, 2018)

Kalibre edilmiş HEC-HMS hidrolojik modeli kullanılarak elde edilen 8 Ağustos 2018 tarihine ait hidrograf HEC-RAS hidrolik modeline tanımlanmış ve taşkın yayılım alanı incelenmiştir. Simülasyon sonucunda, Şekil 5-a'da gösterilen taşkın yayılım alanı elde edilmiş ve taşkın zamanı çekilen fotoğraflar (Şekil 5-b, c ve d) ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5-a'da görülen model sonuçları ve fotoğraflar incelendiğinde hidrolik model ile elde edilen taşkın yayılım alanı ile sahadan çekilen taşkına ait fotoğraflarda görülen taşkın alanlarının benzerlik gösterdiği görülmektedir. Yapılan simülasyon sonucunda 8 Ağustos 2018 tarihinde yaşanan taşkın 3,51 km^2 'lik bir alana yayıldığı görülmüş, aynı zamanda Şekil 5-a ve b'de işaretlenen noktalarda 0,40 m (Şekil 5-c) ve 0,65 m (Şekil 5-d) seviyelerinde su derinlikleri ölçülmüştür. Fotoğraftaki insanlardan ve araçlardan hareketle simülasyon sonuçları su derinliği bakımından fotoğraflar ile benzerlik göstermektedir.

3.2. Farklı Tekerrür Periyotlarında Oluşabilecek Taşkın Yayılım Alanları (Flood Inundation Areas in Different Return Periods)

HEC-HMS modeline MGM'den temin edilen havzaya ait 24 saat süreli 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500 yıllık tekerrür periyotlarına sahip yağışlar girilerek her bir tekerrür periyoduna ait hidrograflar elde edilmiştir. 24 saat süreli yağışların tekerrür periyotlarına göre toplam yağış miktarları ve hidrolojik model sonucu elde edilen pik debiler Tablo 2'de verilmiştir. Ayrıca, Şekil 6'da farklı tekerrür periyotlarına ait yağışlar ile elde edilen hidrograflar görülmektedir. Elde edilen



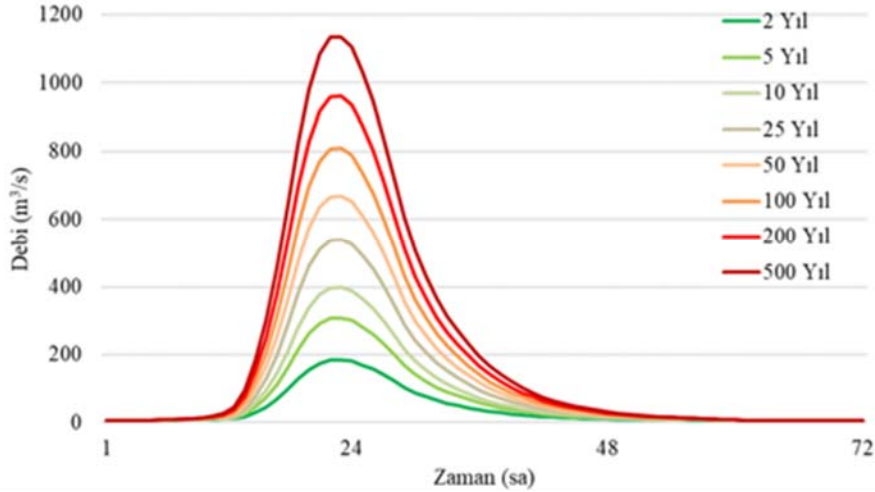
Şekil 5. a) 8 Ağustos 2018 yılında yaşanan taşkına ait yayılım simülasyonu, b, c ve d) taşkın afetine ait fotoğraflar
(a) The flood inundation simulation that occurred on August 8, 2018, b, c and d) photographs of the flood disaster)

hidrograflar ayrı ayrı HEC-RAS'a girilerek farklı tekerrür periyoduna sahip akışlar için taşkın yayılım alanları elde edilmiştir. Yapılan simülasyonlar sonucunda belirlenen taşkın yayılım alanları Şekil 7'de gösterilmiştir. Farklı tekerrür periyotlarındaki taşkın yayılım alanlarının miktarı ise Tablo 2'de verilmiştir. Buna göre, taşkın yayılım alanları 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür periyotları için sırasıyla 2,08 km², 2,67 km², 3,02 km², 5,00 km², 5,98 km², 6,74 km², 7,26 km² ve 8,56 km² olarak hesaplanmıştır.

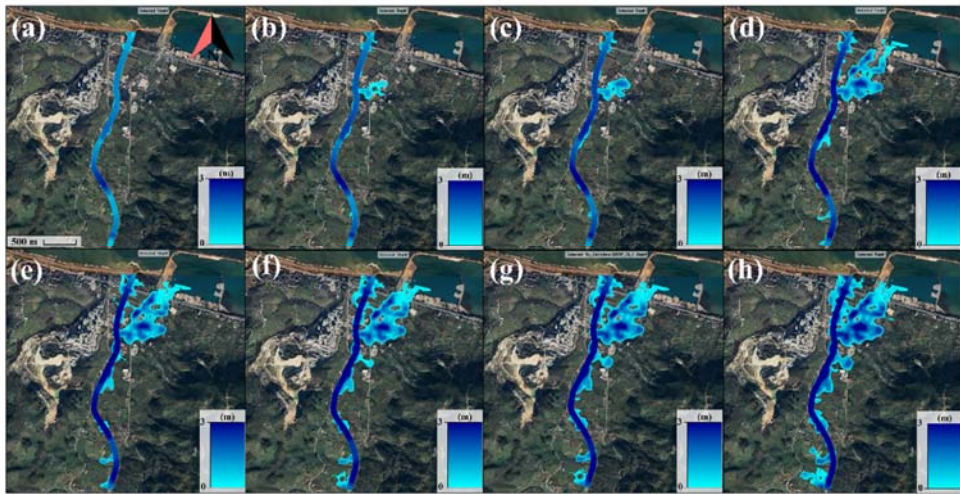
Şekil 7'deki farklı tekerrür periyotlarında oluşan taşkın yayılım alanları incelendiğinde, Şekil 7-a'da 2 yıllık tekerrür periyotlu debinin mevcut dere kesiti ile taşınabildiği, suyun dere yatağı sınırlarında kalarak taşkına neden olmadığı görülmüştür. Diğer şekillerde (Şekil 7-b, c, d, e, f, g, h) ise 5, 10, 25, 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür periyotları sonucu oluşan taşkın debilerinin dere kesiti ile taşınamayıp dere yatağı sınırlarını aşarak taşkına sebep olduğu görülmüştür.

Tablo 2. Farklı tekerrür periyotları için 24 saat süreli yağışlar, model pik debileri ve taşkın yayılım alanları (24-hr rainfall, model peak flows and flood inundation areas for different return periods)

Tekerrür Periyotları	24 saat Süreli Toplam Yağış Miktarı (mm)	Model Pik Debileri (m ³ /s)	Taşkın Yayılım Alanları (km ²)
2 yıl	66,1	184,2	2,08
5 yıl	91,2	307,6	2,67
10 yıl	110,1	398,4	3,02
25 yıl	136,7	539,0	5,00
50 yıl	158,6	668,6	5,98
100 yıl	182,4	809,2	6,74
200 yıl	208,3	960,8	7,26
500 yıl	238,0	1134,8	8,56



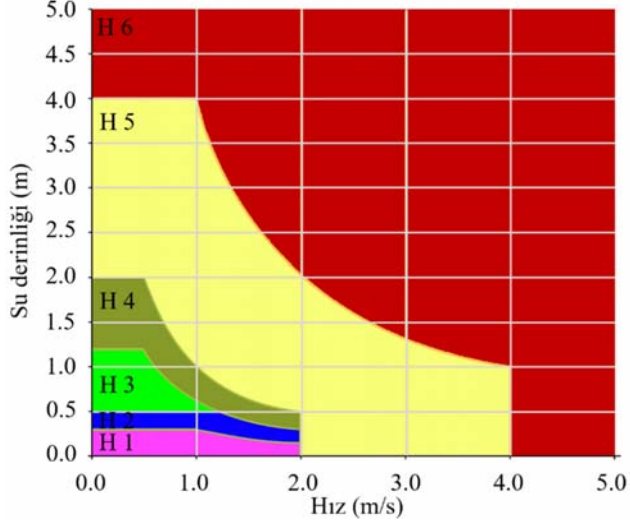
Şekil 6. Farklı tekerrür periyotlarına ait yağışlar ile elde edilen hidrograflar (Hydrographs obtained from rainfalls of different return periods)



Şekil 7. a) 2, b) 5, c) 10, d) 25, e) 50, f) 100 g) 200 ve h) 500 yıllık tekerrür periyotlu yağışlar için elde edilen taşkın yayılım haritaları (Flood inundation maps obtained for rainfalls with a recurrence period of a) 2-yr, b) 5-yr, c) 10-yr, d) 25-yr, e) 50-yr, f) 100-yr, g) 200-yr and h) 500-yr)

3.3. Taşkın Tehlike Haritaları (Flood Hazard Maps)

Ünye ilçesindeki olası taşkın durumları farklı tekrür periyotlu yağışlar için modellenmiş, taşkın tehlike haritaları oluşturulmuş ve incelenmiştir. Taşkın tehlike haritalarının oluşturulmasında Smith vd. tarafından yayınlanan tehlike sınıfları kullanılmıştır [32]. Smith vd. tarafından yapılan çalışmada tehlike sınıfları su derinliği ve hızı bağlı olarak Şekil 8'de gösterildiği gibi tarif edilmektedir.



Şekil 8. Taşkın tehlike diyagramı [32] (Flood hazard diagram) [32]

Buna göre, Tehlike Etkilenebilirlik Sınıflandırması H1'den H6'ya derecelendirilen altı kategoriye ayrılmıştır. Tablo 3'te bu metodolojiye ait kategoriler ve açıklamaları verilmiştir. Bu sınıflandırma, taşkın tehlikelerinin etkilerini değerlendirmek ve uygun önlemleri almak amacıyla kullanılmaktadır. Her bir kategori, taşkın tehlikesinin ciddiyetine göre belirlenmiştir. Bu sınıflandırma, taşkın risk yönetimi stratejilerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır. Taşkın tehlike haritalarını elde etmek üzere sınıflandırmanın kategorilerini yansıtabilecek biçimde hazırlanan ve HEC-RAS'a entegre edilebilen bir kod kullanılmıştır.

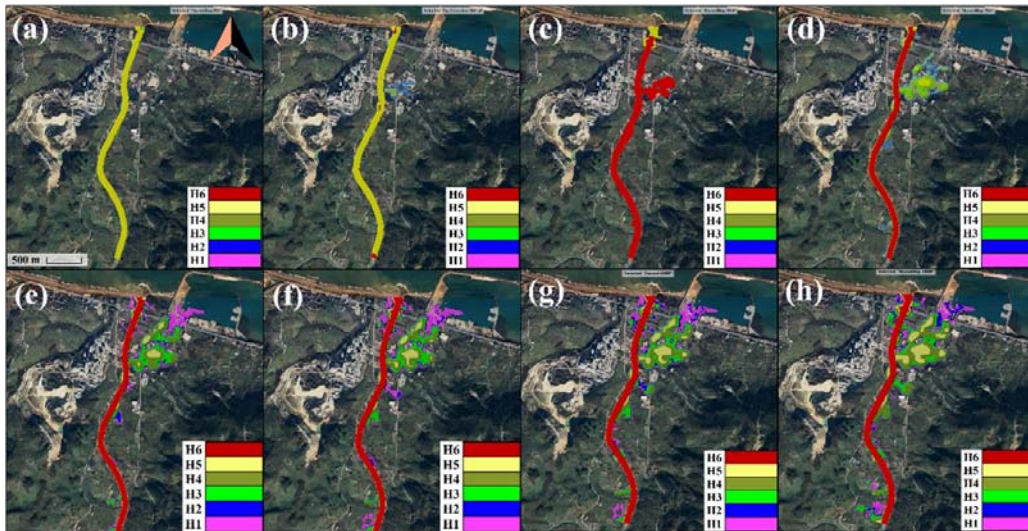
(<https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/rumum/latest/ras-ter-calculator>). Böylece, Şekil 9'da verilen taşkın tehlike haritaları elde edilmiştir. Şekil 8'de gösterilen H1'den H6 ya kadar olan tehlike sınıflarının renkleri Şekil 9'da elde edilen haritalardaki her bir tehlike sınıfı ile benzer şekilde farklı renklerle gösterilmiştir.

3.4. Farklı Tekerrür Periyotlarına Sahip Taşkınlar için Yapısal Çözüm Önerisi (Structural Measure Suggestion for Different Flood Return Periods)

Elde edilen taşkın yayılım alanlarına göre mevcut dere kesitinin, 5 yıl ve üzerindeki tekrür periyoduna sahip yağışlar için yeterli olmadığı görülmüştür. Muhtemel taşkınlardan dolayı Ünye ilçesinde oluşabilecek zararları önlemek veya azaltmak amacıyla Cevizdere'nin dere kesitleri genişletilmiş ve derenin sağ ve sol duvarlarına taşkın önleyici setler uygulanmış ve bu uygulamaların etkisi incelenmiştir. Cevizdere'nin sağ ve sol duvarlarına uygulanan taşkın setlerinin konumu ve uzunlukları Şekil 10-a'da gösterilmiştir. Bu bağlamda, her iki duvarın yükselti farkları fazla olması sebebiyle sol sahilde 1205 metre, sağ sahilde ise 1745 metre uzunluklarındaki taşkın setleri

Tablo 3. Taşkın tehlike kategorileri ve açıklamaları (Flood hazard categories and descriptions)

Taşkın Tehlike Kategorisi	Açıklama
H1	Araçlar, insanlar ve binalar için genel olarak güvenli seviye
H2	Ufak araçlar için tehlikeli seviye
H3	Araçlar, yaşlılar ve çocuklar için tehlikeli seviye
H4	Tüm araçlar ve insanlar için tehlikeli seviye
H5	Bütün araçlar ve insanların yanı sıra binaların da yapısal hasara uğrayabileceğini ve hatta bazı dayanıksız binaların yıkılabileceği seviye
H6	Bu kategorideki tehlikeye maruz kalan bütün binaların zarar görmeye açık olduğu seviye



Şekil 9. a) 2, b) 5, c) 10, d) 25, e) 50, f) 100, g) 200 ve h) 500 yıllık tekrür periyotlu yağışlar için elde edilen taşkın tehlike haritaları (Flood hazard maps obtained for rainfalls with a recurrence period of a) 2-yr, b) 5-yr, c) 10-yr, d) 25-yr, e) 50-yr, f) 100-yr, g) 200-yr and h) 500-yr)

hidrolik modele dahil edilmiştir. HEC-RAS ile oluşturulan modelde dere yatağı genişliği 82,5 metreden 115 metreye çıkartılmış ve dere yan duvarlarına farklı tekerrür periyotlarına sahip taşkın debileri için farklı yüksekliklerde taşkın setleri (duvarları) entegre edilmiştir (Şekil 10-b ve c). 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür periyotlarına karşılık gelen taşkın debileri için sedde yükseklikleri sırasıyla 1,75, 2,05, 2,32 ve 2,75 metre olarak hesaplanmıştır. Şekil 10-c'de önerilen bu sedde yükseklikleri gösterilmiştir.

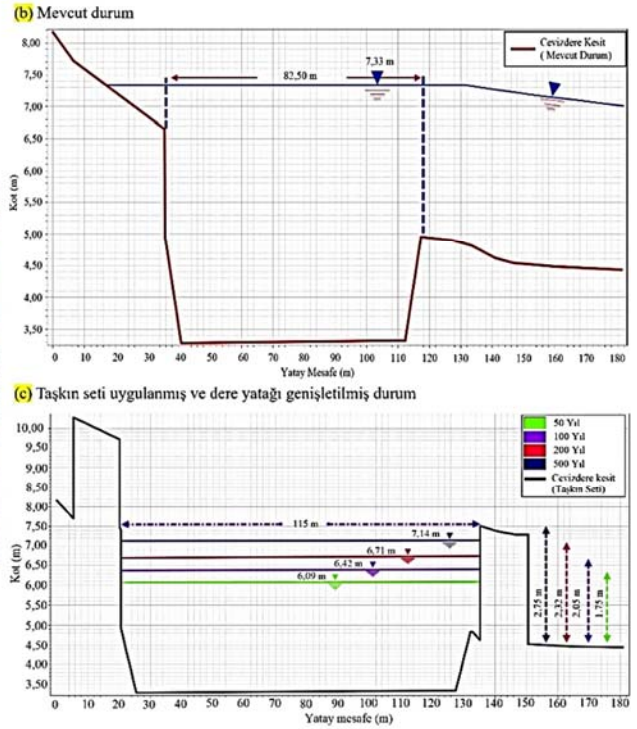
Taşkın setleri eklenerek ve dere kesiti genişletilerek yenilenen HEC-RAS modeli 50, 100, 200 ve 500 yıllık tekerrür periyotlu yağışlar için yeniden çalıştırılmıştır. 500 yıllık tekerrür periyotlu taşkın debisi yapılan analizler arasında en yüksek taşkın debisine sahip olan en kötümser senaryodur. Ayrıca, meskun mahallerde yapılan dere ıslah çalışmalarında 500 yıllık taşkın debisi dikkate alınmaktadır. Bu sebeplerle, 500 yıllık taşkın debisi için elde edilen sonuçlara ait debiler kullanılarak mevcut durum ve taşkın seti eklenerek önlem alınan durum kıyaslanmıştır. Şekil 11'de, derenin mevcut durumundaki (lacivert renkli) ve taşkın seti eklenerek önlem alınan yeni durumundaki (sarı renkli) taşkın yayılım alanları gösterilmiştir. Bu iki durum için elde edilen taşkın yayılım alanları incelendiğinde taşkın seti eklenen ve dere yatak kesiti genişletilen senaryoda suyun dere sınırları içerisinde kaldığı ve mansap kısmında çevreye yayılmadığı görülmektedir. Taşkın setinin uygulandığı ve dere kesitinin genişletildiği durum suyun dere sınırları içerisinde muhafaza edilerek taşkın önlenmesinde etkili olmuştur. Şekil 10'da mevcut durum ve taşkın seti uygulanmış ve dere yatağı genişletilmiş önlem alınan durum için aynı kesitte oluşan su yüzü yükseklikleri gösterilmiştir. Taşkın seti olmayan durumda su yüzü kotu 7,33 metre (Şekil 10-b) olarak hesaplanmıştır ve taşkın debisi dere yatağından

taşmaktadır. Öte yandan, taşkın setinin uygulanması ve dere yatak kesiti genişletilmesi ile su yüzü yüksekliği 7,14 (Şekil 10-c) metreye düşmektedir. Uygulanan çözüm önerisi sonrasında dere kesitinin 500 yıllık taşkın debisini taşıyabildiği görülmüştür.

3.5. Bulguların yorumlanması ve tarihsel dere yataklarının önemi (Discussion of Findings and the Significance of Historical Riverbeds)

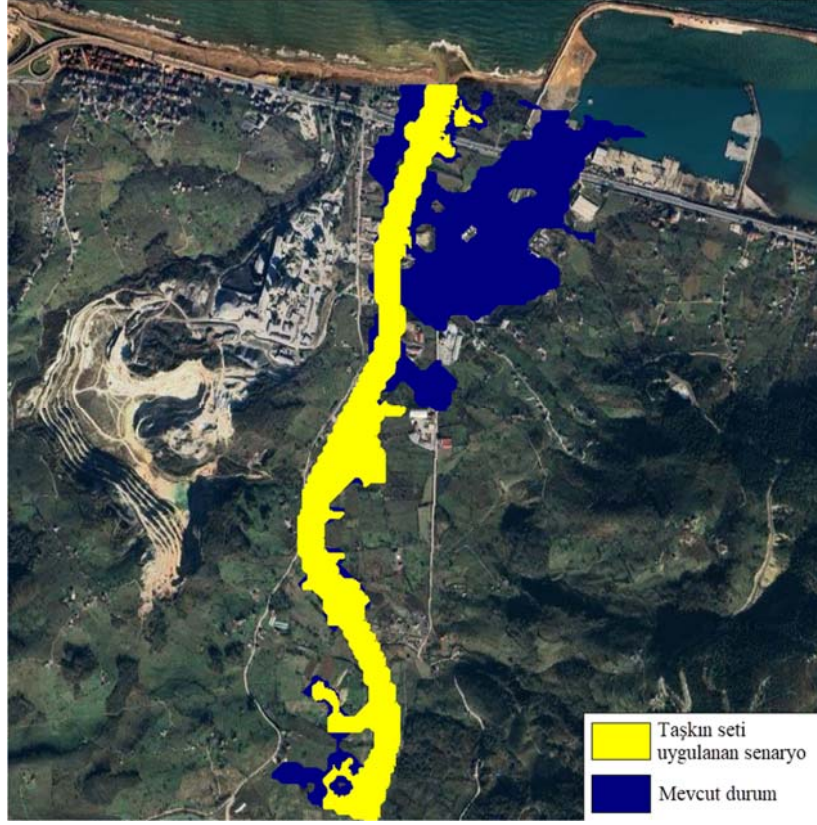
Bu çalışma, Ünye, Ordu'da meydana gelen taşkın afetlerinin hidrolojik-hidrolik modelleme teknikleri kullanılarak analiz edilmesini amaçlamaktadır. HEC-HMS ve HEC-RAS modelleri aracılığıyla, farklı tekerrür periyotlarına sahip taşkın senaryoları incelenmiş ve taşkın yayılım alanları ile taşkın tehlike haritaları hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlar, taşkın yönetimi ve zarar azaltma stratejileri açısından önemli bulgular sunmaktadır.

Hidrolojik modelde 2016 ve 2018 yıllarına ait yağış-akış değerleri kullanılarak model kalibrasyonu ve doğrulaması yapılmıştır. Kalibrasyonda NS metriği 0,78 iken validasyonda bu değer 0,57 olarak elde edilmiştir. Genellikle, NS değerinin 0,50'den büyük olması kabul edilebilir model performansına işaret eder [33]. Validasyon başarısının kalibrasyona göre daha düşük olmasının nedeni 2016 ve 2018 yıllarına ait yağış olayları arasındaki farklılıklardan kaynaklanabilir. 2016'daki sağanak yağış sırasında yağışın şiddeti, süresi ve mekansal dağılımı modele iyi uyarken, 2018'deki sağanak yağışın daha kısa sürede, daha yoğun veya farklı bir alana düşmesi hidrolojik modelin performansını olumsuz etkilemiş olabilir. Toprak nem durumu, önceki yağış koşulları ve akış süreci gibi faktörler modelin 2018'deki olaya doğru tepki vermesini zorlaştırmış olabilir. Ayrıca, veri kalitesindeki farklılıklar da bu durumu etkilemiş olabilir.



Şekil 10. a) Dere kesitinin konumu, önerilen taşkın setinin uzunlukları ve yerleştirildiği konumları; b) mevcut durumdaki dere kesiti ve su yüzü profili; c) farklı tekerrür periyotlarına sahip taşkınlar için taşkın seti uygulanmış ve dere yatağı genişletilmiş dere kesiti ve su yüzü profili

(a) The location of the stream cross-section, the lengths of the proposed flood wall, and the positions where they are placed; b) The stream cross-section and water surface profile in the current situation; c) The stream cross-section and water surface profile with the flood wall applied and the stream bed widened for various flood return periods)



Şekil 11. 500 yıllık taşkın mevcut durum ve taşkın seti eklenerek önlem alınan durum için elde edilen taşkın yayılım alanları (Flood inundation areas of the 500-yr flood for current situation and with flood dams added)

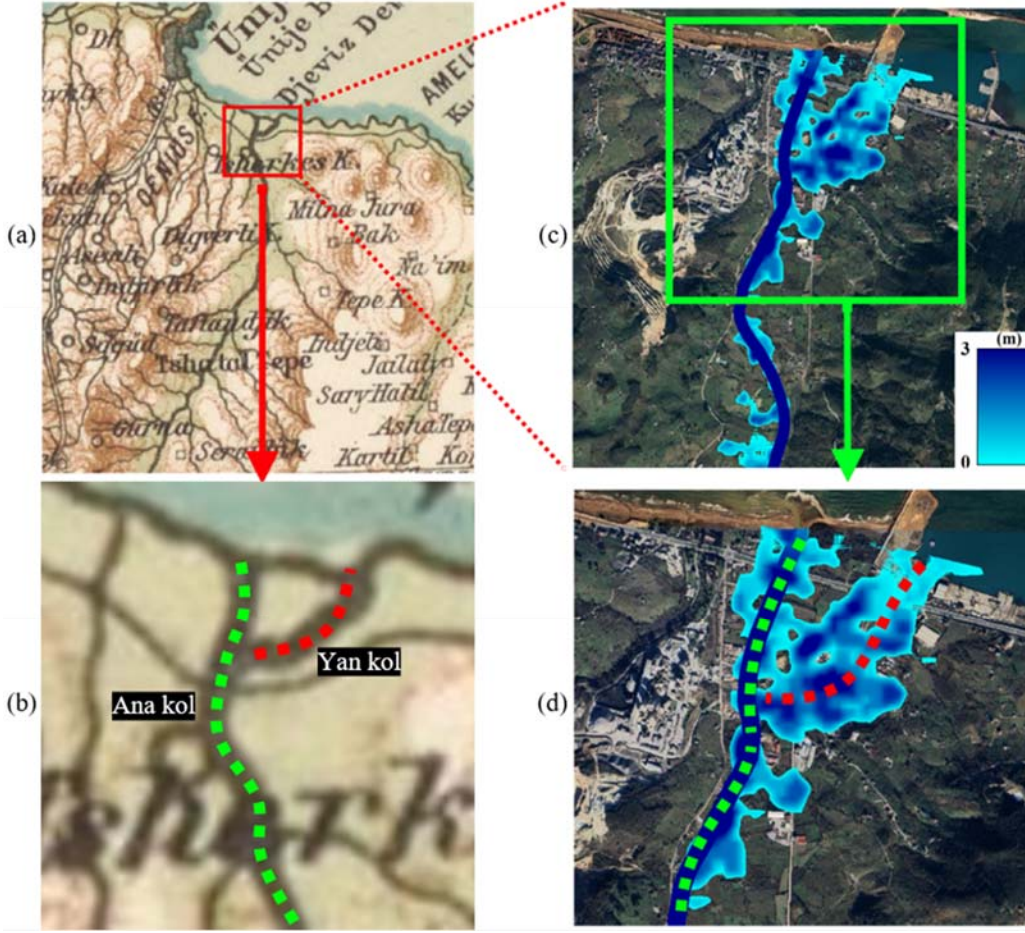
Hidrolik modelleme parametresi Manning " n " değerleri literatürde önerilen aralıklar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Nehir yatağı ve taşkın yatağı için sahayı temsil edecek en uygun değerler sırasıyla 0,035 ve 0,050 olarak alınmıştır. Ancak, HEC-RAS ile taşkın modeli oluşturulurken Manning " n " değerlerinin literatürde önerilen aralıklarda seçilmesi parametre belirsizliği sebebiyle modelin güvenilirliğini sınırlayabilir. Modelin güvenilirliği, kullanılan Manning " n " değerlerinin gerçek arazi koşullarını ne kadar iyi temsil ettiğine bağlıdır. Bu çalışma kapsamında, hidrolik modelde kullanılan Manning " n " katsayıları ile hesaplanan taşkın su derinlikleri, sahada taşkın esnasında çekilen fotoğraflardaki taşkın su izleri ile karşılaştırılmıştır. Hidrolik modelin performansının başarısı bu karşılaştırma ile değerlendirilmiştir.

Modelleme sonuçları, bölgedeki taşkın riskinin yüksek olduğunu ve bu riskin, özellikle şiddetli yağış olaylarıyla birleştiğinde, ciddi zararlar doğurabileceğini göstermektedir. 500 yıllık tekerrür periyoduna sahip taşkın senaryosu, su yayılım alanının 8,56 km²'ye ulaştığını ve bu durumun, yerleşim alanları üzerinde büyük bir tehdit oluşturduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgular, literatürdeki benzer çalışmalarla tutarlıdır. Örneğin, Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yapılan bir incelemede, bölgenin taşkın afeti açısından riskli durumda olduğu, bölgenin topografik yapısı ve meteorolojik özellikleri nedeniyle taşkın olaylarının sıkça yaşandığı bir coğrafyada yer aldığı bildirilmiştir [34]. Benzer şekilde, Doğu Karadeniz'de yapılan bir başka çalışmada, taşkın yayılım alanlarının büyüklüğü ve taşkın derinliğinin özellikle kırsal alanlardaki tarım arazileri üzerinde ciddi tahribata neden olabileceği belirtilmiştir [35]. Bu sonuçlar, mevcut çalışmada ortaya konulan hidrolojik-hidrolik modellemelerin ve taşkın analizlerinin doğruluğunu desteklemektedir. Ayrıca, Cevizdere Havzası'nda mevcut olan taşkın riskinin, bölgenin topografik ve

hidrolojik özelliklerinden kaynaklandığını göstermektedir. Şiddetli yağışlarla beslenen bu tür dik eğimli havzalar, genellikle ani taşkın riskine sahip olup, bu durum literatürde de geniş çapta yer almaktadır. Elde edilen sonuçlar, Cevizdere gibi şiddetli orografik yağışlara maruz kalan ve dik eğimli topografyası nedeniyle taşkın tehlikesi yüksek olan bir bölgede, taşkın önleme çalışmalarının geliştirilmesini önemli kılmaktadır. Bu önlemler yapısal veya yapısal olmayan önlemler olabilir. Bunlar arasında su yönetimi planlarının titizlikle oluşturulması, suyun kontrolsüzce yayılmasını engellemek amacıyla su setleri veya bentlerin kurulması, çevresel etkilerinin değerlendirilmesi bulunmaktadır. Bu tedbirler, su kaynaklarını korumak ve taşkın riskini en aza indirmek amacıyla etkili bir şekilde hayata geçirilmelidir.

Mevcut çalışmada, yapısal bir çözüm önerisi geliştirilip sonuçlar değerlendirilmiştir. Dere yatağı genişliğinin 82,5 metreden 115 metreye çıkartılmasının ve 2,75 metre yüksekliğindeki taşkın setlerinin 500 yıllık taşkındaki su yayılımını önlediği görülmüştür. Önerilen taşkın seti yerine sel kapanı [36] veya tersip bendi [37] gibi farklı taşkın koruma yapıları da bölgenin topografik durumuna bağlı olarak uygulanabilir. Ek olarak, taşkın karşı alınacak yapısal önlem önerilerinin çevresel etkileri olabileceği için doğa tabanlı çözümler daha faydalı sonuçlar verebilir [38,39]. Aynı zamanda, bölge halkının bu önlemlere aktif katılımı ve farkındalığının artırılması da kritik bir öneme sahiptir. Taşkın yönetimi stratejilerinin başarısı, yerel halkın katılımı ve farkındalığı ile doğrudan ilişkilidir. Sadece fiziksel altyapı önlemlerinin değil, aynı zamanda toplumsal dayanıklılığın da güçlendirilmesi afetler ile mücadelede büyük öneme sahiptir.

Ayrıca, Ünye Cevizdere Havzası'nın mansabında meydana gelen taşkın yayılımı ve taşkın nedenini araştırılmıştır. Bu kapsamda,



Şekil 12. a ve b) 1915 yılına ait Ünye haritası [40], c ve d) bölgenin 2023 yılı durumunun görüntüsü [41] (a and b) Ünye map from 1915 [40], c and d) the image of the region's situation in 2023 [41]

Cevzidere'ye ait dere ağının gösterildiği 1915 yılına ait harita (Şekil 12-a ve b) ve derenin mevcut durumunu gösteren fotoğraf (Şekil 10-a) incelenmiştir. Buna göre, 1915 yılına ait tarihi bir haritada [40] Cevzidere'nin mansap kısmındaki Karadeniz'e dökülen kolunun 2023 yılına ait güncel uydu görüntüsünde (Şekil 10-a) [41] yer almadığı görülmüştür. Taşkın yayılım biçimi incelendiğinde ise Şekil 12-c ve d'de taşkın yayılım alanının eski suyunu takip edecek şekilde davrandığı görülmektedir. Kuruyan dere yatağının yerleşime açılması ve yerleşim için elverişli olmayan dere yatağının doldurulup derenin iki kol yerine tek kol üzerinden akışa zorlanması söz konusudur. Bu durumun, 8 Ağustos 2018 tarihli taşkında 500 kişiye yakın kişinin etkilenmesinde ve taşkının afet boyutundaki artışta etkili olduğu düşünülmektedir. Dahası, gelecek yıllardaki küresel iklim değişikliği koşulları ile artması beklenen aşırı yağışların etkisiyle taşkınların bu bölgede daha ciddi sorunlara yol açabileceği düşünülmektedir [42]. Taşkın modelleme çalışmalarında ve çözüm önerilerinin geliştirilmesinde, dere yataklarının geçmiş yıllardaki güzergahının ve bölgeye ait eski yerleşim durumunun taşkın analizinde büyük öneme sahip olduğu görülmüştür. Özellikle dere ıslah çalışmalarında ve köprü ve menfez gibi sanat yapılarının tasarlanmasında bölgeye ait eski haritalar incelenmelidir.

4. Sonuçlar (Conclusions)

Bu çalışmada, Ordu Ünye'deki Cevzidere taşkın afetleri hidrolojik ve hidrolik modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Sonuçlar, bölgede yaşanabilecek farklı tekerrür periyoduna sahip yağışların meydana

getireceği taşkın yayılımını ve tehlike derecelendirmesini ortaya koymaktadır. Hidrolojik ve hidrolik modelleme kabiliyetine sahip yazılımlar bu çalışmanın sonuçlarının elde edilmesinde etkili araçlar olmuştur. Modelleme yöntemi sayesinde taşkınların pik debileri, su derinliği, yayılım alanları ve tehlike haritaları elde edilmiştir. Çalışmanın sonuçları, bölgedeki farklı yağış senaryolarının taşkın yayılımını ve tehlike derecelerini göstermektedir. Yapılan analizlerde, gelecek yıllarda meydana gelebilecek 5 yıl gibi düşük tekerrür periyotlarına sahip yağışların Cevzidere'de taşkın felaketine sebep olabileceği sonucuna varılmıştır. Taşkın alanlarında bulunan yerleşim alanları dikkate alındığında, yaşanabilecek olası taşkınların önlem alınmadığı takdirde daha ciddi oranda can ve mal kayıplarına yol açabileceği düşünülmektedir. İncelenen olayda 8 Ağustos 2018 taşkında su yayılımı 3,51 km² iken simülasyonlar sonucu elde edilen 500 yıllık taşkında bu değer 8,56 km² olarak hesaplanmıştır. Bu durum, olası 500 yıllık taşkının meydana getirebileceği afet boyutunun tarihi taşkınlardan çok daha büyük olabileceğini göstermektedir.

İklim değişikliği sebebiyle taşkınların sıklığı ve şiddeti gün geçtikçe artmaktadır. Bu bağlamda, özellikle Ünye Cevzidere Havzası gibi yoğun yağış alan bölgelerde, taşkın yönetimi konuları önemli bir tartışma odağı haline gelmiştir. Dere yataklarının değiştirilmesi, taşkın yataklarının kamulaştırılması ve imara açılması, tarım alanlarının genişlemesi gibi faktörler suyun normal akış düzenini bozabilmektedir. Bu değişiklikler, taşkın tehlikesini artırarak bölge halkı üzerinde olumsuz etkiler doğurabilmektedir. Bu nedenle,

özellikle Ünye Cevizdere Havzası gibi yoğun yağış alan bölgelerde, dere yatağının değiştirilmesiyle ilgili alınacak tedbirler büyük bir önem taşımaktadır.

Bu çalışmada kullanılan hidrolojik ve hidrolik modeller, taşkın yayılımını ve su derinliklerini belirlemede önemli araçlar olmuştur. Ancak, modelleme çalışmalarının bazı sınırlamaları bulunmaktadır. Öncelikle, hidrolojik model girdileri olarak kullanılan arazi ve toprak özellikleri belirli varsayımlar altında değerlendirilip kalibre edilmiştir. Hidrolojik modellemede kullanılan sızma parametrelerinin belirsizliği model sonuçlarını etkileyebilir. Ayrıca, hidrolik modelleme sürecinde yatak pürüzlülüğü ve yapıların hidrolik etkileri gibi faktörler belirli kabuller çerçevesinde ele alınmıştır. Bu durum, hidrolik modelden elde edilen taşkın yayılım alanı, derinliği ve hızında gerçek saha koşullarından farklı sonuçların ortaya çıkmasına neden olabilir.

Önerilen yapısal çözüm, bölgedeki taşkın riskini azaltmayı amaçlasa da sosyal, ekonomik ve çevresel etkileri olabilir. Mevcut yerleşim alanlarının taşınması ıslah edilen bölgedeki yerel halkın sosyal anlamda etkilenmesine ve istiklak bedelleri hususunda belediyenin ekonomik anlamda etkilenmesine neden olabilir. Ayrıca, yükseltilen taşkın seti estetik açıdan görsel bütünlüğü etkileyebilir. Dolayısıyla, taşkına karşı çözüm önerileri değerlendirildiğinde bu hususlar dikkate alınmalıdır.

Kentleşmenin artması ile arazi kullanımı sınıflarındaki değişiklikler dere yataklarına müdahaleleri beraberinde getirmektedir. Taşkın yataklarında ve dere yataklarına yakın kısımlarda yapılaşmaların olması bu bölgelerin taşkına karşı maruziyetini artırmaktadır. Cevizdere vakası, bu durum için örnek gösterilebilecek karakteristik bir örnektir. Kuruyan dere yatağının yapılaşmış olması ve doğal halinde çatalı olan su yolunun tek bir hat ile birleştirilmesine zorlanması bölgedeki taşkın olumsuz etkilerini artırmıştır. Gerçekleştirilen simülasyonlar sonucu farklı tekrerr periyotlarındaki yağışların daha yüksek akışlar meydana getirebileceği sonucu göz önünde bulundurulduğunda Cevizdere'de ivedi bir şekilde taşkına karşı tedbirler alınması elzemdir. Bu çalışma, taşkına karşı alınabilecek yapısal bir tedbir önerisini ve bu önerinin sonuçlarını sunmaktadır. Ayrıca, taşkın modelleme çalışmalarında ve çözüm önerilerinin geliştirilmesinde, dere yataklarının geçmiş yıllara ait dere güzergahının ve bölgeye ait eski yerleşim durumunun dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır.

Teşekkür (Acknowledgement)

Bu çalışmada kullanılan yağış ve akış verilerini sağlayan Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ve Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'ne teşekkür ederiz.

Kaynaklar (References)

1. Naughton O., McCormack T., Gill L., Johnston, P., Groundwater flood hazards and mechanisms in lowland karst terrains. Special Publication – Geological Society of London/Geological Society, London, Special Publications, 466 (1), 397–41, 2017.
2. Fischer S., Schumann A., Spatio-temporal consideration of the impact of flood event types on flood statistic, Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 34 (9), 1331–1351, 2019.
3. Şengül S., İspirli M.N., Predicting snowmelt runoff at the source of the mountainous Euphrates River basin in Turkey for water supply and flood control issues using HEC–HMS modeling, Water, 14 (3), 284, 2022.
4. Tollan A., Land-use change and floods: what do we need most, research or management?, Water Science & Technology, 45 (8), 183–190, 2002.
5. Tabari H. (2020). Climate change impact on flood and extreme precipitation increases with water availability, Scientific Reports, 10 (1), 13768, 2020.
6. Kundzewicz Z.W., Quo vadis, hydrology? Hydrological Sciences Journal, 63 (8), 1118–1132, 2018.
7. Stefanidis S., Stathis, D., Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP), Natural Hazards, 68 (2), 569–585, 2013.
8. Moon, H., Kim, J., Chen, J., Yoon, S., & Moon, Y., Mitigating urban flood hazards: hybrid Strategy of structural measures, International Journal of Disaster Risk Reduction, 108, 104542, 2024.
9. Kelesoglu M.K., Temur R., Gülbaz S., Apaydin N.M., Kazezyılmaz–Alhan C. M., Bozbeý I., Site assessment and evaluation of the structural damages after the flood disaster in the Western Black Sea Basin on August 11, 2021, Natural Hazards, 116 (1), 587–618, 2022.
10. Koçyiğit M.B., Akay H., Estimation of potential flash flood risk in a basin using morphometric parameters: A case study of Akçay Basin, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 33 (4), 1321-1332, 2018.
11. İhlas Haber Ajansı, Doğu Karadeniz'in 90 yıllık afet bilançosu (in Turkish). <https://m.haberturk.com/trabzon-haberleri/69920824-dogukaradenizin-90-yillik-afet-bilancosu-644-oludogu-karadenizde-90-yilda-644-kisi-sel>. Yayın tarihi Haziran 20, 2019. Erişim tarihi Temmuz 25, 2024.
12. Ocak F., Bahadır M., Creating the Sample Flood Risk Model and Flood Risk Analysis of Rivers in Ünye, The Journal of Academic Social Science Studies, 13 (80), 499–524, 2020.
13. Dutta D., Herath S., Musiaki K., A mathematical model for flood loss estimation, Journal of Hydrology, 277 (1-2), 24-49, 2003.
14. Peker İ.B., Gülbaz S., Demir V., Orhan O., Beden N., Integration of HEC–RAS and HEC–HMS with GIS in Flood Modeling and Flood Hazard Mapping, Sustainability, 16 (3), 1226, 2024.
15. Knebl M.R., Yang Z., Hutchison K., Maidment D.R., Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HEC–HMS/RAS: a case study for the San Antonio River Basin Summer 2002 storm event, Journal of Environmental Management, 75 (4), 325–336, 2005.
16. Grimaldi S., Schumann G.J., Shokri A., Walker J.P., Pauwels V.R.N., Challenges, opportunities, and pitfalls for global coupled Hydrologic–Hydraulic modeling of floods, Water Resources Research, 55 (7), 5277–5300, 2019.
17. Erturk A., Gurel M., Baloch M.A., Dikerler T., Varol E., Akbulut N., Tanik A., Application of Watershed Modeling System (WMS) for integrated management of a watershed in Turkey, Journal of Environmental Science and Health. Part a, Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering, 41 (9), 2045–2056, 2006.
18. Cosgun T., Peker İ.B., Sayin B., Gülbaz S., Durgut R., Assessment of flood event based on numerical models and legal statute: A case of Eşkinöz Stream in Istanbul, Turkey, Arabian Journal of Geosciences, 15 (7), 585, 2022.
19. Al–Hussein A.A.M., Khan S., Ncibi K., Hamdi N., Hamed Y., Flood analysis using HEC–RAS and HEC–HMS: A case study of Khazir River (Middle East–Northern Iraq), Water, 14 (22), 3779, 2022.
20. Thakur B., Parajuli R., Kalra A., Ahmad S., Gupta R., Coupling HEC–RAS and HEC–HMS in precipitation runoff modelling and evaluating flood plain inundation map, World Environmental and Water Resources Congress, Sacramento, California, 240–251, 21–25 Mayıs, 2017.
21. Devi N.N., Sridharan B., Kuiry S.N., Impact of urban sprawl on future flooding in Chennai city, India, Journal of Hydrology, 574, 486–496, 2019.
22. Abdelal Q., Al–Rawabdeh A., Qudah K.A., Hamarneh C., Abu–Jaber N., Hydrological assessment and management implications for the ancient Nabataean flood control system in Petra, Jordan, Journal of Hydrology, 601, 126583, 2021.
23. Gülbaz S., Developing Flood Extent Map by using Numerical Models and Determination of Areas under Flood Risk: Türkös Stream Case, Journal of Natural Hazards and Environment, 5 (2), 335–349, 2019.
24. Brunner G.W., Warner J.C., Wolfe B.C., Piper S.S., Marston P., HEC River Analysis System (HEC–RAS) (2016) HEC–RAS: river analysis system. Hydraulic Reference Manual Version 5.0 user's manual. Report number CPD–70. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA, 2016.
25. Gülbaz S., Kazezyılmaz–Alhan C.M., Calibrated hydrodynamic model for Sazlıdere Watershed in Istanbul and investigation of urbanization effects, Journal of Hydrologic Engineering, 18 (1), 75–8, 2013.

26. Turkish State Meteorological Service (MGM). Official Statistics of Seasonal Normals of Ordu Province, <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?m=ORDU>. Erişim tarihi Temmuz 25, 2024.
27. Beden N., Flood analysis of the Cevizdere basin with numerical modeling systems and the assessment of the flood damages, PhD Thesis, Ondokuz Mayıs University, Institute of Science, Samsun, Türkiye, 2019.
28. Aquaveo. WMS – The All-in-one Watershed Solution. <https://www.aquaveo.com/software/wms-watershed-modeling-system-introduction>. Erişim tarihi Temmuz 25, 2024.
29. Scharffenberg W.A., Fleming J.M., Hydrologic modeling system HEC-HMS user's manual version 3.5. Report no: CPD-74A, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA., USA. SCS (1975) Urban hydrology for small watersheds, tech. Rel. No. 55, U.S. Dept. of Agriculture, Washington D.C, 2010.
30. Green W.H., Ampt G.A., Studies in Soil Physics, Part 1, the Flow of Air and Water through Soils, The Journal of Agriculture Science, 4, 11–24. 1911.
31. Chow V.T., Open Channel Hydraulics, McGraw-Hill, The Blackburn Press, New York, 1959.
32. Smith G.P., Davey E.K., Cox R.J., Flood Hazard, WRL Technical Report 2014/07, Water Research Laboratory, Australia, 2014.
33. Moriasi N.D.N., Arnold N.J.G., Van Liew N.M.W., Bingner N.R.L., Harmel N.R.D., Veith N.T.L., Model Evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. Transactions of the ASABE, 50 (3), 885–900, 2007.
34. Turgut Ü., A Comparative Study on the Investigation of Synoptic Models Causing Flood Disaster in the Eastern Black Sea Region in Terms of Forecasting Technique (in Turkish), TMMOB Disaster Symposium, Ankara-Türkiye, 133-141, 5-7 December, 2007.
35. Yüksek Ö., Babacan H. T., Yüksek O., Flood Causes, Damages and Flood Management Studies in Eastern Black Sea Basin, Turkish Journal of Hydraulic, 6 (2), 36-46, 2022.
36. Piton, G., Recking, A., Design of Sediment Traps with Open Check Dams. I: Hydraulic and Deposition Processes. Journal of Hydraulic Engineering, 142 (2), 2015.
37. Yazdi J., Moghaddam, M.S., Saghafian B. Optimal design of check dams in mountainous watersheds for flood mitigation. Water Resources Management, 32 (14), 4793–4811, 2018.
38. Turkelboom F., Demeyer R., Vranken L., De Becker L., Raymaekers F., De Smet L., How does a nature-based solution for flood control compare to a technical solution? Case study evidence from Belgium. Ambio, 50, 1431–1445, 2021.
39. Ferreira S.C., Mourato S., Kasanin-Grubin, M., Ferreira A.J., Destouni G., Kalantari Z., Effectiveness of Nature-Based solutions in mitigating flood hazard in a Mediterranean Peri-Urban catchment. Water, 12 (10), 2893, 2020.
40. Kiepert R., Karte von Kleinasien, Map Unije/Unie (1915), 1908. <https://www.loc.gov/item/2012586598/>. Erişim tarihi Temmuz 25, 2024.
41. Google Earth, Ünye, Türkiye. Airbus 2024, Maxar Technologies 2024, 41°05'47.50" N, 37°19'56.48" E, 7 Kasım 2023. <http://www.earth.google.com>. Erişim tarihi Temmuz 25, 2024.
42. Nacar S., Şan M., Kankal M., Okkan U., Trends and amount changes of temperature and precipitation under future projections in high-low groups and intra-period for the Eastern Black Sea, the Wettest Basin in Türkiye, Natural Hazards, <https://doi.org/10.1007/s11069-024-06588-z>, 2024 (Early Access).