

FLO-2D ve HEC-RAS Yazılımları ile Ardanuç (Artvin) İlçesindeki Pona Deresi ve Örtülü Deresi'nin Taşkın Yayılım Haritalarının Karşılaştırmalı Üretilmesi

Comparative Production of Flood Inundation Maps of Pona Creek and Örtülü Creek in Ardanuç (Artvin) District with FLO-2D and HEC-RAS Software

Emine Eda Çanta¹, Sebahat Temuçin Kılıçer^{2*}, Halil Akıncı²

¹ Devlet Su İşleri, 26. Bölge Müdürlüğü, Hidroelektrik Enerji Şube Baş Mühendisliği, 08100, Artvin/Türkiye.

² Artvin Çoruh Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 08100, Artvin/Türkiye.

ARAŞTIRMA MAKALESİ

*Sorumlu yazar:

Sebahat Temuçin Kılıçer
stemucin@artvin.edu.tr

doi: 10.48123/rsgis.1058378

Yayın süreci

Geliş tarihi: 16.01.2022
Kabul tarihi: 09.03.2022
Basım tarihi: 14.03.2022

Özet

İklim değişikliğinin etkisiyle dünya genelinde meteorolojik karakterli doğal afetlerin sayısı her geçen yıl artmaktadır. Ülkemizde de son yıllarda şiddetli yağışlar nedeniyle taşkın afetlerinde büyük bir artış olduğu gözlenmektedir. Çoruh Havzası, gerek topoğrafik, beşeri ve hidrometeorolojik özellikleri gerekse havza üzerinde yer alan derelerde sıklıkla taşkınların yaşanması nedeniyle taşkın afeti yönünden önemli havzalardan biri sayılmaktadır. Bu sebeple taşkın afetlerine dayalı muhtemel can ve mal kayıplarının önlenmesi ve zararların minimuma indirilebilmesi için havzadaki derelerin hidrolojik açıdan değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada bir hidrolik model kullanılarak taşkın yayılım haritalarının üretilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda çalışmada Çoruh havzası üzerinde yer alan, Artvin ili Ardanuç ilçesinde bulunan, Pona Deresi ve Örtülü Deresi çalışma alanı olarak seçilmiştir. Çalışmada arazi modelleme işlemleri için ArcGIS yazılımı, sonuçlara ait konumsal sorgulamalar ve haritalama işlemleri için ArcGIS yazılımı, hidrolik analizler için ise FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda ilgili derelere ait hidrolik modelleme gerçekleştirilmiş, maksimum su derinlikleri bilgilerine ulaşılmış, taşkın yayılım alanları belirlenmiş ve taşkın yayılım haritaları üretilmiştir.

Anahtar kelimeler: Taşkın, Taşkın yayılım haritası, FLO-2D, HEC-RAS, Ardanuç, Artvin

Abstract

With the effect of climate change, the number of meteorological disasters is increasing year after year around the world. In our country, it has been observed that there has been a great increase in flood disasters due to heavy rains in recent years. Çoruh Basin is considered as one of the important basins in terms of either its topographic, human and hydrometeorological features or flood disasters based on frequently flooding in the streams of the basin. For this reason, it is necessary to evaluate the streams in the basin hydrologically in order to prevent possible loss of life and property and to minimize the damages due to flood disasters. In this study, it is aimed to produce flood inundation maps using a hydraulic model. For this purpose, Pona and Örtülü Creeks located in the Çoruh basin and within the borders of Ardanuç district of Artvin province, were selected as the study area. Several software were used in the study, ArcGIS for terrain modeling, spatial analysis and mapping, FLO-2D and HEC-RAS for hydraulic analysis. As the results of the study, hydraulic modeling of the relevant creeks was performed, maximum water depths were obtained, flood inundation areas were determined and flood inundation maps were produced.

Keywords: Flood, Flood inundation map, FLO-2D, HEC-RAS, Ardanuç, Artvin

1. Giriş

Dünyada ve Türkiye’de azımsanamayacak düzeyde afetler yaşanmaktadır. Afetlerin çeşitliliği, yaşanan ülke ve bölgenin coğrafyası, iklim koşulları, jeolojik ve topoğrafik özellikleri gibi koşullara bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Türkiye’de ise deprem, heyelan, orman yangını, sel ve taşkın gibi birçok doğal afet yaşanmaktadır. Literatürde Türkiye’de bölgesel veya ulusal ölçekte yaşanan afetlerin çeşitliliğini vurgulayan birçok çalışma bulunmaktadır (Karakhanian vd. 2004; Özşahin, 2013; Uslu vd. 2018; Ekinci vd. 2020).

Türkiye’de geçmişte yaşanan afetler nedeniyle önemli boyutlarda mal ve can kayıplarının yaşandığı görülmektedir (Uslu vd. 2018; Akıncı vd. 2019). Bu nedenle afetler ülkemiz gündeminde önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde sık sık gözlemlenen ve neredeyse her yıl önemli düzeyde can ve mal kayıplarının yaşanmasına neden olan doğal afetlerden biri de sel ve taşkın afetidir (Bacanlı, 2011; Acar vd. 2018; Uslu vd. 2018; Akıncı vd. 2019). Ülkemizde 2020 yılında yaşanan 905 doğa kaynaklı afetten 177 tanesinin sel ve taşkın kaynaklı olduğu görülmektedir (AFAD, 2021a). 2021 yılı içinde de Karadeniz Bölgesi’nde Kastamonu, Sinop ve Artvin illerinde ciddi kayıplara yol açan sel ve taşkın olayları yaşanmıştır. Yaşanan afetler nedeniyle Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD); afet farkındalığının artırılması, afet risklerinin azaltılması ve afetlerin önlenmesi konularında farkındalık yaratmak amacıyla 2021 yılını “Türkiye Afet Eğitim Yılı” ilan etmiştir (AFAD, 2021b).

Afetler, farklı kurum ve kuruluşların birlikte ve koordineli çalışmasını gerektiren olaylardır. Çünkü afetler, fiziki ve ekonomik kayıplara neden olduğu gibi hayatı durdurarak kesintiye uğratan olaylardır (Şahin ve Şipahioğlu, 2002; Uslu vd. 2018). Türkiye’de taşkın afetleri tarım arazilerinin hatta son yıllarda yerleşim alanlarının sular altında kalmasına sebep olmaktadır. Meteorolojik karakterli doğal afetlerden biri olarak değerlendirilen taşkın afetlerinin sayısı, sıklığı ve zararları küresel ısınma ve iklim değişikliğinin de etkisi ile artmaktadır. Ancak taşkın afetleri sadece meteorolojik kaynaklı olarak ifade edilmemelidir. Ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerdeki sanayileşme ile oluşan kentleşme çalışmaları, havzalardaki hidrolojik dengeyi değiştirmektedir. Sanayileşme nedeniyle akarsu havzaları etrafında yeni yerleşim yerleri, yeni ulaşım ağları ve yeni tesislerin kurulması havza yapısını bozmaktadır. Böylece havzaya ait arazi yapıları değişerek tarım ve toprak yönetimi elverişsiz hale gelmekte, orman ya da mera gibi alanlar tahrip olmaktadır. Havza alanında yaşanan bu tür değişikliklerin bütünü ise havzada yaşanan ya da yaşanacak taşkın afetlerinin büyüklüğünü ve sıklığını etkilemektedir. Bu nedenlerden dolayı Türkiye’de yaşanan afetler arasında depremlerden sonra gelen en önemli afetin sel ve taşkınlar olduğu belirtilmektedir (Beden vd. 2014).

Hem afetin yaşandığı bölgede maddi ve manevi kayıplara sebep olması, hem de bölgenin gelişim ve kalkınmasını olumsuz yönde etkileyen bir afet olması nedeniyle taşkın yönetiminin önemi her geçen gün artmaktadır (Ertürk ve Kaya, 2019). Taşkın yönetimi; taşkını kontrol edebilmek adına taşkını tetikleyen sebepleri bulmak ve taşkın etkilerini en aza indirmek amacıyla yapılan tüm çalışmalar olarak tanımlanmaktadır (Sunkar ve Tonbul, 2010; Öztürk vd. 2017). Bu nedenle taşkın riski taşıyan havza alanlarında taşkın afetine yönelik analizler yapılmalı ve taşkın anında oluşması muhtemel su derinlikleri belirlenmelidir. Böylece taşkın afeti yaşanmadan önce gerekli önlemler alınabilecektir (Saraç vd. 2010; Gülbaz, 2019). Kınacı vd. (2017), taşkın afetleri yaşanmadan önce havzaya ait analizler ile havzaya ait hidrolojik modellerin yapılmasının ve taşkın yayılım haritalarının üretilmesinin sağlayacağı faydaları;

- “Risk değerlendirmesi ya da risk yönetimi için önem taşır,
- Dere boyunca veya belli bir noktada su seviyesinin yükselmesi durumunda erken uyarı yapılarak gerekli önlemlerin alınmasına zemin hazırlar,
- Taşkın kurtarma operasyonlarında afetten etkilenenlerin daha yüksek yerlere taşınması konusunda fayda sağlar,
- Yeni yerleşim yerlerinin planlanmasında ve oluşturulmasında fayda sağlar,
- Planlama, sulama sistemi ve su yönetimi konusunda fayda sağlar” şeklinde sıralamıştır.

Taşkın haritalarının oluşturulması havzayı topoğrafik, hidrolojik ve meteorolojik açıdan konum ve zamana bağlı olarak detaylıca analiz etmeyi gerektirir. Taşkın alanı ve taşkın yatağı belirleme çalışmalarında sayısal modellerin kullanılmaya başlanması taşkın tahminlerinin daha kısa sürede ve daha doğru bir şekilde yapılmasını ve taşkından etkilenecek alanların doğru bir şekilde belirlenmesini sağlamaktadır (Onuşluel Gül ve Gül, 2010; Demir ve Ülke, 2018).

Taşkın yönetim çalışmaları kapsamında taşkın haritalarının üretilmesi için çeşitli hidrolik modeller yapılmaktadır. Hidrolik modeller bir boyutlu ve iki boyutlu modeller olarak sınıflandırılmaktadır. Literatürde hidrolik modelleme yapabilen HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), MIKE ve FLO-2D gibi çeşitli yazılımlar bulunmaktadır. Bunlardan HEC-RAS ve MIKE yazılımları hem bir boyutlu hem de iki boyutlu taşkın modelleri üretebilmektedir. FLO-2D ise iki boyutlu taşkın modelleri üzerine çalışan bir yazılımdır. Bir boyutlu ve iki boyutlu modellerin birbirlerine göre üstünlükleri bulunmaktadır (Sönmez, 2013). Cook ve Merwade (2009) tarafından yapılan çalışmada, iki boyutlu modellerin havzanın topoğrafik ve geometrik özelliklerini de modele dahil etmesinden dolayı taşkın yayılım haritalarının üretilmesinde daha doğru sonuçlar verdiği belirtilmiştir (Sönmez, 2013).

Türkiye’de FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılarak taşkın yayılım haritaları üretilmesine yönelik birçok örnek çalışma bulunmaktadır. Örneğin Marim vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, Kocaeli Karamürsel Avcıdere ve İhsaniye Barajları ile İstanbul Osmangazi ve Sungurlu Barajları için bir ve iki boyutlu baraj yıkılma analizleri yapılmış ve ilgili alanlar için taşkın risk haritaları oluşturulmuştur. Elçi vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada Alibey ve Porsuk Barajları için barajın yıldığı varsayımı ile HEC-RAS ve FLO-2D yazılımları kullanarak iki boyutlu yayılım modellemesi gerçekleştirilmiştir. Demir ve Ülke (2018) tarafından yapılan çalışmada ise Samsun’da Mert Irmağı için FLO-2D yazılımı kullanılarak iki boyutlu taşkın modellemesi yapılmış ve çalışma alanının taşkın yayılım ve derinlik haritaları üretilmiştir. Taş vd. (2016) tarafından yapılan çalışmada, Akarçay Havzası’nın ekonomik olarak en gelişmiş bölgesi olan Afyon Alt Havzası için HEC-RAS yazılımı kullanılarak taşkın risk değerlendirmesi yapılmış ve taşkın yayılım haritaları üretilmiştir. Oğraş ve Önen (2019) tarafından yapılan çalışmada Dicle Nehri’nin Diyarbakır- Silvan karayolu ile tarihi On Gözlü Köprü arasındaki kesiminde HEC-RAS ile taşkın analizi yapılmıştır. Demir (2020) tarafından yapılan doktora tez çalışmasında ise FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılarak Samsun Mert Havzası’nda 50, 100, 500 ve 1000 yıllık taşkın debilerine ait su yayılım alanları, su derinlikleri, su hızları, taşkın tehlike ve risk seviye haritaları üretilmiştir.

DSİ 8. Bölge Müdürlüğü (Erzurum), DSİ 22. Bölge Müdürlüğü (Trabzon) ve DSİ 26. Bölge Müdürlüğü (Artvin)’nün sorumluluk sınırları içerisinde kalan Çoruh Havzası (DSİ, 2021) Türkiye’de taşkın afetlerinin sık yaşandığı havzalardan biridir. Havzada şiddetli mevsimsel yağışlarla birlikte yaşanan taşkın felaketleri çok sayıda can ve mal kaybına sebep olmaktadır. Havzada 2015 yılında yaşanan şiddetli yağış nedeniyle Artvin ilinin Arhavi, Hopa ve Borçka ilçelerinde taşkınlar ve heyelanlar meydana gelmiş ve ciddi ölçüde can ve mal kayıpları yaşanmıştır (Akıncı vd. 2019).

Bu çalışmada etrafında tarım alanları ile konut alanlarının bulunması ve literatürde daha önce yapılmış herhangi bir hidrolojik modelleme çalışması bulunmaması sebebiyle Çoruh Havzası içinde yer alan Artvin ili Ardanuç ilçesinde yer alan Pona Deresi ve Örtülü Deresi’ne ait taşkın yayılım haritaları üretilmiştir. İlgili derelere ait hidrolik modellemeler FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılarak üretilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Böylece taşkın afeti gerçekleşmeden önce gerekli önlemleri alabilmek adına taşkın yayılım haritaları kullanılarak taşkından etkilenebilecek alanlar ve yerleşim yerleri belirlenmiştir. Yapılan çalışmanın acil durum eylem planlarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. Materyal ve Yöntem

Bir alanın taşkın değerlendirmesinin yapılabilmesi için öncelikle ilgili alanın hidrolojik, meteorolojik, jeomorfolojik, topoğrafik ve arazi kullanımı açısından değerlendirilmesi gerekmektedir (Temiz vd. 2004). Bu çalışma da ilgili derelere ait taşkın yayılım haritalarının üretilebilmesi için öncelikle çalışma alanı topoğrafik olarak değerlendirilmiştir. Topoğrafik değerlendirmeler için önce ArcGIS 10.2 yazılımı kullanılarak ilgili dereleri kapsayan alanlara ait Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) üretilmiştir. Çalışma alanını hidrolik açıdan değerlendirmek için FLO-2D ve HEC-RAS yazılımları kullanılarak ilgili derelerde hidrolik analizler gerçekleştirilmiştir. Böylece hidrolik modeller üretilmiş, maksimum su derinlikleri bilgilerine ulaşılmış ve taşkın yayılım alanları belirlenmiştir. Çalışma sonucunda ise FLO-2D ve HEC-RAS çıktıları ArcGIS yazılımı kullanılarak coğrafi olarak anımlandırılmış ve taşkın yayılım haritaları üretilmiştir.

2.1 Çalışma Alanı

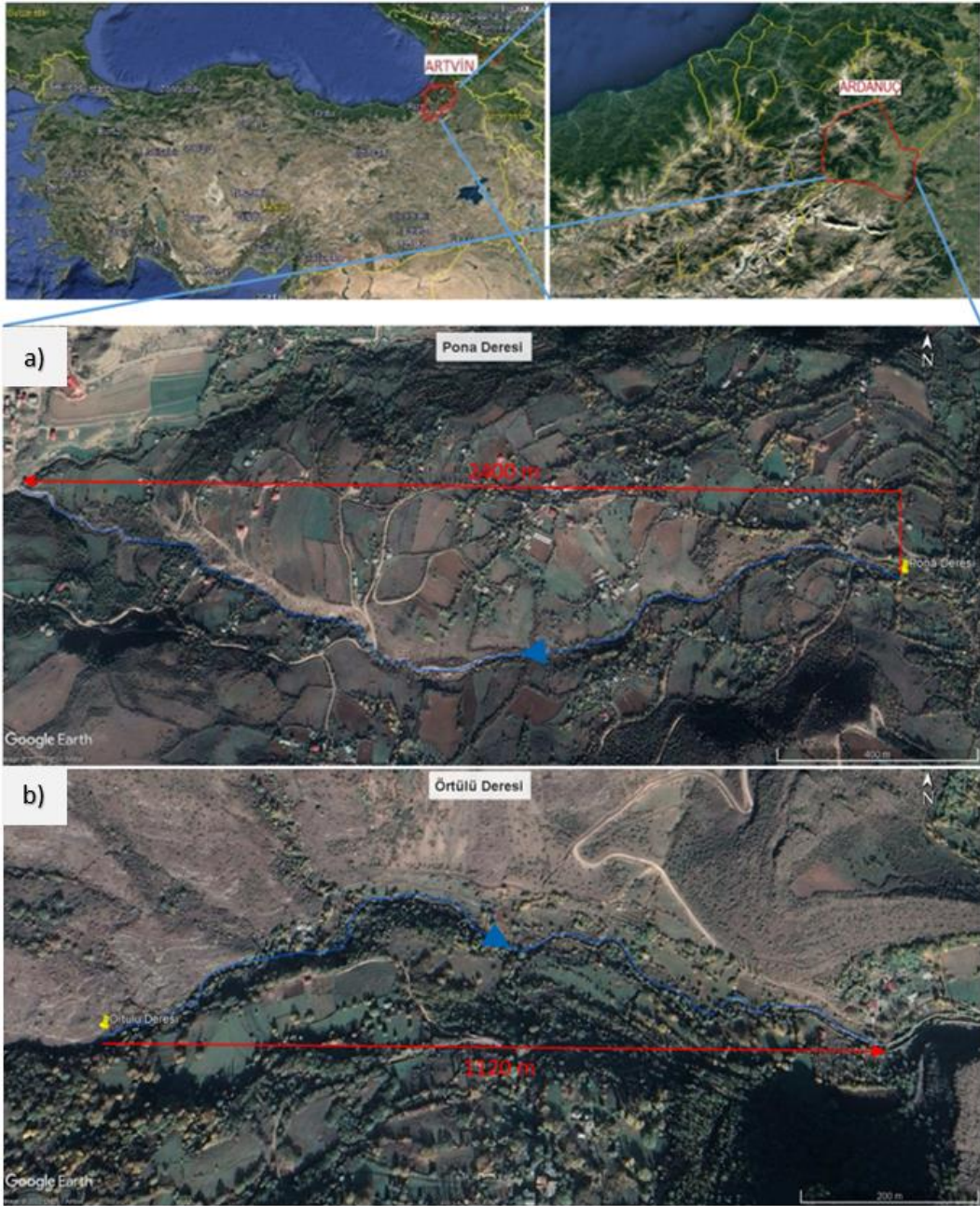
Çoruh Havzasında yer alan ve 9 ilçeden oluşan Artvin ili Doğu Karadeniz bölgesinde topoğrafik ve hidrolojik açıdan önemli şehirlerden birisidir. Artvin ilinin Ardanuç ilçesinde Çoruh Nehri’ni besleyen önemli dereler bulunmaktadır. Çalışma alanı Ardanuç ilçesi sınırlarında yer alan ve Çoruh Nehrine mansaplanan Pona Deresi ve Örtülü Deresi’ni kapsamaktadır.

Pona Deresi, Ardanuç ilçesinin kuzeyinde $41^{\circ} 7' 22.87''$ – $41^{\circ} 7' 35.88''$ enlemleri ile $42^{\circ} 4' 38.25''$ – $42^{\circ} 6' 8.32''$ boylamları arasında yer almaktadır. Hâkim bakının batı yönü olduğu Pona Deresi ortalama 644 m yüksekliğe ve ortalama %18 eğime sahiptir. Pona Deresi’ne ait 374.368 m^2 ’lik çalışma alanı arazi örtüsü açısından değerlendirildiğinde, alanın %73 gibi büyük bir bölümünün tarım arazisi olduğu görülmektedir (ESRI, 2022). DSİ 26. Bölge Müdürlüğü’nden temin edilen 2018 tarihli 1/1000 ölçekli hâlihazır haritada yer alan bina katmanına göre Pona Deresi çalışma alanı içerisinde 31 adet yapı bulunmaktadır.

Örtülü Deresi ise Ardanuç ilçesinin güneyinde $41^{\circ} 4' 5.38''$ – $41^{\circ} 4' 12.49''$ enlemleri ile $42^{\circ} 1' 9.63''$ – $42^{\circ} 1' 48.31''$ boylamları arasında yer almaktadır. Hâkim bakının güneydoğu yönü olduğu Örtülü Deresi ortalama 750 m yüksekliğe ve ortalama %12 eğime sahiptir. Örtülü Deresi’ne ait 124.420 m^2 ’lik çalışma alanının %53’ü çalılık, geri kalan %47’si ise orman ile kaplıdır (ESRI, 2022). Yine DSİ 26. Bölge Müdürlüğü’nden temin edilen ve 2018 yılında üretilmiş olan 1/1000 ölçekli halihazır haritada yer alan bina katmanına göre Örtülü Deresi çalışma alanı içerisinde 21 adet yapı bulunmaktadır.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden temin edilen 2015-2020 yılları arası yağış verilerine göre Ardanuç ilçesi yıllık ortalama toplam yağış miktarı $392,41 \text{ mm}$ ’dir.

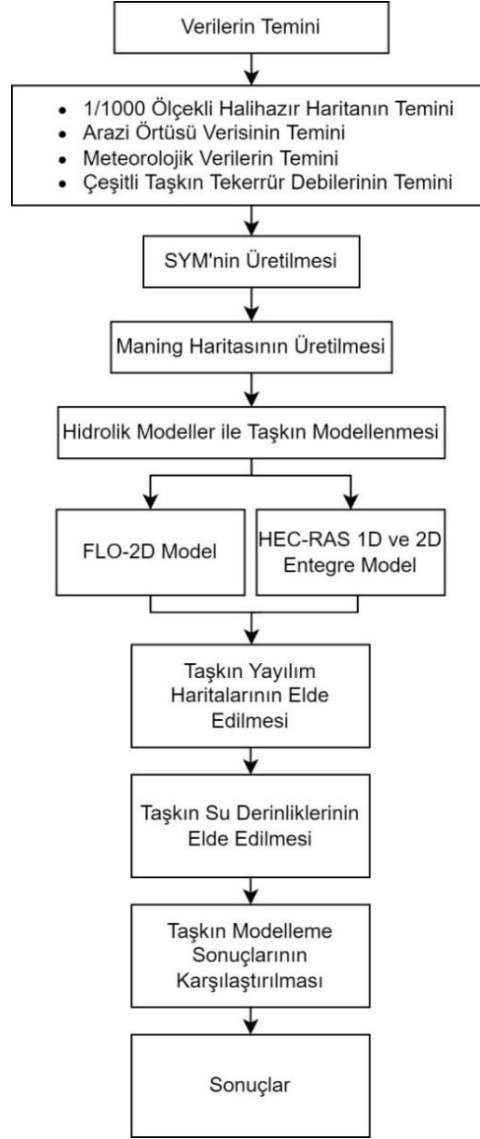
Çalışma Pona Deresi’nin 2.400 m^2 ’lik kesiminde, Örtülü Deresi’nin ise 1.120 m^2 ’lik kesiminde gerçekleştirilmiştir. İlgili derelere ait mabdan mansaba akış yönleri ve çalışma alanı uzunlukları Şekil 1’de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı haritası Google Earth görüntüsü a) Pona Deresi b) Örtülü Deresi (Google Earth, 2022)

2.2 Yöntem

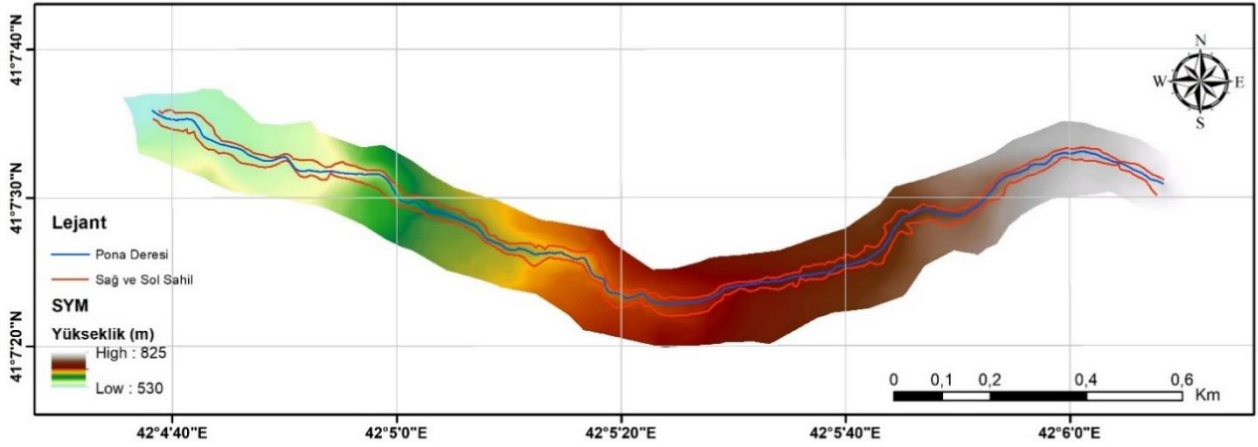
Bu çalışmada öncelikle taşkın yayılım haritası üretilecek olan Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait güzergah bilgileri DSİ 26. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiş ve dere güzergahları Google Earth Pro yazılımı üzerinde görselleştirilmiştir (Şekil 1). Ardından çalışma alanını kapsayan SYM'ler üretilmiş ve böylece hidrolik modelleme için model altlıkları hazırlanmıştır. Analiz aşamasında ise hidrolik modellemeler yapılmış ve su yükseklikleri ile taşkın yayılım alanları bilgilerine ulaşılmıştır. Son olarak ise Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılarak taşkından etkilenecek alan ve yapılar belirlenmiş ve ilgili derelere ait taşkın yayılım haritaları üretilmiştir. Yapılan çalışmalara ait teknik detaylar bu bölüm altında alt başlıklar halinde açıklanmıştır. Çalışmaya ait genel durumu gösteren iş akış şemasına Şekil 2'de yer verilmiştir.



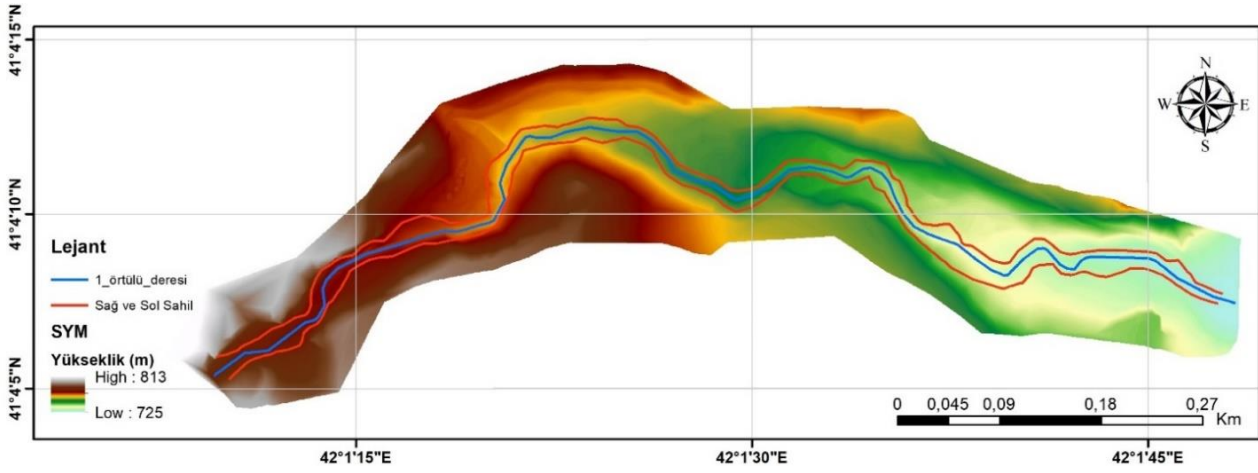
Şekil 2. Çalışmanın genel iş akış şeması

2.2.1 Sayısal Yükseklik Modeli Oluşturulması

Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait 1 m çözünürlüklü SYM'ler ArcGIS yazılımı kullanılarak üretilmiştir. SYM'nin oluşturulduğu altlık veri olan üçgen modeller, Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait dere ıslah çalışmaları için DSİ 26. Bölge Müdürlüğü tarafından üretilmiş olan 1/1000 ölçekli sayısal halihazır harita kullanılarak üretilmiştir. SYM'nin çalışma sınırları olarak ise bahsi geçen halihazır haritanın sınırı kullanılmıştır. Pona Deresi'ne ait SYM Şekil 3'de Örtülü Dere'sine ait SYM ise Şekil 4'de yer almaktadır. Son olarak ise ArcGIS yazılımında SYM'ler yükseklik bilgilerini içeren nokta verilerine dönüştürülmüştür. Böylece hidrolik modelleme için gerekli olan veriler FLO-2D yazılımında kullanılmak üzere hazır hale getirilmiştir.



Şekil 3. Pona Deresi'nin sayısal yükseklik modeli



Şekil 4. Örtülü Deresi'nin sayısal yükseklik modeli

2.2.2 Pürüzlülük Katsayısı ve Taşkın Debi Değerleri

Çalışmada, Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait dere yatağı pürüzlülük katsayılarını belirlemek için DSİ'nin Dere Yatakları için Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu'ndan yararlanılmıştır (DSİ, 2016). Söz konusu kılavuzda, pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde ülkemiz dere yatakları için en uygun yöntemin "Cowan Metodu" olduğu vurgulanmıştır (DSİ, 2016; Demir ve Ülke Keskin, 2019; Demir ve Ülke Keskin, 2020). Kılavuzdan yararlanılarak Pona Deresi için pürüzlülük katsayısı 0.041, Örtülü Dere'si içinse 0.043 olarak belirlenmiştir. Pürüzlülük değerleri ArcGIS yazılımında çalışma alanı sınırı olarak kullanılan poligonların öznetelik tablolarına eklenmiştir. Çalışmada DSİ 26. Bölge Müdürlüğü'nden elde edilmiş taşkın tekerrür debileri kullanılmıştır (Tablo 1). Taşkın tekerrür debileri Pona Deresi için Mockus Yöntemi, Örtülü Deresi içinse DSİ Sentetik Yöntem kullanılarak üretilmiştir.

Tablo 1. Pona Deresi ve Örtülü Deresi'ne ait taşkın tekerrür debileri (m³/s)

Tekerrür Periyodu (yıl)	50	100	500	1000
Pona Deresi	11.56	14.97	21.29	24.02
Örtülü Deresi	52.26	66.64	94.04	105.85

2.2.3 Hidrolik Modelleme

Karen O'Brien tarafından geliştirilmiş olan FLO-2D yazılımı, iki boyutlu hidrolik modellemelerin yapıldığı paket programlardan biridir ve son yıllarda taşkın modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

FLO-2D yazılımı suyun akışını zamana bağlı olarak modelleyerek taşkın değerleri hesaplamaktadır. Bu çalışmada modelleme kararlı akım şartlarına göre gerçekleştirilmiştir (O'Brien, 2006; Demir ve Ülke, 2018).

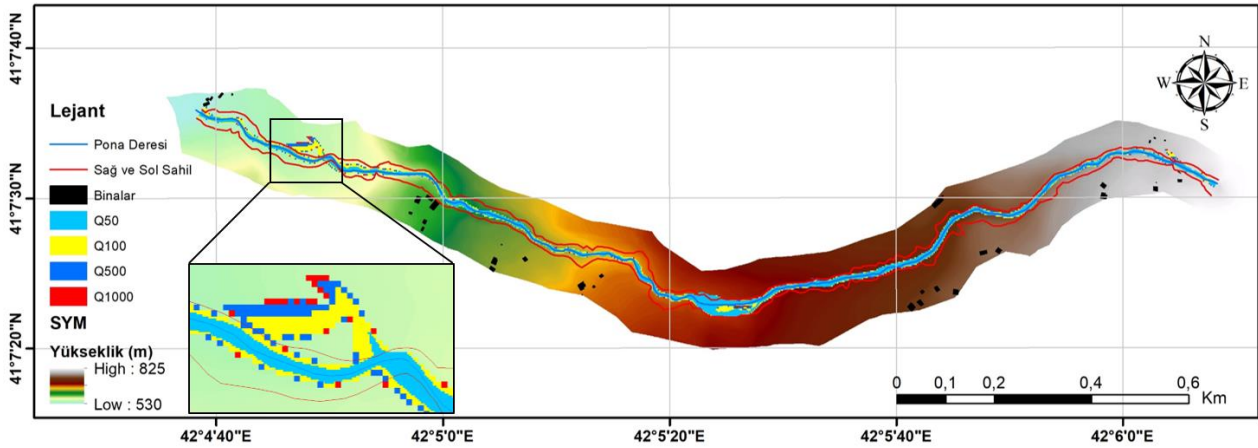
Ticari bir yazılım olan FLO-2D, ikinci dereceden reolojik yasaya dayanan, çamur ve moloz akışının sonlu farklar yöntemiyle simülasyonunu yapan bir programdır. FLO-2D, bir viskoplastik akışkanı temsil eden Herschel-Bulkley reolojisini içeren, sonlu hacim modelidir. Bu reolojik model, yeterli miktarda kil içeriğine sahip, çamurlu tipteki moloz akışını modelleyebilmektedir (Hsu vd. 2010; Demir ve Ülke, 2018; Demir, 2020). FLO-2D akarsu ve yerüstü akışlarının simülasyonunu gerçekleştirebilen dinamik bir taşkın öteleme modelidir. Model, tam dinamik dalga momentum ve süreklilik denklemlerini sonlu farklar yöntemi kullanarak kare ızgara elemanlar için çözmektedir. Böylece taşkın dalgasının ızgara elemanlar sisteminde iki boyutlu yayılımını hesap etmektedir (Elçi vd. 2017; Demir ve Ülke, 2018).

Bu çalışmada, FLO-2D yazılımından elde edilen taşkın çıktıları karşılaştırabilmek ve yorumlayabilmek adına aynı çalışma alanı HEC-RAS programıyla da çalışılmıştır. HEC-RAS, taşkın modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yazılımlardan biridir. 1994 yılında USACE (United States Army Corps of Engineers) tarafından geliştirilmiş olan HEC-RAS yazılımı hem bir boyutlu hem de iki boyutlu hidrolik modellemelerin yapılabildiği bir paket programdır. Bir boyutlu modelleme dere yatağı yani sağ ve sol sahil alanları içerisinde kalan taşkın alanların modellemesini yapmaktadır. İki boyutlu modelleme ise taşkın suyunun dere yatak sınırlarını aştığı durumlar için kullanılmaktadır. Taşkın analizleri HEC-RAS'ta 1 ve 2 boyutlu entegre modeller kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir (USACE, 2005; Demir, 2020; Tektaş, 2021; USACE 2021).

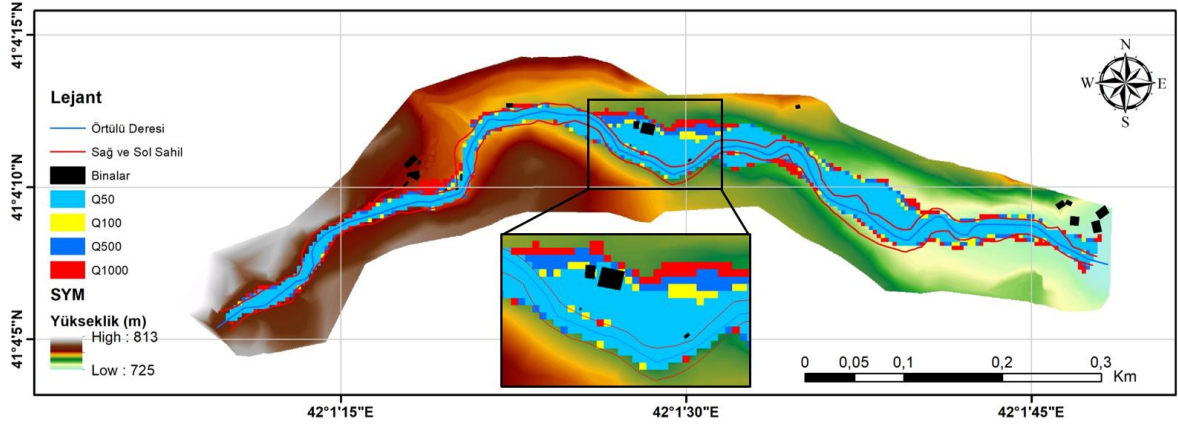
Çalışmada Pona ve Örtülü Deresi'nin çeşitli tekerrür aralıklarına sahip taşkın değerleri FLO-2D ve HEC-RAS programlarına girilerek su yükseklikleri ve yayılım alanları tespit edilmiştir. HEC-RAS programında 1 ve 2 boyutlu entegre model kullanılmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

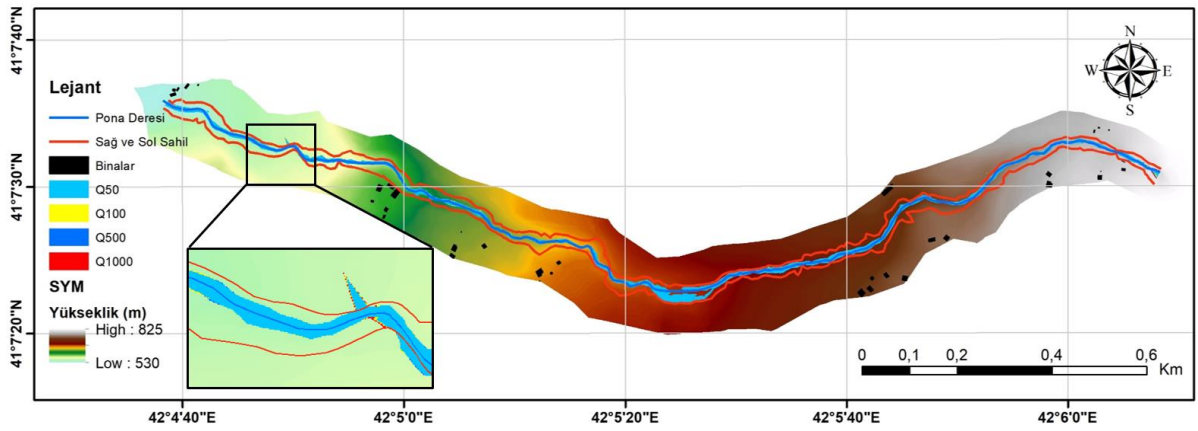
FLO-2D ve HECRAS yazılımından elde edilen hidrolik sonuçların yorumlanması için FLO-2D ve HEC-RAS çıktı verileri CBS ortamında değerlendirilmiştir. Bunun için hem Pona hem de Örtülü Deresi'nin Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} ve Q_{1000} taşkın sonuçları FLO-2D ve HEC-RAS yazılımlarından ArcGIS yazılımına aktarılmıştır. ArcGIS yazılımı kullanılarak Pona Deresi ve Örtülü Deresi için Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} ve Q_{1000} tekerrürlü taşkın yayılım alanları görselleştirilmiştir. FLO-2D yazılımından elde edilen Pona Deresi'ne ait taşkın yayılım haritası Şekil 5'de, Örtülü Deresi'ne ait taşkın yayılım haritası ise Şekil 6'da gösterilmiştir. Pona Deresi'nin HEC-RAS yazılımı kullanılarak üretilen taşkın yayılım haritası Şekil 7'de, Örtülü Deresi'ne ait taşkın yayılım haritası ise Şekil 8'de gösterilmiştir.



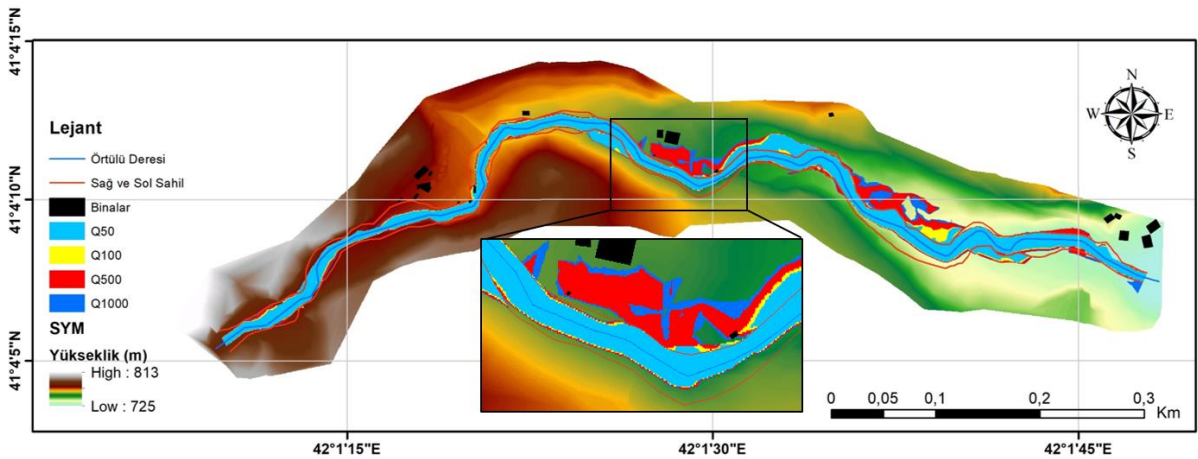
Şekil 5. Pona Deresi'nin Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} ve Q_{1000} tekerrür debilerine göre FLO-2D yazılımı ile üretilen taşkın yayılım haritası



Şekil 6. Örtülü Deresi'nin Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} ve Q_{1000} tekerrür debilerine göre FLO-2D yazılımı ile üretilen taşkın yayılım haritası



Şekil 7. Pona Deresi'nin Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} ve Q_{1000} tekerrür debilerine göre HEC-RAS yazılımı ile üretilen taşkın yayılım haritası



Şekil 8. Örtülü Deresi'nin Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} ve Q_{1000} tekerrür debilerine göre HEC-RAS yazılımı ile üretilen taşkın yayılım haritası

FLO-2D ve HEC-RAS yazılımlarından elde edilen çıktılar ve Şekil 5, 6, 7 ve 8'de sunulan farklı tekerrür debilerine ait taşkın yayılım alanları bilgileri bir arada değerlendirildiğinde Tablo 2 ve Tablo 3'de yer alan taşkın sonuç verilerine ulaşılmıştır. Pona Deresi'ne ait Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} ve Q_{1000} tekerrür debilerine göre toplam taşkın yayılım alanı, sağ ve sol sahil sınırlarını aşan taşkın yayılım alanı yani dere yatağı dışında kalan taşkın alanı, minimum, ortalama ve maksimum su yükseklikleri bilgilerine Tablo 2'de yer verilmiştir. Örtülü Deresi'ne ait bilgilere ise Tablo 3'de yer verilmiştir.

Pona Deresi, 2400 m uzunluğunda ve derenin sağ sahilinden ve sol sahiline kadar 62.211 m² dere yatak alanına sahiptir. Tablo 2’de yer alan FLO-2D yazılımı taşkın sonuç verilerine göre Q₅₀’de maksimum su seviyesi 1,689 m iken Q₁₀₀₀’de su seviyesinin 2,392 m’ye çıktığı görülmektedir. Toplam taşkın yayılım alanı ise Q₅₀’de 22153 m² alana sahipken yayılım Q₁₀₀₀’de 31.653 m² alana çıkmaktadır. Ayrıca dere sağ ve sol sahillerin dışına taşan yani dere yatağı dışında kalan taşkın alanı Q₅₀’de 535 m² iken Q₁₀₀₀’de 2.489 m² olarak hesaplanmıştır. HEC-RAS yazılımından elde edilen ve Tablo 2’de yer alan taşkın sonuç verilerine göre maksimum su seviyesi Q₅₀’de 1,406 m’den Q₁₀₀₀’de 2,881 m’ye çıkmıştır. Toplam taşkın yayılım alanı ise Q₅₀’de 16.198 m² alana sahipken yayılım Q₁₀₀₀’de 16.660 m² alana çıkmaktadır. Ayrıca dere yatağı dışında kalan taşkın alanı Q₅₀’de 70 m² iken Q₁₀₀₀’de 87 m² olarak bulunmuştur. Sonuç olarak FLO-2D yazılımı ve HEC-RAS yazılımından elde edilen sonuçlara göre Pona Deresi’nde taşkın suyunun büyük bir kısmı dere yatak sınırları içinde kaldığı gözlemlenmiştir. Yatak sınırını aşan alanlardan biri Şekil 5’de yakınlaştırılan bölgedir ve bir tarım arazidir.

Örtülü Deresi’nde çalışılan bölüm 1.120 m uzunluğunda ve derenin sağ sahilinden ve sol sahiline kadar 17.818 m² dere yatak alanına sahiptir. FLO-2D ve HEC-RAS yazılımından elde edilen taşkın sonuçlarına Tablo 3’de yer verilmiştir. FLO-2D yazılımından elde edilen verilere göre maksimum su seviyesi Q₅₀’de 3,161 m yüksekliğinden Q₁₀₀₀’de 3,883 m yüksekliğine çıkmaktadır. Toplam taşkın yayılım alanı Q₅₀’de 20.976 m² alana sahipken yayılım Q₁₀₀₀’de 28.016 m² alana çıkmaktadır. Ayrıca dere yatağı dışında kalan alan Q₅₀’de 7.507 m² iken Q₁₀₀₀’de 12.847 m² olarak bulunmuştur. HEC-RAS yazılımından elde edilen sonuç verilerine göre maksimum su seviyesi Q₅₀’de 2,756 m yüksekliğinden Q₁₀₀₀’de 3,658 m yüksekliğine çıkmaktadır. Toplam taşkın yayılım alanı ise Q₅₀’de 13.676 m² alana sahipken yayılım Q₁₀₀₀’de 20.085 m² alana çıkmaktadır. Dere yatağı dışında kalan alanlar ise Q₅₀’de 1.842 m² iken Q₁₀₀₀’de 6.315 m² olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak Örtülü Deresi’nde FLO-2D yazılımında olduğu gibi HEC-RAS yazılımında özellikle Q₅₀ tekerrürlü taşkın debisinde bile yatak dışı taşkın alanı oldukça yüksektir. Taşkın, derenin kıvrım noktalarında yatak sınırlarını takip edemeyip sol sahilinde Q₅₀ için su yüksekliği FLO-2D yazılımında 1,6 m ve HEC-RAS yazılımında 2,7 m yüksekliğine kadar ulaşmaktadır. Ayrıca Örtülü Deresi’nde sol sahilin düşük kotta olması ve derenin kesitinin gelen debiye göre yeterli büyüklükte olmamasından dolayı taşkından etkilenecek binalar olduğu görülmektedir.

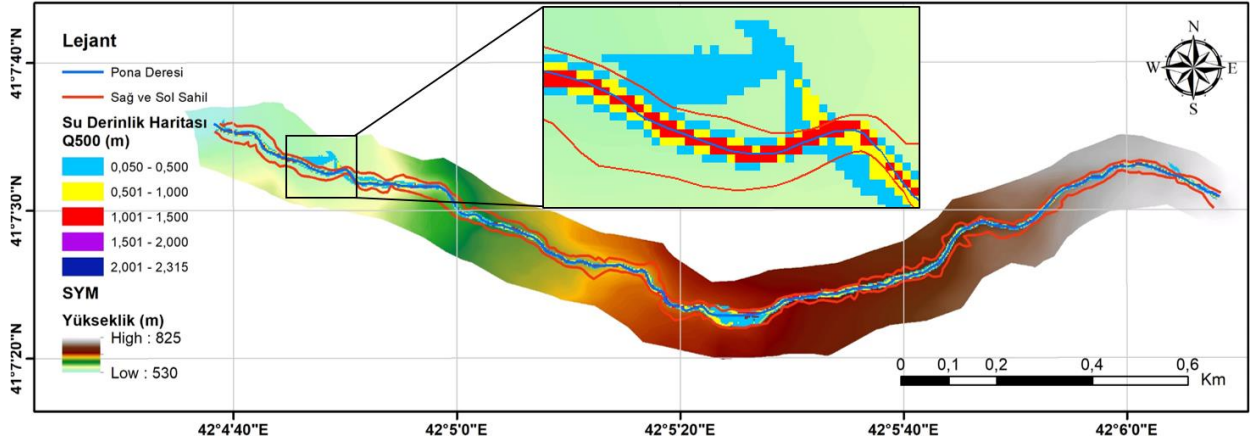
Tablo 2. Pona Deresi taşkın sonuç verileri

	Hidrolik Modeller	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
Minimum Su Yüksekliği	FLO-2D	0.050 m	0.050 m	0.050 m	0.050 m
	HEC-RAS	0.001 m	0.001 m	0.001 m	0.001 m
Ortalama Su Yüksekliği	FLO-2D	0.387 m	0.622 m	0.708 m	0.739 m
	HEC-RAS	0.410 m	0.398 m	0.411 m	0.409 m
Maksimum Su Yüksekliği	FLO-2D	1.689 m	2.119 m	2.315 m	2.392 m
	HEC-RAS	1.406 m	2.349 m	2.875 m	2.881 m
Toplam Taşkın Yayılım Alanı (m ²)	FLO-2D	22153 m ²	28485 m ²	30789 m ²	31653 m ²
	HEC-RAS	16198 m ²	16258 m ²	16634 m ²	16660 m ²
Dere Yatağı Dışında Kalan Taşkın Alanı (m ²)	FLO-2D	535 m ²	1508 m ²	2229 m ²	2489 m ²
	HEC-RAS	70 m ²	80 m ²	87 m ²	87 m ²

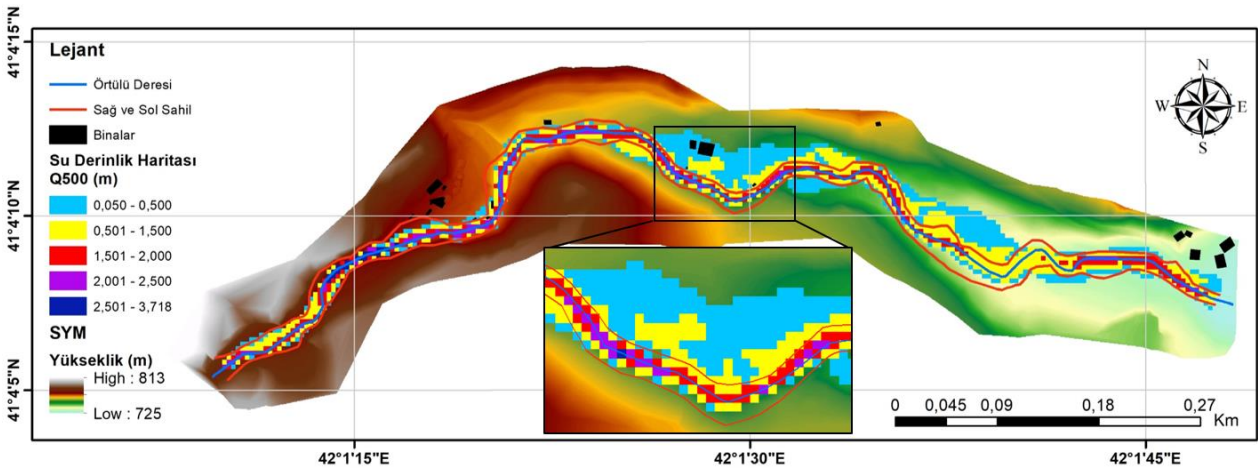
Tablo 3. Örtülü Deresi taşkın sonuç verileri

	Hidrolik Modeller	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₅₀₀	Q ₁₀₀₀
Minimum Su Yüksekliği	FLO-2D	0.050 m	0.050 m	0.050 m	0.050 m
	HEC-RAS	0.001 m	0.001 m	0.001 m	0.001 m
Ortalama Su Yüksekliği	FLO-2D	0.779 m	0.847 m	0.952 m	0.911 m
	HEC-RAS	0.849 m	0.927 m	0.986 m	1.006 m
Maksimum Su Yüksekliği	FLO-2D	3.161 m	3.378 m	3.718 m	3.883 m
	HEC-RAS	2.756 m	3.039 m	3.498 m	3.658 m
Toplam Taşkın Yayılım Alanı (m ²)	FLO-2D	20976 m ²	22432 m ²	24832 m ²	28016 m ²
	HEC-RAS	13676 m ²	14908 m ²	18536 m ²	20085 m ²
Dere Yatağı Dışında Kalan Taşkın Alanı (m ²)	FLO-2D	7507 m ²	8511 m ²	10308 m ²	12847 m ²
	HEC-RAS	1842 m ²	2439 m ²	5053 m ²	6315 m ²

Çalışmada üretilen Q_{50} , Q_{100} , Q_{500} ve Q_{1000} tekerrürlere sahip taşkın yayılım sonuçlarının daha net anlaşılması adına örnek olarak FLO-2D yazılımından elde edilen Q_{500} debisine ait taşkın su derinlik haritası oluşturulmuştur. Pona Deresi için Q_{500} tekerrür debilerine ait taşkın su derinlik haritası Şekil 9'da, Örtülü Deresi için Şekil 10'da sunulmuştur.

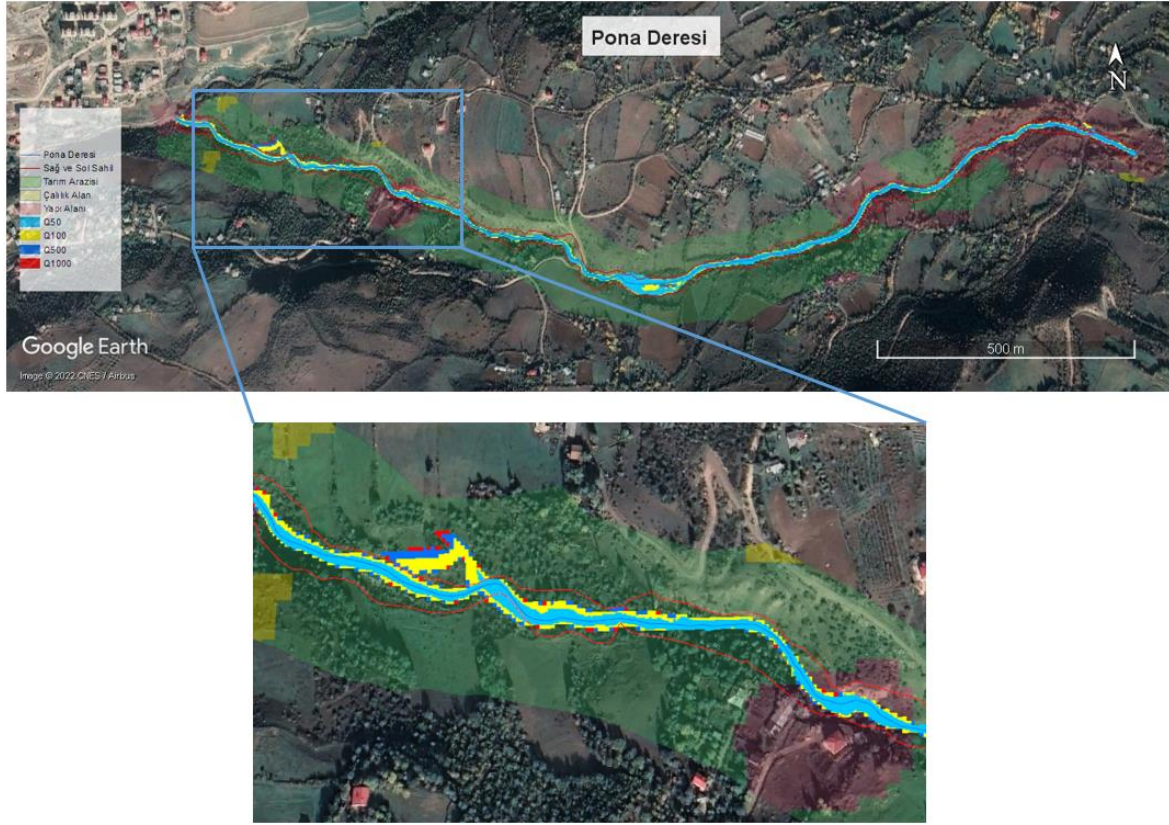


Şekil 9. Pona Deresi Q_{500} tekerrür debisine göre FLO-2D su derinlik haritası

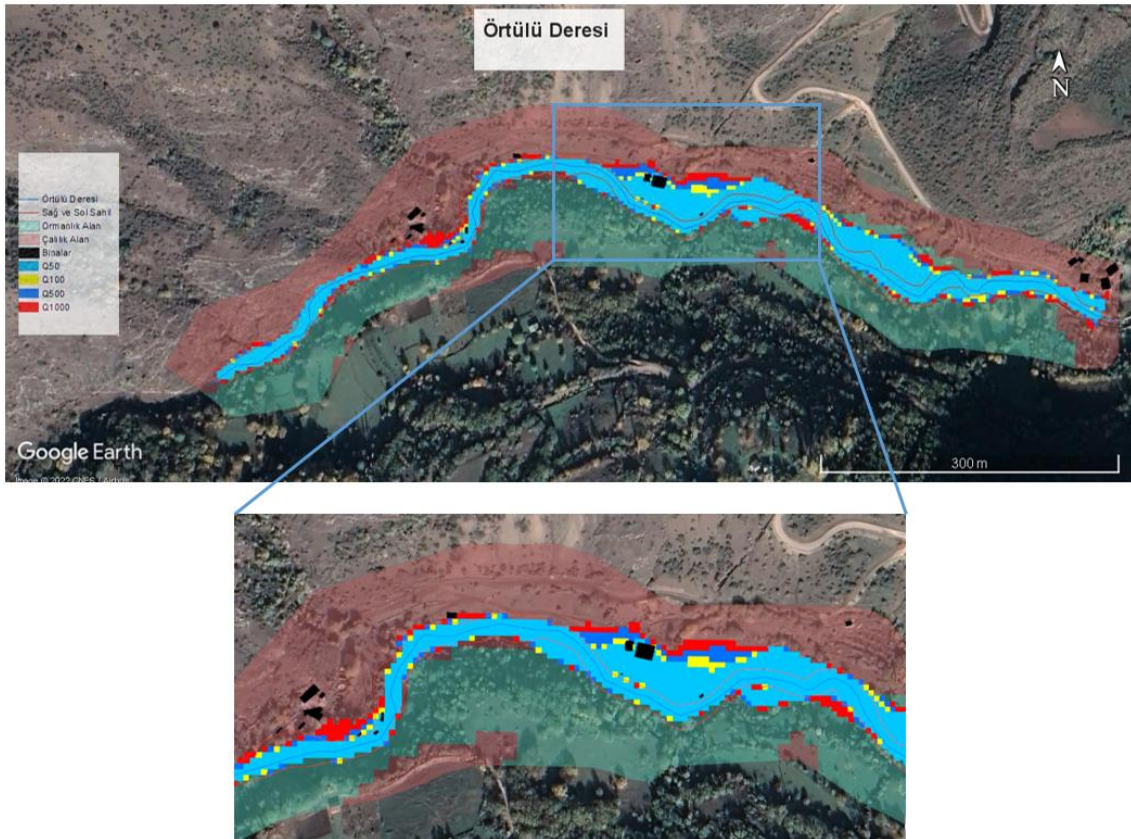


Şekil 10. Örtülü Deresi Q_{500} tekerrür debisine göre FLO-2D su derinlik haritası

Pona Deresi ve Örtülü Deresi'nde tüm senaryolar için taşkından etkilenecek alanları belirlemek adına bu derelerin çalışma sınırı içinde yer alan parsel ve binalar tespit edilmiştir. Temin edilen binalar ve arazi örtüsü katmanları ArcGIS yazılımına aktarılmıştır ve taşkından etkilenecek alanlar değerlendirilmiştir. Şekil 11'de Pona Deresi'nin taşkın alanları ve arazi örtüsü Google Earth görüntüsü üzerinden sunulmuştur. Pona Deresi'nde çalışma alanının büyük çoğunluğunun tarım arazisi olması nedeniyle Google Earth üzerinde binalar görsel olarak seçilebilmektedir. Bu nedenle lejantlar kısmında binalar tekrar gösterilmemiştir. Taşkın yayılım sonuçlarına göre Pona Deresi taşkın alanı içerisinde herhangi bir bina yapısının bulunmadığı ancak taşkın alanı içerisinde kalan alanların tarım alanları olduğu görülmüştür. Örtülü Deresi'nin taşkın alanları ve arazi örtüsü Google Earth görüntüsü üzerinden Şekil 12'de sunulmuştur. Örtülü Deresi taşkın yayılım sonuçlarına göre çalışma alanında bulunan 21 yapıdan 7 tanesinin olası taşkın alanı içerisinde kaldığı görülmektedir.



Şekil 11. Pona Deresi FLO-2D taşkın yayılım haritası ve arazi örtüsünün Google Earth gösterimi (Google Earth, 2022)



Şekil 12. Örtülü Deresi FLO-2D taşkın yayılım haritası ve arazi örtüsünün Google Earth gösterimi (Google Earth, 2022)

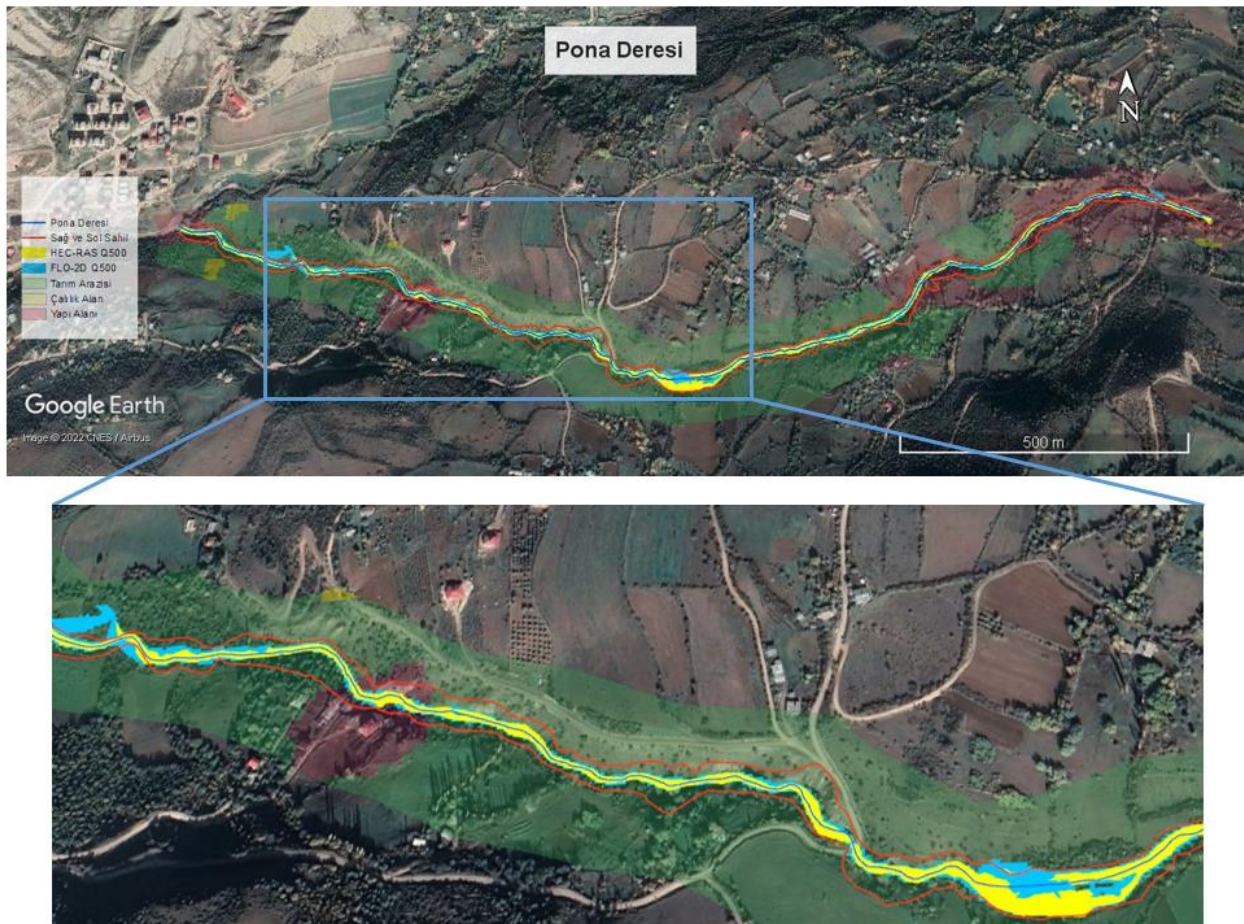
Çalışmada kullanılan FLO-2D ve HEC-RAS yazılımlarının sonuçlarını bir arada görmek için Şekil 13 ve Şekil 14’de sunulan görseller oluşturulmuştur. Burada FLO-2D ve HEC-RAS yazılımlarından elde edilen sonuçlardan örnek olabilmesi için Q_{500} taşkın tekerrür debisine ait sonuçlar karşılaştırılmıştır. FLO-2D ve HEC-RAS taşkın sonuçlarının karşılaştırılmış hali Pona Deresi için Şekil 13’de ve Örtülü Deresi için Şekil 14’de sunulmuştur.

Pona Deresi’nde taşkın, her iki yazılımdan elde edilen sonuçlarda da, sağ ve sol sahil bandını çoğunlukla aşmayarak dere yatağı içerisinde kalmıştır. Ayrıca HEC-RAS yazılımından elde edilen taşkın yayılım alanının tamamının, FLO-2D yazılımından elde edilen taşkın yayılım alanı içinde kaldığı belirlenmiştir.

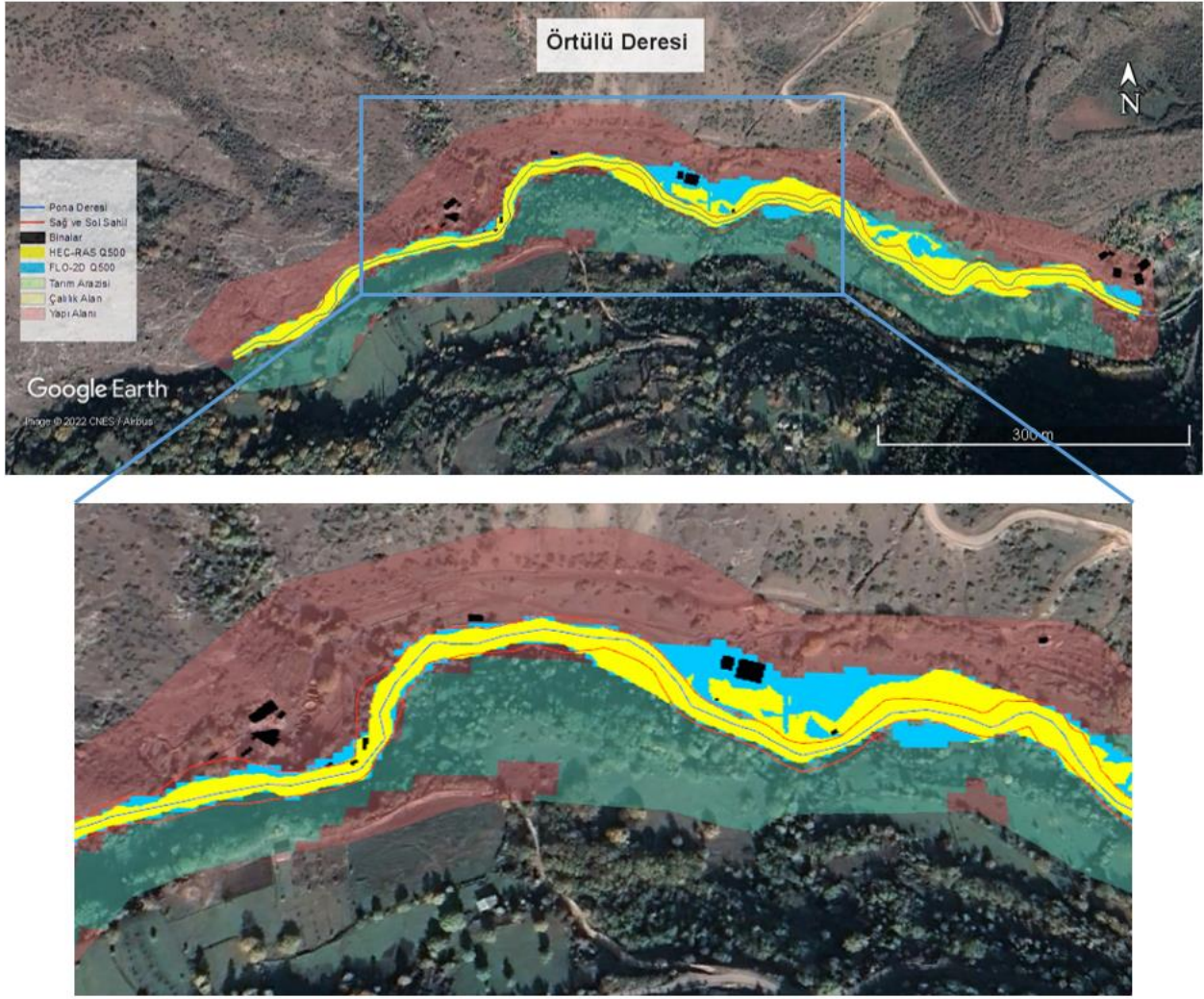
Örtülü Deresi’ne ait HEC-RAS sonuçları değerlendirildiğinde FLO-2D yazılımı sonuçlarında olduğu gibi HEC-RAS yazılımı sonuçlarında da taşkın dere yatak sınırlarını aşmakta ve belirlenen tekerrür debilerine göre Örtülü Deresi taşkın yönünden risk altında kalan bir alana sahip olmaktadır. Örtülü Deresi Q_{500} tekerrür debisine göre iki yazılımın karşılaştırıldığı görüntü olan Şekil 14 incelendiğinde, FLO-2D ve HEC-RAS sonuçlarının sağ sahilde uyum içinde olduğu gözlemlenmiştir. Sol sahilde ise çalışılan dere güzergâhının mansaba yakın kısmında özellikle derenin yön değiştirdiği alanlarda HEC-RAS taşkın yayılım alanının daha az olduğu gözlemlenmiştir. Yani Örtülü deresi için FLO-2D yazılım sonuçlarına göre taşkından 7 yapı etkileneceği belirlenirken HEC-RAS sonuçlarına göre taşkından 5 binanın etkileneceği belirlenmiştir.

Q_{500} taşkın tekerrür debisinde, Pona Deresi için FLO-2D yazılımında 30.789 m^2 , HEC-RAS yazılımında ise 16.638 m^2 taşkın yayılım alanı elde edilmiştir. Pona Deresi için bu iki yazılımdan elde edilen taşkın yayılım alanlarının 16.431 m^2 ’si kesişmektedir. Örtülü Deresi’nde ise FLO-2D yazılımında 24.832 m^2 , HEC-RAS yazılımında ise 18.536 m^2 ’lik bir taşkın yayılım alanı elde edilmiştir. Örtülü Deresi’nde de 18.002 m^2 ’lik yayılım alanının kesiştiği tespit edilmiştir. Ayrıca, iki yazılımdan elde edilen yayılım alanlarının, Pona Deresi için %53 oranında, Örtülü Deresi içinse %72 oranında uyumlu olduğu tespit edilmiştir.

FLO-2D ve HEC-RAS taşkın yayılım alanları düşük miktarda farklılıklar göstermektedir. Farklılıkların ise HEC-RAS yazılımının 1 ve 2 boyutlu entegre model ile FLO-2D yazılımının ise 2 boyutlu taşkın modellemesi yapmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca bu durumun modellerin kullandıkları sayısal yüzey tanımlamalarındaki farklılıklardan kaynaklanabileceği düşünülmektedir.



Şekil 13. Pona Deresi'nin Q_{500} tekerrür debisine göre FLO-2D ile HECRAS programının karşılaştırmalı taşkın yayılım haritası (Google Earth, 2022)



Şekil 14. Örtülü Deresi'nin Q_{500} tekerrür debisine göre FLO-2D ile HECRAS programının karşılaştırmalı taşkın yayılım haritası (Google Earth, 2022)

4. Sonuçlar

Geçmişte Çoruh Havzası üzerinde bulunan birçok derede taşkın afetinin yaşandığı ve bu afetlerin de önemli kayıplara neden olduğu bilinmektedir. Olası bir taşkın afetini afet yaşanmadan önce görebilmek ve zarar azaltıcı önlemleri alabilmek, kayıpların yaşanmasını engelleyebilecek ya da afetin etkilerini azaltacaktır. Bu çalışmadan elde edilen bulgulara göre yaşanması muhtemel aşırı yağış durumunda, özellikle Örtülü Deresi'nde oluşabilecek taşkın afetinin önemli kayıplara neden olabileceği sonucuna varılmıştır. Çalışma alanı içerisinde yer alan Pona Deresi'nde taşkın sırasında suyun büyük bölümünün yatak sınırı içinde kaldığı tespit edilmiştir. Pona Deresi'nde taşkın noktalarında yapılaşma olmaması bölge halkını korumak yönünden isabetli olmuştur. Ancak sular altında kalan alanların tarım arazisi olması göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak, Pona Deresi'nin etrafındaki yerleşimlerin taşkından önemli ölçüde etkilenmediği ancak taşkın hasarının minimum düzeye indirilmesi bakımından üst havzadan taşınabilecek çakıl ve taş iriliğindeki sürüntü malzemelerinin yapılacak tersip bentleri yapıları ile tutulması önerilmektedir. Elde edilen sonuçlara göre Örtülü Deresi'nde taşkın sularının dere yatak sınırını çoğu yerde aştığı görülmüştür. Ayrıca bölgede 7 adet yapının taşkından etkilenecek durumda olması, taşkınların can ve mal kaybı açısından kötü sonuçlara sebep olabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle olası taşkın zararlarını azaltmak için dere ıslahı çalışmaları veya sedde gibi taşkın kontrol yapılarının yapılması önerilmektedir.

Kaynaklar

- Acar, E., Temuçin Kılıçer, S., Akıncı, H. (2018, October). Artvin ili Kemalpaşa ilçesi Çamdere ve Karaosmaniye derelerinin taşkın risklerinin değerlendirilmesi. In *International Artvin Symposium*, 2018. 1(1). (pp. 1241-1261). IAS.
- AFAD. (2021a, Ocak 09). *2020 yılı doğa kaynaklı olay istatistikleri*, T.C İçişleri Bakanlığı Doğal Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Planlama ve Risk Azaltma Daire Başkanlığı, Retrieved from https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Istatistikler/2020yilidogakaynakliolayistatistikleri.pdf
- AFAD. (2021b, Ocak 10). *2021 afet eğitim yılı kapsamında ulaşılan kişi sayısı 10 milyonu aştı*, T.C İçişleri Bakanlığı Doğal Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Retrieved from <https://www.afad.gov.tr/2021-afet-egitim-yili-kapsaminda-ulasilan-kisi-sayisi-10-milyonu-asti---basin-bulteni-17052021>
- Akıncı, H., Temuçin Kılıçer, S., Acar, E. (2019). Sundura Deresinin (Hopa, Artvin) taşkın yayılım alanlarının belirlenmesi, *2. Uluslararası 19 Mayıs Yenilikçi Bilimsel Yaklaşımlar Kongresi*, 1(1), 825-834.
- Bacanlı, H. (2011). Meteorolojik karakterli doğal afetler ve erken uyarı sistemleri, In *Doğu Karadeniz Bölgesi Heyelan ve Taşkınları Sempozyumu*, 2011. (pp. 10-11).
- Beden, N., Ülke, A., Uslu, A. (2014, October). İklim değişikliği ve yeni tasarım esasları, In *Uluslararası Katılımlı IV. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu*, 2014. (pp. 431-439).
- Cook, A., Merwade, V. (2009). Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 131-142.
- Demir, V., Ülke, A. (2018, October). 2D taşkın modellemesi, Samsun Mert Irmağı örneği, In *International Symposium on Urban Water and Waste Water Management*, 2018. (pp. 330-335). UKSAY.
- Demir, V., Ülke Keskin, A. (2019). Manning pürüzlülük katsayısının Cowan Yöntemi ve uzaktan algılama yardımıyla belirlenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 167-177.
- Demir, V., Ülke Keskin, A. (2020). Obtaining the manning roughness with terrestrial remote sensing technique and flood modelling using FLO-2D: A case study Samsun from Turkey. *Geofizika*, 37(2), 1-26.
- Demir V. (2020). *Samsun Mert Havzasında bir ve iki boyutlu modeller ile taşkın alanlarının belirlenmesi (Doktora tezi)*, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Türkiye.
- DSİ. (2016). *Dere yatakları için pürüzlülük katsayısı belirleme kılavuzu*, Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara.
- DSİ. (2021, Ocak 10). *Görev Alanı ve Tarihçe*, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, DSİ Çoruh Projeleri 26. Bölge Müdürlüğü, Retrieved from <https://bolge26.dsi.gov.tr/Sayfa/Detay/926>
- Ekinci, R., Büyüksaraç, A., Ekinci, Y. L., Ercan, I. (2020). Bitlis ilinin doğal afet çeşitliliğinin değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(1), 1-11.
- Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltas, İ., Kocaman, B. (2017). Baraj yıkılması sonrası iki boyutlu taşkın yayılımının yerleşim bölgeleri için modellenmesi. *Teknik Dergi*, 28(3), 7955-7975.
- Ertürk, E., Kaya, N. (2019). Taşkın tehlike alanlarının oluşturulması: Trabzon ili Vakfıkebir ilçesi Kirazlı Deresi örneği. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 31(2), 337-344.
- ESRI. (2022, Şubat 15). *ESRI Land Cover*, ESRI 10 m Land Cover 2020, Retrieved from <https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>
- Google Earth. (2022, Ocak 12). *Google Earth Pro*, Retrieved from <https://www.google.com/intl/tr/earth/>
- Gülbas, S. (2019). Sayısal modeller ile taşkın yayılım haritasının oluşturulması ve risk altında olan alanların belirlenmesi: Türkköse Deresi örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 5(2), 335-349.
- Hsu, S. M., Chiou, L. B. F., Chao, C. H., Wen, H. Y., Ku, C. Y. (2010). Applications of simulation technique on Debris-Flow Hazard Zone Delineation: A case study in Hualien County, Taiwan. *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(3), 535-545.
- Karakhanyan, A. S., Trifonov, V. G., Philip, H., Avagyan, A., Hessami, K., Jamali, F., ... & Adilkhanyan, A. (2004). Active faulting and natural hazards in Armenia, eastern Turkey and northwestern Iran. *Tectonophysics*, 380(3-4), 189-219.
- Kınacı, C., Akbaş, H., Aras, M., Fındık, S. B., Özalpın, A. M., Sakın, I., Girayhan, T. F., Bozkurt Hüyüktepe, P., Özcan, S., Yılmaz, M., Yılmaz, C., Doğan, M., Demirel, M., Altın, O., Doğanay, E. (2017). *Taşkın Yönetimi*, T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Ankara, 248ss.
- Marim, G., Aklan, G., Akkuş, Ç. (2016, April). Tek boyutlu (HEC-RAS) ve iki boyutlu (FLO-2D) hidrolik modelleri ile baraj yıkılma analizleri ve taşkın risk haritalarının oluşturulması, In *Ulusal Heyelan Sempozyumu Tebliğler*, 2016. (pp. 505-518).
- O'Brien, K. (2006). *FLO-2D pocket guide pro model*, FLO-2D Software, Inc., Nutrioso.
- Oğraş, S., Önen F. (2019). Dicle Nehri'nin taşkın analizinin HEC-RAS programı ile yapılması. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 10(3), 1087-1098.
- Onuşluel Gül, G., Gül, A. (2010). İzmir Bostanlı Havzası için taşkın alanlarının HEC-HMS ve HEC-RAS modelleri ile belirlenmesi, In *II. Ulusal Taşkın Sempozyumu*, 2010. (pp. 267-274).

- Özşahin, E. (2013). Türkiye’de yaşanmış (1970-2012) doğal afetler üzerine bir değerlendirme, In 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, 2013. (pp. 1-8). UDMSK.
- Öztürk, D., Yılmaz, İ., Kırbas, U. (2017, May). Çorum ili taşkın tehlikesinin analitik hiyerarşi yöntemi kullanılarak incelenmesi, In TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 2017. (pp. 1-5).
- Şahin, C., Şipahioğlu, Ş. (2002). Doğal Afetler ve Türkiye. *Gündüz Eğitim ve Yayıncılık*, Ankara, 478ss.
- Saral, A., Özcan, O., Musaoglu, N. (2010, June). Flood risk analysis using information diffusion theory-a case study Ayamama Creek, In 30th European Association of Remote Sensing Laboratories Symposium, 2010. (pp. 403-408). EARSEL.
- Sunkar, M., Tonbul, S. (2010, March). Batman’da 31 Ekim-1 Kasım 2006 tarihinde yaşanan taşkın nedenleri, In II. Ulusal Taşkın Sempozyumu Tebliğler Kitabı, 2010. (pp. 349-361).
- Sönmez, O. (2013). *Nehirlerde 2 boyutlu taşkın modellemesi ve taşkın haritalarının oluşturulması (Doktora tezi)*, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Taş E., İçağa Y., Zorluer İ. (2016). Taşkın yayılım haritalarının oluşturulması ve taşkın zarar analizi: Akarçay Afyon Alt Havzası örneği. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(3), 711-721.
- Tektaş Y. (2021). *Diyarbakır ili Çınar ilçesi Çakmak Deresinin HEC-RAS ile taşkın modellemesi* (Yüksek lisans tezi), Harran Üniversitesi, Türkiye, Fen Bilimleri Enstitüsü, Türkiye.
- Temiz, N., Aksoy, H., Ercanoğlu, M. (2004). Batı Karadeniz Bölgesi’nde potansiyel taşkın alanlarının belirlenmesine yönelik bir çalışma. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 47(2).
- USACE. (2005). HEC-GeoRAS GIS Tools for support of HEC-RAS using ArcGIS User’s Manual. Davis: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- USACE. (2021). HEC-RAS river analysis System, User’s Manuel, Version 6.0., US Army Corps of Engineers. Davis: Institute of Water Resources, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, CA.
- Uslu, G., Sesli, F. A., Uzun, B. (2018). Coğrafi bilgi sistemleri ile taşkın tehlike haritalarının belirlenmesi. *Kent Akademisi*, 11(4), 545-558.