

## Delibekirli Havzası'nın Taşkın Tekerrürünün Hesaplanması ve HEC-RAS ile Modellenmesi (Kırıkhan/Hatay)

Mahsum Bozdoğan<sup>1,\*</sup>, Ergin Canpolat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Coğrafya Doktora Programı, 34134, İstanbul.

<sup>2</sup>Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, 31060, Hatay.

### Özet

Nüfus artışının kaçınılmaz bir sonucu olarak, yeryüzünde daha fazla alan işgal eden insanoğlunun doğal olaylarla karşılaşma ve bunlardan zarar görme olasılığı artmaktadır. Ortaya çıkan bu zararları en aza indirmek ancak doğru ve etkili planlamalarla mümkün olabilmektedir. Planlamada risk modeli çalışmaları önemli bir parametredir. Modeller, son yıllarda multidisipliner alanlarda yoğun bir şekilde kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri yardımıyla doğruluğu daha yüksek bir biçimde yapılabilmektedir. Bu çalışmada, İstatistik ve Deterministik yöntemlerle, Amanos Dağlarının orta kesiminde yer alan ve Kırıkhan şehrinin ortasından geçen, 2014 ile 2015 yıllarında taşkın kayıtları olan Delibekirli Çayı Havzası'nın taşkın risk potansiyeli ortaya çıkarılmıştır. Çeşitli istatistiksel parametreler ve dağılım fonksiyonları kullanılarak havzanın birim hidrograf pik debisi ve 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık proje taşkın tekerrür debileri hesaplanmıştır. Ortaya çıkan bu değerler kullanılarak, ABD Ordusu Mühendisler Birliği, Hidrolojik Mühendislik Merkezi (USACE-HEC) tarafından geliştirilen Akarsu Analiz Sistemi (HEC-RAS v.6.1) yazılımı kullanılarak kararlı akım şartlarında bir boyutlu (1D) hidrolik model oluşturulmuştur. Delibekirli Deresi'nin oluşturduğu birikinti yelpazesi üzerinde kurulmuş olan Kırıkhan şehrinde yapılaşmaya bağlı olarak kanal enkesitleri daraltılmış ve akarsu yatağına çeşitli müdahaleler yapılmıştır. Yapılan çalışma ve değerlendirmeler sonucunda Kırıkhan'da Delibekirli Deresi'ne bağlı yaşanabilecek taşkınların can ve mal kaybına neden olmaması için akarsu kanalına yönelik çalışmalarda en az 500 yıllık proje taşkın debisi (124,36 m<sup>3</sup>/s) esas alınarak projelendirilmesi gerektiği sonucu ortaya çıkarılmıştır.

### Anahtar Sözcükler

Hatay, Kırıkhan, Delibekirli Havzası, Taşkın Risk, Taşkın, HEC-RAS

## Calculation of Flood Recurrence of Delibekirli Basin (Kırıkhan/Hatay) using Statistical and Deterministic Methods and Modeling with HEC-RAS

### Abstract

As an inevitable consequence of population growth, human beings occupying more space on the earth's surface are more likely to encounter and be damaged by natural events. In order to minimize these damages, planning is required. Risk modelling studies are an important parameter in planning. Models can be made with higher accuracy with the help of Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS) technologies, which have been used intensively in multidisciplinary fields in recent years. In this study, the flood risk potential of the Delibekirli Stream Basin, which is located in the central part of the Amanos Mountains and has flood records in 2014 and 2015, was revealed by statistical and deterministic methods. Using various statistical parameters and distribution functions, the unit hydrograph peak flow and 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 and 1000-year flood recurrence flows of the basin were calculated. Using these values, a 1D hydraulic model was created in steady flow conditions using the River Analysis System (HEC-RAS v.6.1) software developed by the US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (USACE-HEC). In the city of Kırıkhan, which was built on the accumulation fan formed by the Delibekirli Stream, the channel cross-sections were narrowed due to the construction and various interventions were made to the river bed. As a result of the studies and evaluations carried out, it was concluded that in order to prevent the floods that may occur due to the Delibekirli Stream in Kırıkhan from causing loss of life and property, it was concluded that the works for the river channel should be designed based on at least 500-year flood flow (124,36 m<sup>3</sup>/s).

### Keywords

Hatay, Kırıkhan, Delibekirli Basin, Flood Risk, Flood, HEC-RAS

## 1. Giriş

Yanlış arazi kullanımı, ekstrem yağışlar, dere yataklarına yapılan müdahaleler ve insan müdahalesinin olumsuz etkileri sonucunda meydana gelen taşkınlar, nehir yatağında bulunan su miktarının; normalden fazla yağmur yağması, mevcut karın hızlıca erimesi, heyelan, barajdan kontrolsüz su bırakılması, nehir yatağının kesitinin değiştirilmesi gibi nedenlerle akarsu yatak kesitine sığamayıp, çevresindeki arazilere, yerleşim yerlerine, alt yapı tesislerine ve canlılara zarar vererek bölgede ekonomik ve sosyal faaliyetleri kesintiye uğratan doğal bir afettir (Bayrakdar, 2006; Demir & Ülke Keskin, 2022). Taşkın, doğal afet olarak nitelendirilse de taşkın risk ( $Risk = tehlike * etkilenebilirlik$ ) faktörlerini arttıran beşeri faaliyetlerdir (United Nations Development Programme, 2004).

İnsanların doğal çevre üzerindeki etkileri, taşkın olaylarının boyutları ve özelliklerini belirlemede kritik bir rol oynar. Genellikle toprak ve arazi kullanımındaki değişiklikler; örneğin, kentleşme ve altyapı gelişimi, doğal suyollarının değişmesine neden olabilir ve bu da taşkın riskini artırabilir. Bitki örtüsü yüzeysel akış hızını düşüren bir faktör iken; ormansızlaşma ve tarım alanlarının genişlemesi gibi faktörler, yağış sularının daha hızlı bir şekilde akmasına neden olarak taşkın olasılığını artırabilir (Turoğlu, 2011; Sunkar & Tonbul, 2011; Ertek, 2017; Noori vd., 2016). Ayrıca barajların yıkılması ve akarsu yataklarına yapılan yanlış müdahaleler gibi beşeri faktörler, su akışının kontrolsüz hale gelmesine ve taşkın riskini artırmasına neden olabilir.

Dünyada ve ülkemizde can ve mal kayıpları açısından tüm afetler arasında ikinci, meteorolojik afetler arasında ise ilk sırada yer almaktadır (Anılan vd., 2016; Demir & Keskin, 2022). Taşkınlar, meteorolojik afetler arasında meydana gelme sayısı en fazla olan afettir (Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2020). 2021 yılı içerisinde meydana gelen 223 taşkın afetinde 29,2 milyon kişi etkilenmiş, 4143 kişi hayatını kaybetmiştir (Özdemir & Akbaş, 2023). Mevcut veriler incelendiğinde taşkınlardan kaynaklanan ekonomik kayıp her yıl yaklaşık olarak 300 milyon TL'dir (Demir & Keskin, 2022). Uluslararası afet veri tabanı (The international disaster database/ EM-DAT) verilerine göre 1980-1999 yılları arasında dünyada toplam 1389; 2000- 2019 yılları arasında 3254 taşkın afeti kaydedilmiştir. DSİ'nin raporlarına göre 1975-2015 yılları arasında ülkemizde meydana gelen 1209 tane taşkın olayında 893.933 ha arazi su altında kalıp 720 can kaybı meydana gelmiştir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2016).

Doğal afetlerden taşkınlar tamamen ortadan kaldırılabilecek bir problem değildir. Bu nedenle, özellikle kentsel alanlarda, nehirlerin aşağı ve yukarı kesimlerinde taşkınlara karşı önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Küresel olarak, taşkınları tahmin etmek, etkileri yönetmek ve ilgili hasarı azaltmak için son yıllarda artan bir ilgi söz konusudur. Taşkınların neden olduğu hasarı azaltmak, farklı alanlarda farklı stratejiler gerektirir. Taşkınların neden olduğu hasarı en aza indirmek ve nehir ekolojisinin korunması (Rubinato vd., 2019; Demir & Ülke Keskin, 2022) için ise planlamaların yapılması gereği ortaya çıkmaktadır. Planlamada risk çalışmaları önemli bir parametredir. Bu risk çalışmaları farklı senaryolarla yapıldıktan sonra ilgili beşeri veya fiziki unsurların etkilenebilirliği tahminsel modellerle ortaya konulabilmektedir. Bu modeller, son yıllarda multidisipliner alanlarda yoğun bir şekilde kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve Uzaktan Algılama (UA) teknolojileri ile yapılabilmektedir. Bu teknolojiler sayesinde hedef bilgi toplanır, analiz edilir ve sonuçlanır (Van Westen & Soeters, 1993; Özdemir, 2007).

CBS ve UA teknolojilerinin hidrolik modellemelerde kullanılmaya başlanmasıyla son yıllarda gerek ulusal gerekse de uluslararası literatürde akarsu taşkını üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların birkaç tanesi aşağıda verilmiştir.

Baga vd. (1999), CBS yardımıyla, Türkiye'de ilk kez Fethiye İlçesi'nde Çayboğazı nehir havzasının taşkın yayılım haritalarını oluşturmak için Mike 11 hidrolik modeli kullanmıştır. Turan (2002), CBS ve Mike 11 yazılımlarını kullanarak, Bartın Ulus Havzası'ndaki taşkın risk durumu değerlendirmiştir. Tate vd. (2002), Waller Nehri'ndeki taşkın sahalarını belirlemek amacıyla Texas eyaletinde CBS ve HEC-RAS yazılımlarını kullanmıştır. Knebl vd. (2004), 2002 yılında San Antonio Nehir Havzası'nda gerçekleşen büyük taşkın olayını CBS ve HEC-RAS yazılımlarıyla modellemiştir. Onuşuel (2005), CBS ve HEC-RAS yazılımlarını kullanarak Bostanlı (İzmir-Karşıyaka) havzasının taşkın alanlarını belirlemiştir. Özdemir (2007), CBS, HEC-GeoRAS ve HEC-RAS yazılımlarını kullanarak farklı senaryolara göre Havran Çayı Havzası'nın taşkın potansiyellerini hesaplamıştır. Usul (2008), Hidrolojik, hidrolik modeller ve CBS yazılımlarını kullanarak Çayboğazı havzasının taşkın modellemesini yapmıştır. Özcan vd. (2009), CBS ve UA tekniklerini kullanarak Sakarya havzasında taşkın alanlarını belirlemiştir. Uçar (2010), CBS ve HEC-RAS yazılımlarını kullanarak Değirmendere Havzası (Doğu Karadeniz)'nda, taşkın risk analizlerini gerçekleştirmiştir. Kaya (2012), ArcMap ve JFLOW yazılımlarını birlikte kullanarak Giresun Pazarsuyu'nun taşkın yayılım haritalarını elde etmiştir. Akkaya vd. (2013), ArcMap ve HEC-RAS yazılımlarını kullanarak Rize Taşlıdere'deki taşkınlar üzerine analizler yapmıştır. Nas ve Nas (2013), CBS ve HEC-RAS yazılımlarını kullanarak farklı taşkın tekerrür süreleri için taşkın seviyelerini belirlemiştir. Bayazit vd. (2014), UA ve CBS teknolojileri ile HEC-RAS yazılımlarını kullanarak farklı taşkın tekerrür süreleri için Porsuk Çayı'nın Eskişehir il merkezinden geçen kısmında taşkın riskini incelemiştir. Türkan ve Korkmaz (2015), CBS teknolojileri ile HEC-GeoRAS ve HECRAS yazılımlarını kullanarak Bursa ilinden geçen Kaplıkaya Deresi'nin taşkın riskini belirlemiştir. Yaylak (2016), ArcMap, HEC-GeoRAS ve HEC-RAS yazılımlarını kullanarak Bitlis Deresi'nde taşkın risk analizi için çeşitli taşkın tekerrür sürelerine ait hidrolik karakteristikler ve su yüzeyi profillerini belirlemiştir. Shirzad (2017), UA ve CBS teknolojileri ile HEC-RAS yazılımı kullanarak Kocaeli Maden Deresi'nin su yüzeyi profillerini elde edip taşkın riskini belirlemiştir. Çeliker (2018), CBS teknikleri ve HEC-RAS yazılımını kullanarak Bingöl İl merkezinde Çapakçur Çayı taşkın alanlarını belirlemiştir.

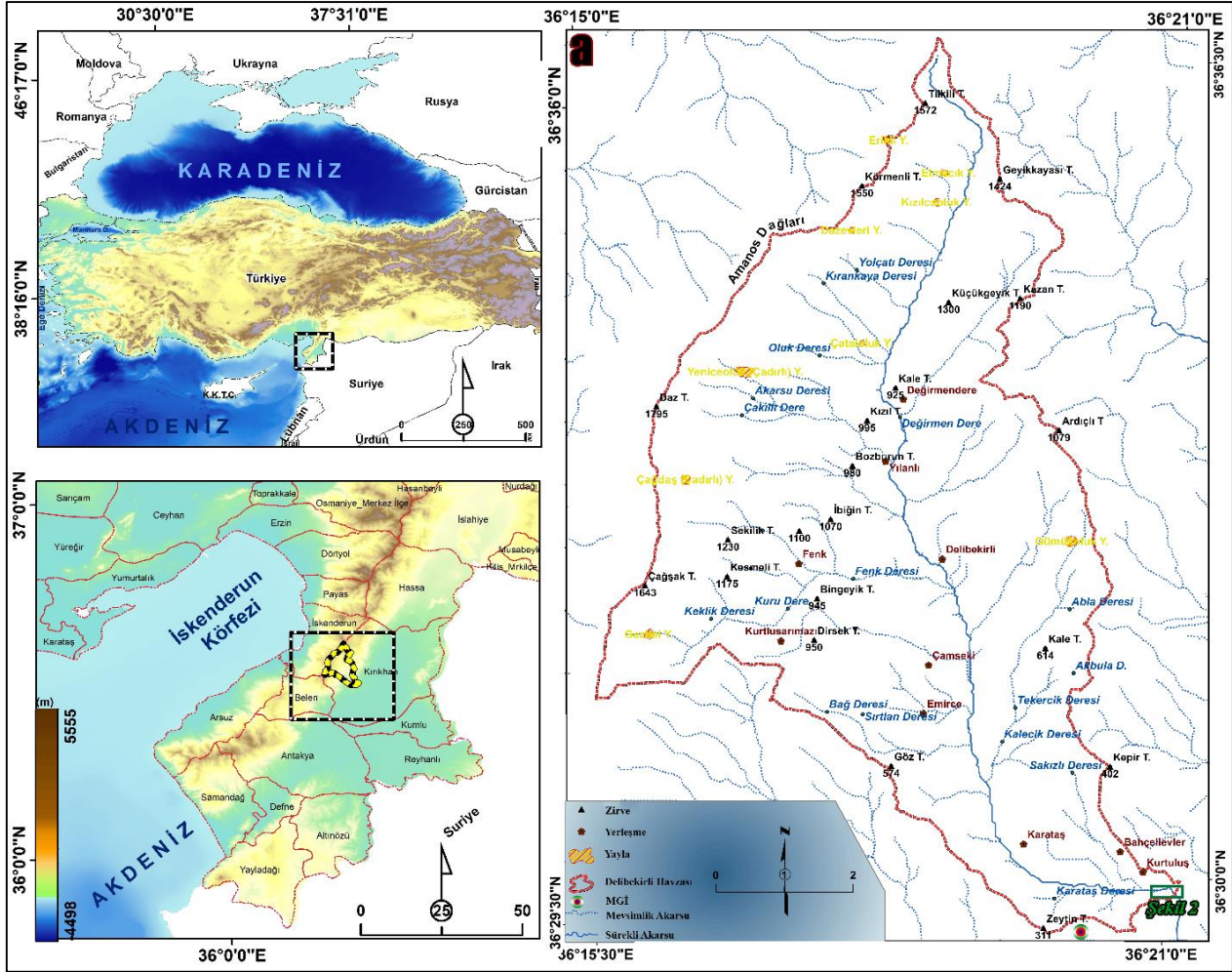
Uslu vd. (2018), Samsun Mert Irmağı ve nehrin yan kolu olan Yılanlıdere'de taşkın tekerrür debilerine göre CBS tabanlı HEC-GeoRAS ve HEC-RAS programı kullanarak taşkın tehlike haritalarını oluşturmuştur. Bu haritalar temel alınarak mahalle bazında 2014 yılında yapılan taşkın ıslah çalışması öncesi ve sonrasına göre taşkın alanının yüzölçümü, bu alana giren bina ve parsel sayıları, binalarda bulunan bağımsız bölüm sayıları (mesken ve işyeri) ve meskenlerde yaşayan ve işyerlerinde çalışan kişi sayılarını tespit etmiştir. El-Naqa ve Jaber (2018), CBS teknolojileri ve HEC-RAS yazılımlarını kullanarak Ürdün'de Wadi Attarat Um Al Ghurdan petrol imtiyaz sahasında çeşitli taşkın tekerrür sürelerine ait su yüzeyi profillerini modellemiştir. Maskong vd. (2019), CBS teknolojileri ve HEC-RAS yazılımları yardımıyla Tayland'da Nakhon Ratchasima beldesinde çeşitli tekerrürlü taşkın debilerine ait taşkın yayılım haritalarını elde etmiştir. Gülbaz (2019), İstanbul'da bulunan Sazlıdere Havzası'nın hidrolojik modeli ve havza sınırları içerisindeki ana dere olan Türkköse Deresi'nin hidrolik modelini oluşturmuştur. Havza alanı, eğimi, sınırı, yükselti haritası, arazi kullanımı, toprak tipi ve dere güzergâhları WMS adlı yazılım programını kullanarak modellemiştir. Hidrolojik model için HEC-HMS ve hidrolik model için HEC-RAS programlarını kullanmıştır. 03-05 Temmuz 2005 tarihleri arasında meydana gelen şiddetli yağış kullanarak havza üzerinde ana dere ve yan kollarda oluşan taşkın yayılım haritalarını elde etmiştir. Çeliker vd. (2020), CBS ve HEC-RAS yardımıyla Bingöl İl merkezinden geçen Çapakçur, Gayt ve Göynük çaylarının kent içerisinde oluşturacağı taşkın su derinliklerini ve yayılım alanlarını belirlemiştir. Kaya (2021), 1B ve 2B taşkın modelleme yöntemlerinin kıyası Fol Deresi, Vakfikebir, Trabzon örneği üzerinden araştırmıştır. Çalışmada yüksek çözünürlüklü arazi modeli, uydu görüntüleri, HEC-RAS yazılımı, CBS platformu, tarihi taşkın kayıtları, topoğrafik haritalar, akım ve meteorolojik veriler kullanmıştır. Demir ve Ülke Keskin (2022), Mert Irmağı Havzası'nın kent sınırlarıyla kesiştiği mansap bölgesinde hesaplanan 50, 100, 500 ve 1000 yıllık tekerrür debileri ( $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$ ) ve HEC-RAS, FLO-2D programlarını kullanarak elde edilen model sonuçları ile Department for Environment Food and Rural Affairs (DEFRA) yöntemini kullanarak, ArcGIS ortamında taşkın tehlike haritalarını elde etmiştir. İlhan ve Aydar (2023), Biga (Çan) Çayı Havzasının, Çan ilçe merkezinden geçen bölümünün eEbee X model sabit kanatlı İnsansız Hava Aracı (İHA) aracılığıyla görüntüleri elde edilmiş, elde edilen bu görüntüler çeşitli fotogrametrik değerlendirme programları kullanılarak 3 boyutlu model haline getirilmiş ve taşkın analizi için gerekli veriler elde edilmiştir. Bu çıktı ürünler, ilgili kurumlardan temin edilen verilerle birlikte kullanılarak Çan ilçesine ait 100 ve 500 yıllık taşkın haritalarını koordinatlı bir şekilde üretmiştir. Kale ve Ataol (2023), Porsuk Çayı'na yönelik farklı taşkın senaryolarını gerçekleştirmiştir. Senaryo çerçevesinde taşkın debileri ile değişebilecek su seviyeleri belirlenmiş ve taşkın alanlarını hesaplamıştır. Avcı ve Ünsal (2023), 2021 yılında Kastamonu-Bozkurt'ta meydana gelen taşkın afeti havza morfometrik parametreleriyle değerlendirmiştir. Akkuş vd. (2023), Ankara İli Nallıhan İlçesi Yazılıkaya deresi dere içi ıslah çalışmasında elde edilen veriler (dere haritaları, debileri ve sanat yapısı en kesitleri) ve DSİ Sentetik Yöntemi ile  $Q_{10}$  ve  $Q_{100}$  debi değerlerini kullanarak HEC-RAS programı yardımıyla Yazılıkaya deresinde iki boyutlu sel modellemesini yapmıştır.

Bu çalışmada, Amanos Dağları'nın orta kesiminde (Orta Amanoslar), Hatay'ın Kırıkhan ilçesi sınırları içerisinde yer alan Delibekirli Havzası araştırma sahası olarak belirlenmiştir. Delibekirli havzasında geçmişte birçok büyük taşkın meydana gelmiş özellikle de 2014 ve 2015'te yaşanan taşkınlarda, kamu ve özel mülkiyetlerde büyük zararlar ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı CBS teknikleri ve HEC-RAS yazılımını birlikte kullanarak Delibekirli Havzası'nda yer alan Karataş Deresi'nin olası taşkınlığını (2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık tekerrürlü taşkın debileri) modelleyerek planlama hususuna ve literatüre katkı sunmaktır. Böylece, çalışma sonucunda elde edilecek taşkın su seviyesi ve taşkın yayılım alanlarına ait bilgilerin, bölgede meydana gelecek muhtemel taşkın risklerinin azaltılmasına önemli katkılar sağlanması beklenmektedir.

## 2. Materyal ve Yöntem

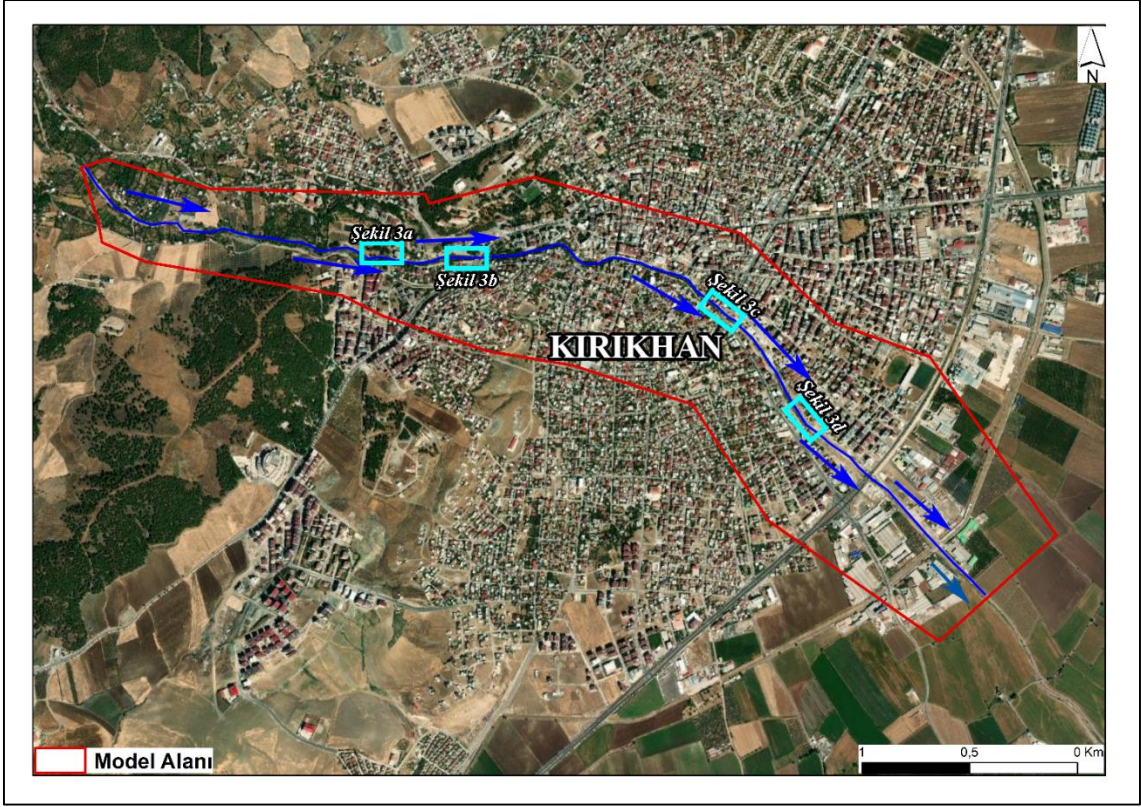
### 2.1. Çalışma Alanı

Delibekirli Havzası; Akdeniz Bölgesi'nde, Amanos Dağları'nın orta kesiminde (Orta Amanoslar), idari olarak Hatay'ın Kırıkhan İlçesi sınırları içerisinde yer almaktadır. Küresel Konumlama Sistemi'ne göre;  $36^{\circ} 36' 48''$  -  $36^{\circ} 29' 51''$  Kuzey enlemleri ile  $36^{\circ} 18' 32''$  -  $36^{\circ} 21' 10''$  Doğu boylamları arasında yer alan çalışma sahası,  $52 \text{ km}^2$  alana sahiptir. En alçak ve en yüksek noktaları arası 1625 m (en alçak: 170 m, en yüksek: 1795 m)'lik yükselti farkına sahip çalışma sahasının en batıdaki su bölümü çizgisini Amanos Dağları (Daz T. 1795 m), kuzeyini İskenderun, doğu ve güneydoğusunu Kırıkhan ve güneybatısını ise Belen oluşturmaktadır. Aynı zamanda kuzeyde Tilkili Tepe (1572 m), batıda Daz Tepe (1795 m) ve doğuda Ardıçlı Tepe (1079 m) yer almaktadır. Havzanın K-G eksenine Zeytin Tepesi ile Tilkili Tepe arasında uzanıp, bu ekseninde 13 km uzunluğa sahip iken; D-B ekseninde ise Ardıçlı Tepe ile Daz Tepesi arasında 6 km uzunluğa sahiptir (Şekil 1).



Şekil 1: Çalışma sahasının lokasyon haritası

Karataş Deresi, sahanın kuzeyinde Tilkili Tepe (1572m) yakınlarından genç vadi içerisinde akışına başlayarak çevresindeki tüm akarsu kollarını da bünyesine alır ve güneye doğru yönelir. Çamseki mevkiinden itibaren ise ova özelliği gösteren jeomorfolojik birimde akışına devam eder. Delibekirli Havzası'nda yer alan Karataş Deresi, genel hatlarıyla havza için yerel taban seviyesi özelliğini oluşturur. Böylece yerel taban seviyesini oluşturan bu akarsuyun, yüksek dağlarla çevrili olması ve havza sınırlarının bu yükseltilere takiben oluşması açısından, hidrolojik-jeomorfolojik sınırlar arasında bir tutarlılık ön plana çıkmaktadır. Diğer taraftan akarsu, Karataş mevkiine kadar kendisine katılan küçük kollarla beraber kendi oluşturduğu doğal yatağında akarken bu mevkiden sonra yapay bir kanal içerisinde akışını sürdürmektedir. Bu kesimde 2021 yılı nüfusu 119,254 olan (Türkiye İstatistik Kurumu, 2022), Kırıkhan ilçe merkezinin üzerinde kurulu olduğu birikinti yelpazesini boydan boya kat eden akarsu kanalı, Kırıkhan-Antakya karayolundan doğusunda Karasu Çayı ile birleşir (Şekil 2-3).

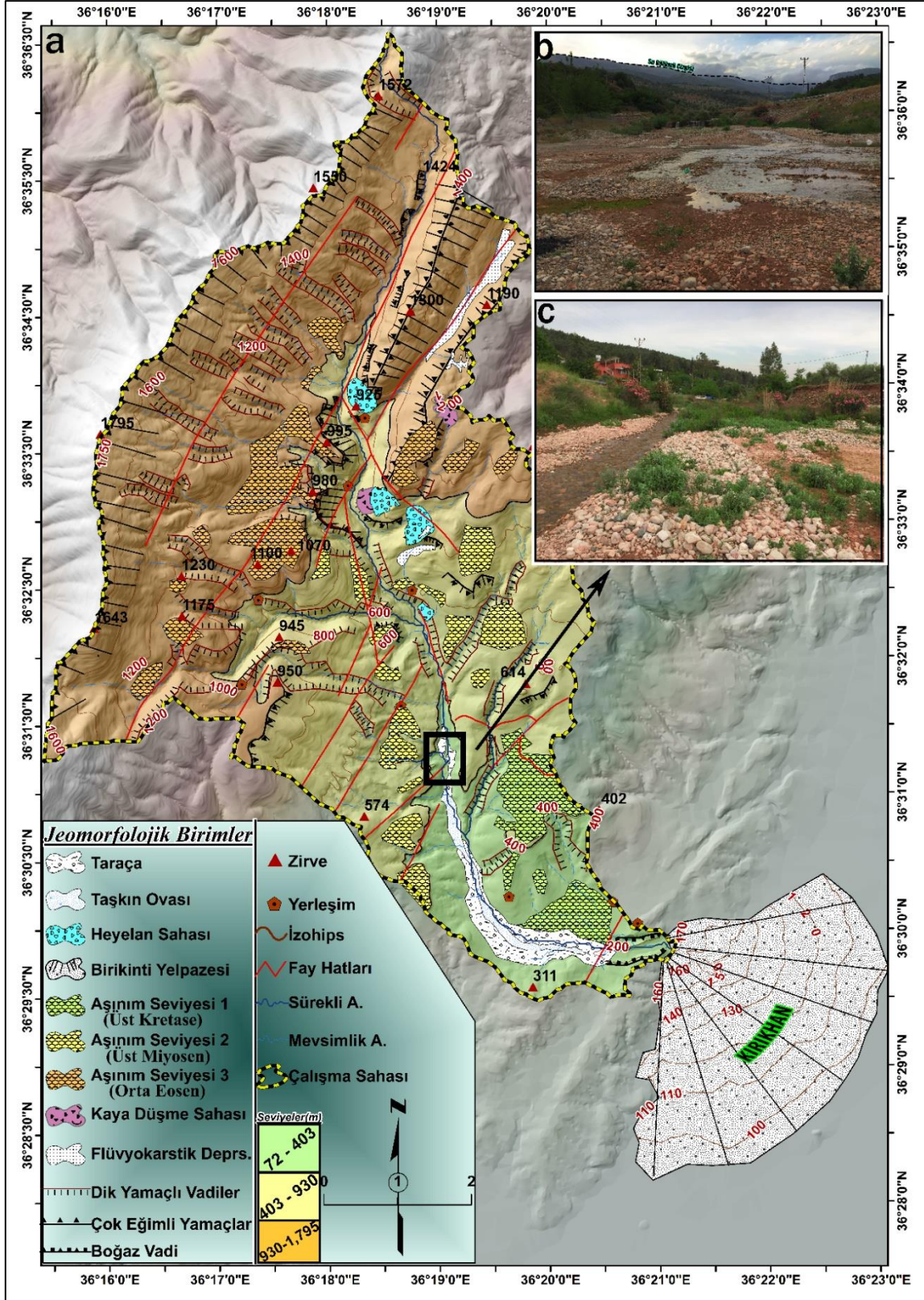


Şekil 2: Model alanı uydu görüntüsü (Google Earth Pro, 2023)



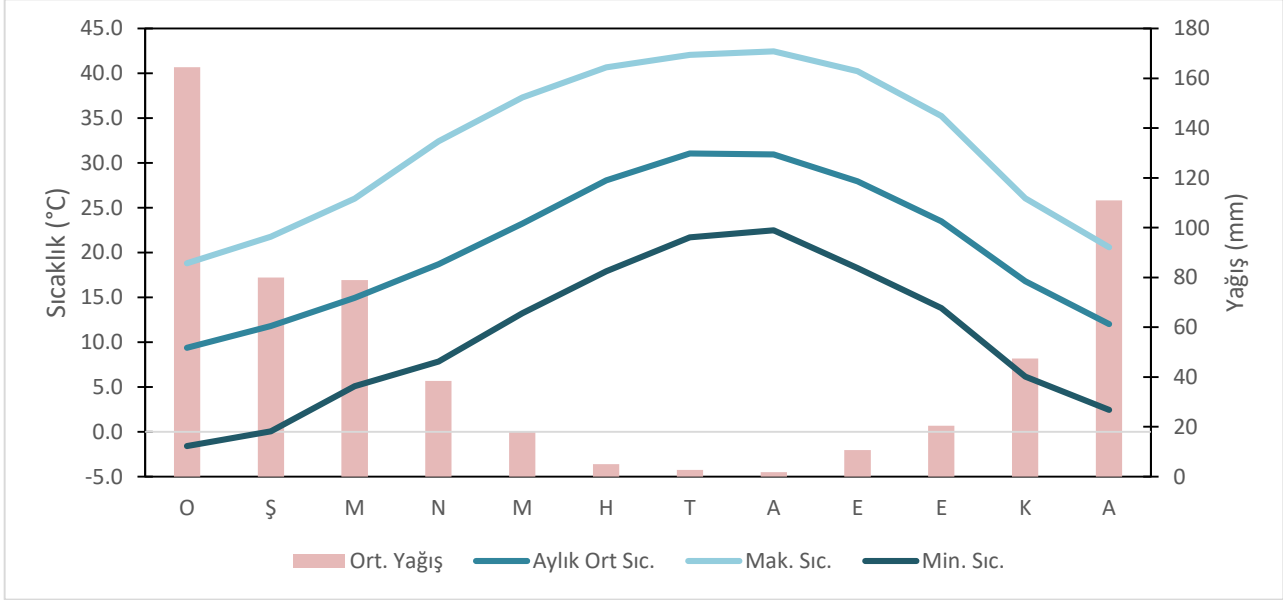
Şekil 3: a) Havzadaki ana akarsuyun doğal yatağı, b) kanalla buluştuğu nokta ve c-d) kanal yapısının drone görüntüsü (oklar akarsu yatağını/kanalı göstermektedir) (Lokasyon: 36°29'49.56"K - 36°21'11.47"D)

Delibekirli Havzası jeomorfolojik manada genel olarak dağ, vadi, taraça, taşkın ovası ve iç içe basamak şeklinde 3 farklı aşınım yüzeyinden oluşmaktadır. Havzadaki tektonik süreçler aktif olarak etkinliklerini sürdürüp yükselmeye sebebiyet verirken bir yandan da flüvyal süreçler etkinliklerini sürdürmektedir (Bozdoğan & Canpolat, 2022). Etkinliklerini sürdüren flüvyal süreçler de havzada vadi ve yamaç gibi aşınım, birikinti yelpazesi ve sedimanter depolar gibi aşınım şekillerini oluşturmuştur (Şekil 4).



Şekil 4: Jeomorfoloji haritası

Çalışma sahası, genel anlamıyla yaz sıcaklıklarının belirgin olarak yüksek; kış yağışlarının ara ara şiddetli görüldüğü Akdeniz iklim tipinin klimatik özelliklerini taşımaktadır. Yazın büyük oranda Basra alçak basıncının etkisinde olan çalışma sahası ve yakın çevresi, sıcak ve kuru bir yaz yaşamaktadır. Kırıkhan istasyonunun 2014-2021 arasındaki 8 yıllık verilerine göre aylık maksimum sıcaklık 2017 yılının temmuz ayında (46°C); minimum sıcaklık 2015 yılının ocak ayında gerçekleşmiştir (-12,7°C). İstasyonun 8 yıllık ortalama değerleri incelendiğinde, en düşük ortalama sıcaklık değeri ocak ayında (9,4°C); en yüksek ortalama sıcaklık değeri temmuz ayında görülürken (31,1°C); istasyonun ortalama sıcaklık değeri ise 21,1 °C' dir (Şekil 6). Çalışma sahasında, kısa mesafede değişen yükselti değerleri ve cephe sistemleri yağış özelliklerini etkilemektedir (Bozdoğan & Canpolat, 2023). Tropikal ve polar hava kütlelerinin Akdeniz üzerinde karşılaşması, çalışma sahası ve yakın çevresinde cephesel yağışların meydana gelmesine neden olurken bu yağışlar genellikle yağmur karakterinde olup yağışın çok büyük bölümü kış aylarında gerçekleşmektedir. Kırıkhan istasyonunda yıllık yağış miktarı 579 mm' dir (Şekil 5).



Şekil 5: Kırıkhan istasyonunun 2014-2021 yılları arasındaki sıcaklık ve yağış grafiği (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

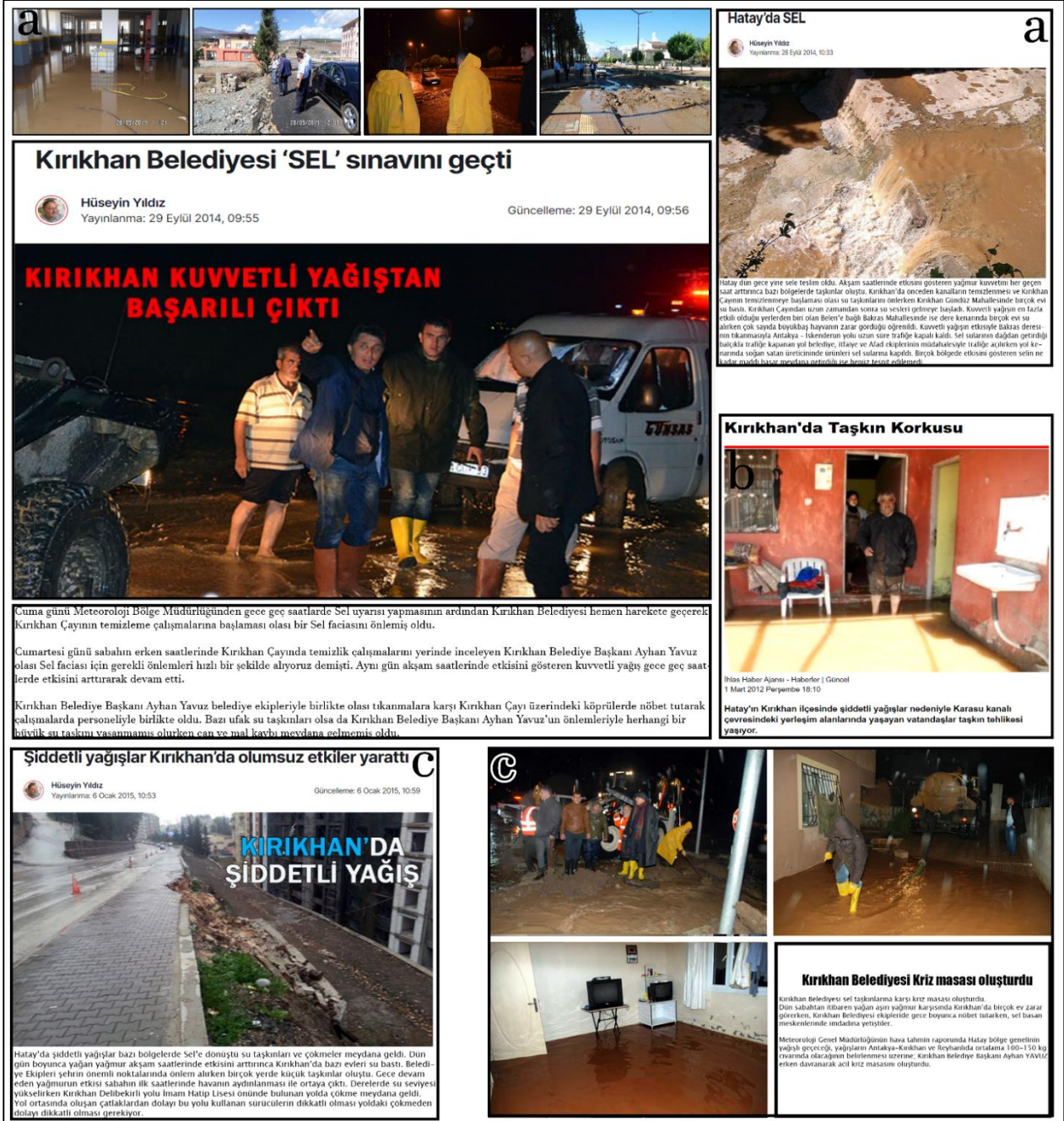
Sıcaklık ve yağış verilerinin temel alınarak hesaplandığı Köppen ve Geiger (1954) formülüne göre çalışma sahasının iklim tipi Csa olup bu da 'Kışı ılık, yazı çok sıcak ve kurak' olan Akdeniz İklimi ile açıklanabilir. De Martonne (1942) aylık kuraklık indisine göre aralık ve ocak ayları çok nemli; Şubat ve Mart ayları nemli; Kasım ayı yarı nemli; Nisan ayı yarı kurak-nemli; Mayıs ve Ekim ayları yarı kurak; Haziran, Temmuz, Ağustos ve Eylül aylarının ise kurak geçtiği görülmektedir. Yıllık kuraklık indisi sonucu göre ise; 18,7 ile yarı kurak- nemli arası bir iklim tipi özelliği göstermektedir. Buharlaşma-nem ve su bütçesi hesabına dayanan (Yılmaz & Çiçek, 2016) Thornthwaite (1948) yöntemine göre çalışma sahası C1B'4s2b'3 değerleriyle ifade edilir. Bu da çalışma sahasının 'yarı kurak- az nemli, 4. Derece mezotermal, su fazlası kış mevsiminde ve çok kuvvetli olan, buharlaşmanın yarısından fazlası yaz ayında gerçekleşen' iklim tipinde olduğunu gösterir. Karakteristik Akdeniz iklimi görülen sahada dönem kurak periyodu takiben yaşanan şiddetli yağışlar taşınan sediman miktarını da arttırarak sel ve taşkın tehlikesine de neden olabilmektedir (Çakmak vd., 2021).

### 2.1.1. Çalışma Sahasında Daha Önce Meydana Gelmiş Olan Taşkınlar

Çalışma sahasında topraklar, kasım-aralık aylarında yağmur sularıyla doymun hale ulaşmaktadır. Bu aylardan itibaren şiddetli yağışlar ile yüzeysel akışa geçen sular yataklarından taşıp hasarlara yol açmaktadır. Fakat bazen sağanak yağışlarla beraber söz konusu yüzeysel akışlar kasım ayından önce de gerçekleşebilmektedir. Nitekim 2014 yılında taşkın eylül ayında meydana gelmiştir. İnsani müdahalelerin (yanlış arazi kullanımı) akarsu yatağı üzerindeki etkisi taşkınların oluşmasında azımsanmayacak bir etkiye sahiptir. Çalışma sahasında yapıların birçoğu vadi boyu hatta bazı kesimlerde dere yatağına kurulmuştur. Öyle ki, havzanın kuzeydoğu kesiminde yer alan Değirmendere yerleşmesi 1967 ve 1978 yıllarında sel-taşkın ve heyelanlardan dolayı Başbakanlık kararnamesi ile yer değiştirmiştir. Yine 1964 yılında aynı sebepten dolayı Delibekirli yerleşmesinin yeri değiştirilmiştir (Dinç vd., 2021; Devlet Arşivleri Başkanlığı, 2022).

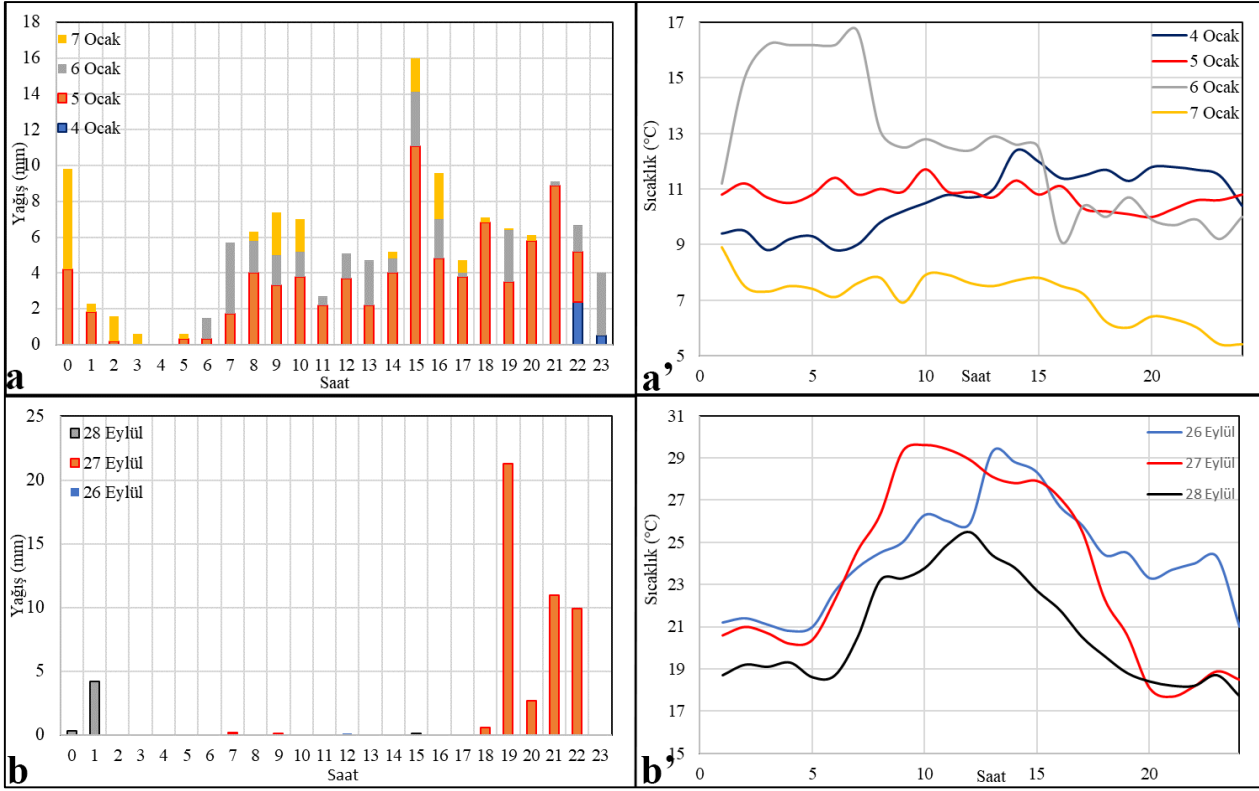
Kırıkhan istasyonu 2014 yılının eylül ayında toplamda 57,3 mm yağış almıştır. Bu yağışın %88,13'ü (50,5 mm) 26-27-28 Eylül tarihlerinde gerçekleşmiştir. Taşkın olayının gerçekleştiği 27 Eylül 2014 tarihinde ise toplamda 46 mm yağış düşmüştür. 27 Eylül saat 18.00'a kadar 0 mm değerlerinde olan yağış, saat 19.00'da ani bir şekilde 21,3 mm'ye çıkmıştır. Saat 20.00'da 2,7 mm, 21.00'da 11 mm ve 22.00'da 9,9 mm yağış alan istasyonda bu saatten sonra değerler yine 0 mm'ye düşmüştür.

27 Eylül'de gün içerisinde 20°C üzerinde olan sıcaklık değerleri yağışın başladığı saatte (19.00) 18°C'ye düşmüştür (Şekil 6). Çok yakın tarihlerde Amanosların batısındaki Erzin ilçesi Ilıcalar mevkiinde yoğun yağış sel felaketi oluşturmuştur (Canpolat vd., 2020).



Şekil 6: Çalışma sahasında meydana gelen taşkınların basına yansımaları  
(Kaynak: a) <https://www.hatayvatan.com/kirikhan-belediyesi-selden-basarili-cikti.html>,  
b) <https://www.haberler.com/kirikhan-da-taskin-korkusu-3411054-haber/>,  
c) <https://www.hatayvatan.com/siddetli-yagi>

Karayollarında tahribatların olduğu ve birçok evi su bastığı 5 Ocak 2015' te ise yağışlar 4 Ocak saat 22.00'da başlayıp 7 Ocak'a kadar devam etmiştir. Fakat 5 Ocak'ta yağışlar neredeyse günün tüm saatlerine yayıldığı için (saat başına ortalama 3,29 mm) taşkın olayı 5 Ocak'ta gerçekleşmiştir. 5 Ocak 2015 taşkın sürecinde sıcaklıklar gün içerisinde 10°C civarında seyrini korumuştur (Şekil 7). Daha sonraki günlerde ise yüksek basınç koşullarının sahaya yerleşmesiyle sıcaklıklarda düşüş yaşanmıştır.



Şekil 7: (a-a') 5 Ocak 2015 ve (b-b') 27 Eylül 2014 tarihlerine ait saatlik yağış ve sıcaklık verileri (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 2022)

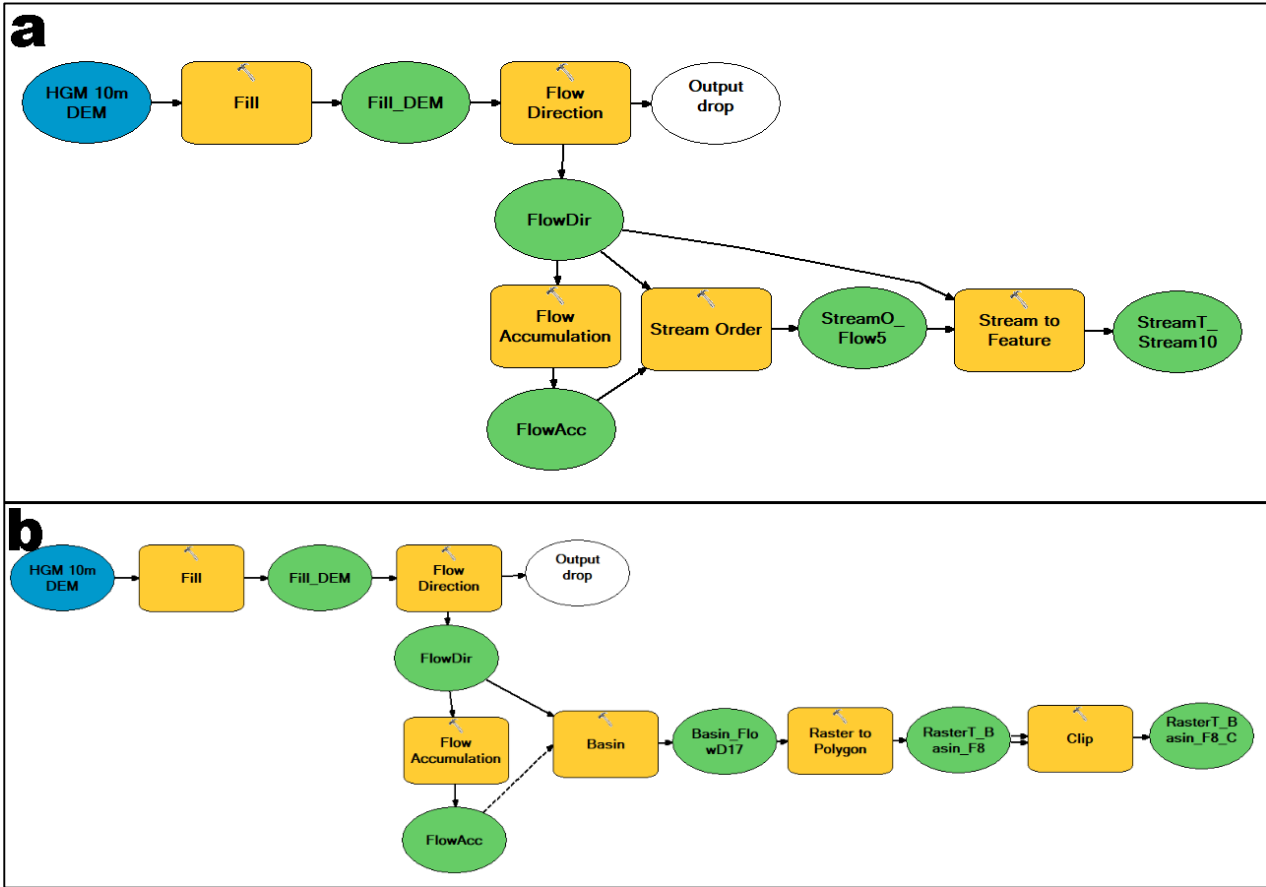
Sağanak yağışlarda yağış ile düşen su, toprak tarafından tutulmaya olanak bulmadan yüzeysel akışa geçmektedir. Dolayısıyla bu yağışlar taşkın ve erozyon riskleriyle beraber gerek yol sanat yapılarına gerekse de beşeri faaliyetlere yönelik büyük ekonomik hasarları da beraberinde getirmektedir.

Akarsulardaki taşkın debileri, gerek afetten korunma boyutunda gerekse de sanat yapılarının (köprü vs.) doğru projelendirilmesi boyutunda önem arz etmektedir (Baykal & Terzi, 2017; Bozdoğan, 2022). Öyle ki, taşkın pikinin ya da taşkın toplam hacminin önceden belirlenmesi hem mal hem de can kayıplarının önüne geçebilmektedir. Taşkınların modellenmesi-tahmin edilmesi ve taşkın dönüş aralığının hesaplanabilmesi için yeterli ölçümlerin olması şarttır. Yeterli ölçümlerin bulunmadığı derelerde ise taşkın yinelenme aralığı için deterministik (D.S.İ. Sentetik, Mockus) ve istatistik (Log-Normal Dağılım, Pearson Dağılımı, Log-Pearson tip III, Normal Dağılım, Gumbel Dağılımı) yöntemlere başvurulmuş taşkın debisi belirli zamanlar için projelendirilebilmektedir. (Batur & Maktav, 2012; Çelik vd., 2014; Baykal & Terzi, 2017; Demir & Ülke Keskin, 2022; Özdemir & Akbaş, 2023). Gerekli istatistiksel analizlerle, akarsu gözlem istasyonlarının (AGİ) ölçmüş olduğu akış yükseklikleri ve akarsu pik debisi sayesinde farklı dönüş aralıklı taşkın debileri hesaplanabilmektedir.

## 2.2. Havza Alanının Tespiti

Çalışmanın amacı ve kapsamı doğrultusunda altlık veri olarak Harita Genel Müdürlüğü (HGM)'nce üretilen 1/25.000 ölçekli Hatay O36c3, O36c4, P36b1, P36b2 topografik haritaları kullanılıp bu verilerden havza ve alt havzaları tespit etmek amacıyla hidrolojik analizler yapılmıştır. Çalışma sahası için kullanılacak olan Sayısal Yükselti Modeli (SYM) verisi, hem havza sınırlarının belirlenmesinde hem de akarsu ağının üretilmesinde kullanılacağından bu verinin çözünürlüğü iyi olması gerekmektedir. Düşük çözünürlüklü SYM verisinden üretilecek olan akarsu ağlarında yanlış drenaj deseni oluşmaktadır. Fakat çözünürlüğü her ne kadar yüksek olursa olsun, SYM verilerinin kendi içerisinde sistematik veya rasgele hatalar bulunabilir. Bu hatalar, uygulanacak olan analizleri olumsuz etkileyip yanlış sonuçlara sebebiyet vereceğinden, bu hataların işlem öncesi giderilmesi gerekmektedir. Gerçekte SYM verisinde olmayan boşluklar (sink), çöküntüler, depresyonlar ve yükseltmeler (peak), en çok karşılaşılan hataları oluşturmaktadır. Bu boşluk (sill) ve yükseltmeler (peak) hangi ölçüde giderilirse, üretilecek olan drenaj ağı ve havza sınırları o ölçüde gerçeğe yakın olur. Bu sebeplerden dolayı, çalışma sahasında uygulanacak olan analizlerin doğru sonuç verebilmesi için, öncelikle SYM verisi fill işleminden geçirilmiştir. İkinci aşama olarak; fill işleminden geçirilen SYM verisinden drenaj ağı elde edilir (Şekil 8a). SYM kullanılarak otomatik olarak drenaj ağı formunu elde eden birçok algoritma (D8, Rho8, FD8, MFD, D-inf ve SYMON) bulunmaktadır (Tribe, 1992; Tarboton, 1997; Wilson vd., 2007; Öztürk & Kılıç, 2013). 8 yönlü akış algoritması olarak adlandırılan D8 modeli, hidroloji çalışmalarında sıklıkla kullanılan bir modeldir.

Akarsuyun akış yönlerini (flow direction) bulmak için bu model kullanılmaktadır. Bu model esas olarak piksel tabanlı çalışır. Piksellerdeki  $x;3 y;3$  düzlemi içerisinde kalan orijin noktası veya alanını su olarak kabul eder. Topoğrafik unsurları da (eğim, yükselti vs) hesaba katarak akış işlemi sürdüreceğinden dolayı bu piksellere en az 1 en fazla 128 olmak üzere yön kodları atar (Özdemir, 2007). Şöyle ki; SYM verisi üzerinden hesaplanan 8 hücreyi göz önünde bulundurarak, bu 8 hücre içerisinde eğimin en fazla olduğu hücreye doğru doğal akışı gerçekleştirecektir. Çalışmada düzeltilmiş SYM verisinden, D8 metodu kullanılarak doğal akış yönleri ve havza sınırları belirlenmiştir. D8 metodu; her bir hücre için akış yönleri (1), bu akış yönlerini girdi verisi olarak doğal akış (2), drenaj ağı (3), havza ile alt havzalar (4) olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmektedir. Çalışma sahasında yer alan mevcut yüzey sularının buharlaşma ve sızmadan doğacak olan kaybı göz ardı edilerek, bu suların tamamen akışa geçtiğini varsayan ve sahadaki maksimum akışı ortaya çıkaran akım toplamı (flow accumulation) aracı çalıştırılır. Sonraki aşamada ise; bu veriler girdi verisi olarak kullanılmak suretiyle akarsu ağı ortaya çıkarılır (Canpolat & Bozdoğan, 2019). Sayısal yükselti modeli tabanlı akarsu ağı ve niteliklerinin ortaya çıkarılmasında Strahler yöntemi kullanılmıştır. Strahler yöntemine göre yan kol olmayıp, küçük bile olsa akışa sahip olan bölüm 1. dizin olarak belirlenmiştir. İki tane 1. dizin birleştiğinde 2. dizini, iki tane 2. dizin birleştiğinde 3. dizini oluşturacak şekilde sıralama devam eder. Burada dikkat edilecek kısım iki eşdeğer dizinin birleşerek bir diğer dizini meydana getirdiğidir (Özdemir, 2011). Akış toplamı (flow accumulation) ve akış yönleri (flow direction) modelleriyle havza sınırları (basin) bulunabilir (Şekil 8b). Flow accumulation üzerindeki maksimum piksel değeri, havzadaki maksimum çıkış noktasını temsil etmektedir. Flow direction, bu çıkış noktasını (snap pour point) temel olarak hücrelere göre havzaya dış sınır tanımlar. Bu nokta yeri değiştirilerek alt havza analizleri yapılabilmektedir (Jenson & Domingue, 1988; Akkaya vd., 2004). Çalışma kapsamında havza alanının belirlenmesi ve SYM verisindeki hücre bazlı akış yönlerinin tespitinde ArcGIS 10.5 yazılımındaki hidroloji aracından yararlanılmıştır.



Şekil 8: a) Akarsu ağı ve b) havza sınırları çıkarım modelleri

### 2.3. Yağış Verilerinin Dağılımı

Çalışmaya yönelik, Kırıkhan Meteoroloji İstasyonu (Enlem: 36,4917 Boylam: 36,3444)'nun standart zamanlardaki maksimum yağış değerleri temin edilmiş ve bu değerlere farklı olasılık dağılımları uygulanmıştır (Tablo 1). Çoğu rastgele değişken özelliği gösteren hidrolojik büyüklüklerin bu durumu kararsız yağışlardan kaynaklanmaktadır. Çalışma sahasının uzun yıllık ekstrem yağış değerlerinin olması nedeniyle yağışlara istatistiksel formüller uygulanmış ve proje süreli ekstrem yağışlar elde edilmiştir.

Bu istatistiki formüller; literatürde en çok tercih edilen Gumbel, Gama Tip-3, Normal Dağılım, Log-Pearson Tip-3 ve Log- Normal dağılım olasılıkları formülleridir (Baykal & Terzi, 2017). Bu olasılık formülleri kullanılarak farklı yinelenme yıllarına ait (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000) yağış değerleri elde edilmiştir.

Tablo 1: Dağılımların istatistiksel değişkenleri

Yıl Sayısı	47
Lineer Çarpıklık Katsayısı	1
Logaritmik Çarpıklık Katsayısı	0.49
Lineer Ortalama	49.2
Lineer Standart Sapma	13.4
Logaritmik Ortalama	1.68
Logaritmik Standart Sapma	0.11

#### 2.4. İstatistiksel Testler- Kolmogrov Smirnov (K-S) Testi

Dağılım fonksiyonlarının, mevcut verilerle istatistiksel açıdan en çok uyum gösteren değerlerin oluşturulmasında L Moment, Olasılık Çizgisi, Kolmogrov-Smirnov (K-S) Testi, Anderson Darling diyagramları kullanılmaktadır. Kolmogrov-Smirnov yönteminde temel alınan veriler  $n F^*(x_i)$  ve bu verilere yönelik tercih edilen dağılımın verdiği  $F(x_i)$  değerlerinin arasındaki en büyük farkın mutlak değeri alınır.  $\alpha$  anlamlılık düzeyi ve veri sayısı tabloya göre belirlenir. Gözlenen  $\Delta$  değeri ile tablodan elde edilen  $\Delta\alpha$  değeri karşılaştırılır (Tablo 2). Sonuç olarak  $\Delta > \Delta\alpha$  ise, anlamlılık düzeyi açısından dağılım ret edilir.  $\Delta < \Delta\alpha$  ise dağılım kabul edilir (Yevjevich, 1972). Test, aşağıdaki gibi formülize edilir (Denklem 1).

$$\text{Max } \Delta = |F^*(x_i) - F(x_i)| \quad (1)$$

Formülde;

$X_i$ : İstasyon verileridir ve  $F^*(x_i) = i/N$  denkleminde hesaplanmaktadır.

$i$ : Sıra sayısı

$N$ : Toplam veri

$F(x_i)$ : Kümülatif olasılık dağılım değeri

Tablo 2: K-S Testinin  $\Delta\alpha$  değerleri

Veri Sayısı (n)	Anlamlılık Düzeyleri ( $\alpha$ )			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,57
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
50>	$1,07/\sqrt{n}$	$1,22/\sqrt{n}$	$1,36/\sqrt{n}$	$1,63/\sqrt{n}$

#### 2.5. Taşkın Debinin Proje Hesabı

Tekerrürlü debi hesaplamaları 2 farklı yöntemle (istatistiki ve deterministik) yapılabilmektedir (Çelik, 2012). Proje debisini istatistiksel yöntemle hesaplayabilmek için hedef sahaya ait uzun yıllık akım gözlem verisine ihtiyaç duyulmaktadır (Özdemir, 1978).

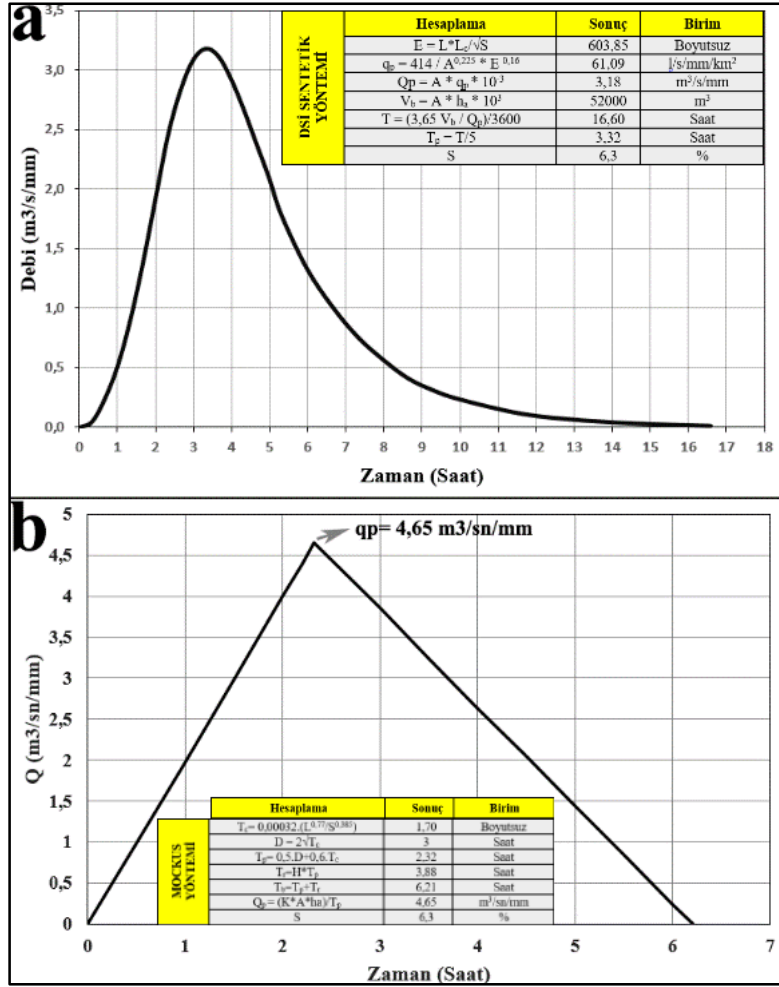
Çalışma sahasına ait uzun yıllık akım gözlem verileri olmadığından; bu çalışmada deterministik yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemlerin kullanım şartları (Tablo 4), harmonik eğim hesapları (Tablo 5) ve birim hidrografı (Şekil 10) aşağıda verilmiştir.

Tablo 4: Yöntemlerin kullanım şartları (Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, 2023)

Deterministik Yöntemler	Kullanım Şartları
Mockus Yöntemi	$A \leq 1000 \text{ km}^2$ $T_c < 30 \text{ sa}$
DSİ Sentetik Yöntemi	$A \leq 1000 \text{ km}^2$ $T_p < 2 \text{ sa}$
Snyder Yöntemi	$A > 1000 \text{ km}^2$
Rasyonel Yöntem	$A < 0,5 \text{ km}^2$ şehir alan $A < 1,0 \text{ km}^2$ kırsal alan

Tablo 5: Havzanın Harmonik Eğim (S) Değerleri

Sıra No	H(m)	h(m)	$l = L / 10 \text{ (m)}$	$\sqrt{l/h}$
0	167	0		
1	220	53		5,71
2	290	70		4,97
3	350	60		5,37
4	440	90	1730,3	4,38
5	600	160		3,29
6	750	150		3,40
7	881	131		3,63
8	1020	139		3,53
9	1197	177		3,13
10	1525	328		2,30
	1358	1358	$S \ 1/S^{1/2}$	39,71



Şekil 10: a) DSI Sentetik ve b) Mockus metoduna göre çalışma sahasının birim hidrograf grafikleri

Yöntemlerin içerdikleri şartlardan dolayı (Tablo 4) çalışma sahasının proje debi hesabı için Mockus (Chow, 1964) yöntemi tercih edilmiştir. Bu yöntem için havzanın bitki örtüsü, drenaj alanının karakteristik özelliği ve jeolojik yapısına bağlı olarak Denklem 2, 3 ve 4 kullanılarak eğri numarası (CN) (Chow, 1964) belirlenmiştir.

$$CNII = \frac{\sum_{i=1}^n (CN_i * A_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2)$$

$$CNI = \frac{(4.2 * CNII)}{(10 - 0.058 * CNII)} \quad (3)$$

$$CNIII = \frac{(23 * CNII)}{(10 + 0.13 * CNII)} \quad (4)$$

Eğri numaralarına ait yukarıdaki formüller çalışma sahasının ilgili verilerine uygulandığında CN II: 73, CN I: 53,2 CN III: 86,1 değerleri bulunmuştur. Çalışma sahasının AMC (Antecedent Moisture Condition) durumuna göre CN II değeri temel alınmıştır.

## 2.6. Pürüzlülük Katsayısı

Taşkın alanlarının yönetiminde, taşkın sigortası çalışmalarında ve taşkın yataklarındaki köprü ve otoyolların tasarımında hidrolik hesaplamalar ve taşma akışlarına karşı direnci temsil eden pürüzlülük katsayılarına ihtiyaç duyulmaktadır (Schneider & Arcement, 1984; Demir & Keskin, 2019). Hidrolik hesaplarında kullanılan en önemli yaklaşımlardan birisi Manning yöntemidir. Yöntem, İrlandalı mühendis olan Robert MANNING tarafından 1889 yılında yayınlanmış ve günümüzde de yaygın olarak kullanılmaktadır (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2016; Demir & Keskin, 2019).

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} J^{1/2} A \quad (5)$$

Manning formülünde  $Q$ = debi ( $m^3/s$ ),  $A$ = akım alanı ( $m^2$ ),  $R$ = hidrolik yarıçap,  $m$  (akım alanının, akım kesitinde suyun temas ettiği yüzey uzunluğuna oranıdır),  $J$ = taban eğimi ve  $n$  ise akışa karşı direnci temsil eden pürüzlülük katsayısıdır (Demir & Keskin, 2019). Pürüzlülük katsayısı ( $n$ ), özellikle doğal dere yataklarında fiziksel olarak ölçülebilen bir katsayı olmayıp, farklı kriterlere göre ampirik olarak belirlenmektedir ve dere yataklarında akışı etkileyen en önemli parametredir. Bu parametrenin değişimi hidrolik hesaplamaların sonucunu doğrudan etkilemektedir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2016; Demir & Keskin, 2019). Yapay ve doğal kanalların hızı ve debisi belirlenirken kanal en kesitinin “ $R$ ” hidrolik yarıçapı ve kanal eğimi bulunur. Sonrasında Manning “ $n$ ” katsayısı seçilerek hesaplar yapılır. Yapay kanallarda bu seçim nispeten kolaydır. Kanal kaplamasına bağlı olarak alışlagelen değerlerden biri seçilebilir. Doğal akarsu ve derelerin hız ve debisini bulurken de aynı şekilde bir  $n$  katsayısı seçilir. Pürüzlülük katsayısının seçimi, seçimi yapan araştırmacının bilgi, deneyim ve öngörme yetisine bağlıdır. “ $n$ ” katsayısı; araştırılan yüzeyin pürüzlülük özelliklerine, bitki örtüsüne, kanal boyunca kesitin şekil ve boyut değişimlerine, eğrilğine veya kıvrımlarına göre değişmektedir. Ayrıca nehir üzerine inşa edilen yapıların sayısına, şekline ve büyüklüğüne göre (köprü ayağı, bağlama vb.), kesitteki su seviyesine, debiye ve bitki örtüsünün mevsimsel (zamansal) farklılaşmalarına göre de değişmektedir (Bulu & Yılmaz, 2002; Demir & Keskin, 2019).

Literatürde “Cowan's Method for Estimating Roughness” olarak geçen Cowan metodu pürüzlülük katsayısı belirlenmesinde en çok kullanılan metottur (Duvan, 2016). En ideal pürüzlülük katsayısına ulaşabilmek amacıyla kullanılan Cowan formülü (Denklem 6) aşağıda görülmektedir.

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m \quad (6)$$

Denklemden;  $n_b$ : Genel  $n$  değeri,  $n_1$ : Kanal düzensizliği katsayısı,  $n_2$ : Şekil değişim katsayısı,  $n_3$ : Engel düzeltme faktörü,  $n_4$ : Bitki örtüsü faktörü,  $m$ : Kıvrım(menderes) faktörü olarak ifade edilir (Cowan, 1956). Ülkemizde ve DSİ taşkın tasarımlarında bu metodu kullanmakta olup (Duvan, 2016) kullanılacak olan pürüzlülük katsayıları Tablo 6’de verilmiştir.

Tablo 6: DSİ tarafından önerilmiş pürüzlülük katsayıları (Duvan, 2016)

Yataktaki Malzeme Cinsi	Beton	Ortalama Dane Çapı (mm)	-	$n_b$	0.012- 0.018	
	Kaya		-		-	
	Sert Toprak		-		0.025- 0.032	
	İri Kum		1-2		0.026- 0.035	
	İnce Çakıl		-		-	
	Çakıl		2-64		0.028- 0.035	
	İri Çakıl		-		-	
	İri Taş		64-256		0.030- 0.050	
	Yumru Kaya		>256		0.040- 0.070	
Kanal Şev Durumu	Pürüzsüz	İstifli Taş Tahkimat	-	$n_1$	0.000	
	Beton Duvar		-		0.003	
	Önemsiz		Taş Duvar		-	0.005
	Orta		Ağaçsız Yamaç		-	0.008
	Şiddetli		Ağaçlı Yamaç		-	0.01
	Şiddetli		Ağaçlı Yamaç		-	0.015
Kanal Kesit Değişimi	Aşamalı	Engel/Kesit Alanı x 100	-	$n_2$	0.000	
	Ara Sıra Değişen		-		0.005	
	Sık Değişen		-		0.010-0.015	
Kanaldaki Engeller	İhmal Edilebilir	Engel/Kesit Alanı x 100	< %5	$n_3$	0.000	
	Önemsiz		<%5-15		0.010- 0.015	
	Kayda Değer		% 15-50		0.020- 0.030	
	Şiddetli		>%50		0.040- 0.060	
Kanal Bitki Örtüsü	Düşük	Dere Uzunluğu/Kuş Uçuşu Uzunluk	01.01.2002	$n_4$	0.005- 0.010	
	Orta		1.2-1.5		0.010- 0.025	
	Yüksek		>1.5		0.025- 0.050	
	Çok Yüksek		>1.5		0.050- 0.100	
Kanal Kıvrımı	Önemsiz	Dere Uzunluğu/Kuş Uçuşu Uzunluk	01.01.2002	$m$	1.000	
	Kayda Değer		1.2-1.5		1.150	
	Şiddetli		>1.5		1.300	

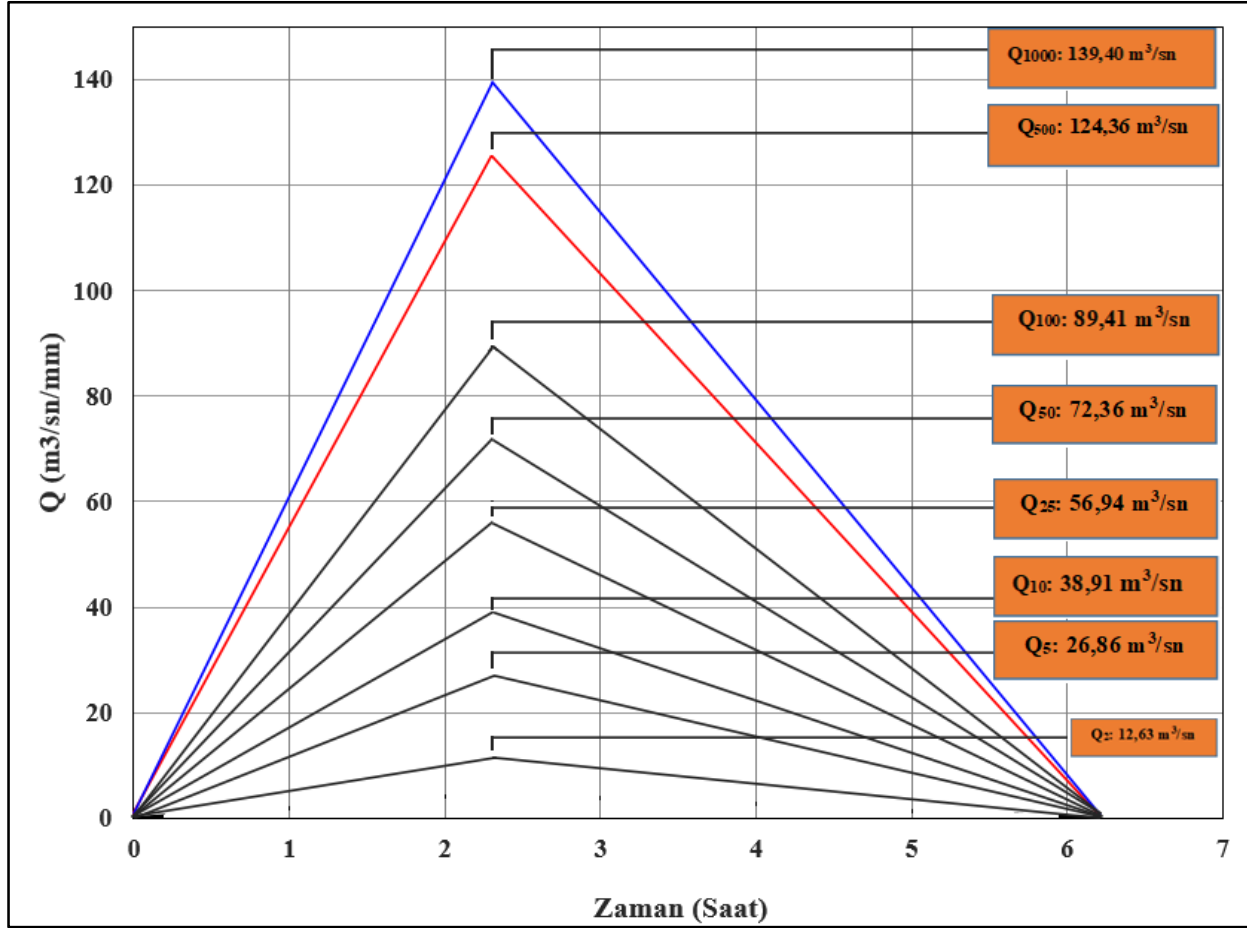
Çalışma alanının pürüzlülük katsayısı belirlenirken Cowan metodu kullanılmıştır. Cowan metodundaki katsayılar için, DSI pürüzlülük katsayılarından faydalanılmıştır. Bu amaçla, arazi ölçümleri sırasında gözlemler yapılmış ve gerçeğe en yakın değere ulaşılacak hedeflenmiştir. Bu kapsamda ilgili kriterler dikkate alındığında çalışma sahasının pürüzlülük katsayısı 0.05 olarak belirlenmiştir.

Tablo 7: Mockus yöntemi için kullanılan parametreler ve tekerrürlü taşkın debileri

Süperpozisiz Mockus	T (Saat)	3	2	5	10	25	50	100	500	1000
	%		1							
MF		1,13								
YADK		0,948								
PLV		0,741								
Son Çarpım		0,794								
	$Q_p$ ( $m^3/sn$ )		12,63	26,86	38,91	56,94	72,36	89,41	124,36	139,40

T: Zaman, MF: Maksimize faktörü, YADK: Yağış alan dağılım katsayısı, PLV: Plüviyograf

Mockus yöntemine göre çalışma sahasının 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık taşkın debilerinin Birim Hidrografi Şekil 11’de verilmiştir (Şekil 11).



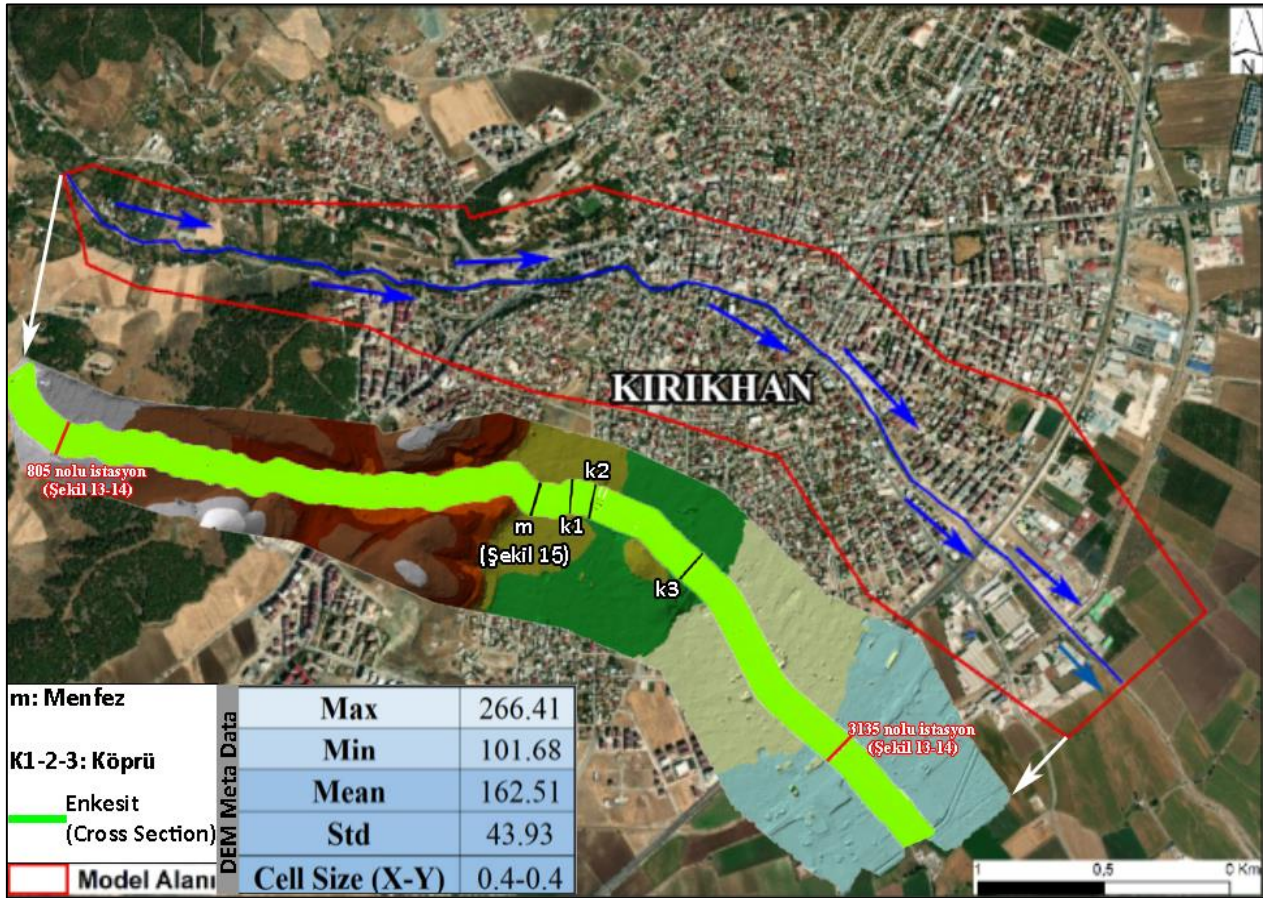
Şekil 11: Çalışma sahasının 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık taşkın debilerinin birim hidrografi

## 2.7. HEC-RAS ile Taşkın Alanlarının Belirlenmesi

Farklı tekerrür aralıkları için olası taşkın debileri hesaplandıktan sonra taşkın senaryo haritaları üretilebilmektedir. Amerikan Hidrolojik Mühendislik Merkezi tarafından geliştirilmiş olan ve bu tür modellemelere yönelik yaygın bir şekilde kullanılan HEC-RAS ile 1D benzetimler yapılabilmektedir.

Bu benzetimlerle çeşitli senaryolarla akarsulara ait su yükseklikleri bulunabilir. Bu senaryolara dayalı olarak taşkın planlamaları yapılabilmektedir. Bu yazılımdaki proje dosyası; geometrik ve plan verisi, kararlı (zamanla değişmeyen, steady flow) ve kararsız (zamanla değişen, unsteady flow) ve yarı kararlı akım verisi, su kalitesi, sediment ve tasarımsal hidrolik verisidir (US Army Corps of Engineers, 2022; Özdemir, 2007). Bu kapsamda ArcGIS, HEC-RAS ve HEC-GeoRAS koordineli bir şekilde çalıştırılarak taşkın risk bölgeleri modellenmiştir.

SYM verisinin yüksek çözünürlüklü olması durumunda, HEC-RAS yazılımında yapılacak olan benzetim modeli daha sağlıklı sonuç vermektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak çalışma sahasında taşkın riskinin olduğu sahalara ait Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'ndan hassas çözünürlüklü (X: 0.4, Y: 0.4 m) SYM verisi temin edilmiştir. HEC-RAS için gerekli olan geometrik verilerin hazırlık aşamasında bu SYM verisinden ilgili veriler (eş yükselti eğrileri, düzensiz üçgenleme ağı vb.) üretilmiştir. Bu veriler altlık veri olarak kullanılmak suretiyle dere aksı, akış hatları, taşkın yatağı belirlenmiş; arazide ölçümü yapılan menfez ve köprüler çizilmiştir. Bu geometrik verilerin üzerine, enkesit sıklığı ve sayısı arttıkça modelin taşkın alanlarını daha iyi tanımladığından dolayı sisteme (membadan mansaba) akış hatları ve taşkın yatağı göz önünde bulundurularak 150 metre genişliğinde 5'er metre aralıklarla 1020 adet enkesit (cross-section) tanımlanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12: Modellenen alanın topoğrafik görünümü ve modellemede kullanılan yüksek çözünürlüklü sayısal yükseklik modeli

Yazılıma tanımlanan birkaç enkesit (cross-section) hattının geometrik görüntüsü şekilde verilmiştir. Çalışma sahasının geometrik verileri düzenlendikten sonra Mockus yöntemiyle elde edilen  $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$ ,  $Q_{500}$  ve  $Q_{1000}$  taşkın debileri kararlı akım (steady flow) şeklinde programa aktarılmıştır.

### 3. Bulgular

Yağış verileri istatistiksel yöntemlere göre literatürde tercih edilen Gumbel, Gama Tip-3, Normal Dağılım, Log-Pearson Tip-3 ve Log- Normal dağılım olasılıkları formüllerine göre hesaplanmıştır. Böylece farklı yinelenme yıllarına ait (2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000) yağış değerleri elde edilmiştir (Tablo 8).

Tablo 8: Kırıkhan meteoroloji istasyonunda gözlenen yağış verilerinin istatistiksel yöntemlere göre 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık yinelenmeli yağış yükseklikleri (mm)

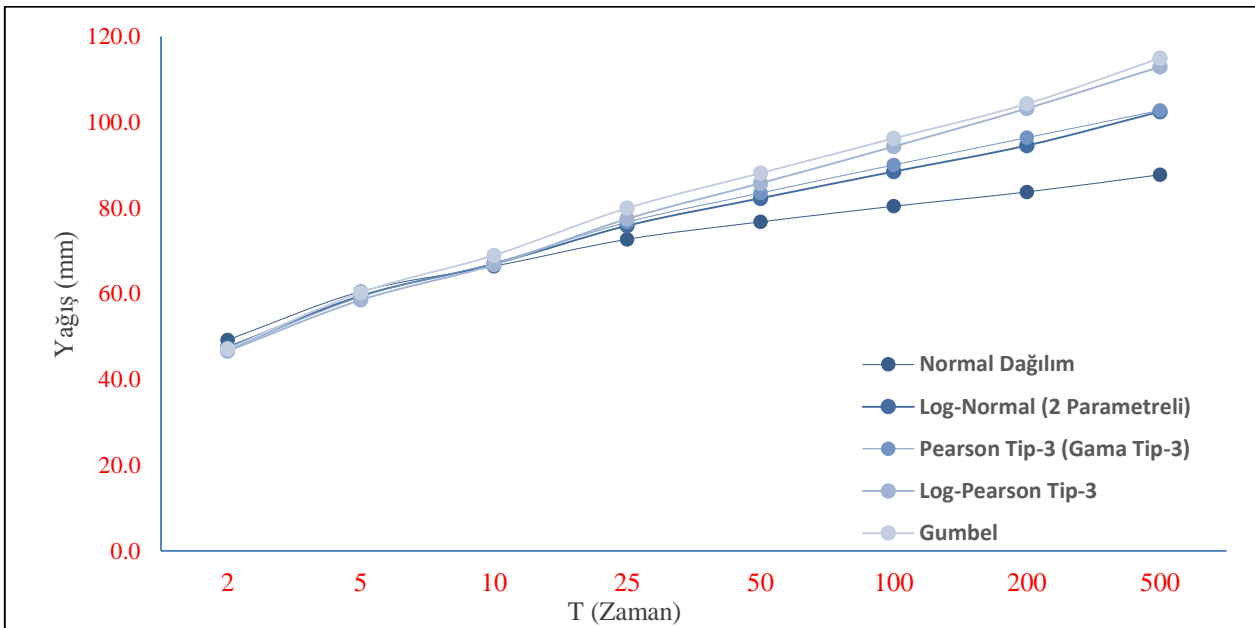
Dağılım Tipi	Yinelenme Yılları							
	2	5	10	25	50	100	500	1000
Normal Dağılım	49.2	60.5	66.4	72.7	76.7	80.4	83.7	87.7
Log-Normal (2 Parametrelili)	47.5	59.46	66.9	75.8	82.2	88.5	94.5	102.4
Gama Tip-3	46.9	59.3	67.2	76.7	83.5	90.0	96.4	102.8
Log-Pearson Tip-3	46.6	58.5	66.7	77.5	85.8	94.3	103.2	112.9
Gumbel	47.1	60.3	68.9	79.9	88.1	96.2	104.3	114.9

Çalışma sahasının yağış verilerinin dağılımlarını belirlemek için K-S testi uygulanmıştır. Bu testin sonuçları tabloda verilmiştir (Tablo 9).

Tablo 9: Çalışma sahasına uygulanan K-S testi sonuçları

Dağılım Tipi	Teorik P	Amprik P	Maksimum P Δmax	P'deki Gözlem Değeri	Anlamlılık (%)				
					0.8	0.6	0.9	0.95	0.99
Normal Dağılım	0.54	0.58	0.13	47.7	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Log-Normal (2 Parametrelili)	0.56	0.52	0.08	45.7	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Gama Tip-3	0.56	0.63	0.07	49.2	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Log-Pearson Tip-3	0.41	0.35	0.06	44	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul
Gumbel	0.52	0.58	0.07	47.7	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul	Kabul

Uygulanan Gumbel, Gama Tip-3, Normal Dağılım, Log-Pearson Tip-3 ve Log-Normal dağılım olasılıkları arasında yağış yükseklikleri en anlamlı Log-Pearson Tip-3 dağılımında yer aldığı için olası maksimum debi sonuçları da diğer parametrelere göre anlamlı sonuç verecektir. Bundan dolayı taşkın daha iyi yansıtacağı ve taşkın alanı açısından daha geniş yer kaplayacağı için proje debi hesabında Log-Pearson Tip-3 dağılımının sonuçları kullanılmıştır (Şekil 13).

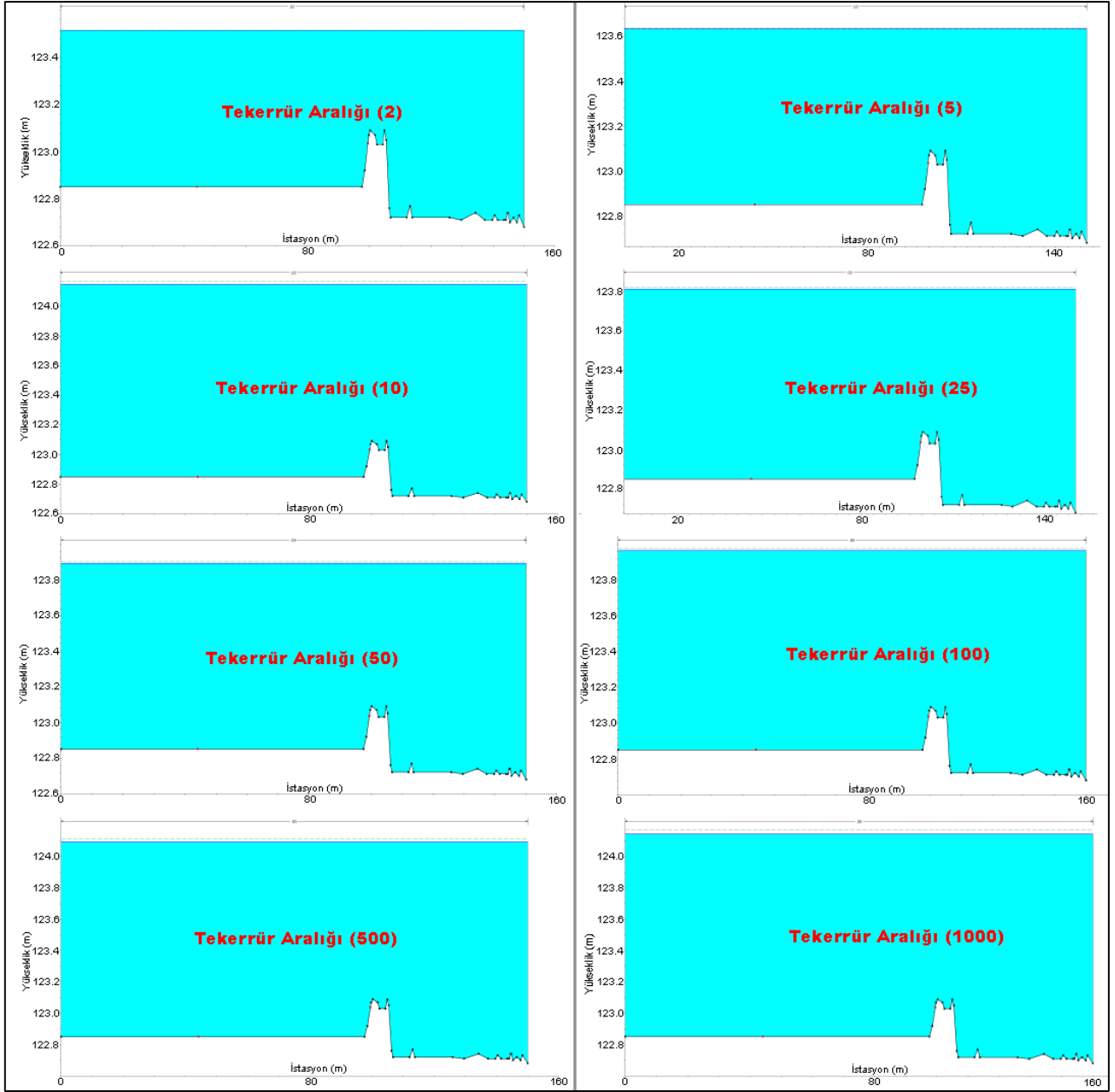


Şekil 13: Yağış verilerinin farklı olasılık dağılımlarına ve tekerrür dönemlerine göre dağılımı

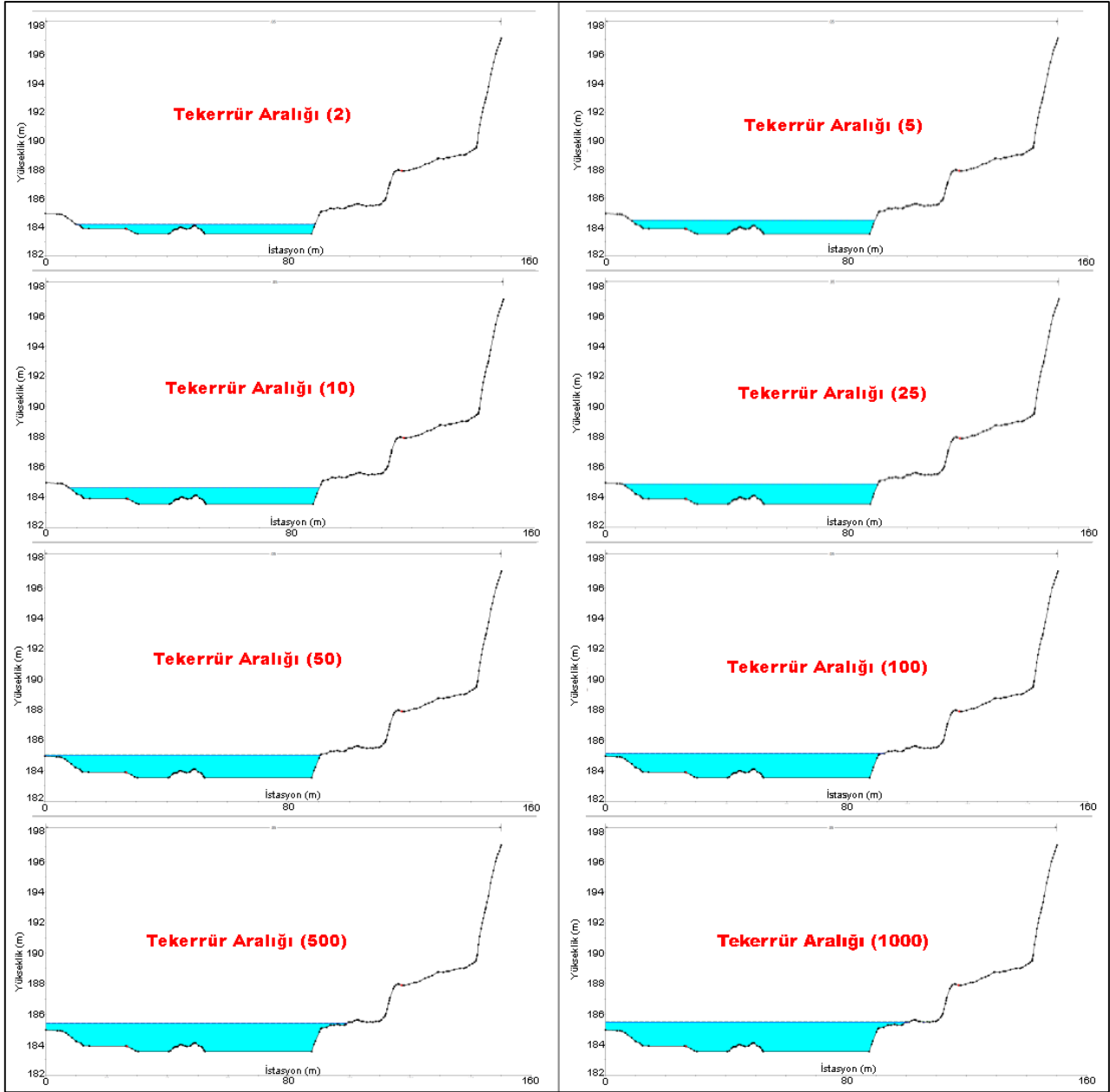
Mockus yöntemi sonucu elde edilen debi miktarları birim alan ve zamanda HEC-RAS yazılımı aracılığıyla havzaya kararlı (steady) bir şekilde tanımlanmıştır. Örnek olması açısından havzanın aşağı kesimindeki 805 ve havzanın orta kesimindeki 3135 nolu taşkına maruz kalan kritik istasyonların (her bir tekerrür yılına ait) en kesitleri verilmiştir (Şekil 14-15). Elde edilen sonuçlar Tablo 10'da verilmiştir:

Tablo 10: Farklı tekerrür verilerinden elde edilen sonuçlar

Tekerrür Aralığı (Yıl)	Debi (m <sup>3</sup> /s)	Sonuç
2	12.63	Özellikle şehrsel alandaki havzanın orta kesiminde taşkın olayının olduğu görülmüştür. Akarsuyun aşağı kesimindeki dar kesit geometrisine sahip istasyonun su yüksekliği ~68 cm; havzanın orta kesimindeki geniş kesit geometrisine sahip istasyonun su yüksekliği ise ~66 cm civarındadır. Bu kesimler arasında kanal yapısından kaynaklı ortaya çıkan su yüksekliği farkı 2 cm'dir.
5	26,86	Genel olarak istasyonlarda su yüksekliğinin arttığı görülmüştür. Beş yıllık (%20 olasılıklı) tekerrürlü taşkın debisinde özellikle şehir içinde hem yukarı hem de aşağı kesiminde taşkın olayının olduğu görülmüştür. Havzanın aşağı kesimindeki dar kesit geometrisine sahip istasyonun su yüksekliği ~96 cm; havzanın orta kesimindeki geniş kesit geometrisine sahip istasyonun su yüksekliği ise ~95 cm civarındadır.
10	38.91	Su seviyesi artışına bağlı olarak birçok istasyonda taşkın meydana geldiği görülmüştür. 805 nolu istasyonda su yüksekliği 103 cm, 3135 nolu istasyonda ise 111 cm; sonuçta iki istasyon arasındaki farkın 8 cm olduğu görülmüştür.
25	54.94	Tanımlı birçok istasyonda taşkın riskinin yükselmesine ek olarak birçok istasyonda da taşkın meydana geldiği görülmüştür. 805 nolu istasyonda su yüksekliği 114 cm, 3135 nolu istasyonda ise 136 cm'dir.
50	72.36	Yirmi beş yıllık sonuca göre taşkına maruz kalan tanımlı istasyon sayısı artmış ve taşkın daha geniş sahalara yayılmıştır. 805 nolu istasyonda su yüksekliği 121 cm, 3135 nolu istasyonda ise 150 cm'dir.
100	89.41	Taşkına maruz kalan tanımlı istasyon sayısının arttığı görülmüştür. 805 nolu istasyonda su yüksekliği 128 cm, 3135 nolu istasyonda ise 164 cm'ye yükselmiştir.
500	124.36	Yüz yıllık sonucuna göre taşkına maruz kalan tanımlı istasyon sayısı artmış ve taşkın daha geniş sahalara yayılmıştır. 805 nolu istasyonda su yüksekliği 141 cm, 3135 nolu istasyonda ise 190 cm olduğu görülmüştür.
1000	139.4	Diğer tekerrür yıllarına oranla taşkın yayılması en çok bu tekerrür yılında görülmüştür. 805 nolu istasyonda su yüksekliği 147 cm, 3135 nolu istasyonda ise 195 cm'dir.



Şekil 14: 805 nolu istasyonun tekerrür (yıl) durumu



Şekil 15: 3135 nolu istasyonun tekerrür (yıl) durumu

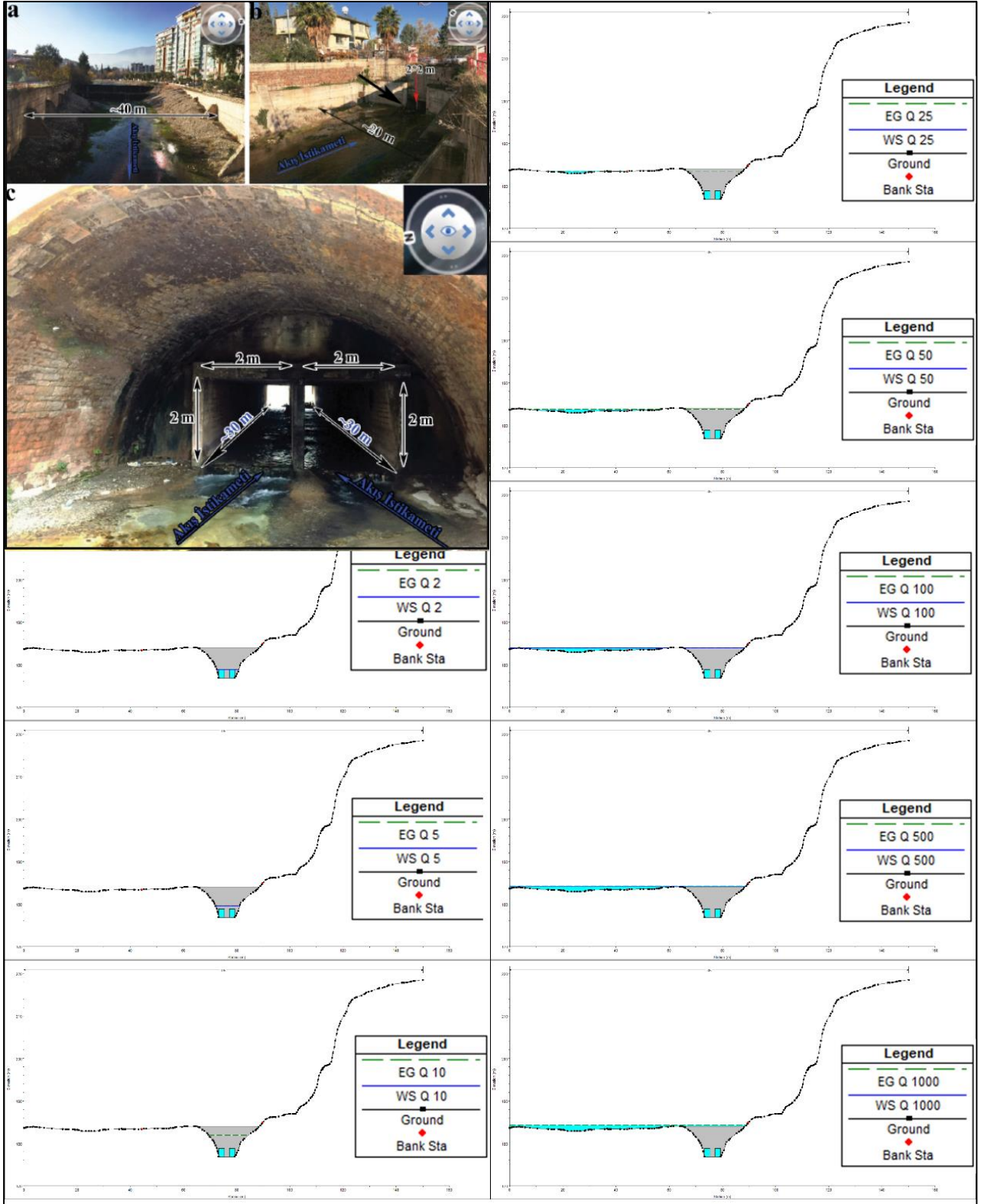
Delibekirli Havzası'ndan 2, 5, 10, 25, 50, 100, 500 ve 1000 yıllık tekerrürlü taşkın debisinin geçmesi durumunda taşkın enerji seviyeleri ve su yüzeyi kotları tabloda verilmiştir. Tüm tekerrür yıllarının ortalama değerlerine bakıldığında; su yüzeyi kotları membada 247.54, mansap kısmında 103.61'dir (Tablo 11).

Tablo 11: Çalışma sahasının memba (5102) ve mansap (5) kesimindeki HEC-RAS sonuç raporu

Erişim Hattı		Delibekirli Deresi									
İstasyon	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
5102	Q <sub>2</sub>	12.63	246.15	246.83	246.8	247.03	0.02749	1.95	6.65	14.27	0.91
	Q <sub>5</sub>	26.86	246.15	247.12	247.11	247.38	0.031158	2.3	11.76	21.71	1
	Q <sub>10</sub>	38.91	246.15	247.24	247.24	247.57	0.029727	2.55	14.49	21.93	1
	Q <sub>25</sub>	56.94	246.15	247.46	247.46	247.9	0.027987	2.95	19.32	22.25	1.01
	Q <sub>50</sub>	72.36	246.15	247.62	247.62	248.14	0.026703	3.19	22.89	22.46	1.01
	Q <sub>100</sub>	89.41	246.15	247.78	247.78	248.37	0.025704	3.4	26.48	22.84	1.01
	Q <sub>500</sub>	124.36	246.15	248.09	248.08	248.79	0.023789	3.72	33.63	23.7	1
	Q <sub>1000</sub>	139.4	246.15	248.2	248.2	248.96	0.023933	3.86	36.28	24.22	1.01
5	Q <sub>2</sub>	12.63	101.72	102.53	102.53	102.83	0.030865	2.42	5.37	9.16	1.01
	Q <sub>5</sub>	26.86	101.72	102.92	102.92	103.36	0.027459	2.94	9.18	10.52	1.01
	Q <sub>10</sub>	38.91	101.72	103.15	103.15	103.66	0.025965	3.17	11.67	11.39	1
	Q <sub>25</sub>	56.94	101.72	103.52	103.52	104.15	0.024789	3.52	16.21	13	1.01
	Q <sub>50</sub>	72.36	101.72	103.77	103.77	104.48	0.024053	3.74	19.51	13.85	1.01
	Q <sub>100</sub>	89.41	101.72	104.01	104.01	104.79	0.023113	3.91	23	14.74	1
	Q <sub>500</sub>	124.36	101.72	104.41	104.41	105.35	0.022526	4.29	29.14	15.76	1.01
	Q <sub>1000</sub>	139.4	101.72	104.57	104.57	105.57	0.022197	4.42	31.7	16.16	1.01

**Profile:** Profil, **Q Total:** Toplam Debi, **Min Ch El:** Minimum ana kanal yüksekliği, **W.S. Elev:** Enerji denkleminde hesaplanan su yüzeyi, **Crit W.S.:** Kritik su yüzeyi yüksekliği. Minimum enerjiye karşılık gelen su yüzeyi, **E.G. Elev:** Hesaplanan WS Yüksekliği için enerji derecesi çizgisi, **E.G. Slope:** Enerji derecesi çizgisinin eğimi, **Vel Chnl:** Ana kanaldaki ortalama akış hızı, **Flow Area:** Akış alanı, **Top Width:** Islanabilen enine kesitin üst genişliği, **Froude # Chl:** Ana kanal için Froude numarası.

Doğal yatağında akışını sürdüren ana kol yapay (betonarme) kanallar içerisine girdiğinde akarsular kanalizasyon edilmelerinden dolayı akarsu hız kazanır. Dolayısıyla yatak enkesitinin daralması ve su kütlesinin hız kazanması gibi faktörlere bağlı olarak kanaldan kurtulan akarsu, yatak çevresinde taşkınların meydana gelmesine neden olacaktır. Havzada, özellikle akarsuyun deşarj olduğu güney kesimde akarsuyun en kesiti dar bir kanalın içine alınması taşkın riskini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra kanal enkesitinin ~40 m olduğu alanda kanal 2\*2 m menfezle karşılanmıştır (36°29'49.49"K - 36°20'47.51"D). Üzerinden karayolu da geçen bu menfez, şiddetli yağışla beraber artacak olan su potansiyelini taşımayacak niteliktedir. Buna bağlı olarak tehlike oluşturduğu gibi iyice daraltılan ve 50 yıllık senaryoda yamaçlardan suyun taşmasına yol açabilecek potansiyeli vardır (Şekil 16).



Şekil 16: Tekerrür yıllarına göre menfezin görünümü

### 3. Tartışma

Delibekirli Havzası'ndaki taşkın risklerinin ve bunlara neden olan faktörlerin kapsamlı bir şekilde analiz edildiği bu çalışmada; havzanın sahip olduğu jeolojik, jeomorfolojik ve bunlarla kuvvetli ilişkisi olan hidrolojik özelliklerin sahada taşkın risklerinin tespitinde önemli rol oynadığı görülmektedir. Çalışma sahasındaki doğal ortamın bu özelliklerine ek olarak, arazi yüzey örtüsü, yanlış arazi kullanımı ve akarsu yatağına olan insani müdahaleler, taşkın riskini önemli ölçüde arttırmıştır.

Litolojik birimlerin sel ve taşkınlar üzerindeki etkisi, suyun akış dinamiklerini, yeraltı suyu seviyelerini ve sediment taşınımını belirleyerek kritik bir rol oynar. Bu etkiyi anlamak, afet riskini azaltma ve etkin su yönetimi stratejileri geliştirme açısından önemlidir. Özellikle yüksek riskli bölgelerde yapılan detaylı litolojik analizler ve hidrolik modellemeler, bu süreçlerin daha iyi yönetilmesine yardımcı olabilir. Delibekirli Havzası, litolojik olarak büyük bölümü geçirgen olmayan litolojik birimlerden oluşmakta bu durum da akış hızını arttıran önemli bir parametre olarak karşımıza çıkmaktadır (O'Connor & Costa, 2004). Dağlık saha, vadiler, taraçalar ve taşkın ovaları ve aşınım satırlarından meydana gelmiştir. Sahanın bu jeomorfolojik görünümü kazanmasında başta tektonizma olmak üzere flüvyal süreçler de etkili olmuştur. Özellikle tektonik hareketlerin havzada yükselmelere neden olması ve flüvyal süreçlerin aktifliği, akarsuların akış hızını arttıracak eğim değerlerinin oluşmasına zemin hazırlamıştır ki havza içerisinde 3-5 km'lik mesafe içerisinde 300 m gibi bir yükselti değerinden 1700 m yükselti değerine çıkmaktadır. Bu yüksek relief akarsu akış hızlarının fazla olması neden olmaktadır. Buna ek olarak havza şekli, akarsuların çevreden merkeze doğru odaklanması ve Kırıkhan şehrine yaklaşıpça eğimde meydana gelen azalma, memba kesiminde hızlanan suların mansap kesimine doğru birikmesine neden olmaktadır. Kırıkhan şehrine giren suların ise kanal daraltması, sanat yapılarının oluşturduğu tikanıklık, yine eğim azlığı gibi sebeplerle taşkın oluşturması kaçınılmaz bir durumdur.

Çalışma kapsamında iklimik faktörler de değerlendirilmiştir. Su varlığının zeminini hazırlayan faktörlerden olan iklimik faktörler, sel ve taşkın riskinin değerlendirilmesinde büyük bir rol oynamaktadır. Araştırma sahasının Akdeniz iklimi etkisinde olmasından dolayı, yaz mevsiminde yüksek sıcaklıklar ve kış mevsiminde yoğun yağışlarla kendini gösterir. Kırıkhan İstasyonu'ndan elde edilen veriler, ekstrem sıcaklık ve yağış değerlerini ortaya koymaktadır. Bu ekstrem hava olaylarının sayı ve şiddetinin küresel iklim değişikliği nedeniyle artması (Trenberth, 2011), havzanın taşkın riskini artıran kritik unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Bugüne kadar yaşanan taşkınların genel olarak bu ekstrem olaylardan kaynaklandığı çalışmada ortaya çıkan bulgularındadır.

Arazi kullanımına yönelik yapılan değerlendirmeler, ormansızlaşma, tarım alanlarındaki ve yerleşim yerlerindeki artış, suyun yüzeysel akış hızını artırarak taşkın olasılığını yükseltir. Özellikle kentleşme ve altyapı gelişimi, doğal su yollarının yönünü değiştirerek taşkın riskini artırabilir (Arnold & Gibbons, 1996; Foley vd., 2005). Nitekim çalışma sahasında bu özelliklerin varlığı tespit edilmiştir.

Havzadaki ana akarsuyun betonarme kanal içine alınması, akarsu hızının artmasına ve taşkın riskinin yükselmesine neden olmaktadır. Özellikle güney kesimde akarsuyun dar bir kanal içine alınması, taşkın riskini artıran bir faktördür. Bu durum, kanal enkesitinin daralması ve su kütlesinin hız kazanması ile birleştiğinde taşkın olaylarının meydana gelmesine yol açabilecektir. Ayrıca, menfezlerin ve köprülerin akarsu akış enkesitini daraltması, taşkın riskini artıran diğer önemli faktörlerdendir. Taşkın ihtimali olan yerlerin de daha çok Kırıkhan içerisinde ve özellikle doğal akarsu kanalının değiştirildiği ve daraltıldığı, köprü ve menfezlerin inşa edildiği lokasyonlarda gerçekleştiği ve gerçekleşme olasılığının arttığı hesaplanmaktadır. Bu durumda akarsuyun yatak özellikleri de göz önünde bulundurularak; vadi boyunca sekiler yapılmalıdır ve derenin geometrik yapısı da göz önünde bulundurularak akarsuyun akış hızını azaltıcı tedbirler alınmalıdır.

Hidrolojik analizler, Delibekirli Havzası'ndaki taşkın riskini belirlemek için kullanılmıştır. Flow Accumulation (akış birikimi) ve Flow Direction (akış yönü) analizleri, havzanın akış yönlerini ve maksimum çıkış noktalarını belirlemek için kullanılmıştır. Bu analizler, havzanın taşkın riskinin değerlendirilmesinde önemli bilgiler sunmaktadır. Ayrıca istatistiksel analizler de taşkın riskinin belirlenmesinde kritik rol oynar. Çalışma sahasına yönelik yağış verileri, çeşitli olasılık dağılımları kullanılarak analiz edilmiştir. Gumbel, Gama Tip-3, Normal Dağılım, Log-Pearson Tip-3 ve Log-Normal dağılım olasılıkları kullanılarak farklı yinelenme yıllarına ait yağış değerleri elde edilmiştir. Bu analizler, havzanın ekstrem yağış olaylarına nasıl tepki vereceğini öngörmek için kullanılmıştır. Bu analizlerden elde edilen bulgular havzada akış Q<sub>2</sub>'ye göre 12,63 m<sup>3</sup> ölçülen değer Q<sub>500</sub>'e göre 124,36 m<sup>3</sup> olarak ölçülmüştür. Bu durum yağış değerlerindeki artışın akım miktarına çok önemli etki de yaptığını göstermesi bakımından önemlidir.

### 4. Sonuçlar

Delibekirli Deresi, kanal kesitinin alındığı sahalar yerleşim alanı olup; özellikle Kırıkhan Yelpezesi'nin olduğu mansap kısmına doğru yerleşmenin yoğunluğu da artmaktadır. Kırıkhan şehrinin içerisinden geçen Delibekirli Deresi şehri adeta orta kesiminden kat etmektedir. Akarsuyun şehrsel alandan geçtiği bu bölümde akarsu yatağına çeşitli müdahaleler yapılmıştır. Akarsuyun doğal yatağı oldukça daraltılmış ve akarsu beton kanal içerisine alınmıştır. Kanal boyutları kent içerisinde genel olarak benzer olmakla birlikte bazı noktalarda kanal enkesitleri daraltılmış, üzerine köprü, yaya geçidi gibi yol sanat yapıları inşaa edilmiştir.

Ayrıca bazı lokasyonlarda kanala taşan yapılaşma unsurları, dere yatağına moloz ve evsel atıkların dökülmesinden kaynaklı daralma, uygun yerlerde moloz ve toprak birikimi ve buna bağlı olarak yoğun bitki gelişimi kanalı daraltan görüntüler sunmaktadır.

Delibekirli Deresi başta kanalın daraldığı ve eğimin azaldığı bu kesimlerde 2014-2015 yıllarında gerçekleşen şiddetli yağışlarla birlikte taşkınlar meydana getirmiş ve bunun sonucunda önemli miktarda mal kaybına neden olmuştur. Yapılan çalışma ve değerlendirmeler sonucunda Delibekirli Deresinin taşkın oluşturma potansiyelinin oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Havzanın litolojik birimleri, topoğrafik ve jeomorfolojik özellikleri, arazi kullanımındaki değişiklik ve arazi kullanım durumu, akarsu yatağına olan beşerî müdahaleler, iklimik süreçlerdeki belirsizlik ve artan ekstrem yağış şiddeti taşkın potansiyelini arttıran başlıca faktörler olarak tespit edilmiştir. Bunlara ek olarak akarsu kanalı ile ilgili yapılan değişiklikler; özellikle menfez ve köprü yapıları akarsu akış enkesitini daraltan ve taşkın potansiyeli arttıran bileşenler olarak görülmüştür.

- Artan nüfus ve büyüyen şehir yapısına bağlı olarak, mal kaybının yanında can kaybı riski de taşıyan Delibekirli Deresi'nin bu risk değerini azaltmak için dereye yönelik çalışmalarda en az 500 yıllık taşkın debisi esas alınarak projelendirilmesi gerekmektedir. Özellikle kanal genişliğinin 10 metrenin altında olduğu kesimlerde kanalın yüksekliğinin en az 5 metre olarak tutulması gerekmektedir.
- Arazi kullanımında yangınlar ve beşerî tahribatla azalan bitki örtüsü yerine ağaçlandırma çalışmalarının yapılması su akış hızını azaltacağından taşkınla mücadelede oldukça etkili olabilmektedir.
- Akarsuyun şehirsiz alandan akmadan önce yatak yapısı ve özellikleri da hesaba katılarak vadi boyunca özellikle akarsuyun şehir içerisine girmeden önceki kesiminde sekiler yapılmalıdır ve derenin geometrik yapısı da göz önünde bulundurularak akarsuyun akış hızı azaltılmalıdır.
- Akarsuyun akış hızını arttırıcı beton zeminli kanal yapılarından vazgeçilmeli veya en azından daha planlı kanal yapıları tercih edilmelidir.
- Kent içerisinde akarsu tarafından taşınan ve kanal içerisinde birikerek kanalı daraltıcı nitelikteki moloz ve bitki örtüsü gibi materyallerin varlığından hareketle dönemsel olarak kanal ıslah çalışmaları yürütülmelidir.
- 6-20 Şubat 2023 depremlerinden büyük ölçüde zarar gören kentin yeniden planlanması süreçlerinde şehri ortadan kat eden bu akarsuyun oluşturabileceği tehlike ve riskler göz önünde bulundurulmalıdır. Özellikle kent içerisindeki drenaj ağı akarsu kanalının taşıyabileceği yük de göz önünde bulundurularak planlanmalıdır. Alternatif kanallarla kent içi drenaj ağının Delibekirli kanalına olabilecek baskının azaltılması da öneriler arasındadır.

## Teşekkür

Çalışmanın değerlendirilmesindeki katkıları için Hakemlere ve Editör Kuruluna teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Akkaya, U., Saraylı, S., Doğan, E., Akçalı, E., Akpınar, A., & Yıldırım, M.S. (2013, 24-26 Ekim). *Rize Taşlıdere'nin taşkın analizinin yapılması* [Bildiri Sunumu]. Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Türkiye.
- Akkaya Aslan, T. Ş., Gündoğdu, K. S., & Demir, O. A. (2004). Sayısal yükseklik modelinden yararlanılarak bazı havza karakteristiklerinin belirlenmesi: Bursa Karacabey İnkaya Göleti Havzası örneği. *U. Ü Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(1), 167-180.
- Akkuş, H., Yıldız, E., & Bulut, İ. (2023). HEC-RAS 2B modeli kullanılarak Yazılıkaya Deresi (Nallıhan Ankara) sel tehlike haritalarının hazırlanması ve sel kontrol yapısının etkinliği. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 47(1), 29-46.
- Anılan, T., Yüksek, Ö., Kankal, M. (2016). Regional Flood Frequency Analysis of Eastern Black Sea Basin Based on L-Moments. *UCTEA Technical Journal*, 451, 7403-7427.
- Arnold, C. L., & Gibbons, C. J. (1996). Impervious surface coverage: The emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*, 62(2), 243-258. <http://doi.org/10.1080/01944369608975688>.
- Baga, İ., Usul, N., & Sorman, Ü. (1999, 7-10 Haziran). *Application of MIKE 11 Model on Çayboğazı basin in Turkey* [Bildiri Sunumu]. DHI Third User Conference, Denmark.
- Batur, E., & Maktav, D. (2012). Uzaktan algılama ve CBS entegrasyonu ile taşkın alanlarının belirlenmesi: Meriç Nehri örneği. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 5(3), 47-54.
- Bayazıt, Y., Bakış, R., Koç, C., & Kaya, T., (2014, 9-11 Ekim). *Porsuk Çayı'nın Eskişehir İli taşkın haritalarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile oluşturulması* [Bildiri Sunumu]. Uluslararası Katılımlı IV. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Elazığ, Türkiye.
- Baykal, T., & Terzi, Ö. (2017). Küçük Aksu Çayı taşkın frekans analizi. *Cumhuriyet Science Journal*, 38(4), 639-646. <http://dx.doi.org/10.17776/csj.348907>
- Bayraktar, C. (2006). *Fırtına Deresi Havzası'nın uygulamalı jeomorfoloji etüdü* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Bozdoğan, M. (2022). *Delibekirli (Kırıkhan) Havzası'nın flüvyo-tektonik özellikleri ve uygulamalı jeomorfolojisi'nin coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ile analizi* [Yüksek lisans tezi, Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Bozdoğan, M., & Canpolat, E. (2022). Analitik hiyerarşi süreci (AHS) ile Delibekirli (Kırıkhan/Hatay) Havzası'nın heyelan duyarlılık analizi. *Ege Coğrafya Dergisi*, 31(1), 33-53, <https://doi.org/10.51800/ecd.1054815>
- Bozdoğan, M., & Canpolat, E. (2023). Drenaj havzalarındaki morfo-tektonik özelliklerin jeomorfik analizlerle incelenmesi: Delibekirli (Hatay/Kırıkhan) Havzası örneği. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 11, 22-51. <https://doi.org/10.46453/jader.1207265>

- Bulu, A., & Yılmaz, E. (2002). Serbest yüzeyli akımlarda pürüzlülük katsayısının belirlenmesi. *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 420(4), 79-81.
- Canpolat, E., & Bozdoğan, M. (2019). Beyazsu Havzası'nın (Mardin) flüvyal jeomorfolojisi ve hidrografik özellikleri. *Türk Coğrafya Dergisi*, 73, 96-105. <https://doi.org/10.17211/tcd.658375>
- Canpolat, E., Dinç, Y., Usun, Ç. F., & Geçen, R. (2020). 25.09. 2014 tarihinde Erzincan İlıcalarda (Hatay) meydana gelen sel ve taşkın oluşumunda coğrafi faktörlerin değerlendirilmesi. *Coğrafya Dergisi*, 41, 129-146.
- Cowan, W. L. (1956). Estimating hydraulic roughness coefficients. *Agricultural Engineering*, 37(7), 473-475.
- Chow, V. T. (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company.
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2020). *Human cost of disasters, an overview of the last 20 years (2019-2020)*. CRED Disaster Report, Belgium.
- Çakmak, S., Demir, T., Canpolat, E., & Aytac, A. S. (2021). Evaluation of the effects of precipitation and flow characteristics on suspended sediment transport in mountain-type Mediterranean climate; Korkuteli Stream sample, Antalya, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 14, Article 19. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08458-5>
- Çelik, H. (2012, 15-17 Şubat). *Sel kontrolünde hidroloji*. ÇEM Sel kontrolü Semineri, Afyonkarahisar.
- Çeliker, M. (2018). *Bingöl Çapağur Deresi taşkın alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ile belirlenmesi* [Yüksek lisans Tezi, Fırat Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Çeliker, M., Nacar Koçer, N., & Yıldız, O. (2020). Bingöl il merkezinde taşkın yayılım alanlarının coğrafi bilgi sistemleri ve HEC-RAS ile belirlenmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 6(2), 354-365. <https://doi.org/10.21324/dacd.647877>
- Çelik, H., Baş, N., & Coşkun, H.G. (2014). Taşkın modelleme ve risk analizinde LiDAR verisiyle sayısal yükseklik modeli üretimi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 4(1), 117-125. <https://doi.org/10.17714/gufbed.2014.04.009>
- De Martonne, E. (1942). Nouvelle carte mondiale de l'indice d'aridité. *Annales de Géographie*, 288, 241- 250.
- Demir, V., & Keskin, A. Ü. (2019). Pürüzlülük katsayısının cowan yöntemi ve uzaktan algılama yardımıyla belirlenmesi. *Gazi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 5(2), 167-177. <https://dx.doi.org/10.30855/gmbd.2019.02.06>
- Demir, V., & Ülke Keskin, A. (2022). Taşkınların ekonomik zararlarının değerlendirilmesi (Samsun-Mert Irmağı Havzası). *Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi*, 14(2), 663-678. <https://doi.org/10.29137/umagd.1090447>
- Demir, V., & Keskin, A. Ü. (2022). Taşkın Tehlike Haritalarının Oluşturulması (Samsun, Mert Irmağı Örneği). *Türkiye Coğrafi Bilgi Sistemleri Dergisi*, 4(1), 47-54. <https://doi.org/10.56130/tucbis.1120501>
- Devlet Arşivleri Başkanlığı. (2022). *T.C. Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı*. 6 Mart 2022'de <https://www.devletarsivleri.gov.tr/> adresinden alındı.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2016). *Dere Yatakları İçin Pürüzlülük Katsayısı Belirleme Kılavuzu*. Orman ve Su İşleri Bakanlığı.
- Dinç, Y., Canpolat, E., & Ceylan, M.A. (2021). *Hatay İli'nde doğal ve beşeri nedenlerle yer değiştiren yerleşmeler*. Pegem Akademi.
- Duvan, A. (2016). *Kızılırmak nehri Kırıkkale bölgesinde hidrolik yöntemlerle taşkın ötelemesi* [Yüksek lisans tezi, Kırıkkale Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- El-Naqa, A., & Jaber, M. (2018). Floodplain analysis using ArcGIS, HEC-GeoRAS and HEC-RAS in Attarat Um Al-Ghudran oil shale concession area, Jordan. *Journal of Civil & Environmental Engineering*, 8(5), 1-11. <https://doi.org/10.4172/2165-784X.1000323>
- Ertek, T. A. (2017). Antropojenik jeomorfoloji: konusu, kökeni ve amacı. *Türk Coğrafya Dergisi*, 69, 69-79. <http://doi.org/10.17211/tcd.319409>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Google Earth Pro. (Sürüm 7.3). 11 Ekim 2023'de <https://www.google.com/earth/> adresinden alındı.
- Gülbaş, 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. <https://doi.org/10.21324/dacd.491529>
- İlhan, S., & Aydar, U. (2023). İHA görüntülerinden yararlanarak taşkın analizinin yapılması: Çan (Kocabaş) Çayı örneği. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 5(1), 27-36. <https://doi.org/10.51534/tiha.1220290>
- Jenson, S.K., & Domingue, J.O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographical information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1593-1600.
- Kale, M. M., & Atal, M. (2023). Flood inundation mapping for Porsuk Stream, Eskişehir, Turkey. *Afet ve Risk Dergisi*, 6(3), 759-775. <https://doi.org/10.35341/afet.1197929>
- Kaya, Ç. M. (2012). *Giresun Pazarsuyu örneğinde, Coğrafi Bilgi Sistemleri ve uzaktan algılama entegrasyonu ile taşkın risk haritalarının üretilmesi* [Yüksek lisans tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kaya, Ç. M. (2021). 1B ve 2B taşkın modellemesinin karşılaştırılması: Fol deresi örneği. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(1), 13-21. <https://doi.org/10.35341/afet.975612>
- Knebl, M.R., Yang, Z.L., Hutchison, K., & Maidment, D.R. (2004). Regional scale flood modeling using NEXRAD rainfall, GIS, and HECHMS/RAS: A case study for The San Antonio River Basin Summer 2002 storm event. *Journal of Environmental Management*, 75(4), 325-336. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.11.024>
- Köppen, W., & Geiger, R. (1954). *Klima der Erde (Climate of the earth) Wall Map*. Gotha: KlettPerthes.
- Maskong, H., Jothityangkoon, C., & Hirunteeyakul, C. (2019). Flood hazard mapping using on-site surveyed flood map, HEC-RAS V.5 and GIS Tool: A case study of nakhon ratchasima municipality, Thailand. *International Journal of GEOMATE*, 16(54), 1-8. <https://doi.org/10.21660/2019.54.81342>
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü. (2022). *Genel iklim verileri*. <https://www.mgm.gov.tr/>
- Nas, S., & Nas, E. (2013, 24-26 Ekim). *Taşkın alanlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri yardımıyla belirlenmesi ve risk analizi: Harşit Çayı (Gümüşhane) örneği* [Bildiri Sunumu]. Taşkın ve Heyelan Sempozyumu, Trabzon, Türkiye.
- Noori, N.K., Kalın, L., Şen, S., Sarivastava, P., & Lebleu, C. (2016). Identifying areas sensitive to land use/land cover change for downstream flooding in a coastal Alabama watershed. *Regional Environmental Change*, 16(6), 1833-1845. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0931-5>

- O'Connor, J. E., & Costa, J. E. (2004). The geomorphology of large floods: Scaling and implications for flood risk management. *Geological Society of America Bulletin*, 116(7-8), 937-956.
- Onuşluel, G. (2005). *Floodplain management based on the HEC-RAS modelling system* [Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Özcan, O., Musaoğlu, N., & Şeker, D.Z. (2009, 11-15 Mayıs). *Taşkın alanlarının CBS ve Uzaktan Algılama yardımıyla belirlenmesi ve risk yönetimi; Sakarya Havzası Örneği* [Bildiri Sunumu]. 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, Ankara, Türkiye.
- Özdemir, H. (1978). *Uygulamalı taşkın hidrolojisi*. DSİ Genel Müdürlüğü Matbaası.
- Özdemir, H. (2007). *Havran Çayı Havzası'nın (Balıkesir) CBS ve Uzaktan Algılama Yöntemleriyle taşkın ve heyelan risk analizi* [Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Özdemir, H. (2011). Havza morfolometrisi ve taşkınlar. In D. Ekinci (Ed.). *Fiziki Coğrafya Araştırmaları: Sistemik ve Bölgesel*. (vol.6, pp. 507-526). Türk Coğrafya Kurumu Yayınları.
- Özdemir, H., & Akbaş, A. (2023). Sayısal yükseklik modellerindeki mekânsal çözünürlük değişkenliğinin taşkın tehlike analizine etkileri. *Coğrafya Dergisi*, 46, 1-20. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2023-1177718>
- Öztürk, D., & Kılıç, F. (2013, 11-13 Kasım). *Drenaj ağının çıkarımı ve topografik nemlilik indeksinin belirlenmesinde D8 ve D-Inf algoritmalarının karşılaştırmalı analizi* [Bildiri Sunumu]. TMMOB Coğrafi Bilgi Sistemleri Kongresi, Ankara, Türkiye.
- Rubinato, M., Nichols, A., Peng, Y., Zhang, J., Lashford, C., Cai, Y., Lin, P., & Tait, S. (2019). Urban and river flooding: comparison of flood risk management approaches in The UK and China and an assessment of future knowledge needs. *Water Science and Engineering*, 12(4), 274-283. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.12.004>
- Schneider, V. R., & Arcement, Jr. G. J. (1984). *Guide for selecting manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains* (No. FHWA-TS-84-204). United States, Federal Highway Administration.
- Shirzad, M.R. (2017). *Taşkın riskinin uzaktan algılama ve CBS teknolojileri ile değerlendirilmesi: Kocaeli Maden Deresi örneği* [Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Sunkar, M., & Tombul, S. (2011). Effects of changes in geomorphological units on flood and torrent events due to rapid urbanization in Batman. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 6(1), Article 4A0034.
- Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. (2023). *Taşkın yönetimi*. 7 Ağustos 2023'de [https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Dairesi%20Sunum/Ta%C5%9Fk%C4%B1n\\_kitap.pdf](https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Belgeler/Ta%C5%9Fk%C4%B1n%20Dairesi%20Sunum/Ta%C5%9Fk%C4%B1n_kitap.pdf) adresinden alındı.
- Tate, E.C., Maidment, D.R., Olivera, F., & Anderson, D.J. (2002). Creating a terrain model for floodplain mapping. *Journal of Hydrologic Engineering*, 7(2), 100-108. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699)
- Tarboton, D. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 309-319.
- Thornthwaite, C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), 55-94.
- Trenberth, K. E. (2011). Changes in precipitation with climate change. *Climate Research*, 47(1-2), 123-138. <https://doi.org/10.3354/cr00953>
- Tribe, A. (1992). Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: a review and a new method. *Journal of Hydrology*, 139(1-4), 263-293. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90206-B](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90206-B)
- Turan, B. (2002). *Obtaining inundation maps by integration of GIS and hydrologic-hydraulic model* [Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Turoğlu, H. (2011). *İstanbul'da meydana gelen sel ve taşkınlar. Fiziki Coğrafya Araştırmaları; Sistemik ve Bölgesel*. Türk Coğrafya Kurumu Yayınları.
- Türkkan, G.E., & Korkmaz, S. (2015). Kaplıkaya Deresi'nin sayısal model ile taşkın analizi. In K. Yenigün, V. Gümüş, R. Gerger, M. H. Aydoğdu, & M. Y. Sepetçioğlu (Eds.), *VIII. Ulusal Hidroloji Kongresi Bildiriler Kitabı* (ss.62-69). Harran Üniversitesi.
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2022). *Nüfus istatistikleri*. 5 Mart 2022'de [https://www.tuik.gov.tr/indir/duyuru/favori\\_raporlar.xlsx](https://www.tuik.gov.tr/indir/duyuru/favori_raporlar.xlsx) adresinden alındı.
- Uçar, İ. (2010). *Trabzon Değirmendere havzası'nda coğrafi bilgi sistemleri ve bir hidrolik model yardımıyla taşkın analizi yapılması* [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- United Nations Development Programme. (2004). *Reducing disaster risk: a challenge for development, a global report*, New York: UNDP Bureau for Crisis Prevention and Recovery (BRCP).
- US Army Corps of Engineers. (2022). *HEC-FIA 3.3*. Hydrologic Engineering Center. 3 Haziran 2022'de <https://www.hec.usace.army.mil/> adresinden alındı.
- Uslu, G., Sesli, F., & Uzun, B. (2018). Coğrafi bilgi sistemleri ile taşkın tehlike haritalarının belirlenmesi. *Kent Akademisi*, 11(4), 545-558.
- Uslu, N. (2008, 7-8 Ağustos). *Çayboğazı Havzası'nda hidrolojik-hidrolik model ve CBS ile taşkın çalışması* [Bildiri Sunumu]. Taşkın, Heyelan ve Dere Yataklarının Korunması Konferansı, Trabzon, Türkiye.
- Van Westen, C.J. 1993). Remote sensing and geographic information systems for geologic hazard mitigation. *ITC Journal*, 4, 393-399.
- Avcı, V., & Ünsal, Ö. (2023). A morphometric approach to Bozkurt (Kastamonu-Türkiye) flood. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 9(2), 216-239. <https://doi.org/10.21324/dacd.1210797>
- Wilson, J. P., Lam, C. S., & Den, Y. (2007). Comparison of the performance of flowrouting algorithms used in GIS-based hydrologic analysis. *Hydrological Processes*, 21(8), 1026-1044. <https://doi.org/10.1002/hyp.6277>
- Yaylak, M. M. (2016). *Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yardımıyla Bitlis Deresi taşkın risk analizi* [Yüksek lisans tezi, Bitlis Eren Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Yevjevich, V. (1972). *Probability and statistics in hydrology*. Water Resources Publications.
- Yılmaz, E., & Çiçek, İ. (2016). Türkiye Thornthwaite iklim sınıflandırması. *Journal of Human Sciences*, 13(3), 3973-3994. <https://doi.org/10.14687/jhs.v13i3.3994>