

# Baraj Yıkılması Sonucu Oluşan Taşkının İncelenmesi: Darlık Barajı Örneği

Ezgi Selen Tilav<sup>1</sup> , Sezar Gülbaz<sup>1,\*</sup> 

<sup>1</sup>İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul.

## Özet

Barajlar ihtiyacımız olan içme ve kullanma sularının düzenli olarak karşılanmasında, enerji ihtiyacının sağlanmasında, yerleşim alanlarının sel baskınlarına karşı korunmasında, rekreasyon alanlarının oluşturulmasında büyük öneme sahip mühendislik yapılarıdır. Sağladığı birçok fayda olmasına rağmen bu yapılarda oluşan hasarların, mansabında yer alan yerleşim alanları için ciddi afet riski oluşturduğu bilinmektedir. Ayrıca, eskimekte olan mevcut barajlarımız ve bunlara ek olarak her geçen gün artan barajlarımız, özellikle mansabında yerleşim alanları artan bölgelerde afet riskini daha da artırmaktadır. Bu çalışma kapsamında çalışma alanı olarak, İstanbul'da yer alan ve mansabında yoğun yerleşim alanı bulunan Darlık Barajı seçilmiştir. Darlık Barajı mansabında baraj yıkılma simülasyonu yapılmış ve taşkın dalgasının etkiyeceği alanlar belirlenmiştir. Bu kapsamda, yetkili kurumlar tarafından önlem alınması gereken alanların tespit edilmesine, baraj yıkılması sonucu oluşacak felaketlerin önlenmesine veya azaltılmasına katkı sağlanması amaçlanmıştır. Darlık Barajına ait yıkılma analizleri HEC-RAS programı kullanılarak oluşturulmuştur. Baraj gediklenme senaryosuna uygun olarak gediklenme parametreleri HEC-RAS programına tanımlanmış ve baraj yıkılması taşkın analizi 2 boyutlu olarak modellenmiştir. Çalışma kapsamında olası baraj yıkılması durumunda meydana gelecek taşkın debisi, su hızı ve su derinliği hesaplanmıştır. Taşkın yayılım, derinlik ve hız haritaları elde edilmiştir. Taşkın yayılım alanları incelenerek taşkın tehlike haritaları çıkarılmış ve oluşması muhtemel taşkın dalgasının tehlike boyutu belirlenmiştir. Son olarak ise taşkın yayılım alanında kalan binalarda zarar hesabı yapılmış, zarar yüzdesi ve risk haritaları elde edilmiştir. Zarar hesabı sonuçlarına göre yaklaşık 3043 binanın hasar gördüğü gözlenmiştir. Zarar yüzdeleri taşkın yayılım alanı üzerinde gösterilmiştir. Taşkından etkilenen tüm binaların %80.05'inin çok yüksek riskli sınıfta olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonraki aşamada taşkın yayılım alanında kalan her bir bina risk sınıfına göre işaretlenmiş, risk haritalarında gösterilmiş ve çalışma kapsamında sunulmuştur.

## Anahtar Sözcükler

Baraj Yıkılması, HEC-RAS, Darlık Barajı, Taşkın Yayılım Haritası ve Taşkın Risk Haritası

## Investigation of Flooding due to Dam Failure: A Case Study of Darlık Dam

### Abstract

Dams are engineering structures that are of great importance in regularly meeting the drinking and utility water that we need, providing electrical energy needs, protecting residential areas against floods, and creating recreation areas. Although dams have many benefits, it is known that the damages in these structures poses serious disaster risk for the settlement areas located downstream. In addition, our existing dams, which are aging, and in addition to these, our dams that are increasing day by day, increase the disaster risk even more, especially in areas with increasing residential areas downstream. In this study, Darlık Dam, which is located in Istanbul and has a dense residential area on its downstream, was selected as the study area. Dam failure simulation was developed at the downstream of Darlık Dam and the areas that would be affected by the flood wave were observed. In this context, it is aimed to contribute to the determination of the areas where measures should be taken by the authorized institutions and to the prevention or reduction of the disasters that will occur due to dam failure. Failure analyzes of Darlık dam were generated by using HEC-RAS program. In accordance with the dam breach scenario, the breach parameters were defined into the HEC-RAS program and the dam failure flood analysis was modelled in two dimensions. Within the scope of the study, flood flow, water velocity and water depth were calculated in case of possible dam failure. Flood inundation, depth and velocity maps were obtained. Flood hazard areas was created and possible flood wave's hazard ratio was determined by observing flood inundation areas. Finally, damage of buildings in flood wave areas was calculated and damage ratio and risk maps were obtained. According to the result of damage calculation, it was observed that approximately 3043 buildings were damaged. The damage ratio was shown on the flood inundation areas. It was concluded that %80.05 of all buildings affected by the flood are in the very high risk class. In the next stage, each building in the flood inundation areas was marked according to its risk class, shown in risk maps and presented within the scope of the study.

### Keywords

Dam Failure, HEC-RAS, Darlık Dam, Flood Inundation Map and Flood Risk Map

## 1. Giriş

Barajlar akarsular üzerine inşa edilen, arkasında bulunan su kütlelerini gövdeleriyle tutarak kısmen ya da tamamen kapatan, yapım amacına hizmet eden büyük mühendislik yapılarıdır. Sulama, elektrik üretimi, evsel ve endüstriyel su temini için oluşturulan, memba rezervuarında su ve sediment tutmak için inşa edilen hidrolik yapılarıdır (Hurdowar-Castro, 2007). Ayrıca, barajlar taşkın kontrolü ve yönetimi, balık yetiştiriciliği, su ürünleri yetiştiriciliği, rekreasyon ve hatta atık endüstrisi ile ekolojik yönetim amaçlı da kullanılmakta ve topluma muazzam faydalar sağlamaktadırlar (Urzica vd., 2020). Mühendislik alanında yaşanan gelişmeler baraj gibi devasa yapıların çok daha büyük, çok daha fayda sağlanabilecek düzeyde inşa edilebilmesine olanak sağlamıştır. Ancak bu büyük yapılar büyük riskleri de beraberinde getirmiştir (Alppay, 2019). Sağladığı tüm faydaların yanı sıra bazı olası durumların baraj güvenliğini tehdit etme seviyesine ulaşmasıyla birlikte baraj yıkılması riski oluşmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Ordusu Mühendisler Birliği (United State Army Corps of Engineers (USACE)) Hidroloji Mühendisliği Merkezi araştırma belgesinde baraj yıkılma nedenlerini 8 tane olacak şekilde listelemişlerdir (U.S. Army Corps of Engineers). Bu nedenler; deprem, heyelan, şiddetli fırtına, gövde içinde borulanma, malzeme hatası, yapısal hasarlar, temel hatası ve sabotaj olarak sıralanmaktadır.

Küresel iklim değişikliği ve insan faaliyetlerinin etkisi ile ciddi can kayıplarına ve ekonomik zararlara sebebiyet veren taşkın felaketlerinin sıklığı artmıştır (Takeuchi, 2018; Centre for Research on the Epidemiology of Disasters, 2018). Nüfus artışı ve kentleşme seviyesi yüksek olan hassas bölgelerde yapılmış çalışmalar literatür için ve gelecekte olası taşkınların etkilerini azaltmak için gerekli önlemlerin alınması açısından önem arz etmektedir (Dikici vd., 2022; Gülbaz & Kazezyılmaz-Alhan, 2013; Gülbaz & Kazezyılmaz-Alhan, 2012; Kelesoglu vd., 2023). Ayrıca taşkın yayılım haritalarının oluşturulması ve risk altında olan alanların belirlenmesi adına çalışmalar da mevcuttur (Gülbaz, 2019; Cosgun vd., 2022). Yüksek şiddetli yağışlar sonucu oluşan taşkınların yanında baraj yıkılması sonucu taşkınlar meydana gelmektedir. Baraj yıkılmaları sonucu oluşan taşkın dalgaları doğal taşkınlardan çok daha yıkıcı sonuçlara sebebiyet verebilmektedir (Chen vd., 2019; Zhang vd., 2016). Baraj yıkılmasıyla meydana gelen, mansap yönünde hızla yayılan taşkın dalgası büyük miktarda suyun salınmasına, ciddi maddi zararlara ve can kayıplarına neden olabilmektedir (Galoie vd., 2012). Genellikle baraj yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgasının büyüklüğü normal taşkına göre daha fazladır, pik akım süresine erişme zamanı daha kısadır ve baraj mansabında bulunan yerleşim alanlarında yaşayan insanların uyarılması ve tahliye edilmesi için gereken süre oldukça azdır (Kocaman, 2007). Hatta taşkınlar ve seller o kadar üzerine düşülmesi ve gerekli tüm önlemlerin alınması gereken bir konudur ki 2019 yılında afet olaylarının % 49'unu ve ölümlerin %44'ünü oluşturan en yaygın ve en ölümcül doğal afet türü olarak kayıtlara geçmiştir (Wang vd., 2021). Tabi ki bu etkilerin derecesi ülkelerin ve taşkın civarının nüfusuna, arazi durumuna, kentleşme oranına ve orman alanlarına göre değişiklik gösterebilmektedir (Li, 2016; Hu, 2018).

Barajlar yakınlardaki yerleşim yerlerine çok sayıda fayda sağlamasına rağmen, baraj yıkılması ihtimali ile bu yapıların mansabında bulunan yerleşik nüfus üzerinde potansiyel risk oluşturmaktadır (Hariri-Ardebili, 2018; You, 2012; Wang vd., 2021). Bugüne kadar toplum üzerinde olumsuz etkiler yaratan 2000'den fazla baraj yıkılması vakası kaydedilmiş ve bu tür olayların çoğunluğu, barajların inşasının hızlandığı 1900 ile 2000 yılları arasında kayıt altına alınmıştır (Singh, 1996; Zhang vd., 2016). Baraj yıkılması riski, baraj gövdesinde gediklenme veya borulanma sonucu oluşan yıkılma olasılığı nedeniyle ortaya çıkmaktadır (Zhang vd., 2016; Zhang vd., 2009). Temel olarak gedik, baraj gövdesinde oluşan ve barajın yıkılmasına neden olan açıklık olarak tanımlanır ve bu olay, barajın arkasındaki suyun mansap bölgelerine doğru yayılmasına neden olur (Dinçergök, 2007). Geçmişte yapılan çalışmalarda gedik oluşum süresi, rezervuar hacim oranı gibi kriterler dikkate alınarak taşkın pik derinliği, maksimum debi, maksimum debiye ulaşma süresi gibi bulgular elde edilmiş ve taşkın tehlike haritalarında hasar görecekt alanlar üzerinde bu kriterlerin etkisi net bir şekilde gözlemlenebilmiştir (Pasa vd., 2023). Baraj yıkılması sonucu meydana gelecek felaketlerin önlenmesi veya etkisinin azaltılması için çalışmaların yapılması büyük önem arz etmektedir. Acil durum planlarının hazırlanmasında kullanılmak üzere taşkın yayılım, zarar ve risk haritalarının oluşturulması, yerleşim bölgelerine taşkın dalgalarının ulaşacağı sürenin hesaplanması ve bu veriler ışığında erken uyarı sistemlerinin kurulması gerekmektedir (Palamut, 2014). Baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın önceden tahmin edilmesi için çeşitli deneysel ve modelleme çalışmaları yapılmıştır (Xiong, 2011).

Günümüzde, DAMBRK'88, BREACH 7/88, DWOPER 8/89, SMPDMK 9/91, MIKE SHE, CCHE2D, TUFLOW, Infoworks-2D, MIKE21, FLO-2D, TELEMAC-2D, SOBEK, ISIS-2D, NWS FLDWAV HEC-RAS gibi birçok bilgisayar programı ile analizler gerçekleştirilebilmektedir (Singh, 1996; George & Nair, 2015; Razad vd., 2013; Nayak vd., 2000; Mahnamfar vd., 2020). Geliştirilen hidrolik modelleme yazılım programlarından biri olan HEC-RAS literatürde kabul gören ve sıklıkla kullanılan güvenilir bir programdır (Brunner, 2014; Cai vd., 2019). HEC-RAS programı baraj yıkılması ile taşkın hesaplarını da yapabilmektedir (Froehlich, 1995; Froehlich, 2008). Hem baraj üzerinden aşma hem de borulanma gediklenme şeklinin seçilebilmesine olanak tanımaktadır. Ayrıca çalışma alanında bulunan çeşitli yapılar da programa tanımlanabilmektedir (Tuncer, 2011). Bununla birlikte, HEC-RAS programı ücretsiz bir bilgisayar programıdır. Literatürde HEC-RAS yazılımını kullanarak taşkın yayılımını modelleyen birçok çalışma bulunmaktadır (Quiroga, 2016; Haltaş vd., 2016; Liviu-Marian vd., 2018; Papaioannou vd., 2018; Azeez vd., 2020; Lima vd., 2020; Urzica vd., 2020; Arıbawa vd., 2021; Xiong, 2011; Yıldız, 2021).

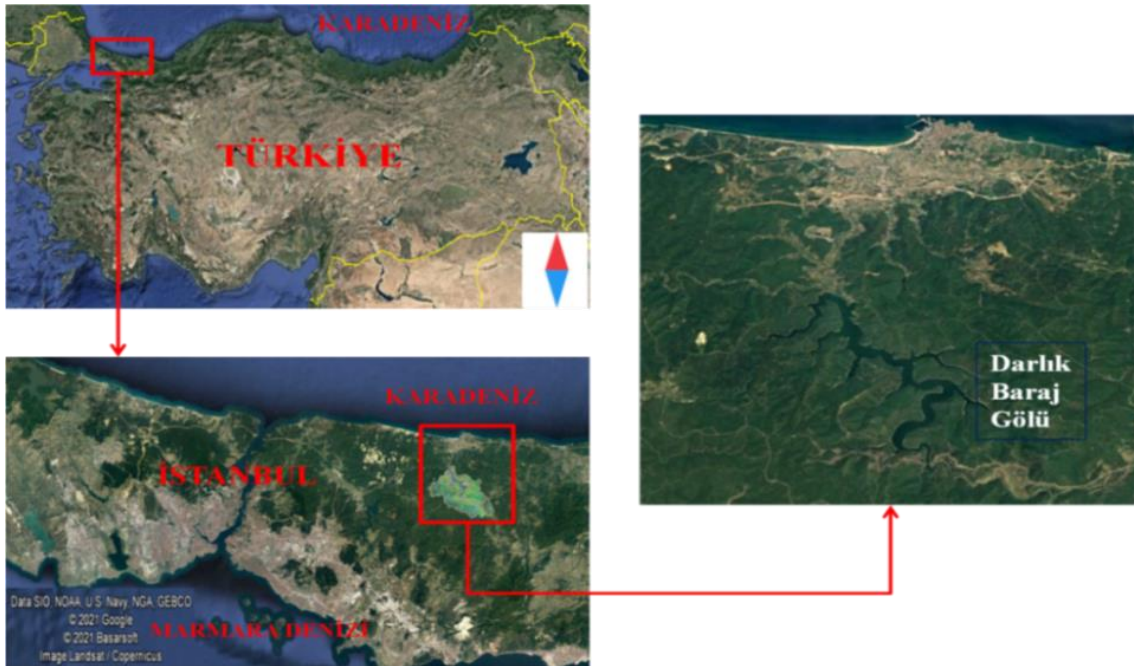
Bu çalışmanın temel amacı, İstanbul'da yer alan ve önemli su kaynaklarından biri olan Darlık Barajı'nda olası baraj yıkılma simülasyonlarının gerçekleştirilmesi, yıkılmada etkili olan gediklenme süresi ve gedik genişliğinin analiz edilmesi, taşkın dalgasının etkileyeceği alanların belirlenmesi, taşkın yayılım, derinlik ve risk haritalarının oluşturulmasıdır. Bununla birlikte, çalışma kapsamında muhtemel bir baraj yıkılması sonucu tehlike arz eden alanların belirlenmesi ve yetkili kurumların önlem alabileceği bir çalışma oluşturulması hedeflenmiştir. Ayrıca, muhtemel baraj yıkılması sonucunda meydana gelecek taşkın öncesinde insanların zamanında uyarılması, tahliye edilmesi ve feci sonuçların önlenmesi veya azaltılabilmesi için bir kaynak elde edilmesi amaçlanmıştır.

Bu kapsamda T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü'nden Darlık Barajı memba ve mansap bölgesine ait sayısal yükseklik modeli temin edilmiştir. Ayrıca baraj gövdesine ait bilgiler Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı tarafından temin edilmiştir. Baraj gediklenme senaryosuna uygun baraj gediklenme parametreleri HEC-RAS 5.0.7 programında işlenerek BYT analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada HEC-RAS'ta 1 boyutlu analiz yöntemiyle çok yönlü taşkın dalgası yayılımının hesaplanamaması sebebiyle (Mihu-Pintilie vd., 2019; Apel vd., 2009; Dasallas vd., 2019; Dimitriadis vd., 2016) 2 boyutlu analiz tercih edilmiştir. Ayrıca 2 boyutlu hidrolik modellemelerin taşkın dalgası yanal difüzyonunu simüle etmek için en uygun çözüm olduğu savunulmaktadır (Manfreda vd., 2015; Leandro vd., 2009; Horritt & Batesi, 2002; Alho & Aaltonen, 2008; Kadir, 2019; Urzica vd.,2020). Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu'na (ICOLD) göre baraj yıkılmalarının %38'i yetersiz dolusavak tasarımından kaynaklanırken %33'ü çok önemli sorunlar olan sızıntı ve borulardan kaynaklanmaktadır. Bu sebeple literatürde çok önemli bir yer kaplayan borulanma tipi gediklenme seçilerek kararsız akım analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında, olası baraj yıkılması durumunda meydana gelecek taşkın debisi hesaplanmış, oluşacak taşkın hidrografi belirlenmiş, BYT dalgası yayılım haritaları derinlik, hız ve taşkın yayılım alanı bakımından incelenerek taşkın tehlike haritaları çıkarılmış, oluşması muhtemel taşkın dalgasının tehlike boyutu belirlenmiş ve mansapta ilerlemesine yönelik bir çalışma sunulmuştur. Çalışmanın son aşamasında binalar üzerinde zarar ve risk hesabı gerçekleştirilmiştir. Olası baraj yıkılması durumunda karşılaşılabilecek yaklaşık maliyet hesaplanmış, zarar yüzdeleri ve risk haritaları elde edilmiştir.

## 2. Malzeme ve Yöntem

### 2.1. Çalışma Alanı: Darlık Barajı ve Havzası

Darlık Barajı 1985-1989 yılları arasında Darlık Deresi üzerinde inşa edilmiştir (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 2016). Hem içme hem de kullanma suyu teminini sağlayan bu baraj İstanbul'un en önemli su kaynaklarından biridir. Darlık Baraj Gölü İstanbul'un en büyük 5. baraj gölüdür (Cüceloğlu, 2013). Darlık Barajına toplanan sular 207 km<sup>2</sup>'lik havza alanından toplanmakta olup baraj gölü yüzey alanı 6 km<sup>2</sup> alana sahiptir. Darlık Baraj Gölü 41°08' ile 40°50' kuzey enlemleri ile 29°30' ile 29°42' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Şekil 1'de coğrafi konumu görülmektedir. Baraj gövdesi ve rezervuarına ait Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı'ndan alınan bilgiler Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 1: Darlık Barajı su toplama havzası ve Darlık Baraj Gölü

Tablo 1: Darlık Barajı bilgileri

Tipi	Kil çekirdekli kaya dolgu
Kret Kotu (m)	57.50
Talveg Kotu (m)	10.00
Temel Kotu (m)	-20.00 m
Talvegden Yükseklik (m)	47.50
Temelden Yükseklik (m)	77.50
Kret Uzunluğu ve Genişliği (m)	308.00 m; 10.00
Baraj Maksimum Su Seviyesi (m)	55.42
Baraj Normal Su Seviyesi (NSS) (m)	52
Ölü Hacim m <sup>3</sup>	5.5x10 <sup>6</sup>
Toplam Depolama Hacmi (Aktif) m <sup>3</sup>	113x10 <sup>6</sup>
Göl Alanı (Normal Su Seviyesi) m <sup>2</sup>	5.8x10 <sup>6</sup>
Göl Alanı (Minimum Su Seviyesi) m <sup>2</sup>	1x10 <sup>6</sup>
Dolusavak Yeri	Sol Sahil
Dolusavak Tipi Katastrofal Taşkın Debisi m <sup>3</sup> /sn	Karşıdan alışı serbest 893
Dolusavak Kret Kotu (m)	52
Dolusavak Kret Genişliği (m)	30
Boşaltım Kanalı Uzunluğu m	67.43
Boşaltım Kanalı Genişliği m	30.00

## 2.2. HEC-RAS 5.0.7. Programı

Bu çalışma kapsamında baraj yıkılması modelinin oluşturulması için Hydrologic Engineering Center River Analysis System (HEC-RAS) adlı bilgisayar programı kullanılmıştır. HEC-RAS programı Amerika Birleşik Devletleri Askeri Mühendislik Birimi-Su Kaynakları Enstitüsü'nün (US Army Corps of Engineers Institute of Water Resource (IWR)) bir bölümü olan Hidroloji Mühendislik Merkezi (Hydrologic Engineering Center (HEC)) tarafından geliştirilmiş bir yazılım programıdır (Tuncer, 2011). HEC-RAS, akarsuların bir veya iki boyutlu hidrolik hesaplarını yaparak, akarsuyun modellenmesi amacıyla tasarlanmış bir programdır. Program dört ayrı hidrolik analiz bileşenini içermektedir (U.S. Army Corps of Engineers, 2016). Bu bileşenler; (1) zamandan bağımsız akım koşullarında su yüzü profilinin hesaplanması, (2) zamana bağlı akım koşullarında su yüzü profilinin hesaplanması, (3) sediment taşınımının hesaplanması, (4) su kalitesi analizleri ile ilgili bileşenlerdir. Programda bu bileşenler ile geometrik veriler tanımlanarak, geometrik ve hidrolik hesaplar yapılmaktadır. Nehir rejimi, sel rejimi ya da karışık rejim durumlarında hesap yapabilmektedir. Program ayrıca baraj yıkılması ile taşkın hesaplarını da yapabilmektedir. Analizin gerçekleştirileceği çalışma alanında bulunan köprü, menfez gibi sanat yapıları ve dolu savak gibi çeşitli yapılar göz önüne alınarak analizler gerçekleştirilebilmektedir (Tuncer, 2011). Program bunlara ek olarak su yüzeyi profili hesapları, üniform akım hesapları, üniform kanal tasarımı ve sediment taşınım kapasitesi gibi tasarım bileşenlerini içermektedir. Program ile dolgu barajlarda hem baraj üzerinden aşma hem de borulanma gediklenme şekli ile yıkılmanın modellenmesi yapılabilmektedir.

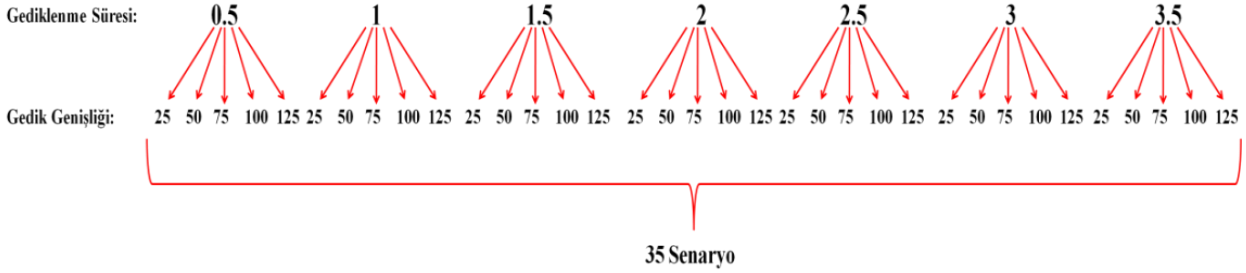
## 2.3. Baraj Yıkılma Senaryoları ve HEC-RAS ile Yıkılma Analizi

Çalışma kapsamında, ilk olarak Harita Genel Müdürlüğü'nden, tiff formatında 5 m çözünürlükte temin edilen Darlık Barajı havzası memba ve mansabına ait sayısal yükseklik haritası sisteme tanımlanmıştır. Baraj göleti geometrisi arazi modeline uygun olacak şekilde belirlenmiş ve poligon biçiminde oluşturulmuştur. Daha sonraki aşamada baraj yıkılması neticesinde taşkın sularının ulaşması öngörülen taşkın yayılım alanı oluşturulmuştur. Bu alan perimetre aracılığıyla poligon olarak çizilirken küçük bir alan seçilmesinin taşkın yayılım analizinin gerçekleştirilmesi esnasında yeterince doğru sonuçları vermeyeceği bilindiğinden olası en muhtemel, arazi yapısıyla uyumlu ve geniş alan oluşturulmuştur. Bu alanın sınırlarına alan üzerinde yapılan deneme yanılma çalışmaları neticesinde karar verilmiştir. Oluşturulan taşkın alanı poligonu üzerinde 2 boyutlu alan ızgara aralığı oluşturulmuştur. Bu ızgara hücre aralıkları 10 x 10 m boyutunda olacak şekilde bölünmüş ve literatürdeki çalışmalar dikkate alınarak manning katsayısı programa 0.025 olarak tanımlanmıştır. Böylelikle ızgara alanı ile birlikte 2 boyutlu bir çalışma alanı elde edilmiştir. Başlangıç koşulu olarak mevcut rezervuar alanı sisteme tanımlanmış ve hazne hacminin tamamının dolu olduğu kabulü ile buna karşılık gelen su kotu 55.42 m olacak şekilde programa tanımlanmıştır. Sınır koşulu olarak ise baraj yıkılması neticesinde taşkın sularının mansap boyunca ilerleyerek denize ulaşacağı bölgelerde akış alanı oluşturulmuştur. Sınır koşulu olarak programda normal derinlik opsiyonu kullanılmıştır. HEC-RAS programı bu opsiyonu bir aşağı akış sınır koşulu olarak kullanmaya olanak sağlamaktadır. Bu seçenek, hesaplanan her akış için bir aşamayı tahmin etmek için Manning denklemini kullanmaktadır. Bu yöntemi kullanmak için bir sürtünme eğimi (enerji eğimi çizgisinin eğimi) girilmesi gerekmektedir. Sürtünme eğimi literatüre uygun olacak şekilde 0.01 olarak tanımlanmıştır.



Bir sonraki aşamada baraj gövdesi Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı tarafından temin edilen bilgiler kullanılarak modele tanımlanmıştır. Daha sonra baraj gövdesi üzerine planlanan senaryo ve yıkılma türü ile ilgili bilgiler işlenmiştir. Denklem seti olarak HEC-RAS modelinde difüzyon dalga denklemi seçilmiş ve kararsız akım analizi gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, analiz hesap ayarlarında ‘‘Hesap Aralığı’’ 1 saniye olarak ayarlanmıştır.

Çalışma kapsamında, yıkılma senaryolarında yıkılma modu olarak borulanma gediklenme şekli seçilmiştir. Senaryolar kapsamında baraj yıkılması gediklenme süresi ve gedik taban genişliği dikkate alınarak oluşturulmuştur. Senaryoların oluşturulmasında literatüre dayanarak 25, 50, 75, 100 ve 125 m gedik taban genişlikleri kullanılmıştır (Kocaman, 2002). Her bir gedik genişliği yine literatüre dayanarak seçilen 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 ve 3.5 saat gediklenme süreleriyle analiz yapılmıştır. Literatüre ek olarak HEC-RAS yazılımının içinde mevcut olarak bulunan ve otomatik olarak seçilebilen denklemler göz önünde bulundurularak bu parametreler seçilmiştir. 35 adet yıkılma senaryosu oluşturulmuştur. Bu senaryoların çizelgesi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Gediklenme senaryoları çizelgesi

Yıkılma senaryolarının oluşturulabilmesi amacıyla programa baraja ait veriler tanımlanmıştır. Bu kapsamda ilk gediklenme senaryosunda haznenin tamamen dolu olduğu kabulüyle maksimum su kotu esas alınmıştır. Minimum gedik taban genişliği olan 25 m ile minimum gediklenme süresi olan 0.5 saat seçilmiştir. Maksimum su kotu 55.42 m ye karşılık gelen maksimum depolama hacmi 130.5 milyon m<sup>3</sup> değeri hacim-satış eğrisinden okunmuştur. Hacim-Satış eğrisi DSİ Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı’ndan alınmış ve hacim-satış eğrisinde yer alan bilgiler programa tanımlanmıştır. Böylelikle ilk gediklenme senaryosu için maksimum su kotu 55.42 m olarak programa girilmiştir. İlk gediklenme senaryosu için baraj yüksekliği talveg kotu 10 m ve baraj kret kotu 57.5 m alınarak programa tanımlanmıştır. Bir diğer parametre olan gediklenme taban yüksekliği minimum su kotuna eşit olacak şekilde yine DSİ’den alınan bilgiler göz önüne alınarak 21.5 m olarak girilmiştir. Gediklenme süresi ve gedik taban genişliği dışında kalan gediklenme parametreleri Xu ve Zhang (2009) parametrelerine göre seçilmiştir. İlk senaryoya ait gediklenme parametrelerinin girildiği HEC-RAS ekranı Şekil 3’te verilmiştir.

Storage Area Connection Breach Data

SA Connection: DARLIK-BARAJ

Breach This Structure

Breach Method: User Entered Data

Center Station: 215

Final Bottom Width: 25

Final Bottom Elevation: 21.5

Left Side Slope: 0.66

Right Side Slope: 0.66

Breach Weir Coef: 1.44

Breach Formation Time (hrs): 0.5

Failure Mode: Piping

Piping Coefficient: 0.5

Initial Piping Elev: 50

Trigger Failure at: Set Time

Start Date: 22SEP2021

Start Time: 0010

Input Data

Top of Dam Elevation (m): 57.5

Breach Bottom Elevation (m): 21.5

Pool Elevation at Failure (m): 55.42

Pool Volume at Failure (1000 m<sup>3</sup>): 130500

Failure mode: Piping

MacDonald

Dam Crest Width (m): 10

Slope of US Dam Face Z1 (H:V): 1.8

Earth Fill Type: Non-homogeneous or Rockfill

Slope of DS Dam Face Z2 (H:V): 1.8

Xu Zhang (and Von Thun)

Dam Type: Dam with corewall

Dam Erodibility: Medium

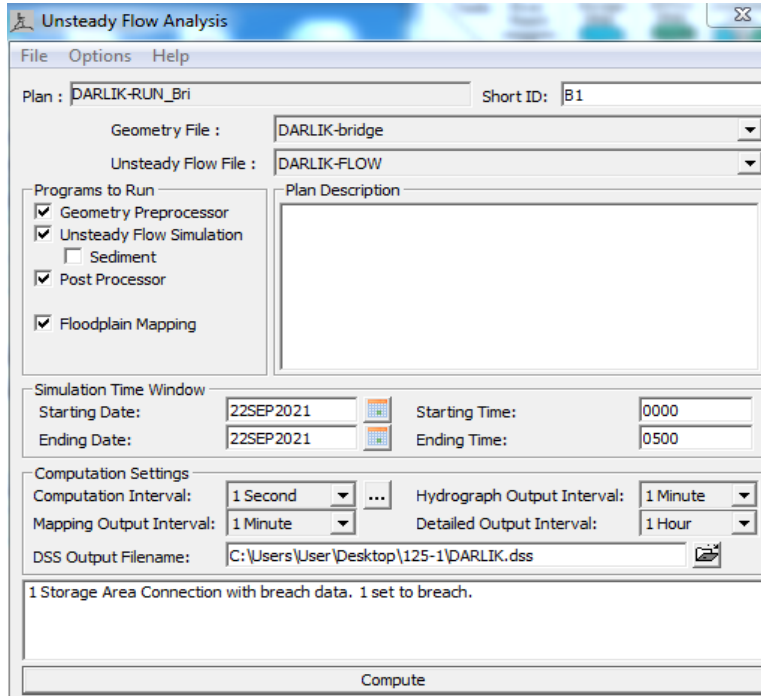
Method	Breach Bottom Width (m)	Side Slopes (H:V)	Breach Development Time (hrs)	
MacDonald et al	201	0.5	2.24	Select
Froehlich (1995)	108	0.9	2.02	Select
Froehlich (2008)	98	0.7	1.78	Select
Von Thun & Gillete	122	0.5	0.93	Select
Xu & Zhang	81	0.66	3.48 *	Select

\* Note: the breach development time from the Xu Zhang equation includes more of the initial erosion period and post erosion than what is used in the HEC-RAS breach formation time.

OK Cancel

Şekil 3: HEC-RAS gediklenme verileri ekranı ve Senaryo 1 için tanımlanan gediklenme parametreleri

HEC-RAS 5.0.7. programında baraj gölünün, baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın yayılım alanının, baraj gövdesinin, başlangıç ve sınır koşullarının ve son olarak gediklenme parametrelerinin tanımlanmasından sonra analiz aşamasına geçilmiştir. Analiz süresi olarak 22 Eylül 2021 saat 00:00'da başlayıp 22 Eylül 2021 saat 05:00'da biten bir aralık seçilmiştir. Baraj yıkılma analizi süresi seçilirken gediklenmenin başlaması ve gelişmesi, baraj yıkılmasının gerçekleşmesi ve taşkın oluşması, taşkın yayılması ve süzülmenin gerçekleşmesi gibi tüm aşamaların yeterince gözlemlenebilmesi dikkate alınmıştır. Bu sebeple yeterli bir süre seçilmiştir. Baraj yıkılması taşkını kararsız akım analizinin hesap girdilerinin tanımlandığı ekran Şekil 4'te verilmiştir. Analiz hesap ayarlarında programın sık sürelerle hesap yapabilmesi ve hidrografların yükselişini ve alçalışını doğru bir şekilde tanımlayacak kadar küçük olması amacıyla "Hesap Aralığı" 1 saniye olarak ayarlanmıştır. Hesaplama aralığı kararsız akım hesaplamalarında kullanılmaktadır. HEC-RAS eşleştiricisi içinde harita çıktısının görselleştirilebileceği aralığı girmek için kullanılan "Harita Çıktı Aralığı" 1 dakika olarak ayarlanmıştır. Hesaplanan seviye ve akış hidrograflarının hangi aralıkta yazılacağını tanımlamak için kullanılan "Hidrograf Çıktı Aralığı" programda 1 dakika olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu aralık seçilen hesaplama aralığına eşit veya ondan daha büyük olması gerektiği göz önüne alınarak seçilmiştir. Ayrıca bu aralığın hesaplanan hidrografların şeklini hidrografın tepesi ya da hacmi hakkında bilgi kaybetmeden en doğru şekilde tanımlamak için yeterli sayıda nokta verecek şekilde seçilmesi gerektiği bilinmektedir. Simülasyon esnasında kullanıcı tarafından belirlenen bir aralıkta su yüzey kotu ve akışı profillerinin yazılmasını sağlayan "Ayrıntılı Çıktı Aralığı" da 1 saat olarak girilmiştir. Akış profillerinin tüm bilgilerinin depolanması için çok fazla alan gerekeceğinden, her zaman aralığının seçilememesi ayrıntılı çıkış aralığı seçilirken dikkate alınmıştır. Analiz için gerekli tüm girdiler programa tanımlandıktan sonra analiz gerçekleştirilmiştir.



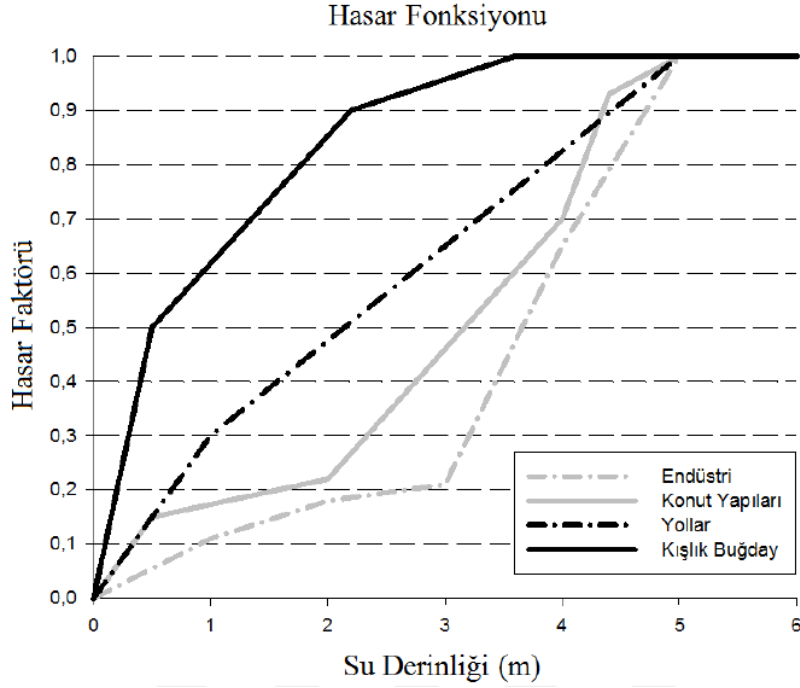
Şekil 4: HEC-RAS kararsız akım analizi hesap ekranı

## 2.4. Yapılar Üzerinde Zarar Hesabı

Literatürde Huntington İnşaat Mühendisleri Birliği tarafından önerilen zarar yüzdelere göre zarar hesabı (Huntington, 1976), van Eck ve Kok derinlik zarar eğrilerine göre zarar hesabı (van Eck & Kok, 2001), Aimilia K. Pistrika ve Sebastiaan N. Jonkman denklemlerine göre zarar hesabı (Pistrika & Jonkman, 2010) gibi birçok yöntem bulunmaktadır (Terzioğlu, 2018). Ayrıca yine Avrupa Birliği Ortak Araştırma Merkezi tarafından (European Commission-Joint Research Centre) taşkın hasar değerlendirmesi üzerine yayınladıkları raporda zarar hesabı hakkında bir takım yöntemlerden bahsedilmiştir (van der Sande, 2001). Literatürde yer alan bu çalışmalar dikkate alınarak bu çalışma kapsamında seçilen çalışma için uygulamalar yapılmıştır.

Zarar hesaplamalarının gerçekleştirilebilmesi için taşkın yayılım haritası ile birlikte taşkın derinlik haritaları incelenmelidir. Bu amaçla taşkın yayılım alanında bulunan yerleşim alanları ve su derinlikleri belirlenmiştir. Zarar hesaplamaları için ilk olarak Google Earth programında taşkına maruz kalan her bir yapının taban alanı hesaplanmıştır. HEC-RAS programında gerçekleştirilen analiz sonucunda elde edilen taşkın derinlik haritaları ile binalara karşılık gelen su derinlikleri okunmuştur. Su derinlikleri okunurken HEC-RAS programında analiz anında su derinliğinin maksimum olduğu an yani en kötü senaryo (0.5 sa gediklenme süresi ve 125 m dedik genişliği olan senaryo) kullanılmıştır.

Hasar oranının bulunması için derinlik bulgularının HEC-RAS programında yapılan analizler sonucunda elde edilmiş olması sebebiyle su derinliğine göre zarar miktarını hesaplayabildiğimiz van Eck ve Kok yöntemi kullanılmıştır. van Eck ve Kok tarafından oluşturulan su derinliği hasar faktörü eğrileri Şekil 5’de verilmiştir. Yapılan çalışmada barajın mansabında yer alan yapılar konut/bina olduğundan dolayı konut yapıları için olan hasar fonksiyonu ve buna bağlı hasar faktörleri kullanılmıştır.



Şekil 5: Van Eck ve Kok hasar faktörü eğrileri (Serencam, 2013)

Hasar faktörleri belirlendikten sonra elde edilen zarar yüzdeleri ile taşkına maruz kalan her bir binanın taban alanı çarpılmış ve zarar miktarları hesaplanmıştır. Her bina Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 24 Mart 2021 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan (Resmi Gazete, 2021) yapı yaklaşık birim fiyat maliyetleri listesine göre 3. sınıf A grubu yapılar (konutlar, ticari amaçlı binalar, okullar, kreşler vb.) olarak kabul edilmiştir. Ve her bina için 02.12.1982 yılında yayınlanan 17886 Sayılı Resmi Gazete’de yıpranma payı binaların genelinin betonarme karkas ve 16-20 yaş arası olması kabulüne göre %20 alınmıştır. Sonuç olarak taşkın yayılım alanında kalan her bina için hesaplanan zarar miktarları birim fiyat ve yıpranma payı ile de çarpılmış ve tahmini zarar maliyeti hesaplanmıştır. Ayrıca taşkın yayılım alanındaki her bir bina için hesaplanan zarar yüzdeleri %0–15, %16–30, %31–45, %46–60, %61–75 ve %76–100 olarak 6 sınıfa ayrılmıştır. Bu yüzde sınıfları zarar yüzdelерinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla taşkın yayılım haritaları üzerinde gösterilmiş ve bulgular kısmında sunulmuştur.

## 2.5. Yapılar Üzerinde Taşkın Risk Hesabı

Yapılar üzerinde taşkın risk sınıflandırmasının gerçekleştirilmesinde literatürde Taşkın Risk Haritalarının Hazırlanması Kılavuzu’na göre, Dinh vd. (2012) tarafından yapılan çalışma neticesinde oluşturulan sınıflandırmaya göre, Taşkın Risk Analizi ve Haritalandırma Rehberi risk sınıflandırma tablosuna göre yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır (Terzioğlu, 2018). Bu çalışma kapsamında, Dinh vd. (2012) tarafından oluşturulan sınıflandırmadan yararlanılmıştır. Bu sınıflandırmaya göre taşkın riskleri taşkın derinliğine bağlı olarak çok düşük riskli, düşük riskli, orta riskli, yüksek riskli ve çok yüksek riskli olarak 5’e ayrılmıştır. Bu sınıflandırma Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2: Taşkın risk sınıflandırması (Dinh vd., 2012)

Taşkın Derinliği (m)	Taşkın Riski
0-0.2	Çok Düşük
0.2-0.5	Düşük
0.5-1.0	Orta
1.0-2.0	Yüksek
>2.0	Çok Yüksek

### 3. Bulgular

#### 3.1. Baraj Yıkılma Analizi Bulguları

Çalışma kapsamında oluşturulan tüm senaryolara ait maksimum debi ve maksimum debiye ulaşılan zaman Tablo 3'te verilmiştir. Bu bulgulara göre gedik taban genişliği büyüdükçe ve gediklenme süresi küçüldükçe maksimum debinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca gedik taban genişliği değişse dahi gediklenme süresi küçüldükçe maksimum debiye ulaşma süresinin daha erken bir zamanda meydana geldiği görülmüştür. Rezervuardan çıkan su miktarı tüm analizler için maksimum su kotuna karşılık gelen 130.5 milyon m<sup>3</sup> hazne hacminden minimum su kotu 21.5 m ye karşılık gelen 5.5 milyon m<sup>3</sup> hazne hacmine ulaşacak şekilde azalmıştır. Analiz süresinin uzun tutulması halinde 125 milyon m<sup>3</sup> suyun boşaldığı, sürenin 5 saat tutulması halinde boşalan suyun 95 milyon m<sup>3</sup> civarında olduğu gözlemlenmiştir. Haznede bulunan ve 55.42 m yüksekliğinde tanımlanan su kotu analiz süresince minimum su seviyesi kotu olan 21.5 m seviyesine doğru inmiştir. Bu minimum su kotuna erişim süresi her bir analizde değişim göstermiştir. Gedik taban genişliği arttıkça bu süreye erişim daha erken bir zamanda meydana gelmiştir. Analiz sonuçlarına göre maksimum çıkan debi, rezervuardan çıkan su miktarı, oluşan su derinliği, su hızı ve oluşan su yüksekliği 25 m gedik taban genişliğinde oluşturulan tüm senaryolar için sonuçlar özet olarak Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 3: Farklı gediklenme süresinin ve farklı gedik taban genişliklerinin etkisinin gövde aksında incelenmesi sonucu elde edilen veriler

Senaryo No	SENARYOLAR		MAKSİMUM DEBİ (m <sup>3</sup> /sn)	MAKSİMUM DEBİYE ULAŞILAN ZAMAN (sa:dak) 22 EYLÜL 2021
	Gedik Taban Genişliği (m)	Gediklenme Süresi (sa)		
1	25	0.5	11243	00:40
2	25	1	10597	01:10
3	25	1.5	10003	01:40
4	25	2	9396	02:10
5	25	2.5	8839	02:40
6	25	3	8392	03:10
7	25	3.5	7993	03:40
8	50	0.5	17385	00:40
9	50	1	15999	01:10
10	50	1.5	14628	01:40
11	50	2	13542	02:10
12	50	2.5	12627	02:40
13	50	3	11805	03:10
14	50	3.5	11072	03:40
15	75	0.5	22988	00:40
16	75	1	20310	01:10
17	75	1.5	18235	01:40
18	75	2	16536	02:10
19	75	2.5	15081	02:40
20	75	3	13591	03:10
21	75	3.5	12071	03:40
22	100	0.5	28240	00:40
23	100	1	24202	01:10
24	100	1.5	21291	01:40
25	100	2	18893	02:10
26	100	2.5	16270	02:40
27	100	3	14042	03:10
28	100	3.5	12297	03:28
29	125	0.5	33010	00:40
30	125	1	27717	01:10
31	125	1.5	23843	01:40
32	125	2	20016	02:10
33	125	2.5	16707	02:40
34	125	3	14288	02:54
35	125	3.5	12554	03:04



HEC-RAS programında gerçekleştirilen baraj yıkılma analizinde gövde aksı haricinde taşkın yayılım alanı üzerinde 3 adet kesit üzerinde incelemeler yapılmıştır. Bu 3 adet kesitin alındığı bölgeler yerleşim alanlarının sıklığına göre seçilmiştir. Alınan kesitler Şekil 6'da gösterilmiştir.

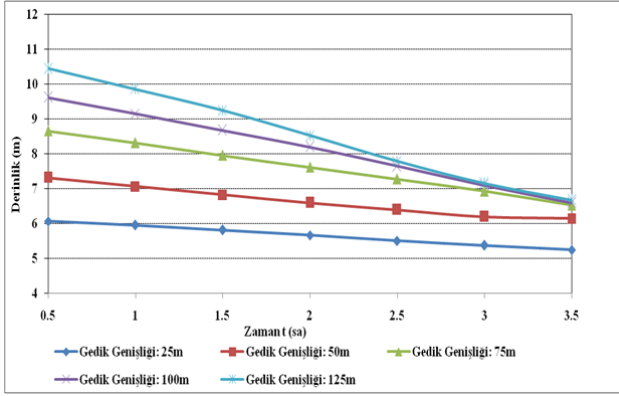


Şekil 6: Taşkın yayılım alanı üzerinde alınan kesitler

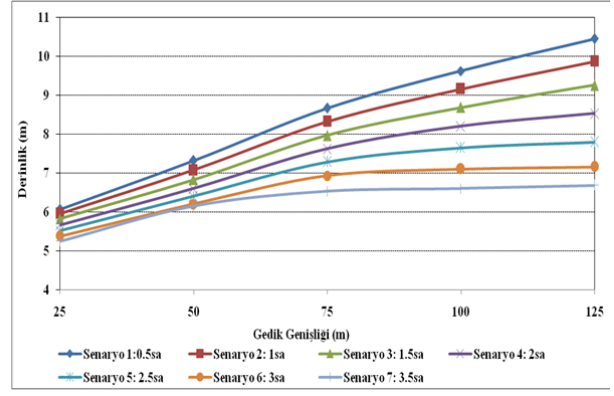
Tablo 4: HEC-RAS analiz sonuçları

Gövde Aksında Oluşan	Senaryo 1 (0.5sa)	Senaryo 2 (1sa)	Senaryo 3 (1.5sa)	Senaryo 4 (2sa)	Senaryo 5 (2.5sa)	Senaryo 6 (3sa)	Senaryo 7 (3.5sa)
Maksimum Debi (m <sup>3</sup> /sn)	11243	10597	10003	9396	8839	8392	7993
Maksimum Debiye Ulaşılan Zaman (sa)	00:40	01:10	01:40	02:10	02:40	03:10	03:40
<b>Maksimum Su Derinliği (m)</b>							
Kesit 1	6.07	5.96	5.83	5.67	5.51	5.38	5.25
Kesit 2	13.37	13.28	13.14	12.99	12.84	12.70	12.57
Kesit 3	2.37	2.36	2.35	2.33	2.30	2.27	2.25
<b>Maksimum Su Hızı (m/sn)</b>							
Kesit 1	13.33	12.82	12.41	12.02	11.66	11.38	11.12
Kesit 2	8.18	8.05	7.91	7.77	7.62	7.49	7.37
Kesit 3	7.92	7.89	7.83	7.74	7.63	7.52	7.40
<b>Maksimum Debi (m<sup>3</sup>/sn)</b>							
Kesit 1	11211	10580	9993	9389	8834	8388	7991
Kesit 2	9893	9614	9232	8812	8407	8038	7698
Kesit 3	8973	8888	8712	8447	8131	7807	7496

Çalışma sonuçlarına birer örnek olması adına Şekil 7'de Kesit 1'de 7 gediklenme süresine bağlı derinlik bulguları (Şekil 7-a), ve 5 gedik genişliğine bağlı derinlik bulguları (Şekil 7-b), Şekil 8'de Kesit 1'de 7 gediklenme süresine bağlı hız bulguları (Şekil 8-a) ve 5 gedik genişliğine bağlı hız bulguları (Şekil 8-b), Şekil 9'da Kesit 1'de 7 gediklenme süresine bağlı debi bulguları (Şekil 9-a) ve 5 gedik genişliğine bağlı debi bulguları (Şekil 9-b) sunulmuştur. Kesit 2 ve kesit 3 için de benzer sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Grafiklerde 7 gediklenme süresine bağlı derinlik, hız ve debinin pik değerleri ile oluşturulan eğrilerin eğimleri incelendiğinde gedik genişliği arttıkça daha dik bir eğim, gedik genişliği azaldıkça daha yataya yakın bir eğim elde edildiği görülmüştür. Bu da gedik genişliği büyüdükçe gediklenme süresinin derinlik, hız ve debi üzerinde daha etkili olduğunu göstermektedir. 5 gedik genişliğine bağlı bulgulara ait eğriler incelendiğinde ise 75 m gedik genişliğinde bir kırılma noktası gözlemlenmiştir. 75 m gedik genişliğinden önceki senaryolarda daha dik bir eğim elde edilirken bu eğim 75 m kırılma noktasını aştıktan sonra daha yatay bir hale gelmeye başlamıştır. 75 m gedik genişliğinden önce ve sonra elde edilen grafik eğimlerinin değişmesinden dolayı gözlemlenen bu sonuç bize göstermektedir ki 75 m gedik genişliğinden daha büyük genişlikteki senaryoların derinlik, hız ve debi üzerindeki etkileri önceki senaryolara kıyasla azalmaktadır. Ayrıca Kesit 3'te oluşan debi hidrografına göre her bir senaryoda maksimum debiye ulaşma süreleri kıyaslanmış ve gediklenme süresine (Şekil 10-a) ve gedik genişliğine (Şekil 10-b) bağlı olarak Şekil 10'da sunulmuştur. Her bir analiz için pik debiye erişim süreleri kıyaslandığında gedik genişliği arttıkça pik debiye erişim süresinin azaldığı, gedik oluşum süresi arttıkça pik debiye erişim zamanının da arttığı gözlemlenmiştir.

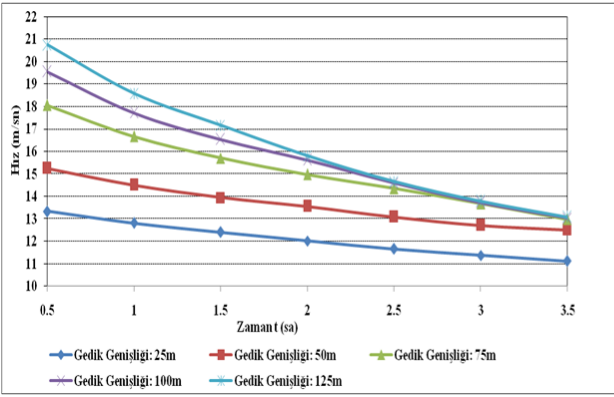


(a)

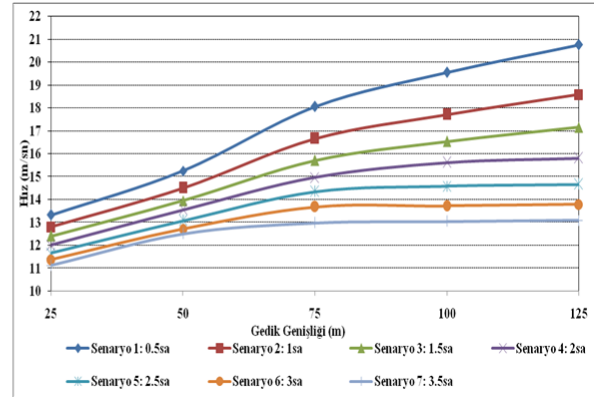


(b)

Şekil 7: Kesit 1'de 7 gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) ve 5 gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı derinlik bulguları

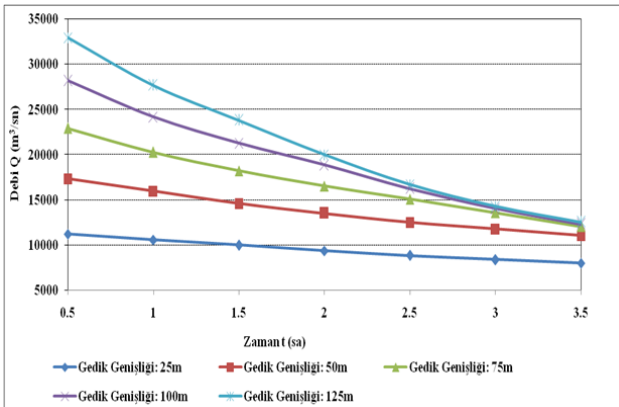


(a)

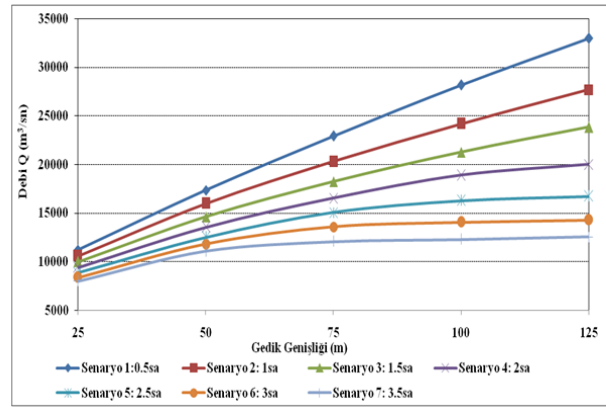


(b)

Şekil 8: Kesit 1'de 7 gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) ve 5 gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı hız bulguları

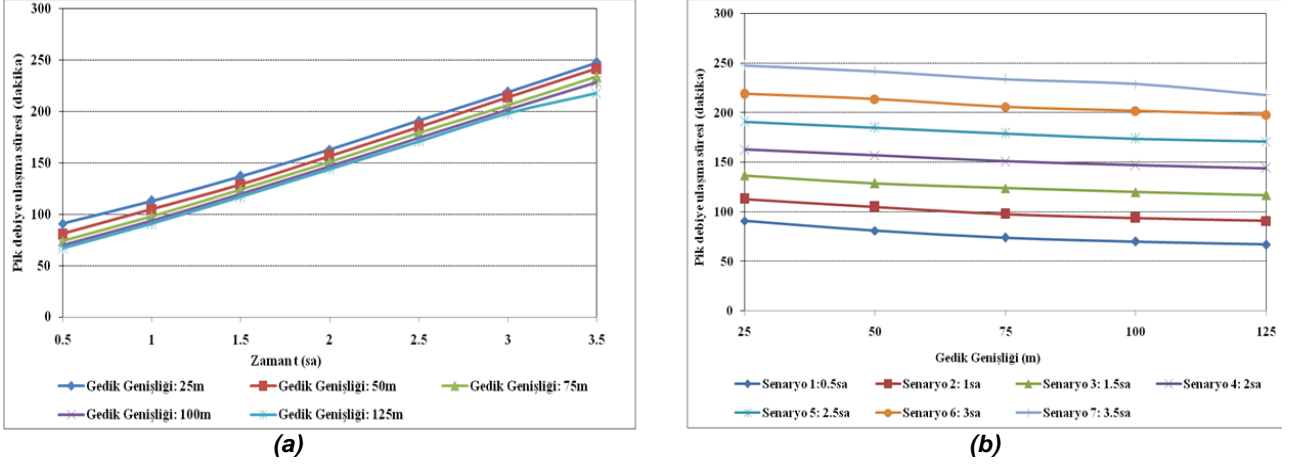


(a)



(b)

Şekil 9: Kesit 1'de 7 gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) ve 5 gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı debi bulguları

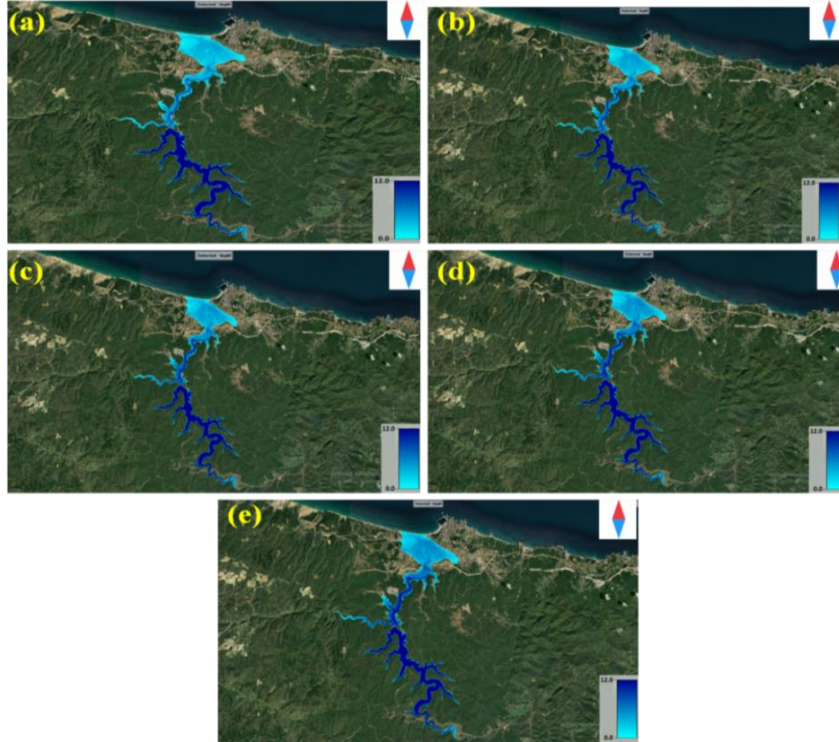


Şekil 10: Kesit 3'te 7 gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) ve 5 gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı pik debiye ulaşma süreleri

### 3.2. Taşkın Yayılım Haritalarının Oluşturulması

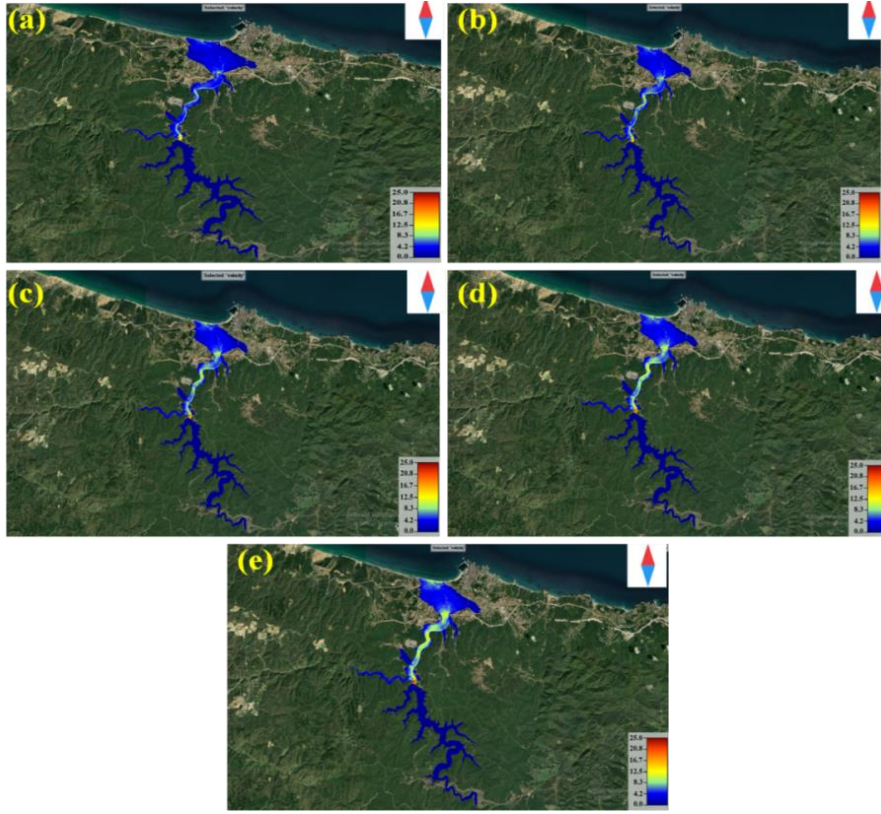
Gediklenme süresi 0.5 sa için tüm gediklenme genişliklerinde (25, 50, 75, 100 ve 125m) elde edilen maksimum taşkın yayılım-derinlik haritaları Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu haritada derinliğin alana göre dağılımı verilmiştir. Elde edilen maksimum taşkın yayılım-hız haritaları Şekil 12'de verilmiştir. Bu haritalarda su hızının alana göre dağılımı verilmiştir. Ayrıca maksimum yayılım-su yüzey kotu haritaları Şekil 13'te verilmiştir. Taşkın yayılım haritalarının su derinliği, su hızı ve su yüzeyi yüksekliğine göre belirlenmiş lejantları baraj gölünü temsil etmemekte olup baraj gövdesinin mansabında yer alan taşkın yayılım alanını temsil etmektedir.

Taşkın yayılım haritaları 35 senaryo için HEC-RAS programında elde edildikten sonra ArcGIS programında her bir senaryonun taşkın yayılım alanı hesaplanmıştır. Elde edilen taşkın yayılım haritaları incelendiğinde 10.266 km<sup>2</sup> taşkın yayılım alanı ile 0.5 sa gediklenme süresi ve 125 m gedik genişliği kullanılan senaryoda en fazla yayılım gözlemlenmiştir. 8.010 km<sup>2</sup> taşkın yayılım alanına sahip olan 3.5 sa gediklenme süresi ve 25 m gedik genişliğine ait senaryoda ise en küçük yayılım alanı gözlemlenmiştir. Gerçekleştirilen tüm senaryolara ait taşkın yayılım haritalarının taşkın alanları Tablo 5'de sunulmuştur.

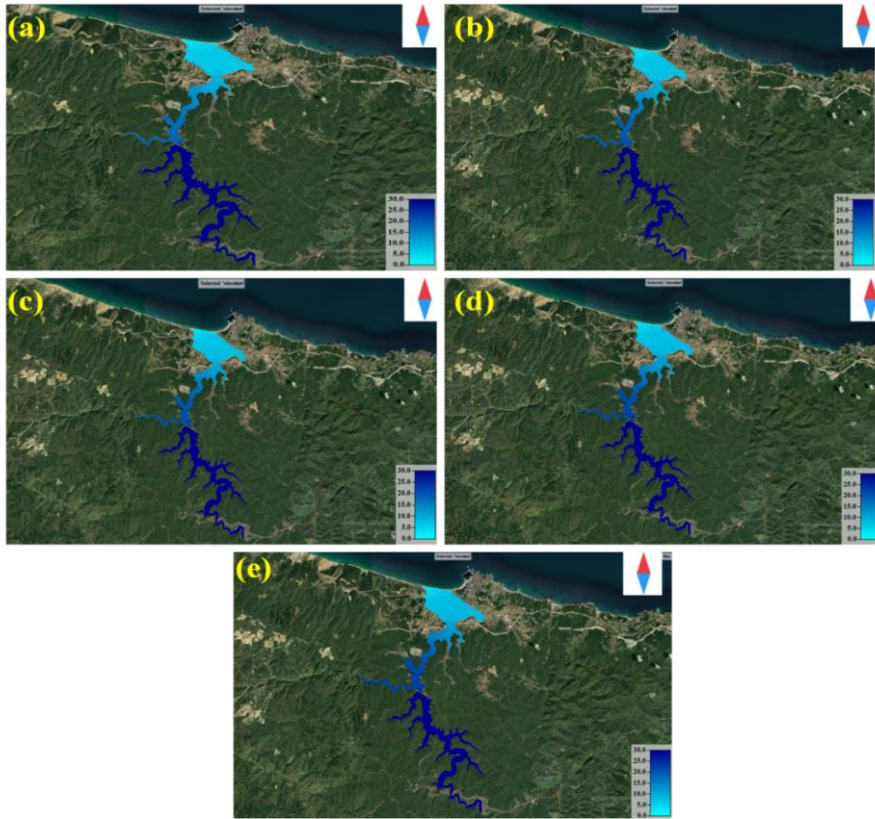


Şekil 11: 0.5 sa gediklenme süresi ve a) 25 m, b) 50 m, c) 75 m, d) 100 m, e) 125 m gedik genişlikleri için taşkın yayılım-derinlik haritaları





Şekil 12: 0.5 sa gediklenme süresi ve a) 25 m, b) 50 m, c) 75 m, d) 100 m, e) 125 m gedik genişlikleri için taşkın yayılım- hız haritaları



Şekil 131: 0.5 sa gediklenme süresi ve a) 25 m, b) 50 m, c) 75 m, d) 100 m, e) 125 m gedik genişlikleri için taşkın yayılım- su yüzey kotu haritaları

Tablo 5: HEC-RAS taşkın yayılım alanları

Senaryo Numarası	Gedik Taban Genişliği (m)	Gediklenme Süresi (sa)	Taşkın Yayılım Alanı (km <sup>2</sup> )
Senaryo 1	25	0.5	8.419
Senaryo 2	25	1	8.228
Senaryo 3	25	1.5	8.184
Senaryo 4	25	2	8.149
Senaryo 5	25	2.5	8.113
Senaryo 6	25	3	8.061
Senaryo 7	25	3.5	8.010
Senaryo 8	50	0.5	8.746
Senaryo 9	50	1	8.689
Senaryo 10	50	1.5	8.620
Senaryo 11	50	2	8.522
Senaryo 12	50	2.5	8.429
Senaryo 13	50	3	8.359
Senaryo 14	50	3.5	8.291
Senaryo 15	75	0.5	8.966
Senaryo 16	75	1	8.957
Senaryo 17	75	1.5	8.956
Senaryo 18	75	2	8.843
Senaryo 19	75	2.5	8.727
Senaryo 20	75	3	8.595
Senaryo 21	75	3.5	8.435
Senaryo 22	100	0.5	9.303
Senaryo 23	100	1	9.165
Senaryo 24	100	1.5	9.032
Senaryo 25	100	2	8.885
Senaryo 26	100	2.5	8.834
Senaryo 27	100	3	8.696
Senaryo 28	100	3.5	8.490
Senaryo 29	125	0.5	10.266
Senaryo 30	125	1	9.565
Senaryo 31	125	1.5	9.265
Senaryo 32	125	2	9.011
Senaryo 33	125	2.5	8.953
Senaryo 34	125	3	8.731
Senaryo 35	125	3.5	8.517

### 3.3. Zarar Hesabı Bulguları

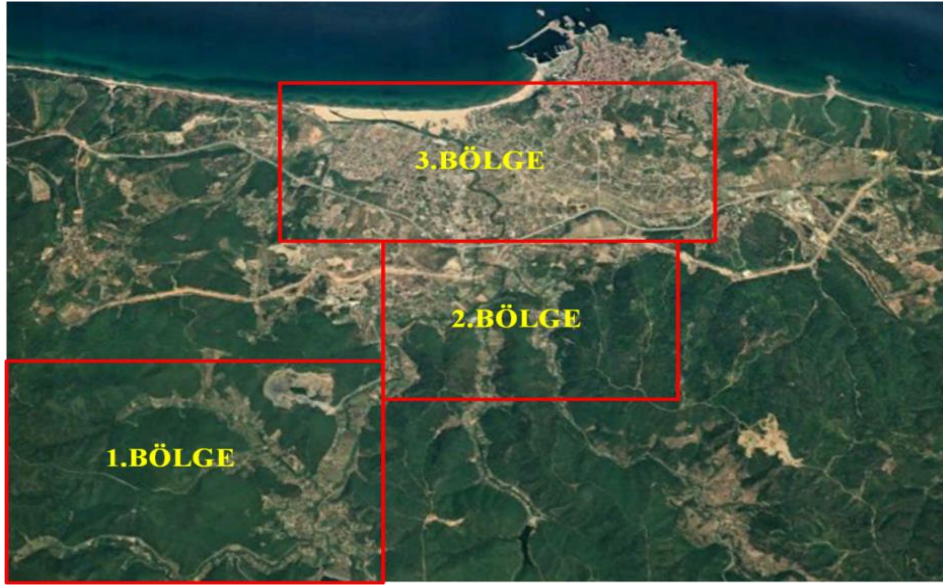
Zarar ve risk hesabının analizinde taşkınımın en etkili olduğu diğer bir deyişle en kötü senaryo seçilmiştir. Bu çalışmada en kötü senaryo olan 125 m gedik genişliği ve 0.5 saat gediklenme süresi ile elde edilen taşkın yayılım haritaları ve taşkın derinlik haritaları incelenmiştir. Ve buna göre bir taşkın sonucu meydana gelen zarar hesaplanmıştır. Bu amaçla van Eck ve Kok yöntemiyle derinliğe bağlı olarak zarar yüzdeleri (hasar oranı) elde edilmiştir.

Taşkın yayılım alanının incelenmesi neticesinde 125 m gedik genişliğine ve 0.5 sa gediklenme süresine sahip senaryoda toplam yaklaşık 3043 binanın hasar gördüğü tespit edilmiştir. Bu binaların toplam taban alanları 1,370,017.00 m<sup>2</sup> olarak hesaplanmıştır. Her bir binaya ait taban alanı HEC RAS programı ile elde edilen taşkın derinlik haritasında kendine denk gelen su derinliği için hesaplanan zarar yüzdesiyle (hasar oranı) çarpılmıştır. Böylelikle zarar miktarları hesaplanmıştır. Her bina Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından 24 Mart 2021 tarihinde Resmi Gazete’de yayınlanan ([Resmi Gazete, 2021](#)) yapı yaklaşık birim fiyat maliyetleri listesine göre 3. sınıf A grubu yapılar olarak kabul edilmiştir. Ve her bina için birim maliyet 1360 TL olarak alınmıştır. Yıpranma payı ise yine Resmi Gazete’de yayınlanan bilgilere göre binaların genelinin betonarme karkas ve 16-20 yaş arası olması kabulüne göre %20 olarak alınmıştır. Böylelikle zarar miktarları her bir bina için birim maliyet ve yıpranma payı ile çarpılarak toplam zarar miktarı 44,846,805.00 \$ (20 Aralık 2021 Dolar/TL kuruna göre) olarak elde edilmiştir.

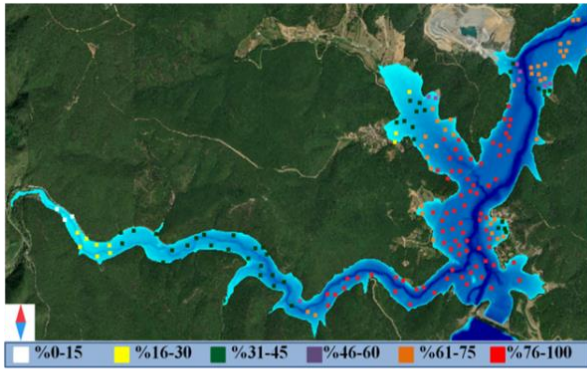
Taşkın yayılım alanındaki her bir bina için hesaplanan zarar yüzdeleri %0–15, %16–30, %31–45, %46–60, %61–75 ve %76–100 olarak 6 sınıfa ayrılmıştır ([van Eck & Kok, 2001](#)). Bu yüzde sınıfları zarar yüzdelerinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla taşkın yayılım haritaları üzerinde gösterilmiştir. Taşkın yayılım alanında taşkın suları altında kalan binaların daha iyi görüntülenebilmesi için Şekil 14’te görüldüğü üzere 3 bölgeye ayrılmış ve bu şekilde incelenmiştir. Zarar yüzdeleri %0-15 arasında olan binalar beyaz, %16-30 arası sarı, %31-45 arası mor, %46-60 arası yeşil, %61-75 arası turuncu, %76-100 arası kırmızı renkte gösterilmiştir.



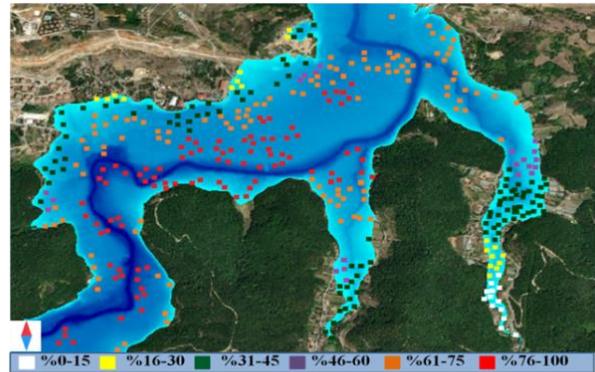
Şekil 15’da taşkın yayılım alanında 1. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 15-a), 2. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 15-b) ve 3. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 15-c) zarar yüzdeleri haritası verilmiştir.



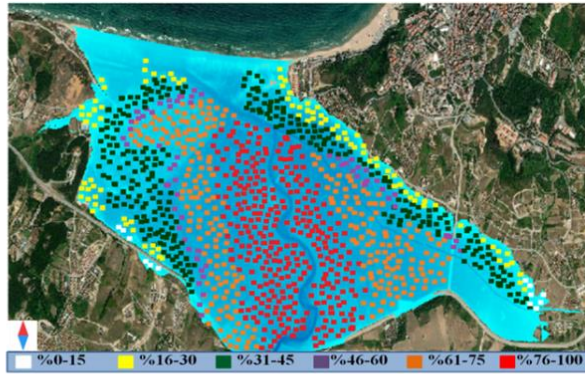
Şekil 14: Taşkın yayılım alanı zarar hesabı inceleme bölgeleri



(a)



(b)



(c)

Şekil 15: Taşkın yayılım alanı: a) 1. bölge, b) 2. Bölge, c) 3. bölge zarar yüzdeleri haritası

Darlık Baraj Gölü mansabındaki taşkın yayılım alanında van Eck ve Kok metoduna göre belirlenen zarar yüzdelerine göre taşkına maruz kalan bina taban alanları ve risk altındaki toplam bina taban alanına göre yüzdeleri Tablo 6’da verilmiştir. Buna göre taşkın yayılım alanı bölgesi incelendiğinde her 3 bölge için de yerleşim alanlarının yoğunluk olarak %61 ile %75 derecesinde zarar görebilecek bölgede bulunduğu anlaşılmaktadır.

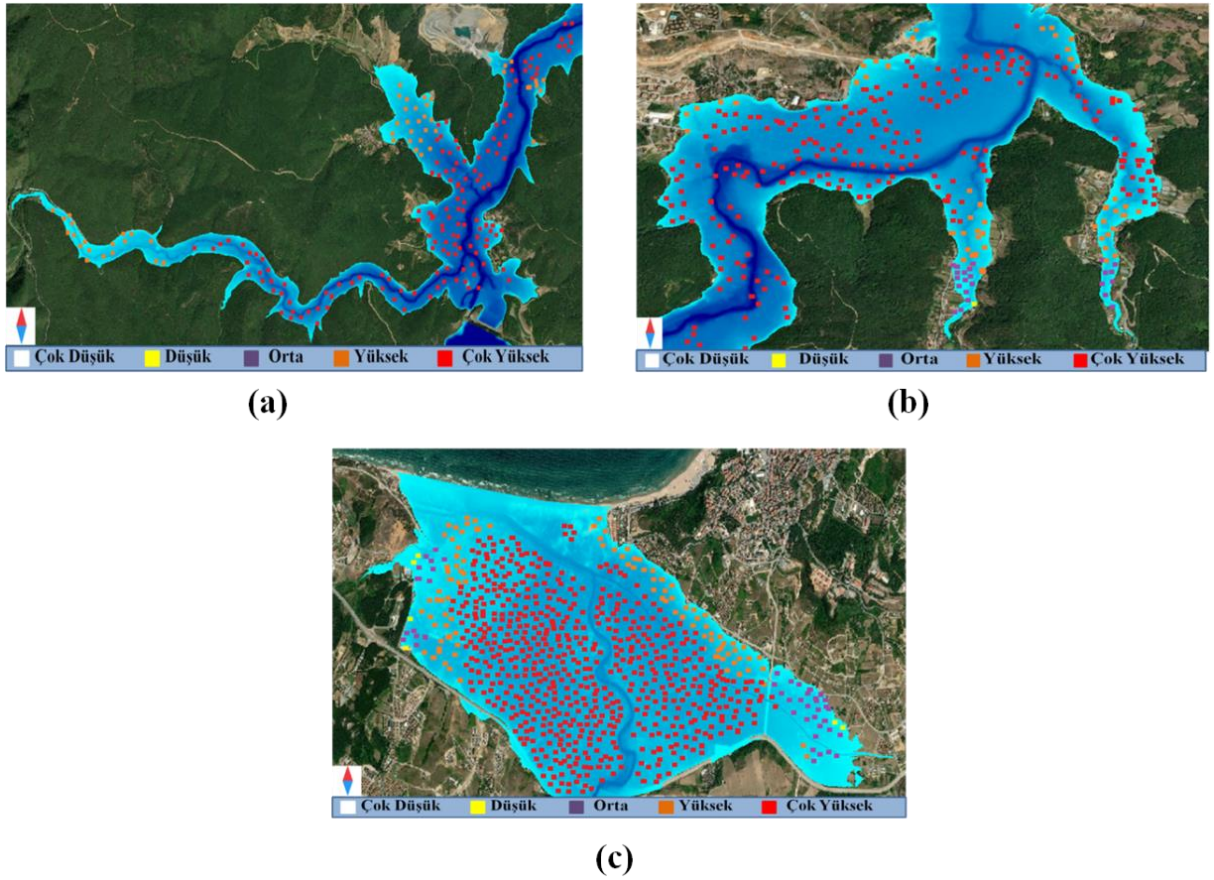
Tablo 6: Zarar yüzdeleri sınıflandırmasına göre taşkına maruz kalan bina taban alanları

Zarar Yüzdesi	% 0-15	% 16-30	% 31-45	% 46-60	% 61-75	% 76-100
Toplam Bina Taban Alanı (m <sup>2</sup> )	25,632.00	255,051.00	428,686.00	26,960.00	545,593.00	88,094.00
Bina Taban Alanı Yüzdeleri (%)	1.87	18.62	31.29	1.97	39.82	6.43

### 3.4. Risk Hesabı Bulguları

Yapılan çalışmada risk hesaplamaları 125 m gedik genişliği ve 0.5 saat gediklenme süresi ile oluşturulan senaryo için gerçekleştirilmiştir. Risk hesaplamalarında Dinh vd. (2012) tarafından yapılan çalışma sonucunda elde edilen derinliğe bağlı taşkın riski tablosu kullanılmıştır. Bu risk tablosu daha önce belirtildiği üzere derinliğe bağlı olarak 5 sınıftan oluşmaktadır. Taşkın derinliklerine göre risk sınıfı çok düşük olan bölgeler beyaz, düşük olanlar sarı, orta olanlar mor, yüksek olanlar turuncu, çok yüksek olan bölgeler ise kırmızı renkle haritalar üzerinde gösterilmiştir.

Darlık Barajı mansap bölgesi için elde edilen taşkın risk sınıflandırma haritası yine taşkın zarar hesabında olduğu gibi 3 bölgeye ayrılarak incelenmiştir. Şekil 16'da taşkın yayılım alanında 1. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 16-a), 2. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 16-b) ve 3. Bölge olarak adlandırılan alan için (Şekil 16-c) risk derecelerini gösteren risk haritası verilmiştir.



Şekil 16: Taşkın yayılım alanı: a) 1. bölge, b) 2. Bölge, c) 3. bölge risk sınıfları haritası

Darlık Baraj Gölü mansabındaki taşkın yayılım alanında Dinh vd. (2012) metoduna göre belirlenen risk sınıflarına göre taşkına maruz kalan bina taban alanları ve risk altındaki toplam bina taban alanına göre yüzdeleri Tablo 7'de verilmiştir. Buna göre taşkın yayılım alanı bölgesi incelendiğinde her 3 bölge için de yerleşim alanlarının yoğunluk olarak çok yüksek riskli bölgede bulunduğu anlaşılmaktadır. Taşkın yayılım alanında taşkından etkilenen toplam bina taban alanı 1,370,017 m<sup>2</sup> olduğundan dolayı çok yüksek riskli binalar tüm risk altındaki alanın %80.05'i kadardır. Bunu %10.80 ile yüksek riskli ve %9.05 ile orta riskli binalar izlemektedir. Düşük riskte bulunan binalar çok az miktarda da olsa %0.1 ile taşkın yayılım alanında mevcut olduğu gözlenmiştir. Risk sınıfları Dinh vd. metoduna göre oluşturulan su derinliğine bağlı risk sınıfı çizelgesine göre seçildiğinden ve 0.2 metreden daha az su derinliği gözlemlenmediğinden dolayı çok düşük riskli bölge yüzdesi sıfır olarak hesaplanmıştır, bulgular Tablo 7'de sunulmuştur.



Tablo 7: Dinh vd. (2012) risk sınıflandırmasına göre taşkına maruz kalan bina taban alanları

Risk Sınıfı	Çok Yüksek	Yüksek	Orta	Düşük	Çok Düşük
Toplam Bina Taban Alanı (m <sup>2</sup> )	1,096,821.00	147,899.00	123,958.00	1,337.00	0.00
Bina Taban Alanı Yüzdeleri (%)	80.05	10.80	9.05	0.10	0.00

#### 4. Sonuç

Bu çalışma kapsamında, HEC-RAS 5.0.7 programı kullanılarak Darlık Barajı'nın farklı senaryolar altında baraj yıkılması taşkını analizleri gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan senaryolar ile olası baraj yıkılması sonucunda oluşacak taşkın yayılım alanları belirlenmiş, taşkın derinlik ve hız haritaları oluşturulmuş, taşkın pike ulaşma zamanı belirlenmiş ve taşkın yayılım alanı için zarar ve risk hesapları yapılmıştır.

Çalışma kapsamında oluşturulan farklı yıkılma senaryoları gediklenme süresi ve gediklenme taban genişliği dikkate alınarak yapılmıştır. Dolayısıyla, gediklenme süresi ve gediklenme taban genişliğinin etkisi senaryolar kapsamında incelenmiştir. Gediklenme taban genişliğinin ve gediklenme süresinin gediklenme üzerine etkisinin incelendiği senaryolarda literatüre uygun olacak şekilde 25, 50, 75, 100 ve 125 m gedik taban genişlikleri kullanılmıştır. Yapılan bu analizlerde her bir gedik genişliği için yine literatüre uygun şekilde 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3 ve 3.5 saatlik gediklenme süreleri kullanılmıştır. Böylece toplam 35 senaryo kurgulanmıştır. Aynı gedik genişliğine sahip senaryolar tek tek incelendiğinde gediklenme süresi arttıkça maksimum debiye erişim süresinin arttığı ve maksimum debinin de azaldığı görülmüştür. Aynı gediklenme süresi için farklı gedik genişliklerine sahip senaryolar incelendiğinde ise gedik genişliği arttıkça maksimum debiye erişim süresinin azaldığı ve maksimum debinin de arttığı gözlemlenmiştir. Senaryolar birlikte incelendiğinde gedik taban genişliği büyüdükçe ve gediklenme süresi küçüldükçe maksimum debinin arttığı ve maksimum debiye ulaşma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Senaryo bulgularına göre derinlik bulguları incelendiğinde aynı gediklenme sürelerine sahip senaryolar için gedik genişliği arttıkça derinliğin de arttığı görülmüştür. Aynı gedik genişliğine sahip senaryolar içinse gediklenme süresi arttıkça derinliğin azaldığı görülmüştür. Senaryo sonuçlarında hız bulguları incelendiğinde aynı gediklenme sürelerine fakat farklı gedik genişliklerine sahip senaryolarda gedik genişliği arttıkça hızın da arttığı görülmüştür. Bu bulgulara göre aynı gedik genişliği fakat farklı gediklenme sürelerine sahip senaryolarda ise gediklenme süresinin artması durumunda hızın azaldığı gözlemlenmiştir.

Farklı gediklenme süresine (0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5) bağlı derinlik, hız ve debinin pik değerleri ile oluşturulan eğrilerin eğimleri incelendiğinde gedik genişliği arttıkça daha dik bir eğim, gedik genişliği azaldıkça daha yataya yakın bir eğim elde edildiği görülmüştür. Dolayısıyla, gedik genişliği büyüdükçe gediklenme süresinin derinlik, hız ve debi üzerinde daha etkili olduğu sonucuna varılmıştır. Farklı gedik genişliğine (25, 50, 75, 100, 125) bağlı bulgulara ait eğriler incelendiğinde ise 75 m gedik genişliğinde bir kırılma noktası gözlemlenmiştir. 75 m gedik genişliğinden önceki senaryolarda daha dik bir eğim elde edilirken bu eğimin 75 m kırılma noktasını aştıktan sonra daha yatay bir hale geldiği gözlemlenmiştir. Dolayısıyla, 75 m gedik genişliğinden daha büyük genişlikteki senaryoların derinlik, hız ve debi üzerindeki etkilerinin daha az gedik genişliği olan senaryolara kıyasla azaldığı sonucuna varılmıştır.

Çalışmanın son aşamasında en kötü senaryo olduğu gözlemlenen 125 m gedik genişliği ve 0.5 saat gediklenme süresi senaryosu için zarar ve risk hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Yaklaşık 3043 binanın hasar gördüğü gözlemlenmiş ve toplam 44 846 805 \$ (20 Aralık 2021 Dolar/TL kuruna göre) zarar hesaplanmıştır. Ayrıca her bir bina için hesaplanan zarar yüzdelerinin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla taşkın yayılım alanı üzerinde zarar yüzdeleri gösterilmiş ve çalışma kapsamında sunulmuştur. Taşkından etkilenen tüm binaların %80.05'inin çok yüksek riskli sınıfta olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Daha sonraki aşamada taşkın yayılım alanında kalan her bir bina risk sınıfına göre işaretlenmiş ve risk haritalarında gösterilmiştir.

Çalışma bulguları gelecekte Darlık Barajı mansabına inşa edilmesi planlanan ve mevcut bulunan yapılar için bir rehber niteliğindedir. Bu hususta, yüksek riskli olan bölgelerde yapı yapılmaması için gerekli önlemler alınmalıdır. Mevcutta mansapta riskli bölgelerde bulunan yapılardan özellikle hastane, okul, itfaiye gibi kamu hizmeti veren yapıların güvenli bölgelere taşınması gerekmektedir. Riskli bölgelerde bulunan ve kamulaştırma bedelinin yüksek olmasından dolayı taşınması maliyetli diğer yapılar için ise o bölgede yaşayan insanlar taşkın konusunda bilinçlendirilmelidir. Ayrıca, taşkın alanında riskli bölgelerde bulunan insanlar için güvenli bölgelere ulaşmalarına olanak sağlayacak taşkın erken uyarı sistemleri hazırlanmalıdır. Yapılan bu çalışma Darlık Barajı membasında olası afetlere karşı tahliye planlarının hazırlanması gibi önlemlerin gerekli kurumlar tarafından alınabilmesine fayda sağlayacak niteliktedir.

#### Teşekkür

Bu çalışma kapsamında T.C. Milli Savunma Bakanlığı Harita Genel Müdürlüğü'ne ve T.C. Tarım Ve Orman Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Barajlar ve Hidroelektrik Santraller Dairesi Başkanlığı'na sağladıkları veriler için teşekkür ederiz. Ayrıca, bilgisayar programlarının öğrenilmesinde katkıları olan Dr. Öğr. Üyesi Yasin Paşa'ya, Araş. Gör. İsmail Bilal Peker'e ve Abdülbaki Hacı'ya katkılarından dolayı teşekkür ederiz.

## Kaynaklar

- Alho, P., & Aaltonen, J. (2008). Comparing a 1D hydraulic model with a 2D hydraulic model for the simulation of extreme glacial outburst floods. *Hydrological Processes*, 22(10), 1537-1547. <https://doi.org/10.1002/hyp.6692>
- Apel, H., Aronica, G. T., Kreibich, H., & Thieken, A. H. (2009). Flood risk analyses-how detailed do we need to be? *Natural Hazards*, 49(1), 79-98. <https://doi.org/10.1007/s11069-008-9277-8>
- Alppay, H. (2019). *Baraj yıkılması taşkın risk değerlendirmesi* [Yüksek lisans tezi, Sakarya Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Aribawa, T. M., Mardjono, A., Soegiarto, S., Moe, I. R., Sihombing, Y. I., Rizaldi, A., & Farid, M. (2021). Assessment of flood propagation due to several dams break in Banten Province. *International Journal of GEOMATE*, 20(81), 185-190. <https://doi.org/10.21660/2021.81.j2082>
- Azeez, O., Elfeki, A., Kamis, A. S., & Chaabani, A. (2020). Dam break analysis and flood disaster simulation in arid urban environment: the Um Al-Khair dam case study, Jeddah, Saudi Arabia. *Natural Hazards*, 100, 995-1011. <https://doi.org/10.1007/s11069-019-03836-5>
- Brunner, G. W. (2014). *Using HEC-RAS for dam break studies*. 4 Ağustos 2021'de <https://www.hec.usace.army.mil/publications> adresinden alındı
- Cüceloğlu, G. (2013). *Darlık havzasının model destekli hidrolojik analizi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Cai, W., Zhu, X., Peng, A., Wang, X., & Fan, Z. (2019). Flood risk analysis for Cascade dam systems: A case study in the Dadu River Basin in China. *Water*, 11(7), Article 1365. <https://doi.org/10.3390/w11071365>
- Chen, S. S., Zhong, Q., & Shen, G. Z. (2019). Numerical modeling of earthen dam breach due to piping failure. *Water Science and Engineering*, 12(3), 169-178. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2019.08.001>
- Cosgun, T., Peker, İ. B., Sayin, B., Gülbaz, S., & Durgut, R. (2022). Assessment of flood event based on numerical models and legal statute: A case of Eşkinöz Stream in Istanbul, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 15, Article 585. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09882-x>
- Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. (2018). *Flash Floods - Sharing of Field Experience – Kerala* (CRED Crunch 53). <https://cred.be/sites/default/files/CREDCrunch53N.pdf>
- Diñçergök, T. (2007, May 23-25). *The role of dam safety in dam-break induced flood management* [Conference presentation]. International Conference on River Basin Management, Kos, Greece.
- Dinh, Q., Balica, S., & Popescu, I. (2012). Climate change impact on flood hazard, vulnerability and risk of the Long Xuyen Quadrangle in the Mekong Delta. *International Journal of River Basin Management*, 10(1), 103-120. <https://doi.org/10.1080/15715124.2012.663383>
- Dimitriadis, P., Tegos, A., Oikonomou, A., Pagana, V., Koukouvinos, A., Mamassis, N., Koutsoyiannis, D., & Efstratiadis, A. (2016). Comparative evaluation of 1D and Quasi-2D hydraulic models based on benchmark and real-world applications for uncertainty assessment in flood mapping. *Journal of Hydrology*, 534, 478-492. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.01.020>
- Dasallas, L., Kim, Y., & An, H. (2019). Case study of HEC-RAS 1D-2D coupling simulation: 2002 baeksan flood event in Korea. *Water*, 11(10), Article 2048. <https://doi.org/10.3390/w11102048>
- Dikici, M., Kazezyılmaz Alhan, C. M., & Gülbaz, S. (2022). Flood hazard assessment for Alibeykoy watershed in Istanbul with Mike Nam and Mike 21. *Environmental Engineering and Management Journal*, 21(3), 399-411.
- Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. (2016). *Devlet su işleri genel müdürlüğü 2016 yılı faaliyet raporu*. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü. <https://cdnisys.tarimorman.gov.tr/api/File/GetFile/425/KonuIcerik/759/1107/DosyaGaleri/dsi-2016-faaliyet-raporu.pdf>
- Froehlich, D. C. (1995). Embankment Dam Breach Parameters Revisited. In W. H. Espey & P. G. Combs (Eds.), *Water Resources* (pp. 887-891). American Society of Civil Engineers.
- Froehlich, D. C. (2008). Embankment dam breach parameters and their uncertainties. *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(12), 1708-1721.
- Galoie, M., Zenz, G., Eslamian, S., & Motamedi, A. (2012). Numerical simulation of flood due to dam-break flow using an implicit method. *International Journal of Hydrology Science and Technology*, 2(2), 113-117.
- George, A. C., & Nair, B. T. (2015). Dam Break Analysis Using BOSS DAMBRK. *Aquatic Procedia*, 4, 853-860. <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.107>
- Gülbaz, 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>
- Gülbaz, S., & Kazezyılmaz Alhan, C. M. (2013). Calibrated Hydrodynamic Model for Sazlıdere Watershed in Istanbul and Investigation of Urbanization Effects. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(1), 75-84. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.000060](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.000060)
- Gülbaz, S., & Kazezyılmaz Alhan, C. M. (2012, October 17-19). *Impact of Land Use/Cover Changes on Water Quality and Quantity in a Calibrated Hydrodynamic Model* [Conference presentation]. 10th International Congress on Advances in Civil Engineering (ACE 2012), Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- Haltaş, İ., Tayfur, G., & Elçi, Ş. (2016). Two-dimensional numerical modeling of flood wave propagation in an urban area due to Ürkmez dam-break, İzmir, Turkey. *Natural Hazards*, 81(3), 2103-2119. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2175-6>
- Hariri-Ardebili, M. A. (2018). Risk, Reliability, Resilience (R3) and beyond in dam engineering: A state-of-the-art review. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 31, 806-831. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.07.024>
- Hu, P., Zhang, Q., Shi, P., Chen, B., & Fang, J. (2018). Flood-induced mortality across the globe: spatiotemporal pattern and influencing factors. *Science of The Total Environment*, 643, 171-182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.197>
- Huntington, S. M., & Thompson, D. M. (1976, May 2-5). *Forces on a large vertical cylinder in multi-directional random waves* [Conference presentation]. Offshore Technology Conference, Houston, Texas.

- Horritt, M. S., & Batesi, P. D. (2002). Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268(1-4), 87-99. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00121-X](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00121-X)
- Hurdowar-Castro, D., Tsanis, I., & Simanovskis, I. (2007). Application of three-dimensional wind driven circulation model to assess the locations of new drinking water in takes in Lake Ontario. *Journal of Great Lakes Research*, 33(1), 232-52.
- Kocaman, S. (2002). *Baraj yıkılma analizi ve uygulaması* [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kocaman, S. (2007). *Baraj yıkılması probleminin deneysel ve teorik olarak incelenmesi* [Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Kadir, M. A. A. (2019). 2D Flood inundation simulation based on a large scale physical model using coarse numerical grid method. *International Journal of GEOMATE*, 17(59), 230-236.
- Kelesoglu, M. K., Temur, R., Gülbaz, S., Memisoglu Apaydin, N., Kazezyılmaz-Alhan, C. M., & Bozbey, İ. (2023). Site assessment and evaluation of the structural damages after the flood disaster in the Western Black Sea Basin on August 11, 2021. *Natural Hazards*, 116(1), 587-618. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05690-4>
- Leandro, J., Chen, A. S., Djordjević, S., & Savić, D. A. (2009). Comparison of 1D/1D and 1D/2D coupled (sewer/surface) hydraulic models for urban flood simulation. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), 495-504.
- Lima, O. C., Neto, A. R., Alves, F. H. B., & Cirilo, J. A. (2020). Sub-daily hydrological-hydrodynamic simulation in flash flood basins: Una river (Pernambuco/Brazil). *Environment and Water Journal*, 15(5). <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2556>
- Li, C., Cheng, X., Li, N., Du, X., Yu, Q., & Kan, G. (2016). A framework for flood risk analysis and benefit assessment of flood control measures in urban areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8), Article 787. <https://doi.org/10.3390/ijerph13080787>
- Liviu-Marian, A., Enea, A., Losub, M., & Breban, L.G. (2018). Dam breach size comparison for flood simulations. A HEC-RAS based, GIS approach for Drăcșani Lake, Sitna River, Romania. *Water*, 12(4), Article 1090. <https://doi.org/10.3390/w12041090>
- Mahnafar, F., Abdollahzadeh Moradi, Y., & Ağralıoğlu, N. (2020). Flood risk analysis of residential areas at downstream of the Elmali Dam. *Academic Platform Journal of Natural Hazards and Disaster Management*, 1(1), 49-58.
- Manfreda, S., Samela, C., Gioia, A., Consoli, G. G., Iacobellis, V., Giuzio, L., Cantisani, A., & Sole, A. (2015). Flood-prone areas assessment using linear binary classifiers based on flood maps obtained from 1D and 2D hydraulic models. *Natural Hazards*, 79, 735-754. <https://doi.org/10.1007/s11069-015-1869-5>
- Mihu-Pintilie, A., Cîmpianu, C. I., Stoleriu, C. C., Pérez, M. N., & Paveluc, L. E. (2019). Using high-density LiDAR data and 2D stream flow hydraulic modeling to improve urban flood hazard maps: A HEC-RAS multi-scenario approach. *Water*, 11(9), Article 1832. <https://doi.org/10.3390/w11091832>
- Nayak, P. C., Sudheer, K. P., & Saheb, S. M. (2000). *Dam break analysis of Ghodahoda project, Orissa* (CS/AR-15/1999-2000). National Institute of Hydrology.
- Terzioğlu, Z. Ö. (2018). *Taşkın zararlarının tahmini, zarar derecelendirmesi ve risk sınıflandırması: Doğu Karadeniz için bir uygulama* [Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Pistrika, A. K. & Jonkman, S. N. (2010). Damage to residential buildings due to flooding of New Orleans after hurricane Katrina. *Natural Hazards*, 54, 413-434. <https://doi.org/10.1007/s11069-009-9476-y>
- Palamut, N. (2014). *Baraj yıkılma analizi ve uygulaması* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Papaioannou, G., Efstratiadis, A., Vasiliades, L., Loukas, A., Papalexioiu, S., Koukouvinos, A., Tsoukalas, I., & Kossieris, P. (2018). An operational method for flood directive implementation in Ungauged urban areas. *Hydrology*, 5(2), Article 24. <https://doi.org/10.3390/hydrology5020024>
- Pasa, Y., Peker, İ. B., Hacı, A., & Gülbaz, S. (2023). Dam failure analysis and flood disaster simulation under various scenarios. *Water Science and Technology*, 87(5), 1214-1231. <https://doi.org/10.2166/wst.2023.052>
- Quiroga, V. M., Kure, S., & Udo, K., Manoa, A. (2016). Application of 2D numerical simulation for the analysis of the February 2014 Bolivian Amazonia flood: Application of the new HEC-RAS version 5. *RIBAGUA-Revista Iberoamericana Del Agua*, 3, 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.riba.2015.12.001>
- Razad, A. Z. A., Muda, R. S., Sidek, L. M., Azia, I. S. A., Mansor, F. H., & Yalit, R. (2013). Simulation of breach outflow for earthfill dam. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 16(1), Article 012030. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/16/1/012030>
- Resmi Gazete. (2021, Mart 24). *Mimarlık ve mühendislik hizmet bedellerinin hesabında kullanılacak 2021 yılı yapı yaklaşık birim maliyetleri hakkında tebliğ*. 28 Ekim 2021'de <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2021/03/20210324-3.htm> adresinden alındı
- Serencam, U. (2013). *Taşkın zararları ve zarar görülebilirlik analizi: Trabzon Değirmendere Sanayi Mahallesi örneği* [Doktora tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Singh, V. P. (1996). *Dam breach modeling technology* (Vol. 17). Water Science and Technology Library.
- Takeuchi, K., Chavoshian, A., Simonovic, S.P. (2018). Floods: From risk to opportunity. *Journal of Flood Risk Management*, 11(4), Article e12046. doi.10.1111/jfr3.12046
- Tuncer, İ. (2011). *Açık kanallarda su yüzü profilinin belirlenmesi, Nakkaş Dere örneğinde bir HEC-RAS uygulaması* [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- U.S. Army Corps of Engineers. (1997). *Hydrologic engineering requirements for reservoirs* (EM 1110-2-1420). [https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM\\_1110-2-1420.pdf](https://www.publications.usace.army.mil/Portals/76/Publications/EngineerManuals/EM_1110-2-1420.pdf)
- U.S. Army Corps of Engineers. (2016). *HEC-RAS river analysis systems user's manual*. <https://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/documentation/HEC-RAS%205.0%20Users%20Manual.pdf>
- Urzica, A., Pintilie, A. M., Stoleriu, C. C., Cîmpianu, C. I., Hutanu, E., Pricop, C.I. & Grozavu, A. (2020). Using 2D HEC-RAS modeling and embankment dam break scenario for assessing the flood control capacity of a multi-reservoir system (NE Romania). *Water*, 13(1), Article 57. <https://doi.org/10.3390/w13010057>
- van der Sande, C. (2001). *River flood damage assessment using IKONOS imagery*. European Commission, Joint Research Centre, Space Applications Institute.



- van Eck, N. V., & Kok, M. (2001). *Standaardmethode2002 schade en slachtoffers als gevolg van overstromingen*. Dienst Wegen Waterbouwkunde, Ministerie van Rijkswaterstaat, Netherlands.
- Wang, L. Y., Chen, S. F., Zhu, W. B., Ren, H., Zhang, L. J., & Zhu, L. Q. (2021). Spatiotemporal variations of extreme precipitation and its potential driving factors in China's North-South Transition Zone during 1960-2017. *Atmospheric Research*, 252, Article 105429. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105429>
- Xiong, Y. (2011). A dam break analysis using HEC-RAS. *Journal of Water Resource and Protection*, 3(6), 370-379.
- Xu, Y., & Zhang, L.M. (2009). Breaching parameters for earth and rockfill dams. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 135(12), 1957-1970.
- You, L., Li, C., Min, X., & Xiaolei, T. (2012). Review of dambreak research of earth-rock dam combining with dam safety management. *Procedia Engineering*, 28, 382-388. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.737>
- Yıldız, C. (2021). *Baraj yıkılması taşkın risk analizi Yeşildere Barajı örneği* [Yüksek lisans tezi, Fırat Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi. <https://tez.yok.gov.tr/UlusalTezMerkezi>
- Zhang, L. M., Xu, Y., & Jia, J. S. (2009). Analysis of earth dam failures: A data base approach. *Georisk*, 3(3), 184-189.
- Zhang, L., Peng, M., Chang, D., & Xu, Y. (2016). *Dam failure mechanisms and risk assessment*. Wiley.