

Adana Seyhan Barajının Yıkılma ve 2 Boyutlu Taşkın Yayılımının HEC-RAS ile Modellenmesi

Mehmet ARDIÇLIOĞLU^{1,a}

¹Emekli Öğretim Üyesi, AR-GE Danışmanlık-İnşaat, Kayseri

^aORCID: 0009-0008-7487-3193

Makale Bilgileri

Geliş : 30.04.2024

Kabul : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560170

Sorumlu Yazar

Mehmet ARDIÇLIOĞLU

mehmet.ardiclioglu@gmail.com

Anahtar Kelimeler

Baraj göçmesi

Seyhan barajı

2B taşkın

HEC-RAS

Tehlike bölgesi

Atf şekli: ARDIÇLIOĞLU, M., (2024). Adana Seyhan Barajının Yıkılma ve 2 Boyutlu Taşkın Yayılımının HEC-RAS ile Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 741-752.

ÖZ

Bu çalışmada Seyhan barajının olası deprem nedeniyle yıkılması durumunda meydana gelecek taşkının mansapta Adana kent merkezi ve çevresine etkisi incelenmiştir. Baraj göçme analizinde HEC-RAS 6.4 paket programı kullanılarak borulanmaya bağlı gövdede oluşacak gediklenme ve buna bağlı iki boyutlu taşkın yayılımı ele alınmıştır. İki farklı senaryo için gediklenme parametreleri belirlenmiş ve taşkın yayılım süreleri ve tehlike derecelendirmesi DEFRA ya göre yapılmıştır. Q_0 ve Q_{100} debilerinde göçmeye bağlı oluşan taşkınların Adana kent merkezine 6 saat sürede ulaşacağı ve özellikle Seyhan nehri yakınlarında su derinliğinin 15m ye kadar yükselebileceği belirlenmiştir. Birinci senaryoya göre (Q_0) baraj gövdesinin göçmesi durumunda toplamda 1042,61 km² alan sular altında kalmakta, bu alanların %35,4'i, çok yüksek tehlikeli bölge olarak belirlenmiştir. Q_{100} debisi ile birlikte barajda maksimum seviyede su bulunması halinde göçme gerçekleşir ise 1331,81 km² alan sular altında kalmakta, bu alanların %40,1'i, çok yüksek tehlikeli bölge olarak hesaplanmıştır.

Modeling the Failure and 2D Flood Propagation of Adana Seyhan Dam with HEC-RAS

Article Info

Received : 30.04.2024

Accepted : 27.09.2024

DOI: 10.21605/cukurovaumfd.1560170

Corresponding Author

Mehmet ARDIÇLIOĞLU

mehmet.ardiclioglu@gmail.com

Keywords

Dam failure

Seyhan dam

2D flood

HEC-RAS

Hazard zone

How to cite: ARDIÇLIOĞLU, M., (2024). Adana Seyhan Barajının Yıkılma ve 2 Boyutlu Taşkın Yayılımının HEC-RAS ile Modellenmesi. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(3), 741-752.

ABSTRACT

In this study the effect of the flood that will occur in case of failure of the Seyhan dam due to possible earthquake at the Adana city center and its surroundings was examined. In the dam failure analysis, the possible breach in the body due to piping and resulting two-dimensional flood propagation were discussed by using HEC-RAS 6.4 package program. Breach parameters were determined for two different scenarios and flood propagation times and hazard rating were made according to the DEFRA. It has been determined that floods caused by collapse at Q_0 and Q_{100} flow rates will reach Adana city center in about 6 hours and the water depth may rise up to 15m, especially near the Seyhan river. According to the first scenario (Q_0), if the dam collapses a total of 1042,61 km² area will be flooded and 35,4% of these areas are determined as very high hazard zone. If the dam collapses at the maximum level of water with the Q_{100} flow rate, an area of 1331,81km² will be flooded, and 40,1% of these areas are calculated as a very high hazard zone.

1. GİRİŞ

Barajlar, evsel ve endüstriyel su ihtiyaçlarını karşılamak, tarımsal sulama, hidroelektrik enerji üretimi sağlamak, gibi faydalar yanı sıra taşkın kontrolü, sediment tutma amacıyla akarsular üzerine inşa edilen hidrolik yapılardır. Barajlar sağladığı bu büyük faydaların yanında, olası göçme-yıkılma durumunda büyük felaketlere neden olacaktır. Barajlar birçok nedene bağlı olarak yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalabilirler. Baraj gövdesinde oluşabilecek borulanma-siltasyon ve taşkın dalgalarının gövde üzerinden aşması nedeniyle barajlarda yıkıcı hasarlar meydana gelebilir. Toprak dolgu barajların gövdesinde ve temelinden oluşan sızıntıların hızı ve miktarı baraj işletme süresince takip edilmelidir. Sızıntı, kontrol edilmezse, ince toprak malzeme, mansap şevinde veya temelde aşınabilmekte ve bu aşınma memba şevine doğru devam ederse boşluk oluşturarak borulanmaya sebep olabilmektedir. Bu durum barajın komple yıkılmasına yol açacaktır. Ayrıca depremler, rezervuarın içine doğru, oluşabilecek heyelanlarda baraj gövdesinde hasara neden olabilir. Barajın yıkılması sonucu oluşan taşkın dalgası yayılımının belirlenmesi, barajın mansabında yer alan konut, ticari veya tarım alanlarındaki risklerin belirlenmesinde önemli ve gerekli bir çalışmadır.

Dünyanın değişik bölgelerinde yıkılan yaklaşık 900 barajın yıkılma şekli analiz edilerek bu barajların %65,5'inin toprak-kaya dolgu, %7,5'inin beton, %6,7'sinin ise taş barajlar olduğu belirtilmiştir. Toprak dolgu barajların yıkılma sebepleri arasında %42,5 oranda teknik kusur, %36,5 taşma nedeniyle yıkımın gerçekleştiği, teknik kusurların ise %58,3'ünün gövdede borulanma, %18,3'ünün heyelan ve %9,1'inin de dolu savaktaki yetersizlikler kaynaklı olduğu belirtilmiştir [1].

Afet yönetimi için baraj yıkılma analizi başlıklı çalışmada Bozkuş [2], betonarme ağırlık tipi barajların kısmi yıkılma eğilimi gösterdiklerini, betonarme kemer barajların ise tamamen yıkılma eğiliminde olup birkaç dakikada yıkıldıklarını belirtmiştir. Sayıları çok daha fazla olan toprak ve kaya dolgu barajların yüksekliği, dolguda kullanılan malzemenin cinsi, sıkıştırma miktarı gibi farklı parametrelere bağlı olarak saatler içerisinde ve gövde genişliğinin nispeten az bir kısmında göçmenin gerçekleştiğini ifade etmiştir.

Ülkemizde DSİ tarafından riskli barajların belirlemesi amacıyla yapılan bir çalışmada [3] yüksekliği 15m'den büyük ve 5-15m arasında olup rezervuar hacmi 3hm^3 'ten büyük olan barajlar incelenmiştir. İncelenen barajların yıkılmaları halinde oluşacak kayıpların %42'sinin en yüksek risk derecesinde, %43'ünün de önemli risk derecesine sahip olduğu belirlenmiştir. Yapılacak planlama, yıkılma sonrası oluşacak muhtemel akım hızlarını ve taşkın dalgasının mansapta ne zaman nereye ulaşacağını tahminini içermesi ve mansapta yaşayan insanlarda felaketin muhtemel etkileri için farkındalık yaratabilmesi gerekliliği belirtilmiştir.

Çağatay ve Kocaman [4] baraj yıkılmasına bağlı mansapta oluşacak taşkın su yüzü profillerini NWS FLDWAY bilgisayar programı ile incelemişler, farklı Manning pürüzlülük değerleri için Kozan barajı üzerinde uygulama yaparak barajın yıkılması halinde Kozan ilçesinin büyük bir kısmının taşkından zarar göreceğini bildirmişlerdir.

Dursun ve Gül [5], toprak dolgu baraj olan Malatya, Sürgü Barajı'nın deprem veya farklı bir nedenle yıkılması durumunda oluşabilecek zararların boyutlarını ortaya koymak amacıyla HEC-RAS ile yıkılma analizi yaparak iki boyutlu taşkın yayılım haritaları elde etmişlerdir. Sürgü Barajı mansabında bulunan yerleşim birimlerinin ve tarım arazilerinin baraj yıkılmasından nasıl etkilenebileceği tahmin edilmeye çalışılarak risk haritaları oluşturmuşlardır.

Paşa ve ark. [6] İstanbul Anadolu yakasında ardışık iki baraj olan Elmalı 1 ve 2 barajlarının olası yıkılmalarını çeşitli senaryolar altında HEC-RAS programı ile analiz ederek taşkın tehlike haritaları oluşturmuşlardır. Yoğun yerleşim bölgesi ve trafiğin olduğu çalışma alanında, membada yer alan Elmalı 2, beton payandalı bir baraj ve mansaptaki Elmalı 1'de toprak dolgu bir baraj olarak inşa edilmiştir. En kötü senaryoya göre taşkın tehlike haritası oluşturulmuştur. Hesaplanan taşkın haritaları, yüksek nüfus yoğunluğuna sahip hassas alanların, olası su baskınlarından önemli ölçüde etkilenebileceğini göstermiştir. Çalışmanın taşkın bölgelerindeki insanlar için acil durum ve tahliye planlarının hazırlanması yanı sıra erken uyarı sistemi kurulması gibi tedbirlerin alınmasına yardımcı olacağı öngörülmüştür.

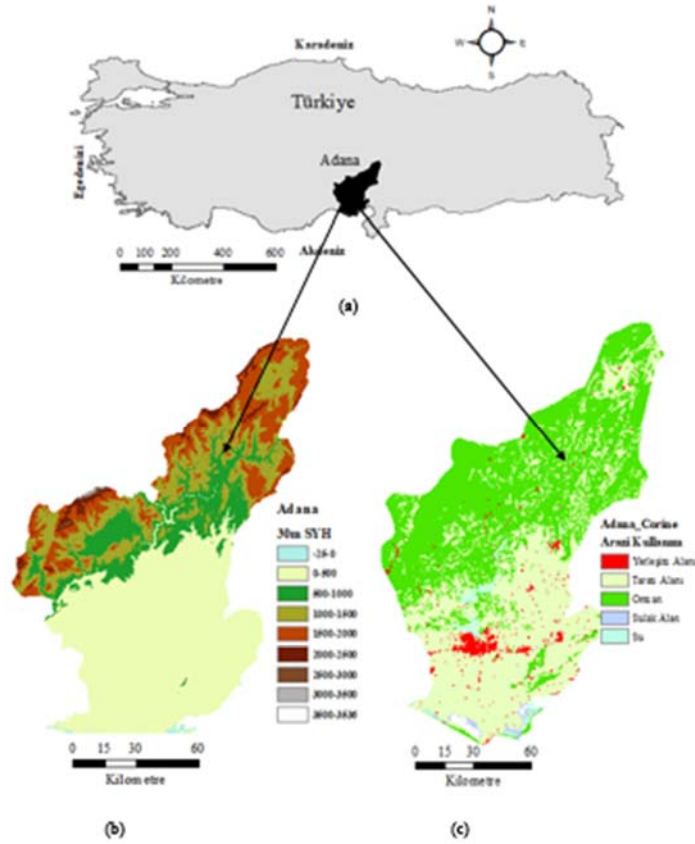
Bu çalışmada zonlu toprak dolgu bir baraj olan Adana Seyhan barajının olası deprem ve benzeri nedenler sonucu gövdede oluşacak kırılma ve çatlamalara bağlı yıkılma analizi ele alınmıştır. Baraj gövdesindeki

deformasyonlar nedeniyle dolguda oluşacak borulanma ve buna bağlı göçme analizi HEC-RAS 6.4 paket programı ile iki farklı senaryo için incelenmiştir. Barajın olası göçme durumunda, taşkın dalgalarının etkileyeceği bölgeler iki boyutlu modelleme yapılarak belirlenmiştir. Söz konusu bölgelerdeki taşkın yayılım süresi, akım hızı ve derinliğe bağlı tehlike durumu incelenmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Adana İli ve Seyhan Barajı

Adana ili Anadolu yarımadasının güneyinde, Akdeniz kıyısında 36°30-38°25 kuzey enlemleri ile 34°48-36°41 doğu boylamları arasında yer almaktadır. Adana'nın yüzölçümü 13.844 km² ve alan olarak Türkiye'nin %1,77'lik kısmını oluşturmaktadır Şekil 1(a). 2023 TÜİK verilerine göre Adana nüfusu 2.270.298 olmak üzere Türkiye'nin %2,66'lık kısmını kapsar ve Türkiye'nin 7. kalabalık ilidir. Adana il merkezi jeomorfolojisi, kuzey ve güney olmak üzere iki bölümde incelenir. Kuzey kısmı Post Miyosen aşımın yüzeyleri ile sırtlar ve dik yamaçlardan meydana gelir.



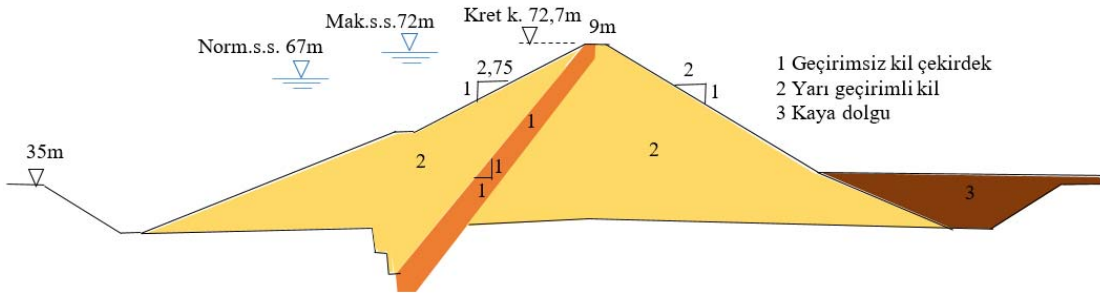
Şekil 1. Adana ili SYH ve Corine arazi kullanımı

Güney kesiminde ise delta çökellerinin oluşturduğu alüvyonlar ile Seyhan Nehri'nin zamanla yatak değiştirmesinden oluşan geniş taşkın alanı, kopuk menderesler, lagünler, karasallaşmış lagünler, geçici ve daimi göller, burun seti depoları, kraveseler ile akarsu sekilerinden oluşur [7]. Adana iline ait Sayısal Yükseklik Haritası (SYH), USGS (ABD Yerbilimsel Araştırma Kurumu) web sayfasından alınmıştır [8]. Haritaların projeksiyonu UTM-WGS 1984-Northern Hemisphere (Kuzey Yarımküre) ve 'zone 36N.prj' olarak seçilmiştir. Şekil 1(b) de 30mx30m çözünürlükteki yükseklik haritası gösterilmiştir.

Seyhan Nehri yağış alanı Akdeniz ve İç Anadolu coğrafi bölgelerinde yer almakta ve her iki bölgenin iklim özelliklerini taşımaktadır. Bölgede gözlenmiş taşkınlar Aralık-Mayıs aylarında yağmur veya yağmur ve kar erime akışı birleşimine bağlı oluşmaktadır. Mera, orman ve fundalıkların toplam alanı havzanın önemli bir kısmını oluşturur. Arazi kullanım şekli yıldan yıla özellikle sulu tarım alanlarının, kuru tarım alanları aleyhine genişlemesi, yerleşim alanlarının büyümesi, yeni baraj göllerinin havzada önemli yer kaplaması

ve artması gibi nedenlerle hızlı bir değişim içerisinde [9]. Arazi kullanımına ait sayısal haritalar, Çevre ve Orman Bakanlığından elde edilen CORINE Arazi Sınıflandırma Sistemi esas alınarak hazırlanmıştır. CORINE Sınıflandırma Sistemi, Coordination of Information on the Environment (Çevresel Bilginin Koordinasyonu) projesi kapsamında oluşturulmuştur [10] ve 1990 yılından beri tüm AB üye ülkelerinde kullanılan ortak sınıflandırma sistemidir. CORINE arazi örtüsü sınıflandırma sistemi, Avrupa Çevre Ajansı tarafından belirlenen üç hiyerarşik seviyeden oluşmaktadır. Birinci seviyede; Yapay Bölgeler, Tarım Alanları, Orman ve Yarı Doğal Alanlar, Sulak Alanlar, Su Kütleleri olmak üzere 5 ana grup yer almaktadır. Adana iline ait birinci seviye arazi kullanımı Şekil 1(c) de gösterilmiştir.

Seyhan Nehri, İç Anadolu'nun doğu kesiminde, Uzunyayla yöresinden doğan Zamantı Irmağı ile bunun doğusunda Doğu Anadolu sınırları içerisinde doğan Gökso Nehri'nin birleşmesiyle meydana gelir ve Çukurova'yı geçerek Akdeniz'e dökülür. Seyhan havzasının toplam yüzölçümü yaklaşık 20.000km² ve nehrin uzunluğu 500km kadardır. Seyhan barajı, Seyhan nehri üzerinde, Adana şehir merkezinin 15km kuzeyinde yer almakta olup, 1956 yılında eğik kil çekirdekli toprak dolgu tipi bir baraj olarak inşa edilmiştir (Şekil 2). Çukurova'yı Seyhan Nehri'nin sebep olabileceği su baskınından korumak amacıyla yanı sıra sulama ve hidroelektrik enerji üretim amaçlı bir barajdır. Gövde hacmi 7.500.000m³, akarsu yatağından yüksekliği 53,20m, normal su kotunda göl hacmi 1.200,00hm³, normal su kotunda gölalanı 67,82km²'dir. Baraj sayesinde 174.000hektar arazi sulanabilmektedir. On sekizer MW'lık üç üniteye sahip Hidroelektrik santral, 54MW güç ile yılda toplam 350 milyon KWh elektrik enerjisi üretebilmektedir.



Şekil 2. Seyhan baraj kesiti

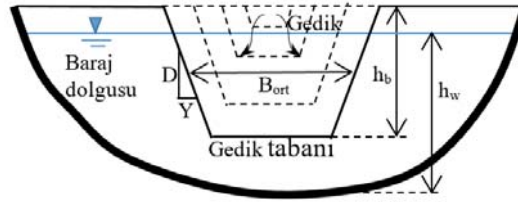
2.2. Dolgu Barajlarda Borulanmaya Bağlı Göçme

Akarsular üzerinde fazla yağışlara bağlı olarak taşkınların meydana gelmesi doğal bir süreç olarak karşımıza çıkar. Barajlar için ise, inşa aşamasındaki bazı hesaplama yanlışlıkları, beklenmedik uzun ve yoğun süren yağışlar ve/ya sahanın deprenselliği gibi değişik nedenlere bağlı olarak baraj gövdesinin zarar görmesiyle ortaya çıkan maksimum düzeydeki akımlarla bütün alt havzalardaki alanlar risk altında kalabilmektedir. Bu nedenle, baraj inşa edilen akarsular üzerinde, değişik senaryolarla oluşabilecek taşkınlar ve etkileri üzerine çalışılmalı ve risk yönetimi oluşturulmalıdır [11].

Betonarme, toprak ve kaya dolgu barajların yıkılma mekanikleri tam anlaşılabilmiş değildir. Sayıları diğer baraj tiplerinden çok daha fazla olan toprak ve kaya dolgu barajlar ani olarak veya tamamen yıkılma eğilimi göstermezler. Dolgu barajlarda rezervuardaki büyük su kütlesi nedeniyle malzeme özelliklerine bağlı gövdeye doğru sızma kaçınılmazdır. Suyun dolgu içerisindeki bu hareketi basınçlı orifis akımı olarak modellenebilir. Gövde içerisinde oluşan borulanma arttıkça etrafındaki malzemeler çökerek hareket etmeye başlar ve bu göçme membaya doğru gittikçe artarak yarılmaya genişler. Dolgu aşındıkça bu süreç hızlanarak devam eder. Borulanma ile birlikte mansap yüzeyinde aşınma ve toprak kaymaları meydana gelir. Baraj gövdesinde oluşan nihai gedik genişliği barajın toplam genişliğinden çok daha kısadır. Ayrıca gedik oluşması çok ani olmayıp değişik parametrelere bağlı olarak belirli bir süreç içerisinde gerçekleşir.

Baraj yıkılma analizi birçok araştırmacı tarafından geçmiş baraj yıkılma verileri kullanılarak incelenmiş ve yıkılma süresini ve gedik akışını tahmin etmek için birçok ampirik denklemler üretilmiştir [12]. Çıkış hidrograflarının ve mansap su baskınının doğru tahminini yapmak için gedik yerinin, boyutunun ve gelişme süresinin tahmini kritik öneme sahiptir. Toprak veya kaya dolgu zonlu barajlarda gedik şekli genellikle trapez kesitli kabul edilir. Gedik geometrisi; gedik yüksekliği (h_b), ortalama gedik genişliği (B_{ort}) ve yan

kenar eğimleri (Yatay: Düşey) ile tanımlanır. Baraj gediklenmesinde; su yüksekliği de (h_w), kullanılan önemli bir parametredir. Bu parametreler gedik büyüklüğünü gösterir (Şekil 3).



Şekil 3. Baraj gediklenme parametreleri

Baraj yıkılma parametrelerini tahmin etmek için Froehlich 1995 yılında 63 adet baraj, 2008 yılında ise 74 adet baraj yıkılma olayları üzerinde yapmış olduğu çalışmada, ortalama gedik genişliği, gedik şev eğimleri ve göçme süresi için ifadeler geliştirmiştir. Ortalama gedik genişliği ve yıkılma zamanı için aşağıdaki ifadeleri önermiştir.

$$B_{ort} = 0,27 K_0 V_w^{0,32} h_b^{0,04} \quad (1)$$

$$t_f = 63,2 \sqrt{\frac{V_w}{gh_b^2}} \quad (2)$$

Bu ifadelerde; B_{ort} : Ortalama gedik genişliği (m), K_0 : Sabit, V_w : Göçme anında rezervuar hacmi (m^3), h_b : Göçme sonunda gedik yüksekliği (m), g : Yerçekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$), t_f : Göçme süresini (sn) göstermektedir. Froehlich [13], bu çalışmada borulanma ile göçme için ortalama şev eğimini 0,7Y:1D olarak önermiştir.

2.3. HEC-RAS Programı ile 2 Boyutlu Taşkın Yayılımının Modellenmesi

Baraj yıkılmasına bağlı oluşan taşkın dalgasının mansapta ötelenerek etki alanlarının ve gücünün belirlenmesi birçok hesap aşamalarını gerektirmektedir. Bu amaçla geliştirilen birçok yazılım bulunmakla birlikte en yaygın kullanılan HEC-RAS (Hidrolojik Mühendislik Merkezi, Nehir Analiz Sistemi) paket programıdır. Program kararlı ve kararsız akımlarda su yüzü profili hesaplamaları, sediment taşınım/hareketli taban hesaplamaları, su kalitesi analizleri ve birçok hidrolik yapı hesaplamalarını yapabilen, herkesin kullanımına açık bir yazılımdır. HEC-RAS 6.4 paket programı, Coğrafi Bilgi Sistemleri ile bütünleşmiş bir şekilde hidrolojik ve arazi bilgilerinden yararlanarak kararsız akım durumlarında, baraj yıkılma analizlerini bir ve iki boyutlu modelleme yaparak taşkın haritalaması yapılabilmektedir [14].

Taşkın dalgasının topoğrafya üzerindeki yayılımının belirlenmesinde kullanılan temel denklemler süreklilik ve momentum (Navier-Stokes) denklemleridir. İki boyutlu (2B) HEC-RAS taşkın modellemelerinde, süreklilik ve Momentum denklemlerinin Saint Venant veya Sığ Su (SW) denklemleri olarak adlandırılan sadeleştirilmiş formları kullanılmaktadır. Akış sıkıştırılmaz, yoğunluk ve hidrostatik basınç üniform kabul edilir [14]. Süreklilik denkleminin diferansiyel formu aşağıdaki şekilde verilmektedir;

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} + q = 0 \quad (3)$$

Burada H:su yüzeyi kotunu, h:su derinliğini, x ve y yatay düzlemleri, t:zamanı, u ve v: x ve y düzlemlerindeki hızları, q: giren/çıkan akımı temsil etmektedir. Sığ su denklemleri x ve y doğrultusunda sırasıyla aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial x} + \vartheta_t \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - C_f u + f_x \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial H}{\partial y} + \vartheta_t \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - C_f v + f_y \quad (5)$$

Burada; g: yerçekimi ivmesi, ϑ_t : eddy viskozite katsayısı, C_f : taban sürtünme katsayısını, f: Coriolis parametresini ifade etmektedir. Analizde kullanılan 2 boyutlu kararsız akım denklemleri kapalı sonlu hacim algoritması kullanılarak çözümlenir.

2.4. Baraj Göçmesine Bağlı Taşkın Tehlike Analizi

Baraj göçmesine bağlı mansapta oluşacak taşkına ait tehlike haritalarının hazırlanması, olası can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi için gerekli bir çalışmadır. Bu çalışmalar ile taşkınların şiddeti, sayısı ve yayılım alanları belirlenerek acil durum stratejileri oluşturulabilir. Taşkın tehlike haritalarının hazırlanmasında farklı yaklaşımlar ve yöntemler bulunmaktadır.

Bu çalışmada Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından önerilen, İngiltere Tarım ve Çevre Bakanlığı Yöntemi, DEFRA ve bu yöntemle göre tehlike seviyeleri belirlenmiştir [15]. DEFRA taşkınlar sırasında insanların ne yapması ve ne yapmaması gerektiğine dair bilgileri içeren “insanlar için risk” rehberinde taşkın tehlike seviyelerini açıklamıştır. Taşkın tehlike derecelendirmesi (TTD) hesabında aşağıdaki ifade kullanılmaktadır:

$$TTD = d * (v + 0,5) + DF \quad (6)$$

Bu ifadeye d(m) derinlik, v(m/s) hız ve DF debris (enkaz) faktörünü göstermektedir. Taşkın zamanında suyla beraber taşınan malzeme (debris) miktarı akımın derinliğine bağlı olarak değişiklik gösterir. Enkaz-debris faktörü Çizelge 1’de verilmiş olup taşkın derinlik ve hız faktörüne bağlı 3 farklı sınıf için tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Derinlik, hız ve arazi kullanımına göre DF değerleri

Derinlik ve Hız	DF		
	Çayır/tarım	Orman/ağaçlık	Şehir
0-0,25	0	0	0
0,25-0,75	0	0,5	1
d>0,75m ve/ya v>2m/s	0,5	1	1

Taşkın derinlik ve hızına bağlı taşkın tehlike sınıfları Çizelge 2’deki gibi verilmiştir.

Çizelge 2. Derinlik ve hızla bağlı taşkın tehlike sınıfları

TTD	Tehlike derecesi	Açıklama
<0,75	Düşük	Sığ akan su veya derin durgun su bölgesi Dikkat edilmeli
0,75-1,25	Orta	Derin veya hızlı su mevcut Çocuk ve yaşlılar için tehlikeli
1,25-2,5	Yüksek	Hızlı ve derin su mevcut Çoğunluk için tehlikeli
>2,5	Çok Yüksek	Çok derin ve çok hızlı su mevcut. Bütün insanlar ve yapılar için tehlikeli

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Seyhan Barajı Yıkılma Analizi ve İki Boyutlu Hidrolik Modelleme

Adana kent merkezi, jeolojik olarak aktif tektonik hatları barındıran ve sürekli orta şiddette depremler üretme potansiyeli bulunan bir bölgedir. 1996 yılında Bayındırlık ve İskân Bakanlığı tarafından yayınlanmış olan Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre şehir II. derece deprem bölgesinde yer almıştır. Bu çalışmada Adana, Seyhan barajının muhtemel depreme bağlı, baraj gövdesinde oluşabilecek çatlama ve bunun neden olabileceği borulanma ve göçme analizi ele alınmıştır. Baraj gövdesindeki göçme (gediklenme) buna bağlı mansapta oluşacak taşkın dalgasının yayılımı iki farklı senaryo için incelenmiştir. Birinci senaryoda baraja giren akım ihmal edilerek, sadece normal göl seviyesinde (67m) oluşabilecek göçmeye bağlı taşkın durumu ele alınmıştır (Q_0). İkinci senaryoda ise barajın tam dolu olduğu maksimum su seviyesinde (72m) 100 yıllık taşkın hidrografının gelmesiyle ($Q_{100}=955m^3/s$) birlikte dolgunun yıkılması durumu ele alınmıştır [16]. Her iki senaryoda mansaptaki taşkın etkileri ve taşkın dalgasının oluşturacağı taşkın tehlike derecelendirmesi (TTD) belirlenmiştir. Geçmişte toprak ve kaya dolgu barajların yıkımında en çok gözlenen taşkın dalgasının gövde üzerinden aşması durumu Seyhan barajı için dikkate alınmamıştır. Seyhan barajının sağ sahilinde bulunan doğal savak nedeniyle taşkın dalgasının gövde üzerinden aşma ihtimalinin düşük olacağı öngörülmüştür.

Seyhan barajının borulanma ile yıkılma senaryosuna göre gedik parametre değerleri belirlenmiştir. Bu amaçla Çizelge 3’de verilen baraj özellikleri, HEC-RAS geometri veri penceresinde, *SA/2D* ve *Breach (plan data)* menüleri yardımıyla açılan pencerede, *Parameter Calculator* menüsünde tanımlanmıştır. Bu pencerede ayrıca gedik taban kotu 40m, borulanma katsayısı 0,5 olarak alınmıştır. Program 5 farklı yöntemle göre gedik parametrelerini hesaplayarak seçilen bir yöntemi dikkate almaktadır. Bu çalışmada Froehlich (2008) yöntemiyle hesaplanan gedik parametreleri dikkate alınmıştır. Baraj gölü normal su seviyesi ve maksimum su seviyelerinde borulanmaya bağlı hesaplanan gediklenme parametreleri çizelgenin altında verilmiştir.

Baraj gövdesindeki gediklenmeye bağlı mansapta oluşacak taşkın dalgasına ait doğru bir hidrodinamik model kurmak ve tutarlı sonuçlar elde edebilmek için yüksek çözünürlüklü bir arazi modeline sahip olmak esastır. Bu amaçla USGS web sitesinden indirilen 30mx30m çözünürlükteki bölgeye ait sayısal yükseklik haritası kullanılmıştır. HEC-RAS ile yapılan analizlerde 2 boyutlu akış alanının ağ boyutu model kararlılığına göre seçilebilmektedir. Taşkın su baskını için 100m’lik ızgaraların ağ boyutunun, nispeten düz ve geniş taşkın yatakları dikkate alındığında genellikle yeterli olduğu bildirilmiştir [17]. HEC-RAS iki boyutlu model oluştururken RAS Mapper ara yüzü ve/ya Geometri veri penceresi kullanılabilir. Pencerede çalışma alanının sınırları poligon olarak belirlenir. Seyhan nehri Adana-Mersin il sınırında Akdeniz’e döküldüğünden bu bölgede 2B çalışma alanı geniş tutulmuştur. Çalışma alanı 100mx100m boyutunda ızgara elemanlarına bölünmüş ve program tarafından 196.240 adet göz oluşturulmuştur. Baraj mansabında Seyhan nehri üzerinde bulunan ikinci regülatör köprüye kadar olan bölgede sağ ve sol sahillere için sedde (kırılma çizgileri) tanımlanmıştır. Çalışma alanı içerisindeki diğer yapılar dikkate alınmamıştır (Şekil 4).

Çizelge 3. Seyhan barajı gövde gediklenme parametreleri

Parametreler	Seyhan Barajı	
Akarsu	Seyhan Nehri	
Kret kotu	72,7m	
Kret genişliği	9m	
Baraj gölü normal su seviyesi / hacmi	67m / 482.730 bin m ³	
Maksimum su seviyesi / hacmi	72.0m / 738.267 bin m ³	
Menba/Mansap şev eğimleri	2,75/2	
Yıkılma şekli	Borulanma	
Borulanma katsayısı	0,5	
Baraj tabanının yıkılma kotu	40m	
Borulanmanın başlama kotu	67m	72m
Froehlich, 2008	Q ₀ =0	Q ₁₀₀ =955m ³ /s
Gedik taban genişliği	164m	191m
Yıkılma süresi	3,77saat	4,66saat
Gedik şev eğimi, Memba/Mansap	0,7(Yatay/Dikey)	0,7(Yatay/Dikey)



Şekil 4. HEC-RAS da belirlenen taşkın alanı ve ızgara yapısı

HEC-RAS iki boyutlu modelde hidrolik hesaplamaların gerçekleşmesi için memba ve mansap sınır şartlarının tanımlanması gerekir. Kararsız akım ile modelleme yapıldığında memba sınır şartı olarak ya akım hidrografi ya da seviye hidrografi kullanılabilir. Mansap sınır şartı olarak ise normal derinlik varsayımı kullanılarak 2B taşkın alanına ait sürtünme eğimi $S=0,0011$ olarak tanımlanmıştır.

2B çalışma alanına ait yukarıda bahsedilen CORINE arazi kullanımına bağlı 5 farklı bölge için Çizelge 4’de verilen Manning pürüzlülük katsayıları kullanılmıştır.

Çizelge 4. Adana ili CORINE arazi kullanımı ve Manning pürüzlülük katsayısı

CORINE arazi kullanımı	Manning pürüzlülük katsayısı
Yerleşim alanı	0,12
Tarım alanı	0,04
Orman	0,10
Sulak alan	0,035
Su	0,035

Taşkın senaryosu ve akım bilgileri düzenlendikten sonra HEC-RAS programındaki Run menüsünden “Unsteady Flow Analysis” aracı yardımıyla taşkın modelleme işlemi gerçekleştirilmiştir. HEC-RAS iki boyutlu modellemede model kararlılığı ve sonuçların doğruluğu için hesaplama zaman adımının uygun seçilmesi önemlidir. Saint-Venant ve difüzyon dalga denklemleri için hesaplama zaman aralığının seçiminde aşağıda verilen yöntem kullanılabilir.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{V} \quad (C=1,0 \text{ için}) \quad (7)$$

Burada; C; Courant sayısı, Δt ; hesaplama zaman aralığı (s), Δx ; ızgara hücre boyutu (m), V; taşkın dalga hızı(m/s) dir. Brunner'e [17] göre baraj yıkma çalışmaları için hesaplamalı zaman adımının 1 ile 60 saniye arasında seçilmesi uygundur. Bu çalışmada Courant koşulunu sağlamak için hesaplama zaman adımı 60 saniye olarak alınmıştır.

3.2. Taşkın Yayılım Süresi ve Tehlike Haritası

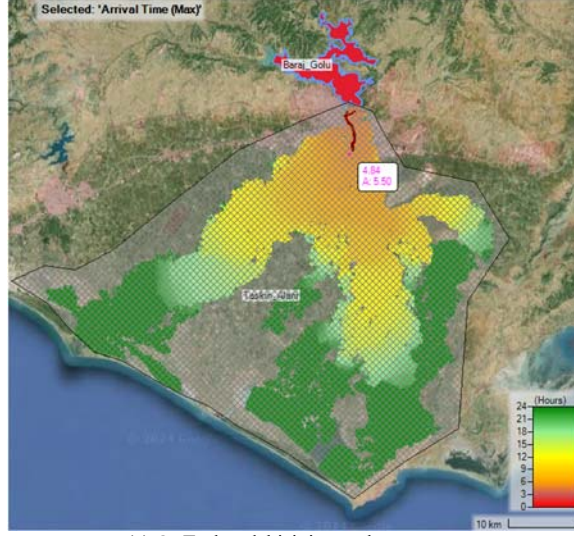
Seyhan Barajı'nın borulanmaya bağlı nedenle yıkılması HEC-RAS'ta iki farklı senaryo ile ele alınmış ve 2B taşkın yayılım haritaları elde edilmiştir. Modelleme çalışmasında önce baraj gölüne giren akım ihmal edilerek, normal göl seviyesi olan 67m de oluşacak trapez şeklindeki gediklenme durumu incelenmiştir. Bu durumda gediklenmenin normal su seviyesinden başlayarak 40m kotuna kadar devam edeceği, oluşacak yüksek debili ve uzun zaman aralığında sönmülenecek taşkın dalgasının etkileyeceği bölgeler belirlenmiştir.

Şekil 5(a) baraj yıkılmasına bağlı Q_0 debisinin neden olacağı selin yerleşim bölgesi ve taşkın alanı boyunca yayılma zamanını göstermektedir. Şekilden de görüleceği üzere taşkın debisi ilk 6 saatte yerleşimin son bulunduğu bölgeye ulaşmakta ve Adana kent merkezini etkilemektedir. Seyhan nehri üzerindeki 2. Regülatörün hemen mansabına akım 5:50 saatte ulaşmakta ve buradaki akım derinliği 4,84m olarak hesaplanmıştır. Adana kent merkezinde oluşan taşkın derinliği özellikle Seyhan nehri yakınlarında sağ ve sol sahil boyunca 15m ye kadar ulaşabilmektedir. Nehirden uzaklaştıkça taşkın derinliği 1m'nin altına düşmektedir. Taşkın alanının mansabına doğru taşkın yayılma süresi, 12 saatten çok daha uzun sürmekte denize yakın bölgelere 72 saatte ulaşmaktadır. Bu bölgelerde taşkın derinliği 1m'nin altına düşmektedir.

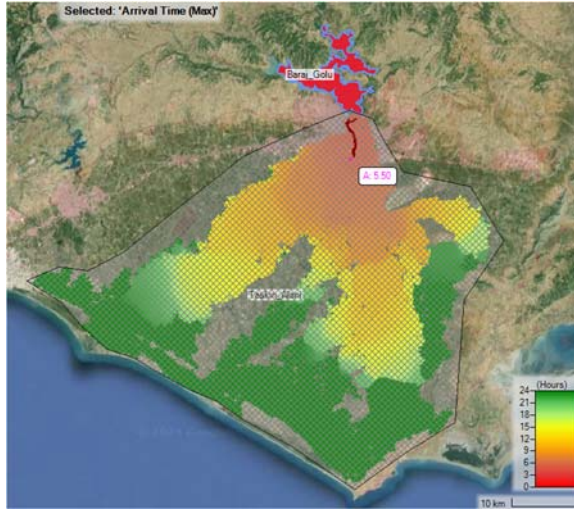
İkinci senaryoda ise barajın tam dolu olduğu maksimum su seviyesi olan 72m de 100 yıllık taşkın hidrografının gelmesiyle birlikte dolgunun borulanmaya bağlı nedenle yıkılması ele alınmıştır. Şekil 5(b) baraj yıkılmasına bağlı Q_{100} debisinin neden olacağı selin yerleşim bölgesi ve taşkın alanı boyunca yayılma zamanını göstermektedir. Önceki senaryoya benzer şekilde taşkın debisi ilk 6 saatte yerleşim bölgesini etkilemekte ve taşkın alanının mansabına ise 12 saatten çok daha uzun sürede ulaşmaktadır. Taşkın derinliği özellikle ikinci regülatöre kadar olan bölgede nehir yakınlarında yüksek olmaktadır.

Baraj göçmesine bağlı oluşacak taşkın tehlike derecelendirmesi DEFRA tarafından geliştirilen ve DSİ tarafından önerilen (6) nolu denklem ile hesaplanmıştır. Denklemde gösterilen DF debris faktörü 0,5 olarak alınmış ve her iki senaryo (Q_0 ve Q_{100}) için bölgenin TTD belirlenmiştir. ARC-GIS programında

hesaplanarak grafik haline getirilen TTD her iki senaryo için Çizelge 5’de verilmiştir. Çizelgede TTD belirlenen bölgelerin yüz ölçümü km^2 olarak ve tehlike derecesi oransal olarak gösterilmiştir.



(a) Q_0 Taşkın debisinin yayılma zamanı



(b) Q_{100} Taşkın debisinin yayılma zamanı

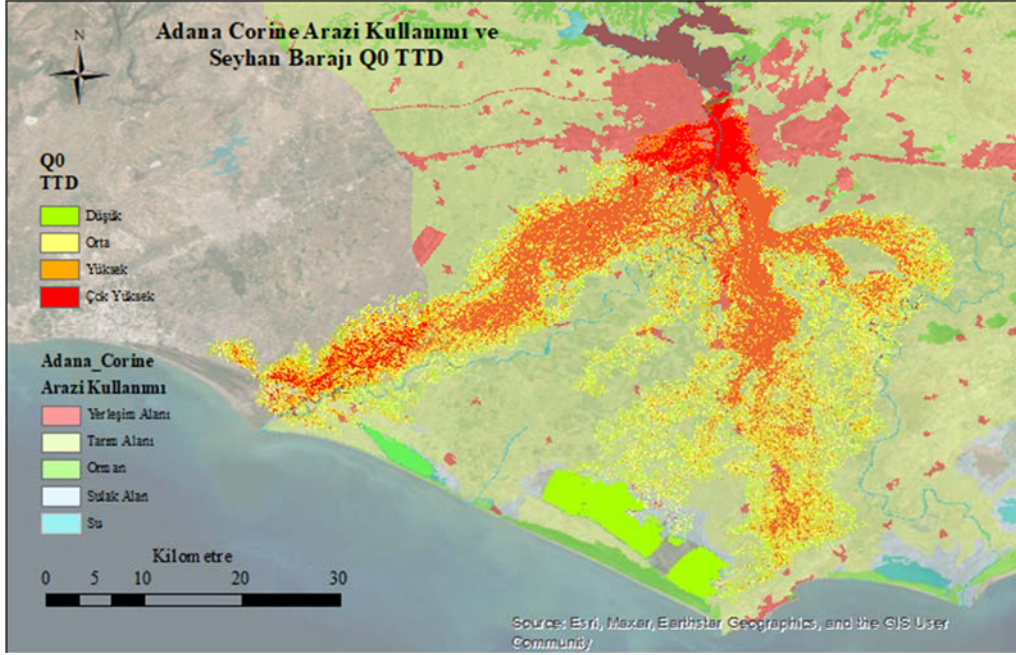
Şekil 5. Taşkın debisinin yayılma zamanı

Birinci senaryoya göre baraj gövdesinin borulanma ile göçmesi durumunda Çizelge 5’de görüleceği üzere toplamda $1042,61 \text{ km}^2$ alan sular altında kalmakta, bu alanların %35,4’i, yaklaşık $369,25 \text{ km}^2$ ‘si çok yüksek tehlikeli bölge olarak belirlenmiştir. Şekil 6(a)’da taşkın tehlike derecelendirmesine göre arazinin durumu ve kullanım şekli birlikte gösterilmiştir. Seyhan nehrinin sol ve sağ sahilinde yerleşimin olduğu bölgenin önemli bir kısmı çok yüksek tehlike altında kalmaktadır. Mansapta tarım arazilerinin olduğu bölgede özellikle Seyhan nehrinin sağ sahiline yüksek tehlike derecelendirilmesinin olduğu gözlenmektedir.

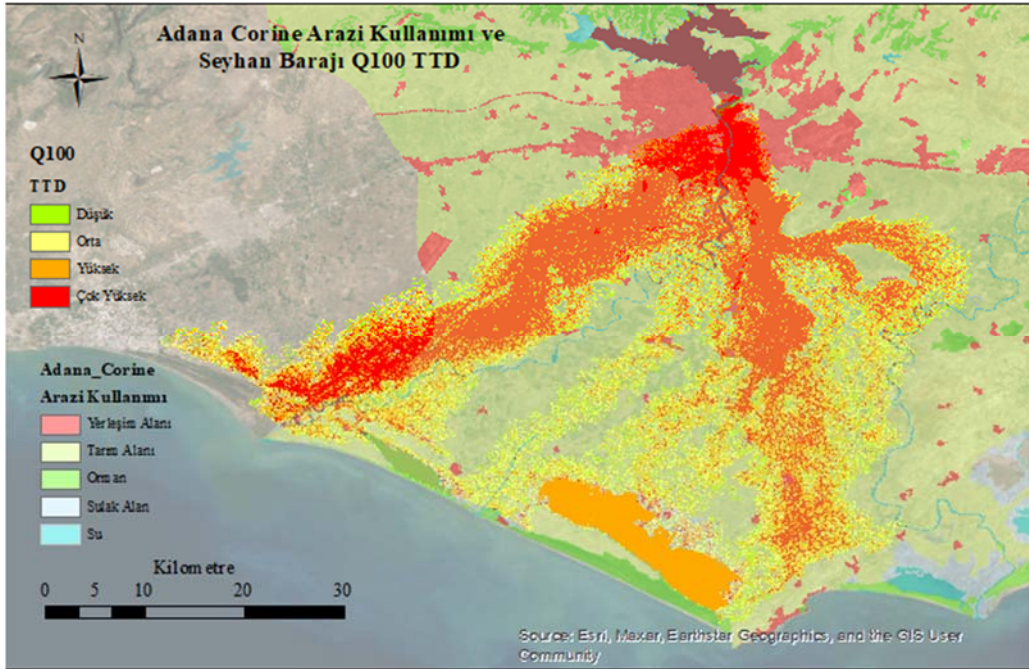
Q_{100} debisi ile birlikte barajda maksimum seviyede (72m) su bulunması halinde, olası borulanma ile Seyhan barajının göçme senaryosu ve bu durumda belirlenen TTD Çizelge 5 de ayrıca verilmiştir. Çizelge 5 den görüleceği üzere toplamda $1331,81 \text{ km}^2$ alan sular altında kalmakta, bu alanların %40,1’i, yaklaşık $533,98 \text{ km}^2$ ‘si çok yüksek tehlikeli bölge olarak belirlenmiştir. Şekil 6(b) de yine taşkın tehlike derecelendirmesine göre arazinin durumu ve kullanım şekli verilmiştir. Seyhan nehrinin sol ve sağ sahilinde yerleşimin olduğu bölgenin önemli bir kısmı benzer şekilde çok yüksek tehlike altında kalmaktadır. Mansapta tarım arazilerinin olduğu bölgede daha fazla alanın yüksek tehlike derecelendirilmesine maruz kaldığı belirlenmiştir.

Çizelge 5. Seyhan barajı göçme senaryolarına göre TTD ve alanları

TTD	Q ₀		Q ₁₀₀	
	Km ²	%	Km ²	%
Düşük, <0,75	185,45	17,8	113,93	8,6
Orta, 0,75-1,25	187,55	18,0	232,36	17,4
Yüksek, 1,25-2,5	300,37	28,8	451,54	33,9
Çok Yüksek, >2,5	369,25	35,4	533,98	40,1
Toplam=	1042,61	100	1331,81	100



(a) Adana Q₀ TTD



(b) Adana Q₁₀₀ TTD

Şekil 6. Seyhan barajı göçme analizi ve TTD

4. SONUÇLAR

Ülkemizde son yıllarda artan tektonik hareketlilik, birçok mühendislik yapısında olduğu gibi barajların da olası hasar ve buna bağlı oluşacak taşkınlara göre afet hazırlık çalışmalarını zorunlu kılmaktadır. Bu amaçla Seyhan nehri üzerinde ve Adana kent merkezinin hemen kuzeyinde bulunan Seyhan barajının olası yıkılma durumunda mansaptaki etkileri incelenmiştir. Depreme bağlı baraj gövdesindeki deformasyonlar nedeniyle dolguda oluşacak borulanma ve buna bağlı göçme analizi iki farklı senaryo için HEC-RAS 6.4 Paket programı ile ele alınmıştır. Birinci senaryoda baraj gölüne giren akım ihmal edilerek, normal göl seviyesi olan 67m de oluşacak trapez şeklindeki gediklenme durumu incelenmiştir. İkinci senaryoda ise barajın maksimum su seviyesi olan 72m de 100 yıllık taşkın hidrografının gelmesiyle birlikte dolgunun borulanmaya bağlı nedenle yıkılması ele alınmıştır.

Her iki senaryoya göre gediklenme taban kotu 40m ve borulanma katsayısı 0,5 olarak alınmış ve program tarafından hesaplanan gedik taban genişlikleri sırasıyla 164m ve 191m olarak, gediklenme süreleri ise 3,77 saat ve 4,66 saat olarak belirlenmiştir. Her iki durumda da gedik şev eğimi Y/D 0,7 olarak hesaplanmıştır. Barajın olası göçme durumunda, taşkın dalgalarının etkileyeceği bölgeler 2 boyutlu modelleme yapılarak 196.240 adet, 100mx100m boyutunda ızgara elemanlara bölünmüş, çalışma alanına ait Manning pürüzlülük katsayıları CORINE arazi kullanımına bağlı 5 farklı bölge için tanımlanmıştır.

Q_0 debisinin neden olacağı taşkın ilk 6 saatte yerleşimin son bulunduğu bölgeye ulaşarak Adana kent merkezini etkileyeceği, oluşan taşkın derinliğinin özellikle Seyhan nehri yakınlarında 15m ye kadar ulaşabileceği belirlenmiştir. Taşkın alanının mansabına, tarım arazilerinin bulunduğu bölgeye ise taşkın 12 saatte ulaşacağı ve derinliğin 1m'nin altına düşeceği hesaplanmıştır. Benzer şekilde ikinci senaryoya göre de taşkın debisi ilk 6 saatte yerleşim bölgesini etkilemekte ve taşkın alanının mansabına 12 saatten daha uzun sürede ulaşmaktadır.

Birinci senaryoya göre (Q_0) baraj gövdesinin göçmesi durumunda toplamda 1042,61km² alan sular altında kalmakta, bu alanların %35,4'i, yaklaşık 369,25km² si çok yüksek tehlikeli bölge olarak belirlenmiştir. Q_{100} debisi ile birlikte barajda maksimum seviyede su bulunması halinde olası göçme senaryosuna göre de 1331,81km² alan sular altında kalmakta, bu alanların %40,1'i, yaklaşık 533,98km² si çok yüksek tehlikeli bölge olarak hesaplanmıştır. Seyhan nehrinin sol ve sağ sahilinde yerleşimin olduğu bölgenin önemli bir kısmı çok yüksek tehlike altında kalmaktadır. Mansapta tarım arazilerinin olduğu bölge ise yüksek tehlike derecelendirilmesine maruz kaldığı belirlenmiştir.

Bu çalışma bulguları ile Seyhan barajının hemen mansabında bulunan Adana kent merkezinin acil durum planlarının hazırlanarak olası mal ve can kayıpları azaltılabilir. Hesaplanan taşkın yayılma süresi ve TTD dikkate alınarak, yerleşim merkezlerinin uyarılması için gereken zaman belirlenip, tahliye planları hazırlanabilecek, afet yönetimine bir kılavuz olacaktır.

5. KAYNAKLAR

1. Zhang, L.M., Xu, Y., Jia, J.S., 2009. Analysis of earth dam failures-a database approach. Georisk, 3, 184-189.
2. Bozkuş, Z., 2004, Afet yönetimi için baraj yıkılma analizleri. İMO Teknik Dergi, 3335-3350.
3. Dinçergök, T., 2007. The role of dam safety in dam-break induced flood management. Proceedings of International Congress on River Basin Management, 682-697, Antalya-Turkey.
4. Çağatay, H., Kocaman, S., 2009. Baraj yıkılması taşkın dalgalarının mansapta oluşturacağı su yüzü profillerinin incelenmesi. Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 24(1), 99-110.
5. Dursun Ö.F., Gül E., 2018. İki boyutlu baraj yıkılma modellemesi; Sürgü Barajı örneği. Fırat Üniv. Müh. Bil. Dergisi, 30(3), 97-104.
6. Paşa, Y., Peker, İ.B., Hacı, A., Gülbaz, S., 2023. Dam failure analysis and flood disaster simulation under various scenarios, Water Science & Technology, 87(5), 1214.
7. Adana IRAP İl Afet Riski Azaltma Planı, T.C. Adana Valiliği, İl Afet ve Acil Durum Müdürlüğü.
8. <https://earthexplorer.usgs.gov/>, Erişim tarihi: 04.04.2024.
9. Seyhan Havzası Taşkın Yönetim Planı, 2000. T.C. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü, Art Çevre Teknolojileri İnş. Müh. Tur. Tic. Ltd. Şti. Eylül.
10. <https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover/clc2018>, Erişim tarihi: 04.04.2024.

11. Özdemir, H., 2007. Farklı senaryolara göre taşkın risk analizi: Havran Çayı örneği (Balıkesir). TMMOB Afet Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 155-166, Ankara.
12. Brunner, G., 2014. Using HEC-RAS for dam break studies. US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, USA.
13. Froehlich, D.C., 2008. Embankment dam breach parameters and their uncertainties. ASCE Journal of Hydraulic Engineering, 134(12), 1708-1721.
14. HEC-RAS, 2010. User's manual. USACE Hydrologic Engineering Center, Davis, USA.
15. Wallingford, H.R., 2006. R&D outputs: Flood risks to people phase 2 FD2321/TR2 guidance document. Defra/Environment Agency Flood and Coastal Defence R&D Programme.
16. DSİ, 1994. The feasibility study on flood control, forecasting and warnings system for Seyhan River basin, Japan International Cooperation Agency.
17. Brunner, G.W., 2016. HEC-RAS river analysis system 2D modeling user's manual. Davis, CA.