

İki Boyutlu Baraj Yıkılma Modellemesi; Sürgü Barajı Örneği

Ö. Faruk DURSUN¹, Enes GÜL^{2*}

^{1,2}İnönü Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44280 Malatya
faruk.dursun@inonu.edu.tr¹, enes.gul@inonu.edu.tr²

(Geliş/Received: 23.03.2018; Kabul/Accepted: 03.09.2018)

Özet

Ekonomik gelişmenin bir göstergesi olan barajlar, ciddi finansman kaynakları ile inşa edilmektedir. Rezervuarında topladığı büyük su hacimleri ile tarımsal sulama, içme suyu temini, enerji üretimi ve rekreasyon alanı oluşturma gibi amaçlarla kullanılmaktadırlar. Türkiye’de yapımı devam eden birçok baraj inşaatı bulunmaktadır. Türkiye’de 1950 yılına kadar sadece 3 adet baraj inşa edilmiştir. 1950-1960 yılları arasında ise 12 baraj daha inşa edilmiştir. Sürgü Barajı Türkiye’nin Doğu Anadolu Bölgesi’nde, Malatya ilinden 53 km uzaklıkta, Sürgü Çayı üzerinde yer almaktadır. 1963-1969 yılları arasında yapılan Sürgü Barajı toprak dolgu tipindedir. Sürgü Barajı 55m gövde yüksekliğine ve 690 m kret uzunluğuna sahiptir. Baraj yıkılma olayları büyük miktarlarda can ve mal kayıplarına sebep olabilmektedir. Literatürde baraj yıkılması sonucu oluşacak taşkın bir, iki ve üç boyutlu çözümleri için birçok yazılım önerilmiştir. Bu yazılımlar yardımıyla baraj yıkılmaları sonucu oluşabilecek taşkın yayılım haritaları nümerik olarak tahmin edilebilmektedir. Bu çalışmada, 2 boyutlu zamanla değişen akım analizleri yapabilen HEC-RAS yazılımı kullanılmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Sürgü Barajı’nın yıkılması durumunda oluşacak taşkın yayılım haritaları elde edilmiştir. Sonuç olarak, Sürgü Barajı mansabında bulunan yerleşim birimlerinin ve tarım arazilerinin baraj yıkılmasından nasıl etkilenebileceği tahmin edilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Baraj Yıkılması, Sürgü Barajı, İki Boyutlu Modelleme, HEC-RAS

Two Dimensional Dam Break Modelling; A Case Study of Sürgü Dam

Abstract

Dams, which are a sign of economic development, are being built with substantial financing resources. They are used in areas such as agricultural irrigation, drinking water supply, energy production and recreation area with large water volumes collected in reservoirs. Today continues the construction of several dams in Turkey. In Turkey until 1950 only 3 dams were built. Between 1950 and 1960, 12 more dams were built. Sürgü Dam in Turkey's Eastern Anatolia region, 53 km from Malatya province, is located on the Sürgü stream. Sürgü Dam has 55 m height and 690 m crest length. Dam break events can lead to loss of life and property in large quantities. Many software for flood in one, two and three dimensional solutions have been proposed in the literature as a result of dam collapse. With the help of these software, flood propagation maps which can be the result of dam collapse can be estimated numerically. In this study, HEC-RAS software is used which can perform current analysis with two dimensional unsteady flow. It was tried to obtain flood propagation maps which would be formed in case of the demolition of the Sürgü Dam, which was selected as the study area. As a result, it has been tried to estimate how settlement units and agricultural lands downstream of Sürgü Dam can be affected by dam break.

Keywords: Dam Break, Sürgü Dam, Two Dimensional Modelling, HEC-RAS

1. Giriş

Yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunan barajlar, rezervuarlarında biriken su ile tarımsal sulama, içme suyu temini, taşkın önleme ve enerji üretme gibi amaçlar için inşa edilmektedir[1]. Türkiye son 10 yılda birçok baraj inşaatı yapmıştır. Türkiye’nin enerji ihtiyacı her yıl ortalama %8-10 arasında artmaktadır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak amacıyla barajlar,

doğalgaz ve kömürden sonra en önemli enerji kaynağı haline gelmiştir[2]. Ayrıca tarımsal sulama ve içme suyu temini için de birçok gölet inşa edilmiştir. Son yıllarda baraj güvenliği konusu halkın dikkatini çekmiştir. Çünkü baraj ya da bent yıkılmalarının neden olduğu sel baskınları, özellikle yoğun nüfuslu bölgelerde can ve mal kayıplarıyla birlikte yıkıcı felakete neden olabilmektedir. Örneğin, ABD’de Katrina kasırgası sırasında 2005’te New Orleans’taki

bentlerin yıkılması 100-200 milyar \$ zarara ve 1600 kişinin ölümüne yol açmıştır[3]. Dünya’da birçok ülke baraj yıkılma afetleri için çalışmalar yapmaktadır. ABD’de Federal Acil Eylem Yönetimi Ajansı (FEMA) baraj yıkılmaları için risk analizleri, acil eylem planları ve taşkın yayılım haritaları oluşturma konusu üzerine çalışmalar yapmaktadır[4]. Türkiye’de de baraj yıkılmaları konusunda Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) için birçok çalışma yapmıştır[5,6].

900 baraj yıkılması üzerine istatistiki yapılan bir çalışmaya göre en çok baraj yıkılma probleminin karşılaştığı baraj gövde tipi, dolgu baraj olarak tespit edilmiştir[7]. Dolgu barajların yıkılma sebepleri arasında en önemli olanları sırasıyla; baraj üzerinden suyun aşması, baraj gövdesi içerisinden yaşanan erozyon (borulanma) ve baraj temelinden kaynaklı problemlerdir[8].

Literatürde mevcut çalışmalar incelendiğinde, baraj yıkılma modellemesi üzerine birçok araştırmaya rastlanmıştır[9–12]. Türkiye’de bulunan Kestel Barajının tek boyutlu modeli, DAMBRK adlı nümerik modelleme yapabilen bir program aracılığıyla

oluşturulmuştur. Barajın mansabında seçilen altı en kesit için pik taşkın debileri, taşkın kotları ve bunların oluşum zamanları belirlenmiştir[5]. Elçi ve diğerleri yerleşim yerlerine yakın bulunan Alibey ve Porsuk Barajları için yıkılma analizleri HEC-RAS ve FLO-2D yazılımları kullanılarak yapmışlardır. Bu çalışmada ayrıca binalar için pürüzlülük haritaları çıkarılmış ve rezervuar hacimlerini doğru belirleyebilmek için batimetri haritalarından faydalanılmıştır[13]. Joshi tarafından 2 Boyutlu modelleme için Hec-Ras programı kullanılarak Hindistan’da bulunan 35 m yüksekliğindeki Vir Barajı’nın yıkılması modellenmiştir. 30 m çözünürlükte harita verisi kullanılmış ve 7000 m³/s’lik pik taşkın debisinin olduğu ifade edilmiştir[14]. Literatürde baraj yıkılmaları için birçok hidrodinamik modelleme ve deneysel çalışmaya rastlamak mümkündür[16–18]. Baraj yıkılmalarının zamansal gelişimi, oluşacak taşkın hidrografi ve bunların matematiksel modellenmesi için belirli parametrelerden faydalanılmaktadır. Tablo 1’de dünyada yıkılan bazı barajların bilgileri verilmiştir.

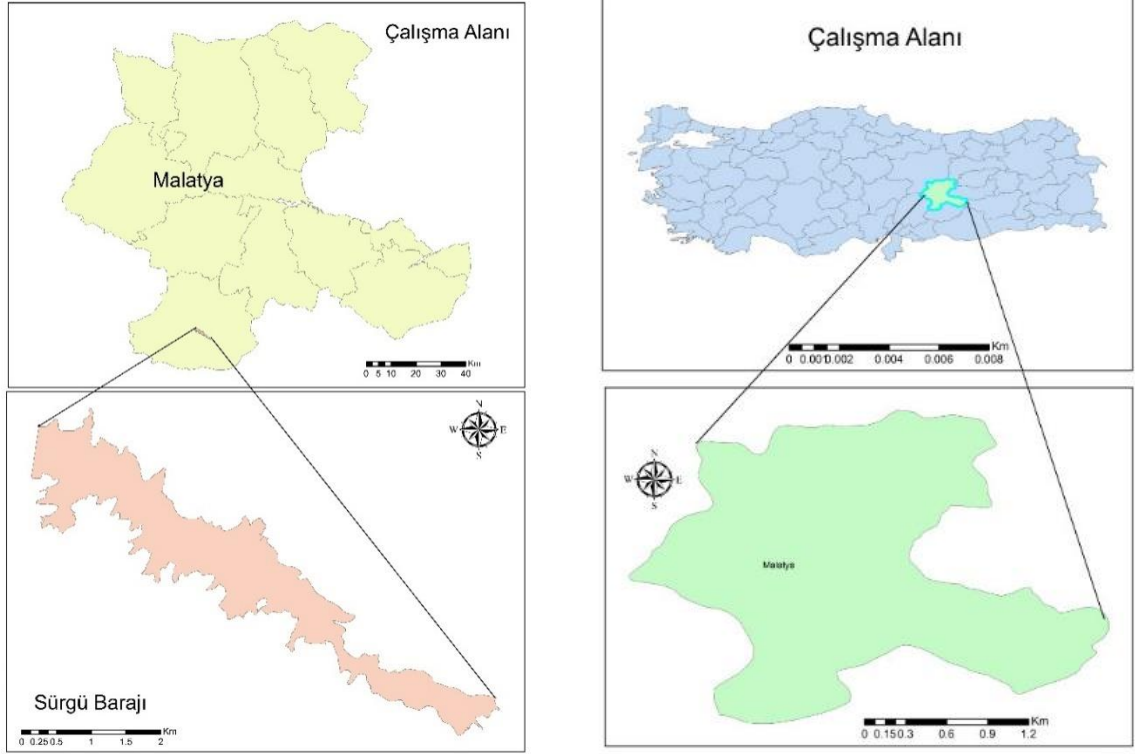
Tablo 1. Baraj yıkılma örnekleri [15]

| Baraj İsmi | İnşaati bittiği baraj yıkıldığı yıl | Baraj yüksekliği (m) | Rezervuar hacmi *10 ⁶ (m ³) | Yıkılma sonrası pik debi (m ³ /s) |
|---------------------------|-------------------------------------|----------------------|--|--|
| Apishapa, ABD | 1920/1933 | 34 | 20.5 | 6850 |
| Baldwinhills, ABD | 1951/1963 | 49 | 1.1 | 1110 |
| Breadfield, İngiltere | 1863/1864 | 29 | 3.2 | 1115 |
| BuffaloCreek, ABD | 1972/1972 | 14 | 0.6 | 1420 |
| Euclides de Cunha, Brazil | 1958/1977 | 53 | 13.6 | 1020 |
| Oros, Brezilya | 1960/1960 | 35.5 | 650 | 11500 |
| Teton, ABD | 1972/1976 | 93 | 356 | 66000 |

2. Baraj Yıkılma Modeli

1920-1950 yılları arasında Türkiye’de toplam 3 adet baraj inşa edilmiştir. Sonrasında baraj inşaatlarında büyük bir ivme gösterilmiş ve 1950-1960 yılları arasında 9 baraj inşa edilmiştir. [19]. Sürgü Barajı 1953 yılında Malatya ili Su İşleri Teşkilatı tarafından Su İşleri Teşkilatı Genel Müdürlüğü’ne önerilmiştir. Sürgü Barajı 1963-1969 yılları arasında inşa edilmiştir. Şekil 1’de de gösterildiği gibi, çalışma alanı Türkiye’nin Doğu

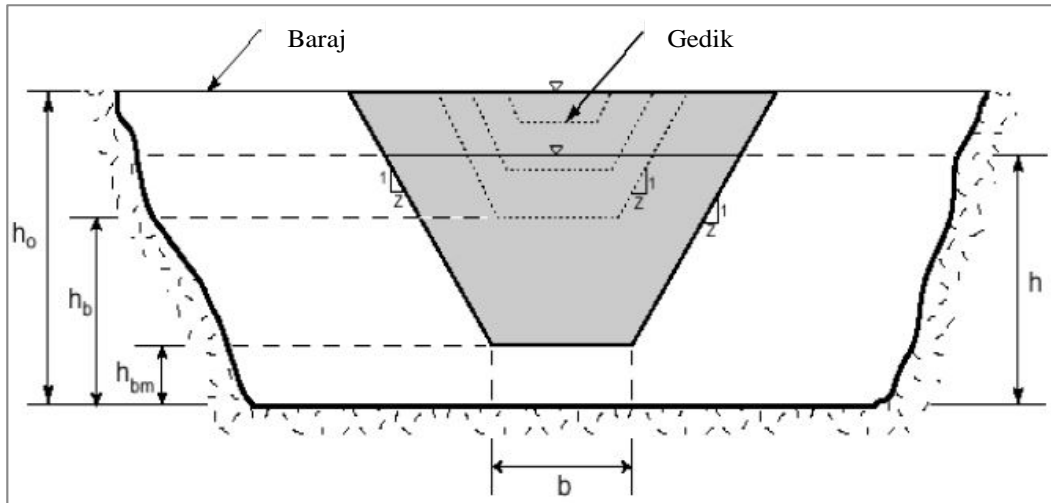
Anadolu Bölgesi’nde, Malatya ilinden 53 km uzaklıkta, Sürgü Çayı üzerinde, 38° 2’ 6” Kuzey ile 37° 52’ 46” Doğu enlemindedir. İki boyutlu modelleme için 20 m x 20 m boyutlarında karelaç oluşturulmuştur. Model için kullanılan harita, USGS (ABD Yerbilimsel Araştırma Kurumu) 10 m sayısal yükseklik haritasında kullanılarak oluşturulmuştur. Haritaların projeksiyonu ‘UTM-WGS 1984-Northern Hemisphere’ (Kuzey Yarımküre) ve ‘zone 36N.prj’ olarak seçilmiştir.



Şekil 1. Çalışma alanı yeri (Sürgü Barajı)

Şekil 2’de gösterildiği üzere baraj gediklenme şekli toprak ve kaya dolgu barajlar için trapez olarak kabul edilmiştir. Gediklenmenin başladığı an ile gedik oluşumunun bittiği an arasında geçen süre Baraj yıkılma zamanı olarak ifade edilmiştir. Baraj kreti üzerinden su aşması durumunda oluşan yıkılmalar için yıkılmanın başlama süresi, gediklenmenin kretin memba yüzüne ulaşmasıyla başlar. Ayrıca insanları uyarma ve bölgeyi boşaltma amaçlı olarak gedik başlama zamanı tanımı

verilmektedir. Gedik başlama zamanı, insanların uyarılmasını ve bölgenin boşaltılmasını düşündürecek kadar önemli miktarda suyun barajın üzerinden veya gövdesinden ilk kez akması durumunda başlar ve gedik oluşumu başladığında biter[11]. Bu çalışmada gediklenme taban genişliği 92 m, gediklenme sağ ve sol eğimleri 1:1 ve gediklenme yüksekliği 28 m olarak seçilmiştir. Baraj gediklenme süresi 1,36 saat olarak seçilmiştir.



Şekil 2. Baraj gediklenme şekli [11]

Sürgü Barajı tarımsal sulama amacıyla kullanılmaktadır. Sürgü barajı inşaatı sonrasında bölgede elma üretiminde artışlar meydana gelmiştir. Tablo 2’de Barajın bazı teknik

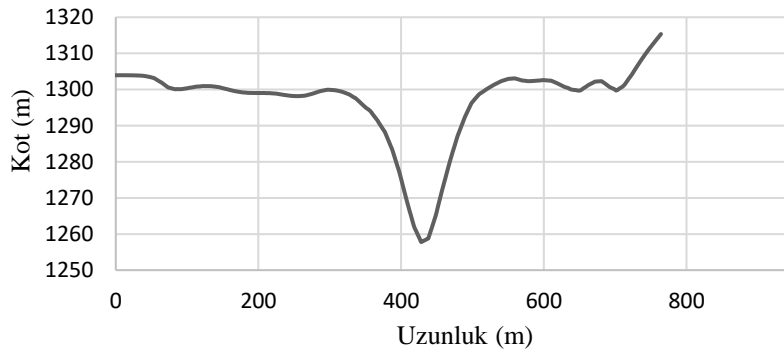
özellikleri ve iki boyutlu yıkılma modeli parametreleri verilmiştir. Barajın mansabında tarım arazileri ve bazı yerleşim birimleri bulunmaktadır.

Tablo 2. Sürgü Barajı bazı teknik özellikleri ve yıkılma parametreleri

| | |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Yıkılma Taban Genişliği | 92 m |
| Yıkılma Gelişim Zamanı | 1,36 (saat) |
| Baraj Kret Kotu | 1314 m |
| Baraj Yıkılma Kotu | 1282 m |
| Yıkılma Türü | Baraj Gövdesi Üzerinden Aşma |
| Çözüm Denklemi | Diffusion Wave Denklemleri |
| Baraj Yüksekliği | 55 m |
| Rezervuar Hacmi | 60.10 ⁶ m ³ |
| Baraj Tipi | Toprak Dolgu |

Bu çalışmada, Doğu Anadolu Fay zonuna kuş uçuşu mesafesi yaklaşık olarak 15 km olan Sürgü barajının, deprem veya farklı bir nedenle yıkılması durumunda oluşabilecek zararların boyutları sayısal olarak araştırılmıştır. Baraj yıkılması çalışması için Amerikan Hidrolojik Mühendislik Merkezi (HEC) tarafından geliştirilen HECRAS 5.03 yazılımı kullanılmıştır. Sürgü Barajı yıkılma senaryosu baraj kreti üzerinden suyun aşması dikkate alınarak üretilmiştir. Baraj yıkılması; akımın haznede ötelenmesi ve baraj yıkılma parametrelerinin belirlenmesi olarak iki aşamada

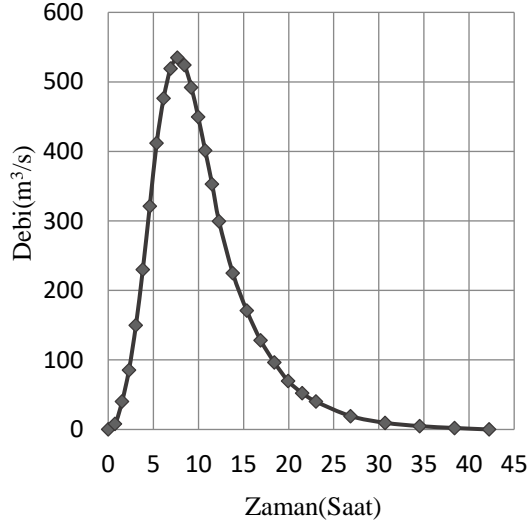
gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada, yazılım tarafından Sürgü barajı haznesine giren taşkın pikinin taşkın öteleme hesabına göre hazneden çıkış değerleri belirlenmiştir. İkinci aşama ise barajın yıkılmaya başlamasıyla birlikte meydana gelecek gediklenme parametrelerinin belirlenmesidir. Baraj gediklenme parametrelerinin belirlenmesi zordur. Bunun için literatürde birçok ampirik formül önerilmiştir. Bu çalışmada HECRAS yazılımı ortamında Froehlich’in bir takım deneysel çalışmalar sonucu dikey olmayan trapez gedikler için önerdiği ampirik formülleri kullanılmıştır[20].



Şekil 3. Baraj gövdesinin inşa edildiği akarsu en kesiti

Baraj gövdesinin inşa edildiği akarsu en kesiti Şekil 3’te verilmiştir. Baraj rezervuarına giren taşkın hidrografi ise Şekil 4’te

gösterilmiştir. Sürgü Çayında Pik debi 8. saatte ve 560 m³/s olarak meydana gelmiştir.

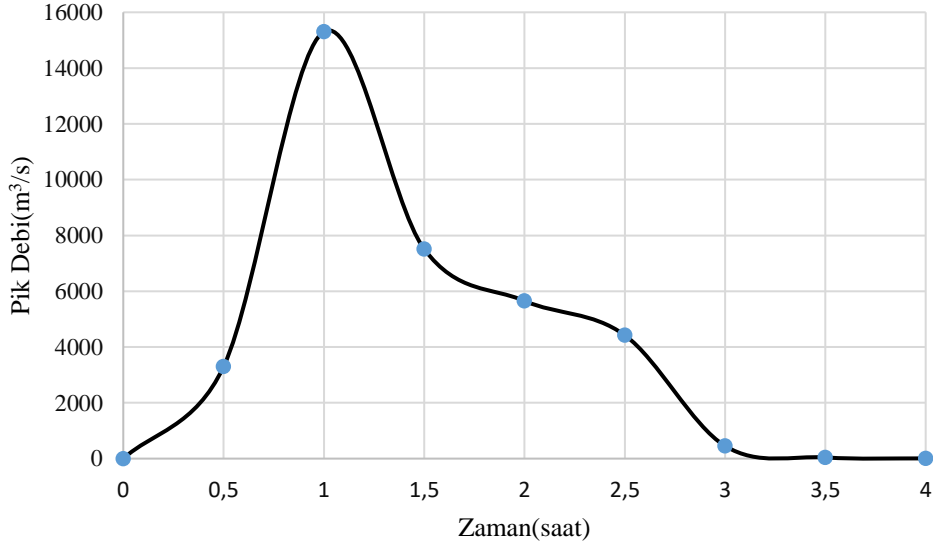


Şekil 4. Sürgü Barajı gölüne giren taşkın hidrografı

3. Bulgular ve Tartışma

Şekil 5'te Sürgü barajının yıkılması durumunda barajın hemen mansabında oluşması tahmin edilen hidrograf eğrisi verilmiştir. Buna göre yaklaşık 1 saatlik sürede pik debiye ulaşılması ve pik debinin $15300 \text{ m}^3/\text{s}$ değerinde

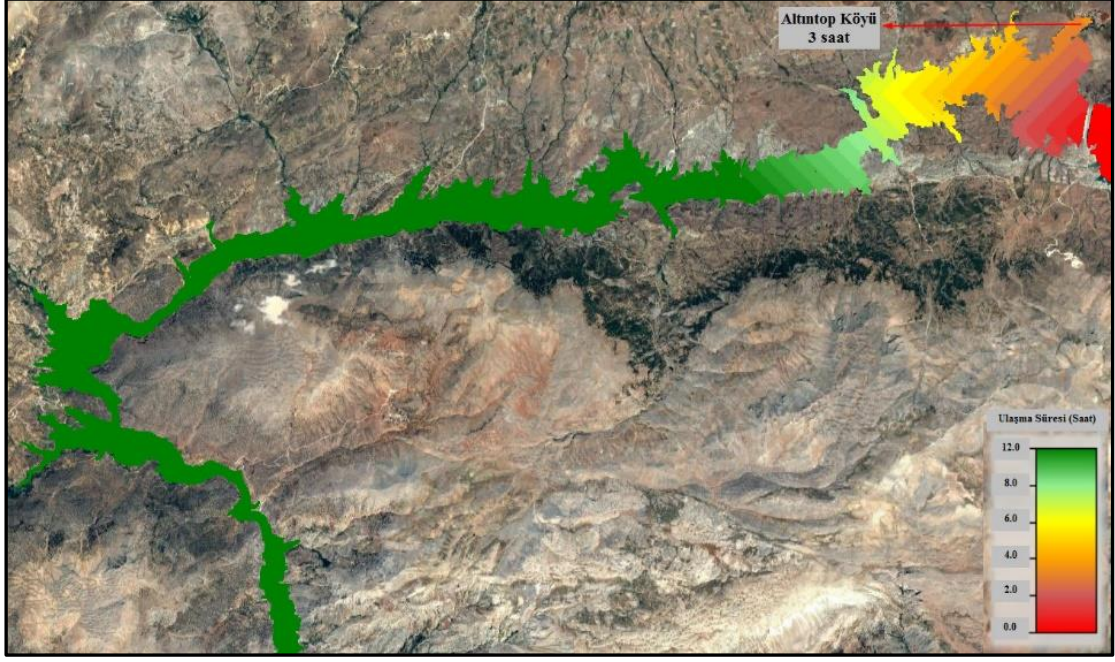
olması tahmin edilmektedir. 3,8 saatlik süre sonunda ise hidrografın taban süresinin sona erdiği görülmektedir. Aynı grafikten hidrografın yükselme ve alçalma eğrisinin oldukça dik eğimde olduğu, çekilme eğrisinin daha yatık ve kısa süreli olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Baraj yıkılma sonrası hidrografın şekli

Şekil 6'da Sürgü barajının yıkılması durumunda taşkın dalgasının dere yatağı boyunca ilerleme süreleri gösterilmiştir. Buna göre, taşkın piki barajın mansabında 2,1 km mesafede bulunan

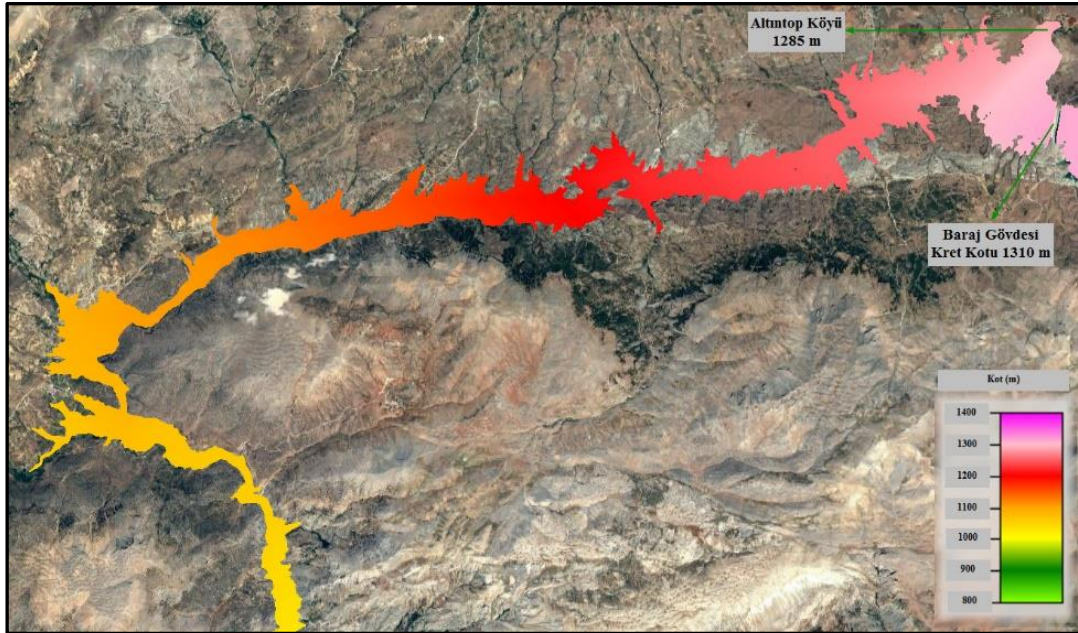
Altıntop köyüne yaklaşık olarak 3 saatlik bir sürede ulaşmaktadır. 20 km mansapta bulunan Kapıdere köyüne ise 24 saatte ulaşmaktadır.



Şekil 6. Sürgü barajının yıkılması durumunda taşkın dalgasının ilerleme süreleri

Şekil 7, Sürgü Barajının yıkılması halinde oluşacağı tahmin edilen en yüksek su yüzü kotlarının oluşturacağı sınırları göstermektedir. Buna göre oluşması muhtemel maksimum su kotunun 1285 m olması beklenmektedir. Baraj mansabında bulunan Altıntop köyünün 6,53 ha'lık kısmı ve baraj mansabında bulunan 3 km²'lik tarım arazilerinin su altında kalacağı

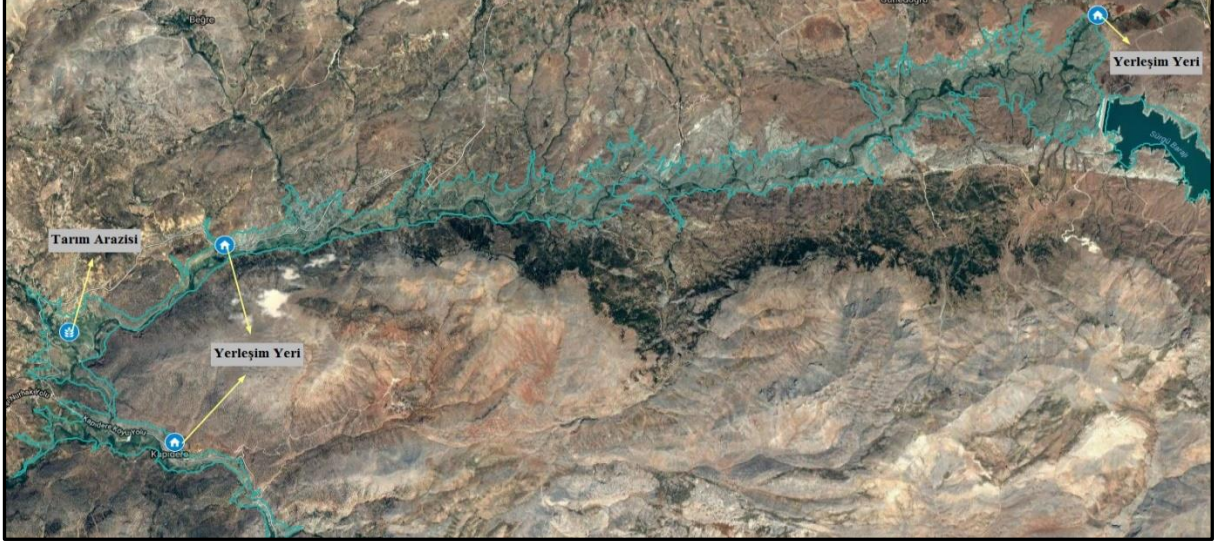
tahmin edilmektedir. Altıntop köyü nüfusu dikkate alınırca, barajın yıkılması halinde yaklaşık olarak 200 kişinin risk altında olabileceği ifade edilebilir. Daha mansapta ise Kapıdere köyünde yaklaşık 800 kişinin etkileneceği tahmin edilmektedir. Ayrıca birçok köy yolu da su altında kalabilecektir.



Şekil 7. Sürgü Barajının yıkılması halinde oluşacağı tahmin edilen su yüzü kotları

Sürgü barajının yıkılması halinde oluşacağı tahmin edilen taşkın sınırları Şekil 8’de gösterilmiştir. Bu sınırlara göre afet durumunda köylere ulaşım için kullanabilecek olası köy yollarının büyük bir kısmının su altında

kalabileceği görülmüştür. Özellikle dere yatağı içerisinde barajın mansabı boyunca birçok ev olduğu tespit edilmiştir. Bu yerleşim birimlerinin olası bir afet halinde hazırlıklı olması için acil eylem planlarının hazırlanması gerekmektedir.



Şekil 8. Sürgü Barajının yıkılması halinde oluşacağı tahmin edilen taşkın sınırları

4. Sonuçlar

Bu çalışma, Doğu Anadolu Fay zonuna kuş uçuşu mesafesi yaklaşık olarak 15 km olan Sürgü barajının, deprem veya farklı bir nedenle yıkılması durumunda oluşabilecek zararların boyutları ortaya koymak amacıyla yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar, böyle bir felaketin yaşanması durumunda özellikle yerleşim birimlerinde can kaybının yaşanmaması için risk bölgelerini göstermektedir. Risk bölgelerinde yaşayan insanların taşkın dalgası henüz gelmeden önce uyarılması oldukça önemlidir. Bu çalışma ile HEC-RAS yazılımı kullanılarak iki boyutlu baraj yıkılması modellenmesi yapılarak risk haritaları oluşturulmuştur. Elde edilen sonuçlar aşağıda belirtilmiştir.

- Sürgü barajının yıkılması durumunda baraj mansabında yaklaşık olarak 31 km² lik bir alan taşkın sularından etkilenebilir.
- Sürgü barajının mansabında bulunan yerleşim alanları olan Altıntop köyünün yaklaşık olarak 1/3 lük kısmı (6,53 ha) ile Kapıdere köyünün büyük bir bölümü su altında kalabilecektir.

- Toplamda yaklaşık olarak 3 km² lik tarım arazisi zarar görebilecektir.
- En büyük taşkın seviyesi Altıntop köyüne 3 saatlik Kapıdere köyüne ise 24 saatlik bir sürede ulaşabilecektir.
- Sürgü barajının aniden yıkılması halinde barajın hemen mansabında oluşabilecek pik debi değeri 15300 m³/s değerine ulaşabilecektir.
- Bu barajın yıkılması sonucunda toplamda yaklaşık olarak 1000 kişinin taşkın felaketine maruz kalabileceği tahmin edilmektedir.

Sonuç olarak, baraj yıkılması afetleri için ülkemizde acil eylem planları hazırlanmalıdır. Baraj yıkılmaları çalışmalarının daha hassas haritalar kullanılarak yapılması halinde daha kesin sonuçlar elde edilecektir.

5. Kaynaklar

1. Altınbilek, D. (2002) The Role of Dams in Development. *Int. J. Water Resour. Dev.*, **18** (1), 9–24.
2. Erdogdu, E. (2011) An analysis of Turkish hydropower policy. *Renew. Sustain. Energy Rev.*

- 3.Seed, R.B., Bea, R.G., Abdelmalak, R.I., Athanasopoulos, A.G., Boutwell Jr, G.P., Bray, J.D., Briaud, J.-L., Cheung, C., Cobos-Roa, D., and Cohen-Waeber, J. (2006) Investigation of the Performance of the New Orleans Flood Protection System in Hurricane Katrina on August 29, 2005: Volume 2. *Indep. Levee Investig. Team Final Rep.*, **2**.
- 4.Federal Guidelines for Dam Safety (2004) Federal Guidelines for Dam Safety. *Management*, (April).
- 5.BOZKUŞ, Z. (2015) Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri. *Tek. Dergi*, **15** (74).
- 6.Dincergok, T. (2007) The Role of Dam Safety in Dam-Break Induced Flood Management. *Proc. Int. Congr. River Basin Manag.*, 682–697.
- 7.Zhang, L.M., Xu, Y., and Jia, J.S. (2007) Analysis of earth dam failures -A database approach. *ISGSR2007*.
- 8.ICOLD (1995) Dam Failures Statistical Analysis, ICOLD, Bulletin 99 Paris.
- 9.Alcrudo, F., and Mulet, J. (2007) Description of the Tous Dam break case study (Spain). *J. Hydraul. Res.*, **45** (sup1), 45–57.
- 10.Begnudelli, L., and Sanders, B.F. (2007) Simulation of the St. Francis dam-break flood. *J. Eng. Mech.*, **133** (11), 1200–1212.
- 11.Bozkuş, Z., and Bağ, F. (2011) Çınarcık Barajının sanal Yıkılma Analizleri. *İMO Teknik Dergi*, 5675–5688.
- 12.Bozkuş, Z., and Kasap, A. (1998) Comparison of Physical and Numerical Dam-Break Simulations. *Tr. J. Eng. Environ. Sci.*, **22**, 429–443.
- 13.Elçi, Ş., Tayfur, G., Haltaş, İ., and Kocaman, B. (2017) Baraj yıkılması sonrası iki boyutlu taşkın yayılımının yerleşim bölgeleri için modellenmesi. *İMO Tek. Dergi*. (7955-7975), 482.
- 14.Joshi, M.M. (2017) Study of Two Dimensional Dam Break Analysis Using HEC- RAS for Vir Dam. *International J. Eng. Technol. Sci. Res.*, **4** (8), 982–987.
- 15.Singh, V.P., and Scarlatos, P.D. (1988) Analysis of gradual earth-dam failure. *J. Hydraul. Eng.*, **114** (1), 21–42.
- 16.Çağatay, H., and Kocaman, S. (2009) Baraj yıkılması Taşkın Dalgalarının Mansapta oluşturacağı Su Yüzü Profillerinin İncelenmesi. *Ç.Ü.Müh.mim.fak.Dergisi*, **24**.
- 17.WANG, L., and PAN, C. (2015) An analysis of dam-break flow on slope. *J. Hydrodyn. Ser. B*, **26** (6), 902–911.
- 18.Ackerman, C.T., Fleming, M.J., and Brunner, G.W. (2008) Hydrologic and hydraulic models for performing dam break studies. *World Environ. Water Resour. Congr. 2008 Ahupua 'A*, 1–11.
- 19.Demir, A. (2001) Su ve DSİ tarihi, Devlet Su İşleri Vakfı Yayınları, 153 s.
- 20.Froehlich, D.C. (2008) Embankment dam breach parameters and their uncertainties. *J. Hydraul. Eng.*, **134** (12), 1708–1721.