

Tarih Boyunca Barajların Elden Çıkma Nedenleri

Onur Abay

Pamukkale Ün., Fen Bil. Ens.
İnş. Müh. ABD, Hidrolik Bil. Dalı,
Kınıklı Yerleşkesi, Kınıklı 20070-Denizli
505 689 32 39
onurabay@hotmail.com

Nesrin Baykan

Zümrüt Mah. 2061 sk. no. 18,
Bağbaşı-Denizli
532 730 37 76
obaykan@pau.edu.tr
(Yazışmacı Yazar)

N. Orhan Baykan

Pamukkale Ün., Müh. Fak., İnş. Müh. Böl.,
Kınıklı Yerleşkesi, Kınıklı 20070-Denizli
532 522 56 01
obaykan@pau.edu.tr

Öz

Bilgisizlik, deneyimsizlik, gözlem ve veri eksikliği ile yardımcı yapı yetersizliği gibi nedenlerle yıkılan barajlar tarih boyunca ciddi can ve mal yitimlerine yol açmıştır. Yıkılma nedenleri çok iyi incelenmiş barajlar olduğu gibi, hiç incelenmemiş barajlar da çok sayıdadır. Ayrıca bilişim ağlarının gelişmesi sonucunda, geçmişteki baraj yıkılmaları üstüne kestirimler yapma ve şimdiye değin varolmayan verileri türetme/değerlendirme olanağı doğmuştur. Bu incelemeler ve değerlendirmeler kullanılarak barajların tarihteki yıkılma nedenlerine ilişkin çok çeşitli istatistiksel veri üretilmiştir.

Barajların büyük çoğunluğunun yıkılmasına (göçmesine) “kayma” ve “gövde üstünden su aşması” olaylarının neden olduğu bilinmektedir. Bunun yanısıra, ciddiye alınmayacak ölçüdeki küçük etkenlerin etkime süreleri uzadıkça, barajlarda can alıcı boyutlara ulaşabilmektedirler. Barajların yaşlarıyla göçme riskleri de doğru orantılıdır. Ayrıca yer kırıklarının genişlemesi yapıları ciddi biçimde etkilemekte, deprensellik de yıkılmalarda en önemli etkenlerden biri olmaktadır. Öte yandan “kasıtlı” baraj yıkımları da tarih boyunca barajların yıkılması kapsamında ilginç örnekler oluşturmaktadır. Önyüzü beton kaplamalı dolgu barajlar, asfalt yüzü dolgu barajlar gibi nispeten yeni tasarımların yıkılma/göçmelerine ilişkin veriler henüz bir istatistik oluşturacak çoklukta olmamasına karşın, bu barajların güvenlik önlemlerine de kısaca değinilmiştir.

Sonuç olarak, barajların yıkılması/göçmesi, parasal yitimlerin yanısıra, ciddi sosyal felaketlere de yol açabilmektedir. Öyle ki, insanlar yerlerinden olmakta, belli sürelerde susuz kalmakta, tarlalarını sulayamaz ve taşkınlardan korunamaz duruma düşmektedirler. Tarih boyunca yıkılan/göçen barajlardan çıkarılacak birçok ders vardır. Bunlardan tasarımda ve yapımda yararlanıldığında, felaketlerden kaçınabilme ve zararları enküçükleme şansı doğmaktadır. Bu çalışmada, çok eski çağlardan başlayarak, kimi hakkında düşünce yürütmeye, kimi hakkında yorumlara başvurmaya, yeni tasarımlı kimi barajlar hakkında da genel bir istatistiksel değerlendirme yapmaya çalışılmıştır.

Anahtar sözcükler: Baraj, Göçme, Kayma, Yıkılma, Kasıtlı yıkılma.

Giriş

Çağlar boyunca yapım teknikleri, boyutları, hizmet ettikleri nüfus vb. karakteristikleri değişmiş olsa da barajları asıl işlevleri bakımından “suyun biriktirildiği, denetim altında tutulduğu ve/veya yönünün değiştirildiği yapılar” olarak tüm tarihsel dönemler için tanımlamak olanaklıdır. İnsanlığın avcı/toplayıcı dönemi ertesinde daha yerleşik ve tarımla uğraşan yapıya kavuşmasıyla, sulama gereksinmesi doğrultusunda, akarsuların önünü bir biçimde keserek biriken suyu belli zamanlarda sulamaya yönlendirme düşüncesi baraj kavramının temelini oluşturmuştur. Sonraları nüfusun arttığı yerlerde içme/kullanma suyunun daha yoğun sunusu gerektiğinden, büyük ordu seferleri için beslenen insan gücünün ve mekanize desteği sağlayan hayvanların (atlar, vb.) gereksinmelerinden ve zamanla da taşkın koruma, enerji üretimi gibi amaçlardan ötürü bir biriktirme ve yükseklik kazanma yaklaşımı ile barajların yapım amaçları çeşitlenmiştir. Bu nedenle, bu çalışmada “baraj” terimi ile ICOLD (International Commission on Large Dams) ölçütleri veya büyük/küçük baraj kavramları değil; birkaç metre yükseklikteki çeşitli malzemelerden yapılmış seddelerden, onlarca -hatta yüzlerce- metre yüksekliğindeki beton kemer barajlara değin tüm tarihsel dönemlerde de inşa edilmiş su yapıları kastedilmektedir.

İnsanın inşa ettiği ilk baraj ile birlikte “baraj güvenliği” kavramı da devreye girmiştir. Bu nedenle tarih boyunca barajların elde çıkma nedenlerini, tarih boyunca inşa edilen barajların karakteristikleri ile birlikte değerlendirmek uygun olacaktır. Yapısal karakteristiklerindeki ve yapım özelliklerindeki değişimlere bağlı olarak barajların yıkılma biçimleri de zaman içinde büyük değişime uğramıştır. Günümüzde baraj yıkılmaları gövdede tümünden göçme veya kısmî yarılma/oyulmanın görülmesi de dâhil olmak üzere çok farklı biçimlerde gerçekleşebilmektedir. Baraj yıkılmalarının tarihte yıkılmış neredeyse her bir baraj için farklı karakteristik taşıdığı da söylenebilir. Yine de, araştırmaların gelişmesi sonucunda baraj güvenliğinin belli istatistiklere/ölçütlere oturtulması ile günümüzde baraj yıkılmalarının aşağıdaki nedenlerin birinden veya birkaçının bileşiminden kaynaklandığı öne sürülebilir:

- 1) Uzun süreli yağışlar ve taşkınlar (en yaygın baraj yıkılması nedenidir.)
- 2) Yetersiz ve/veya bariyer oluşturmuş dolusavak ve hava payı kapasitesi (suyun gövde üstünden aşmasının nedenidir.)
- 3) Dolgu gövde veya temelde görülen borulanma veya sızmanın tetiklediği içsel aşınımlar (Ör. Teton Barajı)
- 4) Kapak, pompa, boru gibi işletmeye esas kesimlerde uygun olmayan/yetersiz bakım yapılması (Ör. Lawn Lake Barajı, Val di Stava Barajı)
- 5) Uygun olmayan tasarım (Ör. South Fork Barajı) veya uygun olmayan malzeme kullanımı (Ör. Gleno Barajı)
- 6) Aynı akaçlama havzası içinde akışyukarısında -özellikle daha büyük- baraj yıkılması
- 7) Hazneye doğru gerçekleşen ve suyun dalgalanmasını ve dolusavak/gövde üstünden aşmasını tetikleyen yer kaymaları, kaya düşmeleri (Ör. Vaiont Barajı)
- 8) Ciddi dalga hareketlerine ve erozyona yol açan yoğun rüzgârlar
- 9) Yıkıma yol açacak düzeydeki terörist saldırılar
- 10) Genellikle dolgu gövde üst kesimlerinde boyuna çatlaklara neden olan ve sonucu yapısal hasarlara götüren depremler
- 11) Kasıtlı yıkılmalar (Ör. Eder Barajı, Möhne Barajı)
- 12) Baraj gölünün aşırı akım alması (Ör. Shakidor Barajı)

- 13) Yetersiz ve/veya hatalı filtre tasarım ve yapımı (Ör. El Zeyzun Barajı)
- 14) İnsan, bilgisayar veya tasarım hatası

Tarih boyunca yıkılan/göçen barajların incelenmesinden çıkarılacak sonuçlardan yeni barajların tasarımında ve yapımında yararlanılması, felaketlerden kaçınabilme ve zararları enküçükleme şansı yaratmaktadır. Bu çalışmada, çok eski çağlardan başlayarak, kimi hakkında düşünce yürüterek, kimi hakkında yorumlara başvurarak, yeni yapılan kimileri hakkında da bilimsel çalışmalara dayanarak barajların elden çıkma nedenleri üstüne genel bir istatistik çıkarılmaya çalışılmıştır. Öncelikle, tarih boyunca barajlar ve ayrıca baraj güvenliği çalışmalarının tarihi üstünde durulmuş, daha sonra, barajların yıkılması farklı etmenlere bağlı olduğundan, bu yıkılmalar sırasında görülen farklı mekanizmalara değinilmiş ve tarih boyunca barajların elden çıkma örnekleri sunulmuştur.

Tarih Boyunca Barajlar

Günümüzün bilim anlayışının ve su mühendisliği kuramlarının ilk kullanımı S.Ö. (sıfırdan önce) 6. yüzyılda Ege Bölgesi'nde görülmüşse de su yapılarının tasarımı ve yapımında bilimselliğin ağırlık kazanmaya başlaması ancak 17. yüzyıldan sonra gerçekleşebilmiş, bu iki dönem arasında geçen binlerce yıllık sürede, dünyanın çeşitli yörelerinde, bugün birçoğunun yalnızca kalıntıları bulunan, bazıları işlevlerini günümüzde de sürdüren pek çok su yapısı, görgül (amprik) ilkeler ile inşa edilmiştir (Öziş, 2008).

Baraj düşüncesi ve biriktirmeye olan gereksinmenin doğmasının ardından, barajların bugün belirlenebilmiş ilk uygulamaları, doğal olarak, insanların yaygın olarak ve yoğun biçimde tarım ile uğraştığı Nil, Mezopotamya ve İndüs gibi büyük ve verimli akarsuların havzalarında ortaya çıkmıştır. Dünyanın ilk barajını belirlemek çok zor olmakla birlikte, S.Ö. 3000 dolaylarında başkent Memfis'in kurulması sırasında, Firavun'un 15 m yüksekliğinde ve 450 m kret uzunluğunda bir kargir barajla Nil nehrini çevirdiği Herodot tarihinde yer almakta; yerinde kalıntıları bulunan en eski barajın, Ürdün'de eski Jawa kentine su sağlanımı amacıyla S.Ö. 3000 dolaylarında yapılan, 5 m yüksekliğinde bir sedde niteliğindeki Jawa Barajı olduğu belirtilmekte; Mısır'da Nil'in doğu kollarında Garawi vadisinde, S.Ö. 2600 dolayından kalmış olduğu belirlenen 12 m yüksekliğindeki Sedd-el-Kefere Barajı bulunmakta; Belucistan'ın Mashkai vadisindeki ve Lakonian geçidindeki iki barajın S.Ö. 2000'lerde inşa edildiği ve Mezopotamya'da Samarra yakınında Dicle üstünde inşa edilmiş olan Marduk Barajı'nın, birkaç bin yıl hizmet görerek S.S. 1296'da yıkıldığı ifade edilmektedir (Öziş, 2008).

Tarih boyunca inşa edilmiş toplam baraj sayısı hakkında bir kestirimde bulunmak, çeşitli nedenlerle, mutlak ki doğru olmayacaktır. Literatürde bu bağlamda çeşitli inceleme yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan birinde, kayıtlara geçmiş barajlar eskil (antik) çağ, Romalılar dönemi, Ortaçağ, sanayi devrimi çağı, büyük barajlar çağı gibi dönemler özelinde incelenmiştir. Günümüz uygarlığının neredeyse temelini oluşturduğu kabul edilen ve su mühendisliği planlaması ve organizasyonunda da oldukça gelişmiş olan Romalılar döneminde yapılan, çoğu bugün İspanya toprakları üstünde kalan, gövde yükseklikleri birkaç metre ile birkaç on metre arasında değişen, büyük çoğunluğu ağırlık barajı tipinde olan ve üçü günümüzde de kullanılan azımsanmayacak sayıda baraj olduğu bilinmektedir. Romalıların geliştirdiği taş ve beton kökenli yapım tekniği sayesinde bu dönemde baraj yükseklikleri 40 metrelere kadar ulaşmış ve bu

yüksekliklere sonraki 1000 yıl içerisinde bile erişilememiştir. Bu konu üstüne geniş kapsamlı iki kitap yayımlanmıştır (DVWK, 1987, 1991).

Eskil çağlarda yapılmış ve halen kullanımda olan baraj sayısını kesin olarak belirlemek de zordur. Çünkü bunların büyük çoğunluğunun çeşitli bakım/onarım/yükseltme gibi iyileştirmelerden sonra işlevlerini sürdürdükleri bilinmektedir. Buna karşılık, tarihte yapılmış tüm barajlardan bugün ayakta olmayanların bir biçimde bir baraj güvenliği sorunu ile karşılaştığı da kuramsal olarak kabul edilebilir.

Baraj Güvenliği Araştırmalarının Tarihi

Baraj güvenliği, literatürde çok farklı biçimlerde tanımlanmıştır. Kabul gören tanımlardan birine göre baraj güvenliği, *barajı oluşturan baraj gövdesi ile dolusavak, derivasyon tüneli, dip savak vb. yardımcı öğelerin, barajın ekonomik ömrü boyunca herhangi bir olumsuzluğa yol açmadan işlevselliğini koruması için sürdürülmesi gereken etkinlikler ile birlikte baraj haznesinde biriktirilen suyun taşkın veya barajların elden çıkması nedenleri ile denetimsiz olarak akışaşağısına ulaşması sonucunda görülebilecek can ve mal yitimleri ile çevresel etkilerin önlenmesi veya hafifletilmesi için alınması gerek önlemler bütünüdür.*

Barajlar, ve genel anlamda su mühendisliği yapıları, hacimce büyük, planlama ve yapım süreleri uzun ve ekonomik giderleri yüksek tesislerdir. Dolayısıyla planlama/yapım/işletme süreçlerinden herhangi birinde ortaya çıkacak güvensizliklerin daha fazla sayıda insanı etkilemesi daha büyük bir olasılıktır. Bu nedenle günümüzde, gelişmiş ülkelerde baraj güvenliği çalışmalarına planlama/yapım/işletme aşamalarındaki çalışmalar kadar önem verilmekte, hem “olay”ın görülmesinin önlenmesi ve hem de olayın görülmesi durumunda doğacak zararların olanaklı en alt düzeye indirgenmesi bağlamlarında çok yönlü inceleme ve çözümlenmeler gerçekleştirilmektedir.

Babil kralı Hamurabi'nin koyduğu, yaklaşık S.Ö. 1772'ye tarihlenen ünlü yasaların 229, 230, 231, 232 ve 233. maddelerindeki anlatımlar dikkat çekicidir. Baraj yapımlarının çoktan başladığı yıllara tarihlenen Hammurabi Yasaları tüm yapı türleri için geçerli olan genel kurallar ortaya koymuştur. Bu nedenle, öyle görünmese bile, bu yasaların aslında baraj güvenliği ile de doğrudan ilgili olduğu, dolayısıyla baraj güvenliği konusunda konmuş ilk yazılı kurallar olduğunu söylemek pek yanlış olmaz.

Tarihte barajlar önceleri sulama ve içme suyu amaçlarına yönelik olarak inşa edilirken, özellikle sanayi devriminden sonra artan endüstrileşmeye ve kentleşmeye bağlı olarak hızla artan enerji istemi doğrultusunda, hidroelektrik santrallerin sayısı da hızla artmıştır. İnşaat tekniklerinin de gelişmesi ile birlikte daha çok enerji üretebilmek için “büyük barajlar çağı” başlamıştır. Bu dönemin ilk örnekleri genişliği fazla akarsular üstünde büyük debileri tutmayı sağlayan payandalı barajlar için Eski Asvan Barajı (Mısır, 1902) ve derin vadiler üstünde çok büyük düşüler kazanma olanağı sağlayan kemer ağırlık barajlar için Hoover Barajı'dır (ABD, 1936).

Çağdaş baraj güvenliği çalışmaları da bu dönemin hemen ertesinde başlamıştır. Baraj güvenliği çalışmalarının başlama ve gelişme nedenleri şöyle sıralanabilir (Dinçergök, 2007):

- 1) Baraj stokunun artması ve barajların yaşlanması: Çevresel ve sosyo-ekonomik etkilerin en aza indirgenmesi
- 2) 1959-1982 yılları arasında ardı ardına yaşanan yıkılma olayları: Çevresel bozulma ve sosyo-ekonomik zararlar; Toplum üzerindeki sarsıntı etkisi
- 3) Baraj sahiplerinin işlettikleri barajın güvenli olduğunu güvence altına alma gereksinimi: Çevreci grupların uyguladığı propaganda; Çevresel ve sosyo-ekonomik etkilerin en aza indirgenmesi
- 4) Uluslararası sorumlulukları yerine getirebilme yeteneği: Çevre ve sınırgeçen sular ile ilgili uluslararası anlaşmalar
- 5) Kalkınma stratejileri ve finansal yükümlülükler: Uluslararası kredi kuruluşları; Çevresel Etkileşim Değerlendirme (ÇED) raporları; Baraj güvenliği raporları

Baraj yıkılmalarına ilişkin ilk ciddi çalışmalar 1953'te Middlebrooks tarafından 1850-1950 zaman aralığına ilişkin 200 örnekle yapılmış; bu çalışmalarda dolusavak veya hava payı yetersizliği nedeniyle baraj üzerinden su aşmasının yıkılma nedenlerinde %30 ile ilk sırayı aldığı, sızma ve borulanmanın %25 ile ikinci, şev yetersizliğinin de %15 ile üçüncü sırada yer aldığı sonucuna ulaşılmıştır (Yıldız, 2007).

Bu ilk çalışmalardan sonra 1900'lü yıllarda başlayan dünyada nüfus artışı eğiliminin 1950'lerde ivmelenmesi ve 2. Dünya Savaşı sonrası yaşanan ekonomik büyüme ile birlikte içme-kullanma, tarım ve sanayi için su ve enerji gereksinimi doruğa çıkmış (ki bu süreçte -1970-1980 döneminde- dünyada 7.600 adet baraj işletmeye alınmıştır), yoğun baraj yapım işlerine koşut olarak baraj güvenliği alanında yapılan aşağıdaki çalışmalar ile baraj güvenliği kavramı da hızla gelişmiştir (Dinçergök, 2007):

- 1) Güvenlik ölçütlerinin yeniden belirlenmesi: Mühendislik kabullerinin yeni teknoloji ve bilgiler ışığında güncellenmesi; Zemin ve yapı mekaniğinde meydana gelen ilerleme; Barajların gerekli görülen bölümlerinin güçlendirilmesi (temel içitimi vb.)
- 2) Taşkın hidrograflarının güncellenmesi: Dolusavak kapasitelerinin artırılması; Tehlike dolusavaklarının eklenmesi; Baraj gövdesi kret kotlarının yükseltilmesi
- 3) Duraylılık çözümlerinin güncellenmesi: Sonlu elemanlar, sınır elemanlar, sonlu farklar yöntemlerini kullanarak çözümlene yapan programların devreye girmesi
- 4) Ölçüm aygıtlarının denetimi ve güncellenmesi: Real-time veri akışı sağlayan uzaktan denetimli otomatik ölçüm aygıtları (ABD (Amerika Birleşik Devletleri), Kanada, Almanya, İspanya, Fransa ve Avusturya); ALARM düzeneklerinin yasa ile zorunlu hale gelmesi (Avusturya)
- 5) Yasal yükümlülüklerin yaşama geçirilmesi: Baraj güvenliğinden sorumlu ve yetkili birimlerin oluşturulması; Baraj yıkılma çözümlerinin yapılarak Acil Eylem Planları'nın (AEP) oluşturulması; Erken Uyarı Sistemi tesislerinin oluşturulması

Özellikle, su potansiyelinin tümüne yakınına değerlendirmiş olan ABD'de baraj güvenliği çalışmalarında büyük aşamalar kaydedilmiş, uygulamaya dönük çok sayıda proje geliştirilmiş, konu üstünde uzmanlaşan özel kuruluşların önü açılmıştır. Bugün baraj güvenliği konusunda, gerek yapılan yatırımların büyüklüğü, gerekse akademik/uygulamalı çalışmaların çokluğu bakımından ABD dünyada ilk sırada yer almaktadır.

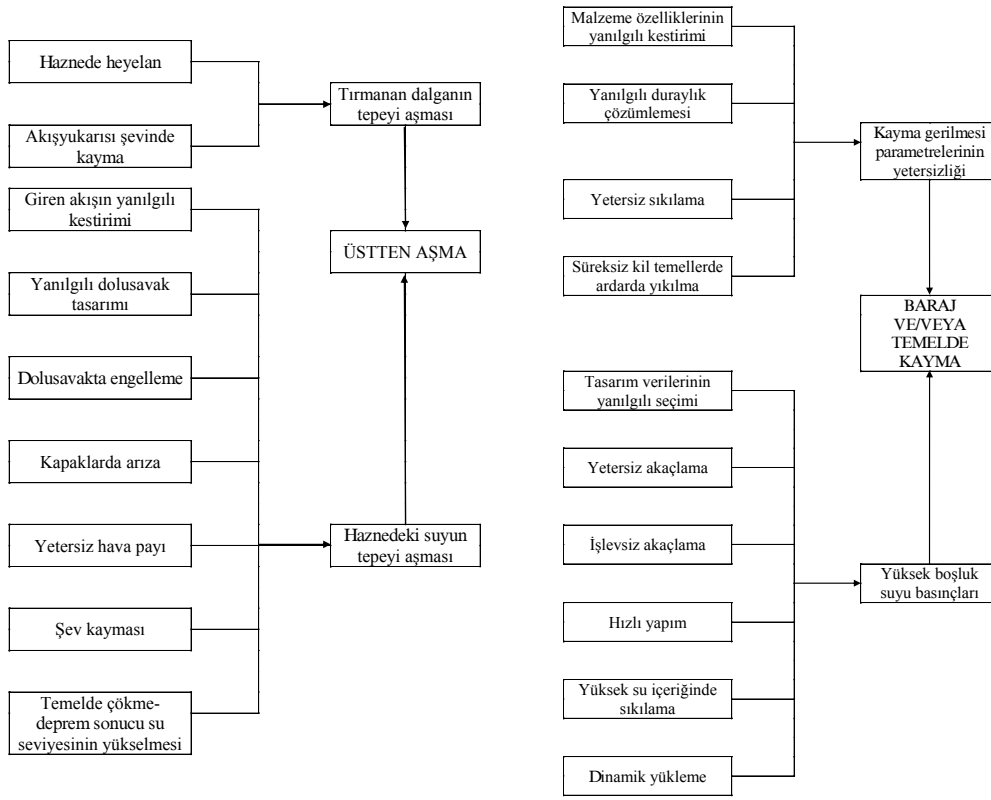
Türkiye’de baraj güvenliği çalışmalarının tarihine bakıldığında, uygulamaya yönelik baraj güvenliği çalışmalarının DSİ (Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü) öncülüğünde fakat dünya ülkelerinden çok sonra başladığı görülmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen çalışmalar 1998’de Baraj Emniyeti Çalışma Programı’nın hazırlanması, 2001’de bu programın ara raporunun yazılması, 2002’de yeni çalışma programının yazılması, 2003’de Baraj Emniyet Rehberi taslağının hazırlanması, 2005’te Baraj Emniyeti Şube Müdürlüğü’nün kurulması olarak sıralanabilir. Ayrıca 2004 yılında bir grup akademisyen ve genç mühendis tarafından ülkemizde barajlar ile ilgili ilk sivil toplum kuruluşu olan Baraj Güvenliği Derneği kurulmuş ve bu dernek 10 yıl içinde, sonuncusu 2014 Ekim’inde yapılan dört adet Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu düzenlemiştir.

Barajların Yıkılma Nedenleri

Genel

Barajların yıkılması farklı etmenlere bağlı olduğundan bu yıkılmalar sırasında da farklı mekanizmalar oluşmaktadır. Baraj yıkılmalarında çoğu zaman tek bir mekanizmanın değil, birkaç mekanizmanın karmaşık bir bileşimin etkili olduğu görülmektedir. Bu mekanizmaların tarih boyunca yıkılmış barajlar üzerinden incelenmesi hem günümüzün baraj güvenliği çalışmalarına yön göstermesi hem de gelecekte yapılacak çalışmalara altlık oluşturulması bakımlarından önem taşımaktadır. Barajların yıkılma mekanizmaları arasında, üstten su aşması, kayma dayanımı yetersizliği, inşaat aşaması ve artı boşluk suyu basıncı, işletme aşaması, anlık boşalma, düşük kayma dayanımı ve çatlak oluşması/borulanma/içsel yıkanma sayılabilir. Yıkılma nedenleri şu biçimde özetlenebilir:

1) Üstten Su Aşması: Yetersiz dolusavak ve gövde kapasitesi üstten su aşmasının en önemli iki nedenidir (Şekil 1) **2) Kayma Dayanımı Yetersizliği:** Boşluk suyu basıncının yüksek olması veya kayma dayanımı parametrelerinin düşük olması durumunda görülür (Şekil 2) **3) İnşaat Aşaması ve Artı Boşluk Suyu Basıncı:** İnşaat sırasında dolgu belirli bir su içeriğinde yerleştirilir, baraj gövdesi yükseldikçe dolgu sıkılır ve boşluk suyu basınçları oluşur. Kuramsal olarak enbüyük boşluk suyu basıncı dolgu bittiğinde oluşmaktadır. Hem akışaşağısı hem de akışyukarısı şevlerinde inşaat sırasında kritik durumlar görülebilir **4) İşletme Aşaması:** Baraj haznesi doluyken akışaşağısı şevi kritik durumu oluşturur **5) Anlık Boşalma:** Baraj haznesi belirli bir süre dolu tutulduktan sonra boşaltılınca, doymuş durumdaki zemindeki boşluk suyu basıncına karşı koyan su kuvveti ortadan kalkmış olur. Bu durumda akışyukarısı şevi kritik durumdadır **6) Düşük Kayma Dayanımı:** Killerde, kayma dayanımı birim deformasyon eğrisi üstünde etkin gerilme cinsinden enbüyük değere ulaştığında, birçok kil türünde dayanım azalırken birim deformasyon, kalıcı dayanım değerine ulaşıncaya kadar artmaya devam eder **7) Çatlak Oluşması/Borulanma/İçsel Yıkanma:** Günümüzde baraj güvenliği açısından en dikkat edilmesi gereken nokta, olası bir hidrolik çatlama sonucu görülecek sızma ve yıkanmadır.



Şekil 1 Üstten Su Aşma Nedenleri.

Şekil 2 Kayma Nedenleri.

Tarih Boyunca Barajların Elden Çıkma Örnekleri

Tarihteki ilk barajlarından Sedd-el-Kefere Barajı'nın yapıldıktan hemen sonra ortadan ikiye yarıldığı bilinmektedir. Dolayısıyla bu baraj aynı zamanda kayıtlara geçmiş ilk yıkılma örneklerinden biridir. Sedd-el-Kefere Barajı'nın yapımında herhangi bir savak inşa edilmemiş ve Mısır piramitlerinde olduğu gibi bağlayıcı malzeme (çimento, harç, vb.) kullanılmamıştır. Yıkılmanın, gevşek/sıkılanmamış gövde malzemesinin oturması sonucu aşırı yağışta suyun gövde üstünden aşması, akışaşağısı yüzünde aşınım oluşturması, yüzeyde geçirimsiz bir tabaka bulunmaması nedeniyle suyun gövde içinden akarak gövdeyi yarması yoluyla gerçekleştiği sanılmaktadır (Smith, 1972). Dolayısıyla tasarım, yapım tekniği, savak yapımı ve geçirimsizliğin baraj güvenliği bakımından ne denli önemli olduğu insanoğlunun yaptığı daha ilk barajlardan birinde ortaya çıkmıştır. Bunun yanında S.Ö. 750'lerde Araplarca inşa edilerek 500'lerde yıkılmış Merib Barajı, 13. yüzyılda Moğollarca inşa edilerek yaklaşık 700 yıl işletilmiş Sevi Barajı gibi barajların varlığı bilinmektedir.

Kasıtlı baraj yıkılmaları da insan eliyle ortaya çıkarılan en büyük tesisler olan barajların yine insan eliyle yıkılması açısından ilginç örnekler oluşturmaktadır: 2. Dünya Savaşı'nda 1943'te İngiliz Kraliyet Hava Kuvvetleri'nce gerçekleştirilen Chastise Operasyonu'nda Almanya'nın altyapısının ve üretime yönelik enerji tesislerinin etkisiz duruma getirilmesi amacıyla Eder ve Möhne Barajları vurulmuştur. Diğer örnek ise barajların yapım amaçlarından biri olan taşkın denetiminin tersine işletildiği bir uygulamadır. 1975 yılındaki Nina Tayfunu sırasında ÇHC tarafından kendi barajlarından bazıları, üstten su aşması ile karşılaşılmadan önce bombalanarak hazneleri

boşaltılmıştır. Bugün, Nina Tayfunu'nun 2000 yılda bir görülecek bir taşkına neden olduğu ve bu barajlar vurularak boşaltılmasaydı hiçbirinin ayakta kalamayacağı kestirilmektedir.

Bu bölümde, barajların tarihsel gelişimi, baraj güvenliği çalışmalarının tarihsel gelişimi ve barajların yıkılma mekanizmaları ışığında, tarih boyunca yıkılan/elden çıkan barajlardan örnekler verilmiştir. Tarihte yıkılan barajların tamamını bu çalışma kapsamında ele almak olanaklı olmadığından baraj yıkılmalarının ekonomik zarar, tesis yitimi, çevresel zararlar ile karşılaştırıldığında en istenmeyen yitim olan insan ölümlerini vurgulamak amacıyla, dünya tarihindeki başlıca baraj yıkılmaları ölü sayısına göre sıralanmış ve 50'nin üstünde ölüme yol açan baraj yıkılmaları aşağıda sunulmuştur (Çizelge 1) (https://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure).

Çizelge 1 Başlıca Baraj Yıkılmalarından 50'yi Aşkın Ölüm İle Sonuçlananlar.

Sıra	Baraj	Yıl	Ülke	Ölü Sayısı	Yıkılma Nedeni
1	Banqiao/Shimantan	1975	ÇHC	171.000	Katastrofik yağış
2	Machchu 2	1979	Hindistan	5.000	Üstten su aşması
3	Sempor	1967	Endonezya	>2.000	Üstten su aşması
4	South Fork	1889	ABD	2.209	Aşırı yağış
5	Vaiont	1963	İtalya	2.000	Üstten su aşması
6	Tigra	1917	Hindistan	1.000	Temele su sızması
7	Panshet	1961	Hindistan	1.000	Gövde yıkılması
8	Puentes	1802	İspanya	608	Yumuşak zemin
9	St. Francis	1928	ABD	600	Jeolojik duraysızlık
10	Malpesset	1959	Fransa	423	İnşaat aşamasında
11	Gleno	1923	İtalya	356	Hatalı tasarım ve inşaat
12	Val di Stava	1985	İtalya	268	Hatalı tasarım ve inş.
13	Koshi	2008	Nepal	250	Aşırı yağış
14	Dale Dike	1864	İngiltere	244	Hatalı İnşaat
15	Canyon Lake	1972	ABD	238	Taşkın
16	Kantale	1986	Siri Lanka	180	Hatalı İşletme
17	Tangiwai	1953	Yeni Zelanda	151	Krater gölü taşması
18	Bouzey	1884	Cezayir	150	Kayma
19	Vega de Tera	1959	İspanya	144	Gövde yıkılması
20	Mill Nehri	1874	ABD	139	Hatalı tasarım
21	Buffalo Creek	1972	ABD	125	Aşırı yağış
22	Sella Zerbino	1935	İtalya	111	Jeo.duraysızlık/Taşkın
23	Vratsa	1966	Bulgaristan	107	Çamur ve su taşkını
24	Situ Gintung	2009	Endonezya	98	Aşırı yağ./Hatalı işlet.
25	Certej	1971	Romanya	89	Gövde yıkılması
26	Bilberry	1852	İngiltere	81	Aşırı yağış
27	Austin	1911	ABD	78	Hatalı tasarım
28	Sayano/Shushenskaya	2009	Rusya	75	Türbin kopması
29	Eder ve Möhne	1943	Almanya	70	Kasıtlı yıkım
30	Shakidor	2005	Pakistan	70	Aşırı yağış
31	Desna	1916	Av.-Mac.imp.	62	Yapım hatası
32	El-Zeyzun	2000	Suriye	50	Filtre tabakası sıkıntısı

Ayrıca, 50 ila 40 arasında ölümlü 2, 40 ila 30 arasında ölümlü 3, 30 ila 20 arasında ölümlü 3, 20 ila 10 arasında ölümlü 7, 10'dan az ölümlü 11 ve can yitimi olmayan 25 adet yıkılma aynı başlıca baraj yıkılmaları listesinde yer almaktadır (https://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure). Bunun yanında aynı listede çeşitli büyüklükteki yıkılmaların 2010'larda 12, 2000'lerde 19, 1990'larda 7, 1980'lerde 5, 1970'lerde 9, 1960'larda 8, 1950'lerde 3, 1940'larda 2, 1930'larda 1, 1920'lerde 3,

1910'larda 6, 1900'larda 2, 1800'lerde 7 ve öncesi dönemde 1 adet olarak gerçekleşmiştir.

Çeşitli büyüklükteki bu baraj yıkılmalarında görülen ekonomik yitimler ile ölü sayıları doğal olarak anlamlı bir korelasyon göstermemektedir. Örneğin 2.209 kişinin öldüğü South Fork Barajı'nda 17 milyon ABD\$, 125 kişinin öldüğü Buffalo Creek Barajı'nda 400 milyon ABD\$ maddi zarara uğranmışken, 14 kişinin öldüğü Teton Barajı'nda da 400 milyon ABD\$ maddi zarara uğranmıştır.

Tarihteki en büyük baraj felaketindeyse, ÇHC'de 8 Ağustos 1975'te yıllık yağış miktarının sadece 24 saat içinde düşmesi ile Banqiao ve Shimantan Barajları yıkılmış; 62 adet büyüklü küçüklü barajın da yıkılması ile 11 milyon kişinin yaşamı etkilenmiş; taşkın sırasında 26.000, sonraki süreçte açlık ve salgın hastalıklar nedeniyle 145.000 kişi yaşamını yitirmiş (toplam 171.000 ölü); sayısız insan yaralanmış; 5.960.000 bina yıkılmıştır. Çok uç bir örnek olmasına karşın bu olay baraj güvenliğinin önemini ve yıkılmaların nasıl ağır sonuçlar doğurabileceğini açıkça gözler önüne sermektedir. Genel anlamda barajların tarihteki yıkılma/göçme/hasar görme nedenleri aşağıda verilmiştir (Çizelge 2). Buna göre dolusavak kapasitesi ve hava payı yetersizliği ile zemin sorunları (oturma, depremsellik) barajların elden çıkmasında % 85'lik bir orana sahiptir.

Çizelge 2 Barajların Yıkılma Nedenleri ve % leri.

Yıkılma Biçimi	Yıkılma %	Yıkılma Nedeni
Üstten su aşması	34	-Uygun olmayan dolusavak tasarımı; -Dolusavakta sürüntü maddesi birikmesi; -Baraj tepesinin oyulması
Temel sorunları	30	-Farklı oturmalar; -Kayma ve şev duraysızlığı; -Yüksek tabansuyu basıncı; -Denetimsiz sızma
Borulanma ve sızma	20	-Borulanma nedeniyle içten çöküntü; -Dipsavak çıkışı gibi hidrolik yapılar boyunca sızma ve göçme; -Baraj gövdesinde çatlak
Boru ve vanalar	10	-Bağlantı noktaları veya çatlaklardan dolgu malzemesinin girmesi
Diğer	6	-Otlama, hayvan etkileri v.b.

Sonuçlar ve Öneriler

Barajlar, üzerlerinde son dönemlerde yapılan çok çeşitli tartışmalara karşın sürdürülebilir kalkınma için önemli aktörler durumundadır. İnsanlığın ilk dönemlerinden başlayarak barajlar, tarımsal üretimde, içme/kullanma suyu sağlamada ve sonraları enerji üretiminde oynadıkları rol sayesinde uygarlığın gelişmesine önemli katkılar sağlamışlardır. Dünyanın en gelişmiş kesimleri olan ABD ve AB (Avrupa Birliği) ülkeleri su kaynaklarının tümüne yakınına değerlendirmiş; bunun ötesinde baraj güvenliği, yeni işletme yöntemleri, varolan barajların çok-amaçlı olarak yeniden işletilmesi için yapılabilecek eklentiler, barajların elektro-mekanik anlamda iyileştirmesi, vb. çalışmalarda önemli aşamalar kaydetmiştir. Bu nedenlerle, insanlık tarihi boyunca olduğu gibi gelecekte de barajların vazgeçilmez yapılar olacağı ve bunların güvenlik önlemlerinin arttırılması bağlamında çalışmalar yapılması gerekeceği ortadadır.

Tarihteki baraj yıkılmaları incelendiğinde 1950’li yıllara değin üstten su aşması ve borulanma sonucu yıkılmaları şev duraysızlığı kaynaklı yıkılmaların izlediği; 2000’li yıllara gelindiğinde, geçen 50 yıllık sürede inşaat tekniklerindeki gelişme, tasarımda bilgisayar destekli çağcıl yöntemlerin kullanılması, baraj güvenliği kavramının önem kazanması, eski barajların yenilenmesi, zemin mekaniği ve zemin iyileştirme yöntemlerindeki gelişmelere koşut olarak şev duraysızlığı kaynaklı yıkılmaların azaldığı görülmektedir. Ancak üstten su aşması kaynaklı yıkılmalar %34 ile tüm zamanlar için ilk sırada yer almaktadır. Bu bağlamda hava payı ve dolusavak kapasitesinin zaman içindeki değişiminin incelenmesi de özel bir önem taşımaktadır.

Gelişmiş ülkelerde baraj güvenliği çalışmaları yaklaşık 60 yıl önce başlamış ve olumlu sonuçları bile gözlemlenebilir duruma gelmişken, Türkiye’de bu çalışmalar için geç kalındığı söylenebilir. Su kaynaklarının planlanması ve değerlendirilmesi konusunda tek otorite olan DSİ’nin 1954’te kurulmasına karşın baraj güvenliği açısından yönetsel yapılanma ancak 50 yıl sonra 2005’te başlatılabildiği görülmektedir. Yine de baraj yapımına görece yeni tekniklerin yaygınlaştığı 1930’lu yıllarda başlayan ve genel anlamda homojen dolgu baraj yapımına gitmemiş olan Türkiye’nin, şev dayanımı yetersizliği kaynaklı yıkılmalardan etkilenmediği söylenebilir (Yıldız, 2007).

1970’li yıllara gelindiğinde dünyada baraj stokunda yaşanan artış, varolan barajların çoğunun yaşlanmış duruma gelmesi, 1959-1982 döneminde yaşanan baraj yıkılmalarının toplum ve çevre üstünde yarattığı sosyo-ekonomik etkiler, hatta “travma”, barajların ve akışaşağısındaki alanların güvenliğini baraj mühendisliği açısından çok önemli duruma getirmiştir (Dinçergök, 2007).

Barajların tarihte elden çıkma nedenlerinin araştırılması; mekanizmalarının belirlenmesi; geçmişteki baraj yıkılmalarının bilgisayar destekli yöntemler kullanılarak modellenmesi, baraj yıkılmaları üstüne kestirimler yapılması ve şimdiye değin var olmayan verilerin türetilmesi/değerlendirilmesi hem varolan barajların güvenlik bakımından iyileştirilmesi, hem de yeni baraj tasarımlarına gidilebilmesi açılarından önem taşımaktadır.

Kaynaklar

Dinçergök, T. (2007) Dünya’da ve Türkiye’de Baraj Emniyeti Kavramının Gelişimi. 1. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 557-570.

DVWK (1987) Historische Talsperren. (bearbeitet: Günther Garbrecht, Technische Universität Braunschweig). Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 464 s.

DVWK (1991) Historische Talsperren 2. (bearbeitet: Günther Garbrecht, Technische Universität Braunschweig). Verlag Konrad Wittwer, Stuttgart, 457 s.

Öziş, Ü. (2008) Su Yapılarının Tarihi Gelişmesi. Tarihi Su Yapıları Konferansı, Bildiriler Kitabı, İzmir, s. 1-19.

Smith, N. (1972) A History of Dams. Peter Davies, London.

Yıldız, G. (2007) Tarihte Baraj Yıkılmaları ve Yıkılmalardan Öğrenilenler. 1. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, Ankara, s. 701-717.