

Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri

Zafer BOZKUŞ*

ÖZ

Kestel barajının nümerik yıkılma analizleri değişik senaryolar altında gerçekleştirildi. Kullanılan nümerik modelin adı DAMBRK olup, ABD’de Milli Hava Servisinde Fread, D.L. tarafından geliştirilmiştir. Simulasyonlarda, maksimum olası taşkın hidrografının baraj gölüne girerek, yetersiz dolusavak kapasitesi yüzünden suyun baraj kret kotunu aşmasına neden olduktan kısa bir süre sonra baraj gövdesinde gediklenme başladığı varsayıldı. Barajın mansabında önceden seçilmiş altı enkesitte, pik taşkın debileri, pik taşkın kotları ve bunların oluşum zamanları belirlendi. En olumsuz etkilenen bölgeler olarak baraja en yakın olanlar bulundu.

ABSTRACT

Dam Break Analyses for Disaster Management

Numerical failure simulations of Kestel dam were performed under different scenarios. The numerical model employed was developed by Fread, D.L., and called DAMBRK. In the simulations, it was assumed that a breaching started within the dam body soon after the maximum possible flood hydrograph entered the dam reservoir and caused the water to spill over the dam crest due to insufficient capacity of the spillway. Peak flood discharges, peak flood elevations and flood arrival times at preselected six cross-sections downstream of the dam were determined. Regions affected most adversely were found to be those closest to the dam site.

1. GİRİŞ

Bu çalışma Türkiye’nin afet yönetim sisteminin iyileştirilmesini amaçlayan ve United Nations Development Programme (UNDP) destekli genel çalışmaya Türkiye’den katılan çeşitli kamu kuruluşları arasında bulunan Devlet Su İşleri (DSİ) için yapılmıştır, [1] ve çalışmaya ait özet sonuçlar [2]’de sunulmuştur. Anılan genel çalışmanın hedefine ulaşma doğrultusunda DSİ bünyesinde de bazı çalışmalar yapılmasına gereksinim duyulmuştur. DSİ için öngörülen çalışma aşağıdaki adımları içermektedir.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu’na 20.01.2003 günü ulaşmıştır.
- 31 Aralık 2004 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Orta Doğu Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara - bozkus@metu.edu.tr

Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri

- Çalışmaların üzerinde yürütüleceği kritik bir su havzasının tespit edilmesi.
- Bu su havzasında yer alan baraj(lar)ın belirlenmesi.
- Söz konusu su havzasına ait hidrolojik, hidrometeorolojik, hidrometrik verilerin bir araya getirilmesi ve havza üzerinde yer alan baraj(lar)a ait hidrolik mühendisliği açısından gerekli verilerin toplanması.
- Havzaya ait değişik tekerrür aralıklarına sahip taşkın debilerinin belirlenmesi.
- Pik debiler için yapılacak hidrolik analizlerle taşkın alanlarına ait sınırların belirlenmesi ve baraj(lar)ın taşkın kontrolü açısından kapasitelerinin saptanması.
- Farklı baraj yıkılma senaryoları altında hidrolik analizler yaparak mansapta önceden belirlenen yerlerdeki pik taşkın debilerinin, pik su yüzü kotlarının ve pik taşkın dalgasının bu yerlere ulaşma zamanlarının tahmin edilmesi.
- Söz konusu senaryolar durumunda taşkın altında kalma olasılığı en yüksek bölgelerin belirlenmesi.
- Taşkın altında kalacağı tahmin edilen alanların haritalarının çıkarılması.
- Tehlikenin boyutlarını ve çalışma bölgesinde yaşayan nüfusu göz önüne alarak, en çok tehlikeye maruz kalabilecek yerleşim alanlarının listesinin yapılması.
- Tehlike tehdidi altındakilerin buldukları alanların boşaltılmasını, uyarı sistemlerini ve güvenli yerlere kaydırılacak insanların gereksinimlerini ve diğer önlemleri de kapsayan hazırlık planlarının yapılmasına yönelik tavsiyelerin öngörülmesi.
- Önemli mühendislik yapıları ve endüstri için daha güvenli bölgeler seçilmesine yardımcı olacak kriterlerin belirlenmesi.
- Uzun süreli elektrik kesintileri durumunda enerji gereksinimini giderecek alternatif tedbirlerin araştırılması ve tanımlanması. Bu tedbirlerin elektrik arzının sıraya bağlanmasını ve önemli kamu kuruluşlarına acil durumlar için gerekli dizel jeneratörlerin sağlanmasını da kapsamı öngörülmektedir.

DSİ, bu çalışmanın konusu olan pilot bölge olarak İzmir il sınırları içinde bulunan Bergama havzasını seçmiştir. Bu havzada sulama amaçlı olarak planlanan ve 1988 yılında bitirilerek işletmeye alınmış olan Kestel barajı bulunmaktadır. Kestel barajı yine aynı isime sahip Kestel çayı üzerinde yer almaktadır.

2. BARAJ YIKILMA MEKANİZMALARI

2.1 Genel Bilgi

Barajlar inşaa edildikleri yerlerde yaşayan insanların yaşam kalitelerini arttıran önemli mühendislik yapılarıdır. Barajlar sayesinde sulu tarım yapılabilir, tarım alanlarının sel baskınları altında kalması önlenir, nehirlerde su akışı düzenlenir, enerji üretilir, içme ve kullanma suyu elde edilir, insanların piknik ve su sporları yapabileceği alanlar ortaya çıkar. Barajların ülke kalkınmasındaki önemli rolleri Altınbilek tarafından [3]'te detaylı olarak verilmektedir. Diğer taraftan, topluma böylesine önemli işlevler sunan bir barajın yıkılması durumu aynı topluma büyük felaketler yaşatabilir. Önündeki rezervuarda büyük hacimde su tutan bir barajın gövdesinde oluşan bir yarıma giderek artarak büyük bir taşkın dalgası oluşturabilir. Oluşan bu taşkın dalgası barajın arkasındaki (mansabındaki) nehir veya dere yatağı üzerinde çok hızlı bir şekilde yol almaya başlar ve önüne gelen herşeyi süpürüp yok edebilir. Genellikle, baraj yıkılmaları sonucunda oluşan bu tür taşkınlar gerek büyüklük gerekse oluşma zamanı açısından şiddetli yağışların oluşturduğu taşkınlardan daha ciddi taşkınlardır. Baraj yıkılmaları sonucunda oluşan taşkın durumlarında mansaptaki yerleşim birimlerinde yaşayan insanları uyarmak için gerekli zaman çok daha kısadır.

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu'nun (International Commission on Large Dams, ICOLD) 1973 yılında sunduğu bir rapora göre tüm baraj yıkılmalarının %38'i dolusavak kapasitesi yetersiz olduğu için suyun baraj üzerinden aşması nedeni ile yada dolusavağın şiddetli yağışlardan gelen aşırı su karşısında yıkılması yüzünden oluşmaktadır. Yıkılan barajların %33'ü ise baraj gövdesinde oluşan borulanma yada sızma tarafından yıkılmaktadır. Diğer taraftan %23'lük gibi bir kısmın yıkılma nedeni olarak temel problemleri, şev kaymaları, heyelanlar, deprem kaynaklı zemin sivilaşması yada rezervuarlarda toprak kaymaları sonucu oluşan büyük dalgalar gösterilmektedir.

Amerika Birleşik Devletlerinde 1970'li yıllarda oluşan Buffalo Creek Coal-Waste Barajı, Teton Barajı, Toccoa Barajı ve Laurel Run Barajı yıkılmaları bu ülkede dikkatlerin baraj yıkılma konusuna yönelmesine neden olmuştur. Bu konuda 70'li yıllarda başlayan ve günümüze dek süren ciddi çalışmalar yapılmış ve halen devam etmektedir. 1975 yılında Amerika'da hazırlanan ve 50 000 kadar küçük ve büyük barajın² incelendiği bir baraj envanter çalışmasına göre bu ülkede 20 000 kadar baraj, buldukları konum itibariyle yıkılma halinde mal ve can kaybına yol açacak durumdadırlar.[4]. Ülkemizde de benzer bir çalışmanın yapılmasının gerekliliği açıktır. Ancak böylesine bir envanter çalışması sonucunda hassas bölgeler daha kesin olarak ortaya çıkacaktır. 31.12.2000 itibariyle DSİ Türkiyede işletmede olan baraj ve hidroelektrik santrallerin (HES) sayısını 241 olarak vermektedir, [5]. Yine aynı kaynağa göre halen 112 adet baraj ve HES'in inşaaı sürmektedir. Mevcut hidroelektrik potansiyelimizi kullanabilmek için planlama aşamasında olan en az 350 HES daha bulunmaktadır. Bu konuyu tamamlayıcı bilgi olarak, bir başka kaynaktan [6], Altınbilek, Türkiye'deki hidroelektrik potansiyelin tamamı kullanılabilir hale geldiğinde bunun 526 HES'in tamamının işletmeye alındığı anlamına geleceğini belirtmektedir. Bu mevcut veya inşaaı planlanan baraj ve/veya HES'lerin çoğunluğu büyük hacimli rezervuarlara sahip olup, mansaplarında yaşayan insanların can ve mal güvenlikleri için potansiyel bir tehdit oluşturmaktadırlar. Konu oldukça önemli olduğundan

² Söz konusu barajlar yüksekliği ya 7.62 m yada depolama hacmi 61 700 m³'ten büyük olan baraj ve göletleri kapsamaktadır.

Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri

DSİ camiasının dikkatini çekme amaçlı çeşitli yazılar son zamanlarda çeşitli yayınlarda belirmeye başlamıştır, [7, 8, 9, 10, 11].

2.2 Baraj Yıkılmaları

Gerek toprak veya kaya dolgu gerekse betonarme ağırlık tipi barajların yıkılma mekanikleri tam anlaşılabilmiş değildir. Önceleri yapılan baraj yıkılma çalışmalarında barajın aniden ve tamamen yıkıldığı varsayımından yola çıkılırdı. Halbuki dünyada bu konu ile ilgili son yapılan çalışmalarda tamamen yıkılmalardan çok kısmi yıkılmaların göz önüne alınması gerçeği kabul edilmiştir.

Sözü edilen eski çalışmalarda, yani barajın aniden ve tamamen yıkıldığını varsayan çalışmalarda bu varsayımların kullanılma nedenleri matematiksel olarak bu yaklaşımın basit olmasından kaynaklanmaktaydı ve genelde betonarme kemer barajlar için doğru bir yaklaşımdı. Fakat bu varsayımlar sayıca çok daha fazla inşaa edilen toprak veya kaya dolgu yada betonarme ağırlık tipi barajlar için pek uygun değildi. Çünkü bu tür barajlarda baraj gövdesindeki gedik belirli bir zaman süresince ve belirli bir büyüklüğe kadar gelişme göstermektedir. Genellikle bu tür barajlar ne çok ani nede tamamen yıkılmaktadırlar.

2.2.1 Betonarme Ağırlık Tipi (Concrete Gravity) Barajlar

Betonarme ağırlık tipi barajlar kısmi yıkılma eğilimi gösterirler. Bu tür barajların gövdesini oluşturan parçalar inşaat sırasında ayrı ayrı kalıbı ve donatısı hazırlanıp, betonu döküldüğü için yıkılmaları da bu şekilde ayrı ayrı dökülmüş parçaların suyun zorlamasıyla yerinden sökülüp kopması ile gerçekleşir. Gedik oluşma zamanı dakikalar mertebesindeir. Betonarme kemer barajlar ise tamamen yıkılma eğiliminde olup bir kaç dakikada yıkılırlar.

2.2.2 Toprak ve Kaya Dolgu Barajlar

Sayıları diğer baraj tiplerinden çok daha fazla olan toprak ve kaya dolgu barajlar ani olarak veya tamamen yıkılma eğilimi göstermezler. Baraj gövdesinde oluşan nihai gedik genişliği barajın toplam genişliğinden çok daha kısadır. Ayrıca gedik oluşması çok ani olmayıp değişik parametrelere bağlı olarak belirli bir süre gerektirmektedir. Bu parametreler arasında baraj yüksekliği, baraj yapımında kullanılan malzemenin cinsi, malzemenin D50 boyutu , birim ağırlığı, sürtünme açısı, kohezyonu, malzemenin sıkıştırılma miktarı vardır. Bu tür barajların yıkılması saatlerce sürebilir.

3. PİLOT ÇALIŞMA: KESTEL BARAJI

3.1 Genel Bilgi

Kestel Barajı Kestel Çayı üzerinde sulama amaçlı olarak inşaa edilmiş bir baraj olup, 4077 hektar araziye sulamaktadır. Barajla ilgili teknik bilgiler aşağıda verilmiştir.

Baraj ve gölü

Tipi : Zonlu dolgu
Gövde hacmi : 838 000 m³

Kret kotu : 129,00 m
Kret uzunluğu : 220,00 m
Temelden yükseklik : 65,00 m
Talvegden yükseklik: 62,50 m
Maksimum su kotu : 127,02 m
Normal su kotunda göl hacmi : 37,4 hm³
Normal su kotunda göl alanı : 2,40 km²
Drenaj alanı : 135,1 km²
Sulama alanı: 4077 ha.

Dolusavak

Tipi: Yandan alıŖlı, kapaksız.
Kret kotu: 125,00 m
Kret uzunluğu: 50,00 m
Proje taşkın piki: 320 m³/s

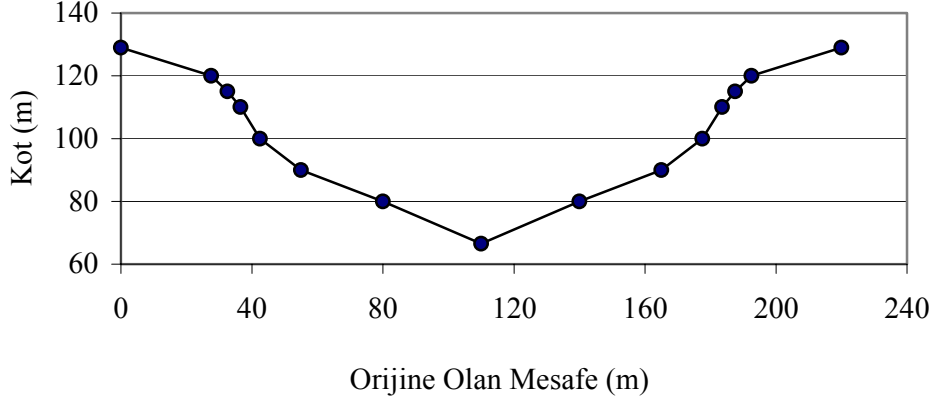
3.2 Kestel Deresi Enkesitleri

Kestel barajı yıkılma analizlerinde taşkın dalgasının mansaptaki davranışını tahmin etmeye yönelik hesapların yapılabilmesi için dere yatağı ile ilgili bilgilere de gereksinim duyulmuştur. Bu bilgilerden en önemlileri dere yatağında bazı yerlerdeki enkesit geometrileri, Manning pürüzlülük katsayısı gibi bilgilerdir. Baraj yeri dahil olmak üzere hesaplarda toplam sekiz enkesit kullanılmıştır. Şekil 1 baraj yerindeki enkesiti göstermektedir. Enkesitlerin baraj aksına olan uzaklıkları sırasıyla 1000 m, 1750 m, 9250 m, 13750 m, 20250 m, 25000 m, 31250 m dir. Manning pürüzlülük katsayısı ana nehir yatağı ve taşkın yatakları üzerinde sırası ile 0,034 ve 0,045 arasında değişmektedir. Tablo 1 enkesitlerin, bölgedeki yerleşim birimleri açısından konumları hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca bazı yerleşim birimlerinin 1990 sayımına göre belirlenmiş nüfusları da tabloda gösterilmiştir, [12].

4. KESTEL BARAJI YIKILMA ANALİZLERİ

4.1 Genel Bilgi

Kestel Barajı yıkılma analizlerine detaylı bir şekilde geçmeden önce bu analizlerin hızlı ve oldukça güvenilir şekilde yapılmasına olanak tanıyan matematiksel modelden bahsetmek yerinde olacaktır. İzleyen bölümlerde; kısaca, bir baraj yıkılma analizinde matematiksel modellerin işlevlerinin ne olduğu özetlenecek ve bu çalışmada kullanılan matematiksel modelin kısa bir tanıtımı yapılacaktır.



Şekil 1. Kestel Barajı Enkesit 1 (Baraj Yeri)

Tablo 1. Enkesitlerin Bölgedeki Yerleşim Birimleri Açısından Konumları

	Enkesit'in Kilometresi	Enkesit'in Bölgede En Yakın Olduğu Yerleşim Birimi	Birimin Nüfusu (90 sayımı)
Enkesit 1	0,00	Bergama merkez	42.554
Enkesit 2	1,00	GaziOsman Paşa	
Enkesit 3	1,75	GaziOsman Paşa	
Enkesit 4	9,25	Kadriye + Sindel	758
Enkesit 5	13,75	Tepeköy	846
Enkesit 6	20,25	Süleymanlı+Çamköy+Bozköy	1.383
Enkesit 7	25,00	Kurfalı	
Enkesit 8	31,25	Zeytindağ Bucağı Merkez	4.202

4.2 Matematiksel Modellerin İşlevleri

Yıkıldığı varsayılan bir barajın arkasındaki su kütlesi nedeni ile oluşan taşkın dalgasının karakteristiklerini tahmin etmeye çalışan her matematiksel modelin iki ana işlevi vardır. 1) Baraj yıkılmasını başlatan olayın benzeşimini yapmak, (örneğin barajın yıkılmasının nedeni gövdede oluşan bir gedikse bu gediğin oluşumunun matematiksel benzeşimi), yıkılma esnasındaki rezervuar çıkış hidrografını hesaplamak; 2) Taşkın dalgası mansap nehir yatağında yol alırken, çeşitli kesitlerden geçen debilerin yada hızların büyüklüklerini, ne zaman ve hangi kotta geçtiklerini belirlemek. Bu çalışmada kullanılan matematiksel modelin adı DAMBRK olup, aşağıda bu modelin kısaca temel mantığı verilmiştir.

4.3 Çalışmada Kullanılan Matematiksel Model: DAMBRK

DAMBRK bilgisayar programı, ABD’de National Weather Service (NWS) adlı bir kamu kuruluşunda çalışan Dr. D. L. Fread tarafından ilk olarak 1977’de geliştirilmiştir, [13]. Orijinal model daha sonra çeşitli kez revize edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan versiyon 1991 yılında revize edilendir. DAMBRK bir baraj yıkılmasının benzeşimini ve bu yıkılma sırasında oluşan rezervuar çıkış hidrografının hesaplanmasını ve taşkın dalgasının mansaptaki davranışının benzeşimini matematiksel olarak yapmaktadır. Önce rezervuara giren suyun hidrografi ya hidrolojik depolama ötelemesi (hydrologic storage routing) yada dinamik öteleme (dynamic routing) metodu kullanılarak rezervuar boyunca ötelenir. Programın kullanıcıları bu seçeneklerden birine karar verebilir. İki türlü gediklenme (breaching) benzeşimi yapılabilir. Zamana bağlı olarak baraj kretinden temele doğru büyüyen, dikdörtgen, üçgen yada trapez kesitli gediklenmeden kaynaklanan baraj yıkılmaları analizi yapılabilir. Herhangi bir anda gedikten geçen suyun debisi kalın kretli savak denklemi (broad-crested weir equation) kullanılarak hesaplanabilir. Borulanma (piping), yani baraj gövdesinde boru şeklinde yarı oluşması benzeşimi zamanla büyüdüğü varsayılan dikdörtgen kesitli bir orifis kullanılarak yapılabilir. Böyle oluşan bir gedikten herhangi bir anda geçen debinin hesabı, rezervuardaki su kotu ile orifis üst kotu arasındaki ilişkiye bağlı olarak, orifis yada yada savak formülleri kullanılarak yapılabilir. Her iki formülde de kuyruksuyu batıklığı (tailwater submergence) etkisini göz önüne almak mümkündür. Gediklenmenin başladığı andaki rezervuar su kotunun, gediklenmenin oluşumu için gerekli zamanın ve gediğin geometrik özelliklerinin program kullanıcıları tarafından belirlendikten sonra, programa veri olarak girilmesi gerekmektedir. Rezervuar çıkış hidrografının mansap nehir yatağı boyunca ötelenmesinde St. Venant denklemleri kullanılmaktadır. Tek boyutlu, zamana bağlı, St. Venant denklemlerini aşağıda verilen Süreklilik ve Momentum denklemleri oluştururlar.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} + q = 0 \quad (\text{Süreklilik Denklemi}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial V}{\partial x} + g \frac{\partial h}{\partial x} + g S_f + \frac{Vq}{A} = 0 \quad (\text{Momentum Denklemi}) \quad (2)$$

Bu denklemlerde Q = debi, A= nehir yatağı enkesit alanı, q= birim nehir uzunluğunca nehiri terkeden su miktarı (nehire giren su durumunda işareti negatiftir), V=ortalama hız, h=bir referans düzleminden ölçülen su yüzeyi kotu, S_f= sürtünme eğimi, g= yer çekimi ivmesi, t=zaman ve x= akım yönündeki mesafedir.

DAMBRK’te St. Venant denklemleri, dört noktalı implicit-nonlinear sonlu elemanlar yöntemi ile çözülmektedir. Değişken zaman ve mesafe adımları kullanılır. Bu yöntemde ortaya çıkan sistem denklemleri Newton-Raphson metodu kullanılarak çözümlenir. Taşkın dalgasının mansap nehir yatağı boyunca hareketi dinamik öteleme metodu kullanılarak sağlanır. Mansap nehir yatağı enkesit verileri için aktif ve aktif olmayan akım alanları girilebilir. Aktif olmayan kesit alanından kast edilen, herhangi bir kesitte suyun biriktiği yada akım yönünde önemli mertebede sayılabilecek bir hız bileşeninin olmadığı kesit parçalarıdır. Bu tür kesit alanı parçaları sadece süreklilik denkleminde (continuity equation) kullanılmakta olup, momentum denkleminde göz önüne alınmamaktadır.

Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri

Bir nehir sadece ana yataktan oluşmuş gibi varsayılabilir yada taşkın yatakları (flood plains) ile beraber göz önüne alınabilir. DAMBRK programında bir baraj yıkılması nedeni ile oluşan taşkın dalgasının mansapta nehir yatağı boyunca olan hareketi, aynı nehir yatağı üzerinde yıkıldığı yada yıkılmadığı varsayılabilen bir veya birkaç barajın varlığı durumunda da hesaplanabilir. Fakat birden fazla baraj durumu söz konusu ise bu barajların seri halde olması yani aynı nehir kolunda olmaları zorunluluğu vardır. Mansapta nehir üzerindeki köprüler de sanki bir barajmış gibi hesaba dahil edilebilirler.

DAMBRK modelinde bir nehirin tümü için sel rejimi (supercritical) veya nehir rejimi (subcritical) kabulü yapılabileceği gibi her iki rejimin beraber olduğu durumlar da göz önüne alınabilir.

4.4 Olası Baraj Yıkılma Nedenleri

Önünde büyük hacimde su tutan bir barajın varlığı çevresine potansiyel bir tehdit yaratır. Baraj yıkılmaları çok sık olmamakla beraber, barajlar aşağıda verilen nedenler yüzünden yıkılma tehlikesiyle karşı karşıya kalabilirler.

- Depremler
- Rezervuarın içine doğru, barajın üzerinden suyun aşmasına neden olan bir dalga hareketi oluşturabilecek heyelanlar
- Zamanla baraj gövdesinin zemin üzerindeki kısmi oturmaları nedeniyle gövdede oluşan ve gözden kaçan sızıntı hareketleri
- Çok şiddetli yağışlar nedeniyle rezervuara gelen suyun baraj kret kotunu aşarak üzerinden aşması ve diğer nedenler.

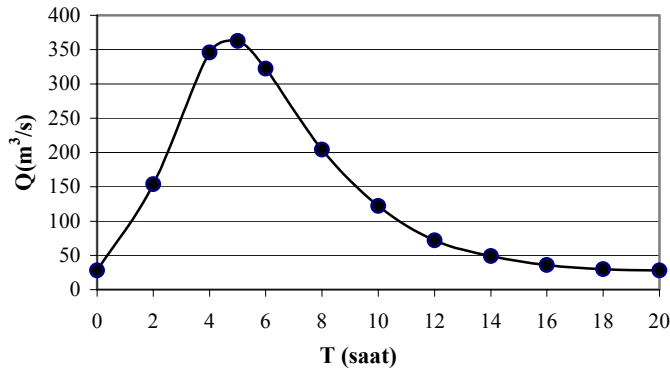
4.5 Gedik Parametrelerinin Tanımları ve Önemi

Toprak veya kaya dolgu zonlu barajlarda gedik şekli genellikle trapez kesitli kabul edilir. Gedik geometrisi, gedik yüksekliği, ortalama gedik genişliği ve yan kenar eğimleri ile tanımlanır. Daha sonra geniş kretli dolusavak özellikleri kullanılarak gedikten geçen debi hesaplanır. DAMBRK programında kullanıldığı şekliyle yıkılma zamanı (the time of failure) şöyle tanımlanmıştır. Baraj yıkılma zamanı, barajın menba yüzünde gediklenmenin başladığı an ile gedik oluşumunun bittiği an arasında geçen süredir. Barajın kreti üzerinden su aşması durumunda oluşan yıkılmalar söz konusu olduğunda, yıkılma süresi başlangıcı olarak barajın mansap yüzündeki dolgunun akıp gitmesi ve gövde üzerinde oluşan yarılmaların kret genişliği boyunca ilerleyerek barajın menba yüzüne ulaştığı an kabul edilir. Ayrıca insanları uyarma ve bölgeyi boşaltma amaçlı olarak gedik başlama zamanı (breach initiation time) 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 (breach formation) başladığında biter. Gedik başlama zamanının tahmini konusunda bize rehber olacak fazla bilgi yoktur. Bu nedenle gedik başlama zamanı DAMBRK analizlerinde kullanılmamaktadır. Fakat bilinmelidir ki, gedik başlama zamanı bir baraj üzerinden sadece küçük miktarda su aştığında önemli bir süreyi bulabilir, hatta gedik başlama zamanı çok kısa bile olsa, yıkılma durumunda kaybedilecek insan yaşamı sayısı üzerinde önemli bir etkisi olabilir.

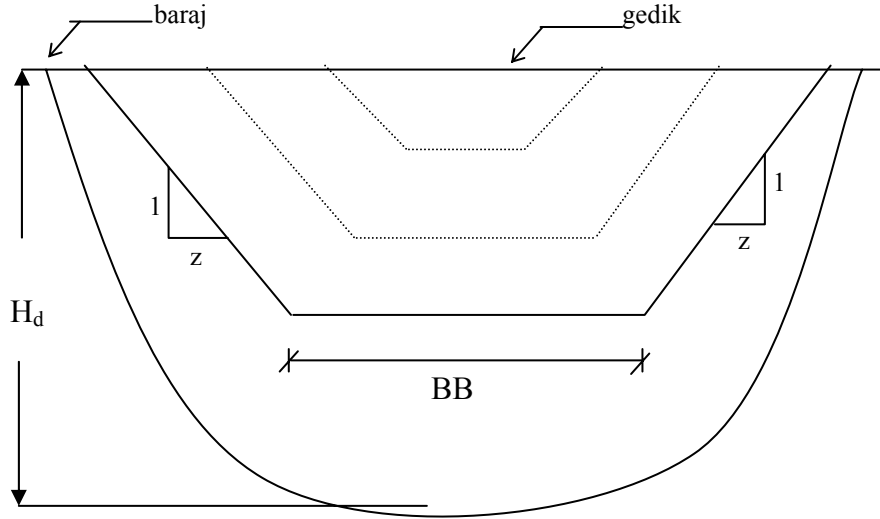
Wahl, [14], baraj yıkılmaları için değişik tehlike sınıflandırmaları yapılırken, acil tehlike planları hazırlarken veya erken uyarı sistemleri tasarılırken “ uyarı zamanının (warning time) çok iyi tahmin edilmesi büyük önem taşır” demektedir. Wahl’a göre, uyarı zamanı gedik başlama zamanı, gedik oluşma süresi ve taşkın dalgasının bir yerleşim birimine ulaşması için gerekli sürenin toplamına eşit olarak tanımlanabilir. ABD’de baraj güvenliğinden sorumlu kamu kuruluşlarından olan Bureau of Reclamation’un geçmiş baraj yıkılmalarından elde edilmiş mevcut veriler ışığında yaptığı çalışmalara göre 90 dakikadan fazla bir uyarı zamanı için tehlike altındaki yerleşim birimindeki nüfusun sadece % 0,02 ‘si risk altındayken, 15 dakikadan az uyarı zamanının olduğu yerlerde söz konusu nüfusun %50’si risk altına girmektedir, [15].

4.6 Kestel Barajı Yıkılma Senaryoları

Kestel Barajı’nın baraj rezervuarına gelen (kadastrofal) taşkın hidrografi etkisi altında yıkıldığı varsayılmıştır. Bu hidrograf Şekil 2’de gösterilmektedir. Hidrografın maksimum değeri olan 362,70 m³/s DSİ’nin hazırlamış olduğu Kestel barajı projesinde proje taşkın piki olarak alınmıştır. Gelen taşkın baraj kreti üzerinden aşması nedeniyle barajın kretinden baraj topuğuna doğru oluşan erozyonun yarattığı gediklenmenin yıkılma olayını başlattığı kabul edilmiştir. Zonlu dolgu barajlarda oluşan gediğin boyutları hakkında geçmiş baraj yıkılmaları tecrübesinden faydalanılarak bir aralık vermek mümkündür. Şekil 3’te tanımlandığı üzere, eğer baraj yüksekliği H_d ve nihai gedik taban genişliği BB olarak gösterilirse $H_d \leq BB \leq 3H_d$ yazmak mümkündür. Kestel Barajı için $H_d = 62,50$ m olup, $BB_{min} = 62,50$ m ve $BB_{max} \sim 190$ m alınabilir. Yapılan baraj yıkılma analizlerinde BB için 125 m ve 190 m’lik iki değer kullanılmıştır. Geçmiş deneyimlerden de faydalanılarak, toprak veya kaya dolgu zonlu barajlarda yıkılma süresi, ki DAMBRK programında TFH olarak kullanılmaktadır, 0,5 saat ile 3 saat arasında verilmektedir. Bu nedenle bu aralıklar arasında kalacak şekilde değişik yıkılma zamanları (TFH = 0,5, 1, 2, ve 3 saat) kullanarak ve yan kenar eğimi 1Y:1D (yani 45°) olarak alınan trapez kesitli bir gediklenmenin olduğu varsayılarak Kestel Barajı’nın yıkılma analizleri yapılmıştır.



Şekil 2. Rezervuara Giriş Hidrografi



Şekil 3. Gedik parametrelerinin geometrik tanımı

5. KESTEL BARAJI YIKILMA ANALİZLERİ SONUÇLARI

Bölüm 4.6'da açıklanan senaryolar altında Kestel Barajı'nın yıkılma analizleri yapılmış olup, sonuçlar Tablo 2 ve 3 de sunulmuştur. $BB=125$ m olması durumunda $TFH=0,5$ yerine $0,75$ saat kullanılmasının nedeni $TFH=0,5$ saat alındığında nümerik bir sonuca yaklaşım mümkün olamadığındandır, (nonconvergence problem). Tablo 2 değişik yıkılma parametreleri (BB , TFH) için baraj yerinde ve mansapta toplam 6 enkesitte oluşan maksimum debileri ve su yüksekliklerini göstermektedir. Tablo 3 ise bu maksimum debi ve taşkın su seviyelerinin yine aynı kesitlerde olduğu zamanları saat cinsinden göstermektedir. Analizlerde 2. ve 3. enkesitler baraj yerine çok yakın olduğu için (sırasıyla $1,00$ ve $1,75$ km) kullanılmamışlardır.

Her iki tabloda da açıkça görüldüğü üzere en kötü senaryo nihai gedik genişliğinin en büyük ($BB = 190$ m) ve yıkılma süresinin en kısa ($TFH= 0,5$ saat) olduğu durumdur. Bu doğal olarak beklenen bir durumdur. Gedik genişliği ne kadar büyük ve yıkılma süresi ne kadar kısa ise o kadar kötü taşkın koşulları ortaya çıkmaktadır. Tablo 2 ve 3 beraber incelendiğinde görüldüğü üzere maksimum debi 61069 m^3/s olarak $36,15$ m su yüksekliğinde oluşmakta ve bu oluşum için gerekli süre $0,39$ saattir. Aynı şekilde diğer enkesitlere bakıldığında taşkın dalgası pikinin giderek sönmüldüğünü ve son enkesit olan 8. enkesitte minimum değerine ulaştığı gözlenmektedir. Diğer taraftan, en az pik debi ve su yüksekliklerini veren senaryonun ($BB=125$ m, $TFH = 3$ saat) parametrelerine sahip olan senaryo olduğu görülmektedir. Bu senaryo, gedik genişliğinin daha kısa ve yıkılma süresinin en uzun olduğu duruma karşı gelmektedir ve doğal olarak en az zararlı taşkını oluşturmaktadır.

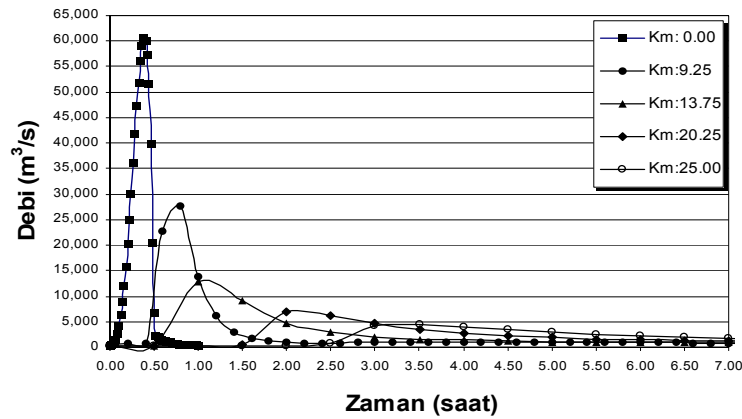
Tablo 2. Maksimum Debi (m^3/s) ve Su Derinlikleri (m)

		Enkesit No					
		1	4	5	6	7	8
		KM: 0,00	9.25	13.75	20.25	25.00	31.25
BB=190 m TFH=3 saat	Q _{maks}	12,907	10,620	7,272	4,890	3,529	2,408
	H _{maks}	20.70	6.37	4.42	1.89	1.12	0.43
BB=190 m TFH=2 saat	Q _{maks}	18,646	14,479	9,024	5,505	3,827	2,527
	H _{maks}	23.68	6.97	4.71	1.99	1.16	0.44
BB=190 m TFH=1 saat	Q _{maks}	34,843	22,913	11,913	6,300	4,189	2,694
	H _{maks}	29.41	7.90	5.11	2.11	1.21	0.46
BB=190 m TFH=0,5 saat	Q _{maks}	61,069	32,084	14,507	6,961	4,540	2,859
	H _{maks}	36.15	8.61	5.39	2.21	1.26	0.47
BB=125 m TFH=3 saat	Q _{maks}	12,162	10,271	7,201	4,882	3,532	2,404
	H _{maks}	20.25	6.33	4.41	1.89	1.12	0.43
BB=125 m TFH=2 saat	Q _{maks}	17,514	14,092	9,042	5,605	3,904	2,576
	H _{maks}	23.17	6.94	4.74	2.01	1.18	0.44
BB=125 m TFH=1 saat	Q _{maks}	32,672	22,227	11,907	6,314	4,205	2,702
	H _{maks}	28.73	7.85	5.11	2.11	1.21	0.46
BB=125 m TFH=0,75 saat	Q _{maks}	41,121	27,331	13,420	6,782	4,492	2,852
	H _{maks}	31.26	8.29	5.28	2.19	1.25	0.47

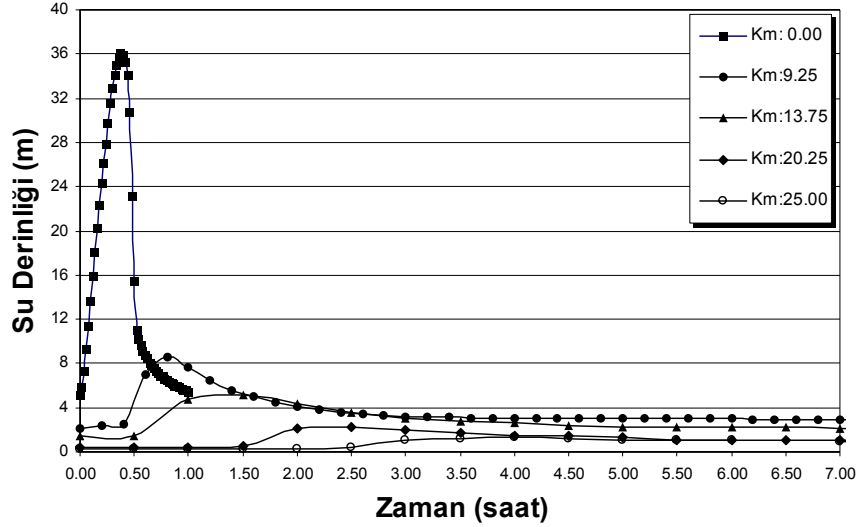
Petrascheck ve Sydler'in 1984'te yaptıkları çalışmanın [16] konusu; pik debinin, taşkın seviyelerinin ve taşkın gelme zamanlarının, gediklenme parametreleri (gedik genişliği ve gedik oluşum zamanı) üzerinde yapılan değişikliklere karşı olan duyarlılığını ölçmektir. Bu çalışma sonucunda görülmüş ki, her iki parametrenin barajın hemen yakınındaki yerlerde büyük etkileri olmaktadır. Diğer taraftan mansapta barajdan oldukça uzak yerler için gedik oluşma zamanında yapılan değişikliklerin taşkın dalgası pikinin oluşum süresini çok etkilediği, fakat yine aynı yerlerde, her iki gedik parametresinin, pik debi ve taşkın kotlarını pek etkilemediği gözlemlenmiştir. Bu gözlemler çok açık bir şekilde Kestel Barajı yıkılma analizlerinde de doğrulanmaktadır. Tablo 2 ve 3'te 1, 4 ve 5 gibi baraj yerini ve baraja en yakın yerleri temsil eden enkesitlerdeki gerek pik debilerin gerekse pik taşkın su seviyelerinin seçilen gedik parametrelerine çok duyarlı olduğu görülmektedir. Diğer taraftan barajdan nispeten uzak sayılabilecek 6, 7 ve 8 nolu enkesitlerdeki pik debi ve pik taşkın su seviyelerinin söz konusu gedik parametrelerine pek fazla duyarlı olmadıkları gözlemlenmektedir. Diğer taraftan Şekil 4 ve 5, sırası ile kilometreleri verilen bazı enkesitlerde (Enkesit no: 1, 4, 5, 6 ve 7), BB=190 m ve TFH=0.5 saat için hesaplanmış debi-zaman ve su derinliği-zaman ilişkilerini göstermektedir. Tablo 2 ve 3'teki pik değerler bu grafiklerden alınmıştır.

Tablo 3. Maksimum Debi ve Su Derinliklerinin Oluşum Zamanları

		Enkesit No					
		1	4	5	6	7	8
		KM: 0,00	9.25	13.75	20.25	25.00	31.25
BB=190 m	$t_{Q_{maks}}$	1.380	1.830	2.430	3.480	4.830	7.689
TFH=3 saat	$t_{H_{maks}}$	1.380	1.980	2.580	3.630	5.280	7.689
BB=190 m	$t_{Q_{maks}}$	1.040	1.440	1.940	2.940	4.240	7.240
TFH=2 saat	$t_{H_{maks}}$	1.040	1.540	2.040	3.140	4.740	7.240
BB=190 m	$t_{Q_{maks}}$	0.620	0.976	1.426	2.376	3.626	6.529
TFH=1 saat	$t_{H_{maks}}$	0.620	1.076	1.526	2.576	4.176	6.529
BB=190 m	$t_{Q_{maks}}$	0.390	0.715	1.090	2.065	3.295	6.165
TFH=0,5 saat	$t_{H_{maks}}$	0.390	0.765	1.240	2.265	3.805	6.165
BB=125 m	$t_{Q_{maks}}$	1.500	1.950	2.550	3.600	4.950	7.819
TFH=3 saat	$t_{H_{maks}}$	1.500	2.100	2.700	3.750	5.400	7.819
BB=125 m	$t_{Q_{maks}}$	1.160	1.560	1.960	3.060	4.260	7.260
TFH=2 saat	$t_{H_{maks}}$	1.160	1.660	2.160	3.260	4.860	7.260
BB=125 m	$t_{Q_{maks}}$	0.700	1.050	1.450	2.456	3.706	6.559
TFH=1 saat	$t_{H_{maks}}$	0.700	1.100	1.600	2.656	4.206	6.559
BB=125 m	$t_{Q_{maks}}$	0.570	0.882	1.294	2.269	3.507	6.308
TFH=0,75 saat	$t_{H_{maks}}$	0.570	0.957	1.444	2.494	4.032	6.308



Şekil 4. Debi-Zaman Hidrografları



Şekil 5. Su Derinliği-Zaman Hidrografı

Tablo 2 ve 3 ile Şekil 4 ve 5 birlikte incelendiğinde, en olumsuz koşulların baraj yerinde ve baraja en yakın konumda olan enkesitlerde olduğu görülmektedir. En kötü senaryo durumunda (BB=190m, TFH=0,5 saat) Bergama merkezinin güney kesimleri ve GaziOsmanPaşa mahallesi'nin düşük kotlu bölgeleri tehlike altına girecektir. Bu bölgelerde taşkın su seviyesi baraj yerinde 36,15 m'ye ulaşacak ve giderek azalan bir trendle 4 nolu enkesite gelindiğinde 8,61 m'ye düşecektir. Bergama ile 4 nolu enkesit arasındaki yerleşim birimlerinden zemin kotları bu seviyelerin altında bulunanlar risk altına gireceklerdir. En büyük can ve mal kaybı bu bölgede gerçekleşecektir. Bu bölgedeki tarım arazileri su altında kalacaktır. Taşkın su seviyesi pikinin 4 nolu enkesite ulaşması yaklaşık 0,765 saat yani 46 dakika sürecektir. 5 nolu enkesite 1,24 saat'te yani 74 dakikada ulaştığında taşkın pik seviyesi 5,39 m olarak gerçekleşecektir. Bu bölgede de bazı tarım arazilerinin su altında kalması mümkün görünmektedir. 6 nolu enkesitte taşkın dalgası oldukça sönümlenmiş olacak ve 2,21 m seviyesindeki taşkın pikinin oluşması için 2,265 saat yani 136 dakika gerekecektir. Son kesitler olan 7 ve 8 nolu enkesitlerde taşkın pik seviyesinin büyüklüğü oldukça azalmış olarak sırasıyla 1,26m ile 0,47m'ye inecektir. Bu seviyeler yine sırası ile 3,805 saat (228 dakika) ve 6,165 saat (370 dakika) 'lık zaman geçtikten sonra oluşacaktır. Bu çalışmada yapılan analizlerin bazı temel varsayımlara dayandığı, özellikle gediklenme parametrelerinin tahmini konusunun çok hassas bir konu olduğu ve ayrıca senaryolarda kullanılan kadastrol taşkın hidrografını oluşturacak koşulların gerçekleşmesi olasılığının çok küçük olduğu akıldan çıkarılmamalıdır.

6. ÖNERİLER

Ülkemizde çok çeşitli amaçlar için örneğin enerji üretmek, tarım arazilerini sulamak, endüstrilere ve yerleşim bölgelerine içme ve kullanma suyu sağlamak, taşkın kontrolü

Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri

yapmak, erozyonu önlemek gibi amaçlar için her yıl barajlar inşaa edilmekte ve yenilerinin inşaa için projeler hazırlanmakta yada planlanmaktadır. Bu barajların bir kısmı buldukları yer itibarıyla hassas konumdadırlar ve herhangi bir yıkılma durumu söz konusu olduğunda mansapta bulunan yerleşim yerleri için hayati tehlike arzetedirler.

Çok hassas bölgelerde ve havzalarda bulunan bu tür barajların bir deprem gibi doğal afetle yada olası bir sabotaj veya savaş sırasında yıkılmaları sonucunda ortaya çıkabilecek muazzam taşkın dalgalarının hangi yerleşim birimlerine ne zaman hangi su kotunda varacağı konusunda örgütlenmiş, koordinasyonunu sağlamış, personel ve bilgi birikimine sahip bir kamu yada özel kuruluş, bu çalışmayı yapan yazarın bildiği kadarı ile yoktur.

Dünyada diğer ülkelerde bu konu son derece ciddiye alınmaktadır. ABD, Japonya, Kanada ve bir çok Avrupa ülkesinde bu konu ile ilgili görev yapan kuruluşlar vardır. Örneğin ABD'de İçişleri Bakanlığına bağlı olarak çalışan, organizasyon ve görev yapısı itibarıyla bizim Devlet Su İşlerine çok benzeyen Bureau of Reclamation adlı kuruluş kendi yaptığı barajların güvenlikleriyle ilgili yöntemlerin saptanması, bu yöntemlerin uygulanması ve bir olası baraj yıkılma durumu söz konusu olduğunda halkı uyarma işlerinden bizzat sorumludur. Bizim ülkemizde de konunun öneminin ve ciddiyetinin kabul edilip, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü bünyesinde Baraj Güvenliği Daire Başkanlığı (Department of Dam Safety) ihdas edilmesi çok yerinde olacaktır. Kurulacak bu dairenin merkezdeki elemanları ile sıkı işbirliği içinde olacak şekilde DSI'nin bölge müdürlüklerinde birimler oluşturulmalıdır. Merkezin koordinasyonu ile beraber bölge müdürlüklerindeki bu birimlerin ilgili yetkilileri FEMA ve USBR tarafından önerilen Acil Eylem Planları (AEP) hazırlamakla sorumlu olmalıdırlar, [17,18].

Bu birimlerdeki görevliler:

- Önemli ve yüksek tehlike arzeden barajlar için AEP'leri geliştirmeli ve uygulamalıdırlar.
- Her yıl AEP'leri gözden geçirip güncelleştirmeliler. Bu çalışmalar kesinlikle AEP'lerdeki çok açık bir şekilde tanımlanmış yöntemleri ve ayrıca acil durumlarda iletişim kurulması gerekli kişi ve kuruluşların ad ve telefonlarının, telsiz frekanslarının bulunduğu listeyi de kapsmalıdır.
- AEP'lerde kullanılacak mevcut iletişim araçlarının ve ilgili uyarı yöntemlerinin tam ve açık olarak tanımlarının yapılmasını sağlamalıdırlar.
- AEP'lerin uygulamaya konma koşullarını (hidrolojik veya hidrolojik olmayan olayları kapsayan), ortaya konacak acil tepki seviyelerini (emergency response levels) ve her tepki seviyesi için tehlike cinsine göre (hazard specification) atılması gereken adımları da kapsamasını sağlamalıdırlar.
- AEP'lerin, tehlike altında kalması muhtemel taşkın yataklarına ait taşkın haritalarını ve bölgedeki yerel yöneticilerin gereksinim duyacağı taşkın dalgalarının varış zamanlarını ve diğer ilgili bilgileri kapsayacak şekilde hazırlanmış tabloları mümkün olduğunca kapsamasını sağlamalıdırlar.

- AEP'lerin bölgedeki önemli endüstrilerin listesini bir öncelik sırasına göre kapsamasını sağlamalı ve bunlardan hangilerinin daha güvenli olan hangi bölgelere taşınmaları konusunda fizibilite çalışmaları yapmalıdırlar.
- Yerel yöneticilerin ve riskli bölgelerde yaşayanların bölgeyi boşaltma konusunda eğitilmelerini testler yaparak sağlamalıdırlar. Bu tür testler planlardaki aksamaları yada eksik yönleri ortaya çıkaracağından son derece faydalıdırlar. Yerel TV ve Radyo yetkilileri ile görüşmeler yaparak tehlike durumlarında nasıl koordinasyon sağlanacağı konusunda ön hazırlık çalışmaları yapmalıdırlar.
- Uzun süreli güç kayıplarının yaşanabileceği göz önüne alınarak acil hizmetlerde kullanılmak üzere dizel jeneratörlerinin yedekte bulundurulmasını sağlamalıdırlar.
- DSİ Acil Eylem Planları hazırlayabilecek ve Baraj Yıkılma Analizleri yapabilecek elemanlar yetiştirmelidir. Bunlar için yurtiçi ve yurtdışı eğitim kurumları değerlendirilmelidir. Yurtdışı seçenekler arasında ABD'deki Bureau of Reclamation'ın bu konuda "Emergency Management Orientation Seminar", "Training Aids for Dam Safety" ve "Dam Safety Training and Examinations and Public safety Assessments Around Dams" gibi çeşitli programları vardır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada yıkılma analizleri yapılan Kestel barajına ait verileri sağlayan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Etüd ve Plan Dairesi'ne, çalışmayı yürüten Afet İşleri Genel Müdürlüğüne ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi'ne katkıları için teşekkür ederim.

Kaynaklar

- [1] Bozkuş, Z., "Kestel Barajı Yıkılma Analizleri Nihai Raporu", Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Afet Yönetimi Uygulama ve Araştırma Merkezi, Ankara, Rapor No: METU/DMC 98-02, 1998.
- [2] Bozkuş, Z., "Pre-Event Failure Analyses of Kestel Dam for Disaster Management", 5th International Congress on Advances in Civil Engineering, Vol. 2, pp. 1141-1150, Sep. 2002.
- [3] Altınbilek, D., "The Role of Dams in Development", Water Resources Development, Vol.18, No.1, pp. 9-24, 2002.
- [4] US Army Corps of Engineers, "National Program of Inspection of Dams", Vol. I-V, Dept. of the Army, Office of Chief of Engineers, Washington, D.C., 1975.
- [5] Devlet Su İşleri Ajandası, 2001.
- [6] Altınbilek, D., "Hydropower Development in Turkey", Hydropower&Dams, Vol.9, No.5, pp. 61-65, 2002.
- [7] Sezer, C. "Barajların Yıkılması ve Tehlike Analizlerinin Önemi", DSİ Teknik Bülteni, Sayı:77, 1992.

Afet Yönetimi İçin Baraj Yıkılma Analizleri

- [8] Bozkuş, Z. “Baraj Yıkılması Analizlerinde Kullanılan Matematiksel Modellerin Kıyaslanması ve Uygulamalı Örnekler”, DSİ 40. Kuruluş Yılı Su ve Toprak Kaynaklarının Geliştirilmesi Konferansı Bildirileri, Cilt-2, Ankara 1994.
- [9] Merzi, N., Usul, N., and Molu, M. “ Dam-Break Flood in a Natural Channel: A Case Study”, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, Vol.21, pp. 19-27, 1997.
- [10] Bozkuş, Z. and Kasap, A., “ Comparison of Physical and Numerical Dam-Break Simulations”, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, Vol.22, pp. 429-443, 1998.
- [11] Bozkuş, Z. and Güner, A., “ Pre-Event Dam Failure Analyses for Emergency Management”, Tr. J. of Engineering and Environmental Science, Vol.25, pp. 627-641, 2001.
- [12] Devlet İstatistik Enstitüsü, Ekonomik ve Sosyal Göstergeler, İzmir, Yayın No:2111, 1997.
- [13] Fread, D.L. “The NWS Dambreak Model”, Theoretical Background/User Documentation, Hydrologic Research Laboratory, Office of Hydrology, National Weather Service (NWS), Silver Spring, Maryland, June 1988 (Revision 4, August 1991).
- [14] Wahl L. T., “Predicting Embankment Dam Breach Parameters – A Needs Assessment”, 27th IAHR Congress, San Francisco, California August 10-15, 1997.
- [15] Brown, C. A., and Wayne J. Graham, “Assessing the Threat to Life from Dam Failure,” Water Resources Bulletin, Vol. 24, No.6, December, 1988.
- [16] Petrascheck, A. W., and P. A. Sydler, “Routing of dam Breaks.” International Water Power and Dam Construction”, Vol.36, p.29-32, 1984.
- [17] FEMA “Emergency Action Planning Guidelines for Dam Owners”, Federal Emergency Management Agency (FEMA), 1996.
- [18] USBR , “Emergency Planning and Exercise Guidelines”, U.S. Bureau of Reclamation, March. 1995.