

DOLUSAVAKLARDA TAŞKINA DAYALI GÜVENİLİRLİK VE BARAJ_RISK PROGRAMIYLA RİSK ANALİZİ UYGULAMASI

Kasım YENİGÜN¹

ÖZ

Türkiye’de çok ciddi mali kaynak aktarımıyla gerçekleşen ve ülkemizin can damarları sayılabilen barajlarımızın güvenilirlik kontrolünün yapılması çok büyük önem arz etmektedir. Yaşanabilecek bir enerji krizinin yanı sıra uluslar arası kamuoyunda sürekli gündeme gelen su hakları konuları da eldeki mevcut su kaynaklarının çok iyi değerlendirilmesini ve var olan tesislerin çok dikkatli ve verimli işletilmesini ve risk faktörlerini en aza indirgeyecek şekilde hazırlıklı olunmasını gerektirmektedir. Bu yüzden tüm dünyada barajların durumu ve güvenlikleriyle ilgili çalışmalara ihtiyaç duyulmuştur.

Bu çalışmada öncelikle barajlar için risk taşıyan parametreler değerlendirilmiş ve bunlarla ilgili olarak ülkemizden ve dünyadan örnekler verilmiştir. Ardından baraj yıkılmalarında önemli bir paya sahip taşkın riskine karşı bir güvenlik mekanizması olarak çalışan dolusavaklar üzerinde durulmuştur. Daha sonra dolusavak kapasitelerinin güncel hidro-meteorolojik veriler karşısında davranışının belirlenmesi amacıyla bir risk analizi çalışmasına gidilmiştir.

Bunun için JAVA ortamında çalışan ve BARAJ_RISK adı verilen bir güvenlik yazılımı hazırlanmıştır. Bu yazılımda, barajların projelendirilmesinde esas alınan akım gözlem istasyonlarından alınan güncel maksimum akım değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi yapılmakta, ardından hazne sönümleme faktörüne ile hem dolusavakların hesabında kullanılan proje taşkın debisine göre ve hem de güncel maksimum akımlarla değişik yıllar için bulunan taşkın debisine göre bir alt veri tabanı oluşturulmaktadır.

Daha sonra ortalama değer birinci derece ikincil moment yöntemi ile ileri birinci derece ikincil moment yöntemlerini esas alarak risk analizi yapılmakta ve üstelik dolusavağın kapaklı olma durumunda da değişik olasılıklı kapak açılmaları için farklı risk değerleri bulunmaktadır. Risk değeriyle karşılaştırılması durumunda gerek yeni tasarım aşamasındaki bir baraj için proje revizyonuna esas olması ve gerekse mevcut bir baraj için boyut rehabilitasyonunun mümkün olup olmayacağı bir durum için ekonomik analize hazır olacak dolusavak boyutları hesaplanmaktadır.

Bu sonuçların bir arada gösterilebildiği ve kabul edilebilecek farklı riskler için farklı boyut bölgelerini içeren bir grafikte bu çalışmanın en anlamlı verisini oluşturmaktadır. Son olarak bu programın uygulaması, riskli bulunan ve bulunmayan iki baraj için yapılmış ve sonuçları grafiklerle verilerek yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Baraj güvenliği, dolusavak, risk, taşkın, BARAJ_RISK

¹ Yrd. Doç. Dr., İnşaat Mühendisliği Bölümü, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Türkiye,
e-posta: kyenigun@harran.edu.tr

ABSTRACT

The continuous observation of dam performance will help to identify any defect that might lead to damage. With studies to be performed on existing dams, important information can be obtained concerning the causes and effects of these deficiencies and what preventative measures need to be taken.

The purpose of this study was to determine the factors that may pose a threat to dams and to establish the reliability levels of spillways, evaluating overflows, which are highly significant in terms of dam safety, as the effective risk factor. The rehabilitation values necessary in situations where there is a risk are presented.

The DAM_RISK program was created in order to determine the following factors of spillways, and hence of dams, in the face of hydraulic and hydrological loads of overflows of various return intervals: Performance, risk values, suitable dimension rehabilitation.

It is thought that this program, which represents a completely new approach, can be used as an important evaluation mechanism for dams still in the project phase, as well as those under construction and in operation. The statistical evaluation of observed data related to maximum flows obtained forms only a small part of the planned DAM_RISK program. In addition to the determination of distribution and alternative overflow parameterization based on the dimensions obtained, risk analysis is used to evaluate risk and reliability for all alternative dimensions.

In this study, the observed maximum flow values were obtained and an attempt was made to determine their fitness to normal distribution for two dams. The parameters obtained were subjected to risk analysis by MFOSM and AFOSM, with the aid of a program prepared in the JAVA programming language, and an attempt was made to determine the reliability of the spillways of these dams.

Keywords: Dam safety, spillway, risk, flood, DAM_RISK

1. GİRİŞ

Tarih boyunca çeşitli amaçlar için kullanılan barajlar sadece hidroelektrik enerji üretimi ile kalmamakta, içme-sanayi-kullanma suyu eldesi, akış düzenleme, taşkın kontrolü, ulaşım, çevre korunması, kirlilik kontrolü, turizm, balıkçılık ve daha birçok amaca hizmet etmektedir. İnsanların barajlara olan istemi de her geçen gün artmaktadır (Landels, 1996).

Ancak bu tesislerin inşa maliyetlerinin yüksekliği, giderek daha az yerde baraj yapılabilmesi ve eski barajlardan bazılarının rehabilitasyona ihtiyaç duyar hale gelmesi; planlamacı ve uygulayıcılara baraj yapımı ile birlikte bu barajların nasıl korunacağı, ne şekilde uzun ömürlü ve verimli çalıştırılacağı, risk olarak kabul edilen tehlikelere karşı nasıl hazırlıklı olunacağı gibi konuları düşünmeye itmektedir.

Stokastik özellik gösteren meteorolojik ve hidrolojik olaylardan hareketle projelendirilen ve pek çok amacın göz önünde bulundurulduğu barajlarda, ilk yapıldığı yıllardan beri dünya üzerinde çeşitli yerlerde yetersizlikler görüldüğü, kaza-yıkılma veya devre dışı kalma şeklindeki olumsuzluklarla karşılaşıldığı bir gerçektir. Mühendisler buradan hareketle yapılan her yeni barajda daha çok ve düzenli veri, daha ileri teknoloji daha dikkatli projelendirme, kaliteli imalat ve bilgisayarlara dayanan gerçek-zaman işletme çalışmalarına yönelmişlerdir.

Buna paralel olarak barajların karşılaşılabilecekleri bütün risk elemanları tespit edilmeye ve bunlara nasıl hazırlıklı olunabileceğine yönelik çalışmalar, devletlerin ve hatta devletlerarası işbirliği çalışmalarının önemli gündem maddesi haline gelmiştir. ICOLD gibi uluslar arası kuruluşların yanı sıra her ülke DSİ, National Performance of Dams Program, Interagency Committee on Dam Safety, BC Hydro, ANCOLD, UK Health and Safety Executive, USBR gibi program ve kuruluşlarla kendi barajlarının güvenliğini nasıl artırabileceğini ve böylelikle hem çok ciddi maddi kayıplardan, hem

taşkınardan ve hem de en önemlisi can kaybından nasıl korunacağı yönünde bazı kontrol, koruma ve acil durum programları geliştirmeye çalışmaktadırlar.

Göz önünde bulundurulmaya çalışılan önemli bir konu eskiden inşa edilmiş barajların güvenilirlik seviyeleridir. Böyle bir risk-güvenlik çalışmasının yapılmasıyla mevcut barajların durumu, güven düzeyleri ve yetersizlik gösteren alanlar belirlenmeye çalışılmakta, çeşitli tehlikelere hazırlıklı olunmaktadır. Bazen de mümkün olabilecek rehabilitasyon çalışmaları gündeme gelebilmektedir. Üstelik bu çalışmalar yeni planlanacak barajlar için güncel bilgi ve tecrübe olarak kullanılabilmekte, benzeri riskler azaltılabilmekte veya tamamen önlenebilmektedir.

İşte bu yüzden, öncelikle dünyada ve Türkiye'deki barajların durumu ve güvenlikleriyle ilgili bir çalışmaya ihtiyaç duyulmuştur. Oluşturulabilecek bir risk takip programıyla hem belirsizlik taşıyan hidro-meteorolojik verilerin gözlenmiş değerleri istatistiksel değerlendirmeye tabi tutulacak ve hem de barajların emniyeti dinamik bir işlemle sürekli olarak takip edilebilecektir. İleriki zamanlarda faydalanılabilecek uzaktan algılama teknikleriyle daha hızlı ve doğru olarak güncellenen bilgilerle, alınması gerekli önlemler daha etkin bir şekilde devreye sokulabilecektir.

“Proje mühendisi en kötü şartları göz önüne alarak proje ve planlarını yapar. Bu durum su mühendisleri için daha da önemlidir. Su yapıları projelerinde, diğer birçok hususlar yanında proje taşkın debisinin doğru olarak tespiti yapının emniyeti ve geleceği için büyük önem taşır.” (Erkek ve Ağralıoğlu, 1998).

Bu çalışmada önce barajların güvenlik durumlarına ve tarihteki baraj kazalarına değinilmiş, ardından barajlarda tehlike oluşturan faktörler incelenmiştir. Bu faktörlerden dolusavakların yetersizliği ve görev yapamama riski üzerinde öncelikle durulmuş ve taşkın zamanlarında dolusavakların davranışları ile ilgili güven durumları bu çalışmada baraj güvenliği değerlendirmeleri için esas alınmıştır. Risk hesap yöntemlerinin incelenmesi ve karşılaştırılmasının ardından güncelliğini koruyan yöntemler belirlenmiştir.

Barajlar için geliştirilen bilgisayar programı ile risk hesapları ve boyut rehabilitasyonu çalışmaları yapılabilmekte ve riski azaltan alternatif boyut seçenekleri sunulmaktadır. Elde edilen farklı çözümlerin, adım adım değişimleri ve bu değişimde etken olan faktörler (dolusavak boyutları ve hazne sönümleme faktörleri gibi değerler) grafiklerle verilmektedir. Sonuçta riskli bulunan mevcut barajlar, boyut rehabilitasyonuna tabi tutularak, hidrolojik güvenliklerinin rehabilitasyonları için rasyonel bir yöntemle taşkına bağlı olarak tasarlanabilmektedirler.

2. BARAJLARDA GÜVENLİK PROBLEMLERİ

Yaşamın tüm evrelerinde kendini hissettiren güvenlik kavramı, sadece mühendislik yapıları ve çalışmalarında değil tüm sektörlerde önem kazanmıştır. Özellikle yüzyılımızda yaşanan büyük ölçekli kazalar, doğal afetler, işletme ve tasarım problemleri ile birlikte insanlarda gelişen;

- Güvenlik nedir?
- Ne kadar güvenlidir?
- Daha güvenli olanı hangisidir?
- Sınırsız güvenlik var mıdır?
- Güvenliğin kabul edilebilir sınırı nedir?

Ve benzeri daha pek çok soru, güven ve güvenilirlik bilincinin iyiden iyiye yerleşmeye başladığını göstermektedir. Bu çerçevede inşaat mühendisliğinin en önemli yapılarından olan, inşaat maliyeti, süresi, işletme ömrü ve faydaları arasında gerçekten ciddi biçimde güvenliğinin irdelenmesi ve kontrolü gereken, üstelik giderek daha az yerde inşa edilmeye itinildiği için daha hassas bir duruma gelen barajların güvenliği, tehlikeler karşısında gösterdikleri ve gösterecekleri güvenlik davranışları, güven düzeyleri ve risk seviyeleri büyük önem taşımaktadır.

Barajların güven düzeylerinin belirlenmesinin yanı sıra,

- Güven düzeylerini etkileyen yeni etkenlerle,
- Bu etkenlerden ölçülen yeni değerler karşısında karşılaşılabilecek güvenlik davranışlarının izlenmesi,

- Güven düzeylerinin yükseltilmesi için yapılacak önlem ve iyileştirme çalışmaları,
- Bu sonuçların düzenli ve hassas bir şekilde gözlem ve kontrolü,
- Bunlarla ilgili veri tabanının oluşturulması,
- İleriye dönük olarak değerlendirilmesi ve benzeri konular da aynı önem çerçevesinin içinde yer almaktadır.

Barajların boyutları büyüdükçe, mühendislerin sorumluluğu da artmaktadır. Baraj güvenliği, tasarımdan yapımına hatta işletme sürecine kadar uzanan bir kavramdır; planlama ile başlar ve işlemsel olarak yakından izlemeyi de içeren bütün fazları kapsar. Bu nedenlerle güvenliğe ilişkin harcamalar, elimine edilebilen ekstra bir masraf değil, proje maliyetinin değişmez bir parçası olarak düşünülebilir.

Riskli bulunmak suretiyle, boyut rehabilitasyonuna tabi tutulabilecek olan mevcut barajların, etkili bir maliyetle hidrolojik güvenliğinin rehabilitasyonu için rasyonel bir yöntemle taşkına bağlı dizaynın belirlenmesi gerekir.

Dünyada, baraj yetersizlikleri nedeniyle tehlike arz eden barajların toplam sayısı 150'yi aşmaktadır. Barajların çoğu planlandığı gibi çalışmaz. Kaba bir tahminle Milattan sonra 12. Yüzyıldan beri, kısmi çökmeyi veya yıkılmayı içeren 2000 yetersizlik ortaya çıkmıştır. Elbette bunların çoğu büyük baraj değildir.

20. Yüzyılda dünyada yaklaşık 200 dikkati çeken rezervuar yetersizliği olmuş ve 8000'den fazla insan hayatını yitirmiştir. 1929'da Berlin'de yapılan Dünya Enerji Konferansı'nda, baraj mühendisliğinin gelişmesi üzerindeki geniş bilgi ICOLD 'un kurulmasına ön ayak olmuştur. ICOLD tarafından hazırlanan Tablo 1'de, tarihi çağdan 1965'e kadar uzanan bir zaman diliminde oluşan büyük baraj yetersizliklerini göstermektedir (Uzel,1991).

Tablo 1. Büyük baraj yetersizlikleri (Uzel,1991).

Yıl	Önemli Baraj Yetersizliklerinin Sayısı
1900'e kadar	38
1900 – 1909	15
1910 – 1919	25
1920 – 1929	33
1930 – 1939	15
1940 – 1949	11
1950 – 1959	30
1960 – 1965	25
Bilinmeyen tarihlerde	10
TOPLAM	202

Yakın zamanda da çeşitli baraj yetersizliklerine sıklıkla rastlanmaktadır. Örneğin Kanada'nın British Columbia bölgesinde 1989'da yapılan araştırmalar, Wahleach Barajı'nın olası maksimum taşkınının % 25'inden fazla bir taşkını geçiremeyeceğini ortaya çıkarmıştır. Üstelik dolusavak boşaltım kanalında erozyonun başlaması, dolusavak temelini göçürtmekte ve barajda oyulmalar oluşturmaktadır (Salmon and Cattnach, 1997).

Teksas Su Komisyonunun yaptığı çalışma, 1963–83 yılları arasında, Amerika'da 18 baraj yıkılmasını tespit etmiş ve bunları insan yaşamı kaybı ve ekonomik kayıp olarak iki aşamalı olarak ele almıştır. Aynı komisyon, ele aldığı dört aşamalı bir plan çerçevesinde, baraj güvenlik programı çalışmalarını;

- mevcut barajların güvenlik değerlendirmeleri,
- baraj inşaatı ve büyük onarım işlerinin plan ve şartnamelerinin incelenmesi,
- mevcut ve yeni barajların inşaat işlerinin periyodik kontrollerinin yapılması,
- acil eylem planının incelenmesi ve onayı, şeklinde sıralamıştır (Anonymous, 1998).

ICOLD ve USCOLD raporları değerlendirildiğinde barajların yaş, tip ve büyüklüğüyle ilgili olarak şu bilgiler verilebilir:

Baraj Yaşı: Olaylar en az % 50'sinin baraj işletmeye açıldıktan sonraki ilk beş yıl içinde meydana gelmiştir. Dolayısıyla barajların yaşlılığının yıkılmada öncelikli faktör olma özelliği ortadan kalkmaktadır. Genel olarak, 1940'tan sonra inşa edilen barajlarda yıkılma olasılığı daha eskilere göre bir azalma göstermiştir. Sadece 1971-1980 yılları arasında yıkılma olasılıklarında bir artış göze çarpmıştır. Bunun nedeni de bu periyotta ABD'de çok sayıda baraj kazası ve yıkılmasının yaşanmasıdır.

Baraj Tipi: Kaya dolgu ve payandalı barajlarda yıkılma ve kaza olasılığı diğer tiplerden daha fazla olmaktadır. Öte yandan beton barajlardaki yıkılma olasılığı beton olmayan barajların yıkılma olasılığı ile hemen hemen aynıdır. Ancak beton olmayan barajlarda risk diğer beton barajlardan daha yüksektir.

Baraj Büyüklüğü: 15 m'den alçak barajların yıkılma olasılıkları 50 m'den daha yüksek barajlarınkinden çok daha yüksektir. Bunun sebebi olarak daha büyük barajlarda; tasarım, inşaat, yönetim ve işletme alanlarında daha çok dikkat gösterilmesi söylenebilir. Öte yandan yıkılma ve kaza risklerinin farklı yükseklikteki barajlarda benzer olasılıklar göstermesi, baraj yüksekliğinin yıkılma veya kaza risklerinde pek belirleyici olmadığını göstermektedir (Cheng, 1993).

Türkiye akarsu havzalarında yer alan, 1936–1991 yılları arasında işletmeye açılan 141 adet baraj ile 1991 yılı sonu itibarıyla inşa halindeki 59 adet barajın seçilen Olası Maksimum Taşkın (OMT) değerine göre hidrolojik yönden güvenlik kontrolü, tarihi taşkınların genel havza zarfına göre yapılmıştır. Bu kontrolden de, barajın yağış alanına karşılık havza zarfından okunan taşkın, 100 yıl yinelenmeli proje taşkını değerleri kabul edilmiştir. Bu değer iki katından küçük olan OMT değerine sahip barajlar, hidrolojik yönden kritik olarak değerlendirilmiştir. Bu ilk irdeleme sonucunda Türkiye'de işletme ve inşa halindeki toplam 200 adet barajdan 89 adedi kritik bulunmuştur. Genel havza zarfına göre kritik bulunan barajlar, havza içinde bulunduğu akarsu kolu dikkate alınarak hazırlanan tarihi taşkınların alt havza zarfına göre yeniden irdelenmiştir. (Kulga,1997)

Hidrolik yapıların yıkılmaları, yapısal yıkılma ve performans dayalı yıkılma olmak üzere iki tipte sınıflandırılabilir. Yapısal yıkılma, hasarı ya da yapının veya özelliklerinin değişmesini kapsar. Böylece yapı istenildiği gibi çalışmaz. Ancak performans yıkılmasında, yapının performans sınırları aşılır ve yapıda istenmeyen sonuçlarla karşılaşılır. Genel olarak baraj ve seddeler yapısal yıkılma kavramına dayalı olarak tasarlanırlar. Kanalizasyon ve su temini ağları gibi hidrolik yapıları ise performans yıkılması temel edinilerek tasarlanırlar (Yen and Tung, 1993).

Hidrolik yapıların güvenilirlikleri üzerine bir analiz yapıldığında, arıza ve hasarların aşağıdaki ana sebepler nedeniyle oluştuğu görülür:

- Tasarım ve analizdeki hatalar,
- Gerçek işletme ile model tasarımı arasındaki uyumsuzluk veya eksiklikler,
- Jeolojik, mühendislik, hidrolojik, iklimik, endüstriyel ve diğer konulardaki eksik bilgiler,
- Tasarım koşullarındaki makul olmayan sapmalar,
- Genellikle acele etmekten kaynaklanan yetersiz inşaat kalitesi,
- Malzeme, ekipman ve uygulamalardaki gerekenden düşük kalitenin kullanımından meydana gelen teknolojik tasarımlardaki karışıklık,
- İnşaat maliyetlerini düşürme tasarımı ile yapılan nedensiz rasyonalizasyon ve değişiklikler,
- İnşaat standartlarını ve yasaları çiğneme,
- Olumsuz şartlarda işletme,
- İşletmede yanlış ve hatalı yükleme,
- Üretim ve servis hataları,
- Servisteki düşük kalite,
- Sebepsiz yere bakım ve koruma işlerinin kaldırılması, yaşlanma ve doğal aşınma, yıpranma (Mirskhoulava, 1993).

1600 baraj üzerinde yapılan bir araştırmada Tablo 2'de verilen baraj yetersizlikleriyle karşılaşılır. Bundan daha sonra yaklaşık 300 barajda yapılan bir çalışmada yetersiz dolusavak tasarımı kaynaklı yıkılmaların oranının % 35 olduğundan söz edilmektedir (Kite, 1976).

Daha yakın zamanda yapılan barajlar ve bu barajların dolusavakları ile ilgili güvenlik sorunları ve yetersizlikler bilgilerine ileride değinilmiştir.

Tablo 2. Barajların yetersizliklerinin nedenleri (Kite, 1976).

Yetersizliğin Nedeni	Yetersizliğin Yüzdesi
Temel yetersizliği	40
Yetersiz dolu savak	23
Zayıf konstrüksiyon	12
Düzensiz oturma	10
Yüksek boşluk basıncı	5
Savaşın etkileri	3
Sedde kaymaları	2
Kusurlu malzemeler	2
Doğru olmayan işlem	2
Depremler	1

ICOLD hazırladığı bir raporda, 15 m'den yüksek barajlarda, 1900-1975 yılları arasında oluşan yapısal hasarlarla ilgili olarak,

- beton barajlardaki hasarların; % 29'u baraj üzerinden su aşması, % 53'ü temel problemleri, % 18'i diğer nedenler,
- dolgu barajlardaki hasarların; % 35'i baraj üzerinden su aşması, % 21'i temel problemleri, % 38'i borulanma ve sızıntı, % 6'sı diğer nedenler,
- ve bütün tipteki baraj hasarlarının; % 34'ü baraj üzerinden su aşması, % 30'u temel problemleri, % 28'i borulanma ve sızıntı, % 8'i diğer nedenler ile oluştuğu gözlenmiştir.

Dolgu baraj yıkılmalarıyla ilgili olarak; Pennsylvania'daki Southfork Barajı (1889), Idaho'daki Teton Barajı (1976), California'daki Baldwin Hills (1963), St. Frances (1928) barajları, beton baraj yıkılmalarıyla ilgili olarak ise, Pennsylvania'daki Austin Barajı (1911), Arizona'daki Walnut Grove (1890) barajları örnek olarak gösterilebilir (Anonymous, 1998).

Bowles vd. (1998)'ne göre mevcut barajların sosyal, ticari, işletme, sağlık ve çevresel etkiler açısından incelenmesinin yanı sıra aşağıdaki mühendislik durumları için de gözden geçirilmesi gerekmektedir:

- Mevcut barajlar, şimdiki taşkın ve deprem yüklemelerini karşılamada başarısız kalmaktadırlar.
- Mevcut barajlar, günümüzün mühendislik uygulamalarını karşılayamayacak şekilde inşa edilmişlerdir.
- Barajlarda yaşlanma ve yıpratıcı işlemler oluşmuştur.
- Standartlara uyma zorunluluğu ciddi maliyetler oluşturmaktadır.

Taşkın kabaca hesaplanmasından kaynaklanan kazalara örnek olarak Amerika'daki Johnstown - South Fork, Brezilya'daki Oros ve Hindistan'daki Machu II barajlarındaki yetersizlikler gösterilebilir. Bu olaylarda ekstrem taşkınların düşünülmediği ve bunların düşük değerleri göz önünde tutularak tasarım yapıldığı anlaşılmıştır. Bu tür kazalardan ders alınarak taşkınlarla ilişkin tahminlerde daha dikkatli davranılmalı ve daha iyi tasarımlar yapılmalıdır (Uzel, 1991).

Dolusavaklarla ilgili ana problemler; yetersiz kapasite, engeller, erozyon, bozulma, kırılma, dolusavak çıkış yapısının yıkılması veya arızalanmasıdır. Dolusavak yetersizliği; drenaj alanının hizmet şekli, havzadaki yağışların büyüklüğü ve sıklığı, hazne depolama kapasitesi, yağmur sularının akış hızı ve haznenin dolma hızı gibi çeşitli faktörlerle belirlenebilir. Dolusavağı yetersiz bir haznedeki suyun baraj üzerinden aşma olasılığı oldukça yüksektir.

Toprak dolusavak kanallarındaki kırılmalara genellikle fonksiyonel bir problem olarak bakılmaz. Ancak beton kaplamalı dolusavaklardaki kırılmalarla yaygın olarak karşılaşılır. Bu kırılmalar, kararsız temel oturmaları, büzülme, beton tabakanın yer değiştirmesi veya aşırı toprak ya da suyun basıncı sonucu gerçekleşebilir (Anonymous, 1998).

Dolusavak kapaklarının istenilen şekilde işletilememesinden dolayı yakın geçmişte Euclides Da Cunha Barajı (Brezilya,1977), Machu II Barajı (Hindistan,1979), Hirakuo Barajı (Hindistan, 1980), Tous Barajı (İspanya,1982), Noppikoski Barajı (İsveç, 1985), Lutufallet Barajı (Norveç, 1986), Belci Barajı (Romanya, 1991), Folsom Barajı (ABD, 1995) hasara uğrayan bazı barajlardır.

Kapaklı dolusavaklarda yetersiz bakım ve hatalı inşa koşulları altında bütün kapakların yetersiz çalışması veya hiç çalışmaması riski de göz ardı edilemeyecek kadar önemlidir. Bu durum, geçmişte yıllarda oluşan birçok kazada kendisini göstermiştir. Bu örneklerden birisi de ülkemizde Seyhan Barajı'ndan, 1985 yılında dolusavak radyal kapaklarından birisinin kopması ile yaşanmıştır.

Bir dolusavağın projelendirilmesinde bazı kapakların işletme dışı kalması olasılığını değerlendirerek bu durumda taşkın debisinin deşarjı için proje kriterlerini zorlamak uygun bir yaklaşım değildir. Bu konuda, bazı kapakların işletme dışı kaldığı koşullarda, dolusavağın bütün kapaklarının işletme dışı kalma olasılığı az da olsa söz konusu olabilir (Yıldız,1998).

3. RİSK VE GÜVENİLİRLİK DEĞERLENDİRMELERİ

Riskin değişik tanımları yapılmıştır. Bunların başlıcaları,

- Tehlikenin olasılığı, kayıpların beklenen değeri (Roland ve Moriarty, 1990),
- Kayıp veya hasar olasılığının ortaya çıkmasıdır (Morgan and Henrion, 1992),
- Tehlikenin dönüş periyodu (Cheng vd., 1993, Borgman, 1969'dan),
- Göçmenin tahmini maliyeti (Cheng vd., 1993, Young vd., 1970'ten),
- Göçmeye bağlı gerçek maliyet (Cheng vd., 1993, Bras , 1979'dan),
- Göçme olasılığı (Cheng vd., 1993),
- Ekonomik ya da finansal kaybın olasılığı, fiziksel zararın veya gecikmenin olasılığı veya süren bir çalışmadaki belirsizlik (Cooper and Chapman,1993),
- Tehlike olasılığı ile eşanlı olarak bir yapının ya da bileşenlerinin olumsuz işletilmesi veya işlerin ters gitmesi sonucu oluşan hasar (Mirtskhoulava, 1993).

Öte yandan Yen ve Tung (1993), riskin sözlük tanımlarını aşağıdaki gibi vermektedir:

- Kaybın olasılığı, tehlikeli bir eleman veya faktör, kayıp olasılığının derecesi, (Webster's Third New World International Dictionary),
- Kayıp durumunun ortaya çıkması, kaybın miktarı, kaybın tipi (Random House Dictionary),
- Hasar, tehlike, şanssızlığın ya da tehlikenin ortaya çıkması, tehlikeli gidiş, ticari kaybın tehlikesi ya da olasılığı (Oxford English Dictionary).

Baraj güvenliği değerlendirmeleri için risk analizi teknikleri, önceleri baraj mühendisliğini kapsayan birkaç düzenleme ajansı ve grubu tarafından kullanılmıştır. Bu teknikler; taşkın amaçlı dolu savak dizaynında, taşkın anında hazne seviye tahmini dizaynında ve deprem dizaynında uygulanmıştır (Nielsen vd., 1994).

Tung ve Yen (1993), belirsizlik analizi için, Birinci Derece Karşıt Değer Yöntemi (First Order Variance Estimation Method), Rosenblueth Yöntemi, Monte Carlo Simülasyon ve İntegral Dönüşüm tekniklerini (Fourier, Laplace ve Exponansiyel, Mellin Dönüşümleri) önermektedir.

Baraja gelen yükler, çeşitli dönüş aralıklarındaki taşkınların hidrolojik ve hidrolik yükleri, rezervuarlardaki siltlenme, buz ve dalgalar, depremlerin jeofizik yükleri, rüzgâr ve heyelanlardır. İnsan faktöründen meydana gelen aşırı hareketli yükler ve sabotajı bunlara ekleyebiliriz. Yük ve direnci oluşturan faktörlerin birçoğu doğada rastgele karakterdedir (Anonymous, 1991).

Dolusavak boyutlarında riske dayalı yaklaşımın uygulanması ile ilgili ilk tartışma, 1973'te Amerika İnşaat Mühendisleri Birliğinin (ASCE) düzenlediği "Mevcut Barajların Dolusavak Kapasitelerinin Yeniden Değerlendirilmesi" konulu toplantıda yapılır. Ancak insan hayatının, barajın tümünün ekonomik risk değerlendirmesi içinde bir sayısal değer olarak ifade edilip edilemeyeceği tartışmaları, bu çalışmaların eleştirilmesine yol açar.

ABD’de 1976’da Teton Barajının ve ardından Taccoa Falls Barajının yıkılması üzerine başkanlık düzeyinde yapılan açıklamada tüm çalışma gruplarının, ajans ve büroların “yer seçimi, tasarım inşaat ve işletmede olasılıklar ve riske dayalı analizlerin ortak yapılmasında işbirliği düzeyinde çalışmalar yapılması” konusu gündeme gelir. Bunun üzerine 1980 ve 1985 yıllarında bazı özel ajanslar tarafından, 1987’de Birleşik Devletler Ordusu Mühendisler Birliği (USACE) ve 1989’da USBR tarafından bazı ciddi projeler geliştirilir. 1988’de ASCE tarafından “Barajların Hidrolojik Güvenliği İçin Değerlendirme İşlemleri” konulu rapor yayımlanır. Bu rapor yaşam kaybının mali değerlendirmesini ele almamasına rağmen, tazminat maliyetlerini kullanarak kayıpların finansal değerini belirlemeyi amaçlamıştır.

1990’lara gelindiğinde BC Hydro’nun 1993’te ve ANCOLD’un 1994’te, endüstriyel ve nükleer enerji alanındaki diğer tecrübelerle dayanarak tolere edilebilir riske dayalı yaşam kaybı terimini geliştirmişlerdir. USBR 1995’te risk değerlendirme prosedürlerini geliştirmeye başlamış ve 1997’de toplum koruma rehberini hazırlamıştır. Günümüze değin USBR düzinelerce risk değerlendirme çalışması geliştirmiş olup halihazırda baraj güvenliği kararları için bu yaklaşımı en çok kullanan bürodur.

1997’de Norveç’in Trondheim kentinde yapılan “Uluslararası Riske Dayalı Baraj Güvenliği Değerlendirmeleri” konulu çalışma toplantısına yaklaşık 20 ülke katılmış, bu ülkelerin araştırma ve geliştirme çalışmalarının sunulmasına rağmen risk analizi uygulamaları yalnızca Avustralya, Kanada, Güney Afrika ve ABD gibi birkaç devletle sınırlı kalmıştır.

Baraj güvenliği risk yönetiminin ana branşları; risk analizi, risk değerlendirmesi ve riskin azaltılmasıdır. Riskin azaltılması (veya işlenmesi) beş grupta yapılabilir:

- Riskten kaçınmak: Örneğin barajı inşa etmeden tüm gerekenleri yapmak,...
- Riskin meydana gelme olasılığını azaltmak: Örneğin yapısal ölçümler, güvenlik yönetimi çalışmaları, periyodik kontroller,...
- Riskin sonuçlarını hafifletmek: Örneğin erken uyarı sistemi gibi,...
- Riski aktarmak: Sözleşmeye dayalı düzenlemeler, avantajlar veya sigorta gibi...
- Riski kabul etmek: Risk azaldıktan veya aktarıldıktan sonra artık riskleri kabul etmek gibi... (Bowles vd., 1998a).

“Risk teknolojisi ile gösterilen risk yönetimi, geleneksel ‘standartlara dayalı’ yaklaşımdan, zıt sonuçların olasılığını ‘kabul edilebilir’ veya ‘tolere edilebilir’ değerlere azaltmak için uğraşan ‘**kabul edilebilir risk**’ yaklaşımına doğru gitmektedir. Risk yönetimi düşüncesi, bazı ülkelerde hukuki, kanuni ve düzenleyici işlemlerin önemli bir parçasıdır. Barajlar için risk analizinin sonuçlarının yararlarının artmasıyla, riskin derecesi baraj güvenliğinin gelişimiyle ilgili kararlarda esas olmaya başlamıştır” (Salmon and Hartford, 1995).

Genel anlamda yapılan çoğu risk değerlendirmelerinde;

- Hem riske esas olan belirsizliklerin sayı, cins ve büyüklükleri açısından tam anlamıyla sınırlarının çizilemediği,
- Aranılan parametrenin belirsizlik olmasından dolayı, gerçekte hiçbir zaman tanımı veya değeri belirlenmemiş belirsizlikler olabileceği,
- Böylelikle risk analizinde kullanılacak parametrelerin hangisinin daha çok önem taşıdığı,
- Cinsi ve sayısı açısından geniş kapsamlı parametre kaynağı ile yapılacak bir risk analizi ve değerlendirmesinin oldukça karmaşık olacağı mantığından hareketle göz ardı edilecek parametrelerin gerçek anlamda risk üzerinde hangi derecede etki gösterdiği,
- Belirsizlikler ve riske esas olacak parametreler hakkında yorum ve değerlendirme yapacak uzmanların görüşlerinde farklılıkların oluşabileceği,
- Bunlara rağmen yapılacak bir risk analizi çerçevesinde işlenecek verilerin stokastik özellikleri nedeniyle; risk, kabul edilen seviyede olsa bile, gerçek zaman işletme aşamasında istenmeyecek seviyede bir risk değerini doğuracak ekstrem değerlerle karşılaşılabilmesi (hidrolojik-meteorolojik değerler),
- Risk analizi çerçevesinde kullanılan istatistiksel formülasyon ve dağılımlarla, bunlara ilişkin yorumların da aslında bir belirsizlik ve risk içerdiği,

- Sayısal anlamda sıfırla karşılaşılsa bile riskin asla yok edilemediği,
- Riskin azaltılması için alınacak önlemler ve bu çerçevede yapılacak rehabilitasyonlar öncelikle mali ve teknolojik kısıtlarla sınırlandırıldığı için risk ve tehlikenin limit (veya kabul edilebilir olma) değerinin daima eleştiriye açık olması, ve benzeri daha pek çok madde düşünüldüğünde insanoğlunun pek çok alanda, özellikle de su mühendisliğinin baraj güvenliği dalında tam anlamıyla ideal seviyeye ulaşabildiği söylenemez.

Ancak unutulmaması gereken;

- Baraj mühendisliği alanında ulaşılan ortak birikim ve tecrübe,
- Teknolojik imkanlar,
- Mühendisliğin gerek tasarım, plan, işletme ve gerekse risk değerlendirmesi alanlarında aldığı yol,
- Güvenlik konularında etkili faktörlerle ilgili gözlem, kontrol ve önlemlerle ilgili çalışma ve teknolojinin gelişim göstermesi,
- Veri sağlanması konusunda ciddi, bilgisayara ve hatta uzaktan algılamaya dayalı gözlem çalışmalarının yaygınlaşması,
- Veri işlenmesi konusunda hızlı ve gerçek-zaman işletmede etkin olabilecek ortam ve programların gelişmesi,
- Her şeyden önce bu konuda yaptırım sahibi olan insanlarda risk ve güvenlikle ilgili bilincin uluslar arası düzeyde oluşması ve önerilerin yaygın platformlarda kabul görmesi,
- Bu konuda sadece teknik değil sağlık ve sosyal düzeyde de eş zamanlı ve eş düzeyli olarak kabul görmesi, ve benzeri bilgilere bakıldığında da bu konuda önemli mesafeler alındığı ve alınmaya devam edileceği düşünülebilir.

4. RİSK HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

Yapıların (özelde hidrolik yapıların tasarımında) görev yapamama riskinin belirlenmesi için araştırmacılar; dönüş aralığı, emniyet faktörü, Monte Carlo Simülasyon, güvenilirlik indeksi, doğrudan integrasyon, ortalama değer birinci derece ikincil moment (MFOSM), ileri birinci derece ikincil moment (AFOSM), yöntemlerini öne sürmüşlerdir (Türkman, 1990), (Yen and Tung, 1993).

Bunlardan birinci derece ikincil moment, oldukça yeni geliştirilmiş, yapıların toplam veya bileşke risklerini belirlemede kullanılabilen güçlü yöntemlerdir. Yöntemler yapıya etki eden hidroloji, zemin mekaniği gibi değişik disiplin dallarında incelenen değişik nitelik ve nicelikteki verilere sahip etkenlerin tümünü içerebilir. Yöntemler sadece yapıya etki eden faktörlerin kestirilmiş ortalama değerlerini ve standart sapmalarını gerektirir. Gerekli hesaplama miktarı Monte Carlo simülasyon ve doğrudan integrasyon yöntemlerine göre daha azdır.

Birinci derece analizler, yapıya etki eden rasgele değişkenlerin Taylor serisi açılımlarının ikinci ve daha yüksek üslü terimlerini ihmal ederek yapılır. İkincil moment analizleri ise rasgele değişkenlerin Taylor serisi açılımının yapıldığı yerdeki sadece ilk iki istatistiksel momentini, beklenen değer ve varyasyon katsayısını içerir.

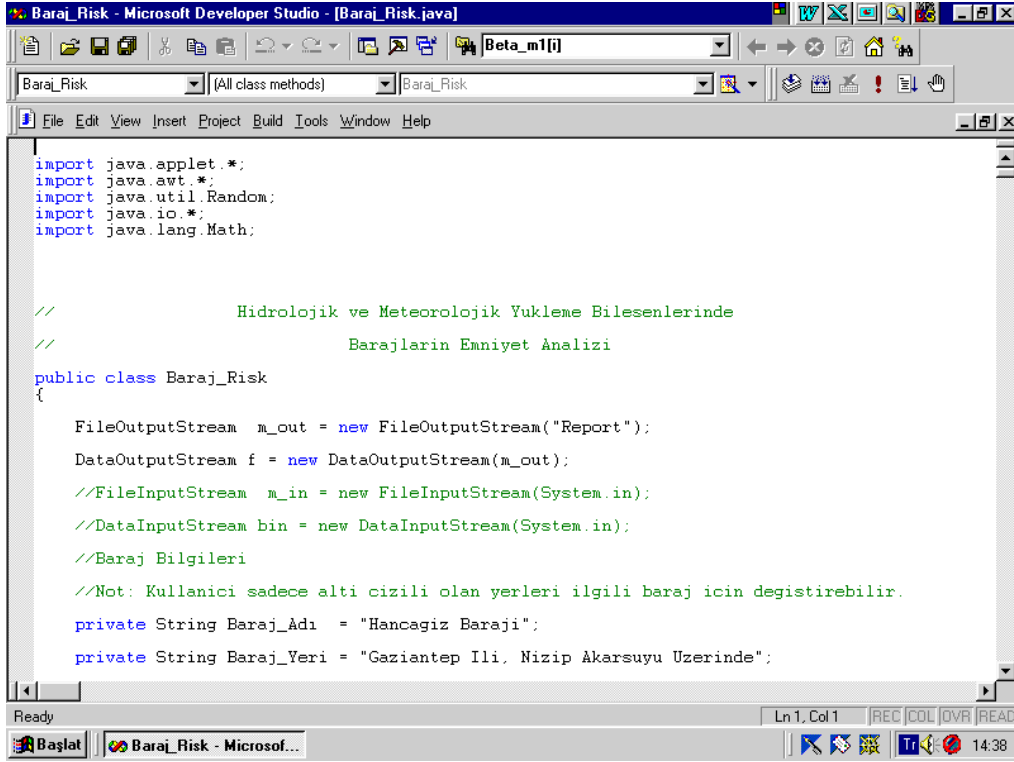
Hidrolik yapıların tasarımında güvenilirlik kavramının uygulaması mühendisler tarafından geliştirilmiştir. Monte Carlo simülasyonu, problemlerin geniş çaplı uygulaması için güçlü bir hesap yöntemi olmasına karşın doğrudan integrasyon yöntemi dağılımı bilinen ve integre edilebilen birkaç rasgele değişkenli problemler için pratiktir. Bazı problemler birden fazla yöntemin kullanılmasıyla çözülebilirler (Yen ve Tung, 1993).

5. BARAJ_RISK PROGRAMININ GELİŞTİRİLMESİ

Bu çalışmada çeşitli dönüş aralıklarındaki taşkınların hidrolojik ve hidrolik yükleri karşısında barajların; performanslarını, risk değerlerini ve uygun boyut rehabilitasyonlarını belirlemek amacıyla Baraj_Risk programı oluşturulmuştur. Böylece risk oluşturan durumlarda yapılacak boyut rehabilitasyonu maliyet analizine hazır bir çalışma da yapılmış olacaktır. (Yenigün, 2001)

Hazırlanan bu program, hem inşa ve hem de işletmede olan barajlarda kullanılabilmesi gibi henüz proje safhasındaki barajlar için de ciddi bir değerlendirme mekanizması olarak kullanılabilir.

Geliştirilen Baraj_Risk programında kullanılan maksimum akımlara ait gözlenmiş verilerin istatistiksel değerlendirmeleri programın alt bir bölümünü oluşturmaktadır. Elde edilen parametrelere göre dağılım belirlenmesi ve alternatif taşkın boyutlandırmasının yanısıra, risk analizi ile alternatif tüm boyutlar için risk ve güvenilirlik değerlendirmesi yapılmıştır. Söz konusu program JAVA (Davis, 1996) dilinde hazırlanmış olup Baraj_Risk programı ana kodu başlangıç sayfası Şekil 1’de verilmiştir.



```
import java.applet.*;
import java.awt.*;
import java.util.Random;
import java.io.*;
import java.lang.Math;

//          Hidrolojik ve Meteorolojik Yükleme Bileşenlerinde
//          Barajların Emniyet Analizi
public class Baraj_Risk
{
    FileOutputStream m_out = new FileOutputStream("Report");
    DataOutputStream f = new DataOutputStream(m_out);
    //FileInputStream m_in = new FileInputStream(System.in);
    //DataInputStream bin = new DataInputStream(System.in);
    //Baraj Bilgileri
    //Not: Kullanıcı sadece altı çizili olan yerleri ilgili baraj için değiştirebilir.
    private String Baraj_Adi = "Hancagiz Baraji";
    private String Baraj_Yeri = "Gaziantep Ili, Nizip Akarsuyu Uzerinde";
}
```

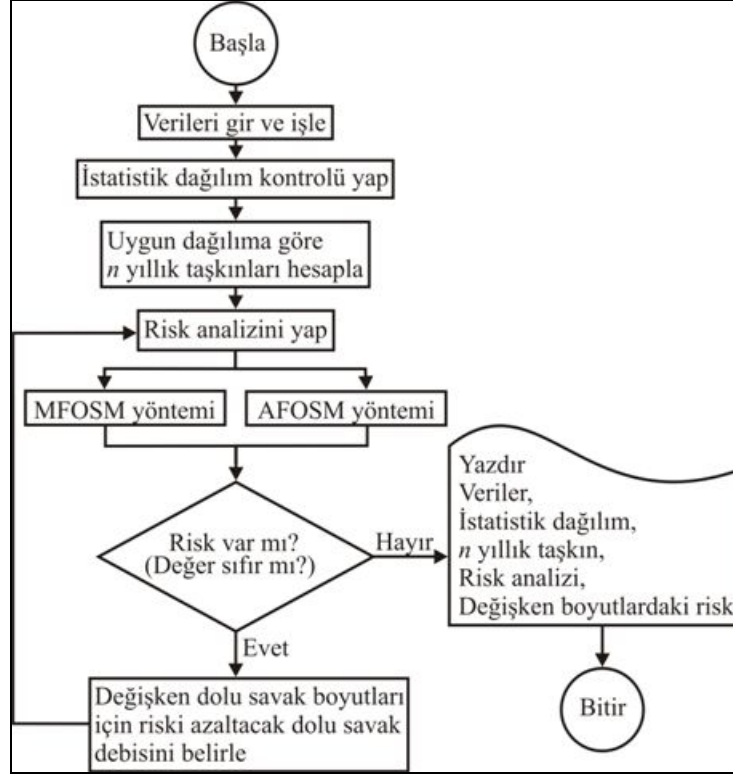
Şekil 1. Baraj_Risk programı ana kodu başlangıç sayfası

Program içerisinde risklerin hesaplanması için; Ortalama Değer Birinci Derece İkincil Moment Yöntemi (MFOSM), İleri Birinci Derece İkincil Moment Yöntemi (AFOSM) kullanılmıştır. (Yen vd., 1986).

Program girdi olarak, çıktı raporunda kullanılmak üzere; baraj adı, baraj yeri, amacı, kret uzunluğu, maksimum su kotu (HM), hazne sönümlleme faktörü (S), hazne sönümlleme faktörü standart sapması (sigma_s) girilmektedir.

Dolusavakla ilgili olarak ta; dolusavaktipi, dolusavak eşik kotu (HE), dolusavak kret uzunluğu (L), proje hesap taşkın debisi (QP), inşaat başlangıcı, işletmeye almış tarihi, kapak sayısı (K), gözlem yapılan istasyon adı ve numarası: gözlem yapılan yıl sayısı (N), N yıl için maksimum taşkın debileri (Xi), dolusavak yükü (H) girilmektedir.

Baraj_Risk programı akış şeması Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Baraj_Risk programı akış şeması

Programın çıktı bölümünde; Rapor (Report) dosyasına sonuç değerleri kaydedilmekte ve bunun ilk bölümüne barajla ilgili genel bilgiler işlenmektedir: Barajın adı, yeri, amacı, kret uzunluğu, max. su kotu, dolusavak tipi, taşkın debisi, genişliği, savak yükü, kapak sayısı, inşaat başlangıcı, işletmeye almış tarihi, gözlem yapılan istasyonun adı, numarası, gözlem yapılan yıl sayısı ve gözlem değerleri.

Daha sonra, girdi bölümünde verilen N yıllık taşkın değerlerinin istatistiksel dağılımlara (Normal, Gumbel, Frechet, Weibull, Gamma, Lognormal) uygunluğu kontrol edilmektedir (Maidment, 1993), (Ang and Tang, 1984). Bu kontrol sonucunda uygun bulunan dağılımlara göre bulunan parametrelerden faydalanılarak $n(i) = 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200, 500, 1000, 5000, 10\ 000, 15\ 000$ yıllık taşkın debileri hesaplanmakta ve bu değerler rapora aktarılmaktadır.

Bundan sonra, MFOSM ve AFOSM yöntemlerine göre barajın riskleri verilen hesap debisi kullanılmak suretiyle belirlenmektedir. Riski tüm boyutlarıyla belirleyebilmek amacıyla bu hesap içerisinde dolusavak kapaklarından m adedinin açılmaması durumu için oluşabilecek riskler ve (isteğe göre değişebilecek olan) risk değerinin tespit edildiği n yıllık taşkın debisine göre (eğer bu debiye göre boyutlandırma yapılmış olsaydı) oluşabilecek riskler belirlenmektedir. Dolusavak kapaksız ise sadece proje hesap debisine göre ve risk veren n yıllık taşkın debisine göre hesap yapılmaktadır.

Bir sonraki aşamada verilen risk değerlerinin (proje hesap debisine ve kapakların açılmaması durumuna göre hesaplanan risklerin) sıfır olması durumu değerlendirilmekte ve eğer riskler sıfır ise boyut rehabilitasyonuna gerek olmadığını belirten ifade ekrana gelmektedir. Risk değerlerinden herhangi birinin bile sıfırdan farklı olması durumunda boyut rehabilitasyonuna geçilmektedir.

Boyut rehabilitasyonu bölümünde ise, dolusavağın boyutlarını oluşturan efektif savak genişliği ve savak yükü ele alınarak üç ayrı değerlendirme yapılmaktadır. Rehabilitasyon işlemleri neticesinde, projeci yeni boyutların uygulanması durumu için maliyet analizi konusunda uyarılmaktadır. Söz konusu maliyet analizinde; barajın üretim girdileri, ömrü ve belirlenen riskin gelişmesi halinde oluşacak zararın değerlendirilmesinin yanı sıra fiziksel yapılabirlik de önem taşımaktadır.

Programın ilk bölümünde girdi olarak verilen gözlenmiş maksimum akım değerlerinden faydalanılarak, (Bayazıt, 1996), (Bayazıt, 1981), (Bayazıt ve Oğuz, 1985) gibi istatistik kitap ve yayınlarda genel olarak verilen dağılımlardan normal dağılım ve özellikle taşkın debileri için kullanılan ekstrem değer dağılımlarından Gumbel, Frechet, Weibull dağılımları ile Gamma ve Lognormal dağılımların parametreleri hesaplanmaktadır.

Ardından bu dağılımlardan uygun bulunanları için çeşitli yıllara ait taşkın debileri hesaplanmaktadır. Bunun dışında, riskler hesaplanmakta, ancak bu hesaplarda değerler normal dağılıma uygun olarak alınmaktadır. Normal dağılıma uymayan değerler, programa böyle bir dönüşüm bölümü eklenmesiyle normal dağılıma dönüştürülebilecektir (Ang and Tang, 1984).

6. BARAJ_RİSK PROGRAMINDA VERİLERİN İŞLENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Gözlenmiş maksimum akım değerlerine dayanarak risk analizi uygulaması yapacak Baraj_Risk bilgisayar programında veriler için DSİ ve EİEİ tarafından yayımlanan Akım Gözlem Yıllıkları ile bu bilgilerin derlenmesinden oluşturulan başvuru yayımlardan faydalanılabilmektedir (Kulga ve Dizdar, 1994).

Risk analizi uygulanacak barajlardan, istatistik anlamda değerlendirme yapmak ve anlamlı sonuçlara ulaşmak için veri sayısı yeterli düzeyde olan (mümkünse en az 30 yıllık) verilere sahip barajlar seçilmiştir.

Risk seviyesini ölçmek amacıyla, programda analize tabi tutulacak barajlardan;

- Erzurum ili, Pasinler civarı, Tımar Nehri üzerinde kurulu bulunan, karşıdan alıslı, kapaksız tipte dolusavağı bulunan ve 22 yıllık akım gözlem değeri mevcut bulunan Demirdöven Barajı verileri
- Çatalan Bucağı, Seyhan Nehri üzerinde kurulu bulunan, karşıdan alıslı, kapaklı tipte dolusavağı bulunan ve 24 yıllık akım gözlem değeri bulunan Çatalan Barajı verileri kullanılmıştır (Anonymous, 1987), (Orhon v.d., 1991), (Kulga ve Dizdar, 1994), (Anonymous, 1996), (Özkan ve Yılmaz, 1999).

Demirdöven barajı, gerek proje taşkın debisi esas alınarak yapılan risk analizi ve gerekse dolusavak kapaklarının biri veya ikisinin kapalı olması durumunda bile, gözlenmiş maksimum akım değerlerine dayanan bir taşkın durumunda risk değerleri sıfır sonucunu vermektedir.

Ancak; Çatalan Barajı için MFOSM yöntemine göre yapılan analiz sonucunda, dolusavağın altı kapağından beşinin kapalı olması durumunda 0,0418'lik bir risk değeri saptanmıştır. Söz konusu barajlar için AFOSM yöntemine göre yapılan risk analizi sonucunda herhangi bir risk değeri elde edilmemiştir.

Risk değeri saptanan Çatalan barajı için yapılan boyut rehabilitasyonu sonucunda; dolusavak kapaklarından beşinin de kapalı olması durumunda oluşabilecek bir risk değeri, dolusavağın mevcut boyutları $L=66$ m ve $H=16.44$ m iken bu boyutların,

a) $L=66$ m, $H=22.44$ m, b) $L=105.1$ m, $H=16.44$ m, c) $L=71$ m, $H=21.44$ m değerlerini alması halinde sıfırlanmaktadır.

Ancak sayısal anlamda riskin sıfır çıkması durumunda bile risk asla ortadan kalkmamaktadır. Çünkü risk hesabında kullanılan verilerin stokastik özellikli hidrolojik ve meteorolojik veriler olduğu ve dolayısıyla zaman içinde gözlenen yeni değerlerin değiştiği unutulmamalıdır.

Haznenin normal su seviyesindeki rezervuar hacmi ile, maksimum su seviyesindeki rezervuar hacminin bir fonksiyonu olan hazne sönümlleme faktörü, risk değerinin hesabı için kullanılan MFOSM ve AFOSM yöntemlerinin her ikisinde de önemli ve sonuçta oldukça etkili olduğundan, riskin azaltılması amacıyla yapılan boyut rehabilitasyonunun yanı sıra barajın işletme şekli ve dolusavak tipi ile yakından ilgili olan bu faktörde yapılabilecek bir değişikliğin de risk değerlerini önemli ölçüde değiştireceği açık olup bu konuda yapılacak çalışmalar için bir ön fikir oluşturması açısından anlamlıdır.

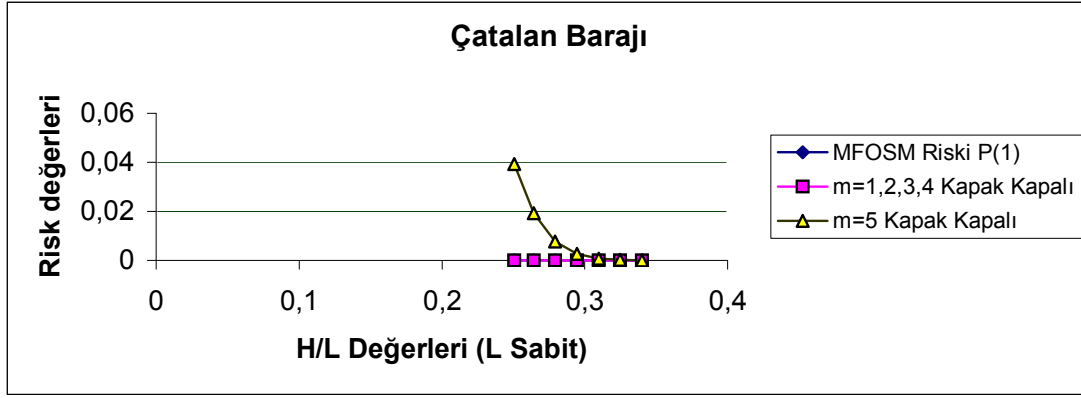
Risk analizi çalışması sonunda risk değerine rastlanmayarak (gözlenmiş maksimum akım değerleri için) güvenilir olduğu kabul edilen Demirdöven barajı ile belirli sayıda kapağın kapalı olması durumunda ortaya çıkan risklerin boyut rehabilitasyonu ile değiştiği Çatalan Barajı için özet rapor Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Demirdöven ve Çatalan barajları için risk analizi özet raporu

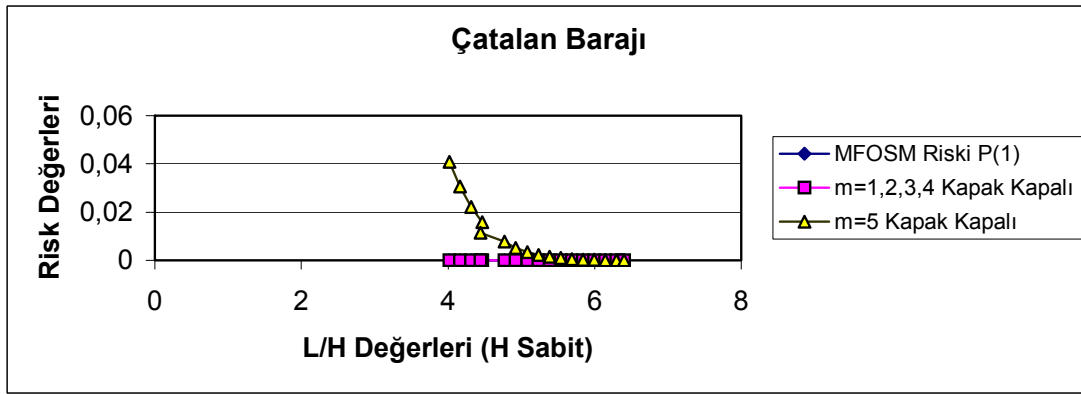
BARAJ ADI	Demirdöven	Çatalan
Yeri	Erzurum	Adana
Amacı	Sulama	Enerji, sulama, taşkın kontrolü
Dolusavak Tipi	Karşıdan alıslı, serbest	Karşıdan alıslı, kapaklı
Dolusavak Yükü (m)	1.86	16.44
Dolusavak Genişliği (m)	40	66
Proje taşkın debisi (m ³ /sn)	198	10.055
Hazne sönümlleme faktörü	1	0.74
Kapak sayısı	0	6
Akım gözlemi sayısı	22	24
MFOSM Riskleri		
QPROJE DURUMU	0	0
m=1 kapak kapalı		0
m=2 kapak kapalı		0
m=3 kapak kapalı		0
m=4 kapak kapalı		0
m=5 kapak kapalı		0
		0.0418
QGÖZLEM DURUMU	-----	-----
Q100	0.0001	0
Q200	0	0
Q500	0	0
AFOSM Riskleri		
QPROJE DURUMU	0	0
a=1 kapak kapalı		0
a=2 kapak kapalı		0
a=3 kapak kapalı		0
a=4 kapak kapalı		0
a=5 kapak kapalı		0
		0
QGÖZLEM DURUMU	-----	-----
Q100	0.0002	0
Q200	0	0
Q500	0	0
Rapor	Güvenilir	Rehabilitasyon
Rehabilite Edilen Riskler	---	m(5)=0.0418
REHABİLİTASYON BOYUTLARI	---	
Sabit L – Değişken h		L=66.00 ve H=22.54
Sabit H – Değişken L		L=105.2 ve H=16.44
Değişken L ve H		L=71.10 ve H=21.54

Çatalan barajında değişken yükseklikli veya değişken genişlikli dolusavak boyutları için riskin değişimi; Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir.

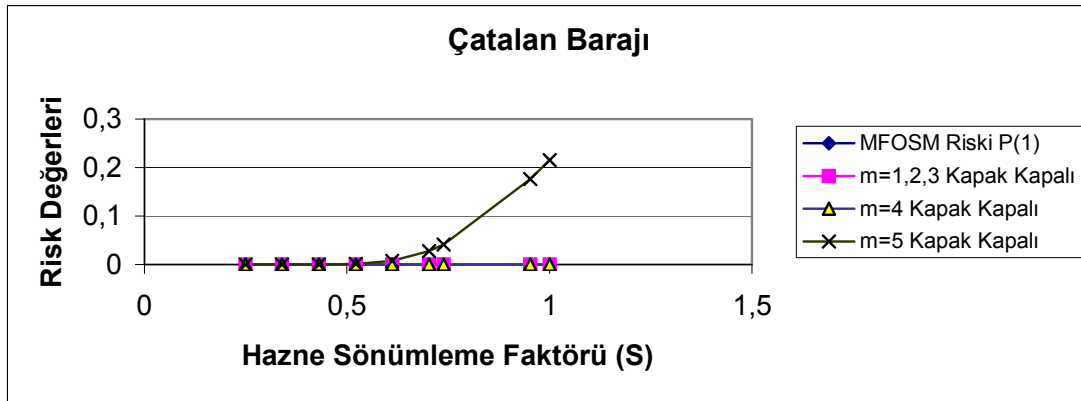
Çatalan barajı için hazne sönümlleme faktörünün risk değerinde oluşturduğu değişimleri Şekil 5'te görülmektedir.



Şekil 3. Çatalan barajı için MFOSM yöntemine göre riskin değişimi

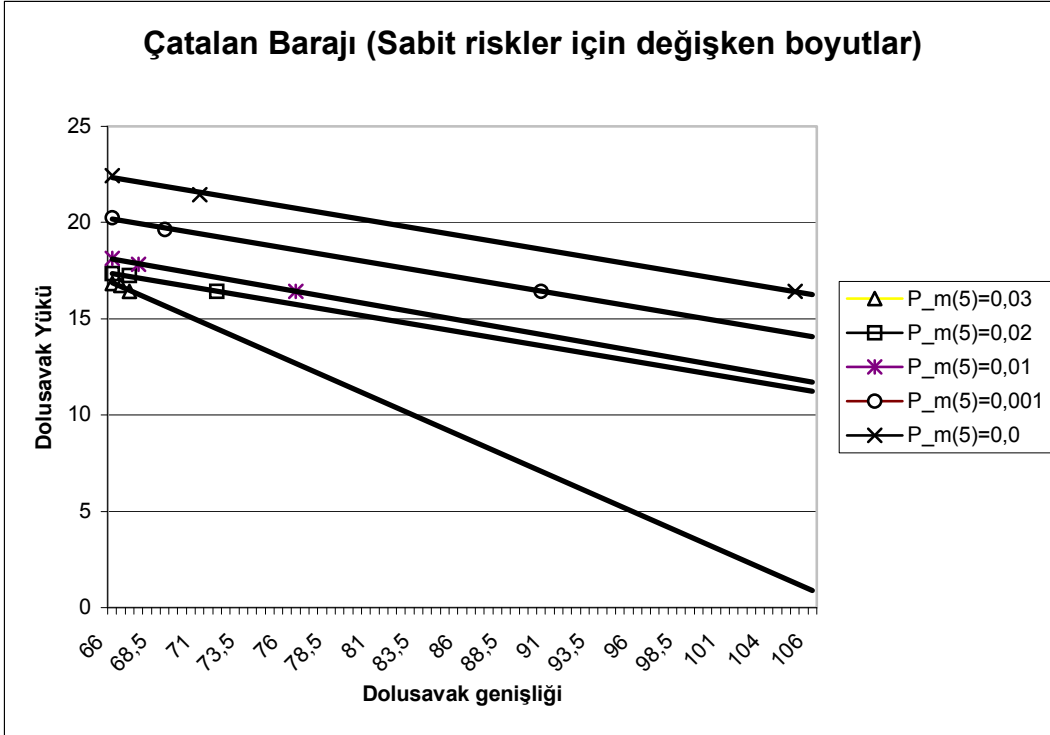


Şekil 4. Çatalan barajı için MFOSM yönteminde riskin değişimi



Şekil 5. Çatalan barajı için MFOSM yöntemine göre riskin değişimi (Değişik rezervuar seviyelerinde)

Çatalan Barajı için, risk analizi çalışması sonunda elde edilen risklerden bir kısmı için yapılabilecek farklı bir grafik değerlendirme ile aynı riskleri veren farklı boyutları kolayca görmek ve buradan hareketle, yapılabilecek herhangi bir boyut rehabilitasyonu çalışması için maliyet analizinde etkili bir veri oluşturulabildiğini görmek mümkündür. Bu işlem Çatalan Barajı için $P_m(5)=0.0418$ riskinde (MFOSM'a göre) uygulanmıştır. (Şekil 6)



Şekil 6. Çatalan barajı için benzer risk değerlerini veren dolusavak boyutlarının değişimi ($P_m(5)=0.0$ çizgisinin üstünde kalan bölge boyut bakımından güvenilir bölgedir.)

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Barajların performanslarının sürekli izlenmesi, hasara yol açabilecek herhangi bir kusurun kontrolünü sağlayacaktır. Mevcut barajlar üzerinde yapılacak çalışmalarla yetersizliklerin nedenleri, etkileri ve alınacak önlemler hakkında önemli bilgiler edinilebilir.

Bu çalışmada, bir baraj için tehlike oluşturabilecek faktörler belirlenmiş ve bunlardan baraj güvenliği açısından büyük önem taşıyan taşkınlar, etken risk faktörü olarak dolusavakların güvenilirlik düzeylerini saptamada esas alınmıştır. Riskin söz konusu olduğu durumlarda ise gerekli rehabilitasyon değerleri ortaya konmuştur.

Geliştirilen BARAJ_RİSK programı, gözlenmiş maksimum akım değerlerini istatistik anlamda işleyerek, bu değerlerle oluşabilecek taşkın değeri karşısında barajların gösterdikleri güvenlik performansını ve risk değerini hesaplamakta, risk oluşturan durumlarda teklif edilebilecek uygun boyut rehabilitasyonunu belirleyerek, teknik ve mali analize hazır hale getirmektedir.

Program içerisinde risk hesaplama yöntemi olarak yeni geliştirilen, yapıların toplam ve bileşke risklerini belirlemede kullanılabilen güçlü metotlar olarak kabul edilen MFOSM ve AFOSM kullanılmaktadır. Ancak BARAJ_RİSK programında yapılacak bir revizyonla yine aynı programda veya benzeri programlarda, daha önceki bölümlerde adı geçen çeşitli yöntemlerden bir veya birkaçının kullanılması olanağı da vardır.

Yukarıda sözü edilen yöntemler, parametre dağılımının normal dağılıma uyduğu kabulü ile hesap yapıldığından, çalışılan barajlara ait gözlem verilerinin normal dağılıma uyduğu kabulü ile analiz yapılmıştır. Söz konusu program, dağılımların normal dağılıma dönüştürülmesi işlemini kapsayacak şekilde genişletilebilir.

Program içerisinde kullanılan dolusavak debi formülasyonları ve debi katsayılarının hesabı için, dolusavak tipi olarak kapaklı veya kapaksız, karşıdan alıslı, serbest akışlı dolusavaklara ait hesaplara

uygunluk söz konusu olup, diğer dolusavak tiplerine göre hesap durumunda program içinde gerekli düzenlemeler yapılabilir.

Söz konusu program, hem inşa ve hem de işletmedeki barajların risk değerlendirmelerini gözlenmiş akım değerlerine dayanarak belirleyebildiği gibi, henüz proje aşamasındaki barajlar için de önemli bir değerlendirme mekanizması olarak kullanılabilir. Böylelikle, baraj henüz tasarım aşamasında iken gerektiğinde revizyona tabi tutulabilecektir.

Dahası rehabilitasyon çalışmasının da aynı program içinde bulunuyor olması, kullanıcı için çok büyük kolaylık ve sürat sağlamaktadır. Kısacası program, sadece baraj güvenliğinin seviyesini belirlemekle kalmamakta, baraj nasıl güvenli seviyeye gelir sorusuna cevap ta vermektedir.

Geliştirilen programın pratikte uygulanabilirliğinin gösterilmesi bakımından bazı barajların gerçek gözlenmiş değerleriyle uygulamalar yapılmış ve bunlara ait sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- Demirdöven barajının, proje taşkın debisi esas alınarak yapılan risk analizinde, gözlenmiş maksimum akım değerlerine dayanan bir taşkın durumunda risk değerleri sıfır sonucunu vermektedir.
- Çatalan Barajı için MFOSM metoduna göre yapılan analiz sonucunda, dolusavağın altı kapağından dört kapağı kapalı iken risk görülmemekte, beşinin kapalı kalması durumunda ise 0.0418'lik bir risk değeri söz konusu olmaktadır.

Söz konusu bu barajlar için AFOSM metoduna göre yapılan risk analizi sonucunda herhangi bir risk değeri elde edilmemiştir. Risk değeri saptanan barajlar için yapılan boyut rehabilitasyonu sonucunda; Çatalan Barajının dolusavak kapaklarının bir bölümünün kapalı olması durumunda, gelen taşkın karşısında alternatif olabilecek çeşitli dolusavak boyutları için risk değerlerinde düşme gözlenmiştir.

Üstelik elde edilen boyut rehabilitasyonu değerlerinin risk ile değişimini gösteren grafik, risksiz bölgeyi göstermesi ve alınacak önlemler için baraj yerinin özelliklerine, teknik ve mali koşullara bağlı olarak en uygun boyut değerlerini de kapsaması bakımından önemlidir.

Haznenin normal su seviyesindeki rezervuar hacmi ile, maksimum su seviyesindeki rezervuar hacminin bir fonksiyonu olan hazne sönümleme faktörü, risk değerinin hesabı için kullanılan MFOSM ve AFOSM yöntemlerinin her ikisinde de önemli olup sonuçta oldukça etkili olduğu görülmüştür. Bu yüzden riskin azaltılması amacıyla yapılan boyut rehabilitasyonunun yanı sıra barajın işletme şekli ve dolusavak tipi ile yakından ilgili olan bu faktörde yapılabilecek bir değişiklik te risk değerlerini önemli ölçüde değiştirebilecektir.

Öte yandan sayısal anlamda sıfır çıkması durumunda bile riskin asla ortadan kalkmadığı, riskin hesabında kullanılan verilerin stokastik özellikli hidrolojik ve meteorolojik değerler olduğu ve dolayısıyla zaman içinde gözlenen yeni değerlerin değişmesiyle risk değerlerinde de değişimler olabileceği gerçeğinden hareketle;

- her zaman için kabul edilebilir bir risk değerinin belirlenmesi ve olasılığı oldukça düşük tutulması gereken bu değere göre boyutlandırma yapmanın zorunluluğu,
- buna rağmen teorik anlamda kabul edilen risk ve boyut değerlerinin pratiğe dökülmesi esnasında, mali ve teknolojik kısıtlar başta olmak üzere daha pek çok bağlayıcı faktörün de göz ardı edilmemesi gerektiği unutulmamalıdır. (Yenigün, 2001)

Programla görülebilecek bir riskin azaltılması amacıyla yapılacak rehabilitasyon çalışmasının temeli, dolusavak boyutlarındaki değişime ve hazne işletme seviyesinin belirlediği hazne sönümleme faktörüne dayanmakta olup, benzeri bir risk azaltma çalışması için kullanılacak alternatif faktörlerin tip ve büyüklükleri irdelemeye açıktır.

BARAJ_RİSK programı özgün bir program olarak, barajın ömrü boyunca gözlenecek maksimum taşkın değerlerini işleyen ve güncel risk değerlendirmesi yapan kişi veya uzman grubuna, akademisyene, etüt ve plan sorumlusuna, proje tasarımcısına, uygulamacı durumundaki özel ve kamu birimlerine etkin, hızlı ve güvenilir bir araç olarak görev yapabilme özelliğine sahiptir.

Sonuç olarak bu çalışmada geliştirilen program, yeni verilerin kolayca işlenebildiği, istatistik yorumlara açıklığı, gerek kullanılan risk yöntemleri ve gerekse bu yöntemlerin değişik versiyonlardaki kullanımlarının esnekliği (farklı sayıdaki dolusavak kapaklarının kullanılması durumundaki risk, değişik dolusavak boyutlarındaki risk, vs. gibi) rahat kullanımdan dolayı, esnek bir yapıda olup, rehabilitasyon ve uyarlamalara kolayca adapte olabildiğinden, uzun süreli bir kullanım sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Ang, A.H.S., Tang, W.H., 1984. *Probability Concepts In Engineering Planning And design*, Vol:2, Decision, Risk And Reliability, John Wiley And Sons Inc., USA.
- Anonymous, 1987. Çatalan Barajı Ve HES Tesisleri Kati Projesi, C:1, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Anonymous, 1991. Hidrolojik Analiz ve Tasarım, İTÜ İnşaat Fakültesi, Hidrolik Anabilim Dalı, EİEİ için hazırlanıp yayımlanmamış, İstanbul.
- Anonymous, 1996. *Engineering end Design – Risk Based Analysis For Flood Damage Reduction Studies*, Department of the Army, US Army Corps of Engineers, Washington DC, 20314-1000, USA.
- Anonymous, 1998. Guidelines For Operation And Maintenance Of Dams In Texas, Office of Water Resource Management, Water Quantity Division, Flood & Weather Management Section, Dam Safety Team, Texas, USA.
- Bayazıt, M., Oğuz, B., 1985. Mühendisler İçin İstatistik, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Bayazıt, M., 1981. Hidrolojide İstatistik Yöntemler, İTÜ Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M., 1996. İnşaat Mühendisliğinde Olasılık Yöntemleri, İTÜ, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bowles, S.D., Parsons, A.M., Anderson, L.R., Glover, T.F., 1998. Portfolio Risk Assessment of SA Water's Large Dams, *Proceedings of the 1998 Australian Committee on Large Dams ANCOLD Annual Meeting*, Sydney, New South Wales, Australia.
- Bowles, S.D., Anderson, L.R., et al., 1998a. The Practice of Dam Safety Risk Assessment and Management: Its Roots, Its Branches, And Its Fruit, *Presented at Eighteenth USCOLD Annual Meeting and Lecture*, Buffalo, New York.
- Cheng, S.T., Yen, B.C., Tang, W.H., 1993. Stochastic Risk Modeling Of Dam Overtopping, *Reliability And Uncertainty Analyses In Hydraulic Design*, p.123, ASCE, New York, USA.
- Cheng, S.T., 1993. Statistics Of Dam Failures, *Reliability And Uncertainty Analyses In Hydraulic Design*, p.97, ASCE, New York, USA.
- Cooper, D.F., Chapman, C.B., 1993. Risk Analysis for Large Projects, John Wiley and Sons, USA.
- Davis, S.R., 1996. Learn Java Now, Microsoft Press, USA.
- Erkek, C., Ağırlioğlu, N., 1986. Su Kaynakları Mühendisliği, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Kite, G.W., 1976. Frequency and Risk Analyses in Hydrology, Inland Waters Directorate, Water Resources Branch, Applied Hydrology Division, Network Planning and Forecasting Section, Ottawa, Canada.
- Kulga, Z., Dizdar, M., 1994. Türkiye Akarsu Havzaları Maksimum Akımlar Frekans Analizi, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kulga, Z., 1997. Türkiye Barajlarının Hidrolojik Yönden Güvenlik Kontrolü, TMMOB İnşaat Müh. Odası, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 392, 21-23, Ankara.
- Landels, J.G., 1996. Eski Yunan ve Roma'da Mühendislik, Çeviri: Barış Bıçakçı, Tübitak Yayınları, Kavaklıdere, Ankara.
- Maidment D.R., 1993. Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, Inc. USA.
- Mirtskhoulava, D.Ts., 1993. On The Estimation Of Reliability Of Hydraulic Structures, *Reliability And Uncertainty Analyses In Hydraulic Design*, p.221, ASCE, New York, USA.

- Morgan, M.G., Henrion, M., 1992. *Uncertainty: A Guide to Dealing with Uncertainty in Quantitative Risk and Policy Analysis*, Cambridge University Press, USA.
- Nielsen N.M., Vick S.G., Hartford D.N.D., 1994. Risk Analysis in British Columbia, *International Water Power and Dam Construction*, Vol:45, 8, 35-40, UK.
- Orhon, M., Esendal, S., Kazak, M.A., 1991. Türkiye'deki Barajlar, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Özkan, Ş.Ö., Yılmaz, Ş., 1999. Türkiye'deki Barajlar ve Hidroelektrik Santraller, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Roland, H.E., Moriarty, B., 1990. *System Safety Engineering And Management*, John Wiley And Sons, Canada.
- Salmon G.M., Cattanch D., 1997. Risk Management at Wahleach Dam, *Civil Engineering*, Vol.67, 2, 39-41.
- Salmon G.M., Hartford D.N.D., 1995. Risk Analysis for Dam Safety, *International Water Power and Dam Safety*, Vol:47, 3, 42-47, UK.
- Tung, Y.K., Yen, B.C., 1993. Some Recent Progress In Uncertainty Analysis For Hydraulic Design, *Reliability And Uncertainty Analyses In Hydraulic Design*, p.17, ASCE, New York, USA.
- Türkman F., 1990. Su Yapılarının Risk Ve Güvenilirliğinin Belirlenmesi, *Su Mühendisliği Problemleri Semineri*, DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Uzel, T., 1991. Barajların Güvenliği, Yıldız Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Yen, B:C., Tung Y.K., 1993. Some Recent Progress In Reliability Analysis For Hydraulic Design, *Reliability And Uncertainty Analyses In Hydraulic Design*, p.35, ASCE, New York, USA.
- Yen, B.C., Cheng, S.T., Melching, C.S., 1986. First Order Reliability Analysis, *Stochastic And Risk Analysis In Hydraulic Engineering*, p.1, Water Resources Pub., Littleton, USA.
- Yenigün,K., 2001. Barajların Güvenliği ve Dolusavak Boyutlarının Risk Düzeyine Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (Yayımlanmamış doktora tezi), İstanbul.
- Yıldız, D., 1998. Baraj Güvenliği Ve Dolusavaklar, TMMOB İnşaat Müh. Odası, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi*, 393, 26-38, Ankara.