




Tanyeri Barajı örneğinde barajların taşkın nedeniyle üstten aşılma güvenilirliğinin belirlenmesi

Melih Çalamak* 

TED Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 06420, Ankara, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Türkiye'deki bir barajın üstten aşma güvenilirliği
- Belirsiz taşkın pik debisi, yüzey akış hacmi ve hazne başlangıç su seviyesi
- Taşkın yüzey akış hacminin olasılıksal olarak belirlenmesi

Makale Bilgileri

Geliş: 28.06.2016

Kabul: 05.11.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.337652

Anahtar Kelimeler:

Taşkın,
barajlar,
üstten aşma,
güvenilirlik,
monte carlo benzeşimi

ÖZET

Barajların taşkın dalgasıyla üstten aşılması tarihte en sık rastlanan baraj göçme nedenlerinden birisidir. Bu çalışmada, Tanyeri Barajı'nın üstten aşılma güvenilirliği olasılık yöntemlerle değerlendirilmiştir. Bu amaçla Monte Carlo benzeşimiyle iki değişkenli taşkın hidrografları ile taşkın öncesindeki hazne su seviyeleri rastgele olarak üretilmiş ve maksimum taşkın dalgası seviyesinin barajın kret seviyesini geçme olasılığı elde edilmiştir. Ele alınan çeşitli senaryolarda dolusavağın ve dipsavağın çalışmadığı durum dahi göz önüne alınmış ve çeşitli değerlendirilmelerde bulunulmuştur. Analiz sonuçlarına göre Tanyeri Barajı'nın dolusavağı çalışırken 10000 yıllık tekrür süresine sahip olası taşkınlarda bile üstten aşılma olasılığının bulunmadığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca taşkın anındaki maksimum hazne su seviyesinin taşkın öncesindeki hazne su seviyesine doğrudan bağlı olduğu gösterilmiştir.

Estimation of flood induced overtopping reliability of dams on Tanyeri Dam case study

H I G H L I G H T S

- Overtopping reliability of a dam in Turkey
- Uncertain flood peak discharge, surface runoff volume and initial reservoir level
- The probabilistic determination of flood surface runoff volume

Article Info

Received: 28.06.2016

Accepted: 05.11.2016

DOI:

10.17341/gazimmfd.337652

Keywords:

Flood,
dams,
overtopping,
reliability,
monte carlo simulation

ABSTRACT

The flood induced overtopping of dams is one of the most observed failure reasons in history. In this study, the overtopping reliability of Tanyeri Dam is evaluated in a probabilistic manner. To this end, flood hydrographs having two variables and initial water level of the reservoir are randomly generated and the probability of exceedance of the dam crest elevation is evaluated using Monte Carlo simulation. Several scenarios, including the case that both the spillway and the bottom outlet are not working, are considered and their effects on the dam overtopping reliability are assessed. According to the results, Tanyeri Dam is found to be 100% reliable when its spillway operates during a possible flood having 10000-year return period. In addition, it is shown that the maximum reservoir level observed during a flood is directly dependent on the initial water level of the reservoir.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Baraj göçmeleri, büyük miktarda can ve mal kayıplarına ve önemli çevre felaketlerine neden olabilecek felaketlerdir. Bunların nedenleri arasında barajın üstten aşılması, baraj gövdesinde ya da temelinde aşırı sızma, borulanma ve baraj gövdesinin şev stabilitesini yitirmesi gibi durumlar bulunmaktadır. Dünyada bugüne kadar birçok baraj göçmesi kazası yaşanmıştır. Örneğin, Amerika'nın Idaho Eyaleti'nde bulunan Teton Barajı aşırı sızma sonucu oluşan borulanma nedeniyle 1976 yılında baraj gövdesi oyularak göçmüş, 11 kişinin ölümüne ve milyar dolarlık zararların oluşmasına neden olmuştur [1]. İtalya'daki Vajont Barajı ise haznesinde gerçekleşen büyük hacimli bir toprak kayması sonucu oluşan dalgaların barajın üstünden aşması sonucunda 1963 yılında göçmüş ve 2000'den fazla insanın ölümüne sebep olmuştur [2]. Ayrıca, Bulgaristan'daki Ivanovo Barajı gövdesindeki çatlaklar sebebiyle 2012 yılında göçmüş ve 8 kişinin ölümüne neden olmuştur [3]. Baraj göçmeleri üzerinde yapılan istatistiksel bir çalışmaya göre en çok gözlemlenen baraj göçme nedeni %43'lük bir oranla barajın üstten aşılmasıdır [4]. Baraj göçmeleri üzerinde yapılan başka bir çalışma ise göçen baraj tiplerinin büyük bölümünü toprak ve kaya dolgu barajların oluşturduğunu göstermiştir [5]. Dolayısıyla dolgu barajların üstten aşılma güvenilirliği üzerindeki çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Dolusavak ya da haznelerinin taşkın kontrol kapasitelerinin yetersiz oluşu nedeniyle barajlar bir taşkın anında üstten aşılabilir. Barajın üstten aşılma olasılığını en aza indirmek için havzada gözlemlenebilecek ekstrem hidrograflar belirlenmeli ve bunlara göre tasarım yapılmalıdır. Bir dolusavak yapısının güvenle geçirebileceği maksimum taşkın debisi, o yapının tasarım debisi olarak adlandırılır. Dolusavakların tasarım debisinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılan yöntem tek değişkenli taşkın frekans analizidir. Bu analizde, yalnızca akımda gözlemlenen pik debiler kullanılarak farklı dönüş aralıkları için baraj sahasındaki taşkın debileri belirlenir. Fakat bu yöntem taşkın hidrografının hacmi, süresi ve şekli gibi önemli özellikleri ve bu özelliklerdeki belirsizlikleri göz ardı ettiğinden yüksek doğruluğa sahip bir yöntem değildir. Dolayısıyla, baraj tasarımlarında hem iki ya da çok değişkenli taşkın frekans analizleri yapılmalı hem de tasarım parametrelerinin belirsizlikleri göz önünde bulundurulmalıdır. Şarlak ve Tiğrek [6] çalışmalarında parametrik olmayan bir yöntemle Kayraktepe Barajı'nın farklı görülme sıklıklarındaki taşkın akımı debilerini belirlemiş ve parametrik bir yöntemin sonuçlarıyla karşılaştırmıştır. Çalışmada parametrik yöntemin daha büyük tasarım debileri verdiği saptanmıştır. Saka ve Yüksek [7] bir havzanın çeşitli tekerrür sürelerine sahip taşkın debilerinin, havzanın drenaj alanı, drenaj yoğunluğu ve ortalama yıllık toplam yağışın belirlediğini göstermiştir. Seçkin ve Topçu [8] ise bölgesel frekans analizi ile Adana ve çevresindeki illerin yıllık maksimum yağış değerlerinin genelleştirilmiş lojistik dağılım izlediğini ortaya çıkarmış ve bölgedeki olası bir hidrolik yapının tasarımında kullanılabilecek tablolar üretmiştir. Cunnane [9] ve Bobee ve

Rasmussen [10] iki ya da çok değişkenli taşkın frekans analizleriyle ilgili araştırmalar yürütmüşler ve bunların tek değişkenli analizlere göre taşkını daha doğru tanımladığı sonucuna varmışlardır. Bu alanda, taşkın pik debisi, hacmi ve diğer değişkenleri için farklı olasılık yoğunluk fonksiyonlarının kullanıldığı oldukça fazla çalışma bulunmaktadır. Yue [11] bunlar için iki değişkenli gamma dağılımını kullanırken, Yue ve Rasmussen [12] ve De Michele vd. [13] iki değişkenli ekstrem değer dağılımını kullanmıştır. Olasılık yöntemlerle bir barajın farklı göçme durumlarına karşı güvenilirliği belirlenebilmektedir. Dünyada halen baraj tasarımları genellikle deterministik yöntemlerle yapılırsa da son zamanlarda olasılık yöntemlere dayanan baraj tasarımı üzerine olan araştırmalar ve çalışmalar artmaktadır. Bu yöntemle barajların sadece üstten aşılma güvenilirliği değil sızma davranışlarının belirsizliği dahi incelenmektedir [14, 15]. Erdik vd. [16] iki değişkenli taşkın frekans analizi kullanarak Munzur Nehri üzerindeki Akyayık Barajı'nın üstten aşılma olasılığını hesaplamıştır. Çalışmada taşkın pik debisi ve yüzey hacmi, hazne başlangıç su seviyesi ve rüzgâr hızı belirsiz girdi parametreleri olarak ele alınmış, Monte Carlo benzeşimi ve Latin Hiperküüp örnekleme yöntemleri kullanılmıştır. Goodarzi vd. [17] ise bir değişkenli ve iki değişkenli taşkın frekans analizlerinin barajların üstten aşılma olasılığı üzerine olan etkilerini incelemiş ve ikincinin diğerinden üstün olduğunu ve daha doğru sonuçlar verdiğini belirtmiştir.

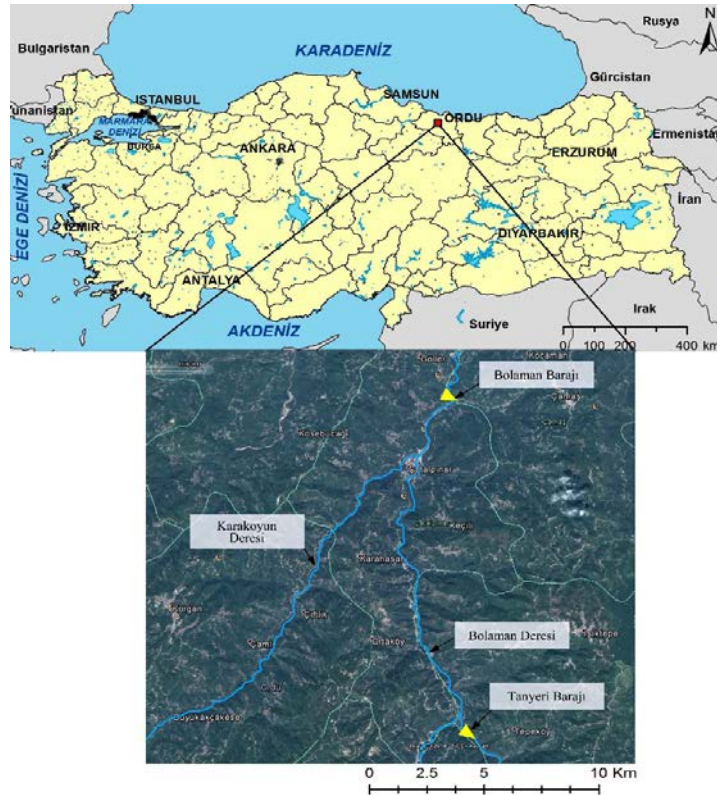
Yanmaz ve Günindi [18] çalışmalarında Fol Deresi üzerinde bulunan bir taşkın koruma barajının üstten aşılma olasılığını iki değişkenli taşkın tekerrür analizi yaparak hesaplamışlardır. Barajın maksimum hazne su seviyesi, taşkın pik debisi ve yüzey akış hacminin belirsizliği kullanılarak belirlenmiş, Monte Carlo benzeşimiyle baraj güvenilirliği hesaplanmıştır. Kwon ve Moon [19] Güney Kore'deki Soyang Barajı üzerinde yaptığı araştırmada belirsiz parametreler için parametrik olmayan olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanımını ve rastgele hazne başlangıç su seviyesi için Bootstrap örnekleme yöntemini önermiş ve bu yöntemlerin barajların üstten aşılma olasılığının hesaplanmasında daha iyi sonuçlar verdiğini belirtmiştir. Literatürde, Monte Carlo benzeşimi ve Latin Hiperküüp örneklemesinin yanı sıra birinci derece ikinci moment (FOSM) yöntemi [20], gelişmiş FOSM (AFOSM) [21, 22] yöntemleri de barajların üstten aşılma olasılığının araştırılmasında kullanılmıştır. Bu çalışmada Tanyeri Barajı'nın üstten aşılma güvenilirliği iki değişkenli rastgele taşkın hidrografları ve Monte Carlo benzeşimleri kullanılarak farklı durumlar için araştırılmıştır. Stokastik analizlerde taşkın pik debisi, yüzey akış hacmi ve hazne başlangıç su seviyesi belirsiz değişkenler olarak ele alınmıştır. Literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak, taşkın yüzey akış hacmi belli olmayan akımlardaki hacmi olasılık yöntemlerle belirleyebilmek için bir metod önerilmiş ve bundan yararlanılmıştır. Farklı taşkın tekerrür sürelerinde, hazne başlangıç su seviyesinin belirsizliğinin üstten aşılma güvenilirliğine ve taşkın anında gözlemlenen maksimum su seviyesine olan etkileri incelenmiştir.

2. VAKA ANALİZİ (CASE STUDY)

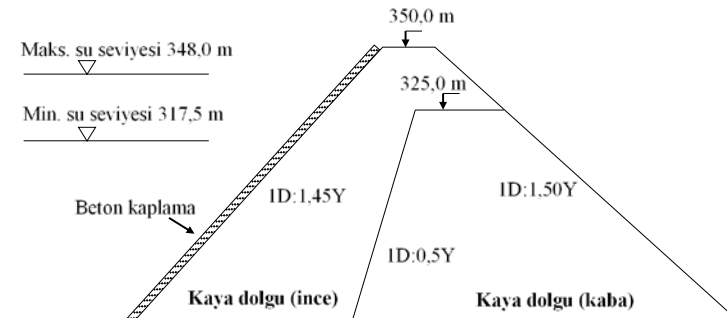
Bu çalışmada vaka analizi olarak Tanyeri Barajı'nda taşkın dalgasının üstten aşması durumu için barajın güvenilirliği araştırılmıştır. Tanyeri Barajı, Ordu ili, Bolaman Havzası'ndaki Bolaman Deresi üzerinde bulunmaktadır. Barajın Türkiye'deki konumu Şekil 1'de gösterilmiştir.

Barajın havza alanı 736,50 km², baraj yeri ortalama akımı 11,76 m³/s'dir. Baraj tipi ön yüzü beton kaplı kaya dolgudur. Barajın kret kotu 350,0 m, talvegden yüksekliği 100,0 m ve hazne maksimum su seviyesi 348,0 m'dir. Barajın memba yüzü eğimi 1D:1,45Y, mansap şevinin eğimi ise 1D:1,50Y'dir. Barajda üç radyal kapaklı, 33 m uzunluğa ve 2514 m³/s'lik deşarj kapasitesine sahip, su alma kotu 337,0 m olan bir dolusavak bulunmaktadır. Ayrıca, 38,8 m³/s'lik

deşarj kapasitesine sahip, su alma kotu 311,5 m olan bir dipsavak da bulunmaktadır. Barajın genel amaçlarından biri enerji üretimidir. Barajda toplam kurulu gücü 46,7 MW olan iki türbin bulunmaktadır. Baraj gövdesinin en kesit görünümü Şekil 2'de, baraj aksı yıllık maksimum debileri Tablo 1'de verilmiştir. Bu debiler üzerinde yapılan istatistiksel analizde, debilerin genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımına (GEV) sahip olduğu belirlenmiş ve bu dağılımın parametreleri olan şekil parametresi, k , ölçek parametresi σ , ve konum parametresi, μ , sırasıyla 0,104, 6,79 ve 23,32 olarak belirlenmiştir. Barajın üzerine kurulu olduğu akımın taşkın yüzey akış hacmi elde edilememiştir. Bunun tahmini için çalışmada istatistiksel bir yöntem önerilmiş ve bundan yararlanılmıştır. Çalışmada Tanyeri Barajı'nın seçilmesinin amacı barajın esas amacının enerji üretimi olması ve bu barajların üstten aşılmaya karşı hassas



Şekil 1. Tanyeri Barajı'nın Türkiye'deki yeri [23] (The location of Tanyeri Dam in Turkey)



Şekil 2. Tanyeri Barajı gövde profili (The body profile of Tanyeri Dam)

Tablo 1. Tanyeri Barajı aksı yıllık maksimum debileri (The annual maximum flows of the axis of Tanyeri Dam) [24]

Yıl	Q _{y,p} (m ³ /s)	Yıl	Q _{y,p} (m ³ /s)	Yıl	Q _{y,p} (m ³ /s)	Yıl	Q _{y,p} (m ³ /s)
1965	12,76	1979	20,98	1993	33,95	2007	29,32
1966	14,54	1980	25,03	1994	23,37	2008	45,62
1967	21,83	1981	16,71	1995	34,80	2009	23,02
1968	21,89	1982	32,04	1996	31,70	2010	58,31
1969	28,32	1983	32,12	1997	33,05		
1970	20,20	1984	23,92	1998	24,60		
1971	22,96	1985	26,15	1999	22,76		
1972	24,83	1986	19,24	2000	45,36		
1973	18,41	1987	39,48	2001	17,53		
1974	17,56	1988	25,33	2002	28,07		
1975	18,92	1989	23,48	2003	59,20		
1976	24,48	1990	31,11	2004	38,34		
1977	25,10	1991	29,96	2005	38,17		
1978	26,41	1992	27,84	2006	29,97		

olmasıdır. Zira birincil amacı enerji üretimi olan barajlar işletme ömrü boyunca hazne seviyeleri maksimuma yakın tutulmakta ve bu da barajı olası bir taşkın anında üstten aşılmaya karşı duyarlı hale getirebilmektedir. Ayrıca, Tanyeri Barajı'nın mansabında Bolaman Barajı bulunmaktadır ve Tanyeri Barajı'nın olası bir göçme durumunda Bolaman Barajı'nın da göçmesi yüksek bir ihtimaldir.

3. HAZNE TAŞKIN ÖTELEMESİ (RESERVOIR FLOOD ROUTING)

Barajların üstten aşılma olasılığının belirlenebilmesi için haznedeki maksimum su seviyesinin belirlenmesi gerekmektedir. Bir haznenin su seviyesi, giriş ve çıkış hidrografına ve haznenin depolama kapasitesine bağlı olarak değişmektedir. Haznedeki su seviyesinin zamana bağlı değişimi, hazne taşkın ötelemesi Eş. 1 ile belirlenebilir [25]:

$$\frac{dh}{dt} = \frac{I(t) - Q(t)}{A(h)} \quad (1)$$

Yukarıdaki denklemde h su seviyesinin kotunu, t zamanı, $I(t)$ hazne giriş hidrografını, $Q(t)$ su yüksekliğine bağlı çıkış hidrografını, $A(h)$ ise haznenin alan-kot ilişkisini göstermektedir. Tanyeri Barajı'nda çıkış yapıları olarak dolusavak, dipsavak ve enerji tüneli bulunmaktadır. Fakat barajın üstten aşılma olasılığı hesaplanırken, türbinlerin mekanik bir problem sebebiyle çalışmadığı ve enerji tüneli çıkışının tamamen kapalı olduğu varsayılmıştır. Dolusavak ve dipsavak çıkış akımlarının ilişkileri barajın hidrolik hesap raporundan [26] alınmıştır. Haznenin alan-kot ilişkisi ise Eş. 2'de verilmiştir.

$$A(h) = 0,5533h^3 - 312,35h^2 + 53094,59h - 2.39 \times 10^6 \quad (2)$$

Eş. 2'de h m cinsinden hazne su kotunu, $A(h)$ ise m² cinsinden hazne yüzey alanını göstermektedir. Haznedeki maksimum su seviyesinin elde edilmesi amacıyla Eş. 1'in çözülmesi gerekmektedir. Bu amaçla çalışmada dördüncü dereceden Runge-Kutta yöntemi kullanılmıştır. Eş. 1 sonlu farklar yöntemi ile ayrık hale getirildiğinde dt , Δt ile yer

değiştirmekte ve Δt su seviyesinin hesaplandığı zaman aralığını göstermektedir. Δt azaltıldığında elde edilen su seviyeleri sonuçları daha hassas olmakta fakat aynı zamanda hesap yükü de artmaktadır. Bu çalışmadaki taşkın öteleme analizlerinde zaman aralığı, Δt , 5 dakika olarak seçilmiştir.

4. BELİRSİZLİKLERİN ANALİZİ (ANALYSIS OF UNCERTAINTIES)

Belirsizlik, bir değişkenin değerinin kesin olarak belirlenememesi durumudur. Özellikle su kaynakları mühendisliğinde, tasarımda ya da analizlerde kullanılan değişkenlerin doğada rastgele bir biçimde oluştuğu gözlemlenmektedir. Sistemler ancak bu belirsizliklerin ele alınması ile gerçeğe en yakın olarak modellenilebilir. Su kaynakları mühendisliğindeki belirsizliklerin ele alınmasında analitik ve yaklaşım yöntemleri kullanılabilir [27]. Bu çalışmada yaklaşım yöntemlerinden biri olan Monte Carlo benzeşimi kullanılmıştır. Bu yöntem hidrosistemlerin risk ve güvenilirlik hesaplarında sıklıkla kullanılmaktadır [27]. Bu yaklaşım, benzeşimi yapılacak olan sistemin girdi değişkenlerinin olasılık yoğunluk fonksiyonları kullanılarak rastgele olarak üretilmesi ve bunların oluşturacağı rastgele çıktılarının ya da sistem davranışlarının elde edilmesine dayanmaktadır. Monte Carlo benzeşimlerinde çok sayıda tekrarlayan analizlerin yapılması esastır.

4.1. Taşkın Hidrograflarının Belirsizliği ve Bunların Belirlenmesi (The Uncertainty of Flood Hydrographs and Determination of the Uncertainty)

4.1.1. Hidrograf parametrelerinin belirsizliği (The uncertainty of hydrograph parameters)

Baraj tasarımında farklı tekerrür sürelerine sahip taşkın hidrograflarının elde edilmesi, hem hazne su seviyesi davranışının hem de çıkış hidrograflarının belirlenebilmesi açısından çok önemlidir. Taşkın frekans analizlerinde genellikle taşkın pik debisinin (Q_p) belirlenebilmesine odaklanılmaktadır. Bir barajın tasarım aşamasında taşkın pik debisiyle dolusavak uzunluğu belirlenebilir. Benzer bir biçimde, köprüler ve sanat yapıları yalnızca taşkın pik

debisiyle tasarlanabilir. Fakat tek başına pik debi taşkın hakkında yeterli bilgi vermemektedir. Zira taşkın hidrografi, taşkın pik debisi, Q_p , taşkın oluşturduğu yüzey akışı hacmi, V , pik, t_p , ve taban, t_b , süreleri ile gerçekçi olarak tanımlanabilmektedir. Bu değişkenlerin ve bunlardaki belirsizliklerin göz önünde bulundurulması analizlerde daha güvenilir sonuçlar alınmasını sağlamaktadır. Hidrolojik değişkenler genellikle çarpık bir olasılık yoğunluk fonksiyonuna sahiptir ve normal dağılım ile tanımlanamazlar. Literatürde bununla ilgili çeşitli çalışmalara rastlanmaktadır.

Sackl ve Bergman [28] yaptıkları taşkın frekans analizinde, taşkın pik debisi ve yüzey akışı hacmi için iki değişkenli normal dağılım kullanmışlardır. Ayrıca, üç değişkenli Gumbel dağılımı [29], iki değişkenli lognormal dağılım [29, 30] ve iki değişkenli gamma dağılımının [11, 30] kullandığı çalışmalar da bulunmaktadır. Bazı çalışmalarda taşkın pik debisi [31, 32], ve yüzey akışı hacminin gamma dağılımına sahip olduğu belirtilmiştir [33, 34]. Mediero vd. [35] çalışmasında taşkın pikleri ve hacimlerinin genelleştirilmiş ekstrem değer dağılımına sahip olduğu belirtilmiştir. Fakat bu parametrelerin dağılım tipi bölgesel olarak değişkenlik gösterebilmektedir. Türkiye’deki akımların taşkın pik debilerinin istatistiksel özellikleri çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Bu çalışmaların en kapsamlılarından biri Seçkin vd. [36] tarafından yürütülmüştür. Türkiye’de bulunan 543 akım gözlem istasyonundan elde edilen yıllık taşkın pik debileri L-moment yöntemiyle istatistiksel olarak incelenmiş ve denenen çeşitli olasılık yoğunluk fonksiyonları arasında taşkın pik debilerinin GEV dağılımını izlediği bulunmuştur. Bayazıt vd. [37] çalışmasında da Türkiye akımlarındaki taşkın pik debilerinin GEV dağılımını izlediği belirtilmiştir. Seçkin vd. [36] çalışmasında ayrıca Türkiye’deki akımların farklı tekerrür sürelerinde taşkın pik debilerinin tayin edilebilmesi için Eş. 3 ile geliştirilmiştir.

$$Q_p = \left(\xi + \left(\frac{\alpha}{k} \right) [1 - (-\ln F)^k] \right) Q_{ave} \quad (3)$$

Yukarıda, Q_p , T_r tekerrür süresine sahip taşkın pik debisini, ξ , α ve k GEV dağılımı parametrelerini, F , taşkın aşılma olasılığını, Q_{ave} ise yıllık maksimum debilerin ortalamasını göstermektedir. Bu denklemdeki GEV dağılımı parametreleri Türkiye için $\xi=0,704$, $\alpha=0,406$ ve $k=-0,136$ ’dır. Ayrıca, farklı tekerrür süreleri için Q_p hesaplanırken Q_{ave} değerinin büyütme faktörleriyle (GF), çarpılması önerilmektedir. Bu faktörlerin tekerrür sürelerine göre değişimi Tablo 2’de verilmiştir. Taşkın aşılma olasılığı, F , ise Eş. 4 ile hesaplanabilir.

$$F = 1 - 1/T_r \quad (4)$$

Literatürde, Türkiye’deki taşkınların yüzey akışı hacminin istatistiksel özelliklerinin belirlendiği bir çalışmaya rastlanmamaktadır. Fakat bazı akarsular için bu çalışmanın yapıldığı belirlenmiştir. Yanmaz ve Günindi [18], Karadeniz Bölgesi’ndeki Fol Deresi taşkınları üzerinde yaptığı çalışmada bu akım için taşkın yüzey akışı hacminin gamma dağılımını izlediğini belirlemiştir. Erdik vd. [16] çalışmasında ise Tunceli’de bulunan Munzur Nehri verisi üzerinde yaptığı analizde buradaki taşkın yüzey akışı hacminin normal dağılımı izlediğini belirtmiştir.

4.1.2. Taşkın hidrograflarının üretilmesi (The generation of flood hydrographs)

Bir hidrografın tekerrür süresi, o hidrografta gözlemlenen debilerin aşılma olasılığının tersi olarak hesaplanır. Büyük tekerrür sürelerinin aşılma olasılığı düşük, gözlemlenebilecek debiler ve yüzey akış hacimleri yüksektir. Baraj tasarım aşamasında, farklı tekerrür sürelerine karşılık gelen olası bütün debi ve yüzey akışlarının göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu sebeple hidrograf parametrelerinin belirsizliği göz önünde bulundurularak Monte Carlo benzeşimleriyle çok sayıda sentetik taşkın hidrografi üretilebilir. Sentetik hidrograflar üretilirken baraj bölgesindeki akımın pik debisinin ve taşkın yüzey akış hacminin istatistiksel özellikleri belirlenmeli ve bunlar hidrografların üretimi sırasında korunmalıdır.

Bu çalışmadaki sentetik taşkın hidrograflarının Monte Carlo benzeşimleriyle üretimi üç adımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi farklı tekerrür süreleri için sentetik taşkın pik debilerinin üretilmesi; ikincisi, her bir sentetik pik debi için sentetik taşkın yüzey akışı hacminin üretilmesi; üçüncüsü ise sentetik olarak üretilen taşkın pik debisi ve yüzey akış hacmi çiftine karşılık gelen hidrograf şeklinin pik ve taban süresiyle birlikte belirlenmesidir. Taşkın hidrografları üretiminin birinci adımında, öncelikle barajın üzerinde kurulu olduğu akarsu üzerinde bulunan akım gözlem istasyonundan elde edilen yıllık maksimum debilerin istatistiksel özellikleri (dağılım tipi, ortalaması, varyasyon katsayısı vs.) belirlenmiştir. Daha sonra bu bilgiler ışığında Eş. 3 kullanılarak 100, 1000 ve 10000 yıl olmak üzere üç farklı tekerrür süresi için 5000’er adet taşkın pik debisi üretilmiştir. İkinci adımda, Tanyeri Barajı aksındaki yıllık maksimum pik debilere karşılık gelen yüzey akış hacimleri elde edilemediğinden (baraj giriş akımlarını veren kaydedicili akım gözlem istasyonu olmadığından) sentetik taşkın yüzey akış hacimleri üretilmiştir. Bunun için öncelikle

Tablo 2. GEV dağılımı için çeşitli tekerrür sürelerinde pik debi büyütme katsayıları
(The peak discharge growth coefficients for various return periods for GEV distribution)

T_r , Tekerrür süresi (yıl)	1,11	1,25	2	5	10	20	100	200	1000	10000
GF, Büyütme faktörü	0,384	0,517	0,856	1,378	1,771	2,187	3,294	3,846	5,344	8,141

bazı istatistiksel analizler yapılmıştır. Daha önce, Yanmaz ve Günindi [18], aynı havzada (Doğu Karadeniz Havzası) yer alan ve Tanyeri Baraj aksına kuş uçuşu yaklaşık 150 km uzaklıkta bulunan Fol Deresi'nin yıllık maksimum debisi ve bunlara karşılık gelen yüzey akış hacmi arasındaki ilişkiyi araştırmıştır. Ayrıca, Yanmaz [25] akım gözlem istasyonu olmayan havzalarda depolama tesislerinin tasarımında gerekli olan hidrograf için Horn (1987) [38] denkleminin kullanılabileceğini ifade etmiştir. Eş. 5 ile verilen hidrograf şöyledir:

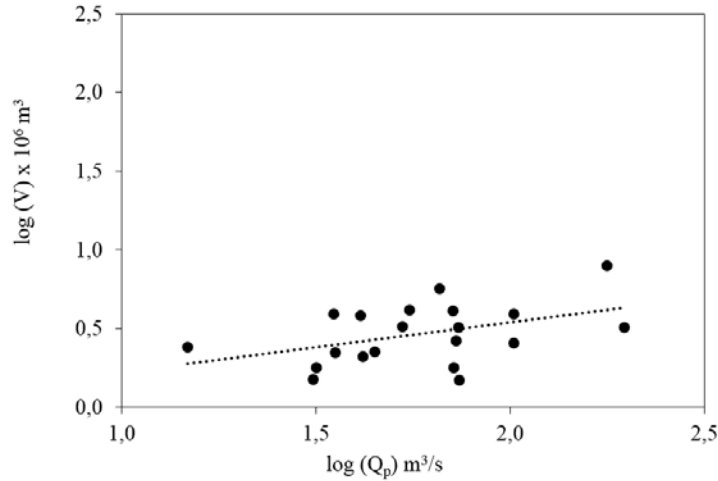
$$Q(t) = Q_p \left(\frac{t}{t_p} \right)^{3,5} \exp \left(-3,5 \left(\frac{t}{t_p} - 1 \right) \right) \quad (5)$$

Burada Q_p , pik debiyi, t süreyi, t_p ise pik debiye erişme süresini ifade etmektedir. Eş. 5 ile değişik pik debiye erişme süreleri ve pik debi değerlerinde elde edilen Q_p ve V noktaları bahsedilen çalışmadaki veriyile karşılaştırılmış ve yüksek uyum elde edilmiştir. Bu amaçla, hem çalışma havzalarının aynı oluşu hem de bahsedilen çalışmadaki verinin Horn (1987) denklemiyle elde edilen veriyile örtüşmesi

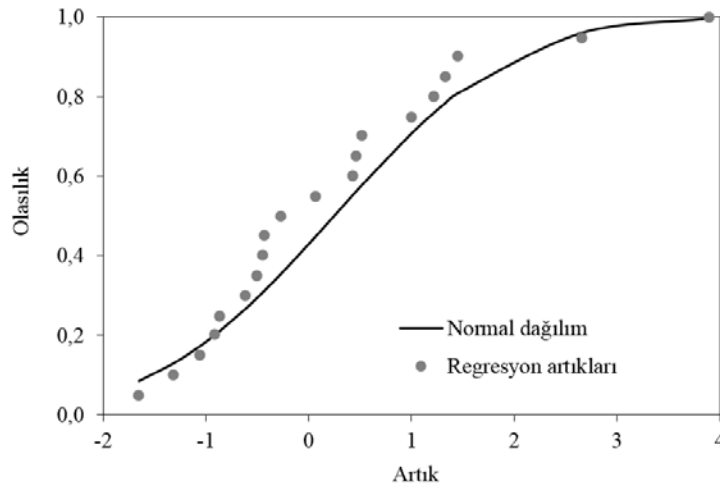
sebepleriyle Yanmaz ve Günindi [18]'den elde edilen verinin Tanyeri Baraj aksı için de kullanılabileceği kabul edilmiş ve anılan veri regresyon analizi ile incelenmiştir. Log-log düzleminde yapılan analizde taşkın pik debisiyle, bunun oluşturduğu yüzey akış hacmi arasındaki ilişki için Eş. 6 elde edilmiştir (Şekil 3).

$$V = 10^{-0,099} \times Q_p^{0,318} \quad (6)$$

Yukarıdaki denklemde, Q_p 'nin birimi m^3/s , V 'nin birimi ise $10^6 m^3$ 'tür. Fakat sentetik olarak üretilen her bir Q_p debisine karşılık gelen yüzey akış hacmi, doğrudan Eş. 6 ile hesaplandığında gerçeği yansıtmayan V değerleri elde edilecektir. Zira bu durumda Q_p ile hesaplanabilen ve bununla birlikte değişen V değerleri elde edilecektir. Bunu önlemek için Şekil 3'te gösterilen regresyon analizindeki artıklar istatistiksel olarak incelenmiştir. Bu amaçla regresyon artıklarının eklenik dağılım fonksiyonu çıkarılmış ve normal dağılımın eklenik dağılım fonksiyonu ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4). Ayrıca artıkların normal dağılıma uyumu Ki-kare ve Kolmogorov Smirnov testleri ile



Şekil 3. Fol Deresi'ndeki pik debilerin ve bunlara karşılık gelen yüzey akış hacimleri arasındaki ilişki
(The relationship between peak discharges and volumes at Fol Creek)



Şekil 4. Regresyon artıklarının ampirik eklenik dağılım fonksiyonu ve normal dağılım eklenik dağılım fonksiyonu
(Normal and empirical cumulative distribution functions of the regression residuals)

%90 güven seviyesinde analiz edilmiştir. Bu analizlerde Ki-kare istatistiği, χ^2 , 1,91 ve bunun kritik değeri 4,61; Kolmogorov-Simirnov istatistiği, D_n , ise 0,14 ve bunun kritik değeri ise 0,26 olarak elde edilmiş ve artıkların normal dağılımı izlediği belirlenmiştir. Artıkların ortalaması, μ_{res} , 0,24, varyasyon katsayısı (COV) ise 5,60 olarak hesaplanmıştır. Varyasyon katsayısı, $COV=\sigma/\mu$ ile ifade edilmektedir. Burada, σ değişkenin standart sapması, μ değişkenin ortalama değeridir. Sentetik taşkın yüzey akış hacimleri, Eş. 6 ile hesaplanan ortalama taşkın yüzey akışlarına normal dağılıma sahip rastgele artıkların eklenmesiyle elde edilmiş, böylelikle V değerleri de istatistiksel özelliklerine bağlı kalınarak rastgele hale getirilmiştir. Üçüncü adım ise sentetik olarak elde edilen Q_p ve V çiftlerinin baraj haznesinde ötelenen taşkın hidrograflarına dönüştürülmesini içermektedir. Bir akımın hidrografi yüzey akışının davranışına bağlı olarak birçok farklı şekle sahip olabilir. Dolayısıyla sentetik taşkın hidrografları, hem pik debinin hem de yüzey akış hacminin göz önünde bulundurulmasıyla elde edilmelidir. Bu amaçla, çalışmada Aldama ve Ramirez [39] tarafından önerilen ve Hermetian polinomlarına dayanan hidrograf denklemi kullanılmıştır. Bu ifade Eş. 7’de verilmiştir.

$$Q(t; Q_p, t_p, V) = \begin{cases} Q_p \left[3 \left(\frac{t}{t_p} \right)^2 - 2 \left(\frac{t}{t_p} \right)^3 \right] & t \in [0, t_p] \\ Q_p \left[1 - \frac{3(t-t_p)^2}{(2VQ_p^{-1}-t_p)^2} + \frac{2(t-t_p)^3}{(2VQ_p^{-1}-t_p)^3} \right] & t \in [t_p, t_b] \\ 0 & t \in (-\infty, 0) \cup (t_b, \infty) \end{cases} \quad (7)$$

Burada t_p taşkın pik debiye erişme süresini, t_b ise taşkın taban süresini göstermektedir. Bu değişkenler Eş. 8 ve Eş. 9 ile hesaplanabilir [40].

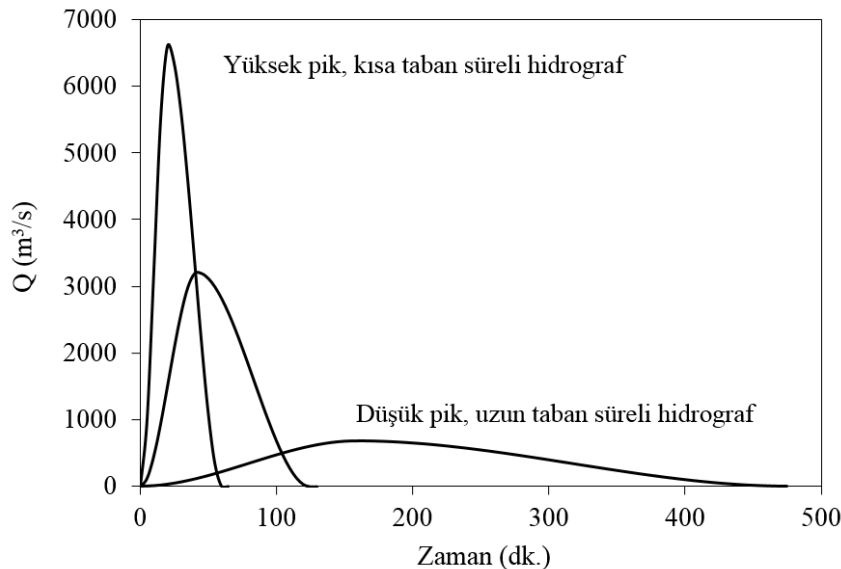
$$t_p = 2V/3Q_p \quad (8)$$

$$t_b = 3t_p \quad (9)$$

Bu yöntemle 5000 sentetik taşkın hidrografi elde edilmiştir. Elde edilen rastgele hidrograflardan bazı uç örnekler $T_r=10000$ yıl tekerrür süresi için Şekil 5’te gösterilmiştir. Şekilden anlaşılacağı üzere bu hidrograflardan bazıları küçük pik debiye fakat büyük yüzey akış hacmine ve uzun hidrograf taban süresine sahipken bazıları ise büyük pik debiye ve küçük yüzey akış hacmi ve kısa hidrograf taban süresine sahiptir. Benzer karakteristiklere sahip hidrograflar $T_r=100$ yıl ve $T_r=1000$ yıl tekerrür süreleri için de elde edilmiştir.

4.2. Hazne Başlangıç Su Seviyesinin Belirsizliği (The Uncertainty of the Reservoir Initial Level)

Taşkın öteleme hesaplarında haznenin taşkın öncesindeki su seviyesinin miktarı büyük önem taşımakta ve sonuçları büyük ölçüde etkilemektedir. Bir haznedeki su seviyesi aylara ve su kullanımına bağlı olarak değişmektedir. Örneğin kurak mevsimlerde su seviyesinin düşük olması beklenirken yağışlı aylarda aksinin olması muhtemeldir. Ancak su kullanımına ve hazne yönetimine bağlı olarak aylara göre beklenen hazne su seviyelerinde değişiklikler gözlemlenebilir. Dolayısıyla, bir taşkın öncesinde haznedeki su seviyesi belirsizdir ve barajın üstten aşılmasının olasılık analizinde bunun göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu çalışmada Tanyeri Barajı’nın hazne su seviyesi rastgele değişken olarak alınmıştır. Barajın hazne su seviyesinin zamana göre değişimi hakkında herhangi bir gerçek veri bulunmadığından belirsiz su seviyesinin olasılık yoğunluk fonksiyonu ve varyasyon katsayısı için daha önceki çalışmalardan yararlanılmıştır. Tanyeri Barajı’nın maksimum ve minimum hazne su seviyesi sırasıyla 348,0 m ve 317,5 m’dir. Dolayısıyla haznedeki ortalama su seviyesi



Şekil 5. $T_r=10000$ yıl için rastgele üretilen 5000 taşkın hidrografından bazı uç örnekler
(Some extreme samples from randomly generated 5000 flood hydrographs for $T_r = 10000$ years)

332,75 m olarak belirlenmiştir. Hazne su seviyesinin daha önceki çalışmalarda [16, 17] olduğu gibi normal dağılıma sahip olduğu kabul edilmiştir. Son olarak su seviyesinin varyasyon katsayısı, COV, değeri 0,05 olarak alınmıştır. Bu istatistiksel girdilerle su seviyesi için yapılan rastgele örneklemede, başlangıç seviyesinin maksimum su seviyesinden büyük ve minimum su seviyesinden küçük olmasına izin verilmemiştir.

5. GÜVENİLİRLİK MODELİ (THE RELIABILITY MODEL)

Bir mühendislik sisteminin geçmesi, ona etkiyen yükleme (L) ve sistemin direnciyle (R) açıklanabilir. Sisteme etkiyen yükleme sistemin direncini aştığında geçme gerçekleşecektir. Ele alınan sisteme göre yük ve direnç kavramları farklılık göstermekte ve güvenilirlik hesaplamasında bunların belirlenmesi gerekmektedir. Bir barajın üstten aşılması bir geçme durumudur ve bu durum için hazne maksimum su seviyesi (H_m) yük (L), barajın kret kotu (H_c) ise direnç (R) olarak tanımlanabilir.

Barajın üstten aşılma güvenilirliği ise bir taşkın anında, barajın kret kotunun, hazne maksimum su seviyesine eşit ya da bundan büyük olma olasılığı olarak tanımlanabilir. Güvenilirlik, α , risk ya da geçme olasılığının, P_f , bütünüdür. Barajın üstten aşılma durumu için güvenilirlik Eş. 10 ile tanımlanabilir.

$$\alpha = P[H_c \geq H_m] = P[SM \geq 0] \quad (10)$$

Eş. 10'da $SM=H_c-H_m$, güvenlik aralığını, $P[]$ istenilen olayın olasılığını göstermektedir. Barajın üstten aşılma güvenilirliğinin hesaplandığı olasılığa dayalı bir tasarım, deterministik yaklaşımla yapılmış bir tasarımdan her zaman üstündür. Girdi parametrelerindeki belirsizliklerin göz ardı edildiği ve bunların sabit kabul edildiği deterministik yöntemle güvenli bir tasarım yapıldığı sonucuna varılabilir. Fakat aynı koşullarda olasılık yöntemi yapılan tasarımda beklenenden daha az güvenilirlik değerleriyle karşılaştırılabilir [41]. Bunun temel sebebi ise olasılık yönteminde girdi parametrelerindeki belirsizliklerin güvenilirlik hesabına dâhil edilmesidir [18].

6. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR (RESULTS AND DISCUSSIONS)

Tanyeri Barajı'nın taşkın dalgasıyla üstten aşılma güvenilirliği hesaplanırken üç farklı senaryo ele alınmıştır. Senaryo A'da bir taşkın anında barajın yalnızca dolusavağının çıkış yapısı olarak çalıştığı durum, Senaryo B'de yalnızca dipsavağın çalıştığı durum, Senaryo C'de ise taşkın anında her iki çıkış yapısının da kapalı olduğu üç bir durum ele alınmıştır. Barajların işletme ömürleri boyunca dolusavak yapıları sürekli çalışabilecek şekilde bakım ve onarıma tabi tutulduğu açıktır. Senaryo B ve Senaryo C'de çok küçük bir olasılığa sahip olmasına rağmen, taşkın anında dolusavak kapaklarının bakım veya onarım durumunda olduğu veya mekanik bir aksaklık sebebiyle çalıştırılmadığı kabulü yapılmıştır. Ele alınan senaryoların özeti Tablo 3'te

sunulmuştur. Bunun yanında, taşkın öteleme hesaplamaları yapılırken taşkın anında, çalıştığı durumlarda, dolusavak kapaklarının tamamen açık olduğu ve dolusavağın kontrolsüz bir çıkış yapısı gibi çalıştığı kabul edilmiştir.

Tablo 3. Güvenilirlik hesabında ele alınan senaryoların özet tablosu
(A summary table for considered scenarios in the reliability analysis)

	Baraj çıkış yapıları	Çalışma durumu
Senaryo A	Dolusavak	Çalışıyor
	Dipsavak	Kapalı
Senaryo B	Dolusavak	Kapalı
	Dipsavak	Çalışıyor
Senaryo C	Dolusavak	Kapalı
	Dipsavak	Kapalı

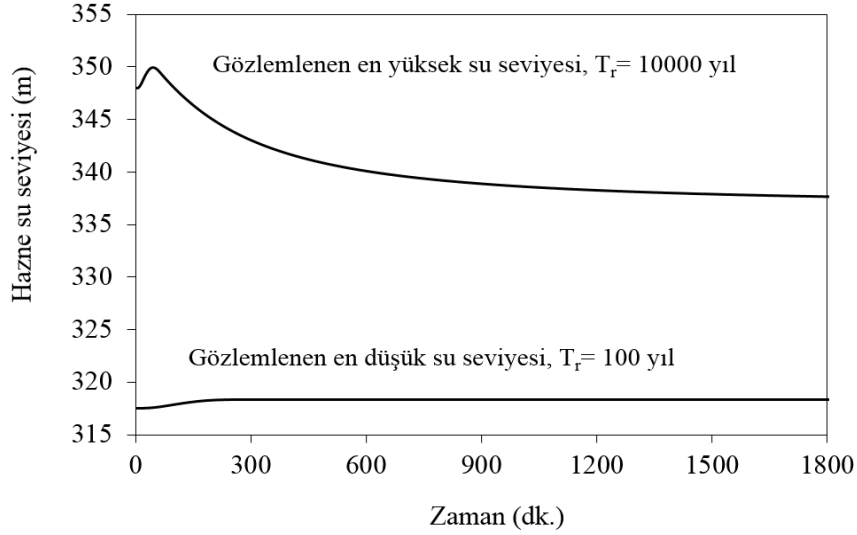
Ayrıca, hazne başlangıç su seviyesinin barajın üstten aşılma güvenilirliğine olan etkilerini inceleyebilmek amacıyla tüm senaryolarda başlangıç su seviyesinin hem rastgele olduğu hem de maksimum seviyede (348,0 m) olduğu iki ayrı durum ele alınmıştır. Hazne başlangıç su seviyesinin olası bir taşkın öncesinde maksimumda olması, bir barajın işletme ömrü boyunca rastlanma olasılığı oldukça düşük bir durumdur. Zira işletme politikasına bağlı olarak barajların olası bir taşkın öncesi taşkın haznedeki depolanarak ötelenmesi için hazne su seviyesi maksimumun altında tutulmaktadır. Fakat birincil amacı enerji üretimi olan barajlarda hazne su seviyesi çoğunlukla maksimum seviyeye yakın tutulmaktadır. Bu çalışmada, baraj güvenilirliğinin olası en kötü durumda incelenmesi adına bu durum da göz önünde bulundurulmuştur.

Tanyeri Barajı'nın Senaryo A için yapılan güvenilirlik analizi sonuçları Tablo 4'te sunulmuştur. Sonuçlara göre, baraj dolusavağının üç kapağı da tam olarak açıkken 100, 1000 ve 10000 yıllık tekerrür sürelerine sahip bir taşkın hazne su seviyesi hangi koşulda olursa olsun baraj üstten aşılmamaktadır. Dolayısıyla barajın üstten aşılma güvenilirliği her durum için %100 olarak hesaplanmıştır.

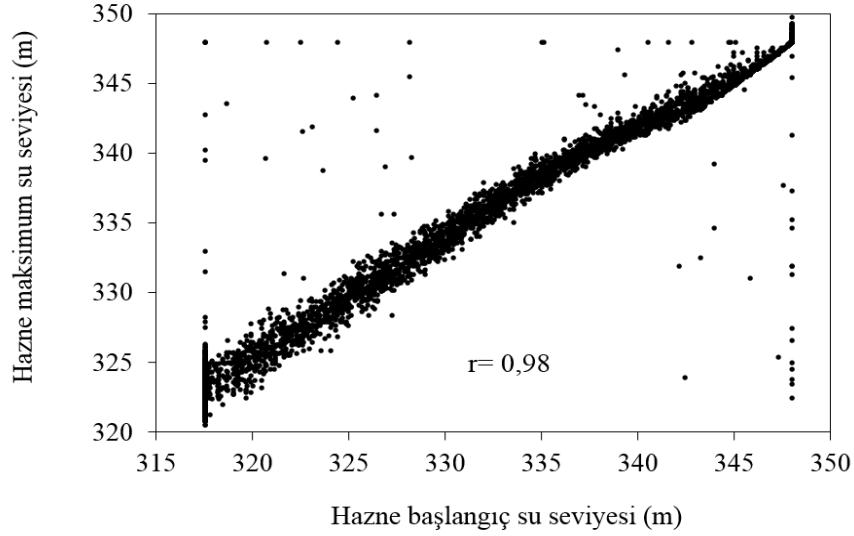
Tablo 4. Tanyeri Barajı'nın Senaryo A için üstten aşılma güvenilirliği
(The overtopping reliability of Tanyeri Dam for Scenario A)

	$T_r=$ 100 yıl	$T_r=$ 1000 yıl	$T_r=$ 10000 yıl
Belirsiz hazne başlangıç su seviyesi durumu	% 100	% 100	% 100
Hazne başlangıç su seviyesinin maksimum olma durumu	% 100	% 100	% 100

Benzeşimlerden elde edilen maksimum hazne su seviyesi 10000 yıllık bir taşkın gözlemlenmiş ve 349,82 m olarak hesaplanmış, en düşük hazne su seviyesi ise 100 yıllık bir taşkın oluşmuş ve 318,35 m olarak elde edilmiştir. Bu durumlar için su seviyesinin zamana bağlı değişimi Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Senaryo A için baraj haznesindeki en yüksek ve en düşük su seviyeleri
(The maximum and minimum reservoir levels for Scenario A)



Şekil 7. Senaryo A'da, $T_r= 10000$ yıllık taşkın için hazne maksimum su seviyesi ve başlangıç su seviyesi arasındaki ilişki
(The relationship between reservoir maximum and initial water levels for floods with $T_r= 10000$ years for Scenario A)

Hazne su seviyesinin 10000 yıllık taşkında bile baraj kret kotunu geçmemesi, baraj dolusavak kapasitesinin oldukça büyük oluşu ve haznenin nispeten büyük depolama kapasitesine sahip oluşuna dayanmaktadır. Senaryo A için bu sonuçların elde edilmesinin ardından, dördüncü bir senaryo olarak, bir taşkın anında hem dolusavağın hem de dipsavağın çalıştığı durum ele alınmamıştır. Zira Tanyeri Barajı, bir taşkın anında sadece dolusavağı çalışırken bile 10000 yıllık tekrerrür süresine sahip olası taşkınları %100 güvenilirlik ile savaklamaktadır. Dolayısıyla, hem dolusavağın hem de dipsavağın aynı anda çalışacağı bir durumda da barajın üstten aşılma güvenilirliği yine %100 olacaktır. Hazne başlangıç su seviyesinin, taşkın anında gözlemlenen maksimum su seviyesine olan etkileri de bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Senaryo A'da 10000 yıllık taşkın için elde edilen başlangıç ve maksimum su seviyesi çiftleri Şekil 7'deki dağılım grafiğinde

gösterilmiştir. Ayrıca, bu iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü ve gücünü incelemek amacıyla değişkenlerin Pearson çarpım moment korelasyon katsayısı, r , hesaplanmış ve 0,98 olarak elde edilmiştir.

Bu sonuca göre hazne maksimum su seviyesi taşkın öncesindeki başlangıç su seviyesiyle yüksek derecede ilgilidir. Taşkın öncesinde haznedeki nispeten yüksek su seviyesi varsa taşkın anında gözlemlenen maksimum su seviyesi de yüksek olmaktadır. Fakat bazı durumlarda taşkın pik debisi ve yüzey akış hacmine bağlı olarak bu genelleme bozulabilmekte, düşük başlangıç su seviyelerinde yüksek maksimum taşkın su seviyeleri ya da tam aksi gözlemlenebilmektedir. Senaryo A için ek bir analiz ile hazne su seviyesinin maksimum izin verilebilir seviyesi olan 348,0 m'yi aşma güvenilirliği de hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 5'te verilmiştir. Sonuçlara göre dolusavak çalışırken

izin verilebilir maksimum su seviyesinin aşılma olasılığı, 10000 yıllık taşkında ve hazne başlangıç seviyesi rastgele iken %1,92, maksimumda iken %10,24 olarak hesaplanmıştır. Tanyeri Barajı'nın Senaryo B için yürütülen üstten aşılma güvenilirliği sonuçları Tablo 6'da verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre bir taşkın anında barajın yalnızca dipsavağı çalışırken üstten aşılma güvenilirliği 10000 yıllık taşkında, hazne başlangıç seviyesi belirsiz iken %82,96, maksimumda iken %10,46 olarak hesaplanmıştır. Üstten aşılma güvenilirliğinin Senaryo A'ya göre düşmesi dipsavak kapasitesinin dolusavak kapasitesine göre oldukça düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Tanyeri Barajı'nın Senaryo C için üstten aşılma güvenilirliği Tablo 7'de gösterilmektedir.

Tablo 5. Tanyeri Barajı'nın Senaryo A için maksimum hazne su seviyesinin aşılma güvenilirliği
(The reliability of exceedance of the maximum reservoir level at Tanyeri Dam for Scenario A)

	$T_r=$ 100 yıl	$T_r=$ 1000 yıl	$T_r=$ 10000 yıl
Belirsiz hazne başlangıç su seviyesi durumu	% 100	% 100	% 98,08
Hazne başlangıç su seviyesinin maksimum olma durumu	% 100	% 99,98	% 89,76

Tablo 6. Tanyeri Barajı'nın Senaryo B için üstten aşılma güvenilirliği
(The overtopping reliability of Tanyeri Dam for Scenario B)

	$T_r=$ 100 yıl	$T_r=$ 1000 yıl	$T_r=$ 10000 yıl
Belirsiz hazne başlangıç su seviyesi durumu	% 99,62	% 92,58	% 82,96
Hazne başlangıç su seviyesinin maksimum olma durumu	% 97,26	% 59,39	% 10,46

Tablo 7. Tanyeri Barajı'nın Senaryo C için üstten aşılma güvenilirliği
(The overtopping reliability of Tanyeri Dam for Scenario C)

	$T_r=$ 100 yıl	$T_r=$ 1000 yıl	$T_r=$ 10000 yıl
Belirsiz hazne başlangıç su seviyesi durumu	% 96,92	% 89,42	% 82,24
Hazne başlangıç su seviyesinin maksimum olma durumu	% 82,44	% 40,19	% 7,16

Bu senaryoda, bir taşkın anında barajın tüm çıkış yapıları kapalıyken üstten aşılma güvenilirliği, beklendiği üzere göreceli olarak düşük çıkmıştır. Zira taşkın yalnızca baraj haznesindeki geçici depolamayla ötelenmektedir. Yine de 10000 yıllık bir taşkın anında, hazne başlangıç su seviyesinin

rastgele olduğu durum göz önünde bulundurulduğunda, barajın güvenilirliği %82,24 olmaktadır. Taşkın öncesi hazne başlangıç su seviyesi maksimumda iken aynı tekrür süresindeki güvenilirlik ise %7,16 olarak elde edilmiştir. Baraj haznesinin depolama kapasitesinin nispeten büyük oluşu, hazne çıkış yapılarının tamamen kapalı olması durumunda bile barajın üstten aşılma olasılığının %100'den küçük olmasını sağlamıştır.

7. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada Tanyeri Barajı'nın taşkın sebebiyle üstten aşılma güvenilirliği çeşitli senaryolar için araştırılmıştır. Monte Carlo benzeşimiyle, rastgele olarak örneklenen taşkın hidrografları ve hazne başlangıç su seviyeleri ile taşkın öteleme analizleri gerçekleştirilmiş ve taşkın dalgasının oluşturduğu maksimum su seviyesinin baraj kret seviyesini aşma olasılığı hesaplanmıştır. Ele alınan üç senaryoda, bir taşkın anında, yalnızca baraj dolusavağının çalıştığı durum, yalnızca dipsavağının çalıştığı durum ve bütün çıkış yapılarının kapalı olduğu durumlar irdelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, Tanyeri Barajı'nın dolusavağı çalışırken 10000 yıllık tekrür süresine sahip taşkınlarda dahi taşkın dalgası güvenle savaklanmakta ve barajın üstten aşılma olasılığı bulunmamaktadır. Gözlemlenme olasılığı çok düşük olmasına rağmen baraj dolusavağının çalıştırılmadığı fakat dipsavağının çalıştığı durumda dahi barajın üstten aşılma güvenilirliği, 10000 yıllık taşkın durumu için, %82,96 olarak hesaplanmıştır. Barajın tüm çıkış yapılarının kapalı olduğu durumda da buna benzer bir güvenilirlik yüzdesi elde edilmiştir. Ayrıca yapılan bir diğer çalışmada taşkın anında gözlemlenebilecek maksimum su seviyesi ile taşkın öncesindeki hazne su seviyesi arasındaki ilişki incelenmiş ve bunların birbirleriyle yüksek bir oranla bağlantılı olduğu ortaya çıkarılmıştır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. United States Bureau of Reclamation. Teton Dam History. Reclamation. <http://www.usbr.gov/pn/snakeriver/dams/uppersnake/teton/index.html>. Erişim tarihi Haziran 16, 2016.
2. Parker D.J., Floods, Routledge, Oxfordshire, İngiltere, 2000.
3. Fry J., Vogel A., Royet P. ve Courivaud J., Dam failures by erosion: lessons from ERINOH data bases, 6th International Conference on Scour and Erosion, Paris-Fransa, 273-280, 27-32 Ağustos, 2012.
4. Foster M., Fell R. ve Spannagle M., The statistics of embankment dam failures and accidents, Canadian Geotechnical Journal, 37 (5), 1000-1024, 2000.
5. ICOLD, Dam Break flood analysis - Review and recommendations, Volume 111 of Bulletin, International Commission on Large Dams, 1998.
6. Şarlak N., Tiğrek Ş., Flood Frequency Analysis: Case Study of Göksu River and Karaktepe Dam, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 31 (4), 1095-1103, 2016.

7. Saka F., Yüksek Ö., Regionalisation of discharges having certain exceedance probabilities and Eastern Black Sea Basin sample, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 32 (2), 335-342, 2017.
8. Seçkin N., Topçu E., Regional frequency analysis of annual peak rainfall of adana and the vicinity, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 31 (4), 1049-1062, 2016.
9. Cunnane C., Methods and merits of regional flood frequency analysis, *J. Hydrol.*, 100 (1), 269–290, 1988.
10. Bobee B. ve Rasmussen P.F., Statistical analysis of annual flood series, *Council of Scientific Research Integration*, Hindistan, 1994.
11. Yue S., A bivariate gamma distribution for use in multivariate flood frequency analysis, *Hydrological Processes*, 15 (6), 1033–1045, 2001.
12. Yue S. ve Rasmussen P., Bivariate frequency analysis: discussion of some useful concepts in hydrological application, *Hydrol. Processes*, 16 (14), 2881–2898, 2002.
13. De Michele C., Salvadori G., Canossi M., Petaccia A. ve Rosso R., Bivariate Statistical Approach to Check Adequacy of Dam Spillway, *J. Hydrol. Eng.*, 10 (1), 50–57, 2005.
14. Calamak M., Melih Yanmaz A. ve Kentel E., Probabilistic evaluation of the effects of uncertainty in transient seepage parameters, *J. Geotech. Geoenviron. Eng.*, 143 (9), 06017009-1 - 06017009-6, 2017.
15. Calamak M. ve Yanmaz A.M., Uncertainty quantification of transient unsaturated seepage through embankment dams, *Int. J. Geomech.*, 17 (6), 04016125-1 - 04016125-11, 2017.
16. Erdik T., Duricic J. ve van Gelder P.H.A.J.M., The probabilistic assessment of overtopping reliability on Akyayık dam, *KSCE J. Civ. Eng.*, 17 (7), 1810–1819, 2013.
17. Goodarzi E., Mirzaei M. ve Ziaei M., Evaluation of dam overtopping risk based on univariate and bivariate flood frequency analyses, *Can. J. Civ. Eng.*, 39 (4), 374–387, 2012.
18. Yanmaz A.M. ve Günindi M.E., Assessment of overtopping reliability and benefits of a flood detention dam, *Can. J. Civ. Eng.*, 35 (10), 1177–1182, 2008.
19. Kwon H.H. ve Moon Y.I., Improvement of overtopping risk evaluations using probabilistic concepts for existing dams, *Stoch. Environ. Res. Risk Assess.*, 20 (4), 223–237, 2005.
20. Tung Y.K. ve Mays L.W., Risk models for flood levee design, *Water Resour. Res.*, 17 (4), 833–841, 1981.
21. Cheng S.T., Yen B.C. ve Tang W.H., Overtopping probability for an existing dam, *University of Illinois at Urbana-Champaign, Illinois*, A.B.D., 1982.
22. Yen B.C. ve Tung Y.K., *Statistics of dam failure, Reliability and Uncertainty Analysis in Hydraulic Design*, ASCE Publications, New York, 1993.
23. DOKAY, Fatsa HES (Tanyeri Barajı ve Kavşak HES, Bolaman Barajı ve HES), malzeme ocakları ve kırma eleme tesisi projesi çevresel etki değerlendirme raporu, DOKAY Mühendislik ve Danışmanlık Ltd. Şti., Ankara, 2013.
24. Stucky Teknik, Tanyeri Barajı Doğal Akımları, Stucky Teknik Müh., Müş., Ltd. Şti., Ankara, 2012.
25. Yanmaz A.M., *Applied Water Resources Engineering*, 4th Edition, METU Press, Ankara, 2013.
26. Stucky Teknik, Fatsa HES Projeleri Tanyeri Barajı Kot-Hacim-Alan ve Boşaltım Eğrileri, Stucky Teknik Müh., Müş., Ltd. Şti., Ankara, 2012.
27. Tung Y.K. ve Yen B.C., *Hydrosystems Engineering Uncertainty Analysis*, McGraw-Hill, New York, A.B.D., 2005.
28. Sackl B. ve Bergmann H., A Bivariate Flood Model and Its Application BT - Hydrologic Frequency Modeling, *Proceedings of the International Symposium on Flood Frequency and Risk Analyses*, Louisiana State University, Baton Rouge, A.B.D. 571–582, 14–17 Mayıs, 1986.
29. Escalante-Samboval C.A. ve Raynal-Villasenor J.A., Multivariate estimation of floods: the trivariate gumbel distribution, *J. Stat. Comput. Simul.*, 61 (4), 313–340, 1998.
30. Yue S., The bivariate lognormal distribution to model a multivariate flood episode, *Hydrol. Process.*, 14 (14), 2575–2588, 2000.
31. Yue S., The bivariate lognormal distribution for describing joint statistical properties of a multivariate storm event, *Environmetrics*, 13 (8), 811–819, 2002.
32. Yue S., Ouarda T.B.M.J. ve Bobee B., A review of bivariate gamma distributions for hydrological application, *J. Hydrol.*, 246 (1–4), 1–18, 2001.
33. Stedinger J.R., Vogel R.M. ve Foufoula-Georgiou E., *Frequency analysis of extreme events*, Handbook of Hydrology, D. R. Maidment, Ed., McGraw Hill, New York, A.B.D., 1993.
34. Bobee B. ve Ashkar F., *The gamma family and derived distributions applied in hydrology*, Water Resources Publications, Colorado, A.B.D. 1991.
35. Mediero L., Jiménez-Álvarez A. ve Garrote L., Design flood hydrographs from the relationship between flood peak and volume, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14 (12), 2495–2505, 2010.
36. Seçkin N., Haktanır T. ve Yurtal R., Flood frequency analysis of Turkey using L-moments method, *Hydrol. Process.*, 25 (22), 3499–3505, 2011.
37. Bayazıt M., Shaban F. ve Önöz B., Generalized Extreme Value Distribution for Flood Discharges, *Turkish J. Eng. Environ. Sci.*, 21 (2), 69–73, 1997.
38. Horn D., Graphic Estimation of Peak Flow Reduction in Reservoirs, *J. Hydraul. Eng.*, 113 (11), 1441–1450, 1987.
39. Aldama A.A. ve Ramirez A.I., A new approach for dam design flood estimation, 28th IAHR World Congress, Graz-Austria, 22–27 Ağustos, 1999.
40. Chow V.T., *Handbook of Applied Hydrology*, McGraw-Hill, New York, A.B.D., 1964.
41. Yanmaz A.M. ve Çalamak M., Evaluation of scour risk at foundations of river bridges, *Teknik Dergi/Technical J. Turkish Chamb. Civ. Eng.*, 27 (3), 7533–7549, 2016.

