

SİSMİK TEHLİKE ANALİZ YÖNTEMLERİNİN ÜLKEMİZDEKİ BÜYÜK BETON BARAJLARIN TOPLAM RİSKİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Evren SEYREK*, Hasan TOSUN**

*İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Dumlupınar Üniversitesi, Evliya Çelebi Yerleşkesi, 43100 Kütahya

** İnşaat Mühendisliği Bölümü, Uşak Üniversitesi Rektörlüğü, Bir Eylül Kampüsü, 64200 Uşak

esyrek@dpu.edu.tr, hasan.tosun@usak.edu.tr

(Geliş/Received: 16.12.2011; Kabul/Accepted: 22.11.2012)

ÖZET

Risk sınıflama sistemi, uygun sismik parametrelerinin seçiminde baraj güvenliği çalışanları için önemli bir rehber olarak değerlendirilmekte kritik baraj projelerinin güvenlik değerlendirmelerinde öncelik sağlamaktadır. Bu çalışmada, baraj yapıları için toplam risk analizin genel bir değerlendirmesi yapılmış ve farklı sismik tehlike analizlerinin (deterministik ve olasılıksal), risk hesapları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla ülkemizde yüksekliği 14,5 ile 186 m arasında değişen 14 adet beton baraj dikkate alınmıştır. Gerek deterministik gerekse olasılıksal esaslı değerlendirme sonucuna göre barajların %50'sinin orta risk sınıfı içine girdiği, geri kalanının ise yüksek risk sınıfına sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Beton baraj, deprem, sismik tehlike, toplam risk.

INFLUENCE OF ANALYSIS METHODS FOR SEISMIC HAZARD ON TOTAL RISK OF LARGE CONCRETE DAMS IN TURKEY

ABSTRACT

The risk classification system is an important guide for dam safety officials to select appropriate evaluation procedures and to assign priorities for seismic safety evaluations of the most critical dams. In this study, general evaluation of total risk analysis is performed and effect of different seismic hazard methods (deterministic and probabilistic) on risk calculations is investigated. For this purpose, fourteen concrete dams with a structural height ranging from 14.5 to 186 m are taken into consideration. Both deterministic and probabilistic seismic hazard analyses show that 50 percent of dams have high-risk class and reminders have moderate-risk class.

Keywords: Concrete dam, earthquake, seismic hazard, total risk.

1.GİRİŞ (INTRODUCTION)

Baraj ve ilgili yapılarda meydana gelen hasarların sebepleri incelendiğinde depremin önemli bir parametre olduğu açıkça görülmektedir [1]. Depremlerin neden olduğu tehlikeler çok farklı şekillerde ortaya çıkmaktadır. Baraj, yardımcı yapılar ve ekipmanlarda titreşime neden olan yer sarsıntısı ve baraj temelinde yapısal bozukluklara neden olan fay hareketi depremlerin neden olduğu etkilerden bazılarıdır [2]. Bunun yanında baraj yerine yakın aktif faylarda ortaya çıkan enerji, dolguda beklenmeyen deformasyonları ortaya çıkarmaktadır. Bu etkiye bağlı

olarak gelişen baraj göçmeleri ve hasarlarına ait önemli örnekler bulunmaktadır [3-6].

Baraj mühendisliği projelerinde teknik ve finansman riskin en önemli elemanlarından birinin temel zemini olduğu ve temel zemininin dinamik yükler altındaki davranışının da önemli ölçüde bilinmeyen ihtiva ettiği düşünülürse, ilgili yapıların güvenliği yönünden sismik tehlike ve toplam risk analizlerinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yapı emniyeti yönünden yer hareketi parametrelerinin seçimi ve bu parametrelerin tasarımıda uygun olarak kullanılması önem arz etmektedir [5].

Yeni inşa edilecek barajların tüm lokal değerler kullanılarak gelişmiş yöntemlerle tasarlanması gerekmektedir. Oluşan projeye göre de baraj güvenliğini artıran inşaat önlemlerinin alınması zorunludur. Ayrıca mevcut barajların güvenliğini de araştırılması önemli bir konuyu teşkil etmektedir. Türkiye'nin su ve toprak kaynakları açısından sahip olduğu potansiyel düşünüldüğünde yeni barajlar inşa etmek kadar, gelişen teknoloji ile eski barajların işletilmesi ve güvenliğini sağlanması oldukça önemlidir [7].

Baraj toplam riski içinde, baraj yeri sismik tehlike analizleri önemli bir elemanı oluşturmaktadır. Sismik tehlike hesaplarının ana hedefi olan yer hareketinin tahmini; jeoloji, jeofizik, sismoloji, geoteknik ve yapı mühendisliği gibi farklı disiplinler içinde yer alan bilgilerin yorumlanabilmesi ile mümkün olmaktadır. Baraj yeri sismik tehlike analizi, deterministik veya olasılıksal analiz yöntemleri ile yapılabilmekte ve bu analizler neticesinde mevcut barajın dinamik yükler altındaki tasarımı için gereken sismik parametreler elde edilmektedir.

Deterministik yöntem en kötü yer hareketi koşulunun değerlendirilmesi için doğrusal bir yaklaşım dikkate alınırken diğer yöntem ise depremin büyüklüğü, yeri, tekrarlanma aralığı ve bunlara bağlı olarak yer hareketi üzerindeki belirsizlikleri dikkate almaktadır [8]. Her iki yöntem de uygulama yönünden avantaj ve dezavantajlara sahiptir. Ve bu sebeple, hangi modelin daha iyi sonuçlar verdiği sorusuna cevap halen aranmakta ve tartışılmaktadır [9]. Bu iki yöntemin analizlere ışık tutabilmek için birbirlerine tamamlayıcı olmaları gerekir. Alınacak kararın önemine, sismik aktiviteye ve projenin konumuna bağlı olarak bir yöntemten diğerine önceliği oluşabilecektir [10]. Literatürde, baraj yapıları için her iki modelle gerçekleştirilmiş pek çok çalışma mevcuttur [11-15].

Deterministik sismik tehlike analizleri ile baraj yeri yer hareketi parametresinin değeri, sıklıkla orta değerlerin %50 ve/veya %84 aşılma ihtimallerinin olduğu duruma karşılık gelecek şekilde kullanılmaktadır. Özellikle sismik yönden yüksek aktiviteye sahip bölgelerde barajlar için %84 aşılma olasılık değerinin kullanılması önerilmektedir [16, 17].

Baraj çalışanları arasında, olasılıksal deprem tanımlarında farklı yaklaşımlar olmuş ve ICOLD tarafından önerilen tanımlamalar [18] eleştirel bir gözle değerlendirilmiştir [19, 20]. Genellikle 144, 475 ve 2475 yıllık tekrüre sahip ve sırasıyla OBE, MDE

ve SEE ile gösterilen yer hareketi seviyelerinin baraj projelerinde dikkate alındığı bilinmektedir.

Bir barajın toplam riskini sayısal esasta tanımlamak için değişik yöntemler önerilmiştir [18, 21 ve 22]. ICOLD tarafından önerilen yöntemde baraj yeri sismik tehlikesi ile yapı riski oranı ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Yapı tipine bağlı olmaksızın baraj yeri sismik tehlikesi, dört ana grupta sınıflandırılmakta ve elde edilen tehlike sınıfları, birincil amaçlı olarak yapılacak sismik değerlendirmeler için kullanılabilir. Potansiyel risk ise rezervuarın kapasitesine, barajın yüksekliğine, tahliye gereksinimine ve potansiyel mansap hasarına göre ifade edilmektedir. Potansiyel risk faktörü, bu dört ayrı değerlerin toplamı olarak dikkate alınmaktadır.

Son yıllarda baraj güvenliğine yönelik çalışmalarda, yapısal etki, mansap hasarı etkisi ve sismik hassasiyet ayrı ayrı değerlendirilmekte ve bu verilere bağlı olarak toplam risk faktörü (TRF) hesaplanmaktadır [21]. Bu faktöre göre bir barajın risk sınıfı düşük, orta yüksek ve çok yüksek olarak tanımlanabilmektedir.

Bu yöntemde yapısal etki; barajın rezervuar hacmi, yüksekliği ve yaşına bağlı olarak belirlenen kapasite risk faktörü, yükseklik risk faktörü ve yaş risk faktörü değerleri toplanarak ortaya konulmaktadır. Mansap hasarı etkisi ise canlı yaşam üzerindeki riske bağlı olarak hesaplanmaktadır ve tahliye gereksinimi için risk faktörü ve mansap hasarı risk indeksi değerleri toplanarak belirlenmektedir. Tahliye gereksinimi için risk faktörü değeri risk altındaki insan nüfusuna bağlı bir büyüklük iken, mansap hasarı risk faktörü ise potansiyel taşkın yolu üzerindeki özel, ticari, endüstriyel veya devlet arazisine bağlıdır. Bir barajın sismik hassasiyeti ise baraj tipi ve deprem şiddet indeksine dayalı olarak hesaplanabilmektedir. Deprem şiddet indeksi; sismik tehlike analizi sonucu elde edilen maksimum yer ivmesi değeri ve deprem büyüklüğüne bağlı olarak değerlendirilmektedir [22]. Bütün bu faktörler esasında tanımlanan toplam risk faktörü değerinin 2 ile 25, 25 ile 125, 125 ile 250 arasında olması veya 250'den büyük olması durumunda risk sınıfı; sırasıyla düşük, orta, yüksek ve çok yüksek olarak tanımlanmaktadır.

Bu çalışmanın amacı incelenen baraj yerleri için deterministik ve olasılıksal sismik tehlikesinin belirlenmesi ve bu iki ayrı yöntemin baraj yapılarının risk hesapları üzerindeki etkisinin araştırılmasıdır.

Tablo 1. Ülkemizde işletme aşamasında olan beton barajlara ait proje karakteristikleri (Project characteristics of concrete dams at a operation stage in Turkey)

Baraj	Nehir	Talvegden yükseklik (m)	Amacı*	Tipi**	Tamamlanma Yılı	Gövde hacmi (x1000m ³)	Rezervuar kapasitesi (hm ³)
Arpaçay	Arpaçay	47,0	S+T	BA	1983	156	525,0
Berke	Ceyhan	186,0	E	BK	2001	735	427,0
Çubuk I	Çubuk	25,0	İ+T	BA	1936	120	12,5
Elmalı II	Çavuşbaşı	43,0	İ	BA	1955	103	10,0
Gezende	Ermenek	71,0	E	BK	1990	83	91,9
Gökçekaya	Sakarya	115,0	E	BK	1972	650	910,0
Karacaören II	Aksu	45,0	S+E	BA	1993	165	48,0
Karakaya	Fırat	158,0	E	BK	1987	2000	9580,0
Kemer	Akçay	108,5	E+S+T	BA	1958	740	544,0
Oymapınar	Manavgat	157,0	E	BK	1984	676	300,0
Porsuk	Porsuk	50,0	S+T	BA	1972	224	431,0
Sarıyar	Sakarya	90,0	E	BA	1956	568	1900,0
Sır	Ceyhan	106,0	E	BK	1991	443	1120,0
Güllüç	Aydınlı	14,5	İ	BA	1966	52	6,0

*E: Enerji İ: İçme suyu S: Sulama T: Taşkın koruma

** BK: Beton kemer BA: Beton ağırlık

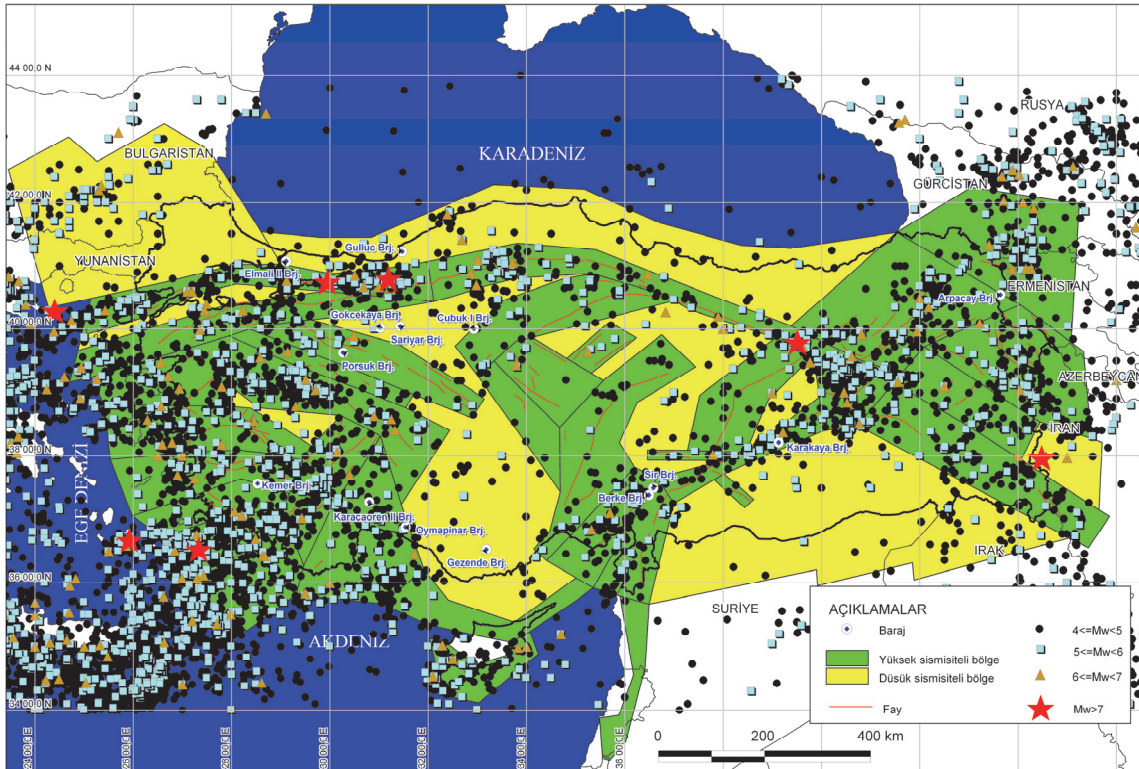
2. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

Çalışmada dikkate alınan barajların rezervuar kapasiteleri ve gövde hacimleri çok geniş bir aralıkta değişmektedir. Özellikle rezervuar hacimleri oldukça değişkendir (6- 9580 hm³).

Rezervuar kapasitesi 62 ile 100 hm³ arasında 5 baraj,

100-1000 hm³ arasında 6 ve 1000 hm³'den büyük 3 adet baraj bulunmaktadır. En büyük depolamaya Karakaya barajı sahiptir. Sakarya nehri üzerinde yer alan Sarıyar barajı da büyük bir rezervuar hacmine sahip bulunmaktadır (Tablo 1).

Çalışmada dikkate alınan baraj yerleri ve sismik tehlike analizleri için kullanılan sismo-tektonik model Şekil 1'de sunulmaktadır.



Şekil 1. Barajların sismo-tektonik harita üzerindeki yeri (Locations of dams on seismo-tectonic map)

Türkiye için daha önce yapılmış pek çok model mevcuttur [23-27]. Bu çalışmada kullanılan sismo-tektonik model, esas itibarıyla daha önceki çalışmalar ile bütünlük taşımasına rağmen, önemli zonlarda daha detaylı değerlendirmeleri dikkate almaktadır. Bu modele göre ülke genelinde 33 kaynak zonu ve 136 fay segmenti tanımlanmıştır. Sismo-tektonik çalışmalar sırasında, Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü kaynaklarından elde edilen deprem verileri dikkate alınmış olup analizler sırasında kullanılan büyüklüğün moment deprem büyüklüğü (M_w) esasında olduğu belirtilmelidir.

Bu çalışmada, genel çerçevesi Reiter [28] tarafından belirtilen deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler için Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Deprem Araştırma ve Uygulama Merkezinde geliştirilen DAMHA isimli program kullanılmıştır. Her baraj yeri için 100 km çaplı bir daire içindeki tüm kaynak zonları ve her bir segment için ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme yapılırken Şekil 1'de sunulan Türkiye için geliştirilmiş sismo-tektonik model kullanılmıştır.

Berke baraj yeri için yapılan değerlendirme Şekil 2'de sunulmaktadır. Şekil 2'den görüleceği gibi, Berke barajı beş ayrı kaynak zonu etkisi altındadır.

Gerek deterministik gerekse olasılıksal sismik tehlike analizlerinin en önemli aşamalarından biri olan maksimum deprem büyüklüğünün belirlenmesinde ise Tablo 2'de verilen yüzey kırığı (L)-deprem büyüklüğü (M_w) ilişkisi kullanılmıştır [29]. Tablo 2'de verilen L'nin km cinsinden olduğu belirtilmelidir. Dünya deprem verileri üzerinde yapılan bir araştırmada, deprem esnasında fayın toplam uzunluğunun 1/2 si ile 1/3 ünün kırıldığı ifade edilmiştir [30].

Tablo 2. Moment deprem büyüklüğü (M_w), yüzey kırığı uzunluğu (L) arasındaki ilişki (Relationship between moment earthquake magnitude (M_w) and surface rupture length (L))

Fay tipi	Denklem	σ_{M_w}
Doğrultu atımlı	$M_w = 5,16 + 1,12 \log L$	0,28
Ters	$M_w = 5,00 + 1,22 \log L$	0,28
Normal	$M_w = 4,86 + 1,32 \log L$	0,34
Hepsi	$M_w = 5,08 + 1,16 \log L$	0,28

Çalışmada dikkate alınan baraj yerleri 25 ayrı kaynak zonunun etkisi altındadır. Etkili kaynak zonlarının baraj yerlerine göre dağılımı Tablo 3'de sunulmaktadır. İlgili tablodan da görüleceği üzere 1, 2 ve 3 nolu kaynak zonu ile gösterilen ülkemizin en önemli yapısal süreksizliğini oluşturan Kuzey Anadolu Fay Zonu dikkate alınan barajların yaklaşık %36'sında etkili kaynak zonu olarak tanımlanmıştır.

Tablo 3. Baraj yerlerini etkileyen sismik kaynak zonları (Seismic sources for dam site locations)

Baraj Adı	Etkili Kaynak Zonları
Arpaçay	5-6-12
Berke	8-10-11-14-16
Çubuk I	1-2-3-18-29-32-33
Elmalı II	1-2
Gezende	16
Gökçekaya	1-2-29-30
Güllüç	1-2-3
Karacaören II	20-21-31
Karakaya	8-11-15-19
Kemer	20-25-26-27-28
Oymapınar	21-22-31
Porsuk	2-29-30-31
Sarıyar	1-2-29-30
Sır	8-10-11-14-16

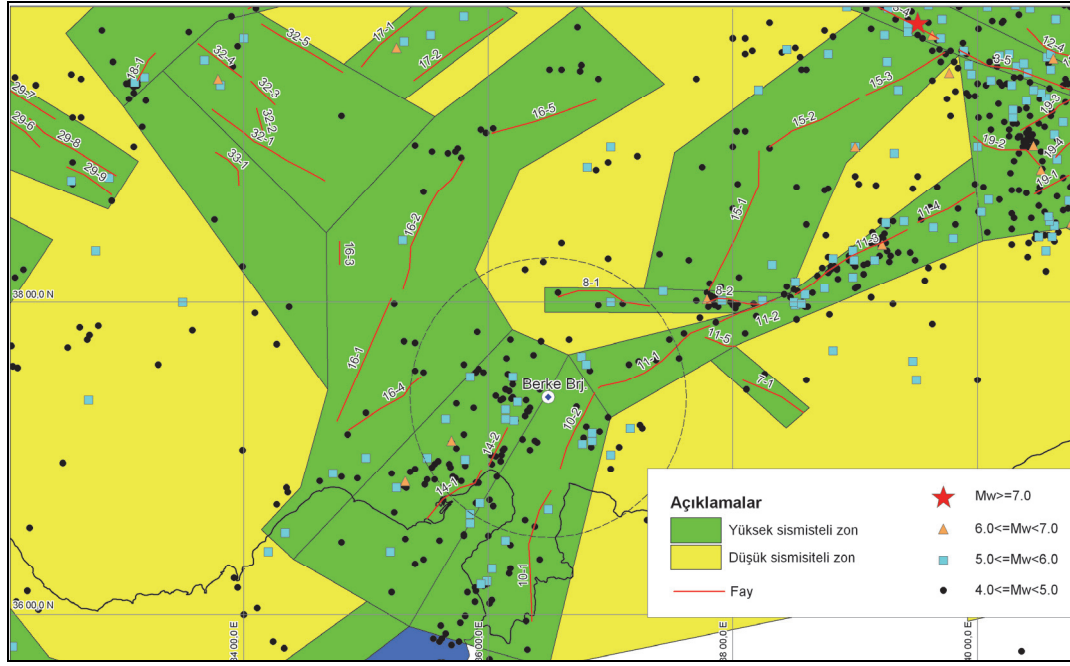
Bir bölgenin depremselliğinin önemli bir unsuru olan sismik etkinlik, depremlerin oluşumu ile doğrudan ilgilidir. Bir bölgenin depremselliği o bölgenin sismik etkinliğinin fonksiyonu şeklinde tanımlanabilir. Çalışma sahası içindeki barajları etkileyebilecek zonlara ait depremselliğin belirlenmesinde Denklem 1'de sunulan temel eşitlik kullanılmıştır [31].

$$\text{Log}N = a - bM \quad (1)$$

İlgili eşitlikte N; incelenen bölgede, dikkate alınan zamanda oluşmuş büyüklüğü M'ye eşit veya daha büyük olan depremlerin sayısını verirken, a ve b ise regresyon katsayılarıdır. Tablo 3'de ifade edilen 26 ayrı kaynak zonuna ait deprem büyüklüğü-tekrar ilişkilerinden elde edilen katsayılar olasılıksal sismik tehlike analizlerinin temelini oluşturmaktadır.

Proje sahası ve çevresinde kuvvetli yer hareketi kaydının olmaması durumunda tasarım depreminin yaratacağı yer hareketi parametrelerinin tahmini için birden fazla azalım ilişkilerinin kullanılması gerekmektedir. Bu araştırma için sekiz ayrı azalım ilişkisinin kullanılmasına karar verilmiştir [32-38]. Azalım ilişkilerinin seçimindeki en önemli kriter seçilen yöntemin mevcut tektonik yapı ile uyumlu olmasıdır. Bu sebeple Türkiye için geliştirilmiş modeller ile Türkiye'den de deprem verilerinin yer aldığı eşitliklerin kullanılmasına özen gösterilmiştir. Deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizi sonuçlarında sekiz ayrı azalım ilişkisinin ortalamasının alındığı ve kaya ortam için analizlerin yapıldığı ifade edilmelidir.

Çalışma kapsamında incelenen barajlara ait deterministik ve olasılıksal sismik tehlike analizi sonuçları kullanılarak toplam risk değerleri Bureau [22] esasında belirlenmiş ve bir sonraki bölümde toplu olarak sunulmaktadır.



Şekil 2. Berke barajı yerini etkileyen kaynak zonları ve depremlerin dağılımı (Distribution of earthquakes and source zones around Berke dam)

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Analizler sonucunda her bir baraj yeri için kritik deprem büyüklüğünün (M_{maks}) 6,6 ile 7,5 arasında değiştiği görülmüştür. Deterministik model yardımı ile orta değerlerin %50 ve %84 aşılma olasılıkları için hesaplanan maksimum yer ivmesi (PGA) değerleri Tablo 4’de sunulmaktadır. İlgili tabloda söz konusu verilerin geniş bir aralıkta değiştiği görülmektedir (0,024-0,330g).

Tüm baraj yerleri için DAMHA isimli program

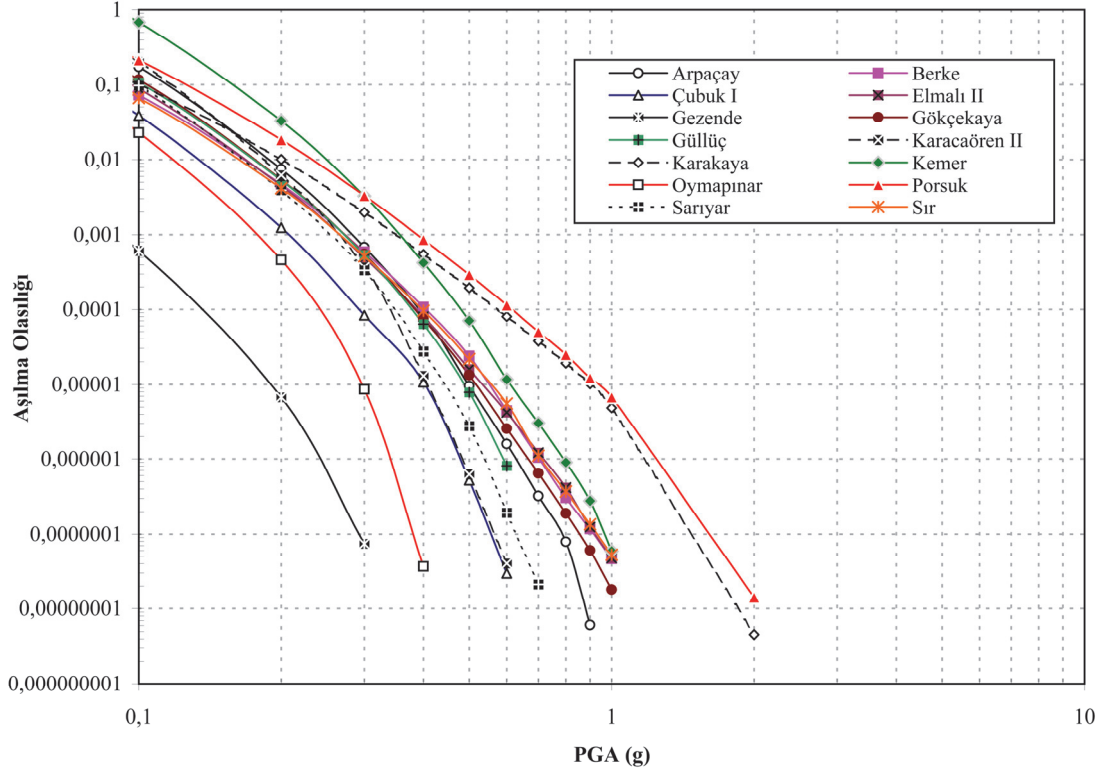
kullanılarak elde edilen sismik tehlike eğrileri Şekil 3’de verilmektedir. Bu eğrilerin toplam tehlikeyi yansıttığı ve tüm azalım ilişkilerinin ortalaması cinsinden verildiği ifade edilmelidir.

İlgili şekil üzerinden her bir baraj yerine ait üç ayrı tehlike seviyesi için elde edilen ivme değerleri Tablo 5’de toplu olarak sunulmaktadır. Dikkate alınan barajların MDE seviyesindeki ivme değerleri incelendiğinde, %14’ü 0,10 g’den daha düşük PGA değerine sahip iken, %65’i 0,10g-0,20g aralığında, geri kalan %21’si ise 0,20g-0,30g aralığında PGA değerlerine sahiptir.

Tablo 4. Baraj yerleri için deterministik sismik tehlike analizi sonuçları (Deterministic seismic hazard analysis results for dam site locations)

Baraj Adı	Kritik Zon	Kritik Segment	Segment Tipi	M_{maks}	PGA (g)	
					Orta değer (%50)	Orta değer (%84)
Arpaçay	5	5_2	DA	6,8	0,088	0,148
Berke	10	10_2	DA	6,8	0,110	0,186
Çubuk I	18	18_2	DA	7,5	0,054	0,089
Elmalı II	1	1_1	DA	7,4	0,126	0,208
Gezende	16	16_2	DA	7,0	0,024	0,042
Gökçekaya	29	29_4	B	6,7	0,105	0,177
Güllüç	1	1_2	DA	7,4	0,067	0,110
Karacaören II	20	20_5	N	6,8	0,052	0,087
Karakaya	11	11_3	DA	7,0	0,198	0,330
Kemer	26	26_4	N	7,0	0,106	0,178
Oymapınar	31	31_4	N	7,3	0,035	0,058
Porsuk	29	29_3	N	6,6	0,174	0,293
Sarıyar	1	1_2	DA	7,4	0,075	0,123
Sır	11	11_1	DA	7,0	0,117	0,196

*DA: Doğrultu Atımlı N: Normal B: Bilinmiyor



Şekil 3. Baraj yerleri için sismik tehlike eğrileri (Seismic hazard curves for dam site locations)

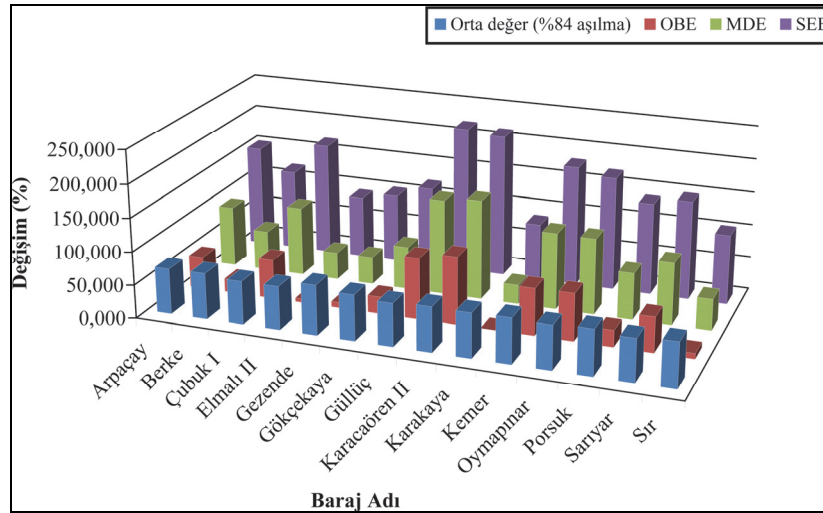
Tablo 5. Baraj yerleri için olasılıksal sismik tehlike analizi sonuçları (Probabilistic seismic hazard analysis results for dam site locations)

Baraj Adı	Kritik Zon	Kritik Segment	Segment Tipi	M_{maks}	PGA (g)		
					OBE	MDE	SEE
Arpaçay	5	5_2	DA	6,8	0,131	0,168	0,223
Berke	10	10_2	DA	6,8	0,132	0,176	0,244
Çubuk I	18	18_2	DA	7,5	0,086	0,110	0,146
Elmalı II	1	1_1	DA	7,4	0,133	0,178	0,244
Gezende	16	16_2	DA	7,0	0,026	0,034	0,049
Gökçekaya	29	29_4	B	6,7	0,132	0,173	0,233
Güllüç	1	1_2	DA	7,4	0,129	0,163	0,215
Karacaören II	20	20_5	N	6,8	0,105	0,130	0,164
Karakaya	11	11_3	DA	7,0	0,183	0,255	0,368
Kemer	26	26_4	N	7,0	0,181	0,228	0,298
Oymapınar	31	31_4	N	7,3	0,060	0,075	0,095
Porsuk	29	29_3	N	6,6	0,218	0,296	0,415
Sarıyar	1	1_2	DA	7,4	0,115	0,145	0,187
Sır	11	11_1	DA	7,0	0,127	0,172	0,240

*DA: Doğrultu Atımlı N: Normal B: Bilinmiyor

Tablo 4 ve 5 birlikte değerlendirildiğinde, kaynak geometrisinin, kaynak sismisitesinin ve azalım ilişkilerinin belirsizlik terimlerinin olasılıksal tehlike analizleri üzerindeki etkileri daha iyi anlaşılmaktadır. Sismik tehlike analizleri sonucunda, deterministik olarak en büyük yer ivmesine sahip baraj Karakaya barajı iken, olasılıksal modellerde en büyük ivme değerine Porsuk Barajı sahiptir.

Her bir baraj yeri için, orta değer için %50 aşılması için hesaplanan ivme değerleri referans alınarak, diğer modellerdeki ivme değerleri için değişim oranları belirlenmiş ve Şekil 4'de sunulmuştur. İlgili şekilde olasılıksal modellerdeki değişim incelendiğinde, en büyük değişim Güllüç ve Karacaören II barajlarında ortaya çıkmıştır. Özellikle SEE seviyesinde ivme değerlerinin bu barajlar için yaklaşık 2,2 kat arttığı görülmektedir. Orta değer için %84 aşılma olasılığı için



Şekil 4. Baraj yerleri için farklı tehlike seviyeleri için maksimum yer ivmesinin değişimi (Variation of peak ground acceleration at dam sites for different hazard level)

Tablo 6. Baraj yerleri için toplam risk analizi sonuçları (Total risk analysis results for dam site locations)

Baraj Adı	M_{maks}	TRF (Toplam Risk Faktörü)					Risk Sınıfı	Tanımlama
		Orta değer (%50 aşılma)	Orta değer (%84 aşılma)	OBE	MDE	SEE		
Arpaçay	6,8	162,1	167,8	166,4	169,2	172,3	III	Yüksek
Berke	6,8	91,8	98,3	94,0	97,6	101,8	II	Orta
Çubuk I	7,5	156,8	162,0	161,6	164,2	167,2	III	Yüksek
Elmalı II	7,4	150,8	155,6	151,4	154,2	157,2	III	Yüksek
Gezende	7,0	80,1	86,2	81,0	83,9	87,9	II	Orta
Gökçekaya	6,7	101,7	105,1	102,2	104,2	106,5	II	Orta
Güllüç	7,4	106,0	113,4	109,2	113,1	117,6	II	Orta
Karacaören II	6,8	140,4	145,0	146,5	148,7	151,2	III	Yüksek
Karakaya	7,0	65,6	70,1	71,9	73,9	76,2	II	Orta
Kemer	7,0	178,3	184,1	177,4	181,2	185,4	III	Yüksek
Oymapınar	7,3	108,7	116,3	116,5	120,1	124,3	II	Orta
Porsuk	6,6	162,6	168,3	168,7	171,2	173,9	III	Yüksek
Sarıyar	7,4	171,0	176,9	173,5	177,0	180,8	III	Yüksek
Sır	7,0	98,5	105,1	104,1	107,3	110,9	II	Orta

değişim değerleri incelendiğinde ise en büyük değişim %75 ile Gezende barajında meydana gelmiştir (%75).

Sismik tehlike analizleri ve baraj karakteristikleri dikkate alınarak gerçekleştirilen toplam risk analizleri sonuçlarına bakıldığında hiçbir baraj yerinde, sismik tehlike modelleri farklılığının risk sınıflarının sonuçlarına etki etmediği görülmüştür (Tablo 6).

Kemer, Sarıyar, Porsuk, Arpaçay, Çubuk I, Elmalı II ve Karacaören II barajları “yüksek-risk” sınıfında yer alırken diğer barajlar “orta-risk” grubuna dahil olmuştur. Nispi olarak yüksek maksimum yer ivmesi değerlerine sahip Karakaya, Gökçekaya gibi büyük barajlar, orta-risk” toplam risk sınıfında yer alırken, Çubuk I, Arpaçay gibi barajlar “yüksek” toplam riske

sahiptir. 1936 yılında tamamlanan Çubuk I barajı, 1955 yılında tamamlanan Elmalı II, 1958 yılında tamamlanan Kemer barajı ve 1972 yılında tamamlanan Porsuk barajı gibi orta ve ileri yaştaki barajlarımızın yüksek risk grubu içinde yer aldığı belirtilmelidir.

4. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ (CONCLUSION)

Sismik tehlike analizi modellerinin, toplam risk analizi sonuçları üzerindeki etkilerinin incelendiği bu çalışma sonucunda ülkemizde işletme aşamasında yer alan 14 barajın 7’sinin yüksek toplam riske sahip olduğu belirlenmiştir. İncelenen baraj yerleri için deterministik veya probabilistik modellerin risk sınıfını değiştirmediği ve bu sonucun beton baraj envanterine büyük katkı sağlayacağı ifade edilmektedir.

Ülkemizde işletme, yapım ve planlama aşamasında olan diğer baraj tipleri için de benzer çalışmaların yapılması baraj güvenliği çalışmaları açısından önem taşımaktadır. Baraj yapılarının depreme dayanıklılığı yönünde yapılan tasarım çalışmalarının temel gereksinimi, can ve mal güvenliğinin sağlanmasıdır. Baraj yapılarının sismik tasarımı için seçilen parametrelerin, diğer yapılara göre daha tutucu yönde olması ve yüksek riske sahip barajlar için detaylı sismik analizlerin yapılması önerilmektedir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Tosun, H., Zorluer, İ., Savaş, H., Taşkıran, Ö., Demirkol, H. ve Kar, A., **Temel Sorunlarından Oluşan Baraj Göçmeleri**, Osmangazi Üniversitesi, Geoteknik Yayınlar Serisi: 99/1, Eskişehir.
2. Wieland, M., Earthquake Safety of Existing Dams, **First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology**, Geneva, Switzerland, 16p, 3-8 September, 2006.
3. Castro, G., Poulos, S.J. ve Leathers, F., Re-examination of Slide of Lower San Fernando Dam, **J. Geotech. Eng.**, 111, 2, 1093-1107, 1985.
4. Jansen, R.B.(Ed.), **Advanced Dam Engineering for Design, Construction and Rehabilitation**, Van Nostrand Reinhold, New York, 1988.
5. Tosun, H., **Dolgu Baraj Depremeliği ve Tasarım Esasları**, DSİ Genel Müdürlüğü, Ankara, 2002.
6. Wieland, M., Large Dams The First Structures Designed Systematically Against Earthquakes, **The 14th World Conference on Earthquake Engineering**, Beijing, China, 8p, October 12-17, 2008.
7. Seyrek, E., Orhan, A. ve Tosun, H., Ceyhan Havzası Baraj Yerleri Deterministik Sismik Tehlike Analizi, **II. Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu**, Eskişehir, 575-582, 13-15 Mayıs, 2009.
8. Kramer, S.L., **Geotechnical Earthquake Engineering**, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
9. Seyrek, E., **Baraj Yeri Sismik Tehlike Analizlerinde Sayısal Çözümleme Modelleri ve Bir Uygulama**, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2009.
10. McGuire, R.K., Deterministic vs. Probabilistic Earthquake Hazards and Risks, **Soil Dynamics and Earthquake Engineering**, 21, 377-384, 2001.
11. Fat-Helbary, R. ve Tealb, A.A., A Study of Seismicity and Earthquake Hazard at the Proposed Kalabsha Dam Site, **Natural Hazards**, 25, 117-133, 2002.
12. Al-Homoud, A., Evaluation of Strong Motion Acceleration for Embankment Dam Design Considering Local Seismotectonics, **Natural Hazards**, 29, 37-56, 2003.
13. Tosun, H., Zorluer, İ., Orhan, A., Seyrek, E., Türköz, M. ve Savaş, H., Seismic Hazard and Total Risk Analyses for Large Dams in Euphrates Basin in Turkey, **Engineering Geology**, 89, 1-2, 155-170, 2007.
14. Tosun, H. ve Seyrek, E., Total Risk Analyses for Large Dams in Kizilirmak Basin, Turkey, **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 10, 979-987, 2010.
15. Seyrek, E. ve Tosun, H., 2011, Deterministic Approach to the Seismic Hazard of Dam Sites in Kizilirmak Basin, Turkey, **Natural Hazards**, 59, 787-800, 2011.
16. Fraser, W.A. ve Howard, J.K., **Guidelines for use of the Consequence-Hazard Matrix and Selection of Ground Motion Parameters**, Technical Publication, Department of Water Resources, Division of Safety of Dam, 2002.
17. Idriss, I.M. ve Archuleta, R.J., **Evaluation of Earthquake Ground Motions**, Report for Division of Dam Safety and Inspections Office Energy Regulatory Commission, 2007.
18. ICOLD, **Selecting Seismic Parameters for Large Dams-Guidelines and Recommendations**, ICOLD Committee on Seismic Aspects of Dams Design, Bulletin 72, 1989.
19. FEMA, **Federal Guidelines for Dam Safety-Earthquake Analyses and Design of Dams**, Federal Emergency Management Agency, 2005.
20. Shrikhande, M. ve Basu, S. A Critique of the ICOLD Method for Selecting Earthquake Ground Motions to Design Large Dams, **Engineering Geology**, 80, 37-42, 2005.
21. Bureau, G.J. ve Ballentine, G.D., A Comprehensive Seismic Vulnerability and Loss Assessment of the State of South Carolina using HAZUS, Part VI. Dam Inventory and Vulnerability Assessment Methodology, **7th National Conference on Earthquake Engineering**, Boston, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA., July 21-25, 2002.
22. Bureau, G.J., **Dams and Appurtenant Facilities in Earthquake Engineering Handbook** (edited by Chenh, W.F and Scawthorn, C.), CRS press, Bora Raton, 2003.
23. Erdik, M., Doyuran, V., Gülkan, P. ve Akkaş, N., **İstatistiksel Yaklaşımla Türkiyedeki Deprem Tehlikesinin Değerlendirilmesi**, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi, Ankara, 1985.
24. Şaroğlu, F., Emre, O. ve Kuşçu, I., **Türkiye Diri Fay Haritası**, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992.
25. Erdik, M., Biro, Y.A., Onur, T., Sesetyan, K. and Birgoren, G., Assessment of Earthquake Hazard

- in Turkey and Neighboring Regions, **Annali Di Geofisica**, 42, 6, 1125-1138, 1999.
26. Kayabalı, K. ve Akin, M., Seismic Hazard Map of Turkey Using the Deterministic Approach, **Engineering Geology**, 69, 127-137, 2003.
 27. Ulusay, R., Tuncay, E., Sönmez, H. ve Gökçeoğlu, C., An Attenuation Relationship Based on Turkish Strong Motion Data and Iso-Acceleration Map of Turkey, **Engineering Geology**, 74, 265-291, 2004.
 28. Reiter, L., **Earthquake Hazard Analysis-Issues and Insights**, Columbia University Pres, New York, 1990.
 29. Wells, D.L. ve Coppersmith, K.J., New Empirical Relationships Among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement, **Bulletin of the Seismological Society of America**, 84, 4, 974-1002, 1994.
 30. Mark, R.K., Application of Linear Statistical Models of Earthquake Magnitude Versus Fault Length in Estimating Maximum Expectable Earthquakes, **Geology**, 5, 464- 466, 1977.
 31. Gutenberg B. ve Richter, C.F., Frequency of Earthquakes in California, **Bull. Seismol.Soc. Am.**, 34, 185-188, 1944.
 32. Campbell, K.W., Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration, **Bulletin Seism. Soc. Am.**, 71, 6, 2039-2070, 1981.
 33. Boore, D.M., Joyner, W.B. ve Fumal, T.E., **Estimation of Response Spectra and Peak Accelerations from Western North American Earthquakes: An Interim Report**, U.S. Geol. Surv., Open-File Rept. 93-509, 1993.
 34. Campbell, K.W. ve Bozorgnia, Y., Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration from Worldwide Accelerograms Recorded from 1957 to 1993, **Proc. Fifth U.S. National Conference on Earthquake Engineering**, Chicago, Illinois, 283-292, 1994.
 35. Boore, D.M., Joyner, W.B. ve Fumal, T.E., Equations for Estimating Horizontal Response Spectra and Peak Acceleration from Western North American Earthquakes: A Summary of Recent Work, **Seis. Res. Let.**, 68, 128-153, 1997.
 36. Gülkan, P. ve Kalkan, E., Attenuation Modeling of Recent Earthquakes in Turkey, **Journal of Seismology**, 6, 3, 397-409, 2002.
 37. Kalkan, E. ve Gülkan, P., Site-Dependent Spectra Derived from Ground Motion Records in Turkey, **Earthquake Spectra**, 20, 4, 1111-1138, 2004.
 38. Ambraseys, N.N., Douglas, J., Karma, S.K. ve Smit, P.M., Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration, **Bulletin of Earthquake Engineering**, 3, 1-53, 2005.

