

BARAJ YERİ SİSMİK TEHLİKE VE TOPLAM RİSK ANALİZ ESASLARI- CEYHAN HAVZASI İÇİN YAPILAN UYGULAMALAR

Hasan TOSUN¹

Prof.Dr.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

İnş. Müh. Bölümü

Eskişehir/TÜRKİYE

Tel: 0 222 239 37 50 / 3510

e-posta:htosun@barajguvenligi.org

Evren SEYREK²

Araş. Gör.

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

İnş. Müh. Bölümü

Eskişehir/TÜRKİYE

Tel: 0 222 239 37 50 / 3512

e-posta:eseyrek@ogu.edu.tr

ÖZET

Bir baraj yapısının toplam riski, baraj yeri sismik tehlike oranı ile baraj ve yardımcı yapıların risk oranına bağlı olarak tanımlanır. Baraj yeri sismik tehlike oranı, istatistiksel ve deterministik yöntemlerle hesaplanan en büyük yer ivmesi esasında tanımlanır. Baraj ve ilgili yapıların toplam riski ise, baraj yüksekliği, rezervuar kapasitesi, barajın yaşı, potansiyel mansap hasarı ve tahliye gereksinimi esasında belirlenir. Son yıllarda geliştirilen ve yaygın kullanımı olan analiz yöntemlerinde, toplam risk ve baraj yeri sismik tehlike oranı birleştirilerek dikkate alınmaktadır. Bu bildiride, baraj yeri sismik tehlike analizlerinde dikkate alınan birincil faktörler, deprem tanımları ve değerlendirme için gereken parametreler özetlenecek, toplam risk analizi esaslarına değinilecek ve ülkemizin önemli havzalarından biri olan Ceyhan havzasında yer alan barajlar için yapılan uygulamalar değerlendirilecektir. Havza içinde yer alan ve halen planlama, inşaat ve işletme aşamalarında yer alan Aslantaş, Berke, Sır, Klavuzlu, Menzelet, Kalecik, Kartalkaya, Adatepe, Ayvalı, Kozan, Hakkıbeyli, Paşalı ve Karakuz barajları için ayrı ayrı sismik tehlike değerlendirmesi yapılmış ve her baraj için toplam risk değeri hesaplanmıştır. Farklı deprem tanımları esasında hesaplanan en büyük yer ivmesi değerleri dikkate alınarak ve Coğrafi Bilgi Sistemi esasında çalışan bir program kullanılarak farklı dönüş periyotları için Ceyhan havzasının sismik tehlike haritası oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Baraj, Ceyhan havzası, sismik tehlike ve toplam risk,

GİRİŞ

Deprem, değişik nedenlerle yeraltında uzun bir süre içinde biriken enerjinin ani bir boşalımla yer kabuğunda ortaya çıkardığı hızlı bir hareket olarak tanımlanır. Ülkemiz için doğal afetlerin en önemlisi olan deprem, yer kabuğunda bir titreşim yarattığından, yapıların mesnetlenmesinde zamana bağlı bir deplasman hareketi doğuracak ve dinamik bir etki yaratacaktır. Bu nedenle deprem oluşma ihtimali olan bölgelerde yapılacak ve yapılmış olan yapıların deprem yükleri altındaki davranışının belirlenmesinde, yapıya dayanak sağlayan temel sisteminin ve bu sistemin bir parçası olan temel zemininin deprem yükleri altında nasıl davranacağına bilinmesi gereklidir. Baraj yapıları için bu kapsamda yapılacak çalışmalarda, öncelikle yer hareketi tanımlanır, daha sonra temel zemininin ve dolgu malzemesinin özelliklerine bağlı olarak baraj dolgusunun davranışı ortaya konulmaya çalışılır (Seed vd., 1969; Seed vd., 1975).

Ülkemizde ICOLD tanımlarına göre 1200'den fazla büyük baraj bulunmaktadır (Tarım ve Köyişleri Bakanlığına bağlı kurumların yaptıkları ile birlikte). Bu barajların büyük bir bölümü, fiziksel faktörler ve ekonomik gerekçelerle dolgu baraj tipinde inşa edilmiştir. Dolgu barajların, şartnameye uygun inşa edilmeleri halinde, yüksek sismik aktiviteye sahip alanlarda da güvenli bir şekilde inşa edilebileceğine inanılmaktadır. Genelde güçlü yer hareketi barajın stabilitesini etkilemekte ve temel zemininde dayanım kaybına neden olmaktadır. Ayrıca baraj yerine yakın aktif faylarda ortaya çıkan enerji, dolguda beklenmeyen deformasyonları ortaya çıkarmaktadır. Bu etkiye bağlı olarak oluşan baraj göçmeleri ve hasarlarına ait önemli örnekler bulunmaktadır (Castro vd., 1985; Jansen, 1988 ve Tosun, 2002).

Yukarıda belirtilen nedenlerden dolayı, 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 güvenliği de araştırılmalıdır. Su ve toprak kaynaklı projeler kapsamında yeni barajlar inşa etmek kadar, gelişen teknoloji ile eski barajların işletilmesinin ve güvenliğinin sağlanmasının da temel görevlerimiz olduğu unutulmamalıdır. Ülkemiz bu yönde oldukça zengin bir potansiyele sahiptir. Bu bildiride baraj yapılarının toplam riski değerlendirilecek

ve Ceyhan havzasında yer alan mevcut ve planlama aşamasındaki büyük barajların toplam güvenliği ile ilgili çalışma sonuçları özetlenecektir.

ANALİZ YÖNTEMİ

Baraj yapılarının toplam riski, baraj yerinin sismik tehlikesi ile baraj ve yardımcı yapıların risk oranına bağlı olarak değerlendirilir. Bir baraj yapısının sismik tehlike analizi için tüm muhtemel sismik zonlar gelişmiş modeller esasında sınıflandırılır ve her birinin potansiyeli ayrı ayrı değerlendirilir (Fraser ve Howard, 2002 ve Jiminez vd., 2001). Sismik aktivite ile ilgili çalışma, deterministik ve istatistiksel sismik tehlike analizlerini ihtiva eder.

Deterministik sismik tehlike analizi, dört aşamalı bir sismik seneryoyu dikkate alır: (1) baraj yerinde etkili yer hareketini üretecek kapasitedeki deprem kaynaklarının tanımlanması, (2) her zon için kaynak-baraj yeri mesafe parametrelerinin seçilmesi, (3) baraj yerindeki kontrol eden depremin belirlenmesi ve (4) baraj yerinde yer hareketinin neden olacağı tehlikenin en büyük yer ivmesi, hız ve respons spektrum esasında tahmin edilmesi. Bu yöntem, çok basit işlemleri ihtiva eder ve en kötü yer hareketi koşulunun değerlendirilebilmesi için doğrusal bir yaklaşımı dikkate alır (Kramer, 1996).

İstatistiksel sismik tehlike modeli ise, depremlerin yeri, büyüklüğü ve tekerrürü ile ilgili belirsizlikleri tanımlamaktadır ve yaygın olarak kullanılmaktadır. İstatistiksel sismik tehlike analizi, tehlikenin bir bütün olarak ortaya konulabilmesi için belirsizliklerin tanımlanabileceği bir çözümü öngörmekte ve tüm ihtimalleri dikkate almaktadır.

Bu çalışmada, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezinde geliştirilmiş bir bilgisayar programı (DAMHA) kullanılarak istatistiksel ve deterministik tehlike analizi yapılmıştır. Öncelikle sismik kaynaklar belirlenmiş ve deprem oluşma aralıkları tahmin edilmiştir. Ülkemizdeki barajların sismik tehlike analizinde dikkate alınabilecek kaynak zonlarının belirlenebilmesi için değişik çalışmalar yapılmıştır (Yüçemen, 1982; Erdik vd. 1985 ve Şaroğlu vd., 1992).

Havza için yeni bir kaynak modeli oluşturulmuş ve Afet İşleri Genel Müdürlüğü kaynaklarından tarihsel kayıtlar ile 20.Yüzyılda ölçülmüş veriler dikkate alınarak değerlendirme yapılmıştır. Son yüzyıl içinde oluşan depremlerin sismik parametrelerin tahmininde kullanıldığı belirtilmelidir. Güçlü yer hareketi kayıtlarının olmamasından dolayı, değişik azalım ilişkileri kullanılarak en büyük yer ivmesi değeri hesaplanabilmektedir (Boore vd., 1993; Campbell ve Bozorgnia, 1994; Abrahamson ve Silva, 1997; Boore vd., 1997; Gülkan ve Kalkan, 2002) Bu çalışmada, iki ayrı azalım ilişkisi kullanılarak en büyük yer ivmesi değerleri hesaplanmıştır (Abrahamson ve Silva, 1997 ve Boore vd. 1997). Bütün çalışmada her baraj yeri için 100 km yarıçaplı bir daire içindeki tüm kaynak zonları için alansal esasta ayrı ayrı değerlendirme yapılmıştır.

Gutenberg-Richter (1944) ilişkisi kullanılarak sismik tehlike parametreleri belirlenmiş ve ICOLD (1989)'a göre deprem tanımları yapılmıştır. İşletme Esaslı Deprem (OBE), projenin mevcut ömrü boyunca baraj yerinde oluşması beklenen yer hareketini üreten deprem olarak tanımlanır ve istatistiksel yöntemle belirlenir. En Büyük Güvenilir Deprem (MCE), bir fay üzerinde ve özgün tektonik bölge veya kaynak alanı içinde oluşabilecek en büyük deprem büyüklüğü olarak bilinir ve ilgi sahası içindeki tüm kaynaklar için ayrı ayrı tanımlanır. En kritik deprem, Kontrol Eden En Büyük Deprem (CMCE) olarak bilinir ve bu büyüklük baraj yeri için En Büyük Tasarım Depremi (MDE) olarak dikkate alınır (Tosun, 2002). Baraj çalışanları arasında, deprem tanımlarında özellikle MDE tanımında farklı yaklaşımlar olmuş ve ICOLD (1989) tanımları eleştirisel bir gözle değerlendirilmiştir (FEMA, 2005; Shrikhande ve Basu, 2005; Wieland, 2005a ve 2005b).

Bu çalışmada, baraj ilgi sahası içindeki her kaynak için OBE ve MDE değerleri belirlenerek baraj yeri için karakteristik deprem dikkate alınmıştır. Bu çalışma için farklı tanımlarından dolayı diğer depremlerin belirlenmesinden kaçınılmıştır. Ancak her zon için bir çizgisel ve noktasal kaynakta oluşabilecek en büyük deprem tanımı yapılmış ve azalım ilişkileri kullanılarak en büyük pik ivme (PGA) değeri hesaplanmıştır. Bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) esasında çalışan DAMHA programı kullanılarak havza içinde bulunan tüm barajlar için hesaplar yenilenmiştir. Barajlar için seçilmiş sismik kriterlerin çok daha tutucu olduğu belirtilmelidir. Ancak barajlar için depreme dayanıklı tasarımın temel

gereksiniminin kamu güvenliğini artırılması olduğu dikkate alınırsa, bu hassasiyet çok daha kolay anlatılabilecektir.

Bir barajın toplam riskini sayısal esasta tanımlamak için değişik yöntemler önerilmiştir. Bunlardan biri ICOLD (1989) tarafından sunulandır ki; bu yöntemde baraj yeri sismik tehlikesi ile yapı riski oranı ayrı ayrı değerlendirilmektedir. Bu yöntemle göre, yapı tipine bağlı olmaksızın baraj yeri sismik tehlikesi, dört ana grupta sınıflandırılır. Bu yöntemle elde edilen tehlike sınıfları, birincil amaçlı olarak yapılacak sismik değerlendirmeler için kullanılabilir.

ICOLD (1989), barajların potansiyel riskini yapısal ve sosyo-ekonomik etkiler olmak üzere iki ayrı başlık altında tanımlamaktadır. Yapısal etkiler, esas itibarıyla rezervuarın kapasitesine ve barajın yüksekliğine bağlıdır. Sosyo-ekonomik etki olarak tanımlanan ikinci faktörde ise, tahliye gereksinimi ve potansiyel mansap hasarı ifade edilmektedir. Potansiyel risk faktörü, dört ayrı değer toplamı olarak dikkate alınır. Bu toplam değere bağlı olarak dört ayrı risk sınıfı tanımlanır. Risk sınıflaması, sismik değerlendirme parametreleri ile kullanılacak analiz yönteminin seçimi için gereken detaylı bilgiyi sağlamaktadır.

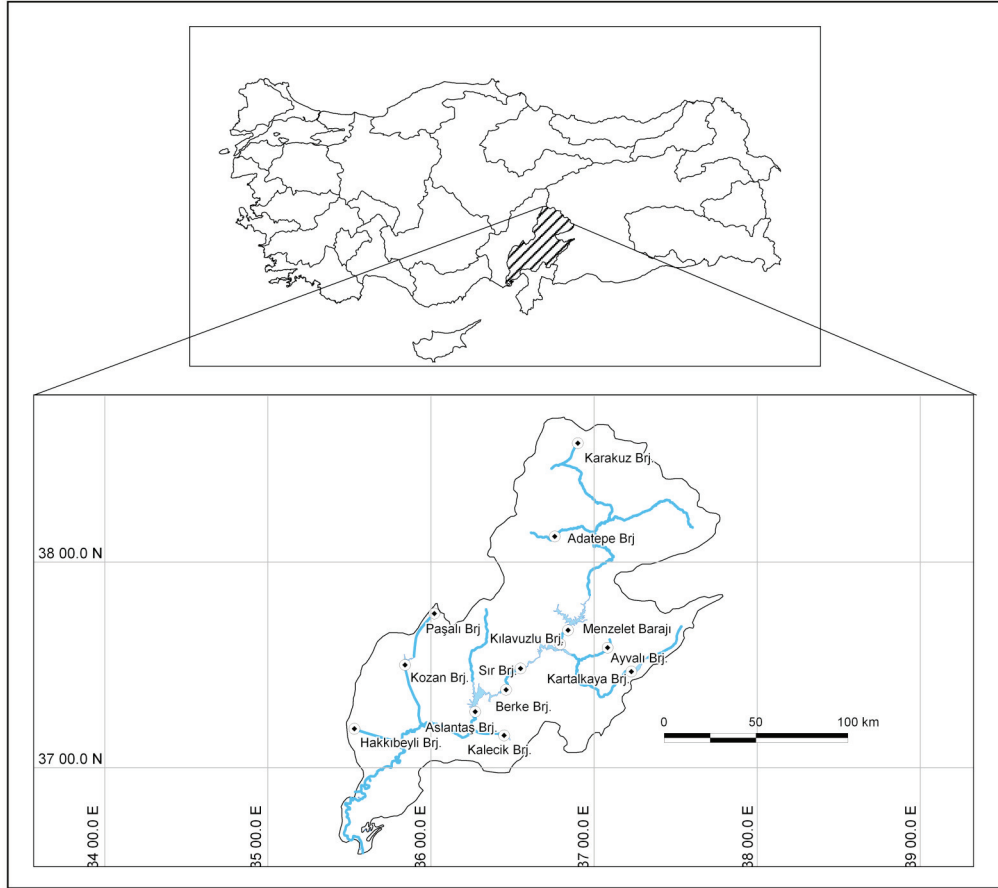
Baraj güvenliğinin sorgulandığı ikinci yöntemde, barajın tipine, yaşına, yüksekliğine, rezervuar kapasitesine, mansap risk faktörüne ve barajın hassasiyetine bağlı olarak toplam risk faktörü tanımlanır (Bureau ve Ballantine, 2002). Bu yöntemde mansap tehlike faktörü için iki ayrı etki dikkate alınmıştır. Yazarlar, mansap tehlike faktörünün belirlenmesi için bir basit sınıflama kartı önermişlerdir. Bu yöntemden elde edilen nihai risk sınıfının, detaylı sismik değerlendirmelerin gerekli olduğu hallerde ve önceliklerin tespitinde kullanılması önerilmektedir.

HAVZA KARAKTERİSTİKLERİ VE SİSMO-TEKTONİK ÖZELLİKLER

Ceyhan havzası, ülkemizin kuzey bölümünde yer almakta olup toplam alanı 21.34 km²'dir. Havzanın ana nehri olan Ceyhan nehri; İç Anadolu bölgesinin güney-doğu bölümünden doğmakta ve bazı yan kolların katılımı ile güneye doğru akarak Adana yakınlarında Akdeniz'e dökülmektedir. Ceyhan havzasının yıllık ortalama akış miktarı 7.2

km³'dür. Bu değer, ülkemizdeki toplam akışa geçen suyun % 3.9'unu oluşturmaktadır. Ortalama yıllık verim ise 10.7 L/s/km² olarak hesaplanmıştır.

Bu çalışma için havzada DSİ ve diğer kurumlar tarafından inşa edilmiş ve edilmekte olan 13 adet büyük baraj dikkate alınmıştır (Şekil 1). Bu barajların 6 adedi ana nehir ve diğerleri yan kollar üzerinde yer almaktadır. Diğer yan kollar üzerinde de 7 adet büyük baraj bulunmaktadır. Çalışmada dikkate alınan barajların 8 adedi işletme ve 5 adedi ise inşaat aşamasındadır. Barajların temelden yüksekliği 28 m ile 201 m arasında değişmektedir (Tablo 1). Ülkemizde en büyük yüksekliğe sahip Berke barajı, bu havza içinde yer almaktadır. Havza içindeki büyük barajların gövde hacimleri ise, oldukça geniş bir aralıkta yer almaktadır (280000 m³ ile 8493000 m³ arasında). Barajların ikisi hariç tamamı toprak ve kaya dolgu tipinde, genellikle sulama ve enerji amaçlı olarak projelendirilmiştir. Havza içinde 2 baraj içmesuyu temin işlevine sahiptir. Çok amaçlı 6 adet büyük barajın 3'ünde taşkın koruma işlevi bulunmaktadır.



Şekil 1. Çalışmada dikkate alınan ve Ceyhan havzasında yer alan barajlar

Tablo 1. Çalışmada dikkate alınan barajların karakteristik özellikleri

Baraj	Nehir	Talvegden yükseklik (m)	Temelden yükseklik (m)	Amacı*	Tipi**	Tamamlanma yılı	Gövde hacmi (x1000m ³)	Rezervuar kapasitesi (hm ³)
Adatepe	Göksun	89.0	95.0	S	KD	i/a***	4700	500.0
Aslantaş	Ceyhan	78.0	95.0	S+T+E	TD	1984	8493	1150.0
Ayvalı	Erkenez	75.5	103.0	S+İ+T	TD	i/a	4900	80.0
Berke	Ceyhan	186.0	201.0	E	İK	2001	735	427.0
Hakkıbeyli	Handeresi	22.2	24.2	S	TD	1994	---	7.7
Kalecik	Kalecik	77.0	80.0	S	KD	1985	1000	32.8
Karakuz	Hurman	61.0	63.0	S+T	KD	i/a	1705	58.0
Kartalkaya	Aksu	56.0	57.0	S+İ	TD	1972	1452	195.0
Kılavuzlu	Ceyhan	56.0	59.0	S+E	TD	i/a	2661	69.0
Kozan	Kilgen	78.5	82.5	S	KD	1972	1680	163.0
Menzelet	Ceyhan	136.5	156.5	S+E	KD	1989	8700	1950
Paşalı	Kuruçay	25.0	28.0	S	KD	i/a	280	3.9
Sır	Ceyhan	106.0	116.0	E	BK	1991	494	1120.0

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

**BK: Beton kemer İK: İnce kemer KD: Kaya dolgu BA: Beton ağırlık TD: Toprak dolgu

***i/a :inşaat aşamasında

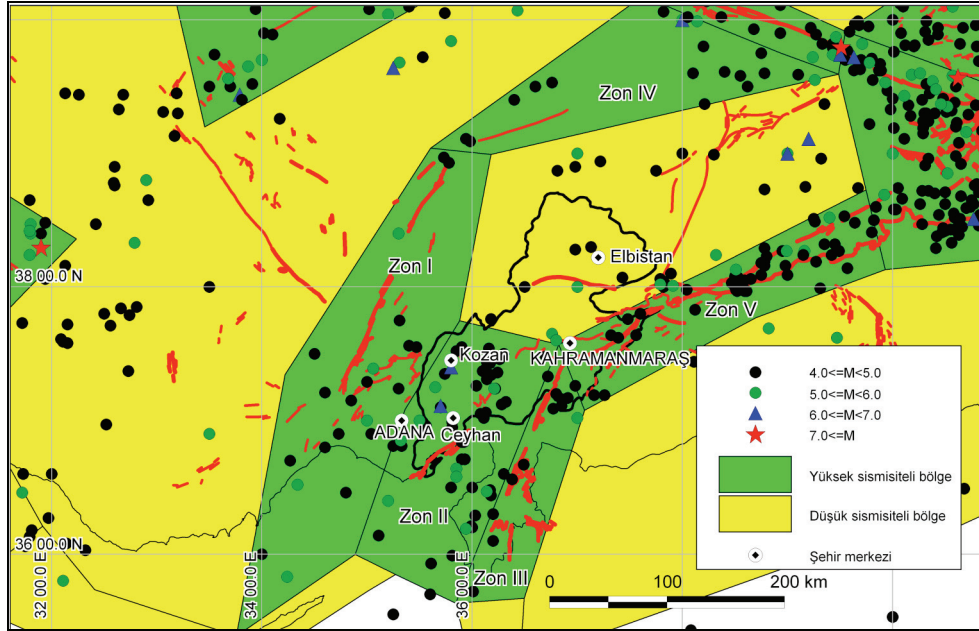
Havza içindeki barajların rezervuar kapasiteleri çok geniş bir aralıkta değişmektedir (7.7 hm³ ile 1950 hm³ arasında). Havza içinde depolama hacmi 7.7 ile 100 hm³ arasında 6 baraj, 100-1000 hm³ arasında 4 ve 1000 hm³'den büyük 3 büyük baraj bulunmaktadır. Havzadaki en büyük depolamaya Menzelet barajı sahiptir. Ana nehir üzerinde yer alan Aslantaş Barajı da büyük bir rezervuar hacmine sahip bulunmaktadır (1150 hm³). Ayrıca Berke barajının hemen üstünde yer alan Sır barajının da yüksek bir depolama hacmine sahip olduğu belirtilmelidir (1120 hm³). Ana nehir üzerinde yer alan Berke barajı ile Göksun çayı üzerinde yer alan Adatepe barajı havzanın diğer kilit yapılarını oluşturmaktadır.

Havza içinde yer alan barajları etkileyen beş ayrı kaynak zone dikkate alınmıştır. Bunlar, Ecemiş fay zone, Karataş fay zone, Deliler fay zone ve iki ayrı segment olarak değerlendirilen Doğu Anadolu fay zoneudur. İlgi sahasındaki sismik etkinliğe ait sismik tehlike parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Çalışmada kullanılan sismik tehlike parametreleri

Kaynak Zonu Numarası	Kaynak Zonu Adı	a	b	M _{maks}
1	Ecemiş Fay Zonu	4.547	0.7719	7.2
2	Karataş Osmaniye Fay Zonu	4.555	0.680	6.5
3	Doğu Anadolu Fay Zonu-Segment1	4.976	0.938	7.1
4	Deliler Fayı	3.441	0.536	6.9
5	Doğu Anadolu Fay Zonu-Segment2	5.144	0.893	7.5

Doğu Anadolu fay zone, havzanın en önemli yapısal süreksizliğini oluşturmaktadır. Doğrultu atımlı olan bu fayın yaklaşık uzunluğu 1200 km'yi bulmaktadır. Bu zon, güneyde ölü deniz içinden geçen fay sisteminin bir devamı gibi değerlendirilmekte ve kuzeydoğuda dünyanın en aktif fay zonlarından biri olan Kuzey Anadolu Fay zone ile keşismektedir (Barka, 1992; Bozkurt, 2001; Kayabali ve Akin, 2003). Fay zone boyunca yer yer farklı segmentlerden oluşan ezilme zonları mevcuttur. Bu bölgede fayın genişliği, 30 km'ye kadar yaklaşmaktadır. Tarihte yüksek büyüklüğe ve büyük tahrip etkisine sahip önemli depremlerin oluştuğu bu kaynak zonunun sismik yoğunluğu düşüktür ve bazı bölümlerinde sismik boşluk yer almaktadır. Bu çalışmada, havza içinde kalan 5 ayrı sismik kaynak zone dikkate alınmıştır (Şekil 2). Bu zonlar, alansal bölge ile temsil edilmektedir.



Şekil 2. Bölgedeki sismik kaynak zonları ve son yüz yılda oluşan depremler

ANALİZLER VE TARTIŞMA

Havzadaki baraj yerlerinin sismik tehlike analizi için, Türkiye sismik zon haritası dikkate alınarak muhtemel kaynak zonları tanımlanmış ve bölgenin sismik tarihçesi esasında revize edilerek 5 ayrı kaynak zonunun havza içinde etkili olduğuna karar verilmiştir. Şekil 2, bu kaynak zonları ile 100 yıl içinde oluşan depremlerin dağılımını göstermektedir. Yüzey dalgası (M_s) esasında 4.0'den büyük büyüklüğe sahip depremlerin

sayısı 46'dır. Büyüklüğü 5.0 ve 6.0'dan büyük olan depremlerin sayısı ise, sırasıyla 5 ve 2 olarak belirlenir. Yüz yıllık katalog verilerine göre bölgede büyüklüğü 7.0'den büyük olan deprem oluşmamıştır.

Sismik tehlike analizi 13 baraj için yapılmıştır. Tüm barajlar için kritik zon tanımları yapılmıştır. Havza içindeki 10 baraj için zon II, 2 baraj için zon V ve 1 baraj için zon IV kritik zonu oluşturmaktadır. Zon III ve V; havza içinde bulunan Doğu Anadolu fayının segmentini ve Zon II ise Karataş-Ceyhan fay hattını ihtiva etmektedir. Her iki süreksizlikte doğrultu atımlı fay özelliğini taşımaktadır. Toplam tehlike analizi için en büyük deprem tanımı, ilgili zonlardaki yapısal kusurların aktivitesine göre tanımlanmıştır.

Tablo 3'de bu çalışma kapsamında ortaya konulan en büyük yer ivmesi (PGA) değerleri verilmektedir. OBE esasında bu değer, çok geniş bir aralıkta değişmektedir (0.03 g-0.18 g). İlgili verilere göre 4 barajın tehlike sınıfı I'dir ve "düşük" tehlike oranına sahiptir. 9 barajın tehlike sınıfı II ve tehlike oranı "orta" olarak tanımlanmıştır (ICOLD, 1989).

Tablo 3. Dikkate alınan barajların tehlike sınıfı ve oranları (144 yıl dönüş periyodu için)

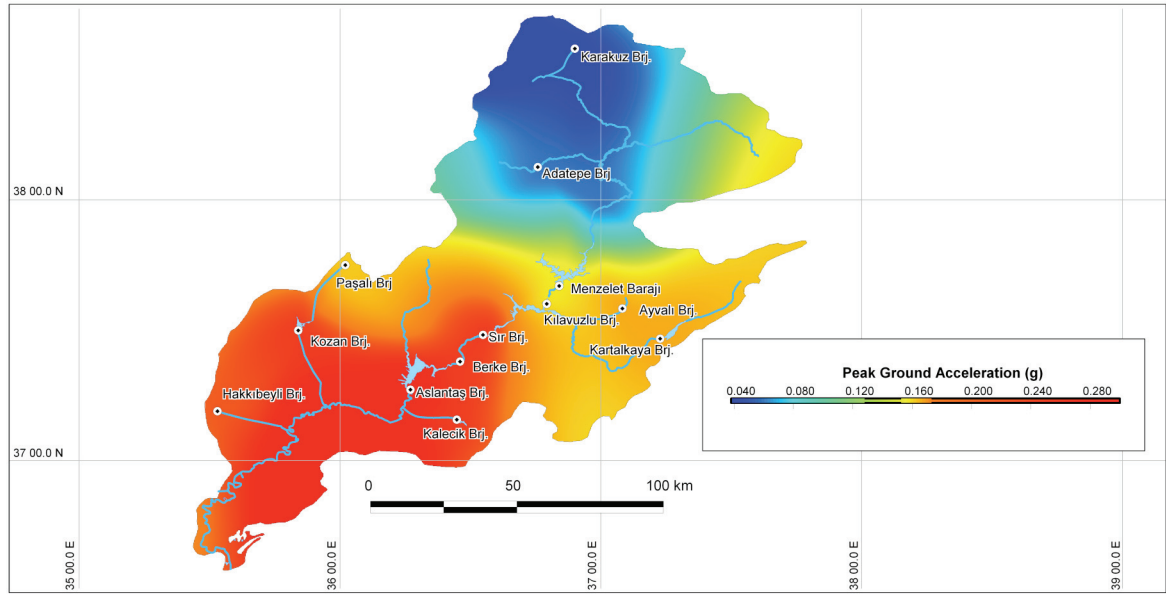
Baraj	PGA (g)		Tehlike Sınıfı	Tehlike Oranı
	Abrahamson ve Silva (1997)	Boore vd. (1997)		
Adatepe	0.04	0.06	I	Düşük
Aslantaş	0.15	0.18	II	Orta
Ayvalı	0.08	0.12	II	Orta
Berke	0.12	0.15	II	Orta
Hakkıbeyli	0.12	0.15	II	Orta
Kalecik	0.13	0.17	II	Orta
Kartalkaya	0.08	0.13	II	Orta
Karakuz	0.03	0.06	I	Düşük
Kılavuzlu	0.07	0.11	I	Düşük
Kozan	0.12	0.16	II	Orta
Menzelet	0.07	0.09	I	Düşük
Paşalı	0.08	0.11	II	Orta
Sır	0.12	0.16	II	Orta

MDE esasında elde edilen PGA değerleri de geniş bir aralıkta değişmektedir (Tablo 4). Bu değerler, dikkate alınan tüm barajlar için 0.05 g ile 0.26g arasında yer almaktadır. Bu esasta bir barajın tehlike sınıfı III'dür ve "yüksek" tehlike oranına sahiptir. İki baraj ise, tehlike sınıf I ve "düşük" tehlike oranı ile sınıflandırılmıştır. Diğer barajlar ise "orta" tehlike oranına sahiptir. 50 yıllık ekonomik ömürde % 10 aşılma olasılığını (475 yıl

tekerrürlü) temsil eden bu değerler kullanılarak ve bir CBS programı esasında değerlendirilerek, bir sismik tehlike haritası oluşturulmuştur (Şekil 3).

Tablo 4. Dikkate alınan barajların tehlike sınıfı ve oranları (475 yıl dönüş periyodu için)

Baraj	PGA (g)		Tehlike Sınıfı	Tehlike Oranı
	Abrahamson ve Silva (1997)	Boore vd. (1997)		
Adatepe	0.06	0.09	I	Düşük
Aslantaş	0.23	0.26	III	Yüksek
Ayvalı	0.15	0.20	II	Orta
Berke	0.23	0.25	II	Orta
Hakkıbeyli	0.22	0.24	II	Orta
Kalecik	0.23	0.25	II	Orta
Kartalkaya	0.16	0.20	II	Orta
Karakuz	0.05	0.08	I	Düşük
Kılavuzlu	0.15	0.18	II	Orta
Kozan	0.22	0.25	II	Orta
Menzelet	0.12	0.16	II	Orta
Paşalı	0.15	0.18	II	Orta
Sır	0.20	0.25	II	Orta



Şekil 3. Ceyhan havzası sismik tehlike haritası (475 yıllık dönüş periyodu)

Barajların toplam risk analizi için baraj yeri ve yapı karakteristikleri ortak dikkate alınarak değerlendirme yapılır. Bureau (2003) yönteminde baraj tipi, yaşı, rezervuar büyüklüğü, mansap hasarı ve tahliye gereksinimi gibi hususlar, baraj yerinde oluşması beklenen deprem büyüklüğü ve yarattığı en büyük yer ivmesi ile birlikte dikkate alınır, bir toplam risk faktörü hesaplanır ve 5 ayrı risk sınıfı tanımlanır. Bu havza için yapılan analiz sonuçları, Tablo 5’de toplu olarak sunulmaktadır.

Tablo 5. Havza içinde dikkate alınan barajların toplam risk analizi sonuçları

Baraj	PGA	M	TRF*	Risk Sınıfı	Tanımlama
Adatepe	0.09	6.5	103.90	II	Orta
Aslantaş	0.26	6.5	200.08	III	Yüksek
Ayvalı	0.20	7.5	164.95	III	Yüksek
Berke	0.25	6.5	90.86	II	Orta
Hakkıbeyli	0.24	6.5	94.14	II	Orta
Kalecik	0.25	6.5	73.16	II	Orta
Karakuz	0.08	6.9	90.79	II	Orta
Kartalkaya	0.20	7.5	176.32	III	Yüksek
Kılavuzlu	0.18	6.5	107.15	II	Orta
Kozan	0.25	6.5	128.02	III	Yüksek
Menzelet	0.16	6.5	130.54	III	Yüksek
Paşalı	0.18	6.5	59.40	II	Orta
Sır	0.25	6.5	111.38	II	Orta

TRF = Toplam Risk Faktörü

Tablo 5’deki verilere göre Toplam Risk Faktörü değerleri 59.49 ile 200.08 arasında değişmektedir. Barajların % 62’si “orta” risk oranına sahip olup risk sınıfı II içine sınıflandırılmıştır. Geri kalan bölüm ise (% 38’i) risk sınıfı III içinde “yüksek” risk oranı ile tanımlanmıştır. En yüksek Toplam Risk Faktörü değeri Aslantaş, Kartalkaya ve Ayvalı barajlarına aittir. Menzelet ve Kozan barajları da yüksek risk sınıfı içinde değerlendirilmiştir. Tablo 4 ve 5’deki verilere göre hem “yüksek tehlike” oranı ve hem de “yüksek risk” oranına sahip bir baraj bulunmaktadır (Aslantaş barajı). Havza içinde yer alan iki beton kemer baraj nispi olarak düşük tehlike oranına sahiptir (Berke ve Sır).

SONUÇLAR

Bu bildiride, sismik tehlike ve toplam risk analizi esaslarına değinilmiş ve Ceyhan havzası için yapılan bir çalışmanın sonuçları verilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar, aşağıda özet olarak sunulmaktadır.

- Havza içinde en kritik kaynak, Karataş Osmaniye Fay zonunu ihtiva eden Zon II’dir. En büyük yer ivmesi ve toplam risk faktörü değerlerinin yüksek olduğu barajların bu zon içinde yer aldığı belirtilmelidir.
- Havza içinde beş ayrı baraj (Aslantaş, Ayvalı, Menzelet, Kartalkaya ve Kozan) yüksek risk grubu içinde sınıflandırılmıştır. Bu barajların, tehlike oranları

“orta” ve “yüksek” arasında değişmektedir. İlgili barajlarda deprem anında deformasyon probleminin oluşma ihtimali yüksektir.

- iii. Baraj yapılarının depreme dayanıklılık tasarımının temel gereksinimi, kamunun can ve mal güvenliğini sağlamaktır. Bu çalışma ile yüksek toplam riske sahip olduğu ve özellikle yüksek sismik tehlike altında yer alan barajlarımız için detaylı değerlendirme yapılması gereklidir. Bu çalışmalar, Ulusal Baraj Güvenliği Programı kapsamında öncelikler de dikkate alınarak yapılmalıdır.
- iv. Havza içinde yer alan ve yüksek toplam risk oranına sahip kilit yapılarımız için ayrı bir çalışmanın yürütülmesi uygun olur.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N.A., & Silva, W.J., “Empirical Response Spectral Attenuation Relations For Shallow Crustal Earthquakes,” Seismological Research Letters, 68(1), 1997, 94–127.

Barka, A.A. The North Anatolian Fault Zone: Annales Tecton6, 1992, 164-195.

Boore, D.M., Joyner, W.B. And Fumal, T.E., Estimation of Response Spectra and Peak Accelerations from Western North American Earthquakes: An Interim Report, Open File Report 93-509.U.S.G.S.,1993

Boore, D.M., Joyner, W.B. And Fumal, T.E., “Equation For Estimating Horizontal Response Spectra And Peak Acceleration From Western North American Earthquakes: A Summary Of Recent Work. Sesimological Reseach Letters,” V.68, N.1, January /February, 1997, 128-153.

Bozkurt, E., 2001. Neotectonics Of Turkey-A Synthesis: Geodinamica Acta, 14, 3-30.

Bureau, G.J., Dams And Appurtenant Facilities In Earthquake Engineering Handbook (Edited By Chenh, W.F And Scawthorn, CRS Press, 2007, Bora Raton 26.1-26.47.

Bureau, G.J., 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” 7 Th National Conference On Earthquake

Engineering, July 21-25, Boston, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, 2002.

Bureau, G.J., *Dams and Appurtenant Facilities in Earthquake Engineering Handbook* (edited by Chenh, W.F and Scawthorn, CRS press, Bora Raton 26.1-26.47, 2003.

Campbell, K.W. And Bozorgnia, Y., “Near-Source Attenuation of Peak Horizontal Acceleration From Worldwide Accelerograms Recorded From 1957 To 1993,” Proceeding Of The Fifth U.S. National Conference On Earthquake Engineering. V.3, 1994, 283-292.

Castro, G., Poulos, S.J., Leathers, F., “Re-Examination of Slide Of Lower San Fernando Dam,” ASCE, Journal Of Geotechnical Engineering, V.111, 1985.

Erdik, M., Doyuran, V., Gülkan, P., Akkaş, N., İstatistiksel Yaklaşımla Türkiye'deki Deprem Tehlikesinin Değerlendirilmesi. Orta Doğu Teknik Üniversitesi Deprem Araştırma Merkezi, Ankara, 1985,116s,.

FEMA, Federal Guidelines For Dam Safety-Earthquake Analyses And Design of Dams. Federal Emergency Management Agency, 2005.

Fraser, W.A., 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 Dams, 2002.

Gutenberg, B. and Richter, C. F., “Frequency of earthquakes in California,” Bulletin of the Seismological Society of America, 1944, 34, 185-188.

Gülkan, P. And Kalkan,E., Attenuation Modeling of Recent Earthquakes in Turkey: Journal of Seismology, 6(3), 2002,397-409.

ICOLD, Selecting Parameters for Large Dams-Guidelines and Recommendations. ICOLD Committee On Seismic Aspects Of Large Dams, Bulletin 72, 1985.

Jansen, R.B., (Ed.) Advanced Dam Engineering for Design, Construction and Rehabilitation. Van Noswtrand Reinhold, New York, 1988, 884p.

Jiminez, M.J., Giardini, D., Grünthal, G., “Unified Seismic Hazard Modelling Throughout The Mediterranean Region” Bolettino Di Geofisica Teorica Ed Applicata, Vol.42, N.1-2, Mar-Jun., 2001, p: 3-18.

Kayabali, K. And Akin, M., “Seismic Hazard Map of Turkey Using the Deterministic Approach” Engineering Geology 69, 2003, 127-137.

Kramer, S.L., Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ, 1996. 653 p.

Seed, H.B., Lee, K.L., Idriss, I.M., “Analysis of Sheffield Dam Failure,” Journal of Soil Mechanics And Foundations Division, ASCE V.95, No.SM6, November, 1969, 1453-1490.

Seed, H.B., Lee, K.L., Idriss, I.M., Makdisi, F.I., “The Slides In The San Fernando Dams During The Earthquake Of February 9, 1971,” Journal Of The Geotechnical Engineering Division, ASCE, V.101, No.GT7, 1975, 651-688.

Shrikhande, M. And Basu, S., “A Critique Of The ICOLD Method For Selecting Earthquake Ground Motions To Design Large Dams,” Engineering Geology 80, 2005, 37-42.

Şaroglu, F., Emre, O., And Kuşçu, I., Active Fault Map of Turkey ,General Directorate of Mineral Research And Exploration, Ankara, 1992.

Tosun, H., Dolgu Baraj Depremselliği Ve Tasarım Esasları. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara, 2002, 208s.

Wieland, M., “Review Of Seismic Design Criteria of Large Concrete And Embankment Dams,” 73rd Annual Meeting Of ICOLD, May 1-6, Paper No:012-W4, Tehran, 2005.

Wieland, M., Guimond, R. And Malla,S., Uncertainties In Seismic Analysis Of Concrete And Embankment Dams: 73rd Annual Meeting Of ICOLD, May 1-6, Paper No:015-S1,Tehran, 2005.

Yüçemen, S., Sismik Risk Analizi_ Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1982,160 s.