BARAJLARIN SİSMİK TEHLİKE ANALİZLERİNDE KARŞILAŞILAN SORUNLAR VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

R. Güner[1] ve E. Yıldız[2]

[1] *İnşaat Yüksek Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş.*
[2] *Dr. İnşaat Yüksek Mühendisi, Temelsu Uluslararası Müh. Hiz. A.Ş.*
Email: ersan.yildiz@temelsu.com.tr

ÖZET

Ülkemiz sismotektonik yönden çok etkin bir yörede yer almaktadır. Buna karşın, ülkemizde baraj ve kapsadığı ilintili yapıların depremsel tasarımı ve bu tasarımlarda baz oluşturacak sismik tehlike analizi konularında herhangi bir yönetmelik bulunmamaktadır. Ülkemizde hazırlanan son "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" genelde bina, istinat duvarı ve benzeri gibi sınırlı yapılar için geçerlidir. Söz konusu yönetmelikte "köprüler, barajlar, kıyı ve liman yapıları, tüneller, boru hatları, enerji nakil hatları, nükleer santraller, doğalgaz depolama tesisleri gibi yapılar, tamamı yeraltında bulunan yapılar ve binalardan farklı hesap ve güvenlik esaslarına göre projelendirilen diğer yapılar bu yönetmeliğin kapsamı dışındadır" denilmekte ve bu yönetmeliğin kapsamı dışındaki yapılara uygulanacak koşul ve kurallar, kendi yönetmelikleri yapılıncaya dek, ilgili bakanlıklar tarafından çağdaş uluslararası standartlar göz önünde tutularak saptanacak ve projeleri bu esaslara göre düzenlenecektir diye vurgulanmaktadır. Bu çalışmada baraj ve kapsadığı ilintili yapıların tasarımları için yapılan sismik tehlike analizlerinde ve ülkemizdeki uygulamalarda yaygın olarak karşılaşılan uyumsuzluk, yanlış anlama ve değerlendirmeler irdelenmekte, sorunun çözümü için kısa, orta ve uzun dönemde uygulanabilecek yaklaşım önerileri tartışmaya açılmaktadır. Ayrıca, Siirt Çetin Barajı için gerçekleştirilen, probabilistik ve deterministik yaklaşımların birlikte değerlendirildiği sismik tehlike analizi örnek olarak sunulmaktadır.

ANAHTAR KELİMELER : Baraj, Deterministik ve Probabilistik Sismik Tehlike Analizleri

1 GİRİŞ

Sismik tehlike ve sismik risk, depreme dayanıklı yapıların tasarımında ve konuya ilişkin diğer sosyal, çevresel, ekonomik, politik vb. yaklaşımlarda en üst düzeyde önem verilmesi gereken iki ayrı kavramı oluşturmaktadır. Ancak, genelde dünyada ve daha da çok ülkemizde bu iki ayrı kavram, çoğu kez yanlış olarak birbiri yerine veya eş anlamda kullanılabilmektedir. Sismik Tehlike Analizi veya Değerlendirmesi (Seismic Hazard Analysis or Evaluation, SHA), sismik risk değerlendirmelerine ve tasarıma yönelik diğer uygulamalara baz olmak üzere sismik tehlikenin yersel ve zamansal belirsizliklerini de içerecek biçimde nicelik olarak ortaya çıkarılmasına yönelik bir çalışmadır. Sismik risk analizi veya değerlendirmesi ise, herhangi bir proje, eylem veya olgunun sismik tehlikeden olumsuz etkilenme olasılığının nicelik olarak ortaya çıkarılması çalışmasıdır ve tasarımcılar ve karar alıcılar için belirleyici niteliktedir.

Sismik tehlike analizinin yapılmasında, bazen ayrı gibi düşünülen, kanımızca birbirinin bütünleyicisi ve birlikte düşünülmesi kaçınılmaz olan başlıca iki yaklaşım söz konusudur. Bunlar Deterministik Sismik Tehlike Analizi (Deterministic Seismic Hazard Analysis, DSHA) ve Probabilistik Sismik Tehlike Analizidir (Probabilistic Seismic Hazard Analysis, PSHA). Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de, gerçekte birbirinden

soyutlanamayacak bu iki yöntemin olumlu veya olumsuz yönleri konusunda büyük ölçüde yanlış anlamalar ve tartışmalar vardır.

Öte yandan; deprem mühendisliğinin göreceli olarak yeni bir disiplin olması, yer bilimlerinin ve sismolojinin karmaşıklığı ve kuvvetli yer hareketi ölçümlerinin kısıtlılığı vb. nedenlerle bu iki yöntemin uygulanmasında pek çok belirsizlik bulunmaktadır. Bu belirsizlikler, rastlantısal (aleatory) ve bilime dayalı (epistemic, scientific) olmak üzere iki ana grupta toplanabilmektedir. Rastlantısal belirsizlikler, tehlike analizlerine veri oluşturan jeolojik, jeofizik, geoteknik, sismotektonik vb. verilerdeki belirsizlikleri; bilime dayalı belirsizlikler ise, tehlike analiz yöntemlerindeki genelde algoritmaya ilişkin belirsizlikleri içermektedir.

İzleyen bölümlerde sismik tehlike analizlerinde kullanılan ana kavramlar ve yaklaşımlar, belirsizlikleri ile birlikte irdelenmekte, konuya ilişkin dünyada ve ülkemizde karşılaşılan sorunlara değinilmekte ve ülkemiz için kısa, orta ve uzun dönemdeki yaklaşımlara ilişkin önerilere yer verilmektedir.

2 TASARIM DEPREMİ

Uluslararası Büyük Barajlar Komisyonu (International Commission on Large Dams, ICOLD) barajların sismik tasarımı için İşletme Bazlı Deprem (Operating Basis Earthquake, OBE), Maksimum Tasarım Depremi (Maximum Design Earthquake, MDE) ve Olabilecek En Büyük Deprem (Maximum Credible Earthquake, MCE) kavramlarını ortaya atmıştır. Son zamanlarda MDE ve/veya MCE yerine değişik uluslararası otoritelerce Güvenirlik Değerlendirme Depremi (Safety Evaluation Earthquake, SEE) veya benzeri kavramlar da kullanılagelmektedir. Ancak, bu kavramlar konusunda da dünyada ve ülkemizde yanlış anlamalar oluşmuştur. Gerçekte bu kavramlar sismik tehlike analizinin değil, sismik risk değerlendirmesinin konusudur. Söz konusu kavramlar izleyen alt başlıklar altında ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

2.1 OBE

OBE, gerçekleşmesi durumunda kolayca onarılabilecek hasara izin verilebilen ancak, söz konusu yapının veya bileşenlerinin işlevini sürdürmesini kesintiye uğratmayacak deprem düzeyi olarak tanımlanmaktadır.

Bu deprem düzeyi, söz konusu yapının Maksimum Tasarım Depremi anlamına gelmemektedir. Baraj ve yardımcı yapılar için yapılması gereken işlevini sürdürebilme (Serviceability Performance) durumunu kontrol etme deprem düzeyidir. Diğer bir deyişle OBE, yapının ekonomik ömrü boyunca büyük olasılıkla karşılaşabileceği, MDE'ninkinden çok daha düşük dönüş süreli (return period) ara bir deprem düzeyidir ve bu depremin gerçekleşmesi durumunda yapıda kolayca onarılabilir düzeyde hasara izin verilmekle birlikte yapının işlevinin kesintiye uğramayacağının gösterilmesini öngören bir tahkik depremidir. Örneğin, genelde başlıca ABD Uniform Building Code'dan uyarlanan deprem yönetmeliğimizde ikametgahlarda deprem dönüş süreleri, OBE için 72 yıl, MDE için 475 yıldır. Bu dönüş süreleri, hastahane, okul, sinema, tiyatro, köprü elektrik, gaz ve su üretim ve dağıtım sistemleri vb. gibi önemli yaşamsal yapılarda (lifeline structures) çok daha büyük alınmaktadır. Baraj ve yardımcı yapıları da, ücra yerlerdeki sulama iletim ve dağıtım amaçlı tesisler gibi yaşamsal veya ekonomik bakımdan çok önemli olmayan yapılar dışında aynı niteliktedir.

ICOLD bültenlerinde OBE, 100 yılda aşılma olasılığı %50, diğer bir deyişle dönüş süresi 145 yıl olan deprem olarak tanımlanmakta ve yer yer tasarım depremi gibi değinilmektedir. Baraj ilintili yapılarının çoğunun sismik tasarımında ülkemizde OBE'nin alınması gibi bir yanlış anlayış vardır. ICOLD (1989), düşük sismisiteli bölgelerde (PGA < 0.25 g) MDE için yapılan tasarım ile yapıda yeterli güvenliğin sağlandığını ve OBE için bir kontrole gerek olmadığını, yüksek sismisiteli bölgelerde (PGA > 0.25 g) ise her yapı için MDE ve OBE'nin ayrı ayrı değerlendirilmesi gerektiğini belirtmektedir. USACE (2007) tüm yapılar için OBE ve MDE yüklemelerini gerekli görmekte ve farklı seviyelerdeki bu depremler için farklı güvenlik kriterlerini ortaya koymaktadır. Bu

bağlamda, OBE ve MDE tasarımda birbirlerine alternatif olarak değerlendirilmemeli, her ikisi birlikte kullanılmalıdır.

2.2 MDE

Maksimum Tasarım Depremi, her türlü yapının tasarımına baz olan depremdir ve yıkılması durumunda yaşamsal veya çok büyük ekonomik kayıplara yol açabilecek yapılar durumunda deterministik olarak Olabilecek En Büyük Deprem, MCE'ye eşit deprem düzeyi olarak alınabileceği gibi, çok yüksek dönüş süreleri göz önüne alınarak probabilistik olarak da belirlenebilir. OBE bölümünde de vurgulandığı üzere, MDE durumunda, katastrofik sonuçlara veya izin verilemeyecek ekonomik hasarlara yol açmamak üzere yapılarda önemli hasarlara izin verilebilmektedir.

3 SİSMİK TEHLİKE ANALİZLERİ

3.1 Deterministik Yöntem

Bu yöntemde; noktasal, çizgisel (genellikle aktif fay) veya alansal olabilen sismotektonik deprem kaynaklarının yaratabilecekleri Olabilecek En Büyük Depremleri (MCE), söz konusu kaynakların jeolojik, sismotektonik vs. geçmişleri de göz önünde tutularak belirlenmekte olup dönüş süresi önemli değildir. Bir proje yerinin olabilecek en büyük depreminin belirlenmesinde, o proje yerini etkilemesi düşünülen kaynaklardaki olabilecek en büyük depremlerin, o kaynaklar üzerinde, proje yerine en yakın noktalarda olacağı varsayılır. Her bir kaynak üzerinde proje yerine en yakın noktada oluşacağı varsayılan bu olabilecek en büyük depremlerin maksimum ivme, maksimum hız, maksimum yer değiştirme vb. parametreleri o yöre için geçerli olabilecek azalım ilişkileri ile proje yerine taşınır. Deprem kaynaklarından baraj yerinde en büyük deprem parametresini doğuran kaynağın Olabilecek En Büyük Depremi, söz konusu proje yeri için Kontrol Eden Olabilecek En Büyük Deprem diye tanımlanır.

3.2 Probabilistik Yöntem

Kramer (1996), ICOLD (1989) ve USCOLD (1999)'da vurgulandığı üzere, gerek deterministik, gerekse probabilistik yöntemde seçilen deprem kaynakları aynıdır. Aralarındaki fark, deterministik yöntemde yalnızca, proje yerinde kontrol eden en büyük deprem yer hareketi parametresini verecek büyüklükteki önemli deprem kaynakları göz önüne alınır. Bunda amaç, proje yeri için en olumsuz senaryonun elde edilmesidir. Probabilistik yöntemde ise proje yerini etkileyebilecek biçimde seçilen arka plan alanında belli bir büyüklüğün üzerindeki deprem kaynaklarının tümü göz önüne alınır ve bu kaynakların üretebilecekleri Olabilecek En Büyük Deprem büyüklükleri de belirlenir. Dolayısıyla, her iki yöntemde yer alan ortak, önemli deprem kaynaklarının Olabilecek En Büyük Deprem büyüklükleri de aynıdır.

Dünyada ve ülkemizde, sismik tehlike ve sismik risk değerlendirmelerindeki bir başka yanlış anlama, tekerrür süresi (recurrence interval) ile dönüş süresi (return period) kavramlarının birbiri yerine kullanılmasıdır (Bommer ve Abrahamson, 2006). Tekerrür süresi, bir sismik kaynakta belli bir büyüklükte veya daha üzerinde meydana gelen depremler arasında geçen zaman olarak tanımlanmakta olup, yer hareketinin değil, sismik kaynaktaki depremlerin oluş sıklığı ile ilgilidir. Dönüş süresi ise, bir yerde belirli bir seviyedeki yer hareketinin (örneğin maksimum yer ivmesi), senelik aşılma sıklığının evrik değeridir. Örneğin bir baraj yerinde, farklı sismik kaynakların yaratacağı maksimum yer ivmesinin 1 sene içinde 0,4 g'nin üzerinde olması sıklığı 1/1000 ise, söz konusu yerde 1000 yıllık dönüş süresine sahip maksimum yer ivmesi 0,4 g değerine karşılık gelmektedir. Dolayısıyla dönüş süresi, sismik kaynakta meydana gelecek depremlerin sıklığı ile değil, inceleme yerindeki yer hareketinin aşılma sıklığı ile ilgilidir. Bu bağlamda, probabilistik yaklaşımın avantajı, tasarımda kullanılacak yer hareketinin aşılma sıklığının kontrol edilmesi sayesinde risk yönetimine olanak tanımasıdır (Bommer ve Abrahamson, 2006).

Yukarıda yer alan bilgiler ışığında, deterministik yöntemde kontrol eden deprem kaynağının Olabilecek En Büyük Depreminin tekerrür süresi belirli olabilirken, proje yerindeki Olabilecek En Büyük Deprem yer hareketi parametresinin dönüş süresi belirsizdir. Probabilistik yöntemde, örneğin depremlerin oluşumunun Poisson dağılımına göre olduğu varsayımında, proje yerinin arka plan alanında yer alan tüm deprem kaynaklarının her noktasında olabilecek, olabilecek en büyük depremlerin proje alanındaki olabilecek en büyük deprem yer hareketi parametresine etkisi, o deprem kaynağının aktivitesine bağlı olarak, eşit ağırlıktadır. Daha açık anlatımla, deterministik yaklaşımda bir deprem kaynağında proje yerine en yakın noktada o kaynağın MCE'sinin olabilme olasılığı "1" alınırken, diğer tüm noktalarında "0" alınmaktadır. Probabilistik yaklaşımda ise örneğin Poisson dağılımı varsayımında arka plan alanında yer alan tüm kaynakların MCE'lerinin o kaynağın her noktasında olabilme olasılığı aynı alınmakta ve proje yerindeki yer hareketi parametreleri tüm noktaların katkısının süperpozisyonu ile bulunmaktadır. Bunun anlamı, bir proje yerinin arka planında yer alan deprem kaynaklarının en azından en önemlileri ve bunların MCE'leri her iki yöntemde de aynı alındığından ve yer hareketi parametreleri aynı azalım ilişkileri kullanılarak elde edildiğinden, doğru bir analiz yapılması durumunda, o proje yeri için probabilistik yöntemle bulunacak Olabilecek En Büyük Deprem yer hareketi parametresi teorik olarak, dönüş süresi ne olursa olsun, deterministik olarak bulunacak olandan büyük olamaz. Bu durum non-Poissonian dağılım varsayımları için de geçerlidir.

3.3 Belirsizliklerin Göz Önüne Alınması

Sismik tehlike analizlerinin ana girdilerini oluşturan sismotektonik değerlendirme, yerel koşullar, kuvvetli yer hareketi kayıtları vb. girdilerde çoğu kez ileri düzeyde belirsizlikler bulunmaktadır. Örneğin çok büyük depremlerin bile büyüklüğü, yeri, kırılma mekanizması ve sismik kaynağın konfigürasyonu gibi özellikleri değişik kaynaklarca ileri ölçüde farklı verilebilmektedir. Deprem büyüklüğündeki 0,1 birim değişikliğin bile depremin boşalttığı enerjide bir kaç kat değişikliğe yol açtığı göz önüne alındığında konunun önemi ortadadır. Proje yerinin deprem kaynağına uzaklığı için değişik azalım ilişkilerinde değişik tanımlamalar vardır. Uzaklık ölçüsündeki küçük değişiklikler benzer şekilde proje yerinde bulunacak deprem parametrelerini önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Burada değinilenlerin dışındaki girdilerdeki belirsizlikler de göz önüne alındığında analizlerde bulunacak orta değerlere belirsizliklerin belirli düzeyde katılması gereği açıktır. Deterministik ve probabilistik yöntemlerden hangisinin yeğleneceği konusundaki tartışmaların çoğu, söz konusu bu belirsizliklerin bu iki yönteme ne ölçüde yansıtılacağından kaynaklanmaktadır. Kanımızca, her iki yöntemde de etkin girdiler ve yaklaşımlar aynı olduğuna göre, standart sapma vb. belirsizlikler de her iki yönteme aynen yansıtılmalıdır. Ancak, ilke olarak analizlerin değişik aşamalarındaki belirsizliklerin göz önüne alınmasında ekstremlerin süperpozisyonundan kaçınılmalı, onun yerine parametrik çalışmalara gidilmelidir.

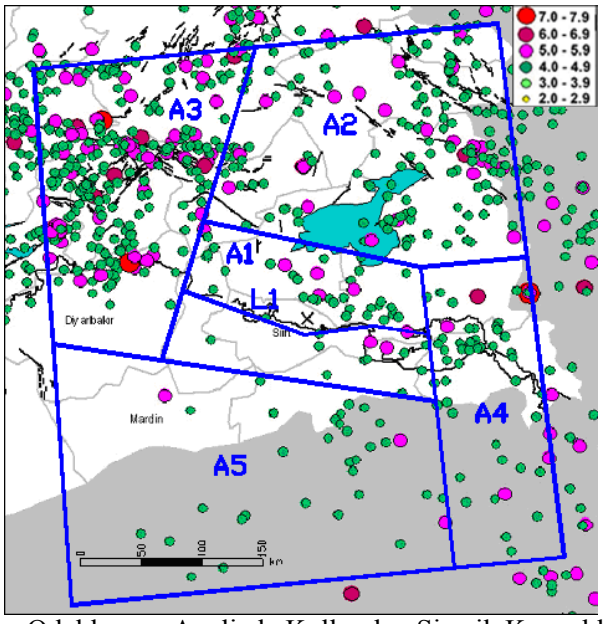
4 AZALIM İLİŞKİLERİ

Dünyanın değişik coğrafik bölgeleri ve değişik sismotektonik kaynak mekanizmaları, jeolojik ve/veya zemin koşulları vb. sınır koşulları için geçerli varsayılan yüzlerce azalım ilişkisi geliştirilmiştir. Konunun karmaşıklığı nedeniyle bu ilişkiler, pek az değişken içeren çok basitinden, pek çok değişken içeren çok karmaşığına kadar geniş bir aralık göstermektedir. Bu ilişkilerden özellikle kuvvetli yer hareketi ölçümlerine dayandırılanlar, standart sapma, varyans vb. güvenirlik aralıklarıyla birlikte verilmektedir. Gerek deprem kaynağı ile ilişkiye kaynak oluşturan kuvvetli yer hareketi ölçüm istasyonları arasındaki jeolojik ve yerel zemin koşullarının farklılığı ve karmaşıklığı, gerekse ilişkilerde kullanılan diğer parametrelerin karmaşıklığı nedenleriyle bu güvenirlik parametreleri de çok geniş bir aralık gösterebilmektedir. Deterministik ve Probabilistik yöntemlerin her ikisinde de deprem kaynağının proje yerinde doğuracağı etki proje yerine azalım ilişkileri ile taşınmaktadır. Söz konusu yöntemlerdeki kaynak ve MCE'lerin belirlenmesindeki belirsizlikler bir yana, sırf azalım ilişkilerindeki bu belirsizlik nedeniyle proje yerinde bulunacak orta değerlere belirli bir standart sapmanın uygulanması tüm uluslararası kabul gören kuruluşlarca izlenen genel bir uygulamadır.Burada gözetilmesi gereken koşul, standart sapmanın her iki yönteme de uygulanmasıdır.

5 ÇETİN BARAJI ÖRNEĞİ

Siirt'in Pervari ilçesi sınırları içerisinde projelendirilen Çetin Barajı için, deprem tasarımına yönelik yer hareketi parametrelerinin bulunabilmesi amacı ile yapılan probabilistik ve deterministik sismik tehlike hesaplamaları bu bildiride kısaca özetlenmiştir. 37,97(E) ve 42,39(B) koordinatlarında yer alan baraj yerini etkileyen ana fay zonları; güneyde Bitlis-Zagros Bindirme Zonu ile kuzeybatıda yer alan Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu Fay Zonları'dır. Kandilli kayıtlarına göre, baraj yeri ve çevresinde, büyüklüğü M_w=4'ün üzerinde meydana gelmiş deprem odakları Şekil 1'de gösterilmiştir.

Proje yerindeki aktif faylar ile ilgili detaylı arazi çalışmaları gerçekleştirilmiş ve baraj yerini yakından etkileyen aftif fayların lokasyonları ile tahmin edilen maksimum deprem büyüklükleri belirlenmiştir. Söz konusu çalışmaya göre, baraj yeri için MCE'yi kontrol eden sismik kaynak M_s=6.95 deprem büyüklüğü ve baraj yerine D=12.5 km minimum mesafe ile Damlı-Beşan fayıdır.



Şekil 1. Deprem Odakları ve Analizde Kullanılan Sismik Kaynakların Yerleşimi

Şekil 1'de verilen kaynak karakterizasyonundan görüleceği gibi 5 adet alansal kaynak ve detaylı fay araştırmasına göre belirlenen bir adet çizgisel kaynak dikkate alınmıştır. Söz konusu kaynaklar için kullanılan ve Gutenberg – Richter tekrarlama ilişkisine göre belirlenen parametreler ve maksimum deprem büyüklükleri aşağıdaki tabloda özetlenmiştir.

Tablo 1. Sismik Kaynak Parametreleri

	a	b	M_{maks}	M_{min}
A1	3,59	0,91	6,0	4,0
L1	3,59	0,91	6,8	6,0
A2	4,24	0,94	6,8	4,0
A3	4,14	0,88	6,5	4,0
A4	2,48	0,67	7,6	4,0
A5	2,74	0,79	6,0	4,0

Yapılan sismik tehlike çalışmasında, Campbell ve Bozorgnia (2008), Chiou ve Youngs (2008) ve Boore ve Atkinson (2007) olmak üzere 3 farklı güncel azalım ilişkisi kullanılmıştır. Seisrisk III (Bender ve Perkins, 1987) programı kullanılarak gerçekleştirilen probabilistik analiz sonucunda, farklı azalım ilişkilerinden elde edilen sonuçların ortalaması alınarak, orta değer ve standart sapmanın dahil edildiği durumlar için belirlenen maksimum yer ivmesi (PGA) değerleri aşağıda özetlenmiştir. Program, standart sapmanın etkisini, azalım ilişkisindeki değişkenliğin log-normal dağılımını hesaplamalarda kullanarak göz önüne almakta, dağılıma herhangi bir sınırlama (örneğin orta + 1 standart sapma) getirmemektedir.

Tablo 2. Probabilistik Analiz Sonuçları

Dönüş süresi	PGA (orta)	PGA (st. sapma dahil)
145 yıl	0,09	0,13
475 yıl	0,13	0,20
2475 yıl	0,17	0,32

MCE için aynı azalım ilişkileri kullanılarak yapılan deterministik hesap sonucunda, orta ve orta + 1 standart sapma (84 yüzdeli) için maksimum yer ivmesi değerleri 0.18 g ve 0.30 g olarak belirlenmiştir. Deterministik olarak orta + 1 standart sapma için belirlenen 0.30 g değeri, probabilistik yaklaşım ile 2475 yıllık deprem için belirlenen 0.32 g değerinin biraz altındadır. Bunun nedeni, deterministik yaklaşımda azalım ilişkisindeki belirsizliği +1 standart sapma ile sınırlarken, probabilistik analizde kullanılan programın, azalım ilişkisindeki belirsizliği log-normal dağılım olarak sınırsız şekilde hesaba katmasıdır. Nitekim, orta değerler göz önüne alındığında, deterministik yöntem ile elde edilen maksimum yer ivmesi, probabilistik yöntem ile elde edilenin üzerindedir.

Elde edilen sonuçlar ışığında, baraj tasarımında kullanılmak üzere, OBE için 145 yıllık depreme karşılık gelen 0.20 g, kritik yapılarda kullanılacak MDE için ise MCE ile deterministik olarak elde edilen değer bir üst sınır kabul edilerek 0.30 g maksimum yer ivmeleri önerilmiştir.

6 SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde hazırlanan son "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik" genelde bina, istinat duvarı vb. sınırlı yapılar için geçerlidir ve söz konusu yönetmelikte köprüler, barajlar, kıyı ve liman yapıları, tüneller, boru hatları, enerji nakil hatları, nükleer santrallar, doğalgaz depolama tesisleri gibi yapılar, tamamı yer altında bulunan yapılar ve binalardan farklı hesap ve güvenlik esaslarına göre projelendirilen diğer yapılar bu yönetmeliğin kapsamı dışındadır denilmekte ve bu yönetmeliğin kapsamı dışındaki yapılara uygulanacak koşul ve kurallar, kendi yönetmelikleri yapılıncaya dek, ilgili Bakanlıklar tarafından çağdaş uluslararası standartlar göz önünde tutularak saptanacak ve projeleri bu esaslara göre düzenlenecektir diye vurgulanmaktadır. Önceki bölümlerde açıklanan görüşler bu yaklaşımla izleyen paragraflarda özetlenmiştir.

(i) Yönetmelik Gereksinimi

Su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesi amacıyla hidroteknik yapıların ön incelemesinden, planlanması, tasarımı, yapımı, işletilmesi ve yapım sonrası izlenmesi ile yükümlü olan DSİ'nin projelerinin sismik tasarımının yürürlükteki Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"te de öngörüldüğü gibi uluslararası standartlarla da uyumlu biçimde bir an önce hazırlattırılacak bir özel yönetmeliğe dayalı olarak hazırlanması gereği ortadadır. Kısa dönemde DSİ'nin genelde örnek aldığı ICOLD, USBR ve USACE prosedürleri izlenmeli, orta dönemde gereken bölgelerde baraj ve ilintili yapılarında da ayrıntılı sismik hesaplamalara gidilmeli, uzun dönemde ise olabildiğince kısa sürede yönetmelik çıkarılmalıdır.

(ii) Tasarım Depremleri
Deprem tasarımında yararlanılan İşletme Bazlı Deprem (OBE), tasarımı öngörülen yapının ekonomik ömrü süresinde büyük olasılıkla karşılaşılabileceği ve bu durumda yapının kolayca onarılabilir hasarına izin verilen, ancak yapının işlevinin kesintiye uğramamasını öngören bir kontrol deprem düzeyidir. Maksimum Tasarım Depremi (MDE), dönüş süresi genelde OBE'den çok daha yüksek, yapının önemine göre Olabilecek En Büyük Deprem düzeyine çıkabilecek bir deprem düzeyidir. Tasarımda OBE ve MDE birbirlerine alternatif olarak değerlendirilmemeli, farklı performans kriterleri göz önüne alınarak birlikte kullanılmalıdır.

(iii) Sismik Tehlike Analizi
Sismik Tehlike Analizlerinde Deterministik ve Probabilistik Yöntemler genelde birlikte kullanılmaktadır ve bu kanımızca kaçınılmaz bir zorunluluktur. Deterministik yöntemde belirlenen değişik düzeydeki deprem parametrelerinin dönüş sürelerinin belirsizliği nedeniyle, bu sürelerin probabilistik yöntemle belirlenmesi gerekmektedir. Bir proje yerinde probabilistik analizle deprem parametreleri belirlenirken deterministik yöntemde kullanılan aynı etkin deprem kaynaklarının kullanılması gerektiğinden, probabilistik yöntemle bulunacak yer hareketi parametreleri deterministik yöntemle bulunanları teorik olarak geçememelidir.

Aynı sismik kaynaklar ve maksimum deprem büyüklükleri kullanılmasına karşın, probabilistik hesaplamalarda elde edilen yer hareketi parametrelerinin, deterministik yaklaşım ile bulunan değerlerin üzerinde çıkabilmesinin esas nedeni, her iki yöntemde yapılan kabullerdeki ve hesap detaylarındaki farklardır. Örneğin, deterministik yöntemde, orta değer +1 standart sapma (84 yüzdeli) olarak dikkate alınan azalım ilişkisinin, probabilistik yaklaşımda çoğu PSHA yazılımında olduğu gibi belirsizlik dağılımının tam integrasyonu ile hesaba katılması durumunda, yüksek dönüş sürelerinde deterministik yönteme göre daha yüksek sonuçlar elde edilebilmektedir. Bunun nedeni, deterministik hesapta göz önüne alınmayan +1 standart sapmanın üzerindeki belirsizliğin, probabilistik hesapta dikkate alınmasıdır. Bu durumda, tasarımda kullanılmak üzere, deterministik hesap ile elde edilen yer hareketinin bir üst sınır olarak kabul edilmesi uygun bir yaklaşım olacaktır.

(iv) Azalım İlişkileri
Sismik Tehlike Analizlerinin değişik aşamalarında yapılan ara analizlerde standart sapmalar değişik ölçülerde göz önüne alınabilmekte veya alınmayabilmektedir. Azalım ilişkilerindeki güvenirlik aralıkları ise çok geniş bir dağılım göstermektedir ve özellikle azalım ilişkilerindeki standart sapmanın belirli bir ölçüde yansıtılması hemen tüm uluslararası kabul gören kuruluşlarca izlenen yaygın bir uygulamadır. Sismik Tehlike Analizlerinin değişik aşamalarında uygulanabilecek standart sapmaların gözönüne alınması durumunda ekstremlerin süperpozisyonu gibi durumlar doğabileceğinden azalım ilişkilerine standart sapmanın ne ölçüde yansıtılacağı tasarımcı ile tüm ilgililer arasında yapılacak irdelemeler sonucunda sosyal, çevresel, ekonomik zorunluluklara dayalı olarak belirlenmelidir.

(v)Meslek İçi Eğitim
İdarelerde, konuyla ilgili tüm personelin meslek içi eğitim veya diğer yollarla eğitilmesi yoluna gidilmelidir.

KAYNAKLAR

Abrahamson, N. (2009). State of Practice of Seismic Hegard Analysis: From the Good to the Bad, EERI Distinguished Lecture Series

Bender, B., Perkins, D., M. (1987). SEISRISK III: A Computer Program for Seismic Hazard Estimation, U.S. Geological Survey Bulletin 1772, Washington.

Bommer, J.,J., Abrahamson, N.,A. (2006). Why Do Probabilistic Seismic Hazard Analyses Often Lead to Inreased Hazard Estimates, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 96, No. 6, pp. 1967–1977.

Boore, D., M., Atkinson, G., M. (2007). Boore-Atkinson NGA Ground Motion Relations for the Geometric Mean Horizontal Component of Peakand Spectral Ground Motion Parameters, PEER Report 2007/01

Campbell, K.,W., Bozorgnia, Y. (2008). NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s, Earthquake Spectra, 24(1), 139-171.

Chiou, B., S., J., Youngs, R., R. (2008). NGA Model for Average Horizontal Component of Peak Ground Motion and Response Spectra, PEER Report 2008/09

FEMA (2009). NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures

Hull, A., Augello, A., Erdik M., Turfan, M., Pavone, M., Atay, E. (2002). Seismic Hazard Assessment for the Hakkari Project, Hydropower & Dams, Issue 5

ICOLD (1989). Selecting Seismic Parameters for Large Dams, Bulletin No. 72

Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering,

NCHRP 611 (2008). Seismic Analysis and Design of Retaining Walls, Buried Structures, Slopes, and Embankments

Türkiye Deprem Sitesi, http://www.sayisalgrafik.com.tr/deprem

USACE (1995). Earthquake Design and Evaluation for Civil Works Projects, ER 1110-2-1806

USACE (2005). Stability Analysis of Concrete Structures, EM 1110-2-2100

USACE (2007). Earthquake Design and Evaluation of Concrete Hydraulic Structures, EM 1110-2-6053

USCOLD (1999). Updated Guidelines for Selecting Seismic Parameters for Dam Project

Wang, Z. (2010). Seismic Hazard Assessment: Issues and Alternatives, Pure and Applied Geophysics, Volume 168, Issue 1-2, pp. 11-25