ZEMİN BÜYÜTME ANALİZLERİ VE SAHAYA ÖZEL TASARIM DEPREMİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

A.Ansal[1] ve G.Tönük[2] ve A.Kurtuluş[2]

[1] *Profesör, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi*
[2] *Dr.Araştırmacı, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi*
Email: ansal@boun.edu.tr.

ÖZET:

Depremlerde anakaya seviyesinden yüzeye doğru hareket eden deprem dalgaları içinden geçtikleri zemin tabakalarının mühendislik özelliklerini değiştirirken, zemin tabakaları da kalınlık ve özelliklerine bağlı olarak deprem dalgalarının özelliklerini değiştirir. Bu değişim zemin yüzeyinde deprem ivme genliklerinin büyümesi veya küçülmesi, ivme zaman kayıtlarının süre ve frekans özelliğinin değişmesi şeklinde olur. Olası bir depremin mevcut yapı ve bina stoğu üzerinde etkilerinin gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesinde zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin ve olası zemin davranışlarının hesaba katılması gereklidir. Bunun yapılabilmesi için zemin kesitinde yer alan zemin tabakaları kapsamlı bir şekilde belirlenmeli, incelenen bölgede olasılıksal sismik tehlike analizleri ile uyumlu ivme zaman kayıtları seçilmeli ve zemin büyütme analizleri yapılmalıdır. Bu amaca yönelik olarak, tek boyutlu Shake91 analiz yöntemi frekans ve düşey gerilme etkilerini hesaba alacak şekilde geliştirilmiş ve bir zemin büyütme analiz yöntemi olarak kullanılabilirliği 1999 Kocaeli depreminde alınan deprem kayıtları model edilerek gösterilmiştir. Ve bu yaklaşım uygulanarak gerçekleştirilmiş sahaya özel tasarım depremi özelliklerinin belirlenmesi için yapılan mühendislik çalışmalarından bazı bulgular özetlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER : zemin büyütme analizleri, kuvvetli yer hareketi, yerel zemin etkileri

1. GİRİŞ

Yerel zemin koşullarının tasarım sürecinde gözönüne alınmasında değişik yaklaşımlar bulunmaktadır. Tamamen ampirik bir yaklaşıma dayanan azalım ilişkileri değişik zemin koşullarına karşı gelen katsayıların belirlenmesini içermektedir. Bu konuda önemli bir gelişme bu katsayıların zemin kesitinde üst 30m için hesaplanabilen ortalama kayma dalgası hızının bir fonksiyonu olarak tanımlanmasıdır (Abrahamson vd., 2008). İkinci bir yaklaşım olarak büyütme faktörleri kullanılmasında ise, kayma dalgası hızı profiline bağlı olarak farklı özelliklere sahip zeminler için belli bir zemin sınıfını temsil eden tipik davranışların geçerli olduğu kabul edilmektedir. Bu yaklaşımı benimseyen Borcherdt (1994) tarafından önerilen ve yaygın bir şekilde kullanılan yöntemde, ampirik büyütme faktörleri anakaya seviyesinde olması muhtemel ivme spektrumuna, bu spektrumun özelliklerine ve üst 30m için hesaplanan ortalama kayma dalgası hızına bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Sahaya özel büyütme analizi yaklaşımında ise, söz konusu sahadaki zemin tabakalarını temsil eden kayma dalgası hız profili ve zemin özellikleri kullanılarak genellikle bir boyutlu zemin büyütme analizleri yapılmaktadır (Ansal, vd., 2010; 2009).

2.ZEMİN BÜYÜTME ANALİZLERİ

Yerel zemin tabakalarının yüzeyinde oluşacak deprem özelliklerini belirleyebilmek amacıyla, yerel sismik tehlike bulguları ile uyumlu zemin büyütme analizleri yapılır. Bu tür analizlerde izlenen adımlar şöyle özetlenebilir:

1. Zemin özelliklerinin belirlenmesi: Bu aşama geoteknik, jeolojik ve jeofiziksel incelemelere ve zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine bağlı olarak temsili zemin profillerinin seçilmesini, dinamik kayma modülünün derinlikle değişimini temsil eden kayma dalgası hız (Vs) profilinin ve kayma modülü ile sönüm oranı değerlerinin şekil değiştirme genliği ile değişimlerinin belirlenmesini kapsar.
2. İvme zaman kayıtlarının seçimi: Analizlerde kullanılacak deprem kayıtları sismik tehlike çalışması ile öngörülen deprem manyitüdü, deprem uzaklığı ve faylanma mekanizması ile uyumlu olan kayıtlardan seçilmelidir (Ansal ve Tönük, 2007). Ayrıca sismik tehlike çalışmasında belirlenmiş en büyük ivme ve ivme spektrumu ile de uyumluluk aranmalıdır. Tasarım depremine uyumluluk, kaydedilmiş ivme büyüklüklerinin sabit bir katsayı kullanılarak ölçeklendirilmesi ile sağlanabilir. Genellikle yer hareketinin modellenmesi sahada hipotetik olarak yüzeylenmiş anakayanın varlığı kabul edilerek yapılır.
3. Zemin büyütme analizleri: Dinamik zemin özelliklerini temsil eden parametrelerin tanımlanmasındaki belirsizliği göz önüne almak üzere, analizler genellikle bu parametrelerin ortalama (en iyi tahmin) değerleri kullanılarak yapılır. Yüzeydeki deprem özellikleri için hesaplanan en büyük ivme değerleri ve ivme davranış spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilerek mühendislik tasarıma yönelik en büyük ivme değeri ve ivme davranış spektrumu geliştirilir.

Zemin büyütme analizi yapmak için zeminlerin gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinin tanımlanmasında ve dalga yayılım denkleminin hesaplanmasında kullanılan yöntemlerde yapılan basitleştirici varsayımlara bağlı olarak değişen çeşitli yöntemler mevcuttur. Yerel zemin davranışının tek boyutlu dalga yayılımı analizleri basit olmalarının yanısıra güvenli tarafta kalan sonuçlar verdikleri inancıyla oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tür analizlere dayanarak tasarlanmış pek çok proje depremlerde yeterli dayanımı göstermiştir.

Sahaya özel yüzey deprem özellikleri, temsili zemin profili için bir boyutlu ve eşdeğer doğrusal zemin büyütme analiz programı olan Shake91 (Idriss ve Sun, 1992) kullanılarak hesaplanmıştır. Bir boyutlu, eşdeğer doğrusal analiz yöntemindeki önemli noktalardan birisi, küçük sönüm değerlerinin bile hareketi oldukça etkileyebildiği derin sondaj profillerinin analizidir. Eğer büyük derinlikler için analiz yapılacaksa, sönümün artan derinlikle azalacak ve büyük derinliklerde daha küçük değerlere düşecek şekilde değiştirilmesi gerekmektedir.

Diğer önemli nokta ise, zemin büyütme analizlerinde kullanılan birim şekil değiştirmeye bağlı modül azalımı ve sönüm ilişkilerinin efektif gerilmeyle değişimi ile alakalıdır. Tahmin edilen yer hareketlerinde çevre basıncına bağımlılığın araştırılması için yapılan analizler çevre basıncına bağımlı ilişkilerin kullanılmasının ortalama ilişkiler kullanılarak bulunan sonuçlara göre daha büyük deprem özellikleriyle sonuçlandığını göstermektedir (Darendeli, 2001, Darendeli vd., 2001). Zemin büyütme analizleri efektif gerilmeye bağımlı modül azalımı ve sönüm ilişkileri benimsenerek yapılmıştır. İlişkiler, Darendeli (2001) tarafından geliştirilen dört parametre modeline bağlı olarak zemin profilinin her bir alt tabakası için seçilen zemin tipine uygun olarak üretilmiştir.

Genel olarak, eşdeğer doğrusal analiz yönteminin büyük depremler altında daha büyük en büyük ivme ve kayma gerilmesi, yüksek frekans aralığında ise daha düşük büyütme verdiği görülmüştür. İkinci durum, sönüm oranının genliği düşük titreşimlerle oluşan çok büyük efektif birim şekil değiştirmelerden bulunmasından kaynaklanmaktadır. Bu etki küçük orta büyüklükteki depremler altında baskın olmakta ve daha küçük ivme değerleri ile sonuçlanmaktadır (Yoshida vd., 2002).

Shake91 zemin büyütme analiz programı, Sugito vd. (1994) tarafından önerilen yöntem benimsenerek modellenen yer hareketlerinin frekans bağımlı özelliklerini dikkate alacak şekilde geliştirilmiştir. Sugito vd. (1994) eşdeğer doğrusal analizde yüksek frekans aralığındaki büyütmenin düşük kalması problemini her

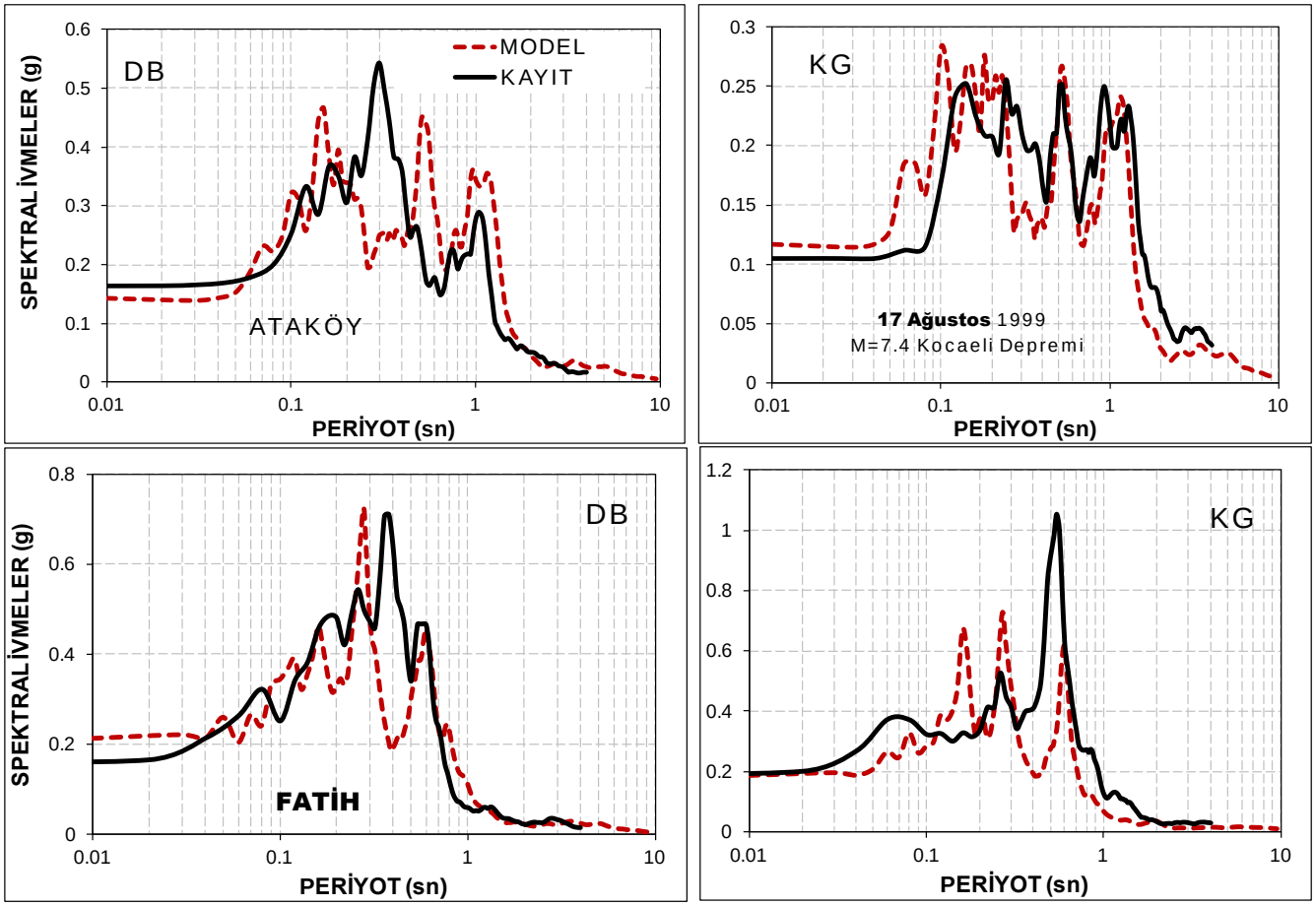
frekans bileşeni için efektif birim şekil değiştirmenin frekans bağımlı özelliğini aşağıda verilen formül ile tanımlayarak iyileştirmiştir.

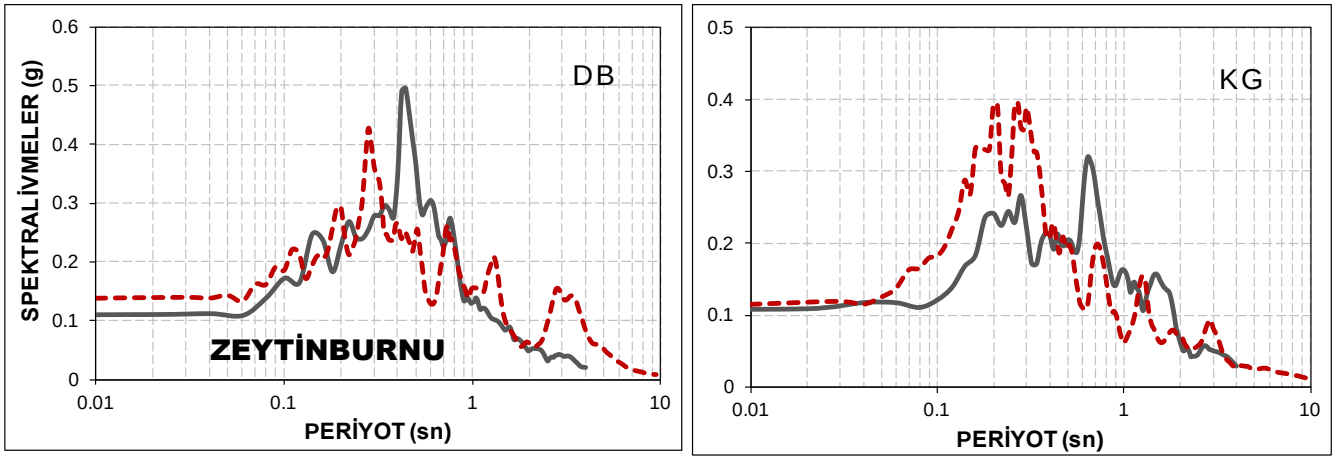
$$\gamma_{eff} = \alpha \frac{F(f)}{F_{\max}} \gamma_{\max} \qquad (1)$$

Burada, F(f) frekans bağımlı kayma birim şekil değiştirme Fourier genliğini, Fmax ise F(f)'in en büyük değerini göstermektedir. Bu denklemin fiziksel anlamı çok açık olmamakla beraber, bu modifikasyon eşdeğer doğrusal analiz sonuçlarında bazı örneklerde önemli iyileştirmelerle sonuçlanmıştır. Ueshima ve Nakazono (1996), Tayvan Lotung sahasındaki düşey ağ kaydının bu yöntem kullanılarak yapılan geriçıkarım (deconvolution) analizinde çok iyi sonuçlarla simule edildiğini rapor etmiştir.

2. KOCAELİ DEPREMİNDE İSTANBUL KAYITLARININ MODELLENMESİ

17 Ağustos 1999 M_w=7.4 Kocaeli Depreminde, kırılan faya uzaklık yaklaşık 100km civarında olmakla birlikte Ataköy, Zeytinburnu ve Fatih kuvvetli yer hareketi istasyonlarında alınmış olan kayıtlar 0.12g, 0.17g, 0.19g mertebelerine çıkmıştır. Bu noktadan hareket edilerek, bu üç istasyonda 17 Ağustos 1999 depreminde kayıt edilmiş olan ivme zaman ilişkileri, geliştirilmiş Shake91 programı kullanılarak model edilmiştir. Bu çalışmada dinamik kayma modülü ve sönüm oranı birim kayma ilişkileri Darendeli (2001) tarafından önerilmiş olan gerilme bağımlı ilişkiler kulanılarak hesaplanmıştır. Bu analizlerde gene aynı depremde İstanbul Teknik Üniversitesi Maslak Kampüsünde anakaya üzerinde kaydedilmiş olan ivme zaman kaydı kullanılmıştır. Şekil 1'de bu üç istasyonda kayıt edilmiş olan ivme spektrumu ile hesapla bulunmuş olan spektrumlar verilmiştir.





Şekil 1. 17/08/1999 Kocaeli Depreminde kaydedilmiş ve hesaplanmış ivme spektrumları

Buradan da görüldüğü gibi geliştirilmiş olan zemin davranış analiz programı (Shake91) kullanılarak yapılmış olan modelleme çalışmaları tek boyutlu analiz yönteminin gerçeğe yakın sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu nedenle geliştirilen analiz programının benzer koşullar altında sahaya özel deprem özelliklerini belirlemek için kullanılabilir olduğu kabul edilebilir.

3.SAHAYA ÖZEL TASARIM DEPREMİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

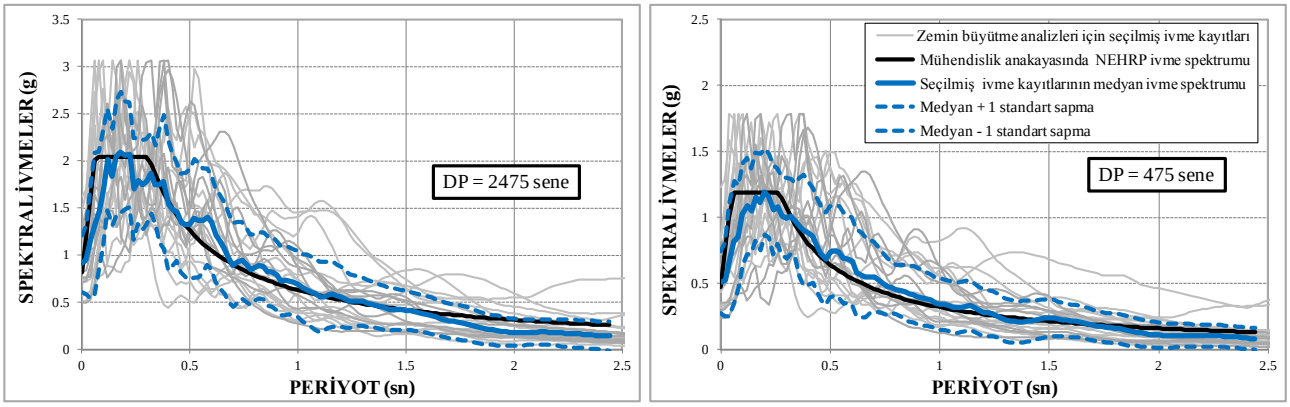
Sismik tehlike analizinin son aşaması, incelenen saha için zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin mühendislik analizlerinde kullanılmak üzere belirlenmesini içermektedir. Bu aşamada tercih edilen seçenek zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin, detaylı bir zemin incelemesi ve sahaya özel zemin büyütme analizleri sonucunda tahmin edilmesidir. Göreceli olarak kısa mesafeler içinde zemin kesitlerinde gözlenen değişiklikler ve geçmiş depremlerde yerel zemin koşullarının önemli olduğuna dair elde edilmiş bulgular (Hartzell vd. 1997, Ansal vd. 2010) göz önüne alınırsa, sahaya özel deprem özelliklerinin belirlenmesinde zemin büyütme analizleri yapılması doğru bir seçenek olmaktadır.

Uygulanacak analiz yöntemi dikkate alınarak her sondaj kuyusu için hesaplanan kayma dalgası hızı profilleri, her tabakada hesaplanmış değerlerin ortalaması alınarak doğrusal olarak modellenebilir. Zemin yüzeyinde olası bir depremde oluşabilecek en büyük yatay deprem ivmesi ve elastik ivme davranış spektrumlarının hesaplanmasında bu modellenen kayma dalgası hızı profilleri kullanılır. Bu çalışma kapsamında Idriss ve Sun (1992) tarafından düzenlenmiş ve yukarıda açıklandığı üzere frekans düzeltmesi uygulanarak geliştirilmiş olan Shake91 programı (Ansal vd., 2009) zemin yüzeyinde en büyük ivme ve elastik ivme davranış spektrumunu hesaplamak için kullanılmıştır.

Zemin büyütme analizlerinde kullanmak üzere incelenen bölge için yapılmış sismik tehlike çalışmalarında belirlenmiş olan sismik ve tektonik koşullar (örn. fay mekanizması, deprem büyüklüğü ve fay uzaklığı) ile uyumlu geçmiş depremlerde alınmış ivme zaman kayıtlarının seçilmesi tercih edilir. Sismisite ile ilgili bu koşulların yanı sıra olasılıksal sismik tehlike analizinden mühendislik anakayası için farklı dönüşüm periyotları için hesaplanmış NEHRP ivme spektrumları ile uyum aranması doğru olur. Burada hedef tek tek her deprem kaydı için NEHRP spektrumu ile uyum yerine Şekil 2'de gösterildiği gibi seçilmiş bütün ivme zaman kayıtlarının ivme spektrumlarının medyan değerinde bir uyum sağlanması olmalıdır. Zemin büyütme analizlerinden elde edilecek sonuçlar medyan değerler cinsinden verileceğine göre zemin büyütme analizleri öncesi kullanılacak ivme zaman kayıtlarından hesaplanan ivme spektrumlarının medyan değeri mühendislik kayası için önerilmiş olan NEHRP ivme spektrumu ile uyumlu olmalıdır.

Bu çalışmada seçilmiş olan ivme zaman kayıtlarının benzer tektonik ortamlarda elde edilmiş olması nedeniyle inceleme sahası civarında ilerde olması muhtemel deprem özelliklerini temsil ettikleri

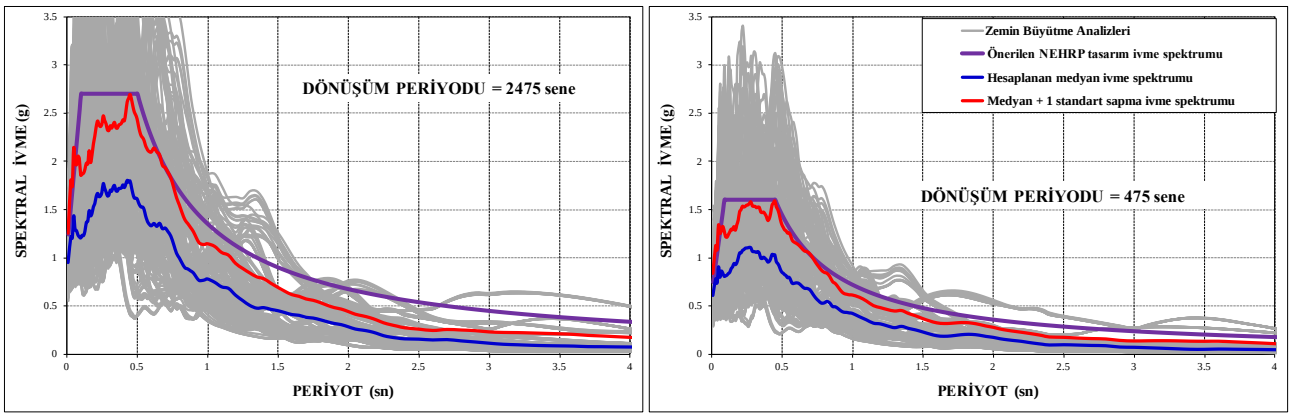
varsayılabilir. Böylelikle olası deprem özelliklerinde olabilecek farklılıkların etkisi yapılacak yapıların tasarımında güvenlik seviyesinin belirlenmesinde göz önüne alınmış olmaktadır. Seçilen ivme zaman kayıtları sismik tehlike analizlerinden hesaplanmış 2475 ve 475 yıl dönüşüm periyotları için belirlenmiş NEHRP ivme spektrumuna, Şekil 2'de gösterilmiş olduğu üzere medyan spektrumun en iyi uyumunu verecek en büyük ivme değerlerine göre ölçeklendirilmiştir. Bu ölçeklendirme hem 2475 sene hem de 475 sene dönüşüm periyotları için ayrı ayrı yapılmış ve bu şekilde ölçeklendirilmiş ivme zaman kayıtları zemin büyütme analizlerinde kullanılmıştır.



Şekil 2. 2475 ve 475 sene dönüşüm periyodu için sismik tehlike analizleri sonucunda hesaplanmış NEHRP ivme spektrumları ve bu spektrumlar ile en iyi uyum gösteren ortalama ivme spektrumları ve seçilmiş deprem kayıtları için hesaplanmış ivme spektrumları

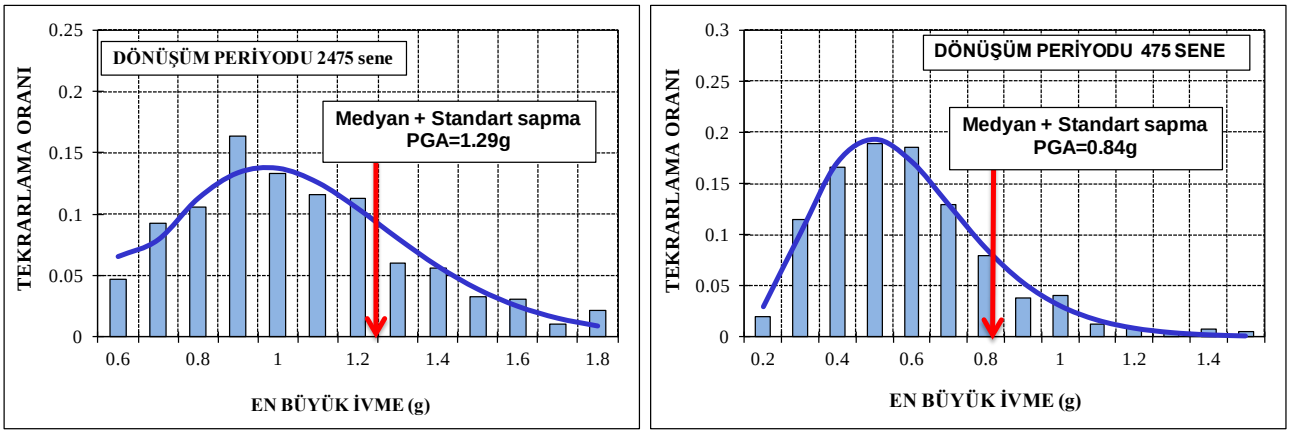
Mühendislik uygulaması açısından ivme spektrumu zemin yüzeyinde deprem özelliklerini yansıtan ve yapı tasarımı için gereken bir parametre olarak kabul edilebilir. Ansal vd. (2011) tarafından gösterilmiş olduğu üzere, tanımlanmış aşılma olasılıkları için olasılıksal olarak hesaplanmış spektrumlar medyan + 1 standart sapma değerine karşı gelen ivme spektrumları ile uyumlu olmaktadır, bu nedenle her durum için kapsamlı istatistiksel bir değerlendirme yapmadan medyan + 1 standart sapma değerlerine karşı gelen ivme spektrumu tasarım spektrumu olarak seçilebilir.

Şekil 3'te 25 zemin profili için 22 spektra uyumlu olarak seçilmiş ivme zaman kayıtları kullanılarak yapılmış zemin büyütme analizlerinden %5 sönüm oranı için hesaplanmış ivme spektrumları ve bunların medyan ve medyan+1 standart sapma değerlerine karşı gelen ivme spektrumları gösterilmiştir. Bu şekilden de görüleceği gibi medyan + 1 standart sapma değerine karşı gelen ivme spektrumunun bir zarfı olarak düzenlenmiş NEHRP spektrumu tasarım spektrumu olarak seçilebilir.



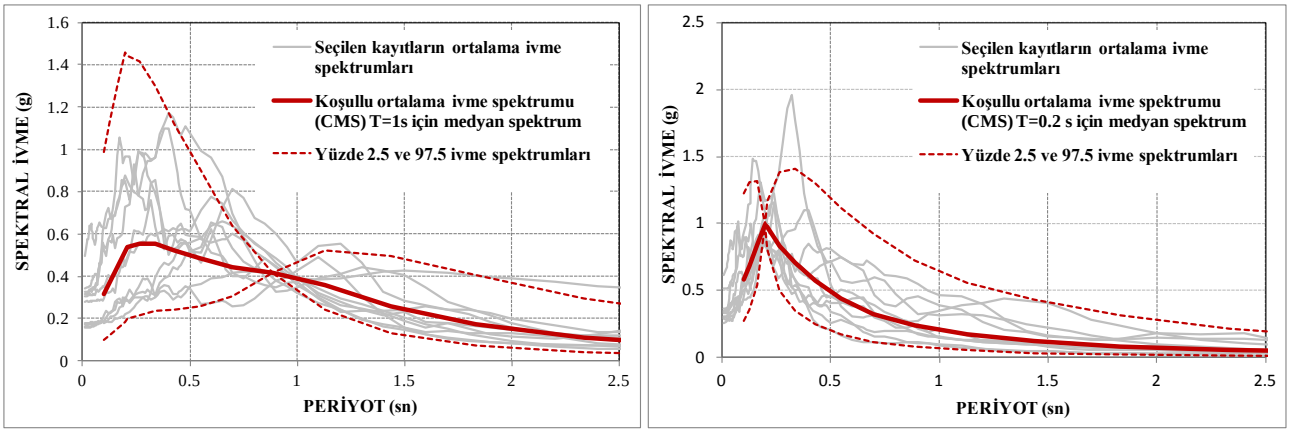
Şekil 3. 2475 ve 475 yıl dönüşüm periyodları için hesaplanmış ivme spektrumları

Mühendislik tasarımı açısından, en büyük ivme değeri ve ivme davranış spektrumu, zemin yüzeyinde deprem özelliklerini yansıtan iki değişken parametre olarak düşünülebilir. Bu değişkenleri bağımsız değişkenler olarak kabul edip, her iki değişken için hesaplanan dağılımlar istatistiksel olarak modellenebilir. Daha önceden yapılmış bir mühendislik uygulaması kapsamında 22 farklı deprem kaydı kullanılarak 25 kayma dalgası hızı profili için yapılan zemin davranış analizlerinden zemin yüzeyinde hesaplanmış en büyük ivme değerlerinin 2475 ve 475 yıl dönüşüm periyotları için istatistiksel dağılımları Şekil 4'te gösterilmiştir. Tasarıma yönelik olarak yukarıda açıklanmış olduğu üzere medyan+1 standart sapma değerleri Şekil 4'te gösterilmiş olduğu gibi bu analiz kapsamında PGA=1.29g ve PGA=0.84g olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4. 2475 ve 475 yıl dönüşüm periyodları için hesaplanmış en büyük ivme değerlerinin dağılımı

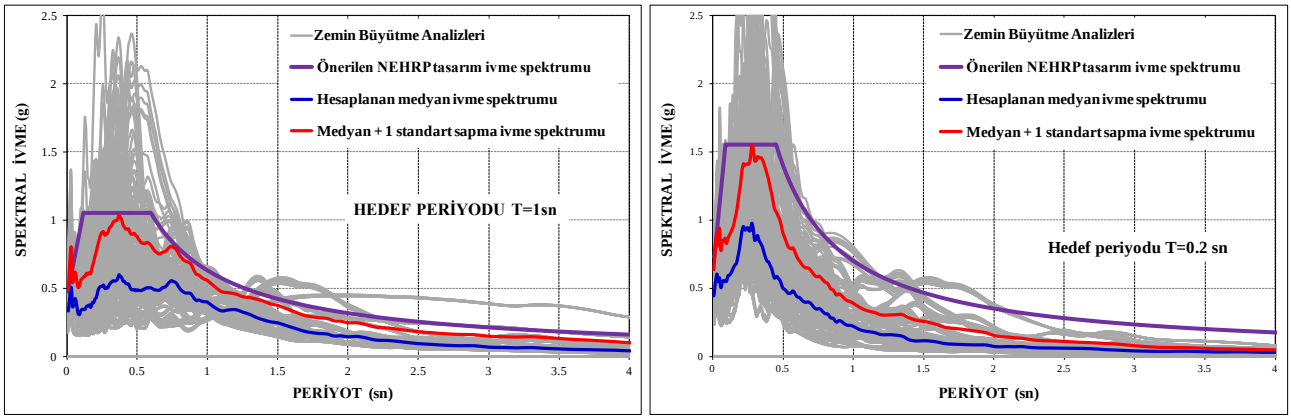
İkinci bir alternatif de zemin büyütme analizlerine girdi olarak kullanılacak spektra uyumlu ivme zaman kayıtlarının seçilmesinde hedef olarak NEHRP ivme spektrumu yerine koşullu ortalama ivme spektrumu (conditional mean spectrum, CMS) kullanılmasıdır (Baker, 2011). Koşullu ortalama ivme spektrumu, CMS yönteminde; istenilen bir hedef periyot değerine karşı gelen spektral ivme değeri koşulu ile ilişkilendirilmiş olası (ortalama) ivme spektrumu elde edilir. Bu yaklaşım kullanılarak elde edilen spektrum, olasılıksal sismik tehlike analizinin (PSHA) olasılıksal yaklaşımını korur. Böylece sabit tehlike spektrumu (uniform hazard spectrum) yerine hedef spektrum olarak koşullu ortalama ivme spektrumu, CMS kullanılarak yapılacak ivme kaydı seçimi olasılıksal sismik tehlike analizi ile tutarlılık sağlar. CMS bize hedef Sa(T*) değeri ile ilişkilendirilmiş ortalama spektrumu verdiğinden, bu hedef spektruma uyumlu seçilecek ivme zaman kayıtlarının doğal olarak hedef Sa(T*) değerine sahip yer hareketini temsil ettiği kabul edilebilir.



Şekil 5. 475 sene dönüşüm periyodu için ve hedef periyot değerleri 0.2 s ve 1.0 s alınarak hesaplanmış koşullu ortalama ivme spektrumları ve bu spektrumlar ile en iyi uyum gösteren seçilmiş deprem kayıtları için hesaplanmış ivme spektrumları

Yukarıda verilen örnek durum için analizler hedef periyot değerleri 0.2 s ve 1.0 s olan koşullu ortalama ivme spektrumlarına uyumlu seçilen (Şekil 5) ivme kayıtları kullanılarak tekrarlanmıştır. Bu kayıtlar kullanılarak yapılan zemin büyütme analizlerinin sonuçlarından %5 sönüm oranı için hesaplanmış ivme spektrumları ve bunların medyan ve medyan+1 standart sapma değerlerine karşı gelen ivme spektrumları Şekil 6'da gösterilmiştir.

Bu yaklaşımda amaç hedef periyotlar ile uyumlu ivme kayıtları elde edilmesi olmakla birlikte, Şekil 6'da 0.2sn hedef periyodu için verilen medyan + 1 standart sapma spektrumları ve olası NEHRP ivme tasarım spektrumu; Şekil 3'te dönüşüm periyodu 475 sene için verilmiş olan benzer spektrumlar ile uyum göstermektedir.



Şekil 6. 475 yıl dönüşüm periyodu için CMS T=0.2 ve 1sn hedef periyotları ile uyumlu ivme kayıtları için zemin büyütme analizi sonucunda hesaplanmış ivme spektrumları

4.SONUÇLAR

Sahaya özel zemin büyütme analizleri yapılarak zemin yüzeyinde farklı dönüşüm periyotlarına karşı gelen deprem özelliklerinin hesaplanmasında üç konu önemli olmaktadır. Bunlardan ilki incelenen bölgeye özel sismik tehlike çalışması yapılması gerekliliği ve bu çalışmadan elde olunan bilgiler çerçevesinde zemin büyütme analizleri yapılmasıdır.

Bu çalışma kapsamında ilk aşamada, kullanılan zemin büyütme analiz programının geçerliliği hem frekans hem de düşey gerilme için iyileştirmeler yapılarak 1999 Kocaeli depreminde İstanbul'da alınmış kayıtları model ederek denenmiştir. Bu sonuçlar, kullanılan zemin büyütme analizi programının sahaya özel deprem özelliklerinin belirlenmesinde parametrik bir çalışma yapmak için kullanılabileceğini göstermektedir.

Zemin büyütme analizlerinden elde edilecek sonuçlar üzerinde en önemli etkenlerden biri bu analizlerde kullanılacak ivme zaman kayıtlarının seçilmesi olmaktadır. Bu nedenle zemin büyütme analizlerinde kullanılacak ivme kayıtları bölgesel sismik tehlike (olası fay cinsi, deprem büyüklüğü ve olası deprem merkezine uzaklık) ile uyumlu olmalıdır. Bunların dışında seçilen ivme kayıtları sismik tehlike analizleri sonucunda farklı dönüşüm periyotları ve aşılma olasılıkları için hesaplanmış mühendislik kayası üzerindeki olası ivme spektrumları veya verilmiş NEHRP tasarım spektrumları ile uyumlu olmalıdır. Bu uyum sağlanırken ivme kaydının frekans içeriği değiştirilmemeli, seçilmiş ve ölçeklenmiş kayıtların medyan değerine karşı gelen ivme spektrumu ile NEHRP spektrumunun uyumlu olması sağlanmalıdır. Burada benimsenen en büyük ivmeye göre bir ölçeklendirme olmayıp mühendislik anakayası mostrası için geliştilmiş ivme spektrumuna göre bir ölçeklendirmedir. Özellikle spektral analiz yerine ivme zaman kayıtları kullanılarak yapılacak dinamik analizler söz konusu olduğunda, NEHRP spektrumuna alternatif olarak CMS, koşullu ortalama ivme spektrumu da ivme zaman kaydı seçiminde hedef spektrum olarak kullanılabilir.

Bu yaklaşım benimsenerek yapılmış olan uygulama çalışmalarından zemin yüzeyinde bölgesel sismik tehlike mertebeleri ve inceleme bölgesindeki zemin kesitinde karşılaşılan farklı zemin koşullarının ortalamada hesaba alındığı sahaya özel deprem özelliklerinin bulunmasına yönelik örnekler verilmiştir.

5.KAYNAKLAR

Abrahamson, N., Atkinson,G., Boore,D., Bozorgnia,Y., Campbell, K., Chiou,B., Idriss, I.M., Silva, W., Youngs, R. (2008). Comparisons of the NGA Ground-Motion Relations. *Earthquake Spectra* **24:1**, 45-66.

Ansal, A. ve Tönük, G. (2007). Source and Site Effects for Microzonation. Theme Lecture, 4th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Earthquake Geotechnical Engineering, Editör: K.Pitilakis, Bölüm4, 73-92, Springer.

Ansal,A., Tönük,G. & Kurtuluş,A. (2011). Site Specific Earthquake Characteristics for Performance Based Design. Proc. of the 5th Int. Conf.on Geotechnical Earthquake Engineering, Santiago, Chile.

Ansal,A., Kurtuluş,A. & Tönük,G. (2009). Earthquake Damage Scenario Software for Urban Areas. Computational Structural Dynamics and Earthquake Engineering, Bölüm2, 377-391, Kitap serisi: Structures and Infrastructures Series, Editör(ler): Papadrakakis, M; Charmpis, DC; Lagaros, ND; Tsompanakis.

Ansal, A., Kurtuluş, A., Tönük, G. (2010). Seismic microzonation and earthquake damage scenarios for urban areas. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **30**, 1319-1328.

Ansal, A., Durukal, E ve Tönük,G. (2006). Selection and Scaling of Real Acceleration Time Histories for Site Response Analyses. Proc. of ETC12 Workshop, Athens, Greece, 93-98.

Baker, J. W. (2011). Conditional Mean Spectrum: Tool for ground motion selection. *Journal of Structural Engineering* **137:3,** 322-331.

Borcherdt, R. D. (1994). Estimates of Site Dependent Response Spectra for Design (Methodology and Justification). *Earthquake Spectra* **10:4**, 617-654.

Darendeli, M. B. (2001). Development of a New Family of Normalized Modulus Reduction and Material Damping Curves, Doktora Tezi, The University of Texas at Austin.

Darendeli, M. B., K. H. Stokoe, II, E. M. Rathje ve C. J. Roblee (2001). Importance of Confining Pressure on Nonlinear Soil Behavior and Its Impact on Earthquake Response Predictions of Deep Sites. 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Istanbul, Turkey.

Hartzell, S., E. Cranswick, A. Frankel, D. Carver ve M. Meremonte (1997). Variability of site response in the Los Angeles urban area. *Bulletin of the Seismological Society of America* **87:6**, 1377-1400.

Idriss, I. M. ve J. I. Sun (1992). Shake91, A Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analysis of Horizontally Layered Soil Deposits, Modified based on the original SHAKE program by Schnabel, Lysmer and Seed, 1972.

NEHRP (2003). Recommended Provisions for New Buildings and other Structures, FEMA-450, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington, DC.

Sugito, M., N. Aida ve T. Masuda (1994). Frequency Dependent Equilinearized Technique for Seismic Response Analysis of Multi-Layered Ground. *Journal of Geotechnical Engineering*, Proceedings of JSCE, **493**, 49-58.

Ueshima, T. ve N. Nakazono (1996). Application of Equivalent Linear Method Considering Frequency Dependent Characteristics on Earthquake Record at Lotung. Proceedings of the 51st Annual Conference of the Japanese Society of Civil Engineers, **1**, 408-409.

Yoshida, N., S. Kobayashia, I. Suetomia ve K. Miura (2002). Equivalent linear method considering frequency dependent characteristics of stiffness and damping.*Soil Dynamics and Earthquake Engineering* **22:3**, 205-222.