

Geoteknik Deprem Mühendisliğinde Zemin Büyütme Analizleri

Prof. Dr. Atilla Ansal¹, Dr. Öğr. Üyesi Gökçe Tönük²

¹ Özyeğin Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

² MEF Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Olası bir depremin mevcut yapı stoku üzerinde etkilerinin gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesinde zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin ve olası zemin davranışlarının hesaba katılması gereklidir. Sahaya özel zemin büyütme (davranış) analizleri ile bu tayin edilebilir.

Giriş

Bugüne kadar yapılmış çalışmalarda, farklı kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarında kaydedilmiş ivme-süre kayıtları ve ivme davranış tepki spektrumları incelendiğinde aynı depremde farklı istasyonlarda alınan kayıtların önemli farklılıklar gösterdiği, bununla beraber aynı istasyonda farklı ama benzer büyüklükteki depremler sırasında alınmış kayıtların arasında da önemli farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu da depremler sırasında oluşan yapısal hasarların sadece yapı ve deprem özelliklerine bağlı olarak açıklanmasının yeterli olmadığı ve yerel zemin koşullarının yapı davranışları üzerinde etkisinin önemli olabileceğini göstermektedir. Bu tür sonuçları daha kapsamlı ve doğru açıklayabilmek, hem deprem özelliklerinin hem de zemin davranış etkilerinin birlikte değerlendirilmesini gerektirmektedir. Böyle bir yaklaşımı performansa bağlı geoteknik deprem mühendisliği olarak tanımlamak doğru olacaktır.

Geoteknik deprem mühendisliğinin en önemli konularından olan ancak genel olarak ihmal edilen yaklaşımın, yapılan bütün analiz ve değerlendirmelerin olasılıksal olma zorunluluğu olduğu düşünülebilir. Zemin büyütme analizlerinin ilk aşamasında mühendislik kayasında

deprem özellikleri, eşdeğer ivme tehlike tepki spektrumu şeklinde olasılıksal olarak hesaplanır. Bundan sonraki aşamalarda hedef eşdeğer ivme tehlike spektrumunun zemin yüzeyinde de olasılıksal olarak belirlenmesi olmalıdır. Aksi takdirde aşılma olasılığı belirsiz; deterministik ya da olasılıksal olmayan ve nasıl değerlendirilmesi gerektiği tartışmaya açık sonuçlar ortaya çıkar.

Zemin büyütme analizlerinin olasılıksal olabilmesi için yerel sismik tehlike ile uyumlu yeterli sayıda kuvvetli yer hareketi ivme kaydının seçilmesi; seçilen ivme kayıtlarının sismik tehlike analizleri sonucunda belirlenmiş hedef ivme tepki spektrumu ile uyumlu ölçeklendirilmesi; inceleme noktalarında zemin büyütme analizlerinde kullanılmak üzere zemin kesitinde yer alan zemin cinslerinin, kayma dalgası hızı profillerinin, kayma dalgası hızlarının ve tabaka kalınlıklarının olasılıksal değerlendirilmesi (Monte Carlo simülasyonları) düşünülebilir. Bu yazıda amaç, böyle bir yaklaşımı örnekler yardımıyla özetlemektir.

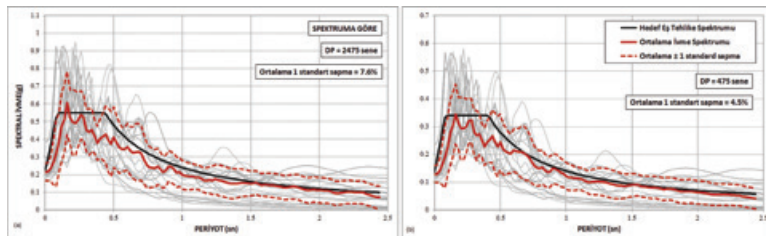
Sahaya Özel Deprem Özellikleri

Sismik tehlike analizinin amacı, zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin mühendislik analizlerinde kul-

lanılmak üzere olasılıksal olarak hesaplanmasıdır. Bu aşamada tercih edilen seçenek, yerel zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin detaylı bir zemin incelemesi ve sahaya özel olasılıksal zemin büyütme analizleri sonucunda değerlendirilmesidir. Kısa mesafeler içinde zemin kesitlerinde gözlenen değişiklikler ve geçmiş depremlerde yerel zemin koşullarının önemli olduğuna dair elde edilmiş bulgular (Hartzell vd. 1997, Ansal vd. 2011) göz önüne alınırsa sahaya özel deprem özelliklerinin belirlenmesinde sahaya özel zemin büyütme analizlerinin yapılması doğru olur.

Zemin yüzeyinde oluşacak deprem özelliklerini olasılıksal olarak belirleyebilmek amacıyla yerel sismik tehlike analizleri ile uyumlu zemin büyütme analizleri yapılmalıdır. Bu tür analizler; zemin özelliklerinin, geoteknik, jeolojik ve jeofizik arazi incelemelerine, zemin numuneleri üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine bağlı olarak, zemin profillerinin ve kayma dalgası hızı (V_s) profilinin, dinamik kayma modülü ile sönüm oranı değerlerinin şekil değiştirme genliği ile değişimlerinin belirlenmesini içerir. Uygulanacak analiz yöntemi dikkate alınarak her sondaj kuyusu için hesaplanan kayma dalgası hızı profilleri doğrusal olarak modellenebilir ve olasılıksal bir değerlendirme yapılabilmesi için Monte Carlo simülasyonları kullanılabilir.

Zemin büyütme analizlerinde kullanılmak üzere sismik tehlike analizinde belirlenmiş olan sismik ve tektonik koşullar (Örn. fay mekanizması, deprem büyüklüğü ve fay uzaklığı) ile uyumlu geçmiş depremlerde alınmış yeterli sayıda (Ansal vd., 2018) ivme kaydının seçilmesi tercih edilir. Burada amaç, kaynak özelliklerindeki değişkenliği hesaba katabilmek için çok sayıda ivme kaydı kullanarak olasılıksal bir değerlendirme yapmaktır. Analizlerde kullanılacak kayıt sayısının yanı sıra olasılıksal sismik tehlike analizinden mühendislik anakayasası için farklı dönüşüm periyotları için hesaplanmış eş tehlike ivme spektrumları ile de uyum aranması ve ölçeklendirme ile uyumun artırılması doğru olur. Burada benimsenmesi önerilen ölçeklendirme hedef ivme tepki spektrumuna göre en iyi uyumu veren spektrumu bulmak için frekans içeriğini değiştirmeden sadece en büyük ivme değeri göre bir optimizasyon yapılmasıdır (Ansal vd., 2011).



Şekil 1. Seçilen sismik tehlike uyumlu ivme kayıtlarının hedef eş tehlike ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmiş görünümleri

"Sismik tehlike analizinin amacı, zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin mühendislik analizlerinde kullanılmak üzere olasılıksal olarak hesaplanmasıdır."

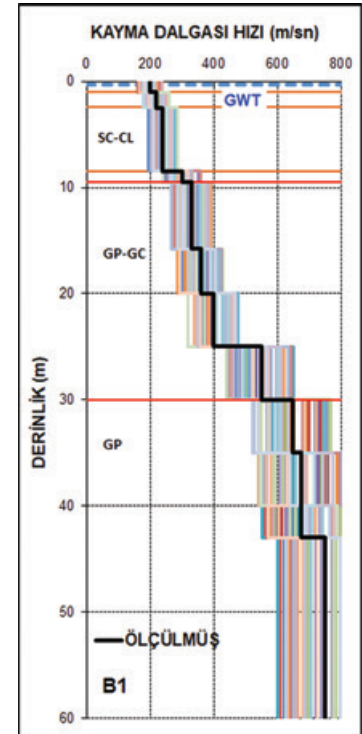
Şekil 1'de seçilmiş bütün ivme kayıtlarının tek tek eş tehlike spektrumuna göre ölçeklendirilmiş ivme spektrumları gösterilmiştir.

Zemin Büyütme Analizleri

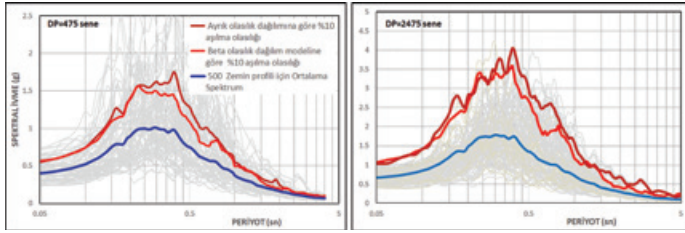
Analizlerde girdi olarak kullanılacak ivme kayıtlarının seçiminden sonraki adımda arazide yapılmış sondajlardan belirlenmiş zemin profilleri kullanılarak zemin büyütme analizleri yapılır. Mevcut sondajlardan elde olunan zemin profili sayısı genellikle sınırlı sayıda olması nedeniyle zemin kesitlerinin sayısı Monte Carlo yöntemi ile çoğaltılabilir. Bu şekilde zemin büyütme analizi yapılacak zemin profili sayısının çoğaltılmasına bir örnek Şekil 2'de gösterilmiştir.

Zemin yüzeyinde oluşan 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 frekans düzeltilmesi (Sugito vd.,1994; Yoshida, vd., 2002) uygulanarak geliştirilmiş olan Shake91 programı zemin yüzeyinde ivme-zaman değişimini, en büyük ivme ve elastik eşdeğer ivme davranış spektrumunu hesaplamak için kullanılmıştır.

Mühendislik uygulaması açısından ivme spektrumu zemin yüzeyinde deprem özelliklerini yansıtan ve yapı tasarımı için gereken bir parametre olarak kabul edilebilir. Tönük ve Ansal (2022) tarafından gösterildiği gibi, tanımlanmış aşılma olasılıkları için

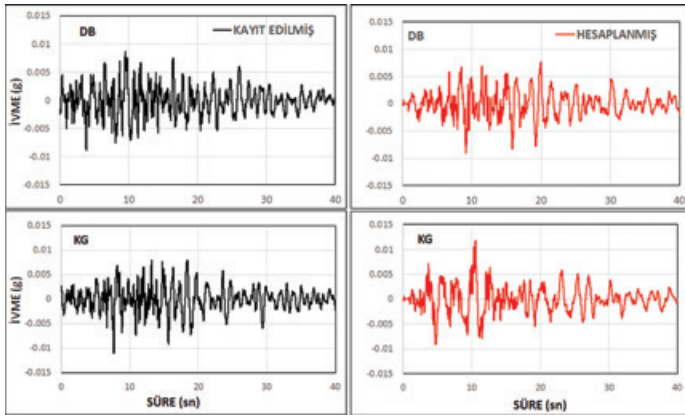


Şekil 2. Monte Carlo simülasyonu ile normal dağılım modeline göre ± 0.10 farklılık için üretilmiş 50 adet kayma dalgası hızı profili.



Şekil 3. Zemin yüzeyinde hesaplanan sürekli (beta) ve ayrık olasılık dağılım modellerine göre iki dönüşüm periyoduna göre bulunmuş eş tehlike ivme spektrumları.

yapılmış zemin büyütme analizleri sonuçlarından ayrık dağılım modeline göre bir değerlendirme yapmak ve zemin yüzeyinde oluşabilecek tasarım eşdeğer ivme tepki spektrumlarını Şekil 3'te gösterildiği gibi hesaplamak mümkün olmaktadır.



Şekil 4. Zemin yüzeyinde ölçülen ve hesaplanan ivme-zaman değişimleri.

Diğer önemli bir konu da üstyapılarda dinamik analiz yapılması durumunda kullanılması daha gerçekçi olacak ivme-zaman değişimlerinin, zemin tabakalarının etkisini içerecek şekilde zemin büyütme analizlerinden zemin yüzeyinde hesaplanan ivme zaman değişimlerinden seçilmesi olabilir. İstanbul düşey kuvvetli yer hareketi kayıt istasyonlarından alınmış kayıtlarla yapılmış bir karşılaştırma Şekil 4'te gösterilmiştir. Buradan görüleceği gibi gerçek kayıt ile hesaplanmış ivme kayıtları benzer değişimler göstermektedir. Bu da yapı dinamik analizinde zemin büyütme analizlerinden hesaplanan ivme-zaman kayıtlarının kullanılabilirliğini göstermektedir.

Sonuçlar

Olası bir depremin mevcut yapı stoku üzerinde etkilerinin gerçeğe yakın bir biçimde belirlenmesinde zemin yüzeyindeki deprem özelliklerinin ve olası zemin davranışlarının hesaba katılması gereklidir. Sahaya özel zemin büyütme (davranış) analizleri ile bu tayin edilebilir.

Sahaya özel zemin büyütme analizleri yapılarak zemin yüzeyinde olasılıksal, 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.

Zemin büyütme analizlerinden elde edilecek sonuçlar üzerinde en önemli etkenlerden biri bu analizlerde kullanılacak ivme zaman kayıtlarının seçilmesidir. 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 eşdeğer ivme tasarım spektrumları ile uyumlu olmalıdır. Burada benimsenen, mühendislik anakayası mostrası için geliştirilmiş eşdeğer ivme spektrumuna göre ölçeklendirilmez. Zemin davranış analizlerinin temel adımlarının biri de zemin özelliklerinin belirlenmesidir. Olasılıksal bir değerlendirme yapılabilmesi için kayma dalgası hız profillerinin Monte Carlo simülasyonları ile oluşturulması düşünülebilir.

Sahaya özel sismik tehlike çalışması, sismik tehlike ile uyumlu seçilmiş ve ölçeklendirilmiş çoklu ivme-zaman kaydı ve belli bir dağılım benimsenerek çoğaltılmış zemin profilleri kullanılarak yapılacak zemin büyütme analizleri sonucunda, zemin yüzeyinde olasılıksal, farklı dönüşüm periyotlarına karşı gelen, deprem özelliklerinin hesaplanması mümkündür. Bu analiz sonucunda, yapısal analizlerde kullanılması daha gerçekçi sonuçlar verecek, zemin yüzeyinde oluşabilecek tasarım eşdeğer ivme tepki spektrumları ve ivme kayıtları üretilecektir.

KAYNAKLAR:

- 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., Tönük, G., Kurtuluş, A. (2018) Implications of Site Specific Response Analysis, Ch.2, Recent Advances in Earthquake Engineering, Ed. Kyriazis Pitolakis
- 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.
- Tönük, G. Ansal, A. (2022): Factors Affecting Site-Specific Response Analysis, *Journal of Earthquake Engineering*, 26:16, pp.8629-8646.
- 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.
- 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.