

BİR BOYUTLU MODELLER İÇİN ZEMİN BÜYÜTMESİNE ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF PARAMETERS AFFECTING THE SOIL AMPLIFICATION FOR 1-D MODELS

Eşref YALÇINKAYA

İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği, Avcılar 34320, İstanbul

ÖZ: Yumuşak zeminlerin deprem dalgalarını sert zeminlere göre önemli derecede büyüttüğü ve meydana gelen hasarda büyük paya sahip olduğu uzun zamandır bilinmektedir. Herhangi bir yerdeki zemin etkisinin bilinmesi, bu yerlerde depreme dayanıklı yapılar inşa edilebilmesi açısından önemlidir. Zemin transfer fonksiyonlarının teorik olarak hesaplanması, deprem olmasını beklemeden gerekli sonuçların elde edilmesine olanak sağlar. Bu çalışmada, zemin transfer fonksiyonlarının özellikleri, farklı parametrelere bağlı olarak bir boyutlu modeller kullanılarak teorik hesaplamalar ile incelenmiştir. İnceleme sonucunda ana kaya derinliğinin ve S-dalga hızının, zemin hakim periyodu ve en yüksek büyütme açısından büyük önemi olduğu vurgulanmıştır. Ana kaya derinliği bilinmeden hesaplanabilecek zemin hakim periyotlarının hatalı olabileceği ortaya konmuştur. Zemin tabakalarının özellikleri, ana kayadan gelen deprem dalgalarının hangi frekans aralığının ne şekilde değiştirileceğini belirlemektedir. Bu değişim, bazen yüksek frekanslarda yüksek büyütme şeklinde görülse de, mühendislik yapıları için çok önemli olmayabilir. Asıl önemli olan, mühendislik yapılarının sahip olduğu hakim titreşim frekanslarına yakın frekanslardaki deprem dalga genliklerinin, zemin tabakaları tarafından büyütülmesidir.

Anahtar Kelimeler: Zemin büyütmesi, zemin transfer fonksiyonu, bir boyutlu modeller

ABSTRACT: It has been well established that soft soil significantly amplifies earthquake waves relative to stiff or hard soils and plays an important role in damage occurred during large earthquakes. The knowledge of site effect is important to build earthquake-resistant structures. Numerical techniques for the site effect make estimates possible without the need for an earthquake to occur. In this study, properties of the soil transfer function have been investigated for the different parameters, for example depths and S-wave velocities of soil layers, by using 1-D modeling method. As a result, it has been emphasized that depth of bedrock and S-wave velocity are very important for the fundamental soil period and maximum soil amplification. Physical properties of soil layers determine the frequency interval of earthquake waves that will be amplified by soil layers. If the amplification is at high frequencies, this may not be important for most of the engineering structures. However, the amplification is very important for the cases in which the fundamental frequency of soil is very close to that of the engineering structures.

Key Words: Soil amplification, soil transfer function, one dimensional modeling.

GİRİŞ

Belirli bir yerdeki elastik dalga titreşimin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özellikleri gibi bir çok faktöre bağlıdır (Bullen ve Bolt, 1985). Kaynaktan yayılan sismik dalgalar zemin tabakalarına erişinceye kadar, kabuğu oluşturan ana kaya içinde kilometrelerce yol almalarına karşın, zemin tabakaları içinde aldıkları yol genellikle 100 m'den daha azdır. Fakat zemin tabakaları, yeryüzünde gözlenen hareketin özelliklerini belirlemede önemli role sahiptir. Zemin tabakaları sismik dalgalar için bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönmümlendirilirken bazıları da büyütülür

Yumuşak zeminlerde deprem hareketinin genli-

ğinin artmasının başlıca nedeni zemin ile onun altındaki ana kaya arasındaki sismik empedans farkıdır. Sismik empedans, tanecik hareketine karşı ortam direncinin bir ölçüsü olarak düşünülebilir (Aki ve Richards, 1980). Bir zemin tabakası içinde yayılan düşey S dalgası için sismik empedans (z), yoğunluk (ρ) ve S dalga hızının (V_s) çarpımıdır

Genellikle yer yüzüne yakın bölgelerde sismik dalga hızı

$$z = \rho V_s \quad (1)$$

ları ve yoğunlukları daha küçüktür. Eğer saçılmalar ve sönmüm nedeni ile oluşan kayıplar ihmal edilirse, enerjinin korunması ilkesine göre elastik dalga enerjisinin yer

yüzüne kadar sabit kalması gerekir. Sismik enerji, $E(t)$ 'yi,

formülü ile gösterirsek, dalgalar yer yüzüne yaklaşırken

$$E(\dot{t}) = \frac{1}{2} (\rho V_S) v^2(\dot{t}), \quad (2)$$

ortam yoğunluğunun (ρ) ve S-dalga hızının (V_S) azalması, yani sismik empedansın küçülmesi nedeni ile enerjinin korunması için tanecik hızının ($v(t)$) artması gerekir (Kramer, 1996, s.309).

Ana kaya ve zemin arasındaki sismik empedans farkı, sismik dalgaların zemin tabakaları içinde kapanlanmasına neden olur. Yatay olarak tabakalanmış 1 boyutlu, yani fiziksel özelliklerin tek yönde değiştiği zemin modelinde (Şekil 1) bu kapanlanma sadece zemin tabakası içinde yukarı aşağı giden cisim dalgalarını etkiler. Zemin modeli 2 veya 3 boyutlu olup yanal süreksizlikleri içeriyorsa kapanlanma aynı zamanda bu süreksizliklerde oluşan yüzey dalgalarını da etkiler. Kapanlanan bu dalgalar arasındaki girişimler rezonans doruklarının oluşmasına yol açar. Rezonans doruklarının frekansı, ana kaya üzerindeki zemin tabakasının kalınlığı ve S dalga hızıyla, yapı 2 veya 3 boyutlu ise genişliğiyle de ilişkilidir (Bard ve Bouchon, 1985). Bir boyutlu tek tabaka modeli için (Şekil 1) temel rezonans frekansı ve harmonikleri sırasıyla izleyen bağıntılar ile verilir (Kramer 1996, s.261),

$$f_0 = V_S / 4H \quad (\text{temel frekans}), \quad (3)$$

$$f_n = (2n+1) f_0 \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (\text{harmonikler}) \quad (4)$$

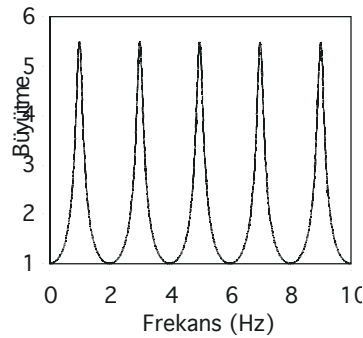
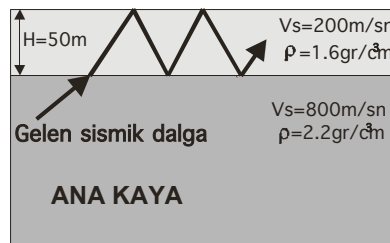
Eşitlik (3)'te V_S , tabakanın S-dalga hızı, H ise ana kaya üzerindeki tabakanın kalınlığıdır. Zemin hakim periyodu T_0 , $1/f_0$ olarak tanımlanır. Temel frekansın değeri 0.2 Hz ile 10 Hz veya daha yüksek değerler

arasında değişir (Durville ve diğ., 1985). Rezonans doruklarının genliği, asıl olarak zemin tabakası ve ana kaya arasındaki sismik empedans farkına ve zemin tabakasının sönümleme özelliğine, ikinci derecede ise gelen dalga alanının özelliklerine (dalga tipi, geliş açısı, yakın veya uzak alan oluşu) ve üç boyutlu yapılar için yapının geometrisine bağlıdır. Düşey düzlemdeki S dalgası tarafından uyarılan bir boyutlu tek tabaka için en fazla büyütme (A_0);

$$A_0 = 1 / (1 / \alpha + 0.5 \pi \zeta) \quad (\text{temel doruk için}), \quad (5)$$

bağıntısı ile hesaplanabilir (Roesset, 1977). Burada α , sismik empedans oranı $\rho_2 V_{S2} / \rho_1 V_{S1}$ (ρ ; yoğunluk, V ve 2 indisleri sırası ile zemin ve kaya ortamı temsil eden indisler) ve ζ , zemin sönümüdür. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi çok küçük sönümlerde ($\zeta=0$), A_0 değeri empedans oranına karşılık gelir. Teorik ve deneysel çalışmalar A_0 'ın çoğu zaman 6-10 değerlerine eriştiğini ve seyrek olarak da 20 değerini aştığını göstermiştir (Bard ve diğ., 1988).

Herhangi bir noktada zemin transfer fonksiyonu iki şekilde belirlenebilir. Bunlardan birincisi deneysel çalışmalar, yani deprem veya gürültü kayıtları kullanılarak Klasik Spektral Oran, Tek İstasyon veya Ters Çözüm gibi farklı yöntemlerle zemin transfer fonksiyonunun belirlenmesidir (Nakamura, 1989; Borchardt, 1970; Yalçinkaya ve Alptekin, 2000a; Yalçinkaya ve Alptekin 2000b; Yalçinkaya ve diğ., 2001; Akyol ve diğ., 2002). İkincisi ise teorik bağıntılar kullanılarak, bir boyutlu (Haskell, 1960; Kennett, 1983; Schnabel ve diğ., 1972), iki boyutlu (Sanchez-Sesma, 1987) ve üç boyutlu (Pitarca ve diğ., 1998) modellerle zemin transfer fonksiyonunun hesaplanmasıdır. Zemin transfer fonksiyonlarının belirlenmesinde en yüksek güvenilirlik gerçek deprem kayıtlarında olduğu halde, bunlar veri toplamadaki zorluklar nedeni ile pratik kullanıma sahip değildirler. Bu-



Şekil 1. Tek tabaka durumunda S-dalga yansımalarının gösterimi solda ve düşey yayılan SH dalgası için rezonans durumu sağda verilmektedir

Figure 1. Illustration of S-wave reverberations in case of one horizontal layer (left diagram) and resonance for a vertically incident SH wave (right diagram).

nun yanında gürültü kayıtları her ne kadar pratik bir veri grubu olsa da, sonuçlarının güvenilirliği konusunda tartışmalar hala devam etmektedir (Field ve Jacob, 1995; Bonilla ve diğ., 1997). Teorik zemin transfer fonksiyonlarının güvenilirliği ise elde edilen veri ile sıkı sıkıya ilişkilidir. Teorik hesaplamalarda zemin tabakalarının mekanik ve geometrik özelliklerinin tam olarak bilinmesi ihtiyacı vardır. Tekdüze ve basit zemin yapıları için bir boyutlu modeller oldukça iyi sonuçlar verirken, yapı karmaşıktıkça 2 veya 3 boyutlu modellere ihtiyaç duyulur (Makra ve diğ., 2001).

Bu çalışmada bir boyutlu modeller kullanarak farklı parametrelerin zemin transfer fonksiyonları üzerindeki etkileri, pratik uygulamalardaki yeri ve transfer fonksiyonlarının gerçek deprem kayıtları üzerindeki etkileri örneklerle incelenecektir. Teorik büyütme fonksiyonlarının hesaplanmasında Kennett (1983) Reflectivity-Coefficient (Yansıma Sabiti) metodu kullanılacaktır. Teorik hesaplamalarla ilgili bağıntılar Kennett (1983), Haskell (1960), Schnabel ve diğ. (1972), Kramer, (1996) ve Yalçinkaya, (2002) tarafından verilmiştir. Tek boyutlu modellerde zemin tabakalarının yatay konumlandığı, yanal yönde sonsuz boyuta sahip olduğu ve her bir tabakanın kendi içinde homojen olduğu varsayımı yapılır. Hesaplamalarda aksi belirtilmedikçe ana kayadan zemin tabakasına düşey yönde giriş yapan SH dalgaları kullanılacaktır. Ana kaya terimi örneklerimizde de görülebileceği gibi S dalga hızı 700 m/sn veya daha yukarısı olan tabakalar için kullanılmaktadır.

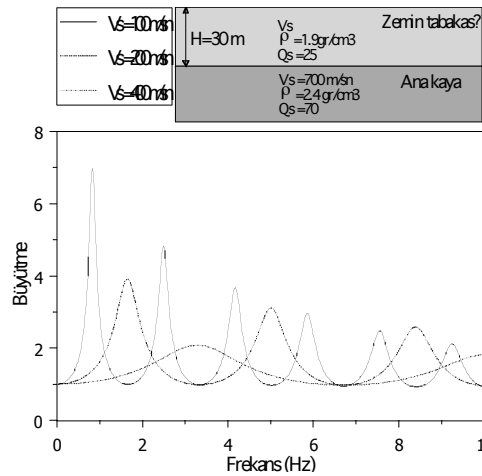
TEORİK ZEMİN TRANSFER (BÜYÜTME) FONKSİYONLARI

Zemin Tabakası Kalınlığının ve Sönümünün Etkisi

Şekil 2’de S-dalga hızı (V_s) 700 m/sn, yoğunluğu (ρ) 2.4 gr/cm³ ve S-dalgası kalite faktörü ($Q_s=0.1V_s$) 70 değerlerine sahip bir ana kaya tabakası üzerinde yer alan S dalga hızı 250 m/sn, yoğunluğu 1.9 gr/cm³ ve S dalgası kalite faktörü 25 olan değişik kalınlıklardaki (H) zemin tabakaları için hesaplanan büyütme fonksiyonları görülmektedir. Görüldüğü gibi zemin tabakası kalınlığı arttıkça zemin hakim frekansı daha küçük frekanslara doğru kaymaktadır. Bu da periyot cinsinden düşünürsek, ana kaya üzerinde yer alan zemin tabakasının kalınlığı ne kadar büyük olursa, zemin hakim periyodunun o kadar büyük olacağını gösterir.

İki tabaka arasındaki empedans oranında herhangi bir değişiklik yapılmadığından tüm büyütme fonksiyonları için harmonik genlikleri, yani büyütme değerleri aynıdır. Mühendislik çalışmaları açısından büyütme fonksiyonlarındaki en önemli değer, temel frekans ve ona ait büyütmedir. Çünkü, yapıları asıl etkileyen temel frekans değeri ve bu frekansta görülen en yüksek büyütmedir. Genellikle yüksek harmoniklerde büyütme, sönüm parametresine bağlı olarak çok küçük değerlere kadar düşmektedir. Harmonik numarası büyüdükçe genliğin azalmasını zemin sönüm parametresi, yani kalite faktörü Q kontrol eder. Şekil 1’de görülen örnekte büyütme fonksiyonu, kalite faktörü Q_s ’in çok büyük, yani sönümün olmadığı düşünülen bir ortam için hesaplanmıştır. Bu durumda görüldüğü gibi harmonik genliklerinde herhangi bir azalma mevcut değildir. Q parametresi pratik uygulamalar için $0.1V_s$ olarak alınabilir (Olsen, 2000).

Şekil 2’de görülebileceği gibi, 10 m kalınlığa sahip bir zemin tabakası için temel frekans değeri yaklaşık 6.5 Hz civarında iken, kalınlık 100 m’ye çıktığında bu de



Şekil 2. Farklı kalınlıklara (H) sahip zemin tabakası için hesaplanan büyütme fonksiyonları.
Figure 2. Estimated amplification functions for the soil layers with different thicknesses (H).

ğer 0.6 Hz'e düşmektedir. Transfer fonksiyonlarındaki bu frekans değerleri, zemin tarafından en fazla büyütme-ye uğrıtılacak deprem dalgası frekanslarını göstermektedir. N katlı bir bina için bina hakim periyodunu $T=N/10$ bağıntısından hesaplırsak (Kramer 1996, s.315), bina yüksekliği veya kat adedi arttıkça bina hakim periyodunun arttığını görürüz. Arıoğlu ve diğ. (2000) kat sayısı-hakim periyot ilişkisini $N \leq 6$ için $T=0.3 \pm 0.05N$ ve $N > 6$ için $T=N/10$ bağıntılarıyla tanımlamışlardır. Mühendislik açısından önemli olan bina ve zemin hakim periyotlarının birbirinden uzak olmasıdır. Aksi takdirde rezonans dediğimiz olay meydana gelir ve deprem sırasında bu tür yapılara gelen yükler çok büyük değerlere ulaşarak yapının yıkılmasına neden olabilir.

Zemin Tabakası S-Dalga Hızının Etkisi

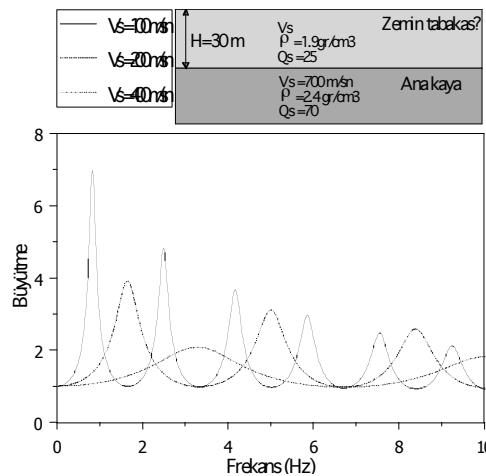
Şekil 3'te ana kaya ile ilgili Şekil 2'de verilen parametreleri değıştirmeden, 30 m kalınlığa sahip bir zemin tabakası için VS dalga hızları değıştirilerek, hesaplanan büyütme fonksiyonları gösterilmektedir. Zemin tabakasının hızının değışmesi, ana kaya ve zemin arasında ki sismik empedans oranının değışmesi anlamına gelir ve bu doğrudan büyütme değıerini etkiler. Aynı zamanda, hızdaki bir değışim (3) numaralı bağıntıdan görülebileceğı gibi zemin hakim frekansının da değışmesi anlamına gelir. Şekilden görüldüğü gibi zemin ve ana kaya arasındaki empedans farkının büyümesi, zemin büyütmesinin artmasına karşılık gelir. İki ortam arasındaki geçiş ne kadar sert olursa büyütme değıeri o kadar yüksek olur. Ayrıca, zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hakim frekansı daha yüksek büyütmelemlerle daha küçük frekanslara doğru kayar.

Şekil 2 ve 3'te görüldüğü gibi zemin tabakası ka-

lınlığı arttıkça ve/veya zemin tabakası hızı azaldıkça zemin hakim periyodu büyür. Bu da, kalın alüvyon çökel-lerin bulunduğu ovalarda özellikle yüksek katlı yapıların risk altında olduğunu işaret eder. Örneğın, zemin hakim periyodu 1 sn olan bir bölgede, en büyük risk altındaki yapılar %20'lik bir sapmayla 0.8-1.2 sn hakim periyoda, veya kaba bir hesapla ($T=N/10$) 8-12 kata sahip yapılar-dır. Bunun tam tersini de sığ zemin tabakaları üzerinde yer alan düşük katlı binalar için söylemek mümkündür. Çünkü, bu durumda da, hem zemin hem de üzerindeki yapı küçük titreşim periyotlarına sahip olacak ve bunun sonucunda deprem sırasında rezonans etkisi oluşabilecektir. Ancak bu sonuç, kalın alüvyonlar üzerine yüksek katlı, sığ zemin tabakaları üzerine ise düşük katlı yapılar yapılmamalıdır anlamı taşımaz. Yapılması gereken mümkün olduğunca rezonans olayından kaçmaktır. Bunun için zemin hakim periyodu değıştirilemeyeceğıne göre, yapı hakim periyodunun zemin hakim periyodundan uzak tutulması gerekir. Binaların hakim periyotları yukarıda basit bir bağıntı ile hesapladığımız gibi sadece yük seklıklarına ya da kat sayılarına bağılı değıildir. Aynı zamanda bina türüne (betonarme, kerpiç, vs.), kullanılan malzemelerin özelliklerine, kesitlerine ve yapının boyutları gibi bir çok özelliğe bağılıdır (Aytun, 2001). Bu nedenle, bu tür yapılar riskli bölgelerde yapılırken rezonans olayından kaçabilmek için özel önlemlerin alınması gerekir.

Geliş Açısının Etkisi

Şekil 4'te dalga geliş açısına bağılı olarak büyütme fonksiyonlarının özellikleri incelenmiştir. Görüldüğü gibi zemin hakim frekansı üzerinde geliş açısının önemli bir etkisi yoktur. Sadece geliş açısı arttıkça, büyütme



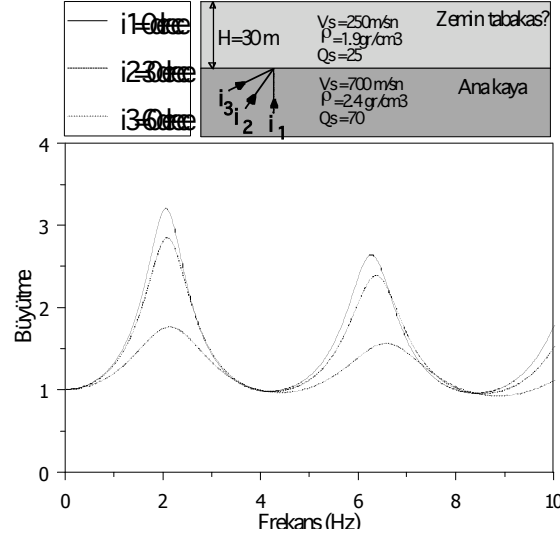
Şekil 3. Farklı S dalgası hızlarına (VS) sahip zemin tabakası için hesaplanan büyütme fonksiyonları.

Figure 3. Estimated amplification functions for the soil layers with different S-wave velocities (V_S).

değerlerinde küçük bir azalma gözlenmektedir. Mühendislik açısından genellikle düşey S dalgalarını kabul etmek önemli bir hata doğurmaz. Geliş açısının önemi iki boyutlu, yani yanal süreksizliklerin bulunduğu ve bu ne-

denle oluşan basen içi yüzey dalgaları açısından önemlidir (Semblat ve diğ., 2000).

İki ve Daha Çok Tabaka Durumu

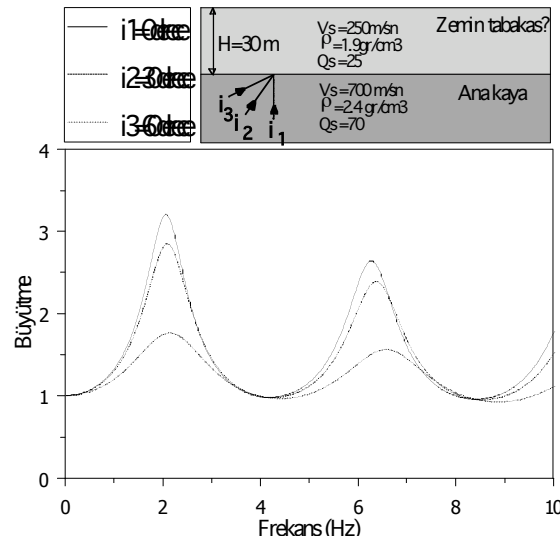


Şekil 4. S-dalgası geliş açısına bağlı olarak büyütme fonksiyonlarının değişimi.

Figure 4. Change of amplification functions depending on the incidence angles of S-wave.

Yukarıda tartıştığımız örnekler ana kaya üzerinde yer alan homojen özelliklere sahip tek bir zemin tabakası ile ilgilidir. Şimdi ana kaya üzerinde yer alan ve özellikleri birbirinden farklı iki zemin tabakası olması durumunda büyütme fonksiyonunu inceleyelim. Sonuçlar Şekil 5'te gösterilmektedir. Zemin tabakalarının özellikleri yine aynı şekil üzerinde yer almaktadır. Görüldüğü

gibi büyütme fonksiyonu bu kez temel doruk ve harmonikler şeklinde değildir. Büyütme, daha geniş bir frekans aralığına yayılmıştır. Bu nedenle, bir zemin hakim periyot bölgesinden söz etmek gereği doğmuştur. Şekil 5'te verilen örnek için bu bölge yaklaşık 3-7 Hz aralığındadır. Bu aralığın alt ve üst sınırları periyot cinsinden, afet yönetmeliğimizde yer alan T_a , T_b değerlerine karşı-



Şekil 5. Ana kaya üzerinde yer alan iki farklı zemin tabakası için hesaplanan büyütme fonksiyonu.

Figure 5. Estimated amplification function for two different soil layers overlying bedrock.

lık gelir (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998). Büyütme fonksiyonu tüm zemin tabakalarının ortak etkisini taşır. Çok daha fazla sayıda ve farklı özelliklere sahip zemin tabakalarının transfer fonksiyonu, benzer şekilde bütün tabakaların ortak etkisini taşır. Bu durumda, zemin transfer fonksiyonu birbirine çok benzer birden çok doruk veya hakim frekans içerebilir. Pratik uygulamalarda genellikle birden çok tabaka olması durumunda her bir tabakanın etkisinin top-

lamı şeklinde zemin hakim periyodu hesaplanmaktadır (Aytun, 2001). Ancak, Şekil 5'te görülebileceği gibi her model için büyütme fonksiyonları tek bir periyot değeriyle temsil edilemeyebilir.

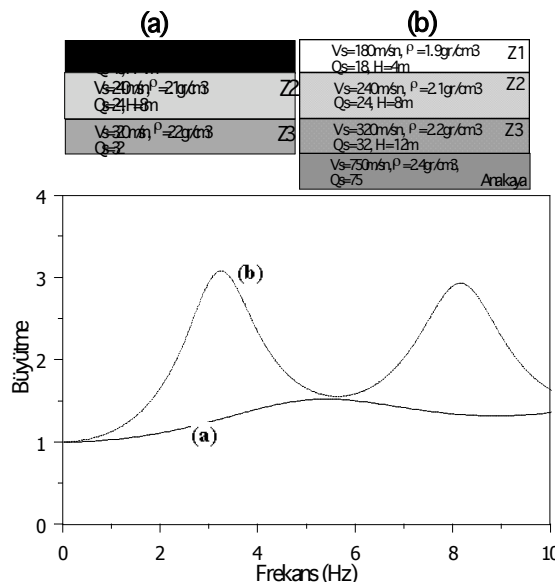
Ana Kayaya Erişilebilirlik Problemi

Yukarıdaki örnekler zemin ve ana kaya tabakalarının özelliklerinin bilinmesinin zemin transfer fonksiyonunun belirlenmesi açısından çok önemli olduğunu göstermiştir. Ancak, zemin özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla çok sık başvurulan sismik kırılma çalışmalarında, kullanılan kaynağın yetersiz kalması nedeniyle, çoğu kez ana kaya derinliğine veya ana kaya olarak kabul edilebilecek bir S-dalga hızına (700 m/sn) erişilememektedir. Bu durumda hesaplanacak zemin hakim periyodu ve büyütmelerdeki farkı gösterebilmek amacıyla Şekil 6'da iki örnek sunulmuştur. Birinci örnekte (Şekil 6a), erişilebilen araştırma derinliği 12 m ve bu derinlikteki S-dalga hızı 320 m/sn'dir. İkinci örnekte ise (Şekil 6b), erişilebilen araştırma derinliği 24 m ve bu derinlikteki S-dal-

ga hızı 750 m/sn'dir. Her iki model için hesaplanan büyütme fonksiyonlarından görüldüğü gibi (Şekil 6), hesaplanan zemin hakim periyodu ve büyütmelerde önemli farklar vardır. Bu nedenle, ana kaya derinliği ve S-dalga hızının belirlenmesi, zemin hakim periyodu ve büyütme değerlerinin hesaplanmasında önemlidir.

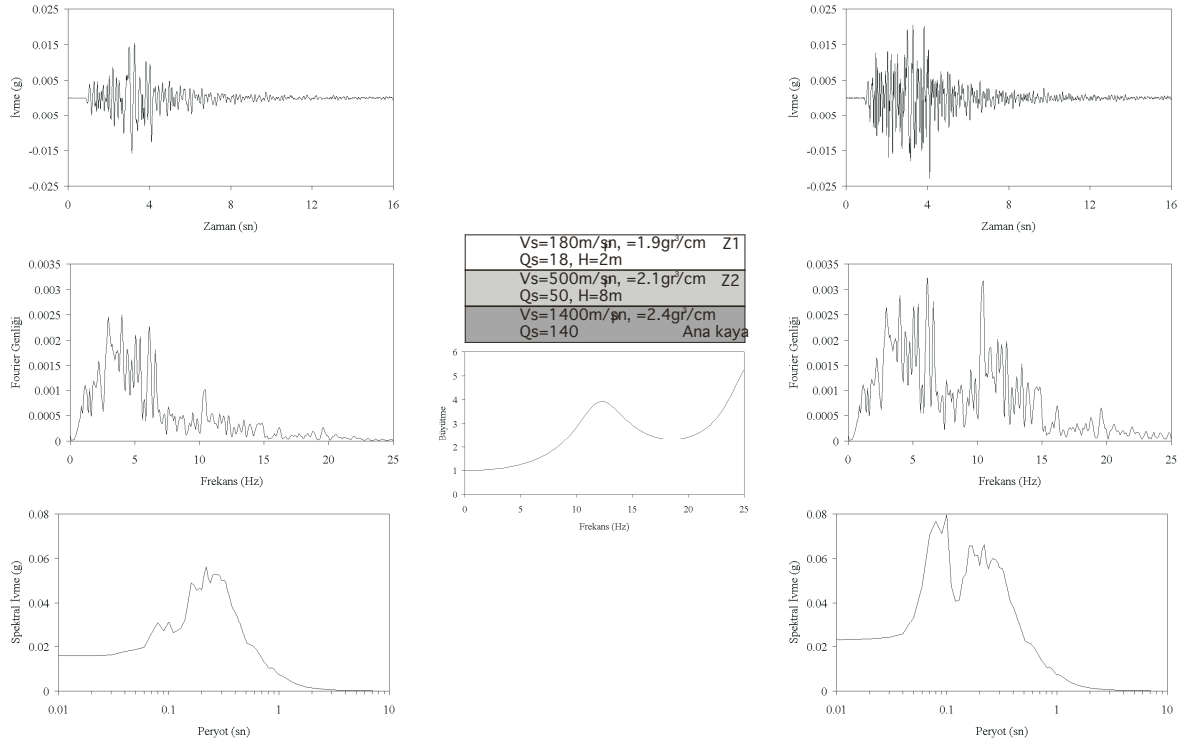
Zemin Transfer Fonksiyonunun Yorumlanması

Zemin transfer fonksiyonlarının etkisini şimdi gerçek bir deprem kaydı üzerinde inceleyelim. Şekil 7'de sol sütunda ana kaya üzerinde kaydedilen örnek bir depreme ait ($M_L=4.1$, hiposantr uzaklığı ≈ 15 km) zaman sinyali, Fourier spektrumu ve %5 sönümlü yanıt spektrumu sırasıyla üst, orta ve alttaki grafiklerde verilmektedir. Şekil 7 orta sütunda örnek zemin yapısı ve bu yapıya ait zemin transfer fonksiyonu verilmektedir. Şekil 7 sağ sütunda ise, ana kaya yüzeyinde kaydedilen depremi zemin tabakaları altından giriş yapan bir dalga olarak kabul edip, zemin tabakalarının zaman sinyali, Fourier spektrumu ve %5 sönümlü yanıt spektrumu üzerinde etkileri sırasıyla üst, orta ve alttaki grafiklerde gösterilmektedir. Bu hesaplamalar Şekil 8'de gösterilen filtre sistemi ile özetlenmiştir. Ana kaya kaydı, zemin tabakalarının altından giriş yapan deprem dalgası olarak düşünülmüş, zemin tabakaları özelliklerine göre bu dalgayı etkilemiş ve sonuçta yüzeydeki kayıt elde edilmiştir. Ana kaya üzerindeki kaydın Fourier spektrumundan (Şekil 7, sol sütun-ortadaki grafik) görüldüğü gibi, deprem dalgası içinde hakim olan frekanslar, yaklaşık 7 Hz'e kadardır. Yani, hareketi oluşturan enerjinin çoğu, frekansı 7 Hz'e kadar olan dalgalar tarafından taşınmıştır. Bu fre-



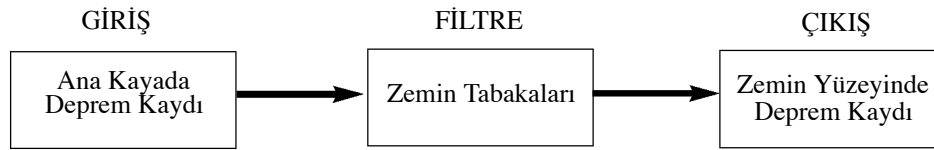
Şekil 6. Ana kaya derinliğinin belirli olmaması (a) ve belirli olması (b) durumları için hesaplanan büyütme fonksiyonları.

Figure 6. Estimated amplification functions for the cases of bedrock depth is unknown (a) and bedrock depth is known (b).



Şekil 7. Sol sütunda, ana kaya üzerinde kaydedilen bir deprem için en üstte zaman sinyali, ortada Fourier spektrumu ve altta %5 sönümlü yanıt spektrumu verilmektedir. Orta sütunda kullanılan zemin yapısının özellikleri ve transfer fonksiyonu verilmektedir. Sağ sütunda ise, sol sütunda gösterilen depremin orta sütundaki zemin tabakaları altından giriş yapması ile oluşan zaman sinyali, Fourier spektrumu ve %5 sönümlü yanıt spektrumu verilmektedir

Figure 7. Left column shows the time signal (upper diagram), Fourier spectrum (middle diagram) and response spectrum (lower diagram) of an earthquake recorded on bedrock. Center column shows the properties of soil structure and its transfer function. Right column shows the time signal (upper diagram), Fourier spectrum (middle diagram) and response spectrum (lower diagram) estimated on the surface in case of the earthquake shown on left side entered from bottom of the soil layers shown on center column.



Şekil 8. Zemin transfer fonksiyonun filtre sistemi olarak gösterilmesi.

Figure 8. Illustration of the soil transfer function as a filter system.

kanstan sonraki bileşenlerin genlikleri oldukça küçüktür. Zemin transfer fonksiyonu ise (Şekil 7, orta sütundaki grafik), zemin tabakalarının asıl olarak yüksek frekansları büyüteceğini göstermektedir. Transfer fonksiyonunda birinci doruk 13 Hz civarında, en yüksek büyütmeye sahip doruk ise 25 Hz'ten daha yüksek frekanslardadır. Hesaplamalar sonucunda zemin tabakaları üzerinde elde ettiğimiz kayıt göstermektedir ki, sinyalin en fazla değişen kısmı 10 Hz'in üzerindedir (Şekil 7, sağ ortadaki grafik). Zaman ortamındaki kayıt da, yüksek frekans içeriği ile bunu desteklemektedir (Şekil 7, sağ üstteki gra-

fik). Maksimum ivmede görülen küçük artış, yüksek frekanslardaki bu büyütmeden kaynaklanmaktadır. Yanıt spektrumları incelenirse (Şekil 7, sağ alt ve sol alt grafikler) zemin tabakalarının etkisinin en fazla, 0.1 sn civarında olduğu görülmektedir. Bu tür bir zemin, mühendislik açısından, deprem dalgaları üzerinde önemli bir etkiye sahip değildir. Çünkü, zemin tabakalarının asıl etkisi mühendislik yapılarını ilgilendiren frekans aralığının dışında görülmektedir.

Şekil 9'da verilen ikinci örnekte, ana kaya üye-

rinde kaydedilen deprem ile ilgili grafikler Şekil 7’de verilenler ile aynı, yalnızca çizimlerde kullanılan ölçek farklıdır. Bu kez, ana kaya üzerindeki zemin tabakası daha kalın ve farklı fiziksel özelliktedir. Transfer fonksiyonundan görülebileceği gibi, zemin hakim frekansı 2.5 Hz’te ve en yüksek büyütme yaklaşık 4.5’tur (Şekil 9, orta sütündeki grafik). Fourier spektrumları karşılaştırıldığında, ana kayadan giriş yapan sinyalin sahip olduğu hakim frekans aralığının, zemin tarafından en fazla büyütülen aralık olduğu görülmektedir (Şekil 9, sağ ve sol ortadaki grafikler). Bu nedenle, zemin tabakaları üzerinde maksimum ivme iki katından daha fazla artmıştır (Şekil 9, sağ ve sol üstteki grafikler). Yanıt spektrumlarında görüldüğü gibi (Şekil 9, sağ ve sol alttaki grafikler), zemin tabakalarının etkisi ile 0.3-0.4 sn hakim periyotlara sahip yapılara gelen maksimum spektral ivmeler iki katından fazladır. Sonuç olarak, bu tür bir zemin yapısı, üzerindeki 0.3-0.4 sn titreşim periyotlu yapılar için büyük tehlike oluşturmaktadır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada zemin transfer fonksiyonlarının, yani büyütme fonksiyonlarının zemin parametrelerine

bağlı olarak nasıl değiştiği, zemin araştırmalarında hangi parametrelerin ne kadar önem taşıdığı ve zemin transfer fonksiyonlarının fiziksel olarak nasıl yorumlanacağı örneklerle açıklanmıştır. Çalışmanın sonuçları, ana kaya derinliğinin ve zemin-ana kaya arasındaki sismik empedans farkının büyütme fonksiyonlarında belirleyici parametreler olduğunu göstermiştir. Zemin, özelliklerine göre, gelen deprem dalgalarının sadece belirli bir frekans aralığında olanları büyütür. Bu bazen mühendislik açısından hiç önemi olmayan bir frekans bandı olabileceği gibi, bazen de önemli yapılar için tehlike olabilecek bir frekans aralığı olabilir. Deprem zararlarının azaltılması açısından zemin özelliklerinin belirlenmesi ve üzerine inşa edilecek yapıların hakim titreşim periyotlarının, zemin hakim periyodundan uzak tutulması gereklidir.

SUMMARY

In this study, properties of the soil transfer function have been investigated for the different parameters, for example depths and S-wave velocities of soil layers, by using 1-D modeling method. As a result, it has been emphasized that depth of bedrock and S-wave velocity

Şekil 9. Şekil 7’de verilen grafiklerin aynı deprem farklı zemin tabakaları için hesaplanması. Deprem için verilen grafiklerin ölçekleri Şekil 7’de verilenden farklıdır.

Figure 9. Same as Figure 7, except that the scale of graphs and the physical properties of the soil structure (center column) are different.

are very important for the fundamental soil period and maximum soil amplification. Physical properties of soil layers determine the frequency interval of earthquake waves that will be amplified by soil layers. If the amplification is at high frequencies, this may not be important for most of the engineering structures. However, the amplification is very important for the cases in which the fundamental frequency of soil is very close to that of the engineering structures.

KATKI BELİRTME

Yazar, değerli katkılarında dolayı Prof. Dr Ömer Alptekin'e, Prof. Dr. Demir Kolçak'a ve isimleri bilinmeyen hakemlere teşekkür eder.

DEĞİNİLEN BELGELER

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

Aki, K. and Richards, P.G., 1980, Quantitative Seismology, W.H. Freeman and Co., San Francisco, California, Vol. 1, Page 137, ISBN 0-7167-1058-7.

Akyol, N., Akıncı, A., and Eyidoğan, H., 2001, Separation of source, propagation and site effects from S waves of local earthquakes in Bursa region, north-western Turkey, Pure and Applied Geophysics 159, 1253-1269.

Arioğlu, E., Arioğlu, N., Yılmaz, A.O., ve Girgin, C., 2000, Deprem ve Kurtarma İlkeleri, Evrim Yayınevi, s.79.

Aytun, A., 2001, Olası deprem hasarını en aza indirmek amacıyla yapıların "doğal" salınım periyodlarının yerin "baskın" periyodundan uzak kılınması, Uşak İli ve Dolayı (Frigya) Depremleri Jeofizik Toplantısı, TMMOB Jeofizik Mühendisleri Odası, Ankara.

Bard, P.-Y. and Bouchon, M., 1985, The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, Bull. Seism. Soc. Am. 75, 519-541.

Bard, P.-Y., Campillo, M., Chavez-Garcia, F.J., and Sanchez-Sesma, F.J., 1988, A theoretical investigation of large-and small-scale amplification effect in the Mexico City valley, Earthquake Spectra, 4-3, 609-633.

Bonilla, L.F., Steidl, J.H., Lindley, G.T., Tumarkin, A.G., and Archuleta, R.J., 1997, Site amplification in the San Fernando Valley, California: variability of site-effect estimation using the S-wave, coda, and H/V methods, Bull. Seism. Soc. Am. 87, 710-730.

Borcherdt, R.D., 1970, Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay, Bull. Seism. Soc. Am. 60, 29-61.

Bullen, K.E. and Bolt, B., 1985, An introduction to the theory of seismology, Cambridge Univ. Press, p433.

Durville, J.-L., Meneroud, J.-P., Mouroux, P., and Simon, J.-M., 1985, Evaluation de l'alea sismique local Microzonage, in Genie Parasismique, V. Davidovici ed., Presses des Ponts-et-Chaussees, 239-264.

Field, E.H. and Jacob, K.H., 1995, A comparison and test of various site-response estimation techniques, including three that are not reference-site dependent, Bull. Seism. Soc. Am. 85, 1127-1143.

Haskell, N.A., 1960, Crustal reflections of plane SH waves, J. Geophys. Res. 65, 4147-4150.

Kennett, B.L.N., 1983, Seismic wave propagation in a stratified half-space, Cambridge University Press, Cambridge.

Kramer, S.L., 1996, Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, USA, ISBN 0-13-374943-6.

Makra, K., Raptakis, D., Chavez-Garcia, F.J., and Pitalakis, K., 2001, Site effects and design provisions : the case of Euroseistest, Pure and Applied Geophysics, 158, 2349-2367.

Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, Railway Technical Research Institute Report, 30, 25-33.

Olsen, K.B., 2000, Site amplification and the Los Angeles Basin from Three-Dimensional modeling of ground motion, Bull. Seism. Soc. Am., 90, 6B, S77-S94.

Pitarka, A., Irikura, K., Iwata, T., and Sekiguchi, H., 1998, 3D simulation of the near-fault ground motion for the 1995 Hyogo-ken Nanbu (Kobe), Japan, earthquake, Bull. Seism. Soc. Am. 88, 428-440.

Roesset, J.M., 1977, Soil amplification in earthquakes, Numerical Methods in Geotechnical Engineering, C.S. Desai and J.T. Christian, eds., McGraw Hill, New York, Chapter 19, 639-682, ISBN 0-07-016542-4.

Sanchez-Sesma, F.J., 1987, Site effects on strong ground motion, Soil. Dyn. Earthq. Eng. 6, 124-132.

Schnabel, B., Lysmer, J., and Seed, H.B., 1972, Shake, a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, College of Engineering, University of California, Berkeley, Report EERC 72-12, pp. 88.

Semblat, J.-F., Duval, A.-M., and Dangla, P., 2000, Numerical analysis of seismic wave amplification in Nice (France) and comparisons with experiments, Soil Dyn. And Earth. Eng., 19, 347-362.

Yalçinkaya, E. ve Alptekin Ö., 2000a, Zemin etkisinin Klasik Spektral Oran ve H/V yöntemleri ile belirlen-

mesi, Ulusal Jeofizik Toplantısı 2000 Genişletilmiş Özetler, 23-25 Kasım 2000, MTA, Ankara, s.163-166.

Yalçinkaya, E. ve Alptekin, Ö., 2000b, 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan depreminde zemin şartlarının yer hareketine ve hasar dağılımına etkisi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Sekizinci Ulusal Kongresi, 26-27 Ekim 2000, İTÜ, İstanbul, Bildiriler Kitabı, s.311-320.

Yayına Geliş - Received : 02.01.2003

Yayına Kabul - Accepted : 06.05.2004