

itüdergisi/d**mühendislik**

Cilt:6, Sayı:1, 3-14

Şubat 2007

Trapez kesitli vadi modelinde yerel zemin koşullarının dinamik davranışa etkisi

Recep İYİSAN*, **M. Emre HAŞAL***İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, 34469, Ayazağa, İstanbul*

Özet

Geoteknik deprem mühendisliğinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, zemin tabakalarının deprem sırasında gösterdiği davranışın belirlenmesidir. Bir sahada oluşan deprem hareketinin özellikleri tektonik yapı, kırılma mekanizması, doğrultu etkisi, merkez üstü uzaklığı, jeolojik yapının ve yerel zemin koşullarının etkisi gibi birçok faktöre bağlıdır. Zemin tabakalarının dinamik analizi için geliştirilen hesap yöntemleri bir, iki ve üç boyutlu olarak tanımlanmaktadır. İki ve üç boyutlu analizlerde, zemin kesitindeki tabakaların iki veya üç boyutlu geometrisi gerektiği için, bir boyutlu yaklaşımın kullanımı daha fazla tercih edilmektedir. Ancak zemin tabakalarının bir boyutlu dinamik analizinde; yüzey topografyası, tabakaların eğimi ve tabakaların sınırlı enine genişliğinin etkisi ihmal edilmektedir. Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine sebep olmakta, dolayısıyla yer hareketinin frekans içeriği ve yüzeydeki etkisi vadilerin ortasından kenarlarına doğru değişebilmektedir. Bu çalışmada, seçilen trapez kesitli simetrik vadi modellerinde yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, kenarlarda anakaya eğimi sabit olan, derinlik ve genişliği farklı vadi modelleri kullanılarak, farklı anakaya ivme kayıtları için bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmış, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Her modelde zemin kesitinde en üstte kil tabakasının yer aldığı kabul edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, vadi yüzeyindeki ivme spektrumları, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik'te tanımlanan yerel zemin sınıfları için elde edilmiştir. Yüzeyle hesaplanan en büyük ivme değerleri, anakaya ivmelerine oranlanarak zaman ortamındaki zemin büyütme oranları elde edilmiş ve uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yerel zemin sınıfı, zemin büyütmesi, vadi modeli, dinamik analiz.

*Yazışmaların yapılacağı yazar: Recep İYİSAN. iyisan@ins.itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 80.

Makale metni 21.04.2005 tarihinde dergiye ulaşmış, 18.08.2006 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.10.2007 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Effects of local soil conditions on dynamic response of trapezoidal valleys

Extended abstract

One of the most commonly encountered problems in geotechnical earthquake engineering is the evaluation of ground response. The characteristics of ground motion at a particular site depend on many factors such as tectonics of the region, epicentral distance, geological formations, bedrock depth, geotechnical site conditions, local surface and subsurface topography. The topographical characteristics include the effects of surface formations, the two and three dimensional geometry of the subsurface soil layers and bedrock to the local site ground response. The calculation methods developed for the dynamic analysis of the soil layers are usually defined as two and three dimensional according to the necessity of the problem met.

The two and three dimensional geometry of the soil layers and bedrock is required to perform two and three dimensional ground response analysis, so because of the application convenience one dimensional dynamic analysis is mostly preferred. However in one dimensional ground response analysis the surface topography, two or three dimensional geometry of the subsurface and the effects of the limited width of the soil layers are being neglected. In fact because of the limited lateral width of the soil layers wave transformations at the basin edges occur, surface waves are being focused to the valley center, two dimensional resonance models may occur and consequently the amplitude and frequency content of the ground motion may change from the center of the valley to the edges.

In this paper, in order to study the effects of local site conditions, the depth and width of soil layers, the frequency content and amplitude of strong ground motion to the site amplification and frequency content of surface wave motion, one and two dimensional dynamic analyses were performed for five different bedrock acceleration records by using idealized trapezoidal symmetrical valley models. The results of the one and two dimensional analyses were compared, and the variations of the amplifications with the distance from the valley edges were investigated. These models have different depths and widths. In the valley models, the soil layers were assumed to extend horizontally limited with valley

edges having a constant slope angle of 45°. The top-soil layer was selected as high plasticity clay for each model. The parameters such as the thickness and initial shear wave velocities of the soil layers above bedrock, which play the main role in the determination of dynamic response, were selected in accordance with the soil groups and soil classes defined in Turkish Earthquake Design Code (1998). With this aim, the valley models were subjected to 1D and 2D dynamic analyses by using five different bedrock strong ground motion records and the results were compared. The results that will be obtained from the 1D and 2D analyses were aimed to reflect the seismotectonical structure of the North Anatolian fault in Turkey. Therefore two bedrock acceleration time histories were selected among the Turkey earthquakes. The vertical and horizontal boundary conditions become important especially in the dynamic analyses of 2D models. In this study viscous dashpots, which are, calculated proportional to the shear and pressure waves of the relevant layers were put at the vertical and horizontal layers.

High amplification values were calculated at the surface of rigid valley models having local site class of Z2. In the models having local site class of Z3 or Z4, the amplifications decreased at the high bedrock acceleration values. At the models with sudden rigidity change in the soil profile, the amplifications relatively increased for the surface sections, which are located at the beginning of valley edge ($X/H=1$). For the deeper valley models having a graded rigidity decrement from bottom to upper layers, the amplifications decreased noticeably and the increase in the peak bedrock acceleration values made this situation more remarkable. The bedrock topography must be carefully investigated to obtain the 2D dynamic behaviour of laterally limited soil layers under earthquake excitation. So the geological and geotechnical investigations should be done carefully to satisfy this condition. When the data about the topography of soil layers and bedrock is insufficient, it will be obligatory to prefer 1D dynamic analysis based upon the assumption of horizontal soil layers extending to infinity. However 1D and 2D dynamic analyses give similar results only for the sections near the middle part of very wide valleys.

Keywords: Local site condition, soil amplification, valley model, dynamic analysis.

Giriş

Yerel zemin koşulları kuvvetli yer hareketinin genlik, süre ve frekans içeriği gibi özelliklerini önemli derecede etkileyebildiği gibi deprem dalgaları da ürettikleri şekil değiştirme seviyelerine bağlı olarak geçtikleri tabakaların özelliklerini de değiştirebilmektedir. Bu nedenle yerel zemin koşulları, depremler sırasında oluşabilecek yapısal hasarın dağılımını etkilemekte ve depreme dayanıklı yapıların tasarımında önemli rol oynamaktadır. Yüzeğe yakın zemin tabakaları içinden geçen deprem dalgalarının genliklerinde meydana gelen artış, zemin büyütmesi olarak bilinmektedir. Anakaya derinliği, anakaya üzerindeki zemin tabakalarının kalınlığı, cinsleri ve dinamik özellikleri, bu özelliklerin derinlikle ve deformasyonla değişimi, zemin tabakalarının yanal süreksizliği ve topoğrafik özellikler gibi yerel zemin koşulları zemin büyütmesini etkileyen önemli faktörlerdir. Topoğrafik özellikler, yüzeydeki ve yüzey altındaki zemin tabakalarının iki veya üç boyutlu geometrisiyle, bu tabakaları sınırlayan anakayanın geometrisini kapsamaktadır (Haşal ve İyisan, 2004).

Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı olması, vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine ve yüzey dalgalarının oluşmasına neden olmakta, iki boyutlu rezonans modelleri ortaya çıkmaktadır. Bu durumda yer hareketinin frekans içeriği vadilerin ortasından kenarlarına doğru değişmekte, kuvvetli yer hareketinin süresi ve genliği de artmaktadır. Dolayısıyla vadilerde zemin büyütmesi, zemin cinsi ve dinamik özellikleri ile deprem dalgasının hakim periyodu ve genliğine bağlı olmakla birlikte deprem hareketine karşı davranışı bulunacak yerin vadi içindeki konumu da önemli olmaktadır (Psarropoulos vd., 1999; Pitilakis, 2004).

Eğimli anakaya yüzeyinin üstünde oluşan tekrarlı deprem dalgası yansımaları sonucunda vadi merkezine doğru ilerleyen yüzey dalgaları oluşmaktadır (Şafak, 2001). Bu dalgalar, zemin tabakalarının düşey ilerleyen kayma dalgaları karşısındaki dinamik davranışına dayanan bir boyutlu analizlerle tahmin edilemeyecek kadar kuvvetli ve uzun süreli yer hareketleri üretmektedirler. Vadinin kenarından ortasına doğru

spektral büyütme artmakta, kritik konumlarda iki boyutlu büyütmenin maksimum etkisi ortaya çıkmaktadır (Rassem vd., 1997). Yüzey ve yüzey altı topoğrafyası ile eğimli anakayanın yer hareketine etkisi son 30 yılda birçok çalışmaya konu olmuştur (Aki ve Larner, 1970; Bard ve Bouchon, 1985; Athanasopoulos vd., 1999; Chávez-García ve Faccioli, 2000).

Zemin tabakalarının dinamik analizi için iki ve üç boyutlu yaklaşımlarda zemin tabakalarının ve anakayanın iki veya üç boyutlu geometrisi gerektiği için, bir boyutlu yaklaşım diğerlerine göre çok daha fazla tercih edilmektedir. Bu durumda ise tabakaların yatay doğrultuda sınırlı genişliğe sahip olmasının etkisi ihmal edilmektedir. Zemin büyütmesinin en güvenilir şekilde elde edilmesi, kuvvetli yer hareketleri sırasında kaydedilen verilerin analizi sonucunda olmaktadır.

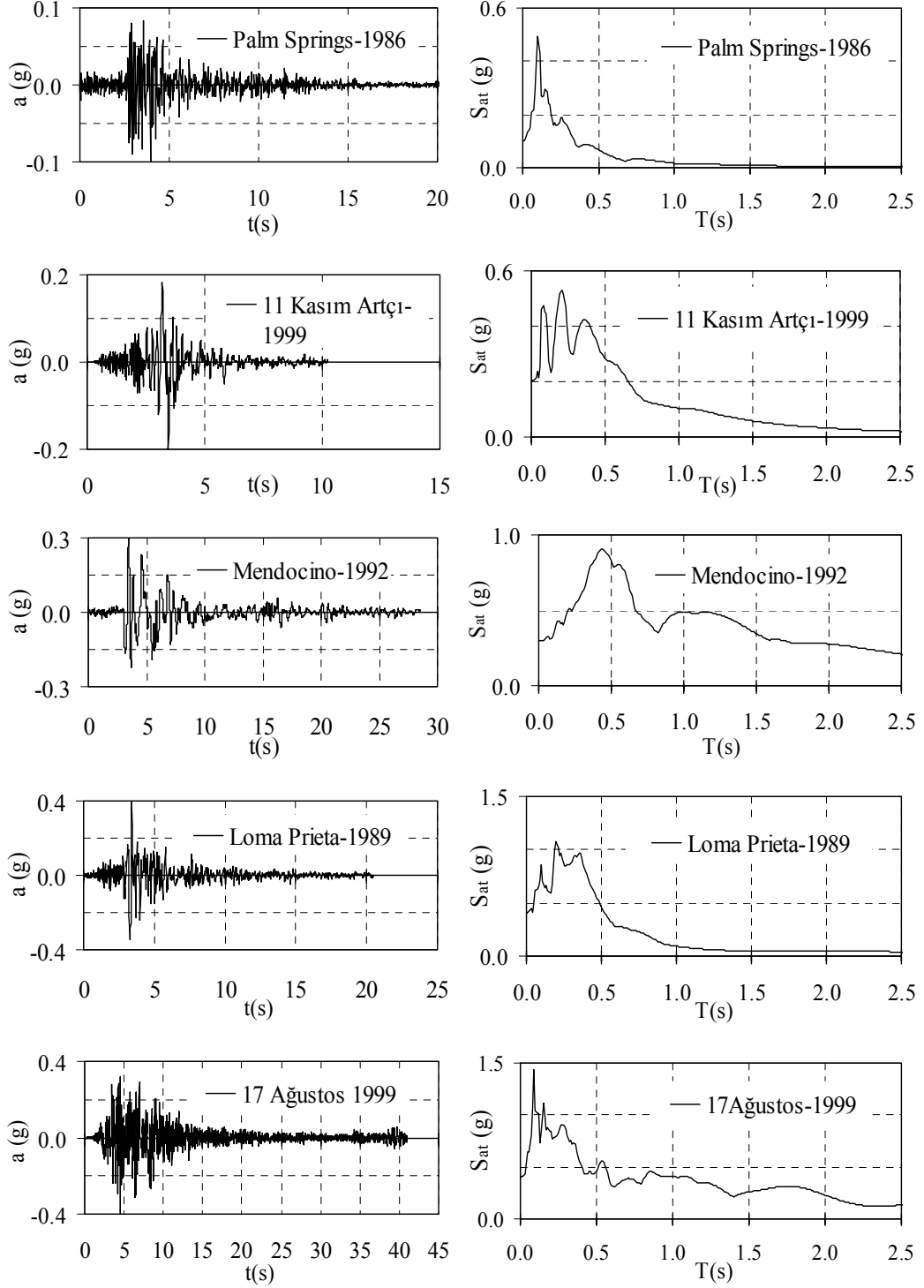
Bu çalışmada, trapez kesitli simetrik vadi modellerinde yerel zemin koşullarının dinamik davranışa etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, kenarlardaki anakaya eğimi 45° olan, yatay yönde zemin tabakalaşmasına sahip, derinlik ve genişliği farklı vadi modelleri kullanılarak, 5 ayrı deprem kaydı için bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu modellerde anakaya üstünde yer alan tabaka kalınlıkları ve özellikleri "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"te (1998) tanımlanan farklı yerel zemin sınıflarını oluşturacak şekilde seçilmiştir. Tüm modellerde, zemin kesitinde en üstte kil tabakasının yer aldığı kabul edilmiştir.

Deprem özellikleri

Dinamik analizlerde ikisi yurt içi ve üçü yurt dışında olmak üzere anakayada alınmış 5 farklı ivme kaydı kullanılmıştır. İvme kayıtlarına 0.1 Hz ile 25 Hz sınırları içerisinde bant filtre uygulanmış ve doğrusal taban düzeltmeleri yapılmıştır (Boore, 2001). Yapılacak bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilecek sonuçların özellikle Türkiye Kuzey Anadolu fay hattının sismotektonik yapısının özelliklerini yansıtması amaçlanmıştır. Bu nedenle yurtiçinden 17 Ağustos Kocaeli ve 11 Kasım Kocaeli artçı deprem-

lerinde Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü binasında alınan kayıtlar seçilmiştir. Diğer üçü ise Amerika San Andreas fay hattı üzerinde kaydedilmiş 1989 Loma Prieta, 1992 Mendocino ve 1986 Palm Springs depremlerine ait kuvvetli ivme zaman geçmişleridir. Bir ve iki

boyutlu dinamik analizlerde kullanılan ivme zaman geçmişleri ve mutlak ivme spektrumları Şekil 1'de, diğer bilgiler ise Tablo 1'de gösterilmiştir. Tabloda parantez içerisinde verilen değerler analizlerde kullanılmış ölçeklendirilmiş en büyük ivmeleri (a_{maks}) göstermektedir.



Şekil 1. Dinamik analizlerde kullanılan anakaya ivme kayıtları ve mutlak ivme spektrumları

Tablo 1. Dinamik analizlerde kullanılan depremlerin genel özellikleri

Orijinal Kayıt	Palm Springs-1986	Kocaeli artçı 11/11/1999	Mendocino-1992	Loma Prieta-1989	Kocaeli-17/8/1999
İstasyon	Silent Valley	Sakarya Bay.	Cape Petrolia	Santa Cruz	Sakarya Bay.
Formasyon	Ayrıışmış Granit	Kumtaşı	Kaya	Kaya	Kumtaşı
Büyükölük	$M_L=5.9$	$M_d=5.7$	$M_L=6.5$	$M_s=7.1$	$M_d=7.4$
a_{maks} (g)	0.10 (0.1)	0.21 (0.2)	0.21 (0.3)	0.43 (0.4)	0.41 (0.4)

İki boyutlu modeller

Zemin tabakalaşmasının, vadi derinliği ve genişliğinin, deprem hareketinin frekans özellikleri ve şiddetinin zemin büyütmesine etkisini incelemek amacıyla; anakaya eğimi 45° olan, yatay yönde zemin tabakalaşmasına sahip, derinlik (H) ve genişliği (L) farklı olan modeller kullanılmıştır. Modellerde anakayanın üstündeki tabakaların kalınlıkları ve kayma dalgası hızları, zemin grubu ve yerel zemin sınıfına bağlı olarak "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"ten (ABYYHY) alınmıştır. Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan modellerin zemin grupları ve tabaka kalınlıkları Tablo 2'de, modellere iki örnek (M1 ve M6) Şekil 2 ve 3'te verilmiştir. Bu modellerde gösterilen B, C, D grubu tabakalar için kayma dalgası hızları diğer modellerde de aynı alınmıştır.

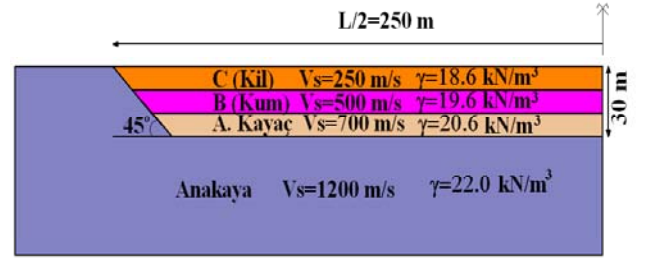
Tablo 2. Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan zemin grupları ve tabaka kalınlıkları

L (m)	H (m)	Zemin Kesiti	Tabaka Kal. (m)	Yerel Z. Sınıfı	Model No	
500	30	C+B	10+20	Z2	M1	
		D+B	10+20	Z3	M2	
	60	C+B	10+50	Z2	M3	
		D+B	10+50	Z3	M4	
		C+B	30+30	Z3	M5	
		D+B	30+30	Z4	M6	
		D+C+B	10+40+50	Z3	M7	
		100	C+B	50+50	Z3	M8
			D+C+B	30+30+40	Z4	M9
D+C+B	10+40+50		Z3	M10		
1000	100	C+B	50+50	Z3	M11	
		D+C+B	30+30+40	Z4	M12	

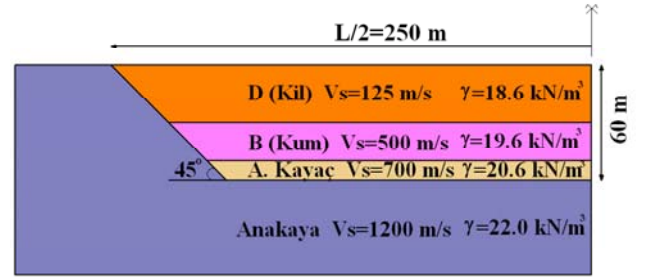
L: Vadi genişliği,

H: Derinlik;

B, C, D: ABYYHY'de tanımlanan zemin grupları



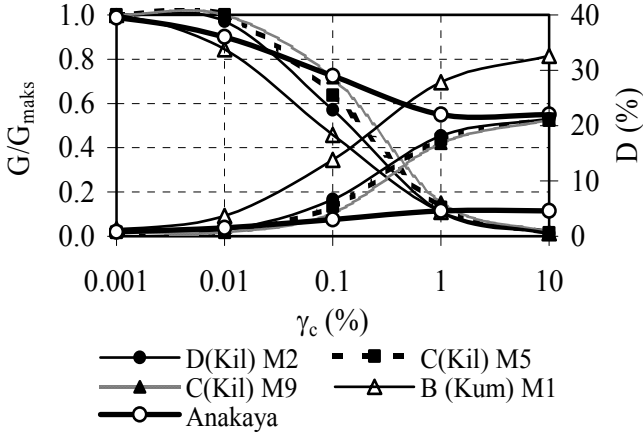
Şekil 2. $L=500$ m ve $H=30$ m vadi modeli (M1)



Şekil 3. $L=500$ m ve $H=60$ m vadi modeli (M6)

Tüm vadi modellerinde zemin kesitinde en üstte, yerel zemin sınıfları farklı olan kil ($I_p=30$) tabakası bulunmaktadır. İki tabakalı modellerde ikinci tabaka kum olarak seçilmiştir. Örneğin 60 m derinliğindeki vadi modelinde (M6) en üst tabaka kil, onun altında yer alan B grubu zemin ise kumdur. Üç tabakalı modellerde ise ilk iki tabaka kil, sonraki kumdur. Vadi genişliğinin $L=500$ m olduğu modelde derinlikler $H=30$ m, 60 m ve 100 m olarak seçilmiş, $L=1000$ m olan modelde ise derinlik $H=100$ m olarak seçilmiştir. Bütün modellerde vadinin en altında yer alan ve zemin tabakalarıyla anakaya arasındaki geçişi sağlayan 10 m kalınlığında ayrıışmış kayaç tabakası bulunduğu varsayılmıştır. Bu tabakanın kayma dalgası hızı $V_s=700$ m/s alınmış ve zemin tabakalarından çok daha rijit olan anakayaya geçişi sağlayarak rijitlik farklılığını azaltacak bir tabaka olarak kullanılmıştır (Şekil 2 ve 3). Kayma modülü ve sönüm oranlarının

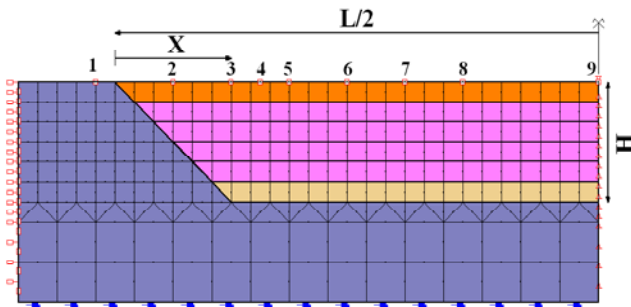
deformasyonla değişimi zemin tabakaları için Ishibashi ve Zhang (1993), anakaya için Seed ve Idriss (1970) bağıntısından hesaplanmış ve Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Analizlerde kullanılan Kayma modülü ve sönüm oranlarının deformasyonla değişimi

İki boyutlu dinamik analizler ve sonuçları

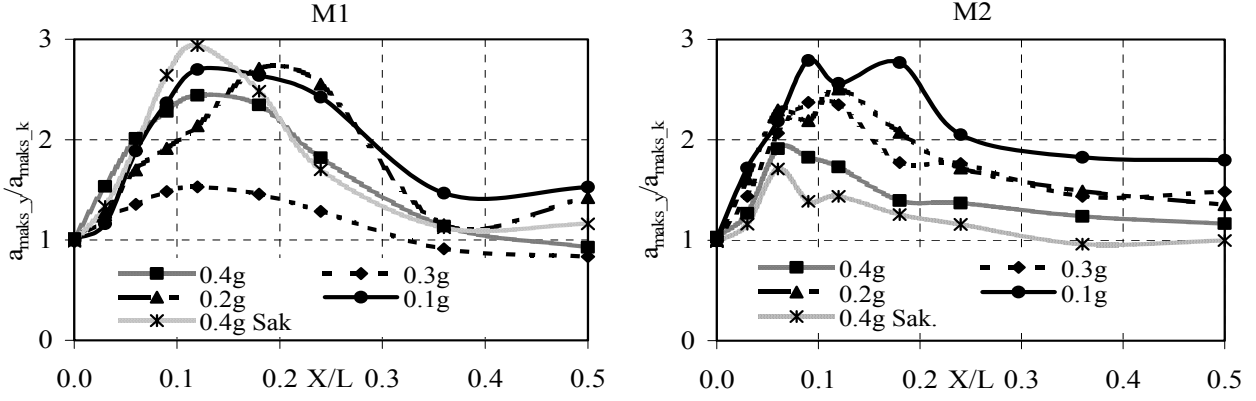
İki boyutlu modellerin dinamik analizinde özellikle düşey ve yatay sınır şartları önem kazanmaktadır. Bu çalışmada düşey ve yatay sınırlara, ilgili tabakaların kayma ve basınç dalgası hızları ile orantılı olarak hesaplanan sönümleyiciler konulmuştur. Lysmer ve Kuhlemeyer (1969), bu sönümleyici sınırlar kullanıldığında kayma ve basınç dalgalarının farklı birçok geliş açısında sönmülenebileceğini ve daha gerçekçi sonuçların elde edilebileceğini göstermişlerdir. Modelin tabanındaki yatay sınırda da düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmıştır. İki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan düşey ve yatay sınır şartları ile sonlu eleman ağı Şekil 5'te gösterilmiştir.



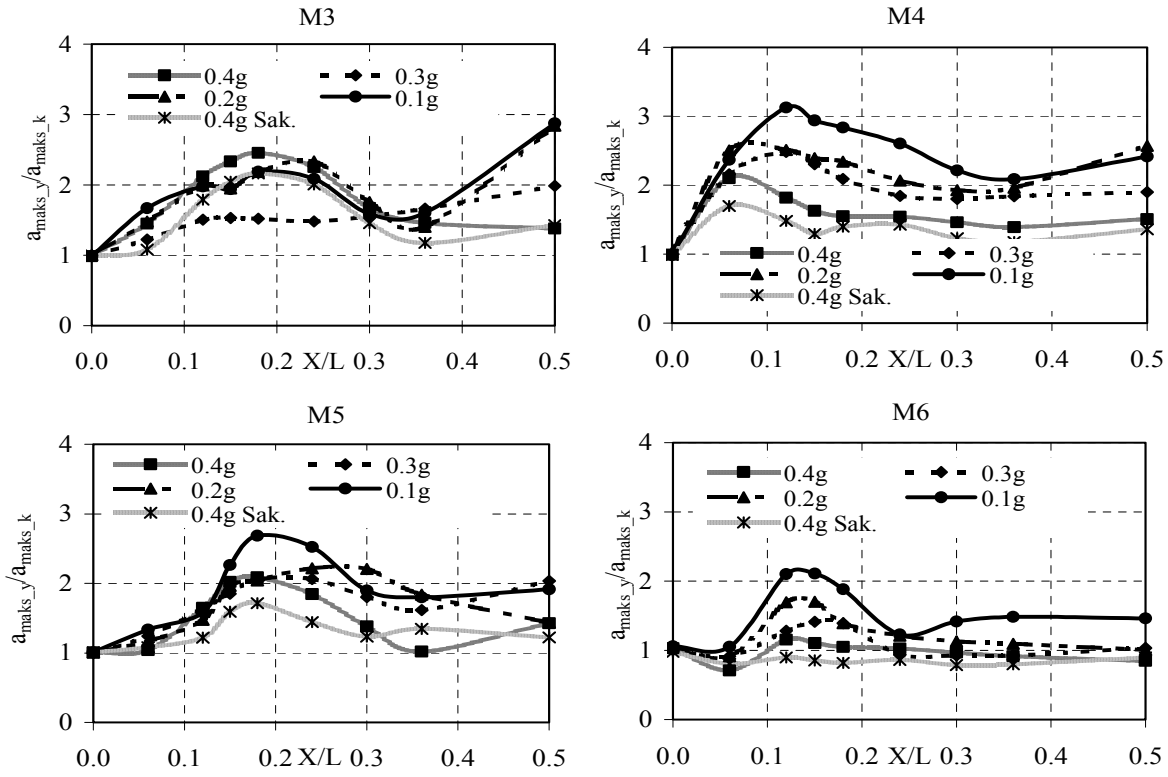
Şekil 5. İki boyutlu modellerde kullanılan sınır koşulları ve sonlu elemanlar ağı

Ayrıca idealleştirilmiş vadi modellerinin simetrik olma özelliğinden faydalanılmış ve vadilerin yarısı sonlu eleman ağı ile modellenmiştir. Bu nedenle; vadi ortasında bulunan simetri eksenindeki düğüm noktaları, düşey doğrultuda mesnetler kullanılarak tutulmuştur. Modelin anakaya kısmındaki düşey sınırda, sönümleyicilere ek olarak, sonsuza uzandığı varsayılan anakayada deprem sırasında oluşan sönüm kuvvetlerinin etkisi de katılmıştır. İki boyutlu vadi modellerinin ayrı bölgelerinde deprem dalgaları karşısında oluşan yüzeysel hareketin belirlenebilmesi için, Şekil 5'te gösterilen 9 farklı düğüm noktasında ivme zaman geçmişleri elde edilmiştir. Modellerde deprem hareketi sonlu elemanlar ağının düğüm noktalarına etkilmiştir. İki boyutlu dinamik analizler, eşdeğer lineer yöntemle çalışan Quake/W (2005) yazılımı kullanılarak yapılmıştır.

Yerel zemin sınıfları, derinlikleri ve genişlikleri Tablo 2'de verilen modeller kullanılarak bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmış, farklı anakaya depremleri için vadi yüzeyindeki ivme zaman geçmişleri ve mutlak ivme spektrumları elde edilmiş, ayrıca vadi yüzeyinde hesaplanan bu değerlerin vadi kenarından olan uzaklığa (X) bağlı olarak değişimleri incelenmiştir. Yapılan iki boyutlu dinamik analizler sonucunda farklı derinliğe ve yerel zemin sınıfına sahip vadilerin yüzeyinde hesaplanan maksimum ivmeler, maksimum anakaya ivmesine oranlanarak zaman ortamındaki zemin büyütme oranları (a_{maks_y}/a_{maks_k}) elde edilmiştir. 30 m derinliğinde ve 500 m genişliğindeki vadi için hesaplanan zemin büyütme oranlarının X/L oranına bağlı değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi yerel zemin sınıfı Z2 olan 30 m derinliğindeki modelde (M1) özellikle X/L oranının 0.05 ile 0.25 arasında olduğu vadi kısmında yüksek büyütme değerleri hesaplanmıştır. Yerel zemin sınıfı Z3 olan modelde (M2) ise özellikle X/L oranının 0.05 ile 0.2 arasında olduğu vadi kısmında en yüksek büyütme değerleri elde edilmiştir. Anakayadaki en büyük ivme değerleri büyüdüğü zaman zemin büyütme oranları azalmaktadır.



Şekil 6. $H=30$ m olan modellerde (M1 ve M2) büyütmenin X/L 'ye bağlı değişimi



Şekil 7. $L=500$ m ve $H=60$ m olan modellerde zemin büyütmesinin mesafe ile değişimi

Modellerdeki dikkat çekici özellik, her ikisi için de yüksek periyotlu Mendocino depreminin en küçük büyütme değerlerini vermesi yani rijit zemin tabakalarından oluşan vadi modelinin depremin şiddetine oranla frekans içeriğinden daha fazla etkilenmesidir.

60 m derinliğindeki modeller üzerinde yapılan iki boyutlu analiz sonuçları topluca Şekil 7'de gösterilmiştir. Üst tabakasında 10 m kalınlığında C grubu kil zemin bulunan vadi modelinde

(M3) özellikle 0.3 g'den küçük ivmeler için büyütme, vadi ortasında en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Ayrıca vadi kenarında oluşan büyütme maksimum anakaya ivmesinin fazla etkisi olmamaktadır. Üst tabakasında D grubu kil zemin bulunan modelde (M4) üst tabaka ile altındaki zemin tabakası arasındaki ani rijitlik değişimi, büyütme artışına neden olmuştur.

Büyütme en yüksek değerlerine X/L oranının 0.05 ile 0.2 arasında olduğu vadi kesimlerinde

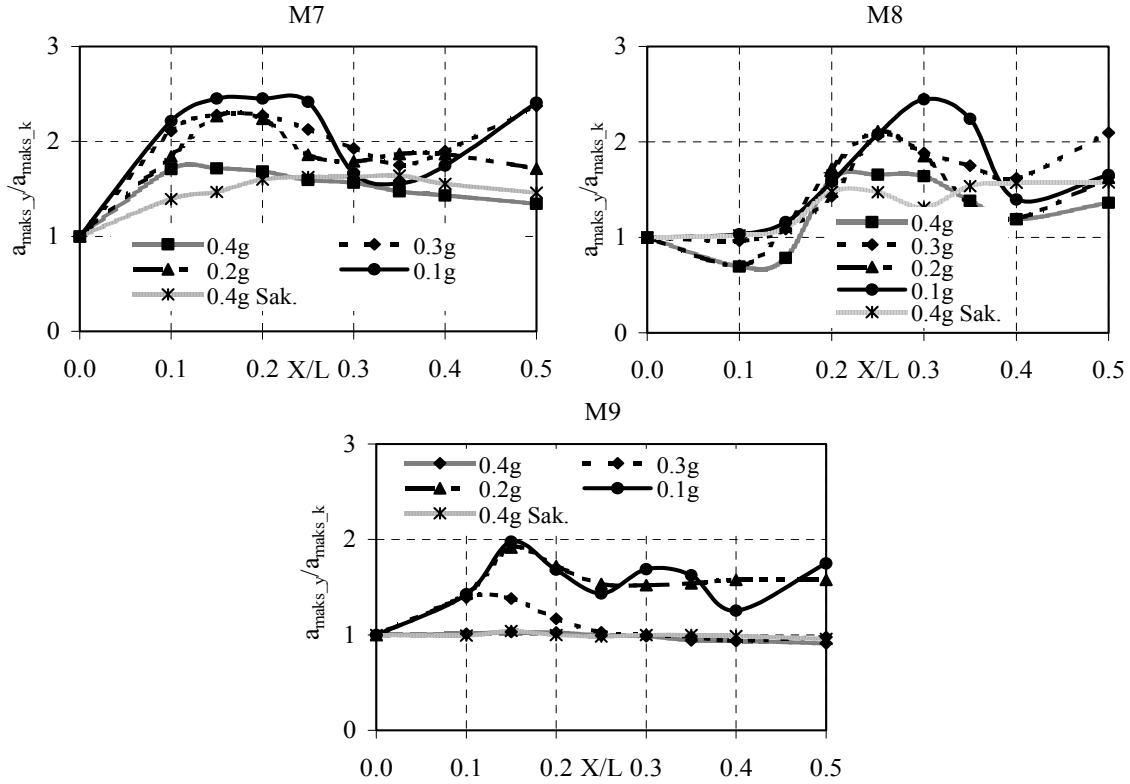
ulaşmakta ve bu değerler vadi ortasına kadar fazla değişmemektedir. M5 modelinde, maksimum büyütme X/L 'nin 0.15 ile 0.3 değerleri arasında ortaya çıkmaktadır. Maksimum anakaya ivmesinin 0.1 g'den daha büyük değerleri için büyütme birbirine yaklaşmaktadır. Yüksek periyotlu Mendocino kaydı için büyütme değerleri vadi ortasına doğru diğerlerine oranla daha fazla artmaktadır. M9 modelinde ise zemin tabakalarının rijitliğinin kademeli şekilde azalması, vadi yüzeyindeki büyütme fark edilir biçimde azaltmıştır.

Kil tabakası kalınlığının 30 m olduğu M6 modelinde maksimum büyütme, vadi kenarındaki anakayanın vadi tabanı ile kesiştiği kısmın yüzeydeki izdüşümünde oluşmaktadır. Zemin rijitliğinin yüzeye doğru kademeli şekilde azalması, büyütme 0.1 g dışında bütün depremler için vadi kenarındaki sınırlı bir bölgede kalmasına neden olmuştur.

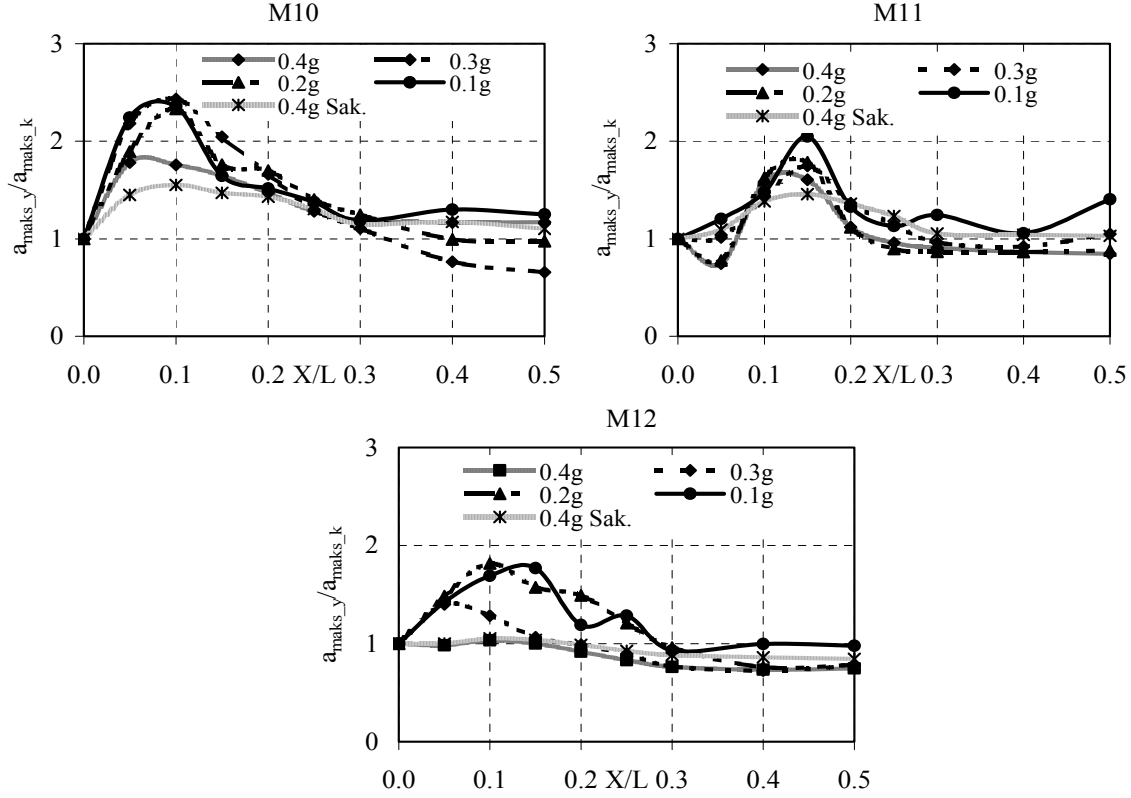
Üst tabakasında Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfı kil bulunan 100 m derinliğindeki vadi modelleri

için yapılan dinamik analiz sonuçları Şekil 8'de sunulmuştur. M7 modelinde, 0.3 g'den küçük anakaya ivmeleri ve yüksek periyotlu Mendocino depremi için ortalama 2.5 büyütme değeri elde edilmiştir. Ayrıca vadi yüzeyinde oluşan büyütme, X/L 'nin 0.15 değerinden sonra vadi ortasına kadar yaklaşık sabit kalmıştır. Kil kalınlığının 50 m olduğu M8 modelinde X/L 'nin yaklaşık 0.15 değerine kadar, anakaya ivmesi arttıkça yüzeydeki en büyük ivme değerleri anakayadakine oranla küçülmektedir. Bir öncekine göre zemin tabakalarının daha rijit olduğu bu modelde büyütme değerleri vadi ortasına doğru yükselmektedir.

Şekil 9'da genişliğin 1000 m ve derinliğin 100 m olduğu modeller için büyütme X/L oranına göre değişimi verilmiştir. M10 modelinde özellikle 0.3 g'den küçük anakaya ivmeleri ve yüksek periyotlu Mendocino depremi için yüksek büyütme değerleri elde edilmiştir. Vadi genişliğinin artması zemin büyütme maksimum değerlerini değiştirmemekte ancak daha önceki modellerle karşılaştırıldığında vadi ortasına



Şekil 8. $L=500$ m ve $H=100$ m olan modellerde zemin büyütmesinin mesafe ile değişimi



Şekil 9. $L=1000$ m ve $H=100$ m olan modellerde zemin büyütmesinin mesafe ile değişimi

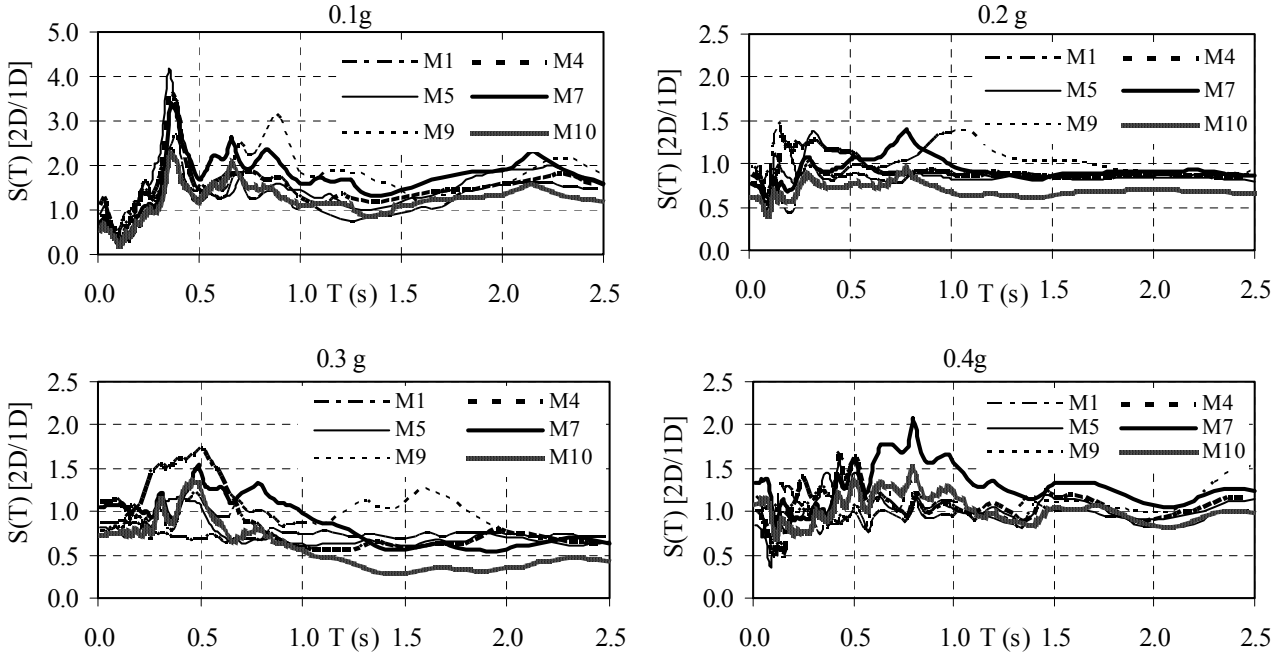
doğru büyütme oranlarının çok azaldığı görülmektedir. M11 modelinde X/L 'nin 0.1~0.2 değerleri arasında büyütme oranları etkili olmakta, derinliği ve zemin sınıfı aynı olan 500 m genişliğindeki modellerde karşılaştırıldığında, vadi ortasında büyütme oranlarının etkili olmadığı görülmektedir. Ayrıca anakayadaki ivme değerinin şiddetinin artması büyütme oranları fazla etkilememektedir. M12 modelinde zemin kesitinde rijitliğin kademeli azalması yüzeydeki büyütme oranlarının farklı biçimde düşmesini sağlamaktadır. Özellikle anakaya ivme zaman geçişinin maksimum ivmesinin 0.2 g'den büyük değerleri için bu durum daha belirgin hale gelmektedir.

Bir ve iki boyutlu analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Tablo 2'de verilen modeller kullanılarak, eşdeğer lineer yöntemle çalışan ve toplam gerilmeler cinsinden analiz yapan Shake91 (1992) yazılımı ile bir boyutlu dinamik analizler yapılmıştır. Bu analizlerde anakaya deprem kaydı outcrop olarak uygulanmıştır. Analizler, vadi kenarındaki

anakayanın yüzeydeki izdüşümünden ($X/H=1$) vadi ortasına kadar olan bölüm için yapılmıştır. Eğimli anakaya üzerinde yer alan zemin tabakalarının davranışı bir ve iki boyutlu karşılaştırma açısından dikkate alınmamıştır.

5 farklı anakaya ivme zaman geçişi için yapılan bir boyutlu (1D) ve iki boyutlu (2D) analiz sonuçlarının birlikte değerlendirilerek karşılaştırılabilirliği ve iki analiz yöntemi arasındaki farkın belirlenebilmesi amacıyla iki boyutlu analizde vadinin farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizde elde edilen ivme spektrumlarına oranlanmıştır. Böylece vadinin farklı bölgeleri için 2D/1D spektral büyütme oranları elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan anakaya ivmesinin 0.1 g olması durumunda tüm modellerde yüksek spektral ivme oranları elde edilmekte ve hesaplanan değerler vadinin farklı noktaları için birbirine çok yaklaşımaktadır. Anakaya ivmesinin 0.2 g ve daha yüksek olması durumunda vadi modellerinin farklı noktaları için 2D/1D spektral büyütme oranları



Şekil 10. Ortalama spektral büyütme oranlarının (2D/1D) anakaya ivmesiyle değişimi

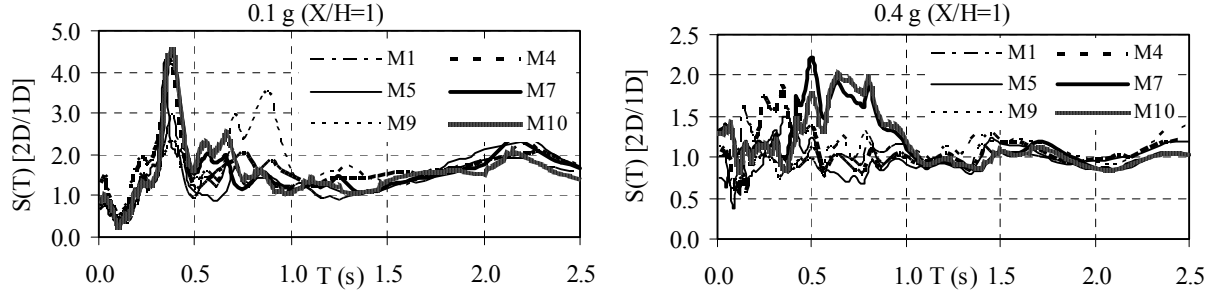
2'nin altına düşmektedir. Basitlik ve anlaşılabilirlik açısından vadi modellerinin her bir anakaya ivme büyüklüğü için tek bir 2D/1D spektral büyütme eğrisiyle temsil edilebileceği kabul edilmiş ve vadinin farklı noktalarında hesaplanan spektral ivme oranlarının ortalaması alınmıştır. Farklı yerel zemin sınıfları ve vadi derinliklerine sahip M1, M4, M5, M7, M9 ve M10 modelleri için hesaplanan bu oranlar Şekil 10'da verilmiştir. Şekilden de görülebileceği gibi, anakaya ivme değerinin 0.1 g olması durumunda, modellerde hesaplanan ortalama 2D/1D spektral büyütme oranlarının maksimum değerleri 2-5 arasında değişmektedir. Ancak ivme değerinin 0.2 g ve daha büyük olması durumunda bütün vadi modelleri için ortalama 2D/1D oranının en büyük değerleri 1.5-2 aralığında değişmekte ve yüksek periyotlarda bir değerine çok yaklaşmaktadır.

Anakaya ivmesi 0.1 g olduğunda şekil değiştirmelerin düşük olması nedeniyle zemin tabakalarının rijitlik azalması ve sönüm oranındaki artış sınırlı kalmaktadır. Dolayısıyla zemin tabakaları lineer elastikliğe yakın davranış göstermektedir. Bu durumda düşey sınır koşulları ve ikinci boyutun etkisiyle, bir boyutlu analizden çok daha farklı sonuçlara ulaşılmaktadır. Bununla

birlikte anakaya ivmesinin 0.2 g değerinden itibaren iki ve bir boyutlu analizle elde edilen sonuçlardaki farklılaşma görece olarak azalmaktadır. 30 m'den daha derin vadi modellerinde 0.1 g anakaya ivmesi için yüksek 2D/1D spektral büyütme oranları hesaplanmıştır, ayrıca derinliğin artmasıyla büyütme oranlarının etkili olduğu periyot aralığı da genişlemiştir.

Üst tabakasında D grubu zemin bulunan 60 ve 100 m derinliğindeki modellerde 0.5 saniyeden daha yüksek periyotlar için spektral büyütme oranları artmaktadır. Özellikle üstte 30 m kalınlığında D grubu zemin bulunan 100 m derinliğindeki vadi modelinde, spektral büyütme oranlarının hakim periyodu 0.8 saniye civarına kaymıştır.

Şekil 11'de, farklı vadi modellerinde vadi kenarındaki anakayanın yüzeydeki izdüşümünde hesaplanan 2D/1D spektral oranlarının değişimi, en büyük anakaya ivmesinin 0.1 g ve 0.4 g olduğu durumlar için gösterilmiştir. Şekil 10 ve 11 birlikte gözönüne alındığında; en büyük anakaya ivmesinin 0.1 g olduğu durumda özellikle derin ve geniş vadelerde (M10, $L/H \geq 10$) vadi modelinin ortalama 2D/1D spektral büyütme eğrisiyle temsil edilmesinin vadi kenarı ($X/H=1$) için güvensiz tarafta kalınmasına neden olacağı



Şekil 11. Farklı vadi modellerinde vadi kenarındaki anakayanın yüzeydeki izdüşümünde ($X/H=1$) hesaplanan 2D/1D spektral büyütme oranlarının anakaya ivme şiddetiyle değişimi

anlaşılmaktadır. Genelde vadi kenarındaki 2D/1D oranları, vadi ortasına doğru yer alan kısımlardan daha yüksek değerler almakta, bununla birlikte anakaya ivme şiddetinin artmasıyla bu farklılaşma azalmaktadır

Sonuçlar

Bu çalışmada, yerel zemin koşullarının trapez kesitli vadi modellerinin dinamik davranışına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, kenardaki anakaya eğimi 45° olan, derinlik ve genişliği farklı modeller ve 5 değişik anakaya ivme kaydı kullanılarak bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Yerel zemin sınıfı Z2 olan rijit vadi modellerinde yüksek büyütme değerleri hesaplanmıştır. Bu modellerde zemin tabakaları, genelde lineer elastik davranış sergilemekte ve depremin ivme büyüklüğüne oranla frekans içeriğinden daha fazla etkilenmektedir. Zemin sınıfı Z3 ve Z4 olan modellerde yüksek ivme değerlerinde, zemin tabakalarının elasto-plastik veya plastik davranışı nedeniyle büyütme oranları azaldığı görülmüştür.

Zemin kesitinde ani rijitlik değişimi olan modellerde, eğimli anakayanın yüzeydeki izdüşüm bölgelerinde büyütme oranları görece olarak artmaktadır. Üst tabakalara doğru kademeli rijitlik azalmasına sahip daha derin modellerde ise büyütme oranları fark edilir biçimde azalmakta ve anakaya ivmesinin artması bu durumu daha belirgin hale getirmektedir. Yatay yönde sınırlı genişliğe sahip zemin tabakalarının deprem hareketi altındaki davranışının iki boyutlu analiz

yöntemleri ile belirlenebilmesi için, anakaya topoğrafyasının iyi bilinmesi gerekmektedir. Jeolojik ve geoteknik araştırmaların buna uygun olarak yapılması gerekmektedir. Yeterli bilgilerin sağlanamadığı durumlarda, tabakaların yatay yönde sonsuza uzandığı kabulüne dayanan tek boyutlu analizler zorunlu olarak tercih edilmektedir. Bununla birlikte bir ve iki boyutlu analizler ancak, vadilerin çok geniş olması halinde, vadi ortasına yakın bölgeler için benzer sonuçlar vermektedir.

Kaynaklar

- ABYYHY (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi, Yayın No:25.
- Aki, K., Larner, K.L., (1970). Surface motion of a layered medium having an irregular interface due to incident plane SH waves, *Journal of Geophysics*, 933-954.
- Athanasopoulos, G.A., Pelekis, P.C., Leonidou, E.A. (1999). Effects of surface topography on seismic ground response in the Egion (Greece) 15 June 1995 Earthquake, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **18**,135-149.
- Bard, P.Y., Bouchon, M., (1985). The two-dimensional resonance of sediment-filled valleys, *BSSA*, **75**, 519-541.
- Boore, D.M., (2001). Effects of baseline corrections on displacements and response spectra for several recordings of the 1999 Chi-Chi, Taiwan, Earthquake, *BSSA*, **92**, 4, 1199-1211.
- Chávez-García, F.J., Faccioli, E., (2000). Complex site effects and building codes: making the leap, *Journal of Seismology*, **4**, 23-40.
- Haşal, M. E., İyisan, R., (2004). Yerel zemin koşullarının zemin büyütmesine etkisi: Bir ve iki boyutlu analiz, *ZM 10 Kongresi*, 343-352.

- Ishibashi, I., Zhang, X., (1993). Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay, *Soils and Foundations*, **33**, 182-191.
- Lysmer, J., Kuhlemeyer, R.L., (1969). A finite dynamic model for infinite media, *Journal of Engineering Mechanics Division*, **95**, 859-877.
- Pitilakis, K., (2004). *Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation*, A. Ansal (ed.), Kluwer Academic Publishers, 139-193.
- Psarropoulos, P. N., Gazetas, G., Tazoh, T. (1999). Seismic response analysis of alluvial valley at bridge site, *Proceedings of the Second Int. Conf. On Earthquake Geotechnical Engineering*, 41-47.
- QUAKE/W (2005). Finite Element Dynamic Earthquake Analysis, Geo-Slope Office.
- Rassem, M., Ghobarah, A., Heidebrecht, A.C., (1997). Engineering Perspective for the Seismic Site Response of Alluvial Valleys, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, **26**, 477-493.
- Seed, H.B. and Idriss, I.M. (1970). Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analyses, Report No. EERC 70-10, Earthq. Eng. Research Center, University of California, Berkeley.
- SHAKE91 (1992). A Computer Program for Conducting Equivalent-Linear Seismic Response Analyses for Horizontally Layered Soil Deposits, University of California.
- Şafak, E., (2001). Local Site Effects and Dynamic Soil Behaviour, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **21**, 453-458.