

Ova ve vadi kenarlarının zemin büyütmesine etkisi: Bir ve iki boyutlu davranış

M. Emre HAŞAL^{*}, Recep İYİSAN

İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Mühendisliği Programı, 34469, Ayazağa, İstanbul

Özet

Deprem sırasında oluşan yer hareketinin genliğinde, frekans içeriğinde ve süresinde incelenen bölgeye bağlı meydana gelen değişimlere “yerel etkiler” denir. Yerel etkiler; başlıca, yüzeydeki zemin tabakalarıyla daha altta yer alan anakaya arasındaki özgül direnç farklılığından kaynaklanmakla birlikte, ova/vadi gibi derin oluşumlar ile bunların kenarlarında yanıl jeolojik süreksizlikler tarafından meydana getirilen etkileri de kapsar. Yanıl süreksizliklere sahip bu tür ortamlarda zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, vadi kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine sebep olmakta ve kuvvetli yer hareketinin süresi uzayabilmektedir. Bu tip durumlarda, yüzeydeki hareketin genliği ova/vadi üzerinde elde edildiği bölgeye göre değişim gösterecek ve frekans muhtevası aynı bölgede bir boyutlu analizle hesaplanana göre farklılaşabilecektir. Bu çalışmada, iki boyutlu kayma dalgası hızı profili geniş açıklıklı eş zamanlı mikrotremor ağ ve tekil mikrotremor ölçümleriyle belirlenmiş olan Düzce Ovası modelinde, kenardaki anakaya eğiminin değişmesi halinde farklı frekans içeriğine sahip deprem hareketleri karşısında yüzey hareketinin nasıl etkileneceği anlaşılmasına çalışılmıştır. Bu amaçla, modellerde farklı noktalar için bir (1D) ve iki boyutlu (2D) dinamik analizler yapılmış, ova kenarındaki zemin büyütmelemlerinin ve şiddet parametrelerinin geometriye bağlı değişimi incelenmiş, ova kenarındaki kısımlar için 2D/1D spektral ivme oranları (şiddet faktörleri) hesaplanmıştır. Farklı periyotlar için hesaplanan bu değerlerin istatistiksel açıdan değerlendirilmesiyle, farklı anakaya eğimine sahip modeller için ova kenarındaki anakaya mostrasından olan uzaklığa ve sismik anakaya derinliğine bağlı şiddet faktörü ilişkisi tanımlanmış ve bir boyutlu dinamik analizin yaklaşık geçerlilik sınırları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: 1D ve 2D dinamik analiz, kenar etkisi, şiddet faktörü, yerel etkiler, zemin büyütmesi.

^{*}Yazışmaların yapılacağı yazar: Murat Emre HAŞAL. hasalm@itu.edu.tr; Tel: (212) 285 65 80.

Bu makale, birinci yazar tarafından İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Geoteknik Mühendisliği Programı'nda tamamlanmış olan "Topoğrafik düzensizliklerin zemin büyütmesine etkisi" adlı doktora tezinden hazırlanmıştır. Makale metni 07.05.2009 tarihinde dergiye ulaşmış, 04.06.2009 tarihinde basım kararı alınmıştır. Makale ile ilgili tartışmalar 31.03.2010 tarihine kadar dergiye gönderilmelidir.

Basin edge effect on dynamic response of soil layers: 1D and 2D behaviour

Abstract

Surface geology and the geotechnical properties of near surface soil layers have important effects on the earthquake ground motion. Site effects can be defined as the variation in the characteristics of incoming wavefield such as amplitude, frequency content and duration because of the geotechnical, dynamic and geometrical properties of soil layers and surface topography. The main source of site effects is the specific impedance contrast between near surface and deep soil layers. The calculation methods which were developed for the dynamic analysis of soil layers are defined as one, two and three dimensional. In one dimensional approach the soil medium is assumed as horizontally layered for simplicity and the analyses are based on the principal of body waves travelling up and down in the near surface layers. However, in fact sedimentary deposits form mediums which can only be defined by 2 or 3 dimensional methods. This kind of deposits with lateral geological discontinuities show trap behaviour. This trap affects the surface waves which develop during earthquakes and reverberate back and forth on the interface of sediment deposit and bedrock. As a result, the amplitude of surface ground motions may show variation dependent on the site where it occurs, also the frequency content of this surface motion will differ from site to site at the edge of deep deposits.

In this paper, two dimensional basin edge models with four different slope values ($H/D=10, 5, 2, 1$) were constituted to investigate the effects of basin edge on the variation of surface motion under earthquake excitations with different frequency content. Duzce basin shear wave velocity profile, which had been obtained from the analyses of microtremor array and single point measurements, was used to form the two dimensional geometry of soil layers and bedrock in the basin edge models. One (1D) and two dimensional (2D) dynamic analyses were performed for six different bedrock acceleration records by using these basin edge models. The results which would be obtained from the 1D and 2D analyses were aimed to reflect the seismotectonical structure of the faults in Turkey. Therefore four bedrock acceleration time histories were selected among the Turkey earthquakes. In order to eliminate the "box effects" which can occur during the two dimensional

dynamic finite element analyses because of the model geometry and boundary conditions; viscous dashpots, which are calculated proportional to the shear and pressure waves of the relevant layers, were put at the vertical and horizontal layers. Modified equivalent linear method and equivalent linear methods were used in the 1D and 2D analyses respectively.

After performing 1D and 2D dynamic analyses on the models, the calculated results were compared. The variations of the soil amplifications and acceleration spectrum intensity (ASI) values with the distance from the valley edges were investigated. To understand the difference between 1D and 2D dynamic behaviours, the 2D/1D spectral acceleration ratios which are known as "aggravation factors", were calculated for different period values. Remarkable increase in soil amplification, ASI and aggravation factors was observed between the rock outcropping site and $X/D=3$ point at basin edges. The highest aggravation factor values were obtained at 0.2 sec-0.5 sec interval for all valley models, also especially for models with $H/D=2$ and 1 these values reached to peak. Regardless of the periods considered, the aggravation factors generally converged to 1 after the points $X/D=5, 4, 2, 1.5$ for the basin models with $H/D=10, 5, 2$ and 1 respectively. The 2D effects were mostly becoming negligible after these points.

After this, the acceleration time histories and absolute acceleration spectrums which had been evaluated for the different points on edge surface were considered statistically and the relation between the results of 1D and 2D dynamic analyses was investigated by calculating aggravation factors for different period values. After evaluating the aggravation factors for different periods statistically, an aggravation factor relation was defined for the basin edge models with different edge slope values. It was revealed that by using the 2D/1D aggravation factor relation, the limiting effect of the second dimension at basin edges can be reflected to the spectral accelerations evaluated from the results of one dimensional dynamic analysis, as a function of the distance from rock outcrop site and seismic bedrock depth. Also the X/D values, which the aggravation factors can be neglected after, were determined.

Keywords: 1D and 2D dynamic analysis, aggravation factor, ASI, basin edge effect.

Giriş

Yüzeysel jeolojisi ve zemin tabakalarının geoteknik özelliklerinin, deprem sırasında oluşan yer hareketine çok önemli etkisi vardır. Yerel etkiler; zemin tabakalarının mühendislik ve geometrik özellikleri ile yüzeysel topoğrafyası nedeniyle, gelen deprem dalgasının genlik, frekans içeriği ve süresi gibi karakteristiklerinin değişimi olarak tanımlanabilir. Yerel etkiler; başlıca, yüzeysel zemin tabakalarıyla daha altta yer alan anakaya arasındaki özgül direnç farklılığından kaynaklanmakla birlikte, vadi/ova gibi derin oluşumlarda ve bunların kenarlarında kuvvetli yanal jeolojik düzensizlikler tarafından meydana gelen etkileri de kapsar. Cisim dalgalarına ek olarak yüzeysel dalgalarının mevcudiyetiyle baskın hale gelen bu etkiler üzerinde, sadece iki ve üç boyutlu sayısal modeller yardımıyla çalışılabilir (İyisan ve Hasal, 2007). Yerel etkilerin temel kavramını anlayabilmek için, kompleks fiziksel yapının basitleştirilmesi gereklidir. Bu nedenle düzenlenen bir boyutlu dinamik analizlerde, zemin ortamı yatay tabakalanmış kabul edilir. Bu kısıtlama nedeniyle 1 boyutlu dinamik analizler sadece yukarı ve aşağı yönde ilerleyen cisim dalgaları esasına dayanır. Bununla birlikte, gerçekte çökeller; farklı kalınlıkta tabakalara sahip ve sadece 2 veya 3 boyutlu modeller yardımıyla tanımlanabilecek ortamlar meydana getirirler. Yanal süreksizliklere sahip bu tür bir ortam, deprem dalgaları için kapan özelliği gösterir ve bu kapan; çökel/anakaya ara yüzeyinde deprem sırasında oluşan ileri geri yankılanan yüzey dalgalarını da etkiler. Yankılanan dalgalar birbiriyle aynı fazda olduğunda, etki en büyük değerine ulaşır ve bu dalgalar arasındaki girişim rezonans olayının meydana gelmesini sağlar. Bu rezonans biçimleri bir boyutlu analiz durumunda daha basit görünmekle birlikte, iki ve üç boyutlu oluşumlarda daha karışık hale gelmektedir.

Zemin tabakalarının yarı genişliğinin, maksimum derinliğinden çok daha büyük olması durumunda (sığ ve geniş ova/vadi), bir boyutlu analizde geçerli olan kabuller ve sınır şartları teşekkül eder. Zemin tabakalarının yarı genişliğinin kalınlığıyla karşılaştırılabilir mertebede (derin ve dar ova/vadi) olduğu ve ileri geri yankılanan dalgalar aynı fazda olduğu zaman, sismik dalgalar birbiriyle girişime girerek iki boyutlu rezonans şekilleri oluştururlar. Aynı durum üç boyutlu modellenmesi gereken formasyonlar için de geçerlidir. Dalga

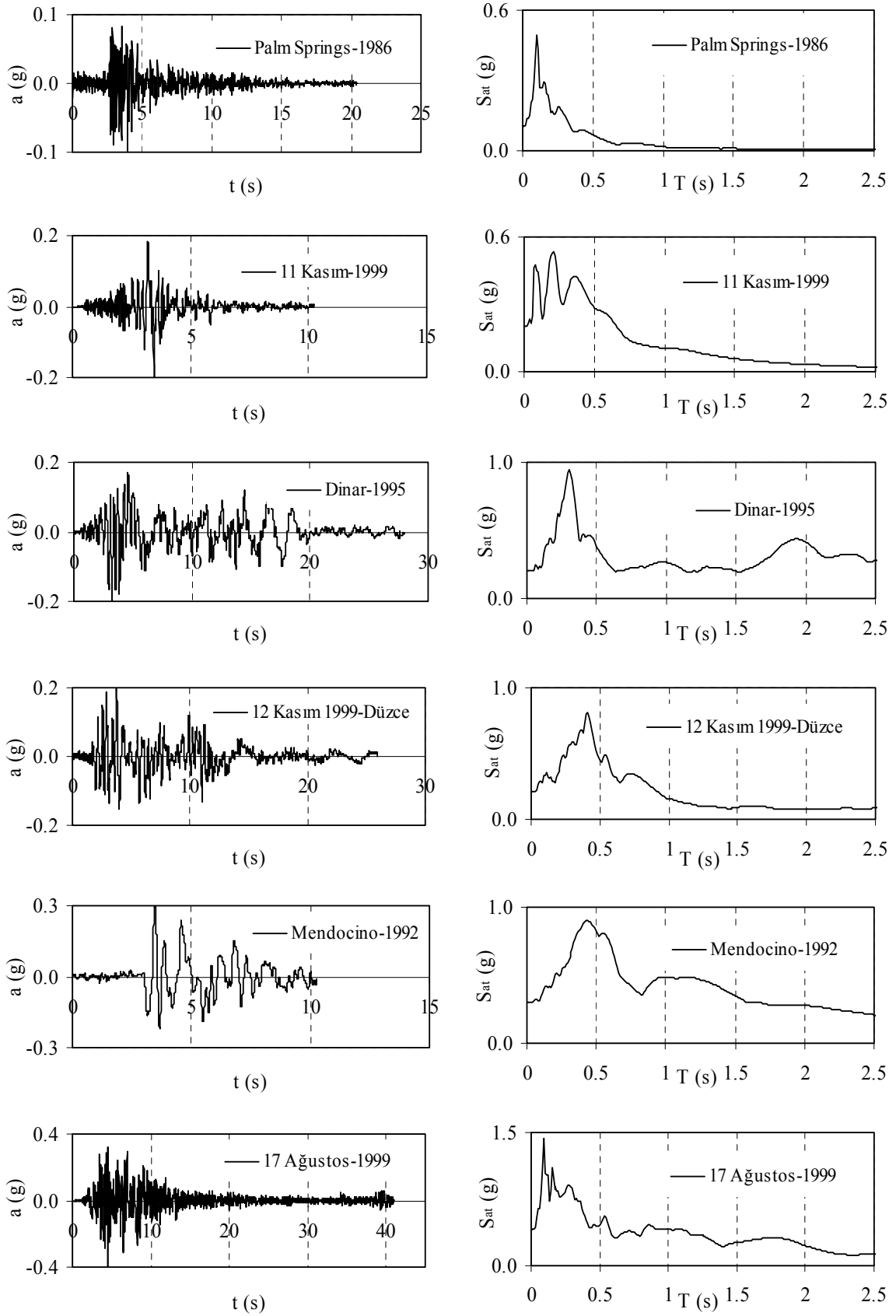
yayımlı olgusunda ikinci ve üçüncü boyut etkisinin dikkate alınması gerektiği bu tip durumlarda, yüzeysel hareketin genliği ova/vadi üzerinde elde edildiği bölgeye göre değişim gösterecek ve frekans muhtevası aynı bölgede bir boyutlu analizden hesaplanana göre değişebilecektir (Pitilakis, 2004; İyisan ve Haşal, 2006).

Bu çalışmada; vadi/ova gibi oluşumlarda kenardaki anakaya eğiminin, deprem sırasında yüzeyde oluşan harekete etkisi dört farklı anakaya eğimi ($[H/D]=10, 5, 2$ ve 1) için elde edilmeye çalışılmıştır. Anakayadaki deprem hareketi şiddeti ve frekans içeriğinin iki boyutlu modellere olan etkisini de inceleyebilmek amacıyla 6 farklı anakaya deprem hareketi kullanılmıştır. Yapılan analizlerde, iki boyutlu kayma dalgası hız profili eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümü yöntemiyle belirlenmiş olan Düzce ovası kenarı modeli kullanılmıştır.

Bu amaçla; vadi yüzeyindeki farklı noktalar için ivme zaman geçmişleri, ivme spektrumları ve şiddet parametreleri elde edilmiş, bu değerlerin vadi kenarındaki anakaya mostrası sınırından olan uzaklığa bağlı değişimleri incelenmiştir. Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının farklılığını belirleyebilmek amacıyla; iki boyutlu analizde vadinin farklı noktaları için hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizle elde edilenlere oranlanmış, elde edilen şiddet faktörlerinin kenardan olan uzaklığa bağlı değişimi farklı periyot değerleri için incelenmiştir. Daha sonra, yüzeysel farklı noktalar için elde edilen ivme zaman geçmişleri ile mutlak ivme spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilmeye ve farklı anakaya eğimine sahip ova/vadi modellerinin kenarında bir boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleriyle, iki boyutlu analizle hesaplanmış değerler arasındaki bağıntı belirlenmeye çalışılmıştır.

Deprem hareketlerinin özellikleri

Üzerinde bir ve iki boyutlu analizler yapılan iki boyutlu ova/vadi modellerinde, anakayadaki deprem hareketinin şiddeti ve frekans içeriğinin zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisini yansıtılabilmek amacıyla, birbirinden farklı mühendislik şiddet parametrelerine ($a_{maks}=0.1g-0.4g$) ve frekans içeriğine ($v_{maks}/a_{maks}=0.03-0.21$) sahip yurt içi/yurt dışı depremlerine ait altı ayrı kuvvetli yer hareketi kullanılmıştır (Şekil 1).



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

Yapılacak bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilecek sonuçların özellikle Türkiye'deki farklı sismotektonik yapıların özelliklerini yansıtması istendiğinden; analizlerde ikisi, Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü binasında 17 Ağustos Kocaeli ve 11 Kasım Sakarya depremlerinde kaydedilen, bir tanesi, 1 Ekim 1995 Dinar depreminde Meteoroloji istasyonunda alınan kuvvetli yer hareketi kaydının D-B bileşeninin anakayaya geri dönüşümlü taşınmasıyla elde edilen, diğer biri, 12 Kasım 1999 Düzce depreminde Meteoroloji istasyonunda elde edilen kuvvetli yer hareketi kaydının K-G bileşeninin anakayaya geri dönüşümlü taşınmasıyla elde edilen ve diğer iki tanesi Amerika San Andreas fay hattı üzerinde kaydedilmiş olan toplam 6 adet ivme zaman geçmişi kullanılmıştır (Şekil 1). İvme kayıtlarına 0.1 Hz ile 25 Hz sınırları içerisinde bant filtre uygulanmış ve doğrusal taban düzeltmeleri yapılmıştır. 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 kullanılan ölçeklendirilmiş en büyük ivmeleri (a_{maks}) göstermektedir.

Ova/Vadi kenarı modelleri

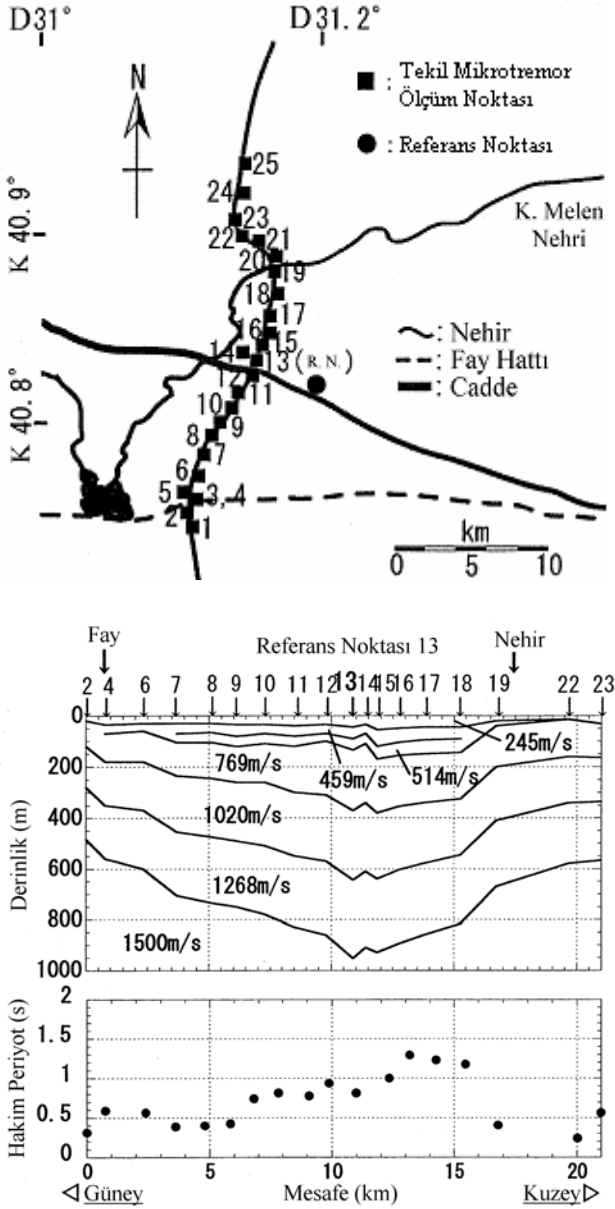
Kenardaki anakayanın ova ortasına doğru dalımının farklı eğimlere sahip olacak biçimde seçildiği dört ayrı modelde, gerçeği yansıtması açısından, Düzce Ovası'nda yapılmış arazi çalışmaları kapsamında düzenlenen mikrotremor array ve tekil mikrotremor ölçümü verilerinin değerlendirilmesiyle elde edilen iki boyutlu kayma dalgası hızı profili kullanılmıştır. Mikrotremor array deneyi verilerinin analizi sırasında Düzce Ovası'nın farklı kayma dalgası

hızına sahip yedi ayrı tabakadan oluştuğu kabul edilmiştir. Yüzeye yakın tabakaların dinamik özellikleri ve kalınlığı; tekil mikrotremor ölçümlerinde gözlenen H/V spektral oranının, teorik Rayleigh dalgası elipsliğiyle uyumlu olması esasına dayanılarak belirlenmiş ve teorik Rayleigh dalgasının en büyük spektral orana sahip olduğu periyot değerinin, H/V spektral oranının hakim periyoduyla örtüşmesine özellikle dikkat edilmiştir. Düzce Ovası'nda yapılmış olan mikrotremor ölçümlerinin yerleri, bu ölçümlere bağlı elde edilen kayma dalgası hızı profili ve hakim periyotların Düzce Ovası'nda bir hat boyunca değişimi birlikte Şekil 2'de gösterilmiştir. Elde edilen iki boyutlu kayma dalgası hızı profilinin ova kenarındaki değişimi ve jeolojik kesit dikkate alındığında mühendislik anakayasının ($V_s=1000$ m/s) yaklaşık 1:10 eğimle Düzce Ovası'na doğru dalım yaptığı kabul edilebilir.

Yapılan çalışmada ilk önce, bir boyutlu geri dönüşümlü anakayaya taşınmış olan 12 Kasım 1999 Düzce depremi K-G ivme zaman geçmişinin iki boyutlu kayma dalgası hızı profili eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleriyle belirlenmiş olan Düzce Ovası modeli üzerindeki etkisi araştırılmış, daha sonra bu etkiyi genel anlamda dikkate alabilmek için farklı anakaya eğimine sahip olması halinde farklı deprem hareketleri karşısında modelin davranışında ne tür değişiklikler meydana geleceği incelenmiştir. Bu amaçla dört farklı anakaya eğimi ($H/D=10$ [6°], $H/D=5$ [11°], $H/D=2$ [27°], $H/D=1$ [45°]) için, kayma dalgası hızı profili Şekil 3'te gösterilen model kullanılarak, ova kenarındaki farklı bölgeler için bir ve iki boyutlu dinamik analizler düzenlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Tablo 1. Dinamik analizlerde kullanılan depremlerin genel özellikleri

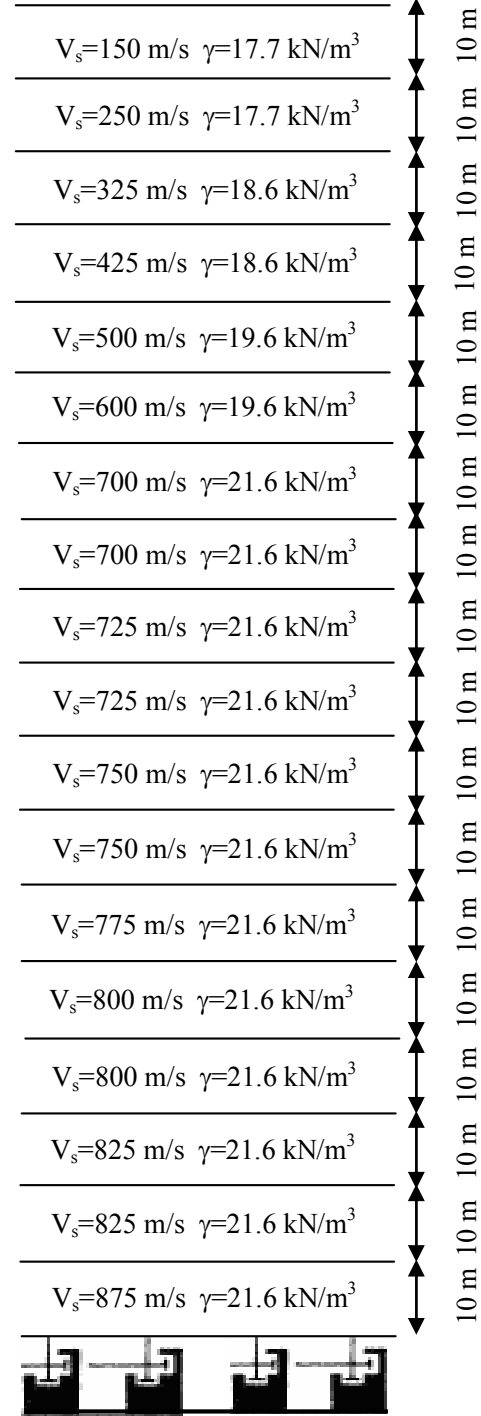
Orijinal Kayıt	Palm Springs-1986	Sakarya-11/11/1999	Dinar-1995	Düzce-12/11/1999	Mendocino-1992	Kocaeli-17/8/1999
İstasyon	Silent Valley	Sakarya Bay.	Meteoroloji	Meteoroloji	Cape Petrolia	Sakarya Bay.
Formasyon	Ayrışmış Granit	Kumtaşı	1D Geri Dönüşüm	1D Geri Dönüşüm	Kaya	Kumtaşı
Büyüklik	$M_L=5.9$	$M_d=5.7$	$M_L=5.9$	$M_w=7.2$	$M_L=6.5$	$M_d=7.4$
a_{maks} (g)	0.10 (0.1)	0.21 (0.2)	0.2	0.2	0.21 (0.3)	0.41 (0.4)



Şekil 2. Düzce Ovası için belirlenmiş S-dalgası hızı profili ve hakim periyot değerleri

12 Kasım 1999 Düzce depreminden sonra bölgede değişik zamanlarda yapılmış arazi ve laboratuvar deneylerinin sonuçları göz önüne alındığında yüzeyde yer alan 20 m kalınlığındaki tabakanın, düşük plastisiteli kil-kumlu ($PI=0\%$ 15) olduğu, 20-40 m derinlikler arasında ise düşük plastisiteli silt, siltli-killi kum ve çakıl bulunduğu varsayılmıştır. 40 m derinlik ile yumuşak anakaya başlangıcı olan 60 m derinlik arası kaba daneli zemin ile temsil edilmiştir. Zemin tabakalarındaki sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı

değişimi Ishibashi-Zhang (1993) bağıntısı kullanılarak oluşturulmuştur. Zemin tabakalarından orta sert anakaya geçiş bölgesinde, yumuşak kayaların yer aldığı varsayılmış ve bu bölge için dinamik parametrelerin kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Schnabel ve diğerleri (1972) bağıntısı yardımıyla modellenmiştir.

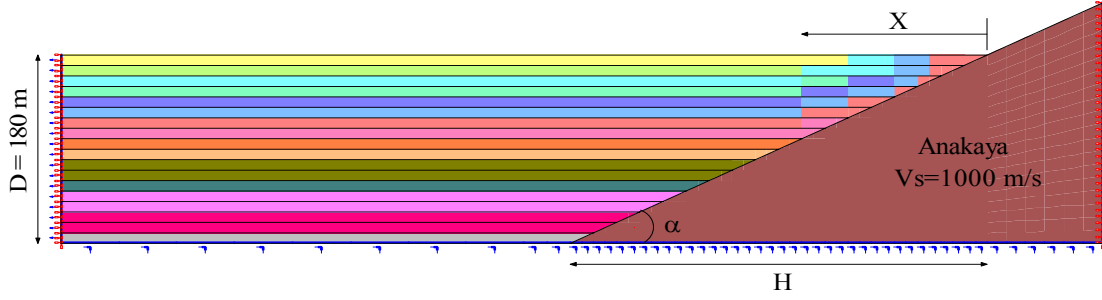


Şekil 3. Kayma dalgası hızı profili

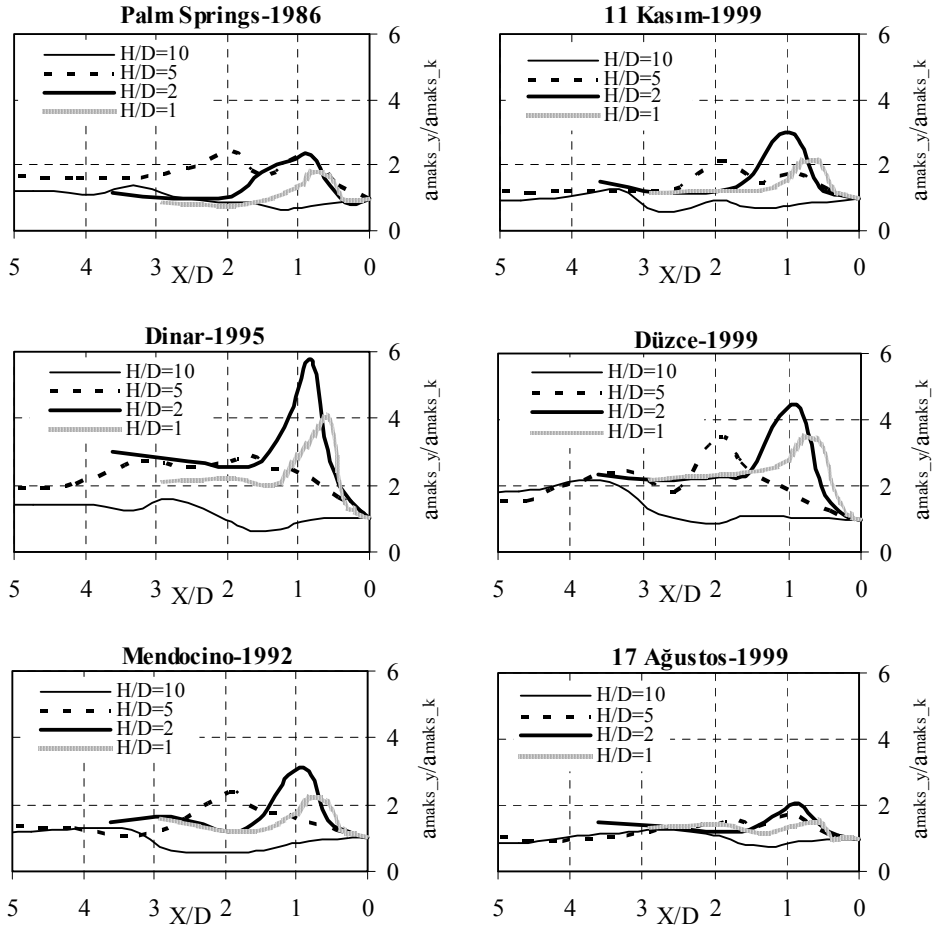
İki boyutlu dinamik analizler

İki boyutlu analizlerde, eşdeğer lineer yöntemle çalışan Quake/W (2007) yazılımı kullanılmıştır. Şekil 4'te gösterilen modelin dikey ve yatay sınırlarına ilgili tabakaların basınç ve kayma dalgası hızlarıyla orantılı sönümleyiciler konulmuştur. Yapılan analizler sonucunda, yüzeydeki farklı noktalar için elde edilen yatay ivme zaman geçmişlerinin en büyük mutlak değerleri

(a_{maks_y}), anakaya mostrasındaki ivme zaman geçmişlerinin en büyük mutlak değerine (a_{maks_k}) bölünerek normalize edilmiştir. Farklı depremler için ova yüzeyinde hesaplanan bu değerler, farklı anakaya eğimine sahip modeller için X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı olarak Şekil 5'te gösterilmiştir. D , sismik anakaya ($V_s=1000$ m/s) üzerindeki alüvyonun en derin olduğu yerdeki kalınlığı göstermektedir.



Şekil 4. İki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan ova kenarı modeli



Şekil 5. Farklı deprem ve anakaya eğimi için Düzce ovası modelinde hesaplanan zemin büyütme oranlarının değişimi

Von Thun ve diğerleri (1988) tarafından 0.5 saniyeden daha küçük hakim periyotlara sahip barajların kuvvetli yer hareketi altındaki davranışının tanımlanması için önerilen ivme spektrumu şiddeti;

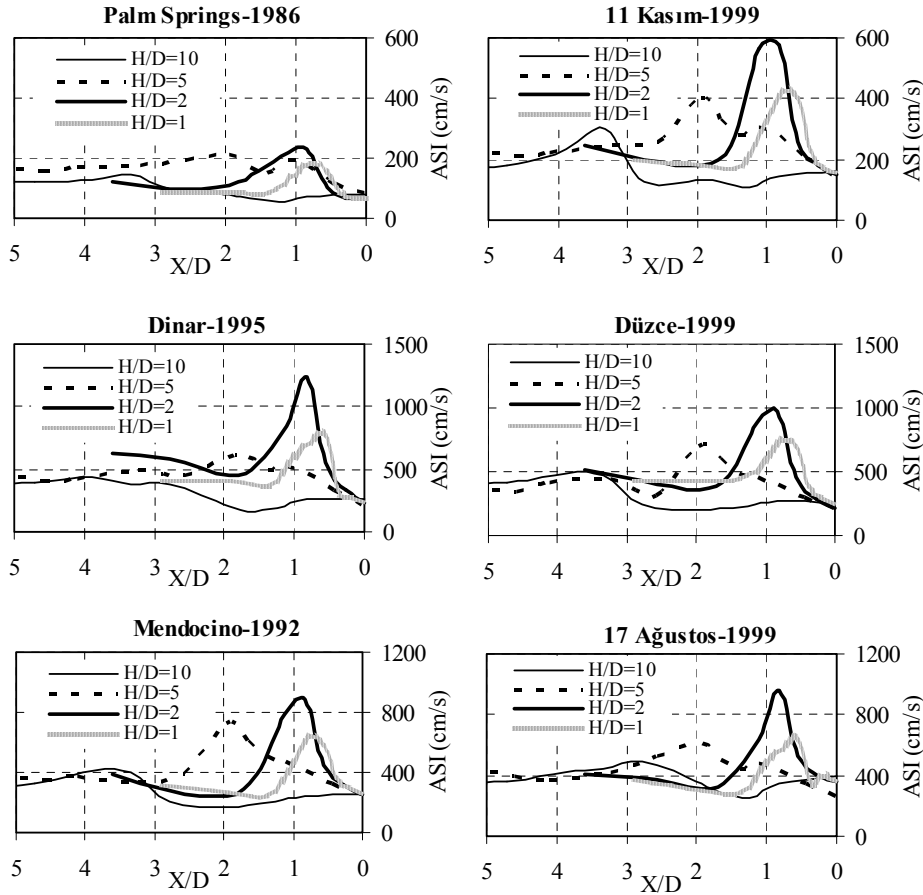
$$ASI = \int_{0.1}^{0.5} S_a (\xi = 0.05, T) dT \quad (1)$$

bağıntısıyla verilmektedir. Denklemde; S_a , ivme spektrumu değerini, ξ , sönüm oranını, T , periyodu göstermektedir. Hakim periyotları belirtilen aralıkta değişen yapılarda deprem sırasında oluşabilecek davranışla ilişkilendirilebilecek olan ASI değerlerinin anakaya mostrası sınırından ova ortasına doğru X/D büyüklüğüne bağlı değişimi farklı anakaya eğimine sahip modeller için Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 5 ve 6'nın her ikisinden de görülebileceği gibi zemin büyütmesi ve ASI değerleri, anakaya mostrasından ova ortasına doğru ilerledikçe belirli bir bölgede en

büyük değerlerine ulaşmakta, daha sonra, farklı her bir deprem hareketi için anakaya eğimine bağlı olmaksızın X/D değeri arttıkça birbirine yakınsamaktadırlar.

Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının karşılaştırılması

Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı depremler için yüzeyde meydana gelen hareketin belirlenmesinde eşdeğer lineer zemin modeline dayalı 2D sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve bulunanlar, uygulanabilirliği açısından tercih sebebi olan 1D analizlerin aynı noktalar için yapılmasıyla elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, bütün modellerde farklı noktalar için bir ve iki boyutlu dinamik analizle hesaplanan ivme zaman geçmişi kullanılarak mutlak ivme spektrumları elde edilmiştir. Bir boyutlu dinamik analizlerde, geliştirilmiş eşdeğer lineer zemin modeline dayanan Dyne-q yazılımı kullanılmıştır.

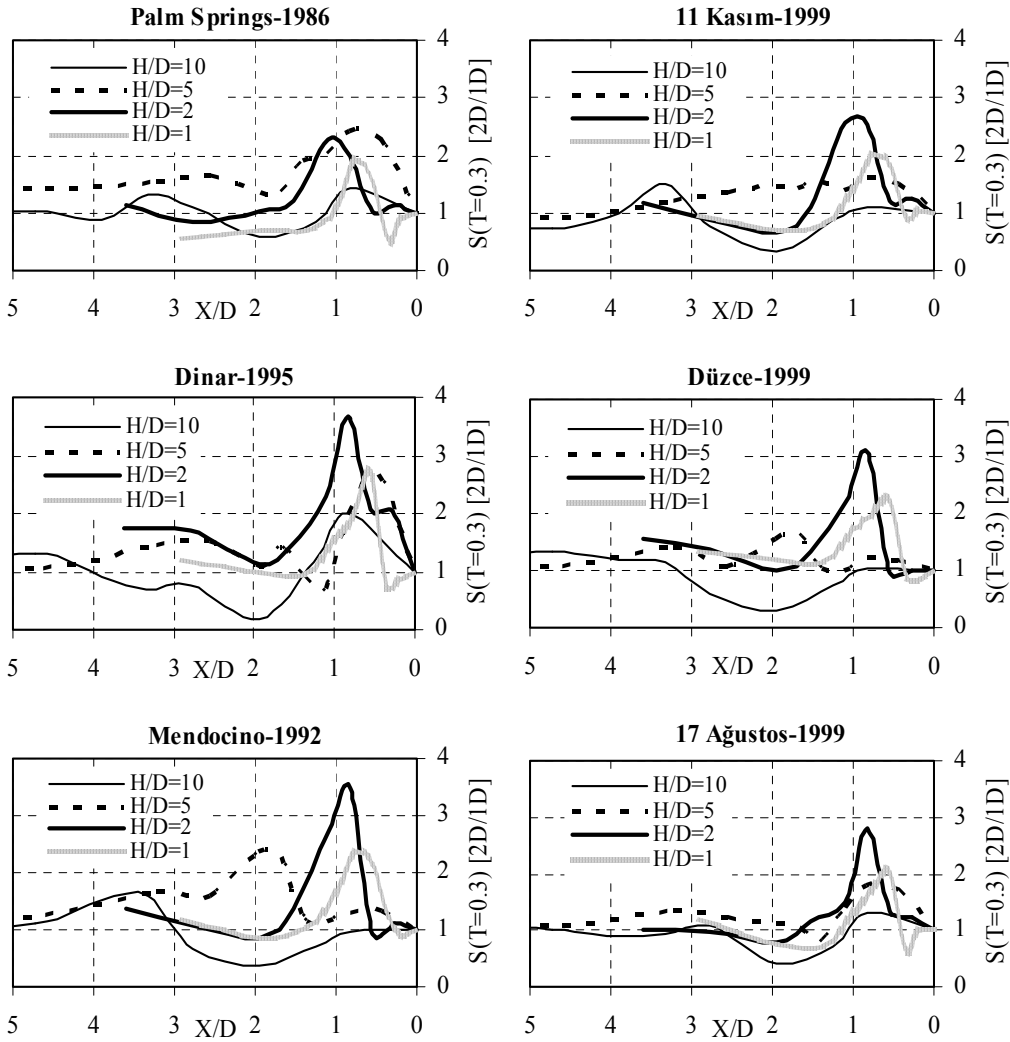


Şekil 6. Farklı deprem ve anakaya eğimi için hesaplanan ASI değerlerinin yüzeydeki değişimi

İki ve bir boyutlu davranışlar arasındaki fark; vadi yüzeyi için iki ve bir boyutlu analizlerle elde edilen ivme spektrumlarının birbirine oranlanmasıyla anlaşılmasına çalışılmıştır. İki ve bir boyutlu dinamik analizler sonucunda elde edilen ivme spektrumlarının oranı “şiddet faktörü” olarak tanımlanmaktadır (Makra ve diğ., 2001). Yüzey hareketinin farklı karakteristiklere (rijitliğe) sahip yapılara olan etkilerini inceleyebilmek amacıyla; farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde, şiddet faktörlerinin (2D/1D spektral büyütme) anakayadaki farklı deprem hareketleri karşısında aldığı değerler beş ayrı periyot ($T=0, 0.3, 0.4, 0.6, 0.9$ s) için hesaplanmıştır. Altı ayrı kuvvetli anakaya hareketi için modellerin yüzeyinde elde edilen şiddet faktörü

eğrilerinin $T=0.3$ s olması durumunda aldığı değerler Şekil 7’de gösterilmiştir.

2D/1D spektral büyütme; ova kenarındaki belirli bir bölgede en büyük değerlerine ulaşmakta, ova ortasına doğru ilerledikçe farklı periyotlar için hesaplanan şiddet faktörleri 1 değerine yaklaşmaktadır. Ayrıca hesaplanan 2D/1D şiddet faktörü değerlerinin anakaya eğimine bağlı olmaksızın, X/D büyüklüğünün belli bir değerinden ($X/D=3$) sonra birbirine çok yaklaştıkları rahatça fark edilebilmektedir. Anakaya eğiminin $11^\circ, 27^\circ$ ve 45° ($H/D=5, 2, 1$) olduğu durumlarda şiddet faktörleri 2-4 arasında değerlere ulaşmış ve özellikle $H/D=2$ ($\alpha=27^\circ$) durumu için en yüksek değerlerini almıştır.

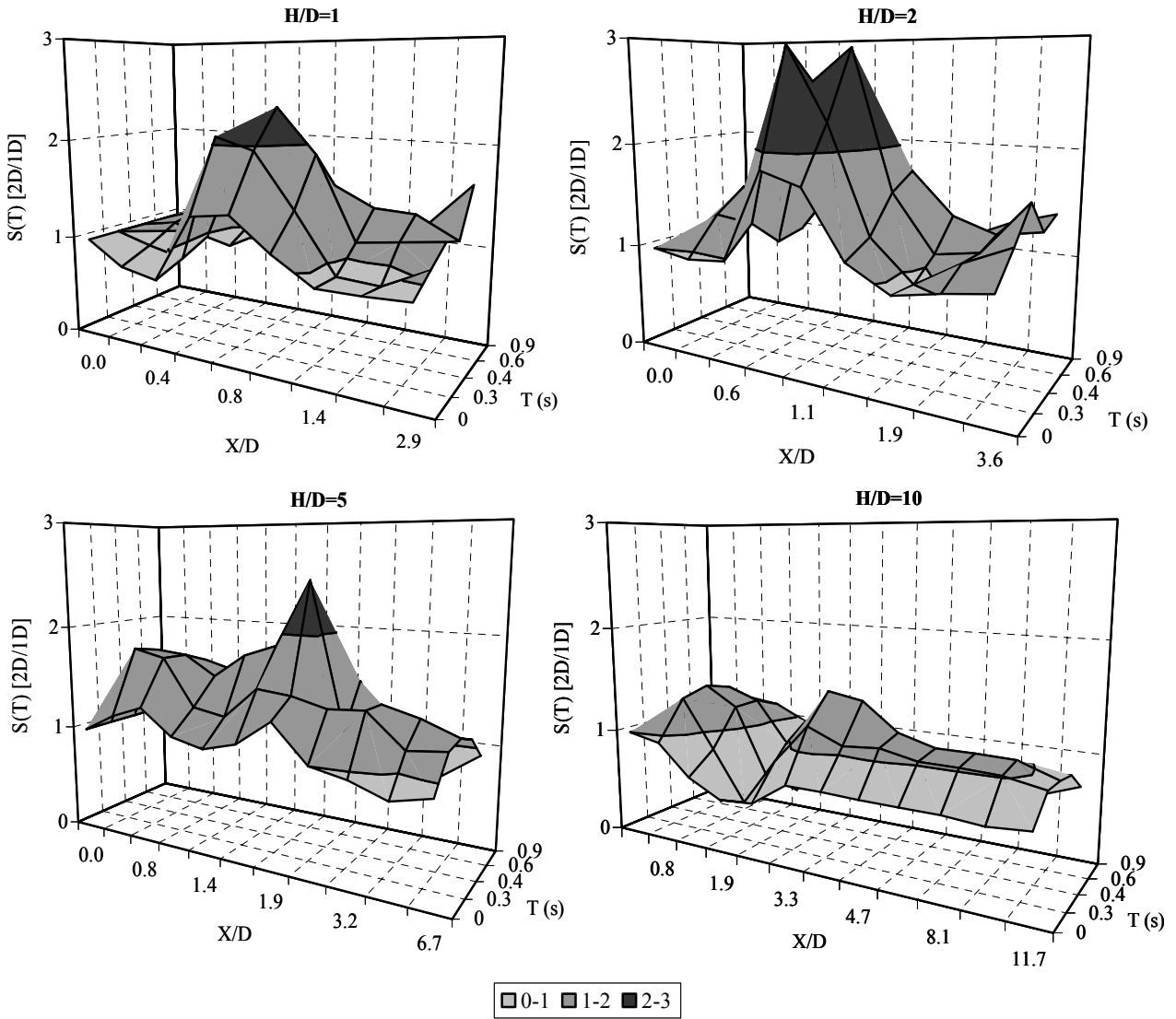


Şekil 7. Düzce ovası modelinde hesaplanan şiddet faktörlerinin ($T=0.3$ s) X/D 'ye bağlı değişimi

İstatistiksel değerlendirme

Ova modelleri üzerinde yapılan dinamik analizler sonucunda yüzeydeki farklı noktalar için elde edilen ivme zaman geçmişleri ile mutlak ivme spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilmeye ve farklı anakaya eğimine sahip modellerin kenarında bir boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleriyle, iki boyutlu dinamik analizle hesaplanmış değerler arasındaki bağıntı belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, farklı anakaya eğimine sahip modeller için elde edilmiş olan maksimum yatay büyütme ve farklı periyot değerleri için hesaplanmış olan şiddet faktörleri (2D/1D), istatistiksel açıdan ele alınmıştır.

Ova kenarındaki bölgeler için yapılan bir boyutlu dinamik analiz sonucunda hesaplanan spektral ivme değerlerine, anakayanın iki boyutlu geometrisinin etkisinin yansıtılabilmesi için 2D/1D şiddet faktörleri kullanılabilir. Bu etkinin belirlenebilmesi amacıyla farklı anakaya eğimleri ve deprem hareketleri kullanılarak 2D/1D şiddet faktörleri 5 ayrı periyot değeri için hesaplanmış ve farklı deprem hareketleri için normal dağılıma uydukları varsayılan şiddet faktörlerinin ortalama değerlerinin hem X/D hem de periyot değerlerine bağlı değişimi, farklı anakaya geometrisine sahip ova modelleri (H/D=1, H/D=2, H/D=5 ve H/D=10) için üç boyutlu yüzeyler biçiminde Şekil 8'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Ova modellerinde 2D/1D şiddet faktörlerinin X/D ve periyota bağlı değişimi

Şekillerden de görülebileceği gibi şiddet faktörleri en yüksek değerlerine $H/D=2$ olan modelde ulaşmaktadır. Daha yüksek ve daha düşük anakaya eğimi değerleri için şiddet faktörleri oldukça azalmaktadır. Bütün modeller için en yüksek şiddet faktörü değerleri $T=0.2$ s- 0.5 s aralığında elde edilmiştir. Şiddet faktörlerinin en yüksek olduğu bölgelerdeki üç boyutlu yüzeyler genellikle koniyi andıran şekile sahiptirler. Ova kenarındaki anakaya eğiminin azalmasıyla birlikte ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) 2D ve 1D spektral ivmeler arasındaki farklar en aza inmektedir.

Yapılan dinamik analizlerde, ova modellerinin kenarı için hesaplanan şiddet faktörlerinin X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi incelenmiş ve nicel bir bağıntı bulunmaya çalışılmıştır. Bu amaçla; $V_{s30}=245$ m/s eşdeğer kayma dalgası hızına sahip, üst tabakalarında siltli kil olduğu kabul edilen ($I_p=\% 10-15$), $D=180$ m derinliğindeki ova kenarı modellerinde 6 ayrı deprem hareketi için elde edilen şiddet faktörü değerlerinin 5 farklı periyottaki ortalamaları hesaplanmıştır.

Farklı deprem hareketleri için normal dağılıma uydukları varsayılan şiddet faktörlerinin, ortalama değerlerinin ova kenarındaki değişimleri, her bir anakaya eğimi ve periyot değeri için X/D 'ye bağlı tek bir fonksiyon ve/veya sabit değer yardımıyla tanımlanmaya çalışılmıştır. Farklı geometriler için elde edilmiş olan şiddet faktörü eğrilerinin lineer olmaması ve bazı modeller için birden fazla çok yüksek ve çok düşük noktaya sahip olması, eğrilerde bazı idealleştirmeler yapılmasını ve bazı eğriler için ova kenarında bir bölgeyi temsil eden sabit değerler kullanılmasını gerekli kılmıştır.

Ova kenarındaki ortalama şiddet faktörünün anakaya mostra sınırından olan uzaklığa bağlı değişimi ova modellerinde, $X/D>0$ olmak koşuluyla, denklemleri aşağıda verilen tek bir fonksiyon kullanılarak tanımlanmıştır:

$$m=S(T) [2D/1D] = e^{\left(a + \frac{b}{(X/D)} + c \ln \left(\frac{X}{D} \right) \right)} + 1 \quad (2)$$

Denklemlerde, m ; şiddet faktörünü, X ; ova kenarındaki anakaya mostra sınırından olan uzak-

lığı, D ; ova kenarındaki orta sert anakayanın dalımının sona erdiği noktadaki derinliği ($V_s=1000$ m/s kayma dalgası hızına sahip anakaya üzerinde yer alan zemin tabakalarının ova ortasına doğru en derin oldukları yerdeki toplam kalınlık), a , b , c ; anakaya eğimi ve ilgililenilen periyota bağlı değişen değerleri göstermektedir.

Şiddet faktörlerinin en yüksek değerlere ulaştığı $H/D=2$ ve 5 olan modellerde $T=0.2$ s- 0.5 s periyot aralığı için, a ; 8 ile 17, b ; -9 ile -17, c ise -9 ile -16 arasında değişen değerler almaktadır. Şiddet faktöründeki artışın en etkili olduğu $\alpha=27^\circ$ anakaya eğimine ($H/D=2$) sahip model ve şiddet faktörlerinin en yüksek değerlere ulaştığı 0.2 s- 0.5 s periyot aralığı için; a , b ve c parametreleri sırasıyla ortalama 16, -16 ve -16 değerlerini almaktadır.

Yukarıda verilen üssel fonksiyon; eğrilerin maksimum şiddet faktörü değerlerine sahip olduğu bölgeleri yansıtmakta çok başarılı olmakla birlikte, şiddet faktörü eğrilerinin bazılarında görülen birden fazla düşük ve yüksek noktaya sahip olma biçimini modelleyememektedir. Bununla birlikte, bazı modellerde anakaya mostrası sınırına yakın bölgelerde görülen ani şiddet artışı ve azalışı davranışının doğada tam olarak meydana gelebileceği düşünülmektedir. Bunun nedeni ise; ova ve vadi gibi oluşumlarda anakaya mostrası sınırıyla alüvyon tabakalarının birleştiği bölgelerde genellikle, yamaç molozu ve/veya anakayanın yerinde kimyasal veya fiziksel ayrışmasıyla oluşmuş ve alüvyona oranla daha sıkı ve sert zemin tabakalarının var olmasıdır. Bu sebeple, alüvyonun anakaya mostrasına çok yakın bölgelerinde şiddet faktörü değerlerinde oluşan küçük ölçekli ikincil artış ve düşüşler ihmal edilmiştir. Ayrıca bazı periyot değerleri ve modeller için ova kenarında belirgin bir artıştan çok sabit değerlerin olduğu belirlenmiştir. Bu tür kısımlar için m , 0.8 ile 1.2 arasında değişen değerler almıştır.

Sonuçlar

Yapılan çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Ova/vadi kenarlarında elde edilen yatay ivme ve ASI değerlerindeki en yüksek artışlar, kenardaki anakayanın başlangıcından $X/D=3$ noktasına kadar ve özellikle anakaya eğiminin 27° ve 45° olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır.
- Hesaplanan şiddet faktörleri bütün periyot değerleri için ova kenarında belirli bir bölgede ($X/D<3$) en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Bu bölgede şiddet faktörleri farklı depremler için 0.5-4 arasında değişen değerler almaktadır. Ova ortasına doğru ilerledikçe, özellikle $X/D=3$ noktasından sonraki bölgelerde şiddet faktörü değerlerinin anakaya eğimine bağlı olmaksızın genellikle 1 değerine çok yaklaştığı görülebilmektedir.
- Dört anakaya eğiminin kullanıldığı modellerde en yüksek şiddet faktörü değerleri, eğimin 27° ($H/D=2$) olduğu durumda ortaya çıkmıştır. Anakaya eğimi düştükçe şiddet faktörü değerleri de azalmaktadır.
- Periyot değerlerinden fazla etkilenmeksizin, ortalama şiddet faktörleri $H/D=10$ olan modelde $X/D=5$, $H/D=5$ olan modelde $X/D=4$, $H/D=2$ olan modelde $X/D=2$, $H/D=1$ olan modelde ise $X/D=1.5$ noktasından sonra genellikle 1 değerine yakınsamakta ve iki boyutlu etkiler çok azalmaktadır.
- Farklı anakaya eğimine sahip bütün modeller için en yüksek ortalama şiddet faktörü değerleri $T=0.2$ s- 0.5 s aralığında elde edilmiştir. $H/D=2$ olan modelde 0.2 s- 0.5 s periyot aralığı için ortalama şiddet faktörleri 2-3 arasında değişen değerler almaktadır. Ova kenarındaki anakaya eğiminin azalmasıyla birlikte ($H/D=10$, $\alpha=6^\circ$) iki ve bir boyutlu spektral ivmeler arasındaki farklar en aza inmektedir.

Yapılan çalışmada elde edilen 2D/1D şiddet faktörü bağıntısı sayesinde; ova kenarındaki bir bölge için yapılan tek boyutlu dinamik analizlerden elde edilen spektral ivme değerlerine, anakaya eğimine ve X/D büyüklüğüne bağlı olarak ikinci boyut etkisi yansıtılabilir. Ayrıca fark-

lı anakaya eğimine sahip ova kenarı modellerinde, 2D/1D şiddet faktörlerinin X/D 'nin hangi değerlerinden sonra ihmal edilebilecek kadar azaldığı da ortaya çıkmaktadır.

Kaynaklar

- DYNEQ, (2003). A computer program for dynamic response analysis of level ground by equivalent linear method, by Yoshida and Suetomi.
- Ishibashi, I. ve Zhang, X., (1993). Unified dynamic shear moduli and damping ratios of sand and clay, *Soils and Foundations*, **33**, 182-191.
- İyisan, R. ve Haşal, M.E., (2006). Farklı deprem hareketinin ve yerel zemin sınıfının dinamik davranışa etkisi, *Bildiriler Kitabı*, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi, K.T.Ü., Trabzon.
- Iyisan, R. ve Hasal, M.E., (2007). The effect of ground motion characteristics to the dynamic response of alluvial valley models, 13th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, December 10-14, Kolkata, India.
- Makra, K., Raptakis, D., Chavez-Garcia, F.J. ve Ptilakis, K., (2001). Site effects and design provisions: The case of Euroseistest, *Journal of Pure and Applied Geophysics*, **158**, 12, 2349-2367.
- Ptilakis, K., (2004). *Recent advances in earthquake geotechnical engineering and microzonation*, Ansal, A., eds., Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, 139-193.
- QUAKE/W, (2007). Finite Element Dynamic Earthquake Analysis, Geo-Slope Office.
- Schnabel, P.B., Lysmer, J. ve Seed, H.B., (1972). Shake: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. UCB/EERC 72-12, Earthq. Eng. Research Center, University of California, Berkeley, p. 102.
- Von Thun, J.L., Rochim, L.H., Scott, G.A. ve Wilson, J.A., (1988). Earthquake ground motions for design and analysis of dams, *Earthquake Engineering and Soil Dynamics II*, Recent Advance in Ground-Motion Evaluation, Geotechnical Special Publication 20, ASCE, New York, 463-481.