

Ova Kenarındaki Anakaya Eğiminin Dinamik Davranışa Etkisi: Dinar Ovası Modeli

Recep İYİSAN*
M. Emre HAŞAL**

ÖZ

Depremler sırasında yüzeyde oluşan yer hareketi, deprem kaynak özelliklerinin yanı sıra yerel zemin koşulları ve jeolojik yapıdan da etkilenmektedir. Yerel etkilerin kuvvetli yer hareketinin genlik ve frekans içeriğinde neden olduğu değişim, zeminlerin dinamik davranışına da yansımaktadır. Bu çalışmada kenardaki anakaya eğiminin, deprem sırasında yüzeyde oluşan harekete etkisini incelemek amacıyla Dinar ovası modeli kullanılarak farklı ivme kayıtları için bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yüzeyde farklı noktalar için hesaplanan spektral ivme oranlarının (2D/1D) kenardan uzaklığa bağlı değişimi incelenmiştir. Farklı anakaya eğimine sahip modellerde bir ve iki boyutlu analizlerle hesaplanmış spektral ivme değerleri arasında bir ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Anakaya derinliği ve kayma dalgası hızının derinlikle değişimi bölgede yapılan geniş açıklıklı eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleriyle belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dinar, mikrotremor, anakaya eğimi, dinamik analiz, spektral oran.

ABSTRACT

The Basin Edge Effect on Dynamic Response: Dinar Basin Model

Earthquake ground motion is affected by the local soil conditions and geological structure as well as earthquake source properties. The variations in the strong ground motion amplitude and frequency content caused by local effects are also reflected in the dynamic behavior of soils. In this study, to investigate the effects of basin edge slope on the variation of surface motion under different strong ground motion acceleration records, one and two dimensional dynamic analyses were performed by using the Dinar basin edge model and the results were compared. The variations of the spectral acceleration ratios (2D/1D) were evaluated for different points on the ground surface for various distances from the valley edges. A relationship between the results of one and two dimensional dynamic analyses was established. Shear wave velocity profile and bedrock depth were obtained from large-span simultaneous microtremor array measurements in Dinar.

Keywords: Dinar, microtremor array, bedrock slope, dynamic analysis, spectral ratio.

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 17.03.2010 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2011 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul - iyisan@itu.edu.tr

** İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul - hasal@hotmail.com

1. GİRİŞ

Bir sahada oluşan deprem hareketinin özellikleri; tektonik yapı, kırılma mekanizması, odak derinliği gibi deprem kaynak özelliklerinin yanında jeolojik yapı ve yerel zemin koşullarına da bağlıdır. Yerel zemin koşulları kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süresi gibi özelliklerini önemli derecede etkileyebileceği gibi deprem dalgaları da ürettikleri tekrarlı şekil değiştirme seviyelerine bağlı olarak geçtikleri tabakaların özelliklerini değiştirebilmektedir [1]. Deprem dalgalarının yüzeye yakın zemin tabakalarından geçerken genliklerinde meydana gelen artış zemin büyütmesi olarak ifade edilmektedir. Anakaya derinliği, anakaya üzerindeki zemin tabakalarının kalınlığı, cinsleri, özellikleri, zemin tabakalarının yatay doğrultudaki süreksizliği ve topografik özellikler gibi yerel etkiler zemin büyütmesini etkileyen önemli faktörlerdir [2,3]. Topografik özellikler, hem yüzeydeki ova ve vadi gibi oluşumları hem de yüzey altındaki zemin tabakalarının iki veya üç boyutlu geometrisiyle bu tabakaları sınırlayan anakayanın etkisini kapsamaktadır. Bu nedenle yerel etkiler, depremler sırasında meydana gelecek hasarın dağılımını etkilemekte ve depreme dayanıklı yapıların tasarımında önemli rol oynamaktadır. Bu koşulların etkisini araştırmanın amacı üst yapıya etkiyecek dinamik kuvvetlerin hesabı için bir tasarım deprem hareketinin genliğini, frekans içeriğini, süresini ve ivmesini belirlemektir.

İncelenen bir bölgede anakayadan yüzeye doğru ilerleyen deprem dalgalarının özelliklerinde yerel zemin koşullarına bağlı olarak meydana gelen değişimlerin başlıca nedeni, yüzeydeki zemin tabakalarıyla daha altta yer alan anakaya arasındaki özgül direnç farklılığıdır. Rijitlik azalımı ve sönüm artışıyla zemin tabakalarında meydana gelen lineer olmayan zemin davranışı nedeniyle karmaşık olan bu yerel etkilerin araştırılmasında en basit yöntem bir boyutlu dinamik analizdir. Kolay uygulanabilirliği açısından tercih sebebi olan bu tür analizler; yatay tabakalanmış ve sonsuza uzandığı kabul edilen zemin ortamında, sadece yukarı ve aşağı yönde ilerleyen cisim dalgalarının yayılması esasına dayanmaktadır [4]. Zemin tabakalarının yarı genişliğinin, maksimum derinliğinden çok daha büyük olması durumunda yani sık ve geniş ova - vadi modellerinde bir boyutlu kabuller ve sınır koşulları geçerli olmaktadır. Bununla birlikte gerçekte çökeller, farklı kalınlıkta tabakalara sahip iki veya üç boyutlu modeller yardımıyla tanımlanabilecek ortamlar meydana getirirler [5]. Yanal süreksizliklere sahip bu tür bir ortam, deprem dalgalarının zemin ile anakaya ara yüzeyinde ileri geri yankılanan yüzey dalgalarını da etkiler. Yankılanan bu dalgaların birbiriyle aynı fazda olması durumunda etki en büyük değerine ulaşmaktadır [6]. Zemin tabakalarının yarı genişliğinin kalınlığıyla karşılaştırılabilir mertebede olduğu dar ve derin ovalarda, zemin tabakaları yatay yönde sınırlı genişliğe sahiptir ve genelde kenarlarda eğimli bir anakaya ile son bulmaktadır. Bu koşullarda ova kenarlarında dalga dönüşümleri yani yüzey dalgasına dönüşen cisim dalgaları oluşmakta, iki boyutlu rezonans modelleri ortaya çıkmakta, yer hareketinin frekans içeriği ve genliği kenardan ova ortasına doğru uzaklığa bağlı olarak değişmektedir [7].

Deprem hareketinde meydana gelen bu değişime ova derinliği, genişliği, ova kenarındaki anakayanın eğimi, zemin tabakalaşması ve anakayadaki deprem hareketinin özellikleri etki etmektedir. Bütün bunlar dikkate alındığında; depremler sırasında vadi ve ova kenarında kurulmuş yerleşim bölgelerinde oluşabilecek hasar dağılımını etkileyebilecek önemli faktörlerden birinin de ova veya vadi kenarındaki anakaya eğimi olduğu söylenebilir. Dolayısıyla ova ve vadilerde zemin büyütmesi, zemin cinsi ve dinamik özellikleri ile deprem dalgasının hakim periyodu ve genliğine bağlı olmakla birlikte davranışı bulunacak yerin vadi veya ova içindeki konumu bu konuda önemli rol oynamaktadır [8,9].

Bu çalışmada önce, uygulanmış olan geniş açıklıklı eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri değerlendirilerek kayma dalgası hızının derinlikle değişiminden sismik anakaya derinliği belirlenmiş ve Dinar Ovası modeli geliştirilmiştir. Sonra Dinar Ovası modeli kullanılarak kenardaki anakaya eğiminin, deprem sırasında yüzeyde oluşan kuvvetli yer hareketine etkisi bir ve iki boyutlu dinamik analizlerle dört farklı anakaya eğimi için elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla vadi yüzeyindeki farklı noktalar için ivme zaman geçmişleri, ivme spektrumları elde edilmiş, bu değerlerin vadi kenarındaki anakaya mostrası sınırından itibaren uzaklığa bağlı değişimleri, seçilen farklı anakaya kuvvetli yer hareketleri için incelenmiştir. Bir ve iki boyutlu dinamik analiz sonuçlarının farklılığını belirleyebilmek amacıyla ovanın farklı noktaları için iki boyutlu dinamik analizlerle hesaplanan ivme spektrumları, bir boyutlu analizle elde edilenlere oranlanmış (2D/1D), elde edilen spektral ivme oranlarının uzaklığa bağlı değişimi farklı periyotlar için incelenmiştir. Daha sonra, yüzeydeki farklı noktalar için elde edilen ivme zaman geçmişleri ile mutlak ivme spektrumları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Farklı anakaya eğimine sahip ova modelleri kullanılarak bir boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleriyle, iki boyutlu analizle hesaplanmış değerler arasında bir ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan bir boyutlu dinamik analizlerde frekans ortamında çalışan ve eşdeğer lineer yöntemeye dayanan Dyne-q, iki boyutlu dinamik analizlerde ise eşdeğer lineer yöntemeye göre hesap yapan ve zaman ortamında çalışan Quake/W yazılımları kullanılmıştır.

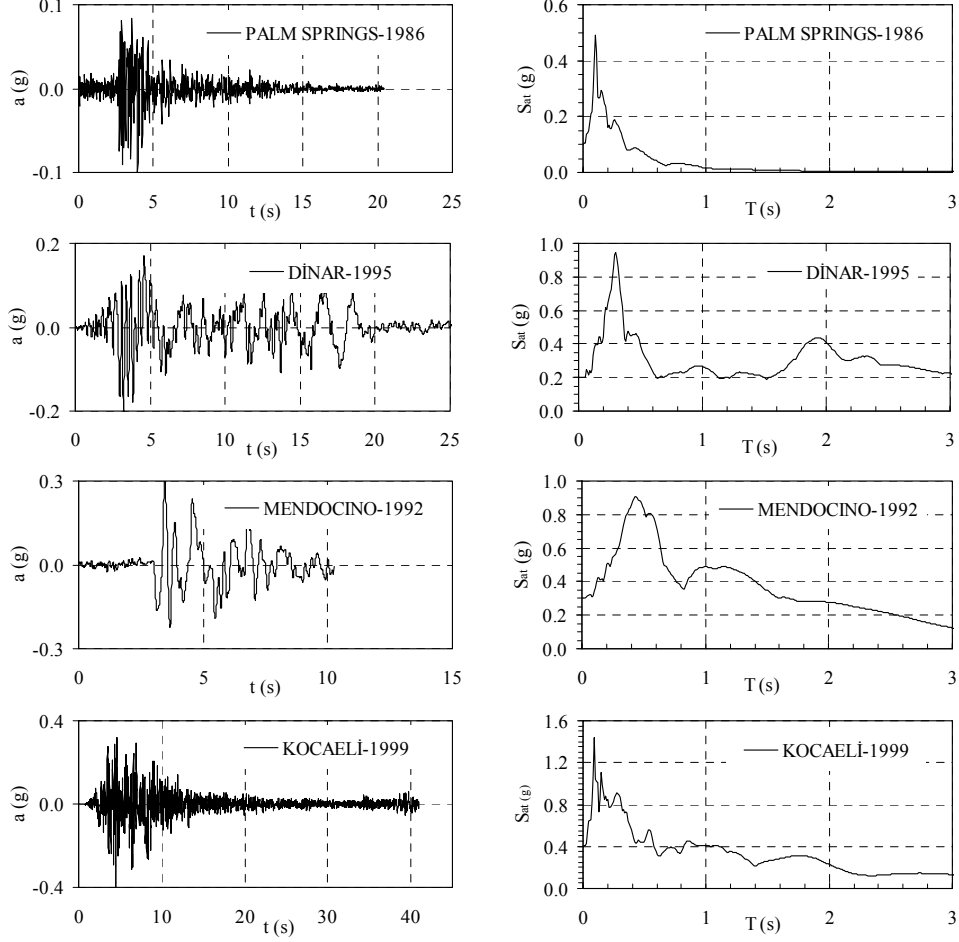
2. SEÇİLEN DEPREM HAREKETLERİNİN ÖZELLİKLERİ

Anakayadaki deprem hareketinin zemin tabakalarının dinamik davranışına etkisini yansıtabilmek amacıyla, birbirinden farklı mühendislik şiddet parametrelerine ve frekans içeriğine sahip, ikisi yurtiçi ve ikisi yurtdışı depremlerine ait olmak üzere toplam dört ayrı kuvvetli yer hareketi ivme kaydı kullanılmıştır. Seçilen bu deprem hareketleri ile yapılacak bir ve iki boyutlu analizlerden elde edilecek sonuçların özellikle ülkemizdeki farklı sismotektonik yapıların özelliklerini yansıtmaları amaçlanmıştır.

Analizlerde kullanılan kuvvetli yer hareketi kayıtlarından biri, 1 Ekim 1995 Dinar depreminde Dinar Meteoroloji istasyonunda alınan ivme kaydının doğu-batı bileşenidir. Geniş açıklıklı eşzamanlı mikrotremor ölçümlerinin de yapıldığı bu bölgede anakaya oldukça derinde yer almaktadır. Bu nedenle yüzeyde kaydedilen kuvvetli yer hareketi, Meteoroloji İstasyonu civarında yapılan kapsamlı incelemelerden elde edilen zemin kesiti [10,11] kullanılarak bir boyutlu geri dönüşümle anakayaya taşınmış ve bu haliyle dinamik analizlerde anakaya ivmesi olarak kullanılmıştır. 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde Sakarya Bayındırlık ve İskan Müdürlüğü binasında anakaya mostrasında kaydedilmiş kuvvetli yer hareketi ise analizlerde kullanılan diğer yurtiçi ivme kaydıdır.

Analizlerde kullanılan yurtdışı deprem kayıtları ise Kuzey Anadolu Fay Hattı ile oldukça benzer özellikler gösteren Amerika San Andreas Fay hattı üzerinde meydana gelmiş olan 1986 Palm Spring ve 1992 Mendocino depremlerine ait kayıtlardır. Bir ve iki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan dört adet kuvvetli yer hareketi ivme zaman geçmişleri ve mutlak ivme spektrumları Şekil 1’de verilmiştir. Seçilen bu ivme kayıtlarına 0.10 Hz ile 25 Hz sınırları içerisinde bant filtre uygulanmış, doğrusal taban düzeltmeleri yapılmış ve en yakın değerine ölçeklendirilerek en büyük ivmeler (a_{maks}) belirlenmiştir [12]. Çizelge 1’de bu çalışmada kullanılan deprem kayıtlarının özellikleri özetlenmiştir.

Ova Kenarındaki Anakaya Eğiminin Dinamik Davranışa Etkisi: Dinar Ovası Modeli



Şekil 1. Dinamik analizler için seçilmiş olan kuvvetli yer hareketi ivme kayıtları ve mutlak ivme spektrumları

Çizelge 1. Dinamik analizlerde kullanılan deprem ivme kayıtlarının genel özellikleri [12]

Deprem	Palm Springs 1986	Dinar 1995	Mendocino 1992	Kocaeli 1999
İstasyon	Silent Valley	Meteoroloji İst.	Cape Petrolia	Sakarya Bay.
Formasyon	Ayrılmış Granit	Geri Dönüşüm	Kaya	Kumtaşı
Büyükklük	$M_L=5.9$	$M_L=5.9$	$M_L=6.5$	$M_d=7.4$
Derinlik (km)	11.1	12.0	14.6	18.0
Uzaklık (km)	19.5	2.0	15.0	35.0
a_{maks} (g)	0.10	0.20	0.30	0.40

3. MİKROTREMOR AĞ ÖLÇÜMLERİ VE SİSMİK ANAKAYA DERİNLİĞİ

Mikrotremorlar rüzgar, dalga, jeotermal reaksiyonlar, küçük manyitüdü yer sarsıntıları gibi doğal etkiler yanında kültürel gürültü olarak tanımlanan ve başta trafik hareketleri olmak üzere insanların yaşam sürecinde neden oldukları hareketlilikten kaynaklanan çok küçük genlikli (10^{-2} ~ 10^{-3} mm) titreşimlerdir. Algılanabilmeleri için, yer hareketine uyumlu olarak salınım yapan bir sarkacın elektrik akımı üretmesi prensibine göre çalışan çok hassas titreşim ölçerlere – sismometrelere ihtiyaç duyulmaktadır. Tekil noktalarda yapılan mikrotremor ölçümleri geoteknik deprem mühendisliğinde zemin hakim periyodu ve zemin büyütmesinin belirlenmesi ile mikrobölgeleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır [13,14,15].

Mikrotremor ölçümlerinden kayma dalgası hızının derinlikle değişimini belirlemek ve anakaya veya elastik parametrelerin yaklaşık sabit kaldığı ortam olarak tanımlanan sismik anakaya tabakasının derinliğini tahmin edilebilmek için, mikrotremorların tekil nokta yerine birçok noktada sürekli ve eşzamanlı olarak kaydedilmesi gerekmektedir. Mikrotremor ağ (array) ölçümleri olarak tanımlanan bu tür arazi ölçümlerinde, bir geometrik düzen içinde yer alan ve birbirine göre konumları bilinen alıcılara ulaşan dalgaların aynı kaynaktan yayıldığı ve şeklinde bir değişikliğe uğramadığı kabul edilmektedir. Bilinen mesafelerde birkaç alıcıda kaydedilen bu çok küçük genlikli titreşimlerin ve spektrumlarının birbirleri ile karşılaştırılması, dalgaların içinden geçerek geldiği ve yayıldığı ortam hakkında önemli bilgiler içermektedir. Yöntem, kaydedilen yüzey dalgalarının dispersiyon (yayılm) özelliklerini belirlemeye dayanmaktadır. Her zaman uygulanabilir olması, çevre problemi yaratmaması, yoğun yerleşim merkezlerinde de kullanılabilmesi ve ekonomik olması, bu yöntemin diğer yöntemlere göre başlıca üstünlükleridir [16].

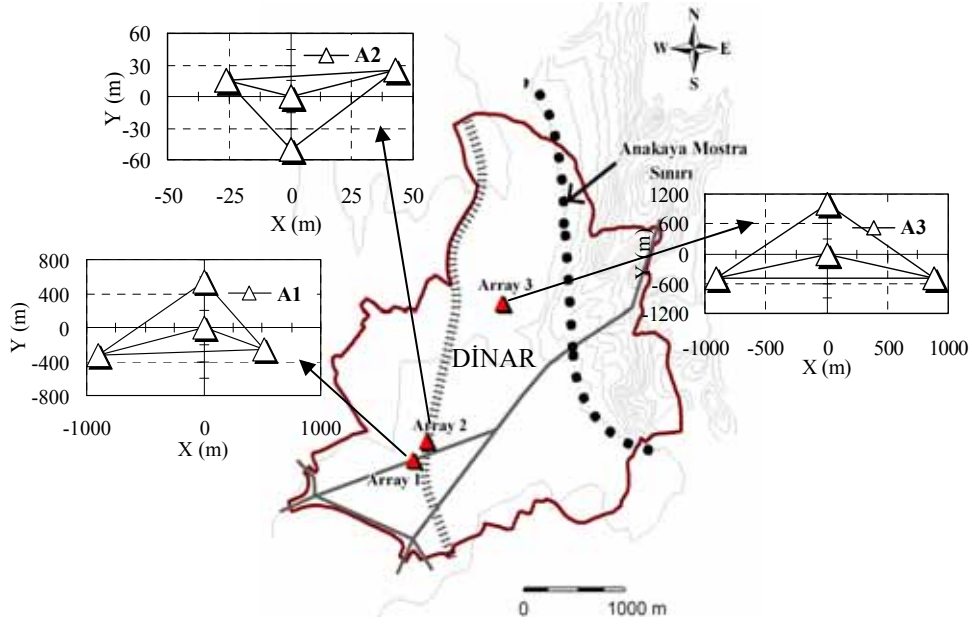
İki boyutlu dinamik analizlerde, anakaya geometrisinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Sondajların anakayaya kadar ulaşmadığı durumlarda, sismik anakaya derinliğinin belirlenmesinde eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri faydalı olmaktadır. Dinar’da üç ayrı noktada yapılan eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri yardımıyla, derin alüvyondaki farklı üç bölgedeki kayma dalgası hız profili belirlenmeye çalışılmıştır. Bu veriler Dinar’ın topografyası ve Dinar ovasının jeolojik kesiti ile birlikte yorumlanarak, zemin tabakalarının dinamik analizinde kullanılacak ova geometrisi ve mühendislik özellikleri elde edilmiştir.

3.1. Alıcıların Yerleşimi

Mikrotremor ağ ölçümlerinde alıcı yerleşimi ve mesafeleri ilgilenilen derinliğe bağlı olarak değişmektedir. Yapılan arazi çalışmalarından uygun verilerin elde edilebilmesi açısından ağ çapının, ilgilenilen en uzun dalga boyunun (λ) üçte birinden büyük, en yakın iki alıcı arasındaki mesafenin ise en kısa dalga boyunun yarısından küçük olması ve bu tür ölçümlerde en az 4 alıcı kullanılması tavsiye edilmektedir. Bir eşkenar üçgenin köşe noktalarında ve merkezinde bulunan alıcılarla oluşturulan bir ağ örnek olarak verilebilir. Üçgen ağ için yeterli açıklıkların bulunamaması durumunda alıcı yerleşimi doğrusal olarak da seçilebilmektedir [16]. Dinar ovasında kayma dalgası hızının derinlikle değişimini belirlemek ve sismik anakayanın ovadaki alüvyon tabakalarının altına doğru dalımının

eğimini yaklaşık olarak tespit edebilmek için Şekil 2’de verilen Dinar haritası üzerinde gösterilmiş olan üç farklı noktada eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleri yapılmıştır.

Bu amaçla üç ayrı noktada 4 adet düşey alıcıdan oluşan bir düzen-ağ içinde 0.01 saniye örnekleme aralığında kayıtlar alınmıştır. Faz hızı-periyot ilişkisinin hassas şekilde belirlenebilmesinin sağlanması için kayıt alınan üç noktada da ağ çapı, merkezdeki alıcı sabit kalmak üzere diğer alıcıların uzaklaştırılmasıyla artırılmış ve yeteri kadar kayıt alınmıştır.



Şekil 2. Dinar’da eş zamanlı mikrotremor ölçüm yerleri ve alıcıların yerleşimi

Mikrotremor ölçümlerinde kullanılan alıcılarının merkezden en uzak konumları Dinar’da kayıt alınan üç ayrı nokta için Şekil 2’de gösterilmiştir. Haritadaki noktalar, her ölçüm noktası için merkezde yer alan alıcı konumuna karşı gelmektedir. 1. noktada alıcı uzaklıklarının merkeze göre değiştiği her biri 15 dakika süren dört ayrı kayıt alınmıştır. 2. noktada da aynı işlem tekrarlanmıştır. 3. noktada ise beş farklı kayıt alınmıştır. Kayıtlardaki zamanlama dijital kaydedici içinde bulunan saat ile yapılmakta, böylece analiz aşamasında aynı zaman aralığı içindeki dalga formlarının karşılaştırılması mümkün olmaktadır.

3.2. Mikrotremor Kayıtlarının Analizi ve Kayma Dalgası Hızı

Mikrotremor ölçümlerinde genel olarak yüzey dalgalarının düşey bileşeni olan Rayleigh dalgaları kaydedilmektedir. Rayleigh dalgası dispersiv özelliğe sahiptir, diğer bir deyişle Rayleigh dalgasının hızı (V_R), frekansa (f) ve dalga boyuna bağlı (λ) olarak değişmektedir

($V_R = \lambda f$). Sismik dalgaların bir frekanstaki yayılma hızı ise faz hızı (c) olarak tanımlanmaktadır. Faz hızının frekans veya periyotla değişimini gösteren grafiğe dispersiyon (yayılm) eğrisi adı verilmektedir. Bir zemin kesiti için teorik olarak da elde edilebilen bu eğri, kayma dalgası hızı (V_s), basınç dalgası hızı (V_p), birim hacim ağırlık (γ) ve tabaka kalınlığının bir fonksiyonudur. Bu nedenle, mikrotremor ölçümlerinden elde edilen faz hızları ve faz hızlarının frekansla değişimi, ölçümlerin yapıldığı bölgedeki zemin tabakalarının özelliklerini belirlemede kullanılabilir [16,17]. Bu amaçla ağ içinde yer alan alıcılarda kaydedilmiş mikrotremorlar, spektral analiz tekniği ile zaman hakim ortamdaki frekans hakim ortama dönüştürülmektedir. Bu işlemler hızlı Fourier dönüşümü (FFT) ile kolayca yapılabilir. Daha sonra bilinen mesafelerde bulunan iki komşu alıcıda kaydedilen $x(t)$ ve $y(t)$ gibi iki dalga arasında karşıt güç spektrum (cross-power spectra) fonksiyonu, Fourier dönüşümleri kullanılarak aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır [18].

$$CPS_{x,y}(f) = LS_x(f).LS_y^*(f) \quad (1)$$

Bağıntıda, $LS_x(f)$, $x(t)$ dalga kaydının lineer spektrumu yani Fourier dönüşümü, $LS_y^*(f)$, $y(t)$ 'nin lineer spektrumunun kompleks eşleniği, f ise frekanstır. Hesaplanan bu fonksiyon, her frekans için iki dalga arasındaki faz farkını ($\theta_{x,y}$) vermekte, böylece frekansa bağlı olarak aynı dalganın dikkate alınan iki alıcı arasındaki hareket zamanı $t_l(f)$,

$$t_l(f) = \frac{\theta_{x,y}(f)}{360.f} = \frac{\theta_{x,y}(f)T}{360} \quad (2)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Bilindiği üzere 360° lik bir faz farkı, bir periyoda (T) eşit yolculuk zamanına karşı gelmektedir. Kaydedilmiş mikrotremorların farklı frekans bileşenlerinde yayılma hızlarını elde etmek için uygulanan ve kavramsal olarak en basit analiz f-k (frekans-dalga sayısı) spektral analiz yöntemidir. f-k spektrumu dalganın yayıldığı düzlemi ve yönü gösteren bir Fourier dönüşümüdür. Ağ içindeki herhangi iki alıcıda kaydedilen dalgaların f-k spektrumu aşağıdaki ifade ile verilmektedir [18].

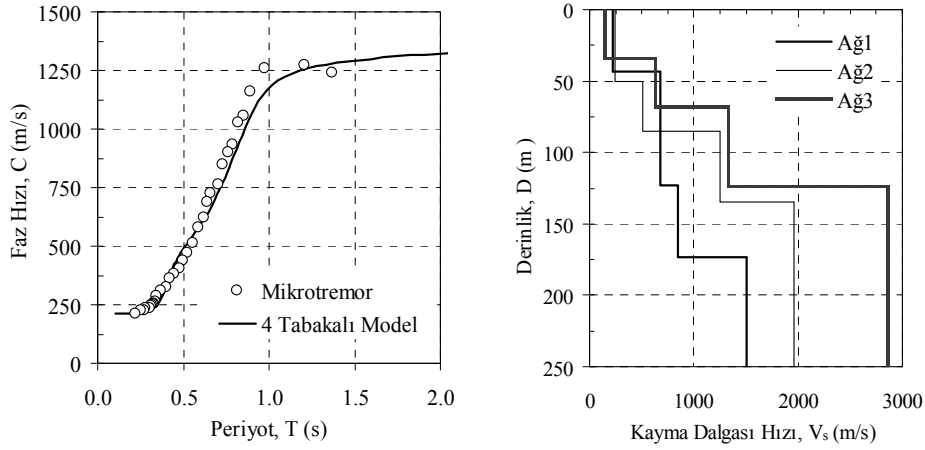
$$P(f, k) = \sum_{x,y=i}^n CPS_{x,y} . e^{ik(X_x - X_y)} \quad (3)$$

Burada X_x ve X_y alıcı koordinatları, n ağdaki alıcı sayısı, k 1/km boyutunda dalga sayısı vektörünü göstermektedir. Belirlenen f-k spektrumunun en büyük değerinde frekansa bağlı olarak faz hızı c ,

$$c = \frac{2\pi f}{k} = \frac{\omega}{k} \quad (4)$$

bağıntısı ile hesaplanmaktadır. ω açısal frekansı göstermektedir. Bu işlem her frekans için tekrarlanarak arazi dispersiyon eğrisi elde edilmekte, geri hesaplama yöntemi ile zemin tabakalarının özellikleri belirlenebilmektedir. Bunun için seçilen bir zemin modeli ve parametreleri ile hesaplanan teorik değerlerle gözlenen değerlerin benzer olması koşulu

aranmaktadır. Tabakalı bir ortamın dispersiyon eğrisi esas olarak kayma dalgası hızı (V_s) ve tabaka kalınlığı (D) tarafından kontrol edilmektedir. Dinar'da üç ayrı noktada yapılan ölçümler sonucunda, düşey doğrultuda alınmış mikrotremor kayıtları, yukarıda kısaca anlatılan yöntem kullanılarak analiz edilerek arazi dispersiyon eğrileri çizilmiş ve geri hesap yöntemi [19] ile zemin özellikleri belirlenmiştir. Bunun için dört tabakalı zemin modeli için hesaplanan teorik dispersiyon eğrisinin, mikrotremor ölçümleri ile elde edilenle yaklaşık aynı oluncaya kadar model parametreleri değiştirilmiştir. Yaklaşık 1000 m çapında uygulanmış mikrotremor birinci ağ ölçümlerinden elde edilmiş dispersiyon eğrisi ve her üç ölçüm için teorik model parametreleri ile geri analiz sonucu elde edilmiş kayma dalgası hızının derinlikle değişimi Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Arazi dispersiyon eğrisi ve kayma dalgası hızının derinlikle değişimi

Ayrıca Dinar'da üç farklı noktada uygulanmış mikrotremor ağ ölçümleri sonucunda elde edilmiş zemin tabakalarına ait özellikler karşılaştırma kolaylığı açısından toplu halde Çizelge 2'de verilmiştir. Burada γ birim hacim ağırlığı, V_p basınç dalgası hızını, V_s kayma dalgası hızını ve D ise tabakanın kalınlığını göstermektedir.

Şekilden ve çizelgede verilen değerlerden de anlaşılacağı üzere, ova ortasında yapılan ilk ölçümlerde yaklaşık 175 m derinlikte anakayaya ($V_s \approx 1000$ m/s) ulaşılmışken diğer ölçüm bölgelerinde ise sırasıyla 85 m ve 68 m derinlikte anakayaya girilmiştir. Bu sonuçlar, kenardaki anakayanın kuzey-doğu güney-batı doğrultusunda yaklaşık %10 eğime sahip olduğuna işaret etmektedir [12]. Üç ayrı noktada elde edilen kayma dalgası hızı değerlerinden ve tabaka kalınlıklarından, Dinar'daki zemin tabakalarının dinamik analizinde kullanılan iki boyutlu modelin oluşturulmasında faydalanılmıştır.

Çizelge 2. Mikrotremor ağ ölçümlerinden elde edilmiş zemin özellikleri

Tabaka No	γ (kN/m ³)	V _p (m/s)	V _s (m/s)	D (m)	Ölçüm No
1	19.0	1500	220	43	Ağ 1
		1500	249	50	Ağ 2
		1500	152	34	Ağ 3
2	20.0	2040	676	80	Ağ 1
		1850	506	35	Ağ 2
		2000	636	34	Ağ 3
3	21.0	2236	851	50	Ağ 1
		2675	1248	70	Ağ 2
		2750	1332	56	Ağ 3
4	22.0	2958	1503	∞	Ağ 1
		3472	1966	∞	Ağ 2
		4460	2862	∞	Ağ 3

4. DİNAR OVASI MODELİ

Zemin tabakalarının yatay doğrultuda sınırlı genişliğe sahip olduğu ova kenarlarında meydana gelen dalga dönüşümleri, deprem hareketinin frekans içeriğini ve süresini değiştirebilmektedir. Kenardaki anakaya eğimi, anakaya hareketinin özellikleri, vadi-ova derinliği ve genişliği depremler sırasında zemin tabakalarının dinamik davranışına etki etmektedir. Vadi ve ovalarda, kenardaki anakaya eğiminin deprem sırasında yüzeyde oluşan harekete etkisini incelemek amacıyla öncelikle Dinar Ovasının geometrik modeli oluşturulmuş, daha sonra seçilen dört farklı anakaya eğimi için belirlenen modeller üzerinde dinamik analizler yapılmıştır.

Bölgede daha önce yapılmış kapsamlı arazi çalışmaları, jeolojik kesit ve mikrotremor ölçümleri ile belirlenmiş kayma dalgası hızının derinlikle değişimi birlikte değerlendirildiğinde, Dinar'da anakayanın ova ortasına doğru yaklaşık 1/10 eğimle (6°) dalım yaptığı anlaşılmaktadır. Anakaya üzerinde ise kumlu ve siltli düşük-orta plastisiteli kil tabakaları ardışık olarak yer almaktadır. Yüze yakın zemin tabakalarının özellikleri için önceki arazi ve laboratuvar deney sonuçları kullanılmıştır [20,21].

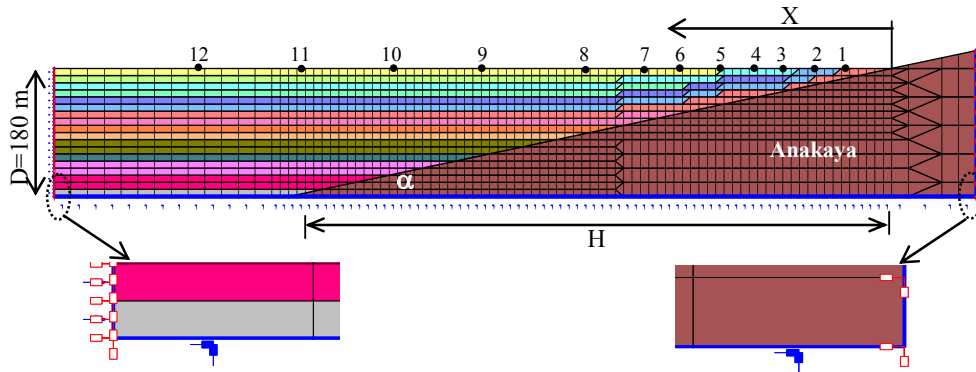
Yapılan çalışmada ilk önce, bir boyutlu geri dönüşümle yaklaşık 180 m derinlikteki mühendislik anakayasına taşınmış olan 1 Ekim 1995 Dinar Depremi doğu-batı ivme zaman geçişinin iki boyutlu Dinar Ovası modeli üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Daha sonra bu etkiyi genel anlamda dikkate alabilmek için farklı anakaya eğimine sahip olması halinde

farklı deprem hareketleri karşısında modelin davranışında meydana gelecek değişiklikler incelenmiştir. Bu amaçla Çizelge 3'te gösterildiği gibi dört farklı anakaya eğimi ($\alpha=6^\circ, 11^\circ, 27^\circ, 45^\circ$) için ova kenarındaki 12 ayrı nokta için bir ve iki boyutlu dinamik analizler yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3. Dinar Ovası modellerinin geometrik özellikleri

Model No	D (m)	H (m)	H/D	α ($^\circ$)
1	180	1800	10	6
2	180	900	5	11
3	180	360	2	27
4	180	180	1	45

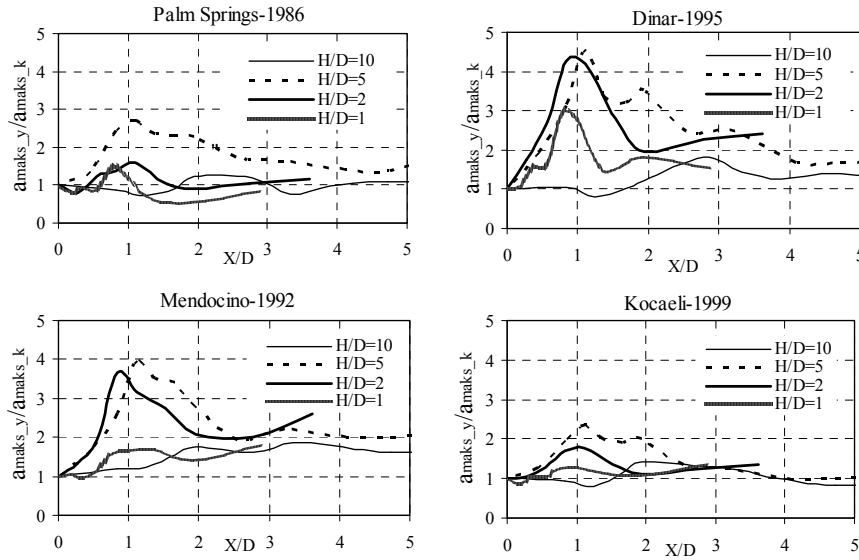
İki boyutlu dinamik analizlerde kullanılan Dinar Ovası modeli, iki boyutlu analizler için sınır koşulları ve sonlu elemanlar ağı ile birlikte Şekil 4'te verilmiştir. Şekilde D anakaya derinliğini, H ova kenarındaki anakaya mostrasının izdüşümünden itibaren ova kenarı genişliğini ve X ise ova veya vadi kenarındaki anakaya mostrasından itibaren uzaklığı ifade etmektedir. Analizlerde zemin kesiti şekilde gösterildiği gibi 10 m kalınlığında 18 ayrı tabakaya ayrılmış, en üst tabaka ve anakaya için kayma dalgası hızı sırasıyla 200 m/s ve 1000 m/s olarak alınmıştır. Zemin kesitinde sismik anakaya olarak kabul edilebilecek tabakaların üstündeki malzemenin orta plastisiteli kil ($CI, I_p=\%20\sim 25$) olduğu varsayılmış ve sönüm oranı ile kayma modülünün değişimi Ishibashi-Zhang [22] tarafından verilen bağıntı kullanılarak modellenmiştir. Zemin tabakalarından rijit olan anakaya geçiş bölgesinde, yumuşak ve orta sertlikte ayrılmış kayaların yer aldığı varsayılmış ve bu bölge için sönüm oranı ile kayma modülünün tekrarlı kayma şekil değiştirmesine bağlı değişimi Schnabel ve diğ. [23] tarafından verilen bağıntı yardımıyla modellenmiştir.



Şekil 4. Dinar Ovası modeli, dinamik analizler için sınır koşulları ve sonlu elemanlar ağı

5. İKİ BOYUTLU DİNAMİK ANALİZLER

İki boyutlu analizlerde, eşdeğer lineer yöntemle çalışılan Quake/W sonlu elemanlar yazılımı [24] kullanılmıştır. İki boyutlu modellerin dinamik analizinde özellikle düşey ve yatay sınır koşulları önemli olmaktadır. Deprem dalgasının sınırlarda yansıtılması amacıyla düşey sınırlara hem basınç hem de kayma dalgalarının enerjisini emecek sönümleyiciler konulması uygun olmaktadır [12]. İki boyutlu dinamik analizlerde, düşey sınır şartlarının yanında modelin tabanında yer alan yatay sınırın mesnet koşulları da önem kazanmaktadır. Modelin tabanında bulunan yatay sınırın düşey ve yatay doğrultuda mesnetli olması halinde, özellikle zemin tabakalarının lineer olmayan davranışının hakim olduğu kuvvetli yer hareketinin kullanıldığı analizlerde zemin büyütme oranı olması gerekenden çok daha yüksek değerlere çıkabilmektedir. Bu nedenle modelin tabanındaki yatay sınırın da her iki doğrultuda yerleştirilen sönümleyiciler yardımıyla modellenmesi gerekmektedir. Bu sönümleyiciler, ilgili tabakanın basınç ve kayma dalgası hızlarıyla orantılıdır. Modelin hem anakaya hem de ova kısımlarındaki düğüm noktalarında düşey ve yatay sönümleyiciler kullanılmış ve bunlara ek olarak yatayda sonsuza uzanan tabakaların sönüm kuvvetlerinin etkisi de katılmıştır. Bu kuvvetler, sonsuza uzanan zemin tabakalarının tek boyutlu dinamik analiziyle elde edilen tabaka parçacık hızlarının yatay doğrultudaki sönüm katsayısıyla çarpılmasıyla hesaplanmış ve deprem süresince etkiyen zamana bağlı sınır gerilmesi olarak modele her iki düşey sınırda da uygulanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, Şekil 4'te gösterilen yüzeyde seçilmiş 12 farklı nokta için elde edilen yatay ivmelerin en büyük mutlak değerleri ($a_{maks,y}$), anakaya mostrasındaki en büyük değere ($a_{maks,k}$) oranlanarak 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.

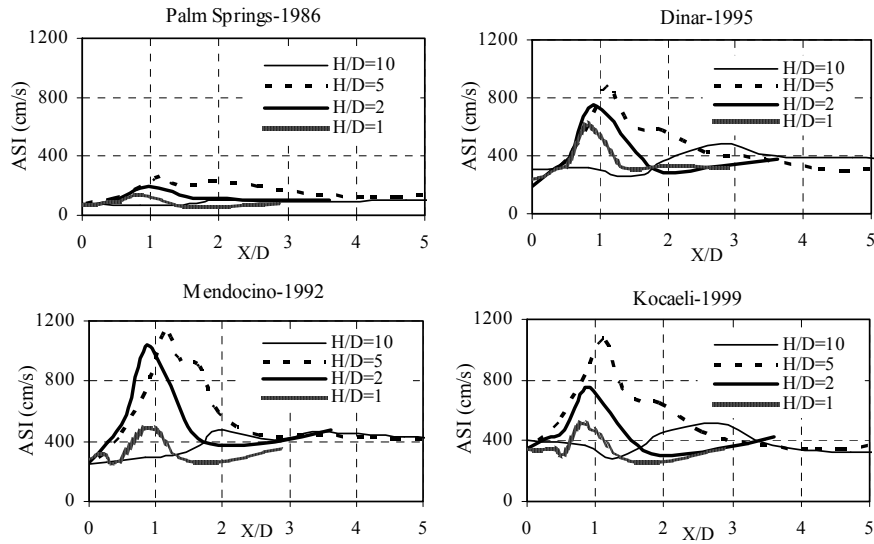


Şekil 5. Farklı deprem ve anakaya eğimleri için hesaplanmış zemin büyütme oranları

Çok yüksek olmayan rijit ve hakim periyodu 0.5 saniyeden daha küçük yapıların kuvvetli yer hareketi altındaki davranışının tanımlanması için önerilen ivme spektrumu şiddeti ASI;

$$ASI = \int_{0.1}^{0.5} S_a(\xi = 0.05, T) dT \quad (5)$$

bağıntısıyla verilmektedir [25]. Denklemden S_a ivme spektrumunu, ξ sönüm oranını, T periyodu göstermektedir. Hakim periyotları belirtilen aralıkta değişen yapıların deprem sırasındaki davranışlarıyla ilişkilendirilebilecek olan ASI değerlerinin anakaya mostrası sınırından ova ortasına doğru değişimi farklı anakaya eğimine sahip modeller için Şekil 6'da gösterilmiştir. Şekil 5 ve 6'dan 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.



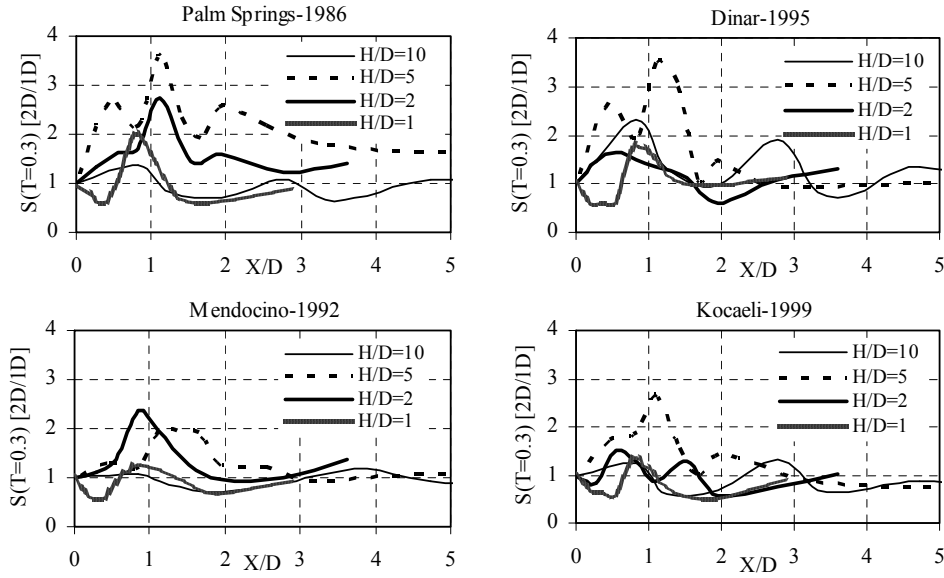
Şekil 6. Farklı deprem ve anakaya eğimleri için hesaplanan ASI değerleri

6. BİR VE İKİ BOYUTLU ANALİZ SONUÇLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Farklı anakaya eğimine sahip modellerde farklı depremler için yüzeyde meydana gelen hareketin belirlenmesinde eşdeğer lineer zemin modeline dayalı iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi kullanılmış ve bulunanlar, bir boyutlu analiz sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, bütün modellerde farklı noktalar için bir ve iki boyutlu dinamik analizle hesaplanan ivme zaman geçişleri kullanılarak mutlak ivme spektrumları elde edilmiştir. Bir boyutlu

dinamik analizlerde, geliştirilmiş eşdeğer lineer zemin modeline dayanan Dyne-q yazılımı [26] kullanılmıştır.

İki ve bir boyutlu davranışlar arasındaki fark, iki ve bir boyutlu analizlerle yüzeyde elde edilen ivme spektrumlarının birbirine oranlanmasıyla anlaşılmaya çalışılmıştır. İki ve bir boyutlu dinamik analizler sonucunda elde edilen ivme spektrumlarının oranı “şiddet faktörü” olarak tanımlanmaktadır [27]. Yüzey hareketinin farklı rijitliğe ya da periyoda sahip yapılara etkisini inceleyebilmek amacıyla; farklı anakaya eğimine sahip ova modellerinde, (2D/1D) spektral ivme oranlarının anakayadaki farklı deprem hareketleri karşısında aldığı değerler beş ayrı periyot ($T=0, 0.3, 0.4, 0.6, 0.9$ s) için hesaplanmıştır. Seçilen kuvvetli anakaya hareketi için modellerin yüzeyinde elde edilen spektral ivme oranı (şiddet faktörü) eğrilerinin $T=0.3$ s olması durumunda aldığı değerler Şekil 7’de gösterilmiştir.

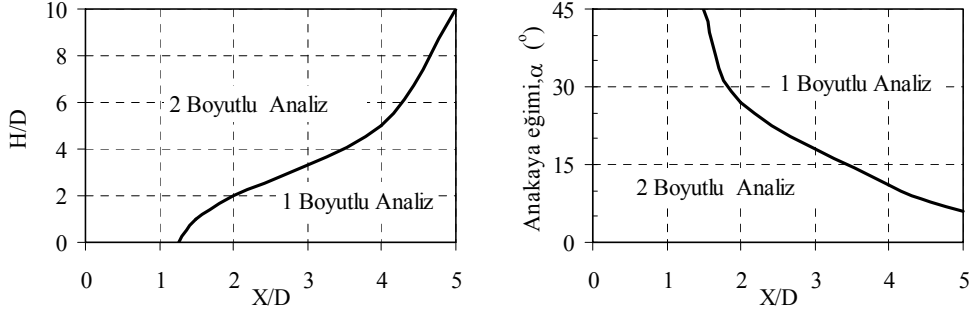


Şekil 7. Dinar ovası modelinde hesaplanan spektral ivme oranının X/D 'ye bağlı değişimi

2D/1D spektral büyütme; ova kenarındaki belirli bir bölgede en büyük değerlerine ulaşmakta, ova ortasına doğru ilerledikçe farklı periyotlar için hesaplanan spektral ivme oranları 1 değerine yaklaşmaktadır. Ayrıca hesaplanan 2D/1D değerlerinin anakaya eğimine bağlı olmaksızın, X/D büyüklüğünün belli bir değerinden ($X/D=3$) sonra birbirine çok yaklaştıkları fark edilebilmektedir. Anakaya eğimine bağlı olarak spektral ivme oranları yaklaşık 2~4 arasında değerler almış ve özellikle $H/D=5$ ($\alpha=11^\circ$) durumu için en yüksek değerlerine ulaşmıştır.

Periyot değerlerinden bağımsız olarak, ortalama 2D/1D oranları $\alpha=6^\circ$ olan modelde $X/D=5$, $\alpha=11^\circ$ olan modelde $X/D=4$, $\alpha=27^\circ$ olan modelde $X/D=2$ ve $\alpha=45^\circ$ olan modelde ise $X/D=1.5$ noktasından sonra genellikle 1 değerine yakınsamakta ve iki boyutlu etkiler çok

azalmaktadır. Bu sonuçlardan yararlanılarak, bir boyutlu dinamik analizin ova kenarındaki hangi bölgeler için yeterli olduğu ve ikinci boyut etkisinin hangi kısımlarda dikkate alınması gerektiği yaklaşık olarak belirlenmiş ve bu bölgeler, ilgili modeller için ova geometrisine bağlı olarak Şekil 8’de gösterilmiştir.



Şekil 8. Dinar ovası modellerinde 1D ve 2D dinamik davranışla temsil edilen bölgelerin ova kenarındaki geometriye bağlı değişimi

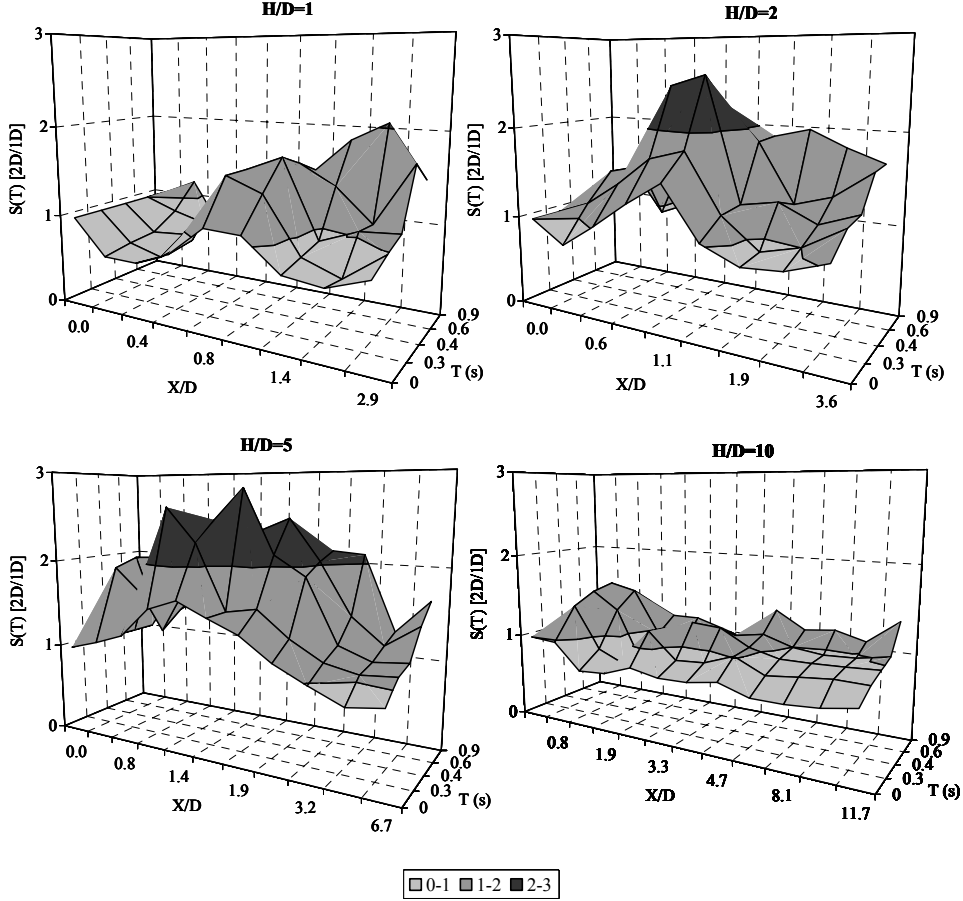
7. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE TARTIŞMA

Farklı anakaya eğimine sahip modeller üzerinde yapılan bir ve iki boyutlu dinamik analizler sonucunda, farklı anakaya hareketi için yüzeydeki farklı noktalarda mutlak ivme spektrumları elde edilmiştir. Bir ve iki boyutlu analizlerle bulunmuş spektral ivme değerleri arasındaki ilişkiyi incelemek ve iki boyutlu geometrinin bir boyutlu analiz ile hesaplanan spektral ivme değerlerine etkisini belirlemek amacıyla, (2D/1D) spektral ivmeler 5 ayrı periyot değeri için hesaplanmıştır. Farklı deprem hareketleri için normal dağılıma uydukları varsayılan spektral ivme oranlarının ortalama değerlerinin hem X/D hem de periyot değerlerine bağlı değişimi, dört anakaya eğimi için üç boyutlu yüzeyler biçiminde Şekil 9’da verilmiştir. Şekillerden de görülebileceği gibi spektral ivme oranları en yüksek değerlerine H/D=5 olan modelde ulaşmaktadır. Özellikle daha düşük anakaya eğimi değerleri için spektral oranlar oldukça azalmaktadır. Bütün modeller için en yüksek spektral ivme oranı T= 0.2~0.5 saniye aralığında elde edilmiştir. Ova kenarındaki anakaya eğiminin azalmasıyla birlikte spektral ivmeler arasındaki farklar da azalmaktadır.

Yapılan dinamik analizlerde, ova modellerinin kenarı için hesaplanan spektral oranların X/D boyutsuz büyüklüğüne bağlı değişimi incelenmiştir. Bu amaçla, farklı periyotlarda hesaplanmış spektral ivme oranlarının ortalamaları alınmış ve yapılan değerlendirme sonucunda X/D>0 olmak koşuluyla aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$\left(\frac{2D}{1D}\right) = e^{\left\{a + \frac{b}{(X/D)} + c \ln\left(\frac{X}{D}\right)\right\}} + 1 \quad (6)$$

Bağıntıda X ova kenarındaki anakaya sınırından uzaklığı, D derinliği ve a, b, c ise anakaya eğimi ve periyoda bağlı katsayıları göstermektedir. Bu katsayıların aldığı değerler birbirleri ile de ilişkili olup, spektral oranların en yüksek değerlere ulaştığı H/D=5 olan modelde bu parametreler sırasıyla 14, -14 ve -10 değerlerini almaktadır.



Şekil 9. 2D/1D spektral ivme oranlarının X/D ve periyoda bağlı değişimi

Verilen bağıntı, 2D/1D spektral ivme oranlarını X/D'ye bağlı olarak tahmin etmekte başarılı olmakla birlikte, 2D/1D oranlarının 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 gelemeceği düşünülmektedir. Bunun nedeni ise ova ve vadi gibi oluşumlarda anakaya mostrası sınırıyla alüvyon tabakalarının birleştiği bölgelerde genellikle, yamaç molozu veya anakayanın yerinde ayrışmasıyla oluşmuş ve

alüvyona oranla daha sıkı ve sert zemin tabakalarının var olmasıdır. Bu sebeple, alüvyonun anakaya mostrasına çok yakın bölgelerinde spektral oranlarda oluşan küçük ölçekli ikincil artış ve düşüşler ihmal edilmiştir.

8. SONUÇLAR

Zemin tabakalarının yatay yönde sınırlı genişliğe sahip olması, ova kenarlarında dalga hareketi dönüşümlerine, yüzey dalgalarının oluşmasına sebep olmakta, yer hareketinin frekans içeriği vadilerin ortasından kenarlarına doğru uzaklığa bağlı olarak değişmekte, kuvvetli yer hareketi süresi uzayabilmektedir. Ayrıca kenarındaki anakayanın eğimi, yerel zemin koşulları, ova derinliği ve genişliği ile anakayadaki deprem hareketinin özellikleri de bu değişime etki etmektedir. Bu nedenle vadi ve ova kenarındaki yerleşim yerlerinde depremler sırasında oluşabilecek hasar dağılımını etkileyebilecek önemli faktörlerden birinin de kenarındaki anakaya eğimi olduğu söylenebilir. Dolayısıyla ova ve vadilerde zemin büyümesi, yerel zemin koşulları ve deprem hareketi özelliklerinin yanında, davranışı incelenecek olan yerin vadi veya ova içindeki konumuna da bağlı olmaktadır.

Bu çalışmada Dinar Ovası modeli kullanılarak kenardaki anakaya eğiminin, deprem sırasında yüzeyde oluşan kuvvetli yer hareketine etkisi bir ve iki boyutlu analizlerle dört farklı anakaya eğimi için elde edilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla vadi yüzeyindeki farklı noktalar için ivme zaman geçmişleri, ivme spektrumları ve şiddet parametreleri elde edilmiş, bu değerlerin vadi kenarındaki anakaya mostrası sınırından itibaren uzaklığa bağlı değişimleri, seçilen farklı anakaya kuvvetli yer hareketleri için 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 (2D/1D), elde edilen spektral ivme oranlarının uzaklığa bağlı değişimi farklı periyot değerleri için incelenmiş, bir ve iki boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleri arasında bir ilişki araştırılmıştır. İki boyutlu modeller için anakaya derinliği ve eğimi, geniş açıklıklı eş zamanlı mikrotremor ağ ölçümleriyle elde edilen kayma dalgası hızının derinlikle değişiminden belirlenmiştir.

Farklı anakaya eğimine sahip modeller üzerinde farklı anakaya ivmeleri için yapılan dinamik analizler sonucunda, yatay ivme ve ivme spektrumu şiddeti - ASI değerlerindeki en yüksek artışlar, kenardaki anakayanın başlangıcından $X/D=3$ noktasına kadar ve özellikle anakaya eğiminin 27° ($H/D=2$) olduğu durumlarda ortaya çıkmıştır.

Hesaplanan 2D/1D spektral ivme oranları bütün periyot değerleri için ova kenarında belirli bir bölgede ($X/D<3$) en büyük değerlerine ulaşmaktadır. Bu bölgede spektral oranlar farklı depremler için 0.5~4 arasında değişen değerler almaktadır. Ova ortasına doğru ilerledikçe, özellikle $X/D=3$ noktasından sonraki bölgelerde spektral oranlar anakaya eğimine bağlı olmaksızın genellikle 1 değerine yaklaşmaktadır. Bu bölgelerde bir ve iki boyutlu dinamik analizler benzer sonuçlar vermektedir.

Farklı anakaya eğimine sahip modellerde en yüksek spektral ivme oranı, eğimin 11° ($H/D=5$) olduğu durumda ortaya çıkmıştır. Ova kenarındaki anakaya eğiminin azalmasıyla birlikte iki ve bir boyutlu spektral ivmeler arasındaki farklar da azalmaktadır. Bütün modeller için en yüksek ortalama spektral ivme oranı değerleri $T=0.2\sim 0.5$ s aralığında elde edilmiştir. Bu periyot aralığı için ortalama spektral oranlar 2~3 arasında değişmektedir.

Yapılan çalışmada elde edilen 2D/1D spektral ivme oranı bağıntısı ile 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 yansıtılabilmektedir.

Bir ve iki boyutlu dinamik analizle hesaplanmış spektral ivme değerleri arasında geliştirilen ilişki, Dinar Ovası modelinin farklı anakaya eğimleri için dört farklı deprem hareketi için elde edilmiştir. Sınırlı sayıdaki analiz sonuçlarına dayanan bu bağıntının elde edilecek yeni verilerle değiştirilmesi ve geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Bununla birlikte bağıntının, ova kenarındaki bir bölge için yapılan tek boyutlu dinamik analizlerden elde edilen spektral ivmelere, anakaya eğimi ve X/D oranı gibi parametreler kullanılarak ikinci boyut etkisinin belirlenmesinde yararlı olacağı düşünülmektedir.

Semboller

α	: Kenardaki anakaya eğimi
θ	: Faz farkı
ξ	: Sönüm oranı
λ	: Dalga boyu
γ	: Birim hacim ağırlık
ω	: Açısal frekans
1D	: Bir boyutlu dinamik analiz
2D	: İki boyutlu dinamik analiz
2D/1D	: Spektral ivme oranı
a, b, c	: Anakaya eğimi ve periyoda bağlı katsayılar
a_{maks}	: En büyük deprem ivmesi
a_{maks_y}	: Yüzeydeki en büyük mutlak yatay ivme
a_{maks_k}	: Anakayadaki en büyük mutlak yatay ivme
ASI	: İvme spektrum şiddeti
c	: Faz hızı
CI	: Orta plastisiteli kil
CPS	: İki dalga arasında karşıt güç spektrumu
D	: Tabaka kalınlığı
f	: Frekans
g	: Yerçekimi ivmesi
H	: Ova genişliği
I_p	: Plastisite indisi
i	: $\sqrt{-1}$

LS	: Dalga kaydının lineer spektrumu- Fourier dönüşümü
S _{at}	: Mutlak ivme spektrumu
t	: Zaman
T	: Periyot
V _p	: Basınç dalgası hızı
V _R	: Rayleigh dalgasının hızı
V _s	: Kayma dalgası hızı
X	: Ova kenarından uzaklık
x(t)	: Bir alıcıda kaydedilmiş mikrotremor dalga formu

Kaynaklar

- [1] Chin-Hsiung, L., Jeng-Yaw, H. and Tzay-Chyn, S., Observed variation of earthquake motion across a basin-Taipei city, Earthquake Spectra, Vol. 14, No. 1, 115-134, 1998.
- [2] Athanasopoulos, G.A., Pelekis, P.C. and Leonidou, E.A., Effects of Surface Topography on Seismic Ground Response in the Egion (Greece) 15 June 1995 Earthquake, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 18, 135-149, 1999.
- [3] Şafak, E., Local Site Effects And Dynamic Soil Behaviour, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21, 453-458, 2001.
- [4] Kramer, S. L., Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Upper Saddle River, USA, 1996.
- [5] Olsen, K.B., Site Amplification in the Los Angeles Basin from Three Dimensional Modeling of Ground Motion, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 90, No. 6, 77-94, 2000.
- [6] Ptilakis, K., Recent Advances in Earthquake Geotechnical Engineering and Microzonation, A. Ansal (ed.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, 139-193, 2004.
- [7] Haşal, M.E. ve İyisan, R., Yerel Zemin Koşullarının Zemin Büyütmesine Etkisi: Bir ve İki Boyutlu Analiz, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, 16-17 Eylül, İ.T.Ü., İstanbul. 2004.
- [8] Rassem, M., Ghobarah, A. and Heidebrecht, A.C., Engineering Perspective for the Seismic Site Response of Alluvial Valleys, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 26, 477-493, 1997.
- [9] İyisan, R. and Hasal, M.E., The Effect of Ground Motion Characteristics to the Dynamic Response of Alluvial Valley Models, 13th Asian Regional Conference of Soil & Geotechnical Engineering, Theme-7 Dam Engineering, Paper Code 7.1-8, Koklata, India. 2007.

- [10] Ansal, A., İyisan, R., Özkan M., A Preliminary Microzonation Study for the Town of Dinar, Seismic Behav. of Ground and Geotech. Structures, Proc. of Discussion Special Tech. Session on Eart. Geotec. Eng. During 14th Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Hamburg, 1997.
- [11] Ansal, M.A., İyisan, R. and Güllü, H., Microtremor measurements for the microzonation of Dinar, Pure and Applied Geophysics, 158, 2525-2541, 2001.
- [12] Haşal, M.E., (2008), Topogrifik Düzensizliklerin Zemin Büyütmesine Etkisi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [13] Teves-Costa, P. and Bard, P.Y., Seismic Behaviour Estimation of thin Alluvium Layers using Microtremor Recordings, Soil Dynamics and Earthq. Engineering, Vol. 15, pp. 201-209, 1996.
- [14] İyisan, R. ve Ansal, A., Yerel Zemin Koşullarının Mikrotremor ile Belirlenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Müh. 7. Ulusal Kongresi, YTÜ, İstanbul, 542-549. 1998
- [15] Kepçeoğlu Ö., Bursa-Güzelyalı Beldesi için Mikrotremor Ölçümlerine Dayanan Bir Mikrobölgeleme Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008.
- [16] İyisan, R., Gülerce, Ü., Yamanaka, H. ve Ansal, A., Kayma Dalgası Hızının Mikrotremor Ölçümleriyle Belirlenmesi, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 2002.
- [17] Yamanaka, H., Geophysical Exploration of Sedimentary Structures and Their Characterization, The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Balkema, Rotterdam, pp.15-33, 1998.
- [18] Horike, M., Geophysical Exploration Using Microtremor Measurements, Proc. of 11th World Conf. on Earthquake Engineering, paper no.2033, 1996.
- [19] Yamanaka, H., Ishida, H., Application of Genetic Algorithms to an Inversion of Surface-Wave Dispersion Data, Bulletin of the Seism. Society of America, V.86, No.2, pp.436-444, 1996.
- [20] Güllü, H., Dinar'ın Zemin Büyütmelerine Göre Coğrafik Bilgi Sistemleri Ile Mikrobölgelemesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2001.
- [21] Bakır, B.S., Özkan, M.Y. and Cılız, S., Effects of basin edge on the distribution of damage in 1995 Dinar, Turkey Earthquake, Soil Dynamics and Earthq. Engineering, 22, 335-345, 2002.
- [22] Ishibashi, I. and Zhang, X., Unified Dynamic Shear Moduli And Damping Ratios of Sand And Clay, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Eng., V.33, No.1, 182-191, 1993.
- [23] Schnabel, P.B., Lysmer, J. and Seed, H.B., 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, 1972.
- [24] QUAKE/W, 2004. Finite element dynamic earthquake analysis, Geo-Slope Office.

- [25] Von Thun, J.L., Rochim, L.H., Scott, G.A and Wilson, J.A., Earthquake ground motions for design and analysis of dams, Earthq. Engineering and Soil Dynamics II, Recent Advance in Ground-Motion Evaluation, Geotec. Special Publication 20, ASCE, New York, 463-481, 1988.
- [26] DYNEQ, A Computer Program for Dynamic Response Analysis of Level Ground By Equivalent Linear Method, Version 3.23, Revised from Original Version (May 1995) by Yoshida and Suetomi., 2003.
- [27] Makra, K., Raptakis, D., Chavez-Garcia, F.J. and Pitilakis, K., Site effects and design provisions: The case of Euroseistest, Journal of Pure and Applied Geophysics, V.158, N.12, 2349-2367, 2001.