

نشریه علمی- پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست) Amirkabir Journal of Science & Research (Civil & Environmental Engineering) (AJSR - CEE)



دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹٤، صفحه ۲۷ تا ٤ Vol. 47, No. 1, Summer 2015, pp. 27- 40

مقایسهی رفتار دینامیکی درههای منشوری و غیرمنشوری با استفاده از روش المان مرزی سه بعدی

رضا تاری نژاد'*، محسن ایثاری^۲

۱ – استادیار، دانشکده مهندسی عمران ،دانشگاه تبریز، ایران ۲– دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، ایران

(دريافت١٣٩١/٩/٢٣، پذيرش١٣٩٣/٧/٢٣)

چکیدہ

تجربه زلزلههای متعدد در دنیا نشان می دهد برای یک زمین لرزه مشخص، میزان آسیب سازههای با مشخصههای تقریبا همسان به شدت متاثر از وضعیت ساختگاه است، که از آن به عنوان اثرات ساختگاهی یاد می شود. در اکثر تحلیلهای مربوط به تفرق امواج لرزه ای که برای بررسی اثرات ساختگاهی انجام شده، درهها معمولا به شکل دلخواه و منشوری فرض می شوند. آنچه در واقعیت وجود دارد در اغلب موارد غیر منشوری بودن درهها در راستای محور طولی دره است به طوریکه معمولا محلهای تنگ شدگی درهها به عنوان ساختگاههای مناسب انواع سازهها انتخاب شده و مورد مطالعه قرار می گیرند. در این تحقیق رفتار دینامیکی درهها منشوری و غیرمنشوری با استفاده از روش المان مرزی سه بعدی در شکلهای مثلثی، ذوزنقه و نیم دایره تحت امواج HT بررسی شده است. نتایج نشان می دهند که جابجایی درههای غیر منشوری که دارای تنگ شدگی در میانه و بازشدگی در دو انتهای دره می باشند، با توجه به فرکانس و زاویه برخورد موج در بعضی نقاط، بیشتر از دره های منشوری می باشد. بنابراین لازم است، برای به دست آوردن مقادیر دقیق اثرات ساختگاهی مدلسازی سه بعدی که واقعی تر باشد از درهها انجام شود.

كلمات كليدى

درههای غیر منشوری، روش المان مرزی سه بعدی، اثرات ساختگاه، درههای منشوری.

دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹٤

^{*} نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: r_tarinejad@tabrizu.ac.ir

۱– مقدمه

درمها به دلیل اینکه ساختگاه سازههای مهمی مانند سدها و پلها می باشند، بزرگترین اختلالات را در انتشار امواج زلزله ایجاد نموده و باعث تفرق امواج زمین لرزه می گردند. یکی از نمونه های بسیار واضح در خصوص این پدیده، گسیختگیهای سنگی بوجود آمده در تکیه گاه سد پاکویما واقع در کالیفرنیا در طول زمین لرزههای بزرگ می باشد. نتایج مطالعات انجام شده نشان می دهد این گسیختگیهای سنگی مربوط به پدیده اثر توپوگرافی است [۱۹].

در خصوص پدیده تشدید توپوگرافی روی امواج لرزهای مطالعات زیادی توسط محققین مختلف انجام شده است که در ادامه به بیان موارد مهم آن پرداخته می شود. لاکو، وانگ و باروس در سال ۱۹۹۰ فرمولاسیون روش المان مرزی غیر مستقیم را برای مسئله تفرق امواج در یک دره با مقطع دلخواه و طول نامحدود واقع در نيم فضاى ويسكوالاستيك لايه اى بدست آوردند. تحریکات لرزهای به شکل امواج مسطح صفحهای تحت یک زاویه دلخواه نسبت به محور دره درنظر گرفته شدند. یک مطالعه پارامتری برای حالت دره با مقطع نیم دایرهای نشان میدهد که اثر زاویه افقی برخورد در دامنه و نحوه تغییرات تحریک, درون و نزدیک دره نسبتا زیاد می باشد. این نتایج نشان میدهد که تحریک ورودی زمین لرزه برای تحلیل های سدها و پل ها تابع قوی از موقعیت درون دره است و همچنین زاویه برخورد می باشد. تحلیلهای عددی دره با هندسه مشابه دره سد پاکویما نتایج مشابهی دادهاست. بنابراین مدلهای دوبعدی ممکن است برای توصیف کامل از پاسخ سه بعدی درهها مناسب نباشند [۳]. موسسیان و دراوینسکی در سال ۱۹۹۰ به بررسی مسئله بزرگنمایی امواج الاستیک در یک دره سه بعدی به شکل دلخواه پرداختند و پاسخهای حالت دائم و گذرا را به دست آوردند [۵٫۴].

کمالیان وهمکاران مطالعات پارامتریکی را به منظور بررسی رفتار لرزه ای تپه های نیم سینوسی, نیم بیضی و ذوزنقه ای شکل در برابر امواج قائم SV و P انجام دادند. در این مطالعات که با استفاده از روش المان مرزی انجام گردید، تاثیرات نسبت شکل و ضریب پواسون به طور جداگانه در رفتار لرزه ای، تپهها مورد بررسی قرار گرفتند [۶]. سهرابی بیدار و همکاران با استفاده از روش المان مرزی سه بعدی مستقیم در حوزه زمان، پاسخ دره سه بعدی گوسی شکل را به صورت پارامتریک مورد مطالعه قرار دادند. طول موج و هندسه ساختگاه و تا حدودی نوع موج مهاجم پارامترهای موثر بر بزرگنمایی این نوع تپهها شناسایی شدند. دره های دو بعدی بزرگنمایی و کوچکنمایی کوچکتری را نسبت به درمهای سه بعدی با هندسه و ابعاد مشابه نشان میدهند [۷].

امیدوار و رحیمیان در مقالات به بررسی تفرق سه بعدی امواج هارمونیک مسطح بر روی سطوح با توپوگرافی خاص با استفاده از روش المان مرزی سه بعدی پرداختند. نشان داده می شود که برای بررسی هرچه دقیق تر حرکات سطحی زمین در توپوگرافی های مختلف باید تمام پارامترهای موثر مانند هندسه محل ، محصوصیات مکانیکی مصالح زمین شناسی موجود (دانسیته ، نسبت پواسون ،مدول برشی) نوع امواج، آزیموت و زاویه برخورد و همچنین فرکانس موج باید در نطر گرفته شود [۹و۸].

نشریه علمی- پژوهشی امیر کبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)

کمالیان و همکاران در مقاله ای با عنوان تحلیل رفتار دو بعدی ساختگاه در حوزهی زمان بر روی توپوگرافی سطوح با استفاده از روش المان مرزی، به بیان فرمول بندی پیشرفته در حوزه ی زمان، توسط روش المان مرزی دو بعدی برای حالت الاستو دینامیک خطی پرداخته اند [۱۰]. از دیگر مطالعات صورت گرفته در این زمینه می توان به پژوهشهای گتمیری و همکاران اشاره کرد که با استفاده از روش المان مرزی بهبود یافته به بررسی رفتار الاستو دینامیک دو بعدی سطوح شیبدار در حوزهی زمان پرداختهاند. این روش براساس کوتاه شدن انتگرالهای زمانی که منجر به کاهش سریع جوابهای اساسی با گذشت زمان می شود، است [۱۱و۱۱]. سهرابی بیدار و همکاران به بیان فرمول بندی روش المان مرزی سه بعدی در حوزهی زمان برای تحلیل رفتار ساختگاه پرداختند. برای ارزیابی دقت فرمول بندی ارائه شده ،رفتار لرزهای توپوگرافیهای مختلف به شکل دره و تپه که در برابر برخورد امواج P,S قرار گرفتند ارزیابی شد. نتایج به دست آمده از تحلیل سه بعدی رفتار لرزه ای نشان داد که تپه سه بعدی متقارن دارای پتانسیل بزرگنمایی بیشتری در مقایسه با تپههای نا متقارن سه بعدی و دو بعدی می باشد [۱۳].

هوانگ و چیو در سال ۱۹۹۵ با نصب ۶ شتابنگار در سطح دره فیتسوی در تایوان و انجام تحلیلهای عددی پدیده تشدید توپوگرافی را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان با استفاده از روش معادله انتگرالی در یک مدل دو بعدی دره و انتخاب شتابنگاشت کف دره به عنوان ورودی نشان دادند که ثبت های مشاهدهای و شبیه سازی شده از تحلیل، تطابق خوبی در تغییر مکان و سرعت نشان می دهند. با این وجود, شتابهای شبیه سازی شده در فرکانسهای بالا تخمین دست پایینی را به دست داده است [۱۴].

پائولوچی در سال ۲۰۰۲ بزرگنمایی تحریکات زمین را توسط توپوگرافی نامنظم تند زمین مورد مطالعه قرار داد. در مطالعه او ابتدا با روش رایلی فرکانس ارتعاش پایه عارضه همگن را بدست آورد و سپس بر پایه تقریب المان طیفی پاسخ سه بعدی بعضی از عارضههای واقعی توپوگرافی را که با امواج سطحی S منتشر شده در راستای قائم تحریک شده محاسبه نمود. برای هرحالت خاص ضریب بزرگنمایی محاسبه شده و در نهایت بین حالتهای تحلیل ۲ بعدی و ۳ بعدی و ضرایب پیشنهادی آیین نامه اروپا مقایسه ای انجام شد. در مطالعات اوضرایب پیشنهادی آیین نامه اروپا تا حدود ۴۵ درصد در بعضی موارد با پاسخ بدست آمده از حل ۳ بعدی تفاوت نشان میداد [۱۵]. تاری نژاد وهمکاران به بررسی پارامترهای موثر بر تفرق امواج لرزه ای در ساختگاههای دره ای با روش المان مرزی سه بعدی پرداخته و نشان دادند ویژگیهای موج لرزه ای ورودی شامل نوع موج ورودی , فرکانس و زاویه برخورد اثرات چشمگیری بر الگوی جابجایی های دره دارد [۱۶, ۱۷]. در تحقیق حاضر که براساس روش المان مرزی سه بعدی در حوزه ی فرکانس می باشد، درههای غیر منشوری و منشوری در شکلهای مثلثی، ذوزنقه و نیم دایره مورد ارزیابی و بررسی قرار

۲- معادله حاکم بر حل مسئله

مي گيرند.

معادلات حاکم بر مسائل الاستودینامیک از روابط ناویر تبعیت میکنند که به صورت برداری و براساس مولفههای سرعت امواج به شکل ۱ قابل ارائه است:

$$c_1^2 \nabla(\nabla . u) - c_2^2 \nabla \times \nabla \times u - \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -b \tag{(1)}$$

در این رابطه $c_1 = (\lambda + 2\mu/\rho)^{0.5}$ و $c_1 = (\lambda + 2\mu/\rho)^{0.5}$ به ترتیب سرعت امواج فشاری و برشی در محیط، d نیروهای حجمی در جرم واحد و u بردار جابجاییها میباشند. ضمن اینکه λ و μ ثابت های لامه و ρ جرم حجمی جسم مورد نظر میباشند. در صورت استفاده از روش تحلیل در حوزه فرکانس، بردار جابجاییها برای تحریک هماهنگ با فرکانس ω به صورت ۲ حاصل می شود:

(۲)
$$u(t) = \overline{u}(\omega)e^{i\omega t}$$
 که در آن، \overline{u} دامنه بردار جابجاییها در حوزه فرکانس میباشد.
با استفاده از رابطه ۲ معادله برداری ۱ به شکل مستقل از زمان
بصورت ۴ قابل بازنویسی است:

$$c_1^2 \nabla (\nabla . \bar{u}) - c_2^2 \nabla \times \nabla \times \bar{u} + \omega^2 \bar{u} = -b \tag{(7)}$$

معادله انتگرال مرزی حاکم بر مسئله می تواند از تئوری تقابل دینامیکی به صورت ۴ بدست آید: $c^{i}u^{i} + \int_{\Gamma} p^{*}u d\Gamma = \int_{\Gamma} u^{*}p d\Gamma$ (۴)

دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴

نشریه علمی- پژوهشی امیر کبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)

در این رابطه u^i مولفههای تغییرمکان در نقطه مرزی i ، $p^* = u^i$ مولفه های تغییرمکان و ترکشن روی تمام مرز, $u^i = v^i$ و جوابهای اساسی تغییرمکان و ترکشن روی مرز در اثر بار واحد متمرکز در نقطه i می باشند. ضریب مستقل c^i معروف به جمله پرش وابسته به هندسه خاص مرز در نقطه i می باشد و می تواند از ترکشن صفر جسم صلب محاسبه گردد [۱۹و۸].



شکل (۱): دره سه بعدی به طول محدود با امواج لرزهای دلخواه؛

الف) پلان دره ب) برشی از دره

زمانی که مرز به تعداد *ne* المان گسسته سازی شد با جایگذاری پارامترهای گسسته شده در معادله۴, معادله۵ بدست خواهد آمد:

$$c^{i}u^{i} + \sum_{j=1}^{ne} \left\{ \int_{\Gamma_{j}} p^{*} \Phi d\Gamma \right\} u^{j} = \sum_{j=1}^{ne} \left\{ \int_{\Gamma_{j}} u^{*} \Phi d\Gamma \right\} p^{j}$$
(Δ)

$$c^{i}u^{i} + \sum_{m=1}^{n} \hat{H}^{im}u^{m} = \sum_{j=1}^{ne} G^{ij}p^{j}$$
(?)

بنابراین برای تمام گرههای *i* میتوان سیستم معادلات را به فرم کل ۷ بیان کرد.

$$HU=GP \tag{Y}$$

۳- جوابهای اساسی

جوابهای معادله ۳ به ازای بار نقطه ای هارمونیک با دامنه واحد که درجهت اختیاری (بردار واحد) اعمال گردد، جوابهای اساسی یا توابع گرین نامیده میشوند. این توابع با استفاده از تجزیه هلمهولتز معادلات حاکم بدست میآیند. در ادامه جوابهای اساسی مربوط به تغییرمکان و ترکشن ارائه میشوند. این جوابها

در منابع موجود همواره با غلطهای تایپی همراه بوده که در اینجا فرمولهای دقیق آنها با استفاده از محاسباتی که نگارنده انجام داده ارائه میشوند.

$$u_{lk}^{*} = \frac{1}{\alpha \pi \rho c_{2}^{2}} \left[\psi \delta_{lk} - \chi r_{l} r_{k} \right] \tag{A}$$

که در آن $\Psi \in \mathcal{K}$ عبارتنداز: $\Psi = \frac{\exp(-k_2r)}{r} + \frac{1}{k_2^2 r^2} + \frac{1}{k_2 r} + \frac{\exp(-k_2r)}{r} - \frac{c_2^2}{c_1^2} + \frac{1}{k_1^2 r^2} + \frac{1}{k_1 r} + \frac{\exp(-k_1 r)}{r}$ $\chi = (\frac{3}{k_2^2 r^2} + \frac{3}{k_2 r} + 1) \frac{\exp(-k_2 r)}{r} - \frac{c_2^2}{c_1^2} (\frac{3}{k_1^2 r^2} + \frac{3}{k_1 r} + 1) \frac{\exp(-k_1 r)}{r}$ $\chi = (\frac{3}{k_2^2 r^2} + \frac{3}{k_2 r} + 1) \frac{\exp(-k_2 r)}{r} - \frac{c_2^2}{c_1^2} (\frac{3}{k_1^2 r^2} + \frac{3}{k_1 r} + 1) \frac{\exp(-k_1 r)}{r}$ $\chi = (\frac{3}{k_2^2 r^2} + \frac{3}{k_2 r} + 1) \frac{\exp(-k_2 r)}{r} - \frac{c_2^2}{c_1^2} (\frac{3}{k_1^2 r^2} + \frac{3}{k_1 r} + 1) \frac{\exp(-k_1 r)}{r}$ $\chi = (\frac{3}{k_2 r^2} + \frac{3}{k_2 r} + 1) \frac{\exp(-k_2 r)}{r} - \frac{c_2^2}{c_1^2} (\frac{3}{k_1^2 r^2} + \frac{3}{k_1 r} + 1) \frac{\exp(-k_1 r)}{r}$ $\pi = (\frac{3}{k_1 r} + \frac{3}{k_2 r}) + \frac{3}{k_1 r} + \frac{3}{k_$

$$p_{lk}^{*} = \frac{1}{\alpha\pi} \left[\left(\frac{d\psi}{dr} - \frac{1}{r} \chi \right) \left(\delta_{lk} \frac{\partial r}{\partial n} + r_{k} n_{l} \right) - \frac{2}{r} \chi (n_{k} r_{l} - 2r_{l} r_{k} \frac{\partial r}{\partial n}) - \left(\mathbf{q} \right) \\ 2 \frac{d\chi}{dr} r_{l} r_{k} \frac{\partial r}{\partial n} + \left(\frac{c_{1}^{2}}{c_{2}^{2}} - 2 \right) \left(\frac{d\psi}{dr} - \frac{d\chi}{dr} - \frac{\alpha}{2r} \chi \right) r_{l} n_{k} \right] \\ : : i : \lambda e_{l} \chi / dr e_{l} \chi / dr = \frac{d\chi}{dr} d\chi / dr$$

 $\frac{d\psi}{dr} = \left(-\frac{2}{r} - k_2 - \frac{3}{k_2 r^2} - \frac{3}{k_2^2 r^3}\right) \frac{\exp(-k_2 r)}{r} + \frac{c_2^2}{c_1^2} \left(\frac{1}{r} + \frac{3}{k_1 r^2} + \frac{3}{k_1^2 r^3}\right) \frac{\exp(-k_1 r)}{r}$ $\frac{d\chi}{dr} = \left(-\frac{4}{r} - k_2 - \frac{9}{k_2 r^2} - \frac{9}{k_2^2 r^3}\right) \frac{\exp(-k_2 r)}{r} + \frac{c_2^2}{c_1^2} \left(\frac{4}{r} + k_1 + \frac{9}{k_1 r^2} + \frac{9}{k_1^2 r^3}\right) \frac{\exp(-k_1 r)}{r}$

۴- بر آورد انتگرالهای تکین

برای انتگرال گیری از هسته با تکین بودن از نوع ضعیف مشابه آنچه در هسته تغییرمکان وجود دارد با استفاده از روش تبدیل انتگرالگیری روی المان مستطیلی به انتگرالگیری روی المان مثلثی میتوان از تکین بودن رهایی یافته و از روش گوس لژاندر، انتگرالهای اجزا مثلثی را برآورد نمود. به این منظور ابتدا المان مستطیلی برحسب اینکه نقطه منبع منطبق بر کدامیک از نقاط المان مرزی باشد به تعداد مناسبی المان مثلثی تقسیم می گردد. سپس با تبدیل مختصات مناسب انتگرالگیری روی المان مستطیلی به انتگرالگیری روی المانهای مثلثی تبدیل می گردند. اساس روش تعریف سیستم مختصاتی است که جاکوبین در نقطه منبع صفر گردد به طوری که با صفر موجود در مخرج هسته انتگرال رفع ابهام شود. برای این منظور سیستم مختصات

مطابق شکل (۲) طوری تعریف می شوند که جاکوبین در نقطه منبع صفر گردد. رابطه بین مختصات s_1 و s_2 و مختصات $\xi_i - \xi_2$ به صورت زیر می باشند. (۱۰) که در رابطه فوق i=1,2 و اعداد بالای کے نشان دهنده گره های گوشه مثلث می باشند.

 $d\xi_1 d\xi_2 = |J_2| ds_1 ds_2 = 2As_1 ds_1 ds_2$ (11)

که در آن
$$A$$
 مساحت مثلث در مختصات بی بعد $\xi_1^2 - \xi_2^2$ میباشد.



شکل(۲) :ged) المان مستطیلی ۹ گرهی اصلی و مادر c) المان تقسیم شده به زیر المان های مثلثی با تکینگی در گره شماره ۸ d) تبدیلهای لازم برای انتگرال گیری از المان مثلثی

برای استفاده از روش انتگرال گیری گوس، حوزه مربعی در سیستم ₅₁،5 باید به مربعی به طول وجوه ۲ انتقال یابد. بنابراین باید انتقال دوم به شکل زیر انجام گیرد.

$$s_i = \frac{1+t_i}{2} \tag{11}$$

بنابراین رابطه $ds_1 dt_2 = |j_3| dt_1 dt_2 = \frac{1}{4} dt_1 dt_2$ بدست می آید. انتگرال مستطیلی با استفاده از تبدیلهای فوق به انتگرال های مثلثی در حوزه $t_1 - t_2$ تبدیل شده و با استفاده از روش استاندارد گوس محاسبه می گردد [۱۹ و ۱۸]. $G(k) = \sum_{i=1}^{n} \int_{0}^{1} u^*(t_1, t_2) \phi_k(t_1, t_2) |G(t_1, t_2)|(t_1 + 1) \frac{A}{4} dt_1 dt_2$ (۱۳)

$$c_{lk}^{i} + \sum_{q=1}^{ne} \int_{\Gamma_{q}} p_{lk}^{*} \phi d\Gamma = c_{lk}^{i} + \sum_{q=1}^{ne} \sum_{a=1}^{A} \int_{S_{q}} p_{lk}^{*s} N_{a} dS = 0$$
(12)

که در آن بالانویس s نشاندهنده حالت استاتیکی، ne تعداد المانها و A تعداد گره های هر المان و N_a تابع شکل متناظر با گره a می باشد. با فرض اینکه q=1 نشان دهنده المان تکین و D_{ij}^s از D_{ij}^s از a=1 نیز گره تکین باشد در معادله ۱۸بلوکهای قطری قطری زر از مشابه مرایب ماتریس ترکشن برای مسئله استاتیک با هندسه مشابه می تواند با بکاربردن جابجایی جسم صلب بدست آید. به بیان دیگر معادله (۱۵) به صورت زیر می تواند بازیسی شود:

$$D_{ij}^{s} = c_{lk}^{i} + \int_{S_{i}} P_{ij}^{*s} N_{1} dS = -\sum_{a=2}^{A} \int_{S_{i}} P_{ij}^{*s} N_{a} dS - \sum_{q=2}^{ne} \sum_{a=1}^{A} \int_{S_{q}} P_{ij}^{*s} N_{a} dS$$
(19)

به این ترتیب بلوک تکین استاتیکی D_{ij}^{s} بر حسب جمله های غیرتکین غیرقطری قابل بیان است. بلوک قطری ۳*۳ از ماتریس H شامل تانسور C_{ij} و مقدار اصلی کوشی از هسته ترکشن میباشد که برای مسائل دینامیک به صورت زیر قابل بیان میباشد:

$$D_{ij}^{d} = c_{lk}^{i} + \int_{S_{1}} P_{ij}^{*d} N_{1} dS$$
(1Y)

با حذف جمله پرش بین دو معادله ۱۶ و ۱۷ خواهیم داشت: $D_{ij}^{d} = D_{ij}^{s} + \int_{S_{1}} (P_{ij}^{*d} - P_{ij}^{*s}) N_{1} dS$ (۱۸)

که N_1 تابع شکل برای گره تکین و S_1 سطح المان تکین میباشد. با توجه به اینکه عبارت زیر انتگرال در این رابطه شامل ترم $(P_{ij}^{d} - P_{ij}^{*s})$ غیرتکین می باشد برآورد D_{ij}^{d} به سادگی امکانپذیر خواهد بود [۲۰].

در ادامه روش جابجایی جسم صلب، روش تعمیم به مسائل D_{ij}^{d} در ادامه روش جابجایی جسم صلب، روش تعمیم به مسائل نامحدود با استفاده از المانهای محصورکننده برای محاسبه D_{ij}^{d} ارائه شده است. فرض پایه ای این تکنیک این است که تغییرمکانها و ترکشنها روی مرز مجازی (محصورکننده مسئله) به فاصله مناسب از مرز اصلی تاثیری روی تغییرمکانها هر نقطه از مرز مدل شده ندارد. با استفاده از این تکنیک بلوک های قطری مرز مدل شده ندارد. با استفاده از این تکنیک بلوک های قطری مرز مدل شده ندارد. با استفاده از این تکنیک بلوک های قطری با مرز مدل شده ندارد. با استفاده از این تکنیک بلوک های محموی ترکشن استاتیکی روی تمام المانهای مرز اصلی مدل شده همراه با تمام المانهای مرز محصور کننده به دست میآیند.

$$D_{ij}^{s} = -[\sum_{\alpha=2}^{A} \int_{s_{1}} P_{ij}^{*s} N_{\alpha} dS + \sum_{q=2}^{ne} \sum_{\alpha=1}^{A} \int_{s_{q}} P_{ij}^{*s} N_{\alpha} dS + \sum_{e=1}^{L} \sum_{\alpha=1}^{A} \int_{s_{e}} P_{ij}^{*s} N_{\alpha} dS]$$

انتگرال گیری تحلیلی چه در حوزه فرکانس و چه در حوزه زمان از پیچیدگیهای خاصی برخوردار است. برای محاسبه انتگرالهای موجود در هسته ترکشن می توان از روش غيرمستقيم نيز استفاده نمود. اين روش براى مسائل الاستواستاتيك توسط لاچات و واتسون به كار گرفته شد [۲۰]. نکته اساسی در این روش فرض یک حرکت صلب برای مسئله موردنظر می باشد چرا که برای چنین حرکتی ترکشن های متناظر صفر خواهند بود. براساس این روش عناصر قطری ماتریس مربوطه (که حاوی انتگرالهای تکین می باشند) بر حسب عناصر غیرقطری (که تکین بودن در آنها وجود ندارد) بیان می شوند. با توجه به این که در مسائل دینامیکی رفتار هسته ترکشن در حالتی که نقطه منبع و حوزه به هم میل کنند مشابه رفتار هسته استاتیک می باشد می توان این روش را برای مسائل الاستوديناميك نيزبسط داد. تكين بودن تابع گرين تركشن و بنابراین تکین بودن ماتریس H در حالت سه بعدی در حالتی که نقطه منبع و حوزه برهم منطبق باشند از نوع $\frac{1}{r^2}$ می باشد. در این تحقیق برای فرار از تکین بودن قوی از تکنیک غیر مستقیم که برپایه درنظرگرفتن تعادل استاتیکی برای ترکشن های سطحی که به صورت نرمال روی دامنه های بسته اثر میکنند استفاده شده است. برای تعمیم این روش به منظور استفاده در مسائل با دامنه های باز (که در واقع قسمتی از مرز مدل نشده باشد) یک روش اصلاح شده مبتنی بر به کارگیری تکنیک المانهای محصور کننده که توسط احمد و بنرجی پیشنهاد شده است استفاده گردیده است [۲۰].

اساس روش عددی پیشنهاد شده توسط دومینگوئز و احمد و بنرجی برای دامنه های بسته این است که تکین بودن در پاسخ دینامیکی حوزه فرکانس مشابه پاسخ استاتیکی است. از اینرو ماتریس تابع گرین دینامیکی \hat{H} برای ترکشن را میتوان به صورت مجموع پاسخ استاتیکی \hat{H}_s و ماتریس باقیمانده دینامیکی \hat{H}_{R} بیان نمود.

$$Y = \hat{H}_{S} + \hat{H}_{R} \tag{14}$$

تکین بودن فقط در قسمت استاتیکی وجود داشته و لازم است با روش خاصی برآورد صورت گیرد و جمله باقیمانده به دلیل نداشتن تکین بودن میتواند با روش استاندارد گوس-لژاندر برآورد شود. فرض کنیم حرکت صلب u_k برابر بردار واحد به فرم استاتیکی معادله ۵ اعمال گردد، P_k برابر صفر بوده و خواهیم داشت:

دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴

نشریه علمی- پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)

که عبارت سوم مربوط به انتگرالهای متناظر با المانهای روی مرز محصورکننده(L تعداد المانهای روی این مرز) میباشد. زمانی محصورکننده(L تعداد المانهای روی این مرز) میباشد. زمانی که D_{ij}^{s} برآورد شدند جمله های قطری D_{ij}^{s} مرتبط با مسئله دینامیکی میتوانند به راحتی با استفاده از معادله ۱۸ بدست آیند. شکل (۳) چگونگی محصور کردن مسئله ناحیه باز را با ستفاده از المانهای محصور کننده در حالت سه بعدی نشان میدهد. حداقل فاصله مرز مجازی از مرز اصلی به اندازه یک برابر بعد المان بکار رفته است. هندسه بکار گرفته شده برای مرز مجازی در این تحقیق بسته به هندسه مرز اصلی مسئله، نیم مجازی در این مسئله، نیم مجازی در این مسئله ای مسئله، نیم مجازی در این میان میباشد. و اساساً هندسهآن تاثیری در جوابهای بدست آمده نخواهد داشت [۲۰].



شکل (۳): تبدیل مسئله نامحدود با استفاده از المانهای محصور کننده به مسئله مشابه محدود در حالت سه بعدی[۲۲].

۵- تفرق موج در نیم فضای سه بعدی

برای بدست آوردن حرکت کل ناشی از برخورد امواج به دره، ابتدا از حل میدان آزاد، یعنی برای محیط نیمه ینهایت مسطحی که درمای در آن قرار ندارد، جایجاییهای میدان آزاد محاسبه شده و سپس جواب بدست آمده با استفاده از فرمولبندی روش المان مرزی در الاستودینامیک، اصلاح می گردد. به این ترتیب می توان تغییرات حرکت در امتداد دیوارهٔ دره که حاصل از پخش

شدگی و انکسار امواج توسط دیوارهٔ دره است را محاسبه نمود. در شکل (۴) مراحل حل مسئله تفرق امواج لرزه ای از یک ساختگاه دره ای نشان داده شده است. درسطح محیط نیمه-بینهایت نیزترکشنها خودبهخود صفر میشوند چون، حل میدان آزاد شرایط بدون ترکشن را ارضا میکند. حرکت کل ناشی از برخورد امواج زلزله به دره از مجموع حرکت میدان آزاد و حرکت تفرق یافته به دست میآید.

شرط بدون بار بر روی مرز دره، Γ_c ، ایجاب می کند که: $u_{total} = u_{ff} + u_s$ $t_s = -t_{ff}$ (۲۰)



شکل(۴): a) تغییرمکانهای حاصل از مسئلهٔ میدان آزاد (حالت مسطح) ، b) تنشهای مربوط به مسئلهٔ میدان آزاد و c) حضور دره در محیط نیمهبینهایت و اعمال _{ff}

۶- صحت سنجی کد رایانه ای بکار رفته در تحقیق

به منظور انجام محاسبات لازم بر روی ساختگاههای دره ای کد رایانه ای به زبان فرترن (TDASC) نوشته شده است. این کد دارای قابلیت بسیار خوبی برای حل انواع مسائل الاستودینامیک سه بعدی که شامل برخورد امواج حجمی زمین لرزه به ساختگاههای دره ای و همچنین دارای قابلیت تحلیل ساختگاه با هندسه دلخواه نیز می باشد،است. در این تحقیق مدل سازی های انجام شده از ۱۸۰ المان ۹ گره ای تشکیل شده اند.

به منظور اطمینان از درستی و ارزیابی کد یکسری مقایسه با جوابهای بدست آمده درمقالات مختلف انجام شده است.

۱- مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط سانچز سسما[۲۱] برای موج ورودی P با زوایای برخورد افقی و قائم ۴۵ و فرکانس بی بعد ۱/۵ برای دره نیم دایره ای منشوری در شکل ۵ ارائه شده است. مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده نست. مقایسه نتایج چوپرا [۵] برای موج ورودی SV با $^{\circ}0 = {}_{,0}{}$



شکل(۵): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط سانچز سسما[۲۱] برای موج ورودی P با زوایای برخورد افقی و قائم ۴۵ و فرکانس بی بعد ۰/۵ برای دره نیم دایره ای منشوری



شکل(ho): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط ژانگ و چوپرا[ho] برای موج ورودی SV با $ho_h = 90$, $heta_\nu = 0$ و فرکانس بی بعد واحد برای دره نیم دایره منشوری

۲- مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط کمالیان و همکاران [۲۰] برای موج ورودی SV با $^{\circ}_{0} = ^{\circ}_{h} = ^{\circ}_{0} = ^{\circ}_{v} + ^{\circ}_{0}$ به ازای فرکانس بی بعد مساوی نیم در شکل (۲) ارائه شده است. نتایج بدست آمده از تحلیل حاضر با نتایج ارائه شده توسط کمالیان و همکاران اندک اختلافی نشان می دهد ضمن اینکه روند کلی کاملاً یکسان می باشد. نتایج ارائه شده توسط کمالیان و محکاران اندک اختلافی نشان می در می باشد. نتایج ارائه شده توسط کمالیان و محکاران اندک اختلافی نشان می در می باشد. نتایج ارائه شده توسط کمالیان دره دو بعدی بوده در حالیکه در تحلیل حاضر با مده توسط کمالیان برای دره دو بعدی بوده در حالیکه در تحلیل می با در مدل سه بعدی از دره به طول محدود (۵ برابر شعاع دره) با روش المان مرزی به کارگرفته شده است. براساس مقایسه نتایج انجام شده با مراجع متعدد کد المان مرزی توسعه یافته در این تحقیق صحت سنجی شده و از نتایج بدست آمده از آن برای این برای این تحقیق صحت سنجی شده و از نتایج بدست آمده از آن برای



شکل(۷): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه ، $\theta_h = 90$ با SV شده توسط کمالیان و همکاران] برای موج ورودی SV با 90 با $\theta_h = 0$

۷–تحلیلهای عددی

در این مطالعه با استفاده از روش المان مرزی سه بعدی توسعه یافته به بررسی پدیده تشدید توپوگرافی از دره در دو حالت منشوری وغیرمنشوری پرداخته می شود.

۷-۱- دره ی مثلثی غیر منشوری

برای بررسی آثار دره غیر منشوری روی پدیده تشدید توپوگرافی و تفرق امواج زمین لرزه، ابتدا دره سه بعدی مثلثی در دو مدل مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. مدل اول یک دره سه بعدی منشوری است. مدل دوم یک دره سه بعدی غیر منشوری می باشد که در امتداد طول دره از میانه به سمت دو انتها می باشد که در امتداد طول دره از میانه به سمت دو انتها عریضتر می شود. پلانهای آورده شده در شکلهای (۹)و (۱۰) روند تغییر ابعاد در راستای طول دره برای مدلهای منشوری و غیرمنشوری مورد مطالعه را نشان میدهد. تحلیل ها به ازای مولفههای مختلف موج **SH** با فرکانسهای بی بعد نیم و یک انجام شدند.



شکل(۹): پلان دره ی مثلثی منشوری ،نسبتهای دو قاعده و عمق در مقاطع (۱)(میانه دره)و(۲) (انتهای دره) که در شکل ۸ مشخص شدهاند برابر ۱ می باشد. (1=b2/b1)و(h2/h1)

SH −۱−1− موج SH با فرکانس بی بعد نیم

دره ی مثلثی در حالت غیر منشوری تحت زاویه افقی و قائم ۴۵ درجه قرار می گیرد. نتایج بدست آمده از این تحلیلها با مشخصات مصالح نسبت پواسون ۲۳۳ و سرعت موج برشی ۱۰۲/۵ انجام شدند. نتایج بدست آمده در شکل (۱۱) ارائه شده اند و با مقادیر متناظر برای دره منشوری مقایسه می شوند. محور افقی در تمام نمودارهای ارائه شده کمیت بی بعد (نسبت فاصله از مرکز در سطح آزاد به شعاع دره) و محور عمودی نیز نشان دهنده دامنه جابجایی به متر میباشد. پارامتر **a** برابرعمق دره(**h=a**)که نصف قاعده(**b=2a**) است، می باشد.



شکل (۱۰): پلان دره ی مثلثی غیر منشوری ،نسبت های دو قاعده و عمق در مقاطع (۱)و(۲) برابر ۲ می باشد.(b2/b1=2)و(b2/h1=2)

نتايج به دست آمده تحت فركانس بي بعد نيم نشان مي دهد که دره ی مثلثی در صورتی که در امتداد طول دره به سمت دو انتها عريضتر شود، افزايش جابجايي بيشتري نسبت به حالت منشوری دارد. همانگونه که از نمودارها مشخص است، جابجایی ها در جهت برخورد موج افزایش بیشتری نسبت به طرف دیگر دارد. بیشترین جابجایی در راستای x دره غیرمنشوری معادل ۵۱/۴ درصد نسبت به حالت منشوری افزایش نشان می دهد. همچنین در راستاهای y و z نیز نقاطی را می توان یافت که دارای به ترتیب ۵۷/۰۷ و ۳۴۸/۱۷ درصد افزایش جابجایی نسبت به حالت منشوری می باشند. همانطور که از نتایج شکل (۱۱) مشخص است، در فرکانس نیم، جابجایی در سراسر عرض دره غیرمنشوری بیشتر از دره منشوری میباشد. باتوجهبه نتایج مشاهده شده از نمودارهای جابجایی در دو وضعیت می توان گفت که الگوی رفتار دینامیکی بدست آمده در بررسی پدیده تشدید توپوگرافی به الگوی تغییر ابعاد دره در راستای طولی آن وابسته است. در مورد مطالعه شده که دره در امتداد دو انتها دارای بازشدگی می باشد، نشان داده شد که این تغییر ابعاد در راستای طول باعث افزایش اثرات ساختگاهی می شود، که در نهایت منجر به افزایش جابجایی در بعضی نقاط دره نسبت به حالت منشوری خواهدشد.



مقایسه ی رفتار دینامیکی دره های منشوری و غیرمنشوری با استفاده از روش المان مرزی سه بعدی



شکل(۱۱): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد نیم و $heta_{h}=45$ ، $heta_{h}=45$

SH -1−1- موج SH با فرکانس بی بعد یک

در این حالت نیز دره مثلثی در دو حالت منشوری و غیر منشوری تحت زاویه افقی و قائم ۴۵ درجه قرار می گیرد. نتایج بدست آمده از این تحلیل ها با مشخصات مصالح نسبت پواسون ۲/۳۳ و سرعت موج برشی ۱۰۲/۵ انجام شده و در شکل ۱۲ ارائه شده اند و با مقادیر متناظر برای دره منشوری مقایسه شدهاند. در فرکانس بی بعد نیم جابجایی در دره مثلثی غیر منشوری تقریبا ولی در فرکانس بی بعد یک جابجایی دره منشوری می باشد نقاط بیشتر از حالت غیر منشوری می باشد نقاط بیشتر از حالت غیر منشوری در بعضی منشوری افزایش جابجایی دارد. همچنین در راستاهای Yو Z نیز نوساناتی به ترتیب برابر با ۱۴۶/۹۱ و۲۰/۱۰ درصد نسبت به حالت منشوری مشاهده میشود. نتایج این قسمت نشان می دهد

دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴

نشریه علمی- پژوهشی امیر کبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)

که الگوی بدست آمده در رفتار دینامیکی ومیزان جابجایی در دو شکل منشوری و غیرمنشوری به فرکانس وارده وابسته بوده و افزایش فرکانس موج باعث پیچیده تر شدن الگوی جابجایی به دست آمده می شود. در اکثرتحلیلهای انجام شده بزرگنمایی ناشی از غیرمنشوری بودن درهها، در لبهها و نزدیکی مرکز درهها نسبت به حالت منشوری بیشتر است.



شکل (۱۲): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد یک و 45 = $_h heta_h = 45$ ، $heta_y$ برای درههای غیر منشوری و منشوری





ادامه شکل (۱۲): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد یک و $\theta_h = 45$ ، $\theta_h = 45$ و برای درههای غیر منشوری و منشوری

۷-۲- درهی غیر منشوری نیم دایره ۲-۷- موج SH با فرکانسهای بی بعد نیم و یک

دره نیم دایره در حالت غیر منشوری با شعاع دلخواه \mathbf{a} در مقطع ۱ و 2a در مقطع ۲ که در شکل ۱۰ مشخص شده اند تحت زاویه افقی و قائم ۴۵ درجه قرار می گیرد. نتایج بدست آمده از این تحلیل ها با مشخصات مصالح که برای دره مثلثی استفاده شد، انجام ونتایج آن در شکلهای (۱۴و۱۵) ارائه و با مقادیر متناظر برای حالت منشوری مقایسه شدهاند. همانطور که از نمودارهای بدست آمده مشخص است در فرکانس نیم، الگوی رفتار دینامیکی دره غیر منشوری نیم دایره بسیار مشابه درهی مثلثي غيرمنشوري مي باشد . همان طور كه مشخص است ميزان افزایش جابجایی در جهت برخورد موج در حالتهای بررسی شده نسبت به سایر نقاط بیشتربوده ومستقل از شکل دره است. ماکسیمم جابجایی درراستای x نیمدایره غیرمنشوری در فرکانس بی بعد نیم معادل ۹۷/۶۹ درصد نسبت به حالت منشوری افزایش جابجایی دارد. در راستاهای y و z نیز به ترتیب ۱۲۵/۴۶ و ۵۲۳/۲۳ درصد نسبت به منشوری افزایش جابجایی ایجاد شده است. درفرکانس یک میزان افزایش جابجایی در راستای X نیم دایره غیرمنشوری معادل ۲۳۴/۳۴ درصد نسبت به حالت منشوری افزایش جابجایی دارد. در راستاهای \mathbf{y} و \mathbf{z} نیز این مقدار به ترتیب برابر ۶۸۴/۹۱ و۶۵/۰۴ درصد می باشد.



نشریه علمی- پژوهشی امیر کبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)

شکل (۱۳): a) دره ی منشوری نیم دایره (b، دره ی غیر منشوری نیم دایره ،نسبت های شعاع در مقاطع (۱)و(۲) که در شکل۱۰مشخص شده اند در درهی منشوری برابر ۱ودر درهی غیر منشوری برابر ۲ می باشد.





شکل (۱۴): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد نیم و 45 $\theta_h = 45$ ، $\theta_h = 45$ برای درههای غیر منشوری و منشوری



دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴

نشریه علمی- پژوهشی امیرکبیر (مهندسی عمران و محیط زیست)



شکل (۱۵): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد یک و 45 $\theta_h = 45$ ، $\theta_h = 45$ برای دره های غیر منشوری و منشوری

۷-۳- درهی غیر منشوری ذوزنقه ای

در این قسمت به بررسی رفتار دینامیکی دره ذوزنقه ای منشوری و غیرمنشوری پرداخته شده و نتایج به دست آمده در شکلهای(۱۸و ۱۹) تحت فرکانسهای نیم و یک ارائه شده است.



شکل (۱۶): درهی ذوزنقه ای



شکل (۱۷): پلان دره ی ذوزنقه غیر منشوری ، نسبتهای دو قاعده و عمق در مقاطع(۱)و(۲)کهدرشکل۱۴مشخصشدهاندبرابر۲میباشد. (b2/b1=2)،(b2/b1=2) و(a2/a1=2)

۷-۳-۱- موج SH با فرکانسهای بی بعد نیم و یک

تحلیلهای انجام شده در این قسمت نیز با همان مشخصات مصالح قسمتهای قبلی انجام شده است. همانطور که از نمودارهای بدست آمده مشخص است در فرکانس نیم، الگوی



شکل (۱۸): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد نیم و 45 $\theta_h = 45$ ، $\theta_h = 45$ برای درههای غیر منشوری و منشوری

4







دره ی منشوری 🗕



۳۸

Kojic,S.B, "Earthquake response of arch dams to non-uniform canyon motion", PhD Dissertation, Southern California University, 1998.

Luco, J.E., Wong, H.L. and De Barros, F.C.P, [r] "Three dimensional response of a cylindrical canyon in a layered half-space", Earthquake Engineering and Structural Dynamics; 19:pp. 799-817, 1990.

Mossessian,T.K.andDravinski,M, "Amplification [f] of elastic waves by a three dimensional valley".part2: Transient Response, Earth Eng and StrucDyn, Vo119, 1990.

Mossessian,Tomi,K.andDravinski,M, "Amplificatio [Δ] of elastic waves by a three dimensional valley".part Steady-state Response , Earth Eng and StrucDyı Vo1.19, 1990.

Kamalian, M., Jafari, M.K., Sohrabi-Bidar, A. [β] Razmkhah, A, "Shape effects on amplification potential of two dimensional hills", JSEE, Vol. 8 No.2, pp. 58-70 (In Farsi).

Sohrabi-Bidar,A., Kamalian, M. and Mohammad [y] KazemJafari, "Seismic response of 3-D Gaussianshaped valleys to vertically propagating incident waves", Geophys. J. Int. 183, pp. 1429–1442.

Omidvar, B., Rahimian, M, "Three Dimensional [A] Scattering of Plane Harmonic SH, SV, and P Waves in Multilayered Alluvial Valleys". Asian journal of civil engineering (Building And Housing) VOL. 11, NO. 5, pp. 605- 626, 2010.

Omidvar,B., Rahimian,M, "3D Topography Effect [9] on Amplification of Plane Harmonic Body and Surface Waves", JSEE, 2010.

Kamalian, M., Jafari, M.K., Sohrabi, A, "On timedomain two-dimensional site response analysis of topographic structures by BEM", J. Seismological Earthquake Engineering, 5(2), pp. 35-45, 2003.

Gatmiri, B. and Arson, C, "Seismic Site Effects [11] by an Optimized 2D BE/FE Method II. Quantification of Site Effects in Two-Dimensional Sedimentary Valleys", Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28, pp. 646-661, 2008.

Gatmiri., B, Nguyen, K-V, Dehghan, K, "Seismic [17] response of slopes subjected to incident SV wave by an improved boundary element approach", Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech.





شکل(۱۹): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد یک و $heta_h=45$ ، $heta_h=45$ برای درههای غیر منشوری و منشوری

۸– نتیجه گیری

در دو دهه اخیر استفاده از روشهای مرزی رواج یافته است. با چنین الگوریتمهایی تنها شرایط مرزها و گسسته سازی آنها برای حل معادله موج بکار می رود. این روش از معرفی مرزهای موهومی که در روشهای ناحیه ای معمولا مورد نیاز است اجتناب می کند. نتایج بدست آمده از مدلهای مربوط به دره های سه بعدی منشوری و غیر منشوری نشان میدهند، اثرات ساختگاهی باتوجه به نحوه تغییرات مقطع دره در طول آن و همچنین بسته به فركانس موج وارده دچار تغييرات محسوس مي شود. مشاهده شد که در حالت بررسی شده برای دره غیر منشوری که به سمت دو انتها عریضتر می گردد ماکسیمم تغییرمکانهای بدست آمده از این نوع دره در مقایسه با حالت منشوری بیشتر می باشد. همچنین مقایسه نتایج مربوط به مدلهای غیر منشوری در شکلهای مثلثی، نیم دایره و ذوزنقه ای نشان میدهد، دره نیم دایره غیرمنشوری نسبت به حالت منشوری در مقایسه با دو شکل دیگر، تغییر مکان بیشتری دارد. نتیجه کلی که می توان از تحقیق انجام شده برداشت کرد این است که، میتوان گفت استفاده ازمدلهای منشوری برای محاسبات واقع بینانه نبوده و برای بررسی هرچه دقیق تر پدیده تشدید تویوگرافی استفاده از مدل سه بعدی توصیه میشود.

۹-مراجع

Alves, W.S, "Nonlinear analysis of Pacoima Dam [1] with spatially Non-uniform Ground Motion", PhD Dissertation, California Institute of Technology, 2005. Dominguez, J, "Boundary Elements in [1A] Dynamics", Elsevier, 1993.

Manolis, G.D., Beskos, D.E, "Boundary Element [19] Methods in Elasto dynamics", Unwin Hyman Ltd, ISBN: 004- 620019- 3, 1998.

Kamalian, M., Gatmiri, B., Sohrabi, A., [7.] "Amplification pattern of 2D semi-sine-shaped valleys subjected to vertically propagating incident waves. Commun. Numer. Meth. Engng; 23:871–887, 2007.

Sanchez-Sesma,F.J.,Campillo,M., "Topography [71] effects for incident P, SV, and Rayleigh waves", Tectonophysics,Vol. 218, pp. 113- 125, 1993.

Tarinejad R, "Seismic loading Of canyo site [YY] structures", Phd Thesis by guidance Mohammad T.Ahmadi.School of Engineering, Tarbiat Modares Univesity, 2008.

- Sohrabi-Bidar, A., Kamalian, M., Jafari, M.K, [1^r] "Time-domain BEM for three-dimensional site response analysis of topographic structures", Int. J. Numer. Meth. Engng ; 79, pp. 1467–1492, 2009.
- Huang, H.C. and Chiu, H.C., "The effect of [14] canyon topography on strong ground motion at Feitsui Damsite: Quantitive Results", Earth Eng and Struc Dyn, Vol24, 1995.
- Paolucci, R, "Amplification of earthquake ground [1] motion by steep topographic irregularities", Earth Eng and Struc Dyn, Vol31, 2002.
- Tarinejad,R., Ahmadi, M.T., and Harichanran, [18] R.S, "Effect of non-prismatic 3D-canyon on the scattering of seismic P-and SV- waves", 4ICEGE, Tessalonki, Greece, 2007.
- Tarinejad, R. Ahmadi, M.T, "Three dimensional [1v] non-prismatic canyons effects of the scattering of seismic waves", Journal of Civil and Environmental Engineering, 2011.