



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

دوره چهل و هفت، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۴، صفحه ۲۷ تا ۴۰
Vol. 47, No. 1, Summer 2015, pp. 27- 40



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

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

رضا تاری نژاد^{۱*}، محسن ایثاری^۲

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

(دریافت ۱۳۹۱/۹/۲۳، پذیرش ۱۳۹۳/۷/۲۳)

چکیده

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

کلمات کلیدی

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

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

۱- مقدمه

دره‌ها به دلیل اینکه ساختگاه سازه‌های مهمی مانند سدها و پلها می‌باشند، بزرگترین اختلالات را در انتشار امواج زلزله ایجاد نموده و باعث تفرق امواج زمین لرزه می‌گردند. یکی از نمونه‌های بسیار واضح در خصوص این پدیده، گسیختگی‌های سنگی بوجود آمده در تکیه گاه سد پاکویما واقع در کالیفرنیا در طول زمین لرزه‌های بزرگ می‌باشد. نتایج مطالعات انجام شده نشان می‌دهد این گسیختگی‌های سنگی مربوط به پدیده اثر توپوگرافی است [۱ و ۲].

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 می‌شود. لاکو، وانگ و باریس 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 نیم فضای ویسکوالاستیک لایه ای بدست آوردند. تحریکات لرزه‌ای به شکل امواج مسطح صفحه‌ای تحت یک زاویه دلخواه نسبت به محور دره در نظر 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 نسبتاً زیاد می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد که تحریک ورودی زمین‌لرزه برای تحلیل‌های سدها و پل ها تابع قوی از موقعیت درون دره است و همچنین زاویه برخورد می‌باشد. 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 [۴ و ۵].

کمالیان و همکاران مطالعات پارامتریکی را به منظور بررسی رفتار لرزه ای تپه‌های نیم سینوسی، نیم بیضی و دوزنقه ای شکل در برابر امواج قائم P و SV 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. دره‌های دو بعدی بزرگنمایی و کوچکنمایی کوچکتری را نسبت به دره‌های سه بعدی با هندسه و ابعاد مشابه نشان می‌دهند [۷].

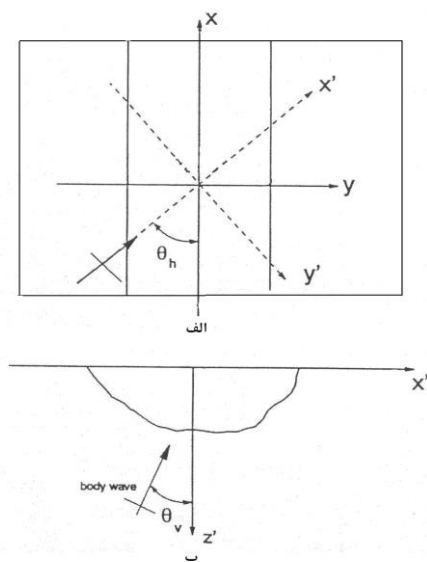
امیدوار و رحیمیان در مقالات به بررسی تفرق سه بعدی امواج هارمونیک مسطح بر روی سطوح با توپوگرافی خاص با استفاده از روش المان مرزی سه بعدی پرداختند. نشان داده می‌شود که برای بررسی هرچه دقیق تر حرکات سطحی زمین در توپوگرافی‌های مختلف باید تمام پارامترهای موثر مانند هندسه محل، خصوصیات مکانیکی مصالح زمین شناسی موجود (دانسیته، نسبت پواسون، مدول برشی) نوع امواج، آزمون و زاویه برخورد و همچنین فرکانس موج باید در نظر گرفته شود [۸ و ۹].

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 حوزه‌ی زمان، توسط روش المان مرزی دو بعدی برای حالت الاستو دینامیک خطی پرداخته‌اند [۱۰]. از دیگر مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان 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 می‌شود، است [۱۱ و ۱۲]. 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 نامتقارن سه بعدی و دو بعدی می‌باشد [۱۳].

هوانگ و چو 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 ثبت‌های مشاهده‌ای و شبیه سازی شده از تحلیل، تطابق خوبی در تغییر مکان و سرعت نشان می‌دهند. 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

در این رابطه u^i ، مولفه های تغییر مکان در نقطه مرزی i ، p و u مولفه های تغییر مکان و ترکشن روی تمام مرز، u^* و p^* جوابهای اساسی تغییر مکان 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 [۱۹ و ۱۸].



شکل (۱): دره سه بعدی به طول محدود با امواج لرزه ای دلخواه:

الف) پلان دره (ب) برشی از دره

زمانی که مرز به تعداد ne المان گسسته سازی شد با جایگذاری پارامترهای گسسته شده در معادله ۴، معادله ۵ بدست خواهد آمد:

$$c^i u^i + \sum_{j=1}^{ne} \left\{ \int_{\Gamma_j} p^* \Phi d\Gamma \right\} u^j = \sum_{j=1}^{ne} \left\{ \int_{\Gamma_j} u^* \Phi d\Gamma \right\} p^j \quad (5)$$

که Γ_j نشان دهنده سطح المان j می باشد. معادله فوق را میتوان به صورت ۶ بازنویسی کرد:

$$c^i u^i + \sum_{m=1}^n \hat{H}^{im} u^m = \sum_{j=1}^{ne} G^{ij} p^j \quad (6)$$

بنابراین برای تمام گره های i می توان سیستم معادلات را به فرم کلی ۷ بیان کرد.

$$HU = GP \quad (7)$$

۳- جوابهای اساسی

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

سطحی S منتشر شده در راستای قائم تحریک شده محاسبه نمود. برای هر حالت خاص ضریب بزرگنمایی محاسبه شده و در نهایت بین حالت های 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 می داد [۱۵]. تازی 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، 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، دره های غیر منشوری و منشوری در شکلهای مثلثی، دوزنقه و نیم دایره مورد ارزیابی و بررسی قرار می گیرند.

۲- معادله حاکم بر حل مسئله

معادلات حاکم بر مسائل الاستودینامیک از روابط ناوبر تبعیت می کنند که به صورت برداری و براساس مولفه های سرعت امواج به شکل ۱ قابل ارائه است:

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

در این رابطه $c_1 = (\lambda + 2\mu/\rho)^{0.5}$ و $c_2 = (\mu/\rho)^{0.5}$ به ترتیب سرعت امواج فشاری و برشی در محیط، b نیروهای حجمی در جرم واحد و u بردار جابجایی ها می باشند. ضمن اینکه λ و μ ثابت های لامه و ρ جرم حجمی جسم مورد نظر می باشند. در صورت استفاده از روش تحلیل در حوزه فرکانس، بردار جابجایی ها برای تحریک هماهنگ با فرکانس ω به صورت ۲ حاصل می شود:

$$u(t) = \bar{u}(\omega) e^{i\omega t} \quad (2)$$

که در آن، \bar{u} دامنه بردار جابجایی ها در حوزه فرکانس می باشد. با استفاده از رابطه ۲ معادله برداری ۱ به شکل مستقل از زمان بصورت ۴ قابل بازنویسی است:

$$c_1^2 \nabla(\nabla \cdot \bar{u}) - c_2^2 \nabla \times \nabla \times \bar{u} + \omega^2 \bar{u} = -b \quad (3)$$

معادله انتگرال مرزی حاکم بر مسئله می تواند از تئوری تقابل دینامیکی به صورت ۴ بدست آید:

$$c^i u^i + \int_{\Gamma} p^* u d\Gamma = \int_{\Gamma} u^* p d\Gamma \quad (4)$$

مطابق شکل (۲) طوری تعریف می‌شوند که جاکوبین در نقطه منبع صفر گردد.

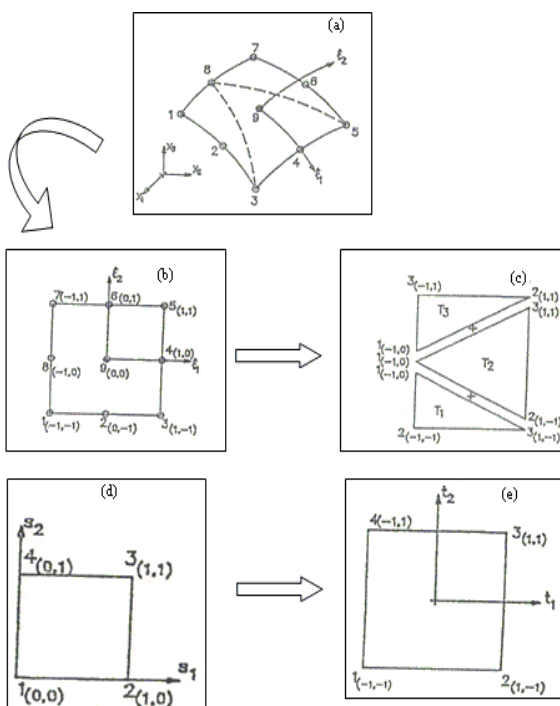
رابطه بین مختصات s_1 و s_2 و مختصات ξ_1 و ξ_2 به صورت زیر می‌باشند.

$$\xi_i = (1-s_1)\xi_i^1 + s_1(1-s_2)\xi_i^2 + s_1s_2\xi_i^3 \quad (10)$$

که در رابطه فوق $i=1,2$ و اعداد بالای ξ نشان دهنده گره های گوشه مثلث می‌باشند.

$$d\xi_1 d\xi_2 = |J_2| ds_1 ds_2 = 2A s_1 ds_1 ds_2 \quad (11)$$

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



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

برای استفاده از روش انتگرال گیری گوس، حوزه مربعی در سیستم s_1, s_2 باید به مربعی به طول و جوه ۲ انتقال یابد. بنابراین باید انتقال دوم به شکل زیر انجام گیرد.

$$s_i = \frac{1+t_i}{2} \quad (12)$$

بنابراین رابطه $ds_1 ds_2 = |j_3| dt_1 dt_2 = \frac{1}{4} dt_1 dt_2$ بدست می آید.

انتگرال مستطیلی با استفاده از تبدیلیهای فوق به انتگرال های مثلثی در حوزه $t_1 - t_2$ تبدیل شده و با استفاده از روش استاندارد گوس محاسبه می‌گردد [۱۸ و ۱۹].

$$G(k) = \sum_{\text{no. of Triangle}} \int_{-1}^1 \int_{-1}^1 u^*(t_1, t_2) \phi_k(t_1, t_2) |G(t_1, t_2)| (t_1 + 1) \frac{A}{4} dt_1 dt_2 \quad (13)$$

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

$$u_{ik}^* = \frac{1}{\alpha \pi r c_2^2} [\psi \delta_{ik} - \chi r_i r_k] \quad (8)$$

که در آن χ و ψ عبارتند از:

$$\psi = \frac{\exp(-k_2 r)}{r} + \left(\frac{1}{k_2^2 r^2} + \frac{1}{k_2 r}\right) \frac{\exp(-k_2 r)}{r} - \frac{c_2^2}{c_1^2} \left(\frac{1}{k_1^2 r^2} + \frac{1}{k_1 r}\right) \frac{\exp(-k_1 r)}{r}$$

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

همچنین $\alpha = 4$ و δ_{ij} نشان دهنده تابع دلتای کرونکر و

به ترتیب اعداد امواج فشاری و برشی $k_2 = \frac{i\omega}{c_2}$ و $k_1 = \frac{i\omega}{c_1}$

می‌باشند. اندیس‌هایی که شامل کاما می‌باشند به منظور مشتق گیری نسبت به جهت مورد نظر می‌باشد. لازم به ذکر است از روی جواب اساسی مربوط به تغییر مکان می‌توان جواب اساسی مربوط به ترکشن را محاسبه نمود. این کار با استفاده از روابط موجود بین تنش، کرنش و تغییرمکان و نیز رابطه تنش و ترکشن (قانون استوکس) صورت می‌گیرد. جواب اساسی مربوط به ترکشن محاسبه شده از روی جواب اساسی تغییرمکان به صورت زیر می‌باشد [۱۸-۱۹].

$$P_{ik}^* = \frac{1}{\alpha \pi} \left[\left(\frac{d\psi}{dr} - \frac{1}{r} \chi \right) (\delta_{ik} \frac{\partial r}{\partial n} + r_{,k} n_i) - \frac{2}{r} \chi (n_k r_i - 2r_i r_k \frac{\partial r}{\partial n}) - \right. \quad (9)$$

$$\left. 2 \frac{d\chi}{dr} r_i r_k \frac{\partial r}{\partial n} + \left(\frac{c_2^2}{c_1^2} - 2 \right) \left(\frac{d\psi}{dr} - \frac{d\chi}{dr} - \frac{\alpha}{2r} \chi \right) r_i n_k \right]$$

که در آن $d\psi/dr$ و $d\chi/dr$ عبارتند از:

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

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

۴- برآورد 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 انتگرال گیری روی المان مستطیلی به انتگرال گیری 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 می‌گردد. سپس با تبدیل مختصات مناسب انتگرال گیری روی المان مستطیلی به انتگرال گیری روی المانهای مثلثی تبدیل می‌گردند. 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

$$c_{lk}^i + \sum_{q=1}^{ne} \int_{\Gamma_q} P_{lk}^* \phi d\Gamma = c_{lk}^i + \sum_{q=1}^{ne} \sum_{a=1}^A \int_{S_q} P_{lk}^{*s} N_a dS = 0 \quad (15)$$

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 $q=I$ نشان دهنده المان تکین و $a=I$ نیز گره تکین باشد در معادله ۱۵ بلوکهای قطری D_{ij}^s از ضرایب 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 بازنویسی شود:

$$D_{ij}^s = c_{lk}^i + \int_{S_1} P_{ij}^{*s} N_1 dS = - \sum_{a=2}^A \int_{S_1} P_{ij}^{*s} N_a dS - \sum_{q=2}^{ne} \sum_{a=1}^A \int_{S_q} P_{ij}^{*s} N_a dS \quad (16)$$

به این ترتیب بلوک تکین استاتیکی D_{ij}^s بر حسب جمله های غیرتکین غیرقطری قابل بیان است. بلوک قطری 3×3 از ماتریس H شامل تانسور C_{ij} و مقدار اصلی کوشی از هسته ترکشن می باشد که برای مسائل دینامیک به صورت زیر قابل بیان می باشد:

$$D_{ij}^d = c_{lk}^i + \int_{S_1} P_{ij}^{*d} N_1 dS \quad (17)$$

با حذف جمله پرش بین دو معادله ۱۶ و ۱۷ خواهیم داشت:

$$D_{ij}^d = D_{ij}^s + \int_{S_1} (P_{ij}^{*d} - P_{ij}^{*s}) N_1 dS \quad (18)$$

که N_1 تابع شکل برای گره تکین و S_1 سطح المان تکین می باشد. 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 نامحدود با استفاده از المانهای محصورکننده برای محاسبه D_{ij}^d ارائه شده است. فرض پایه ای این تکنیک این است که تغییر مکانها و ترکشها روی مرز مجازی (محصورکننده مسئله) به فاصله مناسب از مرز اصلی تأثیری روی تغییر مکانها هر نقطه از مرز مدل شده ندارد. با استفاده از این تکنیک بلوک های قطری D_{ij}^s ماتریس H بوسیله مجموع انتگرالهای غیرتکین هسته ترکشن استاتیکی روی تمام المانهای مرز اصلی مدل شده همراه با تمام المانهای مرز محصور کننده به دست می آیند.

$$D_{ij}^s = - \left[\sum_{\alpha=2}^A \int_{S_1} P_{ij}^{*s} N_\alpha dS + \sum_{q=2}^{ne} \sum_{\alpha=1}^A \int_{S_q} P_{ij}^{*s} N_\alpha dS + \sum_{e=2}^L \sum_{\alpha=1}^A \int_{S_e} P_{ij}^{*s} N_\alpha dS \right] \quad (19)$$

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 غیرمستقیم نیز استفاده نمود. این روش برای مسائل الاستواستاتیک توسط لاجات و واتسون به کار 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 الاستودینامیک نیز بسط داد. تکین بودن تابع گرین ترکشن و بنابراین تکین بودن ماتریس H در حالت سه بعدی در حالتی که نقطه منبع و حوزه برهم منطبق باشند از نوع $1/r^2$ می باشد. در این تحقیق برای فرار از تکین بودن قوی از تکنیک غیر مستقیم که برپایه در نظر گرفتن تعادل استاتیکی برای ترکشن های سطحی که به صورت نرمال روی دامنه های بسته اثر می کنند 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 می توان به صورت مجموع پاسخ استاتیکی \hat{H}_s و ماتریس باقیمانده دینامیکی \hat{H}_R بیان نمود.

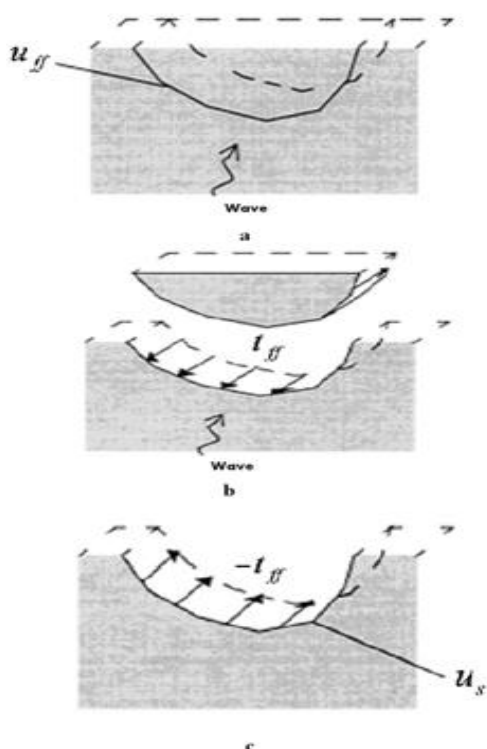
$$\hat{H} = \hat{H}_s + \hat{H}_R \quad (14)$$

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 می تواند با روش استاندارد گوس-لژاندر برآورد شود. فرض کنیم حرکت صلب u_k برابر بردار واحد به فرم استاتیکی معادله ۵ اعمال گردد، برابر صفر بوده و خواهیم داشت:

شدگی و انکسار امواج توسط دیواره دره است را محاسبه نمود. در شکل (۴) مراحل حل مسئله تفرق امواج لرزه ای از یک ساختگاه دره ای نشان داده شده است. در سطح محیط نیمه- بینهایت نیز ترکشها خودبه خود صفر می شوند چون، حل میدان آزاد شرایط بدون ترکشن را ارضا می کند. حرکت کل ناشی از برخورد امواج زلزله به دره از مجموع حرکت میدان آزاد و حرکت تفرق یافته به دست می آید.

شرط بدون بار بر روی مرز دره، Γ_c ، ایجاب می کند که:

$$u_{total} = u_{ff} + u_s, \quad t_s = -t_{ff} \quad (20)$$

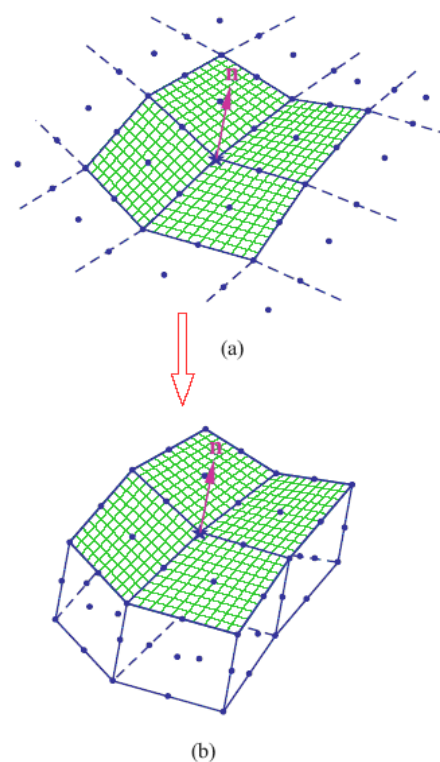


شکل (۴): (a) تغییر مکانهای حاصل از مسئله میدان آزاد (حالت مسطح)، (b) تنشهای مربوط به مسئله میدان آزاد و (c) حضور دره در محیط نیمه بینهایت و اعمال $-t_{ff}$

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 در مقالات مختلف انجام شده است.

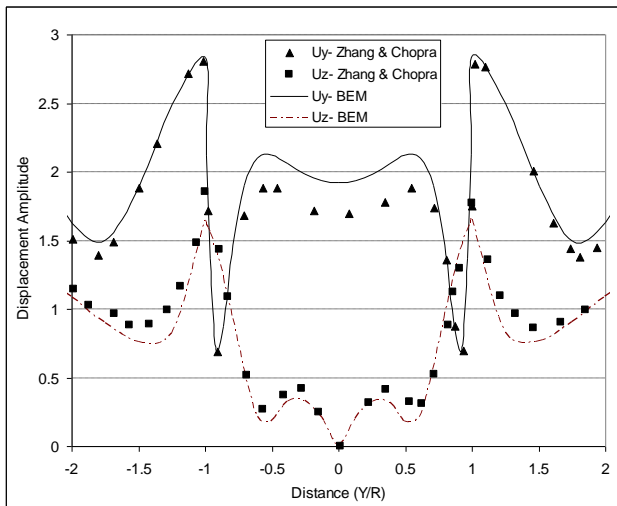
که عبارت سوم مربوط به انتگرالهای متناظر با المانهای روی مرز محصورکننده (L تعداد المانهای روی این مرز) می باشد. زمانی که D_{ij}^s برآورد شدند جمله های قطری D_{ij}^d مرتبط با مسئله دینامیکی می توانند به راحتی با استفاده از معادله ۱۸ بدست آیند. شکل (۳) چگونگی محصور کردن مسئله ناحیه باز را با استفاده از 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 دایره ای یا مستطیلی می باشد و اساساً هندسه آن 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].

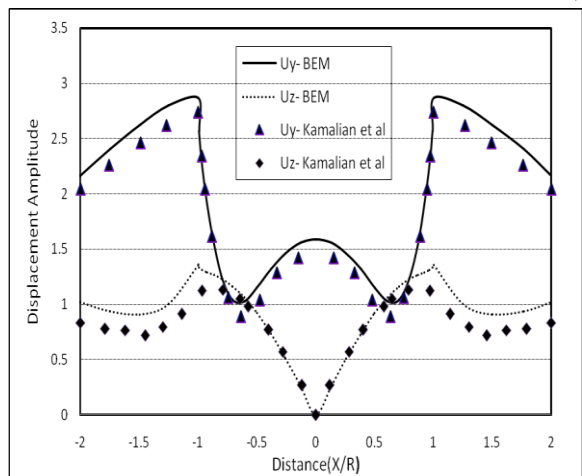
۵- تفرق موج در نیم فضای سه بعدی

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



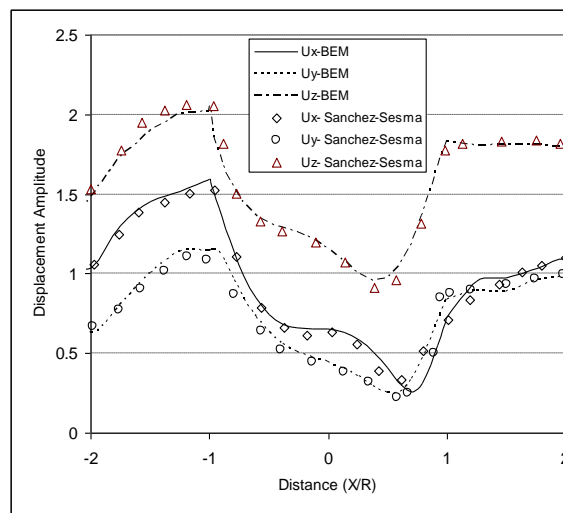
شکل(۶): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط ژانگ و چوپرا [۵] برای موج ورودی SV با $\theta_h = 90^\circ$, $\theta_v = 0^\circ$ و فرکانس بی بعد واحد برای دره نیم دایره منشوری

۲- مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط کامالیان و همکاران [۲۰] برای موج ورودی SV با $\theta_h = 90^\circ$ و $\theta_v = 0^\circ$ به ازای فرکانس بی بعد مساوی نیم دره شکل (۷) ارائه شده است. نتایج بدست آمده از تحلیل حاضر با نتایج ارائه شده ضمن اینکه روند کلی کاملاً یکسان می باشد. نتایج ارائه شده توسط کامالیان برای دره دو بعدی بوده در حالیکه در تحلیل حاضر 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 انجام تحلیلهای بعدی اطمینان حاصل گردید.

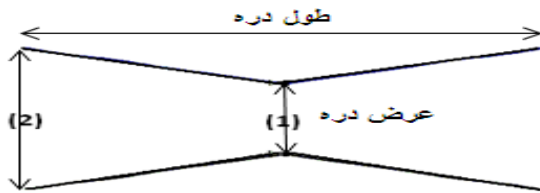


شکل(۷): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط کامالیان و همکاران [۲۰] برای موج ورودی SV با $\theta_h = 90^\circ$, $\theta_v = 0^\circ$ و فرکانس بی بعد نیم برای دره نیم دایره منشوری

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 ۰/۵ برای دره نیم دایره ای منشوری در شکل ۵ ارائه شده است. مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط ژانگ و چوپرا [۵] برای موج ورودی SV با $\theta_h = 90^\circ$, $\theta_v = 0^\circ$ و فرکانس بی بعد واحد در شکل (۶) ارائه شده است. همانطوریکه در این شکل مشخص است نتایج بدست آمده از تحلیل عددی با نتایج بدست آمده از تحلیل های چوپرا اندک اختلافی نشان می دهند که می تواند به دلایل زیر قابل توجیه باشد. روش استفاده شده چوپرا روش المان مرزی دو بعدی بوده که با انتگرال گیری تحلیلی در بعد سوم برای دره به طول بی نهایت به حالت سه بعدی تعمیم یافته است این در حالی است که در تحلیل حاضر مدل سه بعدی از دره به طول محدود (۵ برابر شعاع دره) با روش المان مرزی به کارگرفته شده است.

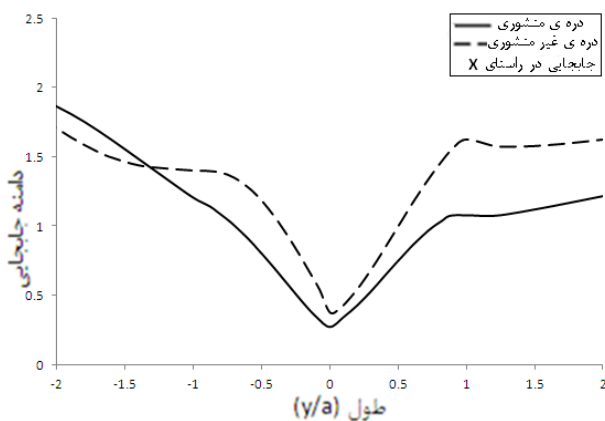


شکل(۸): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی و نتایج ارائه شده توسط سانچز سسما [۲۱] برای موج ورودی P با زوایای برخورد افقی و قائم ۴۵ و فرکانس بی بعد ۰/۵ برای دره نیم دایره ای منشوری



شکل (۱۰): پلان دره ی مثلثی غیر منشوری، نسبت های دو قاعده و عمق در مقاطع (۱) و (۲) برابر ۲ می باشد. $(b_2/b_1=2)$ و $(h_2/h_1=2)$

نتایج به دست آمده تحت فرکانس بی بعد نیم نشان می دهد که دره ی مثلثی در صورتی که در امتداد طول دره به سمت دو انتها عریضتر شود، افزایش جابجایی بیشتری 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 می باشد. با توجه به 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 ساختگامی می شود، که در نهایت منجر به افزایش جابجایی در بعضی نقاط دره نسبت به حالت منشوری خواهد شد.

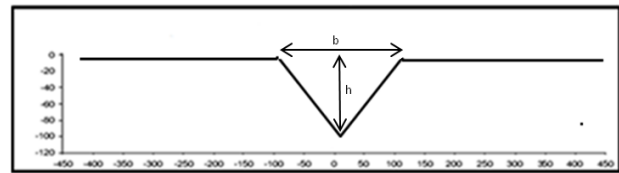


۷-تحلیلهای عددی

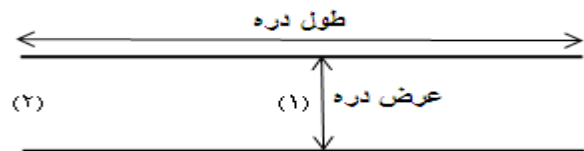
در این مطالعه با استفاده از روش المان مرزی سه بعدی توسعه یافته به بررسی پدیده تشدید توپوگرافی از دره در دو حالت منشوری و غیرمنشوری پرداخته می شود.

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 عریضتر می شود. پلانهای آورده شده در شکلهای (۹) و (۱۰) روند تغییر ابعاد در راستای طول دره برای مدل های منشوری و غیرمنشوری مورد مطالعه را نشان می دهد. تحلیل ها به ازای مولفه های مختلف موج SH با فرکانسهای بی بعد نیم و یک انجام شدند.



شکل (۸): دره مثلثی

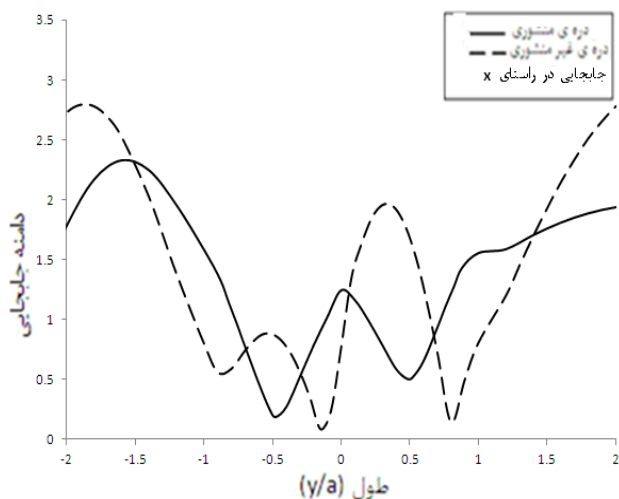


شکل (۹): پلان دره ی مثلثی منشوری، نسبت های دو قاعده و عمق در مقاطع (۱) (میانه دره) و (۲) (انتهای دره) که در شکل ۸ مشخص شده اند برابر ۱ می باشد. $(b_2/b_1=1)$ و $(h_2/h_1=1)$

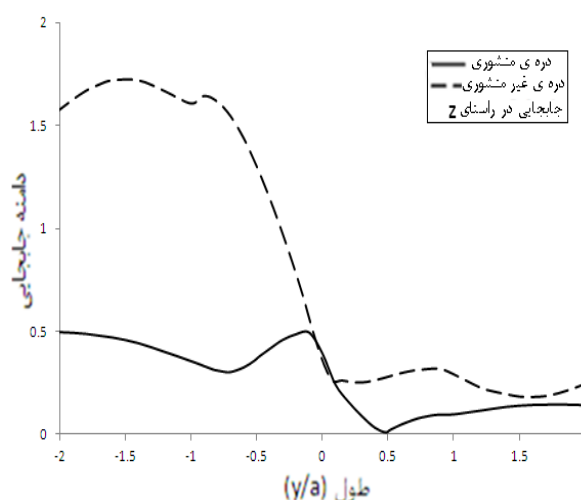
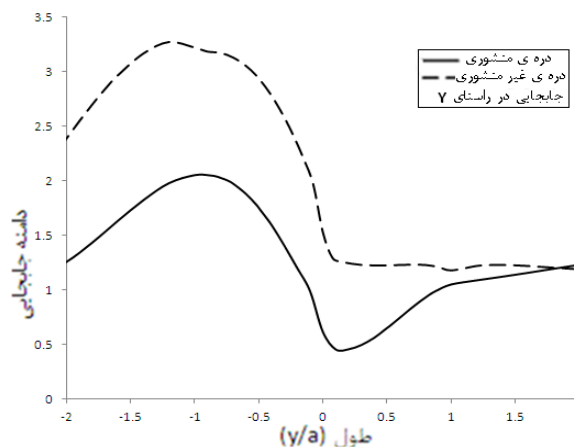
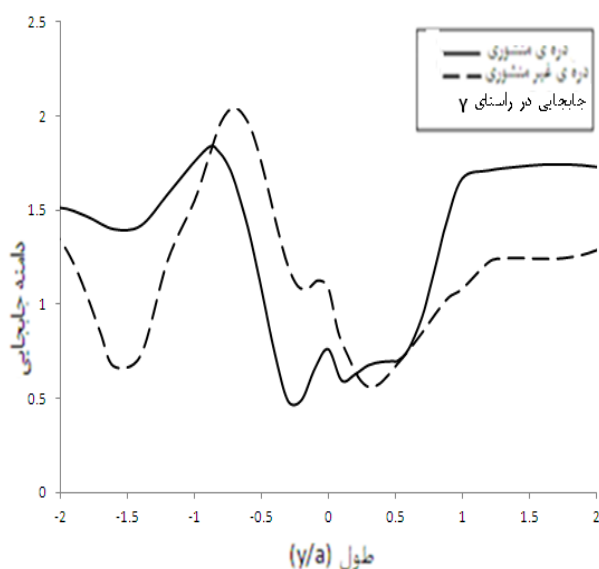
۷-۱-۱- موج SH با فرکانس بی بعد نیم

دره ی مثلثی در حالت غیر منشوری تحت زاویه افقی و قائم ۴۵ درجه قرار می گیرد. نتایج بدست آمده از این تحلیل ها با مشخصات مصالح نسبت پواسون ۰/۳۳ 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 می باشد. پارامتر a برابر عمق دره ($h=a$) که نصف قاعده ($b=2a$) است، می باشد.

که الگوی بدست آمده در رفتار دینامیکی و میزان جابجایی در دو شکل منشوری و غیر منشوری به فرکانس وارده وابسته بوده و افزایش فرکانس موج باعث پیچیده تر شدن الگوی جابجایی به دست آمده می شود. در اکثر تحلیلهای انجام شده بزرگنمایی ناشی از غیر منشوری بودن دره ها، در لبه ها و نزدیکی مرکز دره ها نسبت به حالت منشوری بیشتر است.



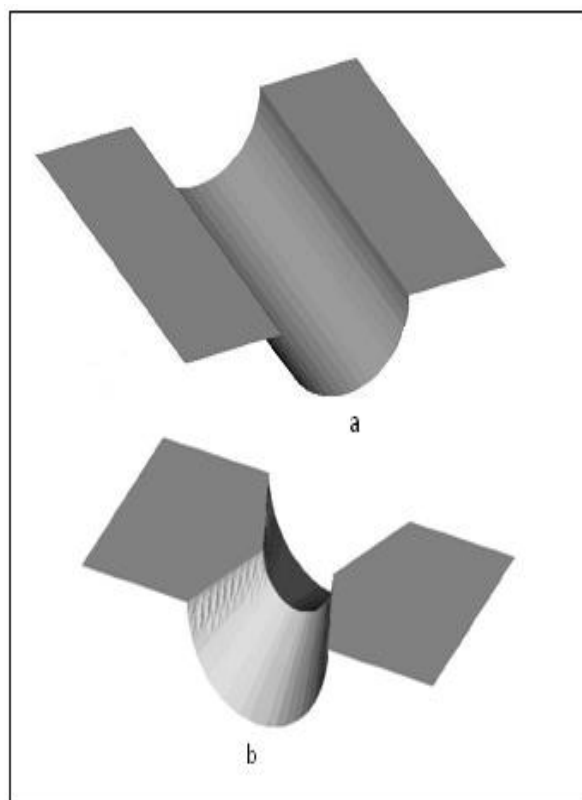
شکل (۱۲): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد یک و $\theta_h = 45$ ، $\theta_v = 45$ برای دره های غیر منشوری و منشوری



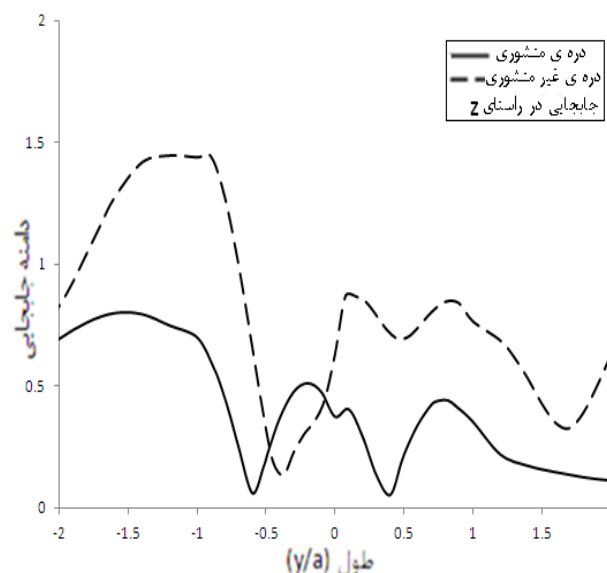
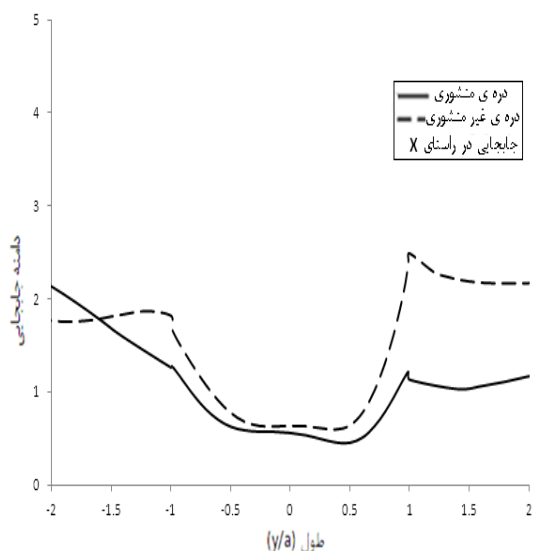
شکل (۱۱): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد نیم و $\theta_h = 45$ ، $\theta_v = 45$ برای دره های غیر منشوری و منشوری

۷-۱-۲- 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 45 درجه قرار می گیرد. نتایج بدست آمده از این تحلیل ها با مشخصات مصالح نسبت پواسون 0.33 و سرعت موج برشی $102/5$ انجام شده و در شکل ۱۲ ارائه شده اند و با مقادیر متناظر برای دره منشوری مقایسه شده اند. در فرکانس بی بعد نیم جابجایی در دره مثلثی غیر منشوری تقریباً در تمام طول نشان داده شده بیشتر از حالت منشوری می باشد ولی در فرکانس بی بعد یک جابجایی دره منشوری در بعضی نقاط بیشتر از حالت غیر منشوری میباشد. ماکسیمم جابجایی در راستای X دره غیر منشوری $148/85$ درصد نسبت به حالت منشوری افزایش جابجایی دارد. همچنین در راستاهای Y و Z نیز نوساناتی به ترتیب برابر با $146/91$ و $106/16$ درصد نسبت به حالت منشوری مشاهده میشود. نتایج این قسمت نشان می دهد



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 شکل ۱۰ مشخص شده اند در دره ی منشوری برابر اودر دره ی غیر منشوری برابر ۲ می باشد.

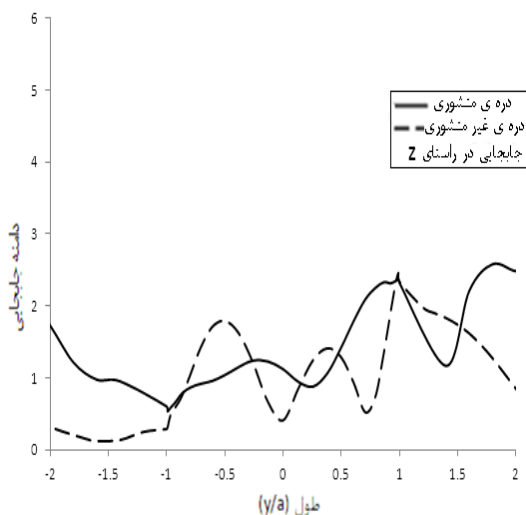


ادامه شکل (۱۲): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد یک و $\theta_h = 45^\circ$ ، $\theta_v = 45^\circ$ برای دره های غیر منشوری و منشوری

۷-۲- دره ی غیر منشوری نیم دایره

۷-۲-۱- موج SH با فرکانسهای بی بعد نیم و یک

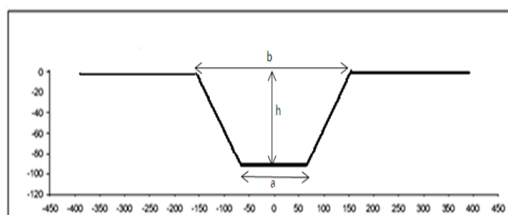
دره نیم دایره در حالت غیر منشوری با شعاع دلخواه **a** در مقطع ۱ و $2a$ در مقطع ۲ که در شکل ۱۰ مشخص شده اند تحت زاویه افقی و قائم 45° درجه قرار می گیرد. نتایج بدست آمده از این تحلیل ها با مشخصات مصالح که برای دره مثلثی استفاده شد، انجام و نتایج آن در شکل های (۱۴ و ۱۵) ارائه و با مقادیر متناظر برای حالت منشوری مقایسه شده اند. همانطور که از نمودارهای بدست آمده مشخص است در فرکانس نیم، الگوی رفتار دینامیکی دره غیر منشوری نیم دایره بسیار مشابه دره ی مثلثی غیر منشوری می باشد. همان طور که مشخص است میزان افزایش جابجایی در جهت برخورد موج در حالت های بررسی شده نسبت به سایر نقاط بیشتر بوده و مستقل از شکل دره است. ماکسیمم جابجایی در راستای **X** نیم دایره غیر منشوری در فرکانس بی بعد نیم معادل $97/69$ درصد نسبت به حالت منشوری افزایش جابجایی دارد. در راستاهای **Y** و **Z** نیز به ترتیب $125/46$ و $523/23$ درصد نسبت به منشوری افزایش جابجایی ایجاد شده است. در فرکانس یک میزان افزایش جابجایی در راستای **X** نیم دایره غیر منشوری معادل $234/34$ درصد نسبت به حالت منشوری افزایش جابجایی دارد. در راستاهای **Y** و **Z** نیز این مقدار به ترتیب برابر $684/91$ و $65/04$ درصد می باشد.



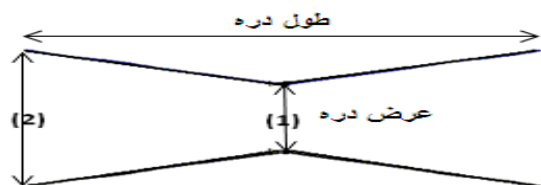
شکل (۱۵): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد یک و $\theta_h = 45^\circ$ ، $\theta_v = 45^\circ$ برای دره های غیر منشوری و منشوری

۷-۳- دره ی غیر منشوری دوزنقه ای

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



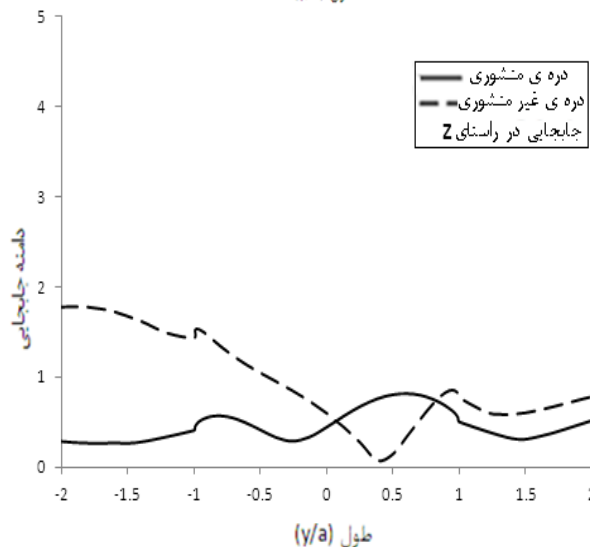
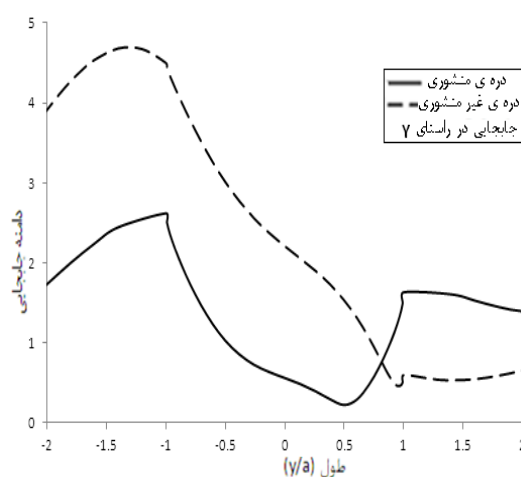
شکل (۱۶): دره ی دوزنقه ای



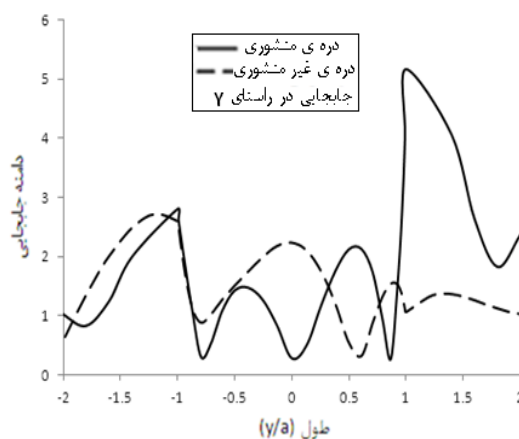
شکل (۱۷): پلان دره ی دوزنقه غیر منشوری ، نسبت‌های دو قاعده و عمق در مقاطع (۱) و (۲) که در شکل ۱۶ مشخص شده اند برابر ۲ می‌باشد. $(b_2/b_1=2)$ ، $(h_2/h_1=2)$ و $(a_2/a_1=2)$

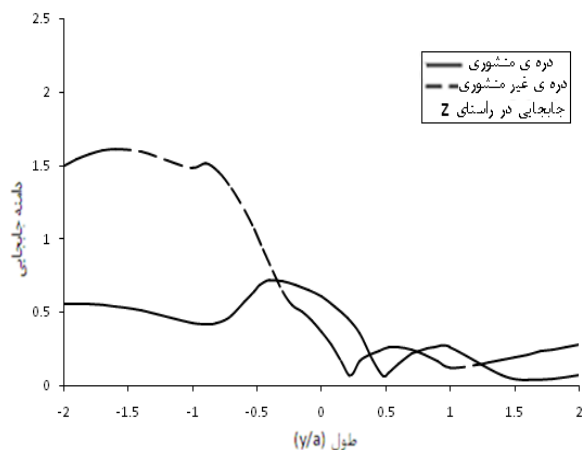
۷-۳-۱- موج SH با فرکانسهای بی بعد نیم و یک

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



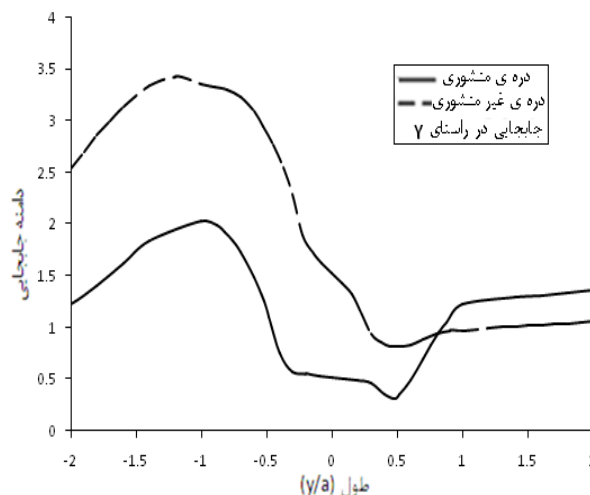
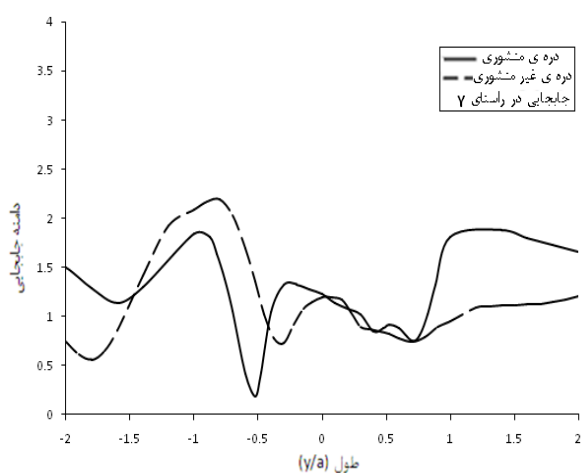
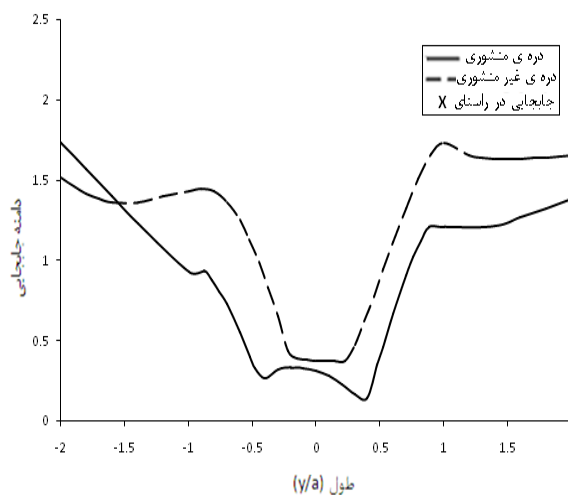
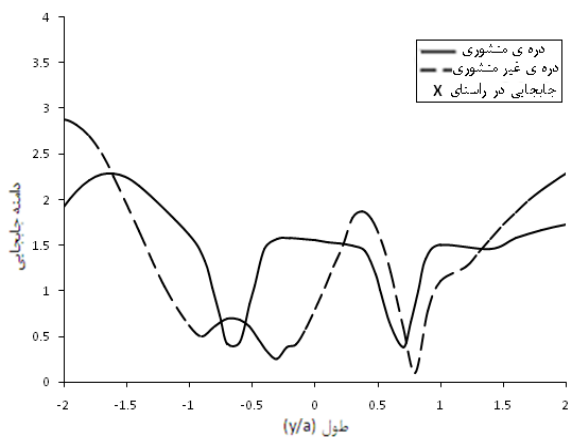
شکل (۱۴): مقایسه نتایج بدست آمده از تحلیل عددی برای مولفه های مختلف تغییر مکان و برای موج ورودی SH با فرکانس بی بعد نیم و $\theta_h = 45^\circ$ ، $\theta_v = 45^\circ$ برای دره‌های غیر منشوری و منشوری





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 $\theta_{ii} = 45$ ، $\theta_{iv} = 45$ برای دره های غیر منشوری و منشوری

رفتار دره ی غیر منشوری ذوزنقه بسیار مشابه دره ی مثلثی و نیم دایره غیر منشوری می باشد و نشان دهنده ی عدم وابستگی به شکل دره می باشد. ماکسیمم جابجایی در راستای X غیر منشوری در فرکانس بی بعد نیم ۴۰/۶۵ درصد نسبت به نقطه متناظر روی دره منشوری افزایش دارد. در راستاهای Y و Z نیز به ترتیب ۱۰۶/۵۵ و ۱۷۶/۳۶ درصد نسبت به حالت منشوری افزایش در جابجایی مشاهده می شود. در فرکانس یک نیز میزان افزایش جابجایی در راستای X غیر منشوری تا ۵۲/۶۳ درصد نسبت به منشوری افزایش جابجایی دارد. جابجایی در راستاهای Y و Z به ترتیب برابر ۵۰ و ۲۲۶/۶۶ درصد نسبت به حالت منشوری افزایش دارد.



Kojic, S.B., "Earthquake response of arch dams to non-uniform canyon motion", PhD Dissertation, Southern California University, 1998. [۲]

Luco, J.E., Wong, H.L. and De Barros, F.C.P., "Three dimensional response of a cylindrical canyon in a layered half-space", Earthquake Engineering and Structural Dynamics; 19:pp. 799-817, 1990. [۳]

Mossesjian, T.K. and Dravinski, M., "Amplification of elastic waves by a three dimensional valley". part 2: Transient Response, Earth Eng and StrucDyn, Vol 119, 1990. [۴]

Mossesjian, Tomi, K. and Dravinski, M., "Amplification of elastic waves by a three dimensional valley". part Steady-state Response, Earth Eng and StrucDyn Vol 119, 1990. [۵]

Kamalian, M., Jafari, M.K., Sohrabi-Bidar, A., Razmkhah, A., "Shape effects on amplification potential of two dimensional hills", JSEE, Vol. 8 No.2, pp. 58- 70 (In Farsi). [۶]

Sohrabi-Bidar, A., Kamalian, M. and Mohammad Kazem Jafari, "Seismic response of 3-D Gaussian-shaped valleys to vertically propagating incident waves", Geophys. J. Int. 183, pp. 1429- 1442. [۷]

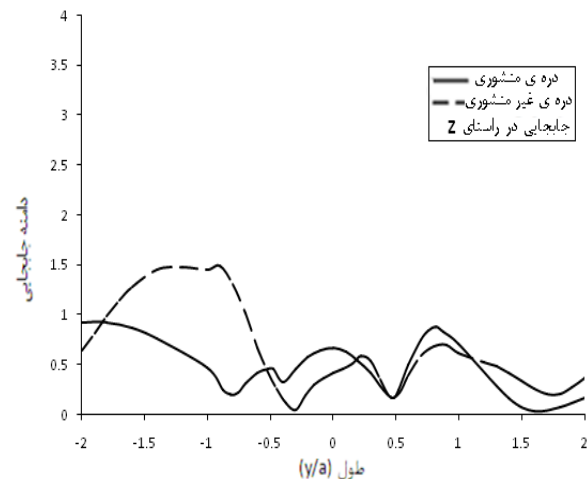
Omidvar, B., Rahimian, M., "Three Dimensional Scattering of Plane Harmonic SH, SV, and P Waves in Multilayered Alluvial Valleys". Asian journal of civil engineering (Building And Housing) VOL. 11, NO. 5, pp. 605- 626, 2010. [۸]

Omidvar, B., Rahimian, M., "3D Topography Effect on Amplification of Plane Harmonic Body and Surface Waves", JSEE, 2010. [۹]

Kamalian, M., Jafari, M.K., Sohrabi, A., "On time-domain two-dimensional site response analysis of topographic structures by BEM", J. Seismological Earthquake Engineering, 5(2), pp. 35- 45, 2003. [۱۰]

Gatmiri, B. and Arson, C., "Seismic Site Effects 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. [۱۱]

Gatmiri, B., Nguyen, K-V, Dehghan, K., "Seismic response of slopes subjected to incident SV wave by an improved boundary element approach", Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech. [۱۲]



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 $\theta_v = 45$ ، $\theta_h = 45$ برای دره های 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 معمولاً مورد نیاز است اجتناب می کند. نتایج بدست آمده از مدل‌های مربوط به دره های سه بعدی منشوری و غیر منشوری نشان می دهند، اثرات ساختگاهی باتوجه به نحوه تغییرات مقطع دره در طول آن و همچنین بسته به فرکانس موج وارده دچار تغییرات محسوس می شود. مشاهده شد که در حالت بررسی شده برای دره غیر منشوری که به سمت دو انتها عریض تر می گردد ماکسیمم تغییر مکانهای 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 دوزنقه ای نشان می دهد، دره نیم دایره غیر منشوری 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 از مدل‌های منشوری برای محاسبات واقع بینانه نبوده و برای بررسی هرچه دقیق تر پدیده تشدید توپوگرافی استفاده از مدل سه بعدی توصیه می شود.

۹- مراجع

Alves, W.S., "Nonlinear analysis of Pacoima Dam with spatially Non-uniform Ground Motion", PhD Dissertation, California Institute of Technology, 2005. [۱]

- Dominguez, J, "Boundary Elements in Dynamics", Elsevier, 1993. [۱۸]
- Manolis, G.D., Beskos, D.E, "Boundary Element Methods in Elasto dynamics", Unwin Hyman Ltd, ISBN: 004- 620019- 3, 1998. [۱۹]
- Kamalian, M., Gatmiri, B., Sohrabi, A., "Amplification pattern of 2D semi-sine-shaped valleys subjected to vertically propagating incident waves. Commun. Numer. Meth. Engng; 23:871-887, 2007. [۲۰]
- Sanchez-Sesma, F.J., Campillo, M., "Topography effects for incident P, SV, and Rayleigh waves", Tectonophysics, Vol. 218, pp. 113- 125, 1993. [۲۱]
- Tarinejad R, "Seismic loading Of canyo site structures", Phd Thesis by guidance Mohammad T.Ahmadi. School of Engineering, Tarbiat Modares Univesity, 2008. [۲۲]
- Sohrabi-Bidar, A., Kamalian, M., Jafari, M.K, [۱۳]
"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 canyon topography on strong ground motion at Feitsui Damsite: Quantitive Results", Earth Eng and Struc Dyn, Vol24, 1995. [۱۴]
- Paolucci, R, "Amplification of earthquake ground motion by steep topographic irregularities", Earth Eng and Struc Dyn, Vol31, 2002. [۱۵]
- Tarinejad, R., Ahmadi, M.T., and Harichanran, R.S, "Effect of non-prismatic 3D-canyon on the scattering of seismic P-and SV- waves", 4ICEGE, Tesselonki, Greece, 2007. [۱۶]
- Tarinejad, R. Ahmadi, M.T, "Three dimensional non-prismatic canyons effects of the scattering of seismic waves", Journal of Civil and Environmental Engineering, 2011. [۱۷]