

تحلیل پایداری لرزه‌ای شیروانی‌های ماسه‌ای

علی لکی روحانی، دانشکده فنی، گروه عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
علی قدیری، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، گروه عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rou001@znu.ac.ir
دریافت: ۹۴/۰۱/۱۵ - پذیرش: ۹۴/۰۴/۳۰

چکیده

در زمینه تحلیل استاتیکی شیروانی‌ها به روش تعادل حدی مطالعه و روش‌های مختلفی از گذشته تاکنون ارائه شده است. اما در زلزله دیده شده که شیروانی‌ها دچار لغزش‌های گسترده‌ای می‌شوند. از اینرو بررسی پایداری لرزه‌ای آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. در این مقاله با استفاده از روش عددی، شیروانی‌هایی با ارتفاع و زوایای مختلف مورد تحلیل لرزه‌ای با اعمال شتاب‌نگاشت زلزله طیس قرار گرفتند. مطابق با نتایج بدست آمده دیده شد که در حین زلزله و با افزایش زمان ناحیه‌ای پلاستیک در پای شیب ایجاد می‌شود و به سمت میانه و تاج شیب شروع به گسترش می‌کند. ناحیه پلاستیک ایجاد شده در حالت لرزه‌ای نسبت به تحلیل استاتیکی دارای عمق و محدوده بزرگتری است و این به دلیل نیروی اینرسی زیادی است که نیروی زلزله به زمین اعمال می‌کند. همچنین با افزایش ارتفاع شیروانی، محدوده‌ای که در آن کرنش برشی پلاستیک رخ می‌دهد بزرگتر می‌شود اما همه شیب‌ها در همان زمان قبلی دچار لغزش می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل لرزه‌ای، شیروانی ماسه‌ای، تحلیل عددی، ناحیه پلاستیک

۱- مقدمه

روش بلوک لغزان (Newmark, 1996)، مبتنی بر تاریخچه زمانی شتاب زمین، بر روی یک بلوک صلب روی یک سطح شیب‌دار می‌باشد که نیروی زلزله را به شکل مناسبی به توده لغزان وارد می‌کند. در روش تحلیل دینامیکی تاریخچه کامل شتاب زمین بر شیروانی وارد می‌شود. تحلیل‌های شبه استاتیکی در معمول‌ترین شکل خود اثرات ارتعاشات زلزله را به وسیله شتاب‌های شبه استاتیکی که نیروهای اینرسی موثر بر روی مرکز توده لغزش ایجاد می‌نماید، منظور می‌کنند (Steven L. Kramer 1996). در این مقاله از روش تحلیل دینامیکی استفاده شده است. این روش با قابلیت در نظر گرفتن تاریخچه کامل شتاب زلزله توسعه یافته است. با استفاده از روش‌های عددی تاریخچه زمانی تنش‌های ناشی از زلزله را شبیه‌سازی کرده و می‌توان لحظه به لحظه پاسخ شیروانی را در برابر نیروهای وارده

در بسیاری از موارد مشاهده شده است که شیروانی به ظاهر پایدار، در هنگام وقوع زمین‌لرزه ناپایدار گشته و دچار لغزش شده‌اند که همین باعث خسارت به سازه‌های روی شیب یا در مجاورت شیب شده است. حرکت ناگهانی زمین هنگام زلزله، نیروهای اینرسی بزرگی را در یک شیروانی ایجاد می‌کند، که این نیروها جهت و اندازه‌شان به طور مرتب در حین زلزله تغییر می‌کند. زمانیکه جابجایی‌های کلی از یک حدی تجاوز می‌کنند، می‌توان گفت که شیروانی دچار لغزش و ناپایداری شده است. برای بررسی پایداری لرزه‌ای شیروانی‌ها روش‌های مختلفی ارائه شده است، که آنها را می‌توان به سه روش بلوک لغزان، تحلیل دینامیکی و روش‌های شبه استاتیکی تقسیم بندی کرد (Steven L. Kramer 1996).

برای صحت‌سنجی یک تعداد شیروانی با ارتفاع و زوایای مختلف در محیط خاکی ماسه‌ای در نظر گرفته شده است. سپس با استفاده از روش‌های ارائه شده بر اساس تعادل حدی با استفاده از نرم افزار Geo - Slope/W Studio و بر اساس روابط Bishop (1955) Spencer (1970) Morgenstern (1960) ضریب اطمینان استاتیکی آنها به دست آورده می‌شوند و با ضریب اطمینان به دست آمده از تحلیل عددی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. مشخصات خاک ماسه‌ای (متراکم) در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات میانگین خاک ماسه‌ای (Bowles 1997)

K_0	$\gamma_s (Kg/m^3)$	$C(KPa)$	$\phi(^{\circ})$	e	ν_s
۰/۳۶	۱۸۴۰	۵	۴۰	۰/۳	۰/۳۲

مطابق با جدول ۲ که نتایج در آن آورده شده است، انطباق خوبی بین نتایج تحلیل عددی و تعادل حدی مشاهده می‌شود. صحت‌سنجی دیگری نیز برای شکل گسیختگی انجام شد که به دلیل اختصار در این مقاله آورده نشده است.

جدول ۲. ضریب اطمینان استاتیکی بدست آمده از روش‌های تعادل حدی و روش عددی

ارتفاع شیب (متر)	زاویه (درجه)	Bishop	Spencer	Morgenstern	روش عددی
۱۸	۴۵	۱/۲۱۵	۱/۲۰۵	۱/۲۰۳	۱/۱۹
	۳۰	۱/۹۰۷	۱/۹۰۳	۱/۹۰۳	۱/۸۲
۱۴	۴۵	۱/۳۰۳	۱/۲۹۰	۱/۲۸۹	۱/۲۶
	۳۰	۱/۹۶۴	۱/۹۵۹	۱/۹۵۹	۱/۸۹
۱۰	۴۵	۱/۴۲۳	۱/۴۰۷	۱/۴۰۴	۱/۳۷
	۳۰	۲/۰۴۶	۲/۰۴۲	۲/۰۴۲	۲/۰۳
۶	۴۵	۱/۶۸۳	۱/۶۷۲	۱/۶۷۱	۱/۶۱
	۳۰	۲/۳۴۱	۲/۳۴	۲/۳۳۵	۲/۲۹

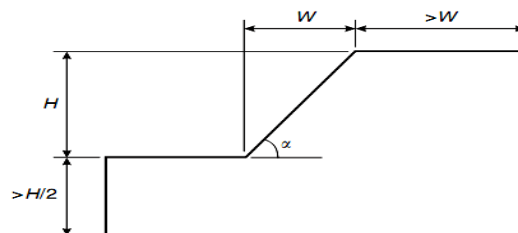
در تمامی نواحی آن به طور مجزا بررسی کرد.

در چند سال اخیر در زمینه تحلیل دینامیکی شیروانی‌ها می‌توان به مقاله Debarghya در سال ۲۰۰۹ اشاره کرد که به بررسی سد خاکی تحت شرایط بارگذاری لرزه‌ای پرداختند. همچنین آقای Priyanka (2011) مقاله‌ای با عنوان مطالعه عددی پایداری شیروانی تحت بار لرزه‌ای ارائه کرد که در آن از روش عددی اجزاء محدود استفاده شده است. (Choudhury (2012) و همکارانش، مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل پایداری شیروانی‌های خاکی تحت بار لرزه‌ای با استفاده از مطالعات عددی ارائه کردند.

هدف از این مقاله تحلیل پایداری لرزه‌ای شیروانی‌های ماسه‌ای با استفاده از روش عددی تفاضل محدود است. مدل‌سازی با استفاده از نرم افزار FLAC به صورت دوبعدی و با فرض کرنش مسطح انجام شده است. همچنین فرض شده محیط خاکی ماسه‌ای از مدل رفتاری الاستوپلاستیک کامل و معیار خرابی موهر- کولمب پیروی می‌کند. در ادامه مقاله، به چگونگی مدل‌سازی موج ورودی برای انجام تحلیل لرزه‌ای با شتاب‌نگاشت انتخابی طبس پرداخته شده است و پس از آن نحوه تعیین مشخصات مکانیکی زمین و پارامترهای دینامیکی مدل مشخص شده است. در نهایت نتایج مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته‌اند.

۲- تحلیل استاتیکی و صحت‌سنجی

در ساخت مدل برای تعیین محدوده مساله، از پیشنهادات ارائه شده توسط Duncan & (2004) Christopher که در شکل ۱ نمایش داده شده، استفاده شده است.



شکل ۱. پیشنهاد ارائه شده برای انتخاب محدوده مساله

(Duncan,) Christopher, 2004

تاثیر گذار است (FLAC2D).

جهت دقت شرایط انتقال موج در محیط پیوسته خاک یا سنگ لازم است شرایط توصیف شده توسط kuhlemeyer & Lysmer (1973) اقتناع شود. این دو محقق پیشنهاد داده‌اند که اندازه شبکه‌بندی در محیط پیوسته مورد مطالعه، کوچکتر از مقدار بدست آمده از رابطه ۱ باشد:

$$f_{\max} = \frac{C_s}{10\Delta L} \quad (1)$$

در این رابطه ΔL اندازه‌ی بزرگ‌ترین بعد المان بوده و C_s مقدار سرعت موج S در محیط و f_{\max} بیشترین فرکانس می‌باشد.

۳-۳- مشخصات مصالح در حالت دینامیکی

مدول برشی دینامیکی خاک ماسه‌ای به صورت زیر تعریف می‌گردد (Das 1993):

$$G = \frac{3230(2.97 - e)^2}{1 + e} \bar{\sigma}_0^{1/2} \quad (2)$$

G و $\bar{\sigma}_0$ بر حسب KPa و e نسبت تخلخل خاک می‌باشد،

$$\bar{\sigma}_0 = \frac{1}{2}(\bar{\sigma}_1 + \bar{\sigma}_2) \quad (3)$$

در این رابطه، $\bar{\sigma}_1$ تنش قائم و $\bar{\sigma}_2$ تنش افقی می‌باشد.

$$\bar{\sigma}_1 = \bar{\sigma}_v \quad (4)$$

$$\bar{\sigma}_2 = K_0 \bar{\sigma}_v \quad (5)$$

K_0 ضریب فشار جانبی زمین می‌باشد که از رابطه ۶ بدست می‌آید.

$$K_0 = 1 - \sin \phi \quad (6)$$

مدول ارتجاعی و مدول حجمی (بالک) نیز با استفاده از مدول برشی دینامیکی و طبق روابط زیر به دست می‌آید:

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (7)$$

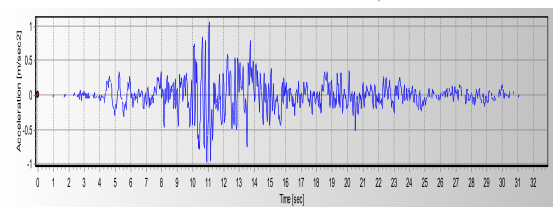
$$K = \frac{E}{3(1 - 2\nu)} \quad (8)$$

در معادله‌های (۷) و (۸) E ، G و K بر حسب

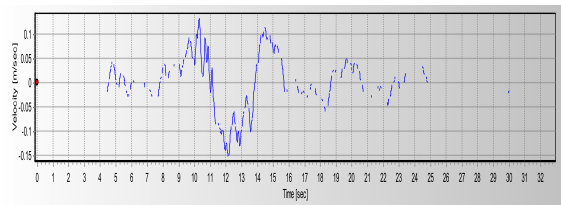
۳- مراحل تحلیل دینامیکی

۳-۱- اصلاح شتاب نگاشت زلزله

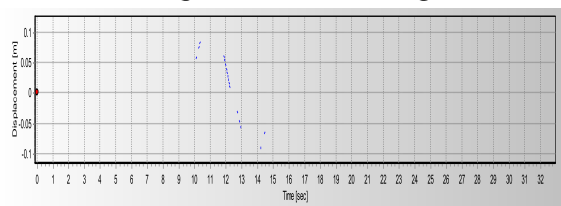
قبل از مدل‌سازی دینامیکی محیط خاکی ضروری است تا موج انتقال یافته به محیط، مدل‌سازی شود. برای مدل‌سازی موج ورودی همانطور که گفته شد از اطلاعات شتاب نگاشت زلزله طبس با $PGA=0.82g$ (بیشینه شتاب زمین) و مدت $32/82$ ثانیه استفاده شده است. در این مرحله به اصلاح خط پایه با اعمال یک موج با فرکانس ضعیف بر روی نمودار سرعت-نگاشت اولیه پرداخته می‌شود تا مقدار جابجایی باقی‌مانده در نمودار جابجایی، حول محور صفر نوسان کند. این کار با استفاده از نرم‌افزار SeismoSignal انجام شده است. (شکل ۲، ۳ و ۴).



شکل ۲. شتاب نگاشت زلزله ورودی بعد از اصلاح خط پایه



شکل ۳. تابع سرعت نگاشت بعد از اصلاح خط پایه



شکل ۴. تاریخچه زمانی تغییر مکان زلزله ورودی بعد از اصلاح خط پایه

۳-۲- جزئیات انتخاب اندازه شبکه‌بندی

هنگام انتشار موج در محیط خاکی در هنگام تحلیل دینامیکی ممکن است تحت شرایط ناخواسته مدل‌سازی، اغتشاشات عددی رخ دهد. مقدار فرکانس اعمال شده بر محیط و سرعت موج بر دقت عددی شرایط انتقال موج،

KPa می‌باشند.

ورودی موج برشی است. مقادیر مربوط به موج S به ویژگی‌های مقاومتی محیط مورد مطالعه وابسته است و مقدار آن از رابطه ۱۰ قابل محاسبه است (FLAC 2D):

$$C_s = \sqrt{G/\rho} \quad (10)$$

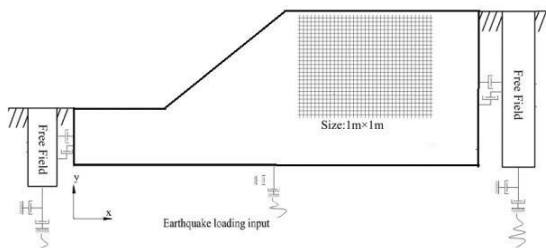
در این رابطه، G مدول برشی و ρ جرم مخصوص است.

به عنوان مثال برای یک شیروانی با ارتفاع ۲۲ متر و زاویه سطح شیب ۴۵ درجه، مدول برشی، مدول بالک و سرعت موج برشی مطابق با جدول ۳ می‌شود.

جدول ۳. مشخصات مکانیکی خاک و سرعت موج برشی به دست آمده از روابط

مدول بالک	مدول برشی	سرعت موج
$K(Pa)$	$G(Pa)$	$C_s(m/s)$
۷۳۳۶۴۱۰۸۰	۳۰۰۱۲۵۸۹۶	۴۰۳/۸۷

در پایان با اعمال موج تنش، حل مسأله به صورت دینامیکی آغاز می‌شود. در شکل ۶ هندسه مدل و مرزهای جانبی و انتهایی آن نمایش داده شده است.



شکل ۶. استفاده از مرزهای منطقی آزاد در قسمت‌های جانبی و مرز آرام در قسمت‌های تحتانی مدل

۵- نتایج

۵-۱- توسعه ناحیه پلاستیک و تشکیل سطح

گسیختگی در حین زلزله

ابتدا یک شیروانی با ارتفاع ۱۸ متر و زاویه سطح ۴۵ درجه در نظر گرفته می‌شود. پس از اعمال بارگذاری لرزه‌ای این شیروانی در زمان‌های مختلف اعمال شتاب‌نگاشت مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل‌های ۷ تا

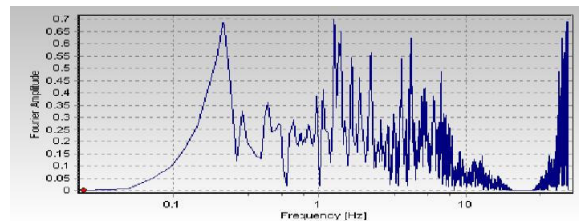
۴- مدل‌سازی عددی

۴-۱- مدل‌سازی اولیه و برقراری تعادل استاتیکی

بعد از معرفی مشخصات مصالح، شرایط مرزی به مدل اعمال می‌شود. مرز افقی پایین در هر دو جهت x و y و مرزهای قائم جانبی، فقط در جهت x ثابت می‌شوند. بعد از اعمال شرایط مرزی، مسأله تحت شرایط تعادل اولیه حل می‌شود.

۴-۲- مدل‌سازی دینامیکی

فرکانس مرکزی همان فرکانس غالب است که از روی تابع فوریه (شکل ۵) به دست می‌آید، مقدار آن حدود $1/26 HZ$ می‌باشد. در این مدل‌سازی‌ها از نسبت میرایی ۵٪ و میرایی رایلی استفاده شده است.



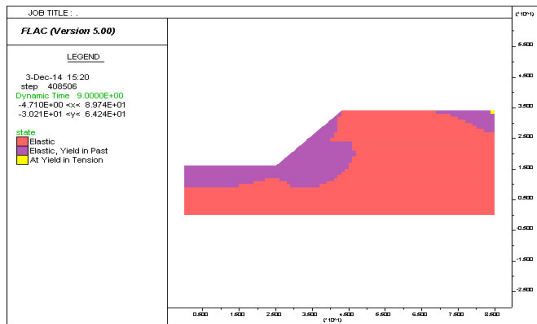
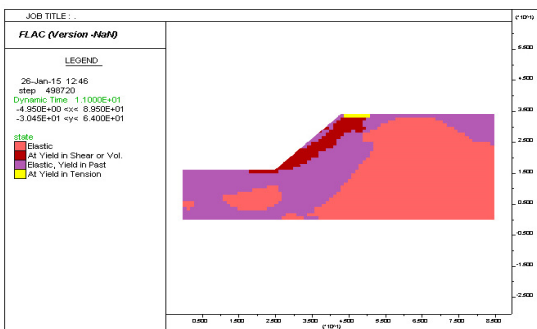
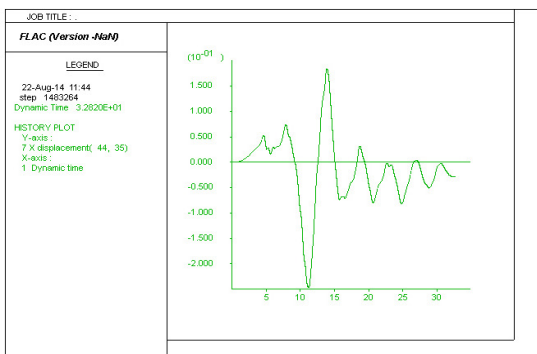
شکل ۵. تابع فوریه تاریخچه زمانی شتاب

بعد از آنکه میرایی محیط تعیین شد، برای مدل کردن شرایط بی‌نهایت در محیط، شرایط مرزی دینامیکی به سیستم اعمال می‌گردد. برای این منظور برای مرزهای کناری شرایط مرزی میدان آزاد اعمال می‌شود و برای مرزهای پایینی ضروری است که مرز آرام به محیط اعمال گردد تا اثر انعکاس امواج به حداقل برسد. همچنین با تعریف مرز ویسکوز، باید مدل موج به صورت تنش برشی اعمال گردد (FLAC2D).

برای محاسبه بارگذاری تنش برشی از نمودار سرعت نگاشت، می‌توان از رابطه ۹ استفاده کرد (FLAC 2D):

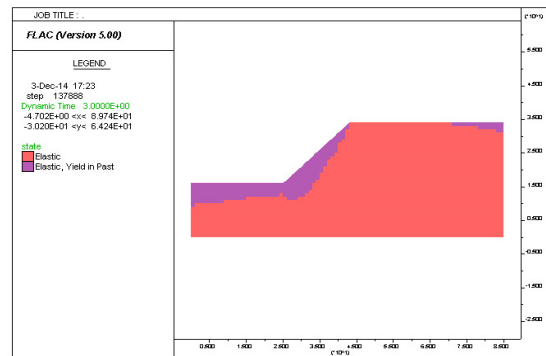
$$\tau_s = 2(\rho.C_s)V_s \quad (9)$$

در این رابطه، τ_s تنش برشی، ρ جرم مخصوص، C_s سرعت موج S در محیط پیوسته، V_s سرعت

شکل ۹. محدوده ناحیه پلاستیک در زمان $t=9$ secشکل ۱۰. محدوده ناحیه پلاستیک در زمان $t=11$ sec

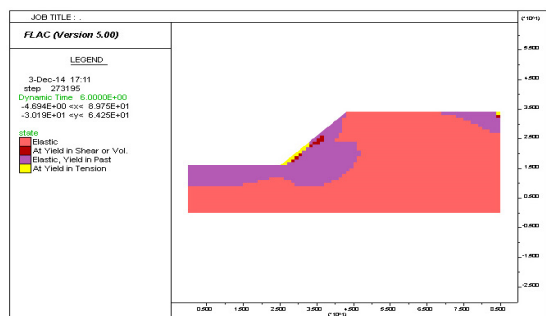
شکل ۱۱. نمودار جابجایی تاج شیروانی بر حسب متر

۱۰ محدوده ناحیه پلاستیک را طی زمان‌های ۳ تا ۱۱ ثانیه نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش زمان و در حین زلزله ناحیه پلاستیک ایجاد شده در شیب شروع به گسترش می‌کند. اولین محدوده‌ای که وارد فاز پلاستیک می‌شود پاشنه شیروانی است و بعد به سمت میانه و تاج شروع به توسعه می‌کند. در زمان تقریبی $t = 11$ sec، زون گسیختگی کامل شده و شیروانی کاملاً ناپایدار می‌شود و از این زمان به بعد تحلیل عددی تغییری را نشان نمی‌دهد. با دقت در شکل ۴ که تاریخچه زمانی تغییر مکان زلزله را نشان می‌دهد مشاهده می‌شود که این زمان منطبق بر زمان بیشترین جابجایی است. شکل ۱۱ نمودار جابجایی تاج شیروانی را در مقابل زمان نشان می‌دهد که دیده می‌شود در همین زمان یعنی $t = 11$ sec بیشترین جابجایی افقی را تاج شیروانی تجربه می‌کند. با دقت در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که در داخل ناحیه پلاستیک، ناحیه پلاستیک دیگری ناشی از کرنش‌های برشی وجود دارد که محدوده آن بستگی به ارتفاع و زاویه شیب دارد.

شکل ۷. محدوده ناحیه پلاستیک در زمان $t=3$ sec

شکل ۱۲ تا ۱۴ کرنش برشی ایجاد شده طی زمان‌های $t = 3$ sec تا $t = 15$ sec را نشان می‌دهد.

شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ کرنش برشی را طی زمان‌های مختلف در حین وقوع زلزله نشان می‌دهند. همانطور که مشاهده می‌شود محدوده کرنش برشی با زمان افزایش یافته و همچنین اختلافی چندانی بین دو زمان $t = 11$ sec و $t = 15$ sec وجود ندارد و در همان زمان $t = 11$ sec گسیختگی اتفاق افتاده است. کرنش

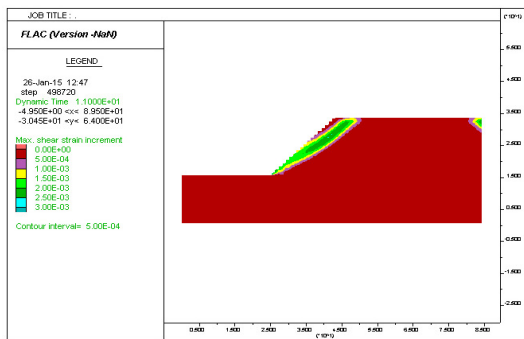
شکل ۸. محدوده ناحیه پلاستیک در زمان $t=6$ sec

در حالت تحلیل استاتیکی این شیروانی نشان می‌دهد و شکل ۱۷ و ۱۸ به ترتیب نتیجه تحلیل دینامیکی همان شیب را برای زمان $t = 11 \text{ sec}$ و $t = 3 \text{ sec}$ نشان می‌دهد. نتیجه مهمی که از این مقایسه گرفته می‌شود اینست که در حالت لرزه‌ای محدوده بیشتری از توده خاک دچار لغزش می‌شوند. این به دلیل نیروی اینرسی نسبتاً زیادی است که لرزش زمین به شیروانی تحمیل می‌کند.

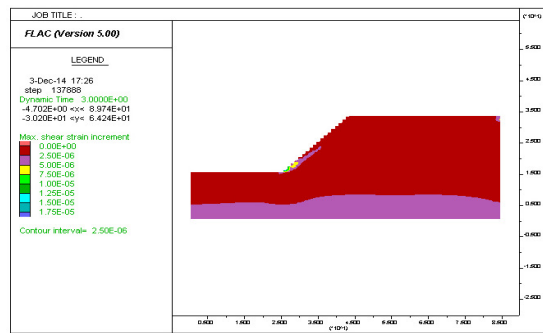
برشی نشان داده شده در این شکل‌ها، همان کرنش برشی پلاستیک است که در شکل ۱۰ با رنگ تیره نشان داده شده است. شکل ۱۵ نیز کانتور جابجایی افقی را در همین زمان نشان می‌دهد.

۲-۵- مقایسه ناحیه پلاستیک در حالت استاتیکی با سطح گسیختگی در تحلیل دینامیکی

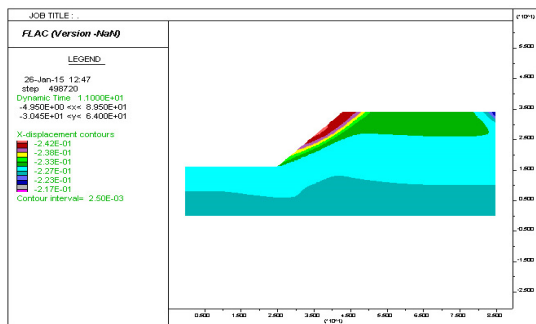
یک شیروانی با ارتفاع ۲۲ متر و زاویه سطح شیب ۴۵ درجه در نظر گرفته می‌شود، شکل ۱۶ ناحیه پلاستیک را



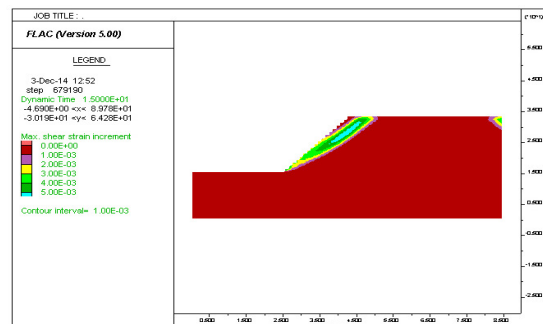
شکل ۱۳. کرنش برشی در زمان $t = 11 \text{ sec}$



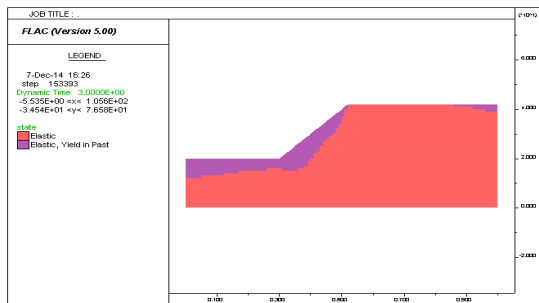
شکل ۱۲. کرنش برشی در زمان $t = 3 \text{ sec}$



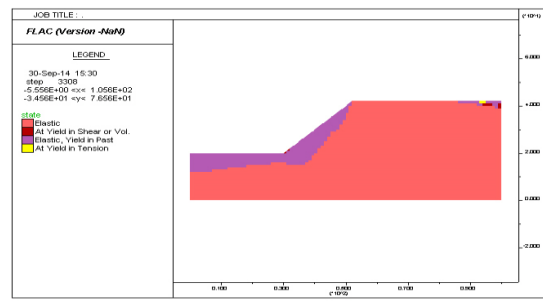
شکل ۱۵. کانتور جابجایی افقی در زمان $t = 11 \text{ sec}$



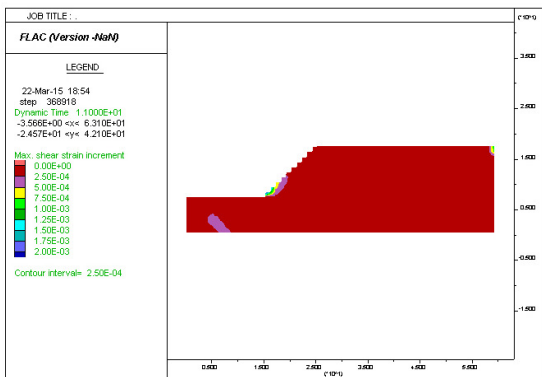
شکل ۱۴. کرنش برشی در زمان $t = 15 \text{ sec}$



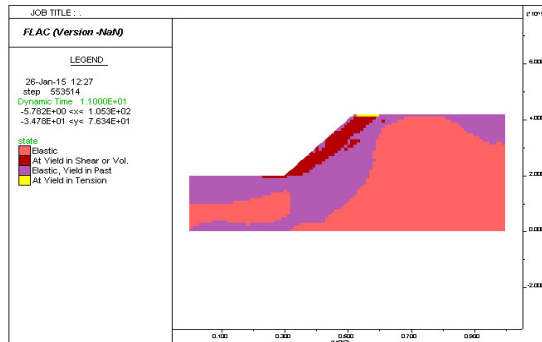
شکل ۱۷. محدوده ناحیه پلاستیک در تحلیل دینامیکی و در زمان $t = 3 \text{ sec}$



شکل ۱۶. محدوده ناحیه پلاستیک و سطح گسیختگی در حالت استاتیکی



شکل ۱۹. کانتور کرنش برشی شیروانی با ارتفاع ۱۰ در زمان



شکل ۱۸. محدوده ناحیه پلاستیک در تحلیل دینامیکی و در زمان

$$t = 11 \text{ sec}$$

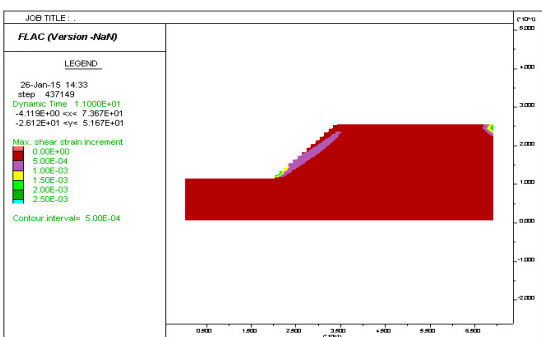
۳-۵- بررسی اثر ارتفاع شیب

در این مرحله، برای یک شیب با زاویه سطحی ۴۵ درجه و ارتفاعات مختلف ۱۰، ۱۴، ۱۸، و ۲۲ متر، تحلیل لرزه‌ای انجام می‌شود. برای همه شیب‌های انتخابی و ارتفاعات مختلف، زمان $t = 11 \text{ sec}$ زمانی است که از آن به بعد کانتورها تغییر را نشان نمی‌دهند و زمان گسیختگی شیب می‌باشد اما با افزایش ارتفاع شیب جابجایی افقی تاج شیب بیشتر می‌شود. این مقایسه در جدول ۴ آورده شده است. همانطور که در همین جدول دیده می‌شود مقدار جابه جایی حالت لرزه‌ای بسیار بیشتر از حالت استاتیکی می‌باشد.

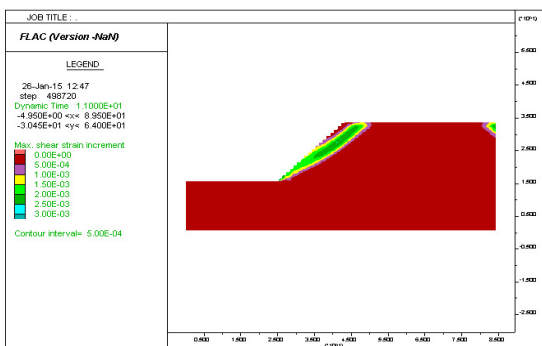
محدوده پلاستیک تقریباً برای همه ارتفاعات یکسان است اما با افزایش ارتفاع محدوده‌ای که در آن کرنش برشی پلاستیک اتفاق می‌افتد بزرگتر می‌شود. به منظور اختصار از آوردن همه گراف‌ها پرهیز شده است و فقط گراف‌های مربوط به کرنش برشی آورده می‌شوند. همچنین از آنجایی که از این به بعد همه گراف‌ها برای زمان $t = 11 \text{ sec}$ هستند، از نوشتن این زمان در زیر نمودارها پرهیز می‌شود.

جدول ۴. بیشینه جابجایی افقی تاج شیروانی در حالت دینامیکی در زمان $t = 11 \text{ sec}$ و مقدار جابجایی برای تحلیل استاتیکی

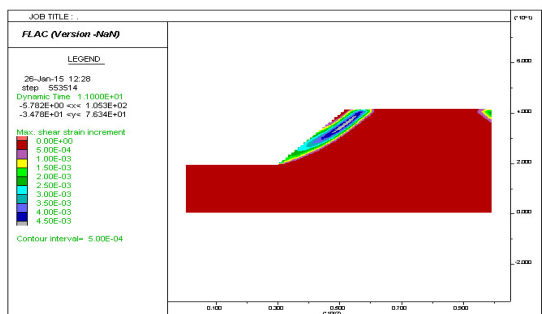
ارتفاع (m)	۲۲	۱۸	۱۴	۱۰	
جابجایی افقی تاج در حالت دینامیکی (CM)	۲۵/۱۶۹	۲۴/۱۶۳	۲۳/۴۵۲	۲۳/۳۱۴	
جابجایی افقی تاج در حالت استاتیکی (CM)	۱/۱۴۴	۰/۸۷۸	۰/۴۸۲	۰/۲۳۳	



شکل ۲۰. کانتور کرنش برشی شیروانی با ارتفاع ۱۴



شکل ۲۱. کانتور کرنش برشی شیروانی با ارتفاع ۱۸

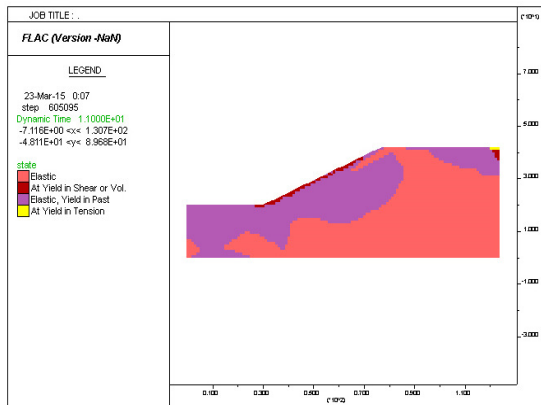


شکل ۲۲. کانتور کرنش برشی شیروانی با ارتفاع ۲۲

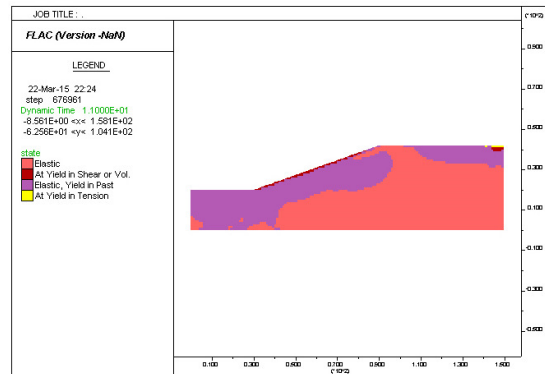
۴-۵- بررسی اثر زاویه شیب

در این مرحله، برای بررسی اثر زاویه شیب، یک شیروانی با ارتفاع ۲۲ متر و زوایای مختلف ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ درجه در نظر گرفته شده و مورد تحلیل لرزه‌ای قرار می‌گیرند. شکل‌های ۲۳ تا ۲۸ محدود ناحیه پلاستیک را برای مدل‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور

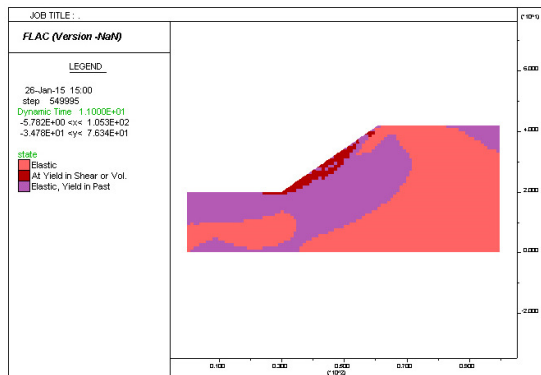
که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه شیب محدوده ناحیه پلاستیک عمیق‌تر شده و همچنین محدوده پلاستیک برشی از پاشنه شیروانی به سمت سطح شیروانی شکل می‌گیرد و عمق آن بیشتر می‌شود، این محدوده با رنگ تیره‌تر در ناحیه پلاستیک مشخص شده است.



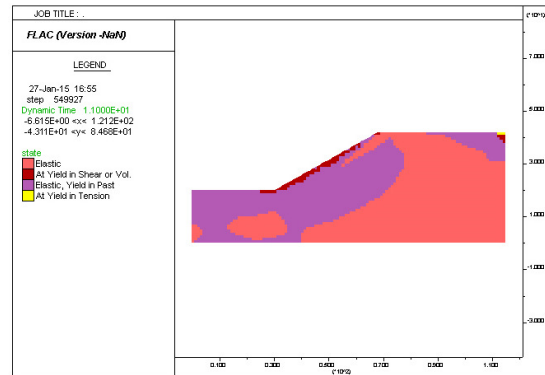
شکل ۲۴. محدوده ناحیه پلاستیک شیروانی با زاویه سطح شیب ۲۵ درجه



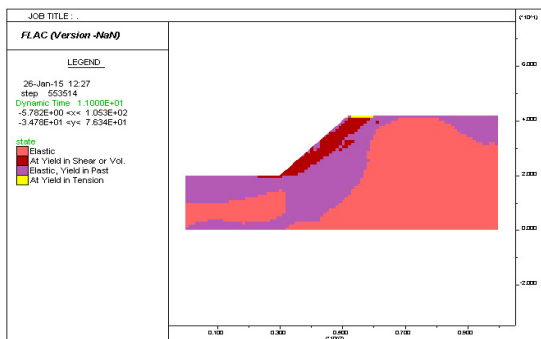
شکل ۲۳. محدوده ناحیه پلاستیک شیروانی با زاویه سطح شیب ۲۰ درجه



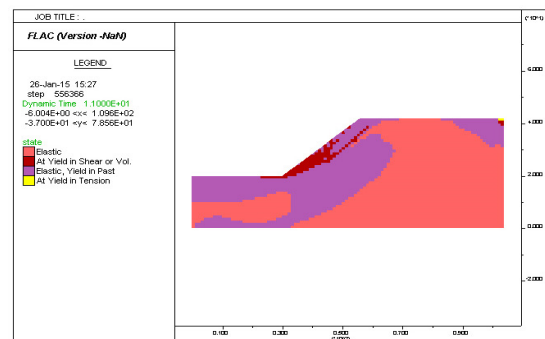
شکل ۲۶. محدوده ناحیه پلاستیک شیروانی با زاویه سطح شیب ۳۵ درجه



شکل ۲۵. محدوده ناحیه پلاستیک شیروانی با زاویه سطح شیب ۳۰ درجه



شکل ۲۸. محدوده ناحیه پلاستیک شیروانی با زاویه سطح شیب ۴۵ درجه



شکل ۲۷. محدوده ناحیه پلاستیک شیروانی با زاویه سطح شیب ۴۰ درجه

Vol.5, No.1, pp.7-17.

- Kramer S.L. 1996, "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, Upper Saddle River.
- Spencer, E. (1970), "The Analysis of the Stability of Embankments by the Method of Slices", Ph.D. Thesis, University of Manchester, 1970.
- Kaustav Chatterjee, (2012) and Choudhury "Seismic Stability Analysis of Soil Slopes Using analytical and Numerical Approaches" Indian Society of Earthquake Technology Department of Earthquake Engineering Building IIT Roorkee, Roorkee.
- Lysmer, J., and R. L. Kuhlemeyer. "Finite Dynamic Model for Infinite Media". J. Eng. Mech, 1969, 95 (EM4) , pp.859-877.
- K. V. Priyanka, (2011), "A Numerical Study on the Stability of Slopes under Seismic Conditions" International Journal of Earth Sciences and Engineering ISSN 0974-5904, Volume 04, No 06 SPL, October 2011, pp. 75-78.
- Debarghya Chakraborty and Deepankar Choudhury (2009), "Investigation of the Behavior of Tailings Earthen Dam under Seismic Conditions" American J. of Engineering and Applied Sciences 2 (3): 559-564, 2009 ISSN 1941-7020.
- Makdisi, Seed, (1978), "Simplified procedure for estimation dan and embankment earthquake-induced deformations", Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 104, No, GT7.
- Morgenstern, N. R. and Price, V. E. (1965) The analysis of the stability of general slidesurfaces. Geotechnique. 15, 79-93. 46. Nichol, S.L., Hungr, O., Evans, S.G.
- ITASCA, FLAC2D Version 5. 2005, "Fast Lagrangian Analysis of Continua in 2 Dimensions". ITASCA Consulting Group Inc.
- GEOSTUDIO. 2004. Modeling with SLOPE/W. Geostudio Manuals, Version, 6.02.
- SeismoSignal version 5.1.0 www.seismosoft.com.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله شیروانی‌های خاکی تحت شتاب‌نگاشت طیس به مدت ۳۲ ثانیه مورد تحلیل دینامیکی قرار گرفتند. مطابق با تحلیل‌های انجام شده دیده شد که در حین زلزله و با افزایش زمان ناحیه‌ای پلاستیک در پای شیب ایجاد می‌شود و به سمت میانه و تاج شیب شروع به گسترش می‌کند. در زمان تقریبی $t = 11 \text{ sec}$ ، زون گسیختگی کامل شده و شیروانی کاملاً ناپایدار می‌شود و از این زمان به بعد تحلیل عددی، تغییری را در کانتورها نشان نمی‌دهد. ناحیه پلاستیک ایجاد شده در حالت لرزه‌ای نسبت به تحلیل استاتیکی دارای عمق و محدوده بزرگتری است و این به دلیل نیروی اینرسی زیادی است که نیروی زلزله به زمین اعمال می‌کند. اما با افزایش ارتفاع شیروانی محدوده‌ای که در آن کرنش برشی پلاستیک رخ می‌دهد بزرگتر می‌شود اما همه شیب‌ها در همان زمان قبلی دچار لغزش می‌شوند. با نگاه به نمودار تاریخچه زمانی تغییر مکان زلزله مشاهده می‌شود که در همین زمان بیشترین جابه جایی در نمودار رخ می‌دهد.

۶- مراجع

- Duncan C. Wyllie & Christopher W Mah (2004) "rock slope engineering", Spon Press, London and New York, 4th edition.
- Newmark N. M.(1965) Effect s of Earthquakeson Damsand Embankment s .Geotechnique ,V15, 2, pp.139-160.
- Das, Braja M. 1993, "Principle of Soil Dynamics", Southern Illienois University at CAR Bondale.
- Bowles, J.E. (1997). 'Foundation analysis and design', 5th edition McGraw-Hill.
- Bishop, A W. (1955). "The use of the slip circle in the stability analysis of slopes", Geotechnique,

