

نتایج این بررسی‌ها برای حالت‌های مختلف با یکدیگر مقایسه گردیده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بین ضریب اطمینان، نحوه تشکیل سطح گسیختگی بحرانی، محل و طول شمع و جنس لایه خاک در یک خاکریز، ارتباط منطقی برقرار است. وجود آب باعث کاهش شدید ضریب اطمینان و افزایش تغییر مکان خاکریز به‌ویژه هنگام وقوع زلزله می‌شود. واژه‌های کلیدی: المان محدود، خاکریز، نیروی زلزله، ضرایب اطمینان، ناحیه گسیختگی بحرانی، شمع، تثبیت

بررسی تأثیر نیروی زلزله بر ضرایب اطمینان و تغییر مکان خاکریزهای تقویت شده با شمع

یونس فخاری^۱، محمدرضا عطرچیان^۱، یونس دقیق^۲
 تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۲۳

چکیده

لغزش شیب‌های طبیعی و خاکریزها (شیب‌های ساخته شده توسط بشر) اغلب در هنگام وقوع زلزله اتفاق افتاده و باعث خسارت مالی و تلفات جانی بسیار می‌شود. این پدیده تبدیل به یکی از مسائل مهم پیش روی مهندسان ژئوتکنیک در مقاوم‌سازی ترانشه‌ها خصوصاً در حفاظت از منابع طبیعی گردیده است. در این مقاله به این موضوع مهم پرداخته و اثر مؤلفه جانبی و قائم نیروی زلزله بر ضریب اطمینان و تغییر مکان خاکریز در دو حالت تقویت شده با شمع و بدون شمع و همچنین در حالت خشک و تحت تأثیر آب زیرزمینی در ترازهای مختلف با استفاده از نرم‌افزار PLAXIS مورد بررسی قرار گرفته است. نرم‌افزار فوق بروس المان محدود بوده که می‌تواند با کاهش پارامترهای مقاومتی خاک $\phi - c$ تا حد گسیختگی به محاسبه ضریب اطمینان خاکریز پرداخته (phi-c reduction in plaxis model) و یک ناحیه گسیختگی برشی بحرانی را در خروجی ارائه دهد. در ادامه تحقیق نتایج حاصل از آنالیز مدل‌های مختلف خاکریز مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از این قابلیت برنامه، مدل‌هایی از خاکریز مورد نظر در دو حالت تقویت شده با شمع و بدون شمع آماده شده و با استفاده از المان‌های مثلثی ۱۵ گرهی در حالت کرنش مسطح تحلیل گردیده است. اثر عوامل مختلفی هم‌چون وجود آب در ترازهای مختلف و اثر مؤلفه قائم و افقی نیروی زلزله بر ضریب اطمینان در برابر لغزش و تغییر مکان کلی یک خاکریز رسی - سیلنتی همگن با شیب‌های متفاوت تثبیت شده با شمع و بدون شمع بررسی گردیده و نحوه تشکیل سطح گسیختگی بحرانی در هر دو حالت مورد توجه قرار گرفته است.

مقدمه

استفاده از شمع برای افزایش ضریب اطمینان در برابر لغزش شیب‌ها سابقه دیرینه داشته و در سال‌های اخیر در نقاط مختلف جهان به‌عنوان یک گزینه مناسب نسبت به روش‌های مختلف تقویت و افزایش پایداری شیب‌ها و خاکریزها در حفاظت از منابع طبیعی مورد استفاده قرار گرفته است.

شمع‌هایی که در پایدارسازی شیروانی‌ها استفاده شده‌اند معمولاً در معرض نیروهای جانبی که توسط حرکت افقی خاک اطراف حاصل می‌شود قرار می‌گیرند و لذا به‌عنوان شمع‌های مقاوم نامیده می‌شوند [۲].

در سال ۱۹۹۴ پولس [۴]، روشی را برای طراحی شمع‌ها جهت تقویت شیروانی‌ها ارائه نمود که شامل سه مرحله اصلی می‌باشد.
 ۱- تعیین نیروی برشی لازم جهت افزایش ضریب اطمینان به‌مقدار دلخواه

۲- تعیین حداکثر نیروی برشی که هر شمع می‌تواند برای مقاومت در برابر لغزش در قسمت بالقوه ناپایدار شیروانی ایجاد کند.

۳- انتخاب نوع و تعداد شمع‌ها و مناسب‌ترین مکان این شمع‌ها در شیروانی

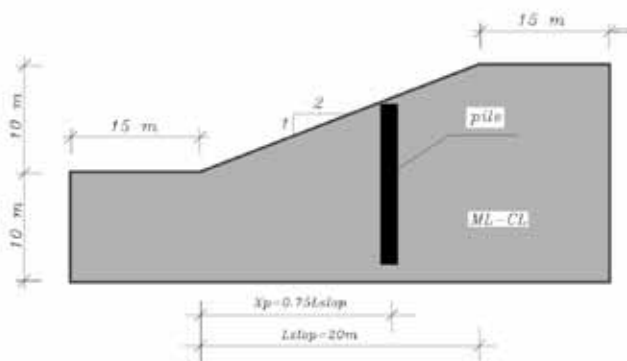
در سال ۲۰۰۲، لیانگ و زینک [۳] مکانیزم قوس‌شدگی خاک تقویت شده با شمع را مورد مطالعه قرار دادند. یکی از مکانیزم‌های اصلی ستون‌های حفر شده برای افزایش پایداری شیروانی‌های خاکی به‌واسطه پدیده قوس‌شدگی خاک است، به‌طوریکه نیروهای میان قطعه‌ای که به توده خاک پشت ستون‌ها منتقل می‌شوند کاهش می‌یابند. در مقاله فوق یک تکنیک تحلیلی اجزای محدود برای مطالعه کمی مکانیزم قوس‌شدگی خاک ارائه گردیده است.

در سال ۲۰۰۶، پولس [۵] روش ساده‌شده‌ای جهت مطالعه یک

۱. کارشناس ارشد مکانیک خاک و پی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان

۲. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان

۳. عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک جهاد کشاورزی و دانشگاه آزاد اسلامی کرج



شکل ۱- مشخصات هندسی خاکریز مورد بررسی

و اندازه آن‌ها نیز از نوع ریز (Fine Mesh Elements) انتخاب شده است.

روش تحقیق و معرفی مدل PLAXIS

جهت تحلیل اثر بارگذاری‌های مختلف برشمع‌ها روش‌های گوناگونی موجود است. در عمل به علت اینکه شمع‌ها تحت اثر بارهای جانبی وقائم قرار می‌گیرند. رفتار شمع تابع عوامل مختلفی مانند لغزش و جداسازی بین شمع و خاک و روند پدیده تسلیم‌شدگی موضعی در خاک بوده که این مورد باعث غیر خطی شدن مسئله خواهد شد.

امروزه با توجه به پیشرفت‌های روز افزون پدید آمده در علوم کامپیوتر، نرم‌افزارهای مختلفی در زمینه روش اجزاء محدود عرضه شده که یکی از مهم‌ترین آنها نرم‌افزار اجزاء محدود PLAXIS است [۱]. این نرم‌افزار توانایی بسیار بالایی در مدل کردن مسائل ژئوتکنیک و محاسبه تنش‌ها و کرنش‌های به وجود آمده در خاک و سازه‌های تقویت‌کننده آن دارد. در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از قابلیت‌های موجود در این برنامه، مدل‌های اجزاء مختلفی از مجموعه شمع و خاک در یک خاکریز با شرایط مختلف محیطی را مورد تحلیل و بررسی قرار داده و نتایج آن را با سایر نرم‌افزارهای موجود مهندسی عمران (FLAC, XSLOP,....) و هم‌چنین با کارهای انجام شده بعضی از محققان در این زمینه مقایسه نمود تا نهایتاً بتوان روش مناسبی را جهت طراحی و ساخت در این زمینه فراهم نمود.

توسعه نرم‌افزار PLAXIS در سال ۱۹۷۸ در دانشگاه دلف هلند آغاز شد. هدف اولیه، فراهم کردن یک برنامه اجزای محدود بوده است که استفاده آسانی داشته باشد. به طوری که اولین بار نیز از این برنامه برای مطالعه خاک‌های رس نرم سواحل هلند استفاده شد. اما امروزه تقریباً در تمام مباحث ژئوتکنیک کاربرد دارد. قابلیت‌های مهم این برنامه که آن را از برنامه‌های مشابه متمایز ساخته است و شرکت‌های بسیاری در زمینه‌های مختلف ژئوتکنیک آن را به خدمت گرفته‌اند عبارتند از:

۱- سهولت استفاده و داشتن منوهای دسترسی آسان برای هر

ردیف شمع برای پایدارسازی شیروانی ارائه نمود. این روش بر مبنای یک فرمول‌بندی جداسازی شده و مستقل می‌باشد، به طوری که پاسخ شمع و پایداری شیروانی جدا از هم در نظر گرفته شد. پاسخ شمعی که تحت حرکت جانبی خاک بر اثر ناپایداری شیروانی قرار گرفته بود با یک روش المان‌های مرزی اصلاح‌شده تحلیل گردیده و برای تحلیل پایداری شیروانی روش قراردادی دایره لغزش بیشاپ ساده شده استفاده گردید. بر پایه این تحلیل‌ها برخی عوامل مهم تأثیرگذار در اجرای شمع‌های مورد استفاده در پایدارسازی شیب‌های ناپایدار، به عنوان یک عامل پیش‌گیرنده در پایداری شیروانی به شرح ذیل حاصل گردید:

برای یک شیروانی با خاک همگن راه‌حل‌های تئوری نشان دادند که شمع‌های قرار گرفته در پنجه یا تاج شیروانی می‌توانند موثرترین پایداری را برای شیروانی تامین کنند. هم‌چنین قطر شمع، فاصله ردیف شمع‌ها و فشار حدی شمع خاک در پایداری شیروانی موثر هستند. در عین حال مدول الاستیسیته خاک و سختی شمع تأثیر کمی در پاسخ کلی پایداری شیروانی شمع نشان دادند. در یک شیروانی با خاک لایه‌ای، شمع‌ها زمانی در افزایش پایداری مؤثرند که در لایه‌های نرم قرار گرفته و به لایه‌های مقاوم تحتانی پایدار نیز نفوذ کرده باشند.

مواد و روش‌ها

مشخصات خاکریز مورد مطالعه

خاکریز انتخاب شده جهت تحلیل و بررسی در مقاله حاضر از نوع خاک رسی-سیلتی مربوط به منطقه شمال کشور در محدوده شهر رامسر می‌باشد که مشخصات مقاومتی آن با توجه به نمونه‌برداری‌های

محلی و انجام آزمایشات ژئوتکنیک به شرح ذیل می‌باشد:

- وزن مخصوص خشک: ۱۷ کیلو نیوتن بر متر مکعب

- وزن مخصوص مرطوب: ۱۹ کیلو نیوتن بر متر مکعب

- ضریب نفوذپذیری در هر دو جهت افقی و قائم:

$$K=10^{-10} \text{ cm/sec}$$

- ضریب ارتجاعی خاک: $E=15000 \text{ KN/m}^2$

- ضریب پواسون: $\nu=0.35$

- ضریب چسبندگی زهکشی شده: $C=25 \text{ KN/m}^2$

- زاویه اصطکاک داخلی زهکشی شده: $\phi=15^\circ$

در آنالیزهای انجام شده شمع بتنی به قطر معادل ۱ متر و وزن مخصوص ۲۵ کیلو نیوتن بر متر مکعب و ضریب ارتجاعی 25000000 کیلو نیوتن بر متر مربع و ضریب پواسون 0.15 در نظر گرفته شده است.

نوع شمع را در نرم‌افزار PLAXIS [۱]، به صورت الاستیک خطی و غیر متخلخل مدل نموده و مدل رفتاری در نظر گرفته شده برای خاک، مدل موهر-کلمب می‌باشد و تحلیل در حالت کرنش مسطح انجام و از المان‌های ۱۵ گرهی استفاده گردیده است. توزیع المان‌ها

یک از بخش‌های آن.

۲- داشتن اطلاعات کلی از روش اجزای محدود برای استفاده از آن کافی است.

۳- تنش‌های اولیه خاک را تعیین کرده و اثر قوس شدگی را نیز در نظر می‌گیرد.

۴- قابلیت تحلیل مرحله به مرحله مسایل را دارد (آزاد شدن تنش‌های زمین پس از حفاری و قبل از اجرای پوشش).

۵- قابلیت شبیه‌سازی اجزای سازه‌ای را داشته و اندرکنش آن با خاک را در نظر می‌گیرد.

۶- مدل‌های مختلف رفتار خاک را می‌شناسد (الاستیک خطی، موهركولمب، سخت شونده، نرم‌شونده و خزشی).

۷- قابلیت بارگذاری استاتیکی و دینامیکی را هم به‌صورت نیرو و هم جابه‌جایی دارد.

۸- خروجی‌های آن به صورت منحنی و نمودار قابل نمایش است.

جدول ۱- نتایج اثر اعمال نیروی جانبی زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز رسی - سیلتی با شیب ۱-۲ در حالت بدون وجود آب

تراز آب زیرزمینی $H_w = 0$			
a_x (m/s ²)	ضریب اطمینان F.S		
	بدون شمع	با شمع	
0	۱/۸۴۰	۲/۰۷۸	
۰/۰۵	۱/۶۲۸	۱/۸۰۵	
۰/۱۰	۱/۴۷۱	۱/۵۸۷	
۰/۱۵	۱/۳۱۵	۱/۴۱۱	
۰/۲۰	۱/۱۹۵	۱/۲۶۴	

جدول ۲- نتایج اثر اعمال نیروی جانبی زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز رسی - سیلتی با شیب ۱-۲ در حالت وجود آب تا تراز ۱۰ متر

تراز آب زیرزمینی $H_w = 10$ m			
a_x (m/s ²)	ضریب اطمینان F.S		
	بدون شمع	با شمع	
0	۱/۷۵۰	۱/۸۸۵	
۰/۰۵	۱/۵۳۱	۱/۶۱۰	
۰/۱۰	۱/۳۵۲	۱/۳۷۵	
۰/۱۵	۱/۱۶۵	۱/۱۸۸	
۰/۲۰	۱/۰۲۶	۱/۰۴۳	

آنالیزهای انجام شده با استفاده از مدل SIXALP

الف: اثر مؤلفه جانبی نیروی زلزله بر ضریب اطمینان در مقابل لغزش خاکریز

جهت بررسی اثر نیروی جانبی زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز رسی - سیلتی با شیب ۱-۲، مؤلفه افقی شتاب زلزله برای مقادیر $a_x = 0.05g, 0.10g, 0.15g, 0.20g$ در دو حالت خاکریز تقویت شده با شمع و بدون شمع و هم‌چنین در حالت بدون وجود آب و تحت آب زیرزمینی اعمال گردید و نتایج حاصل از تحلیل مدل‌های المان محدود در جدول‌های ۱ تا ۴ و شکل‌های ۳ تا ۶ ارائه گردیده است.

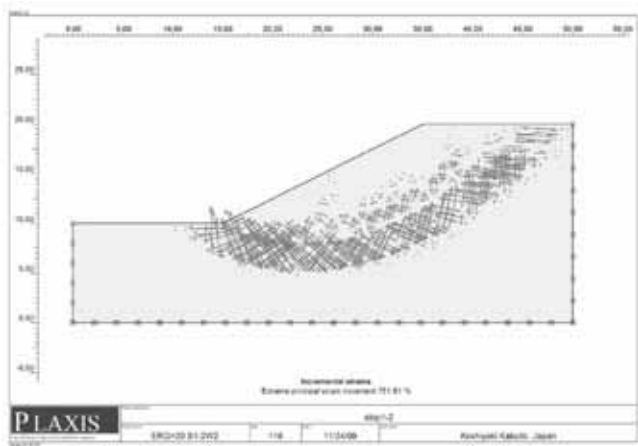
با بررسی جداول ۱ تا ۴ مشاهده می‌کنیم با افزایش شتاب جانبی زلزله، ضریب اطمینان در مقابل لغزش خاکریز به‌شدت کاهش پیدا کرده به‌طوری‌که درصد کاهش آن برای خاکریز بدون شمع ۵۴ درصد و خاکریز با شمع ۶۴ درصد در حالت بدون آب زیرزمینی است. این نسبت برای خاکریز تحت آب زیرزمینی بدون شمع ۷۱

جدول ۳- نتایج اثر اعمال نیروی جانبی زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز رسی - سیلتی با شیب ۱-۲ در حالت وجود آب تا تراز ۱۵ متر

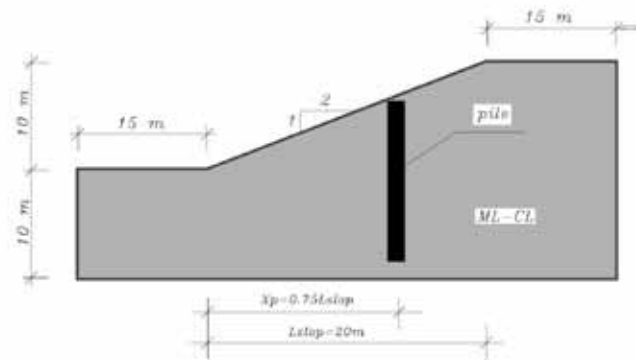
تراز آب زیرزمینی $H_w = 15$ m		
a_x (m/s ²)	ضریب اطمینان F.S	
	بدون شمع	با شمع
0	۱/۴۶۳	۱/۵۹۵
۰/۰۵	۱/۲۸۱	۱/۳۶۰
۰/۱۰	۱/۱۳۳	۱/۱۷۸
۰/۱۵	۰/۹۹۷	۱/۰۲۰
۰/۲۰	گسیختگی	گسیختگی

جدول ۴- نتایج اثر اعمال نیروی جانبی زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز رسی - سیلتی با شیب ۱-۲ در حالت وجود آب تا تراز ۱۹ متر

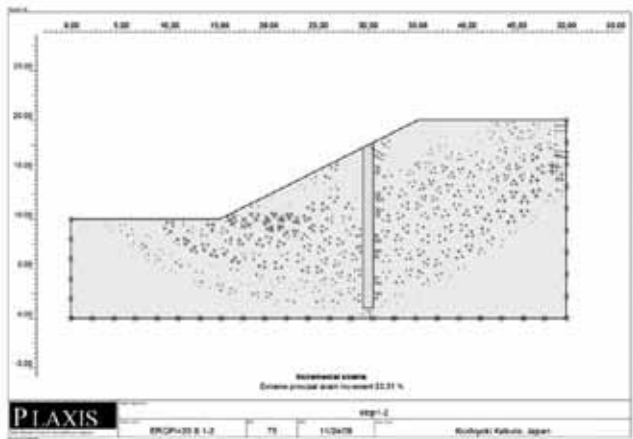
تراز آب زیرزمینی $H_w = 19$ m		
a_x (m/s ²)	ضریب اطمینان F.S	
	بدون شمع	با شمع
0	۱/۲۴۴	۱/۳۶۵
۰/۰۵	گسیختگی	۱/۱۵۳
۰/۱۰	گسیختگی	گسیختگی
۰/۱۵	گسیختگی	گسیختگی
۰/۲۰	گسیختگی	گسیختگی



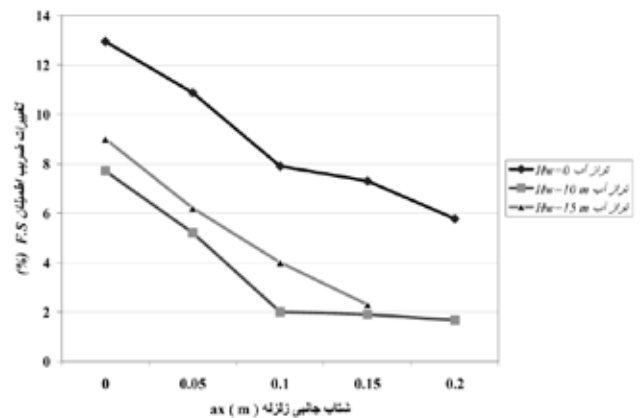
شکل ۴- شکل گسیختگی بحرانی خاکریز بدون شمع با شیب ۲-۱ تحت شتاب جانبی $ax=0.2g$ و تحت آب زیرزمینی تا تراز ۱۵ متر



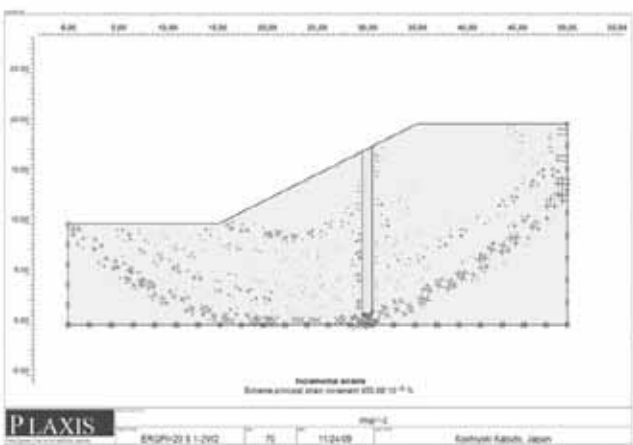
شکل ۲- نمودار درصد تغییرات ضریب اطمینان خاکریز با شیب ۲-۱ تقویت شده با شمع نسبت به خاکریز بدون شمع تحت اثر نیروی جانبی زلزله



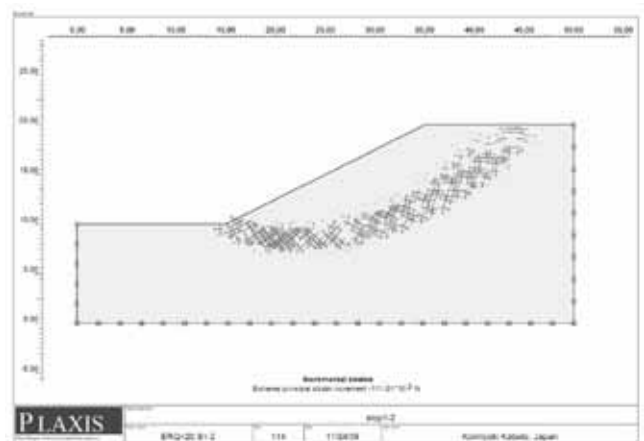
شکل ۵- شکل گسیختگی بحرانی خاکریز تقویت شده با شمع با شیب ۲-۱ تحت شتاب جانبی $ax=0.2g$ و بدون وجود آب



شکل ۲- نمودار درصد تغییرات ضریب اطمینان خاکریز با شیب ۲-۱ تقویت شده با شمع نسبت به خاکریز بدون شمع تحت اثر نیروی جانبی زلزله



شکل ۶- شکل گسیختگی بحرانی خاکریز تقویت شده با شمع با شیب ۲-۱ تحت شتاب جانبی $ax=0.2g$ و تحت آب زیرزمینی تا تراز ۱۵ متر



شکل ۳- شکل گسیختگی بحرانی خاکریز بدون شمع با شیب ۲-۱ تحت شتاب جانبی $ax=0.2g$ و بدون وجود آب

درصد و باشمع ۸۰ درصد به دست آمده است.

در جدول شماره ۵، درصد افزایش ضریب اطمینان خاکریز با شیب ۱-۲، در حالت تقویت با شمع نسبت به خاکریز بدون شمع و تحت شتاب جانبی زلزله ارائه شده است. با مطالعه نتایج جدول ۵ و شکل ۲ مشاهده می شود درصد افزایش ضریب اطمینان خاکریز تقویت شده با شمع نسبت به خاکریز بدون شمع با افزایش شتاب جانبی زلزله کاهش می یابد. در شکل های شماره ۳ تا ۶ نحوه گسیختگی ناحیه بحرانی خاکریز با شیب ۱-۲ در حالت اعمال نیروی زلزله نشان داده شده است.

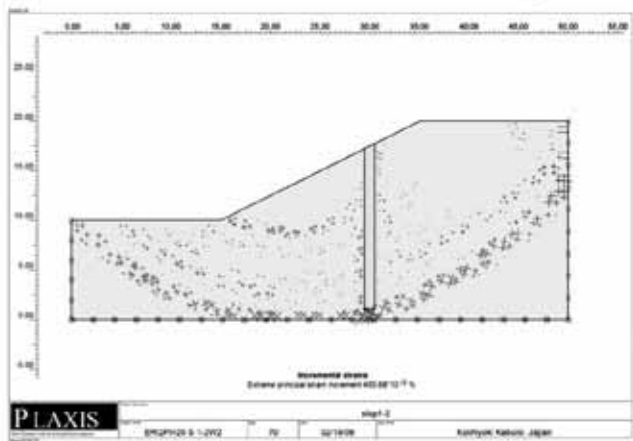
ب: اثر مؤلفه جانبی و قائم نیروی زلزله بر ضریب اطمینان مقابل لغزش خاکریز

جهت بررسی اثر هم زمان نیروی جانبی و قائم زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز سیلتی-رسی با شیب ۱-۲، مؤلفه افقی شتاب

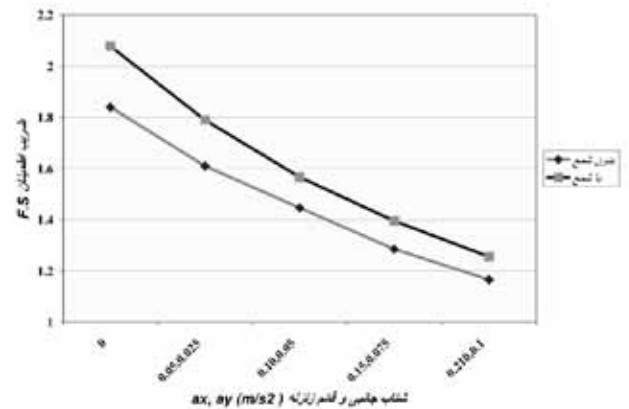
زلزله برای مقادیر $0.2g, 0.15g, 0.1g, 0.05g$ همراه $a_x=0.05g$ و $a_y=0.025g, 0.05g, 0.075g, 0.1g$ با مقادیر، در دو حالت خاکریز تقویت شده با شمع و بدون شمع اعمال نموده و نتایج حاصل از تحلیل مدل های المان محدود در نمودار شکل ۷ ارائه گردیده است.

با بررسی نمودار شکل ۷ مشاهده می کنیم با افزایش شتاب جانبی و قائم زلزله بطور هم زمان، ضریب اطمینان در مقابل لغزش خاکریز به شدت کاهش پیدا کرده به طوری که درصد کاهش آن برای خاکریز با شیب ۱-۲ در حالت بدون شمع ۵۸ درصد و خاکریز با شمع ۶۶ درصد در حالت بدون آب زیرزمینی است.

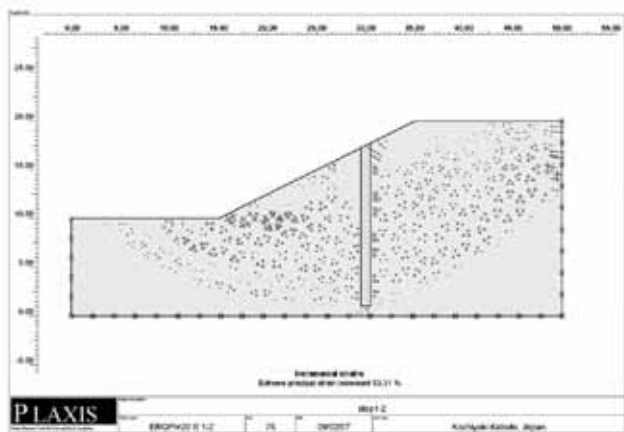
در نمودار شکل ۸ اثر نیروی جانبی زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز با اثر هم زمان مؤلفه قائم و جانبی جهت مقایسه ارائه شده است. با بررسی نمودار شکل فوق نتیجه می گیریم که بر اثر اعمال



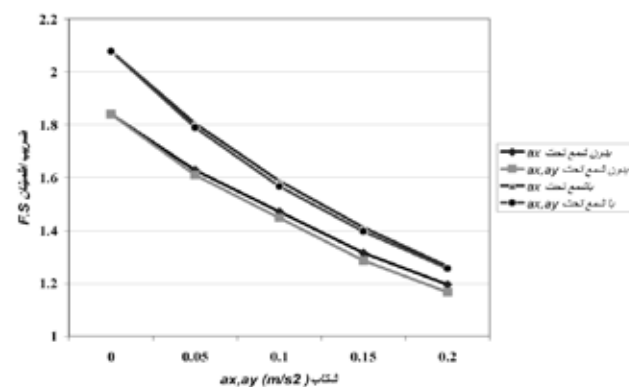
شکل ۹- شکل گسیختگی بحرانی خاکریز با شیب ۱-۲ تحت مؤلفه افقی و قائم زلزله در حالت بدون آب زیرزمینی



شکل ۷- نمودار اثر هم زمان مؤلفه قائم و جانبی نیروی زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز با شیب ۱-۲ تقویت شده با شمع و بدون شمع



شکل ۱۰- شکل گسیختگی بحرانی خاکریز با شیب ۱-۲ تحت مؤلفه افقی و قائم زلزله تحت آب زیرزمینی تا تراز ۱۵ متر



شکل ۸- نمودار مقایسه اثر مؤلفه افقی تنها و اثر هم زمان مؤلفه قائم و افقی نیروی زلزله بر ضریب اطمینان خاکریز با شیب ۱-۲ تقویت شده با شمع و بدون شمع

یا تحت آب زیرزمینی، تغییر مکان کلی خاکریز تقویت شده با شمع در حدود ۱/۸۷ درصد نسبت به حالت بدون استفاده از شمع کاهش نشان می‌دهد.

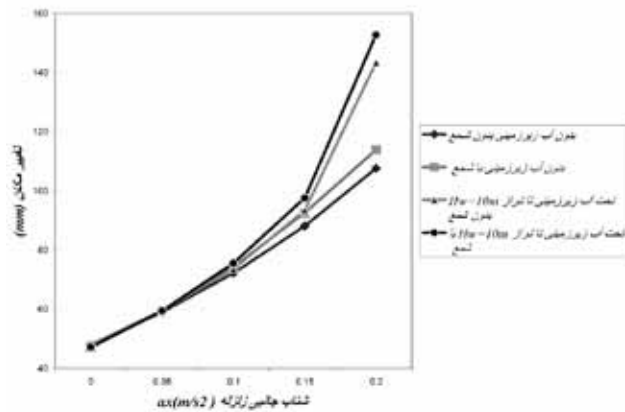
• وقتی خاکریز تحت نیروی جانبی زلزله با شتاب جانبی $a_x = 0.05g$ است چه در حالت خشک یا تحت آب زیرزمینی، تغییر مکان کلی خاکریز تقویت شده با شمع نسبت به حالت بدون استفاده از شمع تفاوت محسوسی نشان نمی‌دهد.

• وقتی خاکریز تحت نیروی جانبی زلزله با شتاب جانبی $a_x = 0.1g, 0.15g, 0.20g$ است چه در حالت خشک یا تحت آب زیرزمینی، تغییر مکان کلی خاکریز تقویت شده با شمع به ترتیب در حدود ۳ درصد و ۶ درصد نسبت به حالت بدون استفاده از شمع افزایش نشان می‌دهد. افزایش جزئی تغییر مکان کلی خاکریز با شمع به دلیل تأثیر وزن شمع در زمان زلزله می‌باشد. لیکن در شرایط اعمال بار زلزله ضریب اطمینان خاکریز افزایش یافته است.

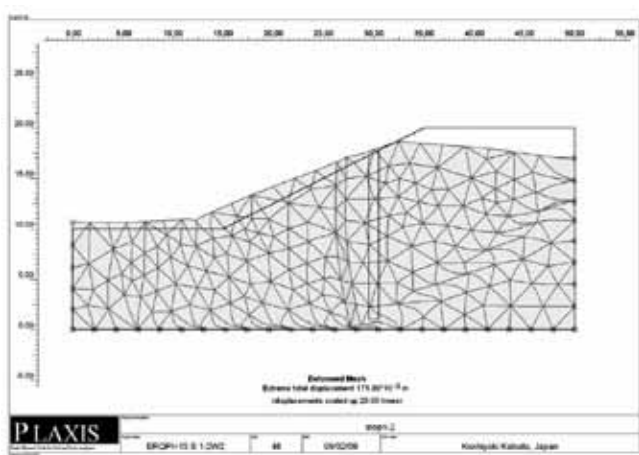
هم‌زمان مؤلفه قائم و افقی نیروی زلزله برخاکریز، ضریب اطمینان خاکریز نسبت به حالتی که تحت شتاب جانبی تنهاست بین (۱ تا ۱/۸) درصد کاهش می‌یابد. در شکل‌های شماره ۹ و ۱۰ شکل گسیختگی ناحیه بحرانی خاکریز در حالت اعمال هم‌زمان مؤلفه قائم و افقی نیروی زلزله بر خاکریز نشان داده شده است.

پ: اثر مؤلفه افقی نیروی زلزله تنها بر تغییر مکان خاکریز در نمودارهای شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نتایج حاصل از آنالیز مدل‌های المان محدود خاکریز با شیب ۱-۲، تحت اثر اعمال نیروی جانبی زلزله با شتاب‌های $a_x = 0.05g, 0.10g, 0.15g, 0.20g$ در دو حالت تقویت شده با شمع و بدون شمع ارائه گردیده است. با بررسی و مطالعه نتایج شکل ۱۱ موارد زیر نتیجه‌گیری می‌شود:

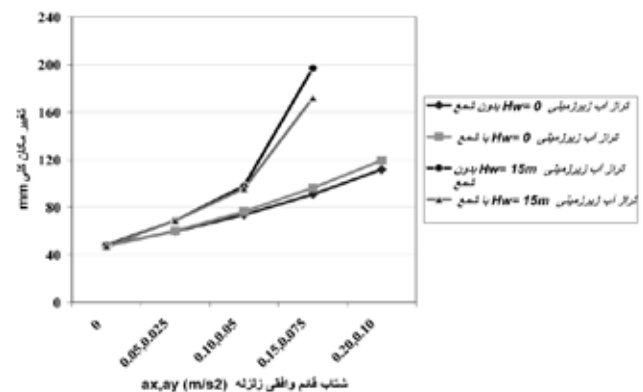
• وقتی خاکریز فقط تحت بار ثقلی است چه در حالت خشک



شکل ۱۱- نمودار اثر نیروی جانبی زلزله بر تغییر مکان کلی خاکریز با شیب ۱-۲ در دو حالت خشک و تحت آب زیرزمینی تقویت شده با شمع و بدون شمع



شکل ۱۳- نحوه تغییر شکل خاکریز با شیب ۱-۲ تحت اثر هم‌زمان مؤلفه جانبی و قائم زلزله تقویت شده با شمع خاکریز در حالت وجود آب تا تراز ۱۵ متر



شکل ۱۲- نمودار اثر اعمال هم‌زمان مؤلفه قائم و افقی نیروی زلزله بر تغییر مکان کلی خاکریز با شیب ۱-۲ در حالت خشک و تحت آب زیرزمینی تقویت شده با شمع و بدون شمع

• با بررسی جداول و نمودارها مشاهده می‌شود وقتی خاکریز تحت نیروی جانبی زلزله با شتاب جانبی $a_x = 0.2g$ قرار می‌گیرد تغییر مکان کلی خاکریز نسبت به حالت بدون زلزله به شدت افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال این مقدار برای حالتی که خاکریز تحت آب زیرزمینی تا تراز ۱۰ متر قرار دارد، برای خاکریز تقویت شده با شمع ۳۲۴ درصد و بدون شمع حدود ۳۰۰ درصد به دست آمده است. لذا نتیجه می‌گیریم زلزله اثر بسیار نامطلوبی بر افزایش تغییر مکان خاکریز دارد و به همین دلیل اکثر لغزش‌ها در زمان وقوع زلزله اتفاق می‌افتد.

د: اثر اعمال هم‌زمان مؤلفه قائم و افقی نیروی زلزله بر تغییر مکان خاکریز

در نمودار شکل ۱۲ نتایج حاصل از آنالیز مدل‌های المان محدود خاکریز با شیب (۱-۲)، تحت اثر اعمال هم‌زمان مؤلفه قائم و افقی نیروی زلزله با شتاب‌های $a_x = 0.05g, 0.10g, 0.15g, 0.20g, a_y = 0.50a_x$ در دو حالت تقویت شده با شمع و بدون شمع ارائه شده است. با بررسی نمودار شکل ۱۲ و مقایسه آن با نمودار شکل ۱۱ که خاکریز صرفاً تحت مؤلفه جانبی می‌باشد مشاهده می‌شود که رفتار خاکریز تحت اعمال هم‌زمان مؤلفه قائم و افقی زلزله مشابه خاکریز تحت مؤلفه افقی است. نتایج حاصل از نمودار شکل ۱۲ را می‌توان بصورت خلاصه به شرح ذیل ارائه کرد.

• در شرایطی که خاکریز تحت آب زیرزمینی قرار ندارد افزایش تغییر مکان خاکریز تقویت شده با شمع نسبت به خاکریز بدون شمع در حدود ۶ درصد است. لازم به ذکر است استفاده از شمع در خاکریز در شرایطی که خاکریز صرفاً تحت تأثیر بارهای ثقلی است باعث کاهش تغییر مکان کلی می‌شود.

• در حالتی که خاکریز تحت آب زیرزمینی تا تراز میانی قرار داشته و تحت نیروی قائم و افقی زلزله است تغییر مکان به شدت افزایش پیدا می‌کند. این افزایش مقدار ۱۱۷ درصد برای خاکریز بدون شمع و مقدار ۷۹ درصد برای خاکریز تقویت شده با شمع را نشان می‌دهد که می‌توان نتیجه گرفت وجود آب زیرزمینی در خاکریز اثر بسیار نامطلوب و حتی مخرب در پایداری و تغییر مکان خاکریز دارد. لذا باید با در نظر داشتن ملاحظات اقتصادی و جنبه‌های اجرایی از نفوذ آب به آن جلوگیری کرد.

در شکل ۱۳ نحوه تغییر شکل خاکریز با شیب ۱-۲ و شمع تقویت کننده آن تحت اثر هم‌زمان مؤلفه جانبی و قائم زلزله در حالت وجود آب تا تراز ۱۵ متر نشان داده شده است. با توجه به شکل تغییر یافته شمع می‌توان نتیجه گرفت شمع تحت لنگر خمشی قرار گرفته است و لذا لازم است کنترل سازه‌ای انجام گردد.

نتیجه‌گیری

از مجموع بررسی‌ها و آنالیز مدل‌های مختلف خاکریز در تحقیق حاضر نتایجی به شرح ذیل حاصل گردیده است:

۱- نیروهای جانبی زلزله اثر بسیار کاهنده بر ضریب اطمینان در برابر لغزش داشته و تغییر مکان کلی خاکریز را به شدت افزایش می‌دهد.

۲- اثر اعمال هم‌زمان مؤلفه قائم و جانبی زلزله ضریب اطمینان خاکریز با شیب‌های متفاوت را در حدود ۱ تا ۲ درصد کاهش داده و مقادیر تغییر مکان کلی را بین ۵ تا ۱۰ درصد افزایش می‌دهد.

۳- با افزایش اثر اعمال هم‌زمان شتاب جانبی و قائم زلزله و رسیدن به مقدار $a_x = 0.20g$ و $a_y = 0.50a_x$ ضریب اطمینان در مقابل لغزش خاکریز به شدت کاهش پیدا کرده به طوری که درصد کاهش آن برای خاکریز با شیب ۱-۲ در حالت بدون شمع ۵۸ درصد و خاکریز با شمع ۶۶ درصد در حالت بدون آب زیرزمینی است. در حالتی که خاکریز با شیب ۱-۲ تحت آب زیرزمینی تا تراز میانی قرار داشته و تحت نیروی قائم و افقی زلزله است تغییر مکان به شدت افزایش پیدا می‌کند. این افزایش مقدار ۱۱۷ درصد برای خاکریز بدون شمع و مقدار ۷۹ درصد برای خاکریز تقویت شده با شمع را نشان می‌دهد.

۴- می‌توان نتیجه گرفت وجود آب زیرزمینی در خاکریز اثر بسیار نامطلوب و حتی مخرب در پایداری و تغییر مکان خاکریز دارد. لذا باید با در نظر داشتن ملاحظات اقتصادی و جنبه‌های اجرایی از نفوذ آب به آن جلوگیری کرده و یا این که طرح زهکش مناسبی ارائه گردد تا فشار آب حفره‌ای خاکریز کم‌تر شود.

پیشنهادات و توصیه‌های فنی

با توجه به بررسی‌های انجام شده روی مدل‌های متعدد المان محدود، پیشنهاد می‌شود موارد مشروحه ذیل را در آنالیز و طراحی و اجرای پروژه‌های تقویت خاکریز با شمع مد نظر قرار گیرد.

۱- شناخت و تعیین دقیق مشخصات مقاومتی خاک شامل ضریب چسبندگی C و ضریب زاویه اصطکاک داخلی ϕ ، مدول الاستیسیته، ضریب پواسون و غیره با استفاده از نتایج آزمایش‌های صحرائی و آزمایشگاهی ضروری است.

۲- در ساخت مدل المان محدود، محدوده هندسی و شرایط مرزی مورد نیاز مدل (boundary condition)، باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد تا نتایج حاصل از آنالیز واقعی‌تر و قابل اعتماد باشد.

۳- با توجه به اثر بسیار نامطلوب و کاهش شدید ضریب اطمینان در برابر لغزش و افزایش تغییر مکان‌های خاکریز، در شرایطی که احتمال بالا آمدن سطح آب زیرزمینی وجود دارد، تعیین دقیق حداکثر تراز سطح آب در پروژه‌های اجرایی از لحاظ ایمنی و اقتصادی بسیار ضروری است.

۴- با توجه به اینکه افزایش مؤلفه قائم و افقی شتاب زلزله اعمال شده به خاکریز، تأثیر بسیار زیادی در کاهش ضریب اطمینان و افزایش ضریب اطمینان خاکریز دارد، لذا توصیه می‌شود مطالعات لرزه خیزی ساختگاه برای تعیین ضرائب مربوط به زلزله انجام گیرد.

۵- در استفاده از شمع جهت تقویت و افزایش پایداری خاکریز،

Computers and Geotechnics. 17: 1-16.

3- Liang, R. and Zeng, S. 2002. Numerical Study of Soil Arching Mechanism in Drilled Shafts for Slope Stabilization. Soils and Foundations. 42 (2): 83-92.

4- Poulos, H.G. 1995. Design of Reinforcing Piles to Increase Slope Stability. Canadian Geotechnical Journal. 32: 813-817.

5- Poulos, H.G. 2006. Design of Slope Stabilizing Piles. Research Report No. T784. School of Civil and Mining Engineering, University of Sydney, Australia.

در تعیین طول، قطر و محل قرارگیری شمع، حداقل ضریب اطمینان و حداکثر تغییر مکان قابل قبول خاکریز که توسط آئین‌نامه‌های مربوط تعیین شده است و همچنین در نظر داشتن هزینه‌های اجرایی، امکان اجرای شمع و مسائل سازه‌ای و غیره باید با هم در نظر گرفته شود.

منابع

1- Brinkgreve, R.B.J. and Vermeer, P.A. 2003. Plaxis, Finite Element Code for Soil and Rock Analyses Bulletin, Issue 14, Rotterdam, Netherlands, September.

2- Lee, C.Y., Hall, T.S. and Poulos, H.G. 1995. Simplified Pile-Slope Stability Analysis.