Archive of SID

مطالعه رفتار استاتیکی و دینامیکی شیروانی‌های خاکی مسلح شده با ژئوگرید با ملاحظه اثر آب زیرزمینی

معین خوشرو[۱] ، سعید اسمعیلی ابیازنی[۲]

۱-دانشجوی دکتری، مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه علم و صنعت،ایران
۲-کارشناس ارشد عمران،مهندسی ژئوتکنیک ، دانشگاه آزاد اسلامی، ایران

چکیده
با توجه به افزایش روزافزون احداث ابنیه، جاده‌ها، راه‌آهن و غیره در مناطق کوهستانی و پرشیب، لزوم پایدارسازی شیب‌های طبیعی و مصنوعی مانند پایه و کوله پل‌ها، دیوار حائل و ... بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است و از طرفی دیوار خاک مسلح دارای مزایای زیادی می‌باشد که از آن جمله می‌توان به اقتصادی بودن، رفتار مناسب در برابر زلزله و ظاهر زیبا اشاره نمود. کشور ما ایران، از مناطقی با لرزه‌خیزی شدید در دنیا محسوب می‌شود و از آنجا که این سیستم سازه نگهبان، به‌صورت دائمی می‌باشد بنابراین مطالعه دینامیکی این سیستم و در نتیجه نیاز به تحقیقات بیشتر جهت استفاده بهینه و منطقی وجود دارد. هدف از انجام این پژوهش بررسی عددی پایداری شیروانی های مسلح با ژئوگرید تحت بار استاتیکی و دینامیکی با ملاحظه آب زیرزمینی می باشد. جهت تحقق هدف در این پژوهش از نرم افزاری مبتنی بر روش تفاضل محدود استفاده شده است. لذا قبل از ساخت مدل اصلی، صحت عملکرد نرم افزار با مدلسازی یک مقاله معتبر مورد بررسی قرار گرفته و نتایج آن ها تطبیق داده شد.

واژگان کلیدی: شیروانی‌های خاکی ، ژئوگرید، سفره آب زیرزمینی، تحلیل دینامیکی، خاک مسلح

مقدمه
این راهنما به منظور یکی از مهم‌ترین و در عین حال مشکل‌ترین مباحث مکانیک خاک مسئله پایداری شیروانی‌ها است. لغزش‌های زمین در شرایط بسیار متفاوتی به وقوع می‌پیوندد. این لغزش‌ها ممکن است در شیب‌های طبیعی و یا شیروانی‌های حاصل عمل انسان رخ دهند و وقوع این لغزش‌ها ممکن است یک‌باره صورت گیرد و یا چندین ماه و حتی سال‌ها به طول انجامد.
در حالت شیب‌های طبیعی، گسیختگی معمولاً به مسائل مربوط به جریان آب یا فرسایش پای توده در اثر آب شستگی رودخانه یا دریا و یا وقوع زلزله مربوط می‌شود.(Ling, H.I., Leshchinsky, D. and Chou, N.N., 2001) . در شیروانی‌های حاصل از عملیات خاک‌برداری و خاک‌ریزی نیز مسائل گسیختگی در دراز مدت بیشتر مطرح می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

ژئوگریدها به‌عنوان یکی از انواع ژئوسنتتیک ها محصولاتی پلیمری هستند از جنس پلی‌اتیلن، پلی پروپلین یا پلی‌استر که معمولاً به شکل شبکه‌های مشبک منظم در یک جهت و یا دو جهت ساخته می‌شوند. کشیدن مصالح پلیمری آن‌ها را محکم‌تر و سخت‌تر می‌کند .(Ali, F.H., 1993). ژئوگریدها نسبت به ژئوتکستایل ها دارای حفره‌های نسبتاً بزرگتری هستند و کاربرد آن‌ها بیشتر در دو زمینه تسلیح (کاربرد اصلی) و جداسازی (کاربرد ثانویه) می‌باشد. این شبکه‌ها و به خصوص حفره‌های میان آن‌ها موجب می‌شوند که ذرات خاک و مصالح سنگی به خوبی با آن‌ها درگیر شده و مجموعه ژئوگرید و مصالح اطراف آن از خاصیت قفل و بست خوبی برخوردار گردند.(El Sawwaf, M.A., 2007). به این ترتیب ژئوگرید به کار گرفته شده در لایه‌های خاکریز، همانند عناصر مقاوم در مقابل کشش عمل کرده و در نواحی که تنش‌ها و تغییرشکل‌های کششی در خاک به وجود می‌آید، به خوبی می‌تواند نیروها و تغییرشکل‌ها را در خود مهار نماید.

استفاده از ژئوسنتتیک های پلیمری نظیر ژئوتکستایل ها و ژئوگریدها جهت تسلیح خاکریزهای مستقر بر روی پی‌های نرم، احداث خاکریزهایی با شیب تند و یا خاکریزهایی با ارتفاع زیاد به سرعت در حال گسترش است. با تسلیح خاکریزها توسط شبکه‌های پلیمری می‌توان ضریب اطمینان پایداری خاکریز را در مقابل لغزش و شرایط نامساعد محیطی و ژئوتکنیکی را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش داد(Kolymbas, D, 2005) . مهم‌ترین محاسن به‌کارگیری عناصر مسلح کننده در خاکریزها عبارتند از:

- تعریض جاده‌های قدیمی و امکان احداث خاکریزهایی با شیب تندتر و ارتفاع بیشتر و در نتیجه آن صرفه‌جویی در حجم عملیات خاکریزی، خاکبرداری ، حمل‌ونقل و تراکم لایه‌های خاکریز
- جداسازی بستر طبیعی زمین از لایه‌های خاکریز
- جداسازی بستر روسازی از لایه‌های مصالح شنی روسازی
- بالا بردن ضرایب اطمینان پایداری خاکریز در برابر لغزش و تغییر شکل در شرایط مختلف بهره‌برداری و حالات خاص بارگذاری نظیر زلزله
- امکان احداث خاکریزهایی که به‌طور مستقیم بر روی زمین‌های نرم و سست مستقر می‌شوند
- احداث خاکریزهایی با پایداری و مقاومت کافی در مقابل شرایط محیطی مخرب نظیر سیلاب و یا سایر عوامل فرساینده
- کاهش ضخامت لایه‌های خاکریز
- امکان کاهش زمان اجرای خاکریز
- صرفه‌جویی در هزینه‌های دوره ساخت و نگهداری.

مبانی تحقیق

کشور ما ایران جز مناطق لرزه‌خیز می‌باشد و پایداری شیروانی‌ها با ژئوگرید به طور دائمی در نقاط مختلف همچون شمال و جنوب کشور که سطح آب زیرزمینی بالا می‌باشد رایج است پس نیاز به تحقیقات جهت پایداری شیروانی‌های مسلح شده در حالت استاتیکی و دینامیکی با ملاحظه وجود آب زیرزمینی بسیار مهم می‌باشد.

۱-بررسی تغییرشکل های افقی و قائم شیروانی خاکی مسلح شده در حالت استاتیکی و دینامیکی

۲-تعیین طول بهینه ژئوگریدها ، تعداد لایه‌ها و فواصل مناسب بین لایه‌ها

۳-بررسی ضریب اطمینان پایداری شیروانی خاکی مسلح شده با ژئوگرید

۴- اثر وجود آب زیرزمینی بر شیروانی خاکی مسلح شده با ژئوگرید

روش تحقیق

روش انجام تحقیق عددی بوده و از نرم‌افزار تفاضل محدود FLAC استفاده می‌شود. برای صحت سنجی مدلسازی عددی از مقالات معتبر ISI استفاده می‌گردد.

www.SID.ir

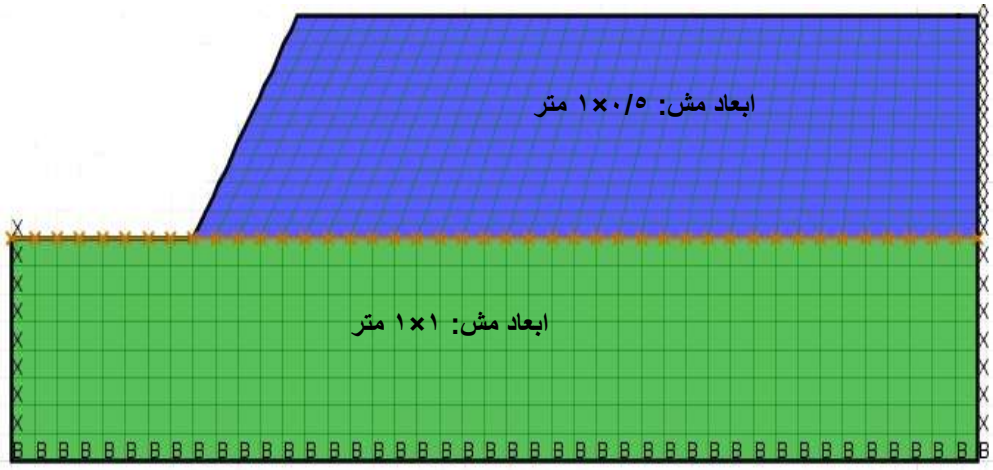
Archive of SID

همچنین به بررسی تأثیر پارامترها بر رفتار شیروانی‌های خاکی مسلح شده در دو حالت استاتیکی و دینامیکی پرداخته و در هر قسمت با انجام تحلیل مربوطه (استاتیکی و دینامیکی) نتایج حاصل ارائه می‌شوند. پارامترهای مورد نظر جهت انجام تحلیل حساسیت در تحقیق شامل ارتفاع شیروانی خاکی، سختی مسلح کننده، فاصله مسلح کننده ، طول مسلح کننده‌ها و اثر آب زیرزمینی می‌باشد.

یافته ها

تعیین ابعاد بهینه مدل و مش

برای انجام تحلیلهای عددی بر روی شیروانی با ارتفاع ۸ متری و با زاویه شیب ۶۰ درجه، مدلی به ابعاد ۱۶×۴۲/۴ انتخاب شد. این ابعاد براساس نتایج تحلیلها و توصیه‌های ارائه شده انتخاب شده است. از دیگر مسائل مهم در تحلیلهای عددی، انتخاب ابعاد بهینه برای مش می‌باشد. مش بسیار بزرگ باعث می‌شود که نتایج درستی حاصل نشود و انتخاب مش با ابعاد خیلی کوچک نیز باعث بالا رفتن زمان تحلیل مساله و خطاهای محاسباتی می‌شود. بنابراین در کارهای عددی، اندازه مش باید بهینه گردد. در این پژوهش ابعاد مش بر مبنای انتقال موج در تحلیل‌های دینامیکی انتخاب شده است. با توجه به تحلیلهای انجام شده مش با ابعاد ۰/۵ تا ۱ متری برای مسئله پیش رو، مش مناسبی می‌باشد.



شکل (۱) انتخاب ابعاد مش جهت تحلیل شیروانی

پارامترهای فیزیکی و مقاومتی خاک

در تحلیل‌های عددی انجام شده، رفتار خاک به صورت پلاستیک (مدل رفتاری موهر-کولمب) در نظر گرفته شده است. مهمترین پارامترهای ورودی لازم برای این مدل شامل دانسیته، مدول بالک، مدول برشی، چسبندگی و زاویه اصطکاک می‌باشد. پارامترهای در نظر گرفته شده برای خاک محدوده شیروانی در جدول (۱) ارائه شده است (Mehrjardi, G.T., Ghanbari, A. and Mehdizadeh, H., 2016).

جدول (۱) پارامترهای فیزیکی و مقاومتی خاک شیروانی

دانسیته (کیلوگرم بر متر مکعب)	مدول بالک (مگاپاسکال)	مدول برشی (مگاپاسکال)	چسبندگی (کیلو پاسکال)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
۱۶۰۰	۲۵	۱۱/۵	۱۰	۲۰

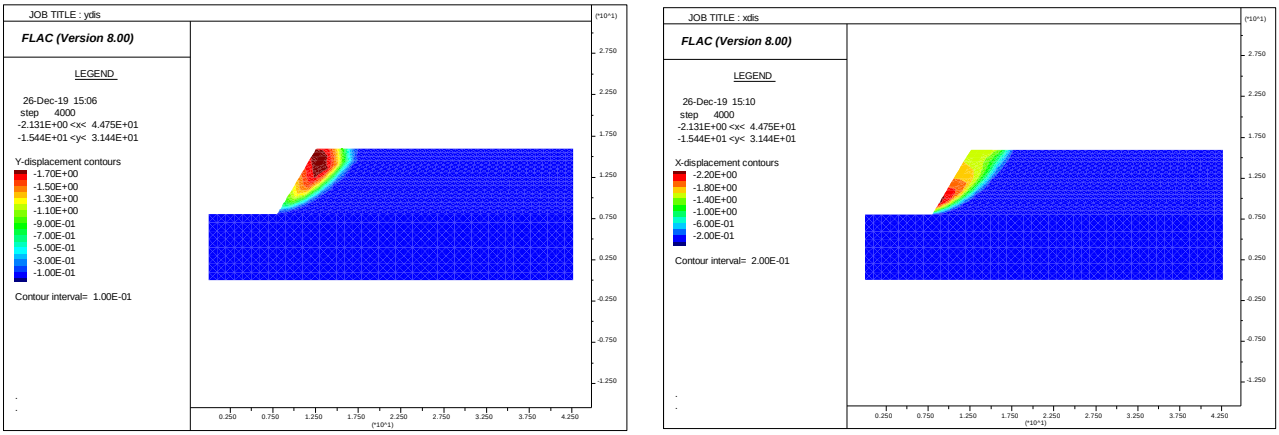
بررسی تعادل اولیه مدل

بعد از ساخت هندسه اولیه و اعمال تنش‌های محیط، با استفاده از مدل رفتاری مورد نظر تعادل مدل بررسی شد. کانتور جابجایی‌هایی مدل ساخته شده قبل از اعمال بار دینامیکی و قبل از نصب لایه‌های ژئوگرید در شکلهای زیر ارائه شده است. با توجه به نتایج

www.SID.ir

Archive of SID

شکلهای زیر قبل از اعمال بار دینامیکی میزان جابجاییهای افقی و عمودی زیادی در مدل ایجاد شده است که بیانگر این است که شیروانی جهت پایداری نیاز به تقویت دارد.



(الف) (ب)

شکل (۲ و۳) کانتور جابجایی های الف) افقی و ب) قائم در شیروانی بدون اعمال بار زلزله بر حسب متر

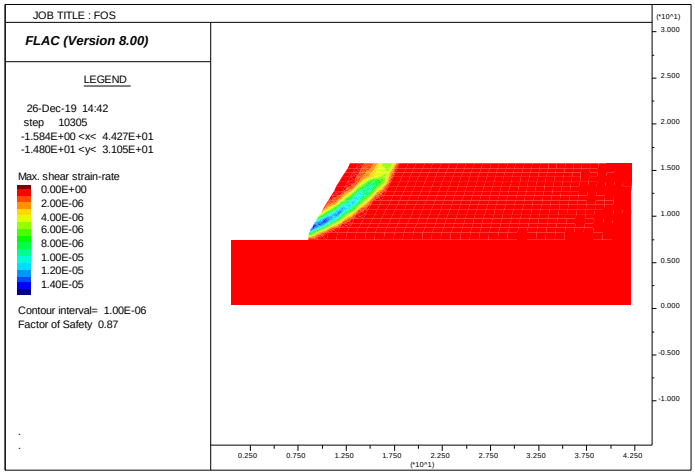
محاسبه فاکتور ایمنی شیروانی

در حال حاضر، استفاده از ضریب اطمینان متداولترین روش طراحی شیروانی‌ها بوده و تحقیقات بسیاری درخصوص کاربرد آن برای تمام شرایط مختلف خاک و سنگ انجام گرفته است. به علاوه برای شیروانی‌های مختلف با کاربردهای گوناگون، مقادیر ضریب اطمینان قابل قبولی تعیین شده است که امکان تهیه طرح‌های کاملا معقول را فراهم می‌کند. بر طبق آئین نامه‌های متفاوت مقدار ضریب ایمنی ترانشه برای شرایط استاتیکی و در دراز مدت ۱/۵ و در حالت موقت ۱/۳ برای طراحی ترانشه کفایت می‌کند. در جدول زیر حداقل ضریب ایمنی لازم برای طراحی شیروانی‌ها ارائه شده است.

جدول (۲) کمینه ضرایب اطمینان مورد نیاز برای شیروانی‌ها

شبه استاتیکی	موقت	استاتیکی	نوع تحلیل
۱/۱	۱/۳	۱/۵	فاکتور اطمینان

در شکل زیر نتایج تحلیل شیروانی مذکور در حالت استاتیکی ارائه شده است. با توجه نتایج بدست آمده این شیروانی دارای ضریب ایمنی ۰/۸۷ می‌باشد. این مقدار ضریب ایمنی پایینتر از حداقل مقدار ضریب ایمنی لازم برای پایداری ترانشه‌ها می‌باشد، بنابراین نیاز به پایدار سازی دارد.



شکل (۴) ضریب ایمنی شیروانی بدون استفاده ازتقویت شیروانی

www.SID.ir

Archive of SID

پایدارسازی ترانشه

با توجه ناپایداری ترانشه مذکور، برای پایدارسازی آن دو نوع سیستم تقویت کننده به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفت.

۱- استفاده از لایه‌های ژئوگرید با فاصله داری ۰/۵ متر

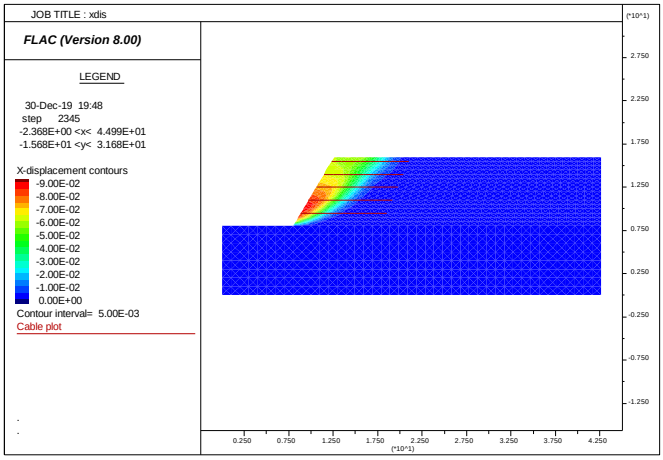
۲- استفاده از لایه‌های ژئوگرید با فاصله داری ۱/۵ متر

همچنین برای ژئوگرید ۳ طول ۶، ۸ و ۱۰ متر در نظر گرفته شد. خصوصیات ژئوگرید استفاده شده در جدول (۳) ارائه شده است. (Giri, D. and Sengupta, A., 2010).

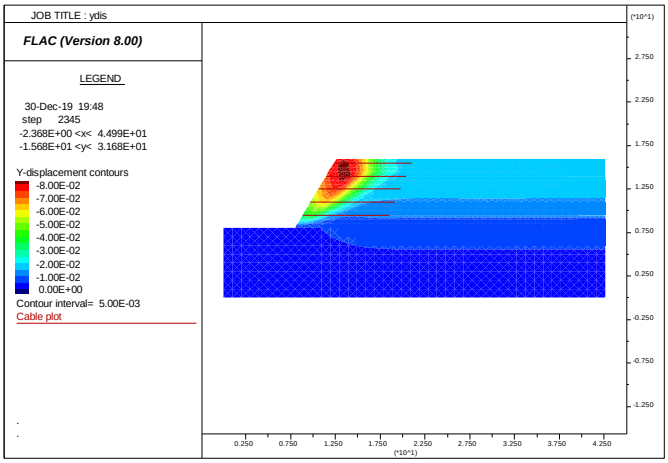
جدول (۳) پارامترهای در نظر گرفته شده برای ژئوگرید

دانسیته (کیلوگرم بر متر مکعب)	مقاومت کششی (کیلو پاسکال)	مدول یانگ (مگاپاسکال)	ضخامت (میلیمتر)
۱۲۰۰	۱۸۶	۲۲۵	۲

نتایج حاصل از اعمال لایه‌های ژئوگرید با فاصله داری ۱/۵ متر و طول ۱۰ متر در هر دو حالت استاتیکی و دینامیکی ارائه شده است. مطابق با نتایج حاصل شده با اعمال سیستم تقویت در شیروانی جابجایی‌ها به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش پیدا می‌کند و ضریب ایمنی افزایش پیدا می‌کند.



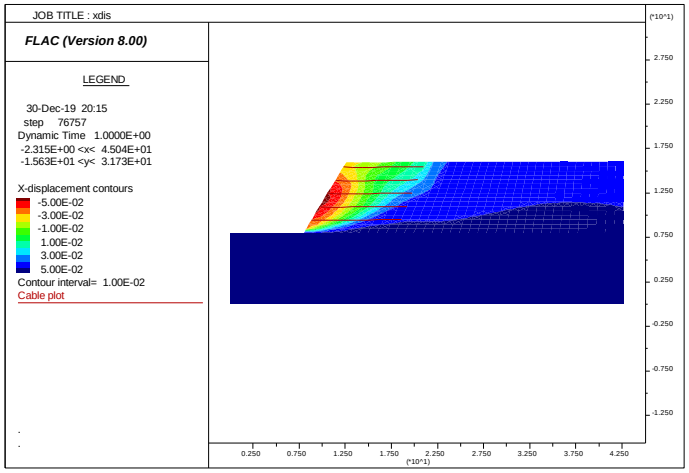
شکل (۵) جابجایی افقی شیروانی در صورت استفاده از ژئوگرید طول ۱۰ متر



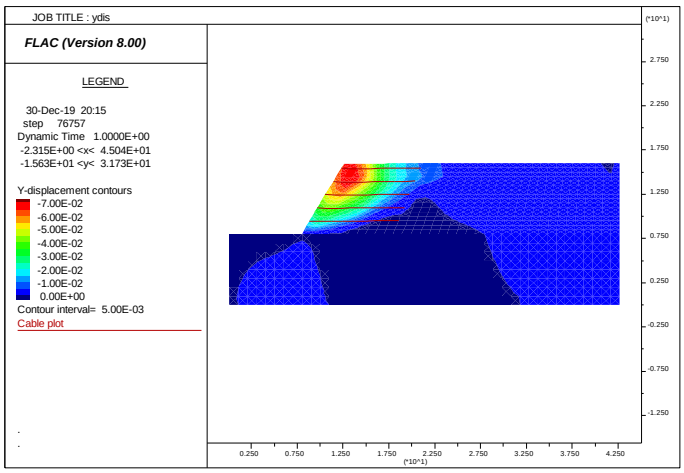
www.SID.ir

Archive of SID

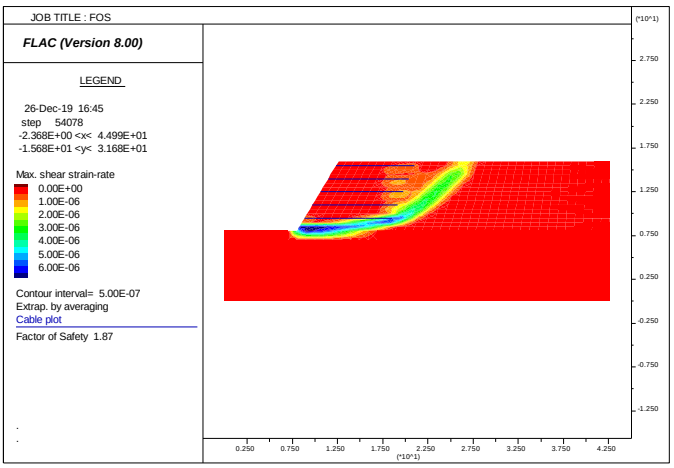
شکل (۶) جابجایی قائم شیروانی در صورت استفاده از ژئوگرید طول ۱۰ متر



شکل (۷) کانتور جابجایی افقی در حالت دینامیکی ، طول ژئوگرید ۱۰ متر



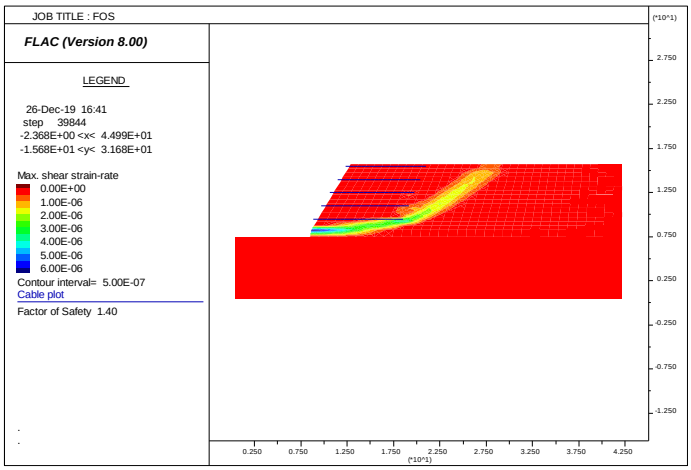
شکل (۸) کانتور جابجایی قائم در حالت دینامیکی، طول ژئوگرید ۱۰ متر



شکل (۹) نتایج تحلیل استاتیکی ضریب ایمنی شیروانی با اعمال لایه‌های ژئوگرید

www.SID.ir

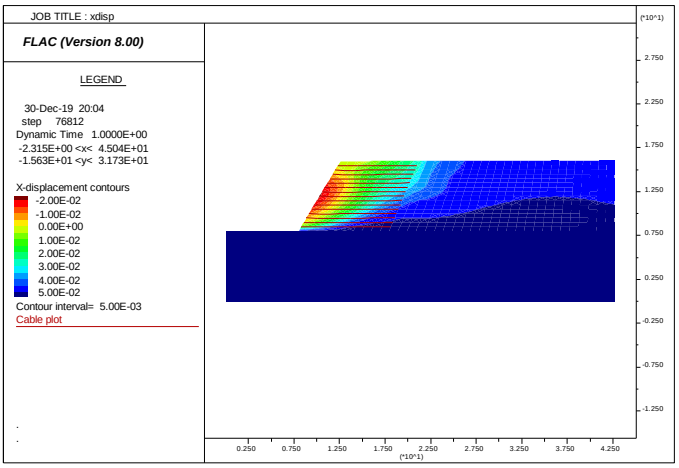
Archive of SID



شکل (۱۰) نتایج تحلیل دینامیکی ضریب ایمنی شیروانی با اعمال لایه ژئوگرید، ضریب زلزله 0.15g

تحلیل دینامیکی

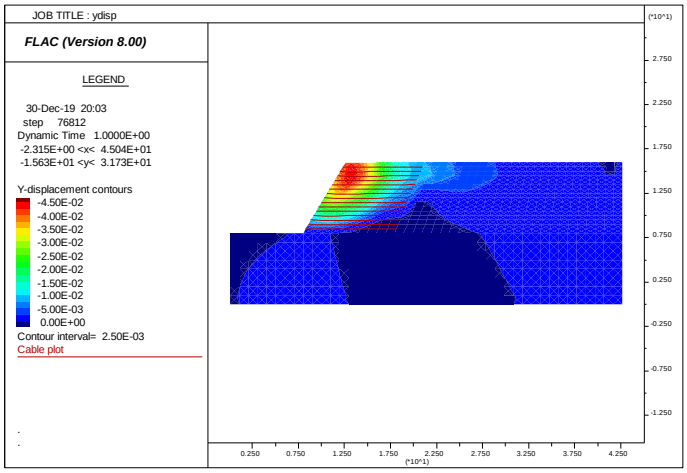
برای انجام تحلیل دینامیکی شیروانی از مدلی همانند مدل استاتیکی استفاده شد. یک موج سینوسی شکل با فرکانس ۴/۶۵ هرتز به پائین مدل اعمال شد. ضریب میرایی خاک ۰/۵ درصد انتخاب شد. تغییر شکلهای ایجاد شده در شیروانی در شرایط دینامیکی برای ضریب زلزله g ۰/۱۵ برای فاصله داری ۰/۵ متر با طول ژئوگرید ۱۰ متر ارائه شده است. در شکل های (۱۱) و (۱۲) مطابق نتایج حاصله با اجرای لایه‌های ژئوگرید در بین لایه‌های خاک در این حالت جابجایی‌های شیروانی در محدوده قابل قبول قرار دارند .



شکل (۱۱) کانتور جابجایی افقی در حالت دینامیکی، طول ژئوگرید ۱۰ متر

www.SID.ir

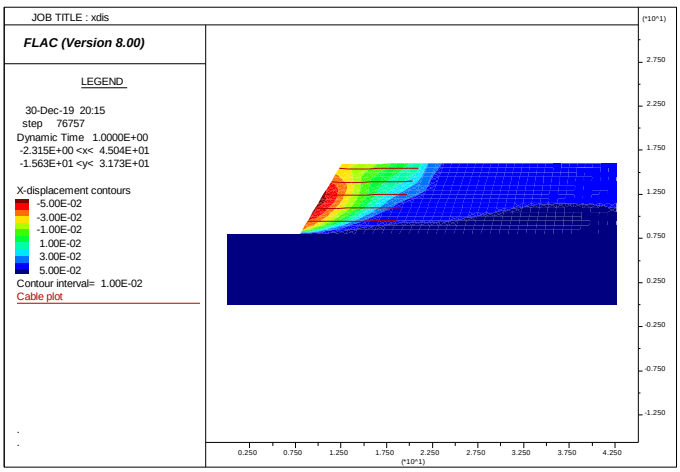
Archive of SID



شکل (۱۲) کانتور جابجایی قائم در حالت دینامیکی، طول ژئوگرید ۱۰ متر

تاثیر فاصله داری ژئوگرید

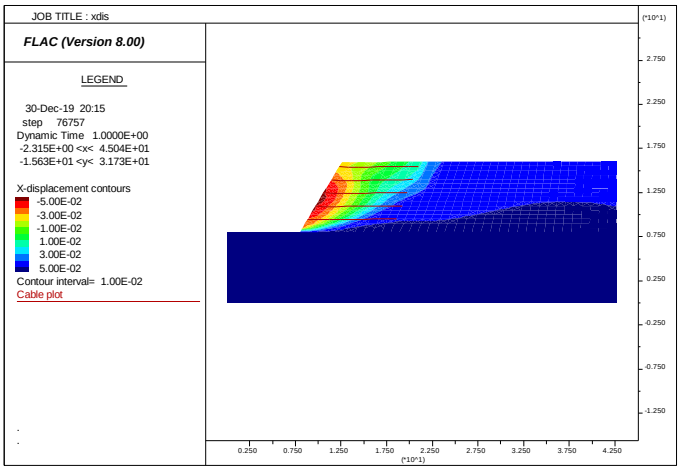
در این پژوهش برای بررسی تاثیر فاصله داری ژئوگریدها دو فاصله ۰/۵ و ۱/۵ متری مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج جابجایی افقی و قائم شیروانی و نیروهای کششی ژئوگریدها در ضریب زلزله 0.15g ارائه شده است. در شکل های (۱۳) تا (۱۶) با توجه به نتایج حاصله با افزایش فاصله داری ژئوگریدها، میزان جابجایی افقی و قائم شیروانی افزایش پیدا می‌کند. در ضرایب زلزله پایین، تاثیر فاصله داری ژئوگریدها کمتر است که با افزایش ضریب زلزله این تاثیر بیشتر می‌شود. افزایش فاصله داری تاثیر چندانی بر روی نیروی کششی ژئوگریدها ندارد اما افزایش طول باعث کاهش ۲ الی ۳ برابری نیروی کششی ژئوگریدها می‌شود.



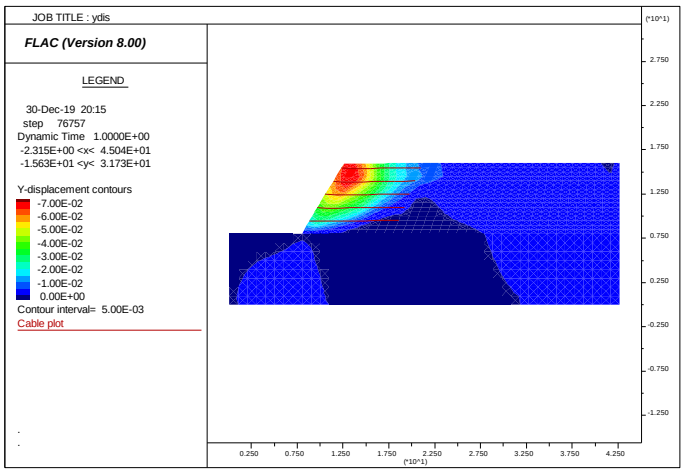
شکل (۱۳) کانتور جابجایی افقی در حالت دینامیکی ، طول ژئوگرید ۱۰ متر،فاصله داری ۰/۵ متر

www.SID.ir

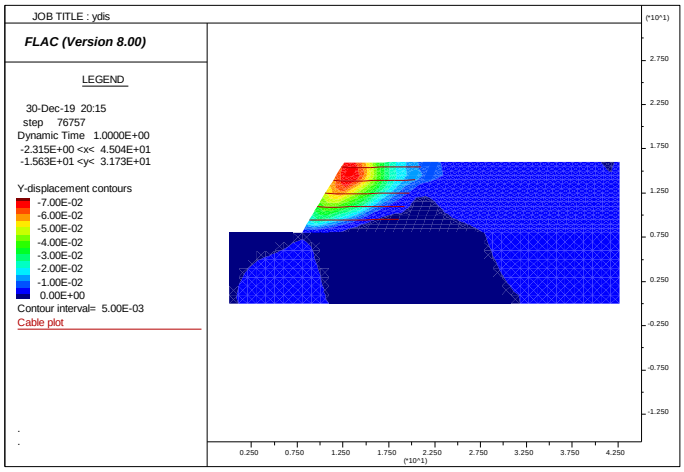
Archive of SID



شکل (۱۴) کانتور جابجایی افقی در حالت دینامیکی ، طول ژئوگرید ۱۰ متر ، فاصله داری ۱/۵



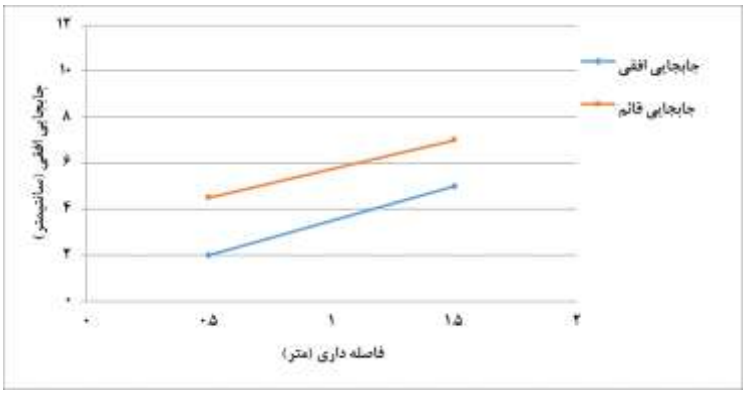
شکل (۱۵)کانتور جابجایی قائم در حالت دینامیکی ، طول ژئوگرید ۱۰ متر،فاصله داری ۰/۵ متر



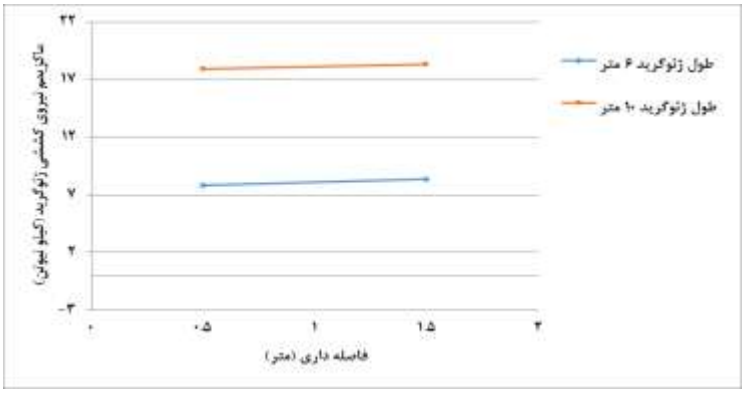
شکل (۱۶) کانتور جابجایی قائم در حالت دینامیکی، طول ژئوگرید ۱۰ متر، فاصله داری ۱/۵

www.SID.ir

Archive of SID



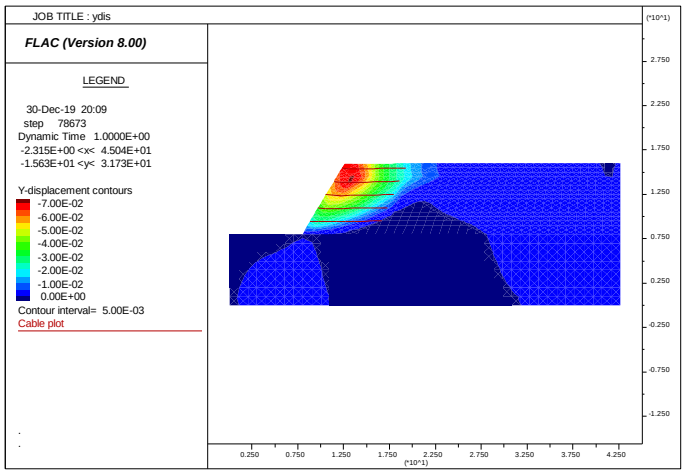
شکل (۱۷) تاثیر فاصله داری ژئوگریدها بر روی جابجایی افقی و قائم شیروانی



شکل (۱۸) تاثیر فاصله داری ژئوگریدها بر روی نیروی کششی ژئوگرید

تاثیر طول ژئوگرید

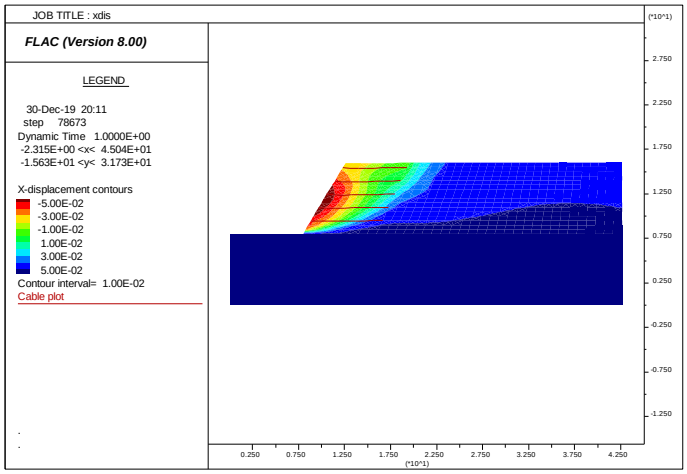
برای بررسی تاثیر طول ژئوگرید سه طول ۶، ۸ و ۱۰ متر بررسی شد. در شکل های (۱۹) تا (۲۱) با توجه به نتایج حاصله با افزایش طول ژئوگرید جابجایی افقی شیروانی کاهش می‌یابد. میزان کاهش جابجایی افقی در فاصله داری ۱/۵ متر بیشتر تحت تاثیر طول ژئوگرید می‌باشد. همچنین نیروی کششی ایجاد شده در ژئوگریدها در طی زمان زلزله چندان با افزایش و کاهش طول دچار تغییر نمی‌شوند و تقریبا دارای روند ثابتی می‌باشند.



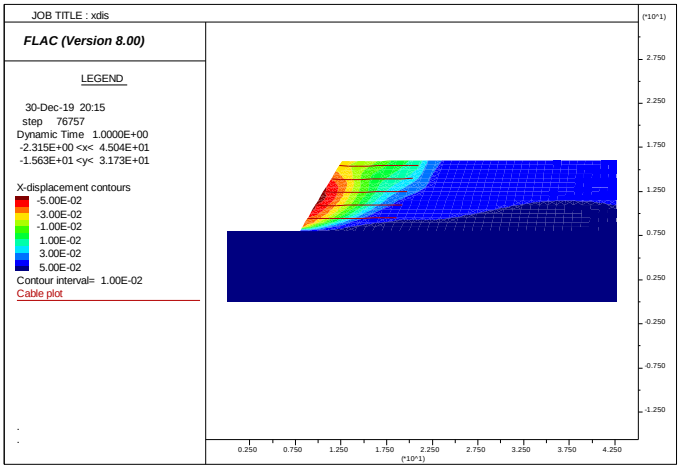
شکل (۱۹) کانتور جابجایی افقی در حالت دینامیکی ، طول ژئوگرید ۶ متر،فاصله داری ۱/۵ متر

www.SID.ir

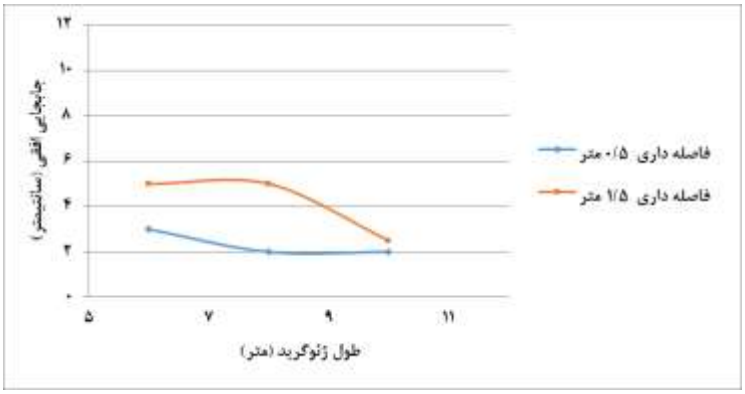
Archive of SID



شکل (۲۰) کانتور جابجایی افقی در حالت دینامیکی، طول ژئوگرید ۸ متر،فاصله داری ۱/۵ متر



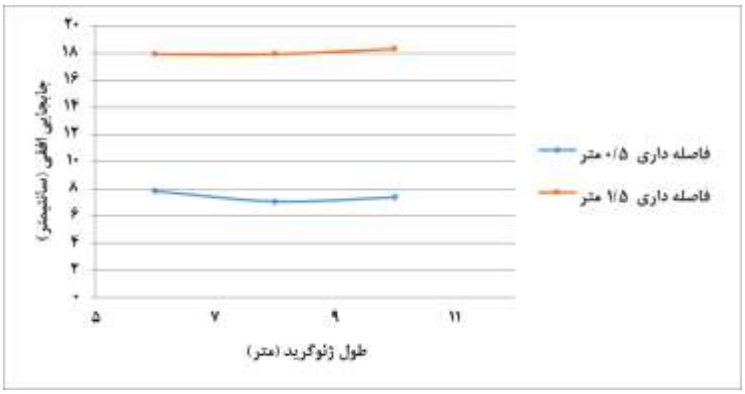
شکل (۲۱) کانتور جابجایی افقی در حالت دینامیکی ، طول ژئوگرید ۱۰ متر،فاصله داری ۱/۵ متر



شکل (۲۲) تاثیر طول ژئوگریدها بر روی جابجایی افقی شیروانی

www.SID.ir

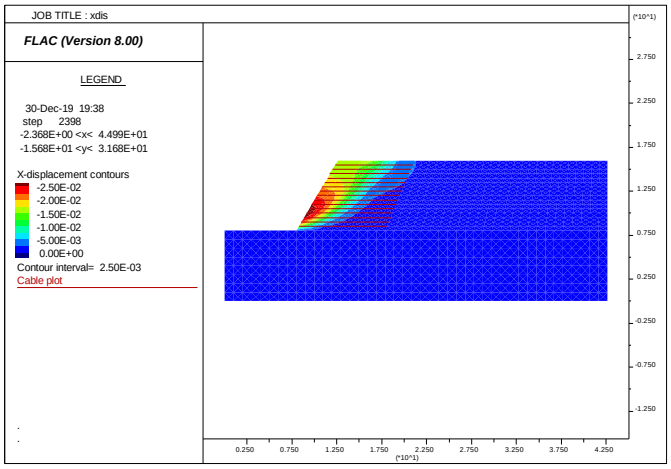
Archive of SID



شکل (۲۳) تاثیر طول ژئوگرید بر روی نیروی کششی ژئوگریدها

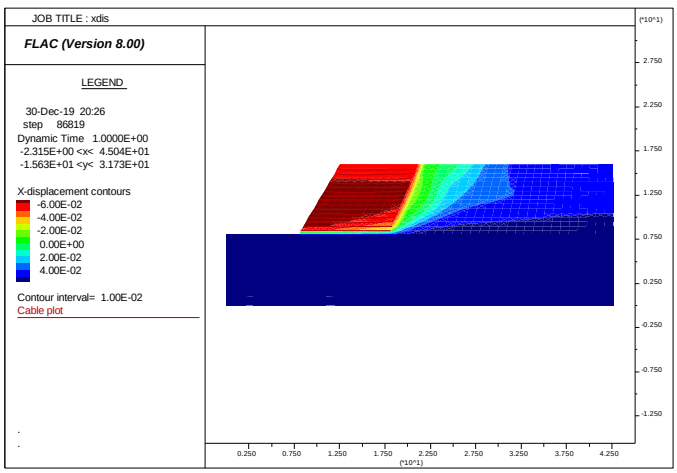
تاثیر اشباع بودن ترانشه

تاثیر اشباع کردن ترانشه بر روی میزان جابجایی افقی ترانشه و نیروهای کششی ایجاد شده در ژئوگریدها نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت.به طور کلی با توجه به نتایج، اشباع کردن ترانشه در شرایط مختلف باعث افزایش میزان جابجایی سطح شیروانی می‌شود. همچنین در شرایطی که ترانشه اشباع می‌باشد نیروهای کششی ایجاد شده در ژئوگریدها بیشتر از شرایط خشک می‌باشد.



شکل(۲۴) کانتور جابجایی افقی در حالت استاتیکی خشک، طول ژئوگرید ۱۰ متر،فاصله داری ۰/۵ متر

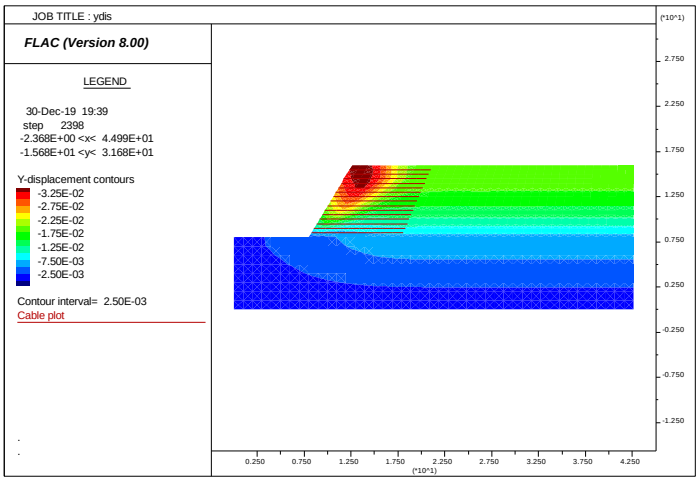
شرایط مصالح خشک



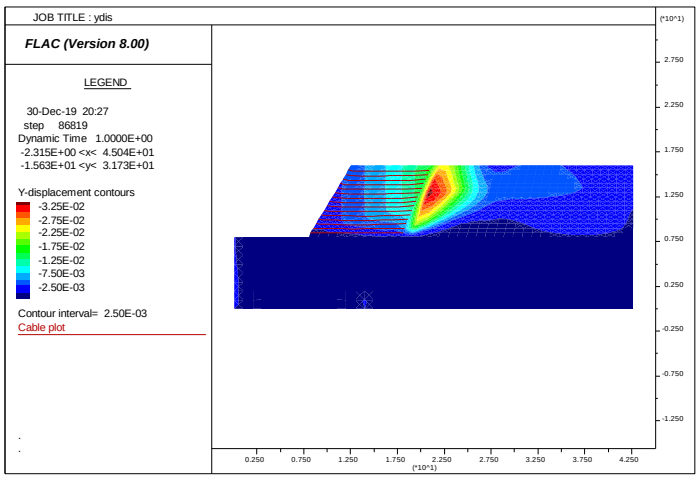
www.SID.ir

Archive of SID

شکل(۲۵) کانتور جابجایی افقی در حالت استاتیکی اشباع، طول ژئوگرید ۱۰ متر، فاصله داری ۰/۵ متر
شرایط مصالح اشباع



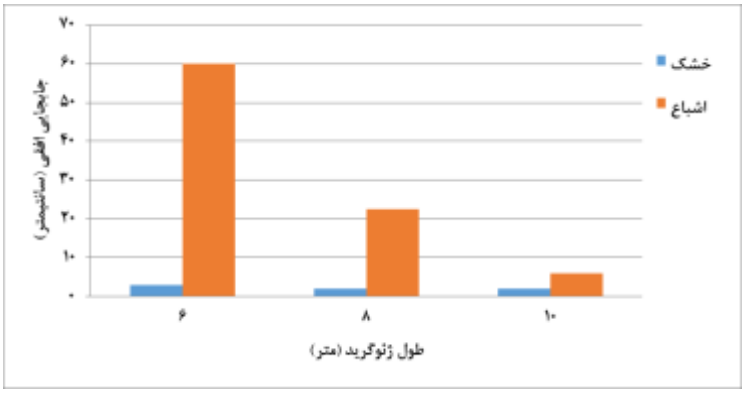
شکل (۲۶) کانتور جابجایی قائم در حالت دینامیکی، طول ژئوگرید ۱۰ متر،فاصله داری ۰/۵
شرایط مصالح خشک



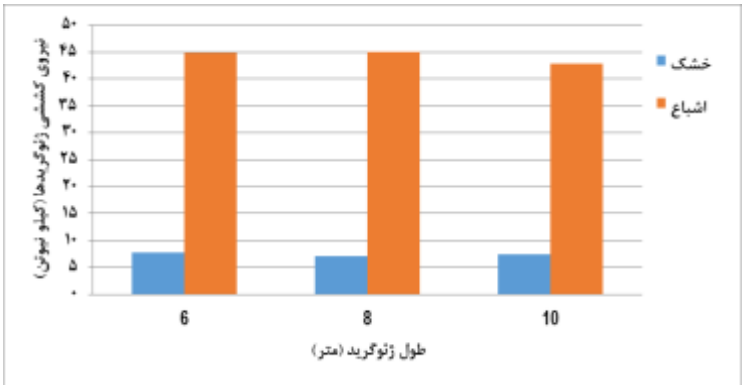
شکل (۲۷) کانتور جابجایی قائم در حالت دینامیکی، طول ژئوگرید ۱۰ متر، فاصله داری ۰/۵ متر
شرایط مصالح اشباع

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲۸) تاثیر اشباع و خشک بودن مصالح ترانشه بر روی جابجایی افقی شیروانی



شکل (۲۹) تاثیر اشباع و خشک بودن مصالح ترانشه بر روی نیروی کششی ایجاد شده در ژئوگریدها

بحث و نتیجه‌گیری

۱- در شیروانی‌های خاک مسلح، با افزایش طول ژئوگریدها، میزان ضریب اطمینان شیروانی نیز افزایش می‌یابد. مقدار جابه جایی افقی در فاصله داری ۱/۵ متر با افزایش طول ژئوگریدها کاهش می‌یابد ولی در فاصله داری ۰/۵ متر میزان جابجایی افقی شیروانی چندان به طول ژئوگرید وابسته نمی‌باشد. در نتیجه مطابق آیین نامه ها طول مناسب برای ژئوگریدها همان ۰/۹ تا ۱ برابر ارتفاع شیروانی مناسب می باشد

۲- برای بررسی تاثیر فاصله داری دو فاصله ۰/۵ و ۱/۵ متر در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج حاصله با افزایش فاصله داری ژئوگریدها میزان جابجایی افقی شیروانی کاهش می‌یابد که تاثیر فاصله داری در ضرایب زلزله بالاتر بیشتر نمایان است. همچنین با افزایش فاصله داری ژئوگریدها از ۰/۵ به ۱/۵ متر نیروی کششی ایجاد شده در ژئوگریدها حدودا ۲ الی ۳ برابر افزایش پیدا می‌کند.

۳- با اشباع کردن ترانشه میزان جابجایی افقی و قائم ترانشه حدودا ۸ برابر افزایش می‌یابد.

۴- اشباع کردن ترانشه باعث افزایش نیروی کششی در ژئوگریدها می‌شود که تقریبا در تمامی حالتهای بررسی شده میزان نیروی کششی ژئوگریدها حدودا به ۴۳ کیلوپاسکال می‌رسد.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع :

Ling, H.I., Leshchinsky, D. and Chou, N.N. (2001). Post-earthquake investigation on several geosynthetic-reinforced soil retaining walls and slopes during the Ji-Ji earthquake of Taiwan. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 21(4), pp.297-313.

Ali, F.H. (1993). Field behaviour of a geogrid-reinforced slope. Geotextiles and Geomembranes, 12(1), pp.53-72.

El Sawwaf, M.A. (2007). Behavior of strip footing on geogrid-reinforced sand over a soft clay slope. Geotextiles and Geomembranes, 25(1), pp.50-60.

Kolymbas, D. (2005). Tunnelling and tunnel mechanics: A rational approach to tunnelling. Springer Science & Business Media.

Mehrjardi, G.T., Ghanbari, A. and Mehdizadeh, H. (2016). Experimental study on the behaviour of geogrid-reinforced slopes with respect to aggregate size. Geotextiles and Geomembranes, 44(6), pp.862-871.

Giri, D. and Sengupta, A., (2010). Dynamic behavior of small-scale model slopes in shaking table tests. International Journal of Geotechnical Engineering, 4(1), pp.1-11.

www.SID.ir