

تحلیل پایداری سازی خاکریزهای مسلح با ژئوسل

مقاله علمی - پژوهشی

سعید غفارپور جهرمی*، دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
ایمان باقری، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: saeed_ghf@sru.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۰۵ - پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۵

صفحه ۲۰۴-۱۸۹

چکیده

استفاده از مسلح کننده های مختلف در پایداری و تثبیت بستر، زیرسازی و شیب های خاکی کاربرد فراوانی دارد که در این بین استفاده از ژئوسل به دلیل ماهیت سه بعدی سلول های آن مورد استقبال محققان بسیاری قرار گرفته است. اکثر روش های فعلی در طراحی خاک مسلح، خاکریز را به صورت دوبعدی تحلیل می کنند که این موضوع در مدلسازی المان ژئوسل که یک المان سه بعدی است، ناکارآمد می باشد. در این مقاله با مدلسازی سه بعدی، رفتار و پاسخ استاتیکی و دینامیکی خاکریز مسلح شده با ژئوسل با هندسه های مختلف خاکریز و همچنین چیدمان های متفاوت مسلح کننده مورد بررسی قرار می گیرد. برای این منظور از نرم افزار المان محدود پلکسیس سه بعدی استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می دهد هندسه دیوار شامل ارتفاع و زاویه اجرای خاکریز و همچنین چیدمان سلول های ژئوسل در ارتفاع خاکریز و طول نفوذ مسلح کننده بر تغییر مکان جانبی و ضریب اطمینان پایداری خاکریز اثرگذار هستند پاسخ دینامیکی خاکریز متاثر از آنها می باشد که باید در تحلیل و طراحی این دسته از دیوارها حائز اهمیت است.

واژه های کلیدی: خاک مسلح، ژئوسل، پایداری، بار دینامیکی، شیب خاکی

۱- مقدمه

محدود است و در مطالعات آزمایشگاهی از روش های مختلف مانند آزمایش میز لرزان، آزمایش سانتریفیوژ و مدلسازی فیزیکی در مقیاس های مختلف استفاده شده است. تحقیقات اولیه در زمینه دیوارهای خاک مسلح در سال ۱۹۲۵ توسط مانستر در امریکا صورت گرفت (Jones, C. J., 2013). او یک دیوار حائل خاک مسلح را با استفاده از مسلح کننده های چوبی و یک نمای سبک ساخت و و نشست خاکریز با استفاده از مسلح کننده ها را کاهش داد. اما هنری ویدال مهندس فرانسوی توانست اختراع خود با عنوان «خاک مسلح» در سال ۱۹۶۳ را به ثبت رساند که در آن از تسمه های فلزی به عنوان مسلح کننده استفاده کرد. در ابتدا از المان های فلزی برای مسلح سازی خاک استفاده می شد ولی به مرور زمان ژئوستتیک ها غیر فولادی با ظرفیت باربری و دوام مناسب به

امروزه استفاده از خاک مسلح شده با ژئوستتیک ها کاربردهای فراوانی در تثبیت بستر، زیرسازی و پایداری شیب های خاکی، افزایش ظرفیت باربری، کاهش نشست، تثبیت و اصلاح مشخصات مکانیکی و رفتاری خاک در مسائل مهندسی دارد. مسلح کننده ژئوسل که از نوارهای پلی اتیلن با دانسیته بالا ساخته می شوند با جوش اولتراسونیک در طول عرض خود تشکیل سلول های سه بعدی می دهند که با مصالح خاک دانه ای پُر می شوند. این سلول ها فشارهای همه جانبه قابل توجهی بر خاک درون سلول ایجاد می کنند که در نتیجه رفتار و مشخصات مکانیکی بهتری نسبت به دیگر مسلح کننده ها می توانند از خود نشان دهند (شکل ۱). در سال های اخیر تحقیقات عددی و آزمایشگاهی متعدد بر روی دیوارهای حائل مسلح در شرایط استاتیکی و دینامیکی انجام گرفته است. عمده مطالعات عددی شامل روش های تفاضل محدود و اجزاء

(Bathurst, 2005). مدهوی و راجاکوپال در سال ۲۰۰۷ با استفاده از نرم‌افزار اجزای محدود ژئوفم^۲، کارایی ژئوسل در مسلح سازی لایه‌های خاک ضعیف را با تحلیل پارامتریک مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق از مدل معادل برای بیان سختی و مقاومت خاک مسلح شده استفاده گردید. سختی خاک مسلح شده با ژئوسل با یک رابطه تجربی متشکل از سختی ماسه و مدول کششی ژئوسل پیشنهاد شد (Madhavi and Rajagopal, 2007). فخاریان و عطار با استفاده از نرم افزار فلک^۳ کوله یک پل از نوع خاک مسلح با ژئوسنتتیک را به صورت استاتیکی و دینامیکی مدلسازی کردند. نتایج تحلیل استاتیکی نشان داد بیشترین جابجایی افقی در نمای کوله به سبب بار عرشه پل در تراز 0.6H ارتفاع کوله رخ می‌دهد. در تحلیل دینامیکی نیز مشخص شد جابجایی افقی بسیار مهمتر از جابجایی قائم خاک بوده و نیروی مسلح کننده‌ها در شرایط دینامیکی بیشتر از حالت استاتیکی است (Fakharian and Attar, 2007).

یو و کیم عملکرد خاک مسلح شده با دو لایه ژئوگرید را مورد بررسی قرار دادند. مطالعات آنها با مدلسازی فیزیکی و همچنین مدلسازی سه بعدی با نرم‌افزار اباکوس^۴ انجام گردید. نتایج این تحقیق نشان داد افزایش سربار در پله بالایی اثر بیشتری نسبت به پله پایینی دارد. پایداری خاک پشت دیوار متأثر از گسیختگی مسلح‌کننده‌ها می باشد بطوریکه با افزایش سربار، کرنش طولی مسلح کننده‌ها و تنش افقی در پشت بلوک‌های نما، با افزایش عمق کاهش می‌یابد (Yoo and Kim, 2008).



عنوان گزینه‌ی مناسب‌تری مطرح شدند (Jones, C. J., 2013).

تا کنون تحقیقات زیادی توسط محققان در حوزه تحلیل دینامیکی دیوارهای خاک مسلح انجام شده است. یوگندراکومار و همکارانش (Yogendrakumar et al. 1991) با استفاده از روش المان محدود و سگرتین و باستیک (Segrestin and Bastick, 1988) به روش اجزای محدود به ارزیابی لرزه‌ای دیوارهای خاک مسلح با استفاده از مسلح کننده‌های مختلف پرداختند. در ادامه باترست و کای ۱۹۹۵ با استفاده از یک نرم افزار عددی، به مدلسازی المان محدود و تحلیل دینامیکی دیوار حائل مسلح شده با ژئوسنتتیک پرداختند (Bathurst and Cai, 1995).

الیاس و همکارانش در یک تحقیق با اعمال فشار قائم غیریکنواخت بر سطح خاک مسلح، تغییر مکان آبی قائم و افقی (کوتاه مدت) ناشی از سربار را اندازه گیری کردند (Elias et al. 1997). نتایج تحقیق آنها نشان داد با ثابت نگه داشتن بار در مدت زمان طولانی، تغییر مکان‌های ناشی از خزش روی نشست قائم و افقی اثرگذار است. در ادامه باترست در تحقیق دیگری روش تحلیل دینامیکی دیوارهای خاکی مسلح شده با ژئوسنتتیک را برای تقویت خاکریز و شیب های خاکی معرفی کرد (Bathurst, 1997).

الامام و باترست با انجام یک تحقیق تأثیر پارامترهای هندسی دیوار شامل ارتفاع و نوع نما را بر پاسخ دیوار خاک مسلح تحت بارگذاری استاتیکی با استفاده از شبیه‌سازی عددی و مدلسازی فیزیکی مورد بررسی قرار دادند (El-Emam and



شکل ۱. کاربرد ژئوسل در مهندسی ژئوتکنیک

این تحقیق نشان داد مشخصات هندسی مسلح کننده و توزیع آنها در پایداری و تغییر مکان دیوار بیش از جنس موثر هستند (Abdelouhab et al. 2011).

عبدلوهاب و همکارانش با استفاده از تحلیل تفاضل محدود در نرم‌افزار فلک، تحلیل عددی یک دیوار خاک مسلح را با سه نوع مسلح کننده پلیمری و فلزی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج

al. 2016). نتایج تحقیق آنها نشان داد که در طراحی دیوارها با استفاده از آیین نامه آشتو^۱ و اداره فدرال بزرگراه^۲، نادیده گرفتن شیب خاکریز پشتی و زاویه اصطکاک خاک و المان نما، در محاسبه طول مسلح کننده، منجر به طراحی اقتصادی تر پروژه خواهد شد. سونگ و همکارانش به بررسی دقت و اعتبار روش تعادل حدی در پیش بینی پایداری خاکریزهای مسلح شده با ژئوسل پرداختند که نتایج این تحقیق نشان داد استفاده از که نظریه های کلاسیک رانکین و کولومب در تعیین ضرایب فشار برای تجزیه و تحلیل پایداری این نوع خاکریزها مناسب نیستند. در چنین شرایطی یک سطح شکست چند ضلعی به کمک روش جستجوی مونت کارلو ممکن است مناسب باشد (Song et al. 2017). لیو و همکارانش مدلسازی سه بعدی خاکریزهای مسلح شده با ژئوسل مستقیم و منحنی شکل را مورد تحقیق قرار دادند. در این تحقیق از روش عنصر گسسته برای مدلسازی و تعیین سطوح و مکانیسم شکست در شرایط مختلف بارگذاری استاتیکی و سیکی استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد ژئوسل سختی خاکریز را تحت بارگذاری سیکی افزایش داده و تحت بار سیکی نیز ظرفیت آن را بهبود می بخشد و تنش ها را به طور مساوی در خاکریز توزیع می کند و باعث کاهش جابجایی قائم و گسترش جانبی می گردد (Liu et al. 2018).

ایسیک و همکارش با ساخت تجهیزات آزمایشگاهی بزرگ مقیاس به ارزیابی اندرکنش خاک و ژئوسل تحت تنش قائم و برشی پرداختند که در تحلیل پایداری خاکریزهای مسلح حیاتی است. در این تحقیق امکان بررسی بصری توالی پاسخ حرکتی هر سلول ژئوسل در جهت نیروی کشش وجود دارد تا سهم هر سلول را در باربری کل مشخص شود. این تحقیق نشان داد ظرفیت باربری و پایداری خاکریزهای دانه ای مسلح به مقاومت پوسته و اتصالات طولی و عرضی نوارهای ژئوسل وابسته است (Isik and Gurbuz, 2020). خرسندی اردبیلی و همکارش یک رویکرد تحلیلی در بررسی پایداری شیب های مسلح شده با ژئوسل به روش تعادل حدی معرفی کردند که از روش برش افقی برای شبیه سازی لایه های ژئوسل افقی استفاده می کند. نتایج تحقیق نشان داد هر لایه ژئوسل علاوه بر مقاومت محوری، به عنوان عامل مقاوم خمش و برش نیز عمل می کند لذا عملکرد آنها باعث کاهش نیروی کششی و طول مورد نیاز مسلح کننده خواهد شد (Khorsandiardebili

لچینسکی و لینگ با مدلسازی ژئوسل ها به صورت محفظه- های مکعبی شکل، تأثیر آن را زیر خطوط راه آهن به روش عددی مورد بررسی قرار دادند (Leshchinsky and Ling, 2013). مهدی پور و همکارانش با مطالعات عددی تحلیل پارامترهای مختلف شیب های مسلح شده با ژئوسل به بررسی نحوه استفاده از مدل تیر جهت شبیه سازی رفتار ژئوسل ها پرداختند که نتایج نشان داد در این شبیه سازی تنش های خمشی و برشی نیز علاوه بر تنش کششی در المان وجود دارند. همچنین مطالعات پارامتریک با تغییرات در عمق لایه ژئوسل، تعداد لایه، فاصله ی بین لایه ها، طول، ضخامت و سختی مسلح کننده ها نیز انجام شد. مسلح کننده ژئوسل توانست در افزایش ضریب اطمینان و کاهش تغییر مکان جانبی مؤثر باشد. ژئوسل مانند یک دال وسیع عمل می کند و نیروی وارد را در سطح وسیعی به خاک منتقل می کند (Mehdipour et al. 2013). هجد و سیتارام با انجام مطالعات عددی و آزمایشگاهی به یافتن مقاومت مفاصل و تغییر شکل المان متشکل از تک سلول ژئوسل و تحت بار تک محوره فشاری پرداختند. در این مطالعه مشخص شد با افزایش زاویه اصطکاک داخلی مصالح داخل ژئوسل، اندرکنش بیشتر شده و تغییر شکل کمتر و به دنبال آن ظرفیت باربری افزایش می یابد. مدلسازی ژئوسل همواره به خاطر ساختار و شکل لانه زنبوری به عنوان یک چالش در مدلسازی عددی مطرح بوده است (Munjy et al. 2014). مانجی و همکارانش یک روش مدلسازی واقع گرایانه برای شبیه سازی سه بعدی ژئوسل ها ارائه کردند. مدلسازی عددی با تشکیل شکل واقعی و سه بعدی لانه زنبوری ژئوسل از طریق نرم افزار تفاضل محدودی فلک سه بعدی انجام شد. این مدلسازی با انجام آزمون های آزمایشگاهی مختلف صحت سنتزی و تطابق قابل قبولی نشان داد (Hegde and Sitharam, 2015).

یو و همکارانش ارتباط مدلسازی در نرم افزار فلک و پلکسیس را با ارائه اطلاعاتی درباره انتخاب المان سازه ای جهت شبیه سازی جزییات برهم کنش خاک و مسلح کننده خاک در دیوارهای وزنی خاک مسلح معرفی کردند (Yu et al. 2015). راهمونی و همکارانش مطالعات عددی خود را با استفاده از فلک سه بعدی برای بررسی اثرات زاویه شیب دیوار خاک مسلح، چیدمان نما، زاویه اصطکاک خاک و همچنین زاویه شیب خاکریز پشت دیوار انجام دادند (Rahmouni, et

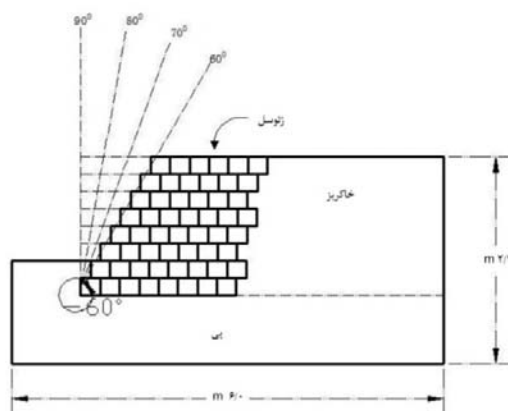
این مسلح‌کننده در دیوارهای حائل، افزایش پایداری و کاهش تغییرشکل‌ها بوده است. لذا در تحقیق حاضر با مدل‌سازی عددی دیوار حائل مسلح شده با ژئوسل، ضریب اطمینان پایداری دیوار در شرایط مختلف ساخت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- روش تحقیق

در تحقیق حاضر به منظور ارزیابی عوامل مختلف ساخت، ابتدا با مدل‌سازی دیوار حائل مسلح شده با ژئوسل، ضریب اطمینان پایداری^۷ دیوار در شرایط مختلف ساخت نمای دیوار یعنی امتداد دیوار نسبت به قائم، شامل ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (شکل ۲). در ادامه نحوه چیدمان مناسب ژئوسل و همچنین سربار بر پایداری و تغییرشکل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدلسازی عددی در این تحقیق با استفاده از نرم افزار پلکسیس سه بعدی انجام شده است. در این پژوهش تحلیل دینامیکی خاک مسلح نیز با اعمال بار هارمونیک^۸ در فرکانس‌های مختلف و با هدف بررسی پایداری و تحلیل تغییرشکل انجام شده است.

and Ghazavi, 2021). گارسیا و همکارش یک روش تحلیلی برای تعیین سختی خاکریزهای مسلح شده با ژئوسل معرفی کردند که از اصلاح مدل هذلولی در بیان رفتار غیرخطی خاک و پاسخ خطی مسلح‌کننده استفاده می‌کند. در این روش هندسه سلول ژئوسل، سختی خاک و ژئوسل، تنش ناشی از تراکم، مقاومت خاک و سازگاری کرنش نیز لحاظ شده است. این مدل با استفاده از نتایج چندین تحقیق آزمایشگاهی، مقیاس کامل و میدانی اعتبارسنجی شده و قابلیت پیش‌بینی خوبی نشان می‌دهد (Garcia and Neto, 2021).

بررسی مطالعات قبلی نشان می‌دهد ارزیابی پارامتریک بسیاری روی دیوارهای خاک مسلح در شرایط استاتیکی و دینامیکی انجام شده که اغلب نیز به صورت دو بعدی بوده است. همچنین مدلسازی‌های فیزیکی در مقیاس آزمایشگاهی نیز اغلب کوچک و محدود بوده است. مسلح‌کننده ژئوسل که از پلیمر ساخته می‌شود به علت هندسه خاص و سه بعدی خود نسبت به دیگر ژئوستنتیک‌ها در مدلسازی دارای محدودیت می‌باشد همچنین این مسلح‌کننده دارای سختی و کارایی بهتری نسبت به دیگر مسلح‌کننده‌ها در برای ساخت و کاربرد در دیوارهای خاک مسلح می‌باشد. از دلایل کاربرد روزافزون



شکل ۲. طرحی از مدل دیوار حائل با زاویه های مختلف در یک نمای دوبعدی ژئوسل و خاک

استاتیکی، مقدار تغییر مکانها با یکدیگر مقایسه شد. اختلاف نتایج با انتخاب مش بندی متوسط در مقایسه با مش بندی ریز کمتر از ۷ درصد بوده در حالیکه زمان و حجم محاسبات به کمتر از نصف کاهش یافت. همچنین در مقایسه با نرم افزارهای متداول فلک یا اباکوس، در نسخه نرم افزار پلکسیس سه بعدی Plaxis-3D امکان انتخاب المان سه بعدی

هندسه مدل دارای ۶ متر طول، ۴ متر عرض و ۲/۴ متر ارتفاع می‌باشد که شامل سه نوع مشخصات خاک مختلف در کف، خاکریز پشت دیوار و همچنین خاک درون ژئوسل می‌باشند. با ارزیابی و دقت سنجی مدل، مش با ابعاد متوسط، مناسب این تحلیل تشخیص داده شد بدین صورت که با انتخاب سه نوع مش بندی ریز، متوسط و درشت در یک تحلیل

تحقیق تغییر مکان جانبی و ضریب اطمینان پایداری دیوار در شرایط بارگذاری استاتیکی می‌باشد. همچنین ارزیابی رفتار دیوار در حالت دینامیکی نیز مورد تحلیل و بررسی قرار می‌گیرد. در شرایط دینامیکی، ضریب اطمینان پایداری و تاریخچه زمانی شامل جابجایی، سرعت و شتاب و همچنین طیف پاسخ دیوار مورد بررسی قرار می‌گیرند. مشخصات مکانیکی خاک در قسمت‌های مختلف دیوار در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین مشخصات فیزیکی و مکانیکی مسلح کننده از نوع ژئوسل در جدول ۲ آمده است. سربار پشت دیوار نیز در سه حالت بدون سربار، ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوپاسکال لحاظ می‌شود. روش المان محدود به عنوان یک روش عددی در حل مسائل متنوع مهندسی کاربرد فراوانی دارد. در این تحقیق از نرم‌افزار المان محدود پلکسیس سه‌بعدی استفاده می‌شود که دارای انعطاف‌پذیری بسیاری در تحلیل و طراحی مسائل مهندسی ژئوتکنیک می‌باشد. لازم به توضیح است از مدل رفتاری موهر-کولمب^۹ فقط در تحلیل استاتیکی و در تحلیل دینامیک از مدل رفتاری سخت شونده^{۱۱} استفاده شده است.

ژئوسل فراهم است و نرم‌افزار اندرکنش خاک تحت شرایط محدودشوندگی سلول را اعمال می‌نماید. برای این منظور لازم است مشخصات فیزیکی و مکانیکی سلول ژئوسل، خاک درون سلول و خاک خارج از سلول به تفکیک ثبت شود. لذا بر خلاف نرم افزارهای دیگر نیاز به مدلسازی اندرکنش جداگانه نمی‌باشد. به منظور مقایسه نتایج بین دیوارهای مختلف، از مش‌بندی یکسان استفاده گردید. به دلیل هندسه سه‌بعدی، ژئوسل می‌تواند محدودشوندگی جانبی زیادی (بدون اتکا به تراکم و اثر اصطکاک خاک پرکننده ژئوسل)، برای خاک درون آن ایجاد کند. المان حد واسط بین هر لایه ژئوسل، بین دیوار و خاکریز و همچنین بین کف دیوار و خاک روی آن در نظر گرفته می‌شود تا برهم کنش بین مصالح و خاک را بتوان شبیه‌سازی کرد. مش‌بندی با اندازه متوسط ایجاد می‌شود و به دلیل انتظار وجود تمرکز تنش در مناطق نزدیک به دیوار، در این نواحی مش‌بندی ریز انتخاب شدند. یکی از موضوعاتی که در این تحلیل مورد ارزیابی قرار گرفته است نحوه چیدمان مسلح‌کننده (ژئوسل) است تا مناسب‌ترین چیدمان و آرایش برای اجرای ژئوسل انتخاب شود که معیار ارزیابی در این

جدول ۱. مشخصات مکانیکی خاک پرکننده سلول، خاکریز و خاک پی دیوار

مشخصه	واحد	خاک درون ژئوسل	خاکریز پشت دیوار	خاک کف دیوار
مدل رفتاری	-	موهر-کولمب	سخت شونده	الاستیک خطی
مدول یانگ	MPa	۶۰	۲۴	۲۰۰
نسبت پواسون	-	۰/۳	۰/۲۷	۰/۲۵
وزن مخصوص	kN/m ³	۱۷/۱۳	۱۵/۷۲	۱۹/۶۲
زاویه اصطکاک داخلی	درجه	۳۲	۲۷	۴۰
زاویه اتساع	درجه	۷	۵	۱۰
چسبندگی	kPa	۱	۱	۱
R_{inter}	-	۰/۷	۰/۷	۰/۸
سختی سکانت در آزمایش سه محوری زهکنشی شده	kPa	۵۰۰۰۰	۴۵۰۰۰	۵۵۰۰۰
سختی تانژانت برای بارگذاری اولیه ادمتر	kPa	۵۰۰۰۰	۴۵۰۰۰	۵۵۰۰۰
سختی باربرداری - بارگذاری مجدد	kPa	۱۵۰۰۰۰	-	۱۳۰۰۰۰
فاکتور وابستگی سختی به سطح تنش	-	۰/۵	-	۰/۴۵
تنش مرجع	kPa	۱۰۰	-	۸۵

جدول ۲. مشخصات ژئوسل مورد استفاده در تحلیل

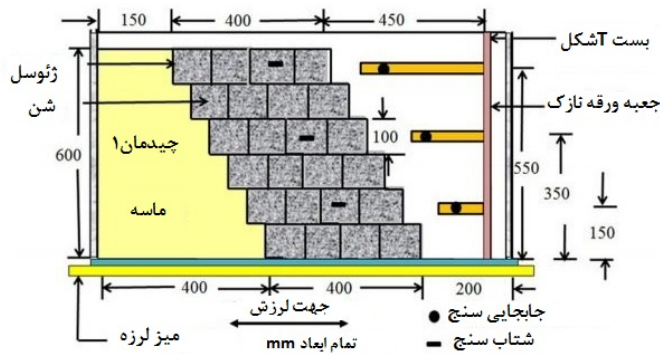
مشخصه	مقدار	مشخصات	مقدار
نوع پلیمر	پلی اتیلن HDPE	ضخامت نوار	۱/۵۲ میلی‌متر
اندازه سلول	۲۵۹×۲۲۴ میلی‌متر	وزن مخصوص	۲۱/۵ کیلو نیوتن بر متر مکعب
مساحت سلول	۲۸۹ سانتی متر مربع	مدول یانگ	۲۷۵ مگاپاسکال
عمق سلول	۲۰۰ میلی‌متر	نسبت پواسون	۰/۴۵

۳- اعتبارسنجی و دقت سنجی مدل

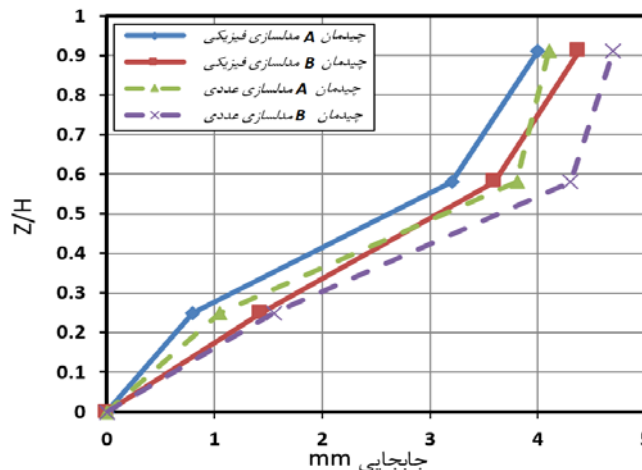
فیزیکی نشان می‌دهند که در این تحقیق دقت قابل قبول تلقی می‌شود.

همانطور که از شکل ۴ آمده است با افزایش ارتفاع، تغییر شکل افقی نیز افزایش می‌یابد که این روند با اختلاف کمی در هر دو مدل فیزیکی و عددی مشاهده می‌شود. در چیدمان شماره A، مصالح پرکننده ژئوسل‌ها شن و در چیدمان شماره B، ژئوسل‌ها از ماسه و شن پُر شده‌اند. این امر باعث می‌شود که جابجایی دیوار در چیدمان A در مقایسه با چیدمان B کمتر باشد. این موضوع در مدلسازی فیزیکی و هم در مدلسازی عددی قابل مشاهده است.

به منظور اعتبارسنجی مدلسازی عددی از نتایج تحقیق لاتها و مانجو (۲۰۱۶) بر روی یک مدل فیزیکی استفاده می‌شود. در پژوهش انجام شده توسط این محققان، یک مدل فیزیکی آزمایشگاهی در مقیاس کوچک ساخته شده و دیوار خاک مسلح تحت شتاب و فرکانس‌های مختلف دینامیکی در میز لرزه قرار گرفته است. دیوار دارای ارتفاع ۶۰ سانتیمتر با لایه‌های ژئوسل مسلح شده است. برای ساخت ژئوسل از ژئونت‌های مسطح به صورت شبکه‌های لانه زنبوری استفاده شده است. هندسه دیوار در شکل ۳ نشان داده شده است. مقایسه جابجایی افقی در امتداد دیوار حاصل از مدلسازی عددی با مدلسازی فیزیکی در شکل ۴ نشان داده شده است. این نتایج اختلاف کمتر از ۱۰ درصد را بین مدلسازی عددی و



شکل ۴. تصویر و نمای شماتیک چیدمان ژئوسل در مدلسازی فیزیکی دیوار حائل (Latha and Manju, 2016)

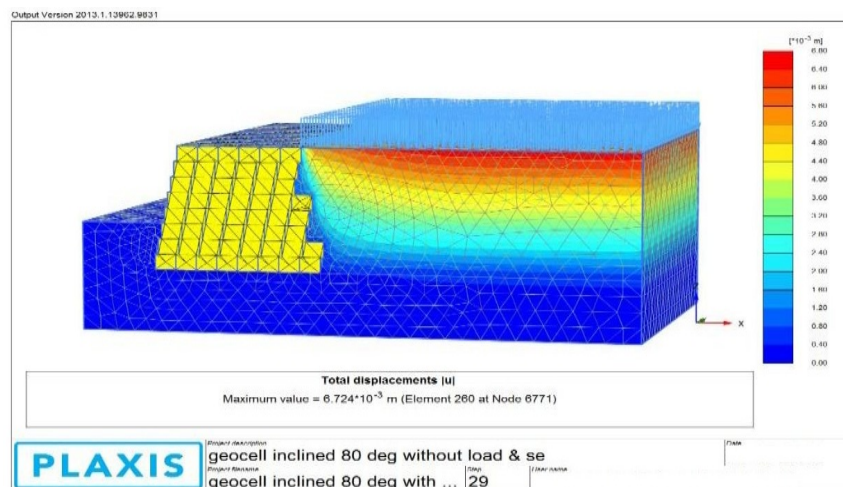


شکل ۴. مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی تاثیر تعداد ژئوسل بر جابجایی دیوار خاک مسلح

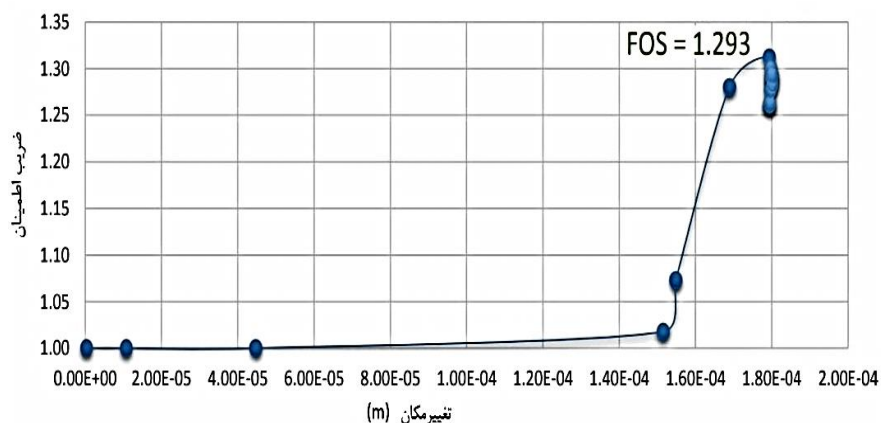
۴- ارزیابی پایداری استاتیکی خاک مسلح

سربار کیلوپاسکال ۱۰۰ و همچنین سربار ۱۵۰ کیلوپاسکال در شرایط مختلف هندسه از نظر زاویه امتداد ساخت یعنی زاویه ۰، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درجه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. شکل ۵ نمونه مدلسازی با زاویه امتداد ۱۰ درجه و شکل ۶ تغییرات ضریب اطمینان حاصل از تحلیل عددی در نرم‌افزار پلکسیس سه‌بعدی آمده است. در جدول ۳ مقادیر جابجایی افقی حداکثر راس دیوار و همچنین ضریب اطمینان در شرایط مختلف هندسه دیوار از نظر زاویه ساخت و همچنین حالات مختلف بارگذاری آمده است.

در تحلیل و طراحی دیوارهای خاک مسلح علاوه بر پایداری کلی در پایان ساخت باید پایداری در طول فرآیند ساخت نیز بررسی شود. نتایج حاصل از تحلیل عددی نشان می‌دهند که نحوه خرابی و شکست پس از مرحله دوم ساخت آغاز می‌شود لذا ارزیابی ضریب اطمینان پایداری در این مرحله و همچنین مراحل بعدی ساخت دارای اهمیت است. پس از ساخت و مسلح‌سازی خاک با ژئوسل، سربار اضافی به صورت یک بار گسترده در سطح بالادست اعمال می‌شود تا میزان پایداری و تغییرشکل دیوار نیز در این شرایط مورد ارزیابی قرار گیرد. در این مرحله سه حالت مختلف شامل بدون سربار،



شکل ۵. تحلیل عددی جابجایی دیوار با هندسه ساخت ۱۰ درجه همراه با المان ژئوسل و بار سطحی ۱۰۰ کیلوپاسکال



شکل ۶. ضرایب اطمینان پایداری دیوار متناسب با تغییر مکان دیوار در هندسه ساخت ۱۰ درجه و بار سطحی ۱۰۰ کیلوپاسکال

جدول ۳. مقادیر جابجایی و ضریب اطمینان پایداری دیوار در شرایط مختلف هندسه و سربار

سربار ۱۵۰ کیلوپاسکال		سربار ۱۰۰ کیلوپاسکال		بدون سربار		مش بندی	زاویه ساخت دیوار
جابجایی (میلی متر)	ضریب اطمینان	جابجایی (میلی متر)	ضریب اطمینان	جابجایی (میلی متر)	ضریب اطمینان		
۱۰/۲	۱/۴۵	۸/۳	۱/۶۵	۰/۹	۲/۵۱	متوسط	۳۰
۹/۳	۱/۲۲	۷/۲	۱/۴۱	۱/۱	۱/۸۸	متوسط	۲۰
۸/۴	۱/۲۷	۶/۱	۱/۴۷	۱/۲	۱/۷۲	متوسط	۱۰
۸/۵	۱/۰۸	۶/۲	۱/۲۲	۱/۳	۱/۵۴	متوسط	۰

ارزیابی رفتار دیوار حائل از لحاظ نحوه چیدمان ژئوسل

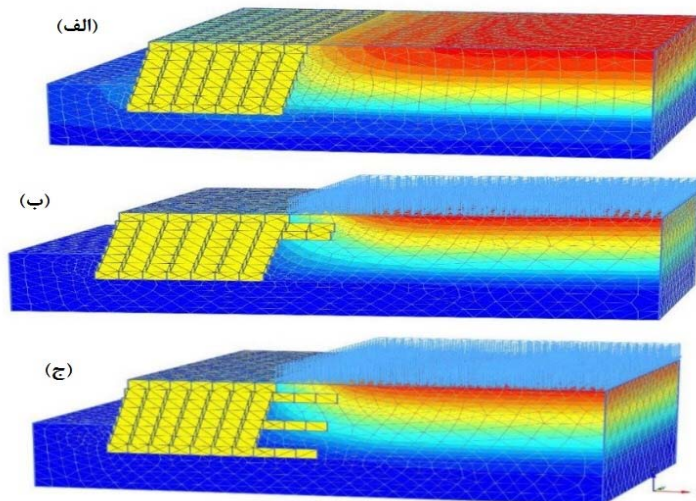
هدف اصلی استفاده از مسلح کننده ژئوسل به منظور تثبیت خاکریز، افزایش پایداری و همچنین کاهش تغییر شکل ماندگار در سطح خاکریز و جبهه نمای دیوار مورد نظر مهندسان در بسیاری از سازه‌های ژئوتکنیکی است. یک راهکار ساده و سریع در کاربرد ژئوسل، جاگذاری آنها را تمام طول و ارتفاع دیوار با چیدمان منظم و متقارن است اما این روش غیراقتصادی بوده و باعث افزایش هزینه و زمان اجرا می‌شود. در این تحقیق نحوه آرایش و چیدمان مسلح کننده‌ها مورد بررسی قرار گرفته به طوری که از مسلح سازی منظم خاکریز با لایه های ژئوسل صرف نظر و حالات مختلف آرایش در سه چیدمان مجزا به شرح زیر مورد ارزیابی قرار گرفته است (شکل ۷).

-چیدمان ۱: خاکریز با هفت لایه یکسان، مساوی و منظم از ژئوسل در طول و ارتفاع مسلح شده است.

-چیدمان ۲: طول مسلح کننده ژئوسل فقط در دو لایه بالایی خاکریز افزایش داده شود. این چیدمان باعث کاهش تغییر مکان تاج دیوار خواهد شد. در این چیدمان لایه‌های دوم و سوم به میزان ۲ سلول ژئوسل افزایش طول دارند.

-چیدمان ۳: طول مسلح کننده ژئوسل به طور متناسب در ۳ لایه با فاصله مساوی در عمق دیوار افزایش داده شده است. این چیدمان باعث افزایش پایداری دیوار خواهد شد. در این چیدمان برخی لایه‌های میانی مسلح کننده به میزان ۲ سلول افزایش طول دارند.

نتایج جدول ۳ نشان می‌دهند که در حالت بدون سربار با زاویه ساخت ۳۰ درجه، ضریب اطمینان پایداری بیشترین مقدار و دیوار خاک مسلح بیشترین ایمنی را دارد. این نتایج همچنین بیان می‌کنند با افزایش سربار، ضریب ایمنی کاهش و مقدار جابجایی افزایش می‌یابد در حالیکه با افزایش زاویه اجرای خاکریز، ضریب اطمینان پایداری افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه تحت سربار ۱۰۰ کیلوپاسکال و زاویه ساخت قائم، مقدار جابجایی کاهش می‌یابد این موضوع ناشی از عملکرد تنش سربار قائم و افزایش اثر محدود شونده گی خاک درون سلولها قابل توجه است. این موضوع تحت سربار ۱۵۰ کیلوپاسکال نیز مجدد تکرار می‌شود. لازم به ذکر است هرچند با افزایش زاویه اجرای خاکریز ضریب اطمینان پایداری افزایش می‌یابد اما ممکن است در هر پروژه‌ای شرایط جهت اجرای خاکریز با شیب زیاد به دلیل محدودیت ابعاد هندسه محل و احتمال تداخل با فضاها و سازه‌های بالادست وجود نداشته نباشد. لذا اجرای خاکریز مسلح شده با سلول‌های ژئوسل با شیب کم قابل توجه است. در ادامه این تحقیق زاویه ساخت ۱۰ درجه برای امتداد دیوار انتخاب و مورد مطالعات مرحله بعد قرار گرفت.



شکل ۷. حالات مختلف آرایش مسلح کننده در دیوار حائل؛ الف) چیدمان ۱، ب) چیدمان ۲، ج) چیدمان ۳

تغییر مکان‌ها و به دنبال آن مقدار و گستره جابجایی دیوار در آن تراز بیشتر است. با تقویت بیشتر آن محدوده توسط مسلح کننده ژئوسل، توزیع بار و تنش به حجم و توده بیشتری از خاک گسترش پیدا کرده و به دنبال آن مقدار و محدوده تغییر شکل کاهش و ضریب اطمینان افزایش خواهد یافت.

با تحلیل عددی سه نوع چیدمان فوق، مقادیر تغییر مکان تاج و ضریب اطمینان پایداری مورد ارزیابی که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. نتایج این تحلیل نشان می‌دهند که در چیدمان ۲ به دلیل بالا بودن ضریب اطمینان، در مقایسه با دیگر آرایش‌ها نتایج بهتری از نظر پایداری و تغییر مکان وجود دارد. با اعمال سربار بر روی خاکریز، به دلیل شدت تنش در محل سربار میزان

جدول ۴. مقادیر تغییر مکان و ضریب اطمینان با زاویه ساخت ۱۰ درجه در شرایط مختلف چیدمان مسلح کننده

چیدمان ۳		چیدمان ۲		چیدمان ۱		سربار
جابجایی (میلی‌متر)	ضریب اطمینان	جابجایی (میلی‌متر)	ضریب اطمینان	جابجایی (میلی‌متر)	ضریب اطمینان	
۱/۲۳	۱/۶۷	۱/۱۵	۱/۹۲	۱/۲	۱/۷۲	بدون سربار
۶/۹	۱/۳۲	۶/۷	۱/۳۳	۶/۱	۱/۴۷	۱۰۰ کیلوپاسکال
۹/۶۵	۱/۱۹	۹/۷۱	۱/۲۳	۸/۴	۱/۲۷	۱۵۰ کیلوپاسکال

تجزیه و تحلیل دینامیکی

طبیعی سیستم بر حسب هرتز می‌باشد. برای طراحی سازه تحت بارهای دینامیکی باید توجه شود که تشدید ۱۳ رخ ندهد. عبارتی فرکانس طبیعی سیستم نباید با فرکانس بارگذاری و یا فرکانس شرایط بهره‌برداری نزدیک باشند. لحاظ کردن میرایی باعث خواهد فرکانس طبیعی افزایش یابد.

در ادامه تحلیل، خاکریز ابتدا تحت سربار یکنواخت استاتیکی ۲۰ کیلوپاسکال معادل سربار یک ساختمان دو طبقه قرار می‌گیرد. این بارگذاری بر اساس دستورالعمل پیشنهادی نرم‌افزار پلکسیس اعمال می‌شود و نشان‌دهنده تنش اولیه ایجاد شده قبل از شروع جابجایی و نشست است. سپس بارگذاری دینامیکی با اعمال شتاب هارمونیک در بستر کف خاکریز

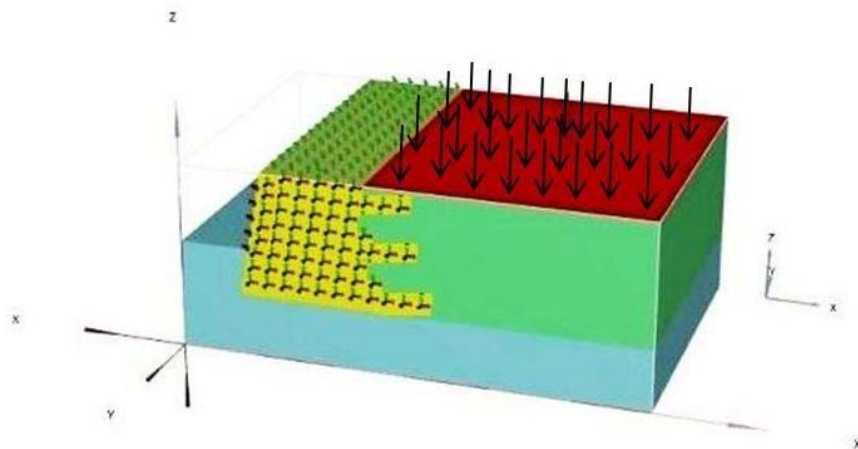
در ادامه این تحقیق، تحلیل دینامیکی دیوار مسلح شده با ژئوسل با هندسه مطابق چیدمان ۱ و چیدمان ۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. در اولین مرحله با انجام تحلیل عددی، فرکانس طبیعی^{۱۱} سیستم محاسبه می‌شود. در این روش تحلیلی از میرایی^{۱۲} خاک صرف‌نظر شده و در نتیجه سیستم دچار یک نوسان نامیرا می‌گردد که یک روش مناسب برای محاسبه فرکانس طبیعی سیستم سازه‌های مختلف در نرم‌افزارهای عددی است. در تحلیل دینامیکی ابتدا با اعمال شتاب ثقل، مدل تحت بار دینامیکی ناشی از شتاب گرانش قرار می‌گیرد. سپس نمودار جابجایی قائم نسبت به زمان از نرم‌افزار استخراج می‌شود. تعداد نوسانات در مدت زمان یک ثانیه بیانگر فرکانس

می‌شود. انتخاب بار هارمونیک با استناد به تحقیق مونجی و همکاران ۲۰۱۴ در مدل‌سازی عددی یک خاکریز مسلح انجام شده است (Munjy et al. 2014).

اعمال شده و در شکل ۸ نشان داده شده است. بار هارمونیک شکل سینوسی داشته و تحت چند فرکانس با فاصله زمانی ۱۰ ثانیه بر خاکریز اعمال می‌گردد که مشخصات بارگذاری در جدول ۵ آمده است. بار دینامیک به کف مدل در بستر اعمال

جدول ۵. مشخصات بار دینامیکی اعمال شده در تحلیل دینامیک خاکریز

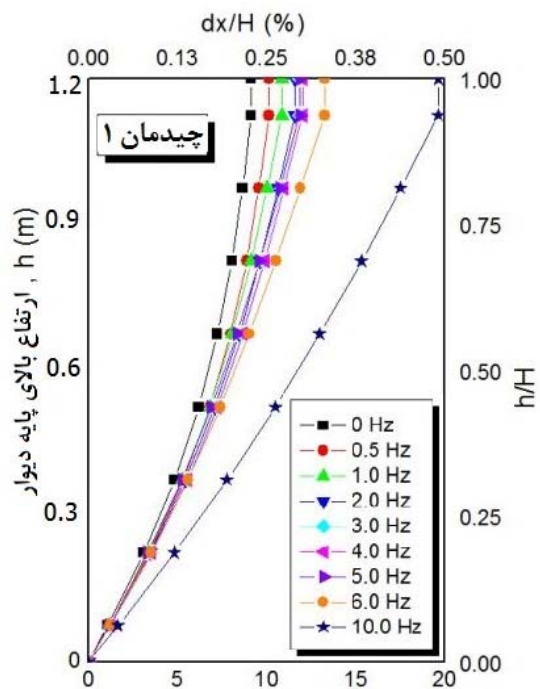
مدت زمان ارتعاش (ثانیه)	فرکانس ارتعاش (هرتز)	سرعت (متر بر ثانیه)	شتاب ارتعاش (g)
۱۰-۰	۰/۵	۳۱	۰/۰۱
۱۰-۲۰	۱	۶۲	۰/۰۴
۲۰-۳۰	۲	۱۲۵	۰/۱۶
۳۰-۴۰	۳	۱۸۸	۰/۳۶
۴۰-۵۰	۴	۲۵۰	۰/۶۴
۵۰-۶۰	۵	۳۱۴	۱
۶۰-۷۰	۶	۳۷۷	۱/۵
۷۰-۸۰	۱۰	۶۲۸	۲/۵۶



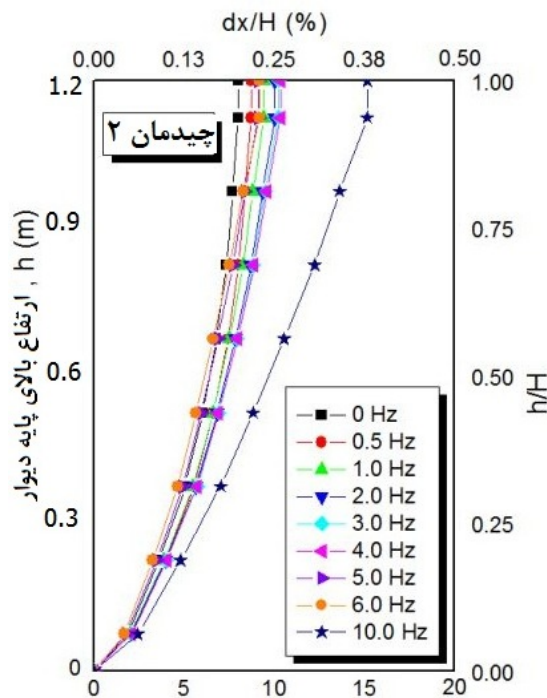
شکل ۸. مدل‌سازی دیوار مسلح شده با ژئوسل تحت سربار و اعمال بار دینامیکی

بارگذاری بر رفتار و پاسخ دیوار است به طوری که با افزایش فرکانس بارگذاری^۴، میزان تغییر شکل‌ها نیز افزایش یافته و در فرکانس ۱۰ هرتز به حداکثر مقدار می‌رسد این بدان معنی است که به فرکانس طبیعی سازه نزدیک می‌شویم.

جابجایی افقی جبهه نمای دیوار حاصل از نتایج تحلیل دینامیکی در فرکانس‌های مختلف در شکل ۹ و ۱۰ آمده است. نتایج این شکل‌ها نشان می‌دهند پاسخ دیوار همانند یک تیر طره است بطوریکه جابجایی در پایین دیوار ناچیز و میزان تغییر شکل‌ها به شکل منحنی پارابولیک بوده و در بالای دیوار حداکثر می‌شود. همچنین این نتایج بیانگر تاثیر فرکانس



شکل ۹. جابجایی افقی نمای دیوار خاکی مسلح شده با ژئوسل در چیدمان ۱



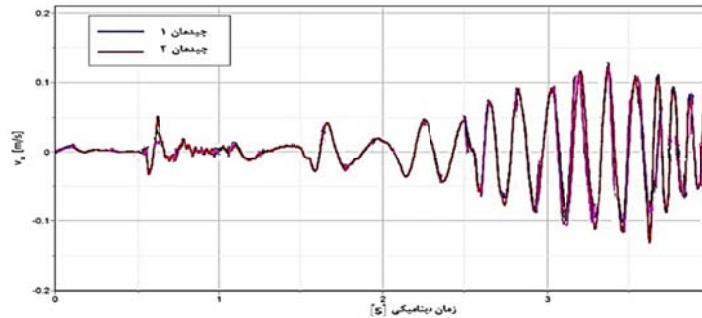
شکل ۱۰. جابجایی افقی دیوار خاکی مسلح شده با ژئوسل در چیدمان ۲

نوسان بیشتری در مقایسه با چیدمان ۱ در تمام مدت ارتعاش دارد. حداکثر دامنه نوسان در زمان حدود ۳/۵ ثانیه اتفاق می افتد و سپس از شدت آن کاسته می شود. همچنین تاریخچه

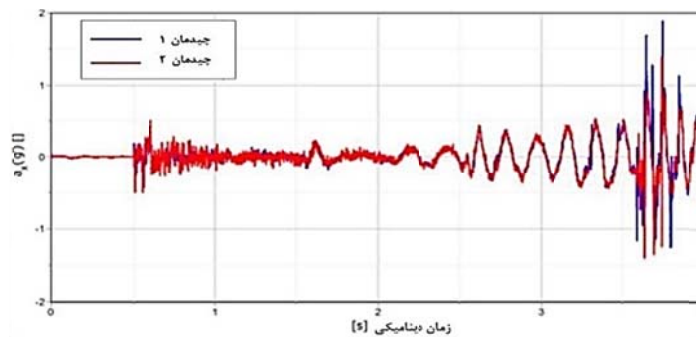
تاریخچه زمانی سرعت جانبی در بالای دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل حاصل از تحلیل دینامیکی در شکل ۱۱ نشان داده شده است. این شکل نشان می دهد که هندسه چیدمان ۲

نوسان بیشتر از چیدمان ۲ می‌باشد و مشاهده می‌شود بیشترین نوسان در بازه زمانی ۳/۵ ثانیه رخ می‌دهد. برخی مقادیر نمودار به دلیل عدم همگرایی گام‌های زمانی خاص در تحلیل دینامیکی دارای پراکندگی می‌باشند.

زمانی شتاب جانبی در سطح دیوار خاک مسلح در شکل ۱۲ نشان داده شده است. نتایج این شکل نشان می‌دهد شتاب افقی با افزایش فرکانس و در محدوده فرکانس طبیعی، شدت خواهد یافت. همچنین مقایسه نتایج نشان می‌دهد در چیدمان ۱، شدت



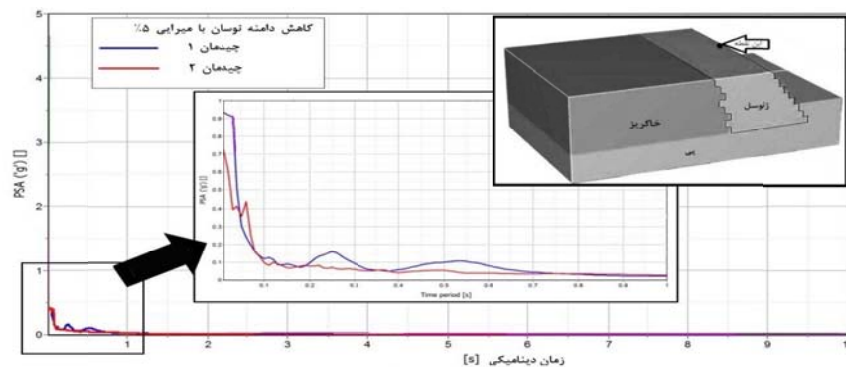
شکل ۱۱. تاریخچه زمانی سرعت افقی سطح دیوار خاک مسلح



شکل ۱۲. تاریخچه زمانی شتاب افقی بالای دیوار خاک مسلح

در تراز بالای دیوار در چیدمان ۱ شدت بیشتری دارد. همچنین نتایج این شکل نشان می‌دهد کاهش نوسان تا زمان ۱۰ ثانیه ادامه دارد و میرایی بر فرکانس‌های بالاتر ارتعاش تاثیر بیشتری دارد.

شکل ۱۳ طیف شتاب در سطح دیوار خاک مسلح را نشان می‌دهد. این بخش از تحلیل، با در نظر گرفتن ۵ درصد میرایی برای خاک لحاظ شده است. دیوار تحت فرکانس حدود ۰/۵ هرتز، پاسخ بیشتری از خود نشان می‌دهد. طیف شتاب



شکل ۱۳. طیف شتاب در سطح دیوار خاک مسلح

۵- نتیجه گیری

-نتایج این تحقیق نشان می‌دهند با انتخاب چیدمان مختلف ژئوسل، در چیدمان ۲ پایداری بیشتر و تغییر مکان کمتر خواهد بود. اعمال سربار به دلیل افزایش شدت تنش موجب گسترش جابجایی خواهد شد که با تقویت خاک مسلح در آن محدود، توزیع بار و تنش به حجم و توده بیشتری از خاک گسترش پیدا کرده و به دنبال آن مقدار و محدوده تغییر شکل کاهش و ضریب اطمینان افزایش خواهد یافت.

-نتایج تحلیل دینامیکی نشان می‌دهند پاسخ دیوار همانند یک تیر طره در پایین دیوار میزان جابجایی ناچیز و در بالای دیوار حداکثر می‌باشد. رفتار دیوار تابع فرکانس بارگذاری می‌باشد و در محدوده فرکانس طبیعی پاسخ شدت بیشتری دارد. پاسخ دینامیکی دیوار با کنترل سرعت، جابجایی و شتاب در سطح دیوار برای چیدمان ۱، دارای شدت نوسان بیشتری در مقایسه با چیدمان ۲ می‌باشد.

-نتایج تحلیل دینامیکی نشان می‌دهد رفتار خاک مسلح شده با ژئوسل در فرکانس‌های بالا تأثیر کمی از چیدمان مسلح کننده دارد اما در فرکانس‌های پایین اثر محسوسی دارد.

در این تحقیق مطالعه رفتار دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل با تحلیل پایداری، ضریب اطمینان و تغییر مکان در حالات و شرایط مختلف از نظر هندسه، امتداد، زاویه ساخت، چیدمان و سربار مختلف انجام شده است تا با مقایسه نتایج، هندسه و زاویه مناسب ساخت دیوار از نظر پایداری و هم از نظر اقتصادی مشخص شود. سپس با تحلیل دینامیکی تحت بار هارمونیک در فرکانس‌های مختلف، مقادیر ضریب اطمینان، تغییر مکان، تاریخچه زمانی (جابجایی، سرعت و شتاب) و همچنین طیف شتاب با در نظر گرفتن میرایی ۵ درصد مورد ارزیابی قرار گرفت. بر این اساس نتایج این تحقیق را می‌توان به صورت زیر جمع‌بندی و خلاصه کرد:

-ساخت دیوار خاک مسلح شده با ژئوسل بدون اعمال سربار با زاویه کمتر نسبت به افق پایداری بیشتری دارد بطوریکه ساخت دیوار با زاویه ۳۰ درجه نسبت با قائم نسبت به دیگر شرایط پایداری بیشتر، تغییر مکان کمتر و هزینه ساخت کمتری خواهد داشت. اگر زاویه ساخت دیوار کمتر از ۳۰ درجه باشد، هزینه افزایش خواهد یافت که دلیل آن افزایش محدوده استقرار ژئوسل و در نتیجه افزایش ابعاد خاک مسلح خواهد بود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- High Density Polyethylene
- 2- GEOFEM
- 3- FLAC
- 4- Abaqus
- 5- American Association of State Highway and Transportation Officials
- 6- Federal Highway Administration
- 7- Stability Reliability
- 8- Harmonic Load
- 9- Mohar Columb Model
- 10- Hardening Model
- 11- Natural Frequency
- 12- Damping
- 13- Resonance
- 14- Loading Frequency
- 15-

۷- مراجع

- Abdelouhab, A., Dias, D., & Freitag, N. (2011). Numerical analysis of the behaviour of mechanically stabilized earth walls reinforced with different types of strips. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 29, No.2, 116-129.
- Bathurst, R. J. (1997). Review of seismic design, analysis and performance of geosynthetic-reinforced walls, slopes and embankments. *Earth reinforcement*, 887-918.
- Bathurst, R. J., & Cai, Z. (1995). Pseudo-static seismic analysis of geosynthetic-reinforced segmental retaining walls. *Geosynthetics International*, Vol. 2, No. 5, 787-830.
- El-Emam, M. M., & Bathurst, R. J. (2005). Facing contribution to seismic response of reduced-scale reinforced soil walls. *Geosynthetics International*, Vol. 12, No. 5, 215-238.
- Elias, V., Christopher, R., & Barry, P. E. (1997). Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines: FHWA Demonstration Project 82, Reinforced Soil

- Hegde, A., & Sitharam, T. G. (2015). Joint strength and wall deformation characteristics of a single-cell geocell subjected to uniaxial compression. *International Journal of Geomechanics*, Vol. 15, No.5, 401-408.

- Mehdipour, I., Ghazavi, M., & Moayed, R. Z. (2013). Numerical study on stability analysis of geocell reinforced slopes by considering the bending effect. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 37, 23-34.
- Munjy, H., Tehrani, F. M., Xiao, M., & Zoghi, M. (2014). A numerical simulation on the dynamic response of MSE wall with LWA backfill. *Proceeding Numerical Methods in Geotechnical Engineering*, Vol. 1, 1147-1152.
- Rahmouni, O., Mabrouki, A., Benmeddour, D., & Mellas, M. (2016). A numerical investigation into the behavior of geosynthetic-reinforced soil segmental retaining walls. *International Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 10, No. 5, 435-444.
- Segrestin, P., & Bastick, M. J. (1988). Seismic design of reinforced earth retaining walls-the contribution of finiteelements analysis. In *International geotechnical symposium on theory and practice of earth reinforcement*, 577-582.
- Song, F., Liu, H., Chai, H., & Chen, J. (2017). Stability analysis of geocell-reinforced retaining walls. *Geosynthetics International*, Vol. 24, No. 5, 442-450.
- Yogendrakumar, M., Bathurst, R. J., & Finn, W. L. (1991). Response of reinforced soil slopes to earthquake loadings. In *Proceedings of the 6th Canadian Conference on Earthquake Engineering*, 445-452.
- Yoo, C., & Kim, S. B. (2008). Performance of a two-tier geosynthetic reinforced segmental retaining wall under a surcharge load: full-scale load test and 3D finite element analysis. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 26, No. 6, 460-472.
- Yu, Y., Damians, I. P., & Bathurst, R. J. (2015). Influence of choice of FLAC and PLAXIS interface models on reinforced soil-structure interactions. *Computers and Geotechnics*, Vol. 65, 164-174.
- Structures WSEW [ie MSEW] and RSS. *Federal Highway Administration*.
- Fakharian, K., & Attar, I. H. (2007). Static and seismic numerical modeling of geosynthetic-reinforced soil segmental bridge abutments. *Geosynthetics International*, Vol. 14, No.4, 228-243.
- Garcia, R. S., & Neto, J. A. (2021). Stress-dependent method for calculating the modulus improvement factor in geocell-reinforced soil layers. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 49, No.1, 146-158.
- Isik, A., & Gurbuz, A. (2020). Pullout behavior of geocell reinforcement in cohesionless soils. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 48, No. 1, 71-81.
- Jones, C. J. (2013). Earth reinforcement and soil structures. *Elsevier*.
- Khorsandiardebili, N., & Ghazavi, M. (2021). Static stability analysis of geocell-reinforced slopes. *Geotextiles and Geomembranes (In Press)*.
- Latha, G. M., & Manju, G. S. (2016). Seismic response of geocell retaining walls through shaking table tests. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 2(1), 7.
- Leshchinsky, B., & Ling, H. I. (2013). Numerical modeling of behavior of railway ballasted structure with geocell confinement. *Geotextiles and Geomembranes*, Vol. 36, 33-43.
- Liu, Y., Deng, A., & Jaks, M. (2018). Three-dimensional modeling of geocell-reinforced straight and curved ballast embankments. *Computers and Geotechnics*, Vol. 102, 53-65.
- Madhavi Latha, G., & Rajagopal, K. (2007). Parametric finite element analyses of geocell-supported embankments. *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 44, No. 8, 917-927.

Stabilization Analysis of Geocell Reinforced Embankments

Saeed Ghaffarpour Jahromi, Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

Iman Bagheri, M.Sc., Grad., Faculty of Civil Engineering, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, Iran.

E-mail: saeed_ghf@sru.ac.ir

Received: February 2024- Accepted: June 2024

ABSTRACT

Various geosynthetic reinforcements used to stability of soil slopes and geocells due to the three-dimensional nature of cells proposed by many researchers. Most current researches of reinforced soil analyze are two dimensions, which is inefficient for modeling the 3D geocell element. In this paper, the static and dynamic response of reinforced soil studied by three-dimensional modeling. For this purpose, Plaxis-3D finite element software has been used to modeling with different geometric characteristics. The results of this study show that the geometry of the wall including the height and angle of the embankment as well as the arrangement of geocell cells at different level (height) and the length of the penetration affect the lateral displacement and the embankment stability coefficient.

Keywords: Reinforced Soil, Geocell, Stability, Dynamic Load, Embankment