

بررسی عددی اثر اندازه نمونه بر رفتار زهکشی نشده خاک چسبنده مسلح با ژئوتکستایل

نادیا نویدی نیا^۱، رضا نورزاد^{۲*}، مریم یوسف نژاد^۳

^۱ کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
^۲ دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل
^۳ کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

دریافت: ۱۳۹۸/۹/۲۶، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶، نشر آنلاین: ۱۳۹۹/۱۲/۲۶

چکیده

اثر اندازه نمونه، پدیده‌ای به معنای وابستگی مقاومت به اندازه نمونه مورد آزمایش است که سبب می‌شود نمونه‌های کوچک‌تر دارای مقاومت بیشتری نسبت به نمونه‌های بزرگ‌تر باشند. بیش‌تر آزمایش‌های آزمایشگاهی که در مقیاس کوچک انجام می‌شوند، باید برای سازه‌های واقعی خیلی بزرگ‌تر قابل تعمیم باشند. پژوهش حاضر، برای بررسی اثرات اندازه نمونه بر رفتار مکانیکی و ویژگی‌های رسی مسلح با ژئوتکستایل (Geotextile) در کوتاه‌مدت با استفاده از نرم‌افزار پلکسیس (Plaxis) انجام شده است. این بررسی ابتدا با شبیه‌سازی آزمایش‌های سه‌محوری حاصل از نتایج آزمایشگاهی اعتبارسنجی و سپس برای بررسی پدیده اندازه نمونه، با قطرهای مختلف ۳۸، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متر انجام شد. تأثیر عواملی چون تعداد لایه و نوع ژئوتکستایل، فشار دورگیر، دو الگوی مور- کولمب (Mohr-Coloumb) و سخت‌شونده برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند که نتایج نشان می‌دهند الگوی سخت-شونده پیش‌بینی واقعی‌تری از رفتار خاک دارد و مقادیر به‌دست‌آمده از آن همواره کم‌تر از نتایج الگوی مور- کولمب می‌باشد. در نمونه‌های غیرمسلح اثر اندازه نمونه ناچیز است ولی در نمونه‌های مسلح در هر فشار دورگیر و تعداد لایه ژئوتکستایل، این تأثیر تنها تا قطر ۴۰۰ میلی‌متر قابل مشاهده می‌باشد و پس از آن هر تغییری در ابعاد نمونه تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر نتایج ندارد. از این‌رو نمونه با قطر ۴۰۰ میلی‌متر می‌تواند برای رفتار خاک‌های رسی مسلح در شرایط کوتاه‌مدت معرفی گردد. به‌بیان‌دیگر، استفاده از نمونه با قطر ۴۰۰ میلی‌متر به‌جای نمونه قطر ۳۸ میلی‌متری برای تعیین پارامترهای مقاومتی خاک‌های رسی مسلح با ژئوتکستایل در شرایط کوتاه‌مدت پیشنهاد می‌گردد.

کلیدواژه‌ها: اثر اندازه، رسی مسلح، ژئوتکستایل، آزمایش سه‌محوری، PLAXIS 2D.

۱- مقدمه

نمونه‌های کوچک‌تر مقاومتی بیشتر از نمونه‌های بزرگ‌تر از خود نشان می‌دهند، حال آنکه رفتار تنش- کرنش نمونه بزرگ‌تر به‌طور واقعی‌تری نماینده تغییر شکل‌ها و مقاومت سازه با ابعاد واقعی می‌باشد (Harris و Sabnis، ۲۰۱۰).

ساخت نمونه‌های با ابعاد بزرگ‌تر برای بررسی اثر اندازه در آزمایشگاه دارای مشکلات خاص خود است، از این‌رو مدل‌سازی عددی برای بررسی اثر اندازه مدنظر قرار گرفت. استفاده از نمونه با اندازه‌های مختلف باعث بروز رفتارهای متفاوت خاک می‌شود. رفتار خاک نباید به اندازه نمونه مورد استفاده وابسته باشد (Omar و همکاران، ۲۰۱۴).

آزمایش سه‌محوری، متداول‌ترین آزمایش مقاومتی برای نمونه‌های خاک در طراحی سازه‌ها می‌باشد. سازه‌های مسلح

خاک‌های رس‌دار با توجه به خصوصیات خاص مهندسی، دارای اهمیت خاصی می‌باشند و عموماً جهت کاهش مشکلات ناشی از خاک‌های رس‌دار و جهت تثبیت آن‌ها از مواد افزودنی بهره گرفته می‌شود (شوش پاشا و روشن، ۱۳۹۷).

اثر اندازه نمونه، پدیده‌ای به معنای وابستگی مقاومت به ابعاد نمونه مورد آزمایش است که اگرچه از شناخت آن زمان زیادی می‌گذرد اما هنوز جایگاه خاصی در امور طراحی ندارد. پارامترهای ژئوتکنیکی مورد استفاده در طراحی‌ها و آیین‌نامه‌ها بر پایه آزمون‌های آزمایشگاهی تعیین می‌گردند. این پارامترها که اساساً از نمونه‌های کوچک‌تر استخراج می‌شوند، باید قابل‌اعتماد باشند (Bazant، ۱۹۸۴).

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۲۱۷۶۳۷۶۴

بحرانی از خاک مشخص گردد که نماینده بهتری از واقعیت می-باشد. هدف اصلی این پژوهش، یافتن ارتباط بین ابعاد مختلف نمونه و اندازه بهینه‌ای است که در آن اثر اندازه محو شده و رفتار نمونه متأثر از اندازه آن نیست و می‌توان با اطمینان از نتایج آن استفاده نمود. اثر اندازه نمونه بر رفتار خاک مسلح، به‌خصوص برای خاک‌های رسی کم‌تر انجام شده است. از این‌رو، ضرورت بررسی عددی رفتار این نوع خاک‌ها احساس می‌شود.

۲- مدل‌سازی عددی

در این پژوهش نرم‌افزار پلکسیس دوبعدی برای الگوسازی نمونه‌های سه‌محوری استفاده شده است. در آزمایش‌های سه-محوری، اصطکاک بین دو انتهای نمونه و کلاهک‌های صلب رویی و زیری باعث می‌شود تا ذرات خاک در این سطوح آزادانه تغییر شکل جانبی ندهند و این موضوع موجب توزیع غیریکنواخت تنش و کرنش می‌گردد و بر ویژگی‌های مقاومتی، تغییر حجم و فشار آب منفذی تأثیر می‌گذارد. مطالعات برخی از محققان نشان داد که با استفاده از نمونه‌های با نسبت طول به قطر در حدود دو (بین ۲ تا ۲/۵) و صفحات انتهایی معمولی، اندازه‌گیری مقاومت خاک قابل‌اعتماد می‌باشد. به همین دلیل نمونه‌های خاک برای آزمایش‌های سه‌محوری با نسبت طول به قطر ۲ تا ۲/۵ استاندارد شده‌اند (Haeri و Noorzad، ۲۰۰۰).

به‌علت وجود سطح مقطع دایره‌ای و اعمال بارگذاری پیرامون نمونه، الگوی تقارن محوری برای مسئله انتخاب شده و تنها یک چهارم نمونه خاک با ابعاد H و $\frac{D}{2}$ که H به ترتیب قطر و ارتفاع نمونه هستند، مورد تحلیل قرار می‌گیرند. با توجه به این‌که مرز سمت چپ محل محور تقارن است، در این مرز جابه‌جایی در جهت افقی صفر می‌باشد. در مرز پایینی نمونه، در دو جهت گیرداری ایجاد شده و سطوح بالا و راست نمونه آزاد در برابر تغییر شکل هستند (PLAXIS Reference Manual، ۲۰۰۲).

به‌منظور شبیه‌سازی آزمایش سه‌محوری استاتیکی، مدل‌سازی به‌روش کنترل کرنش و در دو مرحله انجام گردید. در مرحله اول فشار دورگیر در مرز بالا و سمت راست و در مرحله دوم با ثابت نگاه داشتن فشار دورگیر، جابه‌جایی از پیش تعیین شده‌ای که مطابق استاندارد (ASTM D2850)، ۱۵ درصد ارتفاع نمونه است، به مرز بالایی نمونه اعمال می‌گردد. شرایط گیرداری تخصیص داده شده به پایین و سمت چپ نمونه، شرایط واقعی ایجاد شده در نمونه را با برقراری تعادل استاتیکی ارضا می‌نماید. شرایط بارگذاری و استاتیکی نمونه در (شکل ۱) نشان داده شده است.

ژئوسنتتیکی^۱، به‌ویژه ژئوتکستایل^۲ به‌عنوان فرآیندی که موجب جبران ضعف مقاومت کششی خاک و همچنین ارتقای مقاومت فشاری می‌شود، در سراسر دنیا شناخته شده است. در زمینه تسلیح خاک بیشتر پژوهش‌ها در مورد خاک‌های دانه‌ای است و خاک‌های رسی به‌علت مقاومت پایین، امکان تغییر حجم، ایجاد فشار آب حفره‌ای مثبت در کوتاه‌مدت و خزش در بلندمدت کم‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند (Yang و همکاران، ۲۰۱۵).

Fourie و Fabian (۱۹۸۷) با انجام تعداد زیادی آزمایش نشان دادند که مقاومت برشی رس می‌تواند در هر دو شرایط کوتاه-مدت (زهکشی نشده) و بلندمدت (زهکشی شده) با انتخاب ژئوتکستایل مناسب افزایش یابد.

Haeri و همکاران (۲۰۰۰) آزمایش‌های سه‌محوری فشاری بر نمونه‌های ماسه اشباع مسلح شده با ژئوتکستایل انجام دادند. نتایج نشان دادند که برای نمونه‌های غیرمسلح، اندازه نمونه تأثیری در رفتار نمونه‌ها ندارد. در حالی که برای نمونه‌های خاک مسلح، نمونه‌های با قطر ۳۸ میلی‌متر، افزایش مقاومت بیش‌تری در قیاس با نمونه‌ها به قطر ۱۰۰ میلی‌متر نشان می‌دهند.

Unkrishnan و همکاران (۲۰۰۲) آزمایش‌های UU روی نمونه‌های خاک ریزدانه با قطر ۳۸ و ۱۰۰ میلی‌متر و ارتفاع ۷۶ و ۲۰۰ میلی‌متر انجام دادند. آن‌ها در این پژوهش از سه نوع تسلیح کننده ژئوتکستایل بافته‌شده، بافته‌نشده و میکروگرید^۳ و پنج ضخامت گوناگون از لایه ماسه استفاده نمودند. نتایج نشان داد که در تمامی موارد تنش انحرافی بیشینه برای نمونه‌های با قطر ۱۰۰ میلی‌متر، حدود پنج تا هشت درصد کم‌تر از تنش انحرافی بیشینه برای نمونه با قطر ۳۸ میلی‌متر می‌باشد.

Altun و Tuna (۲۰۱۰) آزمایش‌های برش مستقیم فصل مشترک را برای بررسی رفتار مکانیکی خاک دانه‌ای تسلیح شده با ژئوتکستایل انجام دادند که در حین بررسی، مقادیر چسبندگی بالایی مشاهده کردند، با توجه به این‌که مقادیر صفر برای چسبندگی انتظار می‌رفت و خط گسیختگی باید تا مقدار چسبندگی به جهت صفر تغییر مسیر می‌داد. جهت کنترل نتایج یک مجموعه متفاوت آزمایش‌ها با جعبه برش مستقیم اندازه 100×100 میلی‌متر انجام شد. نمونه‌ها با اندازه کوچک مقاومت برشی بیشینه بیش‌تری نسبت به نمونه‌های با اندازه بزرگ نشان دادند.

Omar و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی ترکیبی تحلیل‌های آزمایشگاهی و عددی برای مطالعه اثر اندازه نمونه و اثر مقیاس بر تحلیل و طراحی مهندسی، پیشنهاد دادند که برای اعمال مقاومت برشی در طراحی از نمونه‌ها با قطر بزرگ‌تر استفاده شود تا مقاومت

۲-۲- مشخصات و مدل رفتاری خاک

جزئیات پارامترهای خاک براساس دو نوع الگوی متفاوت در زیر آمده است. نرم افزار PLAXIS برای الگوسازی ژئوتکستایل از جزء ژئوگرید استفاده می کند و این عمل با نسبت دادن سختی به جزء ژئوگرید انجام می شود. در این پژوهش از دو نوع ژئوتکستایل با سختی های متفاوت استفاده شده است تا اثر سختی ژئوتکستایل بر رفتار مکانیکی رس مسلح مشخص گردد. مشخصات این ژئوتکستایل ها در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای خاک براساس الگوی HS

(Mirmoradi و Noorzad, ۲۰۱۰)

R_f	$\varphi(^{\circ})$	C (mPa)	m	E_{ur}^{ref} (mPa)	E_{oed}^{ref} (mPa)	E_{50}^{ref} (mPa)
۰/۹	۲/۱	۰/۲۶	۰/۷	۳۶	۲۷/۷۹	۱۲

جدول ۲- پارامترهای خاک براساس الگوی Mohr-Coloumb

(Mirmoradi و Noorzad, ۲۰۱۰)

$\psi(^{\circ})$	$\varphi(^{\circ})$	C (mPa)	ν	E (mPa)
۰	۲/۱	۰/۲۶	۰/۴۹	۱۲

جدول ۳- مشخصات ژئوتکستایل های مورد استفاده در تحلیل

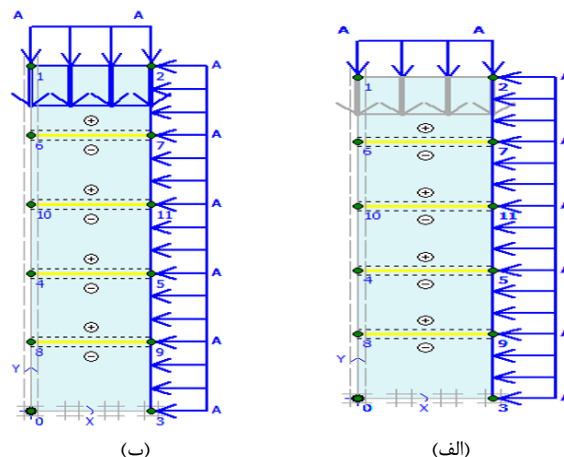
عددی

نام ژئوتکستایل	نوع یک	نوع دو
نوع ژئوتکستایل	بافته نشده	بافته نشده
مقاومت کششی در گسیختگی ($\frac{kN}{m}$)	۱۲/۵	۱۸
کرنش گسیختگی (%)	۳۰	۳۳

۳- صحت سنجی

پیش از انجام تحلیل های اصلی، درستی نرم افزار مورد استفاده برای پژوهش حاضر از طریق استناد به متون فنی معتبر مورد تأیید قرار گرفت. روش کلی الگوسازی رس مسلح با ژئوتکستایل مطابق با روش مورد استفاده در پژوهش های پیشین و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی حاصل از آزمایش های سه محوری نورزاد و میرمردادی (Mirmoradi و Noorzad, ۲۰۱۰) برای قطر ۳۸ میلی متر جهت تحلیل استاتیکی رفتار تنش- کرنش رس مسلح می باشد.

اختلاف نتایج آزمایشگاهی و الگوی Mohr-Coloumb کم تر از از یک درصد و نتایج آزمایشگاهی و الگوی سخت شونده کم تر از هفت درصد می باشد. تطابق خوب منحنی های تنش- کرنش (شکل های (۳) و (۴)) حاصل از نتایج آزمایشگاهی و تحلیل عددی، نشان دهنده درستی روش الگوسازی و نیز قابلیت قابل قبول نرم افزار جهت استفاده می باشد.

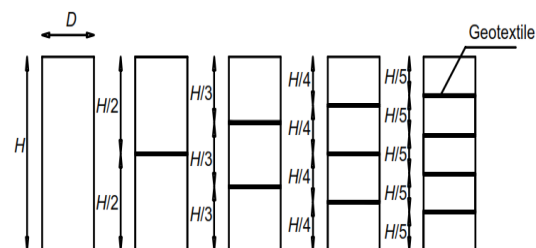


شکل ۱- شبیه سازی عددی نمونه رس مسلح در آزمایش سه محوری: الف) اعمال فشار دورگیر، ب) اعمال بارگذاری برشی

در آزمون سه محوری حلقه بار، بار محوری کل نمونه را در مرز بالایی اندازه گیری می کند، بنابراین در تحلیل های عددی می توان تنش انحرافی را با میانگین گرفتن تنش نقاط مختلف نمونه، معرفی نمود. برای تولید فشار آب حفره ای در الگوسازی آزمایش های سه محوری تحکیم نیافته زهکشی نشده، می توان رفتار زهکشی نشده را شبیه سازی کرد تا برای تولید فشارهای آب حفره ای استفاده شود (Mirmoradi و Noorzad, ۲۰۱۰).

۲-۱- مدل نمونه

به منظور بررسی اثر پارامترهای مختلف بر رفتار رس مسلح، عواملی چون اندازه نمونه (قطرهای ۳۸، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰ و ۶۰۰)، چهار فشار دورگیر (۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ کیلو پاسکال) و تعداد صفر تا چهار لایه ژئوتکستایل مدنظر واقع می شوند. نحوه آرایش ژئوتکستایل در شکل (۲) نشان داده می شود. همچنین تحلیل ها برای دو نوع ژئوتکستایل و دو نوع الگوی رفتاری متفاوت (الگوی Mohr-Coloumb و الگوی سخت شونده) برای المان خاک در نظر گرفته می شود. در جداول (۱) تا (۳) مشخصات مصالح مورد نیاز برای تحلیل های عددی آورده شده است. مشخصات رس مدل شده از آزمایش های سه محوری نمونه های غیرمسلح از مرجع (Mirmoradi و Noorzad, ۲۰۱۰) استخراج شده است.



شکل ۲- نحوه آرایش ژئوتکستایل در نمونه های گوناگون

فشار دورگیر ۴۰۰ کیلوپاسکال است. مشابه این نتیجه نیز در مورد خاک ماسه بابلر در مشاهدات پیشین به اثبات رسیده است (Noorzad و Haeri، ۲۰۰۰).

جدول ۴- اثر اندازه بر مقاومت نمونه رس غیرمسلح

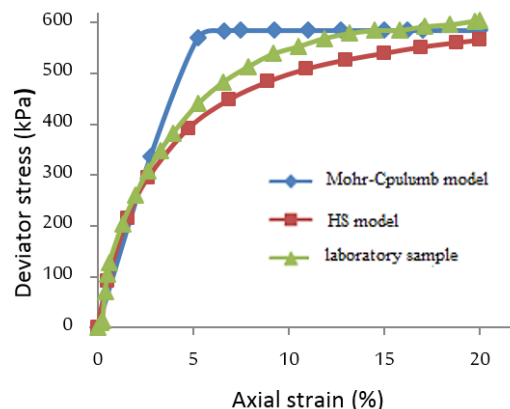
فشار همه‌جانبه (kPa)	قطر (mm)	مقاومت بیشینه (kPa)		اثر اندازه (%)	
		Mohr- Coloumb سخت‌شونده	Mohr- Coloumb سخت- شونده	۱/۰۷	۳/۵
۴۰۰	۳۸	۵۶۹	۵۲۸	۱/۰۷	۳/۵
	۴۰۰	۵۶۳	۵۱۰		
۶۰۰	۳۸	۵۸۸	۵۴۰	۱/۰۳	۱/۱۲
	۴۰۰	۵۸۲	۵۲۴		
۸۰۰	۳۸	۶۰۰	۵۵۸	۰	۱/۱۴
	۴۰۰	۶۰۰	۵۵۰		
۱۰۰۰	۳۸	۵۱۸	۵۷۲	۰/۸۲	۱/۶
	۴۰۰	۶۱۳	۵۶۳		

۴-۲- اثر اندازه بر رفتار نمونه‌های رس مسلح

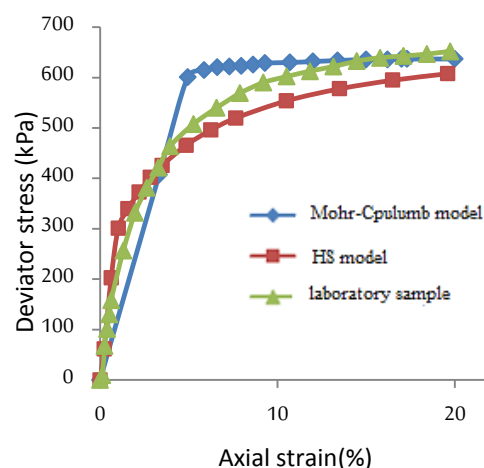
در شکل (۵) منحنی‌های تنش- کرنش رس مسلح با یک لایه ژئوتکستایل در فشار دورگیر ۶۰۰ کیلوپاسکال و برای اندازه نمونه‌های گوناگون نشان داده می‌شود. همچنین شکل (۶) مقاومت نمونه‌های رس مسلح با یک، دو، سه و چهار لایه ژئوتکستایل تحت فشار دورگیر ۶۰۰ کیلوپاسکال و با اندازه نمونه‌های گوناگون را نشان می‌دهد.

با مقایسه نتایج تحلیل‌های عددی نمونه‌های غیرمسلح و مسلح با اندازه نمونه‌های گوناگون برای هر دو نوع ژئوتکستایل، ملاحظه می‌شود که اندازه نمونه برخلاف نمونه‌های غیرمسلح، بر رفتار نمونه‌های مسلح تأثیرگذار است. همان‌طور که در شکل (۵) و (۶) نیز مشاهده می‌گردد نمونه ۳۸ میلی‌متری بیش‌ترین مقاومت را در برابر بارگذاری برشی نشان داده است. در واقع، اثر اندازه نمونه بیان می‌کند در شرایط یکسان از لحاظ نوع و آرایش ژئوتکستایل و فشار دورگیر، افزایش فشار دورگیر ناشی از وجود ژئوتکستایل در نمونه‌های به قطر کوچک (که فاصله بین لایه‌های ژئوتکستایل در آن کم‌تر است)، در مقایسه با نمونه‌های به قطر بزرگ بیش‌تر می‌باشد. میزان اختلاف در تنش انحرافی دو نمونه به قطر ۳۸ و ۲۰۰ میلی‌متر ۱۱/۳ درصد و از نمونه ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متری این اختلاف تنها ۲/۹ درصد می‌باشد. اختلاف دو نمونه ۴۰۰ و ۶۰۰ میلی‌متری ۰/۱۸ درصد که صرف‌نظر کردنی است. همچنین ضریب اصلاحی به‌منظور در نظر گرفتن اثر اندازه، بسته به اندازه نمونه از ۰/۸ تا ۰/۹۶ را اعمال نمود.

همچنین با توجه به شکل (۶) اثر اندازه نمونه بر رفتار خاک



شکل ۳- مقایسه نتایج تحلیل عددی و نتایج آزمایشگاهی برای نمونه رس غیرمسلح به قطر ۳۸ میلی‌متر تحت فشار دورگیر ۶۰۰ کیلوپاسکال



شکل ۴- مقایسه نتایج تحلیل عددی و نتایج آزمایشگاهی برای نمونه رس مسلح با یک لایه ژئوتکستایل به قطر ۳۸ میلی‌متر تحت فشار دورگیر ۱۰۰۰ کیلوپاسکال

۴- نتایج

در این بخش، به نتایج تحلیل‌های به‌دست‌آمده بر اثر اندازه بر روی نمونه‌های رس غیرمسلح و رس مسلح با ژئوتکستایل پرداخته می‌شود. این نتایج به‌صورت جداول و منحنی‌های تنش-کرنش، پوش گسیختگی ارائه شده‌اند.

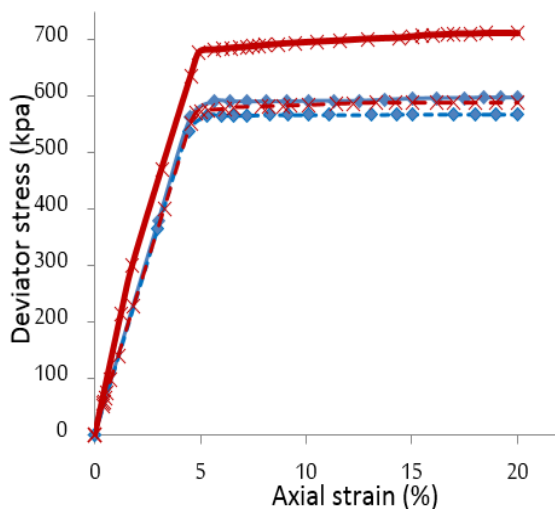
۴-۱- اثر اندازه بر مقاومت بیشینه رس غیرمسلح

اثر اندازه بر مقاومت بیشینه رس غیرمسلح در جدول (۴) نشان داده شده است. براساس جدول (۴)، اندازه نمونه بر رفتار خاک غیرمسلح تأثیری بسیار جزئی دارد و این موضوع برای تمام فشار دورگیرهای اعمالی قابل‌مشاهده است. بیش‌ترین اختلاف در مقاومت بیشینه برای الگوی Mohr-Coloumb ۱/۰۷ درصد و برای الگوی سخت‌شونده ۳/۵ درصد می‌باشد که هر دو مورد مربوط به

قطر کوچکتر مؤثرتر واقع شده است. بیشترین اثر اندازه از قطر ۳۸ تا ۲۰۰ میلی‌متر بروز می‌نماید. همچنین نمونه تسلیح شده با چهار لایه ژئوتکستایل از قطر ۳۸ تا ۲۰۰ میلی‌متر دارای ۱۷ درصد اختلاف اما از قطر ۲۰۰ تا ۴۰۰ به میزان ۱/۲ درصد اختلاف دارد. برای یک لایه ژئوتکستایل نیز میزان این اختلاف‌ها به ترتیب ۷/۲ و ۱/۰۹ درصد می‌باشد.

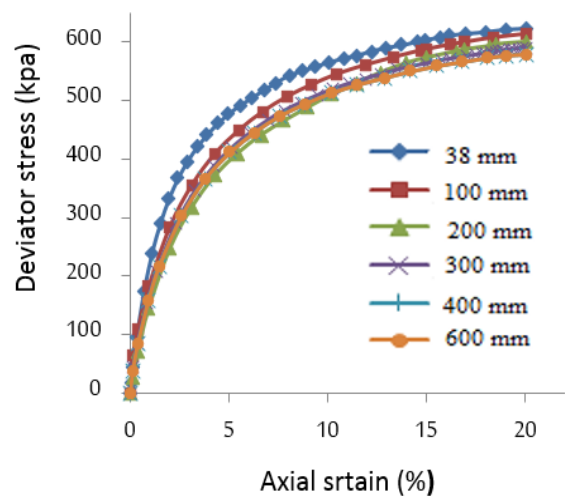
۴-۳- تأثیر تعداد لایه ژئوتکستایل و فشار دورگیر بر اثر اندازه

در شکل‌های (۷) و (۸) تأثیر تعداد لایه ژئوتکستایل بر اثر اندازه در فشار دورگیر ۴۰۰ و ۱۰۰۰ کیلوپاسکال با الگوی Mohr-Coloumb، نشان داده می‌شود. جدول (۵) نیز به‌طور خلاصه اثر تعداد لایه بر اثر اندازه را برای تمامی لایه‌ها در فشار ۴۰۰ کیلوپاسکال نشان می‌دهد. نتایج دو شکل (۷) و (۸) نشان می‌دهد که اثر اندازه نمونه با افزایش تعداد لایه‌های ژئوتکستایل و همچنین با کاهش فشار دورگیر نمایان‌تر می‌شود. به‌عنوان مثال، مقایسه نتایج تحلیل عددی با الگوی Mohr-Coloumb نشان می‌دهد که نمونه به قطر ۳۸ میلی‌متر و مسلح با چهار لایه ژئوتکستایل نوع اول و تحت فشار دورگیر ۴۰۰ کیلوپاسکال دارای اختلافی برابر با ۱۹/۹ درصد در میزان مقاومت بیشینه نسبت به نمونه با قطر ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد (شکل (۷)). درحالی‌که برای همین نمونه‌ها و با تعداد لایه‌های ژئوتکستایل یکسان ولی تحت فشار دورگیر ۱۰۰۰ کیلوپاسکال این اختلاف برابر با ۱۶/۱۹ درصد است (شکل (۸)).

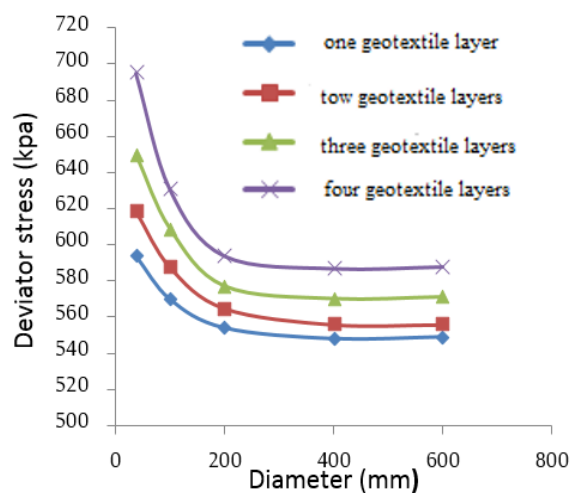


شکل ۷- اثر اندازه بر منحنی تنش- کرنش رس مسلح با یک لایه و چهار لایه ژئوتکستایل نوع اول تحت فشار دورگیر ۴۰۰ کیلوپاسکال، خط پر: نمونه به قطر ۳۸ میلی‌متر و خط چین: نمونه به قطر ۴۰۰ میلی‌متر

در نمونه‌های با قطر بزرگتر از ۴۰۰ میلی‌متر کاملاً محو می‌شود و نمونه به قطر ۴۰۰ میلی‌متر را به‌عنوان قطری که در آن اثر اندازه از بین می‌رود، معرفی می‌نماید. این بدان معنی است که با استفاده از هر نمونه به قطر بزرگتر از ۴۰۰ میلی‌متر در آزمایشگاه در شرایط زهکشی نشده، کاهش مقاومتی ناشی از بزرگ‌تر شدن ابعاد نمونه رخ نخواهد داد. این رفتار برای تمام نمونه‌ها با هر تعداد لایه ژئوتکستایل صادق است و نیز مستقل از نوع ژئوتکستایل و فشار دورگیر می‌باشد.



شکل ۵- اثر اندازه بر منحنی تنش- کرنش رس مسلح با یک لایه ژئوتکستایل نوع اول و تحت فشار دورگیر ۶۰۰ کیلوپاسکال، با الگوی سخت شونده



شکل ۶- اثر اندازه قطر نمونه بر تنش انحرافی نمونه یا تعداد لایه‌های گوناگون ژئوتکستایل نوع دوم تحت فشار ۶۰۰ کیلو پاسکال، حاصل از تحلیل عددی با الگوی سخت شونده

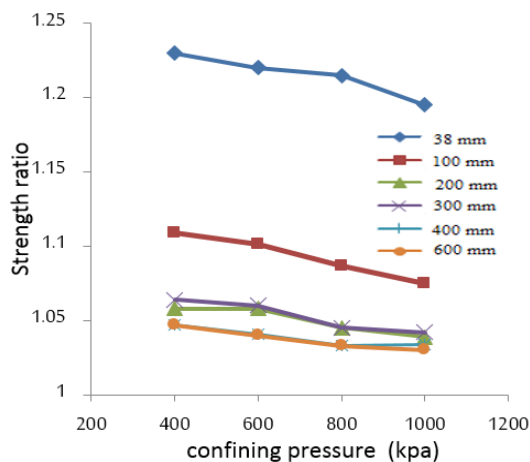
با توجه به شکل (۶) و اختلاف مقاومت ناشی از افزایش تعداد لایه مسلح کننده در هر قطر مشاهده می‌شود تسلیح در نمونه

۴-۴- اثر اندازه بر نسبت افزایش مقاومت

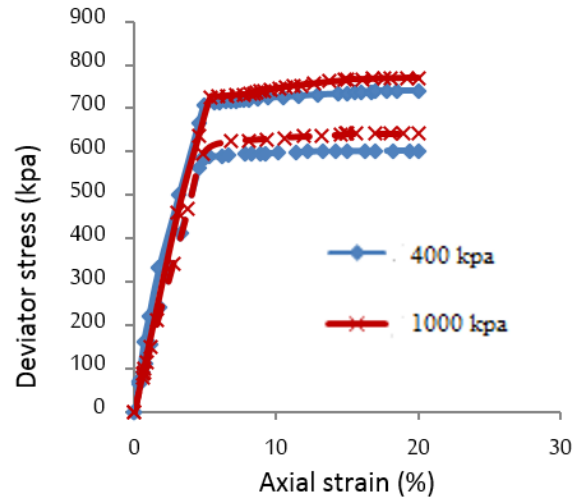
ارتباط بین اندازه نمونه و نسبت افزایش مقاومت که به صورت نسبت مقاومت بیشینه نمونه مسلح به نمونه غیرمسلح تعریف می‌شود، در شکل‌های (۹) و (۱۰) قابل مشاهده است. نتایج به دست آمده از تحلیل‌ها نشان می‌دهند که با افزایش فشار دورگیر نسبت مقاومت کاهش می‌یابد. این پدیده به این دلیل رخ می‌دهد که در فشار دورگیر بالا به علت سختی بالای نسبی خاک، نقش ژئوتکستایل برای ایجاد فشار دورگیر معادل اضافی کم‌تر است. مقاومت نمونه خاک غیرمسلح نیز با افزایش فشار دورگیر، افزایش یافته و باعث کاهش نسبت افزایش مقاومت می‌شود.

از نتایج مشاهده می‌شود که در شرایط یکسان از لحاظ نوع و آرایش ژئوتکستایل و فشار دورگیر، افزایش فشار دورگیر ناشی از وجود ژئوتکستایل که عامل افزایش مقاومت در نمونه‌های مسلح با ژئوتکستایل بوده در نمونه‌های به قطر کوچک که فاصله بین لایه‌های ژئوتکستایل در آن کم‌تر است، در مقایسه با نمونه‌های به قطر بزرگ بیش‌تر می‌باشد و این عامل اثر اندازه است (شکل‌های (۹) و (۱۰)). همان‌طور که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود نسبت افزایش مقاومت در نمونه ۳۸ میلی‌متری در تمام فشارهای دورگیر از دیگر نمونه‌ها بیش‌تر است.

به‌طور مثال در فشار دورگیر ۶۰۰ کیلوپاسکال این نسبت برای نمونه ۳۸ و ۶۰۰ میلی‌متری به ترتیب ۱/۱۴ و ۱/۰۵ می‌باشد و میزان اختلاف آن‌ها حدود ۹ درصد است. همچنین برای نمونه ۳۸ و ۶۰۰ میلی‌متری مسلح با چهار لایه ژئوتکستایل در فشار دورگیر ۶۰۰ کیلوپاسکال که با الگوی Mohr-Coloumb تحلیل شدند، نسبت افزایش مقاومت به ترتیب ۱/۲۲ و ۱/۰۲ و اختلاف بین آن‌ها ۱۹/۶۱ می‌باشد. این نتیجه نشان‌دهنده افزایش اختلاف در نسبت افزایش مقاومت با اثر اندازه است که با بالاتر رفتن تعداد لایه‌های ژئوتکستایل نمود بیش‌تری می‌یابد.



شکل ۹- اثر اندازه بر نسبت افزایش مقاومت رس مسلح با چهار لایه ژئوتکستایل نوع اول، الگوی Mohr-Coloumb



شکل ۸- اثر فشار دورگیر بر اثر اندازه بر منحنی تنش- کرنش رس مسلح با چهار لایه ژئوتکستایل نوع دوم و الگوی Mohr-Coloumb خط پر: قطر ۳۸ میلی‌متر و خط چین: قطر ۴۰۰ میلی‌متر

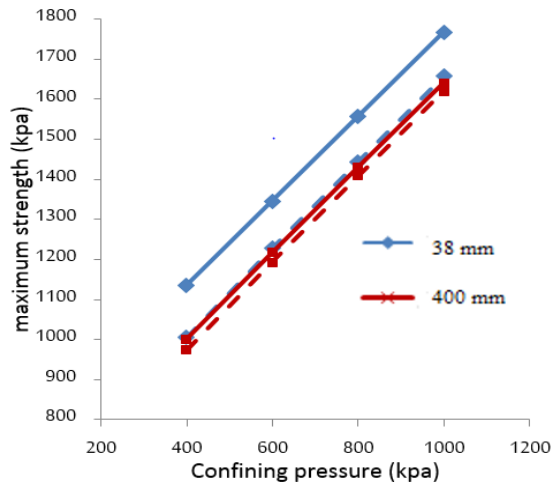
جدول ۵- اثر اندازه بر تعداد لایه ژئوتکستایل نوع یک برای

فشار ۴۰۰ کیلوپاسکال، الگوی Mohr-Coloumb

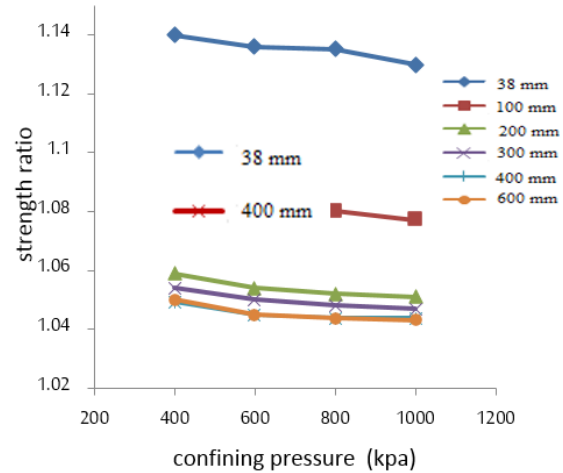
تعداد لایه ژئوتکستایل	اثر اندازه	E ₅₀	مقاومت	قطر	تعداد لایه	
					سختی	مقاومت
یک	۳۸	۱۲۶/۰۶	۵۹۵	۳۸	۴/۷۵	۲/۹۸
	۴۰۰	۱۲۲/۴۱	۵۶۸	۴۰۰		
دو	۳۸	۱۳۳/۶۷	۶۲۸	۳۸	۹/۶	۹/۱۸
	۴۰۰	۱۲۲/۴۴	۵۷۳	۴۰۰		
سه	۳۸	۱۴۰/۱۴	۶۶۴	۳۸	۱۴/۷	۱۳/۷
	۴۰۰	۱۲۳/۱۹	۵۷۹	۴۰۰		
چهار	۳۸	۱۶۲/۴۴	۷۰۵	۳۸	۱۹/۹	۳۲
	۴۰۰	۱۲۳/۰۱	۵۸۸	۴۰۰		

نمونه‌های ۳۸ و ۴۰۰ میلی‌متری مسلح با یک لایه ژئوتکستایل نوع اول، تحت فشار دورگیر ۴۰۰ کیلوپاسکال اختلافی برابر با ۴/۷۵ درصد در میزان مقاومت بیشینه دارند (شکل (۷))، در حالی که این مقدار اختلاف برای همان ابعاد نمونه‌ها و تعداد لایه‌های ژئوتکستایل ولی تحت فشار دورگیر ۱۰۰۰ کیلوپاسکال برابر با ۲/۹۱ درصد است (شکل (۸)).

اثر اندازه در فشارهای کم واضح‌تر است. به‌طور مثال اختلاف تنش انحرافی برای دو قطر ۳۸ و ۴۰۰ میلی‌متر در فشار دورگیر ۴۰۰ کیلوپاسکال ۲۲/۳ درصد و در فشار دورگیر ۱۰۰۰ کیلوپاسکال، ۱۹/۶ درصد می‌باشد. همان‌طور که در جدول (۵) دیده می‌شود، در فشار دورگیر یکسان، با افزایش تعداد لایه ژئوتکستایل از یک به چهار اثر اندازه از ۴/۷۵ به حدود ۲۰ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۱۲- اثر اندازه بر پوش گسیختگی رس مسلح با یک و چهار لایه ژئوتکستایل نوع دوم، الگوی Mohr-Coloumb، خط پر: مسلح با چهار لایه ژئوتکستایل و خط چین: با یک لایه ژئوتکستایل



شکل ۱۰- اثر اندازه بر نسبت افزایش مقاومت رس مسلح با دو لایه ژئوتکستایل نوع دوم، حاصل از تحلیل عددی با الگوی سخت شونده

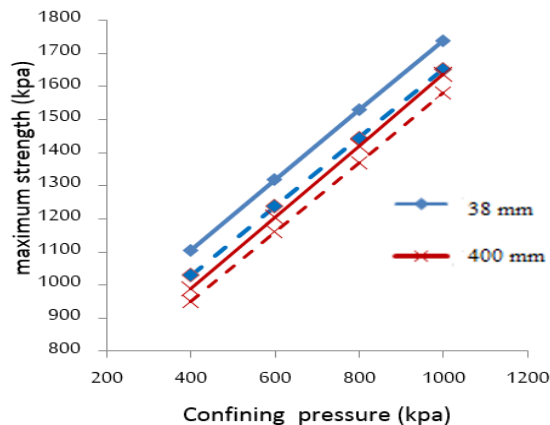
۴-۵- اثر اندازه بر پوش گسیختگی

بررسی‌ها نشان می‌دهد اثر اندازه نمونه تأثیری بر پوش گسیختگی رس غیرمسلح ندارد (شکل ۱۱). برای رس مسلح تأثیر اندازه نمونه در شکل‌های (۱۲) برای نمونه‌های تحلیلی با الگوی Mohr-Coloumb قابل مشاهده است و این تأثیر با افزایش تعداد لایه‌های ژئوتکستایل بیش تر می‌شود.

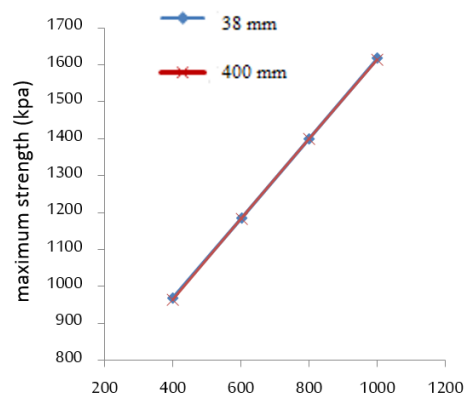
همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود، پوش گسیختگی با افزایش تعداد لایه‌های مسلح کننده به سمت بالا حرکت می‌کند. به عبارتی برای فشار دورگیر یکسان، به مقدار مقاومت بیشینه با افزایش تعداد لایه‌های ژئوتکستایل افزوده می‌شود. به‌عنوان مثال، میزان اختلاف در مقاومت بیشینه رس مسلح با چهار لایه ژئوتکستایل نوع دوم و تحت فشار دورگیر برای دو قطر ۳۸ و ۴۰۰ میلی‌متر برابر ۱۲۸ کیلوپاسکال است، درحالی‌که میزان این اختلاف برای نمونه‌های با یک لایه ژئوتکستایل نوع دوم و تحت شرایط یکسان، برابر با ۶۵ کیلوپاسکال می‌باشد.

۴-۶- نوع الگوی تحلیلی و اثر اندازه

مقایسه پوش‌های به‌دست‌آمده از تحلیل عددی برای این دو نوع الگو نشان می‌دهد اثر اندازه نمونه بر مقاومت بیشینه رس مسلح و غیرمسلح، هنگامی که از الگوی Mohr-Coloumb استفاده شود، بیش تر است. به‌عنوان مثال، همان‌طور که در شکل (۱۳) قابل مشاهده است، هنگامی که از الگوی Mohr-Coloumb استفاده شود اختلاف در مقاومت بیشینه برای نمونه‌های رس با دو قطر ۳۸ و ۴۰۰ میلی‌متر و مسلح شده با چهار لایه ژئوتکستایل نوع اول و تحت فشار دورگیر ۴۰۰ کیلوپاسکال، ۱۹/۹ درصد است. اما در شرایط یکسان، این مقدار اختلاف برای الگوی سخت‌شونده به ۱۴/۵۵ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۱۳- تأثیر نوع الگوی تحلیلی بر اثر اندازه بر پوش گسیختگی رس مسلح با چهار لایه ژئوتکستایل نوع اول برای نمونه‌های با دو قطر ۳۸ و ۴۰۰ میلی‌متر. خط پر: الگوی Mohr-Coloumb و خط چین: الگوی سخت‌شونده



شکل ۱۱- اثر اندازه بر پوش گسیختگی رس غیرمسلح حاصل از تحلیل عددی با الگوی Mohr-Coloumb

۲- میزان اثر تسلیح با ژئوتکستایل با افزایش قطر نمونه کاسته می‌شود. اثر اندازه بر رفتار رس مسلح با ژئوتکستایل و همچنین نمونه بر نسبت افزایش مقاومت، با افزایش تعداد لایه‌های ژئوتکستایل و کاهش فشار دورگیر، افزایش می‌یابد.

۳- اثر اندازه نمونه بر مقاومت بیشینه رس مسلح، برای الگوی Mohr-Coloumb در مقایسه با الگوی سخت‌شونده بیش‌تر است.

۴- اثر اندازه بر پوش گسیختگی رس مسلح با ژئوتکستایل با افزایش تعداد لایه‌های ژئوتکستایل افزایش و با افزایش قطر نمونه کاهش می‌یابد و حتی برای نمونه‌های با قطر بیش‌تر از ۴۰۰ میلی‌متر قابل صرف‌نظر کردن است. بنابراین قطر ۴۰۰ میلی‌متر به‌عنوان قطری که اثرات اندازه در شرایط کوتاه‌مدت در آن محو می‌شود، معرفی می‌گردد تا بتوان از آن پارامترهای مقاومتی خاک مسلح در واقعیت را به‌دست آورد.

۶- تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از حمایت دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل از طریق اعتبار پژوهش شماره [BNUT/370342/98] اعلام می‌دارند.

۷- مراجع

شوش‌پاشا ع، روشن ع، "بررسی اثر تثبیت خاک رس با خرده الاستیک بر عملکرد فونداسیون‌های رادیه-شمع"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۱۳۹۷، ۴۸ (۴)، ۳۵-۴۱.

Ang EC, Loehr JE, "Specimen Size Effects for Fiber-Reinforced Silty Clay in Unconfined Compression", *Geotechnical Testing Journal*, 2003, 26 (2), 191-200.

Bazant ZP, "Size Effect in Blunt Fracture: Concrete, Rock, Metal", *Journal of Engineering Mechanics*, 1984, 110 (4), 518-535.

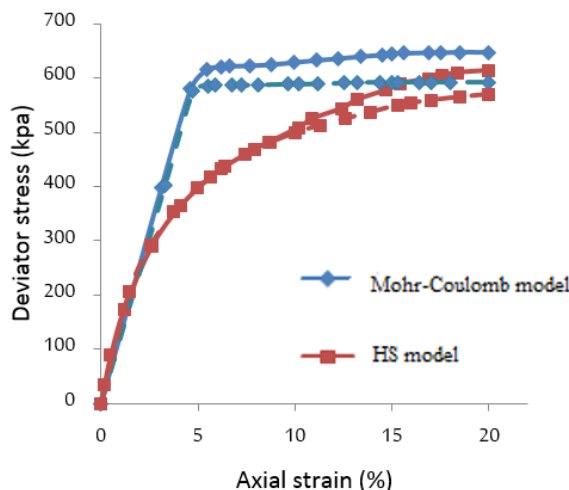
Fourie AB, Fabian KJ, "Laboratory determination of clay-geotextile interaction", *Geotextiles and Geomembranes*, 1987, 6, 275-294.

Haeri SM, Noorzad R, Oskoorouchi AM, "Effect of Geotextile Reinforcement on the Mechanical Behavior of Sand", *Geotextiles and Geomembranes*, 2000, 18 (6), 385-402.

Harris HG, Sabnis GM, "Structural Modeling and Experimental Techniques", 2nd Edition, CRC Press, 1999.

Noorzad R, Mirmoradi SH, "Laboratory Evaluation of the Behavior of a Geotextile Reinforced Clay", *Geotextiles and Geomembranes*, 2010, 28 (4), 386-392.

Omar T, Lakkaraju SK, Osouli A, Sadrekarimi A, "Influence of Specimen Size in Engineering Practice", *Geo-Congress*, 2014, Technical Papers, GSP234, 2960-2969.



شکل ۱۴- تأثیر نوع الگوی تحلیلی بر اثر اندازه بر منحنی تنش- کرنش رس مسلح با دو لایه ژئوتکستایل نوع اول، الگوی Mohr-Coloumb و سخت‌شونده، فشار دورگیر ۶۰۰ کیلوپاسکال. خط پر: قطر ۳۸ میلی‌متر و خط چین: قطر ۴۰۰ میلی‌متر

شکل (۱۴) منحنی تنش کرنش رس مسلح با دو لایه ژئوتکستایل نوع اول که تحت فشار دورگیر ۶۰۰ کیلوپاسکال قرار دارد را نشان می‌دهد. این شکل نیز نمایان‌گر بیش‌تر بودن اثر اندازه نمونه در الگوی Mohr-Coloumb است. میزان اختلاف مقاومت بیشینه به‌دست‌آمده از دو نمونه به قطرهای ۳۸ و ۴۰۰ میلی‌متر برای Mohr-Coloumb حدود ۹ درصد و برای الگوی سخت‌شونده ۷/۵ درصد می‌باشد.

۵- نتایج

در این پژوهش به‌منظور ارزیابی و بررسی اثر اندازه نمونه بر خاک چسبیده مسلح با ژئوتکستایل، از نرم‌افزار اجزا محدود PLAXIS 2D (نسخه ۸/۶) برای شبیه‌سازی آزمایش سه‌محوری استفاده گردید. نمونه‌های به قطر بزرگ پس از صحت‌سنجی با نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های به قطر کوچک، مدل‌سازی شد و نتایج آن ارزیابی گردید. با توجه به فراهم نبودن امکانات ساخت نمونه با هراندازه‌ای در آزمایشگاه، تحلیل عددی اثر اندازه نمونه بسیار کاربردی، اقتصادی و مفید است. مهم‌ترین نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش عبارت‌اند از:

۱- اثر اندازه نمونه بر خاک غیرمسلح تأثیری ندارد، اما در نمونه‌های مسلح این تأثیر زیادی دارد. به‌این‌ترتیب که نمونه‌های رس مسلح با قطر کوچک‌تر در شرایط کاملاً مشابه از لحاظ تعداد لایه‌های ژئوتکستایل و فشار دورگیر، در شرایط کوتاه‌مدت افزایش مقاومت بیش‌تری در مقایسه با نمونه‌های رس مسلح با قطرهای بزرگ‌تر نشان داده‌اند.

- PLAXIS Reference Manual, 2D-Version8, A.A.Balkema Publishers, Lisse, Abingdon, Exton (pa), Tokyo, 2002.
- Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils, ASTM D2850.
- Tuna SC, Altun S, "Mechanical behaviour of sand-geotextile interface", *ScientiaIranica A*, 2012, 19 (4), 1044-1051.
- Unnikrishnan N, Rajagopal K, Krishnaswamy NR, "Behaviour of reinforced clay under static and cyclic loading", *Geotextiles and Geomembranes*, 2002, 20 (2), 117-133.
- Yang KH, Yalaw WM, Nguyen MD, "Behavior of Geotextile-Reinforced Clay with a Coarse Material Sandwich Technique under Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression", *Journal of International Geomechanical*, (ASCE), 2015, 16 (3), 1-15.

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Evaluation of Sample Size Effect on the Behavior of Undrained Geotextile-Reinforced Cohesive Soil

Nadia Navidinia, Reza Noorzad^{*}, Maryam Yoosefnezhad

Faculty of Civil Engineering, Babol Nooshirvani University of Technology, Babol, Iran

Received: 17 November 2019; Accepted: 16 March 2021

Keywords:

Size effect, Reinforced clay, Geotextile, Triaxial test, PLAXIS 2D.

1. Introduction

Present study was carried out to investigate the effects of sample size on the mechanical behavior of geotextile-reinforced clay in the short time using the PLAXIS 2D software. These simulations were modeled for different confining pressures, different diameters and one to four geotextile layers. Two constitutive models including the Mohr-Coloumb model and hardening soil model were used to simulate the behavior of the soil.

2. Methodology

In this study, Plaxis2D software was implemented to model triaxial samples. In order to simulate the static triaxial experiment, due to axial axisymmetric condition the one fourth of sample was model and then the modeling was performed by strain control method in two stages. In the first stage, confining pressure was applied to the upper and right boundary, and in the second stage, with a constant confining pressure, a predetermined displacement, which according to the standard (ASTM D2850) was 15% of the sample height, was applied to the upper boundary of the sample. The bottom and left side of the sample were fixed to model the actual conditions of the sample to establish static equilibrium and axisymmetric condition. The loading and static conditions of the sample are shown in (Fig. 1)

To generate pore water pressure in the modeling of unconsolidated undrained triaxial tests, undrained behavior can be simulated to produce pore water pressure (Noorzad and Mirmoradi, 2010).

3. Results and discussion

3.1. Effect of size on the failure envelope

The effect of sample size for reinforced clay with the Mohr-Columb model is shown Fig. 2. as shown in figure, the effect of sample size increased with increasing number of geotextile layers. In other words, in the same confining pressure, the maximum shear strength value for sample smaller diameter was increased by increasing the number of geotextile layers. For example, the difference between the maximum shear strength of reinforced clay with four layers of type II geotextile and under the confining pressure for two diameters of 38 and 400mm is equal to 128kPa, on the other hand the difference between the maximum strength for samples with one layer of type II geotextile, under the same conditions, is equal to 65kPa.

* Corresponding Author

E-mail addresses: naninavidi@gmail.com (Nadia Navidinia), rnoorzad@nit.ac.ir (Reza Noorzad), yoosefnejadmaryam@yahoo.com (Maryam Yoosefnezhad).

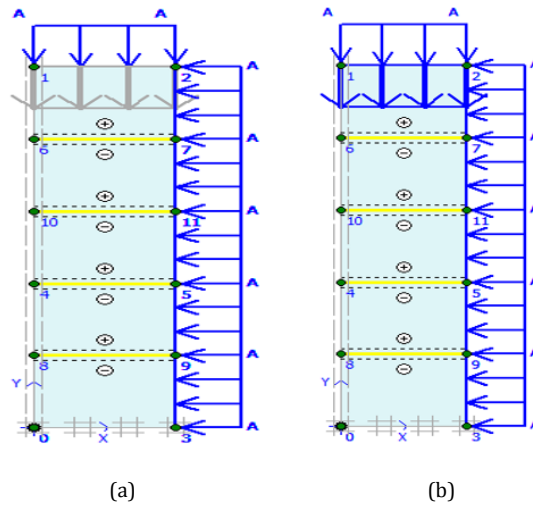


Fig. 1. Numerical simulation of reinforced clay sample in triaxial test: a) Application of confining pressure, b) Application of shear loading.

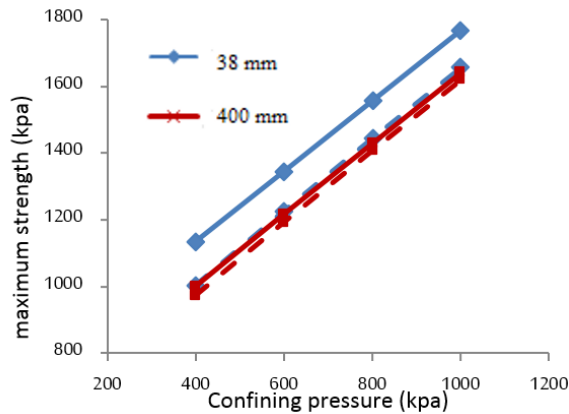


Fig. 2. The size effect on failure envelope of reinforced clay with one to four geotextile layers of type one, the Mohr-Coulomb model. Fill line: for four geotextile layers and dotted line: for one geotextile layer.

3.2. Effect of size on the behavior of reinforced clay samples

Fig. 3 shows the strength of reinforced clay samples with one, two, three and four layers of geotextile with different sample sizes under a pressure of 600kPa. According to Fig. 3, the sample with 38mm diameter showed the highest shear resistance.

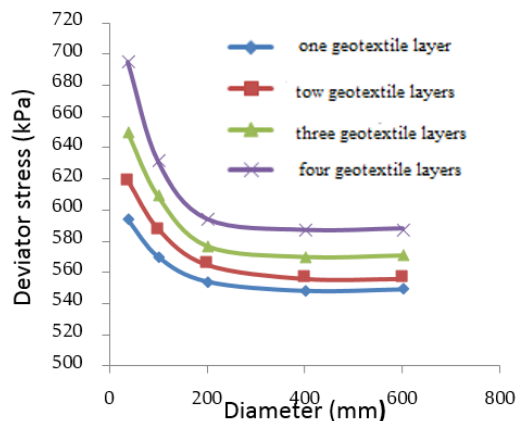


Fig. 3. The size effect of sample on the deviator stress on the number of geotextile layers of type tow under confining pressure of 600kPa, obtained from numerical analysis with hardening model.

The effect of sample size on the soil behavior in samples larger than 400mm in diameter disappears completely therefore diameter of 400mm is introduced as the diameter in which the size effect disappears.

4. Conclusions

The effect of sample size on the maximum strength of reinforced clay is greater for the Mohr coulomb model compared to the hardening model. The effects of sample size on the failure envelope on reinforced clay increased with increasing number of geotextile layers and also decreased with increasing of diameter and it can be ignored for samples with a diameter of 400mm and more. Therefore, a diameter of 400mm is introduced as the diameter in which the size effects disappear in the short term condition, in order to obtain the resistance parameters of the reinforced soil in reality.

5. References

- Noorzad R, Mirmoradi SH, "Laboratory Evaluation of the Behavior of a Geotextile Reinforced Clay", *Geotextiles and Geomembranes*, 2010, 28 (4), 386-392.
- Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils, ASTM D2850, 2015.