

بررسی ظرفیت باربری پی واقع بر بالای دیوار حائل مسلح شده با ژئوگرید در خاکریز خشک و اشباع

آریو افشارفرنیاء^۱، وحید رستمی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد خاک و پی، گروه عمران، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

۲- استادیار دانشکده مهندسی، گروه عمران، واحد همدان، دانشگاه آزاد اسلامی، همدان، ایران

*rostami.vahid@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۹۶/۰۲/۳۱]

تاریخ دریافت: [۹۵/۰۳/۰۸]

چکیده

استفاده از خاک مسلح در طراحی شالوده‌ها و سازه‌های حائل خاکی، روشی است که در سال‌های اخیر متداول شده است. بطور کلی دیوارهای حائل خاک مسلح، خاکریزهایی هستند که به وسیله المان‌های مسلح‌کننده از قبیل ژئوگرید، تسمه‌های فولادی و غیره مسلح شده‌اند. در این مقاله به بررسی ظرفیت باربری یک پی نواری که در مجاورت دیوار حائل مسلح شده با ژئوگرید در شرایط خاکریز اشباع و خشک تحت بار استاتیکی قائم قرار گرفته، پرداخته شده است و تاثیر پارامترهایی از قبیل فاصله پی نواری از لبه دیوار، تعداد لایه‌های ژئوگرید، طول ژئوگرید و عمق قرارگیری ژئوگرید روی آن بررسی شده است. با توجه به اینکه در تحقیقات پژوهشگران پیشین شرایط اشباع بودن خاکریز در نظر گرفته نشده بود، تاکید این مقاله بر تاثیر شرایط اشباع بر ظرفیت باربری پی نواری در مجاورت دیوار حائل است. به منظور انجام آزمایش‌ها از یک مدل آزمایشگاهی کوچک مقیاس بهره گرفته شده است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در هر دو شرایط خاکریز اشباع و خشک استفاده از مسلح‌کننده‌ها موجب افزایش قابل توجه ظرفیت باربری پی نواری نسبت به شرایط خاک غیر مسلح می‌شود.

واژگان کلیدی: ظرفیت باربری پی نواری، خاکریز اشباع، خاکریز خشک، خاک مسلح، ژئوگرید.

۱- مقدمه

خینگ و همکاران^۱ [1]، تعدادی آزمایش روی پی‌های نواری متکی بر خاک ماسه‌ای مسلح شده به وسیله ژئوگرید، انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که قرار دادن لایه ژئوگرید در عمق ۲/۲۵ برابر عرض پی هیچگونه افزایشی را روی ظرفیت باربری پی‌های نواری نخواهد داشت. همچنین برای بدست آوردن بیشترین ظرفیت باربری، کمینه طول مسلح‌کننده باید ۶ برابر عرض پی باشد. عمر و همکاران^۲ [2]، تاثیر نسبت عرض به طول پی (B/L) را در شرایط خاک مسلح بررسی کردند. آنها

عموما در پروژه‌هایی که در زمین‌های سست احداث می‌شود به کمک روش‌های اصلاح خاک با بهبود مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک، می‌توان زمین را تقویت نمود از جمله این روش‌ها می‌توان به تثبیت، تراکم، پیش بارگذاری، مسلح کردن خاک و غیره اشاره نمود. در این میان ایده به کارگیری خاک مسلح در شیب‌ها و دیوارهای حائل در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در چند دهه اخیر مطالعات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته که به موارد زیر می‌توان اشاره کرد.

آن‌ها تاثیر مدل‌های ساختاری گوناگون شامل: الاستیک-پلاستیک خطی موهر کلمب، هیپربولیک دانکن چانگ⁶ اصلاح شده و مدل سخت‌شونده لده⁷ منفرد را بر رفتار سیستم دیوار حائل بررسی کردند. طبق مطالعات آنان دیده شده که مدل موهر کلمب به حد کافی برای شرایط عملیاتی دقیق است، ولی پیش بینی صحیح وابسته به انتخاب دقیق مدول الاستیسیته برای خاک‌ها است. علمشاهی و هاتف [8]، تاثیر پارامترهای گوناگون روی ظرفیت باربری یک شالوده نواری که روی شیب ماسه‌ای مسلح شده قرار گرفته بود را بررسی کردند. آن‌ها مجموعاً ۴۳ آزمایش کوچک مقیاس انجام دادند و مقادیر بهینه پارامترهایی از قبیل تعداد لایه‌های مسلح کننده، عمق لایه مسلح کننده و فاصله قائم بین لایه‌های مسلح کننده را استخراج کردند. انوبهاو و باسودهار⁹ [9]، به بررسی عددی و آزمایشگاهی مدل کوچک مقیاس پی نواری که در روی دیوار حائل خاک مسلح با نمای محصور شده قرار گرفته بود پرداختند. آنان در تحلیل عددی از مدل الاستیک-پلاستیک کامل با معیار گسیختگی موهر کلمب برای خاکریز ماسه‌ای بهره گرفتند و نشان دادند نتایج عددی و آزمایشگاهی در هماهنگی خوبی است. ریکیو⁹ و همکاران [10]، رفتار یک دیوار حائل ژئوگریدی با نمای بلوک بتنی را پایش کردند. خاکریز دیوار از نوع خاک ریزدانه مناطق استوایی بوده است. پایش آنان شامل بررسی کشش مسلح کننده‌ها، تنش‌های داخلی افقی و قائم در بلوک‌ها و حرکت جانبی دیوار بوده است و نشان دادند که متراکم کردن خاکریز موجب بهبود رفتار در نمودارهای تنش کرنش شده است. ژانگ¹⁰ و همکاران [11]، به بررسی عددی رفتار یک کوله پل خاک مسلح تحت بار استاتیکی پرداختند. آن‌ها از نرم افزار FLAC برای تحلیل عددی بهره گرفتند. برای تعریف رفتار خاکریز از مدل ساختاری الاستوپلاستیک اتساعی با معیار گسیختگی موهر کلمب استفاده کردند. طبق نتایج به دست آمده، محل بیشینه

چهار مدل پی دارای نسبت عرض به طول برابر ۱، ۰/۵، ۰/۳۳۳ و ۰/۰۵ (معادل پی نواری) را آزمایش کردند. خاک استفاده شده ماسه سیلیسی است. نتایج آزمایش‌های ایشان نشان داد که اثر عمق مسلح کننده با افزایش نسبت عرض به طول پی کاهش می‌یابد، که مقدار آن برای پی‌های مربعی $1.2B$ و برای پی‌های نواری $2B$ است. آدامز و همکاران¹ [3]، ۳۴ آزمایش بارگذاری با مقیاس بزرگ به منظور بررسی مزایای خاک مسلح شده با ژئوستتیک در زیر پی منفرد انجام دادند. یک تا سه لایه ژئوگرید یا یک لایه ژئوسل در زیر پی مربعی به ابعاد ۰/۳، ۰/۴۶، ۰/۶۱ و ۰/۹۱ متر قرار گرفت. نسبت‌های محل قرارگیری مسلح کننده بین ۰/۲۵ و ۱/۵ بوده است. نتایج آنها به روشنی نشان داد که مسلح کننده، ظرفیت باربری پی منفرد روی ماسه را افزایش می‌دهد. یوو² [4]، ظرفیت باربری پی‌های نواری مستقر روی شیب‌های ماسه‌ای مسلح شده با ژئوگرید را به طور آزمایشگاهی بررسی کرد. طبق مطالعات ایشان دیده شد که با افزایش طول ژئوگریدها، ظرفیت باربری پی نواری نیز افزایش یافته تا به یک مقدار بحرانی برسد و پس از آن، افزایش طول چندان تاثیری در افزایش ظرفیت باربری نخواهد داشت. شینده و ماندال³ [5]، به بررسی رفتار یک دیوار حائل خاک مسلح که شامل یک ناحیه محدود خاکی در کنار ناحیه سنگی است پرداختند. طبق مطالعات آنان دیده شد که اگر مسلح کننده‌ها در درون ناحیه سنگی مهار شوند کارایی مسلح کننده‌ها افزایش قابل توجهی می‌یابد. ماهاراج⁴ و همکاران [6]، اثر فاصله اولین لایه مسلح کننده زیر پی، فاصله قائم لایه‌های مسلح کننده، اندازه مسلح کننده و تعداد لایه‌ها را بر نشست پی‌های متکی به رس مسلح شده را با استفاده از روش تحلیل المان محدود دو بعدی، بررسی کردند. بر اساس نتایج مطالعه آنها در شرایط خاک مسلح شده به وسیله یک لایه مسلح کننده، نسبت فاصله u/B برابر با ۰/۱۲۵ به عنوان مقدار بهینه در نظر گرفته شده است. هوانگ⁵ و همکاران [7]، به بررسی عددی دیوارهای حائل مسلح با استفاده از نرم افزار FLAC پرداختند.

6 Duncan Chang
7 Lade
8 Anubhav and Basudhar
9 Riccio
10 Zheng

1 Adams
2 Yoo
3 Shinde and Mandal
4 Maharaj
5 Huang

تعبیه شده است به آرامی به بستر وارد شده به گونه‌ای که هیچگونه اغتشاشی در دانه‌های خاک ایجاد نشود.

جدول ۱. مشخصات دیوار حائل

Type	Size
Aluminium	0.5m × 0.4m × 0.003m

Table 1. Characteristics of retaining wall

جدول ۲. مشخصات ژئوگرید

Type	Tensile strength	Mesh size	Sheet length	Manufacturer
Two way geogrid	20 $\frac{KN}{m}$	0.035m × 0.025m	0.15m, 0.20m, 0.25m	Geoparsian

Table 2. Characteristics of geogrid

شکل ۱. نمای کلی دستگاه

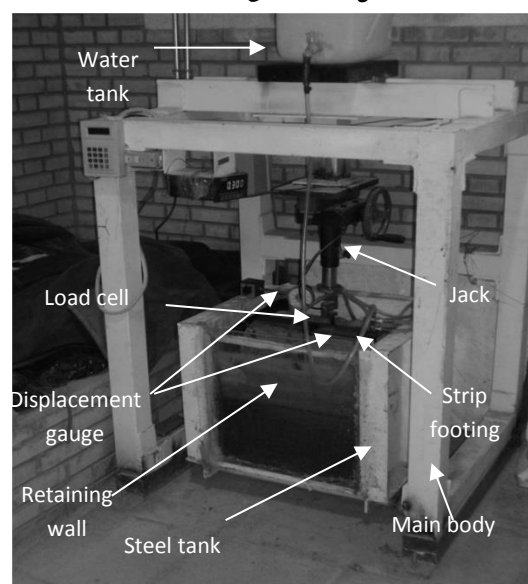


Fig. 1. Overview of device

۳- خاکریز مورد استفاده در آزمایش

در مطالعات آزمایشگاهی در مقیاس کوچک معمولاً به منظور کنترل دقیق ویژگی‌های محیط خاکی موردنظر از نظر همگنی و ایزوتروپ بودن، از خاک با دانه‌بندی یکنواخت استفاده می‌شود. همچنین ابعاد دانه‌ها باید طوری باشد که نسبت اندازه دانه‌ها به ابعاد مدل سیستم دیوار حائل خاک مسلح، حالت طبیعی داشته باشد در نتیجه بیشینه اندازه دانه‌ها در یک نمونه آزمایشگاهی d ، معمولاً از روی کوچکترین بعد

تغییر مکان جانبی دیوار در طی ساخت به سمت بالا حرکت می‌کند.

با توجه به اینکه مسلح کردن خاک‌ها با استفاده از ژئوستنتیک‌ها روش نوینی است و در شرایطی مانند مجاورت دیوارهای حائل مسلح در کنار دریاها، رودخانه‌ها، دیوارهای ساحلی و همچنین در شرایط افزایش تراز آب زیر زمینی، ظرفیت باربری پی‌های مجاور دیوار به شدت تحت تاثیر شرایط اشباع قرار می‌گیرد و پارامترهایی مانند ویژگی‌های سطح تماس خاک و ژئوگرید و پارامترهای مقاومتی خاک در حالت اشباع تغییر می‌یابد و همچنین با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای در این گونه دیوارها در حالت اشباع صورت نگرفته است، پس در این پژوهش ظرفیت باربری پی مجاور یک دیوار حائل مسلح شده با ژئوگرید در حالت خاکریز خشک و اشباع و همچنین تغییر مکان‌های دیوار برای شرایط دیوار انعطاف پذیر در دو حالت فوق ارزیابی می‌شود. نتایج این پژوهش تاثیر قابل توجهی در طراحی آتی دیوارهای حائل در مناطقی با تراز آب زیر زمینی بالا و یا مجاور دریاها خواهد داشت.

۲- مشخصات مدل آزمایشگاهی

به منظور انجام آزمایش‌ها و بررسی ظرفیت باربری یک پی نواری که در مجاورت دیوار حائل مسلح شده با ژئوگرید در خاکریز اشباع و خشک قرار گرفته، از یک مدل آزمایشگاهی کوچک مقیاس استفاده شده است. ابتدا یک دستگاه بارگذاری کوچک مقیاس ساخته شده و سپس آزمایش‌های مورد نظر صورت گرفته است. قسمت‌های اصلی این دستگاه همان‌گونه که در شکل (۱) آمده است عبارت‌اند از: بدنه اصلی دستگاه، جک گیربکسی به ظرفیت ۲ تن، مخزن فولادی به ابعاد $0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m} \times 0.5\text{ m}$ ، ورق ژئوگریدی جدول (۲)، دیوار حائل انعطاف پذیر جدول (۱)، نیروسنج با ظرفیت ۲ تن، پی نواری به ابعاد $0.5\text{ m} \times 0.05\text{ m} \times 0.025\text{ m}$ ، دو عدد تغییر مکان سنج با دقت 0.01 mm ، یک منبع آب که در بالای دستگاه قرار داشته و توسط لوله‌ای آب را به مخزن می‌رساند. آب از طریق لوله‌های تقسیم که در کناره‌های دیوارهای مخزن

۵- برنامه آزمایش‌ها

در این پژوهش برای بررسی عوامل موثر بر ظرفیت باربری یک پی نواری در مجاورت دیوار حائل مسلح شده با ژئوگرید، ۹۰ آزمایش طرح ریزی و انجام گرفته است. در این آزمایش‌ها جدول (۴) پارامترهایی از قبیل: طول ژئوگرید، تعداد ژئوگریدها، عمق ژئوگرید، فاصله قائم ژئوگریدها از یکدیگر و فاصله پی نواری از لبه دیوار به منظور بررسی تاثیر آنها بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان دیوار حائل متغیر در نظر گرفته شده‌اند.

جدول ۴. خلاصه برنامه آزمایش‌های انجام شده

Reinforcement	Backfill	b/B	u/B	L/B	N	No.
Unreinforced	dry	1,2,3	-	-	-	3
Geogrid	dry	1,2,3	0.25, 0.5, 0.75, 1	3,4,5	1,2	72
Unreinforced	saturated	1,2,3	-	-	-	3
Geogrid	saturated	1,2,3	0.25, 0.5, 0.75, 1	5	1	12

Table 4. Conditions tested in laboratory model tests

۶- چگونگی تهیه و ساخت نمونه‌ها و انجام آزمایش

برای انجام آزمایش ابتدا خاکریز خشک به صورت بارشی درون مخزن ریخته شده و در ترازهای از قبل تعیین شده بارش متوقف شده و پس از تسطیح آرام خاک، ورق ژئوگریدی در تراز مورد نظر قرار گرفته و توسط قلاب‌های کوچکی به بدنه دیوار متصل می‌شود. سپس بارش ماسه تا ارتفاع ۴۰ سانتی‌متری از کف مخزن (یعنی تا لبه دیوار حائل) ادامه می‌یابد، پس از آن سطح نمونه را تسطیح کرده و برای ایجاد شرایط خاکریز اشباع، نمونه به مدت ۲۴ ساعت اشباع می‌شود. لازم به ذکر است که در نمونه‌های اشباع، سطح آب در هر دو طرف دیوار در تمامی آزمایش‌ها در تراز لبه دیوار قرار داشت. سپس پی نواری به آرامی روی خاکریز قرار گرفته و تغییر مکان سنجی برای مشاهده نشست پی روی آن بسته می‌شود. در ادامه بارگذاری با سرعت $1 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$ بر نمونه اعمال شده و نیروی اعمالی به پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل توسط یک تغییر مکان سنج دیجیتال که در بالاترین نقطه دیوار قرار گرفته

نمونه آزمایش D تعیین می‌شود. پن من [13] حد پایین نسبت $\frac{D}{d}$ ، برای یک دانه‌بندی عریض ۴ و برای یک دانه‌بندی باریک ۶ تعیین کرد. بنابراین از یک نوع خاک ماسه‌ای سیلیسی ریزدانه بد دانه‌بندی شده برای ساخت خاکریز استفاده شده است و مشخصات آن در جدول (۳) و شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول ۳- مشخصات ماسه

Type	Dry unit weight	Saturated unit weight	Internal friction angle	Cohesion	Internal friction angle in saturated conditions
Sand	$13.04 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$	$15.30 \frac{\text{KN}}{\text{m}^3}$	28°	0	26.5°

Table 3. Characteristics of sand

شکل ۲. منحنی دانه‌بندی ماسه استفاده شده

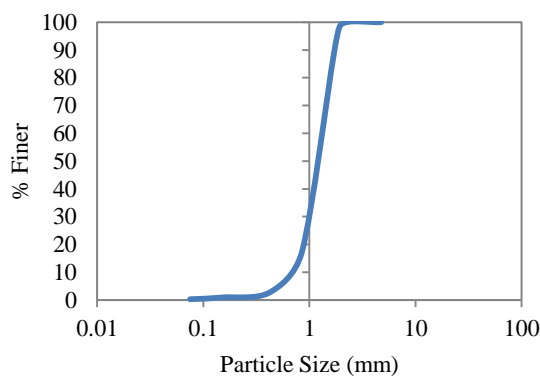


Fig. 2. Grain size distribution of the sand

۴- پارامترهای آزمایش

پارامترهای آزمایش در شکل (۳) نمایش داده شده است که شامل: عرض پی با B ، فاصله پی نواری از لبه دیوار با b ، تعداد لایه‌های ژئوگرید با N ، عمق ژئوگرید و فاصله قائم ژئوگریدها از یکدیگر با u ، نشست پی با s ، طول ژئوگرید با L ، نیروی اعمالی به پی با Q و ارتفاع کلی دیوار با H است.

شکل ۳. تصویر شماتیک مدل آزمایشگاهی و پارامترهای مربوط

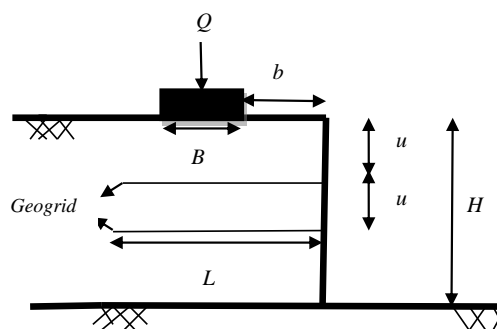


Fig. 3. Schematic view of the experimental model

$\Delta r =$ تغییر مکان دیوار در حالت مسلح در نشست ۳۰٪
بعد پی

$\Delta u_{un} =$ تغییر مکان دیوار در حالت غیر مسلح در نشست ۳۰٪
بعد پی

۷-۱- ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز خشک

در این بررسی ابتدا نمودار ظرفیت باربری و تغییر مکان جانبی دیوار در برابر نسبت نشست برای خاکریز خشک بدون مسلح کننده مطابق شکل های (۴ و ۵) ارائه شده است، سپس در ادامه این بخش تاثیر پارامترهای گوناگون روی ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار در حالت خاکریز خشک بررسی شده است.

در شکل (۴)، نمودار ظرفیت باربری پی نواری در نمونه خشک بدون استفاده از مسلح کننده در فواصل $b/B=1$ ، $b/B=2$ و $b/B=3$ ترسیم شده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد که در حالت بدون مسلح کننده با فاصله گرفتن پی نواری از لبه دیوار، ظرفیت باربری پی نواری افزایش یافته است. این امر به دلیل این است که، کلیه خطوط گسیختگی با افزایش فاصله پی نواری در دو طرف تشکیل شده و خاک پیرامون پی مشارکت بیشتری در ظرفیت باربری پیدا می کند همچنین می توان این گونه بیان کرد که کاهش ظرفیت باربری در نزدیکی دیوار به علت آن است که دیوار استفاده شده فاقد صلیبت کامل بوده و تغییر شکل های جانبی به وجود آمده در دیوار موجب پلاستیک شدن المان های خاک زیر پی شده و در نتیجه ظرفیت باربری کاهش یافته است.

شکل ۴. نمودار تنش-نسبت نشست برای خاکریز خشک در حالت

بدون مسلح کننده

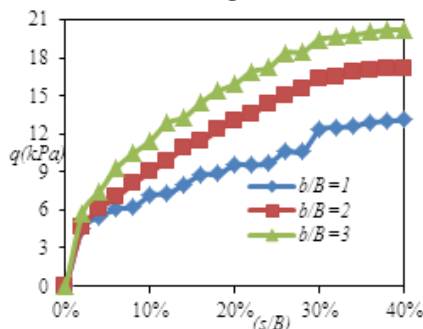


Fig. 4. A variations of q - s/B for unreinforced backfill in dry conditions

ثابت می شود. با توجه به شکل (۴)، نمودارهای بار در مقابل نسبت نشست دارای ناحیه خطی است که حاکی از گسیختگی کامل خاک و انتقال کامل تنش به دیوار حائل از طریق خاک زیر پی است. با بررسی دقیق نمودارهای بار-نسبت نشست شکل (۴) می توان نسبت نشست ۳۰٪ ($s/B=30\%$) را معیار گسیختگی کامل خاک و معیار مقایسه حالت های مختلف قرار داد. قسمت غیرخطی این نمودارها حاکی از رفتار غیرخطی خاک قبل از ایجاد گوه کامل گسیختگی در زیر پی است. همچنین بر طبق نظر داس^۱ [12]، بار نهایی در حالت گسیختگی برشی کلی، در نشست در حدود ۴٪ تا ۱۰٪ عرض شالوده و در حالت گسیختگی برشی موضعی و سوراخ کننده بار نهایی در نشست در حدود ۱۵٪ تا ۲۵٪ عرض شالوده رخ می دهد. پس بارگذاری در این پژوهش نیز تا نشست معادل ۳۰٪ عرض پی (یعنی 15mm) ادامه یافته است.

۷- تحلیل نتایج آزمایش

در آزمایش های صورت گرفته ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز خشک و اشباع با تغییر متغیرهایی از جمله عمق ژئوگرید، طول ژئوگرید، تعداد ژئوگریدها و فاصله پی از لبه دیوار بررسی شده است. برای تحلیل نتایج تمام پارامترها به صورت بدون بعد به کار رفته است یعنی: L/B ، b/B ، u/B و s/B . برای مقایسه ظرفیت باربری ها از پارامتر بدون بعد BCR به صورت زیر استفاده شده است:

$$BCR = \frac{q_r}{q_{un}} \quad (1)$$

$q_r =$ ظرفیت باربری پی نواری در حالت مسلح در نشست معادل ۳۰٪ بعد پی

$q_{un} =$ ظرفیت باربری پی نواری در حالت غیرمسلح در نشست معادل ۳۰٪ بعد پی

برای مقایسه تغییر مکان دیوار حائل از پارامتر بدون بعد WDR به صورت زیر استفاده شده است:

$$WDR = \frac{\Delta r}{\Delta u_{un}} \quad (2)$$

شکل‌های (۶ و ۷) مشاهده می‌شود که شیب قسمت اول نمودار یعنی از $L/B=3$ تا $L/B=4$ بیشتر از قسمت دوم بوده که حاکی از آن است که، افزایش طول ژئوگریدها تا حدی می‌تواند موجب افزایش ظرفیت باربری پی نواری شود و افزایش بیشتر آن تاثیر مثبت چندانی نخواهد داشت. از این رو با در نظر گرفتن شرایط موجود در این پژوهش و همچنین مسائل اقتصادی، نسبت طول ژئوگرید $L/B=4$ به عنوان طول بهینه پیشنهاد می‌شود.

شکل ۶. نمودار $BCR-L/B$ برای حالت $N=1, b/B=1$ در خاکریز خشک

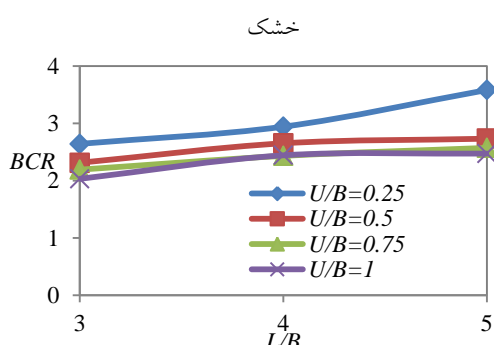


Fig. 6. Effects of L/B on the BCR in dry conditions: N=1, b/B=1

شکل ۷. نمودار $BCR-L/B$ برای حالت $N=2, b/B=3$ در خاکریز خشک

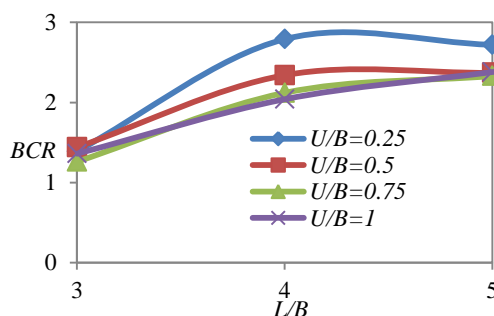


Fig. 7. Effects of L/B on the BCR in dry conditions: N=2, b/B=3

شکل (۸) تغییر مکان جانبی دیوار حائل برای حالت تک لایه ژئوگرید که فاصله پی از لبه دیوار در آن IB است را نمایش می‌دهد. در این نمودار نیز ملاحظه می‌شود که، شیب قسمت اول نمودار بیشتر از قسمت دوم بوده و نشان دهنده آن است که افزایش طول ژئوگرید تا حد $L/B=4$ موجب بهبود عملکرد سیستم شده است و پس از آن دیگر تاثیر چندانی نداشته است.

شکل (۵)، تغییر مکان جانبی دیوار حائل در نمونه خشک بدون استفاده از مسلح کننده در فواصل $b/B=1$ ، $b/B=2$ و $b/B=3$ را نشان می‌دهد. دیده می‌شود که در صورت افزایش b/B از ۱ به ۳ تغییر مکان دیوار حائل ۱۷٪ کاهش یافته است. دلیل این کاهش در شرایط غیر مسلح آن است که، با افزایش فاصله پی نواری از لبه دیوار، یک سطح پلاستیک بزرگ و عمیق در خاک زیر پی شکل می‌گیرد در صورتی که در فواصل نزدیک، یک سطح پلاستیک کوچک و سطحی در خاک زیر پی شکل می‌گیرد. پس سطح پلاستیک عمیق موجب کاهش تغییر مکان دیوار حائل می‌شود.

شکل ۵. نمودار تغییر مکان دیوار - نسبت نشست برای خاکریز خشک در حالت بدون مسلح کننده

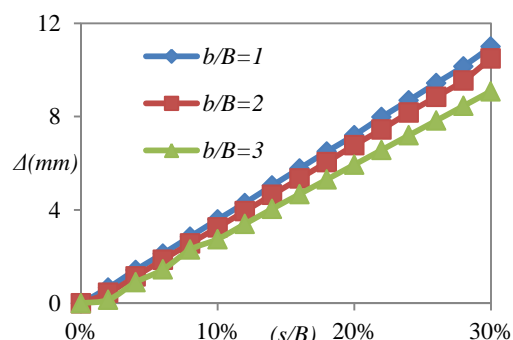


Fig. 5. Variations of $\Delta-s/B$ for unreinforced backfill in dry conditions

۱-۱-۷- اثر طول ژئوگرید در ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز خشک
برای بررسی تاثیر طول ژئوگرید بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل، از ۳ طول مختلف یعنی $L/B=3, 4, 5$ در بستر خاکریز استفاده شده است.

بر اساس شکل‌های (۶ و ۷) دیده می‌شود که، ظرفیت باربری پی نواری با افزایش طول ژئوگرید، افزایش یافته است. علت این امر این است که، افزایش طول ژئوگرید در خاکریز از توسعه سطح گسیختگی جلوگیری کرده و موجب توزیع گسترده‌تر بارهای وارد شده می‌شود. لازم به ذکر است که حتی استفاده از ژئوگرید با نسبت طول ۳ نیز موجب افزایش ظرفیت باربری پی نواری شده است. پس مطابق بیشتر منحنی‌های

در شکل‌های (۹ و ۱۰) تغییرات فاصله پی نواری از لبه دیوار در برابر ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز خشک نشان داده شده است. با افزایش فاصله پی نواری از لبه دیوار حائل، ظرفیت باربری کاهش قابل توجهی یافته است. در حالت $b/B=3$ مطابق شکل‌های (۹ و ۱۰)، نمودارها در مقدار حدود $BCR=1$ همگرا شده‌اند و این موضوع نشان دهنده این است که، ظرفیت باربری پی نواری در این حالت هیچ تفاوتی با حالت بدون مسلح کننده نخواهد داشت. در نتیجه در نسبت فاصله ۳، ژئوگرید هیچ تاثیری در افزایش ظرفیت باربری نداشته است و در عمل سمت چپ پی غیر مسلح گردیده است. یکی از عواملی که موجب به دست آمدن بیشینه ظرفیت باربری در نسبت فاصله ۱ شده است، سختی مهارهای به کار رفته برای اتصال ورق‌های ژئوگریدی به بدنه دیوار است. همچنین با افزایش فاصله پی نواری از لبه دیوار، دیگر کل سطح خاک زیر پی تحت پوشش ورق ژئوگریدی قرار نمی‌گیرد.

شکل ۱۱- نمودار $WDR-b/B$ برای حالت $N=1, L/B=5$ در خاکریز خشک

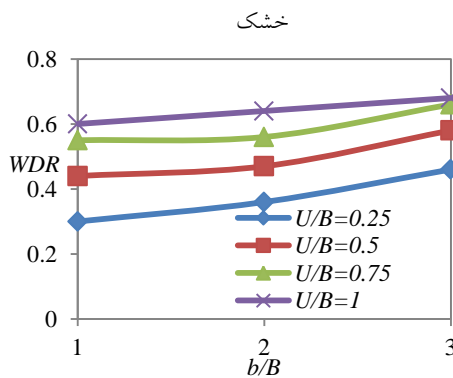


Fig. 11. Effects of b/B on the WDR in dry conditions: $N=1, L/B=5$

در شکل (۱۱) اثر تغییر فاصله پی نواری از لبه دیوار روی تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز خشک مسلح شده با ژئوگرید به طول $5B$ مشاهده می‌شود. با افزایش فاصله پی نواری از لبه دیوار حائل، تغییر مکان جانبی دیوار نیز افزایش یافته است. یکی از عواملی که موجب این پدیده می‌شود، سختی مهارهای به کار رفته برای اتصال ورق ژئوگریدی به بدنه دیوار حائل است. همچنین با افزایش فاصله پی نواری از لبه دیوار حائل دیگر کل سطح گسیختگی توسط ورق

شکل ۸. نمودار $WDR-L/B$ برای حالت $N=1, b/B=1$ در خاکریز خشک

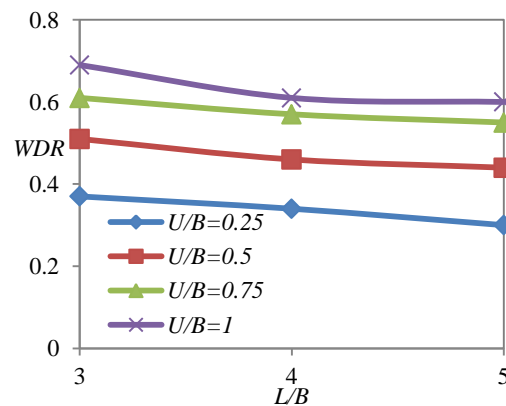


Fig. 8. Effects of L/B on the WDR in dry conditions: $N=1, b/B=1$

۷-۱-۲- اثر فاصله پی نواری از لبه دیوار بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز خشک
برای بررسی تاثیر فاصله پی نواری از لبه دیوار بر ظرفیت باربری پی و تغییر مکان دیوار، ۳ فاصله مختلف از دیوار یعنی $b/B=1, 2, 3$ در نظر گرفته شده است.

شکل ۹. نمودار $BCR-b/B$ برای حالت $N=1, L/B=3$ در خاکریز خشک

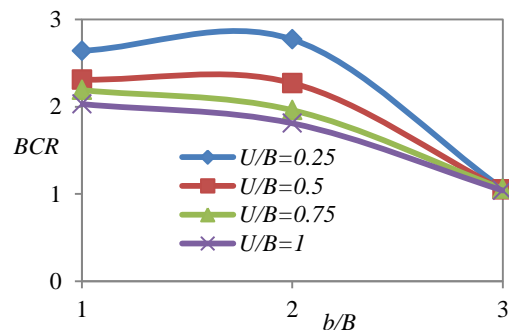


Fig. 9. Effects of b/B on the BCR in dry conditions: $N=1, L/B=3$

شکل ۱۰. نمودار $BCR-b/B$ برای حالت $N=2, L/B=3$ در خاکریز خشک

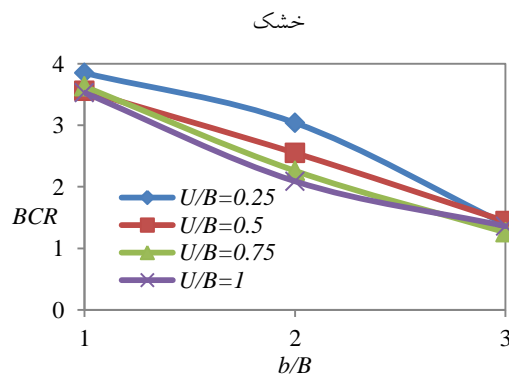


Fig. 10. Effects of b/B on the BCR in dry conditions: $N=2, L/B=3$

قائم ژئوگریدها، تغییر مکان دیوار کاهش یافته است. افزایش بیشتر عمق باعث می شود که ژئوگریدها کارایی مطلوبشان را از دست داده و تاثیر چندانی در کاهش تغییر مکان جانبی دیوار حائل نداشته باشند.

شکل ۱۳. نمودار $BCR-u/B$ برای حالت $N=2, b/B=2$ در خاکریز خشک

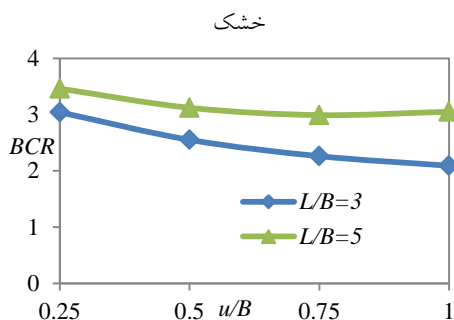


Fig. 13. Effects of u/B on the BCR in dry conditions: $N=2, b/B=2$

شکل ۱۴. نمودار $WDR-u/B$ برای حالت $N=1, b/B=1$ در خاکریز خشک

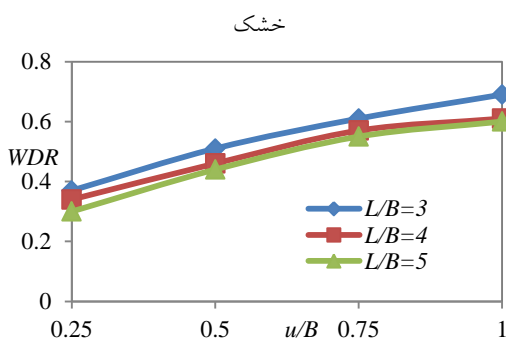


Fig. 14. Effects of u/B on the WDR in dry conditions: $N=1, b/B=1$

۷-۱-۴ اثر تعداد ژئوگریدها بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز خشک

برای تاثیر تعداد لایه های ژئوگرید بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل از ۱ و ۲ لایه ژئوگرید استفاده شد. در شکل های (۱۵ و ۱۶) اثر تغییر تعداد لایه های ژئوگرید روی ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز خشک مشاهده می شود. دیده می شود که با افزایش تعداد لایه های ژئوگرید، ظرفیت باربری پی نواری افزایش قابل توجهی یافته است. هنگامی که تعداد لایه های مسلح کننده افزایش می یابد، اندرکنش بین خاک و مسلح کننده به صورت انتقال ناحیه برش خورده به قسمت پایین تر و عمیق تر صورت می گیرد. دست یافتن به مقدار بهینه نیاز به انجام آزمایش های بیشتر با

ژئوگریدی پوشش داده نمی شود و در نتیجه از ظرفیت ژئوگرید برای توزیع گسترده تر و عمیق تر نیروی اعمالی به طور کامل استفاده نمی شود. در نتیجه با در نظر گرفتن شرایط موجود در این پژوهش نسبت فاصله ۱ ($b/B=1$) به عنوان فاصله بهینه از نقطه نظر تغییر مکان دیوار حائل پیشنهاد می شود.

۷-۱-۳ اثر عمق و فاصله قائم ژئوگریدها بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز خشک

برای ارزیابی اثر عمق و فاصله قائم قرارگیری ژئوگرید بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل از نسبت عمق و فواصل قائم ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ استفاده شده است.

در شکل های (۱۲ و ۱۳) اثر تغییر عمق و فاصله قائم ژئوگریدها بر ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز خشک مشاهده می شود، دیده می شود که با افزایش عمق قرارگیری ژئوگرید، ظرفیت باربری پی نواری کاهش یافته است و از تمام ظرفیت ورق ژئوگریدی استفاده نشده است. یکی از علل این پدیده آن است که با افزایش عمق ژئوگرید، خاک قرار گرفته مابین پی و ژئوگرید فشرده شده و نشست های بزرگی رخ می دهد. از این رو هر چقدر ورق ژئوگرید به پی نواری نزدیکتر باشد، ظرفیت باربری پی نواری بالاتر خواهد رفت. در این پژوهش نسبت عمق و فاصله قائم بهینه بین ژئوگریدها در حدود ۰/۲۵ ($u/B=0.25$) استخراج شد.

شکل ۱۲. نمودار $BCR-u/B$ برای حالت $N=1, b/B=3$ در خاکریز خشک

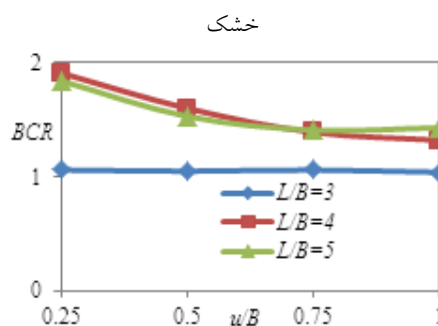


Fig. 12. Effects of u/B on the BCR in dry conditions: $N=1, b/B=3$

در شکل (۱۴) اثر تغییر عمق و فاصله قائم ژئوگریدها بر تغییر مکان دیوار در حالت خاکریز خشک مشاهده می شود. با توجه به شکل (۱۴) مشاهده می شود که با کاهش عمق و فاصله

ظرفیت باربری پی نواری و هم در تغییرمکان جانبی دیوار حائل نقش مثبتی را ایفا می‌کند. برای دستیابی به روندی دقیقتر در زمینه تعداد مسلح کننده‌ها نیاز به آزمایش‌های بیشتر با تعداد متفاوت از مسلح کننده‌ها است.

۲-۷- ظرفیت باربری پی نواری و تغییرمکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز اشباع

برای بررسی ظرفیت باربری پی نواری و تغییرمکان جانبی دیوار حائل در نمونه‌های با خاکریز اشباع، ابتدا نمودار ظرفیت باربری پی نواری و تغییرمکان جانبی دیوار حائل در برابر نسبت نشست برای حالت خاکریز اشباع بدون استفاده از مسلح کننده مطابق شکل‌های (۱۸ و ۱۹) ارائه شده است، در ادامه تاثیر پارامترهای گوناگون بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییرمکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز اشباع بررسی شد. شکل (۱۸)، ظرفیت باربری پی نواری در نمونه با خاکریز اشباع بدون استفاده از مسلح کننده در فواصل $b/B=1$ و $b/B=2$ و $b/B=3$ را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با فاصله گرفتن پی نواری از لبه دیوار، ظرفیت باربری پی نواری افزایش یافته است. این امر به دلیل این است که کلیه خطوط گسیختگی با افزایش فاصله پی نواری در دو طرف تشکیل شده و خاک پیرامون پی مشارکت بیشتری در ظرفیت باربری پیدا می‌کند. لازم به ذکر است که به علت کاهش تنش موثر دانه‌های خاک، ظرفیت باربری پی نواری در نمونه‌های اشباع کمتر از نمونه‌های خشک است.

شکل ۱۸. نمودار تنش-نسبت نشست برای خاکریز اشباع در حالت بدون

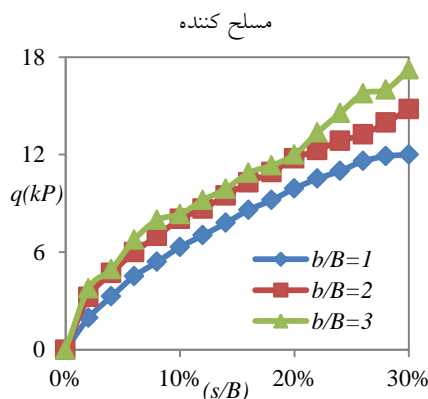


Fig. 18. a variations of q - s/B for unreinforced backfill in saturated conditions

تعداد متفاوت از لایه‌های ژئوگرید دارد، با این وجود بر اساس شرایط موجود در این پژوهش تعداد ۲ لایه ژئوگرید ($N=2$) به عنوان مقدار بهینه پیشنهاد می‌شود.

شکل ۱۵. نمودار $BCR-u/B$ برای حالت $L/B=3, b/B=3$ در خاکریز خشک

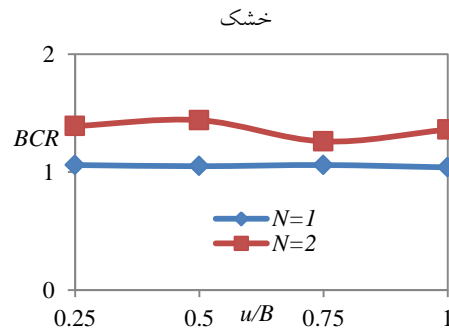


Fig. 15. Effects of N on the BCR in dry conditions: $L/B=3, b/B=3$

شکل ۱۶. نمودار $BCR-u/B$ برای حالت $L/B=4, b/B=3$ در خاکریز خشک

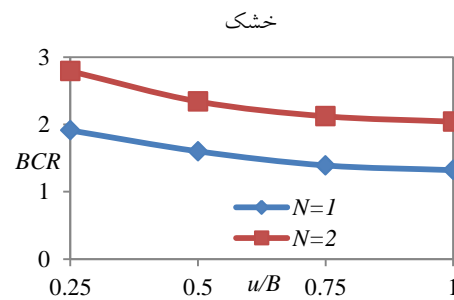


Fig. 16. Effects of N on the BCR in dry conditions: $L/B=4, b/B=3$

شکل ۱۷. نمودار $WDR-u/B$ برای حالت $L/B=4, b/B=2$ در خاکریز خشک

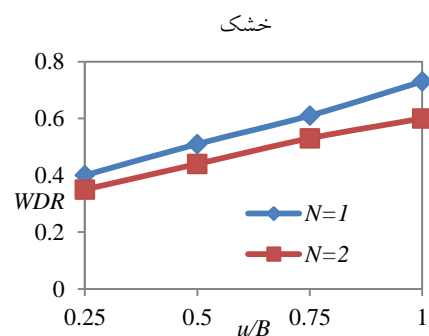


Fig. 17. Effects of N on the WDR in dry conditions: $L/B=4, b/B=2$

در شکل (۱۷) اثر تغییر تعداد لایه‌های ژئوگرید بر تغییرمکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز خشک مشاهده می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود که با افزایش تعداد لایه‌های ژئوگرید، تغییرمکان دیوار کاهش یافته است. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش تعداد لایه‌های مسلح کننده هم در

ظرفیت باربری پی نواری می‌شود. در اینجا لازم به یادآوری است که مهمترین علت متغیر در نظر گرفتن فاصله پی نواری از لبه دیوار، کنترل کردن روند نمودارها در فواصل مختلف است.

شکل ۲۰. نمودار $BCR-b/B$ برای حالت $N=1, L/B=5$ در خاکریز اشباع

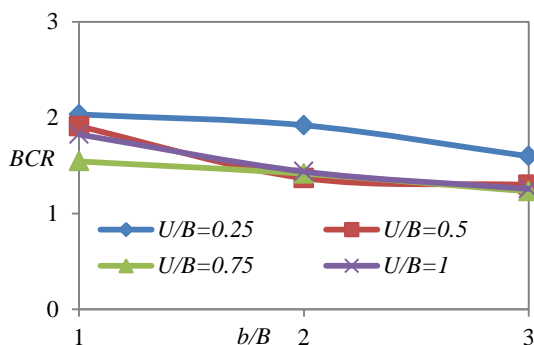


Fig. 20. Effects of b/B on the BCR in saturated conditions: $N=1, L/B=5$

در شکل (۲۱) اثر تغییر فاصله پی از لبه دیوار روی تغییر مکان دیوار در حالت خاکریز اشباع مشاهده می‌شود. مطابق شکل (۲۱) با افزایش فاصله پی نواری از لبه دیوار، تغییر مکان‌ها روند صعودی به خود گرفته‌اند. در نتیجه هم از نظر تغییر مکان جانبی دیوار حائل و هم ظرفیت باربری پی نواری، نسبت فاصله ۱ (یعنی $b/B=1$) به عنوان بهینه‌ترین حالت پیشنهاد می‌شود.

شکل ۲۱. نمودار $WDR-b/B$ برای حالت $N=1, L/B=5$ در خاکریز اشباع

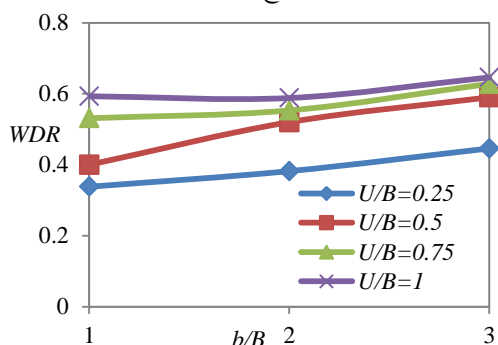


Fig. 21. Effects of b/B on the WDR in saturated conditions: $N=1, L/B=5$

۷-۲-۲-۱ اثر عمق و فاصله قائم ژئوگریدها بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز اشباع برای ارزیابی اثر عمق قرار گیری ژئوگرید بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار از چهار نسبت عمق

شکل (۱۹)، تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز اشباع بدون استفاده از مسلح کننده در فواصل $b/B=1$ ، $b/B=2$ و $b/B=3$ را نشان می‌دهد، با فاصله گرفتن پی نواری از لبه دیوار حائل، تغییر مکان دیوار کاهش یافته است. در صورت افزایش b/B از ۱ به ۳ تغییر مکان دیوار حائل ۱۱٪ کاهش یافته است. دلیل این کاهش در شرایط غیرمسلح آن است که، با افزایش فاصله پی نواری از لبه دیوار، یک سطح پلاستیک بزرگ و عمیق در خاک زیر پی شکل می‌گیرد در صورتی که در فواصل نزدیک، یک سطح پلاستیک کوچک و سطحی در خاک زیر پی شکل می‌گیرد.

شکل ۱۹. نمودار تغییر مکان جانبی دیوار- نسبت نشست برای خاکریز اشباع در حالت بدون مسلح کننده

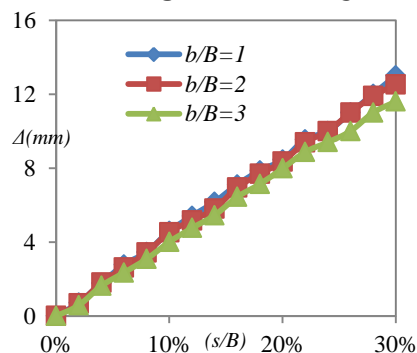


Fig. 19. Variations of $\Delta-s/B$ for unreinforced backfill in saturated conditions

۷-۲-۱-۱ اثر تغییر فاصله پی نواری از دیوار بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل در حالت خاکریز اشباع برای ارزیابی تاثیر فاصله پی از دیوار بر ظرفیت باربری پی نواری و تغییر مکان جانبی دیوار حائل از سه نسبت فاصله ۱ و ۲ و ۳ استفاده شد. شکل (۲۰) اثر تغییر فاصله پی از لبه دیوار در روی ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز اشباع را نشان می‌دهد، با افزایش فاصله پی نواری از لبه دیوار حائل، ظرفیت باربری پی نواری کاهش یافته است. یکی از عواملی که موجب افزایش ظرفیت باربری پی نواری در فواصل نزدیکتر به دیوار شده، سختی مهارهای به کار رفته برای اتصال ژئوگرید به دیوار است، همچنین لازم به ذکر است که با فاصله گرفتن بیشتر پی نواری از لبه دیوار، دیگر کل سطح گسیختگی تحت پوشش ورق ژئوگرید قرار نمی‌گیرد و نقش ژئوگرید در توزیع گسترده‌تر نیروی اعمالی کاهش می‌یابد که موجب کاهش

شکل ۲۳- نمودار $WDR-u/B$ برای حالت $N=1, L/B=5$ در خاکریز

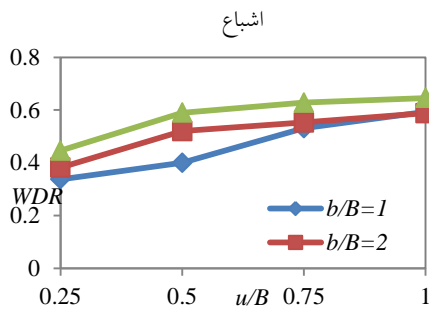


Fig. 23. Effects of u/B on the WDR in saturated conditions: $N=1, L/B=5$

۳-۷- مقایسه ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز مسلح خشک و اشباع

شکل (۲۴) مقایسه بین ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز مسلح خشک و اشباع نمایش داده شده است، ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز مسلح خشک به طور قابل توجهی از حالت خاکریز مسلح اشباع بیشتر است. علت این اختلاف، کاهش تنش موثر خاک و کاهش اندرکنش بین خاک و ژئوگرید در حالت خاکریز اشباع می باشد که باعث می شود خاک تا حدود زیادی مقاومت خود را از دست بدهد. در این پژوهش، آب در هر دو سمت دیوار در تراز یکسانی قرار داشته و اگر تراز آب متفاوت بود به احتمال فراوان موجب کاهش بیشتر ظرفیت باربری پی نواری می شد.

شکل ۲۴- نمودار $BCR-b/B$ برای مقایسه حالت $N=1, L/B=5$

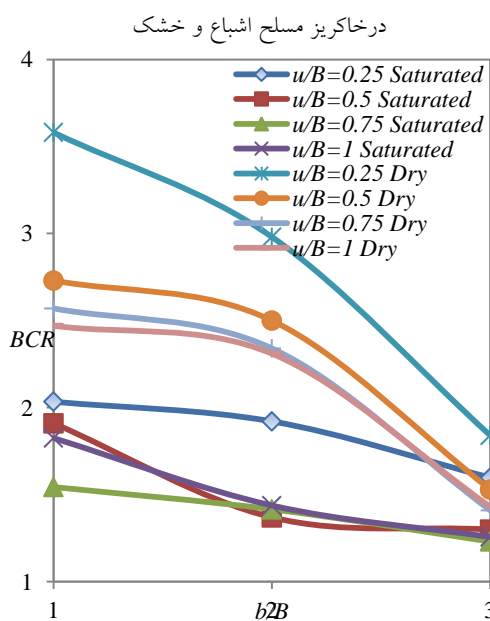


Fig. 24. Effects of b/B on the BCR in dry and saturated conditions: $N=1, L/B=5$

۰/۲۵ و ۰/۵ و ۰/۷۵ و ۱ استفاده شد. شکل (۲۲) اثر تغییر عمق ژئوگرید روی ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز اشباع را نشان می دهد. با افزایش عمق ژئوگرید، ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز اشباع روندی نزولی پیدا کرده و از تمام ظرفیت ورق ژئوگرید استفاده نشده است. یکی از علل این پدیده آن است که با افزایش عمق ژئوگرید، خاک قرار گرفته مابین پی و ژئوگرید فشرده شده و نشست های بزرگی در آن رخ می دهد. از این رو هر چقدر ورق ژئوگرید به پی نواری نزدیکتر باشد، ظرفیت باربری پی نواری بالاتر خواهد رفت. در هر ۳ منحنی شکل (۲۲)، ظرفیت باربری پی نواری در عمق قرارگیری $u/B=0.6$ تا $u/B=0.75$ به پایین ترین حد خود رسیده است. هر چند که در پایین ترین عمق نیز افزایش ظرفیت باربری نسبت به حالت غیرمسلح مشاهده شده اما می توان گفت در این پژوهش نسبت عمق $0.25 (u/B)$ به عنوان مقدار بهینه است.

شکل ۲۲- نمودار $BCR-u/B$ برای حالت $N=1, L/B=5$ در خاکریز اشباع

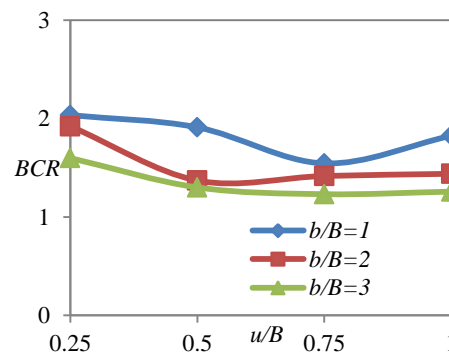


Fig. 22. Effects of u/B on the BCR in saturated conditions: $N=1, L/B=5$

در شکل (۲۳) اثر تغییر عمق ورق ژئوگریدی بر تغییر مکان دیوار حائل در حالت خاکریز اشباع مشاهده می شود. با کاهش عمق قرارگیری ژئوگرید، تغییر مکان دیوار نیز کاهش یافته است و شیب قسمت اول منحنی ها (یعنی از $u/B=0.25$ تا $u/B=0.5$) بیشتر از ۲ قسمت باقیمانده است که حاکی از آن است که در حالت های $0.5, 0.75, 1$ تغییر مکان جانبی دیوار تغییر محسوسی نکرده است. بنابراین نسبت عمق ژئوگرید $0.25 (u/B)$ به عنوان حالت بهینه پیشنهاد می شود.

۸- محدودیت و اثر مقیاس

بطور کلی با استفاده از مدل‌های کوچک مقیاس در بررسی‌های ژئوتکنیکی، میتوان پارامترهای متنوع‌تری را مطالعه کرد. این پژوهش در یک مدل کوچک شده نسبت به مدل واقعی انجام شده است و با توجه به اینکه مصالح به کار رفته نسبت به مصالح حقیقی رفتار یکسانی از خود نشان نخواهند داد، برای نتایج دقیق، نیاز به انجام آزمایش با اندازه بزرگ و مصالح واقعی است. در این پژوهش رفتار خاک خشک و اشباع، مسلح کننده و دیوار انعطاف پذیر بررسی شده و تغییرات سختی دیوار و مسلح کننده در آن بحث نشده است. پس برای تعمیم نتایج از آزمایش‌های کوچک مقیاس به مقیاس واقعی، ضروری است که بررسی اثر مقیاس صورت گیرد. برای مطالعه اثر مقیاس از مدلسازی عددی در نرم افزار اجزا محدود PLAXIS استفاده شده است. برای این منظور ابتدا درستی آزمایشی مدل با استفاده از مقایسه نتایج بدست آمده از مدل آزمایشگاهی کوچک مقیاس با مدل عددی انجام گرفته است (شکل ۲۵). شکل (۲۵) نشان می‌دهد که نتایج حاصل از تحلیل عددی و آزمایشگاهی کوچک مقیاس هماهنگی مناسبی دارند (لازم به ذکر است که مشخصات خاک در مدل عددی مطابق جدول شماره ۳ در نظر گرفته شده است).

دو مقاومت کششی مسلح کننده مختلف (60KN/m و 80KN/m) در نرم افزار PLAXIS ساخته شده است. همچنین ضریب ناحیه وجه مشترک بین خاک و ژئوگرید در حالت خشک برابر 0.66 و در حالت اشباع برابر 0.5 در نظر گرفته شده است (شکل ۲۶). مدل‌های بزرگ مقیاس با فرض داشتن شرایط $N=1, L/B=5, u/B=0.25$ و در $b/B=1, 2, 3$ در خاک استفاده شده این تحقیق بررسی شدند. در جدول (۵) نتایج بررسی مدل بزرگ مقیاس با مقاومت کششی گوناگون در کنار مدل آزمایشگاهی کوچک مقیاس با مقاومت کششی 20KN/m آورده شده است.

شکل ۲۶. مش تغییر شکل یافته در تحلیل عددی (PLAXIS)

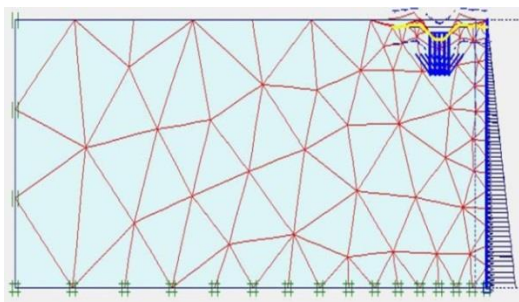


Fig. 26. Deformed mesh in numerical analysis (PLAXIS)

نتایج بدست آمده در جدول (۵) نشان می‌دهد که با افزایش مقاومت کششی مسلح کننده، نسبت ظرفیت باربری نهایی پی نواری روند افزایشی دارد. همچنین روند کاهش BCR با افزایش نسبت b/B در هر دو مدل کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس حاصل شده است. در شکل‌های (۲۷ و ۲۸) کانتور تغییر مکان حاصل از تحلیل عددی در دو حالت خشک و اشباع نمایش داده شده است.

جدول ۵. مقایسه نتایج تحلیل عددی بزرگ مقیاس و آزمایشگاهی کوچک

مقیاس در شرایط اشباع ($u/B=0.25, L/B=5, N=1$)

Tensile strength of geogrid (KN/m)	BCR		
	$b/B=1$	$b/B=2$	$b/B=3$
20	2.03	1.92	1.59
60	2.44	2.11	1.91
80	3.25	3.11	2.53

Table 5. Compare the results of numerical analysis of large-scale and small-scale laboratory in saturated conditions ($u/B=0.25, L/B=5, N=1$)

شکل ۲۵. نمودار $BCR-b/B$ برای حالت $N=1, u/B=0.25, L/B=5$

درخاکریز اشباع برای درستی آزمایشی

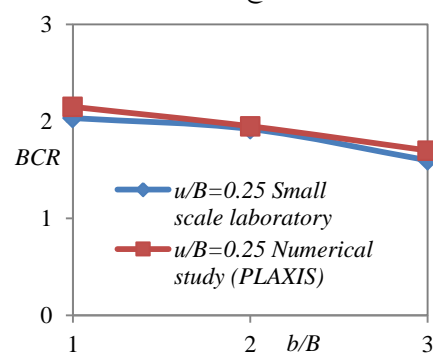


Fig. 25. Effects of b/B on the BCR in saturated conditions for verification: $N=1, L/B=5, u/B=0.25$

یکی از مهمترین پارامترهای تاثیرگذار بر نتایج مدلسازی، سختی محوری ژئوگرید است. برای به دست آوردن اثر مقیاس، مدل عددی دیوار حائل با ارتفاع ۱۰ متر و سختی محوری $28 \times 10^6 \left(\frac{KN}{m}\right)$ و سختی خمشی $5.83 \times 10^5 \left(\frac{KN m^2}{m}\right)$ و با

۳- با افزایش طول ژئوگرید، ظرفیت باربری افزایش می‌یابد، که ناشی از جلوگیری از توسعه سطح گسیختگی است. نسبت طول ژئوگرید ۴ ($L/B=4$) به عنوان مقدار بهینه تعیین شد.

۴- در حالت خاکریز خشک با افزایش تعداد ژئوگریدها از ۱ به ۲، ظرفیت باربری افزایش می‌یابد. هرچند برای دستیابی به مقدار بهینه در این زمینه نیاز به آزمایش‌هایی با تعداد مسلح کننده‌های متفاوت است.

۵- از نظر فاصله پی نواری از لبه دیوار، نسبت فاصله ۱ ($b/B=1$) به عنوان مقدار بهینه به دست آمد. با افزایش فاصله پی از دیوار، ظرفیت باربری کاهش یافت. از دلایل این پدیده سختی مهار به کار رفته در بدنه دیوار است.

۶- ظرفیت باربری پی نواری در حالت خاکریز مسلح خشک به طور قابل توجهی از حالت خاکریز مسلح اشباع بیشتر می‌باشد، که ناشی از کاهش تنش موثر خاک و کاهش اصطکاک بین خاک و ژئوگرید در شرایط اشباع است.

References

۱۰- مراجع

- [1] Khing, K.H., Das, B.M., Puri, V.K., Cook, E.E., & Yen, S.C. 1993 The bearing capacity of a strip foundation on geogrid-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 12(4), 351-361.
- [2] Omar, M.T., Das, B.M., Puri, V.K., & Yen, S.C. 1993 Ultimate bearing capacity of shallow foundations on sand with geogrid. *Canadian Geotechnical Journal*, 30(3), 545-549.
- [3] Adams, M.T., & Collin, J.G. 1997 Large model spread footing load tests on geosynthetic reinforced soil foundations. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 123(1), 66-72.
- [4] Yoo, C. 2001 Laboratory investigation of bearing capacity behavior of strip footing on geogrid reinforced sand slope. *Geotextiles and Geomembranes*, 5(19), 279-298.
- [5] Shinde, A., & Mandal, J. 2007 Behavior of reinforced soil retaining wall with limited fill zone. *Geotechnical and Geological Engineering*, 6(25), 657-672.
- [6] Maharaj D. K. 2003 Nonlinear finite element analysis of strip footing on reinforced clay. *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, (8), Bundle C.
- [7] Huang, B., Bathurst, R., & Hatami, K. 2009 Numerical study of reinforced soil segmental walls using three different constitutive soil models. *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 10(135), 1486-1498.
- [8] Alamshahi, S., & Hataf, N. 2009 Bearing capacity of strip footings on sand slopes reinforced with geogrid and

شکل ۲۷. کانتور تغییر مکان در حالت خشک در

$$u/B=0.25, L/B=5, b/B=1, N=1$$

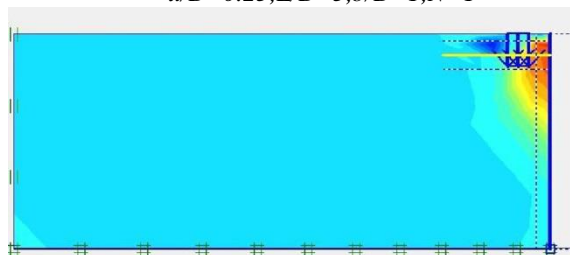


Fig. 27. Displacement contours in dry conditions: $N=1, b/B=1, L/B=5, u/B=0.25$

شکل ۲۸. کانتور تغییر مکان در حالت اشباع در

$$u/B=0.25, L/B=5, b/B=1, N=1$$

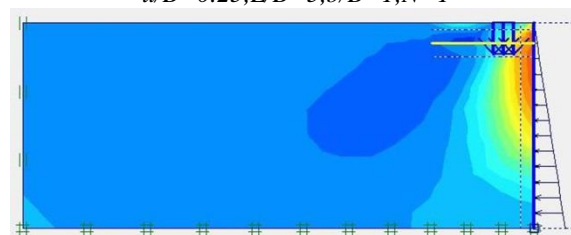


Fig. 28. Displacement contours in saturated conditions: $N=1, b/B=1, L/B=5, u/B=0.25$

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد مقدار تغییر مکان در شرایط اشباع نسبت به حالت خشک بیشتر بوده و همچنین ظرفیت باربری شرایط اشباع به مقدار قابل توجهی نسبت به حالت خشک کمتر است.

۹- نتیجه گیری

هدف اصلی در این پژوهش بررسی ظرفیت باربری یک پی نواری در مجاورت دیوار حائل خاک مسلح در خاکریز ماسه‌ای، در شرایط اشباع است که تاکنون مطالعات محدودی با در نظر گرفتن وجود شرایط آب در خاک انجام شده است. از انجام آزمایش‌ها برحسب پارامترهای متغیر شامل طول ژئوگرید، عمق ژئوگرید، تعداد ژئوگریدها، فاصله پی نواری از دیوار و شرایط اشباع نتایج زیر حاصل می‌شود:

- ۱- با قراردادن ژئوگریدها درون خاکریز در شرایط اشباع و خشک، ظرفیت باربری پی نواری افزایش می‌یابد.
- ۲- بیشترین تاثیر ژئوگریدها در خاکریز خشک و اشباع در نسبت عمق ۰/۲۵ ($u/B=0.25$) حاصل می‌شود. با افزایش بیشتر عمق، کل ظرفیت ژئوگرید مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و ظرفیت باربری پی نواری کاهش می‌یابد.

- [11] Zheng, Y., Fox, P., & Shing, P. 2015 Numerical study of deformation behavior for a geosynthetic-reinforced soil bridge abutment under static loading. *IFCEE 2015*, March, Texas, 1503-1512.
- [12] Das, B. M. 2004 *Principles of foundation engineering*. Thomson Publishing, 6th Edition.
- [13] Penman, A.D.M., 1971 Rock fill, *Building Research Station*, paper 15/71, BRE, Garston, Watford.

- grid-anchor. *Geotextiles and geomembranes*, 1(27), 217-226.
- [9] Anubhav, S., & Basudhar, P. 2010 Finite element simulation of strip footings resting on double faced wrap-around reinforced soil walls. *proceedings of: GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling & Design*, Florida, February, 2291-2300.
- [10] Riccio, M., Ehrlich, M., & Disa, D. 2014 Field monitoring and analyses of the response of a block-faced geogrid wall using fine-grained tropical soils. *Geotextiles and Geomembranes*, 2(42), 127-138.

The Evaluation of Footing Bearing Capacity Rest on Top of Retaining Wall Reinforced by Geogrid in Saturated and Dry Soil

A. Afshar Farnia¹, V. Rostami^{2*}

1- M.Sc. of Geotechnical Engineering, Civil Engineering Department., Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

2- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Hamedan Branch, Islamic Azad University, Hamedan, Iran.

*rostami.vahid@gmail.com

Abstract:

Reinforced soil is a common technique to improve the soil properties and can be used in design of foundations and retaining earth structures. Reinforced earth structures are embankments which are reinforced by reinforcing elements such as geogrids, steel straps, etc. This study evaluates footing bearing capacity rest on top of retaining wall reinforced by geogrid in saturated and dry sandy soil. The previous researches have indeed studied the effects of many different parameters on the strip footing bearing capacity including the number of reinforcing elements, reinforcement depth, vertical distance of the reinforcing elements, etc. However, the retaining walls behavior in saturated embankment has not been studied up to now so the emphasis in this research was to study the effect of saturation condition on the footing bearing capacity near the reinforced walls. For this purpose small scale laboratory model tests were carried out to investigate the bearing capacity of strip footing rest on top of the geogrid reinforced retaining walls. A steel frame model box with inner dimensions of 0.5 m × 0.5 m in plan and 0.5 m in height was used. One side of the test box was made of Plexiglas for observations during the tests. The strip footing was made of a steel plate 0.49 m in length, 0.05 m in width and 0.02 m in thickness. An aluminum plate (thickness= 3mm) used as retaining wall model. A two-way geogrid sheet was used to reinforce the sand bed. The sand bed prepared by sand raining technique and a water tank placed on top of the frame to saturate the bed. In the current investigation, 90 tests were performed on model strip footing. To evaluate the effect of geogrid length on strip footing bearing capacity in dry and saturated conditions, three different lengths ($L/B=3, 4, 5$) were used. The results show that bearing capacity of the strip footing increases with an increase in the geogrid length. Increasing of geogrids lengths prevents expansion of the failure zone and allows wide distribution of applied load. Based on experimental results it can be derive maximum amount for geogrid reinforcement length and after that amount, a larger increase in length of geogrid do not have significant effects on the bearing capacity of footing. Therefore, the $L/B=4$ length ratio was recommended as the optimum ratio considering economic problems. To study the effect of the geogrid depth on the footing bearing capacity in the saturated embankment, the bearing capacity at four different depth ratios of $u/B=0.25, u/B=0.5, u/B=0.75,$ and $u/B=1.0$ were tested. The results showed that increasing the geogrid depth introduced a descending trend in the bearing capacity of the strip footing, so that the full capacity of the geogrid could not be utilized. To study the effect of changes in the number of geogrids on strip footing's bearing capacity, a single-layer and a double-layer geogrid (i.e. $N=1, 2$) were placed inside the embankment. The results showed that as the number of geogrid layers increases from 1 to 2, the bearing capacity of the strip footing escalates considerable.

Keywords: strip footing bearing capacity, saturated embankment, reinforced soil, geogrid.