

ارزیابی عملکرد دیوار حائل خاک مسلح با تسلیح کننده‌های مورب، رویه شیب‌دار و مهار تسلیح کننده‌ها

محمد جواد شعبانی رمتی^{۱*}، محمد علی روشن ضمیر^۲، عباس اسلامی حقیقت^۳

۱- کارشناس ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۳- استادیار دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

mj.shabani@cv.iut.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۱۲/۱]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱/۱۹]

چکیده: با توجه به مزایای دیوارهای حائل خاک مسلح به ژئوسنتتیک، استفاده از این دیوارها در طرح‌های عمرانی طی سه دهه گذشته افزایش قابل توجهی یافته است. برای طراحی بهینه این دیوارها لازم است عملکرد آنها در هندسه و شرایط تسلیح مختلف مورد مطالعه و ارزیابی قرار گیرد. در این پژوهش تاثیر شیب‌داری رویه دیوار، تسلیح مورب و مهار شده بر عملکرد دیوار به صورت تجربی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفته است. در این راستا در مجموع ۱۴ مدل دیوار در مقیاس آزمایشگاهی ساخته شد و عملکرد آنها تحت بارگذاری استاتیکی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از بررسی‌های تجربی نشان داد که با شیب‌دار کردن رویه به سمت خاکریز، تغییر شکل جانبی رویه دیوار کاهش می‌یابد. به علاوه استفاده از لایه‌های تسلیح مورب، باعث کاهش بیشتر تغییر شکل افقی می‌شود. بر مبنای نتایج به دست آمده مشخص شد که اجرای دیوار با رویه‌ی ۸۰ درجه نسبت به افق و متمایل به سمت خاکریز و تسلیح با کجی ۱۰ درجه نسبت به افق باعث بهبود قابل توجهی در عملکرد دیوار می‌گردد به شکلی که حداکثر تغییر شکل افقی رویه دیوار تحت شرایط بار مجاز تا ۲۰٪ کاهش می‌یابد. به علاوه معلوم شد که مهار نمودن انتهای تسلیح در خاکریز تأثیری مفید ولی محدود بر عملکرد دیوار دارد.

کلمات کلیدی: خاک مسلح، تسلیح کننده‌های مورب، رویه شیب‌دار، مهار تسلیح کننده‌ها.

۱- مقدمه

از نظر اقتصادی بتوان آن را در سازه‌های مهندسی بزرگ به کار برد [۱]. اگرچه ابتدا از تسمه‌های فلزی برای تسلیح خاک استفاده شد، ولی امروزه با توجه به دسترس بودن مصالح و بافته‌های پلیمری موسوم به ژئوسنتتیک‌ها، استفاده از آنها در تسلیح خاک رواج بیشتری یافته است. دیوارهای خاک مسلح از لحاظ فنی و هزینه‌ای مزایایی را نسبت به سازه‌های حائل بتن مسلح در مناطقی با شرایط شالوده ضعیف دارد. در این شرایط حذف هزینه‌های لازم برای بهبود شالوده‌ها از قبیل به کارگیری شمع‌ها، موجب صرفه‌جویی به مقدار بیشتر

از جمله روش‌های بهبود مقاومت خاک افزودن عناصر کششی (تسلیح خاک) برای بهبود مقاومت کششی آن است. ابداع روش‌های مدرن خاک مسلح به وسیله‌ی معمار فرانسوی هانری ویدال^۱ در اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰ نقطه شروعی بر ابداع روش‌های مختلف و متعدد دیگر بوده است. ویدال این مصالح جدید را خاک مسلح نامگذاری نمود. ویدال در طی سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۶۹ توانست روش خاک مسلح را تا مرحله‌ای توسعه دهد که

1 Henri Vidal

نشان داد که تراکم سنگین باعث افزایش حداکثر تنش برشی بسیج شده در طول تسلیح‌کننده‌ها شده است در حالیکه تراکم سبک تاثیر کمی بر جابه‌جایی نهایی و تنش کششی بسیج شده در تسلیح‌کننده‌ها داشت. پژوهش‌های متنوعی روی مهار تسلیح‌کننده‌ها هم برای ناحیه محدود خاکریزی و هم برای ناحیه نامحدود انجام گرفته است [۱۱]، [۱۲] و [۱۳]. آقایارزاده و روشن‌ضمیر تاثیر شیب‌داری رویه دیوارهای خاک مسلح و شیب‌داری بلوک مسلح روی توزیع تنش و کرنش داخل مسلح‌کننده‌ها و تغییرشکل افقی رویه دیوار به روش عددی بررسی کردند [۱۴] و [۱۵]. نتایج حاصل نشان داد که چرخش بلوک مسلح تا شیب ۱۲ درجه باعث کاهش حداکثر نیروی مسلح‌کننده‌ها تا میزان ۴۳/۳۵ درصد و باعث کاهش حداکثر جابه‌جایی رویه به میزان ۵۰/۱ درصد می‌شود.

با بررسی پیشینه موضوع دیده شد که در رابطه با تأثیر استفاده از لایه‌های تسلیح مایل بر عملکرد دیوار پژوهش‌های تجربی خاصی گزارش نشده است. با توجه به تأثیر سودمند تسلیح مورب و شیب‌داری رویه بر مبنای مطالعات عددی موجود، ارائه شواهد تجربی بر مبنای مدل‌های آزمایشگاهی در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله نتایج بررسی‌های تجربی انجام شده روی ۱۴ مدل دیوار کوچک مقیاس در شرایط مختلف تسلیح گزارش شده است. در این بررسی‌ها علاوه بر اثر تسلیح مورب، تأثیر شیب‌داری رویه، و استفاده از تسلیح مهار شده بر عملکرد دیوار ارزیابی شده و نتایج حاصله مورد بحث و مقایسه قرار گرفته‌اند.

۲- مصالح، ابزار و چگونگی انجام آزمایش‌ها

۲-۱- خاک مورد استفاده

برای خاکریز دیوارهای مدل از یک نوع خاک ماسه‌ای استفاده شد. شکل ۱ منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده را نشان می‌دهد. این خاک دارای ۱/۶ درصد شن، ۹۵/۶ درصد ماسه و ۲/۸ درصد ریزدانه است. بر اساس استاندارد USCS (سیستم طبقه‌بندی یونیفاید)، خاک گفته شده به عنوان خاک ماسه‌ای با دانه‌بندی بد (SP) طبقه‌بندی می‌شود. خاک مورد نظر دارای وزن واحد کمینه و بیشینه بترتیب ۱۶ و $17/58 \text{ kN/m}^3$ است.

از ۵۰ درصد هزینه کل پروژه می‌شود. دیوارهای خاک مسلح در شرایطی که دارای ارتفاع بیش از ۳ متر باشند و یا نیاز به شالوده‌های خاص داشته باشند مقرون به صرفه‌تر از دیوارهای حائل وزنی است. یکی از بزرگترین مزایای دیوارهای خاک مسلح انعطاف‌پذیری این دیوارها و توانایی آن‌ها برای جذب تغییرشکل‌ها به علت شرایط ضعیف خاک شالوده‌ها می‌باشد [۲]. همچنین دیوارهای مسلح خاکی ارزان، ساخت ساده در مدت زمان کوتاه و تحمل تغییر شکل بالا است. براساس تخمین‌های انجام‌شده تا اوایل دهه‌ی اول ۲۰۰۰ مشخص شده است که بیش از ۲۵۰۰۰ دیوار خاک مسلح در ایالت متحده و بیش از ۳۵۰۰۰ دیوار خاک مسلح در سراسر جهان وجود دارد. از کل این تعداد حداقل نصف این دیوارها با ژئوسنتتیک مسلح شده‌اند. استفاده زیاد از این سیستم‌ها زمانی رضایت‌بخش خواهد بود که توجه ویژه‌ای روی عملکرد این دیوارها صورت پذیرد. در این سیستم دو مشکل عمده در ارتباط با خدمت‌پذیری دیوار (تغییرشکل‌های زیاد) و گسیختگی دیوار (فروریختگی) مشاهده شده است [۳].

پژوهش‌های مختلفی در زمینه دیوار خاک مسلح انجام شده است. بررسی تاثیر طول و فاصله تسلیح‌کننده‌ها بر رفتار دیوار حائل خاک مسلح به طور وسیعی مورد بررسی قرار گرفته است [۴]، [۵] و [۶]. نتایج حاصل از این بررسی نشان داد که چنانچه فواصل مسلح‌کننده‌ها افزایش یابد، بار موجود در لایه‌های مسلح‌کننده و در نتیجه تغییر شکل دیوار افزایش می‌یابد. به منظور بررسی سازوکار گسیختگی دیوارهای مسلح به ژئوسنتتیک و ارزیابی فرضیه طراحی و روش‌های طراحی برای این‌گونه دیوارها پژوهش‌های آزمایشگاهی و عددی مختلفی انجام گرفته است [۷]، [۸] و [۹]. نتایج حاصل از این بررسی‌ها نشان داد که سطح گسیختگی متفاوت از امتداد ناحیه گسیختگی رانکین بوده و موقعیت آن به هندسه، مقاومت و سختی عناصر تسلیح بستگی دارد. ارلیچ^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۲ بررسی تاثیر تراکم خاک بر رفتار دیوار حائل خاک مسلح ژئوسنتتیک را گزارش نمودند [۱۰]. در این پژوهش دو دیوار با میزان تراکم متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری‌های انجام شده

مورد استفاده از نمایندگی شرکت مشیران در اصفهان تهیه شد. استفاده از ژئوگریدهای شرکت مشیران در بررسی عملکرد دیوار خاک مسلح به وسیله صابرمهانی و همکاران استفاده شد [۱۶]. این ژئوگریدها از جنس پلی اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) با نام تجاری SQ6LC دارای وزن 300 gr/m^2 بوده و در برابر اشعه فرا بنفش خورشید و عوامل خوردنده درون خاک دارای مقاومت کافی هستند. مقاومت کششی نهایی ژئوگرید بر اساس استاندارد ASTM D6637-10 برابر $3/4 \text{ kN/m}$ تعیین شده است. برای اتصال ژئوگرید به رویه مدل‌های ساخته شده از چسب قطره ای استفاده شد.

۲-۳- محفظه آزمایش

به منظور بررسی رفتار دیوار حائل خاک مسلح و انجام آزمایش‌های مورد نظر از محفظه‌ای با سطوح مستوی به ارتفاع 100 سانتی‌متر، طول 93 سانتی‌متر و عرض 41 سانتی‌متر استفاده شد. قاب محفظه مورد نظر از فولاد و کف آن از ورق 5 میلیمتری ساخته شده است. همچنین برای جداره‌های محفظه از پلکسی‌گلس شفاف با ضخامت 10 میلی‌متر استفاده شد. علاوه بر این یک طرف برای تخلیه خاک و قرار دادن گیج‌های مورد نظر باز گذاشته شد.

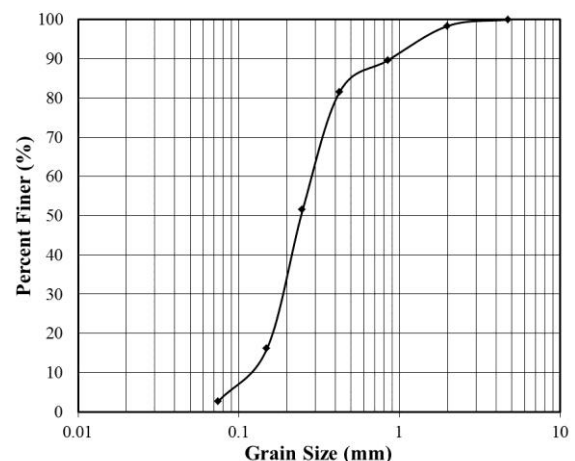
برای جلوگیری از تغییر شکل جانبی جداره‌ها در هنگام ساخت مدل یا بارگذاری آن (ایجاد شرایط کرنش مستوی) از نوار فولادی در ارتفاع 35 سانتیمتر از کف محفظه متصل به اسکلت فولادی و در تماس با پلکسی‌گلس استفاده شد.

در این پژوهش برای کاهش اصطکاک بین جداره جعبه و خاک از یک ورق پلی اتیلن با دانسیته بالا (HDPE) استفاده شده که از یک طرف در تماس با مصالح مدل و در طرف دیگر در تماس با جداره جعبه بوده و بین این صفحه و جداره جعبه با گریس روغنکاری شده است. استفاده از این روش در پژوهش‌های گذشته نشان داده است که زاویه اصطکاک سطح مشترک از $20/6$ درجه به $4/4$ درجه کاهش می‌یابد [۱۷].

۲-۴- ابعاد دیوار

ابعاد دیوار مخصوصاً ارتفاع دیوار یک عامل مهم کنترل کننده

چگالی ویژه برای خاک مورد استفاده برابر $2/73$ است. هرچند در این پژوهش به طور مستقیم روی آنالیز ابعادی و تشابه‌سازی بحثی نشده است، اما با استفاده از پژوهش‌های آزمایشگاهی انجام شده روی مدل‌های فیزیکی کوچک که روندی مشابه با این پژوهش داشته‌اند [۱۶، ۱۷]، سعی شده به نوعی تاثیر مقیاس در نظر گرفته شود. برای منظور کردن اثر مقیاس در مدل آزمایشگاهی توصیه شده از دانسیته نسبی متوسط استفاده شود [۱۶]. صابرمهانی و همکاران برای بررسی دینامیکی دیوار خاک مسلح از دو دانسیته نسبی برای حالت‌های متوسط و متراکم به ترتیب 47 درصد و 84 درصد استفاده کردند [۱۶]. چن و چيو^۳ از دانسیته نسبی 62 درصد را برای بررسی عملکرد دیوار حائل خاک مسلح با رویه ژئوسل انتخاب کردند [۱۷]. علمشاهی و هاتف برای بررسی ظرفیت باربری شیب مسلح به ژئوگرید مهارشده از دانسیته نسبی 70 درصد برای ماسه استفاده نمودند [۱۸]. از این رو بر مبنای معیار تاثیر مقیاس و با توجه به پژوهش‌های انجام گرفته از تراکم 52 درصد برای نمونه خاک استفاده شده است. زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی خاک در این تراکم به ترتیب برابر $33/6$ درجه و صفر از آزمایش‌های برش مستقیم تعیین گردید.



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی خاک مورد استفاده

۲-۲- تسلیح کننده

برای تسلیح خاک از ژئوگرید با ابعاد چشمه مربعی 6 mm و با ضخامت $1/5 \text{ mm}$ بعنوان مسلح کننده استفاده شد که ژئوگرید

ماسه با استفاده از قیف مخصوص و ارتفاع ریزش معین در ۱۵ مرحله ۴ سانتی‌متری به داخل جعبه ریخته و متراکم می‌شود. قیف مورد استفاده دارای ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر، قطر بزرگ ۱۷ سانتی‌متر و قطر دهانه ریزش ۲ سانتی‌متر است. نمونه‌ای از این روش در پژوهشها روی ظرفیت باربری پی مسلح به لایه‌های تسلیح استفاده شده است [۱۸]، [۲۲] و [۲۳]. مقدار ماسه مورد نیاز برای رسیدن به وزن واحد برای هر لایه محاسبه می‌شود و با استفاده از قیف و از ارتفاع ۱۰ سانتی‌متری به داخل جعبه ریخته می‌شود. سپس سطح ماسه برای هر لایه هموار و مسطح شده و با استفاده از یک کوبه چوبی سطح هم عرض با جعبه کوبیده می‌شود. برای کنترل تراکم از قبل روی دیواره محفظه خطوط نشانه‌ای معادل با ضخامت لایه‌ها رسم شده است. عمق گیرداری رویه دیوار برای جلوگیری از جابه‌جایی پنجه، در قسمت جلوی دیوار برابر ۸ سانتی‌متر لحاظ شده است.

برای استانداردسازی کوبش‌ها و یکسان نمودن انرژی تراکم ناشی از ضربات کوبه چوبی برای هر لایه و در نهایت برای رسیدن به خاکریز ماسه‌ای تقریباً یکسان در تمام مدل‌ها، چندین آزمایش مختلف برای رسیدن به شرایط مطلوب انجام شد. همچنین با قرار دادن ظروف فلزی کوچک با حجم مشخص در نقاط مختلف جعبه، دانسیته خاکریز و همگن بودن آن در لایه‌های مختلف کنترل شد. نتایج نشانگر انحراف دانسیته نسبی ماسه درون جعبه تا حداکثر $\pm 2,5\%$ درصد از مقدار از پیش تعیین شده ۵۲ درصد بوده که بیانگر دقت قابل قبول روش آماده سازی نمونه است.

۲-۸- صفحه بارگذاری

در این پژوهش از یک بارگذاری نواری استفاده شد. برای این کار از یک صفحه فولادی با ضخامت ۱۰ میلیمتر، عرض ۱۵۰ میلیمتر و طول آن برابر ۳۸۹ میلیمتر استفاده شد. موقعیت صفحه مذکور در محدوده گوه گسیختگی رانکین و با فاصله ۱۲,۵ سانتی‌متری از رویه دیوار قرار داده شد. این چنین صفحه بارگذاری در پژوهش‌های گذشته هم استفاده شده است [۱۲]، [۲۴].

آثار مقیاس و واکنش مدل در مقایسه با یک نمونه اصلی است. هر چه ارتفاع مدل بیشتر باشد، نتایج به واقعیت نزدیک‌تر است. در انتخاب ابعاد جعبه سعی شده است تا تجارب و توصیه‌های مطالعات گذشته مورد استفاده قرار گیرد. پس از ابعادی استفاده شده که در کارهای پژوهشگران گذشته به کار برده شده‌اند [۱۷]، [۱۹] و [۲۰]. مدل‌های انتخابی دیوار حائل خاک مسلح دارای ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر، طول ۶۰ سانتی‌متر و عرض ۳۹ سانتی‌متر است.

۲-۴- شرایط بستر دیوار مدل

در این پژوهش تمام دیوارهای خاک مسلح روی یک صفحه تخت چوبی به ضخامت یک سانتی‌متر که روی کف محفظه قرار داده شده بود، ساخته شدند. از این‌رو کل مدل‌های ساخته شده روی یک بستر صلب ساخته شدند.

۲-۵- رخنش دیوار

با توجه به اینکه به منظور نگهداری خاکریز با خاک صرفاً اصطکاکی نیاز به عناصر نگهدارنده است و با توجه به انعطاف‌پذیر کردن رویه برای ثبت تغییرشکل‌های افقی از یک نوع رویه استفاده شد. مدل‌های ساخته شده از بلوک‌های چوبی با وزن واحد $2,8 \text{ kN/m}^3$ و ابعاد ۴ سانتی‌متر ارتفاع، ۵ سانتی‌متر پهنا و ۳۸,۵ سانتی‌متر طول است. استفاده از چوب و بلوک‌های چوبی به عنوان رویه دیوار در پژوهش‌های گذشته هم گزارش شده است [۱۲] و [۲۱].

۲-۶- طراحی دیوار

طول مورد نیاز عناصر تسلیح برای مدل‌ها (مدل مرجع) براساس آیین‌نامه FHWA برابر $0,7H$ (H ارتفاع دیوار) انتخاب شده است [۲]. دیوار مرجع دارای طول لایه‌های تسلیح ۴۲ سانتی‌متر و با فاصله بین لایه‌های تسلیح ۸ سانتی‌متر ساخته شده است.

۲-۷- چگونگی ساخت و روش قرارگیری ماسه و

لایه‌های تسلیح

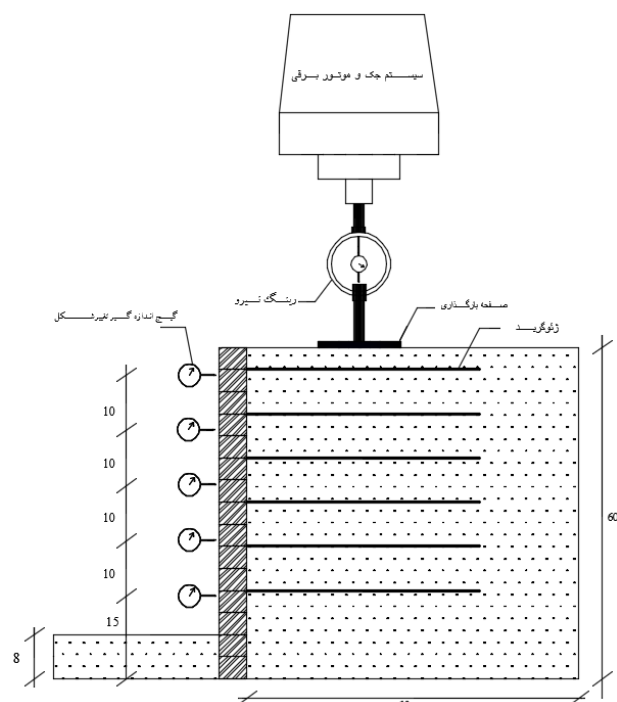
در این پژوهش برای آماده سازی خاک برای هر سری آزمایش،

۹-۲- وسایل اندازه گیری

در تست‌های انجام شده، برای تعیین مقدار بار وارد شده از یک گیج نیروسنج با قدرت تحمل نیروی ۳۰ کیلونیوتن و برای اندازه‌گیری مقدار تغییرشکل رویه دیوار از پنج گیج اندازه‌گیر تغییرشکل با دقت اندازه‌گیری ۰/۰۱ میلیمتر در فواصل ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متری از پایه دیوار استفاده شد.

۱۰-۲- سیستم بارگذاری

در این پژوهش بارگذاری دیوار خاک مسلح به وسیله‌ی یک سیستم جک و موتور برقی انجام گرفته است. نیروی منتقل شده به وسیله‌ی موتور به واسطه‌ی یک رینگ نیرو با دقت ۶۷/۱ نیوتن اندازه‌گیری می‌شود. سیستم موتور و بارگذاری به وسیله‌ی یک قاب فولادی که به زمین مهار شده است، نگهداری می‌شود. این سیستم با سرعت ۱/۱۱ mm/min به سمت بالا و پایین حرکت می‌کند. شکل ۲ تصویری از مدل دیوار و چگونگی قرارگیری ابزار بارگذاری و اندازه‌گیری را نشان می‌دهد.



شکل ۲- تصویری از مدل دیوار (ابعاد به cm)

بارگذاری شد. در این مدل‌ها پارامترهایی از قبیل تعداد لایه تسلیح، شیب لایه‌های تسلیح، شیب رویه دیوار، مهار تسلیح‌کننده‌ها، تاثیر توام شیب و مهار تسلیح‌کننده‌ها و تاثیر توام شیب تسلیح‌کننده‌ها و شیب رویه دیوار مورد بررسی قرار گرفتند. با بارگذاری این مدل‌ها تغییرشکل رویه دیوار ارائه شده و دیوارهای بهینه به لحاظ عملکرد مطلوب آن‌ها معرفی شدند. همچنین نتایج حاصل با نتایج مربوط به عملکرد دیوار مرجع مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. جدول ۱ برنامه مدل‌های ساخته شده نشان داده شده است. دیوار مرجع با علامت W2 نشان داده می‌شود.

جدول ۱- برنامه تست مدل‌های آزمایشگاهی

مهار	شیب رویه دیوار	شیب تسلیح کننده‌ها	تعداد لایه‌ها	معرفی دیوار
-	90	0	5	W1
-	90	0	6	W2
-	90	0	7	W3
-	90	10	6	W4
-	90	20	6	W5
انتهای	90	0	6	W6
انتهای	90	10	6	W7
انتهای	90	20	6	W8
-	80	10	6	W9
انتهای	80	10	6	W10
-	70	10	6	W11
انتهای	70	10	6	W12
انتهای	90	0	6	W13*
-	90	0	6	W14**

* در این دیوار طول تسلیح‌کننده‌ها بصورت خطی در ارتفاع دیوار کاهش داده شده تا تاثیر مهار در نزدیکی ناحیه گسیختگی بررسی شود.

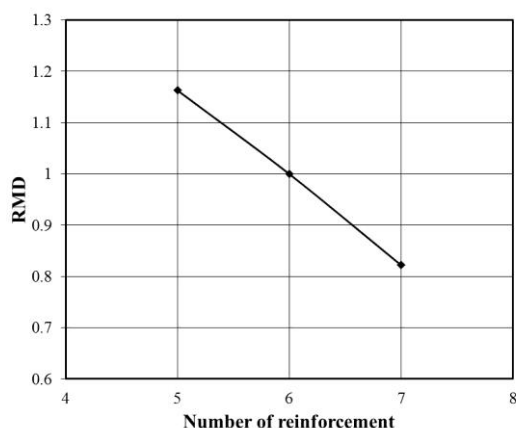
** در این دیوار طول مسلح‌کننده به میزان ۲۵ درصد افزایش داده شد.

۳- ارائه نتایج

به منظور بررسی پارامترهای مختلف روی عملکرد دیوار، مدل‌های آزمایشگاهی تحت سربار نواری با شدت حداکثر تا

۱۱-۲- برنامه انجام مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی

برای انجام مدل‌سازی‌های آزمایشگاهی ۱۴ نمونه ساخته و



شکل ۴- نسبت تغییرشکل حداکثر مدل‌ها به مدل مبنا برای تعداد لایه‌های مختلف مسلح‌کننده

۳-۲- تاثیر شیب تسلیح‌کننده‌ها

در این بررسی دیوارهای W2، W4 و W5 به ترتیب با شیب لایه‌های تسلیح صفر، ۱۰ و ۲۰ درجه نسبت به افق مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۵ تاثیر شیب تسلیح‌کننده‌ها را روی تغییرشکل افقی رویه دیوار نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش شیب تسلیح میزان تغییرشکل افقی رویه دیوار کاهش می‌یابد. با توجه به شکل مذکور معلوم می‌شود که با افزایش شیب تسلیح‌کننده‌ها، میزان کاهش تغییرشکل در نیمه بالایی دیوار بیشتر از مقادیر مربوط به نیمه پایینی می‌باشد. به گونه‌ای که در نیمه پایینی میزان تغییرشکل‌ها برای مدل‌های مختلف نزدیک به یکدیگر بوده است.

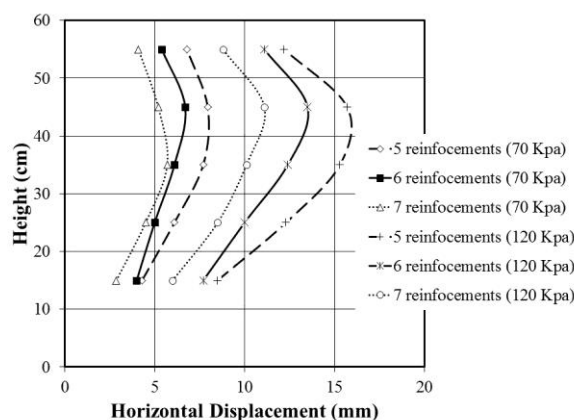
شکل ۶ تاثیر شیب تسلیح‌کننده‌ها را در مقابل نسبت حداکثر تغییرشکل رویه دیوارهای مدل این بخش نسبت به مدل مرجع را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با افزایش شیب تسلیح‌کننده‌ها از حالت افقی به حالت شیب‌دار ۱۰ و ۲۰ درجه به ترتیب تغییرشکل بیشینه رویه ۹/۶ درصد و ۱۳/۴ درصد کاهش می‌یابد. کاهش میزان تغییر شکل بیشینه افقی رویه با تاثیر شیب تسلیح‌کننده (۵، ۱۰ و ۱۲ درجه) در تحلیل‌های عددی گذشته ارائه شده و شیب ۱۰ درجه به عنوان یک شیب بهینه گزارش شده است [۱۴].

۱۲۰ kPa مورد ارزیابی قرار گرفتند. هدف از انتخاب این سربارها، ارزیابی عملکرد دیوار در شرایط قبل از گسیختگی می‌باشد که براساس عملکرد دیوار مرجع انتخاب شده است. سربار معادل با گسیختگی دیوار مرجع در حدود ۱۴۰ kPa اندازه‌گیری شد. بررسی عملکرد دیوار در یک محدوده‌ی معین بارگذاری در پژوهش‌های گذشته هم صورت گرفته است [۱۲].

۳-۱- تعداد لایه‌های تسلیح‌کننده

به منظور بررسی اثر تعداد لایه‌های تسلیح‌کننده بر عملکرد دیوار، ۳ مدل دیوار با تعداد ۵، ۶ و ۷ لایه تسلیح (W1، W2 و W3) ارزیابی شدند. شکل ۳ نمودار تغییرشکل رویه دیوار مربوط به دو سطح بارگذاری برای مدل‌های دیوار مورد آزمایش را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد لایه‌های تسلیح میزان تغییرشکل افقی رویه دیوار کاهش می‌یابد. این نتیجه نشانگر از افزایش مقاومت دیوار حائل مسلح در برابر بارهای وارده با افزایش تعداد لایه‌های تسلیح است.

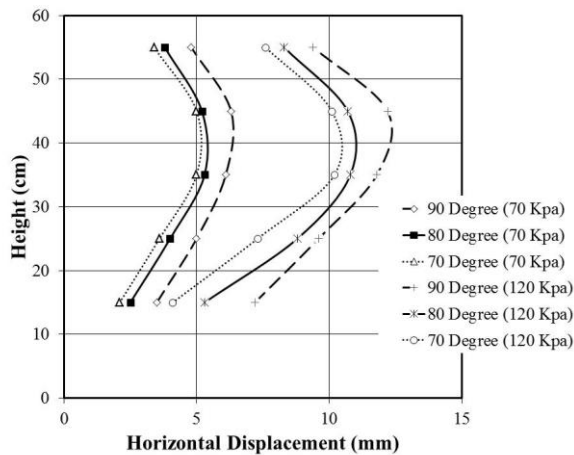
شکل ۴ نسبت تغییرشکل حداکثر رویه مدل‌ها به مدل مرجع^۴ (RMD) در مقابل تعداد تسلیح‌کننده‌های مختلف برای سربار ۱۲۰ kPa نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد لایه‌های تسلیح به ۷ نسبت به دیوار مرجع، حداکثر تغییرشکل افقی رویه دیوار ۱۷/۸ درصد کاهش یافته است.



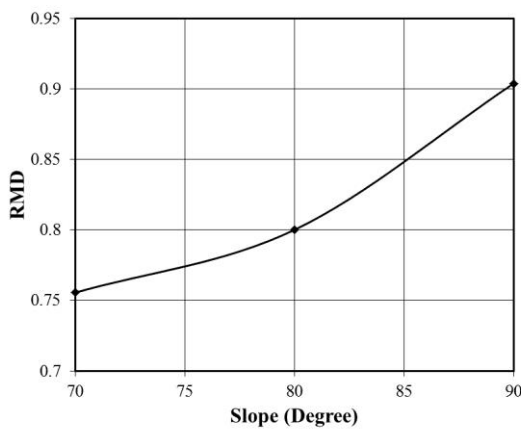
شکل ۳- تاثیر تعداد لایه تسلیح بر تغییرشکل افقی رویه

4 Ratio of maximum displacement

گذشته هم تایید شده است [۱۴ و ۱۷]. شکل ۸ تغییرات شیب رویه را در برابر نسبت تغییرشکل بیشینه رویه این مدل‌ها به مدل مرجع نشان می‌دهد. با توجه به شکل مذکور با کاهش شیب رویه به ۸۰ و ۷۰ درجه میزان بیشینه تغییرشکل افقی رویه نسبت به مدل مرجع به ترتیب ۲۰ درصد و ۲۴٫۵ درصد کاهش می‌یابد.



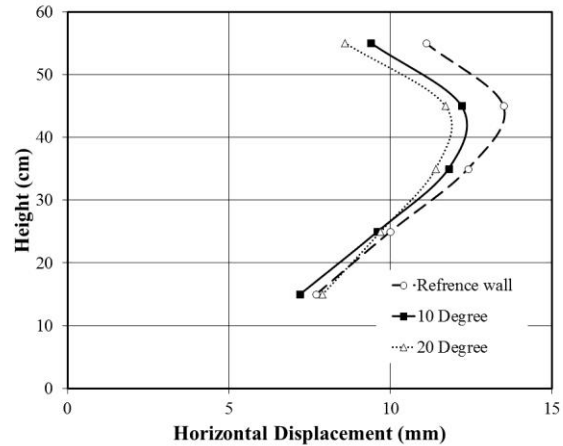
شکل ۷- تاثیر شیب رویه دیوار بر تغییرشکل افقی



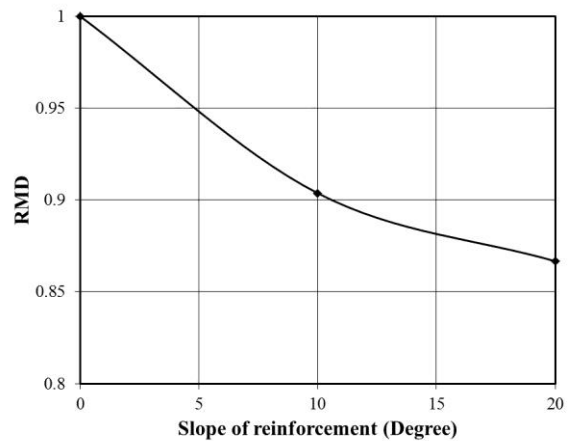
شکل ۸- نسبت تغییرشکل بیشینه مدل‌ها به مدل مبنا برحسب شیب رویه در سربار ۱۲۰ kPa

۳-۴- تاثیر کاربرد مهار

برای مهار کردن لایه‌های تسلیح از داکت‌های سیمکشی استفاده شده است (شکل ۹). این داکت‌ها در ابعاد مختلف تولید شده و نمونه‌ی استفاده شده در این پژوهش دارای ابعاد عرضی (در نیمرخ) 2×2.5 سانتی‌متر و دارای ضخامت یک میلی‌متر است. به نظر می‌رسد استفاده از مهار در قسمت‌های نزدیک به رویه دیوار خاک مسلح به علت قرارگیری در ناحیه محرک بی‌تاثیر



شکل ۵- تاثیر شیب تسلیح‌کننده‌ها بر تغییرشکل افقی در سربار ۱۲۰ kPa



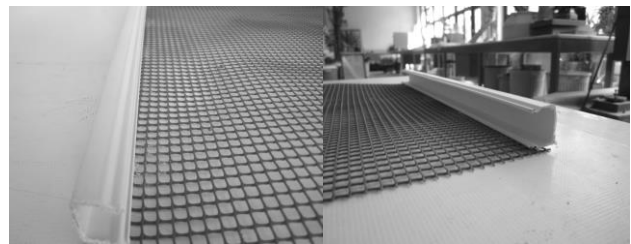
شکل ۶- نسبت تغییرشکل حداکثر مدل‌ها به مدل مبنا برحسب شیب تسلیح‌کننده‌ها در سربار ۱۲۰ kPa

۳-۳- تاثیر شیب رویه دیوار

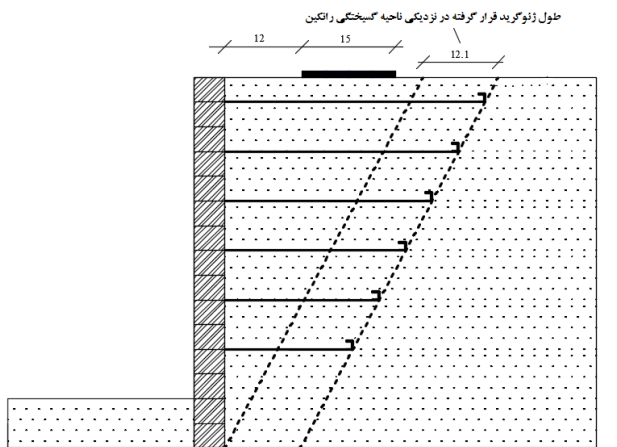
در عمل شیب رویه دیوارهای‌های خاک مسلح حداقل ۷۰ درجه در نظر گرفته شده است [۲۵]. برای بررسی تاثیر شیب رویه بر عملکرد دیوار سه مدل دیوار با شیب تسلیح ۱۰ درجه نسبت به افق و با شیب‌های رویه مختلف ساخته شده و تحت بارگذاری قرار گرفته شدند. دیوارهای مورد ارزیابی در این بخش شامل دیوار مدل W4 با شیب رویه ۹۰ درجه، W9 با شیب رویه ۸۰ درجه و W11 با شیب رویه ۷۰ درجه است. شکل ۷ نمودار مربوط به تاثیر شیب رویه برای دو سربار ۷۰ و ۱۲۰ kPa را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که با کاهش شیب رویه دیوار میزان تغییرشکل جانبی آن کاهش می‌یابد. تاثیر مثبت کاهش شیب رویه بر روی کاهش تغییرشکل افقی دیوار در تحقیقات

است. از این‌رو تاثیر استفاده از مهار در انتهای لایه‌های تسلیح مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل دیوار مورد بررسی در این بخش دارای شیب رویه ۸۰ درجه و شیب تسلیح ۱۰ درجه نسبت به افق است. شکل ۱۰ نمودار تاثیر مهار کردن تسلیح‌کننده را روی تغییرشکل افقی رویه برای سربار ۱۲۰ kPa نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود که استفاده از مهار در انتهای تسلیح‌کننده‌ها، حداکثر تغییر شکل افقی رویه دیوار را به اندازه ۵٫۴ درصد کاهش داده است.

سربارهای کم میزان حداکثر تغییرشکل به وجود آمده تقریباً برای دو حالت برابر می‌باشند. در بالای دیوار به علت وجود تسلیح با طول یکسان با حالت بدون مهار، تفاوت چندانی در تغییرشکل جانبی رویه تحت هر دو سربار دیده نمی‌شود ولی در ترازهای پایینی دیوار میزان تغییرشکل افزایش یافته است (افزایش زیاد در سربار ۱۲۰ kPa) و این نشان از عدم تاثیر وجود مهار در فاصله‌ی نزدیک به ناحیه گسیختگی رانکین می‌باشد. همچنین حداکثر تغییرشکل رویه در این مدل نسبت به مدل با لایه‌های تسلیح مهار نشده تحت سربار ۱۲۰ kPa، افزایش ۲۹ درصدی را نشان می‌دهد. شکل ۱۳ مدل دیوار W13 را بعد از اعمال بار نشان می‌دهد که با توجه به موقعیت شکست ایجاد شده در مرز ناحیه تسلیح، به نظر می‌رسد گسیختگی بوجود آمده در دیوار از نوع بیرون‌کشی عناصر تسلیح باشد.

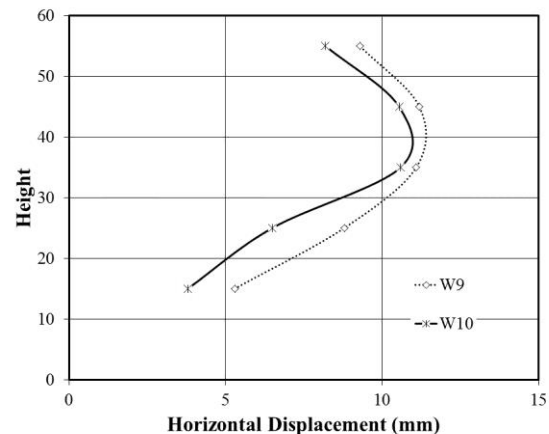


شکل ۹- داکت قرار گرفته در انتهای ژئوگرید

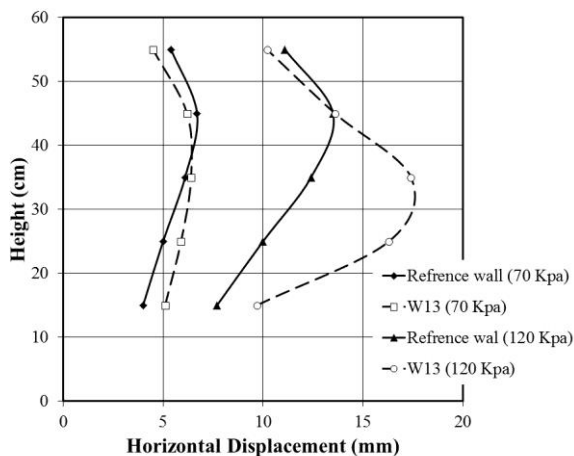


شکل ۱۰- مدل دیوار با کاهش طول تسلیح‌کننده‌ها و استفاده از مهار در

نزدیکی ناحیه گسیختگی (ابعاد به cm)



شکل ۱۱- تاثیر مهار تسلیح‌کننده بر تغییرشکل رویه در سربار ۱۲۰ kPa



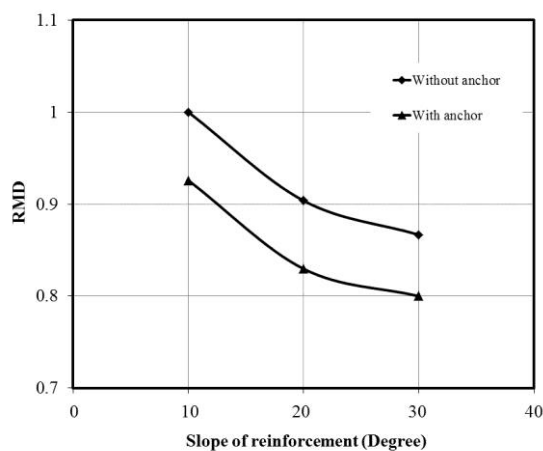
شکل ۱۲- تاثیر نزدیکی مهار به ناحیه گسیختگی رانکین بر تغییرشکل افقی

برای بررسی تاثیر مهار در انتهای لایه‌های تسلیح که در ناحیه فعال خاکریز یعنی منطقه بعد ناحیه گسیختگی رانکین عملکرد مدلی با رویه قائم و تسلیح‌کننده‌های افقی مهار شده در انتها به صورت شکل ۱۱ مورد بررسی قرار گرفته است. در این مدل دیوار طول اولین لایه تسلیح همان طول انتخابی در دیوار مرجع بوده ولی طول لایه‌های دیگر به صورت خطی در سطحی موازی با امتداد گسیختگی رانکین کاهش داده شده است. شکل ۱۲ نمودار تغییرشکل افقی را برای این دیوار و دیوار مرجع برای دو سطح بارگذاری نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود در

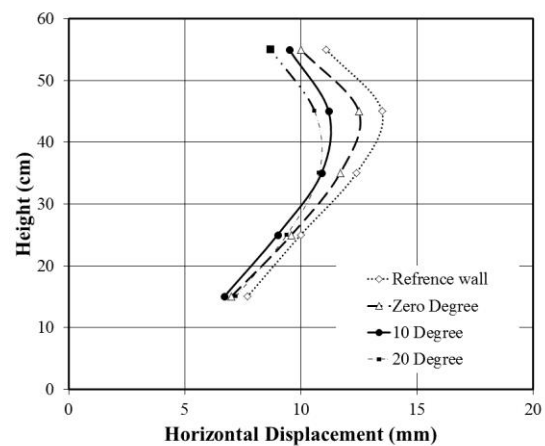
برای نسبت تغییر شکل حداکثر را نشان می‌دهد. حداکثر تغییر شکل افقی رویه مدل‌ها برای دیوارهای W6، W7 و W8 نسبت به دیوار مبنا W2 به ترتیب برابر ۷/۴ درصد، ۱۷ درصد و ۲۰ درصد کاهش را نشان داد. اثر عمده مهار در تسلیح افقی و تسلیح با زاویه شیب ۱۰ درجه نسبت به افق خود را نشان می‌دهد و اثر آن در تسلیح با زاویه ۲۰ درجه نسبت به افق ناچیز است. به نظر می‌رسد از دلایل کاهش تغییر شکل افقی رویه افزایش حجم خاک قرار گرفته روی عناصر تسلیح بوده که باعث افزایش اصطکاک بسیج شده بین خاک و تسلیح‌کننده‌ها می‌شود.



شکل ۱۳- دیوار W13 بعد از اعمال بارگذاری



شکل ۱۵- تاثیر شیب تسلیح و مهار بر نسبت حداکثر تغییر شکل رویه در سربار ۱۲۰ kPa



شکل ۱۴- تاثیر توام شیب‌داری تسلیح‌کننده‌ها و مهار در انتها بر تغییر شکل رویه در سربار ۱۲۰ kPa

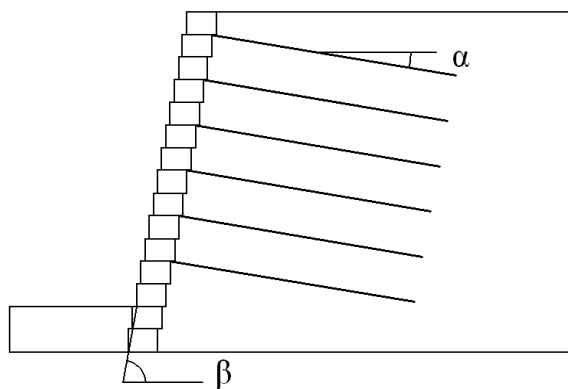
۳-۶- تاثیر توام شیب رویه و مهار

برای ارزیابی تاثیر شیب‌دار کردن رویه دیوار و قرار دادن مهار در انتهای لایه‌های تسلیح بر عملکرد دیوار، سه مدل دیوار در سربار ۱۲۰ kPa مورد ارزیابی قرار گرفتند. این مدل‌ها دارای لایه‌های تسلیح با شیب ۱۰ درجه نسبت به افق (به عنوان شیب بهینه برای لایه‌های تسلیح و با توجه به نتایج قسمت قبل) است. شکل ۱۶ نمودار تغییر شکل رویه دیوار برای ارائه تاثیر شیب‌داری رویه و مهار در انتهای لایه‌های تسلیح به ترتیب برای مدل‌های آزمایشگاهی دیوار با رویه قائم W7، دیوار با رویه ۸۰ درجه نسبت به قائم W10، و دیوار با رویه ۷۰ درجه نسبت به قائم W12 را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش شیب رویه میزان تغییر شکل رویه دیوار کاهش می‌یابد. همچنین شکل ۱۷ نسبت بیشینه تغییر شکل افقی رویه مدل‌ها به مدل

۳-۵- تاثیر توام شیب تسلیح و مهار

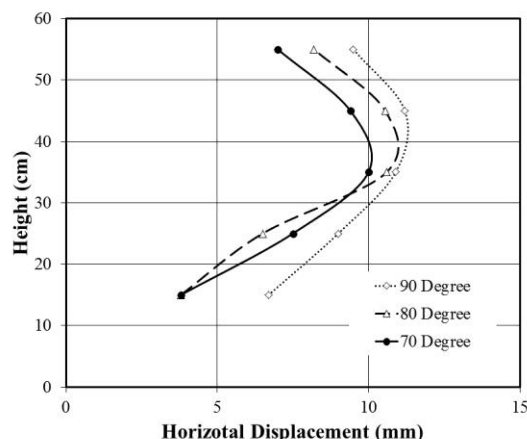
برای بررسی تاثیر شیب‌دار کردن لایه‌های تسلیح و قرار دادن مهار در انتهای این لایه‌ها بر عملکرد دیوار سه مدل از دیوارهای ساخته شده در آزمایشگاه ارزیابی شدند. شکل ۱۴ تاثیر شیب‌داری لایه‌های تسلیح بر تغییر شکل افقی رویه برای دیوار با لایه‌های افقی تسلیح و مهار در انتها W6، دیوار با لایه‌های ۱۰ درجه تسلیح و مهار در انتها W7 و دیوار با لایه‌های ۲۰ درجه تسلیح و مهار در انتها W8 را برای سربار اعمالی ۱۲۰ kPa نشان می‌دهد. برای مقایسه در شکل ۱۴ تغییر شکل رویه دیوار مبنا نیز گنجانده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش شیب تسلیح همراه با مهار انتهایی، تغییر شکل رویه دیوار کاهش می‌یابد. شکل ۱۵ تاثیر شیب تسلیح همراه با مهار و بدون مهار

جدول ۲ درصد کاهش بیشینه تغییرشکل رویه دیوار را برای تاثیر شیب تسلیح‌کننده‌ها، شیب رویه و تاثیر مهار در انتهای لایه‌های تسلیح نشان می‌دهد. از بین مدل‌های مورد آزمایش تنها مواردی در این جدول گنجانده شده‌اند که تاثیر متغیر مورد بررسی بر بهبود عملکرد دیوار قابل توجه بوده است. همان‌گونه که از جدول ۲ مشاهده می‌شود استفاده از تسلیح‌کننده‌های مورب (W4 و W5) باعث کاهش مقادیر بیشینه تغییر شکل افقی می‌شود و با توجه به نتایج حاصل از بررسی‌های آزمایشگاهی به نظر می‌رسد شیب تسلیح ۱۰ درجه نسبت به افق هم از جنبه اجرایی و هم از لحاظ تاثیرگذاری بر عملکرد دیوار را بتوان به عنوان گزینه مناسب برای کاربردهای عملی در نظر گرفت. شایان ذکر است که مترکم کردن خاکریز در ساخت دیوار با استفاده از غلتک و با زوایای بیش از ۱۲ درجه مشکل است [۱۴] و [۱۵]، از این‌رو در اینجا شیب ۱۰ درجه به عنوان شیب بهینه معرفی می‌شود. همچنین استفاده از مهار برای مدل‌هایی با رویه قائم (W6، W7، W8) تاثیرگذاری بیشتری در مقایسه با مدل‌های با رویه شیبدار (W9، W10) را نشان می‌دهد. از این‌رو استفاده از دیوار با رویه قائم و تسلیح‌کننده‌های مورب ۱۰ درجه نسبت به افق با مهار انتهایی نتایج کاربردی قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد دیوار (نسبت به دیوار مرجع) به دست می‌دهد. پس توصیه می‌شود در عمل از مهار همراه با شیب ۱۰ درجه‌ای عناصر تسلیح برای ساخت دیوار با رویه قائم استفاده شود.

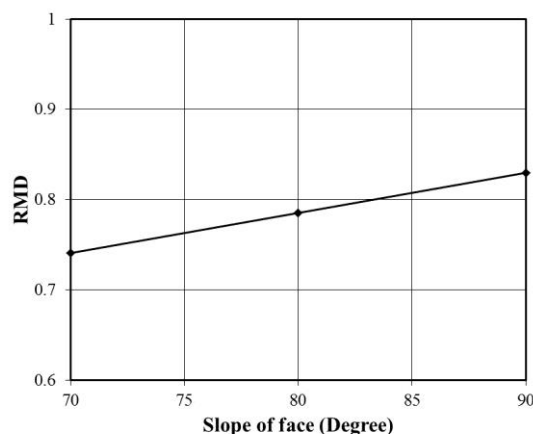


شکل ۱۸- شکل شماتیکی از دیوار مورد بررسی

مرجع را نشان می‌دهد. بیشینه تغییرشکل افقی دیوار با شیب رویه ۸۰ و ۷۰ درجه نسبت به افق با مهار در انتهای آن نسبت به دیوار مرجع به ترتیب ۲۲ درصد و ۲۶ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۱۶- تاثیر توام شیب رویه و مهار در انتها بر تغییرشکل افقی در سربار ۱۲۰ kPa



شکل ۱۷- تاثیر شیب رویه و مهار بر نسبت بیشینه تغییرشکل رویه در سربار ۱۲۰ kPa

۳-۷- بهینه‌سازی عملکرد دیوار خاک مسلح با استفاده از نتایج آزمایشگاهی

برای یافتن طرح بهینه دیوار خاک مسلح، ارزیابی‌های لازم براساس تاثیر شیب تسلیح و شیب رویه و مهار تسلیح بر عملکرد دیوارهای مدل صورت گرفته است. شکل ۱۸ تصویر شماتیکی نمونه از دیوارهای مدل مورد بررسی با معرفی زوایای عناصر تسلیح و شیب رویه را به نمایش می‌گذارد. در راستای این بررسی‌ها نتایج مربوط به بیشینه تغییرشکل رویه حاصل از بارگذاری دیوارهای مدل مورد ارزیابی قرار گرفتند.

جدول ۲- تاثیر گذاری شیب تسلیح کننده ها، شیب رویه و مهار بر تغییر شکل افقی رویه دیوار

کاهش بیشینه تغییر شکل رویه (درصد)	مهار	β	α	نمونه دیوار
0	-	90	0	Refrence
9.6	-	90	10	W4
13.4	-	90	20	W5
7.4	انتها	90	0	W6
17	انتها	90	10	W7
20	انتها	90	20	W8
20	-	80	10	W9
22	انتها	80	10	W10
24.5	-	70	20	W11

میزان ۱۲/۶ درصد کاهش می یابد که چیزی در حدود نصف میزان کاهش تغییر شکل بیشینه رویه در دیوار بهینه است. همچنین با افزایش یک لایه تسلیح کننده نسبت به دیوار مرجع بیشینه تغییر شکل افقی رویه به میزان ۱۷/۸ درصد کاهش می یابد که باز هم از میزان بهبود در عملکرد دیوار بهینه کمتر است. بنابراین از این مطالب می توان نتیجه گرفت که بهینه سازی دیوار بر مبنای نتایج این پژوهش باعث کاهش قابل توجهی در بیشینه تغییر شکل افقی رویه دیوار شده و افزایش هزینه های اجرایی بابت افزایش تعداد لایه های تسلیح برای بهبود عملکرد دیوار یا طول لایه های تسلیح را کاهش می دهد.

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش با ساخت مدل فیزیکی از دیوار خاک مسلح، تاثیر تعداد لایه تسلیح کننده، افزایش طول لایه تسلیح، شیب گذاری رویه دیوار، تسلیح کننده های مورب، مهار تسلیح کننده ها، تاثیر توام شیب رویه و مهار و تاثیر توام شیب تسلیح و مهار مورد بررسی قرار گرفتند. در ادامه مهم ترین نتایج حاصل از این بررسی ارائه شده است.

۱- با توجه به نتایج آزمایشگاهی با افزایش تعداد لایه های تسلیح کننده تغییر شکل افقی رویه دیوار کاهش می یابد. به طوری که با افزایش یک لایه تسلیح نسبت به دیوار مرجع، تغییر شکل افقی بیشینه به میزان ۱۷/۸ درصد کاهش می یابد.

۲- مدل های آزمایشگاهی نشان داد که با شیب دار کردن عناصر تسلیح، تغییر شکل افقی دیوار کاهش می یابد. بیشینه کاهش تغییر شکل افقی رویه دیوار با شیب عناصر تسلیح ۱۰ و ۲۰ نسبت به دیوار مرجع به ترتیب ۹/۶ و ۱۵/۵ درصد است.

۳- با چرخش بلوک مسلح مدل آزمایشگاهی به میزان ۱۰ درجه (شیب ۱۰ درجه عناصر تسلیح و شیب ۸۰ درجه رویه دیوار)، بیشینه تغییر شکل افقی رویه دیوار به میزان ۲۰، کاهش می یابد.

۴- مهار عناصر تسلیح در حالت های بررسی توام با شیب عناصر تسلیح و شیب رویه تاثیر نسبتاً کمی را نشان داده اند.

۵- با بررسی نتایج حاصل از کار آزمایشگاهی بهترین دیوار با شیب رویه ۸۰ و شیب لایه های تسلیح ۱۰ انتخاب شد. از دلایل

با توجه به جدول مذکور تاثیر شیب گذاری رویه همراه با شیب گذاری لایه های تسلیح قابل ملاحظه است (W9 و W4) و این تاثیر برای دیوار با رویه ۸۰ درجه و لایه های تسلیح مورب ۱۰ درجه نتایج قابل توجهی را ارائه می دهد. از طرف دیگر افزایش شیب تسلیح کننده ها و رویه دیوار تا اندازه معینی (شیب تسلیح ۱۰ درجه و رویه با شیب ۸۰ درجه) قابل توجه است و افزایش شیب برای تسلیح کننده ها و کاهش شیب برای رویه بیشتر از این مقادیر تاثیر گذاری کمی بر عملکرد دیوار خواهد داشت (W9 و W11). با توجه به این واقعیت می توان استفاده از شیب رویه ۸۰ درجه را مناسب هم به لحاظ عملکرد و هم اجرا (با توجه به اشغال کمتر محیط نسبت به شیب های بیشتر) در نظر گرفت.

بر مبنای نتایج ارائه شده و بحث های انجام گرفته در بالا در حالت کلی می توان استفاده از دیوار خاک مسلح با رویه ۸۰ درجه و تسلیح کننده های با شیب ۱۰ درجه را مناسب برای کارهای عملی دانست و چنین دیواری را به عنوان دیوار بهینه معرفی نمود. با بررسی عملکرد دیوار بهینه در مقایسه با دیوار مرجع، یک کاهش ۲۰ درصدی در بیشینه تغییر شکل افقی رویه دیوار دیده می شود. با افزایش ۲۵ درصد (W14) طول لایه های تسلیح بیشینه تغییر شکل رویه دیوار نسبت به دیوار مرجع به

[10] M. Ehrlich, S.H. Mirmoradi, R.P. Saramago.; "Evaluation of the effect of compaction on the behavior of geosynthetic-reinforced soil walls", Geotextiles and Geomembranes, 34, 108-115, 2012.

[11] Dov Leshchinsky, Yuhui Hu, Jie Han.; "Limited Reinforced Space in Segmental Retaining Walls", Geotextiles and Geomembranes, 22, 543-553, 2004.

[12] A. L. Shinde J. N. Mandal.; "Behavior of Reinforced Soil Retaining Wall With Limited Fill Zone", Geotech Geol Eng, 25:657-672, 2007.

[13] Suksun Horpibulsuk, Cherdsak Suksiripattanapong, Anek Niramitkornburee, Avirut Chinkulkijniwat, Theerasak Tangsutthinon., "Performance of an earth wall stabilized with bearing reinforcements", Geotextiles and Geomembranes, 29, 514-524, 2011.

[14] Mehdi Aghayarzadeh1, Mohammad Ali Rowshanzamir.; "The effect of reinforced block rotation on face horizontal deformation of Geogrid reinforced soil retaining walls", 9th International Congress on Civil Engineering, May 8-10, Isfahan University of Technology (IUT), Isfahan, Iran, 2012.

[۱۵] مهدی آقایارزاده، محمدعلی روشن ضمیر، "تحلیل تنش و کرنش مسلح کننده‌ها در دیوار خاک مسلح با عناصر تسلیح مورب با استفاده از نرم‌افزار *FLAC3D*"، چهارمین همایش بین‌المللی مهندسی ژئوتکنیک و مکانیک خاک ایران، ۱۱ تا ۱۲ آبان ۱۳۸۹، تهران، ایران.

[16] M. Sabermahani, A. Ghalandarzadeh, A. Fakher.; "Experimental study on seismic deformation modes of reinforced-soil walls", Geotextiles and Geomembranes, 27, 121-136, 2009.

[17] R.H. Chen, Y.M. Chiu.; "Model tests of geocell retaining structures", Geotextiles and Geomembranes, 26, 56-70, 2008.

[18] Saeed Alamshahi, Nader Hataf., "Bearing capacity of strip footings on sand slopes reinforced with geogrid and grid-anchor", Geotextiles and Geomembranes, 27, 217-226, 2009.

این انتخاب سهولت اجرای دیوار و کاهش ۲۰ درصدی تغییرشکل افقی رویه است.

۵- مراجع

[1] Jones, C., J.; *Earth reinforcement and soil structures*, Butterworth & Co. Ltd, 1985.

[2] FHWA.; *Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes: Design and Construction Guidelines*. Federal Highway Administration and National Highway Institute, Washington DC. FHWA NHI-00-43, 2001.

[3] Robert M. Koerner, Te-Yang Soong.; "Geosynthetic reinforced segmental retaining walls", Geotextiles and Geomembranes, 19 - 359-386, 2001.

[4] M. Isabel M. Pinto, T. W. Cousens.; "Geotextile Reinforced Brick Faced Retaining Walls", Geotextiles and Geomembranes, 14 - 449-464, 1996.

[5] R.J. Bathurst, D. Walters, N. Vlachopoulos, P. Burgess, and T.M. Allen.; "Full Scale Testing of Geosynthetic Reinforced Walls", Reprint: Full Scale Testing of Geosynthetic Reinforced Walls, Bathurst et al., ASCE Special Publication, Proceedings of GeoDenver 2000, 6-12 August 2000, Denver, Colorado.

[6] Nernheim, A., Bathurst, R.J.; *Influence of Reinforcement Spacing on the Performance of three Geosynthetic Reinforced Soil Retaining Wall*, GeoEdmonton 2008.

[7] Jorg G. Zornberg, Nicholas Sitar, James K. Mitchell, Honorary Member.; "Performance of Geosynthetic Reinforced Slopes at Failure", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, August, 1998.

[8] Jorge G. Zornberg, M.ASCE, and Fabiana Arriag.; "Strain Distribution within Geosynthetic-Reinforced Slopes", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, January 2003.

[9] Lazhar, B., Hacene B., Jarir Y.; "Internal Stability Analysis of Reinforced Earth Retaining Walls", Geotech Geol Eng, 29:443-452, 2011.

- [19] Lee, K., L., Adams, B., D., and Vagneron, J., M., J.; “*Reinforced of Retaining Wall*”, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 99, No. SM10, pp. 745-764, 1973.
- [20] A. Murali Krishna and G. Madhavi Latha.; “*Modeling the Dynamic Response of Wrap Faced Reinforced Soil Retaining Walls*”, International Journal of Geomechanics, Submitted June 30, 2010; accepted March 4, 2011.
- [21] Ching-Chuan Huang, Woei-Ming Luo.; “*Behavior of cantilever and geosynthetic-reinforced walls on deformable foundations*”, Geotextiles and Geomembranes, 28, 448-459, 2010.
- [22] Shin, E.C., and Das, B.M.; “*Experimental Study of Bearing Capacity of a Strip Foundation on Geograid-Reinforced Sand.*” Geosynthetics International, Vol. 7, No. 1, pp. 59-71, 2000.
- [23] Shin, E.C., Das, B.M., Lee, E.S., and Atalar, C.; “*Bearing Capacity of Strip Foundation on Geograid-Reinforced Sand.*” Geotechnical and Geological Engineering, Vol. 20, pp. 160-180, 2002.
- [24] K. J. Fabian, and A. B. Fourie.; “*Clay-Geotextile Interaction in Large Retaining Wall Models*”, Geotextiles and Geomembranes, 7, 179-201, 1988.
- [25] Robert, M, Korner.; “*Designing with Geosynthetics*”, Fifth Edition,. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2005.

Evaluation of Performance Reinforced Soil Retaining Wall with Oblique Reinforcements, Slope Facing and Reinforcements Anchor

M. j. Shabani Rameneti¹, M. a. Rowshanzamir², A. Eslami Haghghat³

1. M.Sc. of Geotechnical Engineering, Civil Engineering Department - Isfahan University of Technology (IUT)
2. Associate Professor, Civil Engineering Department - Isfahan University of Technology (IUT)
3. Assistant Professor, Civil Engineering Department - Isfahan University of Technology (IUT)

Mj.shabani@cv.iut.ac.ir

Abstract:

Soil improvement techniques are mostly consisted of 5 groups including chemical, physical, mechanical, biological and electrical methods. Materials such as lime, cement, coal ash, enzymes and some type polymers are used for chemical stabilization, while geogrids, geotextiles, metal bars and polymer fibers are used to improve soil performance as the physical methods known as soil reinforcement. Several techniques have been used for soil reinforcement. In 1966, Vidal first used galvanized steel strips to improve the properties of cohesionless soils. Since then, numerous reinforced earth structures have been constructed throughout the world. One of the reinforced soil applications is the construction of reinforced soil retaining walls. Due to the advantages of reinforced soil retaining walls, the usage of such walls in civil engineering projects has shown an increasing trend over the past three decades. Nevertheless, more studies seem necessary to achieve optimal designs for such walls. The use of reinforced soil in strengthening foundations to bear and designing earth retaining structures is a method widely used in recent years. On the base of the studies done and comparison of different criteria in various retaining walls, it has become clear that the use of earth walls reinforced with geosynthetic is prior to other kinds of walls practically and economically. In this research study, an attempt was made to investigate the effect of tilted face, oblique reinforcements as well as anchorage of the end side of reinforcements on the performance of retaining wall using laboratory scale wall models. In this context, 14 models of the walls were constructed and their performance was determined under static loading. The models of retaining walls were built in a flexible laminar box to considerably reduce the boundary effects. Model retaining walls were constructed in the laminar box to a size of 60 cm × 39 cm in plan and 60 cm deep. Locally available dry sand is used as the backfill material. The sand is classified as poorly graded sand with letter symbols SP as per the Unified Soil Classification System. The model walls are reinforced with geogrid layers. According to FHWA (2001), the length of reinforcements chosen is equal to 0.7H. In case of rigid-faced walls, the facing is constructed from 25 hollow rectangular wood box sections of 4 cm height and 5 cm width. On the base of the observed results, horizontal deformation of wall face is compared with the state of horizontal block to determine the optimum angle at which less deformation appears in wall face. The experimental results provided enough evidence that horizontal deformation of the wall face decreased with tilting it towards backfill. Moreover, using oblique reinforcements caused more reduction in the wall horizontal deformations. As a typical case, it was found that the reinforced soil wall model with oblique reinforcements of 10 degree and sloped face of 80 degree provided a 20% reduction in the maximum horizontal deformation of the wall model. Such a result may be considered as significant improvement in the wall performance. Moreover, the anchorage of end side of reinforcements within backfill presented beneficial but limited effects on the wall performance.

KEYWORDS : REINFORCED SOIL, OBLIQUE REINFORCEMENTS, SLOPE FACING, REINFORCEMENTS ANCHOR.