



بررسی آزمایشگاهی دیوار گود پایدار شده با ترکیب میخ کوبی و مهارگذاری زهرآ جلیل زاده*^۱، مسعود حاجی علیلوی بناب^۲، هوشنگ کاتبی^۳

پذیرش مقاله: ۹۷/۰۷/۳۰

دریافت مقاله: ۹۴/۰۴/۱۷

چکیده

پایداری شیروانی‌های قائم خاکی یکی از مسائل مهم در مهندسی عمران بشمار می‌رود. روش‌های متفاوتی برای این منظور استفاده می‌شود که میخ‌کوبی ترکیبی با مهار پیش‌تنیده از جمله آن‌هاست. این روش با افزایش مقاومت برشی خاک، جابجایی افقی جدار خاکبرداری شده را کاهش می‌دهد و باعث افزایش پایداری کلی سیستم می‌شود.

در تحقیق حاضر از مدل آزمایشگاهی کوچک شده استفاده شد که در آن، در نزدیکی یک پی نواری یک گود ایجاد شد که برای پایداری جدار خاکبرداری شده، از سیستم میخ‌کوبی ترکیبی شامل دو ردیف میخ و یک ردیف مهار استفاده شد. برای بررسی پارامترهایی همچون مکان بهینه مهارها، مکانیزم خرابی، اثر مسلح‌کننده‌ها بر ظرفیت باربری پی نواری و جابجایی افقی دیوار از روش سرعت سنجی تصویری ذرات (PIV) استفاده شد؛ بدین ترتیب که بعد از ساخت مدل دیوار و قرار دادن میخ‌ها و مهارها در محل‌های تعبیه شده، مدل خاکبرداری شده و به صورت گام به گام تا رسیدن به مرحله گسیختگی بارگذاری شد. در هر مرحله از مدل عکسبرداری شد و عکس‌ها با روش PIV تحلیل شدند.

نتایج نشان دادند که به ازای طول مشخصی از مهارها در ردیف وسط می‌توان ظرفیت باربری پی نواری را افزایش و جابجایی افقی مربوط به دیوار را کاهش داد. همچنین مشاهده شد که حداکثر جابجایی افقی دیوار در قسمت پایین آن رخ می‌دهد، در حالی که در سیستم میخ‌کوبی ساده حداکثر جابجایی افقی در بالای دیوار رخ می‌دهد.

کلید واژه‌ها: میخ‌کوبی ترکیبی با مهار پیش‌تنیده، ظرفیت باربری، سطح گسیختگی، PIV.

۱. کارشناس ارشد خاک و پی، دانشگاه تبریز، تبریز z.jalilzadeh@yahoo.com

۲. عضو هیئت علمی گروه خاک و پی، دانشگاه تبریز، تبریز

۳. عضو هیئت علمی گروه خاک و پی، دانشگاه تبریز، تبریز

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

احداث سازه‌هایی همچون پی در نزدیکی شیروانی‌های خاکی مشکلاتی نظیر پایداری شیروانی را در پی خواهد داشت؛ از این رو مسلح سازی و کمک به پایداری شیروانی مطرح می‌شود. میخ کوبی خاک و مهاربندی آن از جمله روش های مسلح سازی است که به دلیل مزایای اقتصادی و فنی بسیار مورد توجه است. به تدریج با گسترش کاربرد آن‌ها، ترکیب این دو روش به دلیل ساخت آسان، کاهش تغییر مکان‌ها و سازگاری با محیط نسبت به سایر روش‌های ترکیبی میخ‌کوبی بیشتر مورد توجه قرار گرفت (Byrne et al., 1998)، (Sabatini et al., 1999) و (Chang, 2007)

روش میخ‌کوبی بسته به روش طراحی و نوع خاک، شکل‌های متعددی را برای سطح گسیختگی مطرح می‌کند. برای شیروانی با خاک‌های غیرچسبنده سطح گسیختگی عموماً به شکل اسپیرال لگاریتمی و صفحه‌ای مشاهده می‌شود، در حالی که برای شیروانی با خاک چسبنده و لایه‌بندی متفاوت سطح گسیختگی دایره‌ای رخ می‌دهد (Prashant and Mukherjee, 2010). در روش تحلیل داویس سطح گسیختگی شیروانی مسلح شده با میخ‌کوبی به صورت سهمی در نظر گرفته شد و در روش آلمانی تعادل نیروها بر اساس سطح لغزش دو خطی مطرح شد؛ در حالی که در روش تحلیل حدی کینماتیکی از سطح لغزش اسپیرال لگاریتمی با اسلایس‌های افقی استفاده شده است (Banerjee et al., 1998). اما شهان و هو (Sheahan and Ho, 2003) نشان دادند که اگرچه روش‌هایی که ریشه در روش‌های سنتی دارند و با سطح لغزش به صورت دو خطی و یا منحنی تحلیل می‌شوند، سطح لغزش نسبتاً شیب زیادی دارد ولی به جای سطح‌های پیچیده فرض شده در نرم‌افزارها، سطح لغزش تقریباً خطی است.

هاو و همکاران (Hao et al., 2014) مدل هوشمندی براساس الگوریتم توزیع برگشتی خطا با روش آزمایش اورتوگونال شبکه عصب مصنوعی و جعبه ابزار متلب برای تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر تغییر شکل دیواره میخ-

کوبی شده ترکیبی با مهارپیش‌تینده ارائه کردند. آن‌ها نشان دادند حساسیت فاکتورهای موثر بر میخ‌کوبی ترکیبی به ترتیب نزولی، پیش‌تیندگی کابل‌ها، زاویه اصطکاک داخلی خاک، مقاومت چسبندگی خاک، فاصله میخ‌ها، طول میخ‌ها و قطر میخ‌هاست.

در مطالعه عددی حداد و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از نرم‌افزار المان محدود آباکوس، مشخص شد که دردیواره مهاربندی شده با سیستم ترکیبی میخ کوبی و مهار پیش‌تینده، قرارگیری کابل مهاری در هر ارتفاعی از دیوار باعث افزایش مقاومت می‌شود و بهترین مکان قرارگیری کابل مهاری در قسمت میانی دیوار است. همچنین وانگ و همکاران (Wang et al., 2008) با مدل‌سازی عددی با نرم‌افزار فلک به بررسی ویژگی‌های این سیستم پرداختند و نشان دادند که حداکثر جابجایی افقی در قسمت پایینی دیوار رخ می‌دهد.

یو (Yoo, 2001) با استفاده از مدل آزمایشگاهی به بررسی ظرفیت باربری پی نواری قرار گرفته در بالای شیب که از طریق چندین لایه ژئوگرید مسلح شده، پرداخت. او همچنین با استفاده از تحلیل‌های روش المان محدود، مدل آزمایشگاهی خود را مدل سازی کرد و با استفاده از هر دو روش نشان داد که ظرفیت باربری پی نواری قرار گرفته روی شیب مسلح شده با ژئوگرید نسبت به حالت غیر مسلح افزایش می‌یابد و مقدار افزایش ظرفیت باربری علاوه بر لایه‌های ژئوگرید، به موقعیت پی نسبت به رویه بستگی دارد.

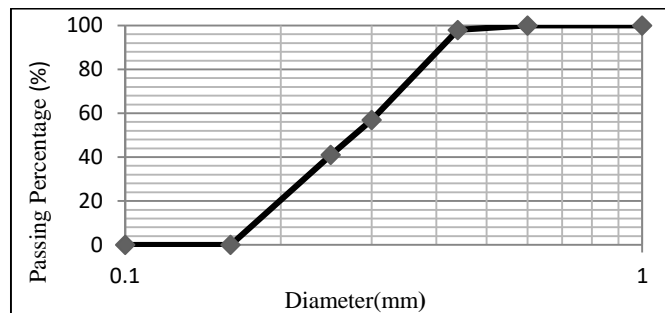
در این تحقیق به بررسی چگونگی تغییر شکل‌های ایجاد شده در سیستم تحت بار پی نواری که شیروانی توسط میخ کوبی ترکیبی با مهار پیش‌تینده مسلح شده است، پرداخته شده است. به منظور بررسی گسترش تغییرشکل‌های ایجاد شده در سیستم، از روش سرعت سنجی تصویری ذرات (PIV) استفاده شد که علاوه بر اقتصادی بودن، تطابق خوبی با آزمایش‌های ژئوتکنیکی دارد. در ادامه به بررسی مدل سازی فیزیکی و تحلیل نتایج حاصله با استفاده از روش PIV پرداخته شده است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. خاک

خاک مورد استفاده در این تحقیق ماسه خشک، با دانه بندی یکنواخت و بر اساس طبقه بندی متحد در رده ماسه بد دانه بندی شده (SP) قرار می‌گیرد. این خاک از منطقه قوم تپه صوفیان در شمال غرب ایران تهیه شده است. این خاک علی-

رغم دانه بندی بد، به دلیل بافت رنگی و مشخص، مناسب برای آزمایش‌های PIV می‌باشد. نمودار مربوط به منحنی دانه بندی خاک در شکل ۱ ارائه شده است. سایر مشخصات ماسه مورد آزمایش نیز در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۱. منحنی دانه بندی خاک مورد استفاده در آزمایش.

جدول ۱. مشخصات مکانیکی خاک مورد استفاده در آزمایش.

parameter	γ max (KN/m ³)	γ min (KN/m ³)	γ (KN/m ³)	GS	C (Kpa)	ϕ (°)	Cc	Cu
amount	16.5	14.7	15.5	2.637	5	28	0.98	1.7

۲-۲. میخ‌ها و مهارها

برای مدل کردن میخ‌ها از میله فولادی به قطر ۳ mm استفاده شده است که انتهای آن حدیده شده است و با بستن مهره مناسب به رویه پوششی متصل می‌شود. برای مدل کردن دوغاب از چسب بسیار قوی استفاده شد که یک لایه نازک از ماسه با استفاده از همین چسب به میله چسبانده شد تا اتصال قوی میخ و خاک به خوبی مدل شود. قطر نهایی میخ به ۴ mm افزایش یافت. از واشر فلزی برای مدل کردن صفحه باربر استفاده شده است. میخ‌ها به طول ۳۰ cm انتخاب شد که با توجه به ابعاد پوشش رویه استفاده شده در مدل طول متداولی است ($\alpha = \frac{L}{H} = 1$). در این رابطه L طول میخ و H ارتفاع دیوار می‌باشد. شکل ۲ میخ استفاده شده در آزمایش را به همراه اتصالات نشان می‌دهد.

از میله های ۳ cm به طول های ۳۷, ۳۴, ۳۰, ۴۰ و ۴۳ برای ساخت مهارها استفاده شده است که ۴ سانتی متر انتهای آن‌ها برای امکان حرکت پیچ حدیده شده است و طول های ۳۰, ۳۳, ۳۶ و ۳۹ از آن‌ها داخل خاک قرار می‌گیرند. برای مدل کردن طول پیوستگی مهار، ماسه با استفاده از چسب مخصوص به انتهای دیگر میله چسبانده شده و قطر آن ناحیه به ۸ mm افزایش یافته است. شکل ۳ مهارهای استفاده شده در مدل سازی و شکل ۴ جزئیات اجزای سر مهار را نشان می‌دهد. برای مدل کردن پیش‌تیندگی مهارها، از فنرهایی به سختی ۱۰۶ N/m و طول ۴ cm استفاده شد که مابین مهره و واشر قرار می‌گیرد. با پیچاندن مهره، نیرو در فنر ذخیره شده و به دلیل اتصال سری با میله، این نیرو به میله نیز منتقل می‌شود که عمل پیش‌تیندگی مهار را مشابه سازی می‌کند.



شکل ۳. مهارهایی به طول ۴۰، ۳۷، ۳۴ و ۴۳ cm و قطر ۳ mm استفاده شده در مدل سازی که انتهای آن‌ها حدیده شده است.



شکل ۲. میخ به طول ۳۰ cm و قطر نهایی ۴ mm استفاده شده در مدل سازی به همراه مهره و واشر که بعنوان صفحه باربر در نظر گرفته شده است.



شکل ۴. اجزای سر مهار شامل فنر، مهره و واشر که در مدل استفاده شده است که از واشر به عنوان صفحه باربر و فنر برای پیش تنیده کردن مهارها استفاده شده است.

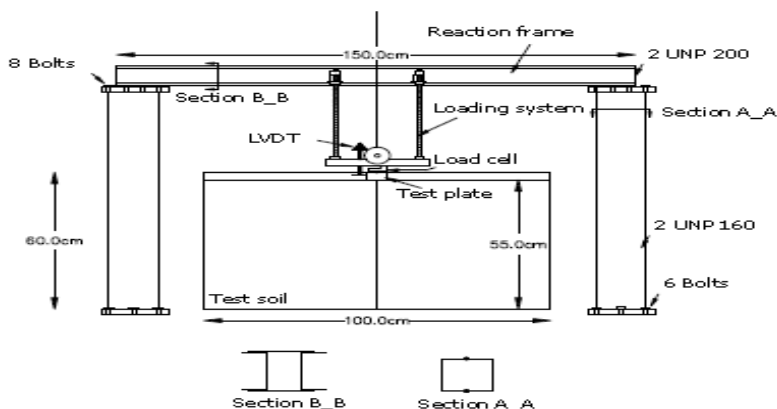
۳-۲. دیوار و پی نواری

از ورق آلومینیوم با ضخامت ۱/۵ mm و ابعاد ۳۰×۳۰ cm^۲ برای مدل کردن دیوار با ضخامت نسبتاً زیاد استفاده شده است. در این ورق سوراخ‌هایی به قطر ۴mm با آرایش ۳×۳ برای قرار دادن میخ‌ها و مهارها ایجاد شده است. به منظور نزدیک کردن رفتار مدل به رفتار سیستم واقعی، به قسمتی از رویه که در تماس با خاک است، یک لایه نازک ماسه به صورت یکنواخت چسبانده شد و ضخامت نهایی رویه ساخته شده پس از چسباندن ماسه به ۲ mm افزایش یافت. همچنین برای انتقال نیروی وارد بر خاک مورد آزمایش، از قوطی فلزی صلب به ابعاد ۳×۶×۳ cm^۳ که به عنوان شالوده نواری سطحی روی بستر خاک عمل می‌کند، استفاده شده است.

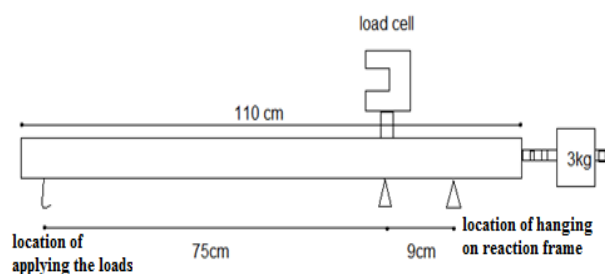
۴-۲. سیستم بارگذاری

جعبه مورد استفاده در آزمایش از صفحات فلزی ساخته شده که تا حد زیادی صلب است. جعبه به ابعاد ۱۰×۶۰×۳۰ cm^۳ تهیه شده است. در وجه روبرویی جعبه جهت عکس برداری و مشاهده تغییر شکل‌ها از طلق شفاف (پلکسی گلاس) استفاده شده است. برای افزایش صلبیت و دقت آزمایش‌ها از گیره‌های مهاری فلزی که وجه روبرویی را به وجه پشتی متصل می‌کند، استفاده شده است. از قاب فولادی برای بارگذاری سیستم استفاده شده است. جزئیات جعبه آزمایش و قاب فولادی به صورت شماتیک در شکل ۵ نشان داده شده است. از یک سیستم نیرو-کنترل برای اعمال بار استفاده شده است که شکل شماتیک آن در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین برای اندازه‌گیری بار وارد بر

پی از لودسل به شکل S با ظرفیت ۲۵۰kg استفاده شده است. که مستقیماً به دیتالاگر متصل می‌شود.



شکل ۵. شکل شماتیک جعبه آزمایش و قاب فولادی عکس العمل مورد استفاده.



شکل ۶. شکل شماتیک سیستم اعمال نیرو.

هم دقت نمود (Adrian, 1991; White et al., 2003).

۲-۶. نحوه انجام آزمایش

جهت ایجاد مدل یکنواخت، خاک با روش بارانی از ارتفاع ۲۰ cm ریخته شد و از هر ۵ cm با چکش و صفحه فلزی متراکم می‌شد و این روند تا محل زیر دیوار ادامه یافت. بعد از قرار دادن رویه پوششی در محل مورد نظر، از دو طرف، خاک با روش گفته شده ریخته شد و هنگام رسیدن به تراز سوراخ‌های تعبیه شده در رویه، میخ‌ها و مهارها قرار داده شدند. در آخر پی نواری قرار داده شد که بعد از اتصال به لود سل، به دیتالاگر برای ثبت نیروهای وارد بر پی متصل شد. هنگام خاکبرداری با رسیدن به تراز میخ‌ها، با استفاده از

۲-۵. روش سرعت سنجی تصویری ذرات (PIV)

PIV روشی برای اندازه‌گیری تغییر شکل بر اساس فتوگرامتری نزدیک برد در مدل‌های ژئوتکنیکی است که ابتدا در زمینه مکانیک سیالات برای اندازه‌گیری سرعت جریان بکار برده شد و سپس وارد آزمایشات ژئوتکنیک شد. برای این که تصاویر قابل پردازش باشند، باید شدت رنگ متفاوتی در بافت خاک وجود داشته باشد. ماسه مورد استفاده در این تحقیق به دلیل بافت رنگی متفاوت مناسب این روش می‌باشد. برای این که نتایج دقت خوبی داشته باشد، باید روشنایی فضا زیاد باشد و در تحلیل عکس‌ها و نحوه مش-بندی آن‌ها باید به نحوه انتخاب پچ‌ها و فاصله آن‌ها نسبت به

متفاوت قرار گیری مهار در دیوار نشان می‌دهد. در شکل ۸- الف که طول مهار و میخ برابر است، ظرفیت باربری برای حالتی که مهار در ردیف بالا قرار دارد، بیشتر از بقیه حالات است. با افزایش طول مهار به ۳۳ cm بار خرابی برای مهار قرار گرفته در ردیف بالا و وسط، شکلی نزدیک به هم دارند و با اختلاف ناچیزی ظرفیت باربری مهار قرار گرفته در ردیف وسط بیشتر است. با افزایش طول مهار به ۳۶ cm مشاهده می‌شود که در حالتی که مهار در ردیف وسط قرار دارد، ظرفیت باربری بیشتر از بقیه حالات است و سیستم رفتار بهتری نشان می‌دهد. اما در طول ۳۹ cm مهار، نیز مشاهده می‌شود که ظرفیت باربری در حالتی که مهار در ردیف بالا قرار دارد بیشتر است. در این حالت نیز طول مهار نسبت به میخ‌ها خیلی زیاد است و اندرکنش دیوار، مهار و میخ باعث بروز چنین رفتاری می‌شود.

با توجه به شکل‌های مذکور مشاهده می‌شود که ظرفیت باربری برای حالتی که مهارها در ردیف پایین قرار دارند، نسبت به حالات دیگر کم‌تر است و با قرار دادن مهارها در ردیف پایین، مسلح سازی به خوبی انجام نمی‌گیرد. در ردیف

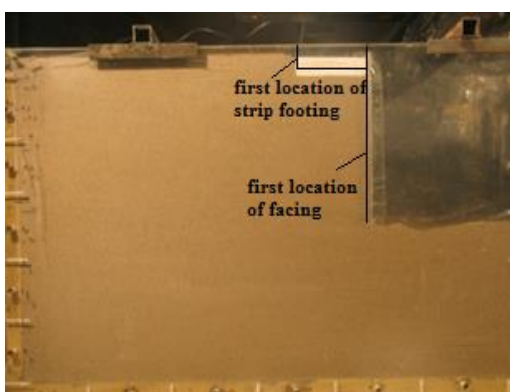
چکش محکم شدند و در تراز مهارها برای پیش‌تنیده کردن آن‌ها با پیچاندن مهره انتهای فنر متراکم شده و نیروی ذخیره شده در آن باعث پیش‌تنیده شدن مهار شد. پس از خاکبرداری مرحله‌ای تا تراز ارتفاع دیوار، بارگذاری مرحله‌ای پی با استفاده از وزنه‌های ۲۰۰ gr آغاز شد. در هر مرحله از خاکبرداری و بارگذاری، عکس‌برداری انجام گرفت و اطلاعات بدست آمده توسط نرم‌افزار Matlab و برنامه GeoPIV تحلیل شد.

در شکل ۷ مرحله شروع و پایان آزمایش نشان داده شده است. شکل ۷- الف مرحله قبل خاکبرداری و بارگذاری را به همراه اجزای جعبه آزمایش نشان می‌دهد. شکل ۷- ب مرحله نهایی آزمایش را نشان می‌دهد که رویه و پی نواری نسبت به مکان اولیه خود چگونه تغییر شکل داده‌اند.

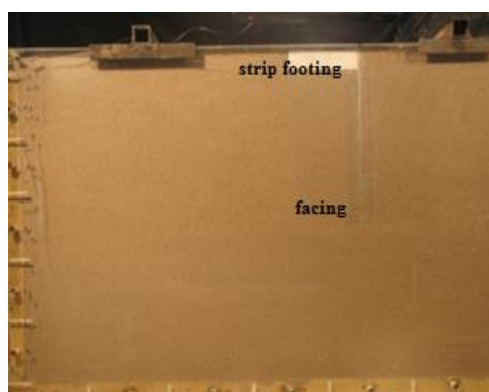
۳. نتایج حاصل از آزمایش‌ها

۳-۱. ظرفیت باربری پی

برای بررسی اثر آرایش‌های مختلف محل قرارگیری میخ و مهار، از نمودارهای نشست پی نواری استفاده شده است. شکل ۸ ظرفیت باربری پی نواری را برای طول‌ها و مکان‌های

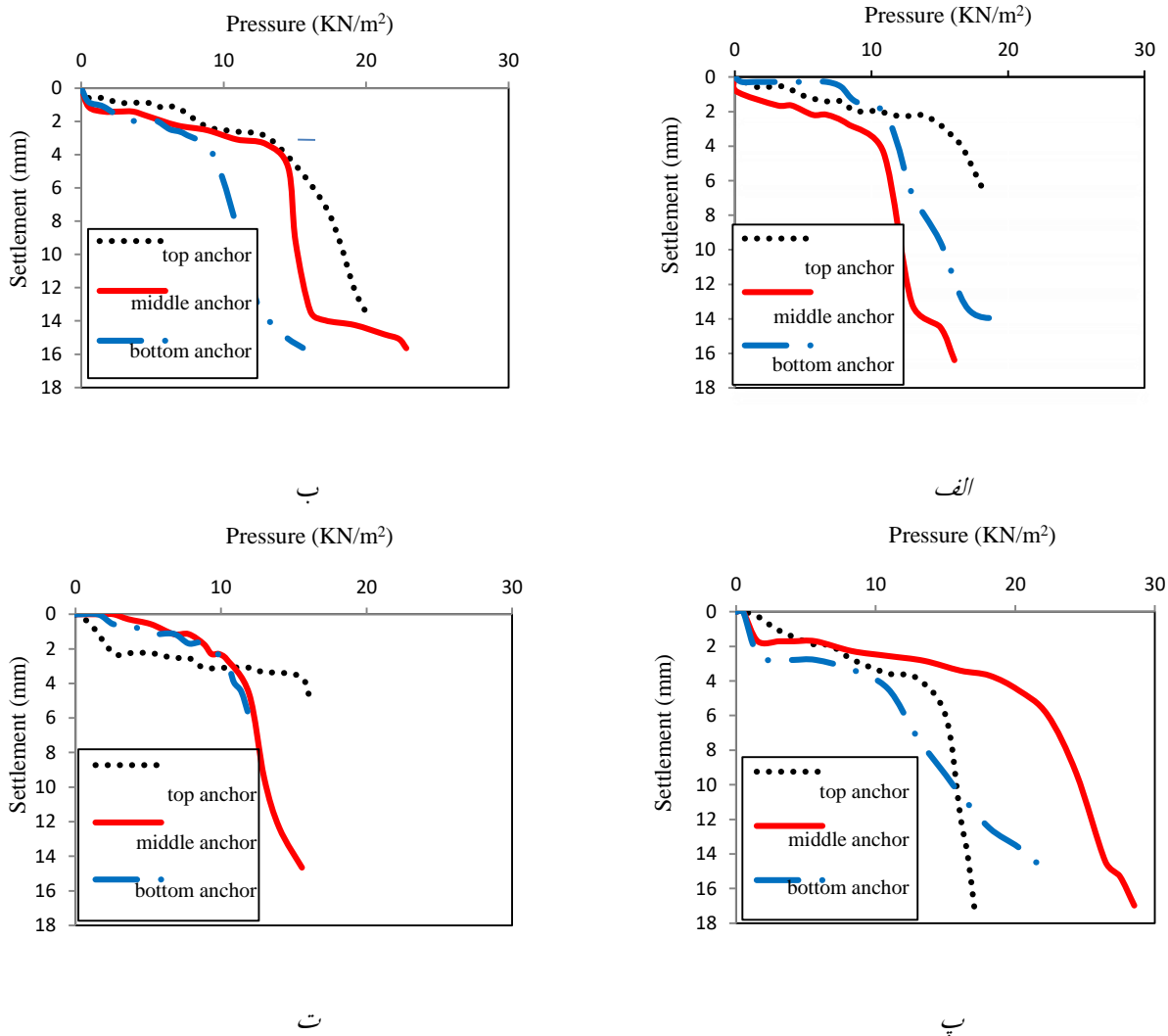


ب



الف

شکل ۷. مراحل انجام آزمایش (الف) شروع آزمایش (ب) پایان آزمایش.



شکل ۸. ظرفیت باربری پی نواری برای دیوار مهار شده با الف) مهار به طول ۳۰cm ب) مهار به طول ۳۳cm پ) مهار به طول ۳۶cm ت) مهار به طول ۳۹cm

جعبه آزمایش است که در نتایج موثر است و H عمق خاکبرداری است که منحنی نسبت به آن نرمالیزه شده است. مشاهده می شود که در یک سطح مثلثی شکل ذره های خاک به سمت پایین گود حرکت می کنند و این ذرات به صورت توده صلب حرکت می کنند. با دور شدن از این ناحیه، اندازه بردارها کوچکتر شده و نشان می دهد که ذرات خاک حرکت زیادی نمی کنند. همچنین دیده می شود که در این نوع خاک با خاکبرداری حرکت چندان در زیر قسمت خاکبرداری شده مشاهده نمی شود و این قسمت مشکلی در خاکبرداری ایجاد نمی کند و فقط ناحیه کوچکی در اطراف گود تحت تاثیر

پایین مولفه وزن خاک زیاد و مقاومت زیاد است و اثر مسلح سازی نسبت به ردیف بالا که مولفه وزن و مقاومت کم تر است، چشمگیر نمی باشد. همچنین در قسمت پایین گوه گسیختگی نیرویی که وارد می کند به سطح کمی وارد می شود و باعث می شود توزیع نیرو و ظرفیت سیستم کم شود.

۲-۳. بردارهای تغییرشکل

در شکل ۹ بردارهای تغییر شکل مربوط به حالت گسیختگی برای دیواره میخ کوبی شده ترکیبی با مهار پیش-تینده ارائه شده است. در این شکل Z ارتفاع و X طولی از

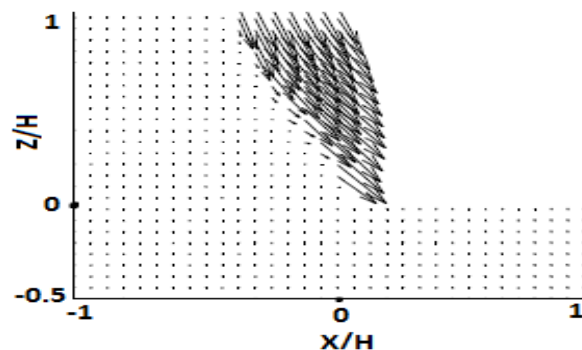
گودبرداری قرار می‌گیرد.

که با قرار دادن مهارها در ردیف پایین کنترل جابجایی افقی دیوار مشکل‌تر است.

۳-۴. تغییر شکل دیوار

با مقایسه شکل ۱۰ و ۱۱ که به ترتیب مربوط به جابجایی افقی دیوار در حالت میخ‌کوبی ترکیبی و ساده است، معلوم می‌شود که در روش مسلح‌سازی با میخ‌کوبی ترکیبی جابجایی افقی حداکثر در نیمه پایینی و میانه ارتفاع دیوار رخ می‌دهد. در حالی که در مسلح‌سازی با میخ‌کوبی ساده حداکثر جابجایی افقی دیوار در بالای گود اتفاق می‌افتد و با حرکت به سمت پایین گود جابجایی افقی کاهش می‌یابد. وقوع حداکثر جابجایی افقی در میانه و نیمه پایینی دیوار باعث می‌شود سیستم کارایی بهتری داشته و کنترل تغییر مکان‌ها که در سطح زمین بسیار حائز اهمیت است، بهتر انجام شود.

در شکل ۱۰ جابجایی افقی دیوار برای مهارهای به طول-های ۳۰، ۳۳، ۳۶ و ۳۹ ارائه شده است. در نمودار جابجایی افقی برای مهار ۳۰cm مشاهده می‌شود که جابجایی افقی برای حالتی که مهار پیش‌تنیده در ردیف بالا قرار دارد، حداقل است. اما در شکل‌های ۱۰-ب و ۱۰-پ که مربوط به مهارهای ۳۳ و ۳۶ cm است، جابجایی افقی دیوار در حالتی که مهار در ردیف وسط قرار دارد، حداقل است. برای مهار به طول ۳۹cm نیز کم‌ترین جابجایی افقی دیوار برای حالتی است که مهار در ردیف بالا قرار دارد. همچنین معلوم می‌شود



شکل ۹. بردارهای تغییر شکل در اطراف محل گود.

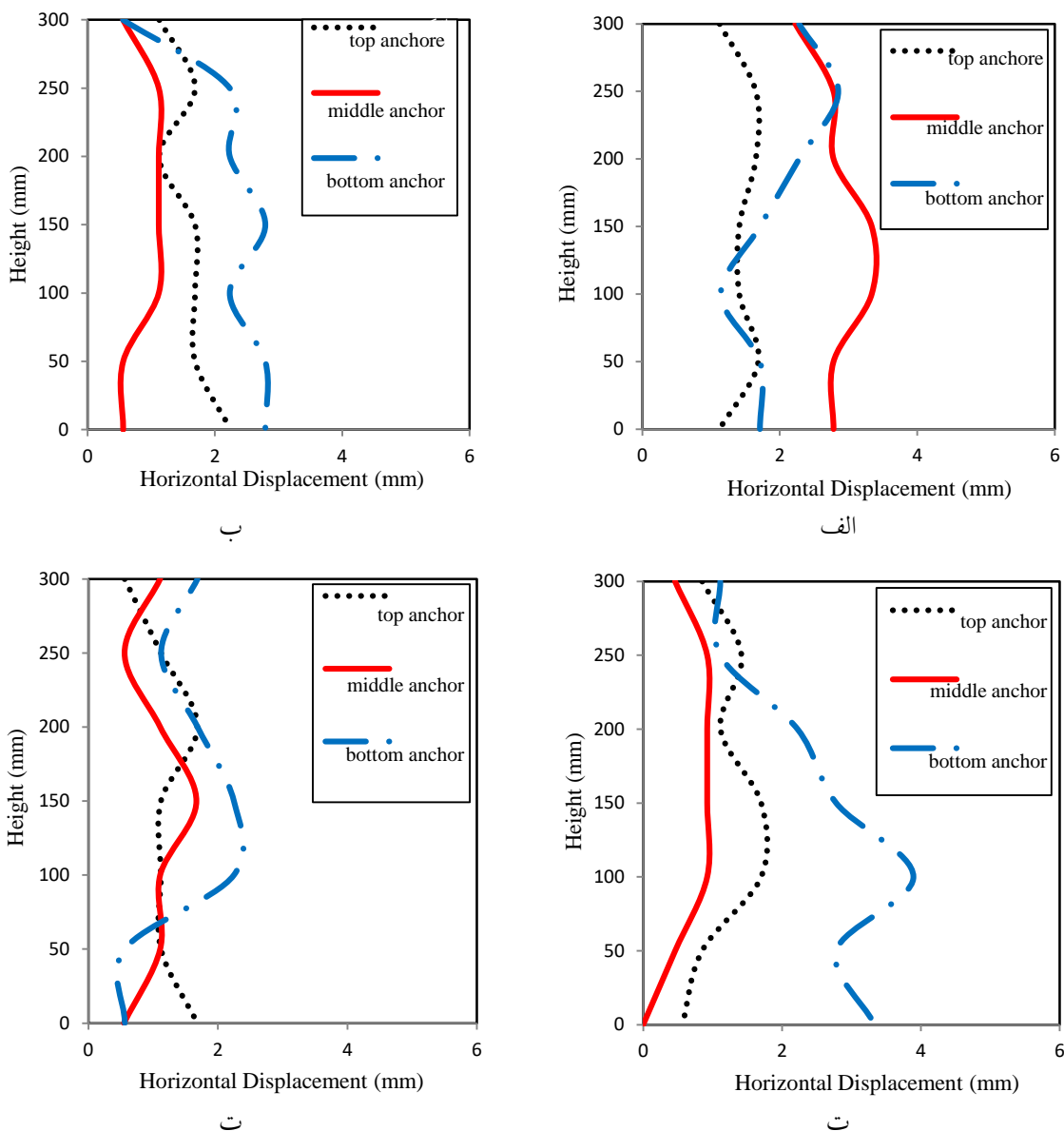
یعنی در طول ۳۰ و ۳۹ cm برای مهار کم‌ترین انحنای در حالتی است که مهار در ردیف بالا قرار دارد و برای طول‌های ۳۳ و ۳۶ cm کم‌ترین انحنای مربوط به حالت قرارگیری مهار در ردیف وسط است.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به آزمایشات انجام گرفته در این تحقیق می‌توان نتایج زیر را به طور خلاصه بیان کرد که در حداقل طول مهار و حداکثر طول مهاری (۳۰cm و ۳۹cm) مهارهای قرار گرفته

۳-۵. بررسی توزیع کرنش برشی ایجاد شده در سیستم

در شکل ۱۲ توزیع کرنش برشی مربوط به سیستم میخ-کوبی ترکیبی با مهار پیش‌تنیده ارائه شده است. مشاهده می‌شود که لغزش از پای دیوار شروع شده و تا سطح زمین گسترش می‌یابد. همچنین کرنش برشی تحمل شده در پای دیوار بیشتر از سایر نواحی است. نمودارهای مربوط به سطح گسیختگی مربوط به حالات مختلف طول و مکان مهار در شکل ۱۳ ارائه شده است. X و Z طول و ارتفاع ناحیه حساس به خاکبرداری و H عمق خاکبرداری است. مشاهده می‌شود که با افزایش بار خرابی انحنای سطح گسیختگی کاهش می‌یابد.



شکل ۱۰. جابجایی افقی دیوار در میخ کوبی ترکیبی با مهاربندی الف) به طول ۳۰cm ب) به طول ۳۳cm پ) به طول ۳۶cm ت) به طول ۳۹cm

و مهار در نیمه پایینی و میانه ارتفاع دیوار رخ می دهد؛ در حالی که حداکثر جابجایی افقی برای میخ کوبی ساده در بالای گود رخ می دهد.

در مهارهای با طول ۳۰cm و ۳۹cm که طول مهار حداقل و حداکثر است، جابجایی افقی دیوار برای حالتی که مهار در ردیف بالا قرار می گیرد کم تر از حالاتی است که مهار در ردیف وسط یا پایین قرار می گیرد، ولی برای طول های ۳۳

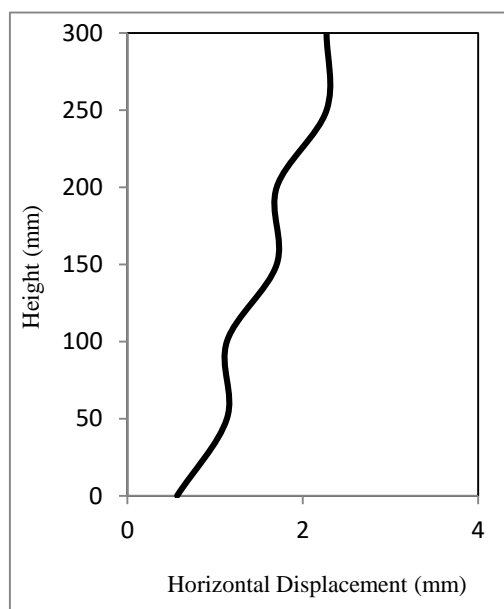
در ردیف بالا بیشترین اثر را در کنترل تغییر شکل پی نواری خواهد داشت. برای طول های مهاری ۳۳cm و ۳۶cm مهارهای قرار گرفته در ردیف وسط اثر بهتری در کاهش تغییر شکل پی نشان می دهند. در صورتی که وقتی مهارها در ردیف پایین قرار می گیرند کمترین اثر را در کنترل تغییر شکل پی نواری خواهند داشت.

حداکثر جابجایی افقی دیوار در سیستم ترکیبی میخ کوبی

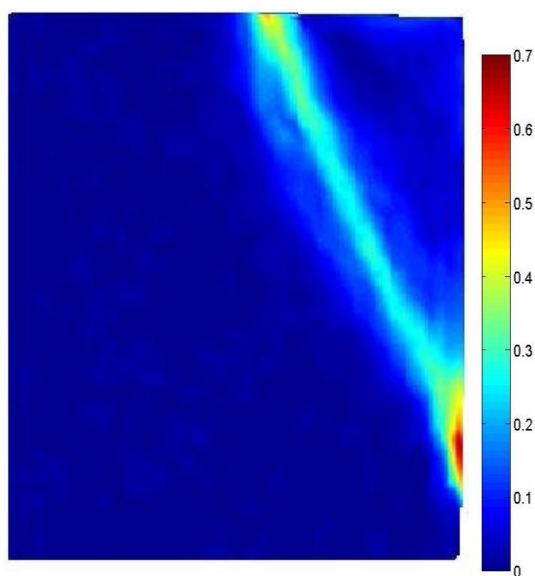
قرار دارد.

۳۶ cm در حالتی که مهار در ردیف وسط قرار دارد جابجایی

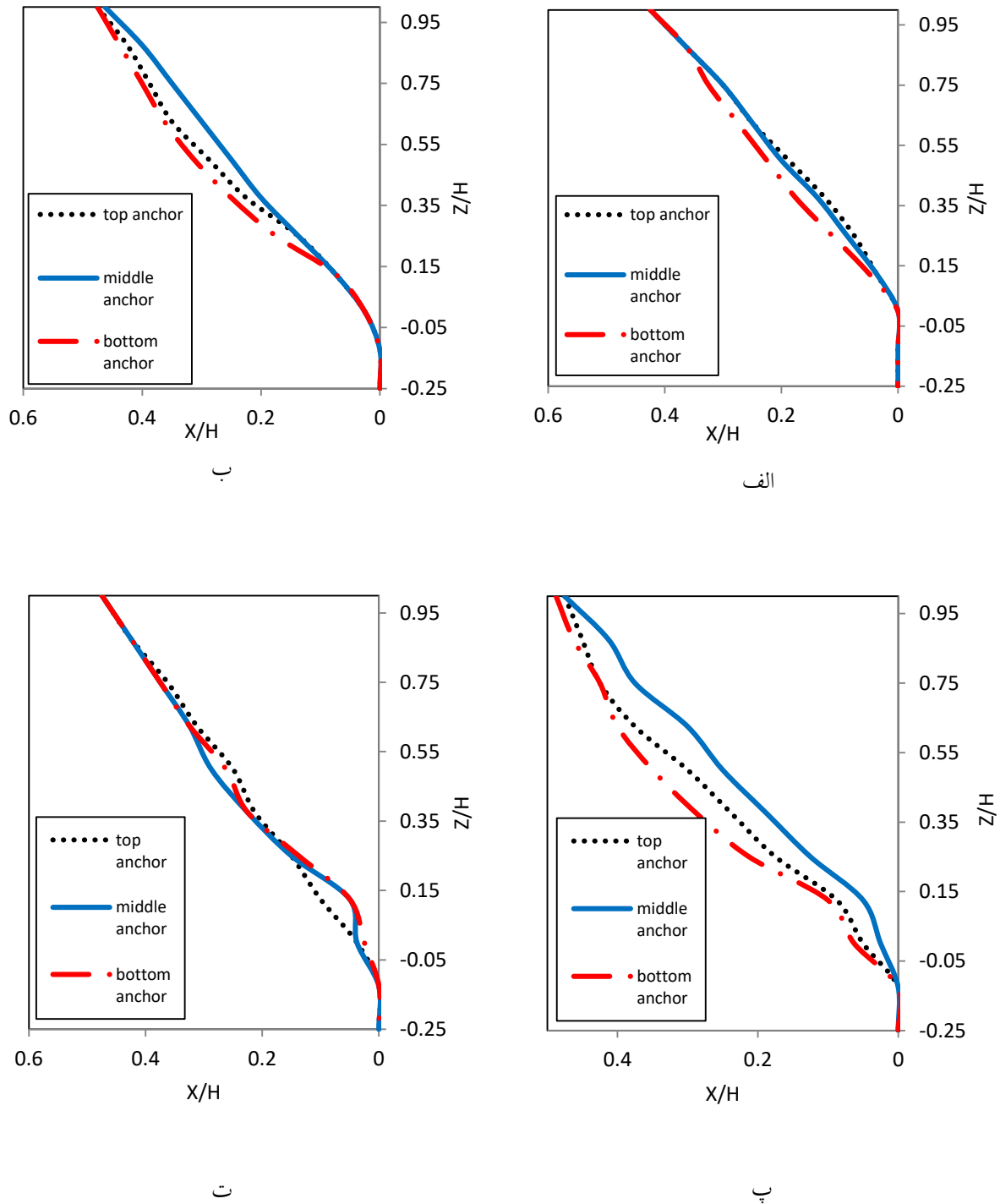
افقی کم تر از حالتی است که مهارها در ردیف پایین یا بالا



شکل ۱۱. جابجایی افقی دیوار در سیستم میخ کوبی ساده.



شکل ۱۲. توزیع کرنش برشی در حالت گسیختگی.



شکل ۱۳. منحنی سطح گسیختگی برای حالات (الف) مهار ۳۰ سانتی متر، (ب) مهار ۳۳ سانتی متر، (پ) مهار ۳۶ سانتی متر، (ت) مهار ۳۹ سانتی متر

منابع

- حداد، عبدالحسین، کریمی فرزقی، بهنام، ۱۳۸۶. بهینه سازی جدارهای خاکبرداری شده با استفاده از سیستم ترکیبی میخ و آنکور، چهارمین همایش بین المللی مهندسی ژئوتکنیک و خاک ایران.
- Adrian, R.J., 1991. Particle imaging techniques for experimental fluid mechanics, Annual review of fluid mechanics 23, pp. 261-304.
- Banerjee, S., Finney, A., Wentworth, T., Bahiradhan, M., 1998. Evaluation of Design Methodologies for Soil-Nailed Walls, Volume 3: An Evaluation of Soil Nailing Analysis Packages, Draft Research Report, WA-RD 371.3.
- Byrne, R.J., Cotton, D., Porterfield, J., Wolschlag, C., Ueblacker, G., 1998. Manual for Design and Construction Monitoring of Soil Nail Walls, Report FHWA-SA-96-69R, Federal Highway Administration
- chang, G.M., 2007. Study on the Application of Composite soil-nailing in Loess Excavation, Master Thesis at Chang'an University.
- Hao, J., Wang, B., 2014. Parameter Sensitivity Analysis on Deformation of Composite Soil-Nailed Wall Using Artificial Neural Networks and Orthogonal Experiment; Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering Volume 2014, 8 pages.
- Prashant, A., Mukherjee, M., 2010. Soil Nailing for Stabilization of Steep Slopes near Railway Tracks, Research Design and Standard Organization (RDSO) Lucknow.
- Sabatini, P.J., Pass, D.G., Bachus, R.C., 1999. Geotechnical Engineering Circular No. 4 Ground Anchors And Anchored Systems, FHWA-IF-99-015.
- Sheahan, T.C., Ho, C.L., 2003. Simplified Trial Wedge Method for Soil Nailed Wall Analysis, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 129, pp. 117-124.
- Wang, J., Cao, J., Hu, J., Liu, H., 2008. Application of FLAC in Foundation Pit with Compound Soil Nailing Wall Support, Fourth International Conference on Natural Computation, IEEE, Volume 4, pp. 331-336.
- White, D.J., Take, W.A., Bolton, M.D., 2003. Soil Deformation Measurement Using Particle Image Velocimetry (PIV) & Photogrammetry, Geotechnique 53, No. 7 (2003), pp. 613-619.
- Yoo, C., 2001. Laboratory Investigation Of Bearing Capacity Behavior Of Strip Footing On Geogrid - Reinforced Sand Slope, Geotextiles and Geomembranes, 19(5): pp. 279-298.