

مطالعه آزمایشگاهی و عددی اندرکنش سطوح تماس تسمه‌های فلزی با هندسه جدید و خاک‌های ماسه‌ای و بررسی توسط روش برنامه‌نویسی عبارات ژنتیکی

جواد اسفندیاری*

استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، واحد کرمانشاه، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمانشاه

دریافت: ۱۳۹۹/۳/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱، نشر آنلاین: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱

چکیده

یک پارامتر بسیار مهم در طراحی‌های خاک‌های مسلح زاویه اصطکاک سطوح مشترک بین مواد مختلف می‌باشد که این زاویه در قسمت مقاوم خاک توسط آزمایش بیرون کشیدگی و در قسمت محرک توسط آزمایش برش مستقیم مشخص می‌شود. در این پژوهش، آزمایش‌های کششی، بیرون کشش و برش مستقیم بر روی تسمه و ورق‌های گالوانیزه که به‌منظور افزایش ظرفیت بیرون کشش با قطعات عرضی یا به عبارتی برش‌گیرها تقویت شده‌اند، انجام گردید. در این آزمایش‌ها بعد از بررسی فاصله بهینه در نرم‌افزار اجزای محدود Plaxis 2D یک تسمه مسطح صاف، دو تسمه نواری با سطح جوشکاری شده و تعدادی تسمه‌نوار با قطعات عرضی با ارتفاع و تعداد مختلف، با تنش‌های نرمال به‌کار گرفته شده در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰ کیلو پاسکال بیرون کشش شدند و در انتها رابطه‌ای با دقتی مناسب با استفاده از برنامه‌نویسی عبارات ژنتیکی، GEP، (Genetic Expression Programming) به‌منظور برآورد نیروی بیرون کشش استخراج گردید. ورق‌های گالوانیزه به‌صورت ساده و افزودن برش‌گیر تحت ۲۴ آزمایش برش مستقیم تحت سربارهای ۱۰ و ۲۰ و ۴۰ کیلوپاسکال مورد آزمایش برش مستقیم قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌های کششی به روی تسمه‌ها نشان می‌دهند جوشکاری زبانه‌های برشی اثری بر مقاومت کششی تسمه‌ها نداشته و نقطه ضعف چندانی بروی تسمه نوارها ایجاد ننموده است. همچنین نتایج آزمایش‌های بیرون کشش و برش مستقیم حاکی از آن است که هندسه جدید تسمه با زبانه برش‌گیر، می‌تواند به‌طور کلی موجب حفظ و صرفه‌جویی در مصرف فولاد و فراهم نمودن ضوابط طراحی خاص برای خاک‌ریزهای پایدار شده در فضاهای ساختمانی محدود و پروژه‌های دارای معارض شود، زیرا افزایش ظرفیت بیرون کشش هر تسمه‌نوار تقویت‌شده منجر به کاهش طول یا مقدار کلی نوارهای موردنیاز در یک پروژه می‌گردد. در انتهای تحقیق مطالعات عددی توسط نرم‌افزار اجزای محدود Plaxis 2D جهت بررسی اندرکنش و تغییر شکل تسمه‌های فلزی انجام شد. در ادامه مدل GEP ارائه شده، مقادیر نیروی بیرون کشش را با شاخص R^2 برابر با ۰/۹۳ برای حالت صحت‌سنجی مدل (حالت تست) که پارامترهای آن در برآورد مدل نقشی نداشته‌اند، ارائه می‌دهد، بنابراین با توجه به نتایج ارائه شده پیشنهاد می‌شود به‌منظور برآورد نیروی بیرون کشش از رابطه ارائه شده در این مطالعه که با استفاده از GEP ارائه شده است استفاده شود.

کلیدواژه‌ها: ظرفیت کششی، ظرفیت بیرون کشش، برش‌گیر، آزمایش برش مستقیم و برنامه‌نویسی عبارات ژنتیکی (GEP).

۱- مقدمه

یک پروژه خاک مسلح نوارهای تسلیح که معمولاً فلزی یا از مواد سنتتیک^۱ هستند، به‌صورت افقی در میان لایه‌های خاک دانه‌ای کار گذاشته می‌شوند و این نوع از خاک‌ها عموماً به‌عنوان خاک‌ریز مورد استفاده قرار می‌گیرند (Potyondy، ۱۹۶۱؛ Abdi و Arjomand، ۲۰۱۱؛ Skinner و Rowe، ۲۰۰۵؛ Bergado و Teerawattanasuk، ۲۰۰۸؛ Nouri و همکاران، ۲۰۰۶؛ Chen و همکاران، ۲۰۰۷). در سال‌های اخیر پژوهش‌های بسیاری در مورد خاک‌های مسلح توسط محققین مختلف انجام شده‌است (Li و

Vidal به‌عنوان ابداع‌کننده خاک مسلح شناخته می‌شود (Haeri، ۲۰۰۰). بعد از ساخت اولین خاک مسلح شده مکانیکی توسط Vidal در سال ۱۹۶۱، سازه‌هایی بسیاری از نوع دیوار حائل مسلح شده یا خاک‌ریز مسلح‌شده ساخته شده‌اند و بسته به نوع کاربرد به‌صورت وسیعی در پروژه‌های ژئوتکنیک استفاده شده است. استفاده از مسلح‌کننده غیرانعطاف‌پذیر باعث ایجاد کرنش‌های محدود و استحکام بالا که راه‌حلی ماندگار و پایدار برای تثبیت مکانیکی خاک‌ریزها در پروژه‌ها می‌باشد (Khedkar، ۲۰۰۹). در

1. Synthetic

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۴۴۰۱۳۴۸۸

آدرس ایمیل: j.esfandiari@iauaksh.ac.ir (ج. اسفندیاری).

Plaxis 2D مورد بررسی قرار دادند و در پژوهش، اندرکنش و نشست‌ها را مورد بررسی قرار دادند. یکی از مهم‌ترین قسمت‌هایی که در آزمایش بیرون کشش برای مسلح کننده انعطاف پذیری مانند ژئوگرید^۴ مطرح می‌باشد، اندرکنش المان‌های عرضی می‌باشد. در این پژوهش جهت مطالعه اندرکنش خاک و تسمه در حالت مقاوم و محرک، آزمایش‌های بیرون کشش، برش مستقیم و مدل سازی عددی اجزای محدود انجام شد (جدول (۱)). نتایج مورد انتظار این پژوهش باعث صرفه جویی در تسمه گردید. همچنین با استفاده از برنامه نویسی عبارات ژنتیکی (GEP) ضوابط طراحی جدید برای تثبیت خاک‌ها در فضاها ساختمانی باریک و دارای معارض به-منظور برآورد نیروی بیرون کشش استخراج گردید.

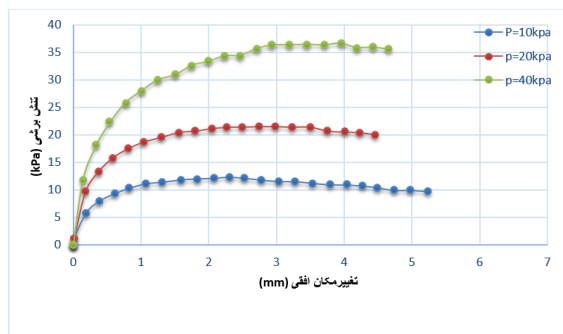
۲- مصالح و آزمایش‌ها

۱-۲- خاک

خاک استفاده شده در این آزمایش‌ها ماسه می‌باشد. خروجی آزمایش برش مستقیم در شکل (۱) ارائه شده است. همچنین ویژگی‌های مهم خاک در جدول (۲) به طور خلاصه گنجانده شده است. زوایای اصطکاک داخلی خاک برای چگالی‌های نسبی معین به وسیله آزمایش برش مستقیم شامل تنش‌های نرمال قائم ۱۰ و ۲۰ کیلوپاسکال طبق استاندارد ASTM تعیین شدند (ASTM, D2487-11, 2007a).

جدول ۱- لیست آزمایش‌های انجام گرفته در پژوهش حاضر

نوع آزمایش	استاندارد مورد استفاده	تعداد
آزمایش دانه بندی و سایر مشخصات خاک	ASTM D698 و ASTM D2487	۱۲
آزمایش کشش تسمه	ASTM A370	۳
آزمایش بیرون کشش	ASTM	۲۰
آزمایش برش مستقیم	ASTM-D3080	۲۴
آزمایش تراکم	ASTM D698	۱۰



شکل ۱- نمودار تنش برشی - تغییر مکان در آزمایش برش مستقیم

Rowe, ۲۰۰۸؛ Varuso و همکاران، ۲۰۰۵؛ Abdi همکاران، ۲۰۰۹؛ Balunaini، ۲۰۱۰).

درون گوه گسیختگی یک خاک مسلح، تسلیح کننده، ضعف کششی خاک را بهبود می‌بخشد و در سرتاسر سطح گوه لغزش مهارهای موجود با امتداد در خاک مجاور، گوه را در برابر لغزش یا شکست انتقالی در خاک پایدار می‌کنند (Gurung، ۲۰۰۱؛ Sugimoto و Alagiyawanna، ۲۰۰۳؛ Bathurst و همکاران، ۲۰۰۵؛ Zhou و همکاران، ۲۰۱۱). به طور معمول برای به دست آوردن پارامترهای طراحی در قسمت مقاوم خاک تست‌های بیرون کشش انجام می‌شوند (Yin و همکاران، ۲۰۰۸؛ Moraci و Cardile، ۲۰۱۲؛ Racana و همکاران، ۲۰۰۳). مکانیزم بیرون-کشش مسلح کننده‌های مختلف، توسط نمونه آزمایشگاهی و مقیاس کامل بررسی شده و به وسیله روش‌های عددی نیز مورد تحقیق قرار گرفته‌اند (Handy، ۲۰۰۷؛ Palmeira، ۲۰۰۹؛ Goodhue و همکاران، ۲۰۰۱؛ Sieira و همکاران، ۲۰۰۹؛ Subaida و همکاران، ۲۰۰۸).

مسلح کننده‌ها به دو دسته با تغییر شکل زیاد (انعطاف پذیر) مانند ژئوتکستایل^۲ و ژئوممبرین^۳ یا با تغییر شکل محدود مانند تسمه نوارهای فلزی گالوانیزه یا شبکه‌های فلزی تقسیم می‌شوند. آزمایش‌ها و تحلیل‌ها با هردو مسلح کننده توسط محققین انجام شده و زوایای اصطکاک سطح مشترک بین مواد مسلح کننده و خاک‌ها استخراج شده‌اند (Palmeira، ۱۹۸۹؛ Khedkar و Mandal، ۲۰۰۹؛ Abdelouhab و همکاران، ۲۰۱۰؛ Zhang و همکاران، ۲۰۰۸).

همچنین تأثیرات آرایش‌های هندسی مختلف مسلح کننده‌ها توسط محققین مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند و مطالعاتی در جهت کاهش مواد مسلح کننده انجام گرفته است. تحقیقات نشان داد که ظرفیت بیرون کشش با موج دار کردن نوارها به جای نوارهای مسطح تفاوت محسوسی نداشته است (Rowe و Skinner، ۲۰۰۵).

Esfandiari و Selamat (۲۰۱۲) مطالعاتی را در مورد آزمایش بیرون کشش تسمه‌های فلزی گالوانیزه^۴ انجام دادند و با تغییری که در هندسه تسمه ایجاد کردند مقاومت بیرون کشش تسمه افزایش یافت. Lajevardi و همکاران (۲۰۱۳) با آزمایش بیرون کشش پژوهشی را بر روی مسلح کننده‌هایی به صورت مشبک با تراکم کم و متوسط انجام دادند و نتایج آن را با رابطه کلاسیک بیرون کشیدگی مقایسه نمودند. Panah و همکاران (۲۰۱۵) با تغییر در نحوه چیدمان مسلح کننده پلیمریک به صورت موازی و زیگزاگ، رفتار لرزه‌ای این نوع از خاک مسلح را بررسی نمودند. Sukmak و همکاران (۲۰۱۶) رفتار عددی خاک‌های مسلح را با خاک و درصد رطوبت‌های متفاوت به عنوان سربار، توسط نرم افزار

4. Galvanized
5. Geogrid

2. Geotextiles
3. Geomembranes

طول، عرض و ضخامت تسمه نوارها به ترتیب ۵، ۱۰۰ و ۵/۵ سانتی متر می باشند. زبانه های برشی و سخت کننده ها (پشت بندها) از یک جنس فولاد مشترک با تسمه ساخته شدند و از همان ضخامت ۵/۵ سانتی متری نیز برخوردارند. در پروژه های خاک مسلح تسمه ها گالوانیزه می شوند تا از خوردگی آن ها جلوگیری شود، تسمه های استفاده شده در این تحقیق نیز پس از تولید با روکش روی پوشانده شده و مورد استفاده قرار گرفتند. از پشت بندهای (قطعات تقویتی) مثلی شکل برای تقویت زبانه های برشی در برابر نیروی خمشی و برشی استفاده شد. در آزمایش های بیرون کشش نمونه تسمه نوار فلزی مانند شکل (۲-ب) در داخل جعبه خاک قرار داده و خاک متراکم گردید. زبانه های برشی در جهت پایین متصل به تسمه قرار داده شدند. در پروژه های واقعی چنین آرایشی اجرای خاک ریزی و تراکم های بعدی لایه های خاک را تسهیل می سازد.

۲-۳- آزمایش کشش تسمه های فلزی

با توجه به این که در این تحقیق در برخی از نمونه ها از جوشکاری جهت افزایش سطح اصطکاک خاک- تسمه استفاده شد و همچنین برای اتصال زبانه های برشی و سخت کننده ها به تسمه نیز از جوشکاری استفاده گردید. جهت بررسی این موضوع که جوشکاری در محل اتصال چه اثری بر تسمه و نیروی کششی دارد از آزمایش کششی طبق استاندارد ASTM A370 استفاده گردید (شکل ۳). دستگاه آزمایش کششی و نمونه آماده آزمایش کشش را در این تحقیق را نشان می دهد.



شکل ۳- دستگاه کشش مورد استفاده در این تحقیق

۲-۴- آزمایش بیرون کشش

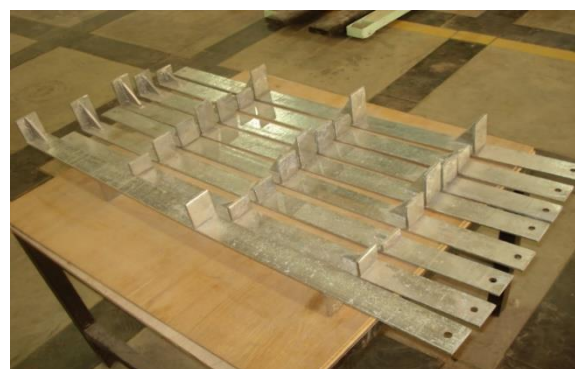
جعبه خاک آزمایش بیرون کشش، به ترتیب دارای طول، عرض و عمق ۱۰۰، ۱۳۰ و ۵۰ سانتی متر بود (شکل ۴). ظرفیت بیرون کشش با یک نیروسنج اندازه گیری شد. میزان جابه جایی تسمه با

جدول ۲- مشخصات خاک استفاده شده در پژوهش حاضر

خواص خاک	مقدار
D_{10}	۰/۲۴ mm
D_{30}	۰/۶۸ mm
D_{50}	۱/۴ mm
D_{60}	۱/۷۳ mm
G_s , توده ویژه	۲/۶۵
e_{min} حداقل تخلخل	۰/۶۷۲
e_{max} حداکثر تخلخل	۰/۸۹۲
طبقه بندی خاک طبق استاندارد	SW
وزن مخصوص خشک	۱۷/۱۴ (kN/m ³)
درصد رطوبت بهینه	٪۱۲/۳۳
C_u ضریب یکنواختی	۷/۳۳
C_c ضریب انحنای	۱۳۹/۱۱ درجه
زاویه اصطکاک داخلی در تراکم نسبی ٪۶۰	۴۵ درجه
زاویه اصطکاک داخلی در تراکم نسبی ٪۹۰	

۲-۲- تسمه های فولادی گالوانیزه

در این پژوهش، آزمایش های بیرون کشش بر روی مجموعه ای از تسمه نوار فولادی گالوانیزه انجام گرفتند. اشکال این تسمه نوار ها در شکل های (۲-الف) و (۲-ب) نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۲- تسمه های مورد استفاده در آزمایش بیرون کشش به همراه جعبه آزمایش



شکل ۴- دستگاه آزمایش بیرون کشش به همراه دیتا لاگر و سیستم نرم افزاری مربوطه



(الف)



(ب)

شکل ۵- نحوه اتصال در پروژه واقعی خاک مسلح و اتصال طراحی شده به صورت مفصلی در آزمایشگاه

۲-۵- آزمایش برش مستقیم

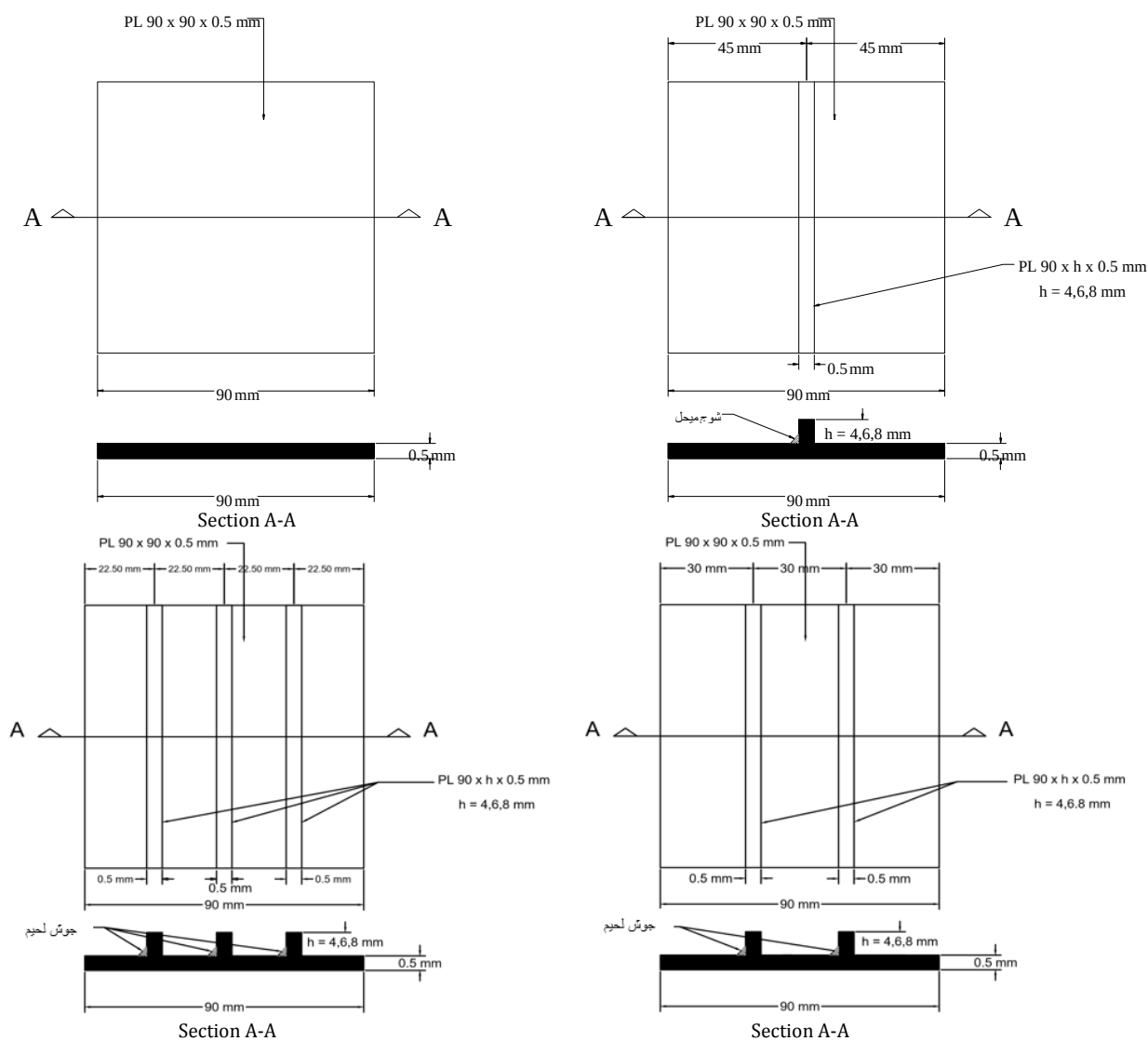
جهت بررسی اندرکنش و شبیه سازی رفتار برش گیرها بر روی تسمه های فولادی، تعدادی المان به عنوان برش گیر با ارتفاع های ۴، ۶ و ۸ میلی متر بر روی ورق گالوانیزه به ابعاد ۹۰×۹۰×۰/۵ میلی متر لحیم گردیدند. مشخصات کامل در جدول (۳) و شکل- های (۶) و (۷) ارائه شده است. این ورق ها طبق استاندارد ASTM-D3080 در جعبه برش مستقیم به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ میلی- متر مورد آزمایش قرار گرفتند (شکل (۸)). سرعت تغییر مکان افقی ۱ میلی متر بر دقیقه در نظر گرفته شد (ASTM, D3080, 2004).

استفاده از LVDT^{*} نصب شده در ابتدا و انتهای تسمه کنترل شد. طول تسمه فلزی ۱۰۰ سانتی متر بود اما به منظور شبیه سازی با نمونه واقعی ۱۵ سانتی متر آن در داخل غلافی آلومینیومی قرار گرفت و با خاک ریز ماسه پوشانده نشده بود که به ترتیب دارای طول عرض و عمق ۱۵، ۱۲ و ۱۲ سانتی متر بوده و تنها ۸۵ سانتی- متر از تسمه فلزی در داخل ماسه به صورت طول مؤثر قرار داشت. هدف از ساخت غلاف آلومینیومی فراهم کردن پوشش و فضای حرکت برای محل اتصال مشترک با میله کششی بود که در شکل (۵-الف) قابل مشاهده می باشد. به وسیله یک مانع اسفنجی از ورود ماسه به غلاف آلومینیومی جلوگیری به عمل آمد. تسمه در میانه ارتفاع ماسه کار گذاشته شد و جهت برش گیرها در سمت پایین قرار گرفت. در مورد آزمایش با استفاده از تسمه ای با عمیق ترین برش گیر (۸ سانتی متری)، یک فضای باقی مانده ۱۷ سانتی متری تا کف جعبه آزمایش وجود داشت، بنابراین، تأثیرات اندرکنش کف نسبت به سطح اصطکاک در ماسه، ناچیز در نظر گرفته شد. در کلیه آزمایش ها، فشاری سربار تا ۱۰۰ کیلو پاسکال از طریق کمپرسور و یک کیسه هوای قرار داده شده بین بالای ماسه و زیر درب دستگاه به سطح بالای خاک وارد گردید. در سایر آزمایش ها، فشار سربارهایی به اندازه ۵۰، ۶۰، ۶۵ و ۷۵ کیلو پاسکال نیز مورد استفاده قرار گرفتند. سرعت بیرون کشش تسمه طبق استاندارد ASTM ۱ میلی متر بر دقیقه بود (Alfaro و همکاران، ۱۹۹۵). جهت متراکم نمودن لایه های ماسه در هر لایه ۱۰ سانتی- متری، چکشی با وزن ۴۴/۵ نیوتن از ارتفاع ۴۵/۷ سانتی متر با ۲۵ ضربه در هر لایه خاک را متراکم می نمود (ASTM, D698). چکش در سطح خاک حرکت داده می شد تا به طور یکنواخت کل محوطه جعبه دستگاه آزمایش را پوشش دهد و از یکنواختی و همگنی ماسه پس از هر دور متراکم سازی برای هر لایه، اطمینان حاصل شد. در این آزمایش میزان رطوبت ماسه ۲/۵٪ بود. به طور کلی درصد تراکم نسبی به دست آمده برای ماسه داخل جعبه در حدود ۶۰ درصد بود.

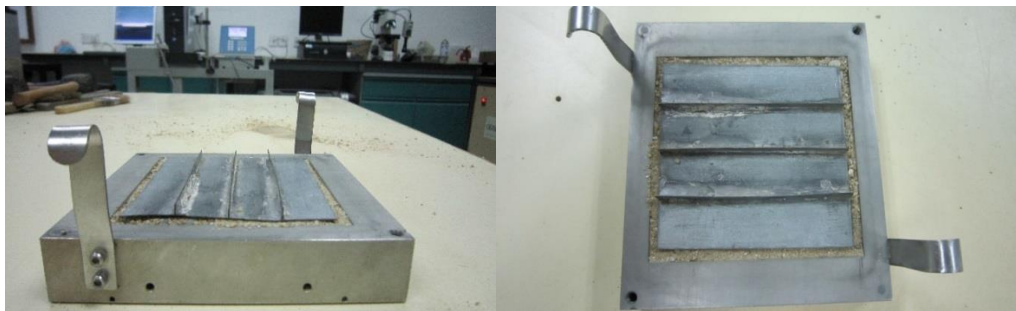
همان گونه که در شکل (۵-الف) و (۵-ب) نشان داده شده است، برای جلوگیری از انتقال لنگر خمشی از تسمه به میله دستگاه کششی، یک اتصال به صورت مفصل طراحی و استفاده گردید.

جدول ۳- مشخصات ورق‌های گالوانیزه و برش‌گیرهای استفاده‌شده در آزمایش برش مستقیم

تعداد	نام نمونه	ورق (mm)	تعداد زبانه‌ها	ارتفاع زبانه (mm)	زبانه برشی
۱	PL۹۰×۹۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۰	-	-
۲	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۱PL۹۰×۴۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۱	۹۰×۴۰×۰/۵	-
۳	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۱PL۹۰×۶۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۱	۹۰×۶۰×۰/۵	-
۴	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۱PL۹۰×۸۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۱	۹۰×۸۰×۰/۵	-
۵	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۲PL۹۰×۴۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۲	۹۰×۴۰×۰/۵	-
۶	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۲PL۹۰×۶۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۲	۹۰×۶۰×۰/۵	-
۷	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۲PL۹۰×۸۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۲	۹۰×۸۰×۰/۵	-
۸	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۳PL۹۰×۴۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۳	۹۰×۴۰×۰/۵	-
۹	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۳PL۹۰×۶۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۳	۹۰×۶۰×۰/۵	-
۱۰	PL۹۰×۹۰×۰/۵+۳PL۹۰×۸۰×۰/۵	۹۰×۹۰×۰/۵	۳	۹۰×۸۰×۰/۵	-



شکل ۶- جزئیات ورق‌های فلزی گالوانیزه در آزمایش برش مستقیم



شکل ۷- ورق گالوانیزه به همراه برش گیرهای متفاوت به همراه یکی از نمونه‌ها در فک دستگاه برش مستقیم



شکل ۸- دستگاه برش مستقیم مورد استفاده در این تحقیق

۲-۶- برنامه‌نویسی عبارات ژنتیکی^۷

این فرایند یکی از روش‌های توسعه‌یافته در برنامه‌نویسی ژنتیک^۸ است (Koza, ۱۹۹۲). این نوع برنامه‌نویسی از خانواده الگوریتم‌های تکاملی می‌باشد که وجه مشترک زیادی با الگوریتم ژنتیک و برنامه‌نویسی ژنتیک دارد. وجه مشترک آن با الگوریتم ژنتیک در کروموزوم‌های خطی با طول ثابت و وجه مشترک آن با برنامه‌نویسی ژنتیک درختان تجزیه در طول‌ها و شکل‌های متنوع می‌باشد. (Ferreira, ۲۰۰۱). مدل‌های ارائه‌شده توسط برنامه‌نویسی عبارات ژنتیکی دارای ساختاری پیچیده و درختی هستند که آموزش و انطباق آن با استفاده از اندازه آن‌ها، شکل و ترکیب آن‌ها، بسیار شبیه یک موجود زنده می‌باشد و مانند موجودات زنده، برنامه‌های کامپیوتری برنامه‌نویسی عبارات ژنتیک نیز در کروموزوم‌های خطی ساده با طول ثابت کدگذاری شده‌اند (ابتهاج، ۱۳۹۳). بنابراین برنامه‌نویسی عبارت ژنتیکی یک سیستم ژنوتیپ^۹- فنوتیپ^{۱۰} است که با بهره‌گیری از یک ژنوم^{۱۱} ساده برای حفظ و انتقال اطلاعات ژنتیکی و یک فنوتیپ پیچیده برای کشف محیط و انطباق با آن است (کریمی، ۱۳۹۴؛ ابتهاج، ۱۳۹۳).

در این برنامه‌نویسی، توابع موردنیاز برای ایجاد مدل و مجموعه نهایی^{۱۲} انتخاب می‌شوند. در مرحله بعد مجموعه داده‌های موجود به‌منظور برآورد پارامتر موردنظر و مقایسه آن با مقدار واقعی، فراخوانی می‌شود (کریمی، ۱۳۹۴؛ ابتهاج، ۱۳۹۳). سپس به‌منظور ارائه جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی، کروموزوم‌ها تولید می‌شوند. در مرحله بعد برای جمعیت تولیدشده با استفاده از کروموزوم‌های موجود، برنامه اجرا می‌شود و برازندگی تابع هدف بررسی می‌شود. اگر به شرایط توقف برنامه برسیم برنامه را متوقف می‌کنیم در غیر این صورت با استفاده از کروموزوم‌های جدید که به‌وسیله عملگرهای ژنتیکی اصلاح شده‌اند و جمعیت جدید، دوباره تابع هدف ارزیابی می‌شود. این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که شرایط توقف برنامه مهیا شود (کریمی، ۱۳۹۴؛ ابتهاج، ۱۳۹۳).
برازندگی یک برنامه منحصر به فرد i برای برازندگی مدل z توسط (Ferreira, ۲۰۰۶) به‌صورت زیر ارائه شده است:

$$\text{If } E(ij) \leq p, \text{ then } f(ij)=1; \text{ else } f(ij)=0 \quad (1)$$

در رابطه فوق p دقت و $E(ij)$ خطای برنامه i برای برازندگی مدل z است که برای خطای مطلق به‌صورت زیر بیان می‌شود:

10. Phenotype
11. Genome
12. Terminal Set

7. Gene Expression Programming (Gep)
8. Genetic Programming (Gp)
9. Genotype

$$E(ij) = |p(ij) - T_j| \quad (2)$$

برای خطای مطلق همچنین مقدار برازندگی یک برنامه منحصره فرد (f_i) به صورت زیر بیان می شود:

$$f_i = \sum (R - |p(ij) - T_j|) \quad (3)$$

در رابطه فوق، R دامنه انتخاب، $p(ij)$ مقدار پیش بینی شده توسط برنامه منحصره فرد i برای برازندگی مدل T_j و مقدار هدف برای برازندگی مدل T_j است (کریمی ۱۳۹۴؛ ابتهاج ۱۳۹۳). با بررسی مطالعات انجام شده در زمینه برآورد نیروی بیرون کشش، به طور کلی می توان گفت که پارامتر نیروی بیرون کشش F به ارتفاع المانها (h)، تعداد برش گیرها (n)، نیروی ناشی از تنش نرمال در

سطح تسمه (p)، تنش نرمال وابسته است. بنابراین با استفاده از پارامترهای ارائه شده در جدول (۴)، می توان مدلی را برای تهیه مدل GEP به صورت زیر ارائه داد:

$$\text{Model: } F = f(h, n, p, \text{Normal Stress}) \quad (4)$$

۷-۲- مطالعه عددی

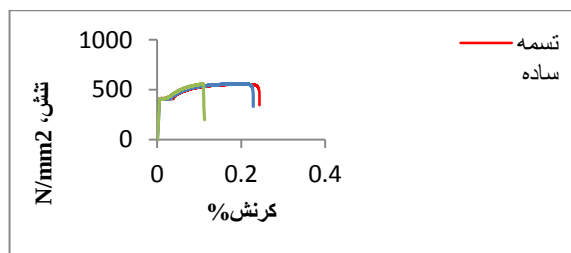
جهت بررسی و مقایسه رفتار تسمه های فلزی گالوانیزه با المان های اضافه شده عرضی به صورت عددی، از نرم افزار Plaxis 2D استفاده گردید که نتایج در انتهای مقاله گنجانده شده است. در این مدل سازی مشخصات مدل رفتاری خاک موهر کولومب^{۱۳} انتخاب گردید و مشخصات به صورت جدول (۵) می باشد.

جدول ۴- پارامترهای استفاده شده در ارائه مدل GEP

ارتفاع زبانه h (m)	تعداد زبانه n	نیرو ناشی از تنش قائم در تسمه (P) (kN/m)	تنش قائم، (kPa)	نیرو بیرون کشش kN,(F)
۰	۰	۲/۱۲۵	۵۰	۲/۶
۰/۰۸	۴	۴/۲۵	۱۰۰	۴۳/۶۷

جدول ۵- مشخصات پارامترهای استفاده شده در نرم افزار اجزای محدود Plaxis

مدول الاستیسیته، (E)	ضریب اصطکاک داخلی (ϕ)	ضریب اتساع (ψ)	وزن مخصوص خاک (kN/m ³ ، γ)	چسبندگی خاک (C)	R_{inter}	ضریب پواسن (v)
۸۰۰۰۰ MPa	۳۹°	۹°	۱۷/۱۴	۰	۰/۷۵	۰/۳



شکل ۹- نمودار تنش- کرنش تسمه در حالات ساده و جوشکاری شده

۳-۲- ظرفیت بیرون کشش تسمه نوارها

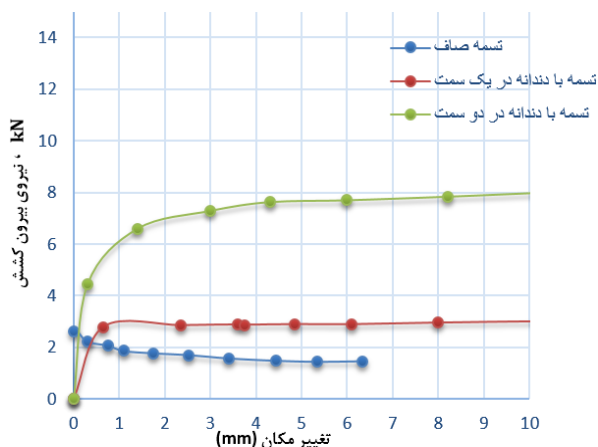
نتایج ظرفیت بیرون کشش به دست آمده از تسمه نوارهای مختلف در آزمایش های بیرون کشش در شکل های (۱۰) تا (۱۵) ارائه شده است. همان گونه که در رابطه پایه ای جیول^{۱۴} (رابطه (۵)) ملاحظه می گردد، ظرفیت بیرون کشش که به وسیله مسلح کننده تحمل می گردد با ضریب اندرکنش f_b ارتباط مستقیم دارد (Jewell, ۱۹۹۰). معادله پایه ای به صورت زیر ارائه می شود:

۳- بحث و نتایج

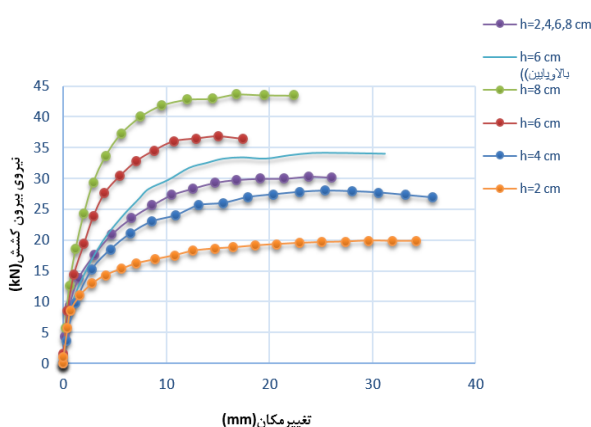
۳-۱- مقاومت کششی تسمه ها

همان گونه که از نتایج شکل (۹) مشاهده می گردد جوش کاری در محل اتصال زبانه ها اثر قابل ملاحظه ای بر مقاومت کششی تسمه با زبانه برشی نداشته است و نمودار تنش کرنش رسم شده تفاوت محسوسی با نمودار تسمه ساده ندارد. تغییر طول در این حالت ۲۲/۸۷ درصد گزارش گردید و بیشینه نیرو در این نمونه ۱۳۷/۰۳ کیلو نیوتن می باشد که این آزمایش ۲۲۰ ثانیه زمان برد. در آزمایش تسمه ای که دندانها توسط جوش ایجاد گردیدند، جوشکاری باعث ایجاد نقطه ضعف در تسمه گردید و تسمه در همین محل گسیخته شده است. در این حالت تغییر طول ۱۰/۷۷ درصد (کرنش کمتر) و بیشینه نیرو ۱۳۸/۸ کیلو نیوتن گزارش گردید و ملاحظه می گردد کرنش کمتری نسبت به حالت قبلی دارد (شکل (۹)).

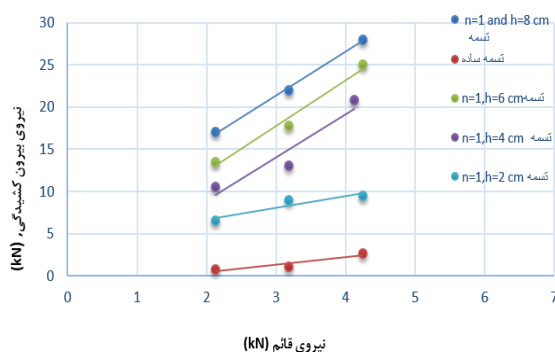
بیرون کشش در قسمت مقاوم خاک حاصل شد. شکل (۱۲) عملکرد تسمه با یک برش گیر، ارتفاع‌های گوناگون و نیروهای نرمال قائم متفاوت را نشان می‌دهد. همان گونه که از نتایج مشهود است نرخ رشد نیروی کششی به طور چشم‌گیری با اضافه نمودن برش گیر بر روی تسمه‌ها افزایش یافت اما این نرخ رشد در تسمه با ارتفاع ۴، ۶ و ۸ سانتی متر ثابت بوده است.



شکل ۱۰- عملکردهای تسمه نوارهای دندانه‌دار و نوارهای ساده



شکل ۱۱- عملکرد نوارهایی با چهار عامل مهار



شکل ۱۲- عملکرد نوارهایی با یک برش گیر و نیروهای نرمال قائم متفاوت

$$P_R = 2f_b \times L_R \times \sigma_n \times \tan \phi \quad (5)$$

P_R : حداکثر ظرفیت بیرون کشش (kN/m)

f_b : ضریب اندرکنش خاک (بدون بُعد)

L_R : طول مؤثر تسمه فولادی (m)

σ_n : تنش نرمال قائم (kN/m²)

ϕ : زاویه اصطکاک داخلی ماسه

تحت تنش نرمال ۱۰۰ کیلوپاسکال، ضریب اندرکنش به ترتیب در محدوده ۰/۳۷۷ تا ۶/۳۲۹ برای تسمه نوار ساده به عنوان کم-ترین و برای تسمه با ۴ برش گیر و عمق ۸ سانتی متر به عنوان بیشترین مقدار بوده است. در کلیه آزمایش‌ها زاویه اصطکاک داخلی خاک ۳۹ درجه در نظر گرفته شده است.

با توجه به نتایج مشخص گردید که ظرفیت بیرون کشش یک تسمه نوار فلزی با افزایش عمق برش گیرها و تعداد آنها، بالا می‌رود. همان طور که در شکل (۱۰) نشان داده شده، برش گیرها مقداری مقاومت به تسمه نوار اضافه نموده‌اند. به نظر می‌رسد که برش گیرهای زیر و روی نوار، اصطکاک را به ترتیب در بالا و زیر نوار افزایش داده‌اند. در این حالت، سطح لغزش از سطح مشترک تسمه- خاک به سطح مشترک خاک- خاک تغییر یافته است. روند و نتایج مشابهی را می‌توان از آزمایش‌ها یک، دو، سه و چهار زبانه برشی مشاهده کرد که برخی از آنها در شکل (۱۱) نشان داده شده است. اگرچه در تسمه فلزی که شامل یک یا دو زبانه برشی هستند، با تغییر ارتفاع زبانه از ۶ سانتی متر به ۸ سانتی متر نرخ افزایش ظرفیت بیرون کشش مشاهده می‌گردد اما چشم گیر نمی‌باشد. این چشم گیر نبودن می‌تواند مربوط به هر اختلالی در مقاومت ژئوتکنیک (صفحه‌ای خاک) ماسه یا مقاومت سازه‌ای تسمه را نشان دهد. تغییر شکل پلاستیک مربوط به نمونه تک زبانه با ۸ سانتی متری در شکل (۱۳) نشان داده شده که می‌تواند ناشی از گسیختگی سازه‌ای تسمه باشد. بنابراین در این حالت احتمال گسیختگی سازه‌ای در برش گیر بیشتر از گسیختگی صفحه‌ای در ماسه می‌باشد. به نظر می‌رسد که وجود چند زبانه برشی در یک تسمه، باعث ایجاد سطوح گسیختگی مشابه که با یکدیگر هم پوشانی داشته و در نتیجه موجب کاهش میزان بار متناسب با هر برش گیر شده است. تعداد کم برش گیرها در تسمه‌های با ارتفاع بلند باعث می‌شد که هر زبانه بار خیلی زیادی بیرون کشش را تحمل کند و از طرفی تولید و ساخت تعداد بالای برش گیر روی یک تسمه هزینه بر بود. بنابراین جهت انتخاب تعداد و فاصله بهینه‌ای برش گیرها ۲۶/۶۷ سانتی متر بر روی تسمه نوار انتخاب گردید که در این حالت ظرفیت کشش به حداکثر میزان خود می‌رسد. در حالت بهینه گوه گسیختگی تحت تأثیر زبانه‌ها بر هم هم پوشانی نداشتند و حداکثر ظرفیت

با این اوصاف برای هر ارتفاع مشخص از زبانه برشی، نرخ افزایش ظرفیت بیرون کشش نمونه‌ها با تغییر تعداد برش گیر از یک به دو در کمترین مقدار در مقایسه با نرخ افزایش ظرفیت بیرون کشش نسبت به افزودن تعداد برش گیرها از دو به سه و از سه به چهار نتیجه گردید.

۳-۳- نتایج برنامه‌نویسی عبارات ژنتیکی

با توجه به پارامترهای مؤثر بر نیروی بیرون کشش که منجر به ارائه مدل گردید، در این قسمت با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و استفاده از روش برنامه‌نویسی عبارات ژنتیکی (GEP) برای مدل ارائه شده که عوامل مختلفی را در برآورد نیروی بیرون کشش مؤثر می‌دانند، رابطه‌ای ارائه می‌شود. برای مدل سازی روش GEP از ۷۰ درصد داده‌های آزمایشگاهی به عنوان داده‌های آموزش استفاده می‌شود و برای بررسی صحت روش GEP ساخته شده از ۳۰ درصد دیگر داده‌های آزمایشگاهی (که در آموزش مدل GEP مدل نقشی نداشته‌اند) به عنوان داده‌های آزمایش استفاده می‌کنیم. همچنین در انتها به منظور بررسی دقت روش برنامه‌نویسی عبارات ژنتیکی (GEP) ساخته شده از چهار شاخص آماری RMSE^{۱۵} و MAPE^{۱۶} و SI و R^۲ استفاده شده است، که این شاخص‌ها از روابط (۶) تا (۹) زیر محاسبه می‌شوند:

$$MARE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{x_i} \quad (6)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (7)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (8)$$

$$SI = \frac{RMSE}{\bar{x}} \quad (9)$$

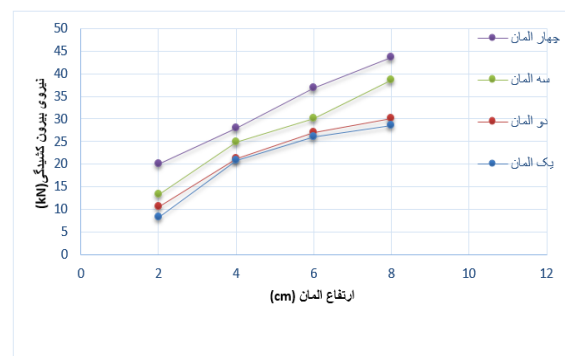
x_i و y_i مقادیر به ترتیب مقادیر مدل شده و واقعی نیروی بیرون کشش هستند. $\bar{x}$ و $\bar{y}$ به ترتیب مقادیر مدل شده متوسط و واقعی متوسط نیروی بیرون کشیدگی هستند.

جدول (۶) نتایج مدل GEP و مدل آزمایشگاهی را در داده‌های آموزش و داده‌های آزمایش را با استفاده از شاخص آماری، نشان می‌دهد. شاخص MAPE اختلاف مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی را به صورت درصدی از مقادیر واقعی نشان می‌دهد. در این مقایسه میانگین خطای نسبی MAPE برای داده‌های آموزش ۱۱/۱۸ درصد و برای داده‌های تست ۹/۵۴

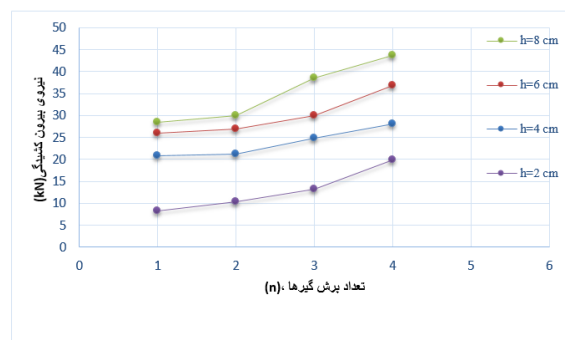


شکل ۱۳- تغییر شکل پلاستیک تسه فلزی نمونه ۱۶

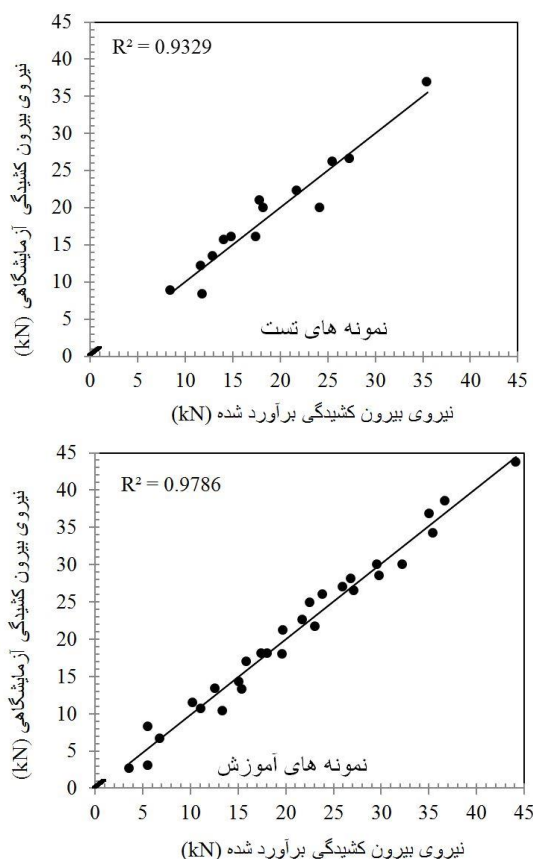
همان‌طور که در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) نشان داده شده، ظرفیت بیرون کشش یک نوار تسه با افزایش تعداد برش گیرها و ارتفاع ثابت برش گیر افزایش یافته است. تأثیرات عمق و تعداد برش گیر مورد بررسی قرار گرفتند و مشخص شد افزایش ارتفاع برش گیر اثر بیشتری نسبت به اضافه نمودن برش گیرها داشت.



شکل ۱۴- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی با تغییر در تعداد المان‌ها در ارتفاع‌های متفاوت



شکل ۱۵- تغییرات نیروی بیرون کشیدگی با تغییر در ارتفاع (عمق) برش گیر با تعداد متفاوت برش گیر



شکل ۱۶- مقایسه نیروی بیرون کشیدگی برآورد شده با نتایج آزمایشگاهی در حالت آموزش و تست

۳-۴- نتایج آزمایش برش مستقیم

در ادامه این پژوهش، آزمایش برش مستقیم بروی سطح تماس ماسه- ورق گالوانیزه، بدون استفاده از زبانه برشی و حالتی که ورق گالوانیزه با اضافه نمودن یک، دو و سه زبانه برش گیر به ارتفاع های ۴، ۶ و ۸ سانتی متری ساخته شد و آزمایش تحت سه سربار ۱۰، ۲۰ و ۴۰ کیلو پاسکال انجام گرفت و نتایج بحرانی ترین سربار یعنی ۴۰ کیلو پاسکال به صورت شکل های (۱۷)، (۱۸) و (۱۹) و جدول (۷) ارائه شده است.

با توجه به نتایج حاصله برای ارتفاع های ۴، ۶ و ۸ میلی متر و یک المان برش گیر به ترتیب زوایای اصطکاک داخلی معادل (۵)، (۱۱/۶۸، ۱۲/۶۶، ۱۴/۶۸) درجه محاسبه گردید. در مرحله بعد دوزبانه برش گیر به ورق گالوانیزه با ارتفاع های مشابه با حالت تک زبانه اضافه گردید و به ترتیب نتایج زوایای اصطکاک داخلی معادل (۵)، (۸/۲۶، ۹/۷۲ و ۸/۹۹) درجه حاصل گردید. نهایتاً سه برش گیر به ورق گالوانیزه با ارتفاع های مشابه با حالت تک برش گیر اضافه گردید و به ترتیب نتایج زوایای اصطکاک داخلی معادل (۵) (۱۸/۵۴، ۲۱/۴۶ و ۹/۳۴) درجه محاسبه گردید. خلاصه نتایج در جدول (۶) ارائه گردیده است.

درصد به دست آمده است. شکل (۱۶) مقایسه بین نتایج مدل GEP و مدل آزمایشگاهی و همچنین پراکندگی داده ها را در حالت آموزش و تست نشان می دهد. همان طور که می دانیم شاخص آماری R^2 نتایج وابستگی خطی بین مقدار برآورد شده و مقدار واقعی را بیان می کند و شدیداً به نقاط پرت حساس است و هر چقدر مقدار شاخص آماری R^2 به عدد یک نزدیک تر باشد اختلاف بین مقادیر واقعی و مقادیر برآورد شده (توسط روش GEP) کمتر بوده در نتیجه دقت روش GEP در برآورد نیروی بیرون کشیدگی بیشتر است. با توجه به جدول (۵) و شکل (۱۶) شاخص آماری R^2 برای حالت های آموزش و تست به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۹۳ به دست آمده است که نشان دهنده دقت نسبتاً خوب روش GEP در برآورد نیروی بیرون کشیدگی می باشد. شاخص های RMSE و SI که مقدار ریشه مربعات خطا را در نظر می گیرند، با در نظر گرفتن وزن بیشتر برای خطاهای بزرگ، دقت برآورد مدل را ارائه می دهند. هر چه مقدار این دو شاخص به صفر نزدیک تر باشد نشان دهنده دقت بالاتر مدل است بنابراین با توجه به جدول (۵) و شکل (۱۶)، مطابقت خوب بین نتایج مدل GEP و نتایج مدل آزمایشگاهی مشاهده می شود. در جدول، مقدار RMSE برای داده های آموزش ۱/۳۳ و برای داده های آزمایش ۱/۴۸ می باشد.

جدول ۶- شاخص های آماری برای حالت آموزش و آزمایش

	SI	R^2	RMSE	MAPE (%)
داده آموزش	۰/۰۶۳	۰/۹۷	۱/۳۳	۱۱/۱۸
داده تست	۰/۰۷۹	۰/۹۳	۱/۴۸	۹/۵۴

بنابراین با توجه به توضیحات ارائه شده می توان گفت که پارامترهای ارتفاع المان ها (h)، تعداد برش گیرها (n)، میزان سربار وارده (p)، تنش نرمال نقش بسزایی در برآورد نیروی بیرون کشش دارند و در نظر نگرفتن هر یک از آن ها سبب کاهش قابل توجه دقت برآورد مدل می شود. در ادامه رابطه به دست آمده با استفاده از پارامترهای استفاده شده در ارائه مدل که در جدول (۳) آمده است، به شکل زیر بیان می شود:

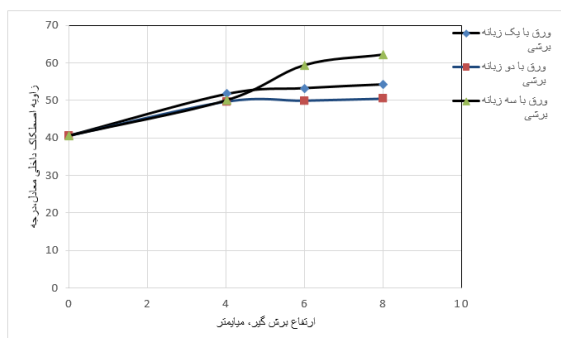
$$F = [h \times n \times ((n + h)^2) \times (p^{0.5})] + \left[\left(n + \left[(p^2 - 9.585816) \times (h^{0.5})^2 \right]^{0.5} \right) + [h + n + p - 0.15237 \times p - (h \times (-2.798554)) \times (-0.15234 + \text{normal stress})] \right] \quad (9)$$

در رابطه فوق، F نیروی بیرون کشش، h ارتفاع المان ها، n تعداد برش گیرها، p سربار وارد شده است.

جدول ۷- نتایج زاویه اصطکاک معادل سطوح تماس مشترک در

آزمایش برش مستقیم		
شماره	نمونه	ϕ و δ
۱	ماسه با تراکم نسبی $Dr=45\%$	$\phi=38/88^\circ$
۲	ماسه خشک با تراکم نسبی $Dr=90\%$	$\phi=45/03^\circ$
۳	$PI_{90} \times 90 \times 0/5$	$\delta=40/65^\circ$
۴	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 1 PI_{90} \times 4 \times 0/5$	$\delta=51/71^\circ$
۵	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 1 PI_{90} \times 6 \times 0/5$	$\delta=53/31^\circ$
۶	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 1 PI_{90} \times 8 \times 0/5$	$\delta=54/34^\circ$
۷	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 2 PI_{90} \times 4 \times 0/5$	$\delta=49/64^\circ$
۸	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 2 PI_{90} \times 6 \times 0/5$	$\delta=49/91^\circ$
۹	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 2 PI_{90} \times 8 \times 0/5$	$\delta=50/43^\circ$
۱۰	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 3 PI_{90} \times 4 \times 0/5$	$\delta=49/99^\circ$
۱۱	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 3 PI_{90} \times 6 \times 0/5$	$\delta=59/23^\circ$
۱۲	$PI_{90} \times 90 \times 0/5 + 3 PI_{90} \times 8 \times 0/5$	$\delta=62/11^\circ$

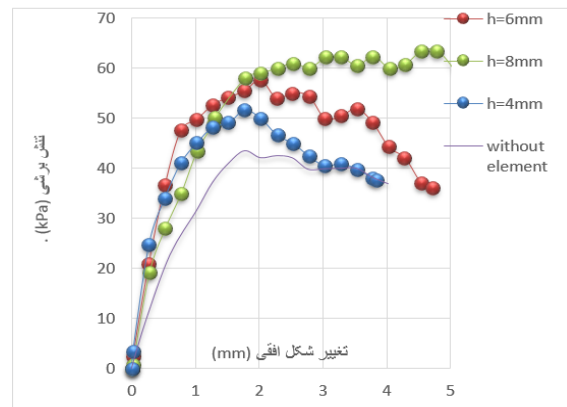
شکل (۲۰) اثر ارتفاع المان‌ها را بر زاویه اصطکاک و با در نظر گرفتن تعداد المان‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد المان‌هایی با ارتفاع ۸ میلی‌متر بیش‌ترین نرخ رشد را در زاویه اصطکاک داخلی معادل (δ) را داشتند و زمانی که تعداد المان‌ها بیشتر می‌شد افزایش چشم‌گیری مشاهده نگردید که دلیل آن برخورد و هم‌پوشانی سطوح گسیختگی و اثرات آن‌ها بر همدیگر می‌باشد که در مورد نمونه با دو برش‌گیر یا المان مشهودتر می‌باشد و به‌عبارتی فاصله ۳ سانتی‌متر در ورق‌هایی با دو برش‌گیر بهینه و مناسب نبوده و زاویه اصطکاک داخلی معادل نسبت به سایر موارد افزایشی نداشت.



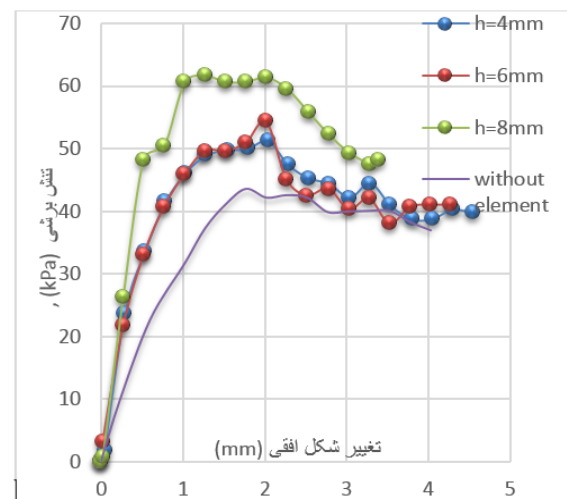
شکل ۲۰- اثر ارتفاع المان بر زاویه اصطکاک داخلی معادل با تعداد متفاوت برش‌گیرها

۳-۵- مدل‌سازی عددی

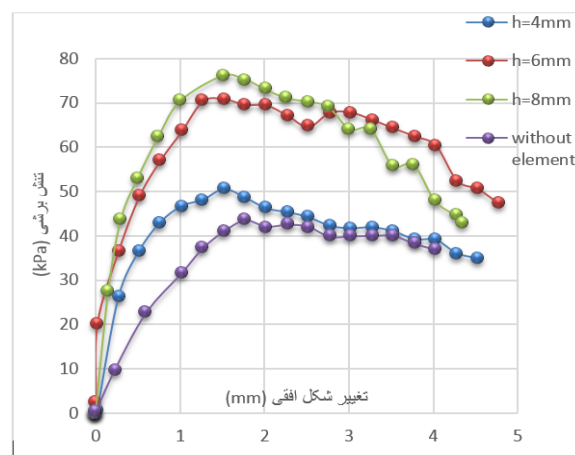
شکل (۲۱) خروجی مدلی از آزمایش بیرون‌کشش به‌همراه تسمه ساده متعارف و سربار ۱۰۰ کیلوپاسکال می‌باشد که از نرم‌افزار اجزای محدود Plaxis 2D گرفته شد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌گردد تنش به‌صورت متقارن در تسمه ایجاد شده است.



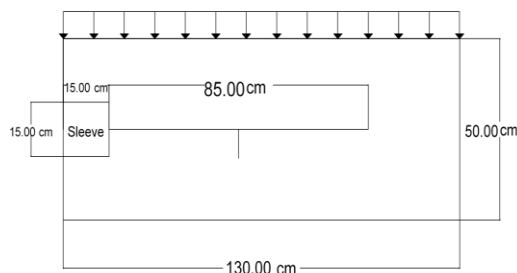
شکل ۱۷- یک مبنای مقایسه‌ای منحنی تنش تغییر مکان خاک- ورق به‌همراه یک‌زبانه برشی و ارتفاع‌های متفاوت $\sigma = 40 \text{ kPa}$



شکل ۱۸- یک مبنای مقایسه‌ای منحنی تنش تغییر مکان خاک- ورق به‌همراه دوزبانه برشی و ارتفاع‌های متفاوت به‌ازای $\sigma = 40 \text{ kPa}$



شکل ۱۹- یک مبنای مقایسه‌ای منحنی تنش تغییر مکان خاک- ورق به‌همراه سه‌زبانه برشی و ارتفاع‌های متفاوت به‌ازای $\sigma = 40 \text{ kPa}$



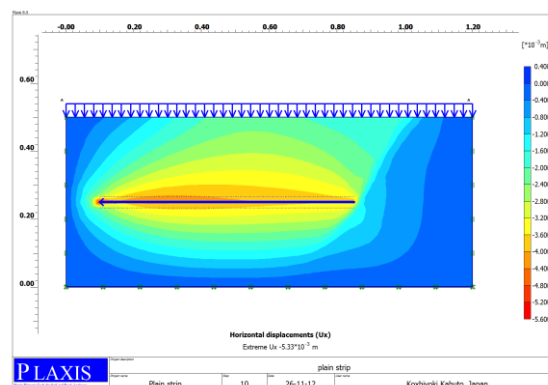
شکل ۲۳- ابعاد جعبه بیرون کشش به همراه یک تسمه با ارتفاع ۸ سانتی متر

نتایج نشان می دهد که تغییر شکل المان اضافه شده به تسمه بسیار شبیه تغییر شکل ایجاد شده در آزمایشگاه می باشد. ابعاد مدل سازی در شکل (۲۳) ارائه شده است.

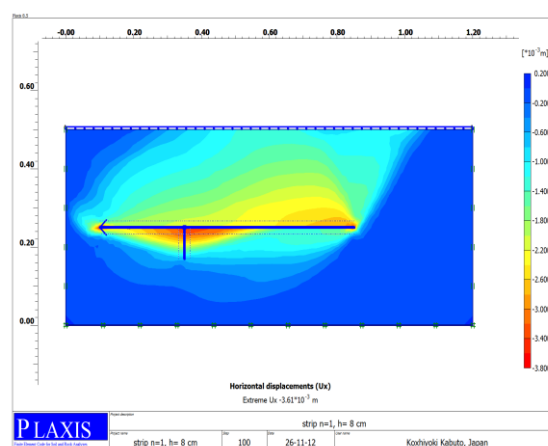
۴- نتیجه گیری

هدف این پژوهش، ارزیابی ظرفیت بیرون کشش تسمه فلزی خاک با برش گیر بوده است که به صورت عرضی به تسمه متصل می گردند. با برش گیرهایی که به تسمه ها اضافه شدند، مشخص گردید که ظرفیت های بیرون کشش به طور کلی با افزایش روبرو شده اند. اضافه کردن ارتفاع برش گیرها و تعداد آنها، هردو ظرفیت های کشش را افزایش داده اند، اما نرخ بالاتر افزایش ظرفیت با تغییر ارتفاع ممکن می گردد در حالی که با افزایش تعداد برش گیرها نرخ افزایش ظرفیت کمتری حاصل گردید. زمانی که از تعداد کمتری برش گیرها استفاده گردید جهت حصول مقاومت مکفی افزایش ارتفاع اعمال گردید اما در سوی دیگر در افزایش ارتفاع محدودیت وجود داشت. زمانی که ارتفاع با یک نسبت اضافه شد اما ظرفیت بیرون کشش با همان نسبت افزایش نیافت، این قضیه به علت تسلیم سازه های برش گیر بوده و گسیختگی خاک رخ نداده است. در آزمایش های بیرون کشش زمانی ظرفیت بیرون کشش به بیش ترین مقدار خود می رسد که تسمه دارای ۴ زبانه برشی و فاصله بهینه بین زبانه های برشی در حدود ۲۶/۶۷ سانتی متر و ارتفاع آنها ۸ سانتی متر می باشد. نتایج حاکی از این است که در یک پروژه خاکی مسلح که با مسلح کننده ها تثبیت شده، طول های مؤثر تسمه ها می تواند با اتصال برش گیر به تسمه کاهش یابند. همچنین مشخص گردید که برش گیرها نقش بسیار مهمی را در بالا بردن ظرفیت بیرون کشش یک تسمه دارند. بنابراین دستیابی به ظرفیت بیرون کشش مورد نیاز با کوتاه کردن تسمه امکان پذیر می شود. همچنین از تست های کششی تسمه ها مشخص گردید که جوشکاری ناشی از اتصال برش گیرها بر روی تسمه ها، خللی بر ظرفیت بیرون کشش تسمه ایجاد نکرد. نتایج این پژوهش راه حلی را برای رفع مشکلات مربوط به ساخت یک پروژه خاک مسلح را

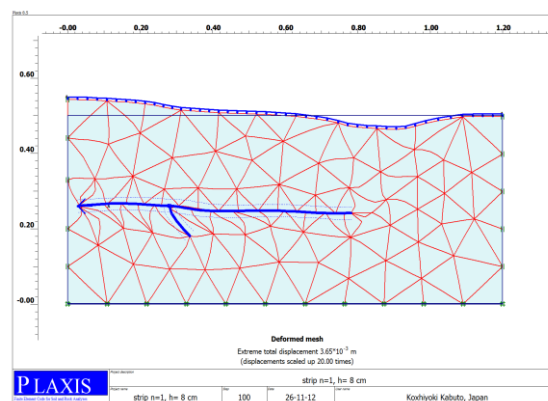
باید توجه داشت که با توجه به عرض تسمه و جعبه آزمایش، شرایط کرنش مسطح کامل نمی باشد. شکل های (۲۲-الف) و (۲۲-ب) مدل دیگری از تسمه با یک زبانه برشی ۸ سانتی متری تحت سربار ۱۰۰ کیلو پاسکال را به همراه مش بندی و کانتور تنش های ایجاد شده ارائه می نماید.



شکل ۲۱- مدل اجزای محدود تسمه ساده تحت سربار ۱۰۰ کیلو پاسکال



(الف)



(ب)

شکل ۲۲- مدل تغییر شکل یافته اجزای محدود تسمه با یک المان ۸ سانتی متری تحت سربار ۱۰۰ کیلو پاسکال

- International, West Conshohochen, PA. www.astm.org, 2007b.
- Balunaini U, Prezzi M, "Interaction of ribbed-metal-strip reinforcement with tire shred-sand mixtures", *Geotechnical and Geological Engineering*, 2010, 28 (2), 147-163.
- Bathurst RJ, Allen TM, Walters DL, "Reinforcement loads in geosynthetic walls and the case for a new working stress design method", *Geotextiles and Geomembranes*, 2005, 23 (4), 287-322.
- Bergado DT, Teerawattanasuk C, "2D and 3D numerical simulations of reinforced embankments on soft ground", *Geotextiles and Geomembranes*, 2008, 26 (1), 39-55.
- Chen HT, Hung WY, Chang CC, Chen YJ, Lee CJ, "Centrifuge modeling test of a geotextile-reinforced wall with a very wet clayey backfill", *Geotextiles and Geomembranes*, 2007, 25 (6), 346-359.
- Esfandiari J, Selamat MR, "Laboratory investigation on the effect of transverse member on pull out capacity of metal strip reinforcement in sand", *Geotextiles and Geomembranes*, 2012, 35, 41-49.
- Ferreira C, "Gene Expression Programming: A New Adaptive Algorithm for Solving Problems", *Complex Systems*, 2001, 13 (2), 87-129.
- Ferreira C, "Gene Expression Programming: Mathematical Modeling by an Artificial Intelligence", 2nd Edition, Springer-Verlag, Germany. 2006.
- Goodhue MJ, Edil TB, Benson CH, "Interaction of foundry sands with geosynthetics", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2001, 127 (4), 353-362.
- Gurung N, "1-D analytical solution for extensible and inextensible soil/rock reinforcement in pull-out tests", *Geotextiles and Geomembranes*, 2001, 19 (4), 195-212.
- Haeri SM, Noorzad R, Oskoorouchi AM, "Effect of geotextile reinforcement on the mechanical behavior of sand", *Geotextiles and Geomembranes*, 2000, 18 (6), 385-402.
- Handy RL, "Discussion: Prediction of Field Behavior of Reinforced Soil Wall Using Advanced Constitutive Model", *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 2007, 133 (1), 121-123.
- Jewell R, "Reinforcement bond capacity", *Geotechnique*, 1990, 40 (3), 513-518.
- Khedkar MS, Mandal JN, "Pullout behaviour of cellular reinforcements", *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, 27 (4), 262-271.
- Koza JR, "Genetic programming: On the programming of computers by means of natural selection", MIT Press, Cambridge, MA, 1992.
- Lajevardi SH, Dias D, Racinais J, "Analysis of soil-welded steel mesh reinforcement interface interaction by pull-out tests", *Geotextiles and geomembranes*, 2013, 40, 48-57.
- Li AL, Rowe RK, "Effects of viscous behavior of geosynthetic reinforcement and foundation soils on the performance of reinforced embankments", *Geotextiles and Geomembranes*, 2008, 26 (4), 317-334.
- در پروژه‌های دارای معارض یا فضای ساختمانی محدود ارائه می‌نماید. نتایج آزمایش‌های برش مستقیم بروی ورق‌های گالوانیزه نشان می‌دهد که برش‌گیرهایی با ارتفاع ۸ میلی‌متر بیش‌ترین نرخ رشد را در زاویه اصطکاک داشتند و زمانی که تعداد برش‌گیرها بیشتر می‌شد افزایش چشم‌گیری مشاهده نگردید که دلیل آن برخورد و هم‌پوشانی سطوح گسیختگی و اثرات آن‌ها بر همدیگر می‌باشد. همچنین در این پژوهش مدل اجزای محدود تغییر شکل‌های حاصله از آزمایش را ارائه نمود که تغییر شکل‌های ایجادشده صحت‌سنجی مناسبی با نتایج آزمایشگاه داشت. مدل GEP ارائه‌شده، مقادیر نیروی بیرون‌کشیدگی را با شاخص R^2 برابر با ۰/۹۳ برای حالت صحت‌سنجی مدل (حالت تست) که سایر پارامترهای ژئوتکنیکی خاک در برآورد مدل نقشی نداشته‌اند، ارائه می‌دهد. با توجه به نتایج ارائه‌شده پیشنهاد می‌شود به‌منظور برآورد نیروی بیرون‌کشیدگی از رابطه ارائه‌شده در این مطالعه که با استفاده از GEP ارائه‌شده است (معادله (۱۰)) استفاده شود.
- ### ۵- مراجع
- کریمی س، "بررسی هیدروپیک جریان در کانال‌های انحرافی با استفاده از کدهای محاسباتی "پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رازی، دانشکده فنی و مهندسی، کرمانشاه، ۱۳۹۴.
- ابتهج‌ع، "مطالعه عددی انتقال رسوب در سیستم‌های فاضلاب"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رازی، دانشکده فنی و مهندسی، کرمانشاه، ۱۳۹۳.
- Abdelouhab A, Dias D, Freitag N, "Physical and analytical modelling of geosynthetic strip pull-out behavior", *Geotextiles and Geomembranes*, 2010, 28 (1), 44-53.
- Abdi MR, Sadrnejad A, Arjomand MA, "Strength enhancement of clay by encapsulating geogrids in thin layers of sand", *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, 27 (6), 447-455.
- Abdi MR, Arjomand MA, "Pullout tests conducted on clay reinforced with geogrid encapsulated in thin layers of sand", *Geotextiles and Geomembranes*, 2011, 29 (6), 588-595.
- Alfaro MC, Miura N, Bergado DT, "Soil-geogrid reinforcement interaction by pullout and direct shear tests", *Geotechnical Testing Journal (ASTM)*, 1995, 18 (2), 157-67.
- ASTM D2487-11, "Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System (USCS))", ASTM International, West Conshohochen, PA. www.astm.org, 2007a.
- ASTM D3080, "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions", ASTM International, West Conshohochen, PA. www.astm.org, 2004.
- ASTM D698-07e1, "Standard Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12400 ft-lb/ft³ (600KN-M/m³))", ASTM

- Zhang MX, Zhou H, Javadi AA, Wang ZW, "Experimental and theoretical investigation of strength of soil reinforced with multi-layer horizontal-vertical orthogonal elements", *Geotextiles and Geomembranes*, 2008, 26 (1), 1-13.
- Zhou WH, Yin JH, Hong CY, "Finite element modelling of pullout testing on a soil nail in a pullout box under different overburden and grouting pressures", *Canadian Geotechnical Journal*, 2011, 48 (4), 557-567.
- Moraci N, Cardile G, "Deformative behaviour of different geogrids embedded in a granular soil under monotonic and cyclic pullout loads", *Geotextiles and Geomembranes*, 2012, 32, 104-110.
- Nouri H, Fakher A, Jones CJFP, "Development of horizontal slice method for seismic stability analysis of reinforced slopes and walls", *Geotextiles and Geomembranes*, 2006, 24 (3), 175-187.
- Palmeira EM, "Soil-geosynthetic interaction: modelling and analysis", *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, 27 (5), 368-390.
- Palmeira EM, Palmeira GWE, "Large scale direct shear tests on reinforced soil", *Soils and Foundations, Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, 1989, 29 (1), 18-30.
- Panah AK, Yazdi M, Ghalandarzadeh A, "Shaking table tests on soil retaining walls reinforced by polymeric strips", *Geotextiles and Geomembranes*, 2015, 43 (2), 148-161.
- Potyondy JG, "Skin friction between various soils and construction materials", *Geotechnique*, 1961, 11 (4), 339-353.
- Racana N, Grédiac M, Gourves R, "Pull-out response of corrugated geotextile strips", *Geotextiles and Geomembranes*, 2003, 21 (5), 265-288.
- Sieira ACC, Gerscovich DM, Sayão AS, "Displacement and load transfer mechanisms of geogrids under pullout condition", *Geotextiles and Geomembranes*, 2009, 27 (4), 241-253.
- Skinner GD, Rowe RK, "A novel approach to the bearing capacity stability of geosynthetic reinforced retaining walls constructed on yielding foundations", *Canadian Geotechnical Journal*, 2005b, 42 (3), 763-779.
- Skinner GD, Rowe RK, "Design and behaviour of a geosynthetic reinforced retaining wall and bridge abutment on a yielding foundation", *Geotextiles and Geomembranes*, 2005, 23 (3), 234-260.
- Subaida EA, Chandrakaran S, Sankar N, "Experimental investigations on tensile and pullout behaviour of woven coir geotextiles", *Geotextiles and Geomembranes*, 2008, 26 (5), 384-392.
- Sugimoto M, Alagiyawanna AMN, "Pullout behavior of geogrid by test and numerical analysis", *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, 2003, 129 (4), 361-371.
- Sukmak K, Han J, Sukmak P, Horpibulsuk S, "Numerical parametric study on behavior of bearing reinforcement earth walls with different backfill material properties", 2016.
- Sukmak K, Sukmak P, Horpibulsuk S, Han J, Shen S L, Arulrajah A, "Effect of fine content on the pullout resistance mechanism of bearing reinforcement embedded in cohesive-frictional soils", *Geotextiles and Geomembranes*, 2015, 43 (2), 107-117.
- Varuso RJ, Grieshaber JB, Nataraj MS, "Geosynthetic reinforced levee test section on soft normally consolidated clays", *Geotextiles and Geomembranes*, 2005, 23 (4), 362-383.
- Yin G, Wei Z, Wang JG, Wan L, Shen L, "Interaction characteristics of geosynthetics with fine tailings in pullout test", *Geosynthetics International*, 2008, 15 (6), 428-436.

EXTENDED ABSTRACT

Numerical and Experimental Study of the Interaction between Strip Contact Surfaces with New Geometry and Sandy Soils and Investigation by GEP Method

Javad Esfandiari *

Department of civil engineering, kermanshah branch, Islamic Azad University, Kermanshah, Iran

Received: 01 Jun 2020; **Accepted:** 30 January 2021

Keywords:

Pull out test, Direct shear test, FEM, Plaxis 2D, GEP Method.

1. Introduction

In this study, to study the interaction of soil and strip in the passive and active zone, pull out experiments, direct shear test and numerical modeling of finite elements were performed. The expected results of this study saved the strip. Also, using genetic expression programming (GEP), new design criteria for soil stabilization in narrow and conflicting building spaces were extracted to estimate the pull out force.

2. Methodology

2.1. Experimental study

In this research, sieve analysis gradation, density test, tensile test, pull out test and direct shear tests were performed on soil, strips and galvanized sheets respectively.

2.2. Genetic Expression Programming (GEP)

The proposed GEP model presents the values of pull out force with R2 index equal to 0.93 for the model validation mode (test mode) whose parameters did not play a role in estimating the model. Therefore, according to the presented results, it is suggested to use the relation presented in this study, which is presented using GEP, in order to estimate the pull out force.

2.3. FE modeling

The FEM-based software package, Plaxis 2D, was used for the numerical modeling and analysis. After examining the optimal distance in Plaxis 2D finite element software, numerical studies were performed by finite element software to investigate the interaction and deformation of metal strips.

* Corresponding Author

E-mail addresses: j.esfandiari@iauksh.ac.ir (Javad Esfandiari).

3. Results and discussion

3.1. Effect of shearing element on the pull out capacity of strip

When height of elements made variable, the results generally show that taller shear elements have caused increased pull out capacities. As the results indicated the ribs have helped increase pull out capacity. Ribs on both sides of strips appeared to have caused increased friction on both sides of strip. The slip surface appeared to have shifted from strip-soil interface to soil-soil interface. Results showed increment in pull out capacities due to taller elements. The plastic deformation associated with Sample involving one shearing element and 8 cm height is shown in Fig. 1.



Fig. 1. Plastic deformation after pull out test

3.2. Genetic Expression Programming (GEP)

According to the presented results, it is suggested to use the relation (Eq.10) in this study, which is presented using GEP, in order to estimate the extraction force.

$$F = [h \times n \left[\frac{1}{2} \times (n + h)^2 \times (p \cdot 0.5) \right] + \left[(n + \left[\frac{1}{2} \times ((p^2 - 9.585816) \times (h \cdot 0.5))^2 \right] \cdot 0.5) + [h + n + p \cdot 0.15237 \times p - (h \times (-2.798554)) \times (-0.15234 + \text{normal stress})] \right] \quad (10)$$

3.3. Finite Element Modelling Results

Fig. 2 is an output of a pull out test with a conventional plain strip and a 100 kPa normal stress from Plaxis 2D finite element software. As shown in the figure, the pull out is created symmetrically in the strip. It should be noted that due to the width of the strip and the test box, the flat strain conditions are not perfect. Fig. 3 (a-b) show another model of strip with an 8 cm shear element under 100 kPa normal stress with mesh and contour of the stresses created. The results show that the deformation of the element added to the strip is very similar to the deformation created in the laboratory.

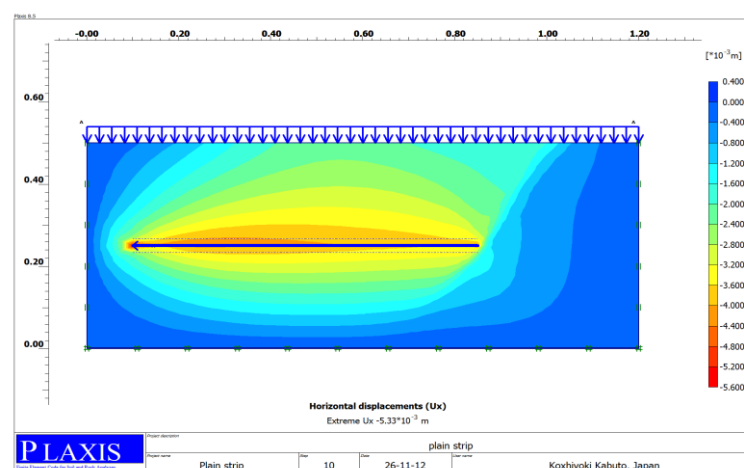


Fig. 2. Plain Strip with 100kPa normal stress

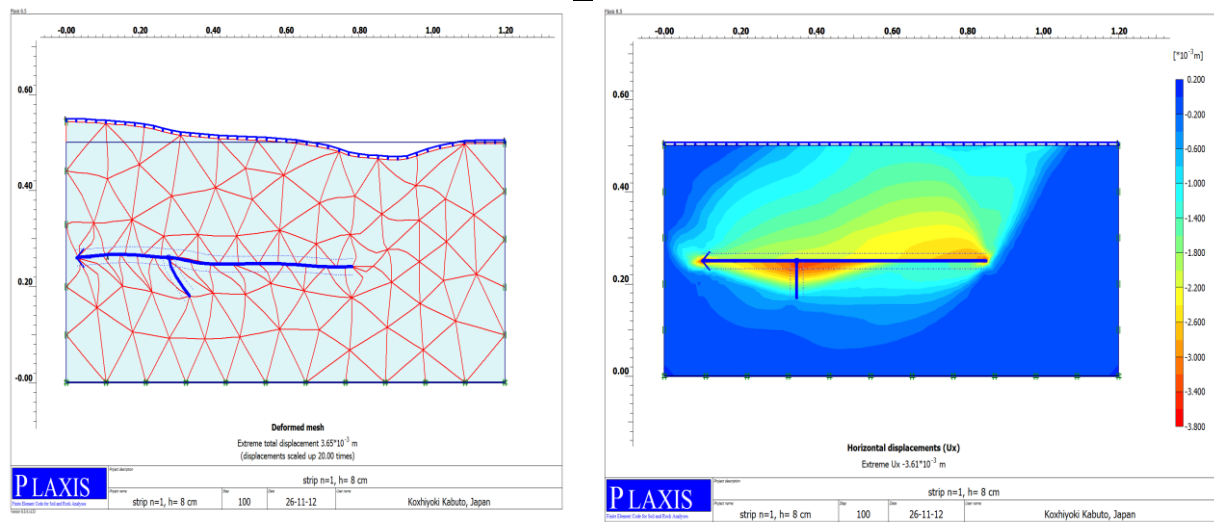


Fig. 3. Strip with one shear element and 8 cm height under 100kPa normal stress

4. Conclusions

The results of this study provide a solution to the problems related to the construction of a reinforced soil project in projects with opposition or limited construction space. The results of direct shear tests on galvanized sheets show that shear element with a height of 8 mm had the highest growth rate in the friction angle and when the number of shear element increased, no significant increase was observed due to the collision and overlap of failure surfaces and their effects on each other. Also, in this study, a finite element model presented of the deformations obtained from the experiment, which had a suitable validity of the created deformations with the laboratory results. The proposed GEP model provides pull out force values with an R2 index of 0.93 for the correct modeling mode (tested mode) whose parameters are not in the ideal drawing model. According to the presented results, Equation 10 can be used for finding pull out capacity of strip.

5. References

- ASTM D2487-11, "Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System (USCS))", ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org, 2007a.
- ASTM D3080, "Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils under Consolidated Drained Conditions", ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org, 2004.
- ASTM D698-07e1, "Standard Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort (12400 ft-lb/ft³ (600KN-M/m³))", ASTM International, West Conshohocken, PA. www.astm.org, 2007a.