

طراحی و ساخت دستگاه آزمایش بیرون کشش سیکلی ژئوگرید

آرش نیری^۱، کاظم فخاریان^۲

چکیده

در این مقاله دستگاه آزمایش بیرون کشش ژئوگریدها که برای اولین بار در ایران بطور کامل طراحی و ساخته شده، معرفی می‌گردد. این دستگاه توانایی اعمال بارهای استاتیکی و سیکلی در شرایط کنترل بار و کنترل تغییر مکان، با فرکانس و اشکال مختلف موج دینامیکی را دارا است. علاوه بر تشریح مشخصات فنی دستگاه و آماده سازی نمونه، خلاصه‌های از نتایج آزمایش‌های پایه برای نمایش قابلیت‌های عملکردی دستگاه ارائه شده‌است. در این مطالعه اثر تنش قائم، تراکم نسبی خاک و مسیرهای مختلف بارگذاری بر توزیع تغییر مکانها و مقاومت بیرون کشش ژئوگرید یک سویه پلیمری مدفون در ماسه سیلیسی، در آزمایش‌های استاتیکی و سیکلی بررسی شده است. با افزایش تنش قائم و تراکم نسبی ماسه، مقاومت بیرون کشش استاتیکی افزایش می‌یابد. در آزمایش سیکلی و در تراکم نسبی پایین، افزایش مقاومت و با افزایش تراکم نسبی و تنش قائم، کاهش مقاومت بیرون کشش دیده شده، ولی این رفتار در آزمایش‌های فعلی روند مشخصی ندارد.

کلمات کلیدی

جعبه بیرون کشش، ماسه سیلیسی، ژئوگرید یک سویه، مقاومت بیرون کشش، بارگذاری استاتیکی، بارگذاری سیکلی.

Design and Development of Cyclic Pullout Test Apparatus

ABSTRACT

This paper presents a recently developed automated pullout apparatus for soil-geogrid strength and deformation behavior investigation. The new apparatus is capable of applying load/displacement controlled monotonic/cyclic loads at different rates/frequencies, different wave shapes and loading patterns, through a computer closed-loop system. An extruded uniaxial geogrid and silica sand are used throughout the experiments. The effects of normal pressure (surcharge) and relative density are investigated on displacement distributions and pullout capacity of the geogrid in both monotonic and cyclic tests.

In monotonic tests, it is observed that with increase in relative density and surcharge, pullout resistance has increased. In cyclic tests, despite some minor observations of post-cyclic strength increased, no specific comment can be made at this stage on the post-cyclic strength.

KEYWORDS

Pullout box, Silica Sand, Uniaxial geogrid, Pullout capacity, Static load, cyclic load.

^۱ دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر: Email: arashnayeri@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر: Email: kfakhari@aut.ac.ir



ضریب ۰/۸ را برای کاهش مقاومت بیرون کشش مسلح کننده در قبال بارهای دینامیکی پیشنهاد نمودند [۳].

در تعداد محدودی آزمایش بیرون کشش سیکلی انجام شده، دیده شده است که با افزایش دامنه بارگذاری، تغییرمکانهای نسبی در نزدیک نقطه اعمال بار افزایش یافته و توزیع یکسانی در طول مدفون نمونه ندارد و وقوع گسیختگی بیرون کشش با تجمع کرنشهای جزئی در نمونه همراه است [۸]. در آزمایش بیرون کشش سیکلی بر روی ژئوگریدها، مقدار تغییر مکانهای تجمعی نسبت به تسمه فلزی بیشتر ولی روند افزایش آن حتی در تعداد سیکلهای زیاد نیز منجر به گسیختگی نمونه نشده است [۶]. در مجموع مطالعه بر روی رفتار بیرون کشش ژئوگریدها تحت بارهای سیکلی و تاثیر عوامل مختلف بر آن، در ادبیات فنی این موضوع محدود است.

با توجه به اهمیت انجام مطالعات پایه بر روی رفتار متقابل خاک و مسلح کنندههای پلیمری در شرایط مختلف و نیاز به ارتقاء دانش این موضوع در مهندسی ژئوتکنیک داخل کشور، اقدام به طراحی، ساخت و راه اندازی دستگاه آزمایش بیرون کشش با قابلیت های پیشرفته در اعمال بارهای سیکلی، در آزمایشگاه ژئوتکنیک دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردید. در این راستا، آزمایشهای پایه بر روی ژئوگرید مدفون در ماسه سیلیسی و بررسی عوامل مختلف بر مقاومت بیرون کشش تحت بارگذاریهای استاتیکی و سیکلی با این دستگاه انجام شده است. در این مقاله ضمن معرفی کامل دستگاه بعنوان اولین نوع طراحی شده در داخل کشور، روش آماده سازی نمونه برای انجام آزمایش و بخشی از نتایج آزمایشهای پایه به منظور معرفی عملکرد دستگاه به اختصار ارائه شده است.

۲- مطالعات آزمایشگاهی

۱-۲- دستگاه آزمایش

دستگاه آزمایش طراحی شده متشکل از جعبه بیرون کشش، تجهیزات اعمال نیروی افقی، پایه نگهدارنده جک، بالشتک هوا و سیستم اندازه گیری نیرو-تغییر مکان است.

• جعبه بیرون کشش

بخش اصلی دستگاه که خاک و مسلح کننده در آن قرار می-گیرد، یک جعبه مستطیلی با ابعاد داخلی ۱۲۰۰ میلیمتر طول، ۶۰۰ میلیمتر عرض و ۶۰۰ میلیمتر ارتفاع خالص داخلی است. طراحی ابعاد هندسی جعبه بر اساس ضوابط استاندارد [۲] انجام شده و در رده جعبه های بزرگ مقیاس در تحقیقات بین المللی قرار می-گیرد. بدنه جعبه از ورقهای فولادی رده

در طراحی سازه های خاک مسلح، تامین پایداری داخلی و خارجی توده مسلح شده خاک و کنترل تغییرشکلهای جانبی تحت فشار افقی خاک پشت و سایر سربارهای وارد بر سازه مدنظر است. در روشهای مختلف تحلیل پایداری، بسته به شکل توزیع فشار جانبی خاک و فواصل قائم مسلح کننده ها، مقدار نیروی کششی ایجاد شده در مسلح کننده قابل محاسبه است. یکی از مدهای غالب ناپایداری، وقوع گسیختگی بیرون کشش است که در اثر افزایش نیروی کششی در مسلح کننده به مقداری بیش از مقاومت بیرون کشش آن اتفاق می افتد. در این شرایط با بیرون آمدن مسلح کننده از داخل خاک یا وقوع تغییر مکان زیاد، توده خاک مسلح در آستانه ناپایداری قرار می گیرد، لذا کنترل مقاومت بیرون کشش از معیارهای اصلی در تحلیل پایداری و طراحی این نوع سازه ها است.

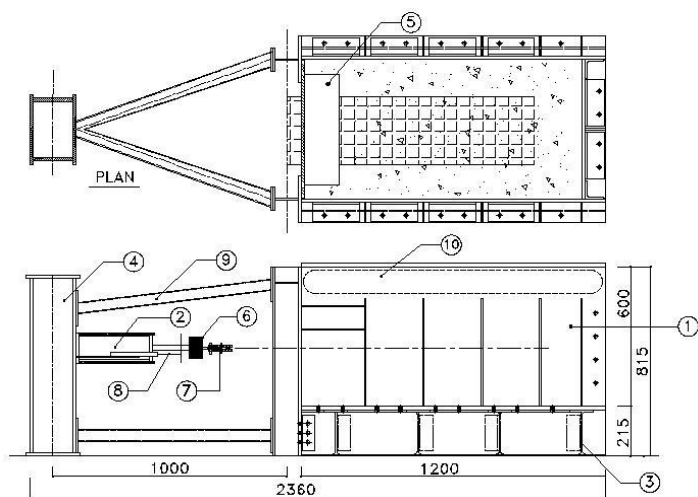
امروزه استفاده از ژئوگریدهای پلیمری از نوع HDPE بعنوان زیرمجموعه ای از خانواده ژئوستنتیکها، کاربرد گسترده ای در اجرای سازه های خاک مسلح دارد. مقاومت بیرون کشش این نوع مسلح کننده شامل دو مؤلفه، یکی مقاومت اصطکاکی خاک با سطح نوارهای طولی و عرضی با خاک و دیگری باربری گوه خاک تشکیل شده در جلو نوارهای عرضی ژئوگرید است.

برای مطالعه رفتار بیرون کشش ژئوگرید از دستگاه آزمایش بیرون کشش استفاده می شود که شامل یک جعبه اصلی، تجهیزات اعمال تنش قائم، تجهیزات اعمال نیروی کشش افقی، گیره و تجهیزات اندازه گیری تغییر مکان نمونه است. جدول (۱) خلاصه ای از مشخصات دستگاههای مورد استفاده در تحقیقات بین المللی را معرفی می کند.

با توجه به تنوع عوامل موثر بر رفتار بیرون کشش ژئوگریدهای مدفون در خاک، تحقیقات مختلفی در این زمینه انجام شده است که بررسی اثر صلبیت و انعطاف پذیری جداره جعبه، اثر تنش قائم، ارتفاع خاک، هندسه مسلح کننده، دانه بندی خاک، عرض غلاف و نوع گیره مسلح کننده و اثر باربری نوارهای طولی و عرضی بر مقاومت بیرون کشش ژئوگریدها، از جمله مطالعات مهم در قالب آزمایشهای استاتیکی بوده اند.

لایه های تسلیح در حین بهره برداری گاه تحت اثر بارهای سیکلی ناشی از عبور ترافیک و قطار، ارتعاش ماشین آلات صنعتی، ضربه ناشی از پهلوگیری شناورها، اثر موج بر شیروانیهای حفاظت شده و یا لرزشهای ناشی از زلزله قرار میگیرند. در غیاب مطالعات جامع آزمایشگاهی، برخی محققان

اصطکاک می‌شوند.



شکل (۱): طرحواره جعبه بیرون‌کشش

- ۱- جعبه اصلی، ۲- جک هیدرولیک، ۳- پایه استقرار، ۴- نگهدارنده جک و لودسل، ۵- غلاف، ۶- لودسل، ۷- گیره، ۸- LVDT، ۹ - بازوهای عکسالعمل، ۱۰- موقعیت بالشتک داخل جعبه



شکل (۲): نمای عمومی دستگاه بیرون‌کشش

گیره نمونه از دو ورق فولادی به ابعاد 10×10 میلی‌متر طراحی شده که مسلح کننده بین آنها قرار می‌گیرد، ورق‌ها بهم پیچ شده و از یک سمت مطابق شکل (۴) به تجهیزات اعمال نیروی کششی متصل می‌شوند. عملکرد گیره، اعمال یکنواخت تنش کششی در محل اعمال نیرو به ژئوگرید است.

• اعمال نیروی کشش افقی

نیروی کشش افقی از طریق جک هیدرولیک با ظرفیت ۵۰ کیلونیوتن و طول شفت ۱۰۰ میلی‌متر اعمال شده و توسط یک لودسل در حدفاصل جک و گیره، اندازه‌گیری می‌شود.

ST-۳۷ به ضخامت ۱۵ میلی‌متر و بر پایه نتایج تحلیل سازه جعبه تحت بارگذاری حین آزمایش و رعایت ضرایب اطمینان لازم طراحی شده است. وجوه پشت و کناری جعبه دارای سخت کننده‌های عرضی به ارتفاع کامل عرض ورق، به منظور جلوگیری از کماتش و اعوجاج بدنه در اثر فشار جانبی خاک هستند. درب فوقانی که حین آزمایش تحت اثر عکسالعمل فشار سربار است، با ورق فولادی ۱۵ میلی‌متر طراحی شده و از دو عدد لولا و ۴ عدد گیره برای سهولت در حرکت و بستن آن استفاده شده است.

به منظور توزیع مناسب وزن جعبه و محتویات آن در محل استقرار و تامین استحکام لازم، از یک شبکه متشکل از پروفیل‌های نورد شده فولادی استفاده شده که بر روی زمین قرار گرفته و جعبه از بخش تحتانی بر روی آن پیچ می‌شود. در بخش جلو، پایه نگهداری جک هیدرولیک و تجهیزات اندازه‌گیری نیرو، توسط ۴ عضو فشاری به جعبه تکیه داشته و نیروی عکس‌العمل جک را به جعبه و سپس به کف منتقل می‌کنند. اتصال قطعات ثابت از نوع جوشی و اتصال قطعات متحرک با پیچهای گالوانیزه پرمقاومت طراحی شده تا در مواقع لزوم بازکردن قطعات دستگاه امکانپذیر باشد. شکل (۱) طرحواره جعبه را در پلان و مقطع و شکل (۲) نمای عمومی از آن را نشان می‌دهد.

• اصطکاک وجوه داخلی جعبه

اصطکاک جداره‌های جعبه بعنوان مرزهای تحمیلی محیط، اثر قابل توجه بر رفتار بیرون کشش نمونه و مقاومت اصطکاکی آن خواهند داشت. در طرح دستگاه، سطوح کلیه قطعات فلزی سندبلاست، پوسته برداری و رنگآمیزی شده است و یک لایه طلق صیقلی در سمت داخل دو وجه کناری نصب شده تا میزان اصطکاک به حداقل ممکن برسد. در استاندارد [۲] حداقل فاصله لبه مسلح کننده از جداره‌های بدون اصطکاک ۷۵ میلی‌متر توصیه شده است و با انتخاب ابعاد شکاف در ورق جلو معادل 460×20 میلی‌متر، امکان استفاده از نمونه‌هایی با حداکثر عرض ۴۴۰ میلی‌متر فراهم بوده و در مجموع اثر اصطکاک جداره به حداقل ممکن رسیده است.

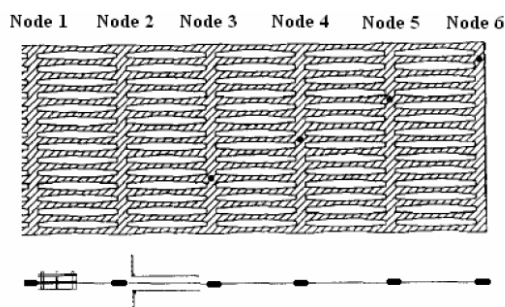
• غلاف ورودی و گیره نمونه

در طرفین شکاف ورودی نمونه و در وجه داخلی جعبه، از دو عدد ورق به ابعاد $450 \times 200 \times 10$ میلی‌متر مطابق شکل (۳) استفاده شده است. این دو ورق با عملکرد غلاف گونه ژئوگرید را در یک طول مشخص در بر گرفته و با ایجاد فاصله بین محل اثر نیروی کششی و محل انتقال نیرو به خاک، باعث کاهش تنش کششی وارد بر ورق جلو، کاهش اثر صلیبیت و اثر

جدول (۱): خلاصه مشخصات جعبه های بیرون کشش و مصالح مورد آزمایش

مشخصات خاک					
تنش قائم (kPa)	نحوه آماده سازی نمونه	مقاومت دانه بندی	نوع خاک	ابعاد جعبه (mm)	مرجع
35-70-100	لرزاننده دستی	$\phi=35-43$ PI=6-21	ماسه سیلتی و شن	1325×675×150	Bonczkewicz & Christopher
25-50-75	بارش ماسه	$\phi=36$	ماسه	600×400×400	Ochiai & Otani
49-100	تراکم دستی	$\phi=28$	ماسه SP	2100×900×500	Collin & Berg
20-100	تراکم دستی	$\phi=28-36$ D _r =30%	ماسه خاکستر آتشفشانی	500×300×100	Yasuda & Marui
48.2	لرزاننده الکتریکی	PI=24	رس	1500×900×760	Farrag & Griffin
14-20	تراکم استاندارد	$\phi=36-40$ D ₅₀ =8mm	سنگ شکسته	1040×230×380	Razaqpur & Bauer
10-25 51-100	تراکم دستی	$\phi=49$ D ₅₀ =0.7mm	ماسه	1900×9100×110	Wilson-Fahmy & Koerner
20-30-50	تراکم دستی	$\phi=41-45$	شن GW	3230×700×700	Alfaro & Bergado
17.2-34.2 51-70-100	بارش ماسه	$\phi=40$ D ₅₀ =0.25	ماسه اتاوا	600×200×300	Lechshinsky & Kaliakin
4-20	تراکم دستی	$\phi=36$ D ₅₀ =0.9	ماسه	3230×700×700	Raju & Fannin
50-100-200	تراکم دستی	$\phi=40$ D ₅₀ =1.2mm	شن و ماسه	1530×1000×800	Lopes & Lopes
25-50-100	تراکم دستی	$\phi=28-36$	کوارتز	1600×600×360	Bolt & Duzynska
5-49-93	بارش ماسه	$\phi=30$ D ₅₀ =0.34	ماسه	680×300×625	Sugimoto & Alagiawanna
30-45-60	بارش ماسه	$\phi=30-43$	ماسه SP	1500×600×700	Nernheim & Meyer
10-25 50-100	تراکم دستی	$\phi=42-48$ D ₅₀ =1.20	ماسه SP	1700×600×680	Moraci & Recalcati
15-25 50-100	بارش ماسه	$\phi=34-40$ D ₅₀ =1.18	ماسه سیلیسی	1200×600×600	Fakharian & Nayeri (2007)

نصب شده در کنار جک و متصل به گیره، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. چهار نقطه دیگر که بر روی نوارهای عرضی قرار دارند، توسط سیمهای غیرقابل انعطافی که از داخل لوله‌های استیل (فولاد ضدزنگ) عبور داده شده‌اند، به تغییرمکان‌سنجهای نصب شده در پشت جعبه متصل هستند. با حرکت ژئوگرید و حرکت سیمها، تغییرمکان نوار عرضی اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. ثبت نتایج نیرو و تغییرمکان توسط یک سیستم پردازش اطلاعات (Data Logger) در یک حلقه محاسباتی بسته، با قابلیت قرائت و ثبت اطلاعات ورودی از ۱۶ کانال مختلف انجام می‌شود که در آزمایشهای بیرون‌کشش از ۵ کانال برای اندازه‌گیری تغییرمکان ۵ نوار عرضی و یک کانال جهت اندازه‌گیری نیروی کششی استفاده می‌شود.



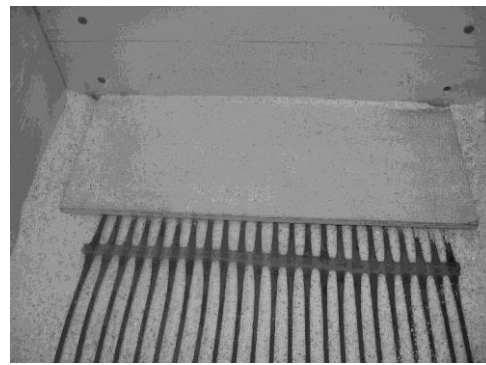
شکل (۵): نقاط اندازه‌گیری تغییرمکان در طول ژئوگرید

• اعمال تنش قائم

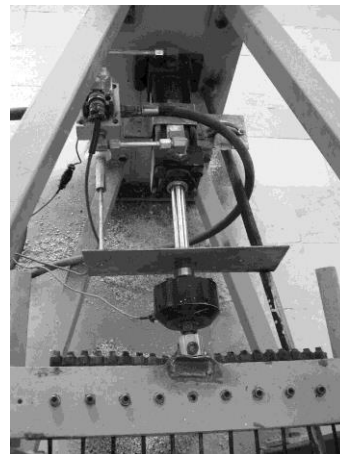
تنش قائم توسط بالشتک هوا به سطح خاک وارد می‌شود. این بالشتک دست‌ساز از جنس لاستیک کم انعطاف پذیر به ضخامت ۲ میلیمتر بوده و قابلیت تحمل فشار داخلی بیش از ۱۵۰ kPa را دارد. هوا از طریق پمپ باد وارد بالشتک شده و دلیل محصور بودن آن در طول آزمایش، فشار داخلی بصورت تنش قائم بر سطح خاک وارد شده و بصورت دستی در طول آزمایش قابل تنظیم و کنترل است. تنظیم‌گر ورود هوا به گونه‌ای طراحی شده که پس از رسیدن فشار داخل بالشتک به میزان تنظیم شده، ورود هوا را قطع نموده و فشار در طول آزمایش ثابت می‌ماند ولی قابل کنترل است.

• تجویزات آماده سازی نمونه خاک

در آماده‌سازی نمونه‌های ماسه‌ای از روش بارش ماسه با سینی بارش بزرگ مقیاس استفاده می‌شود. کف سینی متشکل از دو ورق سوراخدار ثابت و متحرک است که پس از قرارگرفتن سینی در ارتفاع مورد نظر، با ماسه پر شده و با حرکت کشویی ورقها نسبت به هم، بارش یکنواخت ماسه انجام می‌شود. در ساخت نمونه‌های سست، انرژی بارش با کاهش ارتفاع بارش ماسه اصلاح شده و کمترین وزن مخصوص ماسه



شکل (۳): غلاف نمونه در وجه داخلی ورق جلو



شکل (۴): گیره مسلح کننده و سیستم اعمال نیروی افقی

جک هیدرولیک از یک فرمانیار پیشرفته با قابلیت تعریف مسیرهای متنوع بارگذاری، فرمان دریافت می‌کند. امکان اعمال بارگذاری استاتیکی، بارهای سیکی با فرکانس ۰/۰۱ تا ۲۰ هرتز، بارهای ثابت درازمدت (اثر خزش) و اشکال مختلف موج دینامیکی (مثلثی، سینوسی، ضربه پله‌ای و حالت دلخواه) در هر دو شرایط کنترل - تغییرمکان و کنترل - بار وجود دارد. لودسل مورد استفاده از نوع استوانه‌های پیزوالتریک با ظرفیت فشاری و کششی ۵۰kN است. ضریب واسنجی آن طبق اندازه‌گیری در آزمایشگاه معادل واحد بدست آمده و دقت آن به میزان ۰/۱ kN است. LVDT مورد استفاده از نوع استوانه‌های با محدوده رفتار خطی ۱۰۰ میلیمتر و درصد خطی ۰/۲۵ درصد است.

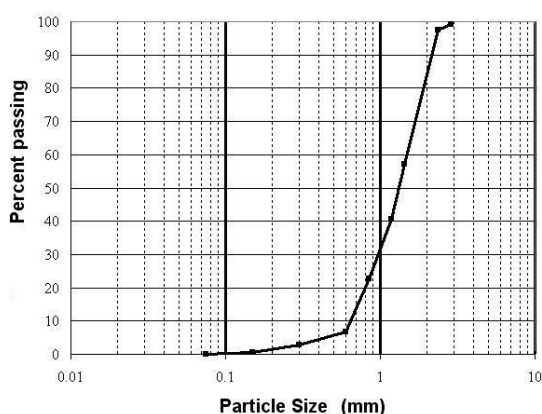
• اندازه‌گیری نیرو-تغییرمکان

در حین آزمایش، تغییرمکان افقی نمونه در ۵ نقطه توسط ۵ عدد تغییرمکان‌سنج مبدل دیفرانسیل متغیر خطی (LVDT) که به اختصار تغییرمکان‌سنج گفته می‌شود، قرائت و ثبت می‌شود که عبارتند از نقطه اتصال به گیره جلو (Frontal) و ۴ نقطه در طول مدفون ژئوگرید که در شکل (۵) نشان داده شده‌اند. جابجایی گیره یا اولین عضو عرضی، توسط تغییرمکان‌سنج

شکل (۷): نمودار رفتاری تنش-کرنش ژئوگرید

جدول (۲): مشخصات وزنی-حجمی و مقاومتی ماسه سیلیسی

مقدار	واحد	مشخصه
۱۶	kN/m ³	γ
۰/۵۸	-	e_{min}
۰/۸۶	-	e_{max}
۱/۲۰	mm	D ₅₀
۲/۵۰	-	C _u
۰/۹۸	-	C _c
۳۶-۳۴°	درجه	ϕ_{ps}



Silt	Sand			Gravel
	Fine	Medium	Coarse	Fine

شکل (۸): منحنی دانه بندی ماسه سیلیسی مورد آزمایش

۳-۲- روش انجام آزمایش

مراحل انجام آزمایش بیرون کشش ژئوگرید عبارتند از:

(۱) کف و جداره‌های جعبه در شروع انجام هر آزمایش بطور کامل تمیز می‌شوند.

(۲) ارتفاع خالص داخل جعبه ۶۰۰ میلی‌متر است که ۱۰۰ میلی‌متر بالای آن به فضای قرارگیری بالشتک هوا بر روی سطح خاک اختصاص دارد. ضخامت خاک در زیر و روی نمونه ۲۵۰ میلی‌متر است و بارش ماسه در ۴ لایه هریک به ضخامت ۱۲۵ میلی‌متر انجام می‌شود. پس از بارش دو لایه اول، سطح پایانی خاک به ملایمت و بدون ایجاد دستخوردگی صاف و هموار می‌شود. در این مرحله تراز ماسه در لبه غلاف است.

(۳) نمونه ژئوگرید با ابعاد ۴۲۰×۱۲۵۰ mm بر روی سطح ماسه قرار می‌گیرد و انتهای آن پس از عبور از غلاف، به گیره بسته می‌شود. هر یک از سیمهای

در حداقل تراکم نسبی بدست می‌آید. شکل (۶) سینی بارش ماسه را در بالاترین تراز جهت بارش لایه آخر نشان می‌دهد.



شکل (۶): سینی بارش ماسه مستقر بر روی جعبه بیرون کشش

۲-۲- مشخصات مصالح آزمایش

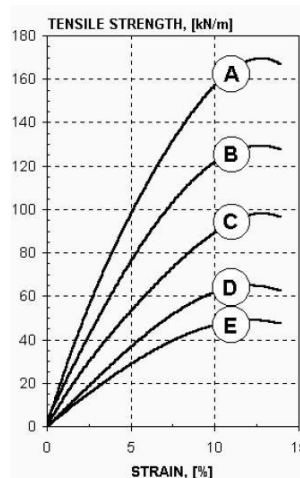
۲-۲-۱- مسلح کننده

در این مطالعه از ژئوگرید پلیمری اکستروود شده (HDPE) از نوع یکسویه با نام تجاری TT-۶۰ استفاده شده است. این نوع ژئوگرید با مقاومت کششی حداکثر ۶۰ kN/m در رده محصولات پرمقاومت قرار گرفته و کاربرد اصلی آن در تسلیح کوله‌ها و اجرای خاکریزهای مسلح است. نمودار تنش - کرنش این ژئوگرید در شکل (۷) آمده است.

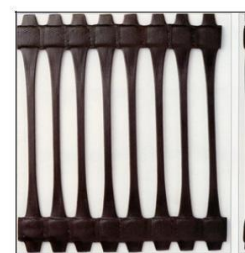
۲-۲-۲- ماسه

در این مطالعه از ماسه سیلیسی با دانه‌بندی یکنواخت و ذرات تیز گوش، اندازه متوسط ذرات ۱/۲۰ میلی‌متر و منحنی دانه‌بندی مطابق شکل (۸) استفاده شده است. مشخصات مقاومتی این ماسه با انجام آزمایش برش مستقیم و آزمایش سه محوری بر روی نمونه‌های سست و متراکم محاسبه شده و مشخصات وزنی - حجمی و مقاومتی ماسه مورد آزمایش در جدول (۲) آمده است.

نوع ژئوگرید



A = TENAX TT 160 SAMP
B = TENAX TT 120 SAMP
C = TENAX TT 090 SAMP
D = TENAX TT 060 SAMP
E = TENAX TT 045 SAMP



نزدیکی مسلح‌کننده قرار دارد، پس از اتمام هر آزمایش مفید و لازم است.

۳- برنامه آزمایشها

در این مقاله بخشی از نتایج مربوط به اثر تنش قائم و نوع نمونه‌سازی بر رفتار ژئوگرید پلیمری یک سویه تحت بارهای استاتیکی و سیکی بررسی و تحلیل شده است. در بارگذاری سیکی سطح بار اولیه ۶۰ درصد و دامنه سیکل بارگذاری ۴۰ درصد مقاومت بیرون‌کشش حداکثر و تعداد سیکلها معادل ۱۰۰ عدد انتخاب شده و سایر عوامل متغیر به شرح جدول (۳) هستند.

عامل متغیر	مقدار	واحد
تنش قائم	۲۵ و ۵۰	kPa
نوع نمونه سازی	متراکم و سست	-
دانشیه نسبی ماسه	۴۵ و ۹۰	%

۴- تحلیل نتایج

۴-۱- بارگذاری استاتیکی

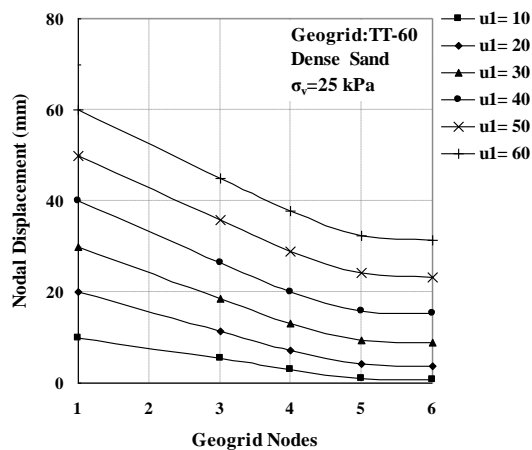
نتایج آزمایشهای استاتیکی بر روی ژئوگرید ۶۰-TT در شکل (۹) نشان داده شده است. این نتایج حاکی از افزایش مقاومت بیرون‌کشش متناسب با افزایش تنش قائم است. با اضافه شدن مقدار تنش قائم، قابلیت اتساع خاک کاهش یافته و دلیل تغییر در نحوه قرارگیری دانه‌های ماسه، زاویه اصطکاک داخلی خاک و اندرکنش ذرات خاک و ژئوگرید افزایش می‌یابد، این امر افزایش مقاومت اصطکاک و مقاومت گوه خاک در جلو اعضای عرضی ژئوگرید و در نتیجه افزایش مقاومت بیرون‌کشش مسلح‌کننده را در پی خواهد داشت. با افزایش تراکم نسبی خاک، مقاومت بیرون‌کشش بطور قابل ملاحظه افزایش می‌یابد و علت آن نیز تغییر در آرایش قرارگیری دانه‌ها، افزایش مقاومت اصطکاک و افزایش مقاومت گوه خاک در جلو نوارهای عرضی ژئوگرید در شرایط نمونه‌سازی متراکم است. بطور کلی در شرایط تراکم نسبی و یا تنش قائم بالا، با افزایش میزان قفل و بست و درگیری بیشتر خاک و مسلح‌کننده، از لغزش نسبی ماسه و ژئوگرید در طول آزمایش کاسته شده و در نتیجه نیروی کششی بیشتری برای بیرون کشیدن نمونه از داخل خاک لازم است.

غیرانعطاف‌پذیر که یک سر آنها توسط قلاب به نوار عرضی ژئوگرید متصل است، از داخل لوله استیل عبور داده شده و به تغییرمکان سنج نصب شده در پشت جعبه، متصل می‌شوند.

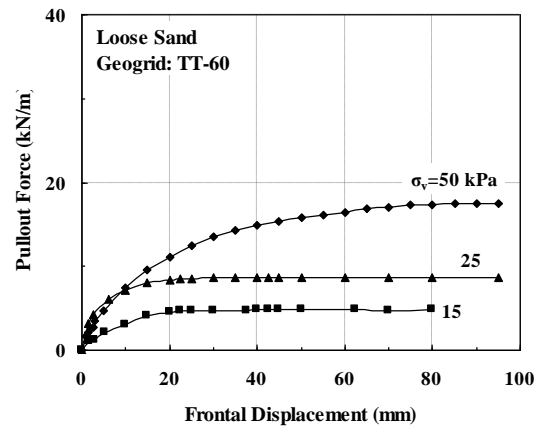
(۴) بارش ماسه در دو لایه ۱۲۵ میلیمتری و با ارتفاع متوسط ۶۰۰ میلیمتر مشابه مرحله ۲ انجام شده، سطح پایانی تسطیح شده و یک لاستیک نازک بر روی سطح ماسه و سپس بالشتک هوا قرار می‌گیرد. درب فوقانی توسط گیره‌های مربوطه بسته شده و هوا به داخل بالشتک وارد می‌شود. مقدار فشار هوای داخل بالشتک متناسب با برنامه آزمایش و تنش قائم موردنظر، تنظیم و ثابت خواهد شد.

(۵) فرمان بارگذاری از طریق سیستم الکتریکی بطور کامل و متناسب با شرایط آزمایش تنظیم می‌شود. سرعت بارگذاری در آزمایشهای استاتیکی معادل ۱ mm/min سفارش شده است [۵]. بارگذاری سیکی دارای ۳ مشخصه اصلی شامل شکل موج، فرکانس و دامنه موج است که در مطالعات پایه فرکانس بارگذاریهای سیکی معادل ۰/۱ هرتز انتخاب شده است. بارگذاری سیکی در سطح باری معادل T_1 که درصدی از حداکثر مقاومت بیرون‌کشش استاتیکی نمونه در شرایط یکسان خاک و فشار سربار است، شروع می‌شود و این درصد معرف سطح تنش بهره‌برداری در عمل است. شکل موج با توجه به ماهیت غالب بارهای دینامیکی بصورت سینوسی و دامنه سیکلها، amp، نیز بصورت درصدی از مقاومت حداکثر بیرون‌کشش انتخاب می‌شوند.

(۶) آزمایش در صورت وقوع یکی از این شرایط به پایان می‌رسد: وقوع گسیختگی بیرون‌کشش، گسیختگی نمونه ژئوگرید بصورت پارگی یا شکافته شدن اعضای طولی و یا وقوع تغییرمکان حداکثری معادل ۱۰۰ میلیمتر. پس از اتمام آزمایش، اطلاعات نیرو-تغییرمکان جهت تحلیل نتایج ذخیره می‌شوند. مطالعه حداکثر مقاومت بیرون‌کشش، نحوه تغییر شکل نمونه در داخل خاک، تغییرات ایجاد شده در سطحی از نمونه که در تماس با خاک است، بررسی ناحیه داخلی نوارهای عرضی ژئوگرید که فشار گوه خاک را تحمل می‌کنند و بررسی تغییر ساختار لنزی از ماسه که در



شکل (۱۰): توزیع تغییرمکان در طول مدفون نمونه



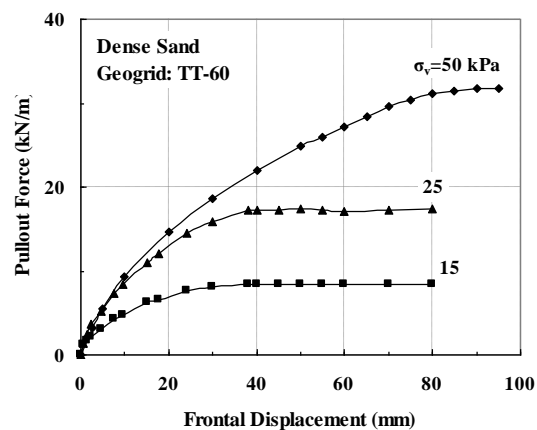
(الف)

۴-۳- بارگذاري سيکلي

شکل (۱۱) تغییرات نیرو-تغییرمکان را برای ژئوگرید تحت سربارهای ۲۵ و ۵۰ kPa در شرایط نمونه‌سازی متراکم نشان می‌دهد. در تنش ۲۵ kPa، افزایش مقاومت جزئی نسبت به شرایط استاتیکی حاصل شده است. در سربار ۵۰ kPa این روند دیده نشد و مقاومت‌های انتهایی بر هم منطبق است. شیب نمودارها در بخش آغازی منطبق بر رفتار استاتیکی و در بخش پساسیکلی نیز اختلاف زیادی وجود ندارد، ولی زیاد بودن شیبها در شروع این مرحله، دلالت بر سخت شدن مقطعی توده خاک و ژئوگرید دارد.

شکل (۱۲) رفتار بیرون‌کشش ژئوگرید در شرایط نمونه سازی سست و تحت تنش قائم ۵۰ kPa را نشان می‌دهد. در این آزمایش افزایش مقاومت پساسیکلی نسبت به شرایط استاتیکی دیده شد، ولی با توجه به نتایج سایر آزمایشها، روند افزایش مقاومت رفتار حاکم ژئوگریدها در ماسه سست نیست. مقاومت پساسیکلی نمونه‌های سست وابسته به مقدار تنش قائم است، بطوری که در سربارهای پایین کاهش مقاومت و در سربارهای بالا افزایش مقاومت دیده شده است. کاهش قابل توجه تغییرمکانهای تجمعی در ۱۰۰ سیکل بارگذاری نسبت به رفتار نمونه‌های متراکم از مقایسه شکل‌های (۱۱ و ۱۲) آشکار است.

یکی از دلایل وقوع تغییرشکل‌های تجمعی کمتر در خلال بارهای سیکلی در ماسه سست، پایین بودن سطح مشخصه‌های نیرویی بارگذاری سیکلی در ماسه سست بخاطر پایین بودن سطح مقاومت بیرون کشش آن است.



(ب)

شکل (۹): الف- مقاومت بیرون‌کشش نمونه سست

ب- مقاومت بیرون‌کشش نمونه متراکم

۴-۲- توزیع تغییرمکان و کرنش

شکل (۱۰) توزیع تغییرمکان در طول مدفون ژئوگرید در شرایط نمونه‌سازی متراکم و تحت تنش قائم ۲۵ kPa را نشان می‌دهد که در این شکل $u_1=40$ معرف تغییرمکان گیره است. بعنوان مثال، منحنی با مشخصه $u_1=40$ ، مقدار تغییرمکان را در سایر نوارهای عرضی در طول مدفون ژئوگرید در شرایطی که گیره ۴۰ میلیمتر حرکت کرده است، نشان می‌دهد. مطابق شکل توزیع تغییرمکان در طول ژئوگرید از سمت گیره به سمت انتهای آن روند کاهشی دارد.

استاتیکی و سیکی بوده است. خلاصه نتایج بدست آمده عبارتند از:

(۱) با افزایش تراکم ماسه و سربار قائم، میزان قفل و بست و درگیری خاک و مسلح‌کننده افزایش یافته، از لغزش نسبی ماسه و ژئوگرید در طول آزمایش کاسته شده و نیروی بیشتری برای بیرون کشیدن ژئوگرید از داخل خاک لازم است.

(۲) توزیع تغییرمکان در طول ژئوگرید از سمت گیره به سمت انتهای نمونه روند کاهشی دارد.

(۳) مقاومت بیرون‌کشش پساسیکی در ماسه سست، نسبت به حداکثر مقاومت بیرون‌کشش استاتیکی افزایش یافته است. در ماسه متراکم و در سربارهای پایین، مقاومت پساسیکی نسبت به شرایط استاتیکی افزایش یافته، ولی در این مرحله از مطالعات روند مشخصی ندارد.

(۴) مقدار تغییرمکانهای تجمعی سیکی در ماسه سست در شرایط یکسان آزمایش، کمتر است.

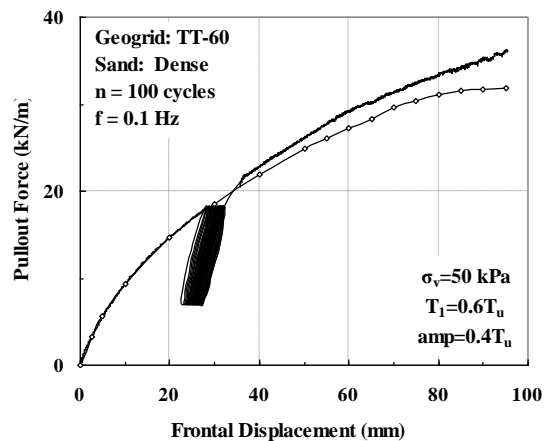
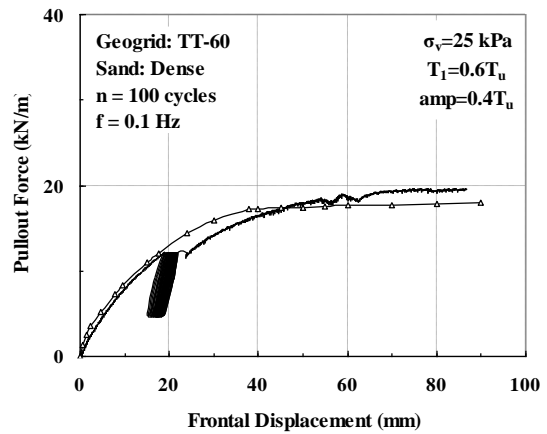
۶- ضامم

۱-۶- فهرست علائم

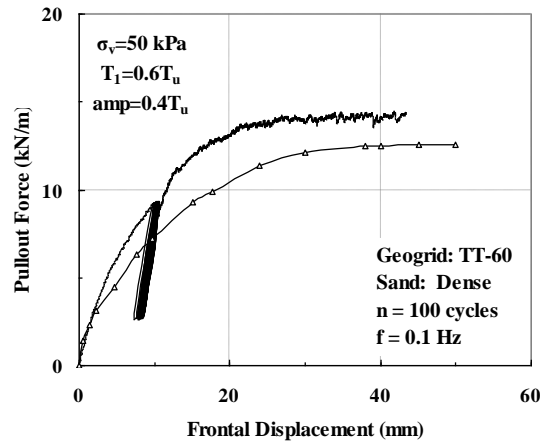
=	دامنه موج بارگذاری سیکی
=	ضریب خمیدگی
=	ضریب یکنواختی
=	اندازه متوسط دانه‌ها
e	تخلخل حداکثر
e	تخلخل حداقل
n	تعداد سیکل بارگذاری
=	سطح بارگذاری در شروع سیکل
=	مقاومت بیرون‌کشش حداکثر استاتیکی
=	زاویه اصطکاک داخلی در شرایط کرنش
=	تنش قائم یکنواخت وارد بر سطح خاک

۷- مراجع

- [۱] شیخ علی، وحید (۱۳۸۶)، رفتار بیرون‌کشش ژئوگریدهای مدفون در ماسه، پروژه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- [۲] ASTM D 6706-01, 2001. Standard test method for measuring geosynthetic pullout resistance in soil. ASTM, Philadelphia, PA, USA.



شکل (۱۱): رفتار بیرون کشش سیکی در ماسه متراکم



شکل (۱۲): رفتار بیرون کشش سیکی در ماسه سست

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

آزمایشهای بیرون کشش بر روی ژئوگرید پرمقاومت در شرایط نمونه سازی سست و متراکم با یک نوع ماسه سیلیسی با دانه بندی یکنواخت انجام شد. توجه این مقاله در کنار معرفی دستگاه بعنوان اولین نمونه در ایران، به تاثیر تنش قائم و تراکم نسبی ماسه بر رفتار بیرون کشش ژئوگرید تحت بارگذاری

- Christopher, B.R., Gill, S.A., Giround, J.P., Juran, I., Mitchell, J.K., Schlosser, F., Dunicliff, J., 1990. Design and construction guidelines for reinforced soil structures. vol. 1. Federal Highways Administration, U.S. Department of Transportation, Report No. FHWA RD-89-043. [۳]
- Min, Y., Leshchinky, D., Ling, H.I., Kaliakin, V.N., 1995. Effect of sustained and repeated tensile loads on geogrid embedded in sand. Geotechnical Testing journal, GTJODJ, vol. 18 (2), pp. 204-225. [۴]
- Moraci, N., Recalcati, P., 2006. Factors affecting the pullout behavior of extruded geogrids embedded in a compacted granular soil. Geotextiles and Geomembranes 24, 220-242. [۵]
- Nernheim, A. Meyer, N., 2004. Cyclic pull-out tests on geogrids. International Conference on Geotechnical Engineering (ICGE) in sharjah, United Arab Emirates, S. 339-346. [۶]
- Raju, D.M., 1995. Monotonic and cyclic pullout resistance of geosynthetics. Ph.D. Thesis. The University of British Columbia, Vancouver, Canada. [۷]
- Raju, D.M., Fannin, R.J., 1998. Load-strain-displacement response of geosynthetics in monotonic and cyclic pullout. Canadian Geotechnical Journal 35, 183-193. [۸]
- Yasuda, S., Nagase, H., Mauri, H., 1992. Cyclic pull-out tests of geogrids in soils. International proceeding of earth reinforcement practice, Kyushu, Japan. Edited by H. Ochiai, S. Hayashi, and J. Otani. A.A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands, pp. 185-190. [۹]