منسوجات فنی

طراحی و تولید پارچه‌های سه بعدی جهت تقویت پی

تهیه و تنظیم: فرشاد خانی[1] | هادی دبیریان[2] | سعید حمزه[3]

چکیده

در طی سالیان اخیر استفاده از مواد و مصالح مصنوعی با دوام و قابل اطمینان تحت عنوان ژئوسنتتیک در پروژه‌های عمرانی، پیشرفت وسیعی داشته است. هدف از انجام پژوهش حاضر، طراحی و تولید یک منسوج سه بعدی خاص جهت تقویت پی است. برای این منظور، ابتدا اصلاحات لازم بر روی ماشین بافندگی تاری-پودی انجام شد. سپس با استفاده از نخ‌های پلی‌پروپیلن، نمونه‌هایی با ساختار سه بعدی تولید گردید. در این نوع ژئوسنتتیک خاص، لایه‌های درونی با نخ‌های اتصال به یکدیگر متصل گشته‌اند. در ادامه با استفاده از تئوری‌های موجود، به تحلیل تئوری ژئوسل تولید شده، پرداخته شد و میزان تأثیر آن بر افزایش ظرفیت باربری و تسلیح خاک بررسی گردید. نتایج نشان داد، وجود نخ‌های اتصال بین لایه‌های ژئوسل، سبب افزایش باربری خاک مسلح می‌گردد.

مقدمه

واژه ژئوسنتتیک از دو بخش تشکیل شده است: پیشوند ژئو به معنای زمین که اشاره به موارد استفاده نهایی از این مواد و مصالح در پروژه‌های عمرانی مرتبط با زمین، خاک و سنگ داشته و پسوند سنتتیک به معنای مصنوعی یا ساختگی، اشاره به تولید این مصالح از فراورده‌های منحصراً مصنوعی دارد.

در واقع واژه ژئوسنتتیک، واژه عام است که دامنه وسیعی از فراورده‌های تولید شده توسط مواد و مصالح عمدتاً پلیمری را شامل می‌شود.

خواص فیزیکی و مکانیکی ژئوسنتتیک‌ها همچون استحکام، مقاومت در برابر فرسایش و از همه مهمتر مقاومت کششی بالای آنها نسبت به وزنشان و همچنین صرفه اقتصادی این مصالح باعث به وجود آمدن گستره وسیعی از کاربرد این مواد در طرح‌های عمرانی شده است. از این مصالح در زمینه‌های مختلف از قبیل بهبود وضعیت خاک، اصلاح موارد زیست محیطی، هیدرولیک و سازه‌های هیدرولیکی و حمل و نقل استفاده می‌شود. امروزه ژئوسنتتیک‌ها در انواع متنوعی تولید می‌شود تا پاسخگوی نیازهای مختلف حوزه‌های گستردهی مهندسی عمران باشند.

از بین این محصولات ژئوتکستایل‌ها، ژئوگریدها، ژئوممبرین‌ها، ژئوسل‌ها، ژئونت‌ها و ژئوکامپوزیت‌ها به دلیل دارا بودن خصوصیات فیزیکی و مهندسی مطلوب بیشترین سهم را در کاربردهای مهندسی دارد.

ژئوسل‌ها یکی از ژئوسنتتیک‌ها هستند که به عنوان تقویت‌کننده خاک مورداستفاده قرار می‌گیرد. ژئوس‌لها، فراوردهای پلیمری، سه‌بعدی و نفوذپذیری است که در خاک قرار داده شده تا بدین ترتیب یک لایه پایدار ایجاد کند.

در مقال‌های به بررسی پارامترهای تاثیرگذار در تقویت خاک به همراه ژئوسل پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش ارتفاع ژئوسل و کاهش اندازه چشمه ژئوسل می‌توان شاهد افزایش ظرفیت باربری خاک شد. همچنین مسلح‌سازی خاک با استفاده از ژئوسل‌های ساخته شده از ژئوگریدهایی با استحکام کششی نهایی بالاتر موجب کاهش تغییر شکل خاک در یک فشار یکسان می‌گردد.

به منظور بررسی اثر تراکم خاک بر روی بهبود عملکرد ژئوسل به عنوان جزء تقویت‌کننده خاک، با پنج تراکم نسبی ماسه، آزمون بارگذاری را انجام دادند. نتایج حاصل از آزمون بیانگر اثرات مفید مسلح‌کننده ژئوسل، از نظر افزایش ظرفیت باربری، زاویه پراکندگی بار و کاهش نشست بود. همچنین مشخص گشت که بسترهای خاکی با خاک‌های متراکم‌تر نتایج بهتری از لحاظ افزایش ظرفیت باربری به همراه دارد.

لایه ژئوسل درون خاک، در سه جنبه عمل کرده و بر ظرفیت باربری خاک اثر می‌گذارد:

۱- اثر مقاومت جانبی:

ژئوسل محصورکننده، محدودکننده و تقویت‌کننده انواع مواد داخل سلول‌هایش است. لایه ژئوسل گسترش جانبی را به‌طور کامل محبوس کرده و استحکام برشی خاک را افزایش می‌دهد.

۲-توزیع تنش عمودی

ژئوسل، بار وارده بر واحد سطح خاک را در سطح بیشتری توزیع می‌کند. این امر به‌عنوان«اثر پراکندگی یا توزیع تنش» منسوب است. با توجه به شکل ۱، ژئوسل گسترش تنش عمودی را وسیع‌تر می‌کند، لذا مطابق رابطه بستر خاک می‌تواند بارهای بیشتری را نسبت به خاک غیرمسلح تحمل کند. افزایش ظرفیت باربری به وسیله اثر توزیع می‌تواند از طریق رابطه ۲ محاسبه شود.

$$p_r = \frac{(b_n + 2h_c \tan\theta_c)}{b_n} p_s \quad (۱)$$

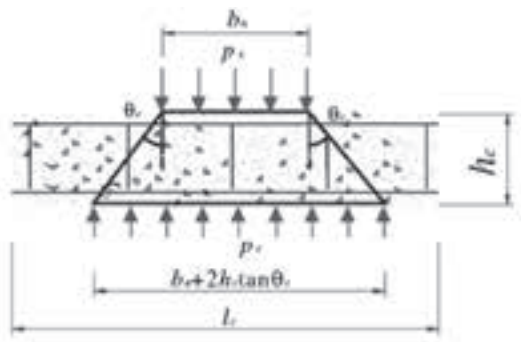
$$\Delta p_r = p_r - p_s = \frac{2h_c \tan\theta_c}{b_n} p_s \quad (۲)$$

در این رابطه p_s بار وارده بر واحد سطح خاک، p_r بار مربوط به توزیع اثر عمودی تنش، b_n عرض بار یکنواخت و پارامترهای θ_c و h_c به ترتیب ارتفاع و زاویه پراکندگی ژئوسل می‌باشند که در شکل ۱ نشان داده شده است.

عرض بار یکنواخت و پارامترهای b_n، بار مربوط به توزیع اثر عمودی تنش p_r، بار وارده بر واحد سطح خاک p_s، در این رابطه به ترتیب ارتفاع و زاویه پراکندگی ژئوسل می‌باشند که در شکل ۱ نشان داده‌شده است. h_c و θ_c

۳-اثر پوسته

بارهایی که از سمت خاک به ژئوسل وارد می‌شوند، ژئوسل را از شکل اولیه منحرف می‌کنند و درنتیجه نیروی کششی بیشتری در راستای ژئوسل ایجاد می‌شود. جزء عمودی نیروی کششی در تقویت‌کننده به‌منظور کاهش فشار در بستر Δpt خاک مفید است. همانطورکه در شکل ۲ نشان داده شده است، افزایش ظرفیت باربری با توجه به نیروی کششی ژئوسل می‌تواند مطابق رابطه ۳ محاسبه شود.



شکل ۱- اثر توزیع تنش عمودی ژئوسل

شکل ۲- اثر توزیع ژئوسل

$$\Delta p_t = \frac{2T\sin\alpha}{b_n} \quad (۳)$$

در رابطه فوق α نیروی کششی ژئوسل با راستای افق و T زاویه نیروی کششی ژئوسل می‌باشد.

بنابراین با توجه به آنچه گفته شد و مطابق مدل محاسباتی نشان داده شده، ظرفیت باربری پی خاک تقویت شده با ژئوسل *prs* می‌تواند با قرار دادن فونداسیون خاک غیرمسلح و افزایش ظرفیت باربری بر روی فونداسیون خاک Δp به علت قرار دادن ژئوسل در پایه خاک مطابق رابطه ۴ تعیین شود.

$$p_{rs} = p_s + \Delta p = p_s + \Delta p_r + \Delta p_t = p_s + \frac{2h_c \tan\theta_c}{b_n} p_s + \frac{2T\sin\alpha}{b_n} \quad (۴)$$

همچنین صحت روابط و تئوری‌های بیان شده توسط تجربیات آزمایشگاهی تأیید شد.

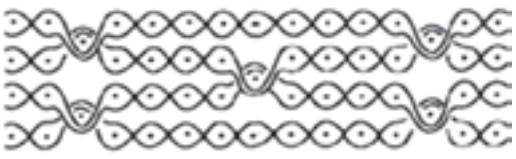
طراحی، تولید و تجربیات

مورداستفاده قرار گرفت که برای پود E ۵۲ برای تولید پارچه به روش بافندگی تاری-پودی، ماشین بافندگی ایور با مدل E ۵۲۲۳۴۴ مورداستفاده قرار گرفت که برای پودگذاری مجهز به راپیر سخت یک طرفه است. همچنین مکانیزم تشکیل دهنده آن دابی منفی بوده و از شانه‌ای به نمره ۴/۵ در سانتی‌متر و ۸ ورد استفاده شد.

نخ مصرفی برای تولید نمونه، BCF اینترمینگل از جنس پلی‌پروپیلن با نمره ۱۸۰۰ دنیر به تعداد ۱۰۸ سرنخ بوده و برای نخ پود، نخ BCF تابدار از جنس پلی‌پروپیلن با نمره ۱۶۳۵ دنیر استفاده گردید. همچنین نخ مورداستفاده برای اتصال مابین لایه‌ها (نخ اتصال)، از جنس نخ تار می‌باشد.

به منظور بافت پارچه، طرح بافت بر روی کاغذ پانچ شد و بر روی مکانیزم دابی سوار گردید. طرح بافت مورداستفاده، یک طرح تافته برای تولید ۴ لایه پارچه به طور همزمان می‌باشدکه در نقاطی باعث اتصال بین لایه‌ها شده (شکل ۳) و حالت کلی ژئوسل را ایجاد می‌کند.

پارچه تولید شده به دلیل عدم برخورداری از ثبات و همچنین آزاد بودن حاشیه، نیاز به انجام اقدامی برای ایجاد ثبات داشت، به همین دلیل پارچه در معرض عملیات تکمیل قرار گرفت تا از سختی لازم برخوردار گردد و نخ‌های تار و پود به‌آسانی قابل خارج کردن از بافت نباشند. به منظور تقویت خاک و افزایش ظرفیت باربری، دو دسته نخ (نخ اتصال) در ارتفاع یک سوم و دو سوم از ژئوسل وارد بافت کرده تا باعث افزایش تحمل بار در منسوج تولیدی گردد (شکل ۴) و میزان ظرفیت باربری را بیش از یک لایه ژئوسل، افزایش دهد.



شکل ۳- شماتیک پارچه تولید شده

شکل ٤- شماتیک تولید شده

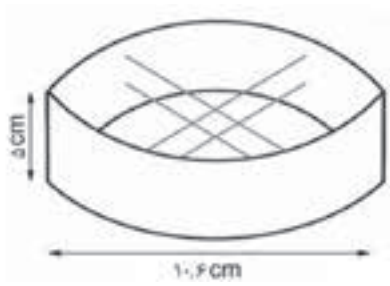
مشخصات فیزیکی پارچه تولید شده، اعم از تراکم تار و پود، وزن واحد سطح و ضخامت، بر اساس استانداردهای مربوط اندازه گیری شدند.

نتایج حاصل از اندازه‌گیری به شرح زیر است:

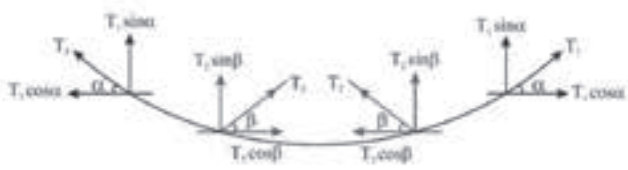
تراکم تاری و تراکم پودی به ترتیب، ۴/۵ و ۵ سانتیمتر، وزن واحد سطح ۶۲۷/۵ گرم بر متر مربع و ضخامت پارچه۴/۰۲ میلی‌متر بوده است.

با توجه به آنکه با قرارگیری ژئوسل در خاک و اعمال بار فشاری، نیرو وارده به دیواره ژئوسل به صورت یک نیروی کششی در راستای تار منسوج ظاهر می‌شود، به همین منظور استحکام کششی برای نخ‌های اتصال و پارچه بر طبق استانداردهای مربوط انجام شد.

برای انجام آزمایش استحکام کششی نخ (نخ اتصال) از دستگاه اینسترون مدل ۵۵۶۶ و برای آزمون کشش تک محوره ژئوسل از دستگاه سنتام مدل STM 150 استفاده شد.



شکل ۵- نمایی شماتیک از پارچه تولیدی



شکل ۵- اثر پوسته برای پارچه تولید شده

با توجه به شکل ۶ و پیاده‌سازی اثر پوسته بر روی پارچه تولید شده، می‌توان میزان افزایش ظرفیت باربری را به صورت رابطه ۵محاسبه نمود.

$$\Delta p_t = \frac{2T_1 \sin\alpha + 4T_2 \sin\beta}{b_n} \quad (۵)$$

در این رابطه α زاویه نیروی کششی ژئوسل با راستای افق، β زاویه نیروی کششی نخ اتصال با راستای افق، T_1 نیروی کششی ژئوسل و T_2 نیروی کششی نخ اتصال لایه‌های ژئوسل می‌باشد.

بنابراین با توجه به آنچه گفته شد ظرفیت باربری خاک تقویت شده با ژئوسل (*prs*) می‌تواند با قرار دادن ظرفیت باربری خاک غیرمسلح (*ps*) و افزایش ظرفیت باربری روی خاک (Δp) به علت قرارگیری تقویت‌کننده در پایه خاک مطابق رابطه (۶) تعیین شود:

$$p_{rs} = p_s + \Delta p_t = p_s + \frac{2T_1 \sin\alpha + 4T_2 \sin\beta}{b_n} \quad (۶)$$

تحلیل تئوری عملکرد ژئوسل

در این پژوهش سعی شد تا با در نظر گرفتن المان‌های تأثیرگذار بر روی تقویت پی هنگام زلزله، اقدام به طراحی یک منسوج سه بعدی برای این منظور گردد. از این رو با توجه به مطالعات انجام شده و نظریات حاضر، به منظور نشان دادن میزان افزایش ظرفیت باربری خاک، به ایجاد یک تئوری برای منسوج تولید شده (شکل۵) پرداخته شد. با توجه به پژوهش انجام شده توسط آقابیگی و همکاران که در آن خاک غیرمسلح توانایی تحمل بار وارده تا ۵/۰۲ کیلو پاسکال را داشته، با به‌کارگیری این منسوج به عنوان تقویت‌کننده این خاک و با توجه به نتایج حاصل از آزمون‌های کشش نخ اتصال و کشش تک محوره پارچه که در آن به طور میانگین نخ‌ها تا ۳۸/۴۷ نیوتن و پارچه تا ۳۰۷۷/۴نیوتن نیرو کششی را تحمل می‌کند، شاهد افزایش ۱۹۱درصد ظرفیت باربری خاک خواهیم بود. به عبارت دیگر خاک تقویت شده می‌تواند تا ۹/۵۹ کیلو پاسکال نیروی فشاری را تحمل کند.

نتیجه‌گیری نهایی

منسوج سه بعدی بافته شده برای اتصال لایه‌های مختلف بر خلاف انواع دیگر ژئوسل‌ها نیازی به دوخت یا دیگر اتصالات ندارد، بلکه در حین بافت لایه‌ها به یکدیگر متصل می‌گردند و سلول‌ها تشکیل می‌شوند. از طرفی با استفاده از هندسه بافت به ایجاد و توسعه یک تئوری به منظور محاسبه میزان افزایش ظرفیت باربری خاک برای منسوج تولیدی پرداخته شد. همچنین تحت شرایط بیان شده، با به کارگیری این منسوج به عنوان تقویت‌کننده، انتظار می‌رود که به واسطه اثر پوسته، ظرفیت باربری تا ۴/۵۹ کیلوپاسکال، نسبت به خاک غیرمسلح افزوده شود.

پی‌نوشت:

۱- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانشکده مهندسی نساجی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

منبع:

یازدهمین کنفرانس ملی مهندسی نساجی ایران (دانشگاه گیلان)