

بررسی آزمایشگاهی ظرفیت بیرون کشیدگی مهارهای صفحه‌ای دایره‌ای مدفون

در عمق کم در خاک‌های دانه‌ای بهسازی شده با ژئوسل و ژئوتکستایل

مهدی علی‌اصغرزاده، دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران
میکائیل یوسف‌زاده‌فرد (مسئول مکاتبات)، دانشیار، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

E-mail: yousefzadeh@iaut.ac.ir

محمدرضا عطرچیان، استادیار، گروه عمران، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران

میثم بیات، استادیار، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۶

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۰

چکیده

در این تحقیق آزمایشگاهی، با استفاده از یک مدل فیزیکی رفتار مهارها با صفحات افقی انتهایی در عمق‌های کم مورد بررسی واقع شده است. در این تحقیق اثر عوامل مختلف از جمله، عمق مدفون صفحه انتهایی، قطر صفحه انتهایی، جنس خاک، وجود ژئوسل و ژئوتکستایل مورد بررسی واقع شده است. بر اساس منحنی بار - جابجایی بدست آمده در آزمایش‌ها، نتایج مورد بررسی واقع شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مکانیزم گسیختگی و منحنی بار - جابجایی بدست آمده تابعی از شرایط موجود در آزمایش است. بعنوان مثال فرم منحنی بار - جابجایی در زمان وجود ژئوسل و ژئوتکستایل با حالت معمول (بدون ژئوسل و ژئوتکستایل) کاملاً متفاوت است. از طرف دیگر نتایج نشان می‌دهد که مقدار ماکزیم نیروی روبه بالای بدست آمده برای حالت معمول تابعی از قطر صفحه و عمق مدفون است، بطوریکه با افزایش قطر و عمق صفحه مقدار آن افزایش می‌یابد. در حالت عمق صفحه برابر با ۵۰ سانتیمتر، افزایش قطر صفحه از ۴ تا ۲۰ سانتیمتر باعث افزایش مقدار ماکزیم نیروی رو به بالا از ۷۰۰ تا ۳۴۴۰ نیوتن شده است. اگر چه اثر عمق در زمان وجود ژئوسل و ژئوتکستایل بر روی نتایج خیلی مهم‌تر است. نتایج بدست آمده بر روی خاک‌های مختلف آزمایش شده نشان می‌دهد که نیروی بیرون‌کشی مهار تابعی از پارامترهای مقاومت برشی خاک است. افزایش زاویه اصطکاک ماسه از ۲۹ تا ۳۷ درجه باعث افزایش ۷۵ درصدی مقدار نیرو در حالت صفحه با قطر ۲۰ سانتیمتر و عمق ۵۰ سانتیمتر شده است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش عمق و قطر صفحه، اثر ماسه بر روی مقدار ماکزیم نیروی بیرون‌کشیدگی افزایش یافته است. نتایج نشان می‌دهد، با اضافه شدن یک لایه ژئوسل یا ژئوتکستایل، مقدار نیروی بیرون‌کشیدگی مهارها افزایش قابل توجهی دارد و ترکیب دو لایه ژئوسل و ژئوتکستایل باعث افزایش چشمگیری در مقدار نیروی بیرون‌کشیدگی مهارها می‌شود.

واژگان کلیدی: مهار، بیرون‌کشیدگی، مدل فیزیکی، ماسه، ژئوسل، ژئوتکستایل

۱. مقدمه

برای بیش از ۵۰ سال، نظریه‌های مختلفی برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی عملکرد صفحات مهار در انواع مختلف خاک ارائه شده است. مهارهای صفحه‌ای نوعی از مهارها هستند که از مصالح مختلفی مانند صفحات فولادی، ورق‌های چوبی، پلیمرهای تقویت شده با الیاف و دال‌های بتنی پیش‌ساخته تهیه می‌شوند. از آنها برای مقاومت در برابر بارهای عمودی، افقی و حتی متمایل در پروژه‌های مختلف ژئوتکنیکی استفاده می‌شود. برخی از این نوع مهارها که برای تحمل بارهای افقی تعبیه شده است، در سازه‌های مختلفی مانند دیوارهای حائل، دیوارهای دریایی و پروژه‌های مرتبط نصب می‌شود. انواع دیگر مهارهای صفحه‌ای برای مقاومت در برابر بارهای رو به بالا در پروژه‌های مختلف مانند برج‌های انتقال، خطوط لوله و سازه‌های مرتبط استفاده می‌شود. بر اساس این کاربردها، مهارهای صفحه‌ای متمایل در پروژه‌های مختلف ژئوتکنیکی مانند برج-های انتقال و سازه‌های چادری بسیار حائز اهمیت هستند. مهارهای صفحه‌ای فقط در پروژه‌های مختلف ژئوتکنیکی خاکی قابل استفاده هستند، زیرا برای نصب این نوع از مهارها نیاز به خاکبرداری است و بعد از نصب خاکریزی بر روی آنها انجام می‌شود. به همین دلیل به آنها "مهارهای صفحه‌ای خاکی" می‌گویند. در انواع جدید مهارهای صفحه‌ای، از مصالح جدید همچون ژئوستتیک و مواد تقویت کننده خاک استفاده می‌شود که باعث بهبود کیفیت و عملکرد مهارها شده است (El Sawwaf & Nazir, 2006; Yu et al., 2011).

لیب و باقری پور (labib & Bgheripour, 2021) نشان دادند که عوامل زیادی همچون مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک بر روی اندرکنش ژئوستتیکها و خاک اثرگذار است. مهارهای صفحه‌ای به سه دسته افقی، عمودی و شیب‌دار تقسیم می‌شود. صفحه مهار افقی ممکن است در ساخت پروژه‌های مختلف ژئوتکنیکی تحت بارهای رو به بالا و کششی در خاک-های چسبنده یا بدون چسبندگی استفاده شود. این نوع صفحات مهار در اکثر پروژه‌های ژئوتکنیکی می‌تواند به

بسیاری از سازه‌ها در اثر بارهای جانبی، لنگرهای واژگونی در جهت‌های متفاوت را تجربه می‌کنند که منجر به ترکیبی از پاسخ‌های کششی و فشاری در سطح فنداسیون می‌شود. طراحی برخی از سازه‌ها نیاز به سیستم‌های خاصی از فنداسیون برای مقاومت در برابر نیروهای رو به بالا دارد (Mohammad Alinejad et al., 2021; Motallebiyan et al., 2020). در این شرایط می‌توان با استفاده از المان‌های کششی که مهار نام دارد به یک روش طراحی موثر و ایمن دست یافت. این عناصر معمولاً به سازه اصلی متصل می‌شود و تا عمق مؤثری در زمین فرو می‌رود تا بتواند در برابر بارهای رو به بالا مقاومت کند. مهارها در خاک معمولاً برای مقاومت در برابر چنین بارهای رو به بالا مورد استفاده قرار می‌گیرند، اگرچه آنها نیز به عنوان المانی جهت افزایش پایداری توده خاک نیز اجرا می‌شوند. از زمان‌های گذشته تا کنون، این سیستم برای دیوار حائل، برج‌های انتقال، فنداسیون‌ها، دیوارهای ساحلی کنار دریا، المانهای مورد استفاده در کنار جاده‌ها و خطوط لوله استفاده می‌شود. مهارها از نظر سیستمی انواع مختلفی دارند که مهمترین آنها عبارتند از مهارهای پیچی، مهارهای تزریقی، مهارهای صفحه‌ای، مهار شمعی، سیستم قلاب - خاک هستند. طراحی بسیاری از سازه‌ها نیاز به فنداسیون‌هایی خاص برای مقاومت در برابر بارهای کششی عمودی یا افقی دارد. به عنوان بخشی از یک کار بزرگتر برای بهبود عملکرد فنداسیون‌ها، توسعه دستورالعمل‌هایی برای طراحی و نصب سیستم مهار امری ضروری و مهم است. در این ارتباط، سازه‌های مختلف مانند برج‌های انتقال، تونل‌ها، دیوارهای ساحلی کنار دریا، خطوط لوله مدفون، دیوار حائل و ... در معرض نیروهای کششی قابل توجهی هستند. در چنین مواردی، یک راه حل طراحی اقتصادی ممکن، استفاده از اعضای کششی است. انواع مختلف مهارهای مورد استفاده در مهندسی ژئوتکنیک عبارتند از: سیستم دوغابی، سیستم هلیکال و سیستم صفحه‌ای.

بررسی آزمایشگاهی ظرفیت بیرون کشیدگی مهارهای صفحه‌ای دایره‌ای مدفون در عمق کم در خاک‌های دانه‌ای بهسازی شده با

ژئوسل و ژئوتکستایل

استفاده از مدل فیزیکی، رفتار مهارهای صفحه‌ای افقی در کنار لایه‌های ژئوسل و ژئوتکستایل را بررسی کردند. نتایج نشان داد که اضافه شدن لایه‌های ژئوسل و ژئوتکستایل باعث افزایش کرنش گسیختگی و بار نهایی شده است.

علی و عزیز (Ali & Aziz, 2021) با استفاده از آزمایش‌های مدل فیزیکی انجام شده بر روی مهارهای صفحه‌ای افقی به این نتیجه رسیدند که افزایش نسبت قطر خاک متراکم شده بالای صفحه مهار به قطر صفحه مهار می‌تواند به طور موثری عملکرد صفحه مهار را بهبود بخشد. برای تمام آزمایش‌های انجام شده بر روی خاک بهسازی شده و بهسازی نشده، ظرفیت نهایی صفحه مهار با افزایش عمق مدفون صفحه مهار افزایش می‌یابد. برای آزمایش‌های خاک بهسازی نشده و در حین بار اعمالی، تنها یک ترک در سطح زمین به صورت دایره ای با قطر برابر با قطر صفحه مهار ایجاد شده است. بعبارت دیگر، شکل گوه شکست برای مدل آزمایش شده بصورت استوانه‌ای بوده است. با افزایش عمق صفحه، شکل گوه شکست مانند یک مخروط کوتاه است. برای خاک متراکم شده، گوه شکست بصورت یک مخروط کوتاه است، سطح بالا این مخروط برابر با سطح بهبود یافته و سطح پایین آن برابر با صفحه مهار است. همچنین ترک‌های زیادی در سطح سطح زمین در تمام جهات قابل مشاهده است. لازم بذکر است مدل‌های فیزیکی مشابهی نیز بر روی ظرفیت باربری مهارهای صفحه‌ای عمودی نیز انجام شده است (Al Salami & Aziz, 2021; Choudhary & Dash, 2018; Dash & Choudhary, 2019) که مقایسه نتایج این تحقیق‌ها نشان می‌دهد که رفتار مهارهای صفحه‌ای در حالت افقی و عمودی با هم کاملاً متفاوت است.

همانطور که نتایج ارائه شده در بخش بالا نشان می‌دهد، تا کنون تحقیق‌های محدودی بر روی ظرفیت باربری مهارهای صفحه‌ای افقی انجام شده است. در این مقاله با استفاده از یک مدل فیزیکی که جزئیات آن در بخش بعد ارائه خواهد شد،

اشکال مختلف (مربع، نواری، مستطیلی یا دایره‌ای) باشد. صفحات افقی تحت بارهای عمودی را صفحات مهار افقی نامیده می‌شوند. این صفحات می‌توانند دو نوع شکست را بر اساس نسبت عمق مدفون خود (نسبت عمق به عرض صفحه) نشان دهند. صفحات مهار افقی به دو نوع مهار کم عمق و مهار عمیق تقسیم می‌شوند. مکانیسم شکست صفحات مهار افقی در ماسه بر اساس شکل صفحه، نوع ماسه، شرایط بهسازی خاک و عمق صفحه متفاوت است. شرایط خاک‌های دانه‌ای که می‌تواند به شرایط سست، متوسط و متراکم طبقه بندی شود، می‌تواند بر مکانیسم شکست صفحات مهار افقی تأثیر بگذارد (Ilamparuthi & Niroumand et al., 2013) (Muthukrishnaiah, 1999)

ایلامپاروزی و دیکین (Ilamparuthi & Dickin, 2001) با استفاده از یک مدل فیزیکی نشان داد که منحنی بار - جابجایی بدست آمده برای مدل‌های مختلف به عوامل بسیاری مانند قطر ژئوگرید، چگالی شن، قطر شمع و عمق مدفون بستگی دارد. یانگ و همکاران (Yang et al., 2020) مکانیسم‌های متفاوت شکست در صفحات مهار افقی در کنار شیروانی بدلیل تغییر پارامترهای مختلف از جمله فاصله از راس شیروانی را نشان دادند. اسرینیوانسان و همکاران (Srinivasan et al., 2020) ظرفیت باربری مهارهای صفحه‌ای افقی را در خاک‌های تک لایه‌ای و دو لایه‌ای دانه‌ای بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در خاک‌های دو لایه‌ای، افزایش ضخامت لایه ضعیف‌تر در بالای صفحه باعث کاهش ظرفیت باربری شده است. کنسولی و همکاران (Consoli et al., 2012) با استفاده از مدل فیزیکی، ظرفیت کششی مهارهای صفحه‌ای همراه با لایه بهسازی شده خاک بالای آن با استفاده از الیاف و سیمان بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بهسازی لایه خاک در بالای صفحه باعث افزایش مهمی در مقدار نیروی کششی ماکزیمم خواهد شد. چودهاری و همکاران (Choudhary et al., 2019) با

استفاده از دستگاه برش مستقیم در دانسیته نسبی (Dr) برابر با ۸۰ درصد مطابق با ASTM-D3080 تعیین شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و ژئوتکنیکی ماسه درشت دانه و

ریزدانه

Characteristics	Fine Sand	Coarse Sand
$\gamma_{max} (KN/m^3)$	16.44	17.78
$\gamma_{min} (KN/m^3)$	13.86	14.20
G_s	2.65	2.67
$\Phi (^{\circ})$	29	37
D_{10}	0.076	0.5
D_{50}	0.135	1.7
C_u	2.1	5
C_c	0.82	0.99
Passing 200 sieve (%)	9.7	0.96
Soil type: USCS	SP-SM	SP

۲-۲ صفحات فلزی

همانطور که در شکل (۳) نشان داده شده است، در این تحقیق از چهار صفحه فلزی با قطرهای ۴، ۷، ۹ و ۲۰ سانتیمتر برای مدل فیزیکی بعنوان صفحات انتهایی مهارها استفاده شده است. ضخامت تمام صفحات یکسان و برابر با ۱ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. صفحات فلزی مورد استفاده در این تحقیق

۲-۳ ژئوتکستایل و ژئوسل

همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، در این تحقیق از ژئوتکستایل بافته نشده استفاده شده است.

ظرفیت باربری مهارهای صفحه‌ای افقی در زمین مسطح، با وجود و عدم وجود لایه‌های ژئوسل و ژئوتکستایل مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱ ماسه درشت دانه و ریزدانه

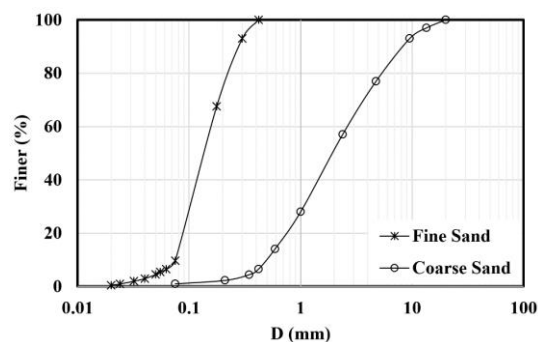
همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است، از دو نوع ماسه ریزدانه و درشت دانه استفاده شده است. شکل (۲) منحنی دانه بندی ماسه ریزدانه و درشت دانه مورد استفاده در برنامه آزمایشی را نشان می‌دهد که با استفاده از آزمایش دانه بندی بصورت خشک و هیدرومتری تعیین شده است.



Coarse Sand

Fine Sand

شکل ۱. ماسه درشت دانه و ریزدانه مورد استفاده در این تحقیق



شکل ۲. منحنی دانه بندی ماسه درشت دانه و ریزدانه مورد استفاده

در این تحقیق

مشخصات فیزیکی و ژئوتکنیکی ماسه ریز و درشت مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده است که طبق سیستم طبقه بندی USCS ماسه ریزدانه بعنوان ماسه بد دانه بندی شده لای دار (SP-SM) و ماسه درشت دانه بنوان ماسه بد دانه بندی شده (SP) شناخته شده است. زاویه اصطکاک داخلی ماسه با

بررسی آزمایشگاهی ظرفیت بیرون کشیدگی مهارهای صفحه‌ای دایره‌ای مدفون در عمق کم در خاک‌های دانه‌ای بهسازی شده با

ژئوسل و ژئوتکستایل

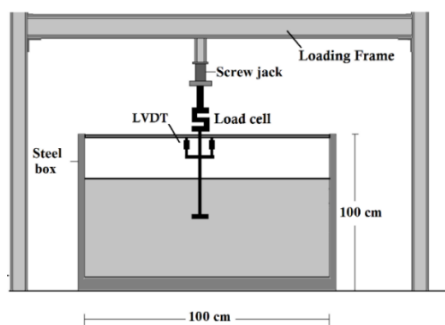
Characteristics	Fine Sand
Polymer	Polyethylene
Density (g/cm^3)	0.94
Thickness (mm)	1.5
Cell Size (mm)	150×100-80×80
Cell height (mm)	45-90
Tensile Strength (kN/m)	21

۲-۴ مدل فیزیکی

همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، در این تحقیق یک مدل فیزیکی برای مطالعه مهارهای صفحه‌ای افقی بارگذاری شده محوری استفاده شده است. یک جعبه با ابعاد داخلی $100 \times 100 \times 100$ سانتیمتر برای مطالعه در این تحقیق آماده شده است. ابعاد مدل برای به حداقل رساندن اثرات مرزی و تداخل بین دیواره‌های مدل و ماسه انتخاب شده است. یک طرف جعبه مدل از شیشه ساخته شده است به طوری که هندسه مدل و لایه‌ها ابتدا در دیواره شیشه‌ای شفاف علامت گذاری شده و همچنین امکان مشاهده تغییر شکل خاک را دارد. جزئیات مربوط به مدل فیزیکی در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل ۶. مدل فیزیکی ساخته شده



شکل ۷. جزئیات مربوط به مدل فیزیکی



شکل ۴. ژئوتکستایل بافته نشده مورد استفاده در این تحقیق

خصوصیات ژئوتکستایل مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شده است. همانطور که در شکل (۵) نشان داده شده است، از سه نوع ژئوسل با اندازه و ارتفاع متفاوت استفاده شده است. ژئوسل سمت چپ تصویر با ابعاد سلولهای 15×10 سانتیمتر و ارتفاع ۹ سانتیمتر، ژئوسل وسط با ابعاد سلولهای 15×10 سانتیمتر و ارتفاع $4/5$ سانتیمتر و ژئوسل سمت راست تصویر با ابعاد سلولهای 80×80 سانتیمتر و ارتفاع $4/5$ سانتیمتر. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ژئوسل‌ها در جدول (۳) ارائه شده است. برای تعیین مقاومت بیرو کشیدگی ژئوسنتتیکها از ASTM D6706 استفاده شده است.

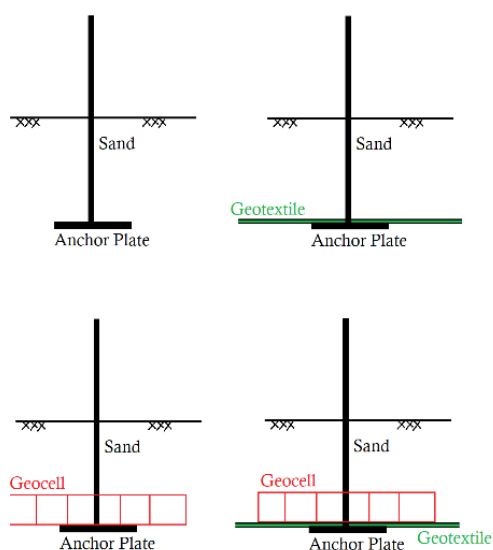
جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ژئوتکستایل

Characteristics	Fine Sand
Fabrication process	Nonwoven
Mass (g/m^2)	200
Thickness (mm)	1.8
Ultimate Tensile Strength (kN/m)- Wide-Width test	7.2
Ultimate Tensile Strain (%)-Wide- Width test	115



شکل ۵. ژئوسل مورد استفاده در این تحقیق

جدول ۳. خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ژئوسل



شکل ۸. مدل‌های مورد استفاده در این تحقیق

همانطور که در شکل (۸) نشان داده شده است، در این تحقیق چهار نوع مدل استفاده شده است. حالت اول بدون تقویت، حالت دوم تقویت شده با لایه ژئوتکستایل، حالت سوم تقویت شده با لایه ژئوسل و حالت چهارم تقویت شده با لایه ژئوسل و ژئوتکستایل.

۳. نتایج

در این قسمت نتایج آزمایش‌های مدل فیزیکی بر روی نمونه‌های مختلف ارائه شده است. نتایج عمدتاً بر اساس نمودار بار محوری - جابجایی ارائه شده است و بر اساس نتایج به دست آمده اثر پارامترهای مختلف بر روی نمودار بار محوری - جابجایی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۱ اثر قطر صفحه و عمق مدفون در زمین مسطح

در این مرحله از آزمایشها اثر قطر صفحه انتهایی مهار در دو عمق ۲۲ و ۵۰ سانتیمتر مورد بررسی واقع شده است. نتایج بدست آمده برای عمق ۲۲ سانتیمتر در شکل (۹) نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می‌شود، افزایش قطر صفحه از ۴ تا ۲۰ سانتیمتر باعث افزایش نیروی عمودی جهت بیرون کشیدن شده است. در شکل (۱۰) اثر قطر برای عمق ۵۰ سانتیمتر نشان داده شده است. همانطور که در این شکل می-

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال پانزدهم / شماره سوم (۶۰) / بهار ۱۴۰۳

همانطور که در شکل (۷) نشان داده شده است، جابجایی‌های عمودی مهارها تحت بار عمودی با استفاده از دو کرنش سنج ۲۵۰ میلیمتر با دقت ۰/۱ میلیمتر نصب شده در دو طرف کلاهک اندازه گیری شده است. جابجایی‌های عمودی به صورت میانگین قراعت دو کرنش سنج حساب شده است. بار محوری کششی از طریق جک متصل به قاب بارگذاری بر روی نمونه اعمال شده است. بار محوری در مرکز مهارها با سرعت ثابت ۱/۵ میلیمتر در دقیقه اعمال شده است. از یک میله فولادی با قطر خارجی ۱۰ میلیمتر به عنوان مهار استفاده شده است.

۲-۵ مراحل ساخت مدل

در این تحقیق از فرایند قبل از نصب (موقعیت مهار قبل از آماده‌سازی) برای نصب مهارها استفاده شده است. خاک در مدل فیزیکی در لایه‌های ۱۰ سانتیمتری ریخته شده است تا به ارتفاع مورد نظر برسد. برای این کار وزن خاک هر لایه حساب شده و بر اساس ارتفاع علامت زده شده بر روی جعبه با استفاده از وسیله طراحی شده جهت کوبش لایه خاک کوبیده شده است. حجم و ارتفاع لایه‌ها از طریق دانسیته نسبی خاک کنترل شده است. تراکم نسبی ماسه در هر لایه ۸۰ درصد در نظر گرفته شده است. بعد از کوبیدن لایه‌های تحتانی، صفحه مهار به همراه میله در وسط مدل کار گذاشته شده است و بعد از آن لایه‌های رویی آن نیز ریخته شده و کوبیده شده است. عمق خاک بر روی صفحه از طریق ارتفاع بیرون زده میله کنترل می‌شود. برای مدل‌های حاوی لایه‌های ژئوسل و ژئوتکستایل، در ابتدا لایه‌های پایین ریخته شده است و بعد از جایگذاری صفحه و لایه‌های ژئوسل یا ژئوتکستایل لایه‌های بعدی ریخته شده است تا به ارتفاع مورد نظر رسیده است.

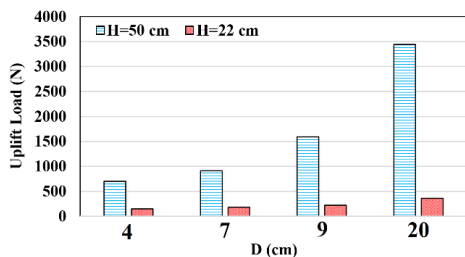
بررسی آزمایشگاهی ظرفیت بیرون کشیدگی مهارهای صفحه‌ای دایره‌ای مدفون در عمق کم در خاک‌های دانه‌ای بهسازی شده با

ژئوسل و ژئوتکستایل

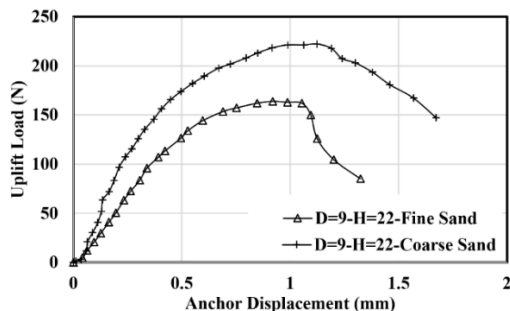
نشان می‌دهد. شواهد نشان می‌دهد برای عمق ۲۲ سانتیمتر، قطر محدوده خاک دچار گسیختگی تقریباً هم اندازه صفحه بوده است و تنها یک مقدار کم در حدود ۱ تا ۲ سانتیمتر بیشتر از قطر صفحه است. افزایش قطر صفحه گسیختگی خاک روی سطح خاک با افزایش عمق است. بعبارت دیگر، افزایش عمق از ۲۲ تا ۵۰ سانتیمتر باعث افزایش سطح بهم ریختگی خاک در روی سطح زمین شده است که این قطر بزرگتر از قطر صفحه بوده است.

۲-۳ اثر نوع خاک

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، برای بررسی اثر نوع خاک از دو نوع ماسه ریزدانه و درشت دانه استفاده شده است. این بررسی برای دو عمق ۲۲ و ۵۰ سانتیمتر و همچنین دو قطر ۹ و ۲۰ سانتیمتر جهت بررسی اثر عمق و قطر صفحه انجام شده است. همانطور که در نتایج ارائه شده در شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) مشخص شده است، مقدار نیرو برای همه حالات در ماسه درشت‌دانه بیشتر از ماسه ریزدانه است. از طرف دیگر کرنش گسیختگی در خاک ماسه درشت‌دانه کمی بیشتر از ماسه ریزدانه است.



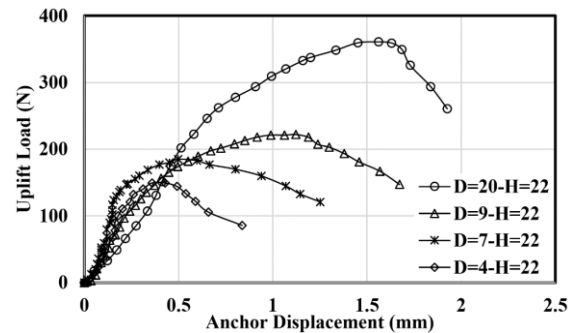
شکل ۱۱. اثر قطر صفحات و ارتفاع مدفون در خاک بر روی نیرو



شکل ۱۲. نمودار بار - جابجایی برای صفحه با قطر ۹ سانتیمتر و

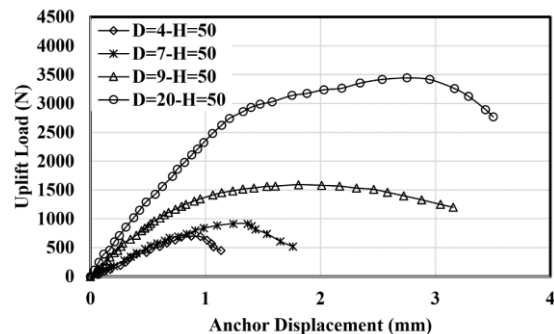
عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر برای ماسه ریزدانه و درشت دانه

بینید، در اینجا نیز افزایش قطر صفحه باعث افزایش نیرو شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که افزایش عمق از ۲۲ تا ۵۰ سانتیمتر اثر مهمی در افزایش نیرو داشته است. لازم بذکر است در تمامی این آزمایشها از ماسه درشت جهت مدلسازی استفاده شده است.



شکل ۹. اثر قطر بر روی نیرو برای عمق ۲۲ سانتیمتر

نمودار میله‌ای ماکزیمم مقدار نیرو برای دو عمق بررسی شده (۲۲ و ۵۰ سانتیمتر) در شکل (۱۱) نشان داده شده است. از نظر مقداری، افزایش قطر صفحات از ۴ تا ۲۰ سانتیمتر در عمق ۲۲ سانتیمتر باعث افزایش ۱/۴۲ برابری بار ماکزیمم کششی شده است.

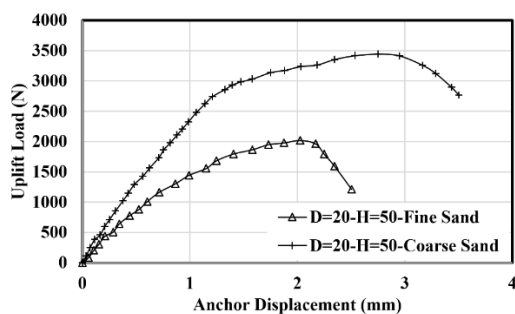


شکل ۱۰. اثر قطر بر روی نیرو برای عمق ۵۰ سانتیمتر

در واقع با افزایش عمق مدفون در صفحات با قطر بزرگتر، درحالی‌که در عمق ۵۰ سانتیمتر افزایش قطر از ۴ تا ۲۰ سانتیمتر باعث افزایش ۳/۹۲ برابری بار ماکزیمم کششی شده است که نشان دهنده افزایش اثر قطر در عمق‌های مدفون بیشتر است. سطح جانبی خاک در ناحیه گسیختگی افزایش می‌یابد و بعبارت دیگر نیروی برشی بسیج شده در این سطح افزایش می‌یابد. نتایج بدست آمده در این مرحله نیز این واقعیت را

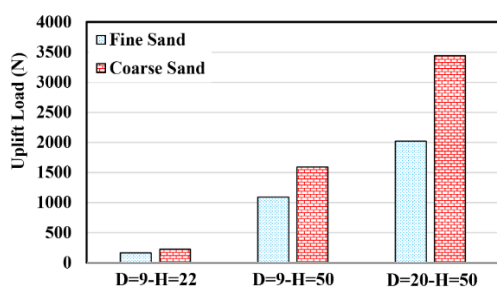
فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال پانزدهم / شماره سوم (۶۰) / بهار ۱۴۰۳

ژئوتکستایل، با ژئوسل، با ژئوتکستایل و با وجود همزمان ژئوسل و ژئوتکستایل بررسی شده است. قطر صفحه، عمق مدفون، نوع خاک و اندازه ژئوسل و ژئوتکستایل متغیرهای اصلی این مرحله از تحقیق بوده است. نتایج ارائه شده در شکل های (۱۶) تا (۱۸) نشان می دهد که اضافه شدن ژئوسل و ژئوتکستایل باعث تغییر مهمی در نمودار بار - جابجایی می شود، بطوریکه مقدار کرنش گسیختگی افزایش یافته است و همانند خاک مسلح نشده دچار افت ناگهانی نمی شود. نتایج نشان می دهد برای یک قطر صفحه و عمق ثابت، ترکیب ژئوسل و ژئوتکستایل بصورت ترکیبی بیشترین مقاومت را کسب نموده است. حالت های ژئوسل و ژئوتکستایل بصورت مجزا تقریباً مقاومت یکسانی از خود نشان داده اند.



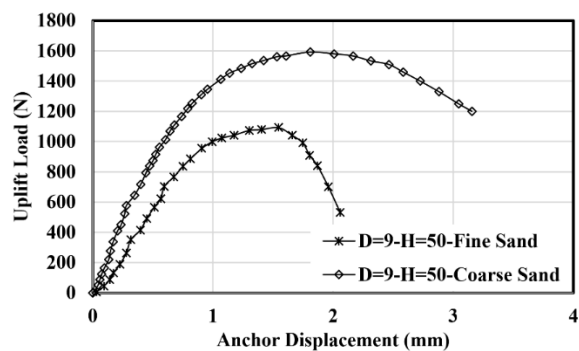
شکل ۱۴. نمودار بار - جابجایی برای صفحه با قطر ۲۰ سانتیمتر و

عمق مدفون ۵۰ سانتیمتر برای ماسه ریزدانه و درشت دانه



شکل ۱۵. اثر نوع ماسه (ریزدانه و درشت دانه) بر روی مقدار

نیروی ماکزیمم



شکل ۱۳. نمودار بار - جابجایی برای صفحه با قطر ۹ سانتیمتر و

عمق مدفون ۵۰ سانتیمتر برای ماسه ریزدانه و درشت دانه

بررسی دقیق تر نتایج نشان می دهد که با افزایش قطر صفحات از ۹ به ۲۰ سانتیمتر و همچنین افزایش عمق مدفون از ۲۲ به ۵۰ سانتیمتر، نوع خاک اثر مهم تری بر روی نتایج داشته است. دلیل این اتفاق این است که با افزایش قطر یا عمق مدفون، سطح جانبی گسیختگی در خاک افزایش یافته است و به همین دلیل اثر زاویه اصطکاک خاک بیشتر شده است که در نتیجه باعث اختلاف بیشتر نتایج شده است.

برای بررسی دقیق تر اثر نوع ماسه بر روی نتایج، نمودار میله ای برای این قسمت نیز در شکل (۱۵) ارائه شده است. در اینجا افزایش اختلاف در نتایج با افزایش قطر صفحات و عمق مدفون بخوبی مشاهده می شود. در واقع با افزایش قطر و عمق صفحه، سطح جانبی بیشتری از خاک در صفحات گسیختگی درگیر شده است و بنابراین اثر نوع خاک بر روی نتایج افزایش یافته است. افزایش مقدار نیروی ماکزیمم برای حالت صفحه با قطر ۹ و ارتفاع ۲۲ سانتیمتر بدلیل تغییر اندازه ذرات از ریزدانه به درشت دانه برابر با ۳۵ درصد است. این مقدار برای حالت صفحه با قطر ۹ و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر برابر با ۴۵ درصد و برای حالت با قطر ۲۰ و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر برابر با ۷۰ درصد است.

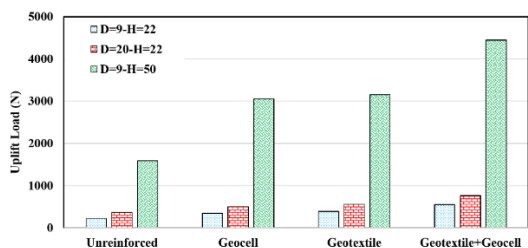
۳-۳ اثر استفاده از ژئوسل و ژئوتکستایل

در این قسمت اثر حضور ژئوسل و ژئوتکستایل به صورت مجزا و ترکیبی بررسی شده است. تمامی آزمایشها در این مرحله در چهار حالت یعنی بدون وجود ژئوسل و

بررسی آزمایشگاهی ظرفیت بیرون کشیدگی مهارهای صفحه‌ای دایره‌ای مدفون در عمق کم در خاک‌های دانه‌ای بهسازی شده با

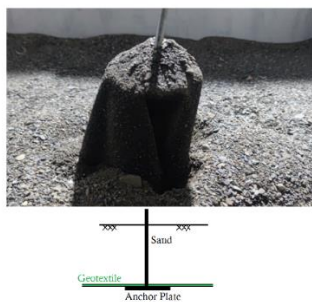
ژئوسل و ژئوتکستایل

صفحه با قطر ۹ و عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر، افزایش نیروی ماکزیمم در حالت ژئوسل، ژئوتکستایل و ترکیب ژئوسل و ژئوتکستایل نسبت به حالت تقویت نشده (بدون ژئوسل و ژئوتکستایل) بترتیب برابر با ۱/۵۶، ۱/۷۴ و ۲/۴۷ است. این مقادیر برای حالت صفحه با قطر ۲۰ و عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر برابر با ۱/۳۷، ۱/۵۳ و ۲/۷۹ است. مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که افزایش قطر صفحه تاثیر ناچیزی در مقدار افزایش مقاومت در حالت تقویت شده دارد. این مقادیر برای حالت صفحه با قطر ۹ و عمق مدفون ۵۰ سانتیمتر، برابر با ۱/۹۱، ۱/۹۸ و ۲/۷۹ است که نشان دهنده اهمیت استفاده از ژئوسل و ژئوتکستایل در عمق‌های مدفون بالاتر است. اختلاف مهم دیگر که در آزمایشها مشاهده شده است، شکل گسیختگی متفاوت در آزمایشها بوده است که در ادامه آورده شده است. شکل (۲۰) نشان دهنده شکل گسیختگی مهار در زمان استفاده از لایه ژئوتکستایل تنها است که معمولا لایه ژئوتکستایل در کرنش‌های بالا بیرون آمده است. مقداری از خاک نیز اطراف صفحه هم دچار اتساع شده است.



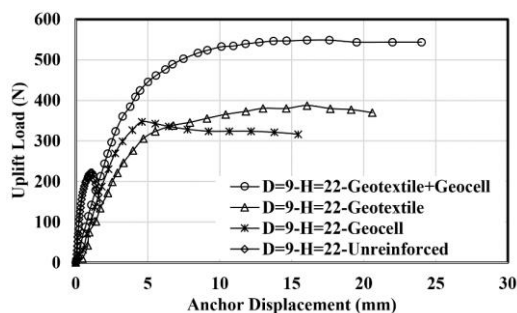
شکل ۱۹. اثر ژئوسل و ژئوتکستایل بر روی مقدار نیروی ماکزیمم

مهارها با عمق و قطر متفاوت



شکل ۲۰. گسیختگی مهار با صفحه انتهایی به همراه لایه

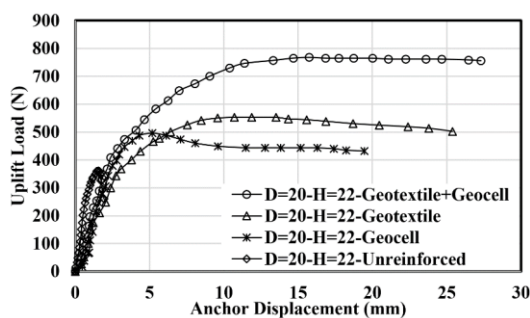
ژئوتکستایل



شکل ۱۶. نمودار بار - جابجایی برای صفحه با قطر ۹ سانتیمتر و

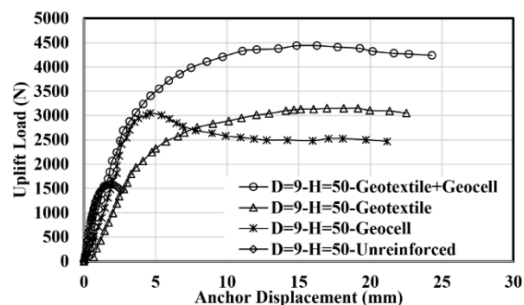
عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر

همانطور که در این شکل (۱۹) دیده می‌شود در تمامی موارد حالت ژئوسل و ژئوتکستایل بصورت ترکیبی بیشترین مقاومت را کسب کرده است و از طرف دیگر افزایش عمق در زمان حضور ژئوسل و ژئوتکستایل اثر خیلی مهمی بر روی افزایش نیرو داشته است.



شکل ۱۷. نمودار بار - جابجایی برای صفحه با قطر ۲۰ سانتیمتر و

عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر

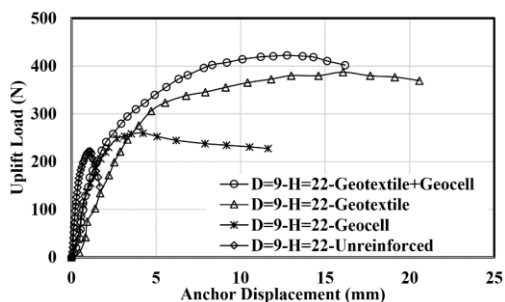


شکل ۱۸. نمودار بار - جابجایی برای صفحه با قطر ۹ سانتیمتر و

عمق مدفون ۵۰ سانتیمتر

اگر چه افزایش قطر تاثیر ناچیزی داشته است. این نشان می‌دهد که کاربرد ژئوسل و ژئوتکستایل در عمق‌های بیشتر اثر مثبت بالایی دارد ولی در عمق‌های کم اثر آن ناچیز است. در حالت

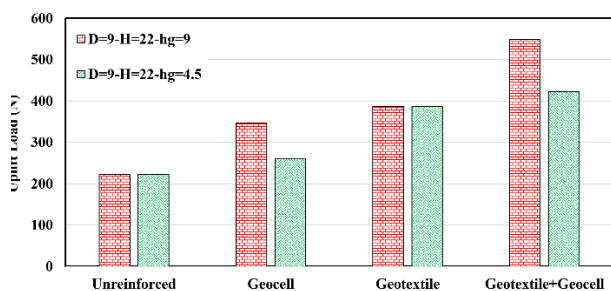
آن در شکل (۲۳) ارائه شده است.



شکل ۲۳. نمودار بار - جابجایی برای صفحه با قطر ۹ سانتیمتر،

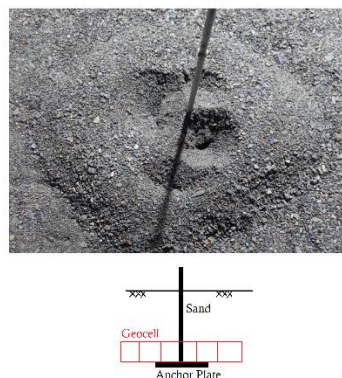
عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر و hg برابر با ۴/۵ سانتیمتر

برای مقایسه اثر عمق ژئوسل (۴/۵ و ۹ سانتیمتر)، نمودار میله-ای برای قطر صفحه ۹ سانتیمتر و ارتفاع ۲۲ سانتیمتر در شکل (۲۴) ارائه شده است. همانطور که انتظار می‌رود در حالت بدون تقویت و حالت ژئوتکستایل تنها، بدلیل نبود لایه ژئوسل، نتایج برای هر دو حالت یکسان است. ولی برای حالت ژئوسل تنها، کاهش ارتفاع لایه ژئوسل از ۹ به ۴/۵ سانتیمتر باعث کاهش نیروی ماکزیمم از ۳۴۷ به ۲۶۰ نیوتن شده است. برای حالت ترکیبی ژئوسل و ژئوتکستایل نیز کاهش ارتفاع لایه ژئوسل از ۹ به ۴/۵ سانتیمتر باعث کاهش نیروی ماکزیمم از ۵۴۹ به ۴۲۲ نیوتن شده است. این کاهش نیرو به دلیل کاهش سختی برشی لایه ژئوسل به دلیل کاهش ارتفاع آن است که نشان دهنده اهمیت این پارامتر زمان استفاده از لایه ژئوسل است.



شکل ۲۴. اثر ارتفاع ژئوسل بر روی مقدار نیروی ماکزیمم مهارها

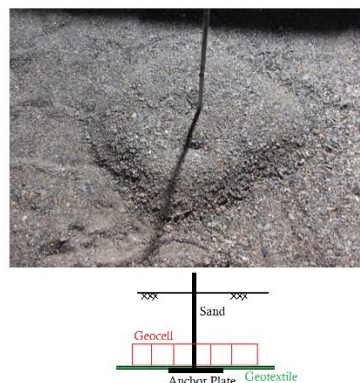
با عمق و قطر یکسان



شکل ۲۱. گسیختگی مهار با صفحه انتهایی به همراه ژئوسل

شکل (۲۱) نحوه گسیختگی نمونه‌های تقویت شده با لایه ژئوسل را نشان می‌دهد که در بیشتر مواقع با حفراتی اطرف صفحه همراه بوده است. قابل ذکر است این گسیختگی در کرنش‌های خیلی بالا اتفاق افتاده است. شکل (۲۲) نحوه گسیختگی نمونه‌های تقویت شده با ترکیب لایه ژئوسل و ژئوتکستایل را نشان می‌دهد.

در این نمونه‌ها عمق و تعداد حفرات کمتر از حالت تقویت شده با ژئوسل بوده است و در اکثر مواقع خاک در شعاعی بزرگتر از شعاع صفحه و تقریباً نزدیک به ابعاد لایه ژئوتکستایل دچار اتساع شده است که در اینجا نیز این اتفاق در کرنش‌های بالا اتفاق افتاده است.



شکل ۲۲. گسیختگی مهار با صفحه انتهایی به همراه لایه ژئوسل و

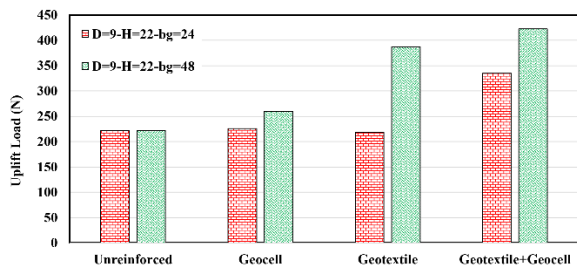
ژئوتکستایل

برای بررسی اثر ارتفاع لایه ژئوسل (hg)، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها در حالت hg برابر با ۴/۵ سانتیمتر برای صفحه با قطر ۹ سانتیمتر و ارتفاع ۲۲ سانتیمتر انجام شده است که نتایج

بررسی آزمایشگاهی ظرفیت بیرون کشیدگی مهارهای صفحه‌ای دایره‌ای مدفون در عمق کم در خاک‌های دانه‌ای بهسازی شده با

ژئوسل و ژئوتکستایل

عرض لایه ۲۴ سانتیمتر نسبت به ۴۸ سانتیمتر، کاهش سطح بالا آمده خاک مشاهده شده است.



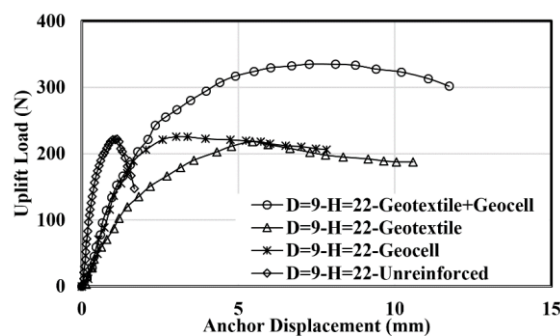
شکل ۲۶. اثر عرض لایه ژئوسل و ژئوتکستایل بر روی مقدار نیروی ماکزیم مهارها با عمق و قطر یکسان

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از مدل فیزیکی ساخته شده، رفتار مهارهای صفحه‌ای افقی در خاک‌های دانه‌ای مورد بررسی واقع شده است. در این تحقیق اثر قطر صفحات مهار، عمق مدفون صفحه، نوع ماسه (ریزدانه، درشت‌دانه)، وجود ژئوسل و ژئوتکستایل جهت بهسازی مورد بررسی واقع شده است. بر اساس آزمایش‌های انجام شده نتایج زیر در بخش نتیجه‌گیری بدست آمده است:

۱- افزایش قطر صفحه از ۴ تا ۲۰ سانتیمتر باعث افزایش نیروی عمودی جهت بیرون کشیدن شده است. افزایش قطر صفحات از ۴ تا ۲۰ سانتیمتر در عمق ۲۲ سانتیمتر باعث افزایش ۱/۴۲ برابری بار ماکزیم کششی شده است. افزایش عمق از ۲۲ تا ۵۰ سانتیمتر نیز اثر مهمی در افزایش نیرو داشته است. در عمق ۵۰ سانتیمتر افزایش قطر از ۴ تا ۲۰ سانتیمتر باعث افزایش ۳/۹۲ برابری بار ماکزیم کششی شده است که نشان دهنده افزایش اثر قطر در عمق‌های مدفون بیشتر است. افزایش قطر صفحه گسیختگی خاک روی سطح خاک با افزایش عمق در نتایج مشاهده شده است.

۲- برای بررسی اثر نوع خاک از دو نوع ماسه ریزدانه و درشت دانه استفاده شده است. مقدار نیرو برای همه حالات در ماسه درشت‌دانه بیشتر از ماسه ریزدانه است. از طرف دیگر کرنش گسیختگی در خاک ماسه درشت‌دانه کمی بیشتر



شکل ۲۵. نمودار بار - جابجایی برای صفحه با قطر ۹ سانتیمتر، عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر، hg برابر با ۴/۵ سانتیمتر و bg برابر با ۲۴ سانتیمتر

برای بررسی اثر ابعاد لایه ژئوتکستایل و ژئوسل (bg)، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها در حالت bg برابر با ۲۴ سانتیمتر، hg برابر با ۴/۵ سانتیمتر برای صفحه با قطر ۹ سانتیمتر و ارتفاع ۲۲ سانتیمتر انجام شده است که نتایج آن در شکل (۲۵) ارائه شده است.

برای مقایسه اثر عرض ژئوسل و ژئوتکستایل (۲۴ و ۴۸ سانتیمتر)، نمودار میله‌ای برای قطر صفحه ۹ سانتیمتر و ارتفاع ۲۲ سانتیمتر با ارتفاع لایه ژئوسل ۴/۵ در شکل (۲۶) ارائه شده است. همانطور که انتظار می‌رود در حالت بدون تقویت، بدلیل نبود لایه ژئوسل یا ژئوتکستایل، نتایج برای هر دو حالت یکسان است. ولی برای حالت تقویت شده با ژئوسل یا ژئوتکستایل، کاهش عرض لایه تقویت کننده از ۴۸ به ۲۴ سانتیمتر باعث کاهش نیروی ماکزیم شده است. برای حالت لاسه ژئوسل که کمترین کاهش را داشته است، نیروی ماکزیم از ۲۶۰ به ۲۲۵ نیوتن کاهش یافته است. برای حالت لاسه ژئوتکستایل که بیشترین کاهش را داشته است، نیروی ماکزیم از ۳۸۷ به ۲۱۸ نیوتن کاهش یافته است. برای حالت ترکیبی ژئوسل و ژئوتکستایل نیز کاهش عرض لایه تقویت کننده از ۴۸ به ۲۴ سانتیمتر باعث کاهش نیروی ماکزیم از ۴۲۲ به ۳۳۵ نیوتن شده است. این کاهش نیرو به دلیل کاهش سطح خاک بالای صفحه بوده است که این مورد در زمان اتساع خاک بعد از آزمایش نیز مشاهده شده است. بعبارت دیگر در حالت

مقایسه این مقادیر نشان می‌دهد که افزایش قطر صفحه تاثیر ناچیزی در مقدار افزایش مقاومت در حالت تقویت شده دارد. این مقادیر برای حالت صفحه با قطر ۹ و عمق مدفون ۵۰ سانتیمتر، برابر با ۱/۹۱، ۱/۹۸ و ۲/۷۹ است که نشان دهنده اهمیت استفاده از ژئوسل و ژئوتکتایل در عمق‌های مدفون بالاتر است. اختلاف مهم دیگر که در آزمایشها مشاهده شده است، شکل گسیختگی متفاوت در آزمایشها بوده است.

۴- نتایج نشان می‌دهد برای حالت ژئوسل تنها، کاهش ارتفاع لایه ژئوسل از ۹ به ۴/۵ سانتیمتر باعث کاهش نیروی ماکزیمم از ۳۴۷ به ۲۶۰ نیوتن شده است. برای حالت ترکیبی ژئوسل و ژئوتکتایل نیز کاهش ارتفاع لایه ژئوسل از ۹ به ۴/۵ سانتیمتر باعث کاهش نیروی ماکزیمم از ۵۴۹ به ۴۲۲ نیوتن شده است. این کاهش نیرو به دلیل کاهش سختی برشی لایه ژئوسل به دلیل کاهش ارتفاع آن است که نشان دهنده اهمیت این پارامتر زمان استفاده از لایه ژئوسل است. برای حالت تقویت شده با ژئوسل یا ژئوتکتایل، کاهش عرض لایه تقویت کننده از ۴۸ به ۲۴ سانتیمتر باعث کاهش نیروی ماکزیمم شده است. برای حالت لاسه ژئوسل که کمترین کاهش را داشته است، نیروی ماکزیمم از ۲۶۰ به ۲۲۵ نیوتن کاهش یافته است. برای حالت لاسه ژئوتکتایل که بیشترین کاهش را داشته است، نیروی ماکزیمم از ۳۸۷ به ۲۱۸ نیوتن کاهش یافته است. برای حالت ترکیبی ژئوسل و ژئوتکتایل نیز کاهش عرض لایه تقویت کننده از ۴۸ به ۲۴ سانتیمتر باعث کاهش نیروی ماکزیمم از ۴۲۲ به ۳۳۵ نیوتن شده است. این کاهش نیرو به دلیل کاهش سطح خاک بالای صفحه بوده است که این مورد در زمان اتساع خاک بعد از آزمایش نیز مشاهده شده است.

۵. مراجع

– Al Salami, H. N., & Aziz, L. J. (2021). Performance improvement of vertical anchor

فصلنامه مهندسی حمل و نقل / سال پانزدهم / شماره سوم (۶۰) / بهار ۱۴۰۳

از ماسه ریزدانه است. با افزایش قطر صفحات از ۹ به ۲۰ سانتیمتر و همچنین افزایش عمق مدفون از ۲۲ به ۵۰ سانتیمتر، نوع خاک اثر مهم‌تری بر روی نتایج داشته است. دلیل این اتفاق این است که با افزایش قطر یا عمق مدفون، سطح جانبی گسیختگی در خاک افزایش یافته است و به همین دلیل اثر زاویه اصطکاک خاک بیشتر شده است که در نتیجه باعث اختلاف بیشتر نتایج شده است. افزایش مقدار نیروی ماکزیمم برای حالت صفحه با قطر ۹ و ارتفاع ۲۲ سانتیمتر بدلیل تغییر اندازه ذرات از ریزدانه به درشت‌دانه برابر با ۳۵ درصد است. این مقدار برای حالت صفحه با قطر ۹ و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر برابر با ۴۵ درصد و برای حالت با قطر ۲۰ و ارتفاع ۵۰ سانتیمتر برابر با ۷۰ درصد است.

۳- نتایج نشان می‌دهد که اضافه شدن ژئوسل و ژئوتکتایل باعث تغییر مهمی در نمودار بار - جابجایی می‌شود، بطوریکه مقدار کرنش گسیختگی افزایش یافته است و همانند خاک مسلح نشده دچار افت ناگهانی نمی‌شود. نتایج نشان می‌دهد برای یک قطر صفحه و عمق ثابت، ترکیب ژئوسل و ژئوتکتایل بصورت ترکیبی بیشترین مقاومت را کسب نموده است. حالت‌های ژئوسل و ژئوتکتایل بصورت مجزا تقریباً مقاومت یکسانی از خود نشان داده‌اند. از طرف دیگر افزایش عمق در زمان حضور ژئوسل و ژئوتکتایل اثر خیلی مهمی بر روی افزایش نیرو داشته است. اگر چه افزایش قطر تاثیر ناچیزی داشته است. این نشان می‌دهد که کاربرد ژئوسل و ژئوتکتایل در عمق‌های بیشتر اثر مثبت بالایی دارد ولی در عمق‌های کم اثر آن ناچیز است. در حالت صفحه با قطر ۹ و عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر، افزایش نیروی ماکزیمم در حالت ژئوسل، ژئوتکتایل و ترکیب ژئوسل و ژئوتکتایل نسبت به حالت تقویت نشده (بدون ژئوسل و ژئوتکتایل) بترتیب برابر با ۱/۵۶، ۱/۷۴ و ۲/۴۷ است. این مقادیر برای حالت صفحه با قطر ۲۰ و عمق مدفون ۲۲ سانتیمتر برابر با ۱/۳۷، ۱/۵۳ و ۲/۷۹ است.

ژئوسل و ژئوتکستایل

- resistance of an existing vertical anchor plate in sand. *Computers and Geotechnics*, 33(3), 167–176. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2006.04.001>
- Ilamparuthi, K., & Dickin, E. A. (2001). Predictions of the uplift response of model belled piles in geogrid-cell-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 19(2), 89–109. [https://doi.org/10.1016/S0266-1144\(00\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0266-1144(00)00011-X)
- Ilamparuthi, K., & Muthukrishnaiah, K. (1999). Anchors in sand bed: Delineation of rupture surface. *Ocean Engineering*, 26(12), 1249–1273. [https://doi.org/10.1016/S0029-8018\(98\)00034-1](https://doi.org/10.1016/S0029-8018(98)00034-1)
- labib, aliyeh, & Bgheripour, M. H. (2021). investigation and experimental comparison of geogrid and gridanchor pullout resistance for sandy soil. *Modares Civil Engineering Journal*, 21(6). <http://mcej.modares.ac.ir/article-16-50143-fa.html>
- Mohammad Alinejad, R., Bayat, M., Nadi, B., & Pakbaz, M. S. (2021). Response of pile group adjacent to a slope crest under static axial loading. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(23), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s12517-021-09123-7>
- Motallebian, A., Bayat, M., & Nadi, B. (2020). Analyzing the Effects of Soil-Structure Interactions on the Static Response of Onshore Wind Turbine Foundations Using Finite Element Method. *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 53(1), 189–205. <https://doi.org/10.22059/cej.2020.281914.1586>
- Niroumand, H., Kassim, K. A., & Nazir, R. (2013). The influence of soil reinforcement on the uplift response of symmetrical anchor plate embedded in sand. *Measurement: Journal of plates in sandy soil by using geogrid reinforcement. Journal of Physics: Conference Series*, 1973(1), 12198. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1973/1/012198>
- Ali, Z. S., & Aziz, L. J. (2021). Investigating the Pull-out Capacity of a Horizontal Plate Anchor Embedded in Sandy Soil. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1094(1), 012048. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1094/1/012048>
- Choudhary, A. K., & Dash, S. K. (2018). Pull-out behaviour of vertical plate anchor in granular soil. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Geotechnical Engineering*, 171(5), 379–390. <https://doi.org/10.1680/jgeen.17.00174>
- Choudhary, A. K., Pandit, B., & Babu, G. L. S. (2019). Uplift capacity of horizontal anchor plate in geocell reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 47(2), 203–216. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2018.12.009>
- Consoli, N. C., Thomé, A., Girardello, V., & Ruver, C. A. (2012). Uplift behavior of plates embedded in fiber-reinforced cement stabilized backfill. *Geotextiles and Geomembranes*, 35, 107–111. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2012.09.002>
- Dash, S. K., & Choudhary, A. K. (2019). Pullout Behavior of Geocell-Reinforced Vertical Plate Anchors under Lateral Loading. *International Journal of Geomechanics*, 19(8), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0001452](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0001452)
- El Sawwaf, M., & Nazir, A. (2006). The effect of soil reinforcement on pullout

– Yang, M., Ai, Z., & Deng, B. (2020). Experimental and Analytical Study on Uplift Loading Capacity of Strip Plate Anchors Near Sand Slope. *International Journal of Geomechanics*, 20(1), 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)gm.1943-5622.0001528](https://doi.org/10.1061/(asce)gm.1943-5622.0001528)

– Yu, L., Liu, J., Kong, X. J., & Hu, Y. (2011). Numerical study on plate anchor stability in clay. *Geotechnique*, 61(3), 235–246. <https://doi.org/10.1680/geot.8.P.071>

the International Measurement Confederation, 46(8), 2608–2629. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2013.04.072>

– Srinivasan, V., Ghosh, P., & Santhoshkumar, G. (2020). Experimental and Numerical Analysis of Interacting Circular Plate Anchors Embedded in Homogeneous and Layered Cohesionless Soil. *International Journal of Civil Engineering*, 18(2), 231–244. <https://doi.org/10.1007/s40999-019-00441-2>

بررسی آزمایشگاهی ظرفیت بیرون کشیدگی مهارهای صفحه‌ای دایره‌ای مدفون در عمق کم در خاک‌های دانه‌ای بهسازی شده با

ژئوسل و ژئوتکستایل

مهدی علی‌اصغرزاده، دانشجوی دکتری عمران-ژئوتکنیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد که زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان، مدلسازی فیزیکی در ژئوتکنیک است. رساله دکتری ایشان بر روی ظرفیت بیرون کشیدگی مهارهای صفحه‌ای مدفون در عمق کم در خاک‌های دانه‌ای بهسازی شده با ژئوسل و ژئوتکستایل تعریف شده است.



میکائیل یوسف‌زاده فرد، ایشان موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-خاک و پی در سال ۱۳۷۵ از دانشگاه بیرمنگام انگلیس شدند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان روش‌های مدل‌سازی عددی و خاک‌های غیر اشباع است.



محمد رضا عطرچیان، ایشان موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-خاک و پی در سال ۱۳۷۶ از دانشگاه لاروشل فرانسه شدند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان روش‌های مدل‌سازی عددی در ژئوتکنیک و بهسازی خاک است.



میثم بیات، ایشان موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی عمران-ژئوتکنیک در سال ۱۳۹۶ از دانشگاه تهران شدند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان بهسازی خاک، ژئوتکنیک لرزه‌ای و خاک‌های غیر اشباع است و در حال حاضر عضو هیئت علمی با مرتبه استادیار در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد است.

