

بررسی آزمایشگاهی تاثیر هندسه و تعداد صفحه بر ظرفیت باربری کششی شمع های ماریچ

فرزاد قریب^۱، سید احسان سیدی حسینی نیا^{۲*}

۱. کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. دانشیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد

esevedi@um.ac.ir

تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۰/۰۱

چکیده

هم اکنون، شمع‌های ماریچ به عنوان مهار کششی در صنعت استفاده شده و دارای کاربردهای متنوعی از جمله تکیه‌گاه سازه‌ها، خطوط انتقال برق، مهار لوله‌های مستغرق در آب و غیره است. این شمع‌ها دارای مزایایی مانند نصب آسان و سریع، عدم نیاز به حفاری و آلودگی زیست محیطی و غیره است. پژوهش حاضر به بررسی ظرفیت باربری کششی شمع ماریچ در خاک ماسه‌ای می‌پردازد. هدف از انجام این پژوهش، بررسی اثر هندسه و تعداد صفحات بر ظرفیت باربری کششی شمع ماریچ در مقیاس کوچک آزمایشگاهی بر روی خاک ماسه‌ای است. بدین منظور، تعداد یک تا سه صفحه و با هندسه‌های مختلف مربعی، دایروی و شش ضلعی در نظر گرفته شد. اندازه صفحه‌ها طوری انتخاب شد که مساحت تمام صفحه‌ها با هندسه‌های مختلف یکسان باشد. مطابق نتایج بدست آمده، مشاهده شد هندسه صفحه نقش بسزایی در ظرفیت باربری کششی شمع دارد. با تعریف ضریب شکل و شاخص قراردادن ظرفیت باربری شمع با صفحه دایروی، مشخص شد شمع با صفحات شش ضلعی و دایروی به ترتیب بیشترین و کمترین ظرفیت باربری را بدست می‌دهد. همچنین، با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و روش‌های مختلف تحلیلی موجود در ادبیات فنی، مشخص شد سازوکار ظرفیت باربری در شمع‌های چند صفحه‌ای، به صورت استوانه برشی است. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، افزایش تعداد صفحات باربر همواره موجب افزایش ظرفیت باربری شمع ماریچ نمی‌شود و بستگی به شکل صفحات دارد. این نتیجه بر اساس روش تحلیلی نیز تایید می‌شود.

واژگان کلیدی: ظرفیت باربری کششی، شمع ماریچ، هندسه صفحه، تعداد صفحه، مطالعه آزمایشگاه

۱- مقدمه

امروزه، مهار کششی^۱ به طور گسترده در صنعت مورد استفاده قرار می گیرد. این مهارها برای نگهداشتن پی سازه‌ها در حالت بیرون کشیدگی مانند پی دکل‌های برق، پایه پل‌ها، دوختن خطوط لوله به زمین و غیره کاربرد دارد. در این مهارها، یک صفحه افقی در داخل زمین و در لایه مقاوم قرار داده شده و نیروی کششی توسط یک المان میله‌ای مانند کابل یا میلگرد به آن صفحه منتقل می‌کند. در سال‌های اخیر، از شمع ماریچ به عنوان یک مهار کششی استفاده می‌شود.

شمع ماریچ از یک بدنه استوانه‌ای و یک یا تعدادی صفحه تشکیل شده که به صورت عمودی روی محور بدنه نصب می‌شوند. طبق گزارش لاتنگر [1]، بنظر می‌رسد نمونه اولیه شمع ماریچ توسط یک مهندس ایرلندی به نام الکساندر میچل ساخته شده است. در ایران، نمونه جدیدی از این شمع با نام «شمع پیچی - حلزونی» در سازمان ثبت اسناد و املاک کشور به شماره ۸۴۵۸۰ ثبت اختراع شده است [2]. روش اجرای یک شمع پیچی - حلزونی به صورت اعمال گشتار بر سر آن بوده، به شکلی که با پیچاندن آن به سمت زمین، صفحه‌ها خاک را به اطراف رانده و صفحه‌ها به عمق زمین نفوذ می‌کنند. بدنه استوانه‌ای آن می‌تواند به صورت مشبک بوده و از داخل آن، عملیات تزریق برای افزایش ظرفیت باربری انجام می‌شود. نیروی کششی وارد بر شمع پیچی - حلزونی توسط جدار استوانه، صفحات افقی و باند بوجود آمده حاصل از تزریق تحمل می‌شوند. بطور کلی، شمع ماریچ در مقابل شمع‌های دیگر مانند کوبشی و بتنی درجاریز، دارای مزایایی مانند بارگذاری سریع، عدم نیاز به پیش حفاری، عدم ایجاد صدا و لرزش و سرعت بالا در نصب است و بهمین دلایل، استفاده از آن توجه بسیاری از پژوهشگران و صنعتگران را به خود جلب کرده است. تحقیقات زیادی روی ظرفیت باربری کششی مهارها و البته شمع ماریچ به صورت آزمایشگاهی و با موضوعات مختلفی انجام شده است. در این میان، پژوهش‌هایی روی ظرفیت باربری کششی این شمع‌ها در خاک ماسه‌ای در مقیاس

آزمایشگاهی [3, 4, 5, 6, 7] و بزرگ مقیاس [8, 9, 10] انجام شده است. در پژوهش‌هایی، به تاثیر قطر و تعداد صفحه‌ها [11, 12, 13]، تغییر شکل و بالازدگی خاک اطراف شمع [14, 15]، نامنظمی در هندسه صفحه مهار [16] و گشتاور اعمالی [17] بر ظرفیت باربری کششی شمع پرداخته شده است. همچنین، توزیع نیرو در بدنه و صفحه‌های شمع مدفون در خاک ماسه‌ای متراکم مطالعه شده است [5]. در میان کارهای آزمایشگاهی و شمع‌های دو و سه پره‌ای پژوهش‌های مختلفی نیز انجام شده که بطور نمونه، به تعیین ظرفیت باربری شمع در داخل محفظه‌های محدود شده [18 و 19]، تاثیر سربار بر ظرفیت باربری کششی [20] و بررسی سطوح گسیختگی خاک با تکنیک پردازش تصویر [21] اشاره می‌شود.

لازم بذکر است تقریباً در تمام این پژوهش‌ها، شکل هندسی صفحه‌ها یا همان صفحات باربری، به صورت دایره بوده و فقط در تعداد معدودی از این پژوهش‌ها، صفحه به صورت مربعی در نظر گرفته شده است [22, 23]. بر اساس نتایجی که روی ظرفیت باربری شمع‌ها انجام شده است، واضح است که هندسه صفحه نیز می‌تواند روی ظرفیت باربری نقش داشته باشد. تغییر در هندسه صفحات، می‌تواند در هزینه ساخت صفحات و صرفه جویی مصالح بکار رفته در ساخت شمع‌ها نیز نقش بسزایی داشته باشد. همچنین، در اکثر پژوهش‌ها، از یک صفحه به عنوان صفحه باربر استفاده شده است. در صورتی که اگر از دو یا تعداد بیشتری صفحه استفاده شود، بسته به فاصله و اینکه چه اندرکنشی میان آنها بوجود می‌آید، می‌تواند در ظرفیت باربری کلی شمع، تاثیرگذار باشد.

۲- نظریه ظرفیت باربری کششی شمع ماریچ

برای تعیین ظرفیت باربری کششی شمع ماریچ، از تعریف دو نظریه مختلف شامل صفحات باربر مجزا و استوانه برشی مجازی استفاده می‌شود. شمای کلی این دو نظریه در شکل (۱) نشان داده شده است.

با هندسه دیگر مثل صفحه مربعی، با یک ضریب به نام اثر شکل (α)، به صورت رابطه (۲) قابل تعریف است:

$$\alpha = \frac{N_q^*}{N_q^{circle}} \quad (2)$$

در نظریه دوم که به روش استوانه برشی معروف است، فرض می‌شود خاک میان صفحه‌ها به عنوان یک جسم صلب عمل کرده و سطح اصطکاک میان این استوانه مجازی با خاک اطراف به همراه ظرفیت باربری بالاترین صفحه، به عنوان ظرفیت باربری کششی شمع (P_u^{cyl}) مطابق رابطه (۳) در نظر گرفته می‌شود.

$$P_u^{cyl} = q_{ult} \cdot A_T + T \cdot P_{plate} \quad (3)$$

که در آن، A_T سطح مقطع بالاترین صفحه، P_{plate} محیط صفحه، T مقاومت برشی خاک در جدار استوانه است. پرکو [31] مقدار T را طبق نظریه میچ و کلمانس [7] به صورت رابطه (۴) توصیه کرده است:

$$T = \frac{1}{2} (0.09e^{0.08\phi}) \gamma \{z_2^2 - z_1^2\} \tan \phi \quad (4)$$

که در آن، Z_1 و Z_2 عمق‌های ابتدایی و انتهایی استوانه مجازی از سطح زمین و ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک است. ظرفیت باربری کششی نهایی شمع ماریچ برابر با کمترین نیروی حاصل از این دو نظریه طبق رابطه (۵) تلقی می‌شود:

$$P_u = \min\{P_u^{ind}, P_u^{cyl}\} \quad (5)$$

۳- مصالح و طراحی آزمون ها

۳-۱- مشخصات مصالح خاکی

خاک مورد استفاده، ماسه فیروزکوه با نام تجاری ماسه فیروزکوه ۱۶۱ بوده که مشخصات فیزیکی آن از طریق آزمایش‌های دانه‌بندی مطابق استاندارد [32] ASTM D422، چگالی دانه‌های جامد خاک (G_s) مطابق استاندارد ASTM [33] D854 و چگالی آن مطابق استاندارد ASTM D4254 [34] استخراج شده است. شکل (۲) منحنی دانه‌بندی ماسه را نشان می‌دهد. خلاصه مشخصات فیزیکی خاک مورد استفاده در جدول (۱) آمده است. با توجه به موارد ذکر شده در جدول (۱)، رده خاک در سیستم طبقه‌بندی متحد به صورت ماسه بددانه‌بندی شده یا SP است.

در اولین نظریه، فرض می‌شود صفحات باربر بطور مجزا عمل کرده و ظرفیت باربری کششی (P_u^{ind}) مطابق رابطه (۱) برابر با مجموع ظرفیت هر یک از صفحات است:

$$P_u^{ind} = \sum_n q_{ult_n} A_n \quad (1)$$

که در آن، A_n ، سطح مقطع و q_{ult} فشار قابل تحمل وارد بر صفحه n ام است.

شکل ۱. تعریف ظرفیت باربری کششی شمع ماریچ با دو نظریه مختلف

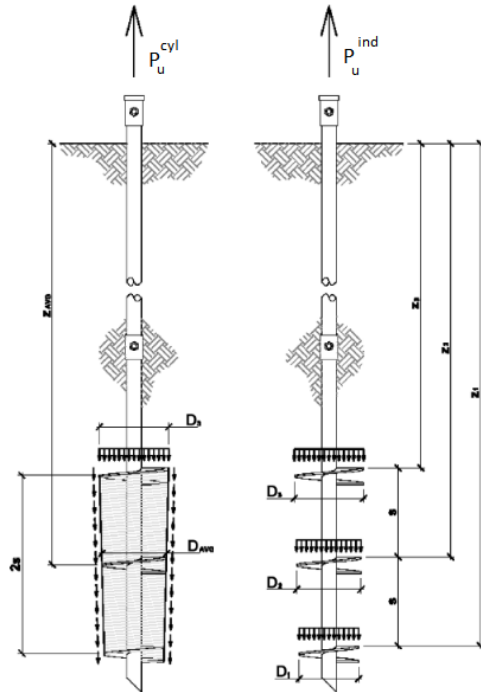


Fig. 1. Defining the tensile bearing capacity of the helical pile with two different theories

با توجه به کوچک بودن سطح مقطع صفحه‌ها و همچنین، با در نظر گرفتن خاک ماسه (خاک غیرچسبنده)، مقدار q_{ult} هر صفحه برابر با $q_{ult} = \gamma z N_q^*$ است که در آن، γ وزن مخصوص خاک، Z عمق مدفون صفحه و N_q^* ضریب ظرفیت باربری خاک است. در ادبیات فنی، N_q^* با عنوان ضریب رهاشدگی نیز نام گذاری شده است. مقادیر مختلفی از این ضریب برای صفحه دایروی (N_q^{circle}) بر حسب نسبت بعد صفحه به عمق مدفون شددگی تعریف شده است [7, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30].

شکل ۲. منحنی دانه‌بندی ماسه فیروزکوه ۱۶۱

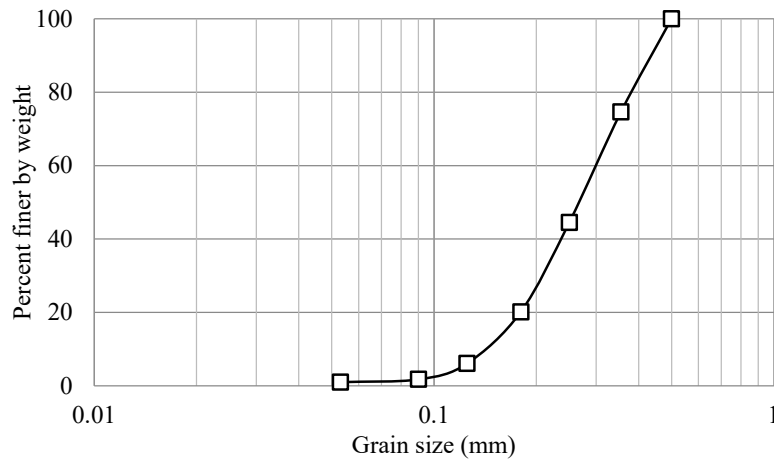


Fig. 2. Grain-size distribution curve of Firoozkooch sand No.161

جدول ۱. پارامترهای فیزیکی خاک

D_{60} (mm)	D_{30} (mm)	D_{10} (mm)	C_u	C_c	e_{max}	e_{min}	γ_d^{min} (kN/m^3)	γ_d^{max} (kN/m^3)	G_s
0.3	0.22	0.15	2	1.1	0.943	0.603	13.7	16.6	2.66

Table 1. Physical parameters of soil

مختلف برای صفحه‌ها شامل هندسه دایروی، مربعی و شش ضلعی منتظم استفاده شده است. وجه اشتراک این صفحات، تساوی در مساحت تصویر یک صفحه با یک دایره به قطر ۸۰ میلی‌متر (مساحت ۵۰۰۰ میلی‌متر مربع) بوده است. هندسه و ابعاد صفحات باربر در شکل (۳) نشان داده شده است.

برای تعیین پارامترهای مقاومتی خاک، از آزمایش برش مستقیم با بعد نمونه ۱۰۰ میلی‌متر و مطابق استاندارد ASTM D3080 استفاده شده است [35]. زاویه اصطکاک داخلی خاک قله ۳۸/۵ درجه و برای حالت باقیمانده ۳۶ درجه بدست آمده است.

۳-۲- طراحی و ساخت شمع‌ها

همانطور که پیشتر اشاره شد، صفحه‌های شمع مارپیچ، به عنوان صفحات باربر عمل می‌کنند. در این پژوهش، از سه

هندسه شکل ۳. هندسه متفاوت صفحه‌های با سطح مقطع یکسان

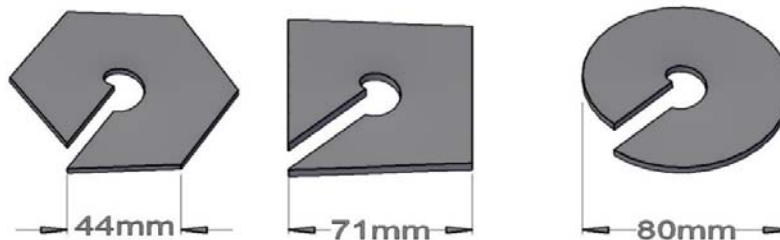


Fig. 3. Different geometry of plates with the same area

آزمایشگاهی و میدانی مختلف [36, 37, 38] تایید شده است. همچنین، عمق مدفون بالاترین صفحه از سطح زمین طوری انتخاب شده تا صفحه به صورت عمیق عمل کرده و بتوان از ظرفیت کامل مدفون شدگی آن استفاده کرد. در این پژوهش، مطابق نظر میچ و کلمانس [7]، حداقل عمق مدفون نسبت به قطر صفحه برابر با پنج معرفی شده است. ابعاد و هندسه اجزای شمع های انتخاب شده، با آیین نامه [39] AC308 مطابقت دارد، بدین صورت که با ضریب کاهش مقیاس برابر با $2/75$ ، شمع های این پژوهش، معادل با شمع های به قطر 200 میلیمتر، فاصله صفحات برابر با 660 میلیمتر و فاصله بازشدگی برابر با 75 میلیمتر در مقیاس بزرگ است.

در این پژوهش، علاوه بر تفاوت در هندسه صفحات، تعداد صفحات نیز متغیر در نظر گرفته شده و برای هر هندسه، شمع ها با یک، دو و سه صفحه ساخته شده است. فاصله میان صفحه ها ثابت و برابر با 240 میلیمتر بوده است. فاصله بازشدگی در گام صفحه ها برابر با 27 میلیمتر انتخاب شده است. قطر استوانه مرکزی در تمام شمع ها برابر با 16 میلیمتر و از میلگرد بدون آج بوده است. در شکل (۴)، شمع های با صفحات شش ضلعی ساخته شده به همراه یک، دو و سه صفحه، نشان داده شده است. شایان ذکر است فاصله میان صفحه ها حداقل برابر با سه برابر قطر صفحات در نظر گرفته شده است تا از تاثیر صفحات بر روی هم جلوگیری شود. این معیار توسط آزمایش های

شکل ۴. نمایش هندسه و ابعاد شمع های مارپیچ با تعداد صفحه های متفاوت

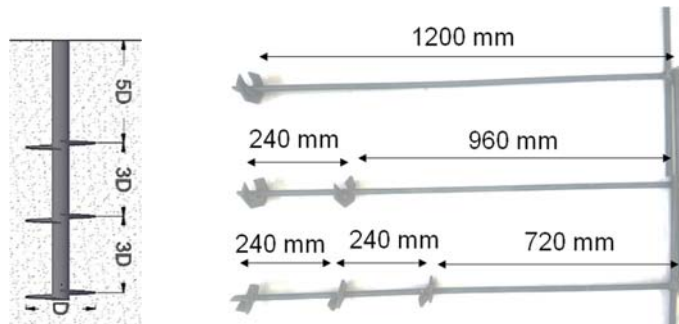


Fig. 4. Display of the geometry and dimensions of helical piles with different numbers of plates

و کلمانس [7]، برای نسبت عمق مدفون بالاترین صفحه به قطر بزرگتر از پنج، حالت گسیختگی عمیق رخ می دهد، عمق پایین ترین صفحه از سطح خاک برابر با $0/9$ متر انتخاب شده است. همچنین، مطابق نظریه قالی و هانا [40]، زاویه سطح گسیختگی گذرنده از لبه صفحه با امتداد قائم، حداکثر برابر دو سوم زاویه اصطکاک داخلی خاک است که با لحاظ زاویه اصطکاک داخلی قله خاک، قطر گوه گسیختگی در سطح مخزن برابر با 480 میلی متر بدست می آید که در مقایسه با قطر مخزن (یک متر) و عدم برخورد با جدار، مخزن تاثیری بر ظرفیت باربری ندارد.

تمام اجزای شمع ها از جنس فولاد St37 تشکیل شده است. برای ساخت صفحه شمع ها، ابتدا ورق به ضخامت هشت میلی متر به صورت دایروی، مربعی و شش ضلعی بریده شده و سپس، با کمک گرمادهی در کوره آهنگری و با اعمال ضربه بر آن، بازشدگی در میان دو لبه صفحه ایجاد شده است. مراحل مختلف ساخت یک صفحه شش ضلعی در شکل (۵) نمایش داده شده است. پس از ساخت صفحه ها، آنها به میلگرد توسط جوش متصل شده اند.

۳-۳- مخزن و سیستم بارگذاری

مخزن مورد استفاده در این پژوهش، به شکل استوانه بوده و دارای قطر و ارتفاع یک متر است. در انتخاب ابعاد مخزن، به عدم تاثیر ابعاد آن روی ظرفیت باربری شمع ها توجه شده است. با توجه به اینکه طبق نظریه متداول ارائه شده توسط میچ

شکل ۵. نمایش مراحل ساخت صفحه شش ضلعی و شکل دادن آن برای ایجاد فاصله بازشدگی در لبه ها

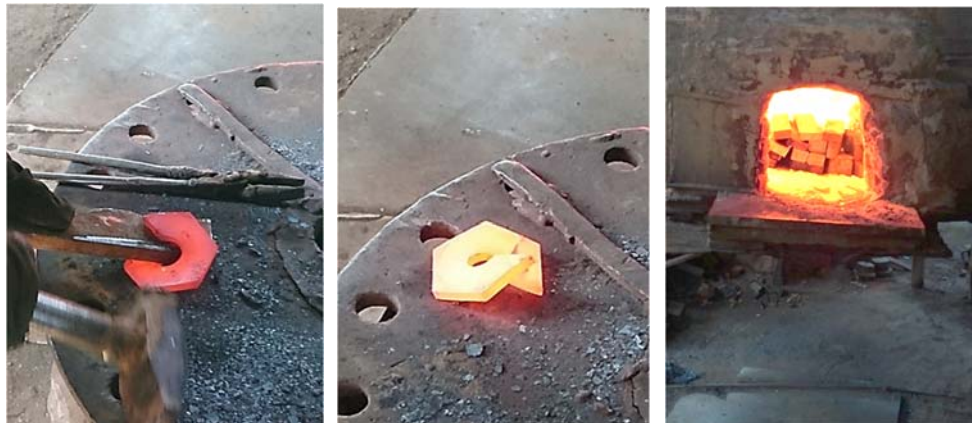


Fig. 5. Different steps of a hexagonal plate fabrication and shaping it to create the pitch

۱۶۰ میلی متر و دقت ۰/۱۵ میلی متر و برای ثبت نیرو از نیروسنج S شکل ساخت شرکت SEWHA با ظرفیت دو تن و خطای تجمعی ۰/۰۳ درصد استفاده شده است (شکل ۶. ث)

آزمون بارگذاری استاتیکی شمع در کشش مطابق استاندارد [41] ASTM D3689 و از روش سریع انجام شده است. طبق این روش که به صورت نیرو-کنترل تلقی می شود، مقدار بار وارد بر شمع به صورت پله ای وارد شده و مقدار هر گام بارگذاری برابر با پنج درصد بار گسیختگی پیش بینی شده است، بطوریکه لازم است این مقدار بار در فاصله زمانی چهار تا ۱۵ دقیقه ثابت نگهداشته شود. بارگذاری تا زمان رسیدن به گسیختگی یا ظرفیت ایمن تجهیزات آزمون (شمع یا وسایل اعمال بار) ادامه پیدا می کند. در هر گام زمانی، با ثابت بودن مقدار نیرو، تغییر مکان انتهایی سر شمع اندازه گیری شده و ثبت می شود. یادآوری می کنیم آزمون بارگذاری برای همه شمع ها با هندسه صفحه مربعی، دایروی و شش ضلعی و تعداد صفحات یکی، دوتایی و سه تایی انجام شده است. همچنین، برای بررسی تکرارپذیری نتایج، تمامی آزمون ها حداقل دو بار تکرار شده اند.

۴- روش انجام آزمون ها

در این پژوهش، در مجموع، تعداد ۱۸ آزمون انجام شده است. روند کلی انجام هر آزمون مطابق شکل (۶. الف) نمایش داده شده است. بدین صورت که ابتدا، مخزن به صورت لایه ای پر شده، شمع ماریپیچ در وسط مخزن نصب می شود. سپس، نیروسنج و جابه جایی سنج به نوک شمع، متصل شده، و در انتها، شمع به صورت کششی، بارگذاری می شود. مقادیر نیرو و جابه جایی شمع توسط نیروسنج و جابه جایی سنج به دیتالاگر و سپس به رایانه برای ذخیره اطلاعات منتقل می شود. مصالح خاکی داخل مخزن از ارتفاع ۰/۲ متری و به صورت بارش حلقوی ریخته شده است (شکل ۶. ب). پس از هر بار بارش، لایه خاکی توسط کوبه فلزی شکل (۶. پ) و با کنترل ضخامت آن، متراکم می شود. با این روش، تراکم نسبی لایه ها در بازه ۴۲ تا ۴۶ درصد با وزن مخصوص ۱۴.۷ تا ۱۴.۹ کیلونیوتن بر مترمکعب (بطور متوسط با تراکم نسبی ۴۴ درصد و خطای نسبی ۲ درصد) بدست آمد. در مرحله بعدی، شمع ماریپیچ در وسط مخزن با اعمال گشتاور بر دستگیره تعبیه شده در سر شمع، نصب شده است. به منظور کاهش دست خوردگی و هماهنگی روش اجرا با واقعیت، شمع با سرعت کم و برابر با هشت دور در دقیقه چرخانده شد. همواره تراز بودن شمع نسبت به قائم شکل (۶. ت) با ترازسنج کنترل شد. وسیله های اندازه گیری مطابق استاندارد [41] ASTM D3689 انتخاب شدند. برای اندازه گیری تغییر مکان از LVDT با دامنه حرکتی

شکل ۶. نمایش مراحل انجام آزمایش. الف) چیدمان کلی آزمون‌ها. ب) پر کردن مخزن. پ) کوبیدن لایه‌های خاک. ت) کنترل تراز بودن شمع داخل خاک هنگام چرخش. ث) نصب نیروسنج و جابه‌جایی سنج.

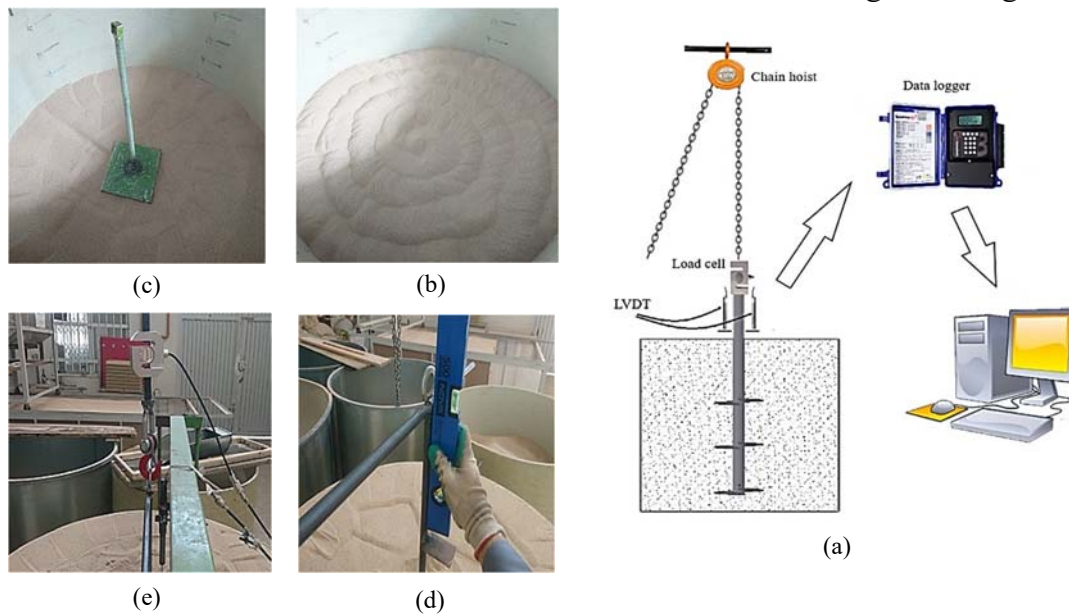


Fig. 6. Presentation of different steps of the experiment. a) General arrangement of tests. b) Filling the tank. c) Pounding soil layers. d) Controlling alignment of a pile inside the soil during rotation.

حالت نرسد پس، این روش، در مهندسی مطلوب و متداول نیست. در این پژوهش، از چهار روش شناخته شده دبیر [42]، تقاطع مماس‌ها [43]، دیویسون [44] و بار معادل ده درصد قطر شمع که در آیین نامه [39] AC358 آمده، استفاده شده است. نتایج حاصل از این چهار روش در نمودارهای شکل (۸) ارائه شده است. طبق نتایج بدست آمده، مشاهده می‌شود با اینکه تفاوتی میان روش‌های مختلف وجود دارد، مقدار ظرفیت باربری در هر دسته از شمع‌ها نزدیک بهم بدست آمده است. بطور کلی، ظرفیت باربری حاصل از روش دیویسون کمترین و روش مبتنی بر تغییرمکان (AC358)، بیشترین ظرفیت باربری را نتیجه داده است.

۵- ارائه نتایج و تفسیر

۵-۱- ظرفیت باربری کششی

تغییرات بار کششی اعمالی در مقابل تغییرمکان سر شمع برای تمامی شمع‌ها با یک، دو و سه صفحه و با هندسه صفحه‌های دایروی، مربعی و شش ضلعی در شکل (۷) نمایش داده شده است. در این شکل، برای هر شمع، نتایج دو آزمون (برای بررسی تکرارپذیری) ارائه شده است. با مقایسه نمودارها، می‌توان گفت آزمون‌های بارگذاری برای شمع‌ها تکرارپذیر بوده است. با توجه به وجود نوسانات در ثبت نتایج، نمودارها صاف شده و به صورت پررنگ نمایش داده شده اند. در ادامه، به شرح شیوه تعیین ظرفیت باربری این شمع‌ها، پرداخته می‌شود.

در ادبیات فنی، روش‌های مختلفی برای تعیین ظرفیت باربری کششی شمع‌ها بر اساس نمودارهای نیرو در مقابل تغییرمکان معرفی شده است. ساده‌ترین حالت، در نظر گرفتن مقدار باری است که به صورت مجانب در تغییرمکان‌های بزرگ شمع بدست آمده است. با این حال، ممکن است برای رسیدن به مجانب نهایی، نیاز به تغییر شکل‌های بزرگ در شمع باشد (مانند حالت بیرون کشیدگی) و یا حتی، ممکن است نمودار اصلاً به این

شکل ۷. نمودار نیروی کششی در مقابل تغییر مکان شمع‌ها برای شکل‌های مختلف صفحه‌ها

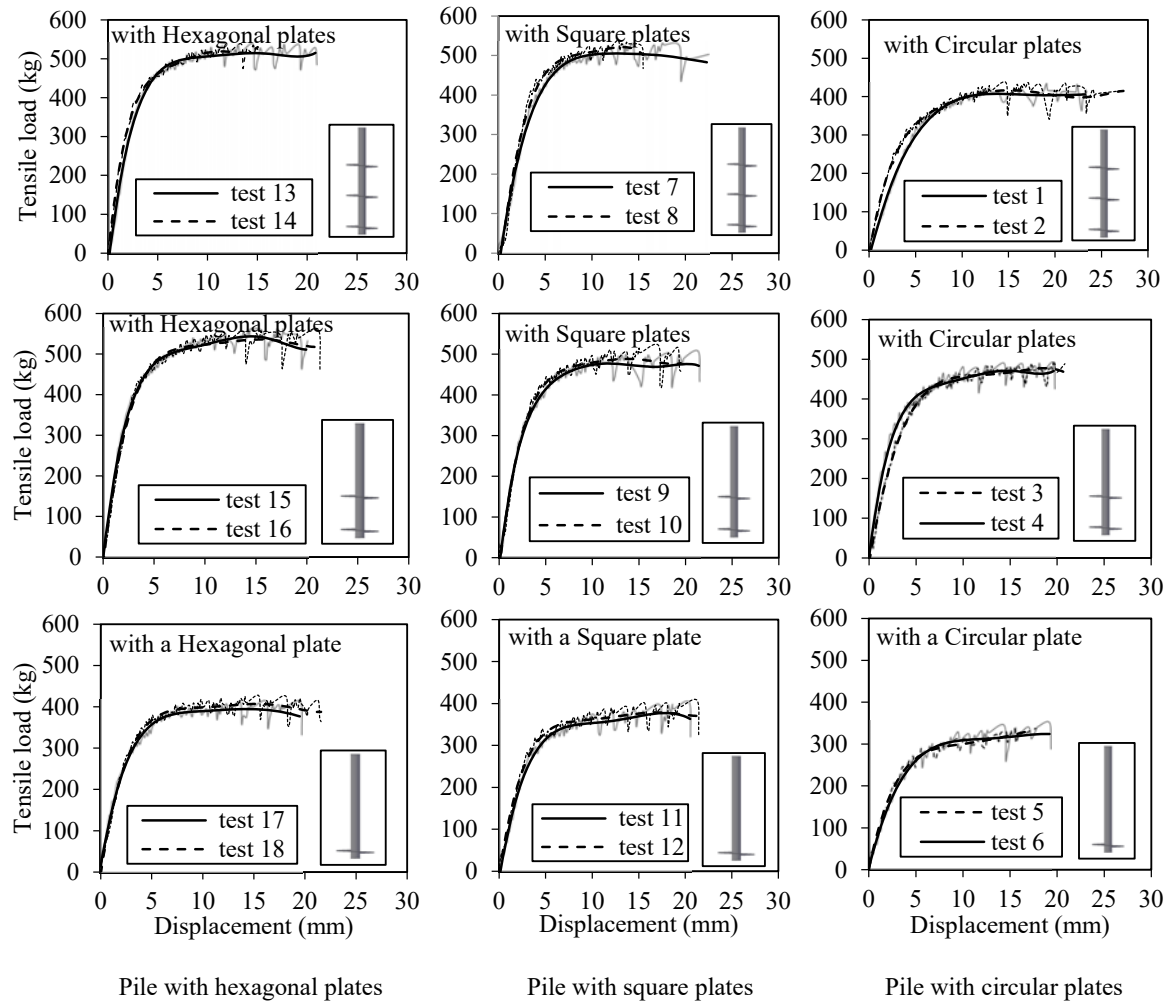
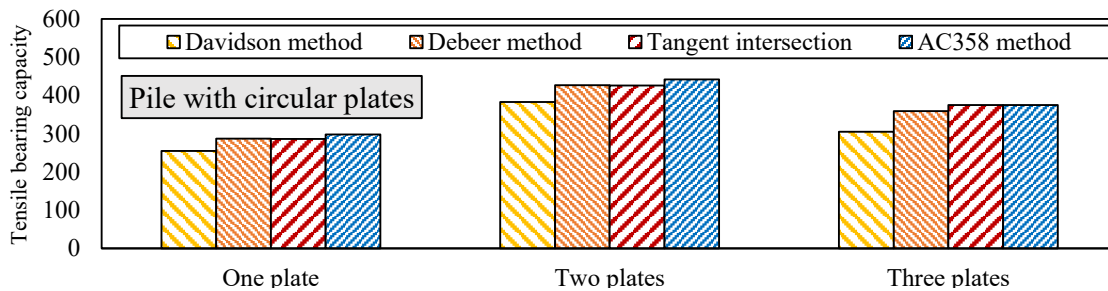


Fig. 7. Tensile load-displacement curves of piles with different helix shape

شکل ۸. ظرفیت باربری محاسبه شده با روش‌های مختلف



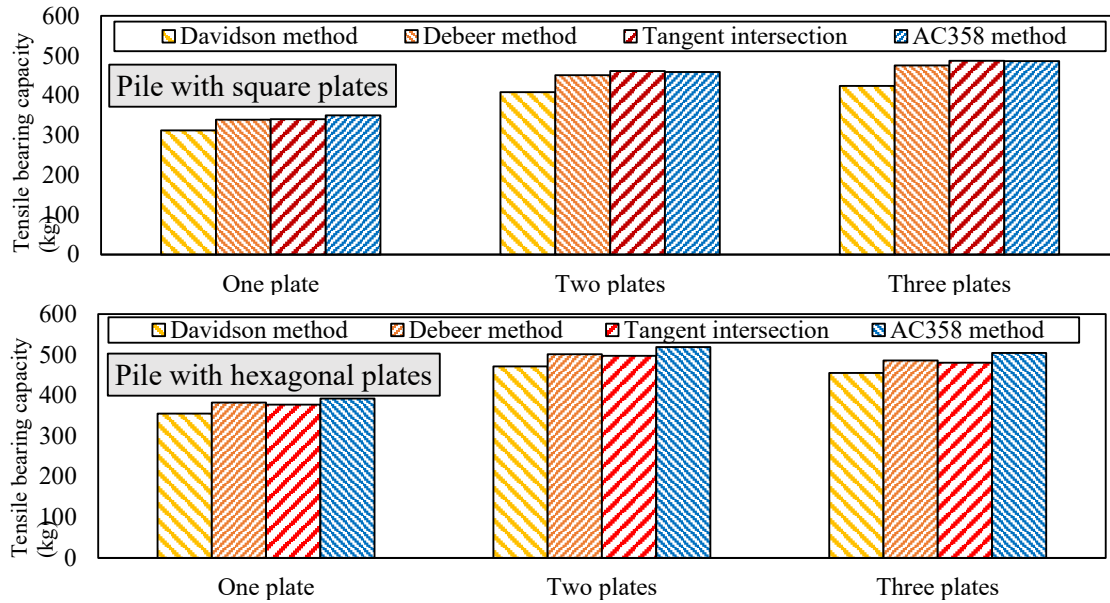


Fig. 8. Calculated bearing capacity by different shape geometries.

داده شده است. از مقایسه این روابط، مشاهده می‌شود که رابطه ارائه شده توسط ویسارت و کلمانس [30] هماهنگی خوبی با نتیجه آزمایشگاهی این پژوهش دارد. پس، این رابطه به عنوان رابطه پایه واسنجی شده انتخاب می‌شود و در ادامه، از این رابطه در تحلیل و تفسیر نتایج دیگر بکار گرفته می‌شود. شایان ذکر است با توجه به نوع بارگذاری شمع‌ها به صورت نیرو-کنترل و در نتیجه، ثبت نیرو به عنوان حداکثر ظرفیت باربری، در محاسبات تحلیلی از زاویه اصطکاک داخلی قله استفاده شده است.

۲-۵- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی

همان‌گونه که در بخش دوم اشاره شد، تعداد متعددی رابطه برای ضریب ظرفیت باربری مهار در خاک ماسه‌ای تاکنون معرفی شده است. در شکل (۹)، مقدار ظرفیت باربری کششی متوسط حاصل از آزمون شمع تک صفحه با هندسه دایروی به همراه نتایج تحلیلی حاصل از روابط ارائه شده توسط پژوهشگران مختلف [7, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30] نشان

شکل ۹. مقایسه ظرفیت باربری کششی متوسط حاصل از آزمون شمع تک صفحه دایروی با روابط مختلف تحلیلی موجود در منابع فنی

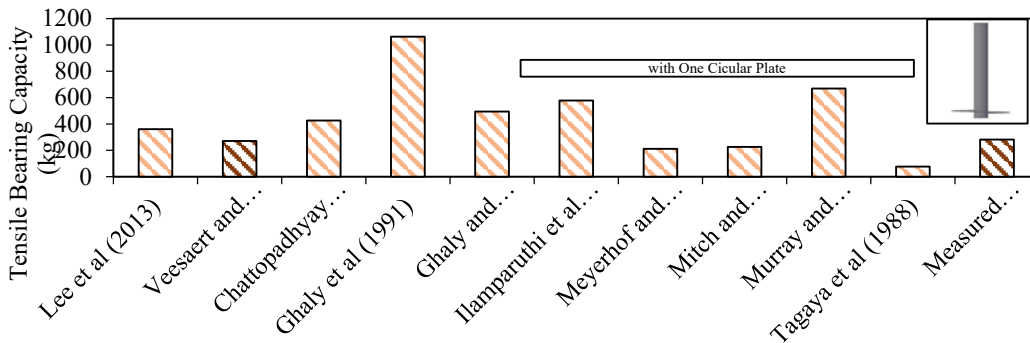


Fig. 9. Comparison of the average tensile bearing capacity obtained from the single-plate circular pile test with different analytical relationships in the literature.

می‌کند. برای بررسی اینکه کدام نظریه بر شمع‌های این پژوهش حاکم بوده است، ظرفیت باربری شمع‌های دو و سه صفحه‌ای و با هندسه دایروی با هر دو نظریه و با روش تحلیلی ویسارت و

۳-۵- بررسی سازوکار حاکم بر ظرفیت باربری کششی

سازوکار باربری کششی شمع ماریچ، مطابق توضیح در بخش ۲، به یکی از دو نظریه صفحات مجزا و برش استوانه‌ای عمل

صورت استوانه برشی عمل کرده است و عملکرد مجزای صفحات باربر، غالب نیست. در ضمن یادآوری می شود در این دو شمع، کمترین عمق لازم برای گسیختگی عمیق بالاترین صفحه (برابر با پنج برابر قطر صفحه) رعایت شده است.

کلمانس [30] محاسبه شده و نتایج در شکل (۱۰) ارائه شده اند. مطابق شکل (۱۰)، مشاهده می شود در هر دو شمع دو و سه صفحه ای، ظرفیت باربری با روش استوانه برشی کمترین مقدار بدست آمده و هماهنگی خوبی با نتیجه آزمایشگاهی دارد. پس می توان گفت شمع ها در هر دو شکل دو و سه صفحه ای، به

شکل ۱۰. بررسی سازوکار مقاومتی در شمع های مارپیچ

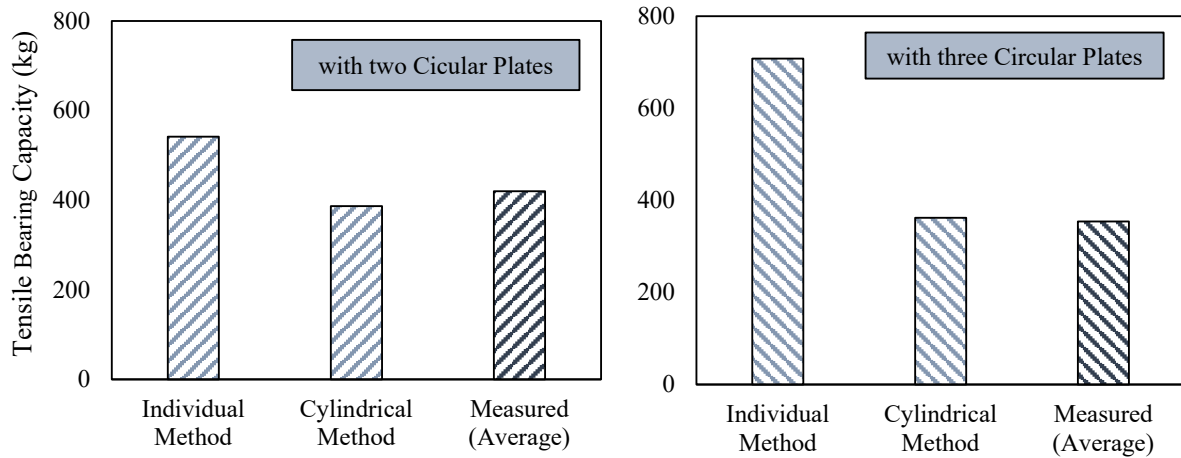


Fig. 10. Investigation of bearing mechanism in helical piles

مشابه با هم در شکل (۱۱) مقایسه می شوند. مشاهده می شود که در تمامی موارد، شمع با صفحه شش ضلعی دارای بیشترین و شمع با صفحه دایروی دارای کمترین ظرفیت باربری است.

۵-۴- تاثیر شکل صفحه ها

برای بررسی تاثیر شکل صفحه ها بر ظرفیت باربری کششی، شمع های دایره ای، مربعی و شش ضلعی با تعداد صفحه های

شکل ۱۱. مقایسه ظرفیت باربری کششی متوسط انواع شمع ها با هندسه های مختلف صفحه

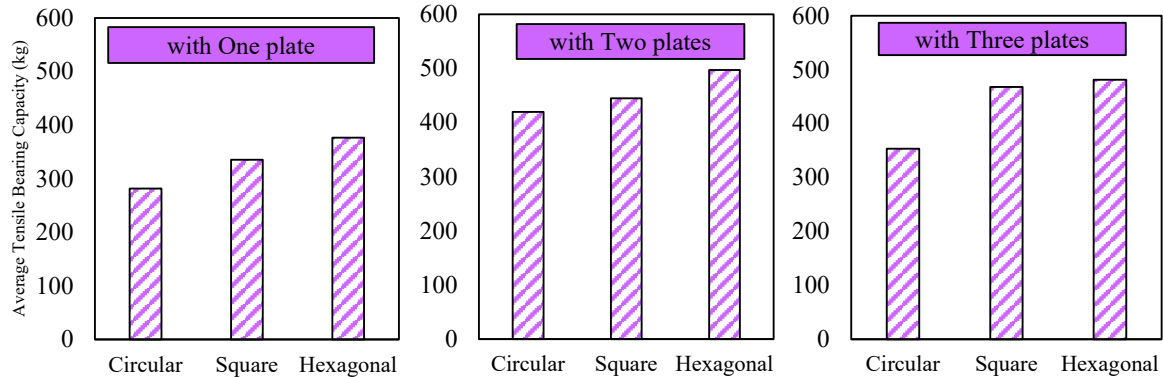


Fig. 11. Comparison of average tensile bearing capacity for different piles with different plate geometries

عمق به عرض صفحه برای صفحات دایروی، مربعی و شش ضلعی به ترتیب برابر با ۱۱/۲۵، ۱۲/۷ و ۱۰/۲ است. طبق مطالعات میرهوف و آدامس [22] ضریب باربری برای نسبت عمق به عرض بزرگتر از حدود هفت برای خاک متراکم (با

برای بررسی بیشتر تاثیر شکل صفحه ها بر ظرفیت باربری کششی، بر نتایج شمع های تک صفحه تمرکز می شود. یادآوری می شود این سه شمع، همگی در یک عمق مدفون یکسان (برابر با عمق ۰/۹ متر) قرار گرفته اند با توجه به ابعاد صفحه، نسبت

مربعی نسبت به صفحه دایروی، وسیع تر بودن محدوده خاک درگیر شده بالای صفحه باشد. برای درک بهتر این موضوع، به این نکته اشاره می شود با اینکه مساحت هر دو صفحات مربعی و دایروی یکسان بوده، ولی محیط صفحه مربعی از صفحه دایروی بزرگتر است پس، سربار بزرگتری ناشی از وزن گوه خاک روی صفحه وجود خواهد داشت. در شکل (۱۲. ب)، مقدار ضریب شکل برای شمع با صفحه شش ضلعی ارائه شده است. براساس نتایج آزمایشگاهی، ضریب شکل برابر با $\alpha=1.34$ بدست آمده که از صفحه مربعی نیز بزرگ تر است. در این شکل، همچنین، مقدار ضریب شکل محاسبه شده برای دایره محیطی این صفحه شش ضلعی (با قطر ۸۸ میلی متر) و بر اساس روش ویسارت و کلمانس [30] (برابر با $\alpha=1.33$) نشان شده است. مشاهده می شود که هماهنگی خیلی خوبی میان نتیجه آزمایشگاهی و تحلیلی وجود دارد. به عبارت دیگر، صفحه شش ضلعی مشابه با یک صفحه دایروی مدفون با قطر بزرگتر رفتار کرده است.

$\phi=40^\circ$ و نزدیک به مشخصات خاک این پژوهش) ثابت بوده که برای تمامی شمع های این پژوهش نیز برقرار است. سطح مقطع تمام صفحه ها مساوی بوده و در نتیجه، می توان بر اساس رابطه (۲)، ضریب شکل شمع های تک صفحه ای مربعی و شش ضلعی را به صورت زیر بدست آورد:

$$\alpha = \frac{N_q^*}{N_q^{circle}} = \frac{N_q^*(yz)}{N_q^{circle}(yz)} = \frac{P_u}{P_u^{circle}} \quad (6)$$

مقدار ضریب شکل برای شمع های تک صفحه ای در شکل (۱۲) نشان داده شده است. در شکل (۱۲. الف)، مقدار این ضریب برای شمع با صفحه مربعی به همراه مقادیر ارائه شده توسط میرهوف و آدامس [22] و موری و گدس [23] و برای نسبت عمق به عرض صفحه بزرگتر از ۱۰، برای مقایسه نشان داده شده است. خاطر نشان می شود مقدار ضریب شکل در این دو مرجع بر اساس روابط تحلیلی و نظری بدست آمده است. مشاهده می شود مقدار ضریب شکل حاصل از این پژوهش ($\alpha=1.2$) با این دو نظریه ($\alpha=1.24, 1.27$) هماهنگی خوبی دارد. با توجه به روش تحلیلی بکار گرفته شده در نظریه های مذکور، بنظر می رسد دلیل بزرگتر بودن ظرفیت باربری صفحه

شکل ۱۲. نمایش ضریب شکل پره. الف) مقایسه برای صفحه مربعی با دیگر پژوهش ها. ب) مقایسه برای صفحه شش ضلعی با صفحه دایره ای

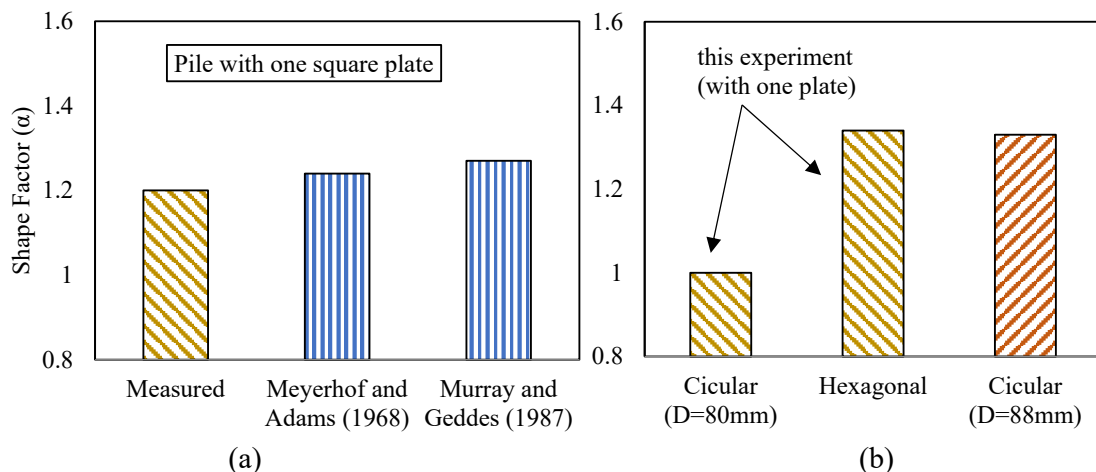


Fig.12. Display of plate shape factor: a) Comparison of the square plate with other researches. b) Comparison of the hexagonal plate with circular plate.

نظریه برش استوانه ای و صفحات مجزا انجام شده است. مشابه با شمع با صفحه دایروی، برای محاسبه ظرفیت باربری صفحات مجزا از روش ویسارت و کلمانس [30] و ضریب شکل مربوطه استفاده شد. همان گونه که مشاهده می شود، نتایج آزمایشگاهی تهماهنگی خوبی با روش استوانه برشی دارد و

با در نظر گرفتن ضریب شکل بدست آمده بر اساس نتایج آزمایشگاهی شمع های تک صفحه ای، ظرفیت باربری کششی شمع های دو و سه صفحه ای با هندسه مربعی و شش ضلعی محاسبه شد و نتایج تحلیل به همراه نتایج آزمایشگاهی مطابق شکل (۱۳) نمایش داده شده است. ظرفیت باربری شمع ها با دو

نتیجه گرفت ضریب شکل محاسبه شده برای صفحات مربعی و شش ضلعی از دقت خوبی برخوردار است.

در نتیجه، می توان گفت در شمع های با صفحات مربعی و شش ضلعی هم، سازوکار برش استوانه حاکم است. همچنین، می توان

شکل ۱۳. مقایسه نتایج آزمایشگاهی با محاسبات تحلیلی با استفاده از ضریب شکل بدست آمده از نتایج شمع های تک پره ای. الف) شمع های مربعی. ب) شمع های شش ضلعی.

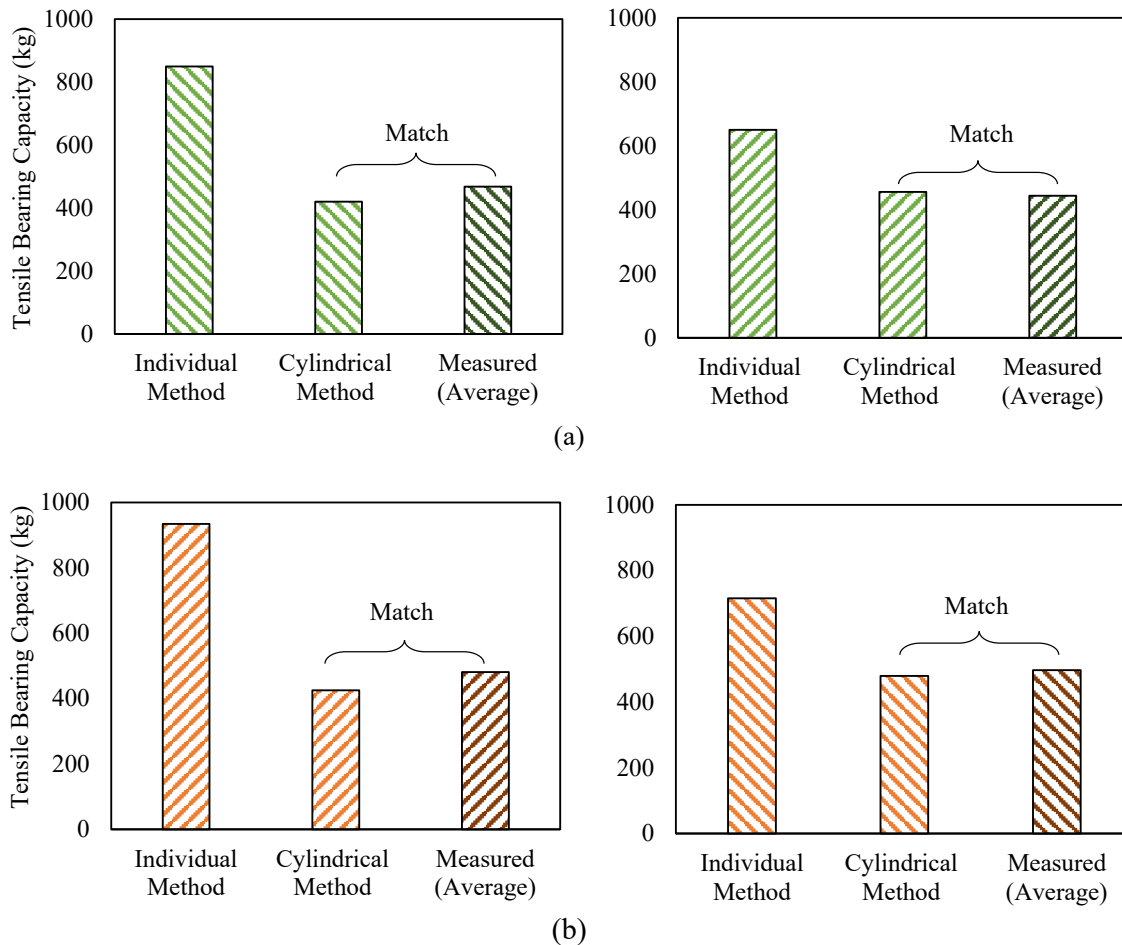


Fig. 13. Comparison of laboratory results with analytical calculations by using shape factors obtained from the results of one-plate piles. a) Square piles. b) Hexagonal piles.

۸.۹ میلی متر محدود بوده است. همان گونه که مشاهده می شود، ظرفیت باربری حاصل از پژوهش های پیشین، بستگی به نسبت H/D داشته و حتی برای یک مقدار ثابت آن، یک مقدار مشخص و ثابتی ندارد که دلیل آن، تفاوت در تراکم خاک و اثر مقایس و ابعاد صفحات است. در هر حال، مشاهده می شود که مقدار ظرفیت باربری بدست آمده از این پژوهش، در بازه مورد انتظار و مشابه پژوهش های پیشین بدست آمده است.

۵-۵- تاثیر تعداد صفحه ها

در ابتدا، تاثیر تعداد پره ها بر ظرفیت باربری با کمک مقایسه نتایج این پژوهش با کارهای دیگران پرداخته می شود. همانطور که در بخش مقدمه اشاره شد، در ادبیات فنی مراجعی هستند که ظرفیت باربری کششی شمع ماریپیچ را به صورت آزمایشگاهی [18, 21, 19] مورد بررسی قرار داده اند. در شکل (۱۴)، مقادیر مختلف ظرفیت باربری شمع های کششی با دو پره و سه پره برای مقادیر مختلف نسبت عمق به قطر (H/D) شمع های دایروی نشان داده شده است. تراکم خاک در آزمایش های ذکر شده در شکل (۱۴) به ۳۵ تا ۵۵ درصد و همچنین قطر پره ها به ۴.۷ تا

شکل ۱۴. مقایسه ظرفیت باربری شمع‌های مارپیچ با پره‌های دایروی حاصل از این پژوهش و پژوهش‌های گذشته: الف) دو پره‌ای ب) سه پره‌ای

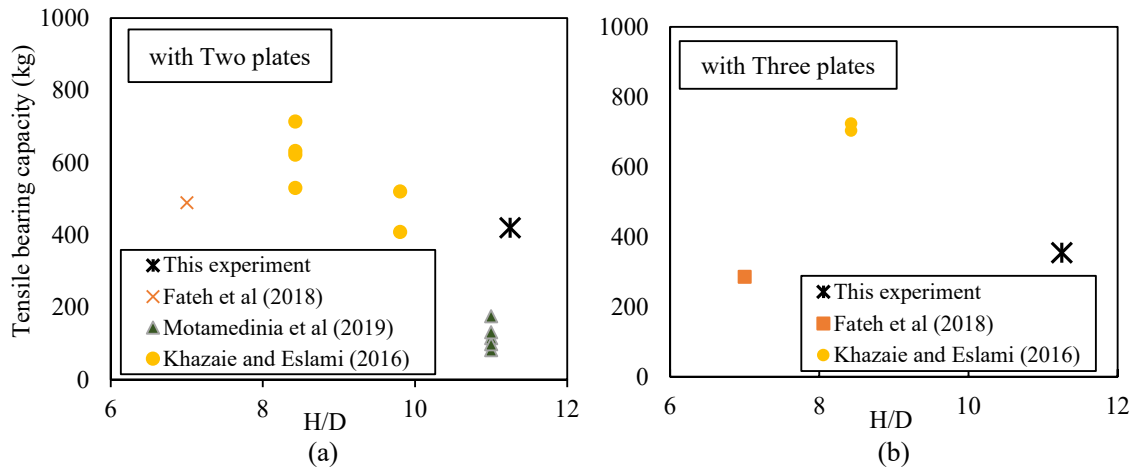


Fig. 14. Comparison of tensile bearing capacity of previous experiments with this research for circular helical piles: a) with two plates b) with three plates

دایروی اشاره شد. همچنین، با توجه به حاکم بودن سازوکار استوانه برشی در ظرفیت باربری که در بخش‌های گذشته به آن اشاره شد، محیط شمع مجازی نقش مهمی را در ظرفیت باربری نقش ایفا می‌کند. یادآوری می‌شود که محیط صفحه‌های دایروی، مربعی و شش ضلعی به ترتیب برابر با ۲۵۱، ۲۸۴ و ۲۶۴ میلی‌متر است. عامل دیگر موثر در تفاوت رفتاری، ضریب شکل بالاترین صفحه است که به نقش آن در بخش گذشته اشاره شد. بطور خلاصه، می‌توان گفت افزایش تعداد صفحه‌ها نمی‌تواند همواره بر ظرفیت باربری کششی بیفزاید.

در شکل (۱۵)، ظرفیت باربری شمع‌های با صفحات دایروی، مربعی و شش ضلعی به صورت سه دسته با تعداد صفحات مختلف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود شمع با صفحه‌های شش ضلعی رفتاری مشابه با شمع با صفحه‌های دایروی از خود نشان داده است؛ بدین صورت که شمع با دو صفحه، بیشترین ظرفیت باربری را دارد. در صورتی که این روال، در شمع با صفحه‌های مربعی متفاوت بوده و ظرفیت باربری شمع با سه صفحه، بزرگتر از دو صفحه بدست آمده است. برای توضیح رفتار، پیشتر به شباهت رفتار تک صفحه شش ضلعی با صفحه

شکل ۱۵. نمایش تاثیر تعداد پره‌ها با هندسه مختلف بر ظرفیت باربری کششی شمع‌ها

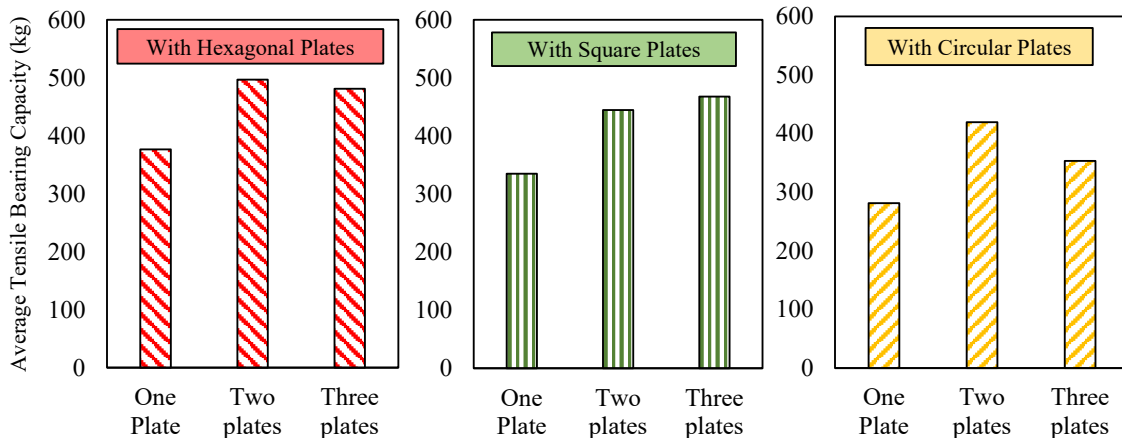


Fig. 15. The effect of the plates number with different geometries on the tensile bearing capacity of the piles

آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. سه دسته شمع مارپیچ با صفحات دایروی، مربعی و شش ضلعی و با تعداد مختلف صفحه یکی، دوتایی و سه تایی

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش، تاثیر شکل و تعداد صفحات برابر بر ظرفیت باربری کششی شمع مارپیچ به صورت

منابع

- [1] Lutenegeger AJ. Historical development of iron screw-pile foundations: 1836–1900. The International Journal for the History of Engineering & Technology. 2011;81(1):108-28.
- [2] Seyed Hosseininia E, inventor; Ferdowsi University of Mashhad, assignee. Helical pile. Iran2014.(In Persian)
- [3] Dickin Edward A. Uplift behavior of horizontal anchor plates in sand. Journal of Geotechnical Engineering. 1988;114(11):1300-17.
- [4] Fateh AMA, Eslami A, Fahimifar A. Direct CPT and CPTu methods for determining bearing capacity of helical piles. Marine Georesources & Geotechnology. 2017;35(2):193-207.
- [5] Gavin K, Doherty P, Tolooiyan A. Field investigation of the axial resistance of helical piles in dense sand. Canadian Geotechnical Journal. 2014;51(11):1343-54.
- [6] Hanna A, Ayadat T, Sabry M. Pullout resistance of single vertical shallow helical and plate anchors in sand. Geotechnical and Geological Engineering. 2007;25(5).
- [7] Mitsch MP, Clemence SP. Uplift capacity of helix anchors in sand. American Society of Civil Engineers (ASCE); 1985. p. 26-47.
- [8] Liu J, Liu M, Zhu Z. Sand deformation around an uplift plate anchor. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. 2012;138(6):728-37.
- [9] Lutenegeger AJ, editor Behavior of multi-helix screw anchors in sand. Proceedings of the 14th Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Toronto, Ont[CD ROM]; 2011.
- [10] Sakr M. Installation and performance characteristics of high capacity helical piles in cohesionless soils. DFI Journal - The Journal of the Deep Foundations Institute. 2011;5(1):39-57.
- [11] Roy A, Bhattacharya P. Diameter effect on uplift capacity of horizontal circular anchor embedded in sand. International Journal of Geotechnical Engineering. 2018.
- [12] Tsuha C, Schiavon JA, Thorel L, editors. Evaluation of the breakout factor for helical anchors in sand by centrifuge testing. XVI Pan-American Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (XVI PCSMGE) Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges; 2019: IOS Press.
- [13] Tsuha CdHC, Aoki N, Rault G, Thorel L, Garnier J. Evaluation of the efficiencies of helical anchor

در نظر گرفته شد. هندسه شمع ها و اجزا طوری در نظر گرفته شد تا صفحات به صورت عمیق و بدون تاثیر از عمق قرارگیری رفتار کنند. خاک مورد استفاده ماسه ای بوده است. در ادامه، نتایج آزمایشگاهی با روش های تحلیلی مختلف موجود در ادبیات فنی مقایسه شد. مهمترین نتایج حاصل از این پژوهش عبارتند از:

- ۱- بر اساس مقایسه نتایج آزمایشگاهی با روش های مختلف تحلیلی ارائه شده در ادبیات فنی، ظرفیت باربری کششی شمع های مارپیچ با روش ویسارت و کلمانس [30]، هماهنگی خوبی دارد.
- ۲- از میان دو نظریه مختلف تعیین ظرفیت باربری به روش های صفحات باربر مجزا و روش استوانه برشی، روش استوانه برشی هماهنگی خوبی برای همه شمع ها با تعداد و هندسه های مختلف صفحه نشان می دهد.
- ۳- با شاخص قراردادن صفحه برابر دایروی، ضریب شکل برای صفحه مربعی و شش ضلعی برابر با $1/2$ و $1/34$ بدست آمد. کارکرد این ضراب، با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و تحلیلی شمع های چند صفحه تایید شد.
- ۴- برای تخمین ظرفیت باربری شمع مارپیچ با صفحه شش ضلعی، می توان از روابط شمع های مارپیچ با صفحه دایروی استفاده کرد. بدین صورت که برای صفحه شش ضلعی، یک دایره محیطی در نظر گرفته شود.
- ۵- با افزایش تعداد صفحات در یک شمع مارپیچ، همواره ظرفیت باربری کششی شمع افزایش نمی یابد. بلکه بر اساس هندسه صفحه می تواند اثر افزایشی و یا کاهش داشته باشد.

۷- حمایت های مالی

این کار با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد برای طرح پژوهشی به کد ۴۱۶۲۸ انجام شده است.

- [28] Lee KF, Davidson JF, Akroyd J, Kraft M. Lifting a buried object: Reverse hopper theory. *Chemical Engineering Science*. 2014;105:198-207.
- [29] Tagaya K, Scott RF, Aboshi H. Pullout resistance of buried anchor in sand. *Soils and Foundations*. 1988;28(3):114-30.
- [30] Veesaert C, Clemence S, editors. *Dynamic pullout resistance of anchors*. Proc The International Symposium on Soil-Structure Interaction, Rourkee, India; 1977.
- [31] Perko HA. *Helical piles: a practical guide to design and installation*: John Wiley & Sons; 2009.
- [32] ASTM. D422-63: Standard test method for particle-size analysis of soils. 2007. ASTM International
- [33] ASTM. D854: Standard test methods for specific gravity of soil solids by water pycnometer. ASTM International. 2010.
- [34] ASTM. D4254-00: Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density. ASTM International. 2002.
- [35] ASTM. D3080/D3080M—11 Direct shear test of soils under consolidated drained conditions. ASTM International. 2012:1-9.
- [36] Bassett RH. Underreamed ground anchors. *Revue Française de Géotechnique*. 1978(3):11-7.
- [37] Rao SN, Prasad YVSN, Shetty MD. The behaviour of model screw piles in cohesive soils. *Soils and Foundations*. 1991;31(2):35-50.
- [38] Seider G. Helical foundations: what an engineer needs to know. *Structure Magazine*. 2004;11(6):27-8.
- [39] AC-358. Acceptance Criteria for helical foundation systems and devices. AC358. 2007.
- [40] Ghaly A, Hanna A. Stresses and strains around helical screw anchors in sand. *Soils and Foundations*. 1992;32(4):27-42.
- [41] ASTM. D3689/D3689M – 07 Standard test methods for deep foundations under static axial tensile load. ASTM International. 2013.
- [42] DeBeer E. Proefondervindelijke bijdrage tot de studie van het grandsdraagvermogen van zand onder funderinger op staal. *Tijdschrift der Openbar Verken van België*. 1967(6):4-6.
- [43] Housel WS. Pile load capacity: estimates and test results. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*. 1966;92(4):1-30.
- [44] Davidson MT. High capacity pile proceeding lecture series innovations in foundation construction. ASCE. 1972;Illinois section:52.
- plates in sand by centrifuge model tests. *Canadian Geotechnical Journal*. 2012;49(9):1102-14.
- [14] Giampa JR, Bradshaw AS, Schneider JA. Influence of dilation angle on drained shallow circular anchor uplift capacity. *International Journal of Geomechanics*. 2017;17(2).
- [15] Mittal S, Mukherjee S. Vertical uplift capacity of a group of helical screw anchors in sand. *Indian Geotechnical Journal*. 2013;43(3):238-50.
- [16] Niroumand H, Kassim KA. Uplift response of irregular-shaped anchor in cohesionless soil. *Arabian Journal for Science and Engineering*. 2014;39(5):3511-24.
- [17] Morais TdSO, Tsuha CdHC. A new experimental procedure to investigate the torque correlation factor of helical anchors. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*. 2014;19:3851-64.
- [18] Khazaei J, Eslami A. Behavior of helical piles—as a geoenvironmental choice—by frustum confining vessel. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2016;10(31):8-22.
- [19] Fateh AMA, Eslami A, Fahimifar A. A study of the axial load behaviour of helical piles in sand by frustum confining vessel. *International Journal of Physical Modelling in Geotechnics*. 2018;18(4):175-90.
- [20] Sharma M, Samanta M, Sarkar S. Laboratory study on pullout capacity of helical soil nail in cohesionless soil. *Canadian Geotechnical Journal*. 2017;54(10):1482-95.
- [21] Motamedinia H, Hataf N, Habibagahi G. A study on failure surface of helical anchors in sand by piv/dic technique. *International Journal of Civil Engineering*. 2019;17(12):1813-27.
- [22] Meyerhof G, Adams J. The ultimate uplift capacity of foundations. *Canadian geotechnical journal*. 1968;5(4):225-44.
- [23] Murray E, Geddes JD. Uplift of anchor plates in sand. *Journal of Geotechnical Engineering*. 1987;113(3):202-15.
- [24] Chattopadhyay B, Pise P. Breakout resistance of horizontal anchors in sand. *Soils and foundations*. 1986;26(4):16-22.
- [25] Ghaly A, Hanna A. Ultimate pullout resistance of single vertical anchors. *Canadian Geotechnical Journal*. 1994;31(5):661-72.
- [26] Ghaly A, Hanna A, Hanna M. Uplift behavior of screw anchors in sand. I: dry sand. *Journal of Geotechnical Engineering*. 1991;117(5):773-93.
- [27] Ilamparuthi K, Dickin EA, Muthukrisnaiah K. Experimental investigation of the uplift behaviour of circular plate anchors embedded in sand. *Canadian Geotechnical Journal*. 2002;39(3):648-64.

فهرست علائم و اختصارات

P_u^{ind} ظرفیت باربری کششی با روش صفحه‌های مجزا

A_n سطح مقطع صفحه n ام

q_{ult} فشار قابل تحمل وارد بر صفحه

N_q^* ضریب ظرفیت باربری

α ضریب اثر شکل

P_u^{cyl} ظرفیت باربری کششی با روش استوانه برشی

A_T سطح مقطع بالاترین صفحه

P_{plate} محیط صفحه

T مقاومت برشی خاک در جدار استوانه

Z_1 عمق بالاترین صفحه

Z_2 عمق پایین ترین صفحه

ϕ زاویه اصطکاک خاک

P_u ظرفیت باربری کششی نهایی

G_s چگالی دانه های جامد خاک

$\gamma_{d\ max}$ وزن مخصوص خشک بیشینه

$\gamma_{d\ min}$ وزن مخصوص خشک کمینه

e_{min} نسبت تخلخل کمینه

e_{max} نسبت تخلخل کمینه

C_c ضریب خمیدگی

C_u ضریب یکنواختی

D_{10} اندازه قطری که ۱۰ درصد مصالح عبور کرده است

D_{30} اندازه قطری که ۳۰ درصد مصالح عبور کرده است

D_{60} اندازه قطری که ۶۰ درصد مصالح عبور کرده است

SP ماسه بد دانه بندی شده

LVDT تغییر مکان سنج (ترانسفورمر تفاضلی متغیر خطی)

فهرست تصاویر

شکل ۱. تعریف ظرفیت باربری کششی شمع ماریپیچ با دو نظریه مختلف

شکل ۲. منحنی دانه‌بندی ماسه فیروزکوه ۱۶۱

شکل ۳. هندسه متفاوت صفحه‌های با سطح مقطع یکسان

شکل ۴. نمایش هندسه و ابعاد شمع‌های ماریپیچ با تعداد صفحه های متفاوت

شکل ۵. نمایش مراحل ساخت صفحه شش ضلعی و شکل دادن آن جهت ایجاد فاصله بازشدگی در لبه ها

شکل ۶. نمایش مراحل انجام آزمایش. الف) چیدمان کلی آزمون ها. ب) پر کردن مخزن. پ) کوبیدن لایه‌های خاک. ت) کنترل تراز بودن شمع داخل خاک حین چرخش. ث) نصب نیروسنج و جابه‌جایی سنج.

شکل ۷. نمودار نیروی کششی در مقابل تغییر مکان شمع ها برای شکل های مختلف صفحه‌ها

شکل ۸. ظرفیت باربری محاسبه شده با روشهای شکل مختلف.

شکل ۹. مقایسه ظرفیت باربری کششی متوسط حاصل از آزمون شمع تک صفحه دایروی با روابط مختلف تحلیلی موجود در منابع فنی

شکل ۱۰. بررسی سازوکار مقاومتی در شمع های ماریپیچ

شکل ۱۱. مقایسه ظرفیت باربری کششی متوسط انواع شمع ها با هندسه های مختلف صفحه

شکل ۱۲. نمایش ضریب شکل پره. الف) مقایسه برای صفحه مربعی با دیگر پژوهش ها. ب) مقایسه برای صفحه شش ضلعی با صفحه دایره ای

شکل ۱۳. مقایسه نتایج آزمایشگاهی با محاسبات تحلیلی با استفاده از ضریب شکل بدست آمده از نتایج شمع های تک پره ای. الف) شمع های مربعی. ب) شمع های شش ضلعی.

شکل ۱۴. مقایسه ظرفیت باربری شمع های ماریپیچ با پره های دایروی حاصل از این پژوهش و پژوهش های گذشته: الف) دو پره ای ای ب) سه پره ای

شکل ۱۵. نمایش تاثیر تعداد پره ها با هندسه مختلف بر ظرفیت باربری کششی شمع ها

Experimental Investigation of geometry and number of helices on the tensile bearing capacity of helical piles

Farzad Gharib , Ehsan Seyedi Hosseininia

1-Msc Ferdowsi University of Mashhad

2- PhD Civil Engineering Ferdowsi University of Mashhad

Abstract

Nowadays, helical piles as tensile anchors are widely used in industry. A helical pile is consisted of one or several bearing plates which are attached to the central shaft. A helical pile is installed in the ground by applying a torque on the shaft top together with a thrust force. The main advantages are the ease and rapidity in the installation, instant loading after the installation and no use of soil drilling. In this research paper, the tensile bearing capacity of helical piles in sandy soils is investigated experimentally in small scale. In most cases, the geometry of the bearing places is circular. Considering other geometries such as square or hexagonal may reduce the materials used in the pile fabrication and also, the effect of bearing capacity is not known in the engineering practice. The main aims of this study are to find the effect of the plate geometry as well as the number of bearing plates on the bearing capacity. To do so, helical piles were made up of steel with one, two and three plates with circular, square and hexagonal shapes. The cross section area of all the plates are considered the same. The piles were installed in a reservoir filled with dry medium-dense Firoozkooch sand by rotating manually the pile top. The pile top was drawn vertically under a uplift force. The loading process was performed according to quick method explained in ASTM D3689 standard. Having obtained the variation of force against the pile displacement, the bearing capacity of the pile were assessed. Four different methods were considered here to assess the average bearing capacity by considering different criteria mentioned in the technical literature. As the first step to find the best match theatrical formula, the pile bearing capacity with single circular plate was studied. By investigating several formulas, it is found out that the formula presented by Veesaert and Clemence (1977) matches well with the experiment and thus, this formula was used hereafter in all the analytical investigations. By comparing the experimental results with theoretical formulations, it can be said that the shear cylinder is the dominant mechanism which was observed in all the multi-plate piles. The results also show that the geometry of the plates clearly influences on the tensile bearing capacity. The piles with hexagonal and circular plates have the greatest and the lowest capacity, respectively. Based on the results, a shape factor is defined for the pile with hexagonal plates. The shape factor of the piles with square plate is obtained 1.20 which is consistent with other previous studies. For the pile with hexagonal plate, the shape factor is assessed as 1.34. It is also shown that this bearing capacity is correspondent to an equivalent circumferential circular plate. By using the values of the shape factors (for both square and hexagonal) and the analytical method, the bearing capacity of the piles with two three plates were assessed. A good match is observed between the results of the experiment and analytical method. Again, the results implicitly confirm the dominancy of cylindrical shear mechanism. Results also show that the increase in the number of plates does not necessarily increase the bearing capacity, but it depends on the plate geometry. The reason can be explained by the differences in the perimeter of the helices and accordingly, the effective soil weight which is considered as the generated wedge against the uplift. This can be justified by the results of analytical methods.

Keywords: Tensile bearing capacity, helical pile, plate geometry, number, experimental study