



## تأثیر تغییر گام پره پیچشی بر روی ظرفیت بیرون کشش شمع به وسیله‌ی دستگاه یونیورسال

پویا نوحی حفظ‌آباد، محمدعلی ارجمند\*

دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران.

### تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۲۰

بازنگری: ۱۳۹۸/۱۰/۲۲

پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۴

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۱۱/۱۳

### کلمات کلیدی:

مسلح‌سازی

شمع پیچشی

ماسه

روش آزمایشگاهی

دستگاه کشش یونیورسال

**خلاصه:** استفاده از شمع‌های پیچشی برای مسلح‌سازی خاک از هزینه و زمان اجرایی کمی برخوردار است. هدف از این مقاله بررسی اثرات استفاده از شمع پیچشی بر روی بهبود عملکرد در بیرون کشش و جابه‌جایی ناشی از کشش است. به این منظور نمونه‌های آزمایشگاهی شمع ساده و شمع پیچشی با گام‌های ۱۳، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر و تأثیر گام بررسی گردیده است. ماسه شهریار با دانسیته نسبی ۷۰٪ استفاده شده و متراکم‌سازی خاک توسط کوبش است. دستگاه یونیورسال Zwick/Roell Z150 برای کشش استفاده شده است. با استفاده از تحلیل ابعادی و بی‌بعدسازی به روش پی‌باکینگهام، مدل‌سازی فیزیکی شمع پیچشی انجام شده است. حداکثر ظرفیت بیرون کشش و جابه‌جایی متناظر با آن استخراج شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر ظرفیت بیرون کشش شمع پیچشی با گام‌های ۱۳، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر نسبت به شمع ساده ۴۵۳/۵۷٪، ۵۱۸/۶۶٪ و ۴۳۶/۲۴٪ افزایش دارد. هنگامی که نسبت گام پره پیچشی به قطر شفت مرکزی شمع مابین ۱ تا ۱/۵ است، ظرفیت بیرون کشش به واسطه‌ی اصطکاک ایجاد شده و وزن ماسه بر روی پره به عنوان عامل مقاوم بهبود می‌یابد. با افزایش نسبت گام پره به قطر شمع به ۱/۹۲ میزان پیچ‌خوردگی پره افزایش می‌یابد و از عامل مقاوم وزن ماسه بر روی پره‌ها کاسته می‌شود؛ به این ترتیب ظرفیت بیرون کشش نسبت به دو حالت قبلی کاهش می‌یابد. در شمع ساده به دلیل نبود پره پیچشی، جابه‌جایی متناظر با حداکثر نیروی بیرون کشش کمتری نسبت به شمع پیچشی رخ داد. نتایج نشان می‌دهد که جابه‌جایی شمع‌های پیچشی با نسبت گام پره به قطر متفاوت تقریباً با یکدیگر برابرند.

### ۱- مقدمه

پیچشی نسبت به شمع‌های دیگر سرعت نصب بالا، صدا و لرزش ناشی از نصب کم، تحمل بارگذاری بلافاصله پس از نصب، امکان برداشتن و استفاده مجدد از آن و در آخر تجهیزات نصب آن که دارای وزن کمی است [۱]. از عوامل مؤثر بر ظرفیت بالارانش شمع‌های پیچشی می‌توان به قطر پره‌های پیچشی، عمق پره‌ها، فاصله و گام پره‌های پیچشی و تراکم خاک اشاره کرد [۲].

محمد سکر و همکاران در پژوهش خود از سه اندازه شمع پره‌دار استفاده کردند که در هر سه، پره‌ها و شفت مرکزی دارای ضخامت ورقه یکسان اما قطر پره‌ها و شفت مرکزی شمع متفاوت بوده‌اند. وی از کار خود نتیجه گرفت که در هر دو سایت رُسی و ماسه‌ای با

شمع‌های پیچشی از صفحات مارپیچ جوش داده شده به لوله‌های توخالی فولادی ساخته شده‌اند. قطر لوله توخالی فولادی ۱۱ تا ۳۲ سانتی‌متر و قطر صفحه‌های پیچشی دور لوله ۳۰ تا ۹۱ سانتی‌متر که شامل دو تا سه بار تکرار این صفحات در امتداد لوله‌ی فولادی هستیم. نحوه‌ی نصب آن به این صورت است که با اعمال یک گشتاور پیچشی به سر شمع، به داخل زمین هدایت می‌شود.

این شمع‌ها در فونداسیون‌های عمیق حمل بارهای فشاری، کششی و جانبی را برعهده دارد. مزیت‌های استفاده از شمع‌های

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: arjomand@sru.ac.ir



افزایش قطر پره‌های شمع، هم تغییرشکل و هم بار قابل تحمل توسط شمع افزایش می‌یابد [۳]. مریفیلد نیز در مورد قطر پره‌های شمع و نسبت فاصله به قطر پره‌های شمع تحقیقاتی را انجام داد که کمابیش نتایج مشابه سکر به‌دست آورد، اما وی گامی به جلو نهاده و برای عملکرد مناسب شمع فاصله‌ی بین دو پره را به اندازه سه برابر قطر پره‌ها پیشنهاد داد [۴]. در مورد اثر قطر پره‌ها و عمق و فاصله آن‌ها بر ظرفیت باربری شمع، پاکراستینش و اسپرینس بر روی چهار نوع خاک (ماسه ریزدانه، گلدانی شناور، گلدانی ماسه‌ای، گلدانی سخت) پژوهشی را انجام دادند و نتایج خوبی به‌دست آوردند که که با افزایش عمق و قطر شمع، ظرفیت باربری نیز افزایش می‌یابد [۲].

در مدل‌سازی بارهای لرزهای مطالعه‌ای مروری توسط غفارپور جهرمی و نوحی حفظ‌آباد انجام شد [۵]، همچنین استفاده از نرم‌افزارهای تجاری روشی دیگر برای بررسی رفتار مکانیکی و دینامیکی است [۶]. ژانگ با ارائه‌ی مدلی، ظرفیت باربری شمع‌های پیچشی را در سه قسمت محاسبه کردند [۷]. در محاسبه‌ی ظرفیت باربری شمع نیاز به پارامترهایی از خاک و شکل شمع می‌باشد و در کل ظرفیت باربری از دو قسمت ظرفیت نوک یا انتهایی شمع و ظرفیت جداری (اصطکاکی) تشکیل شده است [۸]. در تراکم‌های پایین احتمالاً درگیری خاک با پره‌های شمع نسبت به سه نوع شمع (فولادی ته باز، فولادی ته بسته، فولادی راندنی) کمتر است و لذا ظرفیت باربری شمع پره‌ای بیشتر از سایر انواع شمع خواهد بود. با بالا رفتن تراکم این نقیصه رفع شده و این شمع در فشار ظرفیت باربری بالایی از خود نشان می‌دهد [۹].

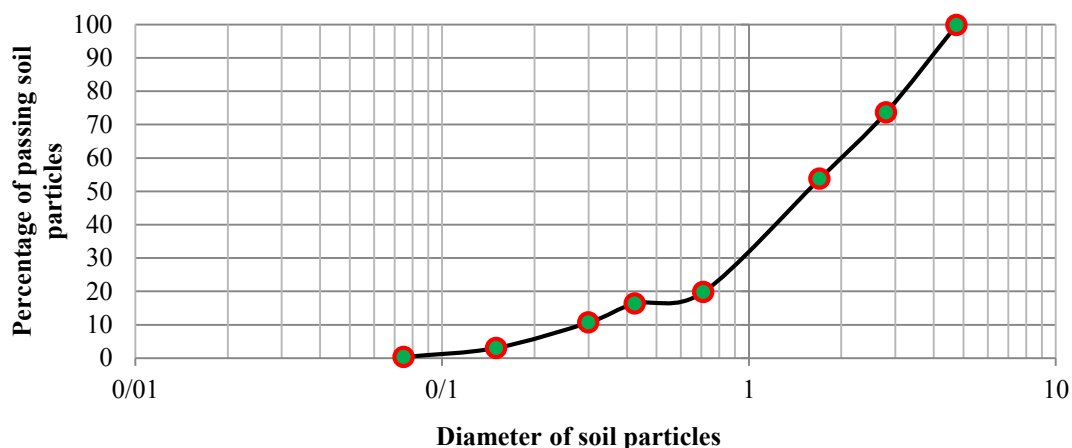
شمع‌های پره‌ای در کشش بسیار خوب عمل می‌کنند و آن‌ها را به عنوان مهار کششی پره‌ای در سازه‌ها و بخصوص سازه‌های ساحلی به کار گرفته‌اند [۹]. هنگامی که نسبت تغییر مکان به قطر شمع افزایش یافته و از مرز ۱۰٪ می‌گذرد و به دلیل درگیر شدن کامل پره‌های شمع در مکانیسم تحمل بار، شمع‌های پره‌ای عملکرد بهتری از خود بروز می‌دهند در نتیجه این موضوع نشان می‌دهد که در استفاده از این نوع شمع چنانچه خاک محل بسیار سست و کم تراکم باشد با بهسازی و متراکم ساختن آن نتیجه بهتری حاصل می‌شود [۹].

با افزایش نسبت عرض خاک مسلح شده به عرض خاک مسلح نشده ظرفیت بیرون کشش انکر افزایش می‌یابد [۱۰]. راتو و همکارانش به این نتیجه رسیدند که حداکثر ظرفیت در زمان  $S/D$  (نسبت فاصله

پره به قطر شمع) بین ۱/۰ و ۱/۵ بدست می‌آید. بر اساس تجزیه و تحلیل پس از شمع‌ها، نویسندگان تغییر عملکرد را به تغییرات در مکانیسم خرابی ناشی از تنظیمات صفحه‌های مختلف نسبت دادند. تحقیقات آن‌ها نشان داد که مکانیسم‌های شکست برای پیکربندی‌های مختلف شمع از برش استوانه‌ای تا ظرفیت تحمل صفحه شخصی (مجزا) متغیر است [۱۱]. راتو و همکارانش یک عامل تصحیح،  $S_r$ ، وابسته به  $S/D$  را معرفی کرد. فاکتور  $S_r$  به صورت آزمون و خطا و با استفاده از نتایج تجربی گزارش شده در [۱۱] تعیین شد و به طور مطلوب با داده‌های میدانی سه آزمایش از آزمون‌های خروج کامل مقیاس گزارش شده توسط مونی و همکاران [۱۲] مقایسه شد. حسن و صمدهیا به بررسی تأثیر ژئوگرید با نوارهایی افقی بر روی شدت بار نهایی به عنوان ظرفیت باربری نهایی شمعها پرداختند. آزمونهای مدل آزمایشگاهی و تحلیلهای عددی بر روی شمعهای تقویت نشده و شمعهای گرآنولاری تقویت شده با نوارهای افقی ژئوگرید در خاک رُس انجام شد. در این تحقیق تأثیر طول آرماتور، مقاومت برشی رُس، استحکام ژئوگرید و فاصله‌ی نوارها مورد بررسی قرار گرفت [۱۳].

بررسی عملکرد شمعهای پیچشی تحت بار محوری به وسیله‌ی آزمونهای مدل آزمایشگاهی، همبستگی تصویر دیجیتال و مدل‌سازی المان محدود توسط چن و همکارانش انجام شد. نتایج آنها نشان داد که بخش پیچشی شمع بار بیشتری نسبت به بخش دیگر تحمل می‌کند. از این رو شمع پیچشی عملکرد بهتری را نسبت به شمع ساده دارد. شمع پیچشی با تأثیرگذاری بر روی حجم بیشتری از ماسه، عملکرد بهتری بدست آورد [۱۴]. موسکوئرا و همکارانش در مطالعه-ای به بررسی عملکرد شمعهای پیچشی تحت بارگذاری پرداختند. آن‌ها از یک مدل احتمالی-توانی استفاده کردند که پارامترهای آن از یک پایگاه داده با ۳۰ تست بر روی شمعهای پیچشی در برزیل بود [۱۵]. با استفاده از روشهای طراحی موجود، مجموعه‌های از شمعهای پیچشی توسط داویدسون و همکارانش برای پاسخگویی به بارهای مورد نیاز یک غلاف استیل پشتیبان توربین فراساحلی در آبهای عمیق طراحی شد. گشتاور و نیروی مورد نیاز برای نصب توسط آزمایش سانتیفریوژ با نسبت مقیاس یک به هشتاد بدست آمد. نتایج حاکی از آن بود که نیروی نصب بسیار قابل توجه است و ممکن است فراتر از قابلیت‌های تجهیزات نصب مرسوم موجود باشد [۱۶].

آنچه در مرور ادبیات موضوع آورده شده، بدون در نظر گرفتن



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی ماسه  
Fig. 1. Sand classification curve

نشان می‌دهد. طبقه‌بندی خاک با استفاده از روش یکنواخت<sup>۱</sup> انجام می‌شود [۱۷].  
با استفاده از منحنی دانه‌بندی، مقادیر  $D_{10}$ ،  $D_{30}$ ،  $D_{60}$  اصل می‌گردد.

$$D_{10} \approx 0.29\text{mm}, D_{30} \approx 0.9\text{mm}, D_{60} \approx 2.2\text{mm} \quad (۱)$$

با توجه به ارضاء شدن شرایط مربوط به ضریب یکنواختی،  $C_u = 7.6$  و ضریب خمیدگی،  $C_c = 1.26$  بدست آمد، این خاک بر اساس روش طبقه‌بندی یکنواخت، ماسه خوب دانه‌بندی شده (SW) است [۱۸].

## ۲-۲- آزمایش تعیین چگالی ویژه ( $G_s$ )

آزمایش تعیین چگالی ویژه خاک با استفاده از استاندارد ASTM D۴۵۴۶ انجام می‌شود [۱۹]. برای انجام این آزمایش، سه نمونهی ۴۳۰ گرمی استفاده شده است که در این تحقیق میانگین نتایج به عنوان چگالی ویژه در نظر گرفته شد. میانگین نتایج آزمایش تعیین چگالی ویژه با سه مرتبه تکرار برابر با ۲/۴۶۵ است.

## ۲-۳- آزمایش برش مستقیم

برای بدست آوردن زاویه اصطکاک داخلی خاک  $\phi$  از آزمایش برش مستقیم استفاده می‌شود، که این آزمایش مطابق با استاندارد شماره ASTM D۳۰۸۰-۹۸ است [۲۰].

ملاحظات تحلیل ابعادی است. در این مقاله با توجه به ابعاد دستگاه آزمایش یونیورسال ظرف آزمایش طراحی و ساخته شد. مدل‌سازی فیزیکی با استفاده از رویکرد تحلیل ابعادی به روش پی‌باکینگهام انجام شد و مطابق با مدل‌سازی انجام شده، نمونه آزمایشگاهی از شمع‌های ساده و پیچشی با گام‌های متغیر تهیه شد. سلسله آزمایش‌هایی جهت تعیین نوع خاک از جمله دانه‌بندی خاک، چگالی ویژه، پارامترهای مقاومت برشی و وزن مخصوص خشک حداقل و حداکثر آن صورت گرفت. سپس به معرفی دستگاه کشش یونیورسال و نحوه‌ی انجام آزمایش، کالیبره کردن و تنظیمات اولیه‌ی صورت گرفته بر روی این دستگاه پرداخته می‌شود. نتایج آزمایش بیرون‌کشش شمع پیچشی با گام‌های ۱۳، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر و شمع ساده ارائه می‌شود. نتایج استخراجی شامل حداکثر ظرفیت بیرون‌کشش و جابه‌جایی متناظر با آن، تأثیر گام پره‌ی پیچشی بر نسبت حداکثر ظرفیت بیرون‌کشش شمع پیچشی به شمع ساده و تأثیر تغییر گام پره پیچشی بر میزان جابه‌جایی است.

## ۲- آزمایش‌های انجام‌شده بر روی خاک

به منظور تعیین نوع خاک، سلسله آزمایش‌هایی بر روی خاک انجام شده است که در این بخش به آن‌ها اشاره می‌شود.

### ۲-۱- آزمایش دانه‌بندی

خاک استفاده شده در این تحقیق، ماسه دوبار شوی شهریار است.

شکل ۱، منحنی دانه‌بندی ماسه بکار گرفته شده در این تحقیق را

1 Unified Soil Classification system

را نشان می‌دهد.

با استفاده از وزن مخصوص حداقل و حداکثر ماسه (مطابق جدول ۲) و با توجه به رابطه ۲، مقدار وزن مخصوص لازم برای ساخت ماسه متراکم حاصل می‌گردد.

$$D_r = \frac{\gamma_d - \gamma_{d_{min}}}{\gamma_{d_{max}} - \gamma_{d_{min}}} \times \frac{\gamma_{d_{max}}}{\gamma_d} \quad (2)$$

در این مقاله، از ماسه متراکم با دانسیته نسبی ۷۰٪ استفاده شده است. بنابراین با قرار دادن مقدار دانسیته نسبی ( $D_r$ ) و همچنین وزن مخصوص حداقل ( $\gamma_{d_{min}}$ ) و حداکثر ( $\gamma_{d_{max}}$ ) در رابطه ۲، وزن مخصوص خشک لازم برای ماسه مدنظر ( $\gamma_d$ ) مطابق جدول ۳ حاصل می‌گردد.

برای صحت‌سنجی تراکم ماسه متراکم شده داخل مخزن، آزمایش تراکم خاک انجام شد. بدین صورت که یک مقدار خاک (۹۵۳ گرم) از سطح مخزن برداشته شده و سپس وزن می‌گردد. در مرحله بعدی یک کیسه براق در محلی که خاک برداشته شده قرار داده

وزن ماسه مورد نیاز برای هر آزمایش برش مستقیم، با توجه به وزن مخصوص خشک ماسه مورد استفاده در آزمایش‌ها و با داشتن حجم جعبه برش، بدست می‌آید سرعت اعمال تغییر مکان برشی، ۱۰ دور در دقیقه و بارهای قائم اعمال شده ۱۲/۵، ۲۴/۵۹ و ۳۶/۱۲ کیلوگرم است.

نتایج آزمایش‌های برش مستقیم که جهت تعیین مقدار زاویه اصطکاک داخلی ماسه متراکم انجام شده در جدول ۱ ارائه شده است.

#### ۲-۴- آزمایش تعیین وزن مخصوص خشک حداقل و حداکثر ماسه

برای بدست آوردن دانسیته نسبی ماسه، لازم است وزن مخصوص خشک حداقل و حداکثر خاک تعیین شود. تعیین وزن مخصوص خشک حداقل، بر اساس استاندارد شماره ASTM D۴۲۵۴-۹۱، انجام می‌شود [۲۱].

تعیین وزن مخصوص خشک حداکثر براساس استاندارد شماره ASTM D۴۲۵۳-۹۳ [۲۲] انجام می‌شود. جدول ۲، نتیجه آزمایش‌های مربوط به تعیین وزن مخصوص حداقل و حداکثر ماسه

#### جدول ۱. نتایج آزمایش‌های برش مستقیم

Table 1. The results of direct shear test

ماسه متراکم	دانسیته نسبی ماسه (درصد)	زاویه اصطکاک داخلی خاک (درجه)
	۷۰	۳۸

#### جدول ۲. نتایج آزمایش تعیین وزن مخصوص خشک حداقل و حداکثر ماسه

Table 2. The results of the sand minimum and maximum specific weight

شماره آزمایش	$\gamma_{d_{min}}$ (gr / cm <sup>3</sup> )	$\gamma_{d_{max}}$ (gr / cm <sup>3</sup> )
۱	۱/۷۷	۱/۹۷
۲	۱/۷۷	۱/۹۸
۳	۱/۸۲	۱/۹۸
میانگین	۱/۷۸	۱/۹۸

#### جدول ۳. نتایج تعیین وزن مخصوص متناظر با دانسیته نسبی ماسه متراکم

Table 3. The results of specific weight corresponding to the relative density of dense sand

وزن مخصوص متناظر با دانسیته نسبی ماسه (gr / cm <sup>3</sup> )	دانسیته نسبی ماسه (%)
۱/۹۲	۷۰

کشیدگی سنج<sup>۵</sup>، یکی از وسایل اندازه‌گیری متداول در آزمایش‌های مختلف است.

دستگاه خروجی<sup>۶</sup>: در هر آزمایشی باید نتایج آزمایش در یک دستگاه خروجی نمایش داده شوند. در دستگاه‌های قدیمی از صفحه نمایش و ثبت‌کننده‌های مدرج یا دیجیتالی استفاده می‌شد. دستگاه مورد استفاده در این تحقیق از رابط‌های کامپیوتری برای تحلیل و چاپ نتایج بهره می‌گیرند.

تجهیزات آزمایش<sup>۷</sup>: در اغلب دستورالعمل‌ها، از فک‌ها، گیره‌های نگه‌دارنده و تجهیزات آماده‌سازی نمونه به عنوان وسایل ضروری آزمایش یاد می‌شود. انتخاب هر یک از این وسایل به نوع آزمایش بستگی دارد. با توجه به نوع آزمایش مدنظر برای کشش شمع پیچشی، از فک‌های کششی برای این منظور، بهره گرفته شده است. شکل شماتیک از دستگاه به همراه ابعاد و اندازه‌ی آن درون شکل ۲-ب نشان داده شده است.

### ۳-۱- نحوه استفاده از دستگاه آزمایش بونیورسال

نحوه راه‌اندازی و استفاده از دستگاه آزمایش بونیورسال، در دستورالعمل‌های ارائه شده توسط مؤسسه‌های استاندارد (ISO و ASTM) به طور کامل تشریح شده است. این موارد شامل نحوه آماده‌سازی نمونه، طول نمونه، تحلیل نتایج می‌شود. در این آزمایش باید نمونه را بین گیره‌ها قرار داد و برای اندازه‌گیری و ثبت تغییرات طول نمونه در حین آزمایش از کشیدگی سنج استفاده کرد. حتی در صورت عدم نصب کشیدگی سنج، امکان ثبت جابه‌جایی بین کلگی‌ها به صورت خودکار توسط دستگاه وجود دارد. با این وجود، در این آزمایش نه تنها تغییرات طول نمونه بلکه تمام مؤلفه‌های الاستیک/کششی دستگاه آزمایش و سیستم‌های محرکه آن نظیر لغزش نمونه درون گیره‌ها نیز ثبت می‌شوند.

دستگاه پس از روشن شدن شروع به اعمال بارگذاری افزایشی بر روی نمونه می‌کند. در حین آزمایش‌ها، سیستم ثبت اطلاعات و نرم‌افزارهای مرتبط با آن، میزان بارگذاری و کشش یا فشار وارده بر نمونه را ثبت می‌کنند. دستگاه‌های آزمایش بونیورسال، از مدل‌های بسیار کوچک رومیزی تا مدل‌هایی با ظرفیت بارگذاری ۵۳ مگانیوتن

می‌شود و آب را تاجایی که با خاک سطح مخزن در یک راستا قرار گیرد، ریخته می‌شود. سپس میزان حجم آب داخل کیسه را به داخل استوانه مدرج انتقال داده و حجم آب (۵۰۰ میلی‌لیتر) حاصل می‌شود. بدین ترتیب تراکم محلی خاک سطح آزمایش ۱/۹۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب بدست آمد.

### ۵-۲- آزمایش تعیین درصد رطوبت

این آزمایش براساس استاندارد شماره ASTM D۲۲۱۶-۹۸ [۲۳] برای سه نمونه از ماسه مورد آزمایش انجام می‌شود. هدف از انجام این آزمایش، اثبات خشک بودن ماسه مورد آزمایش است. میانگین نتایج آزمایش درصد رطوبت ماسه را ۰/۴۸ درصد نشان می‌دهد و با توجه به این ارقام، می‌توان ماسه را خشک در نظر گرفت و از رطوبت موجود در آن صرف‌نظر کرد.

### ۳-۲- دستگاه آزمایش بونیورسال

دستگاه آزمایش بونیورسال انواع مختلفی دارد، اما موارد زیر که در شکل ۲ نشان داده شده در اکثر دستگاه‌ها مشترک هستند. قاب بارگذاری<sup>۱</sup>: این بخش معمولاً شامل دو نگهدارنده قوی بر روی دستگاه است. برخی از دستگاه‌های کوچک تنها یک نگهدارنده دارند، که دستگاه بکار گرفته شده در این آزمایش دارای دو نگهدارنده می‌باشد.

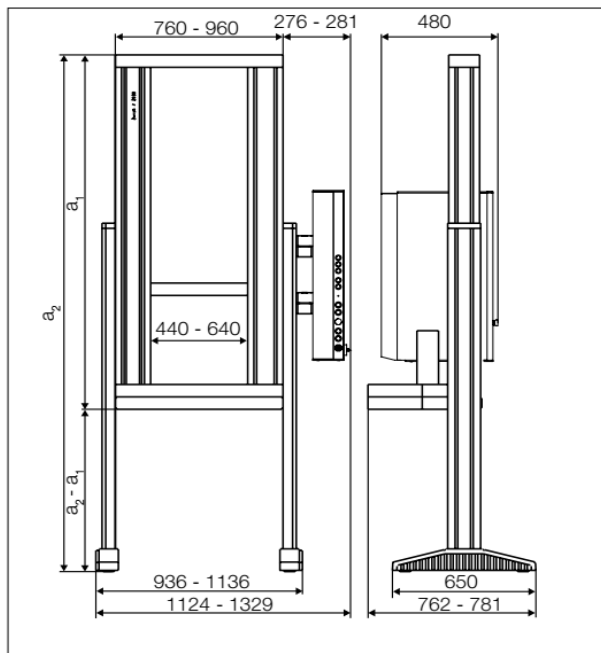
سلول بارگذاری<sup>۲</sup>: این بخش، نیازمند یک مبدل نیرو یا دیگر وسایل اندازه‌گیری بار است. معمولاً کالیبراسیون سلول بارگذاری به طور متناوب و با در نظر گرفتن دستورالعمل‌های موجود یا سیستم‌های کیفی انجام می‌شود.

کلگی<sup>۳</sup>: این بخش قابلیت کنترل و حرکت به سمت بالا و پایین را دارد. در دستگاه‌هایی با نرخ ثابت کشش<sup>۴</sup> یا اصطلاحاً دستگاه‌های سی‌آرای، سرعت حرکت کلگی ثابت است. دستگاه استفاده شده در این تحقیق، امکان تعریف سرعت برای کلگی یا اجرای آزمایش‌های چرخه‌ای با نیروی ثابت، تغییر شکل ثابت وجود دارد.

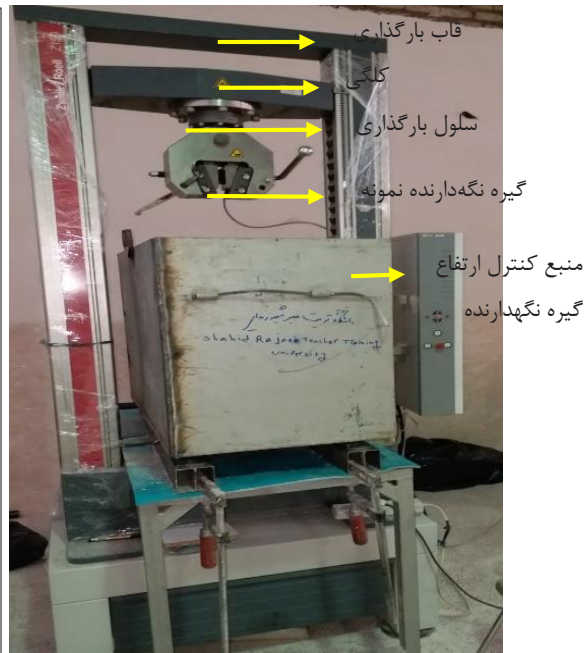
وسایل اندازه‌گیری تغییر شکل یا کشش: در اکثر آزمایش‌ها، به وسیله‌ای برای اندازه‌گیری واکنش نمونه به حرکت کلگی نیاز است.

5 Extensometer  
6 Output Device  
7 Test Fixtures

1 Load Frame  
2 Load cell  
3 Cross Head  
4 Constant Rate Of Extension



(ب)



(الف)

شکل ۲. دستگاه آزمایش یونیورسال؛ الف) اجزای تشکیل دهنده، ب) شکل شماتیک دستگاه یونیورسال به همراه ابعاد و اندازه آن  
**Fig. 2. Universal Testing Machine; a) Components, b) Schematic shape of Universal Testing Machine with its dimensions and sizes**

اساسی نامیده می‌شوند. در مهندسی ژئوتکنیک معمولاً سه بعد اصلی، عبارتند از:

- نیرو ( $F$ )
- طول ( $L$ )
- زمان ( $T$ )

#### ۱-۴- مزایای تحلیل ابعادی

- اولین مزیت تحلیل ابعادی صرفه‌جویی در وقت و پول است.
- دومین مزیت تحلیل ابعادی این است که ما را در تعمق برای طرح‌ریزی یک آزمایش یا تئوری یاری می‌کند. تحلیل ابعادی گاهی بعضی از متغیرها را کنار می‌گذارد و گاهی متغیرهایی را که با چند آزمایش ساده، بی‌اهمیت بودن آن‌ها روشن شده است، گردآوری و گروه‌بندی می‌کند.
- سومین مزیت تحلیل ابعادی این است که به کمک قوانین تشابه حاصل از تحلیل ابعادی، می‌توان داده‌های مربوط به یک مدل کوچک و ارزان قیمت را به داده‌های طراحی یک نمونه واقعی تبدیل کرد. هنگامی که امکان استفاده از قانون تشابه فراهم است، گفته می‌شود که شرایط تشابه بین مدل و نمونه واقعی برقرار

تغییر می‌کنند. دستگاه مورد استفاده برای انجام این تحقیق Zwick/Roell Z150 می‌باشد.

دستگاه ثبت داده توسط یک پورت خروجی به برد اصلی رایانه متصل می‌شود. ویندوز مورد استفاده در سیستم متصل به دستگاه، ویندوز ایکس پی<sup>۱</sup> می‌باشد. رایانه توسط نرم‌افزار V3.2 Test Xpert11 با دستگاه ثبت داده ارتباط برقرار می‌کند. سرعت آزمایش بنا به گفته استنیر و همکارانش  $0/2$  میلی‌متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است [۲۴]. تعیین نقطه‌ی انتهایی نمودار،  $70\%$  بیشینه‌ی نیرو در نظر گرفته شده است.

#### ۴- تحلیل ابعادی در ژئوتکنیک

تحلیل ابعادی به کمک نوعی فشرده کردن، به رفع پیچیدگی و کاستن از تعداد متغیرهای تجربی مؤثر روی یک پدیده معین فیزیکی منجر می‌شود. اگر پدیده ای به  $n$  متغیر با بعد بستگی داشته باشد، تحلیل ابعادی تعداد متغیرها را به  $k$  متغیر بی بعد کاهش می‌دهد، که این کاهش به پیچیدگی مسأله بستگی دارد. به‌طور کلی  $n - k$  برابر تعداد ابعاد مختلف حاضر در مسأله است که گاهی ابعاد پایه، اولیه یا

1 Windows XP



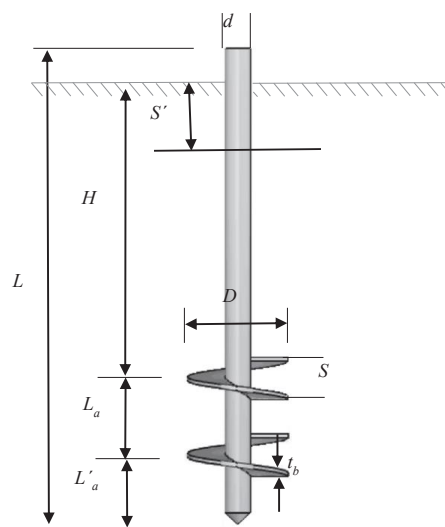
که  $\pi$  حاصل از آن‌ها بین خودشان یکسان نباشد. در هر گروه  $\pi$  دلخواه، باید حاصل ضرب توانی این  $k$  متغیر بعلاوه یک متغیر اضافی با هر توان مناسب غیر صفر باشد؛ بنابراین، هر گروه  $\pi$  یافت شده مستقل خواهد بود [۲۵-۲۹].

شکل ۳ پارامترهای مورد استفاده در تحلیل ابعادی را نشان می‌دهد.

$$F = f \left( \begin{matrix} T, L, H, S, L_a, L'_a, t_b, t_p, n, n' \\ D, d, \varphi, E_b, E_s, G, d_s \end{matrix} \right) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} [F] &= T \\ [L] &= S = L = H = L_a = L'_a = t_p = t_b = D = d \\ [F.L^{-2}] &= E_b = E_s = G \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \pi_1 &= n, \quad \pi_2 = n', \quad \pi_3 = \varphi, \quad \pi_4 = \frac{H}{d} \\ \pi_5 &= \frac{L'_a}{d}, \quad \pi_6 = \frac{S}{d}, \quad \pi_7 = \frac{G}{E_b}, \quad \pi_8 = \frac{t_p}{d} \\ \pi_9 &= \frac{t_b}{d}, \quad \pi_{10} = \frac{D}{d}, \\ \pi_{11} &= \frac{E_s}{E_b}, \quad \pi_{12} = \frac{L}{d}, \quad \pi_{13} = \frac{d_s}{d}, \quad \pi_{14} = \frac{L_a}{d} \end{aligned} \quad (5)$$



شکل ۳. جزئیات شمع پیچشی  
Fig. 3. The details of helical pile

انواع روش‌های بی‌بعدسازی در تحلیل ابعادی عبارتند از: ۱. روش رایلی، ۲. روش هاینساکر و رایت‌مایر، ۳. تئوری پی‌باکینگهام، ۴. روش ماتریسی که در این تحقیق با استفاده از تئوری پی‌باکینگهام به بی‌بعدسازی پرداخته می‌شود.

#### ۴-۱- تحلیل ابعادی شمع پیچشی بوسیله قضیه پی‌باکینگهام

این قضیه را برای اولین بار پای‌بوکینگهام در سال ۱۹۱۴ پیشنهاد کرد. نام پای از نماد ریاضی  $\pi$  به معنای حاصل ضرب متغیرها گرفته شده است. گروه‌های بی بعد یافته شده توسط این روش حاصل ضرب‌هایی توانی هستند. در این روش می‌توان  $\pi$ ها را بدون اجبار به تعریف جداگانه آن‌ها، سلسله‌وار پیدا کرد.

این قضیه شامل دو بخش است:

بخش اول بیانگر کاهش مورد انتظار در تعداد متغیرهاست. اگر یک تحول فیزیکی، اصل همگنی ابعادی را برآورده کند و شامل  $n$  متغیر ابعادی باشد، می‌توان آن را به یک رابطه بین تنها  $r$  یا  $\pi$  متغیر بی بعد کاهش داد. کاهش  $k = n - r$ ، معادل حداکثر تعداد متغیرهایی است که بین خود  $\pi$  تشکیل نمی‌دهند و همیشه کمتر یا مساوی تعداد ابعاد بیان کننده متغیرها خواهد بود.

بخش دوم قضیه، چگونگی یافتن همزمان  $\pi$ ها را نشان می‌دهد. کاهش میزان  $k$  را بیابید، آنگاه  $k$  متغیر را بگونه‌ای انتخاب کنید

سانتی‌متر در انتهای شفت مرکزی شمع پیچشی تعبیه شده است. پارامتر متغییر در نظر گرفته شده در این تحقیق گام صفحات پیچشی است. از آنجایی که نسبت گام پیچشی به قطر پره در مقالاتی که بر روی شمع پیچشی کار کرده‌اند در بازه‌ی ۰/۵ تا ۱/۵ بوده است [۱۴، ۱۶، ۳۰]، از این رو در این تحقیق گام صفحات پیچشی (۱/۳)، ۲ و ۲/۵ سانتی‌متر) در نظر گرفته شده است و نسبت گام پیچشی به قطر شفت مرکزی برابر با ۱، ۱/۵۴ و ۱/۹۲ خواهد بود و در بازه‌ی بیش از آنچه در قبل بوده، بررسی شده تا نتایج جامعتری استخراج گردد.

در این قسمت تصاویر شمع‌ها با گام‌های مختلف آورده شده است (شکل ۴-۷).

#### ۶- مخزن خاک

خاک مورد آزمایش باید در مخزنی با خصوصیات زیر قرار گیرد: ابعاد مخزن خاک به اندازه‌ای باشد که شرایط مدل‌سازی با مشکل مواجه نشود. مخزن خاک قابلیت تحمل وزن خاک و نیروهای اعمال شده به خاک را داشته باشد. دیواره مخزن دارای اندازه‌گذاری باشد تا مقدار خاک داخل آن مشخص باشد.

قاب مخزن خاک، با توجه به ابعاد شمع پیچشی از ورق فولادی به ضخامت ۰/۵ سانتی‌متر و به ابعاد ۱۰۰×۵۰×۷۰ سانتی‌متر مکعب ساخته می‌شود (شکل ۸). ابعاد مخزن، با توجه به مقدار خاک لازم برای انجام آزمایش‌ها و ارضاء شرایط مدل‌سازی تعیین شده است. دیواره‌ی مخزن اندازه‌گذاری شده است. مخزن ساخته شده، بر روی ریل تعبیه شده قرار می‌گیرد و با نصب ترمزها محکم می‌شود.

#### ۷- نمونه‌سازی ماسه با استفاده از روش کوبش

باتوجه به دانسیته‌ی نسبی و درصد تراکم مدنظر و با داشتن حجم مخزن، ظرف آزمایش به قسمت‌های ۱۰ سانتی‌متری تقسیم می‌شود. با داشتن مقادیر دانسیته نسبی و حجم لایه‌ی ۱۰ سانتی ظرف، میزان وزن لازم خاک در هر لایه مشخص می‌شود. بعد از مشخص شدن میزان لازم، ماسه درون مخزن ریخته می‌شود و تا رسیدن لایه خاک

پارامترهای باقی‌مانده عبارت است از  $E_b$ ،  $d$ ،  $T$ .

$$\begin{aligned} n = 3, r = 2 \rightarrow k = n - r = 3 - 2 = 1 \\ \pi_{15} = E_b^{a_1} \times d^{b_1} \times T \rightarrow [F^0 \times L^0] = \\ [F^{a_1} \times L^{-2a_1}] \times [L^{b_1}] \times [F] \rightarrow a_1 + 1 = 0 \\ \rightarrow a_1 = -1, \\ -2a_1 + b_1 = 0 \rightarrow b_1 = -2 \Rightarrow \pi_{15} = \\ E_b^{-1} \times d^{-2} \times T = \frac{T}{E_b \times d^2} \end{aligned} \quad (6)$$

بدین ترتیب بی‌بعدسازی صورت گرفته است.

#### ۵- مدل شمع پیچشی [۲۴، ۲۶]

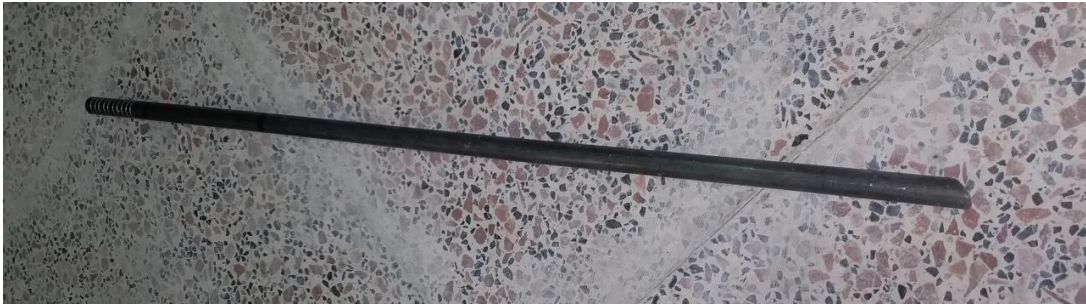
در ابتدا امر برای بدست آوردن ابعاد شمع پیچشی مطلوب، با در نظر گرفتن ارتفاع دستگاه آزمایش یونیورسال، لوله‌ی مانیسمان ۰/۵ اینچ (تقریباً ۱/۳ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. در مرحله‌ی بعدی با توجه به نسبت‌های معرفی شده توسط استینر و همکاران [۲۴] و مرجع [۲۶] ابعاد و اندازه‌ی قسمت‌های مختلف شمع پیچشی حاصل شد قطر پره پیچشی، ضخامت پره پیچشی، گام پره استاندارد، فاصله پره‌ها از یکدیگر، فاصله نوک شمع از پره و فاصله پره بالایی از سطح خاک به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} D = 5.1 \text{ cm}, t_b = 2.5 \text{ mm} \\ S = 1.3 \text{ cm}, L_a = 11.5 \text{ cm}, L'_a = 5 \text{ cm} \\ H = 26.5 \text{ cm} \end{aligned} \quad (7)$$

فاصله‌ی پره‌های پیچشی از یکدیگر با توجه به در نظر گرفتن عملکرد استوانه‌ای، با حداکثر دو پره‌ی پیچشی تعیین می‌شود. در این تحقیق شمع پیچشی مدنظر تک پره بوده و صرفاً جهت تکمیل تحلیل ابعادی فاصله بین دو پره بدست آمده است.

مدل شمع پیچشی با استفاده از لوله‌ی مانیسمان آهنی به قطر ۰/۵ اینچ (تقریباً ۱/۳ سانتی‌متر) و طول ۶۰ سانتی‌متر و جوش صفحات مارپیچی به ضخامت ۲/۵ میلی‌متر، با قطر ۵/۱ سانتی‌متر و گام‌های مختلف ۱/۳، ۲ و ۲/۵ سانتی‌متر در نقاط مورد نظر به میله‌های فولادی ساخته می‌شود. برای گیرش بهتر بین فک دستگاه آزمایش یونیورسال و شمع پیچشی، تعداد ۱۰ رزوه به فاصله‌ی ۰/۵





شکل ۴. شمع ساده به قطر ۳/۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ سانتی‌متر  
Fig. 4. The simple pile with a diameter of 1.3 cm and a height of 60 cm



شکل ۵. شمع پیچشی با گام ۳/۱ سانتی‌متر  
Fig. 5. The helical pile with a pitch of 1.3 cm



شکل ۶. شمع پیچشی با گام ۲ سانتی‌متر  
Fig. 6. The helical pile with a pitch of 2 cm



شکل ۷. شمع پیچشی با گام ۵/۲ سانتی‌متر  
Fig. 7. The helical pile with a pitch of 2.5 cm



شکل ۸. مخزن خاک  
Fig. 8. Soil container

متصل به موتور اعمال گشتاور (دریل) را در نقطه‌ی کانون مرکزی قرار داده و سپس برای اطمینان از عمود بودن شمع پیچشی هنگام نصب از تراز استفاده شده، در ضمن یک نفر به عنوان ناظر، برای چک کردن عمود بودن شمع لازم است. بعد از تراز کردن، نصب شمع پیچشی تا نقطه‌ی مشخص شده (روی بدنه شمع) انجام می‌شود (۱۷ سانتی‌متر انتهایی شمع پیچشی بیرون از سطح خاک باقی می‌ماند). در مرحله‌ی بعدی مخزن آزمایش توسط ریل‌های تعبیه شده به زیر فک دستگاه آزمایش یونیورسال منتقل می‌شود، سپس تنظیمات مربوط به دستگاه یونیورسال و نرم‌افزار مطابق بخش ۳ انجام می‌شود. در این بخش میزان سرعت بیرون‌کشش بنا به گفته استنیر و همکارانش برابر ۰/۲ میلی‌متر بر ثانیه است [۲۴]. بعد از انجام تنظیمات نرم‌افزاری، فک کشش دستگاه یونیورسال تا ۵ سانتی‌متری قسمت انتهایی شمع پیچشی پایین آورده می‌شود، سپس فک توسط اهرم تعبیه شده به شمع پیچشی قفل می‌گردد تا شمع پیچشی قدرت جابه‌جایی درون فک دستگاه را نداشته باشد. در مرحله‌ی بعد دستگاه شروع به بیرون کشیدن شمع پیچشی می‌کند، این روند تا جایی ادامه دارد که خاک مقاومت خود را در برابر کشش از دست می‌دهد، با در نظر گرفتن محدودیت ارتفاعی دستگاه و برای جلوگیری از صدمه رسیدن به آن مقدار نقطه‌ی انتهایی نمودار برابر ۷۰ درصد نیروی بیشینه کشش

به سطح مدنظر، توسط چکش پلاستیکی کوبیده می‌گردد.

#### ۸- نحوه تهیه ماسه با دانسیته نسبی ۷۰٪

ابتدا با توجه به وزن مخصوص خشک حداقل و حداکثر بدست‌آمده از آزمایش‌های شرح داده شده و با توجه به رابطه  $D_r = \frac{\gamma_d - \gamma_{d_{min}}}{\gamma_{d_{max}} - \gamma_{d_{min}}} \times \frac{\gamma_{d_{max}}}{\gamma_d}$ ، وزن مخصوص خشک لازم برای اینکه ماسه به دانسیته نسبی ۷۰٪ برسد، بدست می‌آید. در جدول ۴، نتایج تعیین وزن مخصوص خشک ماسه متراکم ارائه شده و با توجه به آن وزن ماسه‌ی لازم برای هر لایه بدست می‌آید. بعد از بدست آوردن وزن مخصوص خشک ماسه و تعیین وزن لازم ماسه برای هر لایه، عملیات تراکم توسط کوبش انجام می‌شود، تا سطح خاک در مرزبندی صورت گرفته قرار گیرد.

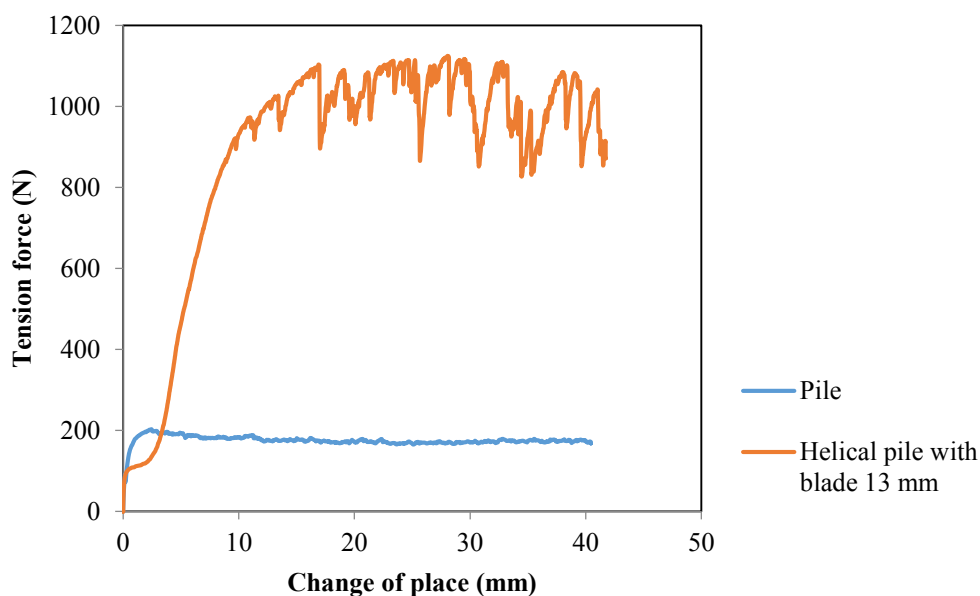
#### ۹- نحوه انجام آزمایش

ابتدا وزن مشخصی از خاک با توجه به مشخص شدن وزن مخصوص خشک خاک با تراکم نسبی ۷۰٪ در لایه‌های مشخص شده ریخته می‌شود و سپس عملیات تراکم انجام می‌گردد تا سطح خاک به لایه‌بندی‌های مشخص شده برسد. بعد از تکمیل کلیه سطوح نوبت به نصب شمع پیچشی می‌رسد، در این مرحله شمع پیچشی

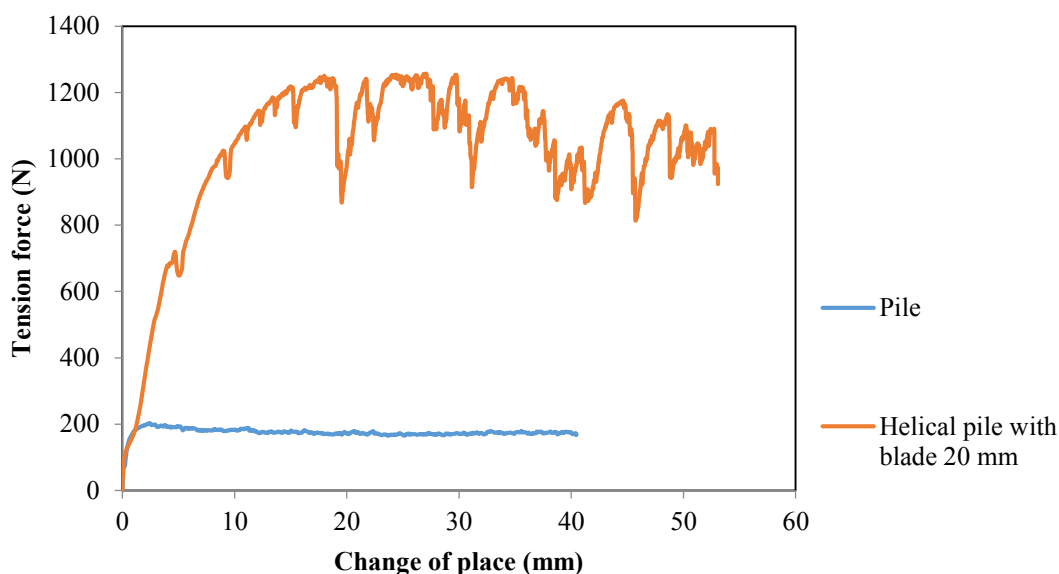
در نظر گرفته شده است. در پایان خروجی حاصل از نرم‌افزار نمودار نیروی بیرون‌کشش بر حسب کرنش خواهد بود.

**۱۰- نتایج**

در این بخش به ارائه نتایج ظرفیت بالارانش و جابه‌جایی ناشی از بیرون‌کشش شمع پیچشی نسبت به شمع ساده پرداخته می‌شود و در ضمن نمودارهای مربوط به حداکثر ظرفیت بیرون‌کشش شمع پیچشی نسبت به شمع ساده براساس میزان جابه‌جایی و گام پره پیچشی مورد بررسی قرار گرفت و در ادامه تأثیر گام پره پیچشی بر



شکل ۹. نمودار بیرون‌کشش کل-جابه‌جایی شمع ساده و شمع پیچشی (  $L' = 43$  cm و  $d = 1.3$  cm ،  $S = 1.3$  cm )  
 (Fig. 9. The variation of tension force versus the change of place ( $S=1.3$  cm,  $d=1.3$  cm and  $L'=43$  cm



شکل ۱۰. نمودار بیرون‌کشش کل-جابه‌جایی شمع ساده و شمع پیچشی (  $L' = 43$  cm و  $d = 1.3$  cm ،  $S = 2$  cm )  
 Fig. 10. The variation of tension force versus the change of place ( $S=2$  cm,  $d=1.3$  cm and  $L'=43$  cm

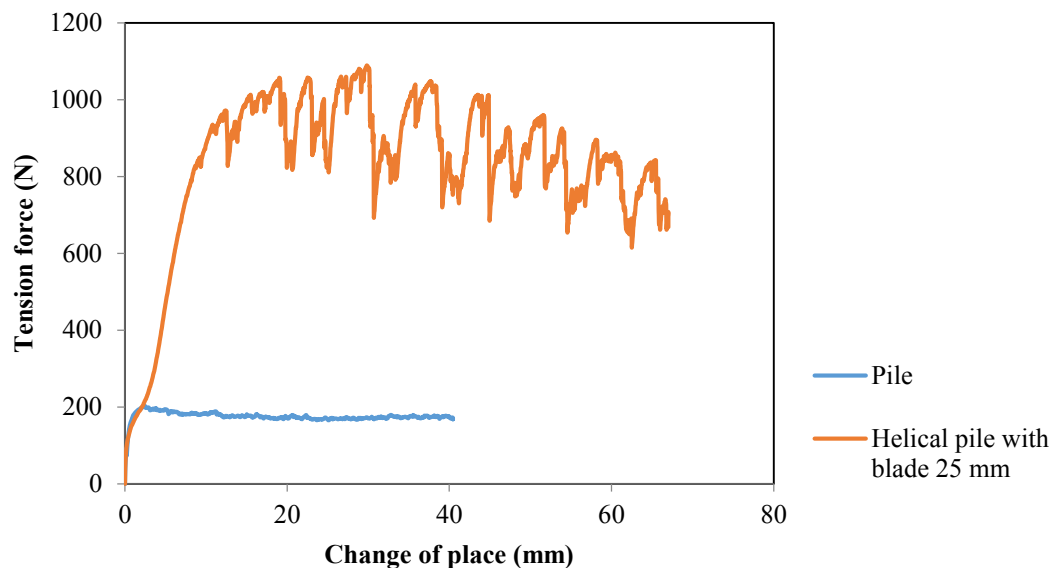
دستگاه (مانند رزوهکاری محور) دیده شده بود، به دلیل لغزش جزئی میان فک دستگاه UTM و محور میانی شمع است. این موضوع در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نیز دیده می‌شود. در این قسمت منحنی مقایسه آزمایش بیرون‌کشش شمع پیچشی با گام پره پیچشی ۲۰ میلی‌متر با شمع ساده ارائه می‌شود. شکل ۱۰، تغییر مکان شمع ساده در مقابل بالارانش وارد بر آن جهت مقایسه‌ی با شمع‌های پیچشی ترسیم شده است. تمام شرایط مانند حالت قبل می‌باشد و تنها پارامتری که دچار تغییر شده گام پره پیچشی است.

با دقت کردن به منحنی شکل ۱۰، نحوه رفتار شمع تحت اثر نیروی بالارانش مورد بررسی قرار می‌گیرد حداکثر ظرفیت بالارانش شمع ساده و شمع پیچشی تک پره با گام ۲۰ میلی‌متر به ترتیب برابر با ۲۰۳/۱۶۱ و ۱۱۲۴/۶۵۷ نیوتن است، با توجه به نتایج می‌توان گفت هنگامی که گام پره پیچشی به قطر شفت مرکزی پره پیچشی برابر با ۱/۵۴ باشد، ظرفیت بیرون‌کشش شمع پیچشی نسبت به شمع ساده ۵۱۸/۶۶۷٪ بهبود داشته است. این میزان بهبود، مانند نمودار قسمت قبلی به دلیل عملکرد پره‌های پیچشی هنگام بیرون کشیدن شمع بسبب اصطکاک ایجاد شده علاوه بر وزن ماسه روی پره می‌باشد. بنابر گفته استنیر و همکارانش [۲۴] هنگامی که مقدار  $S/d$  بین ۱ تا ۱/۵ باشد، شمع پیچشی بهترین عملکرد را به هنگام بیرون‌کشش از خود

روی حداکثر ظرفیت بیرون‌کشش نیز مورد بررسی قرار گرفت. در این قسمت منحنی مقایسه آزمایش بیرون‌کشش شمع پیچشی با گام پره پیچشی ۱۳ میلی‌متر با شمع ساده ارائه می‌شود. در این نمودار، تغییر مکان شمع ساده در مقابل بالارانش وارد بر آن جهت مقایسه‌ی آن با شمع‌های پیچشی ترسیم شده است. شکل ۹، مربوط به آزمایش شمع ساده و شمع پیچشی در ماسه متراکم است. در این شکل قطر شمع ( $d$ ) برابر ۱/۳ سانتی‌متر و طول مدفون شمع ( $L'$ ) برابر با ۴۳ سانتی‌متر و  $T$  برابر نیروی بالارانش شمع ساده است.

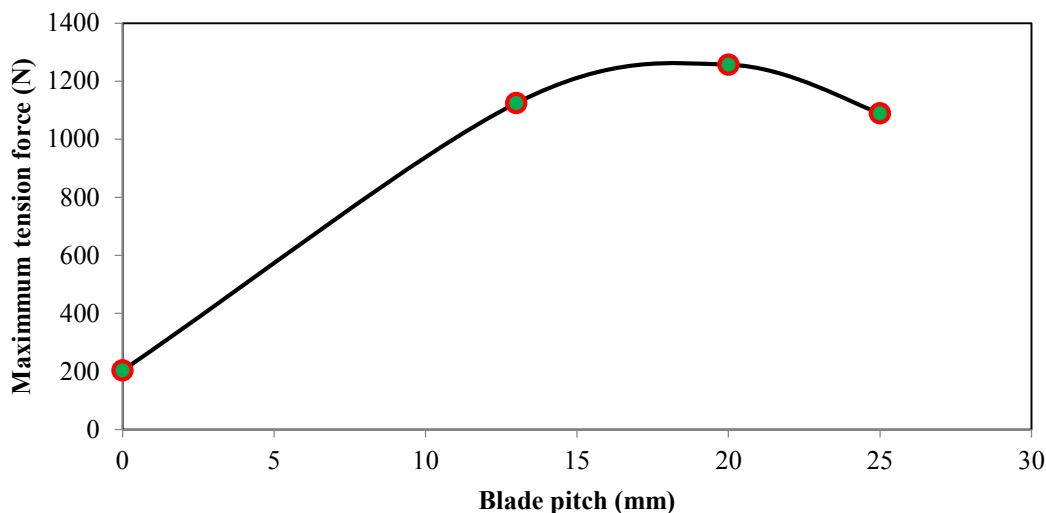
با دقت کردن به منحنی شکل ۹، نحوه رفتار شمع تحت اثر نیروی بالارانش مورد بررسی قرار می‌گیرد حداکثر ظرفیت بالارانش شمع ساده و شمع پیچشی تک پره با گام ۱۳ میلی‌متر به ترتیب برابر با ۲۰۳/۱۶۱ و ۱۱۲۴/۶۵۷ نیوتن است، با توجه به نتایج می‌توان گفت هنگامی که گام پره پیچشی با قطر شفت مرکزی پره پیچشی برابر باشد، ظرفیت بیرون‌کشش شمع پیچشی نسبت به شمع ساده ۴۵۳/۵۷۹٪ بهبود داشته، این میزان بهبود بدلیل عملکرد پره‌های پیچشی هنگام بیرون کشیدن شمع به سبب اصطکاک ایجاد شده علاوه بر وزن ماسه روی پره می‌باشد. با توجه به شکل ۹، موجهایی بر روی نمودار نیرو بر حسب جابه‌جایی مشاهده می‌شود.

این موجهها با وجود تدایمی که برای چسبندگی محور شمع- فک



شکل ۱۱. نمودار بیرون‌کشش کل-جابه‌جایی شمع ساده و شمع پیچشی ( $L' = 43$  cm و  $d = 1.3$  cm ،  $S = 2.5$  cm)  
**Fig. 11. The variation of tension force versus the change of place ( $S=2.5$  cm,  $d=1.3$  cm and  $L'=43$  cm)**





شکل ۱۲. نمودار حداکثر نیروی بیرون کشش - گام پره شمع پیچشی ( $L' = 43$  cm و  $d = 1.3$  cm،  $S = 1.3, 2$  and  $2.5$  cm)  
 (Fig. 12. The variation of maximum tension force versus the blade pitch ( $S=1.3, 2$  and  $2.5$  cm,  $d=1.3$  cm and  $L'=43$  cm

مختلف نشان داده شده که در همه‌ی آن‌ها، قطر شمع ( $d$ ) برابر با  $1/3$  سانتی‌متر، ارتفاع شمع ( $L$ ) برابر با  $60$  سانتی‌متر و طول مدفون شمع در خاک ( $L'$ ) برابر با  $43$  سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. ضمن اینکه در مبدأ مختصات حداکثر ظرفیت بالارانش شمع ساده مشخص شده است.

با توجه به شکل ۱۲، مشاهده می‌شود حداکثر ظرفیت بیرون کشش شمع پیچشی تک پره با گام‌های  $13$ ،  $20$  و  $25$  میلی‌متر نسبت به شمع ساده به ترتیب  $453/579$ ،  $518/667$  و  $436/243$  درصد افزایش داشته است، هنگامی که نسبت گام پره پیچشی به قطر شفت مرکزی شمع مابین  $1$  تا  $1/5$  قرار گرفته ( $S = 1.3, 2$  cm) ظرفیت بیرون کشش در حال افزایش است، هنگام بیرون کشیدن شمع اصطکاک ایجاد شده علاوه بر وزن ماسه روی پره به عنوان عامل مقاوم عمل کرده که این میزان بهبود به دلیل وجود پره‌های پیچشی است. با افزایش نسبت  $S/d$  به  $1/92$  ( $S = 2.5$  cm) میزان پیچ‌خوردگی شمع افزایش یافته و از عامل مقاوم وزن ماسه بر روی پره‌ها کاسته می‌شود، به سبب این اتفاق ظرفیت بیرون کشش نسبت به دو حالت قبلی کاهش یافته است.

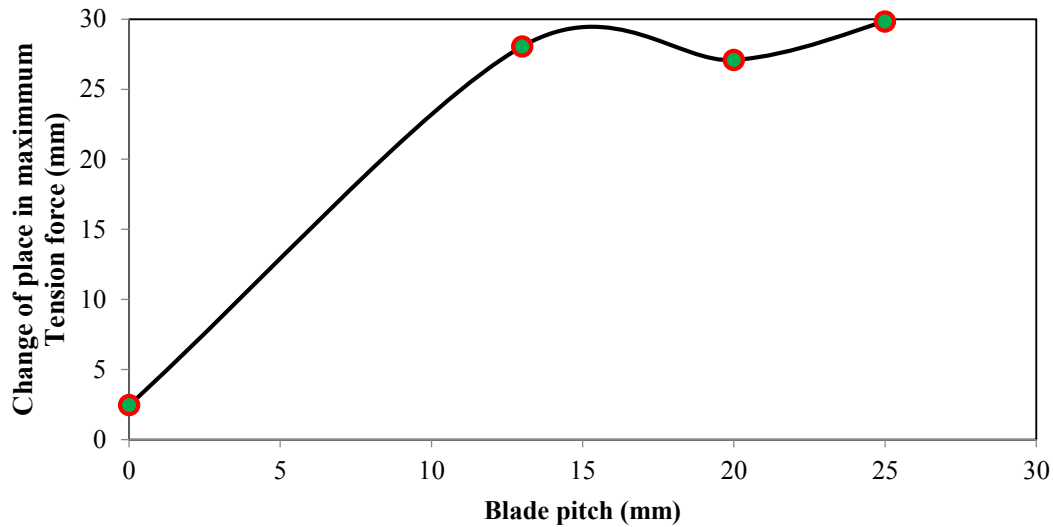
شکل ۱۳، میزان جابه‌جایی در حداکثر ظرفیت بیرون کشش شمع پیچشی را بر حسب گام صفحات پیچشی ( $S$ )، برای تمام شمع‌های مختلف نشان داده شده که در همه‌ی آن‌ها، قطر شمع ( $d$ ) برابر با  $1/3$  سانتی‌متر، ارتفاع شمع ( $L$ ) برابر با  $60$  سانتی‌متر و طول مدفون شمع

نشان می‌دهد که نتایج استخراج شده از این تحقیق نیز این موضوع را تأیید می‌کند.

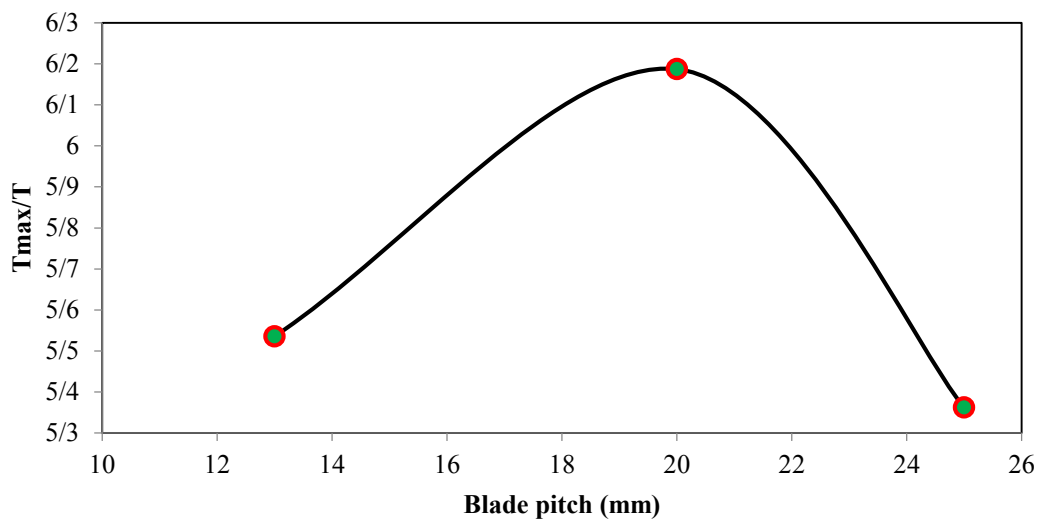
در این قسمت منحنی مقایسه آزمایش بیرون کشش شمع پیچشی با گام پره پیچشی  $25$  میلی‌متر با شمع ساده ارائه می‌شود. شکل ۱۱، تغییر مکان شمع ساده در مقابل بالارانش وارد بر آن جهت مقایسه‌ی با شمع‌های پیچشی ترسیم شده است. تمام شرایط مانند بخش اول نتایج می‌باشد و تنها پارامتری که دچار تغییر شده گام پره پیچشی است.

با دقت کردن به منحنی شکل ۱۱، نحوه رفتار شمع تحت اثر نیروی بالارانش مورد بررسی قرار می‌گیرد حداکثر ظرفیت بالارانش شمع ساده و شمع پیچشی تک پره با گام  $25$  میلی‌متر به ترتیب برابر با  $203/161$  و  $1089/436$  نیوتن است، با توجه به نتایج می‌توان گفت هنگامی که گام پره پیچشی به قطر شفت مرکزی پره پیچشی برابر با  $1/92$  باشد، ظرفیت بیرون کشش شمع پیچشی نسبت به شمع ساده  $436/243$  درصد بهبود داشته، این میزان بهبود نسبت به دو حالت قبلی کمتر بوده است، چون نرخ افزایش گام نسبت به قطر شفت مرکزی بیش از  $1/5$  بوده و این افزایش گام باعث می‌شود به هنگام بیرون کشش، وزن خاک تحملی کمتری روی پره نسبت به حالات قبلی عامل مقاومت شود.

شکل ۱۲، نمودار حداکثر ظرفیت بیرون کشش شمع پیچشی ( $T_{max}$ ) را بر حسب گام صفحات پیچشی ( $S$ )، برای تمام شمع‌های



شکل ۱۳. نمودار میزان جابه‌جایی در حداکثر نیروی بیرون‌کشش - گام پره شمع پیچشی ( $L' = 43$  cm و  $d = 1.3$  cm،  $S = 1.3, 2$  and  $2.5$  cm)  
**Fig. 13. The change of place in maximum tension force versus the blade pitch ( $S=1.3, 2$  and  $2.5$  cm,  $d=1.3$  cm and  $L'=43$  cm)**



شکل ۱۴. نمودار مقایسه  $T_{max}/T$  - گام پره پیچشی تمام شمع‌های پیچشی ( $L' = 43$  cm و  $d = 1.3$  cm،  $S = 1.3, 2$  and  $2.5$  cm)  
**(Fig. 14. The change of  $T_{max}/T$  versus the blade pitch ( $S=1.3, 2$  and  $2.5$  cm,  $d=1.3$  cm and  $L'=43$  cm)**

داده که این عملکرد به دلیل نبود پره پیچشی به عنوان عامل مقام در شمع ساده است. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که جابه‌جایی شمع‌های پیچشی در بازه‌ی ۲۷ تا ۳۰ سانتی‌متر بوده که این مقادیر تقریباً با یکدیگر برابرند.

شکل ۱۴، نمودار نسبت حداکثر ظرفیت بیرون‌کشش شمع پیچشی به حداکثر ظرفیت بالارانش شمع ساده ( $T_{max}/T$ ) را بر

در خاک ( $L' = 43$ ) برابر با ۴۳ سانتی‌متر در نظر گرفته شده، ضمن اینکه در مبدأ مختصات میزان جابه‌جایی شمع ساده نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۳، میزان جابه‌جایی در شمع ساده و شمع‌های پیچشی با گام‌های ۱/۳، ۲ و ۲/۵ سانتی‌متر به ترتیب برابر با مقادیر ۲۹/۸۲۶ و ۲۷/۰۷۶، ۲۸/۰۴۸، ۲/۴۳۸ ناشی از حداکثر نیروی بالارانش، کمتری نسبت به شمع پیچشی رخ



ناشی از حداکثر نیروی بالارانش، کمتری نسبت به شمع پیچشی رخ داده که این عملکرد به دلیل نبود پره پیچشی به عنوان عامل مقام در شمع ساده است. با توجه به نمودار مشاهده می‌شود که جابه‌جایی شمع‌های پیچشی در بازه‌ی ۲۷ تا ۳۰ سانتی‌متر بوده که این مقادیر تقریباً با یکدیگر برابرند.

### فهرست علائم

#### علائم انگلیسی

$C_c$	ضریب خمیدگی
$C_u$	ضریب یکنواختی
$D$	قطر پره‌ی پیچشی (m)
$d$	قطر خارجی شفت مرکزی شمع پیچشی (m)
$D_{10}$	۱۰٪ عبوری ذرات
$D_{30}$	۳۰٪ عبوری ذرات
$D_{60}$	۶۰٪ عبوری ذرات
$d_s$	قطر داخلی شفت مرکزی شمع پیچشی (m)
$E_b$	مدول الاستیسیته شمع پیچشی (Pa)
$E_s$	مدول الاستیسیته خاک (Pa)
$G$	مدول برشی پره‌ی پیچشی (Pa)
$H$	فاصله پره‌ی پیچشی انتهایی تا سطح خاک (m)
$L$	طول شمع پیچشی (m)
$L_a$	فاصله‌ی بین دو پره‌ی پیچشی (m)
$L'_a$	فاصله نوک شمع تا مرکز پره‌ی نخست پیچشی (m)
$n$	تعداد پره‌های شمع پیچشی
$S$	گام پره‌ی پیچشی (m)
$T$	میزان نیروی بیرون‌کشش (N)
$t_b$	ضخامت پره‌ی پیچشی (m)
$T_{max}$	حداکثر نیروی بیرون‌کشش (N)
$t_p$	ضخامت دیواره شفت مرکزی شمع پیچشی (m)

#### علائم یونانی

$\phi$  زاویه اصطکاک داخلی خاک (degree)

### مراجع

- [1] F. Supportworks, Helical Piles and Anchors, Hydraulically Driven Push Piers, Polyurethane Injection, Supplemental Support Systems, 2nd ed., FSI, 2014.
- [2] A. Sprince, L. Pakrastinsh, Helical Pile Behaviour and Load Transfer Mechanism in Different Soils, in: Modern Building Materials, Structures and Techniques.

حسب گام صفحات پیچشی ( $S$ )، برای شمع‌های پیچشی مختلف نشان داده شده که در همه‌ی آن‌ها، قطر شمع ( $d$ ) برابر با  $1/3$  سانتی‌متر، ارتفاع شمع  $L$  برابر با  $60$  سانتی‌متر و طول مدفون شمع در خاک  $L$  برابر با  $43$  سانتی‌متر در نظر گرفته شده است.

با توجه به شکل ۱۴ نتایج زیر حاصل می‌شود:

همه‌ی مقادیر  $T_{max}/T$  حداقل  $5/362$  برابر شده است که این نسبت در شمع پیچشی تک پره با گام  $25$  میلی‌متر رخ داده است. حداکثر میزان رشد نسبت  $T_{max}/T$  برابر با  $6/187$  می‌باشد، که این نسبت در شمع پیچشی تک پره با گام  $20$  میلی‌متر رخ داده است. مقدار  $T_{max}/T$  در شمع پیچشی با گام  $13$  میلی‌متر برابر با  $5/536$  بدست آمد.

### ۱۱- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی عملکرد رفتار شمع ساده، شمع پیچشی با گام‌های  $13$ ،  $20$  و  $25$  میلی‌متر پرداخته شد و تأثیر تغییر گام بررسی گردید. با توجه به ابعاد دستگاه آزمایش یونیورسال ظرف آزمایش طراحی و ساخته شد. مدل‌سازی فیزیکی با استفاده از رویکرد تحلیل ابعادی به روش پی‌باکینگهام انجام شد و مطابق با مدل‌سازی انجام شده، نمونه آزمایشگاهی از شمع‌های ساده و پیچشی با گام‌های متغیر تهیه شد. سلسه آزمایش‌هایی جهت تعیین نوع خاک از جمله دانه‌بندی خاک، چگالی ویژه، پارامترهای مقاومت برشی و وزن مخصوص خشک حداقل و حداکثر آن صورت گرفت. حداکثر ظرفیت بیرون‌کشش و جابه‌جایی متناظر با آن با توجه به گام پره استخراج شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که حداکثر ظرفیت بیرون‌کشش شمع پیچشی با گام‌های  $13$ ،  $20$  و  $25$  میلی‌متر نسبت به شمع ساده  $453/579$ ،  $518/667$  و  $436/243$  درصد افزایش داشته است. هنگامی که نسبت گام پره پیچشی به قطر شفت مرکزی شمع مابین  $1$  تا  $1/5$  قرار گرفته، ظرفیت بیرون‌کشش در حال افزایش است و هنگام بیرون کشیدن شمع، اصطکاک ایجاد شده علاوه بر وزن ماسه روی پره به عنوان عامل مقاوم عمل کرده که این میزان بهبود به دلیل وجود پره‌های پیچشی است. با افزایش نسبت  $S/d$  به  $1/92$  میزان پیچ‌خوردگی شمع افزایش یافته و از عامل مقاوم وزن ماسه بر روی پره‌ها کاسته می‌شود، به سبب این اتفاق ظرفیت بیرون‌کشش نسبت به دو حالت قبلی کاهش یافته است. در شمع ساده جابه‌جایی

- CAPACITY OF HELICAL ANCHORS IN CLAY AND SILT, in: Unknown Host Publication Title, American Society of Civil Engineers (ASCE), 1985, pp. 48-72.
- [13] M. Hasan, N. Samadhiya, Soft soils improvement by granular piles reinforced with horizontal geogrid strips, *International Journal of Geotechnical Engineering*, 12(1) (2018) 101-108.
- [14] Y. Chen, A. Deng, A. Wang, H. Sun, Performance of screw–shaft pile in sand: Model test and DEM simulation, *Computers and Geotechnics*, 104 (2018) 118-130.
- [15] Z.Z. Mosquera, C.d.H. Tsuha, A.T. Beck, Serviceability performance evaluation of helical piles under uplift loading, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(4) (2015) 04015070.
- [16] C. Davidson, M. Brown, A. Brennan, J. Knappett, B. Cerfontaine, Y. Sharif, Physical modelling of screw piles for offshore wind energy foundations, in: 1st International Symposium on Screw Piles for Energy Applications, 2019.
- [17] A.C.D.-o. Soil, Rock, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System) 1, ASTM international, 2017.
- [18] B. Rezaei, Investigation of effective parameters on the uplift capacity in the laboratory scale helical piles, Bu-Ali- Sina University, 2013.
- [19] D. ASTM, Standard test methods for one-dimensional swell or collapse of soils, in, 2014.
- [20] D.-. ASTM, Standard test method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions, D3080/D3080M, (2011).
- [21] D. ASTM, Standard test methods for minimum index density and unit weight of soils and calculation of relative density, in, West Conshohocken PA., 2006.
- [22] A.C.D.-o. Soil, Rock, Standard test methods for maximum index density and unit weight of soils using a vibratory table, ASTM International, 2006.
- [23] A.D. -98, Standard test method for laboratory determination of water (moisture) content of soil and rock by mass, in, ASTM International West Conshohocken, Proceedings of the International Conference, Vilnius Gediminas Technical University, Department of Construction Economics ..., 2010, pp. 1174.
- [3] M. Sakr, F. Bartlett, High capacity helical piles—a new dimension for bridge foundations, in: Proceedings of 8th international conference on short and medium span bridges, Niagara Falls, Canada, 2010.
- [4] R. Merifield, Ultimate uplift capacity of multiplate helical type anchors in clay, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(7) (2010) 704-716.
- [5] S. Ghafarpour Jahromi, P. Nouhi Hefzabad, An Overview of Quasi-Dynamic Method in the Deformation and Seismic Displacement Estimation of retaining Walls, in: National Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Development of the Islamic World Countries, Tabriz University - Azarbaijan Shahid Madani University- Tabriz University of Applied Sciences and technology, 2018, pp. 1-10.
- [6] A. Ebrahimi, H. Rahimzadeh, P. Nouhi Hefzabad, Finite Element modeling for calculating soil slope stability coefficient, in: National Conference on the Application of new Technologies in Engineering Science, Electrical, Computer and IT, Eivanaki university, 2018, pp. 1-10.
- [7] D.J.Y. Zhang, Predicting capacity of helical screw piles in Alberta soils, (1999).
- [8] A. Eslami, Foundation engineering, design and implementation, 3rd ed., 2009.
- [9] J. Khazaei, A. Eslami, A. Karimi, M. Zarabi, Study of Bearing Capacity of the helical piles using FCV-AUT, in: The first National Conference on Soil Mechanics and geotechnics, Shahid Rajaei Teacher Training University, Tehran, 2014.
- [10] K. Ilamparuthi, P. Ravichandran, M.M. Toufeeq, Study on uplift behaviour of plate anchor in geogrid reinforced sand bed, in: Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics IV, 2008, pp. 1-10.
- [11] S.N. Rao, Y. Prasad, M.D. Shetty, The behaviour of model screw piles in cohesive soils, *Soils and Foundations*, 31(2) (1991) 35-50.
- [12] J.S. Mooney, S. Adamczak, S.P. Clemence, UPLIFT

- [27] R. Resnick, J. Walker, D. Halliday, Fundamentals of physics, John Wiley, 1988.
- [28] I.H. Shames, I.H. Shames, Mechanics of fluids, McGraw-Hill New York, 1982.
- [29] F.M. White, Fluid mechanics, 1999, Google Scholar, (1979) 367-375.
- [30] N.P. Kurian, S.J. Shah, Studies on the behaviour of screw piles by the finite element method, Canadian Geotechnical Journal, 46(6) (2009) 627-638.
- PA, 1998.
- [24] S.A. Stanier, J.A. Black, C.C. Hird, Modelling helical screw piles in clay and design implications, Proceedings of ICE-Geotechnical Engineering, 167(5) (2013) 447-460.
- [25] F.J. Blatt, R. LaBrecque, Principles of physics, in, AAPT, 1988.
- [26] K. Fleming, A. Weltman, M. Randolph, K. Elson, Piling engineering, CRC press, 2008.

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

P. Nouhi Hefzabad, M. A. Arjomand., (2021). Effect of Pile Pitch Variation on the Uplift Capacity Using UTM Apparatus. Amirkabir J. Civil Eng., 53(5): 1871-1888.

DOI: [10.22060/ceej.2020.17196.6491](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17196.6491)



