

بررسی اثر طول نفوذ شمع در لایه خاک بر ظرفیت باربری نوک

عیسی شوش پاشا^۱، علی حسن زاده^{۲*}

۱- استادیار، گروه خاک و پی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه خاک و پی، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

a_hasanzade64@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۱۸

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۱۳

چکیده- در عملیات ژئوتکنیکی، بیشتر هنگامی از شمع‌ها استفاده می‌شود که از پی‌های سطحی به دلایلی مانند عدم ظرفیت باربری کافی لایه‌های سطحی خاک و یا مساله‌دار بودن آن‌ها نتوان استفاده کرد. در طراحی پی‌ها، تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها به عنوان مساله‌ای مبهم و دارای عدم اطمینان شناخته شده است. ظرفیت باربری شمع‌ها از ترکیب ظرفیت باربری نوک و جداره آن‌ها به دست آمده که به روش‌های تحلیل استاتیکی، تحلیل دینامیکی، آزمایش دینامیکی، آزمایش‌های درجا و آزمایش بارگذاری اقدام به تعیین آن می‌شود. در این میان، آزمایش بارگذاری بهترین و قابل اعتمادترین روش برای تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها است. از سوی دیگر، شمع‌های درجاریز نوعی از شمع‌ها بوده که به دلیل مزیت‌های بسیار زیاد آن‌ها در مقایسه با سایر انواع شمع، در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. از آن‌جا که ظرفیت باربری جداره شمع‌های درجاریز در مراحل اولیه بارگذاری شمع کامل می‌شود، بنابراین تعیین ظرفیت باربری نوک شمع‌های درجاریز در خاک‌های ماسه‌ای نقش بسیار مهمی در طراحی آن‌ها دارد. در این مطالعه، با انجام آزمایش بارگذاری محوری فشاری روی چهارده عدد شمع بتنی درجاریز کوچک‌مقیاس در خاک‌های ماسه‌ای سواحل دریای خزر، ظرفیت باربری نوک آن‌ها بررسی شده است. سپس، مقادیر نشست و ظرفیت باربری نوک به دست آمده از آزمایش بارگذاری شمع‌ها با نتایج حاصل از سایر روش‌ها مقایسه شده و مقدار عمق نفوذ شمع در لایه خاک برای تکمیل مقدار مقاومت نوک آن تخمین زده شده است.

واژگان کلیدی: شمع‌های بتنی درجاریز، ظرفیت باربری نوک، نشست شمع، خاک ماسه‌ای، آزمایش بارگذاری محوری فشاری شمع.

۱- مقدمه

زیادی باشد. از دیدگاه ژئوتکنیکی، روش‌های زیادی برای حل چنین مشکلاتی وجود دارد که یکی از رایج‌ترین روش‌ها (مخصوصاً در ایران)، استفاده از شمع است. بنابراین، پژوهش و بررسی هر چه بیشتر در مورد چگونگی عملکرد شمع‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. شمع‌ها، اعضا سازه‌ای و یا ستون‌های زیرزمینی نسبتاً بلندی است که برای انتقال بارهای سازه از میان لایه‌های خاک با ظرفیت

با توجه به پیشرفت‌های صورت گرفته در جوامع امروزی و لزوم احداث ساختمان‌های بلند و سازه‌های ویژه که بارهای زیادی نیز با خود به همراه دارند، دیگر همیشه نمی‌توان به شالوده‌های سطحی اکتفا کرد. در بعضی موارد، ممکن است سازه‌ها بار زیادی به همراه نداشته باشند ولی خاک زیر شالوده ظرفیت باربری کمی داشته و یا دارای نشست‌پذیری

باربری کم (و یا نشست زیاد) به خاک‌های سخت و محکم با ظرفیت باربری زیاد در ژرفای بیشتر و یا روی بستر سنگی به کار می‌روند [۱]. شمع‌ها بر حسب مصالحی که از آن ساخته می‌شوند، دارای انواع بتنی، فولادی، چوبی و مرکب است. از نظر چگونگی اجرا و نصب، شمع‌ها در حالت کلی بر دو دسته‌اند. در گروه نخست که به نام شمع‌های پیش‌ساخته^۱ خوانده می‌شوند، شمع‌ها به کمک کوبیدن در خاک فرو برده می‌شوند. گروه دوم، شمع‌های درجاریز^۲ است. این شمع‌ها به صورت درجا و با حفاری خاک، اجرا می‌شوند. به دلیل مزایای بسیار زیاد شمع‌های درجاریز، استفاده از این شمع‌ها به طور وسیعی گسترش یافته است. برای نمونه، در ژاپن، شمع‌های درجاریز با قطر بزرگ (با قطر ۲ متر یا بیشتر) به عنوان پی سازه‌های عظیم مانند آسمانخراش‌ها به کار می‌روند [۲]. از مزایای شمع‌های درجاریز می‌توان به مواردی مانند اقتصادی بودن، آلودگی صوتی کمتر در مقایسه با شمع‌های پیش‌ساخته و امکان بررسی و نمونه‌گیری از چاه حفاری شده برای کنترل شرایط پیش‌بینی شده برای خاک اشاره کرد.

با وجود پیشرفت‌های علم مکانیک خاک، تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها هنوز با دشواری‌هایی همراه است. عواملی مانند اندرکنش پیچیده خاک و شمع، چگونگی اجرا، جنس و حتی شکل شمع، روند تعیین ظرفیت باربری را با مشکل همراه می‌کنند. به دلیل وجود موارد عدم اطمینان متعدد در روند تحلیل و طراحی شمع‌ها، انجام آزمایش بارگذاری روی شمع‌ها به یک امر ضروری در بیشتر پروژه‌های مهم تبدیل شده است. انجام آزمایش بارگذاری در محل، بهترین، کامل‌ترین و قابل اطمینان‌ترین روش برای تعیین ظرفیت باربری شمع بوده که می‌تواند ظرفیت باربری یک شمع را مستقیماً و براساس شرایط واقعی و در محل تعیین

نماید. از آزمایش بارگذاری شمع، به عنوان یک مبنا برای مقایسه بین روش‌های مختلف تعیین ظرفیت باربری شمع استفاده می‌شود و به کمک آن، صحت اندازه‌های نظری به دست آمده از ظرفیت باربری نیز تایید می‌شود. ظرفیت باربری شمع را می‌توان مجموع ظرفیت باربری نوک و ظرفیت باربری اصطکاک جلدی شمع در نظر گرفت. در این میان، ظرفیت باربری نوک نقش بسیار مهمی در طراحی و ابعاد هندسی شمع‌ها دارد، به گونه‌ای که در بعضی از پروژه‌ها، شمع‌ها (به خصوص شمع‌های درجاریز) اصولاً بر اساس مقدار ظرفیت باربری نوک آن‌ها طراحی می‌شوند [۳]. با توجه به پارامترهای موثر فراوان در تخمین ظرفیت باربری نوک شمع‌ها، انجام پژوهش بر روی میزان و چگونگی تاثیر این پارامترها از اهمیت بالایی برخوردار است. به علت عدم اطمینان کامل از رفتار واقعی شمع‌ها، در این پژوهش سعی شده است که با انجام آزمایش بارگذاری محوری فشاری بر روی ۱۴ نمونه شمع بتنی درجاریز کوچک‌مقیاس و در ابعاد آزمایشگاهی در خاک‌های ماسه‌ای سواحل دریای خزر، ظرفیت باربری نوک شمع‌ها ارزیابی شده و با نتایج حاصل از سایر روش‌های موجود مقایسه شود. در نهایت نیز مقدار طول نفوذ لازم شمع جهت کامل شدن ظرفیت باربری نوک آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- معرفی محل انجام آزمایش

از آن‌جا که در این پژوهش هدف بررسی رفتار شمع‌ها در خاک‌های ماسه‌ای است، بنابراین شهر ساحلی سرخرود در استان مازندران به عنوان محل انجام آزمایش انتخاب شد. سایت مورد نظر در جاده کمربندی سرخرود به محمودآباد و در روستای ساحلی چاکسر واقع شده است (شکل ۱). با توجه به طول کوتاه شمع‌های آزمایش و از آن‌جا که

1- Precast Piles
2- Cast-in-situ Piles

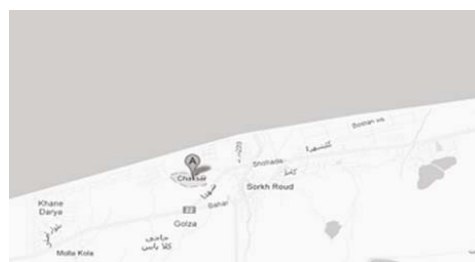
متفاوت ۹، ۱۱ و ۱۲/۵ سانتی‌متر با طول ۲ متر استفاده شده است (شکل ۲).



شکل (۲) لوله‌های PVC جهت حفاری شمع‌ها

حفاری به کمک یک چهارپایه فلزی که در بالاترین تراز خود دارای یک سوراخ دایره‌ای به قطر ۲۰ سانتی‌متر بوده صورت می‌گیرد. در ترازهای مختلف چهارپایه، حلقه‌هایی برای مستقیم نگه داشتن غلاف (لوله) به کار گرفته شده است. چهارپایه در نقطه‌ای که قرار است حفاری صورت گیرد قرار داده شده تا محور آن در امتداد محور شمع قرار گیرد. سپس به وسیله‌ی تراز اقدام به شاغولی کردن محور آن می‌شود. در مرحله بعد، اپراتور روی این چهارپایه ایستاده و غلاف را از بالا وارد چهارپایه می‌کند به طوری که انتهای غلاف روی زمین طبیعی قرار گیرد. سپس با فشار استاتیکی، غلاف را حدود ۲۰ سانتی‌متر به درون خاک هدایت می‌کند. در مرحله بعد، اپراتور یک لوله سبک فولادی جدارنازک با ضخامت جداره ۲ میلی‌متر، قطر ۵ سانتی‌متر و طول ۳/۵ متر را در دست می‌گیرد و آن را داخل غلاف حفاری قرار داده و رها می‌کند. به این ترتیب، لوله فولادی حدود ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر به درون خاک نفوذ می‌کند. سپس لوله فولادی از درون غلاف خارج شده و خاک به همراه آورده شده، تخلیه می‌شود. به همین ترتیب این کار تکرار می‌شود به طوری که یک لایه تقریباً ۱۰ سانتی‌متری از خاک حفاری شود. سپس غلاف با فشار استاتیکی به درون خاک هدایت می‌شود. در تمام این

بررسی اثر آب زیرزمینی مورد بحث قرار نخواهد گرفت، محل آزمایش و زمان انجام آن به گونه‌ای انتخاب شده است که تراز آب زیرزمینی پایین‌تر از نوک شمع‌ها قرار گیرد. آزمایش‌ها روی تپه‌ای در سایت مورد نظر که زمین‌های این مناطق بیشتر تا لایه‌های عمیق از سطح زمین از نوع ماسه‌ای است، صورت گرفته است. این تپه یک نهشته طبیعی ماسه‌ای بوده که از دست‌خوردگی، خاک‌برداری و خاک‌ریزی به دور بوده و دارای ساختار منظمی است. این منطقه، طبق تقسیمات زمین‌شناسی کشور، در حوزه گرگان - رشت واقع شده که از نظر رسوبات زمین‌شناسی شامل رسوبات دوره پالئوژن و دوره چهارم زمین‌شناسی است.

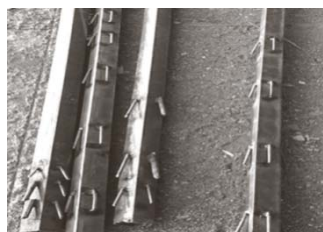


شکل (۱) محل انجام آزمایش (روستای ساحلی چاکسر)

۳- فرایند اجرای شمع‌ها

همان‌گونه که عنوان شد، خاک منطقه ماسه‌ای بوده که پتانسیل ریزشی زیادی در هنگام حفاری دارد. به این منظور، در این پژوهش، از غلاف برای حفاری استفاده شده است. از آنجا که شمع‌های مورد آزمایش کوچک بوده و بیرون آوردن غلاف نیز به نیروی زیادی نیاز ندارد، از لوله‌های پلی‌وینیل‌کلراید (PVC) فشار قوی به عنوان غلاف استفاده شده است. این لوله‌ها، سطح نسبتاً صاف و صیقلی‌تری نسبت به لوله‌های فولادی داشته و کمتر موجب دست‌خوردگی خاک می‌شوند. از طرفی این لوله‌ها آسان‌تر نیز خارج می‌شوند. در این پژوهش از لوله‌هایی با ۳ قطر

در طول حفاری سعی شده که از عمق‌های مختلف برای انجام برخی آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی در آزمایشگاه مکانیک خاک، نمونه‌گیری صورت گیرد. از آن‌جا که لوله جدارنازک تقریباً تمامی مصالح خاک را دربرگرفته و دست‌خوردگی کمی نیز ایجاد می‌کند، بنابراین نمونه‌های مناسبی را می‌تواند فراهم آورد. نمونه‌های تهیه شده با رعایت شرایط حاکم بر اخذ نمونه در داخل نایلون‌های نمونه‌گیری قرار داده شده و مشخصات نمونه‌ها مانند عمق نمونه‌گیری آن‌ها روی کاغذی یادداشت می‌شود. در این مرحله، قوطی‌هایی با ابعاد 4×4 سانتی‌متر و به طول ۲ متر در داخل لوله‌ها قرار داده می‌شوند. قوطی‌ها نقش رابط بین بتن با صفحه آزمایش بارگذاری (که در ادامه ذکر خواهد شد) را دارند. به دلیل ایجاد درگیری و قفل و بست هر چه بیشتر و بهتر بین بتن و قوطی، میلگردهایی به هر چهار طرف قوطی‌ها و در ترازهای مختلف جوش شده‌اند (شکل ۴). همچنین، به دلیل عملکرد بتن، قوطی‌ها طوری در لوله‌ها قرار داده شده‌اند که بین انتهای آن‌ها تا کف گودال حفاری شده، فاصله‌ای وجود داشته باشد. به این منظور، در فاصله‌ای از بالای قوطی‌ها، دو میلگرد در دو طرف قوطی‌ها جوش شده‌اند تا بتوان به وسیله میله‌هایی که موقتاً قبل از بتن‌ریزی، در زیر این دو میلگرد قرار می‌گیرند قوطی‌ها را در وسط لوله‌ها در جای خود ثابت نگه داشته و نیز مانع چسبیدن انتهای قوطی‌ها به کف گودال شد. به این ترتیب لوله‌ها برای بتن‌ریزی آماده می‌شوند (شکل ۵).



شکل (۴) تعدادی از قوطی‌های فراهم شده

مراحل همواره دقت می‌شود که غلاف پایین‌تر از سطح خاک درون آن قرار گیرد تا از ریزش جداره خاک به درون غلاف جلوگیری شود. تمامی مراحل به وسیله‌ی اندازه‌گیری‌های صورت گرفته از داخل و خارج لوله کنترل شده تا به طور کنترل‌شده، عمق مدفون لوله‌ها به ۱۹۰ سانتی‌متر برسد. به این ترتیب تعداد ۱۴ عدد شمع کوچک با قطرهای ۹، ۱۱ و $12/5$ سانتی‌متر هر یک با طول مدفون ۱۹۰ سانتی‌متر حفاری و شماره‌گذاری شده و سپس با نایلون سر لوله‌ها پوشانده می‌شود. در پایان عملیات حفاری، لوله‌ها که حدود ۱۰ سانتی‌متر آن‌ها از سطح زمین بیرون است، در محل مشاهده خواهند شد (شکل ۳). فاصله این شمع‌ها به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده که در هنگام بارگذاری روی یکدیگر تاثیرگذار نباشند. فاصله لازم بین شمع‌ها، طبق استاندارد ASTM D-1143 [۴]، کمینه باید ۵ برابر قطر شمع باشد. از آن‌جا که بیشینه قطر شمع‌های به کار رفته در این پژوهش $12/5$ سانتی‌متر است، بنابراین، بین شمع‌ها فاصله‌ای برابر با ۱ متر در نظر گرفته شده است.



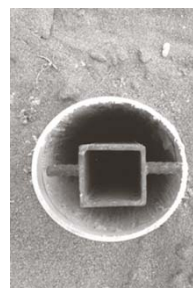
شکل (۳) نمایی از شمع‌های حفاری شده

برای دستیابی به پیش‌بینی درستی از رفتار شمع‌ها، لازم است که یک سری آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی با دقت قابل قبول روی خاک محل انجام گیرد. نتایج به دست آمده از این آزمایش‌ها، پارامترهای، پارامترهای مورد نیاز خاک و نیز پارامترهای لازم برای انجام تحلیل و محاسبه ظرفیت باربری شمع‌ها را تعیین می‌کنند. بنابراین

خاک‌های ماسه‌ای همگن پیشنهاد داده شده است، پوشش داده شود. همان‌گونه که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، شمع‌ها در سه گروه قرار داده شده‌اند. در هر گروه، قطر شمع‌ها یکسان بوده ولی دارای عمق بتن‌ریزی متفاوتی است. لوله‌های PVC در حین بتن‌ریزی باید از درون خاک خارج شوند. به عبارتی دیگر، به میزان ارتفاع بتن ریخته شده، باید به همان مقدار لوله‌ها نیز بیرون آورده شوند. این کار باید دقیقاً همانند ورود لوله‌ها به آرامی انجام شود که منجر به دست‌خوردگی زیاد خاک نشود. از طرفی، خروج غلاف نیز باید در جهت شاغولی باشد. بیرون کشیدن غلاف‌ها به وسیله سوراخ کردن بالای غلاف‌ها و بالا کشیدن آن‌ها به وسیله طناب انجام می‌شود. بعد از بالا آوردن لوله‌ها، دوباره به وسیله اندازه‌گیری با متر از مقدار بتن ریخته شده اطمینان حاصل می‌شود. لوله‌های بالا آورده شده، به وسیله تسمه تیزی که به این منظور آماده شده است، بریده شده تا شمع‌ها برای آزمایش بارگذاری آماده گردند. سپس سر شمع‌ها به وسیله نایلون پوشانده شده و به بتن حدود ۴ هفته فرصت داده می‌شود تا به مقاومت مناسب برسد.

۴- انجام آزمایش بارگذاری فشاری شمع‌ها

برای انجام آزمایش بارگذاری فشاری شمع‌ها در محل، لازم است تا در ابتدا تجهیزات مورد نیاز فراهم شود. تجهیزات آزمایش، شامل تجهیزات اعمال بار و تجهیزات اندازه‌گیری تغییر مکان است. برای ایجاد قابلیت نقل و انتقال وسایل آزمایش به هر محل دلخواه، از سربار برای فراهم آوردن عکس‌العمل‌های بارگذاری استفاده می‌شود. به همین منظور، از وزنه‌های بتنی با ابعاد $80 \times 80 \times 180$ سانتی‌متر و وزن هر یک $2/7$ تن برای تامین عکس‌العمل استفاده شده است. این وزنه‌ها روی تیر آزمایش بارگذاری به طول ۶ متر و



شکل (۵) قرار گرفتن قوطی در لوله

حال، طرح اختلاط بتن تعیین شده و مصالح انتخاب می‌شوند. با توجه به آزمایش اسلامپ انجام گرفته در محل، اسلامپ بتن در حدود ۱۸ سانتی‌متر قرائت شده است. قبل از بتن‌ریزی، ارتفاع داخل گودال‌ها دوباره به طور دقیق اندازه‌گیری شده و سپس طبق جدول (۱) اقدام به بتن‌ریزی می‌شود.

جدول (۱) مشخصات شمع‌ها

نام شمع	قطر شمع (cm)	طول مدفون شمع (cm)	میزان بتن‌ریزی (cm)
A1	۹	۱۹۰	۴۰
A2		۱۹۰	۶۵
A3		۱۹۰	۸۴
A4		۱۹۰	۱۰۰
B1	۱۱	۱۹۰	۲۶
B2		۱۹۰	۵۱
B3		۱۹۰	۷۳
B4		۱۹۰	۹۰
B5		۱۹۰	۱۰۴
B6		۱۹۰	۱۱۵
C1	۱۲/۵	۱۹۰	۶۶
C2		۱۹۰	۹۴
C3		۱۹۰	۱۱۴
C4		۱۹۰	۱۲۹

در انتخاب ابعاد این شمع‌ها سعی شده تا نسبت طول به قطرهای متفاوتی از شمع‌ها که در بیشتر متون فنی برای کامل شدن مقدار ظرفیت باربری نوک شمع به ویژه در



شکل (۷) نمایی از صفحه بارگذاری تهیه شده

برای بارگذاری شمع‌ها از یک جک هیدرولیکی با پمپ دستی اعمال نیرو استفاده شده است. جک هیدرولیکی استفاده شده دارای کورس ۱۵ سانتی‌متر و ظرفیت ۵۰ تن بوده که در زیر تیر آزمایش و بالای صفحه بارگذاری قرار می‌گیرد. قطر خارجی بدنه جک، ۱۲/۷ سانتی‌متر و قطر شفت بارگذاری، ۷۹/۵ میلی‌متر است. برای اندازه‌گیری جابه‌جایی شمع‌ها، از دو عدد گیج تغییرمکان در دو طرف شمع، با کورس ۳۰ میلی‌متر و دقت ۰/۰۱ میلی‌متر استفاده شده است. گیج‌ها، به طور مغناطیسی روی تیرهای مرجع نصب شده و از میانگین قرائت آن‌ها برای تعیین جابه‌جایی شمع در اثر نیروی فشاری استفاده می‌شود. بنابراین، بار اعمال شده به وسیله گیج نیرو و نشست شمع به کمک گیج‌های جابه‌جایی واقع در دو طرف شمع اندازه‌گیری می‌شوند (شکل ۸).



شکل (۸) نمایی از آزمایش بارگذاری انجام شده در محل

آزمایش بارگذاری استاتیکی محوری فشاری شمع‌ها طبق

وزن ۱ تن که دارای سخت‌کننده‌هایی برای ایجاد صلیب کافی در امتداد خود است، قرار می‌گیرند. از آنجا که خاک مورد آزمایش وضعیت مناسبی برای عبور و مرور وسایل نقلیه ندارد، از این‌رو، وزنه‌ها و تیر آزمایش بارگذاری با کمک لودر جابه‌جا شده و در محل مورد نظر مطابق با شکل (۶) قرار داده می‌شوند. لازم به ذکر است که در داخل این وزنه‌ها در هنگام بتن‌ریزی آن‌ها، کابلی به شکل قلاب نصب شده تا لودر بتواند به کمک آن، وزنه‌ها را جابه‌جا کرده و به محل مورد نظر منتقل نماید.

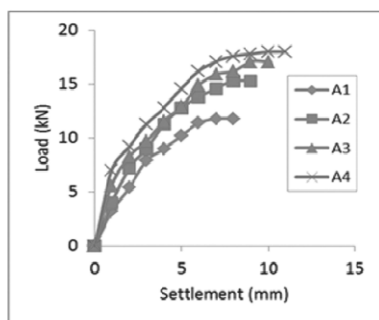


شکل (۹) چگونگی قرارگیری وزنه‌ها روی تیر آزمایش بارگذاری شمع

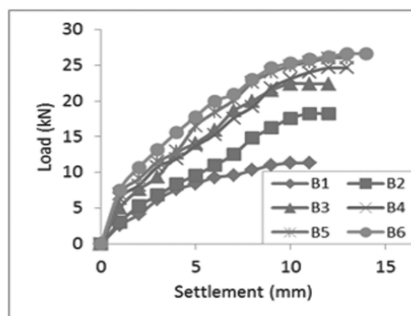
حال نوبت به فراهم کردن صفحه بارگذاری می‌رسد. به این منظور، صفحه‌ای با ابعاد ۲۰×۲۰ سانتی‌متر و به ضخامت ۱ سانتی‌متر آماده شده است. این صفحه روی قوطی ۴×۴ سانتی‌متری آزمایش و زیر جک بارگذاری قرار می‌گیرد. در زیر این صفحه بارگذاری، قوطی‌های ۳×۳ سانتی‌متری و ۵×۵ سانتی‌متری کوچکی جوش شده‌اند تا مانع از حرکت احتمالی قوطی ۴×۴ سانتی‌متری آزمایش در حین بارگذاری گردند (شکل ۷). همچنین مرکز صفحه بارگذاری، علامت‌گذاری شده است تا جک هیدرولیکی نیز درست روی مرکز صفحه (و نیز بر روی مرکز محور طولی شمع) قرار گیرد.

۶- نتایج آزمایش بارگذاری شمع‌ها

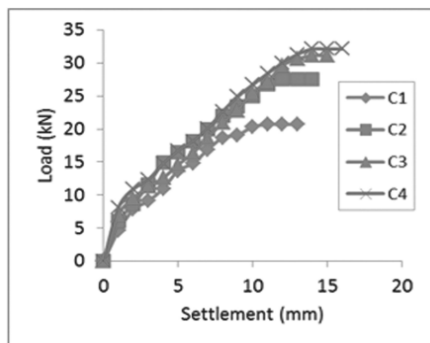
نتایج آزمایش بارگذاری شمع‌ها به صورت منحنی‌های بار-نشست در شکل‌های (۹) تا (۱۱) ارائه شده‌اند.



شکل (۹) منحنی‌های بار-نشست شمع‌های گروه A



شکل (۱۰) منحنی‌های بار-نشست شمع‌های گروه B



شکل (۱۱) منحنی‌های بار-نشست شمع‌های گروه C

برای تخمین ظرفیت باربری نهایی شمع‌ها به کمک منحنی آزمایش بارگذاری آن‌ها، روش‌های مختلفی ارائه شده است که در این میان می‌توان به روش ترزاقی^[۶]، روش

استاندارد ASTM-D1143 [۴] و به روش نرخ نفوذ ثابت (CRP)^۱ که در این استاندارد اشاره شده، صورت گرفته است. بارگذاری آنقدر ادامه یافته است تا لحظه گسیختگی شمع‌ها فرارسیده و شمع‌ها بدون افزایش بار در خاک فرو روند (بدون افزایش بار، مقدار نشست زیاد شود).

۵- نتایج آزمایش‌های شناسایی خاک

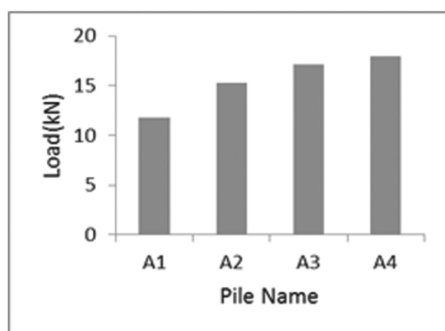
قبل از ارائه نتایج به دست آمده از آزمایش‌های بارگذاری، لازم است نتایج آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه مکانیک خاک روی نمونه‌های گرفته شده از خاک محل و نیز نتایج آزمایش نفوذ استاندارد انجام شده در محل، ارائه شوند. با توجه به طول کوتاه شمع‌ها، از میانگین نتایج آزمایش‌های انجام شده روی نمونه‌های خاک، استفاده شده که در جدول (۲) این نتایج ارائه شده‌اند. در این جدول، ω درصد رطوبت، G_s چگالی دانه‌های جامد، ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک، γ وزن مخصوص خاک در محل و N_{cor} و N_{avg} نیز به ترتیب عدد نفوذ استاندارد اصلاح شده و عدد نفوذ استاندارد متوسط در عمق ۱/۹ متری است. همچنین نتایج نشان می‌دهند که خاک محل همگن بوده و بر اساس سیستم طبقه‌بندی یونیفاید^۲ در گروه ماسه بد دانه‌بندی شده (SP)^۳ قرار دارد.

جدول (۲) میانگین نتایج آزمایش‌های طبقه‌بندی خاک محل

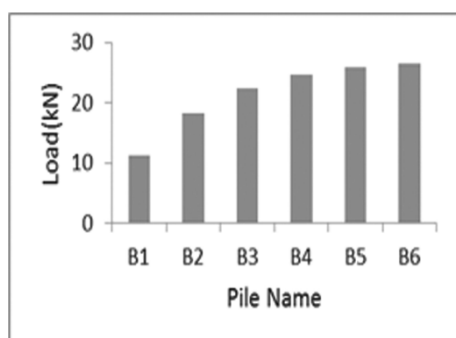
ω (%)	G_s	ϕ (°)	γ (kN/m ³)	N_{cor}	N_{avg}	Unified Classification
۴/۶	۲/۷۳	۳۳	۱۷/۲۷	۱۹	۱۹	SP

با توجه به این که مقدار عدد نفوذ استاندارد برابر با ۱۹ است، ماسه محل در گروه ماسه، با تراکم نسبی در گروه ماسه، با تراکم نسبی متوسط قرار می‌گیرد [۵].

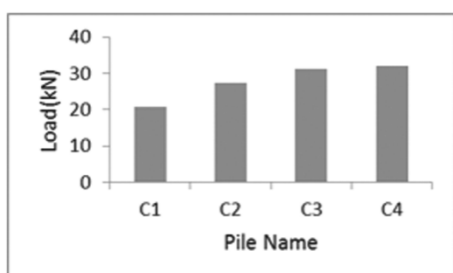
1- Constant Rate of Penetration
2- Unified Classification
3- Poorly-graded Sand



شکل (۱۲) ظرفیت باربری نهایی شمع‌های گروه A



شکل (۱۳) ظرفیت باربری نهایی شمع‌های گروه B



شکل (۱۴) ظرفیت باربری نهایی شمع‌های گروه C

اگر چه در فرایند اجرای شمع‌ها سعی شده که تا حد امکان از اصطکاک بین جدار شمع و خاک جلوگیری شود، اما مقداری اصطکاک وجود خواهد آمد. از آنجا که هدف پژوهش تعیین ظرفیت باربری خالص نوک شمع‌های درجاریز است، بنابراین لازم است اصطکاک حاصل از تماس جدار شمع با خاک اطراف آن از مقادیر ظرفیت باربری نهایی به دست آمده کاسته شود. طبق آیین‌نامه

دیویسون^۱ [۷] و روش منصور و کوفمان^۲ [۸] اشاره نمود. در جدول (۳)، نتایج به دست آمده از تخمین ظرفیت باربری نهایی شمع‌های آزمایش با استفاده از این روش‌ها ارائه شده است.

جدول (۳) تخمین ظرفیت باربری نهایی (کیلو نیوتن) شمع‌های آزمایش با استفاده از روش‌های مختلف

نام شمع	روش ترزاقی	روش دیویسون	روش منصور و کوفمان
A1	۱۱/۸	۴/۰	۱۰/۶
A2	۱۵/۳	۷/۶	۱۲/۸
A3	۱۷/۱	۹/۱	۱۴/۲
A4	۱۷/۸	۱۰/۲	۱۴/۹
B1	۱۱/۳	۴/۶	۹/۲
B2	۱۸/۲	۷/۲	۱۴/۳
B3	۲۲/۴	۹/۵	۱۸/۹
B4	۲۴/۰	۱۱/۴	۲۱/۳
B5	۲۵/۴	۱۲/۱	۲۲/۴
B6	۲۵/۸	۱۲/۶	۲۲/۸
C1	۲۰/۷	۸/۷	۱۶/۳
C2	۲۷/۵	۱۳/۱	۲۲/۱
C3	۳۰/۶	۱۳/۷	۲۶/۲
C4	۳۱/۳	۱۴/۱	۲۶/۹

روش رایج در بین مهندسان ژئوتکنیک برای تعیین ظرفیت باربری نهایی شمع، به این صورت است که نقطه‌ای را که منحنی بارگذاری شمع در آن نقطه به حالت خطی تغییر وضعیت می‌دهد را به عنوان ظرفیت باربری نهایی شمع انتخاب می‌نمایند که در این مقاله نیز از این روش جهت تعیین ظرفیت باربری نهایی شمع‌های آزمایش استفاده شده است. شکل‌های (۱۲) تا (۱۴) ظرفیت باربری نهایی شمع‌های مورد آزمایش را نشان می‌دهند.

1- Davison
2- Mansur and Kaufman

جدول (۴) مقادیر ظرفیت باربری خالص نوک شمع‌ها

نام شمع	Q _p (kN)
A1	۱۰/۳۱
A2	۱۳/۰۶
A3	۱۴/۳۷
A4	۱۴/۹۳
B1	۱۰/۰۷
B2	۱۵/۹۵
B3	۱۹/۳۹
B4	۲۱/۱۰
B5	۲۲/۱۵
B6	۲۲/۵۱
C1	۱۷/۵۴
C2	۲۳/۴۰
C3	۲۶/۴۸
C4	۲۷/۱۶

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه A در حدود ۱۴/۴ کیلونیوتن، ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه B در حدود ۲۲/۲ کیلونیوتن و ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه C در حدود ۲۶/۵ کیلونیوتن است.

۷- مقایسه نتایج آزمایش با سایر روش‌ها

در این بخش، نتایج آزمایش‌ها با تحلیل استاتیکی و روابط مبتنی بر عدد نفوذ استاندارد مقایسه می‌شوند.

۷-۱- مقایسه نتایج با روش‌های تحلیل استاتیکی

از جمله روابط استاتیکی موجود برای تعیین ظرفیت باربری نوک شمع‌ها در خاک‌های ماسه‌ای می‌توان به روابط پیشنهادی مایرهوف^۱ [۱۱]، کوپل و کاستلو^۲ [۱۲] و

مهندسی پی کانادا [۹] مقدار ظرفیت باربری واحد سطح اصطکاک در خاک‌های غیر چسبنده از رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$q_s = \sigma_v k_s \tan \delta \quad (1)$$

که در آن، σ_v تنش موثر قائم در عمق مورد نظر، k_s ضریب فشار جانبی خاک و δ زاویه اصطکاک بین شمع و خاک است. اگر $\beta = k_s \tan \delta$ را در نظر بگیریم، رابطه (۱) به صورت رابطه (۲) نوشته می‌شود:

$$q_s = \beta \sigma_v \quad (2)$$

و در نهایت، مقاومت اصطکاکی کل در این روش از رابطه (۳) محاسبه می‌شود:

$$Q_s = q_s \pi D L \quad (3)$$

در این رابطه، D قطر شمع و L طولی از شمع بوده که در تماس با خاک است. این روش که روش بتا (β) خوانده می‌شود، متداول‌ترین روش برای تعیین مقاومت اصطکاکی شمع‌ها بوده و برای استفاده در خاک‌های درشت‌دانه بسیار مناسب است. با توجه به نتایج آزمایش‌های بارگذاری انجام‌شده روی شمع‌های درجاریزی با همین ابعاد که با این بتن، در این محل و به همین طریق جهت تعیین مقاومت اصطکاکی آن‌ها حفاری و اجرا شده بودند، مقدار ضریب $\beta = 0.45$ بدست آمده است [۱۰]. این مقدار در محدوده ۰/۳-۰/۵ پیشنهادی آیین‌نامه مهندسی پی کانادا [۹] برای شمع‌های درجاریز واقع در ماسه با تراکم نسبی متوسط نیز قرار دارد. حال با استفاده از رابطه (۳) می‌توان مقادیر اصطکاک بوجود آمده را محاسبه کرده و با کم کردن اصطکاک از مقادیر ظرفیت باربری نهایی به دست آمده از آزمایش بارگذاری شمع‌ها، می‌توان ظرفیت باربری خالص نوک شمع‌ها را تعیین نمود. جدول (۴) ظرفیت باربری خالص نوک شمع‌های آزمایش (Q_p) را نشان می‌دهد.

1- Meyerhof

2- Coyle and Castello

۷-۲- مقایسه نتایج با روابط مبتنی بر عدد نفوذ استاندارد

استفاده از نتایج آزمایش نفوذ استاندارد (SPT) و آزمایش نفوذ مخروط (CPT)، دو روش مورد علاقه مهندسان برای طراحی شمع‌ها با استفاده از نتایج آزمایش‌های درجا است [۱۴]. اگر چه استفاده از نتایج CPT از SPT در طراحی شمع مناسب‌تر است، ولی استفاده از نتایج SPT رایج‌تر است. به طوری که طراحی شمع‌ها در خاک ماسه‌ای، بیشتر بر اساس نتایج آزمایش SPT صورت می‌گیرد. در جدول زیر به تعدادی از روابط تعیین ظرفیت باربری نوک شمع بر اساس نتایج آزمایش SPT اشاره شده است:

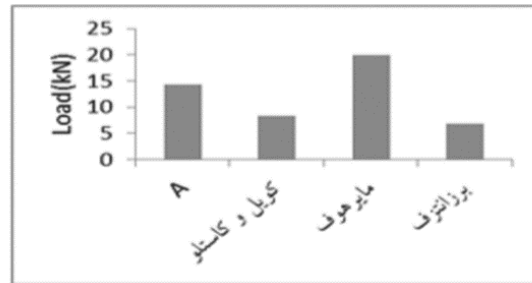
جدول (۵) روش‌های محاسبه ظرفیت باربری محوری واحد سطح نوک

شمع‌ها با استفاده از نتایج SPT

نام روش	ظرفیت باربری واحد سطح نوک شمع q_b (MPa)
مایرهوف [۱۱]	$q_b = 0.12 N$
ریس و اونیل ^۴ [۱۵]	$q_b = 0.6 N p_a \leq 45 p_a$
دکورت ^۵ [۱۶]	$q_b = 0.15 N$
بازارا و کورکور ^۶ [۱۷]	$q_b = n_b N$
ریس و رایت ^۷ [۱۸]	$q_b = 0.065 N$
مایرهوف [۱۹]	$q_b = 0.133 N$

در جدول (۵)، p_a فشار جو معادل ۰/۱ مگاپاسکال، n_b ضریبی بین ۰/۰۶ تا ۰/۲ و N نیز عدد نفوذ استاندارد متوسط در نزدیکی نوک شمع است. برای نمونه، در شکل (۱۶)، ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه A با نتایج حاصل از این روش‌ها مقایسه شده است.

برزانتزف و همکاران^۱ [۱۳] اشاره کرد. به عنوان نمونه، در شکل (۱۵)، ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه A با برخی از این روش‌ها مقایسه شده‌اند.



شکل (۱۵) مقایسه ظرفیت باربری نوک شمع‌ها با تحلیل استاتیکی

نکته قابل توجه در شکل (۱۵)، اختلاف چشم‌گیر بین مقادیر بدست آمده از روش‌های مختلف است. این مقایسه، عدم برآورد دقیق ظرفیت باربری نوک شمع‌ها با استفاده از روش‌های تحلیل استاتیکی و نیز لزوم انجام آزمایش بارگذاری برای تعیین ظرفیت باربری نوک شمع‌ها را تایید می‌کند. همان‌گونه که در شکل (۱۵) ملاحظه می‌شود، روش برزانتزف و همکاران [۱۳]، محافظه‌کارانه بوده و در واقع کمترین مقدار ظرفیت باربری را به خود اختصاص داده است. به عبارتی دیگر، به کارگیری روش برزانتزف و همکاران [۱۳] در زمانی که در مقاصد طراحی به ضریب اطمینان بالاتری نیاز است، می‌تواند مناسب باشد. این در حالی است که روش مایرهوف [۱۱] ظرفیت باربری نوک شمع‌ها را نسبتاً دست بالا تخمین زده است. میانگین نتایج حاصل از روش‌های استاتیکی، هماهنگی خوبی با ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه A دارد. همچنین، میانگین نتایج حاصل از روش‌های استاتیکی، تقریباً با مقدار حاصل شده از روش منصور و کوفمان [۸] سازگاری مناسبی دارد.

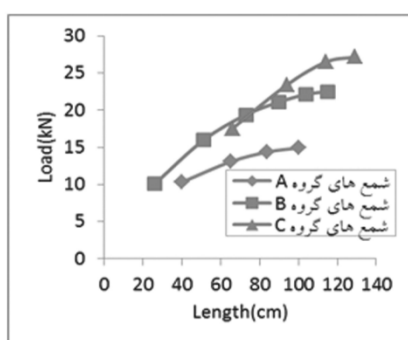
1- Berezantzev et al.

2- Standard Penetration Test
3- Cone Penetration Test
4- Reese and O'Neill
5- Decourt
6- Bazarara and Kurkur
7- Reese and Wright

بارگذاری در محدوده پیشنهادی به وسیله‌ی پژوهشگران مختلف نیز قرار دارد.

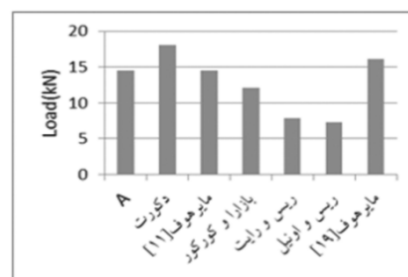
۹- ارزیابی طول نفوذ شمع برای تکمیل ظرفیت باربری نوک

در این بخش، مقدار طول (عمق) لازم نفوذ شمع برای به حداکثر رسیدن (تکمیل) ظرفیت باربری نوک آن بررسی شده و سپس با پیشنهادات ارائه شده از سوی پژوهشگران مختلف مقایسه می‌شود. منحنی‌های ظرفیت باربری خالص نوک شمع‌ها بر حسب طول آن‌ها در شکل (۱۷) نشان داده شده‌اند.



شکل (۱۷) ظرفیت باربری خالص نوک شمع‌ها بر حسب طول

همان‌گونه که در شکل (۱۷) ملاحظه می‌شود، ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه A در طولی معادل ۹/۳ برابر قطر شمع، ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه B در مقدار ۹/۴ برابر قطر شمع و ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه C در مقدار ۹/۱ برابر قطر شمع به بیشینه مقدار خود رسیده است که میانگین آن‌ها (این سه گروه شمع) در طولی برابر با مقدار ۹/۲۶ برابر قطر شمع است. این مقدار، مطابق با پیشنهاد دانشمندان مختلف نیز است. به گونه‌ای که طبق پیشنهاد مایرهوف [۱۱]، هنگامی که نفوذ نوک شمع بیش از عمق بحرانی (L_c) باشد، مقدار مقاومت نوک شمع ثابت



شکل (۱۶) مقایسه ظرفیت باربری نوک شمع‌ها با نتایج SPT

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه A با مقدار پیشنهادی رابطه مایرهوف [۱۱] هماهنگی خوبی دارد در حالیکه رابطه ریس و اونیل [۱۵] مقدار یاد شده را دست پایین و رابطه دکورت [۱۶] آن را دست بالا تخمین زده است. همچنین، به‌طور نسبی، سازگاری مناسبی بین مقادیر پیشنهادی رابطه مایرهوف [۱۱] و روش منصور و کوفمان [۸] برقرار است.

۸- ارزیابی نشست شمع‌ها

نتایج آزمایش بارگذاری شمع‌ها نشان می‌دهند که ظرفیت باربری شمع‌ها در نشست بین ۷ تا ۱۱ درصد قطر شمع به بیشینه مقدار خود می‌رسد. به طوری که مقدار نشست نهایی در شمع A1 برابر با ۷ درصد قطر شمع بوده که این مقدار در شمع C4 به ۱۱ درصد قطر شمع می‌رسد. طبق پیشنهاد ریس و رایت [۱۸] و اونیل و ریس [۲۰]، مقاومت نهایی نوک شمع در نشست معادل ۱۰ تا ۱۵ درصد قطر نوک شمع رخ می‌دهد. وایت و بولتون^۲ [۲۱] و کودوتو^۳ [۲۲]، نشست برابر با ۱۰ درصد قطر شمع و فلمینگ و همکاران^۴ [۲۳] نیز نشست ۵ تا ۱۰ درصدی قطر شمع را برای به بیشینه رسیدن مقاومت نوک شمع پیشنهاد کرده‌اند. در نتیجه، مقادیر نشست شمع‌های حاصل از آزمایش

1- O'Neil and Reese
2- White and Bolton
3- Coduto
4- Fleming et al.

شمع و طبق الگوی گسیختگی حلزونی لگاریتمی در عمقی حدود ۷/۷ برابر قطر شمع کامل شود. بنابراین، مقایسه مقدار حاصل از آزمایش‌ها (۹/۲۶ برابر قطر شمع) با مقادیر پیشنهادی نشان می‌دهد که رابطه پولوس و دیویس [۲۵] تا حد زیادی محافظه‌کارانه بوده ولی تقریباً سازگاری خوبی بین نتایج الگوی گسیختگی حلزونی لگاریتمی و آزمایش بارگذاری شمع انجام شده در محل برقرار می‌باشد. به عبارتی دیگر، اگر خاک دربرگیرنده اطراف شمع، همگن باشد الگوی گسیختگی حلزونی لگاریتمی می‌تواند به طور تقریبی بیانگر نوع گسیختگی ایجاد شده در نوک شمع و مقدار نفوذ لازم شمع در لایه خاک برای کامل شدن ظرفیت باربری نوک آن باشد.

۱۰- نتیجه گیری

در این پژوهش با انجام آزمایش بارگذاری روی ۱۴ شمع بتنی درجاریز با ابعاد کوچک (کوچک مقیاس) در خاک ماسه‌ای، ظرفیت باربری نوک شمع‌ها تعیین شده است. به طور خلاصه، نتایجی که در بخش‌های مختلف این پژوهش به دست آمده است را می‌توان به صورت زیر ارائه کرد:

۱- هماهنگی خوبی بین میانگین نتایج حاصل از روابط استاتیکی ارائه شده با ظرفیت باربری نوک شمع‌های گروه A وجود دارد.

۲- ظرفیت باربری نوک شمع‌های آزمایش با مقادیر حاصل از رابطه مبتنی بر نتایج آزمایش نفوذ استاندارد پیشنهادی مایر هوف [۱۱] سازگاری خوبی دارد ولی رابطه ریس و اونیل [۱۵] ظرفیت باربری نوک شمع‌ها را دست پایین و رابطه دکورت [۱۶] آن را دست بالا تخمین زده است.

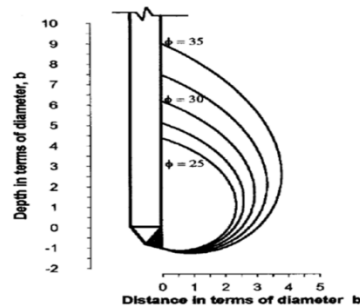
۳- مقادیر نشست گسیختگی به دست آمده از آزمایش بارگذاری (۷ تا ۱۱ درصد قطر شمع) در محدوده نشست گسیختگی پیشنهادی به وسیله‌ی پژوهشگران مختلف قرار

می‌ماند. او مقدار این عمق بحرانی را از $L_c=5D$ برای $\phi=25^\circ$ تا $L_c=20D$ برای $\phi=45^\circ$ متغیر می‌داند (D قطر شمع و ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک است). به طوری که او برای $\phi=35^\circ$ مقدار نفوذی معادل با ۱۰ برابر قطر شمع را برای کامل شدن ظرفیت باربری نوک شمع پیشنهاد نمود. دی‌بیر^۱ [۲۴] نیز در طی مطالعات خود روی شمع‌های مستقر در خاک‌های ماسه‌ای، عمق نفوذ ۸ تا ۱۲ برابر قطر شمع را برای بسیج کامل ظرفیت باربری نوک شمع تشخیص داد.

بر اساس پژوهش‌های پولوس و دیویس^۲ [۲۵]، مقاومت نوک شمع در عمقی (L) برابر با رابطه (۴) کامل می‌شود:

$$\frac{L}{D} = 5 + 0.24(\phi - 28^\circ) \quad 28^\circ < \phi < 36.5^\circ \quad (4)$$

که البته در شمع‌های درجاریز باید از مقدار ϕ سه واحد کم شود (D قطر شمع و ϕ زاویه اصطکاک داخلی خاک است). همچنین، اسلامی و فلینیوس^۳ [۲۶] طبق شکل (۱۸)، الگوی گسیختگی حلزونی لگاریتمی را جهت تعیین مقدار عمق نفوذ شمع برای بسیج کامل ظرفیت باربری نوک آن پیشنهاد کرده‌اند،



شکل (۱۸) الگوی گسیختگی حلزونی لگاریتمی [۲۶]

از آن‌جا که زاویه اصطکاک داخلی خاک محل ۳۳ درجه است، براساس رابطه پولوس و دیویس [۲۵]، ظرفیت باربری نوک شمع باید در عمقی معادل $5/48$ برابر قطر

1- De Beer
2- Poulos and Davis
3- Eslami and Fellenius

- دارد.
- ۴- به طور میانگین، ظرفیت باربری نوک شمع‌ها در عمقی معادل با ۹/۲۶ برابر قطر شمع به بیشینه مقدار خود رسیده است. اگر چه مقدار به دست آمده از رابطه پولوس و دیویس [۲۵] تا حد زیادی محافظه‌کارانه است ولی تقریباً سازگاری خوبی بین نتایج الگوی حلزونی لگاریتمی و آزمایش‌های بارگذاری انجام‌شده در محل برقرار است.
- ۱۱- مراجع
- [1] Tomlinson, M. and Woodward, J.; Pile design and construction practice; Taylor & Francis; 5th Edition; 2008.
- [2] NaGaoka, H. and Yamazaki, M.; "Toe bearing behaviors of large diameter piles estimated by loading tests of small diameter piles"; Soils and Foundations Journal; Vol. 39; No.2; 1999; pp. 119-130.
- [3] Winterkorn, H.F. and Fang, H.Y.; Foundation engineering handbook; Van Nostrand Reinhold Company Inc.; New York; 1975.
- [4] ASTM-D1143; "Standard test method for piles under static axial compressive load"; American Society for Testing and Materials; USA; 1981.
- [5] Tomlinson, M. J. and Boorman, R.; Foundation design and construction; 7th Edition; London; Pearson Education Limited; 2001.
- [6] Terzaghi, K.; "Discussion of the progress report of the committee on the bearing value of pile foundation"; ASCE Proceedings; Vol. 68; 1942; pp. 311-323.
- [7] Davisson, M. T.; "High capacity piles"; Proceedings, Lecture Series Innovations in Foundation Construction; ASCE; Illinois Section; Chicago; 1972; 52 pp.
- [8] Mansur, C. L. and Kaufman, J. M.; "Pile tests, low-sill structure, Old River, Louisiana"; ASCE Vol. 82; 1956; pp. 1-33.
- [9] Canadian foundation engineering manual; 4th Edition; Canadian Geotechnical Society; 2006.
- [۱۰] سعیدی؛ بهزاد؛ بررسی اصطکاک جدار ریزشمع در ماسه بر حسب عمق سواحل خزر (سرخرود)؛ دانشکده مهندسی عمران؛ دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل؛ ۱۳۹۲.
- [11] Meyerhof, G.G.; "Bearing capacity and settlement of pile foundations"; Journal of the Geotechnical Engineering Division; ASCE; Vol. 102; No.3; 1976; pp. 195-228.
- [12] Coyle, H.M. and Castello, R.R.; "New design correlations for piles in sand"; Journal of the Geotechnical Engineering Division; ASCE; Vol. 107; No. 7; 1981; pp. 965-986.
- [13] Berezantzev, V.G., Khristoforov, V.S. and Golubkov, V.N.; "Load bearing capacity and deformation of piled foundations"; Proceedings of the 5th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering; Paris; Vol. 2; 1961; pp. 11-15.
- [14] Bandini, P. and Salgado, R.; "Methods of pile design based on CPT and SPT results"; Proceedings of the 1st International Conference on Site Characterization; Atlanta; 1998; pp. 967-976.
- [15] Reese, L.C. and O'Neill, M.W.; "New design method for drilled shaft from common soil and rock test"; Proceedings of the Congress on Foundation Engineering: Current Principles and Practices; ASCE; Vol. 2; 1989; pp. 1026-1039.
- [16] Decourt, L.; "Prediction of the bearing capacity of piles based exclusively on N values of the SPT"; Proceedings of the 2nd European Symposium; Vol.1: standard penetration test; Amsterdam; Netherland; 1982; pp. 29-34.
- [17] Bazarra, A.R. and Kurkur, M.M.; "N-values used to predict settlements of piles in Egypt"; Proceedings of In Situ '86; New York; 1986; pp. 462-474.
- [18] Reese, L.C. and Wright, S.J.; Construction procedure and design for axial loading; Drilled Shaft Manual; HDV-22; Implementation Package 77-21; US Department of Transportation; Vol. 1; 1977.
- [19] Meyerhof, G.G.; "Penetration tests and bearing capacity of cohesionless soils"; ASCE; Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division; Vol. 82, No. 1; 1956; pp. 1-19.
- [20] O'Neil, M.W. and Reese, L.C.; Drilled shafts: construction procedures and design methods; Federal Highway Administration; USA; 1999.
- [21] White, D.J. and Bolton, M.D.; "Comparing CPT and pile base resistance in sand"; Proceedings of the Institution of Civil Engineers Geotechnical Engineering; Vol. 158; No. 1; 2005; pp. 3-14.
- [22] Coduto, D.P.; Foundation design: principles and practices; 2nd Edition; New Jersey; Prentice-Hall Inc.; 2001.
- [23] Fleming, K., Weltman, A., Randolph, M. and Elson, K.; Piling engineering; 3rd Edition; Taylor & Francis; 2009.

- [24] De Beer, E.E.; "The scale effect in the transposition of the results of deep sounding tests on the ultimate bearing capacity of piles and caisson foundations"; *Geotechnique*; Vol. 13; No. 1; 1963; pp. 39-75.
- [25] Poulos, H.G. and Davis, E.H.; *Pile foundation analysis and design*; New York; John Wiley and Sons; 1980.
- [26] Eslami, A. and Fellenius, B.H.; "Pile capacity by direct CPT and CPTu methods applied to 102 case histories"; *Canadian Geotechnical Journal*; Vol. 34; 1997; pp. 886-904.

A Study on the Effect of Pile Penetration Length in the Soil Layer on End Bearing Capacity

I. Shooshpasha¹, A. Hasanzadeh^{2*}

1- Assistant Prof., Geotechnical Eng. Dept., Faculty of Civil Eng., Babol Noshirvani University of Technology

2- M.Sc. Student of Geotechnical Eng., Faculty of Civil Eng., Babol Noshirvani University of Technology

a_hasanzade64@yahoo.com

Abstract:

In geotechnical engineering practice, piles are employed usually where, because of soil conditions, economic or constructional considerations, it is desirable to transmit loads to strata beyond the practicable reach of spread foundations. Many factors affect the behavior of piles such as soil-pile interaction, compressibility of soil, pile construction technique, shape and also type of the pile. Given the many uncertainties inherent in the design and construction of piles, it is difficult to predict with accuracy the performance of a pile. Therefore, several approaches have been developed to overcome the uncertainty in the prediction. These approaches include static analysis, dynamic analysis, dynamic testing, in-situ testing and pile load test. Among these methods, pile load test is the best option to investigate a load-settlement relationship for a specific site and pile. There are different types of piles that cast-in-situ piles are a common type of them. Cast-in-situ piles were successfully applied in different geotechnical conditions and have gained wide acceptance in recent years because of their many advantages over other types of piles. For example, the construction of cast-in-situ piles generates less noise and vibration or in many cases, a large diameter cast-in-situ pile can replace a group of piles which in turn eliminates the need for a pile cap. The axial capacity of a cast-in-situ pile can be estimated by summing the skin friction capacity and the bearing capacity of the pile base. The skin friction develops between the shaft concrete and the surrounding soil. The skin friction is transmitted to the soil along the length of drilled shaft. However, the end bearing is analogous to shallow foundation bearing capacity with a very large depth of footing. The end bearing capacity is transmitted to the base of drilled shaft. The side resistance of piles is, in most cases, fully mobilized well before the maximum base resistance is reached. In other words, the movement of the pile base against the soil necessary to mobilize the ultimate base resistance is considerably larger than that necessary for mobilizing the side resistance. After full mobilization of side resistance, any increment of axial load is transferred fully to the base. As the side resistance is mobilized early in the loading process, the determination of base resistance is a key element in the design of cast-in-situ piles bearing in sands. The end bearing capacity of cast-in-situ piles can have an important role in their design so that in some projects, cast-in-situ piles are designed primarily based on the magnitude of their end bearing capacity. In this study, by performing axial compression load tests on 14 small scale cast-in-situ concrete piles in sandy soils of Caspian Sea southern coasts, load-settlement curves and the end bearing capacity of piles were investigated. Then, the values of settlements and end bearing capacities of piles obtained in this study were compared with the results of other methods and finally, the depth of penetration of the piles to fully mobilize the ultimate base resistance of the soil layer was estimated.

Keywords: Cast-in-situ concrete piles, End bearing capacity, Pile settlement, Sandy soil, Axial compression pile load test.