بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی «نوشیروانی» بابل

دانشکده مهندسی عمران

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

موضوع:

بررسی اثر طول نفوذ ریزشمع در لایه خاک بر ظرفیت‌باربری آن

استاد راهنما:

دکتر عیسی شوش پاشا

استاد مشاور:

مهندس نادر روشن

نام دانشجو:

علی حسن زاده

شهریور ماه ۱۳۹۲

سپاس گزاری

سپاس بی‌کران خداوند متعال را که به ما فرصت اندیشیدن داد.

بر خود لازم می‌دانم که از استادان گرامی دکتر شوش پاشا و مهندس روشن که با راهنمایی‌های ارزشمندشان انجام این اثر را میسر ساختند تشکر و قدردانی نمایم.

همچنین از دیگر استادان اینجانب در دوره کارشناسی ارشد، دکتر جانعلیزاده و دکتر نورزاد نیز صمیمانه متشکرم.

تقدیم به

تقدیم به تنها بایستگان عشق و شایستگان تقدیر

پدر و مادرم

چکیده

در مهندسی پی، معمولا هنگامی شمع‌ها به کار گرفته می‌شوند که به دلایلی از پی‌های سطحی نتوان استفاده کرد. در طراحی پی‌ها، تعیین ظرفیت‌باربری شمع‌ها به عنوان مساله‌ای مبهم و دارای عدم اطمینان شناخته می‌شود. ظرفیت‌باربری شمع‌ها از ترکیب ظرفیت‌باربری نوک و جداره آن‌ها بدست آمده که به وسیله روش‌های تحلیل استاتیکی، تحلیل دینامیکی، آزمایش‌های درجا و آزمایش بارگذاری شمع تعیین می‌گردد. در این میان، آزمایش بارگذاری شمع بهترین روش جهت تعیین ظرفیت‌باربری می‌باشد. 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. ظرفیت‌باربری نوک شمع‌های درجاریز نقش مهمی در طراحی آنان دارد به طوری که در بعضی از پروژه‌ها، شمع‌های درجاریز اصولا بر اساس مقدار ظرفیت‌باربری نوک آن‌ها طراحی می‌شوند. در این مطالعه، با انجام آزمایش بارگذاری محوری فشاری بر روی ۱۴ عدد شمع بتنی درجاریز با مقیاس کوچک در خاک‌های ماسه‌ای سواحل دریای خزر، منحنی‌های بار- نشست و ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها تعیین گردیده است. سپس، مقادیر ظرفیت‌باربری نوک حاصل از آزمایش بارگذاری شمع‌ها با نتایج حاصل از سایر روش‌ها مقایسه گردیده و مقدار عمق نفوذ شمع در لایه خاک جهت تکمیل مقدار مقاومت نوک آن تخمین زده شده است.

واژه‌های کلیدی

شمع‌های بتنی درجاریز، ظرفیت‌باربری نوک شمع، نشست شمع، خاک ماسه‌ای، آزمایش بارگذاری محوری فشاری شمع.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول – دیباچه	۱
۱-۱- کلیات	۲
۱-۲- ضرورت انجام پژوهش	۲
۱-۳- تعریف و اهداف پژوهش	۳
۱-۴- ساختار پژوهش	۴
فصل دوم – مروری بر متون فنی	۵
۲-۱- دیباچه	۶
۲-۲- طبقه‌بندی انواع شمع	۷
۲-۳- ظرفیت‌باربری محوری فشاری شمع‌ها	۱۳
۲-۴- تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها به کمک روش‌های تحلیل استاتیکی	۱۴
۲-۴-۱- روش مایرهوف	۱۶
۲-۴-۲- روش وسیک	۱۶
۲-۴-۳- روش جانبو	۱۸
۲-۴-۴- روش کویل و کاستلو	۱۹
۲-۴-۵- روش برزانتزف وهمکاران	۱۹
۲-۴-۶- بررسی ضریب ظرفیت‌باربری N_q	۲۱
۲-۵- تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها به کمک روش‌های دینامیکی	۲۳
۲-۶- تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها به کمک روش‌های مبتنی بر نتایج آزمایش‌های درجا	۲۴

۲-۶-۱- ارزیابی و تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها با استفاده از نتایج CPT ۲۴
۲-۶-۱-۱- روش بوستامن و جیانسلی ۲۶
۲-۶-۱-۲- روش آکی و ولوسو ۲۶
۲-۶-۱-۳- روش مایرهوف ۲۷
۲-۶-۲- ارزیابی و تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها با استفاده از نتایج SPT ۲۹
۲-۶-۲-۱- روش ریس و اونیل ۳۰
۲-۶-۲-۲- روش آکی و ولوسو ۳۰
۲-۷- آزمایش بارگذاری شمع ۳۲
۲-۷-۱- بارگذاری شمع توسط جک هیدرولیکی وایجاد عکس‌العمل به وسیله قاب مهارشده ۳۳
۲-۷-۲- بارگذاری شمع توسط جک هیدرولیکی وایجاد عکس‌العمل به وسیله سربار ۳۴
۲-۷-۳- دستورالعمل‌های بارگذاری شمع ۳۵
۲-۷-۳-۱- روش آزمایش بانرخ نفوذ ثابت (CRP) ۳۵
۲-۷-۴- تعیین مقاومت نوک در آزمایش بارگذاری شمع ۳۵
۲-۸- مراحل انتقال بار در شمع ۴۰
۲-۹- بررسی ناحیه تاثیر اطراف نوک شمع ۴۲
۲-۹-۱- تئوری انبساط حفره‌ای ۴۶
فصل سوم – معرفی منطقه مورد مطالعه، مراحل و روش انجام پژوهش ۴۹
۳-۱- مقدمه ۵۰
۳-۲- معرفی محل انجام آزمایش ۵۰
۳-۳- فرآیند اجرای شمع‌ها ۵۱
۳-۳-۱- حفاری شمع‌ها ۵۱
۳-۳-۲- قرار دادن قوطی درون لوله‌ها ۵۵

۳-۳-۳- بتن‌ریزی شمع‌ها ۵۸

۳-۴- آزمایش بارگذاری فشاری شمع‌ها در محل ۶۲

۳-۴-۱- تجهیزات آزمایش بارگذاری شمع‌ها در محل ۶۲

۳-۴-۲- نحوه انجام آزمایش بارگذاری فشاری شمع‌ها در محل ۶۵

۳-۵- موارد ایمنی لازم ۶۶

فصل چهارم – ارائه نتایج و تجزیه و تحلیل اطلاعات ۶۷

۴-۱- مقدمه ۶۸

۴-۲- نتایج آزمایش‌های شناسایی خاک مورد مطالعه ۶۸

۴-۲-۱- نتایج آزمایش‌های تعیین پارامترهای فیزیکی خاک ۶۸

۴-۲-۱-۱- نتایج آزمایش دانه‌بندی ۶۹

۴-۲-۱-۲- نتایج آزمایش درصد رطوبت ۷۰

۴-۲-۱-۳-نتایج آزمایش چگالی دانه‌های جامد ۷۱

۴-۲-۱-۴- نتایج آزمایش وزن مخصوص خاک در محل ۷۱

۴-۲-۲- نتایج آزمایش‌های تعیین پارامترهای مکانیکی خاک ۷۲

۴-۲-۲-۱- نتایج آزمایش برش مستقیم ۷۲

۴-۲-۲-۲- نتایج آزمایش نفوذ استاندارد ۷۴

۴-۳- نتایج آزمایش بارگذاری شمع‌ها ۷۵

۴-۴- تعیین ظرفیت‌باربری خالص نوک شمع‌ها ۸۵

۴-۵- مقایسه نتایج آزمایش بارگذاری شمع‌ها با روابط استاتیکی موجود ۸۷

۴-۶- مقایسه نتایج آزمایش بارگذاری شمع‌ها با روابط مبتنی بر عدد نفوذ استاندارد ۹۰

۴-۷- ارزیابی نشست شمع‌ها ۹۱

۴-۸- ارزیابی مقدار طول نفوذ شمع جهت کامل شدن ظرفیت‌باربری نوک آن ۹۲

۴-۹- تعیین Nq به کمک نتایج آزمایش بارگذاری شمع ۹۵

فصل پنجم – نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات ۹۷

۵-۱- جمع‌بندی ۹۸

۵-۲- نتیجه‌گیری ۱۰۰

۵-۳- پیشنهادات ۱۰۱

فهرست مراجع ۱۰۲

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱- (الف) و (ب) شمع اتکایی، (پ) شمع اصطکاکی ۸

شکل۲-۲ - اجرای شمع درجا: a) حفاری چاه b) استقرار قفسه آرماتور c) بتن‌ریزی d) اتمام عملیات بتن‌ریزی ۱۰

شکل ۲-۳- شکل شماتیک شمع‌های درجاریز ۱۱

شکل ۲-۴- تغییرات مقادیر Nq با زاویه اصطکاک داخلی خاک Ø ۱۶

شکل ۲-۵- ضرایب ظرفیت‌باربری جانبو ۱۸

شکل۲-۶- تغییرات Nq بر حسب L/D در روش کویل و کاستلو ۱۹

شکل ۲-۷- تغییرات Nq بر حسب زاویه اصطکاک داخلی خاک ۲۰

شکل ۲-۸- تغییرات ω با زاویه اصطکاک داخلی و نسبت طول به قطر شمع ۲۰

شکل ۲-۹- تغییرات N_q بر حسب زاویه اصطکاک داخلی خاک (طبق پیشنهاد پژوهشگران گوناگون) ۲۲

شکل ۲-۱۰- تغییر مقادیر Nq با نسبت طول به قطر شمع ۲۲

شکل ۲-۱۱- مقایسه شماتیک دستگاه نفوذ مخروط و شمع ۲۵

شکل ۲-۱۲- تجهیزات آزمایش بارگذاری شمع ۳۳

شکل ۲-۱۳- بارگذاری شمع توسط جک هیدرولیکی و ایجاد عکس‌العمل به وسیله قاب مهار شده ۳۴

شکل ۲-۱۴- بارگذاری شمع توسط جک هیدرولیکی و ایجاد عکس‌العمل به وسیله سربار ۳۴

شکل۲-۱۵- سیستم اندازه‌گیری کرنش در طول بدنه شمع: (الف) میله‌های شاخص کرنش‌سنجی (ب) گیج‌های کرنش الکتریکی۳۶

شکل ۲-۱۶- آزمایش بارگذاری برای نوک شمع ۳۷

شکل ۲-۱۷- نتایج آزمایش بارگذاری شمع توسط وسیک ۳۸

شکل ۲-۱۸- مقادیر حدی مقاومت نوک شمع بر حسب زاویه اصطکاک داخلی خاک ۳۹

شکل۲-۱۹- تغییرات مقاومت اصطکاکی، مقاومت نوک و مجموع ظرفیت شمع بر حسب جابه‌جایی ۴۰

شکل۲-۲۰- مقادیر عمق بحرانی برای نوک شمع ۴۲

شکل۲-۲۱- الگوی گسیختگی طبق نظریه مایرهوف ۴۳

شکل ۲-۲۲- گستره سطح گسیختگی ایجاد شده در نوک شمع ۴۴

شکل ۲-۲۳- نمایی از سطح گسیختگی اطراف نوک شمع به شکل یک اسپیرال لگاریتمی ۴۴

شکل ۲-۲۴- نمایش ساده عملکرد شمع ۴۵

شکل ۲-۲۵- ایجاد سه ناحیه در اطراف شمع: الاستیک خطی، الاستیک غیر خطی و پلاستیک ۴۷

شکل۲-۲۶- انبساط حفره‌ای ۴۷

شکل ۳-۱- لوله های PVC جهت حفاری شمع‌ها ۵۲

شکل ۳-۲- قرار گیری غلاف داخل زمین ۵۲

شکل ۳-۳- الف) هدایت لوله فولادی به درون غلاف جهت حفاری ب) خروج لوله فولادی و تخلیه آن ۵۳

شکل ۳-۴- الف) نمونه‌گیری از خاک ب) انتقال نمونه‌ها به درون نایلون سر بسته ۵۴

شکل ۳-۵- نمایی از لوله‌های حفاری شده ۵۵

شکل ۳-۶- تهیه کردن قوطی‌ها و جوشکاری میلگردها به آن‌ها در کارگاه جوشکاری ۵۶

شکل ۳-۷- الف) انتقال قوطی‌ها از کارگاه جوشکاری به محل آزمایش ب) نمایی از میلگردهای جوشکاری شده در قسمت بالای قوطی ۵۶

شکل ۳-۸- (الف) و (ب) قرار دادن قوطی در لوله ۵۷

شکل ۳-۹- آماده کردن بتن ۵۸

شکل ۳-۱۰- انجام آزمایش اسلامپ بتن ۵۹

شکل ۳-۱۱- تسمه تیز آماده شده جهت بریدن غلاف‌های خارج شده ۶۱

شکل ۳-۱۲- نمایی از شمع‌های آماده شده ۶۱

شکل ۳-۱۳- نحوه انتقال وزنه‌ها ۶۲

شکل ۳-۱۴- قرار دادن وزنه‌ها روی تیر آزمایش ۶۳

شکل ۳-۱۵- نحوه قرارگیری وزنه‌ها روی تیر آزمایش بارگذاری شمع ۶۳

شکل ۳-۱۶- صفحه بارگذاری تهیه شده ۶۴
شکل ۳-۱۷- جک هیدرولیکی استفاده شده ۶۴
شکل ۳-۱۸- نمایی از آزمایش بارگذاری انجام‌شده در محل ۶۵
شکل۳-۱۹- احتمال خطر به علت فاصله کم اپراتور با لودر ۶۶
شکل ۴-۱- نتایج آزمایش دانه‌بندی خاک در عمق ۰/۵ متری ۶۹
شکل ۴-۲- نتایج آزمایش دانه‌بندی خاک در عمق ۱ متری ۶۹
شکل ۴-۳- نتایج آزمایش دانه‌بندی خاک در عمق ۱/۹ متری ۷۰
شکل ۴-۴- نمایی از آزمایش تعیین چگالی دانه‌های جامد خاک ۷۱
شکل ۴-۵- نمایی از آزمایش تعیین وزن مخصوص خاک در محل به روش مخروط ماسه‌ای ۷۲
شکل ۴-۶- نمایی از آزمایش برش مستقیم ۷۳
شکل ۴-۷- (الف) نمودار تغییرات تنش برشی بر حسب کرنش (ب) پوش گسیختگی مور ۷۴
شکل ۴-۸- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع A1 ۷۶
شکل ۴-۹- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع A2 ۷۶
شکل ۴-۱۰- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع A3 ۷۷
شکل ۴-۱۱- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع A4 ۷۷
شکل ۴-۱۲- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع B1 ۷۸
شکل ۴-۱۳- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع B2 ۷۸
شکل ۴-۱۴- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع B3 ۷۹
شکل ۴-۱۵- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع B4 ۷۹
شکل ۴-۱۶- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع B5 ۸۰
شکل ۴-۱۷- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع B6 ۸۰
شکل ۴-۱۸- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع C1 ۸۱
شکل ۴-۱۹- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع C2 ۸۱

شکل ۴-۲۰- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع C3 ۸۲
شکل ۴-۲۱- منحنی بار- نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع C4 ۸۲
شکل ۴-۲۲- ظرفیت‌باربری نهایی شمع‌های گروه A ۸۳
شکل ۴-۲۳- ظرفیت‌باربری نهایی شمع‌های گروه B ۸۳
شکل ۴-۲۴- ظرفیت‌باربری نهایی شمع‌های گروه C ۸۴
شکل ۴-۲۵- مقایسه ظرفیت‌باربری نوک شمع‌های گروه A با برخی از روش‌های استاتیکی ۸۸
شکل۴ -۲۶- مقایسه ظرفیت‌باربری نوک شمع‌های گروه B با برخی از روش‌های استاتیکی ۸۸
شکل ۴-۲۷- مقایسه ظرفیت‌باربری نوک شمع‌های گروه C با برخی از روش‌های استاتیکی ۸۹
شکل ۴-۲۸- مقایسه ظرفیت‌باربری نوک شمع‌های گروه A با برخی از روش‌های تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع مبتنی برN ۹۰
شکل ۴-۲۹- مقایسه ظرفیت‌باربری نوک شمع‌های گروه B با برخی از روش‌های تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع مبتنی برN ۹۰
شکل ۴-۳۰- مقایسه ظرفیت‌باربری نوک شمع‌های گروه C با برخی از روش‌های تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع مبتنی برN ۹۱
شکل ۴-۳۱- تغییرات ظرفیت‌باربری خالص نوک شمع‌های گروه A به قطر ۹ سانتی‌متر بر حسب طول آن‌ها ۹۲
شکل ۴-۳۲- تغییرات ظرفیت‌باربری خالص نوک شمع‌های گروه B به قطر ۱۱ سانتی‌متر بر حسب طول آن‌ها ۹۳
شکل ۴-۳۳- تغییرات ظرفیت‌باربری خالص نوک شمع‌های گروه C به قطر ۱۲/۵ سانتی‌متر بر حسب طول آن‌ها ۹۳
شکل ۴-۳۴- مقدار Nq شمع‌ها ۹۵

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱- تقسیم‌بندی شمع‌ها از جنبه‌های مختلف ۱۳

جدول ۲-۲- مقادیر k_b در روش فرانسوی ۲۶

جدول ۲-۳- مقادیر F_1 در روش آکی و ولوسو ۲۶

جدول ۲-۴- روش‌های محاسبه ظرفیت‌باربری محوری واحد سطح نوک شمع‌ها با استفاده از نتایج CPT ۲۸

جدول ۲-۵- مقادیر k برای انواع مختلف خاک ۳۰

جدول ۲-۶- روش‌های محاسبه ظرفیت‌باربری محوری واحد سطح نوک شمع‌ها با استفاده از نتایج SPT ۳۱

جدول ۲-۷- مقادیر پیشنهادی توسط API ۳۹

جدول ۳-۱- مشخصات شمع‌ها ۶۰

جدول ۴-۱- نتایج آزمایش دانه‌بندی خاک ۷۰

جدول ۴-۲- نتایج آزمایش تعیین درصد رطوبت خاک ۷۱

جدول ۴-۳- مقادیر زاویه اصطکاک داخلی خاک بر حسب عمق ۷۳

جدول ۴-۴- رابطه عدد نفوذ استاندارد با تراکم نسبی در خاک‌های دانه‌ای ۷۵

جدول ۴-۵- میانگین نتایج آزمایش‌های طبقه‌بندی خاک محل ۷۵

جدول ۴-۶- مقادیر ظرفیت‌باربری نهایی شمع‌ها ۸۴

جدول ۴-۷- مقادیر مقاومت اصطکاکی شمع‌ها ۸۶

جدول ۴-۸- مقادیر ظرفیت‌باربری خالص نوک شمع‌ها ۸۷

جدول ۴-۹- مقایسه نشست نهایی شمع‌ها با پیشنهادات ارائه شده توسط محققان مختلف (بر حسب درصد قطر شمع) ۹۲

جدول ۴-۱۰- عمق کامل شدن مقاومت نوک شمع در آزمایش بارگذاری و مقایسه با سایر روش‌ها ۹۴

جدول ۴-۱۱- مقایسه عمق کامل شدن مقاومت نوک شمع در رابطه کاکو وکریزل با مقادیر حاصل از آزمایش بارگذاری ۹۵

جدول ۴-۱۲- مقایسه Nq بدست آمده از نتایج آزمایش‌ها با Nq پیشنهادی توسط پژوهشگران گوناگون ۹۶

فصل اول

دیباچه

۱-۱) کلیات

پیوند سازه‌ها با زمین در محل شالوده آن‌ها می‌باشد. انتخاب نوع شالوده و ابعاد آن، به خصوصیات بارگذاری و به ویژگی‌های خاک بستگی دارد. در این میان، بررسی رفتار خاک از نظر مهندسان ژئوتکنیک بسیار حائز اهمیت است زیرا رفتار خاک و نهشته‌های طبیعی در زمان بهره‌برداری به راحتی قابل پیش‌بینی نیست. امروزه با گسترش بناهای مرتفع دیگر نمی‌توان همیشه به شالوده‌های سطحی اکتفا کرد. این مساله در هنگام مواجهه با سازه‌های بلند که بارهای زیادی نیز با خود به همراه دارند بیشتر مورد توجه است. در بعضی موارد، ممکن است سازه‌ها بار زیادی به همراه نداشته باشند ولی خاک زیر شالوده ظرفیت‌باربری کمی داشته و یا دارای نشست‌پذیری زیادی باشد. از دیدگاه ژئوتکنیکی روش‌های زیادی برای حل چنین مشکلاتی وجود دارد که یکی از رایج‌ترین روش‌ها (مخصوصا در ایران) استفاده از شمع‌ها می‌باشد.

قرن‌ها است که پی‌های عمیق به عنوان عناصر انتقال‌دهنده وزن حاصل از سازه‌ها به لایه‌های مقاوم زیرسطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱]. شمع‌ها نوعی از پی‌های عمیق و اعضایی از جنس فولاد، بتن، بتن مسلح و یا چوب بوده که در صورت مناسب نبودن ظرفیت‌باربری لایه‌های خاک در سطح زمین، از آن‌ها جهت ساخت شالوده‌هایی با قابلیت انتقال بار به لایه‌های زیرین استفاده می‌گردد. استفاده از شمع‌ها در کشورمان نیز بسیار متداول است که می‌تواند به دلیل سهولت اجرا و آشنایی زیاد فعالان صنعت ساختمان کشور با آن باشد. در نتیجه، سازه‌های زیادی بر روی شمع‌ها بنا گردیده‌اند. مراحل تحلیل، طراحی و اجرای شمع‌ها مستلزم دسترسی به پرسنل، امکانات و تجهیزات، مهندسان متخصص، تکنولوژی و دانش نوین در این زمینه می‌باشد. بنابراین تحقیق و بررسی بیشتر در مورد آن‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. انتخاب نوع و ابعاد شمع بستگی به مقدار بار، نوع سازه، نوع خاک، در دسترس بودن مصالح و امکانات در دسترس پیمانکاران دارد. در طراحی شمع‌ها، بررسی ظرفیت‌باربری و نشست آن‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است. به طوری که شمع‌ها باید از گسیختگی فاصله گرفته و نشست آن‌ها نیز در حد نشست مجاز باشد. به طور کلی، تحقیقات متعددی به صورت نظری و عملی برای طراحی و پیش‌بینی رفتار و ظرفیت‌باربری شالوده‌های شمعی در خاک‌های دانه‌ای و چسبنده انجام شده است اما ساز و کار موضوع هنوز به طور کامل فهمیده نشده و نیازمند تحقیقات بیشتر است [۲].

۱-۲) ضرورت انجام پژوهش

تا کنون، پژوهش‌های آزمایشگاهی و صحرایی متعددی در سراسر دنیا در مورد نحوه طراحی و اجرای شمع‌ها صورت گرفته است. محققان متعددی در دهه‌های گذشته برای ارائه روابط تئوریک و یا تجربی مختلف جهت تعیین ظرفیت‌باربری

شمع‌ها تلاش نموده‌اند که هر یک از روش‌های ارائه شده و یا پارامترهای در نظر گرفته شده، بر حسب شرایط محل آزمایش و فرض‌های ساده‌کننده تنظیم شده‌اند. علیرغم پیشرفت‌های علم مکانیک خاک، تعیین ظرفیت‌باربری شمع‌ها هنوز با دشواری‌هایی همراه می‌باشد. خواص فیزیکی و مکانیکی منحصر به فرد خاک و پارامترهای گوناگون موثر بر اندرکنش خاک و شمع موجب گردیده که چگونگی رفتار و تعیین ظرفیت‌باربری شمع به سادگی میسر نباشد.

از سوی دیگر، ظرفیت‌باربری شمع را می‌توان مجموع ظرفیت‌باربری نوک و ظرفیت‌باربری اصطکاک جلدی شمع در نظر گرفت. مقاومت نوک شمع‌ها نقش مهمی در طراحی آن‌ها دارد به طوری که در بعضی پروژه‌ها، شمع‌ها (به خصوص شمع‌های درجاریز) بر اساس مقدار مقاومت نوک آن‌ها طراحی می‌شوند. با توجه به پارامترهای موثر فراوان در تخمین ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها، انجام پژوهش بر روی میزان و چگونگی تاثیر این پارامترها از اهمیت بالایی برخوردار است. تا کنون روش‌های مختلفی جهت تعیین ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها ارائه شده است که در این میان، آزمایش بارگذاری در محل بهترین و قابل‌اطمینان‌ترین روش می‌باشد. همچنین، انجام آزمایش بارگذاری در محل و مقایسه آن با روابط ارائه شده می‌تواند دید مناسب‌تری در جهت استفاده از روابط تئوری در تخمین ظرفیت‌باربری شمع‌ها ارائه دهد. بنابراین در این پژوهش سعی شده است تا ظرفیت‌باربری نوک شمع‌های درجاریز به کمک آزمایش بارگذاری مورد بررسی قرار گیرد.

۱-۳) تعریف و اهداف پژوهش

با توجه به ویژگی‌های استان مازندران مانند شرایط خاص آب و هوایی، پتانسیل بالای منطقه از لحاظ جذب گردشگر و رو به رشد بودن جمعیت استان، ساختمان‌ها و سازه‌های مرتفعی در نواحی ساحلی این استان احداث شده‌اند که در طراحی آن‌ها عموما از شمع استفاده شده است. همان‌طور که بیان شد ظرفیت‌باربری شمع از مجموع ظرفیت‌باربری نوک و اصطکاک جلدی شمع بدست می‌آید که در این میان، ظرفیت‌باربری نوک نقش عمده‌ای در طراحی شمع‌ها دارد. به منظور بررسی ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها، آزمایش‌هایی بر روی ۱۴ نمونه شمع بتنی درجاریز کوچک‌مقیاس (ابعاد آزمایشگاهی) انجام شده است. این شمع‌ها در زمینی ماسه‌ای در منطقه ساحلی چاکسر شهر سرخرود واقع در نوار ساحلی دریای خزر اجرا شده و مورد آزمایش بارگذاری محوری فشاری قرار گرفته‌اند. قطر شمع‌های اجرا شده ۹، ۱۱ و ۱۲/۵ سانتی‌متر بوده که بر این اساس به ۳ گروه مختلف تقسیم شده‌اند. طول حفاری‌شده شمع‌ها ۱۹۰ سانتی‌متر بوده که به اعماق مختلفی بتن‌ریزی شده‌اند. در این پژوهش تلاش بر این است که به کمک آزمایش بارگذاری محوری فشاری بر روی شمع‌های بتنی درجاریز کوچک‌مقیاس در خاک ماسه‌ای شهر سرخرود، ظرفیت‌باربری نوک شمع‌ها و رفتار بار-نشست آن‌ها بررسی شده و مقدار طول نفوذ لازم شمع در خاک جهت کامل شدن ظرفیت‌باربری نوک آن مورد ارزیابی قرار گیرد.

۱-۴) ساختار پژوهش

در این پژوهش در این فصل، کلیات موضوع، ضرورت انجام پژوهش و اهداف مورد نظر از انجام آن تشریح گردید. در فصل دوم، به بررسی مطالعات انجام‌شده در مورد ظرفیت‌باربری نوک شمع و روش‌های مختلف تعیین آن پرداخته می‌شود. در فصل سوم، به ابزار و تجهیزات مورد استفاده و روش انجام پژوهش جهت دستیابی به اهداف مورد نظر اشاره می‌گردد. در فصل چهارم، نتایج حاصل از آزمایش‌ها، ارائه شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. همچنین در این فصل، نتایج بدست آمده از ظرفیت‌باربری نوک و نشست حاصل از آزمایش بارگذاری شمع‌ها با نتایج حاصل از روش‌های پیشنهادی توسط سایر محققان مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در فصل پنجم، نتیجه گیری و جمع‌بندی مطالب انجام می‌شود و پیشنهاداتی جهت پژوهش‌های بیشتر در این زمینه ارائه می‌گردد.

فصل دوم

مروری بر متون فنی

۲-۱) دیباچه

شمع‌ها، اعضا سازه‌ای و یا ستون‌های زیرزمینی نسبتا بلندی هستند که برای انتقال بارهای سازه از میان لایه‌های خاک با ظرفیت‌باربری کم به خاک‌های سخت و محکم با ظرفیت‌باربری زیاد در ژرفای بیشتر و یا بر روی بستر سنگی به کار می‌روند[۳]. همچنین برای مقاومت در برابر نیروهای برکنش[۱] در سازه‌های دریایی، خطوط انتقال برق، اسکله‌ها و یا برای پایداری سازه در برابر بارها و نیروهای افقی در خاک‌های کم مقاومت و نیز در شرایطی که سازه بر روی خاکریزهای بسیار بلند در حال تحکیم قرار گرفته باشد از شمع استفاده می‌شود. شمع‌کوبی و شمع‌کاری از بهترین روش‌های پی‌سازی در عملیات دریایی مانند شالوده اسکله‌ها و کارهای سازه‌ای در زمین‌های سست و با نشست‌پذیری زیاد بوده و شمع‌ها بهترین شالوده برای باربری وزن سازه‌های آبی و پایه پل‌ها می‌باشند. همچنین برای پایداری سازه‌ها در برابر نیروهای افقی گاهی از شمع‌های مایل استفاده می‌شود [۴].

در زمان‌های گذشته، هنگامی که لایه سطحی زمین شل و تراکم‌پذیر بود، به دلیل ناچیز بودن دستمزدها و وفور چوب، به اندازه گنجایش و تحمل زمین در آن شمع چوبی کوبیده می‌شد و سپس بناها بر روی این شمع‌ها اجرا می‌شدند [۵]. شمع‌های چوبی به آسانی به طول دلخواه بریده شده و مورد استفاده قرار می‌گرفتند. شواهدی در دست است که بابلی‌ها از اولین کسانی بودند که از شمع‌های چوبی برای ساخت عمارت‌های خود استفاده کرده‌اند. بعدها رومی‌ها از شمع‌های چوبی برای ساخت پل‌ها استفاده نمودند. در قرون وسطی نیز شمع‌ها به وفور در ونیز و هلند مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند. تا انقلاب صنعتی، کلیه شمع‌هایی که در پروژه‌های عمرانی مورد استفاده قرار می‌گرفتند از چوب درختان ساخته می‌شدند [۱]. اگر چه شمع‌های چوبی، ارزان و در دسترس بودند ولی اتصال آن‌ها به یکدیگر سخت بود و هنگام کوبیده شدن در زمین‌های سخت دچار آسیب می‌شدند. همچنین ظرفیت‌باربری شمع‌های چوبی کم بود [۶]. بعد از انقلاب صنعتی در سال ۱۸۴۵، اولین دستگاه شمع‌کوب که توسط نیروی بخار کار می‌کرد ساخته شد. در واقع از این تاریخ به بعد، به تدریج محدودیت‌های استفاده از پی‌های شمعی از بین رفت به طوری که امروزه می‌توان از این نوع پی‌ها تقریبا در اکثر مناطق و تحت شرایط مختلف استفاده کرد [۱]. نخستین شمع‌های بتن مسلح در سال ۱۸۹۷ اجرا شدند [۵] و به مرور زمان تعداد، انواع و تکنولوژی اجرای شمع‌ها توسعه یافت به طوری که امروزه انواع متنوعی از شمع‌ها در اختیار مهندسین قرار دارد. به طور کلی استفاده از شمع‌ها زمانی توصیه می‌شود که حداقل یکی از شرایط زیر برقرار باشد [۷،۲]:

۱- لایه سطحی خاک فاقد مقاومت کافی بوده و لایه‌های مقاوم‌تر خاک در اعماق پایین‌تر باشند. به عبارت دیگر، حتی اگر از پی‌های گسترده استفاده شود، ظرفیت‌باربری لازم توسط لایه‌های سطحی تامین نگردد.

---

[۱] - Uplift forces