

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه مازندران

دانشکده عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد
رشته مهندسی عمران گرایش خاک و پی

موضوع:

اندازه گیری ظرفیت کششی جدار شمع های فلزی لوله ای (مطالعه
موردی)

استاد راهنما:

دکتر عیسی شوش پاشا

استاد مشاور:

دکتر عسکر جانعلی زاده

نام دانشجو:

مرتضی کیا کجوری

تیر ماه ۱۳۸۸

یادمان باشد که برای یک بار ایستادن هزاران بار افتاده ایم.

تقدیم به:

تامی آنانی که آموزگار طریق علم و مسیر زندگی هستند.

می خواستم پیشگویی لایق خدمت

جان نیز حقیر است ندانم چه فرستم

«سعدی»

تقدیم به:

پدر و مادر مهربان و عزیزم که اولین آموزگاران زندگی ام بودند.

همسر عزیزم که با زیبایی کلامش سکوت‌م را با معنا کرد.

خواهر و برادران عزیزم و کلهای همیشگی.

پاسکزاری

باشکر و پاس فراوان از اساتید و سروران کرامی دکتر عیسی شوش پاشا و دکتر عسکر جانعلی زاده

که در تدوین این پایان نامه بار اهنمایی‌های ارزنده خویش

یاری ام نمودند.

چکیده

مطالعات موردی قابل دسترس کمی وجود دارد که در آنها به بررسی ظرفیت کششی جداری شمع‌ها در خاک‌های دانه‌ای و تاثیر پارامترهای مختلف بر روی آن پرداخته شده باشد. مطالعات رفتار شمع‌ها تحت بار محوری که در گذشته انجام شده است در رابطه با حالت بارگذاری فشاری می‌باشند، در حالی که برای شمع‌ها در بعضی از موارد نیاز است تا در برابر نیروهای بالابرنده (Up lift) و کششی با توجه به حداکثر جابجایی مجاز سر شمع تحلیل و طراحی شوند. ظرفیت کششی و مقاومت جداری شمع در خاکهای ماسه‌ای تحت تاثیر فاکتورهای مختلفی مانند سطح جابجایی تحمیل شده خاک در حین جاگذاری و اجرای شمع، تغییر حجم و انبساط در سطح تماس خاک-شمع، زاویه اصطکاک حد فاصل شمع و ماسه، جهت و راستای بارگذاری (فشاری یا کششی) و فاصله زمانی بین اجرا و آزمایش بارگذاری می‌باشد. بنابراین رفتار شمع‌ها تحت بار کششی باید با دقت قابل قبولی تخمین زده شود.

در این پایان نامه ابتدا یک سری فرمولهای تئوری برای ظرفیت کششی جداری شمع‌های فلزی لوله‌ای در ماسه براساس روشهای مختلف ارائه شده است. سپس ظرفیت کششی جداری شمع‌های فلزی با انتهای باز برای چند شمع فلزی با قطر 120^{cm} و طول 450^{cm} در یک خاک ماسه‌ای در مقیاس واقعی (Full scale) اندازه‌گیری شد و نتایج این بررسی‌ها با نتایج حاصل از فرمولهای پارامتریک مقایسه شد. این فرمولها تفاوت‌هایی را در ظرفیت کششی جدار شمع‌های حفر شده در ماسه با یکدیگر نشان می‌دهد نتایج حاصل از مطالعات صحرائی در مقیاس واقعی در محدوده تغییرات نتایج حاصل از فرمولهای ارائه شده می‌باشد. اختلافاتی که در نتایج حاصل از این روش‌ها مشاهده می‌شود به خاطر تاثیر تعداد زیادی پارامتر بر روی ظرفیت کششی جداری شمع‌ها در خاک‌های ماسه‌ای و عدم وجود اطلاعات مفید قابل دسترس کافی از آزمایشهای واقعی انجام شده به خصوص برای شمع‌های لوله‌ای در مقیاس واقعی می‌باشد و هر روش تنها تعدادی از این پارامترهای تاثیرگذار را جهت تخمین ظرفیت جداری شمع‌ها در فرمول‌های پیشنهادی خود دخیل کرده‌اند.

واژه‌های کلیدی: شمع، ظرفیت کششی، خاک ماسه‌ای، اصطکاک جداری

فصل اول - کلیات

۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- بیان مسئله	۱
۳-۱- اهداف	۲
۴-۱- چگونگی دستیابی به اهداف	۲
۵-۱- ساختار پایان نامه	۳

فصل دوم- شمع و انواع آن

۱-۲- مقدمه	۵
۲-۲- انواع شمع	۷
۱-۲-۲- شمع‌های فولادی	۸
۲-۲-۲- شمع‌های بتنی	۹
۳-۲-۲- شمع‌های چوبی	۱۲
۳-۲- انتخاب نوع شمع و تخمین طول آن	۱۳
۱-۳-۲- شمع اتکایی	۱۴
۲-۳-۲- شمع اصطکاکی	۱۴
۳-۳-۲- شمع تراکمی	۱۵
۴-۲- انواع پی‌های عمیق و اصطلاحات مربوطه	۱۵
۵-۲- طبقه‌بندی انواع شمع‌های کوبیده شده و درجا ریخته شده	۱۷
۶-۲- معضلات اجرای پی‌های عمیق	۱۹
۷-۲- مکانیزم انتقال بار توسط پی‌های عمیق	۲۳
۸-۲- استفاده از نتایج آزمایشات درجا و تعیین ظرفیت باربری شمع‌ها	۲۵
۹-۲- اثر اصطکاک جانبی در ظرفیت باربری کششی شمع‌های کوبیده شده در خاک‌های ماسه‌ای	۲۸
۱۰-۲- اثر اصطکاک جانبی در ظرفیت باربری کششی شمع‌های درجا ریخته شده در خاک‌های ماسه‌ای	۳۱
۱۱-۲- شمع تحت بار کششی	۳۲
۱۲-۲- مطالعات لجان و همکارانش	۳۵
۱۳-۲- مدل کوپل، سلیمان	۳۶
۱۴-۲- مدل ردی و همکارانش	۳۶
۱۵-۲- مطالعات دانشگاه ترینی تی (TCD) دوپلین	۳۷

۳۸.....	۱۶-۲- مطالعات سون کرابن هافت و جان کلوزن و لارس دامکیلد
۴۰.....	۱۷-۲- محاسبات کاهش اصطکاک جدار حین فرو رفتن شمع
۴۱.....	۱۸-۲- روش موسسه نفت آمریکا (API)
۴۳.....	۱۹-۲- روش ICP-05 برای ظرفیت کششی
۴۳.....	۲۰-۲- روش Fugro-04 برای ظرفیت کششی
۴۴.....	۲۱-۲- آیین نامه آلمان DIN 4014
۴۴.....	۲۲-۲- روش آمریکا / انگلیس
۴۵.....	۲۳-۲- رابطه بین ظرفیت کششی و ضریب فشار زمین (K)
۴۵.....	۲۴-۲- روش UWA-05

فصل سوم- انجام آزمایشات

۴۷.....	۱-۳- مقدمه
۴۷.....	۲-۳- عملیات صحرائی
۴۸.....	۳-۳- نمونه برداری
۴۸.....	۴-۳- آزمایش نفوذ استاندارد SPT
۴۹.....	۵-۳- سطح آب زیر زمینی
۴۹.....	۶-۳- عملیات آزمایشگاهی
۵۲.....	۷-۳- طراحی دستگاه آزمایش کشش شمع
۵۶.....	۸-۳- تعیین ظرفیت باربری کششی شمع بر اساس روابط موجود
۵۷.....	۱-۸-۳- روش امپریال کالج
۵۸.....	۲-۸-۳- روش ICP-05
۵۹.....	۳-۸-۳- روش fugro-04
۶۰.....	۴-۸-۳- روش DIN 4014
۶۰.....	۵-۸-۳- روش فلمینگ و همکارانش
۶۱.....	۶-۸-۳- روش ریز و اونیل
۶۱.....	۷-۸-۳- روش UWA-05
۶۲.....	۹-۳- تفسیر اطلاعات

فصل چهارم - جمع بندی و نتیجه گیری

۷۳.....	۱-۴- خلاصه مطالعات
۷۳.....	۲-۴- نتیجه گیری
۷۴.....	۳-۴- پیشنهادات
۷۵.....	مراجع
۷۵.....	منابع فارسی
۷۵.....	منابع لاتین

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۷.....	شکل ۲-۱: شرایطی که استفاده از شمع را ایجاب می‌کند.....
۹.....	شکل ۲-۲: شمع‌های فولادی.....
۱۱.....	شکل ۲-۳: شمع‌های درجاریز.....
۱۳.....	شکل ۲-۴: وصله شمع‌های چوبی.....
۱۵.....	شکل ۲-۵: (الف) و (ب) شمع اتکایی، (پ) شمع اصطکاکی.....
۲۰.....	شکل ۲-۶: گیرش خاک در داخل شمع حین کوبش و تغییر مقطع باربر.....
۲۱.....	شکل ۲-۷: اجرای شمع درجا با استفاده از روش خشک.....
۲۲.....	شکل ۲-۸: نمونه‌ای از ناپایداری در حین اجرای شمع.....
۲۳.....	شکل ۲-۹: اجرای شمع‌های درجا به کمک لوله جدار و قالب.....
۲۳.....	شکل ۲-۱۰: اجرای شمع‌های درجا به کمک گل حفاری.....
۲۴.....	شکل ۲-۱۱: تغییرات مقاومت جداری، انتهائی و مجموع ظرفیت شمع بر حسب جابجایی.....
۳۰.....	شکل ۲-۱۲: نمایش تغییرات فشار موثر در رابطه با عمق بحرانی.....
۳۳.....	شکل ۲-۱۳: مقاومت رو به بالا اضافی برای شمع با انتهای کوره‌ای.....
۳۴.....	شکل ۲-۱۴: ضریب N_U برای اندازه‌گیری مقاومت کششی شمع (Dickin & Leung 1990).....
۳۶.....	شکل ۲-۱۵: منحنی انتقال بار حاصل از آزمایش بارگذاری شمع.....
۳۷.....	شکل ۲-۱۶: تنش‌های برشی پسماند در شمع بعد از جاگذاری و کوبیدن.....
۳۹.....	شکل ۲-۱۷: نحوه آرایش شمع‌ها در منطقه Oksbol.....
۵۳.....	شکل ۳-۱: نحوه اعمال نیروی کششی به شمع.....
۵۴.....	شکل ۳-۲: قرار دادن جک هیدرولیک در فریم.....
۵۴.....	شکل ۳-۳: قرارگیری فریم به همراه جک هیدرولیک بر روی شمع.....
۵۴.....	شکل ۳-۴: شروع اعمال نیروی کششی به شمع.....
۵۴.....	شکل ۳-۵: قرائت نیروی اعمالی.....
۵۴.....	شکل ۳-۶: اعمال نیروی کششی به شمع.....
۵۴.....	شکل ۳-۷: اتمام اعمال نیروی کششی.....
۵۵.....	شکل ۳-۸: نتیجه قرائت مربوط به شمع شماره ۳.....
۵۶.....	شکل ۳-۹: نمودار میله‌ای مربوط به نتایج اندازه‌گیری.....
۶۳.....	شکل ۳-۱۰: نمودار مربوط به مقایسه نتایج روش Imperial college با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های صحرائی.....
۶۴.....	شکل ۳-۱۱: نمودار مربوط به مقایسه نتایج روش ICP-05 با نتایج حاصل از اندازه‌گیری‌های صحرائی.....

- شکل ۳-۱۲: نمودار مربوط به مقایسه نتایج روش FUGRO-04 با نتایج حاصل از اندازه گیری های
 ۶۴..... صحرایی
- شکل ۳-۱۳: نمودار مربوط به مقایسه نتایج روش DIN-4014 با نتایج حاصل از اندازه گیری های
 ۶۵..... صحرایی
- شکل ۳-۱۴: نمودار مربوط به مقایسه نتایج روش Fleming et.Al با نتایج حاصل از
 ۶۶..... اندازه گیری های صحرایی
- شکل ۳-۱۵: نمودار مربوط به مقایسه نتایج روش Rees & O'Neill با نتایج حاصل از
 ۶۶..... اندازه گیری های صحرایی
- شکل ۳-۱۶: نمودار مربوط به مقایسه نتایج روش UWA-05 با نتایج حاصل از اندازه گیری های
 ۶۷..... صحرایی
- شکل ۳-۱۷: نمودار مربوط به مقایسه نتایج حاصل از روش های مختلف با نتایج حاصل از
 ۶۸..... اندازه گیری های صحرایی برای $\frac{L}{d} = 3.7$
- شکل ۳-۱۸: نمودار مربوط به مقایسه نتایج حاصل از روش های مختلف با نتایج حاصل از
 ۶۸..... اندازه گیری های صحرایی برای $\frac{L}{d} = 3.75$
- شکل ۳-۱۹: نمودار مربوط به مقایسه نتایج حاصل از روش های مختلف با نتایج حاصل از
 ۶۹..... اندازه گیری های صحرایی برای $\frac{L}{d} = 3.83$
- شکل ۳-۲۰: نمودار مربوط به مقایسه نتایج حاصل از روش های مختلف با نتایج حاصل از
 ۶۹..... اندازه گیری های صحرایی برای $\frac{L}{d} = 3.875$

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲: تشریح شمعه‌های در جای نشان داده شده در شکل ۴.....	۷
جدول ۲-۲: تقسیم بندی شمعه‌ها از جنبه‌های مختلف.....	۱۱
جدول ۳-۲: خلاصه مشخصات متعارف شمعه‌های مختلف.....	۱۸
جدول ۴-۲: تعیین مقاومت واحد کف و جداری برای شمعه‌ها با استفاده از نتایج SPT (اسلامی و همکاران).....	۲۷
جدول ۵-۲: تعیین مقاومت واحد کف و جداری برای شمعه‌ها با استفاده از نتایج CPT (Eslami & Fellenius, 1997).....	۲۸
جدول ۶-۲: محدوده مقادیر تنش اصطکاک پوسته‌ای (ترزاقی).....	۳۲
جدول ۷-۲: نسبت تخلخل و تراکم نسبی برای اعمال مختلف مربوط به گمانه P5a.....	۳۹
جدول ۸-۲: نتایج سه آزمایش SPT در سایت مورد نظر.....	۳۹
جدول ۱-۳: عمق نمونه برداری و نتایج آزمایش نفوذ استاندارد در گمانه H1.....	۴۸
جدول ۲-۳: عمق نمونه برداری و نتایج آزمایش نفوذ استاندارد در گمانه BH2.....	۴۹
جدول ۳-۳: تعداد و نوع آزمایش‌های انجام گرفته در آزمایشگاه.....	۴۹
جدول ۴-۳: خلاصه محاسبات مربوط به تعیین درصد رطوبت، وزن مخصوص، چگالی و نسبت تخلخل نمونه‌های BH1.....	۵۰
جدول ۵-۳: خلاصه محاسبات مربوط به تعیین درصد رطوبت، وزن مخصوص، چگالی و نسبت تخلخل نمونه‌های BH2.....	۵۰
جدول ۶-۳: خلاصه محاسبات طبقه بندی خاک گمانه BH1 به روش یونیفاید.....	۵۱
جدول ۷-۳: خلاصه محاسبات طبقه بندی خاک گمانه BH2 به روش یونیفاید.....	۵۱
جدول ۸-۳: مقادیر ضریب چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی نمونه‌ها گمانه‌های مختلف.....	۵۲
جدول ۹-۳: خلاصه نتایج مربوط به قرائت ظرفیت کششی.....	۵۵
جدول ۱۰-۳: نتایج محاسبات برای شمعه‌ها با نسبت های مختلف L/D.....	۶۲

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

شمع‌ها همانند پی‌های سطحی توانایی تحمل بارهای قائم را علاوه بر عکس‌العمل کف توام با عکس‌العمل جانبی (مقاومت جداری) دارا می‌باشند بعلاوه پی‌های عمیق با اطمینان بیشتری نسبت به پی‌های سطحی نیروهای جانبی و نیز کششی و یا برکنش را تحمل مینمایند.

بر اساس نظریه انجمن (ACI,336) در سال ۱۹۷۲، شمع‌های در جا ریخته (صندوقه‌ها) شمع‌هایی هستند که پهنای آنها بیش از ۷۵ سانتیمتر است؛ بطوری که یک نفر قادر باشد جهت بازرسی، بدرون بدنه آنها داخل شود. این گونه شمع‌ها در جایی بکار می‌روند که ظرفیت باربری برشی خاک کم بوده و لازم شود که بارهای محوری به لایه‌های سخت تر و ژرفای بیشتر برده شود. بهترین ویژگی این سازه‌ها آن است که بدلیل داشتن قطر زیاد، توانایی پذیرش چندین برابر بار شمع‌های معمولی کوبیده شده را دارا می‌باشند.

شمع‌های در جا ریخته نیز مانند شمع‌های کوبیده شده، ظرفیت باربری محوری خود را از دو بخش اصطکاک پوسته‌ای و باربری نوک شمع بدست می‌آورند.

برای شمع‌های لوله‌ای در جا ریخته شده با انتهای باز در حالت کششی تنها ظرفیت باربری از مقاومت اصطکاک جداری شمع حاصل می‌شود. لذا اندازه‌گیری این ظرفیت باربری به عنوان یکی از مهمترین معیارهای طراحی سازه‌ای در اکثر پروژه‌های بزرگ ساختمانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

۱-۲- بیان مسئله

در منطقه شمال کشور که همان دشت ساحلی دریای خزر می‌باشد از دیدگاه تقسیمات زمین‌شناسی ایران جزء رود گرگان-رشت محسوب می‌شود که از نظر رسوبات زمین‌شناسی شامل رسوبات دوره پالئوژن و دوران چهارم زمین‌شناسی کواترنر است.

در اثر عملکرد نیروهای زمین‌ساختی در دامنه البرز فرورفتگی قسمت دشتی ساحل دریای خزر بی‌ارتباط با شکستگی‌ها و گسل‌های شمال و مازندران نبوده و طی سالیان طولانی با تغییرات شرایط آب و هوایی و پس‌روی دریا به صورت فعلی در آمده است.

با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه شمال از نظر جذب توریست و پتانسیل‌های بالقوه گردشگری که در این منطقه وجود دارد روز به روز به ارزش این زمین‌ها افزوده شده و با توجه به رشد جمعیت و با وجود توسعه حریم شهری کمبود مناطق مسکونی در اکثر شهرهای مازندران به چشم می‌خورد لذا تقاضا جهت بلندمرتبه‌سازی رو به افزایش می‌باشد. با توجه به ساحلی بودن منطقه و وجود خاک‌های ریزدانه بدون چسبندگی یا با چسبندگی ناچیز احداث ساختمانهای بلند نیازمند یک بستر محکم و مطمئن می‌باشد که با توجه

به خصوصیات خاک بستر منطقه شمال استفاده از شمع در پروژه‌های ساختمانی روز به روز در حال افزایش می‌باشد.

متأسفانه در اکثر پروژه‌هایی که از شمع جهت دستیابی به ظرفیت باربری مورد نیاز طراحی استفاده می‌شود امکانات انجام اندازه‌گیری ظرفیت باربری شمع به دلیل هزینه سنگین این آزمایشات وجود ندارد و تا به امروز نیز در منطقه شمال کشور این آزمایشات به صورت درجا، علمی و دقیق در مقیاس بزرگ انجام نشده است. در این پروژه چون مقدمات انجام آزمایش و امکانات اندازه‌گیری به کمک کارفرما و با مشاوره و راهنمایی‌های جناب آقای دکتر عیسی شوش پاشا در اختیار ما قرار گرفت که با تهیه و ساخت سایر دستگاه‌های مورد نیاز اقدام به اندازه‌گیری ظرفیت باربری شمع‌های فلزی لوله‌ای با انتهای باز گردید.

۱-۳- اهداف

همان طوری که ذکر شد در منطقه شمال با توجه به احداث سازه‌های بلند به خاطر کمبود زمین‌های مسکونی و افزایش ارزش منطقه‌ای آن، استفاده از شمع‌ها جهت انتقال بار سازه‌ای به لایه‌های تحتانی رو به افزایش است. به ویژه با توجه به عدم وجود چسبندگی و دانه‌ای بودن خاک سواحل دریای خزر نیاز به اجرای شمع‌های کششی جهت حصول به ظرفیت باربری جداری مورد نیاز طراحی اجتناب ناپذیر می‌باشد لذا اندازه‌گیری این ظرفیت باربری جداری با توجه به شرایط فراهم شده در سایت مورد نظر به کمک اندک امکانات موجود فرصتی مناسب در اختیار ما قرار داد تا مقایسه‌ای بین نتایج این اندازه‌گیری‌ها با نتایج حاصل از فرمول‌های تئوری و تجربی که توسط محققین و دانشمندان مختلف برای تخمین ظرفیت باربری کششی جداری شمع‌ها ارائه گردیده، انجام گیرد.

هدف از مقایسه نتایج آزمایشات صحرایی با نتایج حاصل از روابط تئوری دست‌یابی به این حقیقت است که ظرفیت باربری کششی جداری شمع‌ها در عمل با توجه به اجرای این شمع‌ها که مستلزم صرف هزینه زیاد می‌باشد تا چه حد به ظرفیت کششی جداری حاصل از روابط تئوری که توسط دانشمندان مختلف ارائه گردیده نزدیک دارد.

۱-۴- چگونگی دستیابی به اهداف

برای حصول به اهداف ذکر شده به دلیل سنگین بودن هزینه انجام آزمایش تاکنون چنین بررسی و اندازه‌گیری در منطقه شمال کشور انجام نشد اما در این پروژه به دلیل همکاری بسیار خوب کارفرما و راهنمایی‌های مشاور تا حدودی مقدمات انجام آزمایش فراهم شد بدین صورت که در سایت مورد نظر جهت جلوگیری و کنترل نشست‌های سازه‌ای از حد مجاز و انتقال بار وارده از طرف سازه به بستر محکم با ظرفیت باربری زیاد، شمع‌های بتنی طراحی و محاسبه شد که برای اجرای این شمع‌ها نیاز به حفر گمانه به قطر ۱۲۰ سانتیمتر بود. چون خاک منطقه از نوع خاک دانه‌ای و بدون چسبندگی می‌باشد لذا به کمک غلاف‌های لوله‌ای از ریزش خاک در حین حفر گمانه‌ها جلوگیری به عمل آمد.

بعد از جاگذاری آرماتورهای شمع و قبل از بتن ریزی، غلاف فلزی به اندازه چند سانتیمتر و بعد از بتن ریزی به طور کامل به کمک جرثقیل بیرون کشیده شد. با توجه به اینکه موضوع پایان نامه اندازه گیری ظرفیت کششی جدار شمع های فلزی لوله ای با انتهای باز می باشد لذا بعد از جاگذاری غلاف های فلزی در گمانه های حفر شده و قبل از اجرای عملیات بتن ریزی، غلاف فلزی که برای این پایان نامه نقش همان شمع فلزی لوله ای با انتهای باز را دارد به اندازه حدود ۱۰ سانتیمتر بیرون کشیده شد تا مقاومت اصطکاکی جدار این شمع ها با خاک اطراف اندازه گیری شود بعد از انجام اندازه گیری ها و بتن ریزی بیرون کشیدن کامل غلاف فلزی در مرحله بعد صورت گرفت.

لازم به ذکر است این آزمایشات و اندازه گیری ها بر روی ۷ عدد شمع با قطر ۱۲۰ سانتیمتر و طول ۴۵۰ سانتیمتر انجام شد.

۱-۵- ساختار پایان نامه

در این پایان نامه ابتدا در فصل اول به تعریف پروژه، بیان مسئله و هدف از انجام پروژه و همچنین چگونگی دستیابی به اهداف پرداخته شد. سپس در فصل دوم مختصری راجع به کلیات شمع ها توضیح داده شد و انواع آن از جنبه های مختلف طبقه بندی گردید و راجع به معضلات اجرای پی های عمیق و مکانیزم انتقال بار توسط این گونه پی ها و آزمایشات صحرائی و درجایی که از نتایج آنها در تعیین ظرفیت باربری شمع ها استفاده می شود مطالبی ارائه گردید.

در فصل سوم رابطه ظرفیت باربری شمع ها و اثر اصطکاک جانبی در ظرفیت باربری کششی شمع های کوبیده شده و حفر شده در خاک های ماسه ای مورد بررسی قرار گرفت و توضیحاتی راجع به شمع های کششی ارائه شد. در ادامه در همین فصل نتایج مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف بیان شد مانند مطالعات لحن و همکارانش در سال ۱۹۹۳، کویل و سلیمان که یک مدل ساده شده از منحنی انتقال بار غیرخطی پیشنهاد دادند، دانشگاه ترینیٹی دوبلین در سال ۱۹۹۴ با استفاده از شمع های ابزار گذاری شده و ردی و همکارانش در سال ۱۹۹۸ تحقیقاتی را در این زمینه انجام دادند، سپس جهت تخمین ظرفیت باربری کششی با استفاده از روابط تئوری روش های مختلفی مانند روش موسسه نفت آمریکا (API)، روش ICP-05، روش FUGRO-04، آئین نامه آلمان، روش UWA-05 و روش آمریکا-انگلیس بیان شد.

در فصل چهارم راجع به خصوصیات منطقه مورد مطالعه توضیحاتی داده شد، سپس عملیات صحرائی، نمونه برداری ها و آزمایشات انجام شده بیان گردید و مراحل طراحی و ساخت دستگاه آزمایش کشش شمع و نحوه اندازه گیری ظرفیت کششی جدار برای شمع های مورد مطالعه توضیح داده شد.

در ادامه نتایج حاصل از اندازه گیری های صحرائی با نتایج حاصل از روش های مختلف مقایسه شد و در فصل پنجم اطلاعات حاصل از این اندازه گیری و مقایسات تفسیر شده و نتایج اخذ شده ارائه گردید.

فصل دوم
شمع و انواع آن

۲-۱- مقدمه

شمعها، اعضاء سازه‌ای و یا ستون‌های زیرزمینی نسبتاً بلندی هستند که برای انتقال بارهای سازه‌ای از میان لایه‌های خاک با ظرفیت باربری کم (و یا نشست زیاد) به خاک‌های سخت و محکم با ظرفیت باربری زیاد^۱ در ژرفای بیشتر و یا بر روی سنگ بستر بکار می‌روند. بنا به تعریف نسبت عمق به پهنای شمع‌ها همواره بزرگتر از 4 است ($D_F / B \geq 4$) و در غیر این صورت بایستی همانند پایه‌ها محاسبه و تحلیل شوند. هم‌چنین برای مقاومت در برابر نیروهای بسیار زیاد بالا برنده^۲ در سازه‌های دریایی و یا در خاکهای معمولی 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. به هر صورت شمع کوبی از بهترین روش‌های پی‌سازی در عملیات دریایی، همانند ساختمان شالوده اسکله‌ها و کارهای سازه‌ای در زمین‌های سست 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^۳ استفاده می‌شود.

شمع‌های صفحه‌ای یا سپرها، عملکرد و محاسبات خاص دیگری دارند و برای تحلیل آنها می‌توان از روش‌های نیمه تجربی بهره برد. این گونه سازه‌ها هم‌چون سپرهایی در برابر فشار آب یا خاک به هنگام پی‌کشی و یا ایستادگی در برابر فشارهای افقی دیوارهای حائل مورد استفاده قرار می‌گیرند. در زیر بعضی از شرایطی که استفاده از شالوده‌های شمعی را ایجاب می‌نمایند، شرح داده می‌شوند.

۱. وقتی که لایه یا لایه‌های فوقانی خاک دارای قابلیت فشردگی زیاد و یا خیلی ضعیف باشند، به طوری که نتوان از شالوده سطحی برای توزیع بار ساختمان استفاده کرد، شالوده‌های شمعی برای انتقال بار به لایه‌های تحتانی محکمتر و یا سنگ بستر مورد استفاده قرار می‌گیرند. این موضوع در شکل (۲-۱ الف)، نشان داده شده است. وقتی که بستر سنگی و یا لایه محکمتر تحتانی در عمق معقولی از سطح زمین قرار نداشته باشند، از شمع برای انتقال تدریجی بار استفاده می‌شود. در این حالت مطابق شکل (۲-۱ ب)، بیشتر مقاومت شمع از طریق نیروی اصطکاک بین سطح تماس شمع و خاک (مقاومت جلدی) تامین می‌شود.

۲. مطابق شکل (۲-۱ پ)، اگر شمع‌ها تحت تاثیر نیروی افقی قرار گیرند، در حالی که هنوز قابلیت حمل بارهای قائم را دارا هستند، می‌توانند به وسیله خمش، نیروهای افقی را حمل نمایند. این وضعیت اغلب در شالوده‌های حائل خاک که وظیفه آنها مقاومت در مقابل فشار جانبی خاک است و یا ساختمان‌های بلند که تحت تاثیر نیروهای باد یا زلزله قرار دارند، پیش می‌آید.

۱- این باربری ممکن است باربری از نوع باربری اصطکاک‌ی یا انتهایی باشد.

۳. در خیلی از موارد، در منطقه مورد نظر برای احداث ساختمان خاک قابل تورم^۱ و یا فرو ریزی (رمبنده)^۲ وجود دارد. این لایه ها ممکن است دارای عمق قابل توجهی باشند. خاکهای قابل تورم در اثر افزایش یا کاهش میزان رطوبت، تورم و یا کاهش حجم پیدا می کنند. فشار تورم چنین خاکهایی ممکن است به طرز قابل توجهی زیاد باشد. اگر در چنین خاک هایی از شالوده های سطحی استفاده شود، ساختمان ممکن است با صدمات جدی روبرو شود. در این حالت شالوده های شمعی که از لایه قابل تورم عبور کرده و وارد لایه پایدار شده اند، می توانند مورد توجه قرار گیرند (شکل ۲-۱-ا)

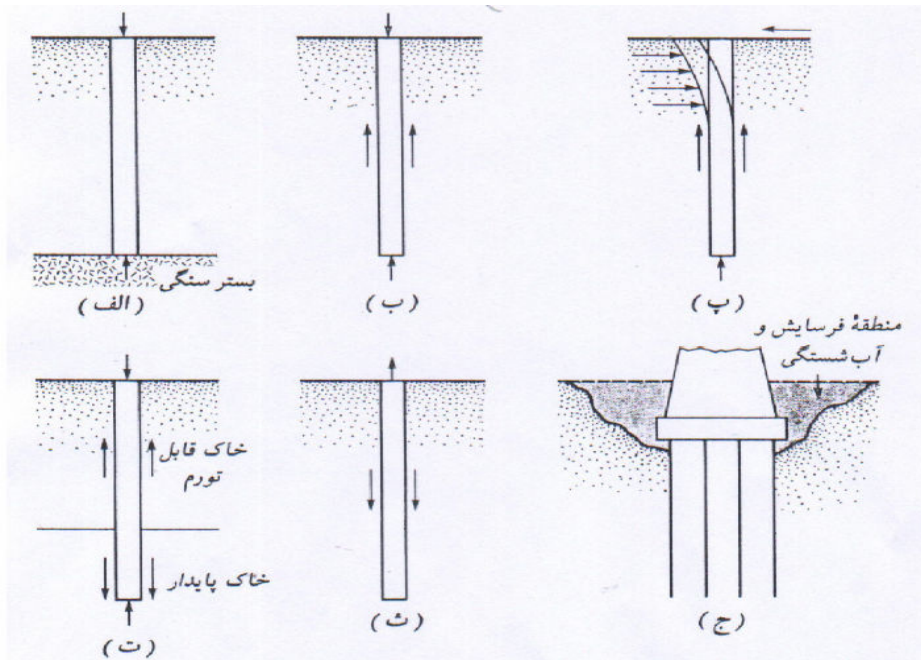
خاکهایی نظیر لس^۳ دارای طبیعت فرو ریزی (رمبندگی) هستند. وقتی که چنین خاک هایی تحت افزایش رطوبت قرار گیرند، اسکلت^۴ خاک می تواند دچار شکست گردد. یک کاهش ناگهانی در نسبت تخلخل خاک، باعث نشست زیاد سازه ای می شود که توسط شالوده سطحی حمل می شود. در چنین حالاتی، شالوده شمعی که از لایه سست عبور کرده و وارد لایه پایدار زیر آن شده، می تواند به عنوان راه حل مسئله مورد توجه قرار گیرد.

۴. شالوده بعضی سازه ها، نظیر خطوط انتقال برق، اسکله ها، شالوده های گسترده در زیر سطح آب زیرزمینی، تحت تاثیر نیروی برکنش^۵ قرار دارند. در بعضی مواقع برای مقابله با نیروهای برکنش از شالوده های شمعی استفاده می شود.

۵. به خاطر وجود مسئله آب شکستگی و فرسایش در محل پایه های پل، این پایه ها اغلب در روی شالوده های شمعی احداث می شوند.

اگرچه در گذشته تحقیقات متعددی به صورت نظری و عملی برای پیش بینی رفتار و ظرفیت باربری شالوده های شمعی در خاکهای چسبنده و دانه ای انجام شده است، لیکن مکانیزم کار هنوز به طور کامل فهمیده نشده است.

1- expansive
2- collapsible
3- loess
4- structure
5- uplift



شکل ۲-۱: شرایطی که استفاده از شمع را ایجاب میکند.

۲-۲- انواع شمع

شمع‌ها از نقطه نظرات مختلف تقسیم بندی می‌شوند که از موارد مهم می‌توان چگونگی استقرار، مصالح مصرفی، رفتار جهت تحمل بار، ظرفیت، طول، جابجایی خاک اطراف و نحوه عملکرد را نام برد. جدول ۲-۱ رده بندی شمع‌ها از جنبه‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۱: تقسیم بندی شمع‌ها از جنبه‌های مختلف

ویژگی‌ها	چگونگی رده بندی
چوبی، فولادی، بتنی (وزنی، مسلح، پیش تنیده) - مرکب (بتن + فولاد)	مصالح
دایره ای (توپر، جدار نازک) - H یا I - چند ضلعی	مقاطع
مکعب مستطیلی - استوانه ای - مخروطی - مخروطی یا منشوری پلکانی	شکل فضایی
جداری - انتهایی - باربری توام جداری و کف	مولفه تحمل بار
کوبیدنی - حفاری و ریختنی - حفاری و جاگذاری - پیچی و جکی	نحوه استقرار
قائم - مایل	امتداد استقرار در زمین
کم، متوسط، زیاد	ظرفیت
کوتاه، متوسط، بلند	طول
ته باز - ته بسته - نوک تیز و مخروطی - انتهایی کوره ای و پهن شده	شرایط انتهایی مقطع
خشکی - دریایی - کنار ساحل	محیط بکارگیری
بدون جابجایی - جابجایی کم، متوسط، زیاد	وضعیت جابجایی
تک (منفرد) - گروهی	نحوه عملکرد
عمدتا محوری، محوری + لنگر خمشی + نیروی برشی - کششی	نیروهای خارجی وارده
بطور کامل مدفون در زمین - قسمتی آزاد، تلفیق شمع و پایه (مدفون و آزاد)	اندرکنش با زمین و روسازه
بهبود باربری - بهسازی - کنترل نشست ها - تامین ایمنی و پایداری بیشتر	اهداف بکارگیری

بر حسب شرایط تحت الارضی، سطح آب زیرزمینی و نوع باری که باید حمل شود، انواع مختلفی از شمع‌ها در کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شمع‌ها بر حسب مصالحی که از آن ساخته می‌شوند، دارای انواع زیر است:

شمع‌های فولادی

شمع‌های بتونی

شمع‌های چوبی

شمع‌های مرکب

۲-۱- شمع‌های فولادی

انواع معمول شمع‌های فولادی، شمع‌های لوله‌ای و شمع‌های H می‌باشند. شمع‌های لوله‌ای نیز در دو حالت انتهایی بسته و انتهایی باز به زمین کوبیده می‌شوند. هر چند که از تیر آهن‌های I و بال پهن نیز می‌توان برای شمع کوبی استفاده کرد، لیکن تیر آهن‌ها با نیم رخ H به علت مساوی بودن ضخامت بال و جان معمولاً ترجیح داده می‌شوند. در نیمرخ‌های بال پهن و نیمرخ‌های I ، ضخامت جان معمولاً کوچکتر از ضخامت بال می‌باشد. ظرفیت مجاز سازه‌ای شمع‌های فولادی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$Q_{all} = A_s \sigma_{all} \quad (1)$$

که در رابطه فوق:

$$A_s = \text{سطح مقطع نیمرخ فولادی}$$

$$\sigma_{all} = \text{تنش مجاز فولاد.}$$

پس از تعیین ظرفیت مجاز باربری شمع بر پایه مشخصات ژئوتکنیکی، لازم است کنترل شود که آیا $Q_{(design)}$ در محدوده مجاز تعریف شده در رابطه، قرار دارد یا نه.

در صورتی که طول مورد نیاز برای شمع بزرگتر از طول یک شاخه شود، شمع‌های فولادی را به وسیله جوش و یا پرچ به یکدیگر وصله می‌کنند. در شکل (۲-۲ الف) جزییات یک وصله جوشی برای شمع‌های H نشان داده شده است. در شکل (۲-۲ ب) نیز جزییات یک وصله جوشی برای شمع‌های لوله‌ای مشاهده می‌شود. در صورت استفاده از پرچ، از جزییاتی مثل شکل (۲-۲ پ) برای وصله شمع‌های H استفاده می‌شود.

وقتی که انتظار لایه ای سخت نظیر شن متراکم، شیل و سنگ نرم می‌رود، در نوک شمع فولادی از کفشک^۱ استفاده می‌شود.

در اشکال (۲-۲ ت) و (۲-۲ ث) دو حالت تخت و مخروطی برای کفشک نوک شمع‌های لوله‌ای استفاده می‌شود.