

۱۳۰۷

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پایان نامه کارشناسی ارشد عمران

گرایش مکانیک خاک و پی

عنوان:

بهینه سازی گروه شمع زیر سیلوها

نگارش:

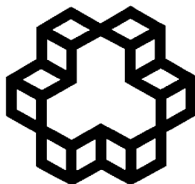
مهدی علی عسگری

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر قاسم زاده

بهمن ماه ۱۴۰۰

صلى الله عليه وسلم



۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تأییدیه هیأت داوران

هیأت داوران پس از مطالعه پایان نامه با عنوان **بهینه سازی گروه شمع زیر سیلوها نگارش مهدی علی عسگری و شرکت در جلسه دفاع از پایان نامه مذکور مورخ ۱۴۰۰/۱۲/۱۴**، تحقیق انجام شده را برای اخذ درجه **کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی** مورد تأیید قرار دادند.

امضا

استاد راهنما: دکتر حسن قاسم زاده

امضا

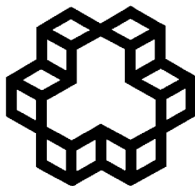
استاد ممتحن خارجی: دکتر کاظم فخاریان

امضا

استاد ممتحن داخلی: دکتر محمدعلی ایرانمنش

امضا

نماینده تحصیلات تکمیلی: دکتر محمدعلی ایرانمنش



۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

اظہارنامہ دانشجو

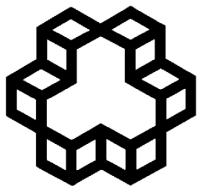
اینجانب مهدی علی عسگری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران گرایش مکانیک خاک و پی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در پایان‌نامه با عنوان:

بهینه‌سازی گروه شمع زیر سیلوها

با راهنمایی استاد محترم جناب آقای دکتر حسن قاسم‌زاده توسط شخص اینجانب انجام شده است. صحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان‌نامه مورد تأیید اینجانب است. در مورد استفاده از کار سایر محققین به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. همچنین گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارائه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب مصوب دانشگاه به طور کامل رعایت شده است.

امضا دانشجو: مهدی علی عسگری

تاریخ:



۱۳۰۷
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

حق طبع، نشر و مالکیت نتایج

۱. حق چاپ و تکثیر این پایان نامه متعلق به نویسنده و استاد راهنمای آن است. هرگونه تصویربرداری از کل یا بخشی از پایان نامه تنها با موافقت نویسنده یا استاد راهنما یا کتابخانه دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی مجاز است.
۲. کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.
۳. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تقديم می نمایم به:

پدر، مادر و خواهر عزیزتر از جانم

تشکر و قدردانی می‌نمایم از:

لازم می‌دانم از زحمات بسیار زیادی که پدر و مادر عزیزم در طول سالیان برایم کشیده‌اند نهایت تشکر و احترام را به عمل آورم، هرچند این تشکرات در واژه نمی‌گنجد، همچنین از استاد راهنمای گران‌قدر جناب آقای دکتر قاسم‌زاده به سبب راهنمایی‌های ایشان کمال تشکر را دارم. از دوستان گرامی جناب آقایان مهندس مجید بیگی و مهندس هادی بهلولی برای همفکری‌های سازنده‌شان نهایت تشکر و سپاس را می‌نمایم.

چکیده

در سازه‌هایی که فونداسیون سطحی جوابگوی ظرفیت باربری بوده اما نشست بیش‌تر از مقادیر مجاز است، می‌توان از شمع یا گروه شمع به جهت کنترل نشست استفاده نمود. روش‌های متداول طراحی بر مبنای ظرفیت (Conventional Capacity Based Design Approach) به تعداد شمع‌های زیاد منتهی می‌گردد در صورتیکه در روش طراحی بر مبنای نشست (Settlement Based Design Approach) تعداد شمع‌های مورد نیاز کاهش می‌یابد.

در تحقیق حاضر بهینه‌سازی شالوده سیلوهای ۱۰۰ هزارتنی غلات در بندر شهید بهشتی چابهار با روش طراحی بر مبنای نشست مورد بررسی قرار گرفته است. برای این تحقیق از مدلسازی با نرم‌افزار Plaxis و بهینه‌سازی با روش طراحی مرکب مرکزی (Central Composite Design) با نرم‌افزار Mini Tab و روش شبکه عصبی مصنوعی (Artificial Neural Network) با نرم‌افزار متلب (MATLAB) استفاده شده است. در ابتدا بیش از ۱۰۰ مدل‌سازی در محیط نرم‌افزار پلکسیس سه‌بعدی صورت پذیرفت و تأثیر تغییر پارامترهای طول، قطر و تعداد شمع در سیستم کلاهی تقویت شده با شمع (Raft Enhanced Pile / Piled Raft) مشخص گردید. سپس با استفاده از دو روش طراحی مرکب مرکزی با استفاده از نرم‌افزار مینی تب و شبکه عصبی مصنوعی با کمک گرفتن از نرم‌افزار متلب، رگرسیون جهت تخمین میزان نشست آنی بدون نیاز به مدل‌سازی انجام پذیرفت و خطای هر دو روش با مقایسه مقادیر رگرسیون و نتایج مدلسازی با نرم‌افزار پلکسیس تعیین گردید. برای مقایسه حالت‌ها، پارامتر α به صورت تقسیم درصد تغییر حجم بتن مصرفی بر درصد تغییر نشست نسبت به حالت حداکثر نشست در بین تمامی حالت‌ها که البته متناظر کمترین حجم بتن شمع می‌باشد، معرفی گردید. به طور خلاصه می‌توان بیان نمود که استفاده از رویکرد طراحی مرکب مرکزی با تلاش محاسباتی و زمانی در حدود ۱۰ درصد کل مدل‌سازی‌ها، نتیجه با خطای میانگین در حدود ۲ درصد و حداکثر خطای ۹ درصد ارائه می‌دهد که بسیار به فرایند بهینه‌سازی طراحی سیستم گروه شمع کمک می‌نماید. استفاده از رویکرد طراحی بر مبنای نشست در این تحقیق باعث کاهش ۴۰ درصدی حجم بتن شمع شده است.

واژه‌های کلیدی: گروه شمع، سیلو، رگرسیون، بهینه‌سازی، نشست

فهرست مطالب

۱- فصل اول: پیشگفتار.....	۱
۱-۱- بیان مسئله.....	۲
۲-۱- دامنه تحقیق.....	۲
۳-۱- اهداف تحقیق.....	۲
۴-۱- ضرورت و اهمیت تحقیق.....	۲
۵-۱- نوآوری.....	۳
۶-۱- ساختار تحقیق.....	۳
۲- فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی.....	۴
۱-۲- گروه شمع.....	۴
۲-۱-۲- اندرکنش سیستم شمع-کلاhek.....	۸
۲-۲-۱-۲- اندرکنش کلاhek و خاک.....	۹
۲-۱-۳- اصول طراحی سیستم شمع-کلاhek.....	۱۱
۲-۱-۴- روند طراحی سیستم شمع-کلاhek.....	۱۴
۲-۲- نشست گروه شمع.....	۱۵
۲-۱-۲-۱-۲- نسبت نشست گروه شمع.....	۱۷
۲-۲-۲- ضریب اندرکنش الاستیک.....	۱۷
۲-۲-۳- شمع معادل و پی معادل.....	۱۸
۲-۲-۴- روش عددی.....	۲۱
۲-۳- سیلوها.....	۲۲
۲-۳-۲- سیلوهایی بتنی.....	۲۴
۲-۳-۳- سیلوهایی فولادی.....	۲۸
۲-۳-۴- نشست سیلوها.....	۲۹
۲-۴- جمع‌بندی.....	۳۱
۳- فصل سوم: نرم‌افزار، صحت‌سنجی و رویکرد بهینه‌سازی.....	۳۲
۱-۳- نرم‌افزارهای مدل‌سازی عددی.....	۳۳
۱-۱-۳- نرم‌افزار پلکسیس سه‌بعدی.....	۳۵
۲-۳- نرم‌افزارهای بهینه‌سازی.....	۳۵
۳-۳- مقدمه‌ای بر پروژه مورد بررسی.....	۳۶
۴-۳- صحت‌سنجی.....	۳۷
۱-۴-۳- لایه‌بندی خاک.....	۳۷

۳۸	۵-۳- مدل های رفتاری مورد استفاده.....
۳۸	۳-۵-۱- مدل مور کلمب.....
۳۹	۳-۵-۲- مدل خاک نرم.....
۴۰	۳-۶- نتایج آزمون بارگذاری استاتیکی.....
۴۲	۳-۷- مدل سازی و صحت سنجی تک شمع.....
۴۳	۳-۸- بهینه سازی.....
۴۴	۳-۸-۲- روش سطح پاسخ.....
۴۶	۳-۸-۳- هوش مصنوعی.....
۴۸	۳-۸-۳-۱- شبکه عصبی مصنوعی.....
۴۹	۳-۹- جمع بندی.....
۵۰	۴- فصل چهارم: مدل سازی تحقیق.....
۵۰	۴-۱- مدل سازی عددی.....
۵۰	۴-۱-۱- هندسه مدل سازی و مش بندی.....
۵۴	۴-۱-۲- لایه بندی و رفتار لایه های خاک.....
۵۴	۴-۱-۳- مشخصات اجزای سازه ای.....
۵۴	۴-۱-۳-۱- سر شمع.....
۵۵	۴-۱-۳-۲- شمع.....
۵۷	۴-۱-۴- بارگذاری.....
۵۸	۴-۱-۵- مراحل مدل سازی عددی.....
۵۸	۴-۱-۵-۱- ایجاد شرایط اولیه.....
۵۸	۴-۱-۵-۲- اعمال بار مرده در شرایط کوتاه مدت.....
۵۸	۴-۱-۵-۳- اعمال بار زنده در شرایط کوتاه مدت.....
۵۹	۴-۱-۵-۴- تحکیم لایه رسی.....
۵۹	۴-۲- نتایج تحلیل.....
۵۹	۴-۲-۱- بررسی عملکرد گروه شمع.....
۶۹	۴-۲-۲- تغییر تنش مؤثر.....
۷۱	۴-۲-۳- نشست آنی خاک.....
۷۴	۴-۲-۴- نشست تحکیمی خاک.....
۷۵	۴-۲-۵- مقایسه اثر تعداد و طول شمع ها.....
۷۶	۴-۲-۶- اثر قطر شمع.....
۷۷	۴-۲-۷- مقایسه حجم بتن مصرفی و نشست آنی.....
۷۸	۴-۳- بهینه سازی.....

۷۸	۴-۳-۱- روش طراحی مرکب مرکزی.
۷۹	۴-۳-۲- روش شبکه عصبی مصنوعی.
۸۰	۴-۳-۳- مقایسه دو روش بهینه‌سازی.
۸۷	۴-۴- نتیجه‌گیری.
۸۸	۴-۵- جمع‌بندی.
۸۹	۵- فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها.
۸۹	۵-۱- جمع‌بندی.
۹۰	۵-۲- پیشنهادها.
۹۱	۶- پیوست.

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲ ملاحظات طراحی برای گروه شمع ها [4]..... ۶
- شکل ۲-۲ مقایسه مناطق تحت تأثیر زیر شمع های منفرد و گروه شمع..... ۶
- شکل ۳-۲ نسبت R و تأثیر آن بر طراحی..... ۷
- شکل ۴-۲ اندرکنش میان اجزا مختلف گروه شمع..... ۹
- شکل ۵-۲ تأثیر سختی کلاhek..... ۱۰
- شکل ۶-۲ حداکثر نشست تفاضلی و گشتاور خمشی برای کلاhek دایره ای با بار یکنواخت روی یک لایه کشتان عمیق..... ۱۰
- شکل ۷-۲ رفتار بار-جابجایی کلاhek، گروه های شمع معمولی و انواع دیگر گروه شمع ها..... ۱۲
- شکل ۸-۲ کلاhek های تقویت شده با شمع در مقابل گروه شمع تقویت شده با کلاhek..... ۱۴
- شکل ۹-۲ به کارگیری نظریه الاستیک در اندرکنش شمع و رفتار نشست بار غیرخطی برای بارگذاری عمودی..... ۱۸
- شکل ۱۰-۲ تعویض گروه شمع با شمع معادل..... ۱۹
- شکل ۱۱-۲ تعویض گروه شمع با پی معادل..... ۲۰
- شکل ۱۲-۲ حباب تنش غیر یکنواخت زیر سیلوا همپوشانی آن ها..... ۲۳
- شکل ۱۳-۲ کج شدگی سیلوا ناشی از نشست غیر یکنواخت در اثر همپوشانی حباب های تنش..... ۲۴
- شکل ۱۴-۲ سیلوی جنوب تهران با قدمت نزدیک به هشتاد سال..... ۲۵
- شکل ۱۵-۲ جهت نیروها و تغییر شکل های کندوهای دایره ای و مستطیل شکل..... ۲۵
- شکل ۱۶-۲ مجموعه کندوهای دایره ای منفرد (تکی) و متصل (کلاستری)..... ۲۶
- شکل ۱۷-۲ نمونه هایی از نحوه آرایش کندوهای مرتبط در یک کلاستر..... ۲۷
- شکل ۱۸-۲ جهت نیروها و تغییر شکل ها در مجموعه کندوهای مرتبط..... ۲۷
- شکل ۱۹-۲ نمونه ای از سیلواهای فولادی کوچک در مزارع گندم..... ۲۸
- شکل ۲۰-۲ نمونه ای از کماتش و خرابی سیلوی فولادی در اثر باد..... ۲۹
- شکل ۱-۳ محدوده مدنظر برای احداث و پلان جانمایی سیلوی بندر شهید بهشتی چابهار..... ۳۶
- شکل ۲-۳ پروفیل لایه های خاک مورد بررسی صحت سنجی..... ۳۸
- شکل ۳-۳ مدل تسلیم مور کلمب..... ۳۹
- شکل ۴-۳ خط تسلیم در فضای تنش اصلی مدل خاک نرم..... ۴۰
- شکل ۵-۳ سایت تست استاتیکی شمع..... ۴۱
- شکل ۶-۳ بارگذاری و باربرداری استاتیکی شمع..... ۴۱
- شکل ۷-۳ نمودار بار-نشست حاصل از آزمایش بارگذاری استاتیک..... ۴۱
- شکل ۸-۳ مدل جهت صحت سنجی و مش بندی..... ۴۲
- شکل ۹-۳ مقایسه نمودار بار-نشست حاصل از آزمایش بارگذاری و نرم افزار پلکسیس..... ۴۳
- شکل ۱۰-۳ فلوچارت مسائل بهینه سازی..... ۴۴
- شکل ۱۱-۳ فلوچارت طراحی مرکب مرکزی..... ۴۶
- شکل ۱۲-۳ شماتیک شبکه عصبی مصنوعی..... ۴۸
- شکل ۱-۴ هندسه و شرایط مرزی مدل سازی سه بعدی..... ۵۱

- شکل ۲-۴ موقعیت سرشمع‌ها و شمع‌ها در یکی از حالت‌های مدل‌سازی ۵۲
- شکل ۳-۴ المان ۴ وجهی ۱۰ گرهی مورد استفاده در نرم‌افزار پلکسیس ۵۲
- شکل ۴-۴ مش‌بندی مدل‌سازی مورد بررسی در تحقیق ۵۳
- شکل ۵-۴ انواع آرایش شمع‌ها در مدل‌سازی‌ها ۵۷
- شکل ۶-۴ مقایسه رویکرد طراحی در حالت‌های مخالف ۶۸
- شکل ۷-۴ نمودار تغییرات نشست بر حسب میزان بتن شمع سیلو برای حالت‌های ارائه شده در جدول ۴-۶ ۶۸
- شکل ۸-۴ نمودار تغییرات نشست بر حسب ضریب اطمینان سیستم برای حالت‌های ارائه شده در جدول ۴-۶ ۶۹
- شکل ۹-۴ پروفیل طولی افزایش تنش در عمق‌های مختلف خاک برای مدل ۳۰ شمع با طول ۳۱ متر ۷۰
- شکل ۱۰-۴ پروفیل طولی افزایش تنش در عمق‌های مختلف خاک برای مدل ۳۶ شمع با طول ۳۱ متر ۷۱
- شکل ۱۱-۴ پروفیل طولی نشست خاک در عمق‌های مختلف برای مدل ۳۰ شمع با طول ۳۱ متر ۷۲
- شکل ۱۲-۴ پروفیل طولی نشست خاک در عمق‌های مختلف برای مدل ۳۰ شمع با طول ۳۵ متر ۷۳
- شکل ۱۳-۴ پروفیل طولی نشست خاک در عمق‌های مختلف برای مدل ۳۰ شمع با طول ۳۹ متر ۷۳
- شکل ۱۴-۴ پروفیل طولی نشست خاک در عمق‌های مختلف خاک برای مدل ۳۰ شمع با طول ۴۳ متر ۷۴
- شکل ۱۵-۴ تغییرات درصد نشست آبی بار زنده برای گروه شمع با طول و تعداد مختلف (قطر ۱ متر) ۷۴
- شکل ۱۶-۴ نشست تحکیمی گروه شمع با طول و تعداد مختلف ۷۵
- شکل ۱۷-۴ نمودار نشست-طول شمع برای گروه شمع‌ها با تعداد متفاوت (قطر ۱ متر) ۷۵
- شکل ۱۸-۴ نمودار نشست-طول شمع برای گروه شمع‌ها با قطر متفاوت (گروه ۳۰ شمعی) ۷۶
- شکل ۱۹-۴ ضریب اطمینان متوسط گروه شمع‌ها ۷۶
- شکل ۲۰-۴ نیروی وارده بر حسب تن به شمع‌ها در مدل برای مدل ۳۰ شمع با طول ۳۱ متر ۷۷
- شکل ۲۱-۴ مقایسه نشست شمع در برابر بتن مصرفی گروه شمع برای هر کندو ۷۸
- شکل ۱-۶ تنش‌های وارد بر شمع ۹۱

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۲ عوامل مؤثر بر سیستم شمع-کلاهک	۱۴
جدول ۲-۲ خلاصه روش‌ها مورد استفاده در روش پی معادل	۲۰
جدول ۳-۲ پارامترهای متغیر در تحلیل‌های عددی انجام شده توسط [34]	۲۲
جدول ۴-۲ پارامترهای ثابت در تحلیل‌های عددی انجام شده توسط [34]	۲۲
جدول ۵-۲ نشست مجاز فونداسیون در مراجع مختلف	۲۹
جدول ۶-۲ نشست مجاز فونداسیون طبق USSR [37]	۳۰
جدول ۱-۳ پارامترهای ژئوتکنیکی جهت صحت سنجی	۳۷
جدول ۱-۴ فرضیات ثابت و متغیر پژوهش	۵۳
جدول ۲-۴ پارامترهای ژئوتکنیکی و ضخامت لایه‌های خاکی مدل‌سازی شده	۵۴
جدول ۳-۴ مؤلفه‌های ورودی شمع در مدل‌سازی	۵۵
جدول ۴-۴ پارامترهای متغیر در مدل‌سازی (قطر، تعداد و طول شمع‌ها)	۵۶
جدول ۵-۴ بارگذاری مدل‌سازی برای هر کندوها	۵۸
جدول ۶-۴ مقایسه ضریب اطمینان حالت‌های مختلف طراحی بر اساس طول و تعداد شمع در هر سیلو	۶۰
جدول ۷-۴ نقاط موردنیاز برای رگرسیون در نرم‌افزار مینی تب	۷۹
جدول ۸-۴ مقایسه روش‌های بهینه‌سازی	۸۰
جدول ۹-۴ مقایسه خطای روش‌های بهینه‌سازی	۸۷
جدول ۱-۶ فاکتور ظرفیت باربری N_c	۹۴

۱- فصل اول: پیشگفتار

فونداسیون وظیفه انتقال بار روسازه به خاک را بر عهده دارد و می‌بایست تنش‌ها را به‌صورتی انتقال دهد که در عملکرد و بهره‌برداری از سازه اختلالی صورت نپذیرد. در بعضی پروژه‌ها به دلیل اینکه خاک زیرین روسازه از نظر بعضی ویژگی‌ها توانایی تحمل کافی بارها را ندارد از شالوده عمیق (شمع) برای انتقال بارهای وارده به لایه‌های مستحکم‌تر در عمق بیشتر استفاده می‌شود. استفاده از شمع‌ها معمولاً هزینه بیشتری نسبت به پی‌های سطحی دارد اما در بعضی موارد که خاک زیر سازه دارای باربری کافی نبوده یا بحث نشست تعیین‌کننده باشد، معمولاً به‌عنوان یکی از گزینه‌های جدی قابل‌بررسی است. استفاده از شمع‌ها در پروژه‌های عمرانی سابقه طولانی داشته و به صورت‌ها و کاربردهای مختلفی، طراحان از آن‌ها استفاده می‌نمایند. استفاده از شمع‌ها به دو صورت تکی و گروهی امکان‌پذیر است. طراحی گروه شمع‌ها از پیچیدگی بیشتری برخوردار بوده و لازم است تا اندرکنش بین اجزا سیستم شمع-کلاهی و همچنین خاک قرار گرفته در اطراف این سیستم به طور دقیق مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

طراحی شمع‌ها در روش متداول طراحی بر مبنای ظرفیت باربری (Capacity Based Design Approach) شمع انجام می‌شود. در این روش با توجه به اینکه ظرفیت باربری شالوده سطحی جوابگو نمی‌باشد، تعداد شمع بر اساس بارهای وارده از طرف سازه و ظرفیت باربری تک شمع محاسبه و البته در انتها ظرفیت باربری و نشست گروه شمع کنترل می‌گردد. در صورتیکه ظرفیت باربری شالوده سطحی جوابگو باشد اما نشست شالوده بیش از نشست مجاز باشد، طراحی شمع می‌تواند

بر مبنای کنترل نشست (Settlement Based Design Approach) انجام شود. در این روش تعداد شمع بر اساس محاسبه نشست انجام می شود و نیازی به کنترل ظرفیت باربری نمی باشد.

۱-۱- بیان مسئله

در سازه‌های بزرگ نظیر سیلوها به سبب بارهای زیاد وارده به خاک نشست شالوده زیاد می باشد. اگرچه این نشست زیاد به لحاظ سازه‌ای می تواند قابل قبول باشد اما گاهی ممکن است لازم باشد برای عملکرد مناسب تجهیزات نشست شالوده محدود گردد. بهینه‌سازی طرح شالوده می‌تواند هزینه‌ها را به مقدار زیادی کاهش دهد، از این رو لازم است تا بررسی‌های صورت گرفته دارای تابع هدف با رویکرد حداقل نمودن هزینه‌ها را به عنوان رکن اصلی طراحی پیش روی خود داشته باشد. داشتن درک صحیح از نشست این گونه سازه‌ها کمک شایانی به فرایند طراحی می‌نماید و لازم به نظر می رسد تا بررسی‌های هدفمند در این موضوع صورت پذیرد.

۱-۲- دامنه تحقیق

در این تحقیق بهینه‌سازی گروه شمع زیر سیلوی ۱۰۰ هزار تنی غلات بندر شهید بهشتی چابهار مورد بررسی قرار گرفته است و تلاش شده تا رویکرد کلی برای بهینه‌سازی گروه شمع ارائه شود.

۱-۳- اهداف تحقیق

از آنجاکه پی سطحی از نظر ظرفیت باربری در این پروژه جوابگو است، رویکرد طراحی گروه شمع بر مبنای کنترل نشست می‌باشد. در این تحقیق تلاش شده است تا با رویکردهای بهینه‌سازی، فرایند بهینه‌سازی خود نیز بهینه شده و روشی پیشنهاد شود که در آینده به جای تحلیل تعداد زیادی مدل نرم‌افزاری، با استفاده از آن روش کم‌ترین تلاش محاسباتی به نتیجه‌ای با خطای بسیار کم منجر شود.

۱-۴- ضرورت و اهمیت تحقیق

تحقیق حاضر جهت نشان دادن اهمیت بهینه‌سازی در کاهش میزان مصالح و هزینه مصرف شده در پروژه‌های بزرگ نظیر سیلوها بوده و سعی شده با بررسی روش‌های بهینه‌سازی رویکرد مناسب برای طراحی اولیه با تلاش محاسباتی و زمانی پایین و دقت قابل قبول به طرحی قابل توجیه دست یابد.

۱-۵- نوآوری

با بررسی منابع می‌توان دید که رویکرد بهینه‌سازی در پروژه‌های ژئوتکنیکی بیش‌تر به روش سعی و خطا انجام می‌شود و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی جایگاه کمتری در این حوزه دارد. در این تحقیق سعی شده تا با تغییر این رویکرد، بهینه‌سازی در زمان کوتاه‌تر صورت پذیرد. لازم به ذکر است که روش‌های بهینه‌سازی موجود در منابع بیشتر برای کارهای آزمایشگاهی تعریف شده و نیز تعداد بسیاری از آن‌ها وجود دارد که در این بررسی از دو روش آن استفاده گشته است.

۱-۶- ساختار تحقیق

این تحقیق شامل پنج فصل اصلی و یک فصل پیوست است.

فصل دوم شامل بررسی‌های پیشین انجام شده در ارتباط با گروه شمع‌ها و سیلوها است. همچنین در این فصل بحث مختصری در ارتباط با نشست مجاز سیلوها و رویکرد بهینه‌سازی در تحقیق حاضر انجام شده است.

در فصل سوم توضیحاتی در مورد روش اجزا محدود ارائه شده سپس دلایل انتخاب نرم‌افزار و مدل‌های رفتاری مورد استفاده در این تحقیق مشخص گردیده و همچنین داده‌های آزمایش یک تک شمع با نتایج مدل صحت سنجی شده،

در فصل چهارم ابتدا مدل‌سازی‌های انجام شده و نتایج آن‌ها آورده شده است سپس مقایسه‌ای میان رگرسیون‌های به دست آمده از روش‌های بهینه‌سازی صورت پذیرفته و در نهایت گزینه‌های بهینه معرفی شده و جمع‌بندی صورت گرفته است.

در فصل پنجم جمع‌بندی صورت گرفته و پیشنهاداتی برای ادامه این تحقیق برای خوانندگان آن ارائه گشته است.

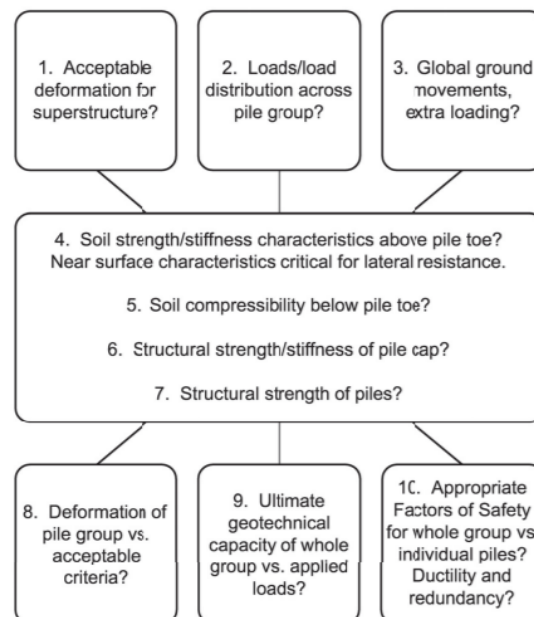
۲- فصل دوم: مروری بر ادبیات فنی

سالیان متمادی است که از شمع‌ها برای انتقال بارهای روسازه به لایه مناسب خاک در عمق استفاده می‌شود. برای سازه‌هایی مانند ساختمان‌های مرتفع، پل‌ها، سیلوها، رآکتورهای انرژی هسته‌ای که بارهای زیادی بر زمین وارد می‌کنند شالوده‌های سطحی معمولاً از نظر ظرفیت باربری یا نشست جوابگو نبوده و چنین شرایطی استفاده از شمع‌ها توصیه می‌شود، همچنین شمع‌ها زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که خاک زیر سازه ضعیف باشد و بارهای روسازه باید به خاک مناسبی که در عمق قرار دارد منتقل شود. در اسکله‌ها و پل‌های بزرگ که معمولاً در معرض بارهای جانبی زیاد ناشی از باد، جریان آب و زلزله می‌باشد استفاده از شمع‌ها برای انتقال نیروهای جانبی نیز مورد نیاز خواهد بود. کارهای زیادی در مورد این موضوع توسط متلاک، ریس و جونیوس انجام شده است [1] [2] [3].

۲-۱- گروه شمع

طراحی شمع‌ها اغلب بر اساس ظرفیت نهایی ژئوتکنیکی صورت می‌گیرد. هنگامی که شمع‌ها در یک گروه شمع قرار می‌گیرند، طیف گسترده‌ای از ضرایب باید در نظر گرفته شوند. اندرکنش بین شمع‌های مجاور به عوامل متعددی از جمله

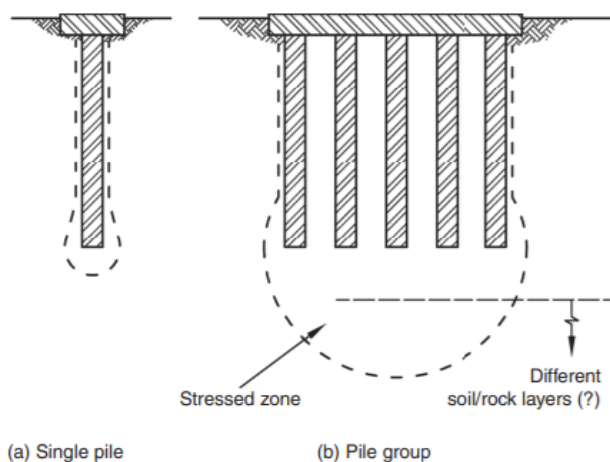
جهت بارهای اعمال شده بستگی دارد. هنگامی که بارهای افقی بزرگ اعمال می شود، ممکن است نیاز باشد که طیف پیچیده‌ای از اثرات متقابل در نظر گرفته شود. تغییر شکل گروه شمع معمولاً بحرانی‌تر از ظرفیت آن است و از این رو، انتخاب مدول تغییر شکل مناسب اهمیت ویژه‌ای دارد. طراحی باید عملکرد کلی سیستم فونداسیون را در نظر بگیرد. به صورت خلاصه ملاحظات لازم برای طراحی گروه شمع‌ها در شکل ۱-۲ توسط آنتونی و مات ارائه شده است که بیانگر اهمیت تعیین میزان نشست مجاز به عنوان اول ملاحظه مطرح شده در طراحی می باشد [4]. استفاده از سیستم شمع-کلاhek در سال های اخیر محبوبیت بیشتری پیدا کرده است، زیرا عملکرد ترکیبی کلاhek و شمع ها می تواند ظرفیت باربری را افزایش دهد، نشست را کاهش دهد و همچنین نشست تفاضلی کلاhek را کاهش دهد. سیستم کلاhek تقویت شده با شمع^۱ یک ساختار ترکیبی ژئوتکنیکی است که از سه عنصر - شمع، کلاhek و خاک تشکیل شده است. هنگامی که یک شالوه سطحی به تنهایی الزامات طراحی را برآورده نمی کند، مانند سازه های سنگین، می توان با اضافه کردن شمع هایی در زیر آن، عملکرد کلاhek را افزایش داد. استفاده از تعدادی شمع زیر شالوده سطحی می تواند ظرفیت بار نهایی، نشست و نشست تفاضلی کلاhek را بهبود بخشد و ضخامت مورد نیاز آن را کاهش دهد [5].



^۱ Piled raft or Raft enhanced Pile

شکل ۲-۱ ملاحظات طراحی برای گروه شمع‌ها [4]

یک گروه شمع مطابق شکل ۲-۲ به ناحیه بسیار بزرگ‌تری از خاک نسبت به یک تک شمع تنش وارد می‌کند و در نظر گرفتن چگونگی توسعه یک مدل تحلیلی مناسب و پارامترهای ورودی، و ارزیابی مکانیسم‌های خرابی و تغییر شکل‌ها بسیار مهم خواهد بود.



شکل ۲-۲ مقایسه مناطق تحت‌تأثیر زیر شمع‌های منفرد و گروه شمع

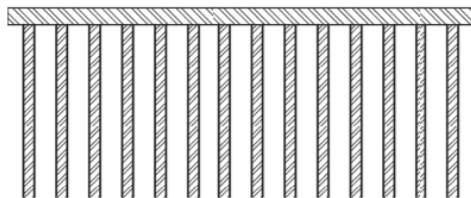
رفتار کلی گروه‌های شمع تحت‌تأثیر هندسه آن‌ها است. یک پارامتر مهم در گروه شمع نسبت R بوده و به صورت رابطه ۲-۱ تعریف می‌شود که در آن n تعداد شمع‌های گروه شمع، s و L به ترتیب فاصله و طول شمع‌ها بر حسب متر است. [6]

$$R = \left(\frac{ns}{L}\right)^{0.5} \quad \text{رابطه ۲-۱}$$

وقتی این عدد بزرگ باشد به این معنی است که بیشتر نیروی اعمال شده با فشرده شدن لایه زیر نوک شمع به زمین انتقال می‌یابد و در طرف مقابل اگر این عدد کوچک باشد، بیشتر نیروی اعمالی از طریق برش در اطراف محیط گروه شمع به زمین انتقال می‌یابد.

Potential design issues

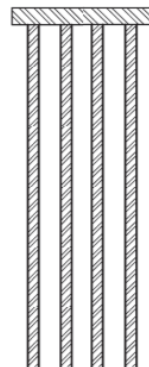
- Significant foundation load redistributed into end bearing
- Significant pile-pile interaction
- Group settlement >> individual pile (at same average load)
- Pile cap bending stiffness
- Influence of compressible layers below pile base?

**NB.**

$R = (ns/L)0.5$, where n = number of piles in group,
 s = pile spacing, L = pile length

(a) Large pile group aspect ratio, R **Potential design issues**

- Constructability of long piles
- Installation of long reinforcement cages (if needed)
- Foundation load resisted on shaft, negligible end bearing (over-conservative??)
- Piling tolerances and integrity of shaft
- Boreholes deep enough?

(b) Small pile group aspect ratio, R

شکل ۲-۳ نسبت R و تأثیر آن بر طراحی

رفتار شمع-کلاhek بسیار پیچیده است. ساده سازی های قابل توجهی امکان پذیر است که طراحی عملی و اطمینان بیشتر در خروجی تحلیل را تسهیل می کند. یکی از جنبه های کلیدی، تعریف واضح دو نوع شمع-کلاhek است: کلاhek تقویت کننده شمع و شمع تقویت کننده کلاhek. مفاهیم طراحی برای هر نوع سیستم شمع-کلاhek بسیار متفاوت است. به طور کلی اگر شالوده بزرگ تر از نصف روسازه باشد، معمولاً از سیستم کلاhek استفاده می شود با این حال موقعیت پروژه ممکن است در این انتخاب مؤثر باشد، بعضی از دلایل اصلی برای انتخاب کلاhek شمع به شرح زیر است: [7]

۱. نیاز برای حفاری های متعدد و در فواصل نزدیک به هم برای پی های منفرد باشد که در این صورت

حفاری به صورت یکپارچه ساده تر است.

۲. نشست های تفاضلی هر کدام از شالوده ها زیاد بوده و استفاده از کلاhek صلب باعث حداقل شدن این

مقدار و قرار گرفتن در بازه مجاز شود.

پی های شمعی معمولاً به خاطر نگرانی از نشست بیش از حد مجاز پی های سطحی مورد استفاده قرار می گیرد، اگرچه ممکن است آن شالوده دارای ضریب اطمینان قابل قبول در برابر ظرفیت باربری داشته باشد. به طور معمول در طراحی شالوده های شمع-کلاhek از مقاومت ایجاد شده ناشی از کلاhek صرف نظر شده و صرفاً مقاومت شمع ها در نظر گرفته می شود. اکنون مشخص شده است که می توان یک فوندا سیون هیبریدی طراحی کرد که هم از یک کلاhek و هم از شمع استفاده می کند و امکان تقسیم بار بین کلاhek و شمع ها را فراهم می کند. به این سیستم شالوده به صورت کلی

شمع-کلاhek گفته می شود. متأسفانه کدها و استانداردهای فعلی راهنمایی زیادی در مورد طراحی شمع-کلاhek ارائه نمی دهند و هنوز نادانسته هایی در مورد طراحی این سیستم ها وجود دارد.

دلایل مختلفی برای استفاده از فونداسیون شمع-کلاhek وجود دارد که عبارت اند از:

۱. به حداقل رساندن نشست های کل و تفاضلی

۲. برای کاهش لنگرهای خمشی و نیروهای برشی در کلاhek (مخصوصاً در مواردی که تعداد کمی ستون با

بارگذاری سنگین وجود دارد)

۳. کاهش ضخامت کلاhek

طراحی کلاhek مستلزم ارزیابی موارد زیر است:

۱. نشست کل و تفاضلی

۲. لنگر خمشی و نیروهای برشی در کلاhek که به دلیل بار گسترده غیریکنواخت یا بار متمرکز ستون های

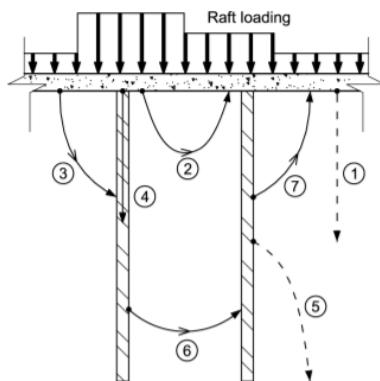
روسازه اعمال می شود.

۳. مواردی از قبیل ضخامت کلاhek، تراکم آرماتور، محل قرارگیری سطح آب زیرزمینی و غیره.

۲-۱-۲- اندرکنش سیستم شمع-کلاhek

در حالت کلی یک سیستم شمع-کلاhek اندرکنش بسیار پیچیده ای بین عناصر مختلف صورت می گیرد. باترفیلد و بانرجی اندرکنش شمع-خاک-کلاhek را با استفاده از حل معادلات، تجزیه و تحلیل کرده و به اشتراک بار بین شمع ها و کلاhek پی برده اند [8]. قاسم زاده و علی بیگلو با روش تحلیلی اندرکنش شمع-خاک-شمع را برای گروه شمع های مایل مورد بررسی قرار داده اند و ضریب اندرکنش دینامیکی شمع در گروه شمع را بدست آورده اند [9]. پولوس یک تحلیل عددی تقریبی از اندرکنش شمع-کلاhek ارائه کرده است. کلاhek به عنوان یک صفحه نازک و شمع ها به عنوان فنرها مدل سازی شده است [10]. نشست های پیش بینی شده با آزمایش های سانتریفیوژ و آزمایش های تمام مقیاس روی یک کلاhek تقویت شده با شمع مطابقت دارد. شکل ۲-۴ یک سیستم شمع-کلاhek با بارگذاری غیریکنواخت و کلاhek در تماس با خاک زیرین بوده و اندرکنش های زیر را نشان می دهد:

۱. اندرکنش کلاهک-خاک: تنش‌های تماسی بین کلاهک و خاک به داخل خاک منتقل شده و نشست کلاهک صورت می‌گیرد.
۲. اندرکنش کلاهک-خاک-کلاهک: اندرکنش از طریق خاک با سایر قسمت‌های کلاهک صورت می‌گیرد.
۳. اندرکنش کلاهک-خاک-شمع: تنش‌های تماس کلاهک نیز از طریق خاک منتقل می‌شود و با شمع‌ها برهم‌کنش دارد.
۴. اندرکنش کلاهک-شمع: بارها مستقیماً توسط کلاهک به داخل شمع‌ها منتقل می‌شوند.
۵. اندرکنش شمع-خاک: بارهای شمع در زمین اطراف شمع‌ها پراکنده می‌شوند.
۶. اندرکنش شمع-خاک-شمع: برهم‌کنش بین هر طرف از طریق خاک تا شمع‌های دیگر صورت می‌گیرد.
۷. اندرکنش شمع-خاک-کلاهک: برهم‌کنش بین هر طرف از طریق خاک تا سطح زیرین کلاهک نیز صورت می‌گیرد.



شکل ۲-۴ اندرکنش میان اجزا مختلف گروه شمع

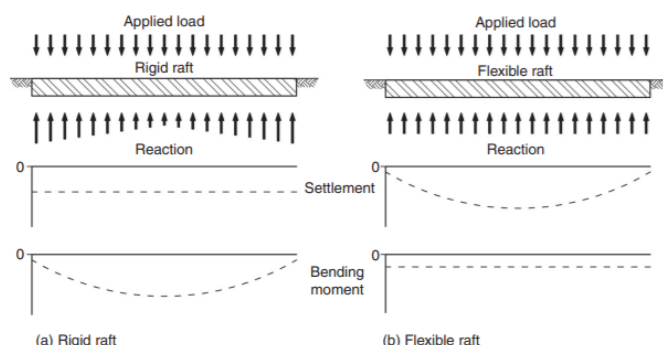
۲-۲-۱-۲- اندرکنش کلاهک و خاک

چندین عامل مختلف می‌توانند بر نشست تفاضلی کلاهک، لنگرهای خمشی و نیروهای برشی تأثیر بگذارند که عبارت‌اند از:

۱. سختی نسبی خاک و کلاهک (شکل ۲-۵)
۲. تأثیر سختی روسازه یا زیرسازه بر سختی مؤثر کلاهک

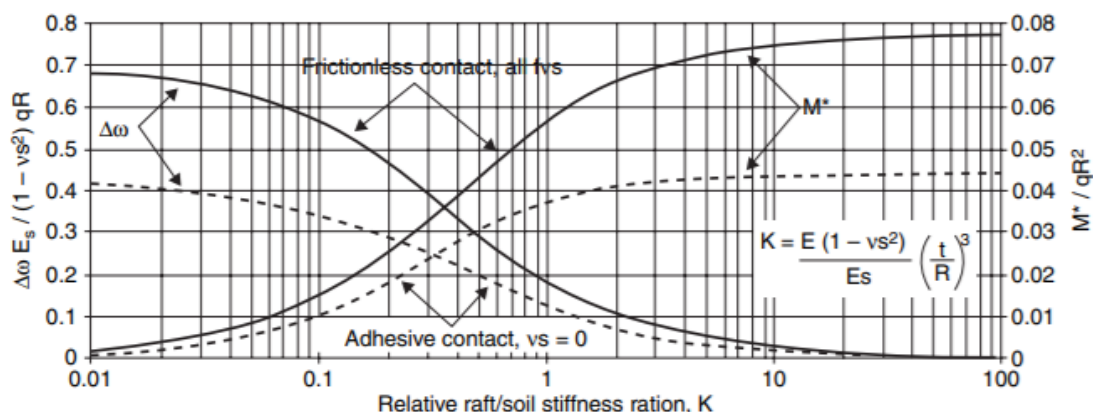
۳. تأثیر تغییرات در سختی خاک و ضخامت لایه تراکم‌پذیر

۴. تأثیر غیرخطی بودن خاک و گسیختگی محلی



شکل ۲-۵ تأثیر سختی کلاهک

شکل ۲-۵ تأثیر اساسی سختی کلاهک را بر نشست تفاضلی و لنگر خمشی نشان می‌دهد. برای یک کلاهک که رفتار صلب دارد، قسمت a، نشست تفاضلی ناچیز است، اما حداکثر ممان خمشی بسیار زیاد است. در مقابل، برای یک کلاهک که انعطاف پذیر است، در قسمت b، نشست تفاضلی بزرگ بوده و ممان خمشی صفر است. سختی بسیاری از کلاهک‌های واقعی بین این دو حد خواهد بود، و نیز سختی نسبی خاک-کلاهک و اندرکنش خاک-سازه باید در نظر گرفته شود.



NB.

"Adhesive" contact means full soil strength mobilised at raft-soil interface, this is not an appropriate assumption for design purposes.

M^* = maximum raft bending moment, $\Delta\omega$ = differential settlement

E, ν = Young's modulus and Poisson ratio respectively, for raft

E_s, ν_s = Young's modulus and Poisson ratio respectively, for soil

t = raft thickness, R = raft radius

شکل ۲-۶ حداکثر نشست تفاضلی و گشتاور خمشی برای کلاهک دایره‌ای با بار یکنواخت روی یک لایه کشسان عمیق

شکل ۲-۶ تغییر نشست تفاضلی و حداکثر ممان خمشی کلاهک را برای یک کلاهک دایره‌ای دارای بارگذاری یکنواخت بر روی یک لایه خاک عمیق الاستیک، بر اساس مطالعات براون و هوپر نشان می‌دهد [11] [12]. این شکل نشان می‌دهد