

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

دانشگاه یزد
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی عمران

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی عمران - مکانیک خاک و پی

تحلیل شمع مخروطی در خاک ماسه‌ای

استاد راهنما:
دکتر کاظم برخوردار
دکتر رضا پورحسینی

پژوهش و نگارش:
عبداله طیبی

تقدیم بہ پدرم

بہ پاس زحماتش

ومادرم

بہ پاس مہربانی اش

تشکر و قدردانی

سپاس خدایی را که دروازه بی پایان دانش را بر ما گشود.

در این جا لازم است از استادان ارجمند جناب آقای دکتر کاظم برخورداری و جناب آقای

دکتر رضا پورحسینی که در انجام این پژوهش اینجانب را یاری نمودند و با راهنمایی هایشان،

مشکلات پیش آمده در حین انجام پایان نامه را برطرف کردند، تقدیر و تشکر نمایم.

همچنین از تمامی دوستانم که در این مدت همراهی صمیمی برای من بوده‌اند، سپاسگزاری

می‌نمایم.

چکیده

تحقیقاتی که تاکنون بر روی شمع‌های مخروطی صورت گرفته، نشان دهنده برتری این شمع‌ها نسبت به شمع‌های استوانه‌ای در میزان ظرفیت باربری است. در این پایان نامه با استفاده از روش تفاضل محدود عملکرد شمع‌های مخروطی در خاک ماسه‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد. نرم‌افزار مورد استفاده در این سری از تحلیل‌ها FLAC^{3D} است. برای واسنجی نتایج تحلیل عددی توسط نرم‌افزار، از نتایج تجربی بارگذاری صحرائی و آزمایشگاهی استفاده شده است. بارگذاری‌ها در دو حالت بارگذاری قائم و بارگذاری افقی صورت گرفته است. شمع‌های مورد استفاده در این تحلیل‌ها در سه گروه مختلف با ارتفاع‌های متفاوت قرار دارد. هر گروه از شمع‌ها نیز به نوبه خود دارای دو دسته شمع با میانگین قطر یکسان هستند. در هر دسته شمع برای مقایسه نتایج، یک شمع استوانه‌ای نیز قرار دارد. تحلیل‌های صورت گرفته حاکی از برتری نسبی شمع‌های مخروطی نسبت به شمع‌های استوانه‌ای در بارگذاری قائم در خاک یکنواخت است. برای حالتی که شمع در خاک ماسه‌ای سست و نوک شمع بر روی خاک ماسه‌ای متراکم است، ظرفیت باربری شمع مخروطی از نمونه استوانه‌ای کمتر است. در همه حالات بارگذاری جانبی، شمع مخروطی عملکرد بهتری نسبت به شمع استوانه‌ای از خود نشان می‌دهد. در بارگذاری جانبی، ماکزیمم لنگر خمشی در یک سوم ارتفاع بالای شمع رخ می‌دهد که در این مکان شمع مخروطی دارای سطح مقطع بزرگتری نسبت به شمع استوانه‌ای است. همچنین ماکزیمم نیروی برشی در سرشمع رخ می‌دهد که برای این حالت نیز نمونه شمع مخروطی دارای توزیع مصالح بهتری است. در آخر اثر پارامترهای مختلف خاک بر روی ظرفیت باربری جانبی شمع مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحلیل‌ها افزایش پارامترهای مختلف خاک باعث افزایش ظرفیت باربری شمع می‌شود که از این میان تاثیر زاویه اصطکاک داخلی خاک از بقیه پارامترها بیشتر است و نسبت پواسون خاک دارای کمترین میزان تاثیر است.

کلمات کلیدی: شمع مخروطی، تحلیل عددی، تفاضل محدود.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیاتی در مورد شمع‌ها	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ موارد مورد بررسی در مطالعات عددی	۲
۳-۱ تفسیر نتایج بارگذاری شمع	۳
۴-۱ فرضیات پایان نامه	۵
فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته	۶
۲-۱ مطالعات شمع مخروطی تحت بار قائم	۷
۱-۱-۲ مقدمه	۷
۲-۱-۲ آزمایشات صحرایی ریبینیکوف	۷
۳-۱-۲ مدل‌های رفتاری مور	۱۱
۱-۳-۱-۲ تأثیر زاویه مخروط شدگی	۱۲
۲-۳-۱-۲ تأثیر تنش شعاعی اولیه	۱۳
۳-۳-۱-۲ تأثیر مقاومت و مدول خاک	۱۴
۴-۱-۲ آزمایشات النجار و وی	۱۵
۱-۴-۱-۲ نتایج آزمایش‌های بارگذاری	۱۶
۵-۱-۲ مطالعات تکمیلی النجار و سکر (۲۰۰۰)	۱۹
۱-۵-۱-۲ نتایج آزمایش	۱۹
۲-۲ مطالعات شمع مخروطی تحت بار جانبی	۲۴
۱-۲-۲ مقدمه	۲۴
۲-۲-۲ مطالعات آزمایشگاهی النجار و وی	۲۴

۲۵ ۱-۲-۲-۲ نتایج آزمایش‌های بارگذاری

۳۲ ۳-۲-۲ مطالعات صحرایی نبیل (۲۰۱۰)

۳۵ فصل سوم: معرفی نرم‌افزار $FLAC^{3D}$

۳۶ ۱-۳ مقدمه

۳۶ ۲-۳ مدل‌سازی با نرم‌افزار $FLAC^{3D}$

۳۶ ۱-۲-۳ ساخت هندسه مدل

۴۰ ۲-۲-۳ اعمال شرایط مرزی

۴۱ ۳-۲-۳ انتخاب مدل رفتاری و خصوصیات مصالح

۴۳ ۴-۲-۳ بارگذاری شمع

۴۴ فصل چهارم: اعتبار سنجی نتایج حاصل از نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ با نتایج تجربی

۴۵ ۱-۴ مقدمه

۴۵ ۲-۴ مقایسه نتایج حاصل از تحلیل عددی با نتایج صحرایی رینیکوف

۴۸ ۳-۴ مقایسه نتایج حاصل از تحلیل عددی با نتایج آزمایشگاهی النجار

۵۲ فصل پنجم: مطالعات عددی

۵۳ ۱-۵ مقدمه

۵۳ ۲-۵ پارامترهای ورودی

۵۳ ۱-۲-۵ زاویه اصطکاک داخلی و چسبندگی

۵۴ ۲-۲-۵ مدول الاستیک، چگالی و نسبت پواسون

۵۴ ۳-۲-۵ زاویه اتساع

۵۵ ۴-۲-۵ خصوصیات مصالح شمع

۵۵ ۳-۵ نتایج تحلیل عددی بارگذاری قائم

- ۵۳-۱-۳-۵ هندسه شمع‌ها و خصوصیات خاک گروه اول ۵۵
- ۵۷-۲-۳-۵ بارگذاری قائم شمع‌های گروه اول ۵۷
- ۶۴-۳-۳-۵ بارگذاری قائم شمع‌های گروه دوم ۶۴
- ۷۰-۴-۳-۵ بارگذاری قائم شمع‌های گروه سوم ۷۰
- ۷۶-۴-۵ نتایج تحلیل عددی بارگذاری جانبی ۷۶
- ۷۷-۱-۴-۵ بارگذاری افقی شمع‌های گروه اول ۷۷
- ۸۵-۲-۴-۵ بارگذاری افقی شمع‌های گروه دوم ۸۵
- ۹۵-۳-۴-۵ بارگذاری افقی شمع‌های گروه سوم ۹۵
- ۱۰۵-۵-۵ نتایج بررسی اثر پارامترهای مختلف بر رفتار شمع در بارگذاری جانبی ۱۰۵
- ۱۰۶-۱-۵-۵ اثر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع در بارگذاری جانبی ۱۰۶
- ۱۱۲-۲-۵-۵ اثر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع در بارگذاری جانبی ۱۱۲
- ۱۱۸-۳-۵-۵ اثر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع در بارگذاری جانبی ۱۱۸
- ۱۲۴-۴-۵-۵ اثر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع در بارگذاری جانبی ۱۲۴

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۳۰

- ۱۳۱-۱-۶ نتیجه گیری ۱۳۱
- ۱۳۳-۲-۶ پیشنهادات ۱۳۳
- ۱۳۴-منابع و ماخذ ۱۳۴

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۲ وضعیت لایه‌های خاک محل مورد آزمایش ریبنیکوف.....	۸
جدول ۲-۲ نتایج مربوط به بارگذاری جانبی هر سه شمع.....	۲۷
جدول ۲-۳ مشخصات شمع‌های استفاده شده در آزمایش‌های صحرایی نبیل (۲۰۱۰).....	۳۳
جدول ۴-۱ خصوصیات خاک مورد استفاده در مدلسازی عددی نتایج ریبنیکوف.....	۴۵
جدول ۴-۲ خصوصیات بتن مورد استفاده در مدلسازی عددی نتایج ریبنیکوف.....	۴۶
جدول ۴-۳ ظرفیت باربری شمع‌های استفاده شده در مطالعات ریبنیکوف.....	۴۷
جدول ۴-۴ خصوصیات خاک و شمع مورد استفاده در مدلسازی عددی نتایج النجار.....	۵۱
جدول ۵-۱ مقادیر پیشنهادی اوریتز برای زاویه اصطکاک داخلی.....	۵۴
جدول ۵-۲ مقادیر پیشنهادی داس برای مدول الاستیک و نسبت پواسون خاک.....	۵۴
جدول ۵-۳ مقادیر پیشنهادی دی‌بورست برای زاویه اتساع خاک.....	۵۵
جدول ۵-۴ خصوصیات الاستیک مصالح شمع مورد استفاده در مدلسازی.....	۵۵
جدول ۵-۵ هندسه شمع‌های گروه اول.....	۵۶
جدول ۵-۶ پارامترهای خاک ماسه‌ای متراکم استفاده شده در مدلسازی.....	۵۷
جدول ۵-۷ پارامترهای خاک ماسه‌ای سست استفاده شده در مدلسازی.....	۵۷
جدول ۵-۸ مشخصات شمع‌های گروه دوم.....	۶۴
جدول ۵-۹ مشخصات شمع‌های گروه سوم.....	۷۰
جدول ۵-۱۰ ظرفیت باربری قائم شمع‌های گروه اول (kN).....	۷۷
جدول ۵-۱۱ ظرفیت باربری قائم شمع‌های گروه دوم.....	۸۵
جدول ۵-۱۲ ظرفیت باربری شمع‌های گروه سوم تحت بار قائم.....	۹۵
جدول ۵-۱۳ ظرفیت باربری جانبی شمع‌های گروه سوم در خاک ماسه‌ای سست.....	۱۰۱
جدول ۵-۱۴ شمع‌های مورد استفاده در تحلیل پارامتریک بارگذاری جانبی.....	۱۰۵
جدول ۵-۱۵ مشخصات خاک ماسه‌ای استفاده شده در تحلیل پارامتریک مدول الاستیک.....	۱۰۶

جدول ۵-۱۶ مشخصات خاک ماسه‌ای استفاده شده در تحلیل پارامتریک زاویه اصطکاک داخلی

۱۱۳

جدول ۵-۱۷ مشخصات خاک ماسه‌ای استفاده شده در تحلیل پارامتریک نسبت پوآسون ۱۱۹

جدول ۵-۱۸ مشخصات خاک ماسه‌ای استفاده شده در تحلیل پارامتریک زاویه اتساع ۱۲۵

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱ روش حد انحراف دیویسون برای تعیین ظرفیت باربری قائم شمع	۴.....
شکل ۱-۲ هندسه شمع‌های مورد استفاده در آزمایش‌های صحرایی ریبینیکوف	۸.....
شکل ۲-۲ نمودار فشار تماسی بر روی سطح شمع BKS-600/200 برای مراحل مختلف بارگذاری	۹.....
شکل ۲-۳ نتایج مربوط به بارگذاری شمع BKS-600/200 تحت مراحل مختلف بارگذاری	۱۱.....
شکل ۲-۴ مقایسه نتایج بارگذاری شمع برای مدول برشی مختلف خاک با نتایج حاصل از آزمایش‌های ریبینیکوف (۱۹۹۰)	۱۲.....
شکل ۲-۵ مقایسه نتایج بارگذاری شمع برای زوایای مخروط شدگی مختلف	۱۳.....
شکل ۲-۶ مقایسه نتایج بارگذاری شمع مخروطی برای تنش‌های σ_0 مختلف	۱۴.....
شکل ۲-۷ مقایسه نتایج بارگذاری شمع مخروطی برای مقادیر زاویه اصطکاک داخلی، چسبندگی و مدول برشی مختلف	۱۵.....
شکل ۲-۸ مشخصات شمع‌های مورد استفاده در آزمایش‌های النجار و وی (۱۹۹۸)	۱۶.....
شکل ۲-۹ انتقال واحد بار برای شمع در ماسه نیمه متراکم	۱۷.....
شکل ۲-۱۰ تغییرات تنش اندازه‌گیری شده با فشار محدود کننده اعمالی	۱۷.....
شکل ۲-۱۱ انتقال بار واحد میانگین در فشار (سمت چپ) و کشش (سمت راست)	۱۸.....
شکل ۲-۱۲ منحنی بارگذاری-نشست برای شمع‌های گروه اول	۲۰.....
شکل ۲-۱۳ منحنی سختی برشی در برابر میزان نشست شمع‌های گروه اول	۲۱.....
شکل ۲-۱۴ منحنی توزیع نیرو در طول جداره شمع برای شمع‌های S1a و T1a	۲۲.....
شکل ۲-۱۵ بارگذاری جانبی شمع‌ها و تاثیر فشار همه جانبه بر روی رفتار شمع	۲۵.....
شکل ۲-۱۶ تغییرات میزان ظرفیت باربری جانبی نهایی شمع‌ها در برابر فشار همه جانبه	۲۶.....
شکل ۲-۱۷ توزیع لنگر در طول شمع استوانه‌ای S برای مقادیر مختلف فشار همه جانبه	۲۷.....
شکل ۲-۱۸ توزیع لنگر در طول شمع‌های مخروطی T1 و T2 برای مقادیر مختلف فشار همه جانبه	۲۸.....

- شکل ۲-۱۹ نمودار مربوط به ماکزیمم لنگر خمشی در برابر بار جانبی..... ۲۹
- شکل ۲-۲۰ منحنی‌های مربوط به مقادیر لنگر در برابر عمق شمع..... ۳۰
- شکل ۲-۲۱ منحنی‌های مربوط به میزان مقاومت خاک برای حالت بار نهایی..... ۳۱
- شکل ۲-۲۲ نمودار مربوط به بارگذاری شمع‌ها تحت بار جانبی در آزمایش‌های نبیل (۲۰۱۰)..... ۳۳
- شکل ۲-۲۳ منحنی‌های لنگر خمشی مربوط به شمع مخروطی ۴۰٪..... ۳۴
- شکل ۳-۱ شبکه مکعبی در اطراف ربع استوانه، مورد استفاده در ساخت هندسه خاک..... ۳۷
- شکل ۳-۲ المان پوسته (شکل الف) و المان سیلندری (شکل ب) مورد استفاده در مدلسازی..... ۳۸
- شکل ۳-۳ یک چهارم شمع و خاک پیرامون آن، مورد استفاده در بارگذاری قائم شمع..... ۳۹
- شکل ۳-۴ هندسه المان سطح تماس در محل تماس شمع با خاک..... ۴۰
- شکل ۳-۵ شرایط مرزهای مجازی در مدل سازی عددی..... ۴۱
- شکل ۳-۶ رابطه بین تنش قائم و تنش برشی در مدل رفتاری موهر-کلمب..... ۴۲
- شکل ۳-۷ هندسه مدل و پارامترهای استفاده شده در مدلسازی..... ۴۳
- شکل ۴-۱ هندسه خاک و شمع مربوط به مدلسازی نتایج صحرایی ریبینیکوف..... ۴۶
- شکل ۴-۲ منحنی‌های بارگذاری مربوط به تحلیل عددی شمع‌های ریبینیکوف (۱۹۹۰)..... ۴۷
- شکل ۴-۳ منحنی بارگذاری مربوط به شمع مخروطی BKS-600/200..... ۴۸
- شکل ۴-۴ هندسه شمع پوسته‌ای مورد استفاده در آزمایش‌های النجار و وی..... ۴۹
- شکل ۴-۵ مقایسه نتایج بارگذاری آزمایشگاهی با نتایج حاصل از تحلیل عددی مربوط به شمع S..... ۵۰
- شکل ۴-۶ مقایسه نتایج بارگذاری آزمایشگاهی با نتایج حاصل از تحلیل عددی مربوط به شمع T1..... ۵۰
- شکل ۴-۷ مقایسه نتایج بارگذاری آزمایشگاهی با نتایج حاصل از تحلیل عددی مربوط به شمع T2..... ۵۱
- شکل ۵-۱-۱ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۴ متر در خاک ماسه‌ای متراکم..... ۵۸
- شکل ۵-۲ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای متراکم..... ۵۸
- شکل ۵-۳ نمودار سختی شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۴ متر در خاک ماسه‌ای متراکم..... ۵۹
- شکل ۵-۴ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای متراکم..... ۵۹

- شکل ۵-۵ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۴ متر در خاک ماسه‌ای سست ۶۰
- شکل ۵-۶ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای سست ۶۰
- شکل ۵-۷ نمودار سختی شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۴ متر در خاک ماسه‌ای سست ۶۱
- شکل ۵-۸ نمودار سختی شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای سست ۶۱
- شکل ۵-۹ مناطق پلاستیک شده در اطراف شمع مخروطی IT62 در بارگذاری قائم ۶۳
- شکل ۵-۱۰ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۰/۶ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۶۵
- شکل ۵-۱۱ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۱/۰ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۶۵
- شکل ۵-۱۲ نمودار سختی شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۰/۶ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۶۶
- شکل ۵-۱۳ نمودار سختی شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۱/۰ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۶۶
- شکل ۵-۱۴ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۰/۶ متر در خاک ماسه‌ای سست ۶۷
- شکل ۵-۱۵ نمودار بارگذاری شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۱/۰ متر در خاک ماسه‌ای سست ۶۷
- شکل ۵-۱۶ نمودار سختی شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۰/۶ متر در خاک ماسه‌ای سست ۶۸
- شکل ۵-۱۷ نمودار سختی شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۱/۰ متر در خاک ماسه‌ای سست ۶۸
- شکل ۵-۱۸ نمودار بارگذاری قائم شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۷۱
- شکل ۵-۱۹ نمودار بارگذاری قائم شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۱/۲ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۷۱
- شکل ۵-۲۰ نمودار سختی شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۷۲
- شکل ۵-۲۱ نمودار سختی شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۱/۲ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۷۲
- شکل ۵-۲۲ نمودار بارگذاری قائم شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای سست ۷۳
- شکل ۵-۲۳ نمودار بارگذاری قائم شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۱/۲ متر در خاک ماسه‌ای سست ۷۳
- شکل ۵-۲۴ نمودار سختی شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای سست ۷۴
- شکل ۵-۲۵ نمودار سختی شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۱/۲ متر در خاک ماسه‌ای سست ۷۴
- شکل ۵-۲۶ شبکه‌بندی خاک و شمع در بارگذاری افقی شمع در نرم‌افزار FLAC^{3D} ۷۶
- شکل ۵-۲۷ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۴ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۷۸

- شکل ۵- ۲۸ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۷۸
- شکل ۵- ۲۹ نمودار لنگر شمع‌های گروه اول تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای متراکم ۷۹
- شکل ۵- ۳۰ نمودار نیروی برشی در طول شمع‌های گروه اول تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای متراکم ۷۹
- شکل ۵- ۳۱ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۴ متر در خاک ماسه‌ای سست ۸۰
- شکل ۵- ۳۲ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه اول با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای سست ۸۰
- شکل ۵- ۳۳ نمودار لنگر شمع‌های گروه اول تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای سست ۸۱
- شکل ۵- ۳۴ نمودار نیروی برشی شمع‌های گروه اول تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای سست ۸۱
- شکل ۵- ۳۵ تغییر مکان جانبی شمع 1T31 (سمت راست) و 1C20 (سمت چپ) تحت بارهای جانبی ۸۴
- شکل ۵- ۳۶ مناطق پلاستیک شده در اطراف شمع استوانه‌ای 1C20 در بارگذاری جانبی ۸۴
- شکل ۵- ۳۷ مناطق پلاستیک شده در اطراف شمع مخروطی 1T31 در بارگذاری جانبی ۸۵
- شکل ۵- ۳۸ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۰/۶ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۸۶
- شکل ۵- ۳۹ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۱/۰ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۸۶
- شکل ۵- ۴۰ نمودار لنگر شمع‌های گروه دوم تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای متراکم ۸۷
- شکل ۵- ۴۱ نمودار نیروی برشی شمع‌های گروه دوم تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای متراکم ۸۷
- شکل ۵- ۴۲ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۰/۶ متر در خاک ماسه‌ای سست ۸۹
- شکل ۵- ۴۳ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه دوم با میانگین قطر ۱/۰ متر در خاک ماسه‌ای سست ۸۹
- شکل ۵- ۴۴ نمودار لنگر شمع‌های گروه دوم تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای سست ۹۰
- شکل ۵- ۴۵ نمودار نیروی برشی شمع‌های گروه دوم تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای سست ۹۰
- شکل ۵- ۴۶ نمودار تغییر مکان جانبی شمع مخروطی 2T51 (سمت راست) و شمع استوانه‌ای 2C30 (سمت چپ) تحت بار جانبی ۹۲
- شکل ۵- ۴۷ تاثیر بار قائم بر روی ظرفیت باربری جانبی شمع استوانه‌ای 2C50 در خاک ماسه‌ای متراکم ۹۳
- شکل ۵- ۴۸ تاثیر بار قائم بر روی ظرفیت باربری جانبی شمع مخروطی 2T91 در خاک ماسه‌ای متراکم ۹۳
- شکل ۵- ۴۹ تاثیر بار قائم بر روی ظرفیت باربری جانبی شمع استوانه‌ای 2C50 در خاک ماسه‌ای سست ۹۴

- شکل ۵- ۵۰ تاثیر بار قائم بر روی ظرفیت باربری جانبی شمع مخروطی 2T91 در خاک ماسه‌ای سست..... ۹۴
- شکل ۵- ۵۱ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۹۵
- شکل ۵- ۵۲ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۱/۲ متر در خاک ماسه‌ای متراکم ۹۶
- شکل ۵- ۵۳ نمودار لنگر شمع‌های گروه سوم تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای متراکم..... ۹۶
- شکل ۵- ۵۴ نمودار نیروی برشی شمع‌های گروه سوم تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای متراکم ۹۷
- شکل ۵- ۵۵ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۰/۸ متر در خاک ماسه‌ای سست ۹۹
- شکل ۵- ۵۶ نمودار بارگذاری افقی شمع‌های گروه سوم با میانگین قطر ۱/۲ متر در خاک ماسه‌ای سست ۱۰۰
- شکل ۵- ۵۷ نمودار لنگر شمع‌های گروه سوم تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای سست ۱۰۰
- شکل ۵- ۵۸ نمودار نیروی برشی شمع‌های گروه سوم تحت بار جانبی در خاک ماسه‌ای سست ۱۰۱
- شکل ۵- ۵۹ منحنی‌های تغییر مکان جانبی شمع 3C60 (سمت چپ) و 3T102 (سمت راست)..... ۱۰۴
- شکل ۵- ۶۰ تاثیر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع استوانه‌ای 1C40 تحت بارگذاری جانبی ۱۰۷
- شکل ۵- ۶۱ تاثیر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع مخروطی 1T21 تحت بارگذاری جانبی ۱۰۷
- شکل ۵- ۶۲ تاثیر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع مخروطی 1T53 تحت بارگذاری جانبی ۱۰۸
- شکل ۵- ۶۳ تاثیر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع مخروطی 1T71 تحت بارگذاری جانبی ۱۰۸
- شکل ۵- ۶۴ تاثیر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع استوانه‌ای 3C60 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۰
- شکل ۵- ۶۵ تاثیر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع مخروطی 3T53 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۰
- شکل ۵- ۶۶ تاثیر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع مخروطی 3T75 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۱
- شکل ۵- ۶۷ تاثیر مدول الاستیک بر روی رفتار شمع مخروطی 3T102 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۱
- شکل ۵- ۶۸ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع استوانه‌ای 1C40 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۳
- شکل ۵- ۶۹ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع مخروطی 1T21 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۴
- شکل ۵- ۷۰ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع مخروطی 1T53 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۴
- شکل ۵- ۷۱ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع مخروطی 1T71 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۵
- شکل ۵- ۷۲ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع استوانه‌ای 3C60 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۶

- شکل ۵- ۷۳ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع مخروطی 3T53 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۶
- شکل ۵- ۷۴ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع مخروطی 3T75 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۷
- شکل ۵- ۷۵ تاثیر زاویه اصطکاک داخلی بر روی رفتار شمع مخروطی 3T102 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۷
- شکل ۵- ۷۶ تاثیر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع استوانه‌ای 1C40 تحت بارگذاری جانبی ۱۱۹
- شکل ۵- ۷۷ تاثیر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع مخروطی 1T21 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۰
- شکل ۵- ۷۸ تاثیر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع مخروطی 1T53 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۰
- شکل ۵- ۷۹ تاثیر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع مخروطی 1T71 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۱
- شکل ۵- ۸۰ تاثیر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع استوانه‌ای 3C60 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۲
- شکل ۵- ۸۱ تاثیر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع مخروطی 3T53 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۲
- شکل ۵- ۸۲ تاثیر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع مخروطی 3T75 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۳
- شکل ۵- ۸۳ تاثیر نسبت پواسون بر روی رفتار شمع مخروطی 3T102 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۳
- شکل ۵- ۸۴ رابطه زاویه اتساع با نتایج حاصل از آزمایش سه محوره ۱۲۴
- شکل ۵- ۸۵ تاثیر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع استوانه‌ای 1C40 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۵
- شکل ۵- ۸۶ تاثیر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع مخروطی 1T21 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۶
- شکل ۵- ۸۷ تاثیر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع مخروطی 1T53 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۶
- شکل ۵- ۸۸ تاثیر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع مخروطی 1T71 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۷
- شکل ۵- ۸۹ تاثیر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع استوانه‌ای 3C80 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۷
- شکل ۵- ۹۰ تاثیر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع مخروطی 3T53 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۸
- شکل ۵- ۹۱ تاثیر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع مخروطی 3T75 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۸
- شکل ۵- ۹۲ تاثیر زاویه اتساع بر روی رفتار شمع مخروطی 3T102 تحت بارگذاری جانبی ۱۲۹

فصل اول

کلیاتی در مورد شمع‌ها

۱-۱ مقدمه

از شمع‌ها در محل‌هایی استفاده می‌شود که پی‌های سطحی قادر به تحمل بار وارده از سازه نباشند، و یا در مکان‌هایی که مسئله نشست سازه مهم باشد پی‌های شمعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین در جاهایی که خاک سطح زمین سست می‌باشد، نیاز به استفاده از شمع برای انتقال بار به لایه‌های متراکم تر خاک در زیر زمین است.

استفاده از شمع‌های با مقطع ثابت در طول شمع و شکل‌های مختلف، در عمل کاربرد فراوانی دارد. شمع‌های مخروطی به علت مطالعات کمتر موجود در مورد آنها و همچنین نبودن معیار طراحی مناسب، کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بررسی‌ها و مطالعاتی که در این زمینه وجود دارد، حاکی از برتری نسبی شمع‌های مخروطی نسبت به نمونه‌های استوانه‌ای است.

در این پژوهش رفتار این گونه شمع‌ها تحت بارگذاری استاتیکی قائم و جانبی و همچنین شرایط مختلف خاک پیرامون شمع مورد بررسی قرار گرفته است. این تحلیل‌ها با استفاده از روش تفاضل محدود و به وسیله نرم‌افزار $FLAC^{3D}$ ^۱ انجام گرفته شده است.

۲-۱ موارد مورد بررسی در مطالعات عددی

در این پژوهش و در بارگذاری قائم شمع، مواردی از قبیل ظرفیت باربری^۲ قائم و سختی قائم^۳ شمع مورد بررسی قرار گرفته شده است. در حالت بارگذاری افقی شمع علاوه بر ظرفیت باربری جانبی، مقادیر لنگر خمشی و نیروی برشی در طول شمع نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در آخر نیز اثرات پارامترهای مختلف خاک بر روی رفتار خاک و ظرفیت باربری شمع مورد تحلیل قرار گرفته است. در تمامی این حالات، نتایج بارگذاری شمع استوانه‌ای و مخروطی با هم مقایسه شده‌اند.

1 - Fast Lagrangian Analysis of Continuum 3 Dimensions

2 - Bearing Capacity

3 - Secant Stiffness

۳-۱ تفسیر نتایج بارگذاری شمع

برای تعیین ظرفیت باربری قائم شمع روش‌های مختلفی وجود دارد. ظرفیت باربری برابر است با مجموع مقاومت نهایی خاک در برابر شمع، که از رفتار بارگذاری - جابجایی اندازه‌گیری شده در آزمایش بارگذاری استاتیکی شمع به دست می‌آید. یکی از قدیمی‌ترین تعریف‌ها از ظرفیت باربری، که به ترزاقی^۱ نسبت داده می‌شود، میزان باری است که در آن سر شمع به اندازه ۱۰٪ قطر شمع جابجا شود، و یا میزان باری که سر شمع به اندازه ۱/۵ اینچ جابجا شود. چنین تعریفی کوتاه شدن الاستیکی شمع، که در شمع‌های بلند قابل توجه است، را در نظر نمی‌گیرد.

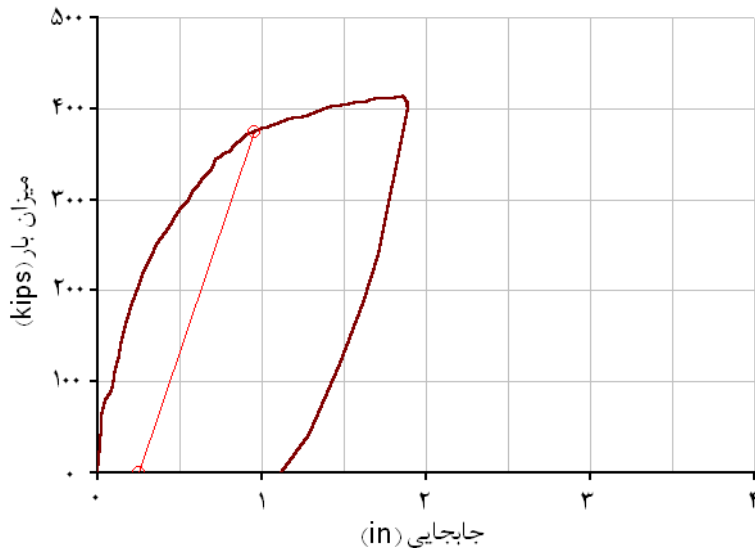
فلنیوس^۲ (۱۹۷۵-۱۹۸۰) ۹ تعریف مختلف از ظرفیت باربری شمع بر اساس منحنی بارگذاری - جابجایی ثبت شده از آزمایشات بارگذاری استاتیکی ارائه کرد. پنج تعریف از این نه تعریف دارای کاربرد بیشتری هستند که عبارتند از، حد انحراف دیویسون، بار نهایی هانسن، روش برونیابی چن - کوندنر، روش برونیابی دکارت و حد تسلیم دی بیر. حد ششم، نقطه انحنه ماکزیمم است. در این جا از روش دیویسون به علت آسان بودن برای تخمین ظرفیت باربری شمع در بارگذاری قائم استفاده شده است. در زیر این روش شرح داده شده است. [۱]

روش حد انحراف که توسط دیویسون^۳ (۱۹۷۲) ارائه شد در شکل (۱-۱) نشان داده شده است. این شکل نتایج بارگذاری - جابجایی حاصل از بارگذاری استاتیکی انجام شده بر روی شمع بتنی به قطر ۱۲ اینچ را نشان می‌دهد. بار حد دیویسون برابر با میزان باری است که از محل برخورد خطی که از مبدا مختصات به فاصله ۰/۱۵ اینچ (۴ میلیمتر) به علاوه فاکتور قطر شمع تقسیم بر عدد ۱۲۰، و با شیب قسمت الاستیک اولیه نمودار بارگذاری رسم می‌شود و منحنی بارگذاری به دست می‌آید. برای نمونه شمع با قطر ۱۲ اینچ میزان انحراف برابر با ۰/۲۵ اینچ (۶ میلیمتر) و حد بار برابر با ۳۷۵ kips (۱۶۶۸ kN) است. [۱]

1 - Terzaghi

2 - Fellenius

3 - Davisson



شکل ۱-۱ روش حد انحراف دیویسون برای تعیین ظرفیت باربری قائم شمع [۱]

$$\text{OFFSET (inches)} = 0.15 + \frac{b}{120} \quad (1-1)$$

$$\text{OFFSET (mm)} = 4 + \frac{b}{120} \quad (2-1)$$

در این روابط b قطر شمع است. باید توجه کرد که بار حد انحراف لزوماً بار نهایی نیست. این روش بر اساس این فرض که ظرفیت باربری برابر در جابجایی کوچک معین نوک شمع به دست می‌آید، است و سعی می‌شود این جابجایی با توجه به سختی شمع (طول و قطر) به دست آید. در بارگذاری جانبی شمع، با توجه به این که معیار معینی برای ظرفیت باربری تعریف نشده است و ظرفیت باربری شمع با توجه به شرایط سازه واقع بر روی شمع و به صورت میزان نیرویی که جابجایی مشخص در سر شمع ایجاد کند، بیان می‌شود. از این رو در تحلیل جانبی شمع‌ها منحنی‌های بارگذاری شمع در یک جابجایی مشخص با هم مقایسه می‌شود. النجار^۱ در مطالعات خود نیروی مربوط به میزان جابجایی 60 mm را به عنوان ظرفیت باربری شمع در نظر گرفت. در این جا نیز از چنین تعریفی برای ظرفیت باربری جانبی استفاده می‌کنیم.

1 - M. Hesham El Naggar