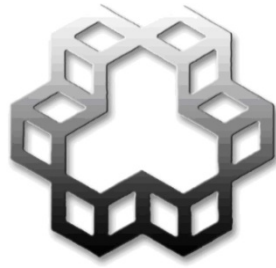


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
دانشکده عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد

کرایش ژئوتکنیک

محاسبه ضریب اندرکنش شمع - خاک - شمع

برای شمع با مقطع متغیر

زیر نظر استاد:

دکتر محمود قضاوی

به کوشش:

عباس شیخی نژاد (۸۵۰۳۲۷۴)

چکیده:

در صورت کافی نبودن ظرفیت باربری خاک های سطحی می توان به عنوان یک گزینه برای انتقال بار به خاک مناسب در اعماق پایین تر، از شالوده های عمیق (شمع ها) استفاده کرد، که اغلب به صورت گروه به کار می روند. استفاده قابل توجه از گروه شمع در عصر حاضر، با وجود هزینه و زمان اجرای بیشتر در مقایسه با شالوده های سطحی، تحقیقات بیشتری را در این زمینه طلب می کند. برای تحلیل عملکرد گروه شمع، تعیین اندرکنش شمع- خاک- شمع به دلیل نزدیک بودن فاصله شمع ها در گروه ضروری است. در این پژوهش سعی شده است که یک روش ساده و دارای اعتبار قابل قبول و در عین حال دارای کمترین میزان فرضیات ساده کننده، به منظور نزدیک شدن هر چه بیشتر به واقعیت موضوع جهت محاسبه ضریب اندرکنش استاتیکی شمع- خاک- شمع برای شمع با مقطع متغیر یکنواخت (شمع باریک شونده) با در نظر گرفتن اثر حضور شمع دوم (دریافت کننده) جهت استفاده از این ضریب برای شمع های اصطکاکی و اتکایی از نوع صلب و انعطاف پذیر ارائه شود بدین منظور از سه روش راندولف، روش لی و همچنین استفاده از مدل پیوسته در روش فنر وینکلر استفاده شده است. در روش راندولف اثر حضور شمع دوم در نظر گرفته نشده است و نشست شمع دوم به صورت مجموع دو نشست شمع تحت اثر بار خود آن و نشست خاک در محل حضور آن شمع در اثر اعمال بار به شمع مجاور می باشد. در روش لی با استفاده از تئوری مربوط به فنرهای سری و موازی شمع و خاک به صورت فنرهای مدل می شوند. در مدل پیوسته ابتدا معادله دیفرانسیل تعادل نیرو برای یک شمع در مجاورت شمع دیگر با طول، مقطع و مصالح یکسان که تحت تاثیر بار قائم استاتیکی می باشد، نوشته می شود پس از حل معادله دیفرانسیل و اعمال شرایط مرزی بسته به اصطکاکی یا اتکایی بودن شمع، نشست سر شمع بدون بار محاسبه می شود. که از نسبت این نشست به نشست همان شمع تحت بار قائم استاتیکی ضریب اندرکنش شمع- خاک- شمع برای شمع با مقطع متغیر (شمع مخروطی) بدست می آید.

فهرست مطالب:

فصل اول: پیشگفتار:

- ۱-۱- مقدمه..... ۲
- ۲-۱- بیان مسئله..... ۴
- ۳-۱- اهمیت مسئله..... ۵
- ۴-۱- اهداف پایان نامه..... ۷
- ۵-۱- ساختار پایان نامه..... ۷

فصل دوم : مروری بر ادبیات موضوع :

- ۱-۲- مقدمه..... ۱۰
- ۲-۲- نشست شمع منفرد با مقطع ثابت (شمع یکنواخت) تحت بار قائم استاتیکی..... ۱۰
- ۱-۲-۲- نشست شمع صلب (*Rigid Piles*)..... ۱۰
- ۱-۲-۲-۱- اندرکنش نوک شمع با خاک لایه بالا..... ۱۲
- ۱-۲-۲-۱- اندرکنش نوک شمع با خاک لایه پائین..... ۱۳
- ۲-۲-۲-۱- ترکیب بار انتقالی توسط تنه و نوک شمع..... ۱۳
- ۲-۲-۲- نشست شمع با قابلیت فشردگی..... ۱۴
- ۳-۲- نشست شمع منفرد با مقطع متغیر تحت بار قائم استاتیکی..... ۱۵
- ۱-۳-۲- روش قضاوی (۲۰۰۸)..... ۱۵
- ۱-۳-۲-۱- شمع‌های صلب (*Rigid Piles*)..... ۱۶
- ۲-۳-۲-۱- با قابلیت فشردگی (*Compressible Piles*)..... ۱۹
- ۳-۳-۲-۱- مقایسه دقت روش دکتر قضاوی با روش‌های عددی..... ۲۴
- ۴-۲- عملکرد محوری شمع‌های مخروطی با استفاده از آزمایشات سانتریفیوژ در خاک غیر چسبنده..... ۲۶
- ۱-۴-۲- مقدمه..... ۲۶
- ۲-۴-۲- هدف کار..... ۲۶
- ۳-۴-۲- مدل سازی سانتریفیوژ..... ۲۷
- ۴-۴-۲- مواد و روش انجام آزمایش..... ۲۸

۲۹	.....	۵-۴-۲- نمونه‌های ماسه
۲۹	.....	۶-۴-۲- شمع‌های مدل
۳۰	.....	۷-۴-۲- روش آزمایش
۳۲	.....	۸-۴-۲- نتایج آزمایش
۳۲	.....	۱-۸-۴-۲- منحنی‌های بار- نشست
۳۲	.....	۲-۸-۴-۲- گروه ۱ آزمایشات
۳۳	.....	۳-۸-۴-۲- گروه ۲ آزمایشات
۳۴	.....	۴-۸-۴-۲- گروه ۳ آزمایشات
۳۵	.....	۹-۴-۲- تخمین ظرفیت باربری شمع
۴۱	.....	۱۰-۴-۲- ظرفیت شفت و نوک
۴۲	.....	۱۱-۴-۲- سختی فوقانی شمع
۴۳	.....	۱۲-۴-۲- توزیع بار
۴۴	.....	۱۳-۴-۲- مقادیر اصطکاک پوسته
۵۰	.....	۱۴-۴-۲- مقاومت شفت شمع‌های مخروطی
۵۱	.....	۱۵-۴-۲- مقایسه نتایج با راه حل‌های تحلیلی
۵۵	.....	۱۶-۴-۲- روش طراحی شمع‌های مخروطی
۵۹	.....	۱۷-۴-۲- خلاصه و نتیجه‌گیری
۶۰	.....	۵-۲- محاسبه نشست گروه شمع با مقطع ثابت
۶۰	.....	۱-۵-۲- روش Randolph (۱۹۷۹)
۶۲	.....	۱-۱-۵-۲- اندرکنش گروه شمع
۶۳	.....	۲-۵-۲- روش Lee (۱۹۹۳)
۶۸	.....	۳-۵-۲- روش Gazetas&Mylonakis (۱۹۹۱)

فصل سوم: محاسبه ضریب اندرکنش شمع - خاک - شمع برای شمع با مقطع متغیر :

۷۴	۱-۳- مقدمه
----	-------	------------

۷۴.....	۲-۳- محاسبه ضریب اندرکنش برای شمع صلب.....
۷۴.....	۱-۲-۳- نشست شمع منفرد با مقطع متغیر تحت اثر بار خودش.....
۷۵.....	۲-۲-۳- نشست دو شمع مجاور با مقطع متغیر.....
۸۱.....	۳-۲-۳- مطالعات پارامتریک.....
۸۵.....	۳-۳- اندرکنش شمع باریک شونده با قابلیت فشرده‌گی.....
۸۶.....	۱-۳-۳- روش اول.....
۹۳.....	۲-۳-۳- روش دوم.....
۱۰۵.....	۳-۳-۳- روش سوم.....

فصل چهارم : مدل سازی و صحت سنجی عددی :

۱۲۰.....	۱-۴- مقدمه.....
۱۲۱.....	۲-۴- انتخاب نرم افزار.....
۱۲۱.....	۳-۴- معرفی کلی نرم‌افزار <i>FLAC3D</i>
۱۲۲.....	۴-۴- الگوریتم حل مسائل با نرم افزار <i>FLAC3D</i>
۱۲۴.....	۵-۴- نحوه مدل‌سازی دو شمع مجاور مخروطی بوسیله نرم افزار <i>FLAC3D</i>
۱۲۷.....	۶-۴- مشخصات مصالح شمع‌ها و جنس خاک و لایه‌های خاک.....
۱۲۸.....	۷-۴- شرایط مرزی.....
۱۲۹.....	۸-۴- صحت سنجی رابطه بار- تغییر مکان Ghazavi (۲۰۰۸) برای شمع مخروطی تکی.....
۱۳۰.....	۹-۴- بررسی حالات مختلف حضور و عدم حضور شمع دوم.....
۱۳۳.....	۱-۹-۴- حالت (I).....
۱۳۵.....	۲-۹-۴- حالت (II).....
۱۳۶.....	۳-۹-۴- حالت (III).....
۱۳۹.....	۱۰-۴- صحت سنجی عددی.....
۱۳۹.....	۱-۱۰-۴- شمع‌های صلب.....
۱۳۹.....	۲-۱۰-۴- مقایسه دقت روش تحلیلی با روش عددی برای شمع‌های صلب.....

- ۱۴۰.....۳-۱۰-۴- شمعه‌های انعطاف پذیر.....
- ۱۴۱.....۱-۳-۱۰-۴- روش اول.....
- ۱۴۲.....۲-۳-۱۰-۴- روش دوم.....
- ۱۴۳.....۳-۳-۱۰-۴- روش سوم.....
- ۱۴۵.....۴-۱۰-۴- مقایسه کلی و نتیجه گیری.....

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهاد:

- ۱۴۷.....۱-۵- پیشگفتار.....
- ۱۴۷.....۲-۵- خلاصه کارهای انجام شده.....
- ۱۴۸.....۳-۵- پیشنهاد برای ادامه کار.....
- ۱۵۰.....مراجع.....

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲- چگونگی تقسیم خاک به دو لایه و تغییر شکل لایه‌ها..... ۱۱
- شکل ۲-۲- تغییر شکل خاک به صورت استوانه‌های هم‌مر..... ۱۲
- شکل ۳-۲- شمع واقعی و شمع معادل..... ۱۷
- شکل ۴-۲- تنش و نیرو بر یک المان شمع با مقطع متغیر..... ۱۷
- شکل ۵-۲- (a) تنش‌ها بر روی المان شمع واقعی، (b) تنش‌های معادل موثر بر صفحه قائم p..... ۲۱
- شکل ۷-۲- مقایسه دقت نتایج بدست آمده از روش دکتر قضاوی و روش عددی، $\delta=1$ ۲۸
- شکل ۸-۲- مقایسه دقت نتایج بدست آمده از روش موجود و روش عددی، $\delta=1.5$ ۲۸
- شکل ۹-۲- هندسه و تعداد کرنش‌سنج‌های استفاده در شمع..... ۳۳
- شکل ۱۰-۲- منحنی‌های بار-نشست آزمایشات اولیه بارگذاری فشاری (a) شمع‌های مجهز S1a و T1a؛ (b) شمع‌های غیر مجهز S1b و T1b. قطر متوسط شمع و L طول شمع..... ۳۶
- شکل ۱۱-۲- منحنی‌های بار-نشست آزمایشات اولیه بارگذاری فشاری (a) شمع‌های مجهز S1a و T1a؛ (b) شمع‌های غیر مجهز S1b و T1b. قطر متوسط شمع و L طول شمع..... ۳۶
- شکل ۱۲-۲- منحنی‌های بار-نشست آزمایشات اولیه بارگذاری فشاری (a) شمع‌های مجهز S2a و T2a؛ (b) شمع‌های غیر مجهز S2b و T2b..... ۳۷
- شکل ۱۳-۲- سختی متقاطع در مقابل منحنی‌های نشست از گروه ۱ آزمایشات: (a) شمع‌های مجهز S1a و T1a؛ (b) شمع‌های غیر مجهز S1b و T1b..... ۴۲
- شکل ۱۴-۲- سختی متقاطع در مقابل منحنی‌های نشست از گروه ۲ آزمایشات: (a) شمع‌های مجهز S2a و T2a؛ (b) شمع‌های غیر مجهز S2b و T2b..... ۴۳
- شکل ۱۵-۲- سختی متقاطع در مقابل منحنی‌های نشست از گروه ۳ آزمایشات: (a) شمع‌های مجهز S3a و T3a؛ (b) شمع‌های غیر مجهز S3b و T3b..... ۴۳
- شکل ۱۶-۲- توزیع بار در طول شفت شمع بعلت بار قابل مقایسه اعمال شده در بالای شمع S1a و T1a در سطوح مختلف بارگذاری..... ۴۶

- شکل ۲-۱۷- توزیع بار در طول شفت شمع بعلت بار فشاری اعمال شده در بالای شمع S2a و T2a در سطوح مختلف بارگذاری.....۴۸
- شکل ۲-۱۸- توزیع بار در طول شفت شمع بعلت بار فشاری اعمال شده در بالای شمع S3a و T3a در سطوح مختلف بارگذاری.....۴۸
- شکل ۲-۱۹- توزیع بار در طول شفت شمع بعلت بار فشاری اعمال شده در بالای شمع: (a) شمع S1a ؛ (b) شمع T1a۴۹
- شکل ۲-۲۰- توزیع بار در طول شفت شمع بعلت بار فشاری اعمال شده در بالای شمع: (a) شمع S2a ؛ (b) شمع T2a۵۰
- شکل ۲-۲۱- توزیع بار در طول شفت شمع بعلت بار فشاری اعمال شده در بالای شمع: (a) شمع S3a ؛ (b) شمع T3a۵۱
- شکل ۲-۲۲- منحنی های اصطکاک پوسته برای شمع های آزمایش شده در بار نهایی: (a) شمع های S1a و T1a ؛ (b) شمع های S2a و T2a ؛ (c) شمع های S3a و T3a۵۱
- شکل ۲-۲۳- منحنی های اصطکاک پوسته برای شمع های T1a ، T2a و T3a در بار نهایی شمع.....۵۲
- شکل ۲-۲۴- ضریب مخروط در مقابل فشار سربار موثر برای شمع های مخروطی آزمایش شده در مقایسه.....۵۶
- شکل ۲-۲۵- مقایسه مقادیر ضریب مخروط K_f محاسبه شده از نتایج آزمایشگاهی با مقادیر تئوریک : (a) شمع T1a ؛ (b) شمع T2a ؛ (c) شمع T3a۵۹
- شکل ۲-۲۶- ضرایب K_f تئوری بسط داده شده مخروط برای $K_s=0.5$, 1 و $(\delta = 30^\circ, S_r = 0.1)$۶۱
- شکل ۲-۲۷- مقایسه نشست واقعی و نشست محاسبه شده توسط روش راندلف.....۶۱
- شکل ۲-۲۸- تاثیر فاصله شمع ها و نسبت سختی شمع به خاک در خاک همگن.....۶۵
- شکل ۲-۲۹- مقایسه توزیع بار گروه شمع ۲×۲ و ۳ شمع و ۲ شمع در خاک گیبسون.....۶۷
- شکل ۲-۳۰- مقایسه توزیع بار گروه شمع ۳×۳ در خاک گیبسون.....۶۷
- شکل ۲-۳۱- مقایسه توزیع بار گروه شمع ۴×۴ در خاک گیبسون.....۶۸
- شکل ۲-۳۲- شمای کلی گامهای روش جز تاس.....۶۹
- شکل ۲-۳۳- تغییرات تابع f را نسبت به مقادیر مختلف μ و سختی بدون بعد نوک شمع.....۷۲
- شکل ۳-۱- شمع با مقطع متغیر خطی و پلکانی.....۷۷
- شکل ۳-۲- تاثیر فاصله محور به محور بین شمع ها بر نسبت بار- تغییر مکان برای ۳ گروه مختلف شمع صلب مخروطی.....۸۳
- شکل ۳-۳- تاثیر فاصله محور به محور بین شمع ها بر ضریب اندرکنش برای ۳ گروه مختلف شمع صلب مخروطی.....۸۳
- شکل ۳-۴- تاثیر فاصله محور به محور بین شمع ها و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش شمع صلب مخروطی.....۸۴
- شکل ۳-۵- تاثیر طول شمع بر نسبت بار- تغییر مکان برای ۳ گروه مختلف شمع صلب مخروطی.....۸۴
- شکل ۳-۶- تاثیر طول شمع بر ضریب اندرکنش برای ۳ گروه مختلف شمع صلب مخروطی.....۸۵
- شکل ۳-۷- تاثیر زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای ۳ گروه مختلف شمع صلب مخروطی.....۸۵

- شکل ۳-۹- تاثیر زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع صلب مخروطی.....۸۶
- شکل ۳-۱۲- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش اول).....۹۱
- شکل ۳-۱۳- تاثیر طول شمع و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش اول).....۹۱
- شکل ۳-۱۴- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و طول شمع بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش اول).....۹۲
- شکل ۳-۱۵- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و نسبت سختی شمع به خاک بر ضریب اندرکنش برای شمع مخروطی(روش اول).....۹۳
- شکل ۳-۱۶- تاثیر نسبت سختی شمع به خاک و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع مخروطی(روش اول).....۹۳
- شکل ۳-۱۷- تاثیر نسبت سختی شمع به خاک و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع مخروطی(روش اول).....۹۳
- شکل ۳-۱۸- تاثیر نسبت سختی شمع به خاک و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع مخروطی(روش اول).....۹۴
- شکل ۳-۱۹- تاثیر نسبت پواسون خاک بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی (روش اول).....۹۴
- شکل ۳-۲۰- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی (روش دوم).....۱۰۰
- شکل ۳-۲۱- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و زاویه مخروط بر نسبت بار- تغییر مکان برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش دوم).....۱۰۰
- شکل ۳-۲۲- تاثیر طول شمع و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش دوم).....۱۰۱
- شکل ۳-۲۳- تاثیر نسبت پواسون خاک بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش دوم).....۱۰۱
- شکل ۳-۲۴- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و طول شمع بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش دوم).....۱۰۲
- شکل ۳-۲۵- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و طول شمع بر نسبت بار- تغییر مکان برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش دوم).....۱۰۲
- شکل ۳-۲۶- تاثیر نسبت سختی شمع به خاک و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش دوم).....۱۰۳
- شکل ۳-۲۷- تاثیر نسبت سختی شمع به خاک و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی(روش دوم).....۱۰۳
- شکل ۳-۲۸- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و نسبت سختی شمع به خاک بر ضریب اندرکنش برای شمع مخروطی(روش دوم).....۱۰۴
- شکل ۳-۲۹- تاثیر طول شمع و نسبت سختی شمع به خاک بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی (روش دوم).....۱۰۴
- شکل ۳-۳۰- مقایسه ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی با شمع هم حجم دارای مقطع یکنواخت (روش دوم).....۱۰۵
- شکل ۳-۳۱- مقایسه ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی با شمع هم حجم دارای مقطع یکنواخت (روش دوم).....۱۰۵
- شکل ۳-۳۲- مقایسه ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی در صورت حضور و عدم حضور شمع دوم (روش دوم).....۱۰۶
- شکل ۳-۳۳- مقایسه ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی در صورت حضور و عدم حضور شمع دوم۱۰۷

- شکل ۳-۳۴- تاثیر فاصله بین شمع‌ها و زاویه مخروط بر بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی (روش دوم)..... ۱۰۷
- شکل ۳-۳۵- استفاده از مدل پیوسته برای شمع و فنر وینکلر برای اندرکنش شمع - خاک - شمع..... ۱۰۸
- شکل ۳-۳۶- مقایسه تاثیر طول شمع بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی با ۳ روش مختلف تحلیلی..... ۱۱۸
- شکل ۳-۳۷- مقایسه تاثیر فاصله بین شمع‌ها بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی با ۳ روش مختلف تحلیلی..... ۱۱۸
- شکل ۳-۳۸- تاثیر زاویه مخروط و نسبت سختی شمع به خاک بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر مخروطی..... ۱۱۹
- شکل ۳-۳۹- تاثیر نسبت سختی شمع به خاک و زاویه مخروط بر ضریب اندرکنش برای شمع انعطاف پذیر..... ۱۲۰
- شکل ۴-۱- الگوریتم مدل سازی در *FLAC3D*..... ۱۵۳
- شکل ۴-۲- هندسه دو شمع مجاور و نحوه قرار گیری آنها در کنار هم..... ۱۵۴
- شکل ۴-۳- نحوه مدل سازی ربع مدل..... ۱۵۵
- شکل ۴-۴- مدل سازی نصف مدل..... ۱۵۵
- شکل ۴-۵- نمای بالای مدل سازی ۲ شمع با مقطع متغیر کنار هم..... ۱۵۶
- شکل ۴-۶- نمای سه بعدی قرار گیری دو شمع با مقطع متغیر در کنار هم در خاک رس..... ۱۵۶
- شکل ۴-۷- شکل سه بعدی از نحوه مدل سازی دو شمع مجاور در خاک رس..... ۱۵۷
- شکل ۴-۸- شرایط مرزی مربوط به دو شمع با مقطع متغیر در کنار هم (نمای X-Z)..... ۱۵۹
- شکل ۴-۹- شرایط مرزی مربوط به دو شمع با مقطع متغیر در کنار هم (نمای Y-Z)..... ۱۵۹
- شکل ۴-۱۰- مقایسه دقت روش Ghazavi (۲۰۰۸) و روش عددی برای شمع مخروطی با مشخصات جدول (۲-۴)..... ۱۶۰
- شکل ۴-۱۱- حالت اول حضور تنها یک شمع..... ۱۶۱
- شکل ۴-۱۲- حالت دوم حضور دو شمع که تنها یکی از آنها بارگذاری شده..... ۱۶۱
- شکل ۴-۱۳- حالت سوم حضور دو شمع که هر دو بارگذاری شده..... ۱۶۲
- شکل ۴-۱۴- تغییرات نشست شمع اول در طول ۲۰۰۰۰ step (حالت اول)..... ۱۶۳
- شکل ۴-۱۵- تغییرات نشست شمع دوم در طول ۲۰۰۰۰ step (حالت اول)..... ۱۶۴
- شکل ۴-۱۶- تغییرات نیروی Unbalance Force در طول ۲۰۰۰۰ step..... ۱۶۴
- شکل ۴-۱۷- تغییرات نشست شمع اول در طول ۲۰۰۰۰ step (حالت دوم)..... ۱۶۵
- شکل ۴-۱۸- تغییرات نشست شمع دوم در طول ۲۰۰۰۰ step (حالت دوم)..... ۱۶۵
- شکل ۴-۱۹- تغییرات نیروی Unbalance Force در طول ۲۰۰۰۰ step..... ۱۶۶

- شکل ۴-۲۰- تغییرات نشست شمع اول در طول ۲۰۰۰۰ step (حالت سوم)..... ۱۶۷
- شکل ۴-۲۱- تغییرات نشست شمع دوم در طول ۲۰۰۰۰ step (حالت سوم)..... ۱۶۷
- شکل ۴-۲۲- تغییرات نیروی Unbalance Force در طول ۲۰۰۰۰ step ۱۶۸
- شکل ۴-۲۳- مقایسه دقت روش تحلیلی با روش عددی و تاثیر فاصله بین دو شمع‌ها بر ضریب اندرکنش برای شمع‌های صلب..... ۱۷۰
- شکل ۴-۲۴- مقایسه دقت روش تحلیلی با روش عددی و تاثیر طول شمع بر ضریب اندرکنش برای شمع‌های صلب..... ۱۷۰
- شکل ۴-۲۵- مقایسه دقت روش Rondolph (۱۹۷۸) با روش عددی و تاثیر فاصله شمع‌ها بر ضریب اندرکنش..... ۱۷۱
- شکل ۴-۲۶- مقایسه دقت روش Rondolph (۱۹۷۸) با روش عددی و تاثیر طول شمع بر ضریب اندرکنش..... ۱۷۲
- شکل ۴-۲۷- مقایسه دقت روش Lee (۱۹۷۸) با روش عددی و تاثیر طول شمع بر ضریب اندرکنش ۱۷۲
- شکل ۴-۲۸- مقایسه دقت روش Lee (۱۹۷۸) با روش عددی و تاثیر فاصله بین دو شمع‌ها بر ضریب اندرکنش..... ۱۷۳
- شکل ۴-۲۹- مقایسه دقت روش Gazetas&Mylonakis (۱۹۹۱) با روش عددی و تاثیر طول شمع بر ضریب اندرکنش ۱۷۳
- شکل ۴-۳۰- مقایسه دقت روش Gazetas&Mylonakis (۱۹۹۱) با روش عددی و تاثیر فاصله بین دو شمع‌ها بر ضریب اندرکنش..... ۱۷۴
- شکل ۴-۳۱- مقایسه دقت ۳ روش تحلیلی و روش عددی با حالت عدم حضور شمع دوم..... ۱۷۵
- شکل ۴-۳۲- مقایسه تاثیر سختی حضور شمع دوم بر ضریب اندرکنش شمع- خاک - شمع با روش عددی..... ۱۷۵

فهرست جداول:

- جدول ۱-۲- مشخصات ماسه سیلیکای سفید AI ۲۷
- جدول ۲-۲- ظرفیت برشی نهایی شمع‌های آزمایش شده تعیین شده از دو معیار شکست ۳۶
- جدول ۳-۲- مقایسه ظرفیت محوری شمع ۳۸
- جدول ۴-۲- ضرایب زبری برای شمع های مجهز ۳۹
- جدول ۵-۲- مقاومت نهایی نوک و شفت شمع های آزمایش شده ۳۹
- جدول ۶-۲- ثابتهای سختی شمع های آزمایش شده مختلف ۴۱
- جدول ۷-۲- مقایسه ظرفیت اندازه گیری شده و محاسبه شده از شمع های آزمایش شده ۵۷
- جدول ۸-۲- مقایسه نتایج روش لی با روشهای راندلف، داگلاس، پولوس ۹۰
- جدول ۹-۲- مقایسه دقت روش لی با سایر روش‌ها ۹۰
- جدول ۱-۴- مشخصات شمع و خاک مورد مطالعه در روش عددی ۱۵۷
- جدول ۲-۴- مشخصات شمع و خاک (مدول بالک و مدول برشی) ۱۵۸
- جدول ۳-۴- انواع شمع مورد مطالعه در روش عددی ۱۶۲

فصل اول

پیشگفتار

فصل اول

۱-۱- مقدمه

بار تمام سازه‌های مهندسی متکی بر زمین باید توسط نوعی عنصر واسطه‌ای به نام پی تحمل شود. پی بخشی از یک سیستم مهندسی است که بارهای اعمال شده توسط سازه و وزن خود را به خاک یا سنگ زیرین خود انتقال می‌دهد.

پی‌های مورد استفاده در ساختمان‌ها و دیگر ابنیه فنی را می‌توان از جهات مختلف طبقه بندی نمود. به عنوان مثال از نظر مصالح تشکیل دهنده انواع زیر قابل قبول است.

- مصالح بنایی
- بتنی غیر مسلح
- بتنی مسلح یا پیش تنیده
- فلزی
- چوبی

و همچنین می‌توان پی‌ها را بر حسب عرض و عمق قرارگیری آنها در خاک به ترتیب زیر طبقه بندی کرد.

- سطحی
- نیمه عمیق
- عمیق

اگر طول و عرض پی به ترتیب با L و B و عمق پی (کمترین فاصله کف پی از سطح زمین) با D نشان داده شود، بنا بر قرارداد برای پی‌های سطحی نسبت $\frac{D}{L}$ همواره کمتر از ۴، برای پی‌های نیمه عمیق بین ۴ تا ۱۰ و برای پی‌های عمیق بیش از ۱۰ می‌باشد.

۱-۱-۱- پی عمیق یا شمع

شمع‌ها اعضای سازه‌ای از جنس چوب، بتن یا فولاد هستند که به منظور انتقال بارهای سطحی به اعماق زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. شمع‌ها دارای طول زیاد و سطح مقطع کوچکی هستند که بطور عمودی یا تحت زاویه مختصری نسبت به امتداد قائم از سطح زمین قرار می‌گیرد. مخارج احداث آنها خیلی بیشتر از شالوده‌های سطحی است، لیکن علیرغم مخارج بیشتر، در عمل موارد متعددی وجود دارد که برای ایمنی ساختمان در مقابل نشست و عوامل دیگر، از شالوده‌های عمیق استفاده می‌شود. استفاده از شمع‌ها از نظر قدمت به تاریخ حضور تکنولوژی در زندگی بشر می‌رسد. در کنار دره‌ها و مناطق سیل خیز از این روش جهت پایداری سازه‌ها استفاده می‌شده است. برخی از شرایطی که ممکن است استفاده از شمع‌ها توجیه پذیر باشد عبارتند از:

- وقتی که لایه یا لایه‌های فوقانی خاک دارای قابلیت فشرده‌گی زیاد و یا خیلی ضعیف باشند، بطوری که نتوان از پی سطحی برای انتقال بار استفاده نمود از شمع‌ها برای انتقال بار به لایه‌های تحتانی محکمتر استفاده می‌شود.
- اگر شمع‌ها تحت تاثیر نیروی افقی قرار گیرند، در این صورت مقاومت خمشی شمع برای انتقال بار به کار گرفته می‌شود. این وضعیت اغلب در شالوده سازه‌های حایل خاک که وظیفه آنها مقاومت در مقابل فشار جانبی خاک است و سازه‌های بلند که تحت تاثیر باد یا زلزله قرار دارند پیش می‌آید.
- در خیلی از موارد در منطقه مورد نظر برای احداث سازه، خاک قابل تورم و فرو ریزشی (رمبنده) وجود دارد. این لایه‌ها ممکن است دارای عمق قابل توجهی باشند خاک‌های قابل تورم در اثر افزایش یا کاهش میزان رطوبت، تورم یا کاهش حجم پیدا می‌کنند. فشار تورم چنین خاک‌هایی ممکن است به طرز قابل توجهی زیاد باشد اگر در چنین خاک‌هایی از پی سطحی استفاده شود، سازه ممکن است با صدمات جدی روبرو شود. در این حالت استفاده از شمع‌هایی که از لایه قابل تورم عبور کرده و وارد لایه پایدار شوند مفید می‌باشد.

- شالوده برخی از سازه‌ها نظیر خط انتقال برق، اسکله‌ها و شالوده‌های گسترده در زیر آب زیر زمینی تحت تاثیر نیروی برکنش قرار دارند، در برخی موارد برای مقابله با نیروی برکنش از شمع استفاده می‌شود.
 - به خاطر مساله آب شستگی و فرسایش در محل پایه‌های پل، این پایه‌ها اغلب بر روی شالوده‌های شمعی احداث می‌شود.
 - در بسیاری از موارد به منظور کاهش دامنه حرکت ماشین آلات لرزنده و چرخشی و کنترل فرکانس طبیعی پی خاک ماشین از شمع استفاده می‌شود.
- شمع‌ها بر اساس نحوه عملکرد به دو گروه اصطکاکی و اتکایی و بر اساس نحوه اجرا به دو نوع کوبشی و درجا تقسیم می‌گردند. برای انتقال بار سازه به خاک به ندرت از شمع‌های تکی استفاده می‌شود و معمولاً حداقل دو یا سه شمع در زیر عضو پی یا شالوده وجود دارد. از نظر هندسی شمع-ها انواع متعددی دارند اما بطور کلی می‌توان به دو گروه عمده شمع با مقطع ثابت و شمع با مقطع متغیر اشاره کرد.

۱-۲- بیان مساله

وقتی که شمعها نزدیک یکدیگر اجرا شوند، منطقی است فرض شود که تنشهای انتقالی از طریق شمعها به زمین، یکدیگر را پوشش می‌دهند که شدت این تنش‌ها به بار شمع و فاصله‌بندی شمع‌ها بستگی دارد. این مساله می‌تواند باعث کاهش ظرفیت باربری و افزایش نشست شمع گردد. این تاثیر که تحت عنوان اندرکنش شمع- خاک- شمع^۱ بیان می‌شود با نزدیکتر شدن شمعها بیشتر می‌شود. یک تعریف اولیه که برای ضریب اندرکنش شمع- خاک- شمع، برای دو شمع مجاور که نشست شمع دوم (شمع فاقد بارگذاری) ناشی از بارگذاری شمع اول است می‌توان بیان نمود عبارت است از نسبت نشست شمع بدون بار در اثر بارگذاری شمع مجاور به نشست شمع بارگذاری شده.

^۱ -Interaction of Pile – Soil- Pile

محاسبه ضریب اندرکنش شمع- خاک- شمع در بررسی عملکرد و طراحی گروه شمع از اهمیت انکار ناپذیری برخوردار است و حتی می‌توان آن را مهمترین عامل مورد نیاز جهت طراحی و یا تحلیل عملکرد گروه شمع دانست که علیرغم اهمیت آن در بسیاری از موارد به دلیل حجم زیاد عملیات و پیچیدگی مباحث مرتبط از منظور کردن آن در مطالعات مربوط به گروه شمع صرفنظر می‌شود. در این پژوهش سعی شده نحوه محاسبه و تحلیل این ضریب با بهره‌گیری از روش‌هایی ساده‌تر از آنچه تا کنون انجام شده و در عین حال با دقت قابل قبول جهت استفاده در تحلیل‌ها و طراحی‌های مربوط به شمع‌های مخروطی ارائه شود.

۱-۳- اهمیت مساله

در این قسمت به بررسی مزایای شمع با مقطع متغیر نسبت به شمع با مقطع ثابت پرداخته می‌شود. استفاده از شمع‌های باریک شونده از آنجا بسیار مورد توجه قرار می‌گیرد که مکانیزم انتقال بار در شمع‌های دارای مقطع یکنواخت به گونه‌ای است که قسمت پایینی شمع بار کمتری را نسبت به قسمت فوقانی شمع انتقال می‌دهد بنابراین لازم نیست سطح مقطع قسمت پایین شمع به اندازه سطح مقطع قسمت بالای شمع که انتقال دهنده بار بیشتری است، باشد. که این خاصیت باعث پیدایش شمع‌های باریک شونده شده است. به این ترتیب با استفاده از شمع‌های باریک شونده می‌توان به میزان قابل توجهی وزن شمع را کاهش داد. این امر باعث صرفه‌جویی اقتصادی می‌شود که شاید مهمترین فاکتور و مزیت این نوع شمع‌ها برای استفاده در صنعت ساختمان باشد. در عمل از انواع مختلف شمع‌های استوانه‌ای با اشکال و مصالح مختلف استفاده می‌شود. شمع‌های مخروطی چوبی، شمع‌های تک لوله‌ای و شمع‌های ریموند مخروط پله‌ای برای مدت طولانی استفاده شده‌اند. با این حال شمع‌های مخروطی به عنوان گزینه طراحی بطور گسترده مورد توجه قرار نگرفته‌اند که این امر به خاطر نقص علمی در مورد ویژگیهای عملکردی آنها و نقص ابزار طراحی مناسب مشابه شمع‌های یکنواخت می‌باشد.

دانشمندان زیادی در مورد این نوع شمع‌ها تحقیق نموده اند . Norlund (1963) تاثیر زاویه مخروط بر ظرفیت باربری شمع‌های رانده شده در خاک غیر چسبنده را مورد بررسی قرار داد. وی افزایش اساسی در ظرفیت باربری شمع‌های مخروطی نسبت به شمع‌های هم حجم با مقطع یکنواخت را نتیجه گیری نمود. Ladanyi و Guichaoua (1985) واکنش شمع‌های مخروطی، شمع‌های با لبه-های مستقیم و شمع‌های موج دار را در خاکهای یخ زده مقایسه نمودند. آنها دریافتند که شمع‌های مخروطی ایمن تر بودند زیرا که آنها رفتار سخت شدگی کرنش را نشان می‌دهند، یعنی مقاوم شدگی پیوسته با افزایش نشست. Sherstenv و Zil'berberg (1990) آزمایشاتی را در مورد شمع‌های مخروطی و استوانه‌ای در خاک ماسه‌ای را انجام دادند. آنها از وجود افزایش اساسی، در محدوده ۲۰۰ تا ۲۵۰ درصد در ظرفیت باربری محوری شمع‌های مخروطی در مقایسه با شمع‌های استوانه-ای خبر دادند بطوریکه قطر متوسط شمع مخروطی و طول آن با قطر و طول شمع استوانه‌ای برابر باشد . Kodikara و Moore (1993) مدلی را برای تحلیل شمع‌های مخروطی گسترش دادند در موردیکه مقاومت خاک توسط دو جزء مدل گردد؛ جزء نخست اصطکاک و چسبندگی در طول شفت و جزء دوم مربوط به عکس العمل جانبی ایجاد شده توسط انبساط سوراخ منتج شده از نفوذ شمع به درون زمین می‌باشد. تحلیل آنها همچنین برای شرایط غیر خطی در طول سطح مشترک خاک شمع محاسبه گردید. Kurian و Srinivas (1995) از تحلیل المان محدود سه بعدی بر روی عملکرد شمع‌های مخروطی با اشکال مختلف (مقاطع دایروی، مثلثی و مربعی) و شمع‌های با دیواره دارای لبه‌های مستقیم استفاده نمودند. آنها دریافتند که شمع‌های مخروطی مقاومت بالاتری را با بیشترین ظرفیت حاصل از شمع‌های مخروطی مثلثی ارائه می‌دهند.

Ghazavi (۲۰۰۸) با ارائه یک مدل تحلیلی، رفتار بار- تغییر مکان شمع با مقطع متغیر (شمع باریک شونده)، برای دو گروه شمع صلب و شمع با قابلیت فشردگی را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. ایشان با مدل سازی عددی و مقایسه نتایج روش عددی با روش تحلیلی خود نتایج قابل قبولی بدست آورده- اند.

داشتن مقدار ضریب اندرکنش در هر مساله مربوط به گروه شمع، اعم از تحلیل عملکرد یا طراحی، امکان محاسبه اضافه نشست هر شمع را در اثر بارگذاری شمع مجاور، علاوه بر نشست شمع تحت تاثیر بار اعمال شده به خود شمع، میسر می‌سازد. البته لحاظ نمودن این ضریب در صورت ارائه روشی ساده و در عین حال قابل اعتماد بسیار راحت‌تر و معمول‌تر خواهد بود.

۱-۴- اهداف پایان‌نامه

همانطور که پیشتر تشریح گردید اهمیت ضریب اندرکنش شمع- خاک- شمع در بررسی عملکرد و یا طراحی گروه شمع پر واضح است. اما اندک بررسی نشان می‌دهد که در تمامی پژوهش‌های انجام شده در زمینه اندرکنش شمع- خاک - شمع به اندرکنش شمع دارای مقطع ثابت پرداخته شده است. هدف از انجام این پژوهش، ارائه روشی ساده و دارای اعتبار قابل قبول و در عین حال دارای کمترین میزان فرضیات ساده کننده، به منظور نزدیک شدن هر چه بیشتر به واقعیت موضوع جهت محاسبه ضریب اندرکنش استاتیکی شمع- خاک- شمع برای شمع با مقطع متغیر یکنواخت (شمع باریک شونده) با در نظر گرفتن اثر حضور شمع دوم (شمع دریافت کننده)، جهت استفاده از این ضریب برای شمع‌های اصطکاکی و اتکایی از نوع صلب و انعطاف پذیر است. این موضوع قطعاً کمک شایانی به تحلیل و طراحی گروه شمع در صنعت ساختمان خواهد نمود. بر اساس جستجوهای صورت گرفته توسط نگارنده، این پژوهش اولین اثری است که با دقت به این پدیده مهم می‌پردازد.

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

این پایان نامه در قالب شش فصل طرح ریزی و تدوین شده است. که در ادامه علاوه بر ذکر عنوان عناوین این فصول به محتوی و شرح فعالیت‌های انجام شده در هر فصل به طور خلاصه اشاره شده است.

در فصل ۱، ضمن تعریف مساله و بیان ابعاد مختلف آن، پیرامون اهمیت و لزوم انجام این پژوهش سخن به میان می‌آید.

در فصل ۲، در راستای آغاز فرایند پژوهش مورد نظر و به منظور گردآوری اطلاعات پایه مورد نیاز و همچنین برای پرهیز از دوباره‌کاری و حفظ استقلال محتوی پروژه، به عنوان نخستین گام به معرفی و بررسی نقاط قوت و ضعف احتمالی تعدادی از معتبرترین پژوهش‌های مرتبط صورت گرفته پرداخته می‌شود.

در فصل ۳، به اندرکنش استاتیکی شمع- خاک- شمع برای شمع با مقطع متغیر یکنواخت (شمع باریک شونده) پرداخته می‌شود. در ابتدا با استفاده از روش Randolph (۱۹۷۹)، ضریب اندرکنش استاتیکی شمع- خاک- شمع بدون در نظر گرفتن اثر حضور شمع دوم (شمع دریافت کننده) محاسبه شده است. سپس با روش دیگری که اساس آن مبتنی بر روش Lee (۱۹۹۳) می‌باشد اندرکنش استاتیکی شمع- خاک- شمع برای شمع با مقطع متغیر یکنواخت (شمع باریک شونده) با در نظر گرفتن اثر حضور شمع دوم (دریافت کننده) محاسبه شده است. و در پایان با استفاده از مدل پیوسته و فنر وینکلر مبتنی بر روش Gazetas&Mylonakis (۱۹۹۱) معادله دیفرانسیل تعادل نیروی شمع بدون بار، در مجاورت شمع مشابه دیگر، تحت بارگذاری استاتیکی بدست می‌آید.

در فصل ۴، با مدل‌سازی عددی توسط نرم افزار *Flac3d*، روابط حاصل از فصل سوم صحت‌سنجی خواهد گردید. برای این کار ۲ شمع با مقطع متغیر مدل‌سازی شده‌اند. پس از کالیبراسیون مدل ساخته شده و اطمینان از صحت کارکرد آن، نتایج مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت و در پایان نتایج بدست آمده از روش عددی با نتایج حاصل از روش تحلیلی مربوط به فصل سوم مقایسه می‌شود.