دانشگاه فردوسی مشهد

دانشکده مهندسی

جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
رشته عمران- گرایش خاک و پی

عنوان پایان نامه:

رفتار تک شمع تحت اثر بار جانبی

نگارش :

زهرا حاجی سامی

استاد راهنما :

جناب آقای دکتر بلوری بزاز

شهریور۱۳۸۸

سپاس خدای را عز و جل که طاعتش موجب قربت است و به شکر اندرش مزید نعمت ای قادری که خدایی را سزایی و ای احدی که در ذات و صفات بی همتایی، به عزت و جلال خود و به عظمت و جمال خود که جان ما را صفای خود ده و دل ما را هوای خود ده و چشم ما را ضیاء خود ده و ما را از روی رحمت آن ده که آن به الهی دلی ده که در کار تو جان بازیم و جانی ده که کار آن جهان بسازیم ، الهی نفسی ده که حلقه بندگی تو گوش کند و جانی ده که ز هر حکمت تو نوش کند، الهی دانایی ده که در راه نیفتیم و بینایی ده که در چاه نیفتیم، الهی دیده ای ده که جز تماشای ربوبیت تو نبیند و دلی ده که غیر از مهر عبودیت تو، الهی پایی ده که با آن کوی مهر تو پویم و زبانی ده که با آن شکر آلای تو گویم الهی مرا دل از بهر تو در کار است و گرنه مرا بادل چکار است، آخر چراغ مرده را چه مقدار است، الهی به حرمت ذاتی که تو آنی، به حرمت صفاتی که چنانی و به حرمت نامی که دانی، به فریاد رس که می توانی.

در ابتدا لازم می دانم از استاد راهنمای ارجمند و بزرگوارم جناب آقای دکتر بلوری بزاز، نماد تواضع و مهربانی و نشان یک انسان پر تلاش و فکور که در طی دوران تحصیلم افتخار شاگردیشان را داشته و همیشه از راهنمایی‌ها ومحبت‌های بی دریغ شان بهره بردم، خالصانه سپاسگزاری کنم و برای ایشان موفقیت و سلامت آرزو نمایم.

از استاد مشاور گرانقدرجناب آقای دکتر اخترپور که مرهون الطاف ایشان هستم، کمال تشکر را دارم.

در نهایت از خانواده عزیزم، پدر، مادر، خواهران و برادرانم که در طی دوران تحصیل همواره مشوق و یاریگرم بودند خالصانه و صمیمانه قدردانی می نمایم، همچنین از همسر عزیزم که صبورانه و دلسوزانه همراهم بود و یاریم کرد بسیار ممنونم.

زهرا حاجی سامی

شهریور ۱۳۸۸

چکیده:

اکثر سازه‌هایی از قبیل شمع‌ها، که به عنوان پی عمیق به کار برده می‌شوند برای تحمل بارهای قائم در نظر گرفته شده‌اند. لیکن هر سازه‌ای تحت اثر بارهای جانبی باد، زلزله و.... قرار می‌گیرد. طراحی شمع‌ها تحت اثر بارهای قائم با حل معادلات تعادل در راستای نیرو صورت می‌گیرد در حالیکه در شمع‌های با بارگذاری جانبی مسئله به حل معادلات دیفرانسیلی غیرخطی منجر می‌شود. بررسی ظرفیت باربری نهایی یک شمع قائم تحت اثر بار جانبی و کنترل تغییر مکان سرشمع به لحاظ پیچیدگی اندرکنش بین یک شمع نیمه صلب و خاک الاستوپلاستیک جزو مسائل مبهم در علم ژئوتکنیک می‌باشد دراین تحقیق رفتار تک شمع تحت اثر با جانبی در خاک رسی و خاک ماسه ای مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا روش‌های تئوری از قبیل: تحلیل خطی (روش الاستیک)، تحلیل غیر خطی (P-Y)، روش بار مشخصه (CLM) و روش Broms (با فرض صلب بودن شمع و رفتار پلاستیک خاک) مورد بررسی قرار گرفته است. نرم افزارهای مورد استفاده برای تحلیل عددی رفتار شمع FLAC۳D و LPILE PLUS ۳.۰ می‌باشند. با توجه به سهولت استفاده از روش‌های ذکر شده در فوق از یک طرف و عدم امکان دسترسی همیشگی به رایانه از طرف دیگر، همواره این امکان وجود دارد که شمع تحت اثر بار جانبی با استفاده از روش‌های سنتی قبلی طراحی گردد. در این تحقیق با استفاده از نتایج بدست آمده از تحلیلهای عددی نرم افزاری، سایر روشهای طراحی فوق الذکر بررسی و صحت روش‌ها و محدوده کاربری آن‌ها مورد مطالعه قرار خواهند گرفت. همچنین در انتها رابطه‌ای جدید بر اساس روش‌های عددی جهت محاسبه طول بهینه و ظرفیت باربری جانبی شمع در خاک‌های رسی ارائه گردیده است.

کلید واژه ها: شمع، بار جانبی، ظرفیت باربری، طول بهینه، عمق موثر، تحلیل عددی، تغییر شکل، لنگر ماکزیمم

فهرست مطالب

فصل اول : کلیات ۱
۱-۱- مقدمه ۱
۱-۲- انواع شمع های جانبی ۲
۱-۳- روش های متداول بررسی رفتار شمع ها ۳
۱-۳-۱- روش الاستیک ۳
۱-۳-۲-فرض صلب بودن شمع و خاک پلاستیک ۳
۱-۳-۳-روش P-Y ٤
۱-۳-٤-روش بار مشخصه (CLM) ٤
۱-٤- تعریف مسئله ٥
فصل دوم : مکانیزم رفتار خاک و شمع ٦
۲-۱- مقدمه ٦
۲-۲- مکانیزم رفتار شمع و خاک اطراف آن تحت اثر بار جانبی ٦
۲-۳- مدل های موجود در بررسی رفتار شمع تحت اثر بار جانبی ۹
۲-٤- تحلیل عکس العمل بستر ۱۱
۲-٤-۱- روش الاستیک (تحلیل خطی) ۱۲
۲-٤-۲ – (تحلیل غیر خطی) روش P-Y ۱٥
۲-٤-۲-۱- عکس العمل خاک در مقابل بار جانبی شمع ۱٥
۲-٤-۲-۲- بررسی شکل منحنی P-Y ۱۷
۲-٤-۲-۳- روش های تجربی در بدست آوردن منحنی P-Y ۲۳
۲-٤-۲-٤- منحنی P-Y در رسهای سست تا متوسط ۲٤
۲-٤-۲-٥- منحنی های P-Y برای خاک های رسی سفت بالای سطح آب ۲۷
۲-٤-۲-٦- منحنی های P-Y برای شمع های بارگذاری شده در ماسه ۲۸
۲-٥- استفاده از روش تفاضل محدود و منحنی های P-Y ۳۳
۲-٥-۱- حل معادله دیفرانسیلی با استفاده از روش تفاضل محدود ۳٥
۲-٦- روش بار مشخصه ۳۸
۲-۷- روش بار مشخصه اصلاح شده ٤۲
۲-۷-۱- تغییر مکان بر اساس بار اعمالی در سطح زمین ٤٤
۲-۷-۲- خمش بر اساس لنگر اعمالی در سطح زمین ٤٦
۲-۷-۳- خمش بر اساس بار اعمالی در بالای سطح زمین ٤۷
۲-۷-٤- لنگر ماکزیمم در شمع های سرگیردار ٤۹

۲-۷-۵- لنگر ماکزیمم در شمع های سر آزاد ۵۰
۲-۷-٦- محدودیت های روش بار مشخصه ۵۱
۲-۷-۷- مقایسه روش بار مشخصه ۵۲
۲-۸- فرض صلب بودن شمع و خاک پلاستیک ۵۲
۲-۸-۱- شمع های واقع در خاک چسبنده ۵۳
۲-۸-۱-۱- محاسبه مقاومت جانبی نهایی خاک ۵۳
۲-۸-۱-۲- ظرفیت بار بری نهایی شمع در خاک های چسبنده ٥٤
۲-۸-۱-۳- بررسی اثر طول شمع در شمع های با سر آزاد ٦۲
۲-۸-۱-٤- بررسی اثر طول شمع در شمع های سرگیردار ٦۲
۲-۸-۱-۵- تغییر مکان سر شمع ٦۲
۲-۸-۲- شمع های واقع در خاک دانه ای ٦۷
۲-۹- استفاده از روش های اجزای محدود و تفاضل محدود ۷۱
فصل سوم : مدلسازی خاک و شمع در نرم افزار FLAC۳D..... ۷۲
۳-۱- مقدمه ۷۲
۳-۲- مدلسازی خاک ۷۲
۳-۲-۱- هندسه خاک ۷۲
۳-۲-۲- شراطی مرزی ۷۳
۳-۲-۳- خصوصیات خاک ٧٤
۳-۲-٤- اعمال تشهای اولیه ٧٤
۳-۳- مدلسازی شمع ۷۵
۳-۳-۱- مدلسازی شمع در حالت یک بعدی ۷۵
۳-۳-۱-۱- تعیین مقادیر عددی پارامتر های فنر ۸۱
۳-۳-۱-۲- نتایج آنالیزهای صورت گرفته بر روی فلزهای اتصالی ۹۳
۳-۳-۱-۳- بحث در مورد شمع در حالت یک بعدی ۹۳
۳-۳-۲- مدلسازی شمع در حالت سه بعدی (عنصر Solid) ٩٤
۳-۳-۲-۱- هندسه خاک ٩٤
۳-۳-۲-۲- هندسه شمع ٩٦
۳-۳-۲-۳- فصل مشترک ۹۸
۳-۳-۲-٤- نتایج آنالیزهای صورت گرفته بر روی پارامتر های فصل مشترک ۱۱۰
۳-٤- اعمال نیروی خارجی بر شمع ۱۱۰
۳-۵- تحلیل مسئله ۱۱۰
۳-٦- حساسیت سنجی ابعاد مدل ۱۱۳

فصل چهارم : بررسی رفتار شمع در خاک رسی ۱۱۵
٤-۱- مقدمه ۱۱۵
٤-۲- مقایسه نتایج در دو حالت مدلسازی یک بعدی و سه بعدی در خاک رس ۱۱٦
٤-۲-۱- مدلسازی در حالت سه بعدی ۱۱۷
٤-۲-۲- مدلسازی در حالت یک بعدی ۱۱۹
٤-۳- مقایسه روش های عددی و نتایج حاصل از نرم افزار با یک آزمایش واقعی ۱۲٦
٤-٤- بررسی اثرات پارامترهای شمع در رفتار آن تحت اثر بار جانبی ۱۳۷
٤-٤-۱- اثر مدول الاستیسیته شمع ۱۳۷
٤-٤-۲- اثر قطر شمع ۱٤۰
٤-٤-۳- اثر ممان اینرسی در شمع ۱٤۲
٤-٤-٤- اثر نسبت پواسون شمع ۱٤٤
٤-٤-٥- اثر طول شمع ۱٤٥
٤-٤-٦- نتایج بررسی اثر پارامتر های شمع بر روی رفتار آن تحت اثر بار جانبی در خاک رسی ۱٤۹
٤-٥- بررسی اثرات پارامترهای خاک رسی در رفتار شمع تحت اثر بار جانبی در خاک ۱٥۰
٤-٥-۱- اثر مدول الاستیسیته خاک ۱٥۰
٤-٥-۲- اثر نسبت پواسون خاک ۱٥۲
٤-٥-۳- اثر وزن مخصوص خاک ۱٥٥
٤-٥-٤- اثر ضریب فشار خاک در حالت سکون ۱٥٦
٤-٥-٥- اثر زاویه اصطکاک خاک ۱٥۸
٤-٥-٦- اثر مقاومت برشی زهکشی نشده خاک ۱٥۹
٤-٥-۷- نتایج بررسی اثر پارامتر های خاک بر روی رفتار شمع تحت اثر بار جانبی در خاک رسی ۱٦۰
٤-٦- نتیجه گیری ۱٦۱
فصل پنجم : بررسی رفتار شمع در خاک ماسه ای ۱۷۳
٥-۱- مقدمه ۱۷۳
٥-۲- مقایسه نتایج در دو حالت مدلسازی یک بعدی و سه بعدی در خاک ماسهای ۱۷٤
٥-۲-۱- مدلسازی در حالت سه بعدی ۱۷٥
٥-۲-۲- مدلسازی در حالت یک بعدی ۱۷٦
٥-۳- مقایسه روش های عددی و نتایج حاصل از نرم افزار با یک آزمایش واقعی ۱۸٤
٥-٤- بررسی اثرات پارامترهای شمع در رفتار آن تحت اثر بار جانبی ۱۹٦
٥-٤-۱- اثر مدول الاستیسیته شمع ۱۹٦
٥-٤-۲- اثر قطر شمع ۱۹۸
٥-٤-۳- اثر ممان اینرسی شمع ۲۰۰

۵-٤-٤- اثر نسبت پواسون شمع ۲۰۲
۵-٤-۵- اثر طول شمع ۲۰٤
۵-٤-٦- نتایج بررسی اثر پارامترهای شمع بر روی رفتار آن در خاک ماسه ای ۲۱۰
۵-۵- بررسی اثرات پارامتر های خاک ماسه ای در رفتار شمع درخاک ماسه ای ۲۱۱
۵-۵-۱- اثر مدول الاستیسیته خاک ۲۱۱
۵-۵-۲- اثر نسبت پواسون خاک ۲۱٤
۵-۵-۳- اثر وزن مخصوص موثر خاک ۲۱۵
۵-۵-٤- اثر ضریب فشار خاک در حالت سکون ۲۱۷
۵-۵-۵- اثر مقاومت برشی رهکشی نشده خاک ۲۲۰
۵-۵-٦- اثر زاویه اصطکاک خاک ۲۲۰
۵-۵-۷- اثر زاویه اتساع خاک ۲۲۲
۵-۵-۸- نتایج بررسی اثر پارامتر های خاک بر روی رفتار شمع تحت اثر بار جانبی در خاک ماسه ای ۲۲٤
۵-٦- نتیجه گیری ۲۲٤
فصل ششم : نتیجه گیری ۲۲۸
٦-۱- مقدمه ۲۲۸
٦-۲- جمع بندی و نتیجه گیری ۲۲۸
٦-۳- پیشنهادات برای تحقیقات آتی ۲۳۲

فهرست جداول

جدول ۲-۱- نیروهای جانبی مجاز پیشنهاد شده برای شمع های قائم بر حسب ton [Mayne , ۱۹۹۱]..۹

جدول ۲-۲- مقادیر ارائه شده برای ε_{50} [Mosher and Dawkins , ۲۰۰۰] ۲۵

جدول ۲-۳- مقادی K برای خاک ماسه ای [Mosher and Dawkins , ۲۰۰۰] ۲۵

جدول ۲-٤- ضرایب تجربی n و m بر حسب نوع خاک [Winkler,۱۹۹۸] ۳۹

جدول ۲-۵- مقدار ε_{50} بر حسب نوع خاک [Winkler,۱۹۹۸] ۳۹

جدول ۲-٦- مقادیر عددی بار – تغییر مکان [Doncan et al , ۱۹۹٤] ٤۵

جدول ۲-۷- مقادیر عددی لنگر – تغییر مکان [Doncan et al , ۱۹۹٤] ٤۷

جدول ۲-۸- ضرایب بار – ممان [Doncan et al , ۱۹۹٤] ٤۹

جدول ۲-۹- ضرایب ممان A_m و B_m [Doncan et al , ۱۹۹٤] ۵۱

جدول ۲-۱۰- طول حداقل برای روش CLM [Doncan et al , ۱۹۹٤] ۵۲

جدول ۲-۱۱- مقادیر k_1 در خاک های چسبنده بر حسب مقاومت برشی زهکشی نشده [Terzaghi , ۱۹۸۵] ٦۵

جدول ۲-۱۲- مقادیر n_1 بر حسب مشخصات خاک [Tomlison ,۱۹۹۵] ٦۵

جدول ۳-۱- مشخصات خاک به کار رفته در تحلیل ها ۸۲

جدول ۳-۲- مشخصات شمع مدل شده ۸۲

جدول ۳-۳- مقادیر پایه در نظر گرفته شده برای خصوصیات فنرهای اتصالی ۸۳

جدول ۳-٤- مشخصات خاک رس به کار رفته در تحلیل ها ۱۰۲

جدول ۳-۵- مشخصات شمع بتنی مدل شده ۱۰۳

جدول ۳-٦- پارامتر های پایه برای فصل مشترک ۱۰۳

جدول ٤-۱- مشخصات خاک رس عادی تحکیم یافته ۱۱٦

جدول ٤-۲- مشخصات شمع ۱۱٦

جدول ٤-۳- مشخصات فصل مشترک در حالت سه بعدی ۱۱۷

جدول ٤-٤- مشخصات فنر های اتصالی ۱۱۹

جدول ٤-۵- مقدار پارامترهای ε_{50} ۱۲٤

جدول ٤-٦- پارامترهای معرفی فنر های اتصالی ۱۲۷

جدول ٤-۷- مشخصات شمع های در نظر گرفته شده برای بررسی اثر قطر ۱٤۰

جدول ٤-۸- مشخصات شمع و خاک در مثال ۱ ..... ۱٦۹

جدول ٤-۹- مشخصات شمع و خاک در مثال ۲ ..... ۱۷۱

جدول ۵-۱- مشخصات خاک ماسه ای ۱۷٤

جدول ۵-۲- مشخصات شمع بتنی ۱۷٤

جدول ۵-۳- مشخصات فصل مشترک در حالت سه بعدی ۱۷۵
جدول ۵-٤- مشخصات فنر های اتصالی ۱۷۷
جدول ۵-۵- تقسیم بندی مشخصات خاک های ماسه ای بر اساس نوع خاک ماسه ای [Bowels , ۱۹۸۲]
..... ۱۸۵
جدول ۵-٦- مشخصات شمع های در نظر گرفته شده برای بررسی اثر قطر ۱۹۹
جدول ۵-۷- طول حداقل شمع برای استفاده از روش بار مشخصه [Duncan et al , ۱۹۹٤].. ..... ۲۲٦

فهرست اشکال

شکل ۱-۱- شمع غیرفعال در جهت کنترل لغزش شیب تکیه گاه یک پل [Reese and Van , ۲۰۰۱] ۳

شکل ۲-۱- مکانیزم رفتار شمع کوتاه سر آزاد در بارگذاری جانبی [Broms , ۱۹۹٤ a]..... ..... ۷

شکل ۲-۲- مکانیزم رفتار شمع کوتاه سرگیردار در بارگذاری جانبی [Broms , ۱۹۹٤ a] ۸

شکل ۲-۳- مکانیزم رفتار شمع بلند در بارگذاری جانبی [Broms , ۱۹۹٤ a] ۸

شکل ۲-٤- نمودارهای ارائه شده توسط روش الاستکی [Reese and Van , ۲۰۰۱] ۱۲

شکل ۲-۵- ارتباط بین ضریب تغییرات مدول بستر و چگالی نسبی ماسه ها [Grassino et al , ۱۹۸٦] . ۱٤

شکل ۲-٦- توزیع تنش در اطراف شمع در بارگذاری جانبی [Reese and Van , ۲۰۰۱] ۱٦

شکل ۲-۷- شکل عمومی یک منحنی P-Y و تغییرات مدول عکس العمل خاک در اثر تغییر شکل شمع .. ۱۷

شکل ۲-۸- مدلسازی خاک در بارگذاری جانبی برای محاسبه Pult [Reese and Van , ۲۰۰۱] ۲۰

شکل ۲-۹- تورم زمین در اثر بارگذاری جانبی و برآمدگی باقیمانده در آن [Reese and Van , ۲۰۰۱] . ۲۰

شکل ۲-۱۰- الف) حالت گسیختگی خاک در بارگذاری جانبی مقطع شمع و ب) دایره موهر مربوطه در خاک های چسبنده ج) دوایر موهر مربوطه در خاک های غیر چسبنده [Reese and Van , ۲۰۰۱] ۲۱

شکل ۲-۱۱- شکل منحنی P-Y در خاک های سست رسی در بارگذاری استاتیکی [American petroleum , ۱۹۸٤] ۲۵

شکل ۲-۱۲- شکل منحنی P-Y در خاک های سست رسی در بارگذاری سیکلی [American petroleum , ۱۹۸٤] ۲٦

شکل ۲-۱۳- منحنی P-Y برای خاک های رسی سفت بالای سطح آب [Reese and Van , ۲۰۰۱] ۲۷

شکل ۲-۱٤- منحنی P-Y برای خاک ماسه ای [Mosher and Dawkins , ۲۰۰۰] ۲۸

شکل ۲-۱۵- پارامترهای C_1 و C_2 و C_3 [Mosher and Dawkins , ۲۰۰۰] ۳۰

شکل ۲-۱٦- ضریب کاهش مقاومت A [Mosher and Dawkins , ۲۰۰۰] ۳۱

شکل ۲-۱۷- ضریب کاهش مقاومت B [Mosher and Dawkins , ۲۰۰۰] ۳۱

شکل ۲-۱۸- منحنی ساده شده P-Y برای خاک ماسه ای [Mosher and Dawkins , ۲۰۰۰]. ۳۳

شکل ۲-۱۹- عنصر جدا شده از شمع برای استخراج معادله تیر– ستون [Reese and Van , ۲۰۰۱] ۳٤

شکل ۲-۲۰- نمودار نیروی برشی و تغییر مکان سر شمع برای شمع سرآزاد درخاک رس [Cudoto , ۲۰۰۱] ٤۰

شکل ۲-۲۱- نمودار نیروی برشی و تغییر مکان سر شمع برای سرگیردار در خاک رس [Cudoto , ۲۰۰۱] ٤۰

شکل ۲-۲۲- نمودار ممان خمشی و تغییر مکان سرشمع برای شمع سرآزاد درخاک رس [Cudoto , ۲۰۰۱] ٤۱

شکل ۲-۲۳- نموداری نیروی برشی و ممان خمشی حداکثر برای شمع سرآزاد در خاک رس [Cudoto , ۲۰۰۱] ٤١
شکل ۲-۲٤- نموادار نیروی برشی و ممان خمشی حداکثر برای شمع سرگیردار درخاک رس [Cudoto , ۲۰۰۱] ٤٢
شکل ۲-۲۵- منحنی های بار – تغییر مکان : الف) رس ب) ماسه [Doncan et al , ۱۹۹٤] ٤٥
شکل ۲-۲٦- منحنی های لنگر – تغییرمکان : الف) رس ب) ماسه [Doncan et al , ۱۹۹٤]. ٤٦
شکل ۲-۲۷- جمع غیرخطی آثار قوا برای خمش بر اساس با و لنگر [Doncan et al , ۱۹۹٤]..... ٤٨
شکل ۲-۲۸- منحنی های بار – ممان : الف) برس ب) ماسه [Doncan et al , ۱۹۹٤]..... ٤٩
شکل ۲-۲۹- توزیع مقاومت جانبی شمع های واقع در خاک های چسبنده ۵۳
شکل ۲-۳۰- ضریب مقاومت جانبی k_c و k_g [فرهاد علمی ، ۱۳۳۷] ۵٤
شکل ۲-۳۱- توزیع عکس العمل خاک بر روی شمع درخاک های چسبنده [Broms , ۱۹۹٤ a]..... ۵۵
شکل ۲-۳۲- الگوی رفتاری در نظرگرفته شده در شمع های کوتاه سرآزاد در خاک های چسبنده [Broms , ۱۹۹٤ a] ۵٦
شکل ۲-۳۳- ظرفیت باربری شمع های جانبی کوتاه در خاک های چسبنده [Broms , ۱۹۹٤ a] و [Broms , ۱۹۹۵] ۵۷
شکل ۲-۳٤- عکس العمل خاک و منحنی تغییرات ممان خمشی در شمع بلند سرآزاد درخاک های چسبنده [Broms , ۱۹۹٤ a] ۵۸
شکل ۲-۳۵- ظرفیت باربری شمع های بلند تحت بارجانبی درخاک های چسبنده ۵۸
شکل ۲-۳٦- شمع کوتا گیر دار خاک چسبنده ۵۹
شکل ۲-۳۷- مکانیزم رفتار یک شمع متوسط سرگیردار [Broms , ۱۹۹٤ a] ٦۰
شکل ۲-۳۸- عکس العمل خاک و منحنی تغییرات ممان خمشی در شمع بلند سرگیردار درخاک های چسبنده [Broms , ۱۹۹٤ a] ٦۱
شکل ۲-۳۹- تغییر مکان شمع در خاک های چسبنده تحت بارهای جانبی [Broms , ۱۹۹٤ a] و[Broms , ۱۹۹۵] ٦٦
شکل ۲-٤۰- مقاومت جانبی شمع درخاک دانه ای الف) کوتاه ب) طویل [فرهاد علمی ، ۱۳۳۷] ٦۸
شکل ۲-٤۱- شمع های گیردار در خاک دانه ای الف) کوتاه ب) متوسط ج) طویل [فرهاد علمی ، ۱۳۳۷] ۷۰
شکل ۳-۱- بلوک خاک مدل شده در نرم افزار FLAC۳D ۷۳
شکل ۳-۲- نمونه عنصر سازه ای شمع ۷٦
شکل ۳-۳- ویژگی های فنر اتصالی عمودی [FLAC۳D Manuals] ۷۷
شکل ۳-٤- رفتار فنر درحالتی که زاویه اصطکاک فنر برابر صفر است ۷۹
شکل ۳-۵- رفتار فنر درحالت که پارامتر چسبندگی فنر برابربا صفر است ۸۰

شکل ۳-٦- ویژگی های فنر اتصالی برشی ۸۱
شکل ۳-۷- منحنی تغییرات نیروی برشی ایجاده شده در سر شمع در مقابل تغییرات Cs-nk ۸۵
شکل ۳-۸- منحنی تغییرات جابه جایی سر شمع در مقابل تغییرات Cs-nk ۸۵
شکل ۳-۹- منحنی تغییرات نیروی برشی ایجاد شده در سرشمع در مقابل تغییرات Cs-ncoh ۸۷
شکل ۳-۱۰- منحنی تغییرات جابه جایی سرشمع در مقابل تغییرات Cs-ncoh ۸۸
شکل ۳-۱۱- منحنی تغییرات جابه جایی سرشمع در مقابل تغییرات Cs-nfric ۸۸
شکل ۳-۱۲- منحنی تغییرات نیروی برشی ایجاد شده در سرشمع در مقابل تغییرات Cs-sk ۸۹
شکل ۳-۱۳- منحنی تغییرات جابه جایی سرشمع در مقابل تغییرات Cs-sk ۹۰
شکل ۳-۱٤- منحنی تغییرات نیروی برشی ایجاد شده در سرشمع در مقابل تغییرات Cs-scoh ۹۱
شکل ۳-۱۵- منحنی تغییرات جابه جایی سرشمع در مقابل تغییرات Cs-scoh ۹۱
شکل ۳-۱٦- منحنی تغییرات جابه جایی سرشمع در مقابل تغییرات Cs-sfric ۹۲
شکل ۳-۱۷- شکل شماتیک عنصر Radcylinder ۹۵
شکل ۳-۱۸- خاک مدل شده از طریق عنصر Radcylinder ۹۵
شکل ۳-۱۹- شکل شماتیک عنصر Cylinder ۹٦
شکل ۳-۲۰- شکل شماتیک عنصر Cshell ۹٦
شکل ۳-۲۱- نمونه شمع مدل شده توسط نرم افزار در حالت استوانه ای توخالی سه بعدی با استفاده از عنصر Cylinder ۹۷
شکل ۳-۲۲- نمونه شمع مدل شده توسط نرم افزار درحالت استوانه ای توخالی سه بعدی با استفاده از عنصر Cshell ۹۷
شکل ۳-۲۳- توزیع سطح مشخصه درگره های عنصر فصل مشترک ۹۸
شکل ۳-۲٤- مقادیر مربوط به مدل رفتاری فصل مشترک ۹۹
شکل ۳-۲۵- نمونه عنصر های فصل مشترک مدل شده در نرم افزار ۱۰۲
شکل ۳-۲٦- شمع و خاک مدل شده به صورت مجزا ۱۰٤
شکل ۳-۲۷- قرار گرفتن شمع در بلوک خاک ۱۰٤
شکل ۳-۲۸- کنتور تغییرات تنش قائم با درنظر داشتن وزن شمع ۱۰۵
شکل ۳-۲۹- چگونگی تغییر شکل درخاک و شمع در اثر اعمال بار جانبی به شمع ۱۰٦
شکل ۳-۳۰- تغییرات نیرو در سرشمع در مقابل تغییرات پارامتر سختی فصل مشترک ۱۰۷
شکل ۳-۳۱- وضعیت فصل مشترک پس از اعمال تغییر مکان در سر شمع در سختی ۱۰۰ KPa/m ۱۰۸
شکل ۳-۳۲- نمودار تغییرات نیرو در سر شمع در مقابل تغییرات پارامتر زاویه اصطکاک فصل مشترک ... ۱۰۹
شکل ۳-۳۳- نمودار تغییرات نیرو در سر شمع در مقابل پارامتر چسبندگی فصل مشترک ۱۰۹
شکل ۳-۳٤- نحوه گسترش ناحیه پلاستیک اطراف شمع در حالت یک بعدی برای تغییر مکان ۳ میلیمتر در بالای شمع ۱۱۱

شکل ۳-۳۵- نحوه ی گسترش ناحیه پلاستیک اطراف شمع در حالت یک بعدی برای تغییر مکان ۸ میلیمتر در بالای شمع ۱۱۱
شکل ۳-۳٦- چگونگی تغییر شکل شمع نسبت به حالت اولیه در اثر اعمال بار جانبی ۱۱۲
شکل ۳-۳۷- نحوه گسترش ناحیه پلاستیک اطراف شمع در شمع سه بعدی برای تغییرمکان ٤ سانتیمتر در سر شمع ۵ متری ۱۱۲
شکل ۳-۳۸- منحنی تغییرات جابجایی سرشمع در مقابل فاصله مرزهای کناری از یکدیگر به ازای نیروی اعمالی ۱۰۰ kN به سر شمع ۱۱۳
شکل ۳-۳۹- منحنی تغییرات جابجایی سر شمع در مقابل فاصله مرزهای بالایی و پایینی از یکدیگر به ازای نیروی اعمالی ۱۰۰ kN به سر شمع ۱۱٤
شکل ٤-۱- چگونگی تغییرات مدول الاستیسیته با عمق ۱۱۸
شکل ٤-۲- گسترش ناحیه پلاستیک درخاک اطراف شمع به ازای تغییر مکان ٤ سانتیمتر سر شمع در مدلسازی یک بعدی ۱۱۹
شکل ٤-۳- نمودارهای تغییر مکان – نیرو در سرشمع برای دو حالت مدلسازی یک و سه بعدی ۱۲۰
شکل ٤-٤- گسترش محدوده ی پلاستیک در خاک اطراف شمع به ازای تغییر مکان ٤ سانتیمتر سرشمع در مدلسازی یک بعدی ۱۲۰
شکل ٤-۵- منحنی تغییر مکان سرشمع در مقابل نیروی وارده تا تغییر مکان ٤ سانتیمتر در حالت سه بعدی ۱۲۱
شکل ٤-٦- منحنی تغییر مکان سرشمع در مقابل نیروی وارده تا تغییر مکان ٤ سانتیمتر در حالت یک بعدی ۱۲۲
شکل ٤-۷- منحنی های P-Y ارائه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS۳,۰ برای اعماق مختلف در طول شمع ۱۲۵
شکل ٤-۸- منحنی های P-Y ارائه شده توسط نرم افزار FLAC۳D برای اعماق مختلف در طول شمع ... ۱۲۵
شکل ٤-۹- منحنی های P-Y ارائه شده توسط دو نرم افزار در سطح زمین برای شمع درخاک رسی سست ۱۲٦
شکل ٤-۱۰- منحنی های تغییر مکان سرشمع – نیرو حاصله از روشهای متفاوت ۱۲۸
شکل ٤-۱۱- منحنی های ممان ماکزیمم – نیرو حاصله از روش های متفاوت ۱۲۸
شکل ٤-۱۲- منحنی های تغییر شکل شمع به ازای نیروهای مختلف (kN) محاسبه شده از طریق نرم افزار LPILE PLUS۳,۰ ..... ۱۲۹
شکل ٤-۱۳- منحنی های لنگر در امتداد شمع محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS۳,۰ ..... ۱۳۰
شکل ٤-۱٤- منحنی های تغییرات نیروی برشی در امتداد شمع محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS۳,۰ ..... ۱۳۰

شکل ٤-١٥- منحنی تغییرمکان سرشمع در مقابل نیرو برای آنالیز P-Y محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS۳,۰ ..... ۱۳۲
شکل ٤-١٦- منحنی لنگر ماکزیمم شمع در مقابل نیرو برای آنالیز P-Y محاسبه شده توسط نرم افزار LPILEPLUS۳,۰ ..... ۱۳۲
شکل ٤-١٧- چگونگی تغییر شکل خاک و شمع به صورت بزرگنمایی شده در تغییر مکان ۸/۳۵ میلیمتر در سرشمع ۱۳٤
شکل ٤-١٨- مقایسه تغییرشکل شمع بین نتایج حاصل از FLAC۳D و LPILE PLUS۳,۰ برای تغییرمکان ۸/۳۵ میلیمتر در سر شمع ۱۳۵
شکل ٤-١٩- مقایسه نیروی برشی در شمع بین نتایج حاصل از FLAC۳D و LPILE PLUS۳,۰ برای تغییر مکان ۸/۳۵ میلیمتر در سرشمع ۱۳٦
شکل ٤-٢٠- مقایسه لنگر خمشی در شمع بین نتایج حاصل از FLAC۳D و LPILE PLUS۳,۰ برای تغییر مکان ۸/۳۵ میلیمتر در سرشمع ۱۳٦
شکل ٤-٢١- نمودار لگاریتمی تغییرات مدول الاستیسیته شمع در مقابل نیروی ایجاد شده در بالای شمع به ازای تغییرمکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ۱۳۸
شکل ٤-٢٢- نمودار لگاریتمی تغییرات مدول الاستیسیته شمع در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییرمکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ۱۳۹
شکل ٤-٢٣- نمودار تغییرات قطر شمع در مقابل نیروی برشی ایجاد شده در بالای شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ۱٤۱
شکل ٤-٢٤- نمودار تغییرات قطر شمع در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ۱٤۱
شکل ٤-٢٥- نمودار تغییرات ضخامت دیواره شمع در مقابل نیروی ایجاد شده در بالای شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر ۱٤۲
شکل ٤-٢٦- نمودار تغییرات ضخامت دیواره شمع در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سر شمع ۱٤۳
شکل ٤-٢٧- نمودار تغییرات نسبت پواسون در مقابل نیروی ایجاد شده در سر شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ۱٤٤
شکل ٤-٢٨- نمودار تغییرات نسبت پواسون در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ۱٤۵
شکل ٤-٢٩- نمودار تغییرات طول شمع در مقابل نیروی ایجاد شده در سر شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ۱٤٦
شکل ٤-٣٠- منحنی های تغییر شکل شمع ها با طول های متفاوت به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ۱٤٦

شکل ٤-٣١- نمودار تغییرات طول شمع در مقابل لنگر ماکزیمم به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در بالا شمع ١٤٨
شکل ٤-٣٢- نمودار تغییرات طول شمع در مقابل نیروی ایجاد شده سرشمع به ازای تغییر مکان ١٢ میلیمتر در سر شمع ١٤٨
شکل ٤-٣٣- منحنی های تغییر شکل شمع ها با طول های متفاوت به ازای تغییر مکان ١٢ میلیمتر در سرشمع ١٤٩
شکل ٤-٣٤- نمودار تغییرات نسبت مدول الاستیسیته خاک به چسبندگی در مقابل نیروی ایجاد شده در بالای شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سرشمع ١٥١
شکل ٤-٣٥- نمودار تغییرات نسبت مدول الاستیسیته خاک به جسبندگی در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سرشمع ١٥٢
شکل ٤-٣٦- نمودار تغییرات نسبت پواسون خاک در مقابل نیروی ایجاد شده در سر شمع به ازای تغییرمکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ١٥٣
شکل ٤-٣٧- نمودار تغییرات نسبت پواسون خاک در مقابل لنگر ماکزیمم به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در بالای شمع ١٥٤
شکل ٤-٣٨- نمودار تغییرات وزن مخصوص خاک در مقابل نیروی ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سرشمع ١٥٥
شکل ٤-٣٩- نمودار تغییرات وزن مخصوص خاک در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سر شمع ١٥٦
٤-٤٠- نمودار تغییرات ضریب فشار در مقابل نیروی ایجاد شده در سر شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سرشمع ١٥٧
٤-٤١- نمودار تغییرات ضریب فشار خاک درحالت سکون در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمعبه ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سر شمع ١٥٨
شکل ٤-٤٢- نموادار تغییرات چسبندگی خاک در مقابل نیروی ایجاد شده در بالای شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سر شمع ١٥٩
شکل ٤-٤٣- نمودار تغییرات چسبندگی خاک در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سر شمع ١٦٠
شکل ٤-٤٤- نمودار مربوط به طول بهینه شمع در خاک رسی برای شمع با سرآزاد محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ ..... ١٦٥
شکل ٤-٤٥- نمودارهای مربوط به نیروی اعمالی حداکثر در طول بهینه برای شمع با سر آزاد حاصل از نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ ..... ١٦٦
شکل ٤-٤٦- نمودارهای مربوط به لنگر حداکثر ایجاده شده در شمع با سر آزاد ، در طول بهینه ، حاصل از نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ ..... ١٦٧

شکل ٤-٤٧- محدوده کاربری نمودارهای ارائه شده ١٦٨
شکل ٤-٤٨- نمودارهای مربوط به طول بهینه شمع در خاک رسی برای شمع با سرآزاد محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ برای مثال ١ و ٢ ..... ١٧٠
شکل ٤-٤٩- نمودارهای مربوط به نیروی اعمالی حداکثر در طول بهینه برای شمع با سر آزاد حاصل از نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ برای مثال ١ و ٢ ..... ١٧٠
شکل ٤-٥٠- نمودارهای مربوط به لنگر حداکثر ایجاد شده در شمع با سر آزاد ، در طول بهینه ، حاصل از نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ برای مثال ١ و ٢ ..... ١٧١
شکل ٥-١- چگونگی تغییرات مدول حجمی با عمق ١٧٥
شکل ٥-٢- نحوه گسترش ناحیه پلاستیک درخاک اطراف شمع به ازای تغییر مکان ٤ سانتیمتر در سر شمع در حالت سه بعدی ١٧٦
شکل ٥-٣- نمودارهای تغییرمکان – نیرو ذر سر شمع برای دو حالت مدلسازی یک و سه بعدی ١٧٧
شکل ٥-٤- نحوه گسترش محدوده پلاستیک در خاک اطراف شمع به ازای تغییر مکان ٤ سانتیمتر در سر شمع در حالت مدلسازی یک بعدی ١٧٨
شکل ٥-٥- منحنی تغییر مکان سر شمع در مقابل نیروی وارده تا تغییر مکان ٤ سانتیمتر در حالت سه بعدی ١٧٨
شکل ٥-٦- منحنی تغییر مکان سر شمع در مقابل نیروی وارده تا تغییر مکان ٤ سانتیمتر در حالت یک بعدی ١٧٩
شکل ٥-٧- منحنی های P-Y ارائه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ در اعماق مختلف ١٨٢
شکل ٥-٨- منحنی های P-Y ارئه شده توسط نرم افزار FLAC٣D در اعماق مختلف ١٨٢
شکل ٥-٩- منحنی های P-Y در عمق ٠/٥ متری ارائه شده توسط دو نرم افزار FLAC٣D و LPILE PLUS٣,٠ ..... ١٨٣
شکل ٥-١٠- بررسی اثر ابعاد بلوک در رفتار شمع ٢١ متری تحت اثر تغییر مکان ٥/٥ میلیمتر در سر شمع ١٨٤
شکل ٥-١١- منحنی های تغییر مکان سرشمع – نیرو حاصله از روش های متفاوت ١٨٦
شکل ٥-١٢- منحنی های ممان ماکزیمم – نیرو حاصله از روش های متفاوت ١٨٦
شکل ٥-١٣- منحنی های تغییر شکل شمع به ازای نیروهای مختلف محاسبه شده از طریق نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ ..... ١٨٧
شکل ٥-١٤- منحنی تغییرات لنگر در امتداد شمع محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS٣,٠..... ١٨٨
شکل ٥-١٥- منحنی تغییرات نیروی برشی در امتداد شمع محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ ..... ١٨٨
شکل ٥-١٦- منحنی تغییرمکان سرشمع در مقابل نیرو برای آنالیز P-Y محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS٣,٠ ..... ١٩٠

شکل ۵-۱۷- منحنی لنگر ماکزیمم شمع در مقابل نیرو برای آنالیز P-Y محاسبه شده توسط نرم افزار LPILE PLUS۳,۰ ..... ۱۹۰
شکل ۵-۱۸- شکل شماتیک تغییر شکل شمع بلند پس از بازگذاری جانبی ۱۹۱
شکل ۵-۱۹- مقایسه تغییر شکل شمع بین نتایج حاصل از FLAC۳D و LPILE PLUS۳,۰ برای تغییر مکان ۱ سانتیمتر سرشمع ۱۹۲
شکل ۵-۲۰- مقایسه نیروی برشی در شمع بین نتایج حاصل از FLAC۳D و LPILE PLUS۳,۰ برای تغییر مکان ۱ سانتیمتر سر شمع ۱۹۳
شکل ۵-۲۱- مقایسه لنگر خمشی در شمع بین نتایج حاصل از FLAC۳D و LPILE PLUS۳,۰ برای تغییر مکان ۱ سانتیمتر سرشمع ۱۹٤
شکل ۵-۲۲- نمودار لگاریتمی تغییرات مدول الاستیسیته شمع در مقابل نیروی ایجاد شده در سر شمع به ازای تغییر مکان ۱ سانتیمتر در سرشمع ۱۹٦
شکل ۵-۲۳- نمودار لگاریتمی تغییرات مدول الاستیسیته شمع در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۱ سانتیمتر در سرشمع ۱۹۸
شکل ۵-۲٤- نمودار تغییرات قطر شمع در مقابل نیروی برشی ایجاد شده در بالای شمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در بالای شمع ۱۹۹
شکل ۵-۲۵- نمودار تغییرات قطر شمع در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در بالای شمع ۲۰۰
شکل ۵-۲٦- نمودار تغییرات ضخامت دیواره شمع در مقابل نیروی سرشمع به ازای تغییر مکان ۱ سانتیمتر در سرشمع ۲۰۱
شکل ۵-۲۷- نمودار تغییرات ضخامت دیواره شمع در مقابل لنگر ماکزیمم شمع به ازای تغییر مکان ۱ سانتیمتر در سرشمع ۲۰۲
شکل ۵-۲۸- نمودار تغییرات نسبت پواسون در مقابل نیروی ایجاد شده در سر شمع به ازای تغییر مکان ۱ سانتیمتر در سر شمع ۲۰۳
شکل ۵-۲۹- نمودار تغییرات نسبت پواسون در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۱ سانتیمتر در سر شمع ۲۰۳
شکل ۵-۳۰- نمودار تغییرات طول شمع در مقابل نیروی ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتری بالای شمع ۲۰٤
شکل ۵-۳۱- منحنی های تغییر شکل شمع ها با طول های متفاوت به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سر شمع ۲۰٤
شکل ۵-۳۲- نمودار تغییرات طول شمع در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۵/۵ میلیمتر در سرشمع ۲۰٦

شکل ۵-۳۳- نمودار تغییرات طول شمع در مقابل نیروی ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییر مکان ۳۰ میلیمتر در سر شمع ۲۰۷
شکل ۵-۳٤- منحنی های تغییرشکل شمع ها با طول های متفاوت به ازای تغییرمکان ۳۰ میلیمتر در سر شمع ۲۰۷
شکل ۵-۳۵- نمودار تغییر طول شمع در مقابل لنگر ماکزیمم شمع به ازای تغییر مکان ۳۰ میلیمتر در سر شمع ۲۰۸
شکل۵-۳٦- نمودار تغییرات طول شمع در مقابل تغییر مکان سر شمع به ازای نیروی اعمالی ۷۰ کیلو نیوتن درسرشمع ۲۰۸
شکل ۵-۳۷- نمودار تغییر شکل های شمع با طول های متفاوت به ازای نیروی اعمالی ۷۰ کیلو نیوتن در سرشمع ۲۰۹
شکل ۵-۳۸- نمودار تغییر مکان سرشمع ۳ متری در مقابل نیروی اعمالی در بالای شمع ۲۱۰
شکل ۵-۳۹- نمودار تغییرات مدول الاستیسیته خاک در مقابل نیروی ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییرمکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۱۲
شکل ۵-٤۰- نمودار تغییرات مدول الاستیسیته خاک در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در سر شمع ۲۱۳
شکل ۵-٤۱- نمودار تغییرات نسبت پواسون در مقابل نیروی ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییرمکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۱٤
شکل ۵-٤۲- نمودار تغییرات نسبت پواسون در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۱۵
شکل ۵-٤۳- نمودار تغییرات وزن مخصوص خاک در مقابل نیروی ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۱٦
شکل ۵-٤٤- نمودار تغییرات وزن مخصوص موثرخاک در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۱۷
شکل ۵-٤۵- نمودار تغییرات ضریب فشار خاک در مقابل نیروی سرشمع به ازای تغییرمکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۱۷
شکل ۵-٤٦- نمودار تغییرات ضریب فشار خاک در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۱۸
شکل ۵-٤۷- نمودار تغییرات زاویه اصطکاک خاک در مقابل نیروی ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۲۰
شکل ۵-٤۸- نمودار تغییرات زاویه اصطکاک خاک در مقابل لنگر ماکزیمم ایجاد شده در شمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در سر شمع ۲۲۱

شکل ۵-۴۹- نمودار تغییرات زاویه اتساع خاک در مقابل نیروی ایجاد شده در سرشمع به ازای تغییرمکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۲۳
شکل ۵-۵۰- نمودار تغییرات زاویه اتساع خاک در مقابل لنگر ماکزیمم در شمع به ازای تغییر مکان ۱۰ میلیمتر در سرشمع ۲۲۳

۱

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

هرگاه خاک زیرین سازه واقع بر پی های سطحی برای تحمل وزن بنا ضعیف باشد، باید عمق پی را افزایش داد تا به خاک مناسب رسید. شمع‌ها همانند ستون‌هایی که در خاک دفن می شوند، وظیفه انتقال نیروهای وارده به لایه‌های مقاوم زیرین را دارند.

بسته به نوع کاربری، شمع‌ها به چندین نوع تقسیم می‌شوند که شامل شمع‌های اتکایی، اصطکاکی و انواع دیگر می باشند. از دیدگاه دیگر می‌توان شمع ها را برحسب نوع مصالح و شیوه نصب نیز تقسیم بندی کرد. بطورکلی سه نوع مصالح چوب، فولاد و بتن جهت ساخت شمع ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. جنس و شکل شمع وابسته به بارهای وارده به سازه، نوع کاربری سازه، جنس خاک و مقدار هزینه در نظر گرفته شده می‌باشد.

بعد از انتخاب نوع مصالح، طراحی شمع براساس نیروهای وارده صورت می‌گیرد. نیروهای وارد بر شمع، نیروهای محوری و جانبی و ممان‌های خمشی می‌باشند و طراح باید اطمینان داشته باشد که شمع تک و یا شمع بحرانی در گروه شمع تحت نیروهای مذکور ایمن بوده و تغییر مکان نیز از مقادیر مجاز تجاوز نمی‌کند. بار مجاز جانبی اعمالی در یک شمع وابسته به نوع شمع، نوع خاک، عمق مدفون شمع، طبیعت نیرو و مقدار جابجایی جانبی مجاز شمع می باشد. طراحی شمع تحت بارهای قائم و محوری با حل معادلات تعادل در راستای نیرو صورت می‌گیرد در حالیکه در شمع‌های با بارگذاری جانبی مسئله به حل معادلات دیفرانسیلی غیرخطی منجر می‌شود. بررسی ظرفیت باربری نهایی یک شمع قائم تحت اثر بار جانبی و کنترل تغییر مکان سرشمع به لحاظ پیچیدگی اندرکنش بین یک شمع نیمه صلب و خاک الاستوپلاستیک جزو مسائل مبهم در علم ژئوتکنیک می‌باشد [Reese and Van, ۲۰۰۱].