

الحمد لله
الحمد لله



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی ژئوتکنیک

مدلسازی عددی رفتار شمع در بارگذاری جانبی دینامیکی

نگارنده: سید محسن نباتی

استاد راهنما

دکتر رضا نادری

بهمن ۱۳۹۵

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی عمران

گروه : خاک و پی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سید محسن نباتی به شماره دانشجویی: ۹۳۱۷۲۷۴

تحت عنوان: مدلسازی عددی رفتار شمع در بار جانبی دینامیکی

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

تقدیم بہ:

روح پاک پدرم کہ عالمانہ بہ من آموخت تا چگونه در عرصہ زندگی، ایستادگی را تجربہ نمایم
و بہ مادرم، دریای بی کران فداکاری و عشق کہ وجودم برایش ہمہ رنج بود و وجودش برایم ہمہ مہر

از استاد گرامیم جناب آقای دکتر رضانادی بسیار سپاسگزارم چرا کہ بدون راهنمایی های ایشان تائید این پایان نامہ بسیار مشکل می نمود . همچنین از آقایان علی بشارتی نژاد، علی حسن نژاد،

علا صدرو حسین عطاردی بہ دلیل یاری ہا و راهنمایی های بی چشم داشت ایشان کہ بسیاری از سختی ہا را برایم آسان تر نمودند، کمال تشکر را دارم .

سید محسن نباتی

تعهد نامه

اینجانب سید محسن نباتی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران-ژئوتکنیک دانشکده عمران دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه مدلسازی عددی رفتار شمع در بارگذاری جانبی دینامیکی تحت راهنمایی جناب دکتر رضا نادری متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

شمع‌ها جزو پی‌های عمیق هستند که در مواردی که لایه‌های خاک در سطح زمین توانایی تحمل بارهای وارده را ندارند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این عناصر ستونی لاغر در حالت‌های قائم و مایل مورد استفاده قرار می‌گیرند و وظیفه آنها انتقال بار به لایه‌های خاک در داخل زمین می‌باشد. در پروژه‌های متعارف مانند ساختمان‌ها، در صورت استفاده از شمع، باربری محوری آن نقش اصلی را ایفا می‌کند حال آن که باربری جانبی آن تنها برای بار جانبی گذرا مانند زلزله بررسی می‌شود. اما در بسیاری از پروژه‌ها مانند سازه‌های ساحلی و فراساحلی، بار جانبی در طراحی سازه دارای نقش مهمتری است، لذا پاسخ شمع به بارگذاری جانبی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

به منظور مطالعه شمع تحت بار جانبی تاکنون روش‌های مختلفی توسط محققین ارائه شده است. از جمله معروفترین روش‌های تحلیلی که تاکنون ارائه شده می‌توان به روش برامز و روش عکس العمل بستر اشاره کرد. به دلیل پیچیدگی موجود در این روش‌ها همه دارای فرضیات ساده کننده‌ای هستند و تعداد زیادی از پارامترها که دارای اهمیت کمتری هستند به دلیل اهمیت چند پارامتر تاثیرگذار حذف می‌گردند. این محدودیت‌ها باعث گردید که محققین برای تحلیل شمع تحت بار جانبی به استفاده از نرم‌افزار روی بیاورند.

در این پژوهش در ابتدا مطالعاتی بر روی فعالیت‌های گذشته در زمینه شمع تحت بار جانبی صورت گرفته است. مطالعات فعالیت‌های گذشته شامل روش‌های عددی و تحلیلی معرفی شده جهت تحلیل شمع و بیان کاستی‌های در این روش‌ها می‌باشد. سپس شمع تحت بار جانبی دینامیکی به صورت عددی مدلسازی شده و تاثیر پارامترهای مختلف بر رفتار آن سنجیده شده است.

در مدلسازی عددی، نمونه‌ها در ۴ گروه دسته‌بندی شده‌اند. شمع در ابتدا تحت بار جانبی دینامیکی ضربه‌ای مدل شده است که در این حالت به ترتیب میزان بار، تراکم نسبی خاک و قطر

شمع تغییر داده شده است. سپس نمونه‌ای با چند لایه خاک با تراکم نسبی متفاوت و نمونه‌هایی تحت بار دینامیکی چرخه‌ای و بار دینامیکی رفت و برگشتی ساخته شده است. و در نهایت نمونه‌های مدل‌سازی شده از نظر تغییر شکل شمع، منحنی P-Y و تغییر شکل خاک بررسی و مقایسه شده‌اند.

کلمات کلیدی: شمع، بار جانبی، بار دینامیکی، ضربه، روش اجزای محدود، **Opensees[®]**

فهرست مطالب

فصل اول	۱
۱- مقدمه	۲
۱-۱- ضرورت انجام پژوهش	۴
۲-۱- معرفی پژوهش	۴
۱-۲-۱- بیان مسئله	۴
۲-۲-۱- هدف از پژوهش	۴
۳-۲-۱- فصل بندی پژوهش	۵
فصل دوم	۷
۲- شمع و انواع بارگذاری	۸
۱-۲- مقدمه	۸
۲-۲- انواع شمع	۱۰
۱-۲-۲- انواع شمع از نظر مصالح مورد استفاده	۱۰
۱-۲-۲-۱- شمع های فولادی	۱۰
۲-۲-۲-۱- شمع های بتنی	۱۰
۲-۲-۲-۳- شمع های چوبی	۱۲
۲-۲-۲-۴- شمع های مرکب	۱۳
۲-۲-۲- انواع شمع از نظر باربری	۱۳

۱۳	شمع اتکایی..... ۱-۲-۲-۲
۱۴	شمع اصطکاکی..... ۲-۲-۲-۲
۱۴	شمع تراکمی..... ۳-۲-۲-۲
۱۵	شمع از نظر انعطاف پذیری..... ۳-۲-۲
۱۵	شمع صلب..... ۱-۳-۲-۲
۱۵	شمع انعطافپذیر..... ۲-۳-۲-۲
۱۸	انواع شمع از نظر اجرایی..... ۴-۲-۲
۱۸	شمع های با تغییر مکان بزرگ..... ۱-۴-۲-۲
۱۹	شمع های با تغییر مکان کوچک..... ۲-۴-۲-۲
۱۹	شمع های بدون تغییر مکان..... ۳-۴-۲-۲
۲۰	انواع حالت های بارگذاری..... ۳-۲
۲۰	بارگذاری استاتیکی..... ۱-۳-۲
۲۱	بارگذاری شبه استاتیکی..... ۲-۳-۲
۲۱	بارگذاری دینامیکی..... ۳-۳-۲
۲۳	فصل سوم
۲۴	۳- روشهای محاسبه باربری جانبی
۲۴	۱-۳- مقدمه.....
۲۴	۲-۳- روش های بررسی رفتار شمع تحت باربری جانبی.....

۲۴ ۱-۲-۳- روشهای تحلیلی

۲۴ Broms ۱-۱-۲-۳- تئوری

۳۱ ۲-۱-۲-۳- روش منحنی $p-y$

۳۵ ۲-۲-۳- روش عددی (روش المان محدود)

۳۹ فصل چهارم

۴۰ ۴- مدلسازی عددی بارگذاری جانبی شمع

۴۰ ۱-۴- مقدمه

۴۰ ۲-۴- روش تحقیق

۴۰ ۱-۲-۴- معرفی نرم افزار

۴۱ ۲-۲-۴- مدلسازی خاک

۴۱ ۳-۲-۴- مدلسازی محیط آزمایش

۴۳ ۴-۲-۴- مدلسازی شمع

۴۴ ۵-۲-۴- بارگذاری

۴۴ ۱-۵-۲-۴- نحوه اعمال بارگذاری

۴۵ ۳-۴- بررسی دوره تناوب خاک

۴۵ ۴-۴- صحت سنجی

۴۶ ۵-۴- تحلیل و بررسی نتایج

۴۶ ۱-۵-۴- تاثیر تغییرات میزان بار

- ۴۹ ۱-۱-۵-۴ - جابه جایی افقی
- ۵۲ ۲-۱-۵-۴ - منحنی $p-y$
- ۵۶ ۳-۱-۵-۴ - جابه جایی افقی خاک
- ۶۱ ۲-۵-۴ - تاثیر تغییرات تراکم نسبی خاک
- ۶۳ ۱-۲-۵-۴ - جابه جایی افقی
- ۶۶ ۲-۲-۵-۴ - منحنی $p-y$
- ۷۰ ۳-۲-۵-۴ - جابه جایی افقی خاک
- ۷۱ ۳-۵-۴ - تاثیر تغییرات قطر شمع
- ۷۲ ۱-۳-۵-۴ - جابه جایی افقی
- ۷۴ ۲-۳-۵-۴ - منحنی $p-y$
- ۷۷ ۳-۳-۵-۴ - جابه جایی افقی خاک
- ۷۹ ۴-۵-۴ - بررسی نمونه با خاک چند لایه
- ۸۰ ۱-۴-۵-۴ - جابه جایی افقی
- ۸۲ ۲-۴-۵-۴ - منحنی $p-y$
- ۸۴ ۵-۵-۴ - بررسی اثر بارگذاری چرخه ای
- ۸۵ ۱-۵-۵-۴ - منحنی $p-y$
- ۸۶ ۶-۵-۴ - بررسی اثر بار رفت و برگشتی
- ۸۷ ۱-۶-۵-۴ - منحنی $p-y$

فصل پنجم	۹۱
۵- نتایج و پیشنهادات	۹۲
۵-۱- مقدمه	۹۲
۵-۲- نتیجه گیری	۹۲
۵-۳- پیشنهاد برای مطالعات آتی	۹۵
پیوست ۱	۹۷
محاسبه بار	۹۷
انرژی پهلویی	۹۸
سرعت پهلویی	۹۹
ضریب جرم C_M	۱۰۱
ضریب خروج از مرکزیت	۱۰۲
ضریب شکل C_C	۱۰۳
ضریب نرمی	۱۰۳
مقادیر فرض شده	۱۰۵
منحنی عملکرد ضربه گیر	۱۰۵
منابع	۱۰۷

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲ نمایی از شمع قائم و مایل ۹
- شکل ۲-۲ مکانیسم گسیختگی شمع صلب تحت بار جانبی ۱۵
- شکل ۳-۲ مکانیسم گسیختگی شمع انعطاف پذیر تحت بار جانبی ۱۶
- شکل ۴-۲ نمودار شماتیک بارگذاری استاتیک ۲۱
- شکل ۱-۳ مقاومت نهایی خاک برای شمع صلب تحت اثر بار جانبی. حالت های تغییر شکل: الف) شمع بدون پی. ب) شمع دارای پی. واکنش خاک و لنگر خمشی در خاک چسبنده: پ) شمع بدون پی. ت) شمع با پی. واکنش خاک و لنگر خمشی در خاک غیرچسبنده: ث) شمع بدون پی. ج) شمع با پی. ۲۷
- شکل ۲-۳ مقاومت نهایی نهایی خاک برای شمع انعطاف پذیر تحت اثر بار جانبی. حالت های تغییر شکل: الف) شمع بدون پی. ب) شمع دارای پی. واکنش خاک و لنگر خمشی در خاک چسبنده: پ) شمع بدون پی. ت) شمع با پی. واکنش خاک و لنگر خمشی در خاک غیرچسبنده: ث) شمع بدون پی. ج) شمع با پی. ۲۸
- شکل ۳-۳ حداکثر ظرفیت باربری جانبی شمع های صلب و انعطاف پذیر در خاک غیرچسبنده. الف) مقاومت جانبی شمع صلب در خاک غیرچسبنده با طول ارتباط داده شده است. ب) مقاومت جانبی نهایی شمع انعطاف پذیر در خاک غیر چسبنده با لنگر مقاومت نهایی ارتباط داده شده است ۲۹
- شکل ۴-۳ حداکثر ظرفیت باربری جانبی شمع صلب و انعطاف پذیر در خاک چسبنده. الف) شمع صلب. ب) شمع انعطاف پذیر ۳۰
- شکل ۵-۳ مدلسازی روش منحنی $p-y$ برای تحلیل شمع تحت بار جانبی ۳۱
- شکل ۶-۳ مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج پیش بینی شده برای دو اسکله فراساحلی تحت اثر

بارگذاری جانبی	۳۵
شکل ۱-۴ ابعاد محیط خاک	۴۲
شکل ۲-۴ مش‌بندی شبکه المان‌ها در صفحه xy	۴۳
شکل ۳-۴ ابعاد مش‌بندی شبکه المان‌ها در صفحه xy	۴۳
شکل ۴-۴ ابعاد و نحوه مش‌بندی شبکه المان‌ها در صفحه xz	۴۳
شکل ۵-۴ نمودار صحت سنجی نتایج بین نمونه‌های مدل‌سازی شده در Plaxis و Opensees	۴۶
شکل ۶-۴ نمودار بار وارده به نمونه F250	۴۹
شکل ۷-۴ تغییر شکل سه بعدی نمونه F250 با ۱۰۰ برابر نمودن مقیاس جابه‌جایی افقی	۴۹
شکل ۸-۴ منحنی تغییر شکل نمونه F250	۵۰
شکل ۹-۴ منحنی تغییر شکل نمونه F350	۵۱
شکل ۱۰-۴ منحنی تغییر شکل نمونه F500	۵۱
شکل ۱۱-۴ منحنی p-y نمونه F250 در تراز ۰/۰ و ۱۰+	۵۳
شکل ۱۲-۴ منحنی p-y نمونه F350 در تراز ۰/۰ و ۱۰+	۵۴
شکل ۱۳-۴ منحنی p-y نمونه F500 در تراز ۰/۰ و ۱۰+	۵۵
شکل ۱۴-۴ جابه‌جایی افقی نمونه F250 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)	۵۶
شکل ۱۵-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه F250 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)	۵۷
شکل ۱۶-۴ جابه‌جایی افقی نمونه F350 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)	۵۷
شکل ۱۷-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه F350 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)	۵۷
شکل ۱۸-۴ جابه‌جایی افقی نمونه F500 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)	۵۸
شکل ۱۹-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه F500 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)	۵۸
شکل ۲۰-۴ جابه‌جایی افقی نمونه F250 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر)	۵۹
شکل ۲۱-۴ جابه‌جایی افقی نمونه F350 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر)	۶۰

- شکل ۲۲-۴ جابه‌جایی افقی نمونه F500 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر) ۶۰
- شکل ۲۳-۴ نمودار بار افقی وارده به نمونه Dr30 ۶۳
- شکل ۲۴-۴ تغییر شکل سه بعدی نمونه Dr30 با ۱۰۰ برابر نمودن مقیاس جابه‌جایی افقی ۶۴
- شکل ۲۵-۴ منحنی تغییر شکل نمونه Dr30 ۶۵
- شکل ۲۶-۴ منحنی تغییر شکل نمونه Dr50 ۶۵
- شکل ۲۷-۴ منحنی تغییر شکل نمونه Dr75 ۶۶
- شکل ۲۸-۴ منحنی $p-y$ نمونه Dr30 در تراز $+0/0$ و $+10$ ۶۷
- شکل ۲۹-۴ منحنی $p-y$ نمونه Dr50 در تراز $+0/0$ و $+10$ ۶۸
- شکل ۳۰-۴ منحنی $p-y$ نمونه Dr75 در تراز $+0/0$ و $+10$ ۶۹
- شکل ۳۱-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه Dr30 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر) ۷۰
- شکل ۳۲-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه Dr50 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر) ۷۰
- شکل ۳۳-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه Dr75 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر) ۷۱
- شکل ۳۴-۴ تغییر شکل سه بعدی نمونه D1 با ۱۰ برابر نمودن مقیاس جابه‌جایی افقی ۷۲
- شکل ۳۵-۴ منحنی تغییر شکل نمونه D1 ۷۳
- شکل ۳۶-۴ منحنی تغییر شکل نمونه D2 ۷۴
- شکل ۳۷-۴ منحنی $p-y$ نمونه D1 در تراز $+0/0$ و $+10$ ۷۵
- شکل ۳۸-۴ منحنی $p-y$ نمونه D2 در تراز $+0/0$ و $+10$ ۷۶
- شکل ۳۹-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه D1 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر) ۷۷
- شکل ۴۰-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه D2 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر) ۷۷
- شکل ۴۱-۴ جابه‌جایی افقی نمونه D1 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر) ۷۸
- شکل ۴۲-۴ جابه‌جایی افقی نمونه D2 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر) ۷۹

- شکل ۴-۴۳ لایه بندی خاک در نمونه با ۳ لایه خاک ۸۰
- شکل ۴-۴۴ تغییر شکل سه بعدی نمونه با ۳ لایه خاک با ۱۰۰ برابر نمودن مقیاس جابه‌جایی افقی ۸۱
- شکل ۴-۴۵ منحنی تغییر شکل نمونه خاک ۳ لایه ۸۲
- شکل ۴-۴۶ منحنی p-y نمونه خاک ۳ لایه در تراز ۰/+ و ۱۰/+ ۸۳
- شکل ۴-۴۷ نمودار بار افقی وارده به نمونه C500 ۸۴
- شکل ۴-۴۸ منحنی p-y نمونه C500 در تراز ۱۰/+ ۸۵
- شکل ۴-۴۹ منحنی p-y نمونه C500 در تراز ۰/+ ۸۶
- شکل ۴-۵۰ نمودار بار افقی وارده به نمونه P500 ۸۷
- شکل ۴-۵۱ منحنی p-y نمونه P500 در تراز ۱۰/+ ۸۸
- شکل ۴-۵۲ منحنی p-y نمونه P500 در تراز ۰/+ ۸۹
- شکل پ ۱-۱ پلان پهلویی ۱۰۰
- شکل پ ۱-۲ تعریف پارامترهای ضریب C_M ۱۰۲
- شکل پ ۱-۳ چرخش در حین پهلویی ۱۰۳
- شکل پ ۱-۴ اثر ضریب شکل ۱۰۴
- شکل پ ۱-۵ ضریب نرمی ۱۰۴
- شکل پ ۱-۶ منحنی عملکرد ضربه گیر ۱۰۶

فهرست جدول

- جدول ۱-۲ معیار شمع انعطاف‌پذیر و صلب ۱۷
- جدول ۲-۲ محدوده مدول افقی واکنش بستر (Terzaghi, 1955) ۱۷
- جدول ۱-۴ دوره تناوب خاک ۴۵
- جدول ۲-۴ خصوصیات نمونه‌های دارای بارگذاری متفاوت ۴۷
- جدول ۳-۴ خصوصیات خاک بخش تغییرات بار ۴۷
- جدول ۴-۴ خصوصیات نمونه‌های بخش تغییرات تراکم خاک ۶۱
- جدول ۵-۴ خصوصیات خاک بخش تغییرات تراکم خاک ۶۱
- جدول ۶-۴ خصوصیات نمونه‌های بخش تغییرات قطر شمع ۷۲
- جدول ۷-۴ خصوصیات نمونه بخش خاک چند لایه ۸۰
- جدول ۸-۴ خصوصیات نمونه بخش بارگذاری چرخهای ۸۴
- جدول ۹-۴ خصوصیات نمونه بخش بارگذاری رفت و برگشتی ۸۷
- جدول پ ۱-۱ ضریب تشدید در شرایط غیر عادی ۱۰۰
- جدول پ ۲-۱ سرعت پهلویی شناورها ۱۰۱
- جدول پ ۳-۱ تعریف ضریب جرم CM ۱۰۱
- جدول پ ۴-۱ ضریب قالبی C_B ۱۰۲
- جدول پ ۵-۱ مقادیر C_C ۱۰۴
- جدول پ ۶-۱ ضریب نرمی ۱۰۵
- جدول پ ۷-۱ مقادیر مفروض جهت محاسبه بار پهلویی ۱۰۵

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

شمع‌ها جزو پی‌های عمیق هستند که در مواردی که لایه‌های خاک در سطح زمین توانایی تحمل بارهای وارده را ندارند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این عناصر ستونی لاغر در حالت‌های قائم و مایل مورد استفاده قرار می‌گیرند و وظیفه آنها انتقال بار به لایه‌های خاک در زمین می‌باشد. استفاده از شمع‌ها به صورت تک و یا گروهی، به دلایل مختلف در سازه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرند. یکی از مهمترین موارد موثر در طراحی شمع‌ها نوع بار وارده به آن می‌باشد. به طور کلی می‌توان شمع‌ها را از نظر بار وارده به آن به دو دسته تقسیم کرد:

۱- شمع یا گروه شمع تحت بار محوری

۲- شمع یا گروه شمع تحت بار جانبی

اگر بار وارد به شمع محوری باشد، به علت سختی زیاد شمع نسبت به خاک، شمع به صورت یک عضو صلب فرض می‌شود. در این حالت مسئله با نوشتن معادلات تعادل قابل حل می‌باشد. ولی اگر بار جانبی یا ممان در سرشمع اثر کند، در این حالت مقاومت جانبی از طریق ترکیب سیستم خاک و شمع تامین می‌شود. به عبارت دیگر در این وضعیت سختی خمشی شمع تعیین کننده خواهد بود. حال اگر شمع صلب باشد مقاومت برشی خاک تعیین کننده بار نهایی سیستم می‌شود در حالی که اگر شمع انعطاف پذیر باشد سختی خمشی شمع نیز در معادلات شرکت می‌کند.

بار جانبی وارد به شمع‌ها عموماً ناشی از مواردی از قبیل فشار خاک پشت دیوار حائل، بار باد وارد به سازه‌هایی مثل توربین بادی، ضربه ناشی از کشتی، ضربه موج، ضربه یخ و یا بارهای ثقلی دارای خروج از مرکزیت می‌باشد. در پروژه‌های ساحلی و فراساحلی بار جانبی، بار اصلی تعیین کننده در طراحی انواع

سازه‌های ساحلی می‌باشد. بار کشتی در سازه‌های پهلویی و بار باد وارد بر توربین‌های فراساحلی از جمله مهمترین موارد این بارها هستند. لذا پاسخ شمع به بارگذاری جانبی و بارگذاری دینامیکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. با این حال بررسی رفتار شمع تحت بار جانبی دینامیکی در موارد محدود بررسی شده است (Ginnakos et al, 2012).

بررسی نوع بارگذاری از اهمیت قابل توجهی برخوردار است زیرا نوع بارگذاری باعث تغییرات قابل توجه در اندرکنش خاک و سازه و در نتیجه باعث کاهش ظرفیت باربری شمع می‌شود (Basack and Dey, 2011).

رفتار شمع تحت بارگذاری جانبی از عوامل زیادی تاثیر می‌پذیرد که این عوامل عبارتند از (امیری، ۱۳۸۴):

- نحوه بارگذاری شامل استاتیکی، سیکلی و دینامیکی
- سرعت بارگذاری (کوتاه یا بلند مدت بودن)
- زبری بدنه شمع (ضریب اصطکاک بین خاک و شمع)
- هندسه مقطع شمع
- رفتار مصالح شمع و در نظر گرفتن رفتار غیر خطی آنها در بارهای خیلی زیاد
- مشخصات خاک شامل: ضریب الاستیسیته، مقاومت برشی، غیر همگن بودن خاک، تراکم خاک، تخلخل و ...
- شرایط مرزی برای شمع از جمله گیرداری سرشمع

- در نظر گرفتن اثر همزمانی بار محوری و جانبی

۱-۱- ضرورت انجام پژوهش

با توجه به مطالب ذکر شده در بخش قبل و اهمیت شناخت کامل از رفتار شمع تحت بار جانبی، باید درک مناسبی از تاثیر پارامترهای مختلف در رفتار شمع صورت گیرد تا به کمک آن بتوان طراحی هرچه دقیق‌تری صورت پذیرد. به همین دلیل با مدلسازی عددی، میدانی و یا آزمایشگاهی باید به پیش‌بینی مناسبی از عملکرد شمع پرداخت. لذا در این پژوهش با مدلسازی عددی شمع تحت بار دینامیکی جانبی، رفتار آن مطالعه می‌گردد و تاثیر پارامترهای مختلف نیز بررسی می‌شود.

۱-۲- معرفی پژوهش

۱-۲-۱- بیان مسئله

تحلیل شمع تحت بار جانبی، یکی موضوعات اندرکنش خاک و سازه می‌باشد که در آن تغییر مکان شمع وابسته به پاسخ خاک و پاسخ خاک تابعی از تغییر شکل شمع است. برای بررسی و تحلیل رفتار شمع تحت بارگذاری جانبی از روش‌های عددی و تحلیلی استفاده می‌گردد که غالباً دارای معادلات پیچیده می‌باشند که حل آن‌ها زمان بر است، از این رو به کمک استفاده از رایانه به حل سریعتر آن پرداخته می‌شود. در این پژوهش مدلسازی عددی شمع تحت بارگذاری به وسیله نرم افزار انجام و به بررسی پاسخ شمع تحت بار دینامیکی و معرفی پارامترهای موثر در رفتار شمع پرداخته می‌شود.

۱-۲-۲- هدف از پژوهش

هدف از این پژوهش مطالعه دقیق‌تر رفتار شمع تحت بار جانبی به علت اهمیت پی‌های عمیق در

بارهای جانبی می‌باشد. در این مسیر به بررسی پژوهش سایر محققین پرداخته، نقاط ضعف، قوت و تفاوت آنها بیان می‌شود. در پایان با مدلسازی عددی در محیط نرم افزاری سعی می‌شود به بررسی پارامترهای تاثیرگذار بر رفتار شمع تحت بار جانبی پرداخته شود.

۱-۲-۳- فصل بندی پژوهش

در فصل اول که از پیش روی گذشت به معرفی مقدمه و کلیاتی از این پژوهش، شامل معرفی شمع تحت بار جانبی، ضرورت و هدف انجام پژوهش حاضر پرداخته شد.

در فصل دوم به بررسی انواع شمع‌ها و حالت‌های بارگذاری پرداخته خواهد شد.

در فصل سوم به معرفی روش‌های تحلیل شمع تحت بار جانبی شامل روش‌های عددی و تحلیلی و کاستی‌های روش‌های بیان شده پرداخته خواهد شد.

در فصل چهارم در ابتدا به معرفی روش تحقیق شامل معرفی نرم افزار، خصوصیات مدلسازی خاک و شمع و خصوصیات بارهای وارد شده به شمع پرداخته خواهد شد. سپس به بررسی صحت نتایج از طریق مقایسه آنها با نتایج قابل اطمینان و در نهایت به ارائه نتایج و تحلیل آنها پرداخته خواهد شد.

در نهایت در فصل پنجم، جمع‌بندی نتایج پژوهش و پیشنهادات برای پژوهش‌های آینده، ارائه خواهد شد.

فصل دوم

شمع و انواع بارگذاری

۲- شمع و انواع بارگذاری

۲-۱- مقدمه

پی بخشی از سازه است که وظیفه انتقال بار از سازه اصلی به زمین را بر عهده دارد. بر اساس نوع ساختمان و میزان بارهای وارده، تراکم نسبی لایه‌ها و نوع خاک زمین می‌توان نوع و ابعاد پی را انتخاب و مشخص نمود. پی‌ها با توجه به شرایط قرار گیری بر روی زمین شامل عمق استقرار و عرض پی در ۳ گروه دسته بندی می‌شوند. انواع پی از نظر محل استقرار عبارتند از:

۱- پی‌های سطحی: این پی‌ها اغلب عمق اسقرارشان کمتر یا مساوی با عرضشان می‌باشد و معمولاً بعد از برداشتن خاک نباتی، لایه یخبندان و لایه خاک نامناسب اجرا می‌شوند.

۲- پی‌های نیمه عمیق: در این پی‌ها نسبت عمق به عرض پی در محدوده ۵ تا ۱۰ می‌باشد.

۳- پی‌های عمیق: در این پی‌ها نسبت عمق به عرض پی بزرگتر از ۱۰ می‌باشد.

شمع‌ها جزو پی‌های عمیق هستند که در مواردی که لایه‌های خاک در سطح زمین توانایی تحمل بارهای وارده را ندارند مورد استفاده قرار می‌گیرند. این عناصر ستونی لاغر در حالت‌های قائم و مایل مورد استفاده قرار می‌گیرند و دارای وظیفه انتقال بار به لایه‌های پایین‌تر خاک از طریق اصطکاک در طول شمع و اتکا به نوک شمع می‌باشند. استفاده از شمع‌ها به صورت تک و یا گروهی، به دلایل مختلف در سازه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرند. یکی از مهمترین موارد موثر در طراحی شمع‌ها نوع بار وارده به آن می‌باشد. شمع‌ها اغلب تحت بار مایل قرار می‌گیرند که برآیند بار قائم و جانبی می‌باشد. بارهای جانبی عمدتاً ناشی از فشار آب، خاک و یا باد می‌باشند. در سازه‌های فراساحلی بار عمده جانبی ناشی از ضربه کشتی و یا بار باد در توربین‌ها می‌باشد. در این سازه‌ها بار قائم نسبت به بار افقی به میزان زیادی کوچکتر بوده، به حدی

که می‌توان از بار ثقلی صرف نظر کرد و طراحی براساس بار جانبی انجام شود. شمع‌های قائم علاوه بر تحمل بار قائم ظرفیت تحمل بار جانبی را نیز دارا می‌باشند در نتیجه می‌توان با استفاده از شمع قائم بار جانبی را نیز مهار کرد.



شکل ۱-۲ نمایی از شمع قائم و مایل

به منظور طراحی دقیق شمع، نیاز به شناخت کافی و دقیق از انواع شمع به منظور آگاهی از رفتار آنها می‌باشد لذا در این بخش به معرفی انواع شمع پرداخته می‌شود و سعی می‌شود با دسته بندی آنها رفتار آنها به صورت دقیق‌تر بررسی شود.

۲-۲- انواع شمع

شمع‌ها با توجه به ویژگی‌هایی که دارند، از جنبه‌های مختلف در دسته‌های گوناگون قرار می‌گیرند. ویژگی‌هایی چون مصالح مورد استفاده، باربری، انعطاف‌پذیری و نحوه اجرا باعث این تمایزها می‌شوند. در ادامه به تشریح هر دسته و ویژگی‌های آن پرداخته می‌شود.

۲-۲-۱- انواع شمع از نظر مصالح مورد استفاده

شمع‌ها از نظر مصالح مورد استفاده در گروه‌های فولادی، بتنی، چوبی و مرکب دسته بندی می‌شوند. تفاوت در مصالح باعث تفاوت در هزینه ساخت، شکل شمع، مقاومت شمع و عمر مفید شمع می‌شود. ویژگی و خصوصیات شمع با مصالح گوناگون در ادامه تشریح می‌شود.

۲-۲-۱-۱- شمع‌های فولادی

شمع‌های فولادی از جنس فولاد می‌باشند که در اشکال مختلف تهیه می‌شوند. انواع معمول شمع‌های فولادی، شمع‌های لوله‌ای و شمع‌های H شکل می‌باشند. شمع‌های لوله‌ای از ورق‌های فولادی که به وسیله دستگاه خم و جوش داده می‌شوند، تهیه می‌گردند و در دو حالت انتهای بسته و انتهای باز به زمین کوبیده می‌شوند. در اکثر اوقات، شمع‌های لوله‌ای بعد از کوبیده شدن با بتن پر می‌شوند. شمع‌های H شکل نیز به صورت کوبشی و یا مدفون در بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۲-۲-۱-۲- شمع‌های بتنی

در عمل، شمع‌های بتنی به دو صورت مورد استفاده قرار می‌گیرند:

۱- شمع‌های پیش ساخته

۲- شمع‌های درجا

شمع های پیش ساخته را می توان با استفاده از میلگرد های معمولی ساخت. مقطع آنها به صورت مربع یا هشت ضلعی می باشد. میلگرد ها به منظور مقاوم نمودن شمع در مقابل خمش تولید شده در هنگام حمل و نقل ، بلند کردن و اعمال بار جانبی به شمع و همچنین افزایش مقاومت فشاری ، مورد استفاده قرار می گیرند. شمع های پیش ساخته در طول مورد نظر ساخته شده و تحت شرایط مرطوب به عمل می آیند تا به مقاومت مورد نظر برسند. پس از آن به محل کوبیدن حمل می شوند . شمع های پیش ساخته را می توان با استفاده از کابل های پیش تنیدگی پر مقاومت ، به صورت پیش تنیده در آورد. شمع های بتنی در جاریز بدین صورت اجرا می شوند که ابتدا چاهی در زمین به وسیله دست یا ماشین حفر می شود و سپس قفس آرماتور ها درون چاه قرار داده شده و داخل آن با بتن پر می شود .

شمع های درجا به روش ها و انواع مختلف اجرا می شوند شمع های درجاریز در دو گروه اصلی جای

می گیرند:

۱- با غلاف

۲- بدون غلاف

هر دو گروه می توانند دارای نوک پهن شده باشند. شمع های درجاریز غلاف دار بدین صورت اجرا می - شوند که ابتدا یک لوله فولادی به زمین کوبیده شده و پس از رسیدن به عمق مورد نظر، مصالح داخلی آن خالی شده و داخل لوله پر از بتن می شود. لوله را می توان با قرار دادن یک سنبه در داخل آن کوبید و پس از رسیدن به عمق مورد نظر، سنبه را خارج کرد. برای سر پهن کردن شمع، پس ریختن مقداری بتن در نوک شمع، با رها کردن وزنه از ارتفاع، آن را می کوبند تا از طرفین پهن شود. برای اجرای شمع بدون غلاف، ابتدا غلاف در زمین کوبیده شده و سپس همزمان با بتن ریزی در داخل غلاف ، غلاف به تدریج به بیرون کشیده می شوند.

۲-۱-۳- شمع‌های چوبی

شمع‌های چوبی تنه درخت‌های سالم، صاف و بلند می‌باشند که سطح آن پس از کندن پوست، به دقت تراشیده می‌شود. حداکثر طول اغلب شمع‌های چوبی بین ۱۰ تا ۲۰ متر می‌باشد. چوبی که از آن به عنوان شمع استفاده می‌شود باید مستقیم، بدون درز و ترک و سالم باشد.

انجمن آمریکایی مهندسان عمران در دستورالعمل اجرایی شماره ۱۷ (۱۹۵۹)، شمع‌های چوبی را به سه دسته زیر تقسیم می‌کنند:

۱- شمع‌های دسته A: این شمع‌ها بارهای سنگین را حمل می‌کنند. حداقل قطر سر چنین شمع‌هایی ۳۵۰ mm می‌باشد.

۲- شمع‌های دسته B: این شمع‌ها بارهای سبک را حمل می‌کنند. حداقل قطر سر این شمع‌ها بین ۳۰۵ تا ۳۳۰ mm می‌باشد.

۳- شمع‌های دسته C: از این شمع‌ها برای کارهای ساختمانی موقت استفاده می‌شود. وقتی که تمام طول شمع در داخل سفره‌ی آب زیرزمینی قرار داشته باشد، از این شمع‌ها می‌توان برای حمل بارهای دائمی استفاده کرد. حداقل قطر سر این شمع‌ها ۳۰۵ mm می‌باشد. در هیچ حالتی قطر نوک شمع نباید کمتر از ۱۵۰ mm باشد.

اگر شمع چوبی در خاک کاملاً اشباع کوبیده شود، عمر آن تقریباً بی‌نهایت خواهد بود. از سوی دیگر در آب و هوای دریایی، شمع‌های چوبی تحت حملات ارگانیسم‌های مختلف قرار گرفته و ظرف چند ماه صدمات جدی در آنها ظاهر می‌شود. شمع چوبی در بالای سطح آب زیرزمینی، تحت حملات حشرات قرار می‌گیرند. با انجام بعضی اصطلاحات، از جمله محافظت آنها توسط روغن کروزوت، می‌توان عمر آنها را

افزایش داد.

۲-۱-۲-۴- شمع‌های مرکب

در شمع‌های مرکب، قسمت‌های فوقانی و تحتانی شمع از دو مصالح مختلف ساخته می‌شوند. به عنوان مثال شمع‌های مرکب ممکن است از فولاد و بتن و یا چوب و بتن ساخته شوند. شمع‌های مرکب فولاد و بتن، در قسمت تحتانی فولاد و قسمت فوقانی بتن درجا می‌باشند. این نوع شمع وقتی مورد استفاده قرار می‌گیرد که طول شمع لازم برای تأمین ظرفیت باربری از ظرفیت شمع بتنی در جاریز ساده بیشتر باشد. شمع‌های مرکب چوب و بتن دارای قسمت تحتانی چوبی می‌باشند که به طور دائم در سفره ی آب زیرزمینی قرار دارد و قسمت فوقانی آنها از بتن است. از سوی دیگر ایجاد وصله در محل تلاقی دو مصالح مشکل بوده و به همین علت است که شمع‌های مرکب دارای کاربرد وسیعی نمی‌باشند.

۲-۲-۲- انواع شمع از نظر باربری

شمع‌ها از نظر سطح تقابل با خاک در دو حالت تقابل در جداره و تقابل در نوک شمع قرار می‌گیرند. بسته به این که شمع بار را از طریق اصطکاک بدنه و یا مقاومت نوک شمع به خاک منتقل کند در دو گروه شمع اصطکاکی و اتکایی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر برخی شمع‌ها برای افزایش تراکم نسبی خاک و در نتیجه افزایش مقاومت خاک به کار می‌روند که شمع تراکمی نام دارند. این نوع شمع نیز در این بخش تشریح می‌شود.

۲-۲-۱- شمع اتکایی

اگر بستر سنگی و یا لایه‌ای با تراکم نسبی بالا در عمق منطقی قرار داشته باشد، شمع را می‌توان تا آن لایه ادامه داد در این حالت ظرفیت باربری شمع کاملاً بستگی به ظرفیت باربری بستر سنگی در مقابل

نوک شمع خواهد داشت. به همین علت به این شمع‌ها، اتکایی می‌گویند. در چنین حالتی با توجه به معلوم بودن عمق بستر سنگی از روی گمانه‌های حفر شده، تعیین طول شمع کار چندان مشکلی نخواهد بود. اگر در عوض بستر سنگی، یک لایه ی سخت و نسبتاً متراکم در عمق منطقی قرار داشته باشد، شمع را می‌توان چند متر در لایه سخت ادامه دارد.

۲-۲-۲-۲- شمع اصطکاکی

در صورتی که عمق بستر سنگی یا لایه ی شبیه به سنگ زیاد باشد، طول لازم برای شمع اتکایی غیراقتصادی خواهد بود. در چنین شرایطی شمع به عمق مناسب، در لایه‌های نرم فوقانی بدون اینکه به لایه ی سخت برسد، کوبیده می‌شود. انتخاب نام اصطکاکی برای این شمع‌ها، از آنجا ناشی می‌شود که اکثر مقاومت آنها به وسیله‌ی اصطکاک جداره شمع و خاک تأمین می‌شود. طول لازم برای شمع اصطکاکی بستگی به مقاومت برشی خاک، بار وارده و اندازه شمع دارد. برای تعیین طول لازم شمع، احتیاج به درک خوبی از اندرکنش خاک - شمع، قضاوت مهندسی و تجربه می‌باشد.

۲-۲-۲-۳- شمع تراکمی

در بعضی موارد خاص، شمع‌ها بدین منظور در لایه‌های دانه‌ای کوبیده می‌شوند که تراکم نسبی خوبی در لایه‌های سطحی خاک به وجود آید. این شمع‌ها به شمع‌های تراکمی موسوم هستند. شمع‌های تراکمی معمولاً کوتاه هستند، لیکن برای تعیین طول مناسبی برای آنها، آزمایش‌های صحرایی ضروری می‌باشد. طول شمع‌های تراکمی به عوامل زیر بستگی دارد:

۱- تراکم نسبی خاک قبل از تراکم

۲- تراکم نسبی مورد نیاز بعد از تراکم

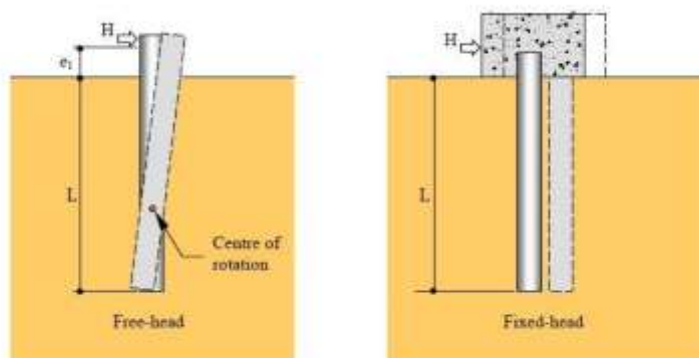
۳- عمق لازم برای تراکم

۲-۲-۳- شمع از نظر انعطاف پذیری

شمع‌ها با توجه به نسبت سختی شمع به سختی خاک به دو حالت شمع انعطاف پذیر و صلب تقسیم می‌شوند. بار جانبی خارج از این که در چه نوع خاکی باشد به انعطاف پذیری یا صلب بودن شمع نیز بستگی دارد. ظرفیت باربری شمع صلب به مقاومت خاک بستگی دارد در صورتی که ظرفیت باربری شمع انعطاف پذیر به مقاومت سازه‌ای بستگی دارد (Poulos and Davis, 1980).

۲-۲-۳-۱- شمع صلب

شمع صلب در اثر بار جانبی مانند جسم صلب عمل می‌کند و حول نقطه‌ای دوران می‌کند و اگر دارای پی سطحی باشد به طور کامل جابه‌جا می‌شود. رفتار این شمع در شکل (۲-۲) نشان داده شده است.

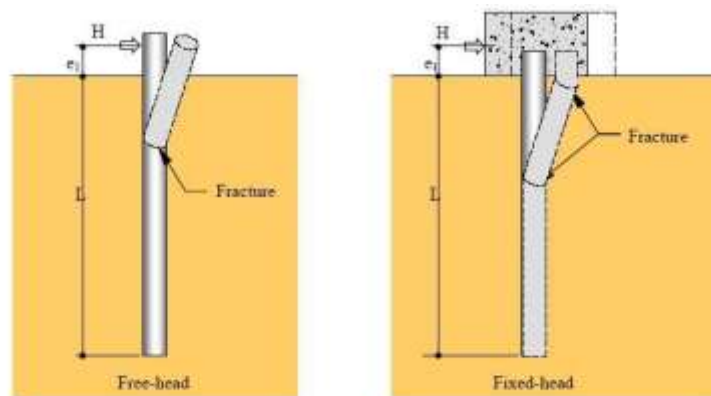


شکل ۲-۲ مکانیسم گسیختگی شمع صلب تحت بار جانبی (رنجی، ۱۳۸۸)

۲-۲-۳-۲- شمع انعطاف پذیر

شمع انعطاف پذیر تحت اثر بار جانبی، ایجاد یک یا دو مفصل می‌کند و حول آن مفصل‌ها دوران می‌کند. به طور کلی رفتار شمع انعطاف پذیر و صلب به سختی خمشی سیستم خاک و شمع بستگی دارد (Boominathan and Ayothiraman, 2007).

شمع انعطاف پذیر تحت اثر بار جانبی بدون توجه به داشتن یا نداشتن پی سطحی، همانطور که در شکل (۳-۲) مشاهده می شود در طول خود یک یا دو مفصل تشکیل می دهد.



شکل ۳-۲ مکانیسم گسیختگی شمع انعطاف پذیر تحت بار جانبی (رنجی، ۱۳۸۸)

برای پیش بینی رفتار یک شمع که به صورت صلب عمل می کند یا انعطاف پذیر، معیارهای مختلفی ارائه شده است که در جدول (۱-۲) درج شده است. در روابط ارائه شده پارامتر T که به عنوان طول مشخصه شناخته می شود از رابطه (۱-۲) بدست می آید. برای تعیین طول مشخصه نیاز به مدول واکنش بستر می باشد که می توان از جدول (۲-۲) برای تعیین آن استفاده کرد. پارامترهای K_r ، S_H ، K و L_c به ترتیب از روابط (۲-۲)، (۳-۲)، (۴-۲) و (۵-۲) تعیین می شود.

در جدول (۱-۲) و روابط (۱-۲) تا (۵-۲)، L طول مدفون شمع (m)، B پهنای شمع (m)، η_h مدول افقی واکنش بستر (kN/m^3)، E مدول یانگ شمع (Kpa)، I ممان اینرسی شمع (m^4) و E_s مدول یانگ خاک (Kpa) می باشند.

جدول ۱-۲ معیار شمع انعطاف پذیر و صلب

منبع	شمع کوتاه	شمع بلند	
Broms, 1964 a,b	$L/T \leq 2$	$L/T \geq 4$	۱
Poulos and Davis, 1980	$K_r \geq 10^{-2}$	$K_r < 10^{-2}$	۲
Bierschwale, 1981	$L/B < 6$	$L/B > 6$	۳
Dorby et al, 1982	$S_H < 5$	$S_H > 5$	۴
Davies and Budhu, 1986	$L < 1.5BK^{0.36}$	$L > 1.5BK^{0.36}$	۵
Poulos and Hull, 1989	$L < L_c/3$	$L > L_c$	۶

جدول ۲-۲ محدوده مدول افقی واکنش بستر (Terzaghi, 1955)

η_h (KN/m ³)		
Dry soil		
Loos sand	Medium sand	Dens sand
۲۶۰۰	۷۷۰۰	۲۰۰۰۰

$$T = \left(\frac{EI}{\eta_h} \right)^{0.2} \quad (۱-۲)$$

$$K_r = \left[\frac{EI}{E_s B^4} \right] \quad (۲-۲)$$

$$S_h = \left(\frac{L}{B} \right) \left(\frac{E}{E_s} \right)^{0.25} \quad (۳-۲)$$

$$K = \left(\frac{E}{E_s} \right) \quad (۴-۲)$$

$$L_c = 4.44 \left(\frac{EI}{E_s} \right)^{0.25} \quad (۵-۲)$$

۲-۲-۴- انواع شمع از نظر اجرایی

شمع‌ها بسته به نحوه اجرا در گروه‌های مختلف قرار می‌گیرند. استاندارد بریتانیا بر این اساس شمع‌ها را در ۳ گروه جای می‌دهد. بر اساس استاندارد بریتانیا شمع‌ها به سه دسته طبقه می‌شوند:

۱- شمع‌های با تغییر مکان بزرگ

۲- شمع‌های با تغییر مکان کوچک

۳- شمع‌های بدون تغییر مکان

۲-۲-۴-۱- شمع‌های با تغییر مکان بزرگ

این نوع شمع هنگام نصب و رانش درون زمین، تغییر مکان زیادی در خاک ایجاد می‌کنند. این شمع‌ها معمولاً دارای مقاطع توپر و یا تو خالی ته بسته می‌باشند که با شیوه کوبشی یا جک زدن به درون خاک رانده می‌شوند. شمع‌های کوبیدنی با تغییر مکان‌های بزرگ شامل موارد زیر هستند:

- شمع چوبی با مقاطع دایره ای یا مربعی، یکسره یا با اتصالات وصل شده

- شمع بتنی پیش ساخته شده با مقاطع تو پر یا تو خالی

- شمع پیش تنیده با مقاطع تو پر یا تو خالی

- شمع لوله فولادی ته بسته

- شمع جعبه‌ای فولادی ته بسته

۲-۲-۴-۲- شمع‌های با تغییر مکان کوچک

اینگونه شمع‌ها نیز بصورت کوبشی یا با جک درون زمین نصب می‌شوند و لیکن دارای سطح مقطع نسبتاً کوچکی هستند. مثالهایی از این نوع عبارتند از مقاطع فولادی H یا I شکل، لوله‌ها یا جعبه‌های فولادی ته باز که در حین نصب، خاک وارد قسمت‌های حفره‌ای مقطع می‌شود. اگر در حین کوبش این شمع‌ها درون زمین، توده خاک در حوالی نوک شمع تشکیل و قفل شود بطوریکه مانع نفوذ ستون خاک به درون حفرات مقطع شود شمع از نوع با جابجایی زیاد محسوب می‌شود.

شمع‌های با جابجایی کم شامل انواع زیر هستند:

- بتنی پیش تنیده با مقاطع لوله‌ای ته باز کوبشی با ضربه

- مقاطع فولادی H شکل

- مقاطع فلزی لوله‌ای ته باز کوبشی که در صورت ضرورت خاک وارد شده درون لوله تخلیه می‌شوند.

۲-۲-۴-۳- شمع‌های بدون تغییر مکان

برای نصب این نوع شمع‌ها نخست حفره محل شمع با روش‌های حفاری مناسب حفاری شده و درون آن بتن ریزی می‌شود. بتن ریزی ممکن است درون غلاف و یا بدون غلاف اجرا شود. غلاف ممکن است با پیشرفت بتن ریزی بیرون کشیده شود. در بعضی موارد ممکن است شمع‌های آماده چوبی، بتنی یا فولادی درون حفره قرار داده شود.

شمع های بدون جابه جایی شامل انواع زیر می شوند:

– حفر چاهک توسط روشهای مته دورانی، چنگک، بالابر هوایی و پر کردن آن با بتن درجا

– حفر چاهک با روشهای فوق و قرار دادن لوله و پر کردن آن با بتن در صورت لزوم

– حفر چاهک و قرار دادن قطعات پیش ساخته بتنی درون آن

– تزریق ملات سیمان یا بتن درون چاهک

– مقاطع فولادی قرار داده شده درون چاهک

– حفر چاهک و قرار دادن لوله فولادی بطور همزمان

۲-۳- انواع حالت های بارگذاری

به صورت کلی بارگذاری عاملی است که اگر به جسم وارد شود باعث تغییر در سرعت، شتاب و یا شکل جسم گردد. انواع حالت های بارگذاری به سه دسته استاتیکی^۱، شبه استاتیکی^۲ و دینامیکی^۳ طبقه بندی می شوند.

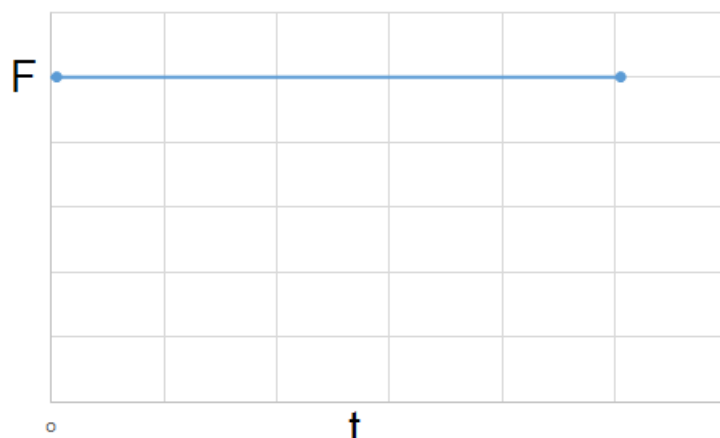
۲-۳-۱- بارگذاری استاتیکی

در این نوع از بارگذاری میزان بار در تمام مدت بارگذاری ثابت است و با گذشت زمان تغییری در مقدار آن ایجاد نمی شود. در مسئله استاتیکی شتاب برابر صفر می شود، در نتیجه حاصل ضرب جرم در شتاب برابر صفر خواهد شد. لذا می توان از جرم صرف نظر کرد. نمودار بارگذاری استاتیکی به صورت زیر می باشد.

^۱ Static

^۲ Quasi-Static

^۳ Dynamic



شکل ۴-۲ نمودار شماتیک بارگذاری استاتیک

۲-۳-۲- بارگذاری شبه استاتیکی

بارگذاری شبه استاتیک بدین معناست که در یک لحظه خاص از زمان، می توان مسئله را استاتیک فرض کرد. در واقع حالت مسئله در این لحظه بسیار به حالت قبلی نزدیک است. این فرض زمانی که تأثیرات اینرسی بسیار کم باشند به خوبی عمل خواهد کرد. واژه شبه استاتیک معمولاً برای مسائل غیرخطی بکار برده می شود که با این فرض، دستگاه معادلات غیرخطی در یک گام زمانی کوچک با یک مجموعه خطی جایگزین می شود. مسائل حوزه تغییر شکل فلزات (با سرعت های پایین) و بارگذاری های سیکلی با سرعت نه چندان بالا از جمله مواردی هستند که می توانند در حوزه شبه استاتیک جای گیرند.

۲-۳-۳- بارگذاری دینامیکی

مسائلی که در آن جرم نقش اساسی ایفا می کند و حاصل ضرب جرم در شتاب عددی غیر صفر خواهد بود. تغییر شکل های بزرگ و سریع و مسائل حوزه برخورد و بالستیک از بارزترین نمونه های این شاخه به شمار می آیند.

بارهای دینامیکی، به بارهایی که تابعی از زمان باشند گفته می‌شود. این بارها به صورت $P=F(T)$ قابل بیان می‌باشد. بارهای استاتیکی حالتی خاص از بارهای دینامیکی محسوب می‌شوند که با تابع ثابت تعریف می‌شوند.

به طور کلی بارهای دینامیکی با توجه به شرایط تابع نیرو در مقابل زمان به دو گروه تناوبی و غیر تناوبی تقسیم می‌شوند. برای بارهای تناوبی می‌توان یک دوره تناوب یا بسامد در نظر گرفت. از این گونه بارها در طبیعت می‌توان به بارهای ناشی از امواج مثل جزر و مد دریا اشاره نمود. بار چرخه‌ای و بار رفت و برگشتی نیز نوعی بار دینامیکی متناوب هستند که در دوره تناوب مشخص تکرار می‌شوند. برای بارهای غیر تناوبی نمی‌توان زمان تناوب خاصی را تعریف کرد. مثال این گونه بارها، بار ناشی از یک انفجار بر روی سازه و یا بار لرزه‌ای وارده از زمین به هنگام زلزله است. بارهای ضربه‌ای نیز نوعی از بارهای دینامیکی غیرمتناوب محسوب می‌شوند. این گونه از بارها بطور ناگهانی بر سازه وارد می‌شوند و مدت زمان اعمال بار کوتاه است.

در این پژوهش نمونه‌هایی تحت بارهای ضربه‌ای، چرخه‌ای و رفت و برگشتی مدل می‌شوند. به جهت مدلسازی این بارها از بار ضربه‌کشی استفاده می‌شود. نحوه محاسبه این بار و نمودارها و جداول مربوط به آن در پیوست ارائه گردیده است.

فصل سوم

روش‌های محاسبه باربری جانبی

۳- روش‌های محاسبه باربری جانبی

۳-۱- مقدمه

در بخش قبلی سعی بر آن شد تا تعریفی دقیق و جامع از شمع، انواع آن و همین‌طور بارگذاری و انواع آن ارائه شود. در این بخش سعی می‌شود با استفاده از تعاریف فصل قبل به بررسی روش‌های محاسبه باربری جانبی شمع پرداخته شود. لذا در این بخش روش‌های متداول تحلیل رفتار شمع در دو مجموعه روش‌های عددی و روش‌های تحلیلی بررسی می‌شوند.

۳-۲- روش‌های بررسی رفتار شمع تحت باربری جانبی

در این بخش رفتار شمع تحت باربری جانبی در دو گروه روش تحلیلی و روش عددی بیان می‌شود. روش تحلیلی شامل تئوری برامز و روش منحنی $p-y$ و روش عددی شامل روش اجزا محدود و فرضیات این روش می‌شود.

۳-۲-۱- روش‌های تحلیلی

در این بخش به معرفی روش‌های تحلیلی ارائه شده توسط محققین پرداخته می‌شود. از جمله محققینی که در این زمینه کار کرده‌اند می‌توان به (McClelland and focht (1958)، Matlock and Reese (1960) و (Broms (1964) اشاره کرد. در ادامه روش‌های این محققین شامل منحنی $p-y$ و تئوری برامز شرح داده می‌شود.

۳-۲-۱-۱- تئوری Broms

تئوری Broms برای شمع‌های بلند و کوتاه روابط جداگانه‌ای را ارائه کرده است. وی با توجه به

چگونگی توزیع عکس العمل خاک به محاسبه‌ی ظرفیت باربری جانبی شمع در خاک پرداخت و شمع‌ها را به دو گروه شمع با انتهای گیردار و شمع با انتهای آزاد تقسیم بندی کرد. در این روش توزیع مقاومت نهایی خاک در طول شمع ساده سازی شده و گیرداری یا آزاد بودن سر شمع به صورت مناسبی در این تئوری گنجانده شده است (بدایت، ۱۳۸۹).

این روش بر پایه فشار خاک و قابل کاربرد برای شمع انعطاف پذیر و صلب دارای پی با بدون پی می- باشد که هر نوع خاک چسبنده و غیرچسبنده را به صورت مجزا بررسی می کند. معیار شمع انعطاف پذیر و صلب در این روش بر مبنای روابط زیر تعیین می شود.

شمع صلب: بر مبنای روابط زیر شمع در دسته شمع صلب قرار می گیرد.

$$\frac{L}{T} \leq 2 \text{ or } \frac{L}{R} \leq 2 \quad (1-3)$$

$$R = \left(\frac{EI}{K} \right)^{1/4} \quad (2-3)$$

$$T = \left(\frac{EI}{\eta_h} \right)^{0.2} \quad (3-3)$$

در روابط (۱-۳) الی (۳-۳) L طول مدفون، E مدول تغییر شکل، I ممان مقطع شمع، K مدول خاک برای خاک پیش تحکیم یافته که با افزایش عمق ثابت در نظر گرفته می شود و η_h ثابت مدول واکنش بستر برای خاک های غیرپیش تحکیم یافته که مدول خاک با افزایش عمق، افزایش می یابند.

شمع انعطاف پذیر: بر مبنای رابطه زیر شمع در دسته انعطاف پذیر قرار می گیرد.

$$\frac{L}{T} \geq 4 \text{ or } \frac{L}{R} \geq 3.5 \quad (4-3)$$

براساس این تئوری، زمانی که شمع صلب و خاک غیرچسبنده باشد فشار محرک پشت شمع نادیده گرفته می‌شود و فشار مقاوم در طول جلوی شمع در هر عمق برابر است با:

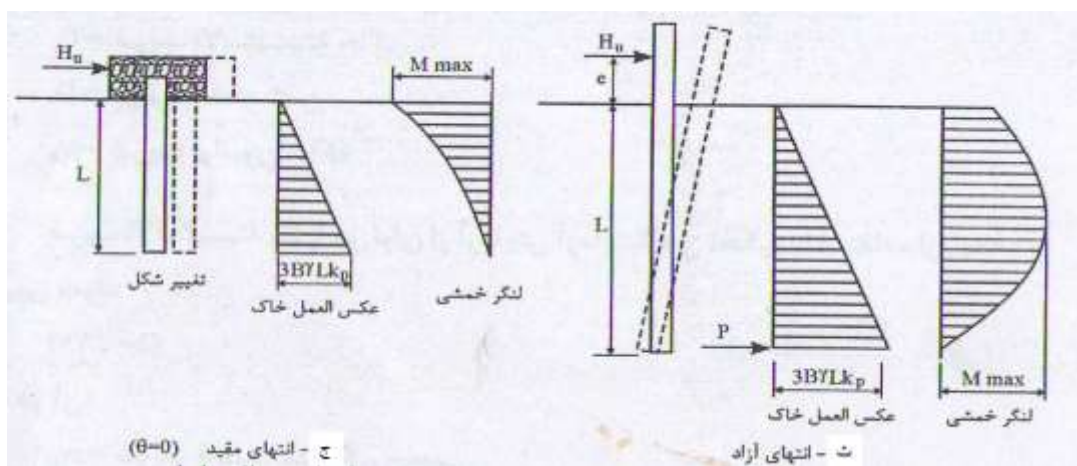
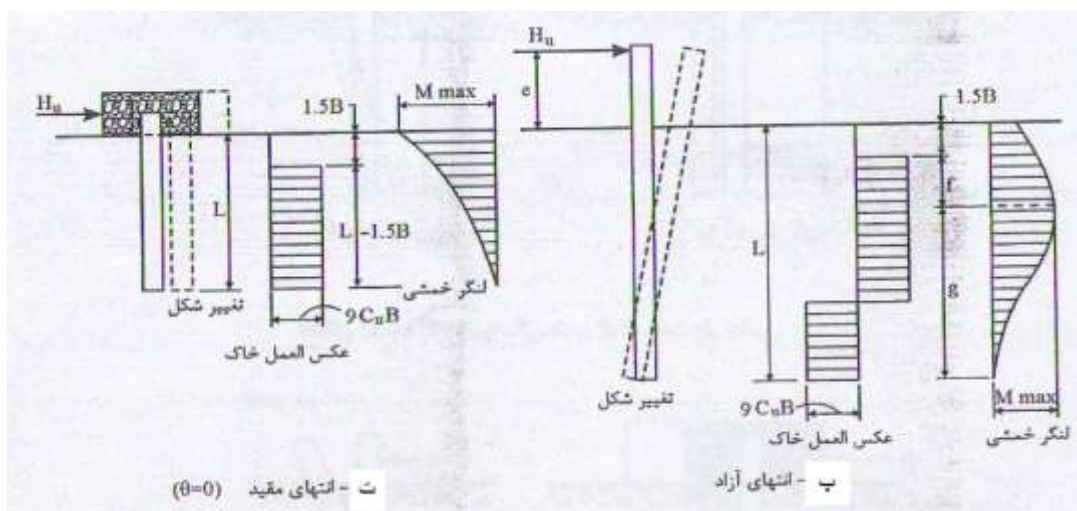
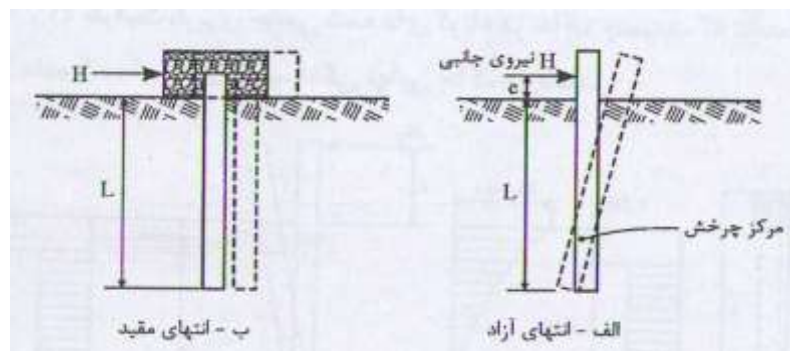
$$P = 3B\sigma_v K_p = 3\gamma L B K_p \quad (5-3)$$

در رابطه (5-3) P فشار خاک، σ_v فشار موثر سربار در هر عمق، γ وزن مخصوص، L طول مدفون شمع، B عرض یا قطر شمع، K_p ضریب فشار مقاوم رانکین برابر با $\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}$ و φ زاویه اصطکاک داخلی خاک می‌باشند.

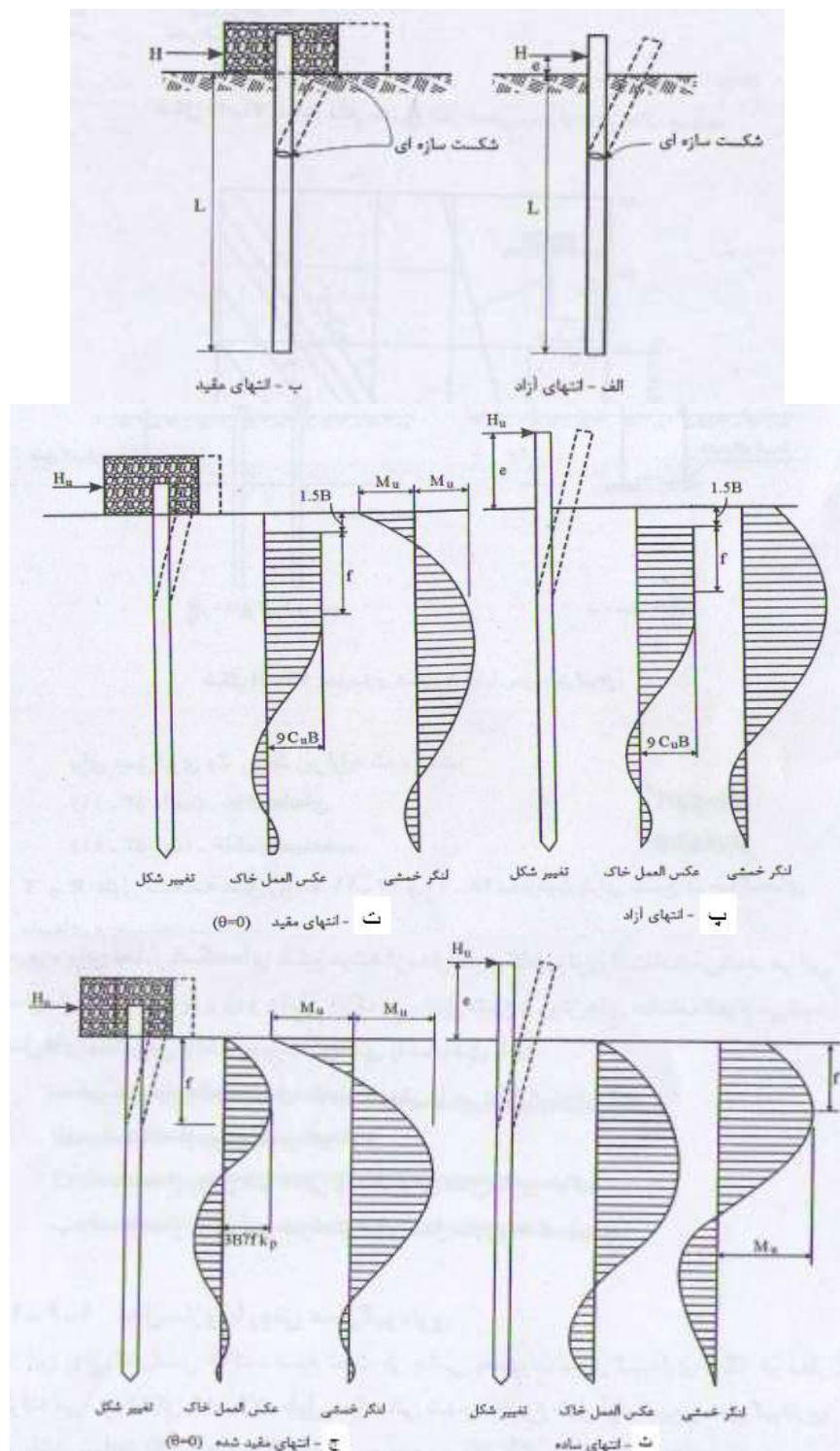
برای حالتی که شمع صلب و خاک چسبنده باشد، مقدار فشار در طول شمع، از سطح زمین تا عمق $1.5B$ ، صفر و از این عمق به بعد برابر با مقدار ثابت $c_u B$ در نظر گرفته می‌شود (Bromes, 1964).

در حالت شمع انعطاف پذیر و خاک غیرچسبنده کافی است در رابطه (5-3) به جای L مقدار f جایگزین شود. f عمقی است که واکنش خاک به مقدار حداکثر می‌رسد. در خاک های چسبنده واکنش خاک بعد از عمق $(1.5B+f)$ شروع به کاهش می‌کند.

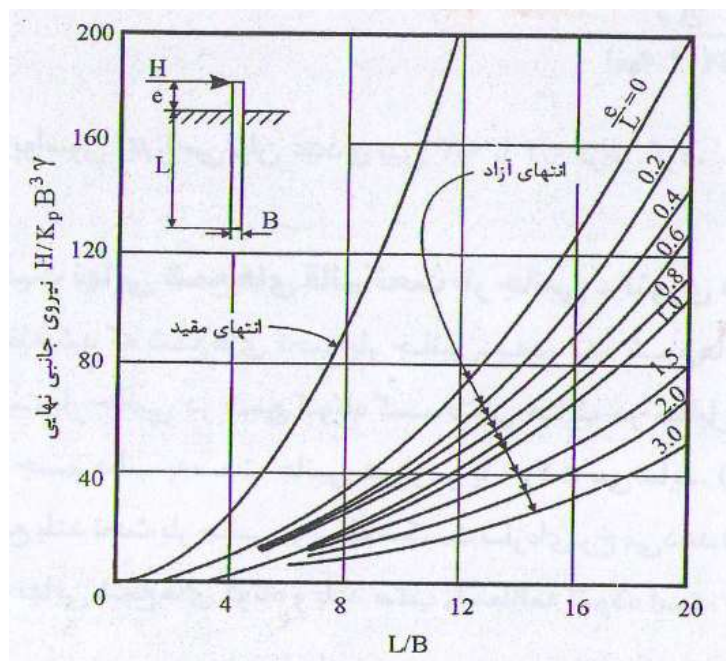
واکنش خاک در عمق برای شمع صلب و انعطاف پذیر در شکل‌های (1-3) و (2-3) نشان داده شده است. در شکل‌های (3-3) و (4-3) حداکثر ظرفیت باربری شمع‌های صلب و انعطاف‌پذیر برای حالتی که شمع در خاک چسبنده و یا غیرچسبنده باشد پیش‌بینی شده است.



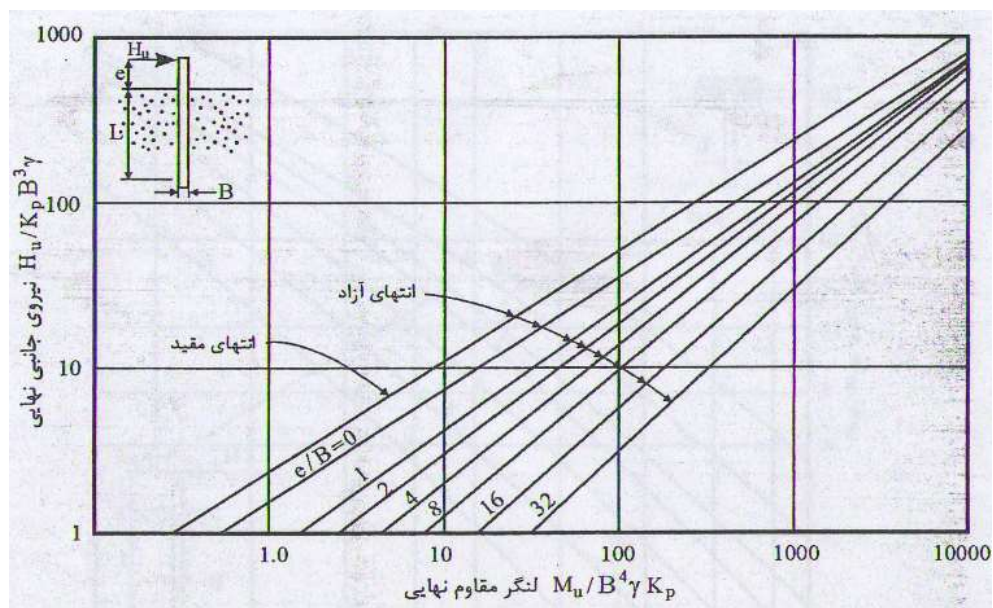
شکل ۱-۳ مقاومت نهایی خاک برای شمع صلب تحت اثر بار جانبی. حالت های تغییر شکل: الف) شمع بدون پی. ب) شمع دارای پی. واکنش خاک و لنگر خمشی در خاک چسبنده: پ) شمع بدون پی. ت) شمع با پی. واکنش خاک و لنگر خمشی در خاک غیرچسبنده: ث) شمع بدون پی. ج) شمع با پی (Bromes, 1964 (a) and (b)).



شکل ۲-۳ مقاومت نهایی نهایی خاک برای شمع انعطاف پذیر تحت اثر بار جانبی. حالت های تغییر شکل: الف) شمع بدون پی. ب) شمع دارای پی. واکنش خاک و لنگر خمشی در خاک چسبنده: پ) شمع بدون پی. ت) شمع با پی. واکنش خاک و لنگر خمشی در خاک غیر چسبنده: ث) شمع بدون پی. ج) شمع با پی (Bromes, 1964(a) and (b)).

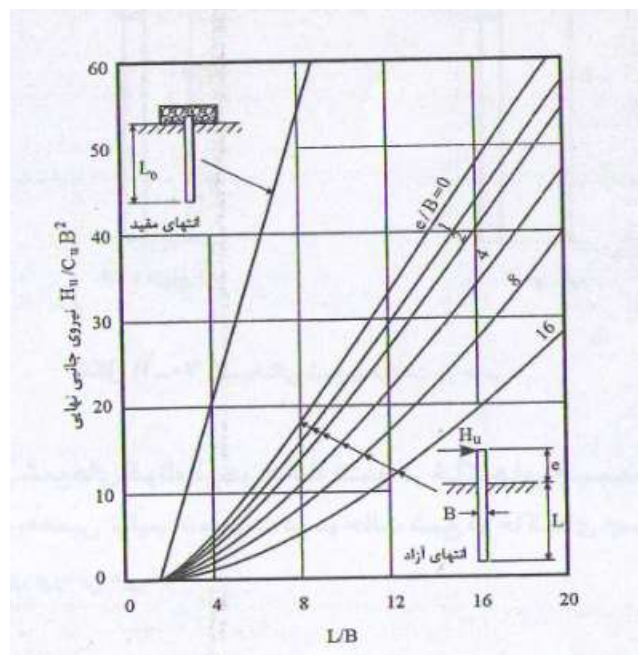


(الف)

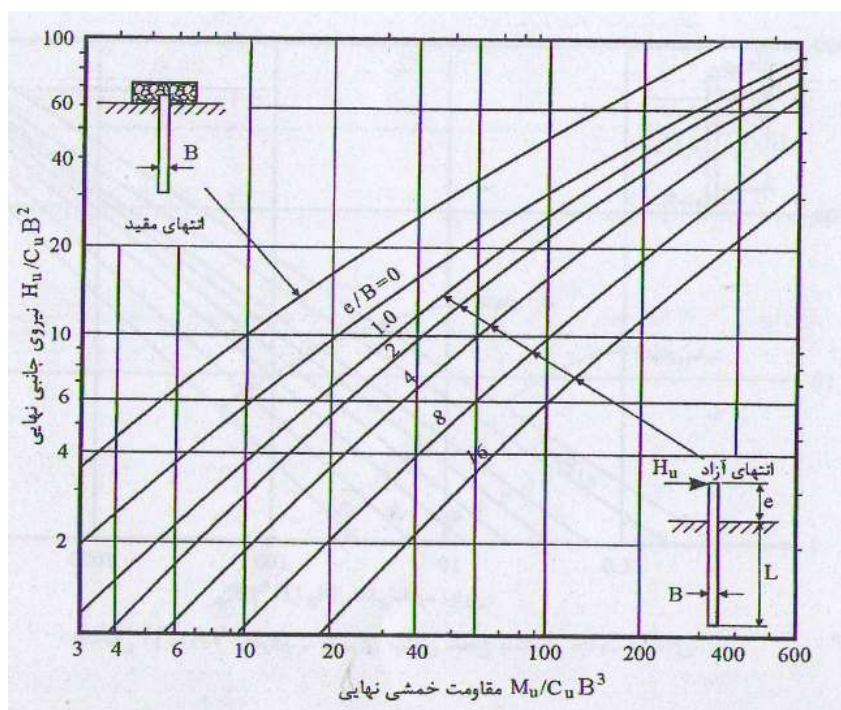


(ب)

شکل ۳-۳ حداکثر ظرفیت باربری جانبی شمع های صلب و انعطاف پذیر در خاک غیرچسبنده. (الف) مقاومت جانبی شمع صلب در خاک غیرچسبنده با طول ارتباط داده شده است. (ب) مقاومت جانبی نهایی شمع انعطاف پذیر در خاک غیر چسبنده با لنگر مقاوم نهایی ارتباط داده شده است (Bromes, 1964(a) and (b)).



(الف)

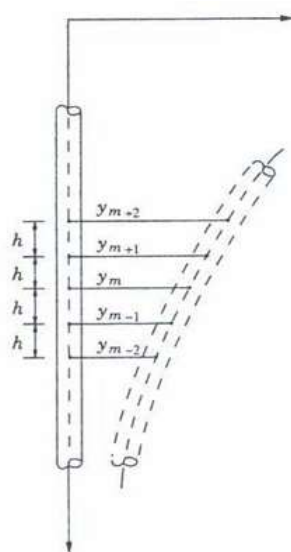


(ب)

شکل ۳-۴ حداکثر ظرفیت باربری جانبی شمع صلب و انعطاف پذیر در خاک چسبنده. (الف) شمع صلب. (ب) شمع انعطاف پذیر (Broms, 1964(a) and (b)).

۳-۲-۱-۲- روش منحنی p-y

روش های زیادی برای تخمین تغییر شکل جانبی شمع در ماسه تحت اثر بار جانبی چرخه‌ای ارائه شده است. یکی از قدیمی ترین روش ها جهت بررسی اثر بار جانبی روی شمع، روش منحنی p-y می-باشد. اندرکنش خاک و شمع تحت اثر بارگذاری جانبی، به طور معمول با استفاده از منحنی p-y که توسط (Rsses and Matlock (1960), McClelland and focht (1958) معرفی شده است، محاسبه می-شود. منحنی p-y با استفاده از روش وینکلر، توسط فنرهای جدا از هم در طول شمع، که بخش‌های مختلف شمع بر آن تکیه دارد، مدل می شود. این روش پاسخ لایه های مختلف خاک را از هم جدا کرده و به همین دلیل می تواند به راحتی شامل اثرات غیرخطی لایه‌بندی خاک شود. منحنی p-y رابطه ، بین مقاومت خاک p ناشی از میدان تنش غیریکنواخت بسیج شده اطراف شمع در پاسخ به جابه جایی شمع y در هر نقطه در طول شمع را تعریف می کند (Lee et al., 2012).



شکل ۳-۵ مدل سازی روش منحنی p-y برای تحلیل شمع تحت بار جانبی

این روش در دستورالعمل مؤسسه نفت و گاز آمریکا (American petroleum Institute) که به اختصار API نامیده می شود شرح داده شده است (lee et al., 2012). در درجه اول منحنی $p-y$ از پژوهش در صنعت نفت و گاز تکامل یافته است، زیرا در دهه های ۷۰ و ۸۰ میلادی تقاضا برای سازه های فراساحلی واقع بر شمع های قطور به طور چشم گیری افزایش یافت. این پژوهش ها شامل آزمایش بر روی شمع های بزرگ مقیاس در ماسه تحت شرایط بارگذاری استاتیکی و چرخه ای می باشد. مروری بر این آزمون های مهم و نتایج آن توسط Reese and Impe (2006) ارائه شده است (هنرور صدیقیان، ۱۳۹۴).

برخی محققین از قبیل (1983) O'Neil and Murchison، (1970) Matloc، (1974) Reese et al. پیشنهاد های منحنی $p-y$ برای ماسه، سیلت و سنگ را براساس آزمون های برجا بر روی فوندانسیون سازه های ساحلی ارائه دادند (هنرور صدیقیان، ۱۳۹۴).

نوع خاک، ابعاد پی، روش ساخت و نصب شمع، تعداد و بزرگی بار چرخه ای عوامل اصلی جهت طراحی پی سازه های فراساحلی هستند و مطالعات متعددی برای تعیین منحنی $p-y$ با توجه به عوامل ذکر شده انجام شده است. چندین آزمون آزمایشگاهی نیز با توجه به فاکتورهای تعیین رفتار جانبی شمع انجام شده است (Lee et al., 2012).

کاربرد رابطه $p-y$ نیاز به یک روش عددی دارد تا معادله دیفرانسیل مرتبه ۴ برای خمشی میله را با در نظر گرفتن شرایط مرزی مناسب حل کند.

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dz^4} - p(y) = 0, Z \in [0; L] \quad (۳-۶)$$

که در آن E_p و I_p به ترتیب مدول الاستیک و ممان دوم سطح شمع است.

Reese et al. (1974) از نتایج تست های استاتیکی و چرخه ای (سیکلک) برجا، بر روی شمع های بزرگ

مقیاس جهت تهیه منحنی نیمه تجربی و غیر خطی $p-y$ استفاده کردند. در این روش از فاکتور کاهش که به طور تجربی و از نتایج آزمایش ها بدست آمده بود، برای کاهش و تخریب منحنی $p-y$ استاتیکی استفاده کرد. روش ارائه شده توسط Reese et al. (1974) مقاومت خاک برای تعداد زیادی چرخه (سیکل) را ارائه می داد، اما منحنی $p-y$ چرخه‌ای (سیکلک) مستقل از تعداد چرخه بود (هنرور صدیقان، ۱۳۹۴).

O'Neill and Murehson (1983) از نتایج تعدادی آزمون استاتیکی و چرخه‌ای جهت ارزیابی و بهبود منحنی $p-y$ استفاده کردند. هر چند تاکید آن ها بیشتر بر بارگذاری جانبی استاتیکی بود، با کاهش مقاومت استاتیکی خاک برای میزان انحراف مشخص y ، منحنی $p-y$ چرخه‌ای را تهیه کردند. این روش نیز مانند روش Reese et al. (1974) مستقل از تعداد چرخه بود (هنرور صدیقان، ۱۳۹۴).

(Reese et al. (197) ، O'Neill and Murchison (1983) جهت بهبود روش پیشین، انحراف شمع را توسط معادله دیفرانسیل مرتبه چهارم زیر، برای خمش نیز توصیف کردند.

$$E_p I_p \frac{d^4 y}{dz^4} + Q_A \left[\frac{d^4 y}{dz^4} \right] - p(y) = 0, Z \in [0; L] \quad (۷-۳)$$

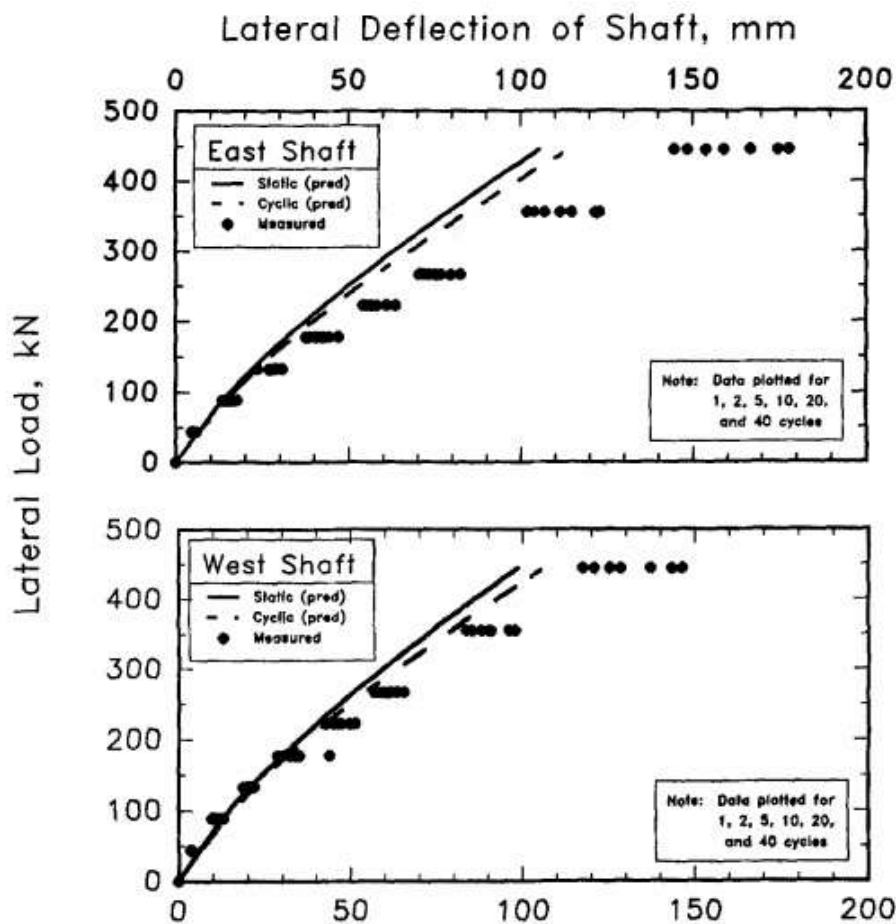
که در آن I_p, E_p به ترتیب مدول الاستیسیته و معان دوم اینرسی شمع می باشد و Q_A بار محوری ناشی از برج توربین است (Reese et al., 1974). منحنی $p-y$ بر روی شمع که توسط Reese et al. (1974) و O'Neill and Murehison (1983) توصیف شده ، منجر به توصیه‌هایی در استاندارد API (1983) برای تاسیسات نفت و گاز شده است. این منحنی‌ها به تصویب رسیده که در روش های فعلی برای طراحی شمع تحت بار جانبی در آیین نامه API (1993) استفاده می شود از روش های بسیار تجربی بدست آمده زیرا با چند آزمایش بزرگ مقیاس که توسط COX et al. (1974) شرح داده

شده است، تطبیق داده شده اند (هنرور صدیقیان، ۱۳۹۴).

روش طراحی در حال حاضر که براساس منحنی $p-y$ می باشد به طور گسترده به رسمیت شناخته شده است با این حال دارای محدودیت هایی است. منحنی های فعلی براساس داده های تجربی بدست آمده از شمع های بلند، لاغر و انعطاف پذیر بدست آمده است. با توجه به این موضوع در مقیاس واقعی شمع با قطر زیاد رفتار صلب دارد، بنابراین باید رفتار واقعی شمع را از رفتار انعطاف پذیر نسبی شمع متمایز کرد زیرا بر روی رفتار خاک و شمع تاثیر می گذارد (Briaud et al., 1984).

در استاندارد API 2007 به بارگذاری چرخه ای توجه زیادی نشده است. این استانداردها از منحنی های $p-y$ و چندین آزمایش بزرگ مقیاس برای شمع بلند و باریک که به صورت جانبی بارگذاری شده به همراه یک عامل کاهنده ساده به منظور کاهش مقاومت نهایی خاک برای بارگذاری چرخه ای استفاده می کنند. بارگذاری چرخه ای طولانی مدت به احتمال زیاد باعث متراکم شدن و یا در برخی شرایط کاهش تراکم خاک اطراف پی شده و در نتیجه سختی شمع را تغییر می دهد. روش طراحی فعلی قادر به پیش بینی اثر متراکم شدن خاک و یا حرکت طولانی مدت شمع نمی باشد (LeBlanc et al., 2010).

در نهایت روش فعلی، بارگذاری چرخه ای را در روشی ناقص مدنظر قرار می دهد. اثر بارگذاری چرخه ای جانبی بلند مدت بر روی شمع تک واقع در خاک غیر چسبنده ممکن است یک عامل بحرانی برای طراحی باشد و اثر تغییر در مشخصات خاک، پارامترهای خاک و تعداد سیکل بار به درستی مورد بررسی قرار داده نشده است. آزمون بار جانبی چرخه ای بر روی دو اسکله فراساحلی در خلیج تمپا که توسط (Long and Vanneste, 1994) گزارش شده است و نتایج آن در شکل (۳-۶) نمایش داده شده است،



شکل ۶-۳ مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج پیش بینی شده برای دو اسکله فراساحلی تحت اثر بارگذاری جانبی

(Long and Vanneste, 1994)

۳-۲-۲- روش عددی (روش المان محدود)

روش اجزاء محدود یا روش المان محدود که به اختصار (FEM) نامیده می‌شود، روشی عددی برای حل تقریبی معادلات دیفرانسیل جزئی و نیز حل معادله‌های انتگرالی می‌باشد. اساس کار این روش حذف کامل معادلات دیفرانسیل یا ساده سازی آنها به معادلات دیفرانسیل معمولی، که با روشهای عددی مانند اویلر حل می‌شوند، می‌باشد. این روش در حل معادلات دیفرانسیل جزئی روی دامنه‌های پیچیده، دامنه با دقت متفاوت در طول آن و در حالتی که نتایج همبستگی و یکنواختی کامل را ندارند، بسیار مفید

می‌باشد. به عنوان مثال در شبیه سازی یک تصادف در قسمت جلوی خودرو، نیازی به دقت بالای نتایج در عقب خودرو نیست. همچنین در شبیه سازی و پیش بینی هوا روی کره زمین، هوای روی خشکی اهمیت بیشتری نسبت به هوای روی دریا دارد. تقسیم ناحیه به نواحی کوچکتر دارای مزایای زیادی از جمله نمایش دقیق هندسه پیچیده، گنجایش ویژگی های متفاوت جسم، درک ویژگی های موضعی جسم می‌باشد.

کاربرد روش اجزا محدود در مکانیک سازه‌ها همراه با تقسیم پهنه محیط مورد نظر به تعدادی اشکال هندسی ساده می‌باشد. هر یک از این تقسیمات یک جزء یا المان می‌باشد و امکان‌پذیری تغییر مکان هر المان در درجه آزادی گره‌های آن المان تعریف می‌شود. به این ترتیب هر گره محل تمرکز ویژگی‌های موثر در مسئله می‌باشد که باید به صورت معادل مورد محاسبه قرار گیرد (صدرنژاد، ۱۳۸۴). این المان‌ها در نقاط گره‌ای به هم متصل شده و هر المان توسط گره‌ها اطراف خود تعریف می‌شود. ارتباط بین المان‌ها از طریق گره‌های مشترک بوده و بایستی مشخصات هندسی سازه‌ای و رفتاری هر المان تعریف شود (Plaxis, 2002).

روش اجزاء محدود نیازمند به تقسیم پهنه محیط به زیر بخش‌های کوچکتر و با شکل استاندارد مانند مثلث، مربعی، چهارگوش همراه با تعداد معینی گره در رئوس و یا در جوانب، می‌باشد. بر اساس روابط مکانی میان گره‌ها و المان‌ها، معادلات المانی محلی در یک دستگاه معادلات جبری کلی گردآوری می‌شوند که پس از وارد ساختن شرایط اولیه و مرزی و حل آن‌ها اطلاعات مورد نیاز برای حل مسئله بدست می‌آید (Plaxis, 2002).

در حل مسئله شمع تحت بارگذاری جانبی به منظور حل مسئله فرضیات مختلف در روش‌های حل صورت می‌گیرد. در ادامه به بررسی این فرضیات پرداخته می‌شود.

برای بررسی دقیق‌تر اندرکنش بین شمع و خاک، سیستم شمع-خاک با یک مدل سه بعدی به کمک المان‌های خطی و یا غیر خطی شبیه سازی می‌شود. انواع مختلفی از مدل‌های المان محدود خاکی برای توضیح رفتار افزایشی تنش-کرنش خاک استفاده می‌شود. انتخاب یک مدل ساختاری مناسب برای خاک، به دلیل مشکلاتی که در تحلیل رفتار شمع-خاک وجود دارد، پیچیده است. مشکلاتی مانند فاصله افتادن بین شمع و خاک در طول اعمال بارهای جانبی تناوبی. همچنین، گسسته سازی یک مدل پیوسته‌ی سه بعدی خاک، درجات آزادی زیادی ایجاد می‌کند و باعث زیاد شدن حجم محاسبات می‌شود.

Wright and Yegian (1973) و Thompson (1977) در میان اولین افرادی بودند که در رابطه با رفتار شمع‌ها با استفاده از المان محدود و به کمک مدلسازی دو بعدی، مطالعاتی انجام دادند. Wright and Yegian (1973) رابطه‌ی بین مقاومت و تغییر مکان جانبی خاک را برای شمع‌ها، در رس نرم و با استفاده از روابط غیر خطی برای خاک بررسی کردند. Thompson (1977) از یک مدل غیر خطی خاک استفاده کرد و منحنی‌های پاسخ خاک را بدست آورد، که این منحنی‌ها تطابق بسیار خوبی با مدل کاملاً سه بعدی در نزدیکی سطح زمین دارند. در تلاش‌های اولیه برای توسعه دادن یک مدل سه بعدی المان محدود برای سیستم شمع-خاک، از المان‌های خطی برای خاک استفاده می‌شد (Kuhlemeyer e.g. (1979 و Randolph (1981، و این مدل‌ها برای ایجاد جداول ساده‌ی طراحی استفاده شدند.

مدلسازی سه بعدی و غیر خطی از سیستم شمع - خاک توسط Brown et al. (1989) و Kooijman (1989) شکل گرفت، این افراد از فرمول‌های المان محدود، سه بعدی و الاستو-پلاستیک برای توسعه روابط مربوط به مقاومت جانبی و خیز شمع (منحنی‌های $p-y$) استفاده کردند، و این روابط را با نتایج حاصل از آزمایش‌های میدانی مقایسه کردند. Trochanis et al. (1988) به کمک مدل

Drucker-Prager برای خاک یک مدل سه بعدی المان محدود ایجاد کردند، و از نتایج آن برای ساخت یک مدل ساده جهت تحلیل واکنش محوری و جانبی شمع تحت بارگذاری مونوتونیک^۱ و چرخه‌ای^۲ استفاده کردند (Meymand, 1998).

^۱ MONOTONIC

^۲ CYCLIC

فصل چهارم

مدلسازی عددی بارگذاری جانبی شمع

۴- مدل‌سازی عددی بارگذاری جانبی شمع

۴-۱- مقدمه

در این بخش به بررسی جزئیات مدل‌سازی، نتایج حاصل از مدل‌سازی و به تحلیل و واکاوی رفتار صورت گرفته از مدل‌ها پرداخته می‌شود. از سوی دیگر شمع به صورت استاتیکی بارگذاری و با مدل مشابه ساخته شده در نرم‌افزار PLAXIS 3D جهت حصول اطمینان از نتایج بدست آمده مقایسه می‌شود.

۴-۲- روش تحقیق

در این بخش به بررسی روش و نحوه مدل‌سازی و بارگذاری مورد استفاده در این پژوهش پرداخته می‌شود. این مبحث شامل معرفی جزئیاتی از قبیل معرفی نرم‌افزار، نحوه مدل‌سازی خاک، مدل‌سازی محیط آزمایش، مدل‌سازی شمع و نحوه بارگذاری می‌باشد.

۴-۲-۱- معرفی نرم افزار

در این پژوهش جهت مدل‌سازی اندرکنش شمع و خاک از نرم‌افزار رایانه‌ای Opensees® (مختصر The open system for earthquake engineering simulation) ورژن ۲,۴,۵ استفاده می‌شود. از ویژگی این نرم‌افزار می‌توان به متن باز بودن و سرعت تحلیل بالا اشاره کرد. از معایب آن نیز می‌توان به محیط کاملاً کدنویسی، نداشتن محیط گرافیکی و رابط کاربر چه در مدل‌سازی و چه در ارائه نتایج اشاره کرد. با توجه به نکات بیان شده و گسترش روزافزون استفاده از این نرم‌افزار، این نرم‌افزار به سرعت در حال تکامل است. در این پژوهش به دلیل جامعیت نرم‌افزار Opensees، سرعت بالا و گسترش روز افزون استفاده از این نرم‌افزار در حوزه مسائل دینامیک لرزه‌ای، از این نرم‌افزار استفاده می‌شود. این نرم‌افزار با استفاده از زبان برنامه نویسی TCL دستورات مدل‌سازی، تحلیل و خروجی را

تولید می‌کند.

همچنین از نرم‌افزار Matlab 7.12.0 (R2011a) جهت بخشی از مدلسازی و نمایش نتایج استفاده می‌شود. برای نمایش نتایج از نرم‌افزار Matlab 7.12.0 (R2011a) و Surfer®13 استفاده می‌شود.

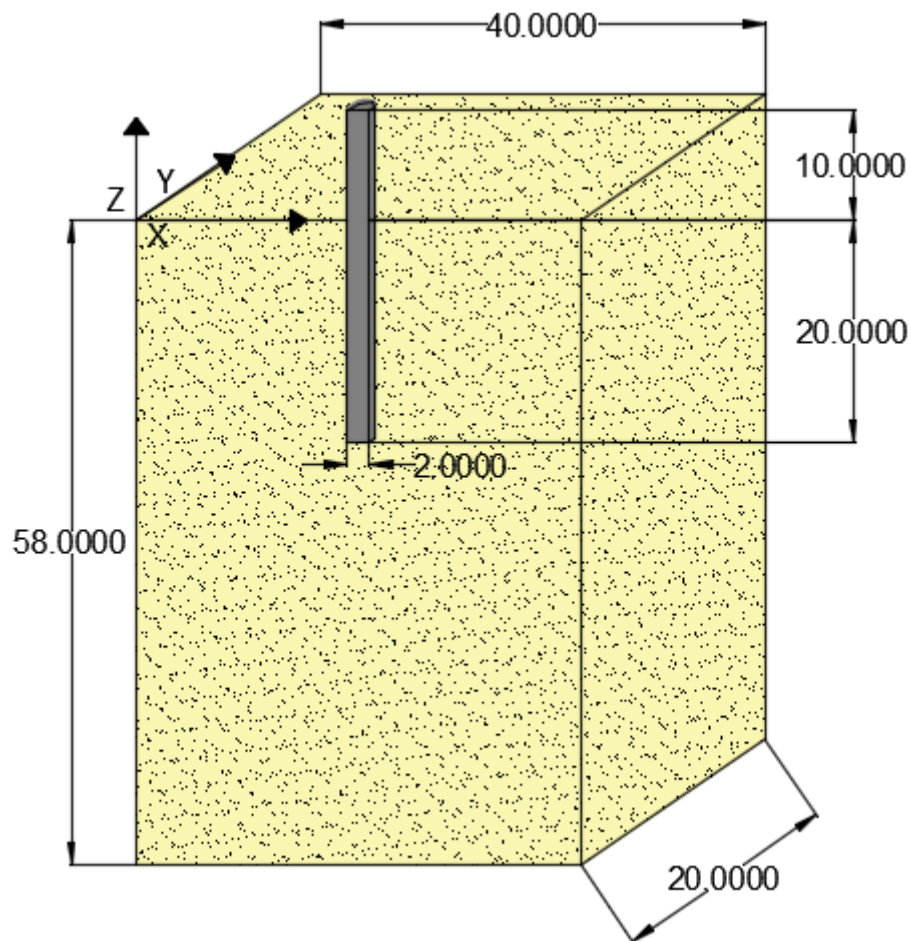
۴-۲-۲- مدلسازی خاک

خاک مورد استفاده در این آزمایش از نوع ماسه اشباع می‌باشد. برای در نظر گرفتن اثر تراکم ماسه، در اینجا از سه تراکم نسبی ۰/۳، ۰/۵ و ۰/۷۵ جهت مدلسازی خاک با تراکم کم، متوسط و زیاد استفاده می‌شود. برای مدلسازی خاک از مدل Yong-Wei Chen و همکاران استفاده می‌شود.

برای مدلسازی خاک از مصالح PDMY (PressureDependMultiYeild) استفاده می‌شود که این ماده دارای ویژگی الاستوپلاستیک است و خصوصیتی از قبیل اتساع، انقباض و ... را در نظر می‌گیرد. این ماده جهت تعریف ماسه استفاده می‌گردد و از مدل رفتاری دراکر-پراگر در حل مسائل استفاده می‌کند.

۴-۲-۳- مدلسازی محیط آزمایش

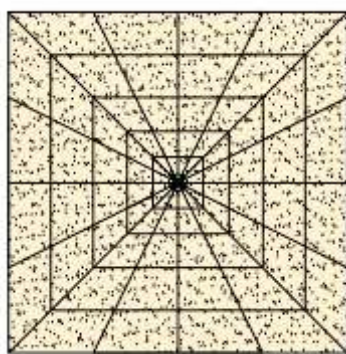
محیط خاک به صورت $40 \times 40 \times 58$ m که به ترتیب طول، عرض و عمق محیط می‌باشند، انتخاب شده است. هدف از انتخاب این ابعاد کاهش هرچه تمام‌تر اثر مرزهای پایین و اطراف خاک می‌باشد. بنابراین با به حداقل رساندن این اثر، مرزهای محیط نمونه را به صورت صلب در نظر گرفته می‌شوند. صلبیت به این شکل اعمال می‌شود که کف در هر سه جهت و صفحه جوانب در راستای بردار نرمال آن صفحه و بردار Z گیردار می‌باشند. خاک نمونه قادر به زهکشی می‌باشد و میزان نفوذپذیری با توجه به میزان تراکم نسبی خاک تعیین می‌شود. برای خاک پارامترهای میرایی رایلی نیز تعریف می‌شود.



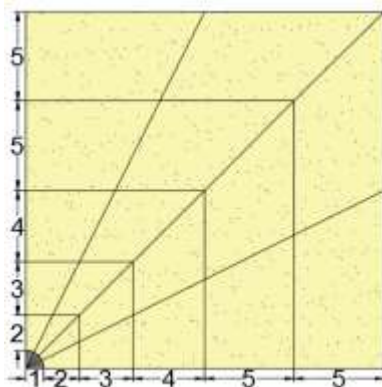
شکل ۴-۱ ابعاد محیط خاک

جهت المان بندی خاک از المان ۸ گرهی استفاده شده است. المان‌ها در نزدیکی شمع با ابعاد کوچکتر و با فاصله گرفتن از شمع این ابعاد افزایش می‌یابد که این ابعاد به دلیل افزایش دقت در نزدیکی شمع انتخاب شده‌اند.

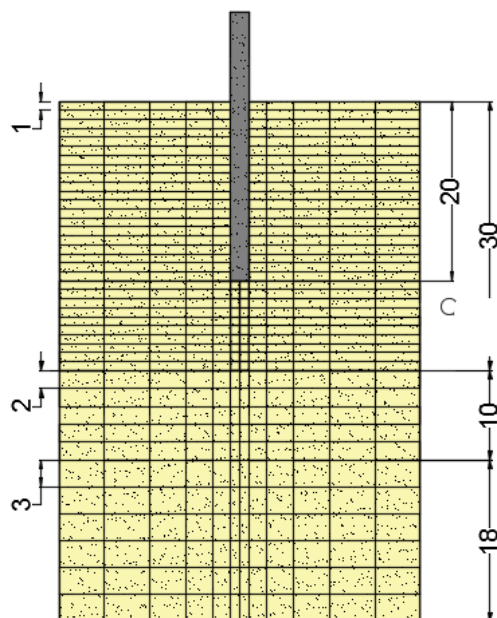
ارتفاع المان نیز در تراز ۰/۰ m تا ۳۰ m برابر با ۱ m، در تراز ۳۰ m تا ۴۰ m برابر با ۲ m و در نهایت در تراز ۴۰ m تا ۵۸ m برابر با ۳ m در نظر گرفته می‌شود که هدف از آن استفاده از المان‌های کوچکتر در نزدیکی شمع و به تبع آن دقت بیشتر در تحلیل می‌باشد.



شکل ۲-۴ مش بندی شبکه المان ها در صفحه XY



شکل ۳-۴ ابعاد مش بندی شبکه المان ها در صفحه XY



شکل ۴-۴ ابعاد و نحوه مش بندی شبکه المان ها در صفحه XZ

۴-۲-۴- مدلسازی شمع

برای مدلسازی شمع از مصالح الاستیک elasticBeamColumn استفاده می شود این مصالح با

در نظر گرفتن پارامترهایی مثل سطح مقطع، مدول الاستیک، مدول برشی، ممان اینرسی پیچشی و ممان اینرسی ثانویه شمع را به صورت الاستیک مدل می‌کند. طول شمع ۳۰ m می‌باشد به این صورت که ۲۰ m آن زیر خاک مدفون می‌باشد. مقطع شمع به صورت دایره و با قطرهای مختلف ۲ و ۱ متر می‌باشد. برای بتن مدول یانگ $10^7 \times 3 \text{ kN/m}^2$ ، ضریب پواسون 0.2 و در نتیجه مدول برشی $10^7 \times 1.25 \text{ kN/m}^2$ در نظر گرفته شده است.

شمع در محیط خود در سطح تقابل خاک و شمع به خاک پیرامون متصل شده است و جابه‌جایی آنها در ۳ جهت یکسان می‌باشند.

۴-۲-۵- بارگذاری

در این پژوهش نوع بار مورد استفاده بارگذاری دینامیکی می‌باشد. بار دینامیکی وارده در ۲ حالت متناوب و غیر متناوب مدل می‌شوند. مدلسازی در حالت غیر متناوب بوسیله ضربه و در حالت متناوب به صورت چرخه‌ای و رفت و برگشتی مدل می‌شود. مدت زمان اعمال بار در بارگذاری ضربه‌ای $1/8 \text{ s}$ و دوره تناوب در بارچرخه‌ای $1/8 \text{ s}$ و در بار رفت و برگشتی $3/6 \text{ s}$ می‌باشد.

برای بازسازی این بارها به عنوان نمونه، از بار وارده به اسکله از سوی شناورها استفاده می‌شود. میزان این بارها به ضربه گیر مورد استفاده بستگی دارد. ضربه‌گیرها یا فندرها در سازه‌های دریایی، لایه میانی مورد نیاز بین شناور پهلویی و سازه اسکله را بوجود می‌آورند، بنابراین عملکرد اصلی فندر، تبدیل ضربه و انرژی ناشی از پهلویی شناور به عکس‌العمل قابل تحمل توسط شناور و سازه اسکله می‌باشد. لذا طراحی شمع در سازه اسکله به نوع فندر و میزان بار وارده از آن بستگی دارد. نحوه محاسبه این بار و انرژی وارده به شمع در پیوست ارائه گردیده است.

۴-۲-۵-۱- نحوه اعمال بارگذاری

حال با تعیین بار وارده به شمع، این بار به صورت سری زمانی به شمع وارد می‌شود. با در نظر

گرفتن زمان اعمال بار، این بار به صورت تابع زمانی به سر شمع در تراز $+10\text{ m}$ وارد می‌شود.

۳-۴- بررسی دوره تناوب خاک

در قدم اول دوره تناوب‌های ثبت شده برای هر سه مدل خاک بیان شده است.

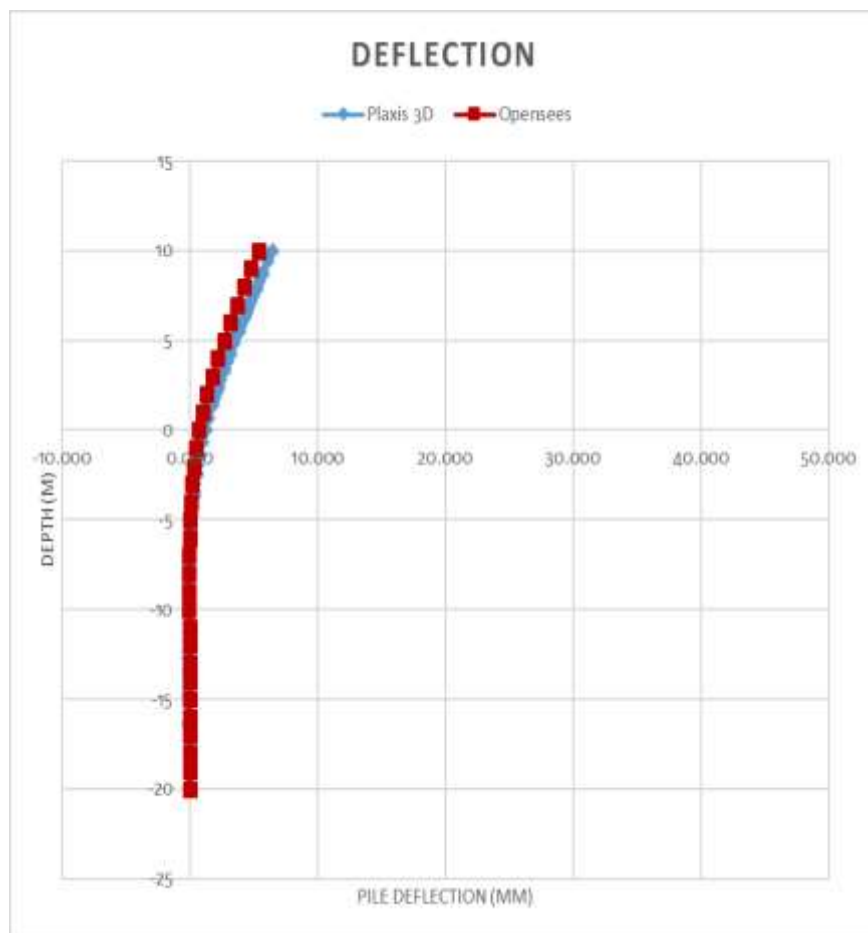
جدول ۴-۱ دوره تناوب خاک

خصوصیات خاک	دوره تناوب (ثانیه)
مدل با تراکم نسبی ۰/۳	۰/۶۸۶۱
مدل با تراکم نسبی ۰/۵	۰/۶۱۴۷
مدل با تراکم نسبی ۰/۷۵	۰/۵۰۰۸

۴-۴- صحت سنجی

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از بارگذاری جانبی استاتیکی بر روی شمع تک در نرم‌افزار و میزان نزدیکی نتایج، با نتایج حاصل شده از نرم‌افزار Plaxis 3D پرداخته می‌شود. هدف از این کار بررسی نحوه کار نرم افزار Opensees، صحت مدلسازی و بارگذاری و بررسی دقت نتایج آن می‌باشد.

برای انجام تحلیل در این نمونه‌ها از نیروی 100 kN که نحوه بدست آمدن آن در پیوست شرح داده شده است استفاده می‌شود. با انجام تحلیل و رسم نتیجه آن به صورت نمودار تغییر مکان در طول شمع، شکل (۴-۵) بدست می‌آید. برطبق این شکل جابه‌جایی شمع در تراز $+10\text{ m}$ در نرم افزار اپنسیس $5/4\text{ mm}$ و در پلکسیس $6/5\text{ mm}$ می‌باشد که این تفاوت در طول 30 m شمع بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی است. از سوی دیگر جابه‌جایی افقی در تراز $0/0$ در پلکسیس $0/71\text{ mm}$ و در اپنسیس $1/24\text{ mm}$ می‌باشد که در اینجا نیز بسیار ناچیز است. در هر دو مدل نیز تغییر مکان افقی تا تراز 5 m ادامه داشته و بعد از آن صفر می‌گردد. لذا با بررسی و تطابق نتایج از صحت نتایج اطمینان حاصل می‌گردد.



شکل ۴-۵ نمودار صحت سنجی نتایج بین نمونه‌های مدل‌سازی شده در Plaxis و OpenSees

۴-۵- تحلیل و بررسی نتایج

در این بخش جزئیات ۴ گروه مدل‌سازی شده، شامل جزئیات مدل‌سازی هر گروه و نتایج بدست آمده از تحلیل آن‌ها آورده شده است.

۴-۵-۱- تاثیر تغییرات میزان بار

این گروه که با نماد F معرفی می‌گردند شامل خاک با تراکم نسبی ۰/۷۵ می‌باشند که در ۳ حالت، بارگذاری می‌شوند. خصوصیات این گروه در جدول (۴-۲) آورده شده است.

جدول ۲-۴ خصوصیات نمونه‌های دارای بارگذاری متفاوت

اسم مدل	تراکم نسبی	قطر شمع (m)	میزان بار (kN)	نوع بارگذاری
F250	۰/۷۵	۲	۲۵۰	دینامیکی-ضربه‌ای
F350	۰/۷۵	۲	۳۵۰	دینامیکی-ضربه‌ای
F500	۰/۷۵	۲	۵۰۰	دینامیکی-ضربه‌ای

خصوصیات خاک مدل شده در این گروه به صورت جدول (۳-۴) می‌باشد. جدول خاک (۳-۴)

براساس روابط مدل Yong-Wei Chen و همکاران تنظیم و محاسبه می‌شود.

جدول ۳-۴ خصوصیات خاک بخش تغییرات بار

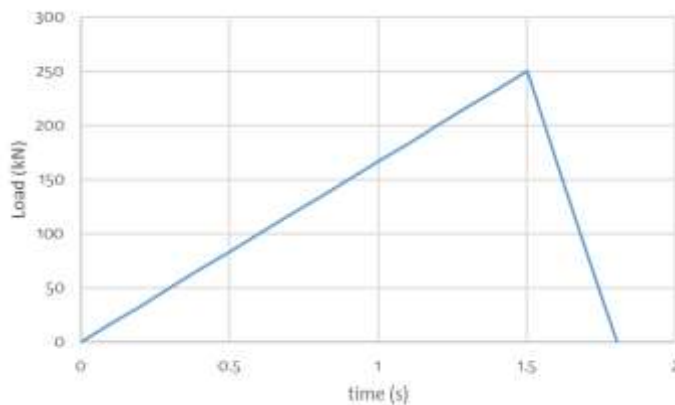
نماد	فرمول	Dr=۰/۷۵
$\rho(\frac{ton}{m^3})$	$2.11(D_r)^{0.1567}$	۲/۰۱۷
$G_{max}(kPa)$	$10500 \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} P_r^{0.4}$	۱۰۲۵۹۴/۳۹۲
$B_{max}(kPa)$	$G_r \frac{2(1 + \vartheta)}{3(1 - 2\vartheta)}$	۲۲۲۲۷۸/۸۵
$\varphi(degree)$	$16.2D_r + 25$	۳۷/۱۵
$\varphi_{PT}(degree)$	$16.2D_r + 25$	۳۷/۱۵
$p_r(kPa)$	Constant	۸۰
γ_{max}	Constant	۰/۱
N	Constant	۰/۵
c	$0.0288D_r^{-1.4172}$	۰/۰۴۳

۰/۶۱۵	$1.147D_r - 0.2454 \geq 0$	d_1
۳/۵۰۸	$6.9686D_r - 1.7187 \geq 0$	d_2
۵/۸۸۷	$10 \quad (D_r < 65\%)$ $-35.484D_r + 32.5 \quad (D_r \geq 65\%)$	l_1
۰/۰۰۳۲۳	$l_2 = -0.0154 \ln D_r - 0.0012$	l_2
۱	$1 \quad (D_r \leq 85\%)$ $0 \quad (D_r > 85\%)$	l_3
۰/۰۰۰۰۳۶۴۶	-	$K_h = K_v (m/s)$
۰/۴۵	-	e
۰/۳	-	ϑ

در جدول (۳-۴) ρ چگالی خاک، p_r فشار همه جانبه مرجع، G_{max} مدول برشی حداکثر در فشار p_r ، B_{max} ماکزیمم مدول بالک در فشار $\phi.p_r$ زاویه شکست، ϕ_{PT} زاویه فاز انتقال یا مرز میان اتساع و انقباض، N ضریب وابسته به فشار، c پارامتر انقباض، d_1 و d_2 پارامترهای اتساع، l_1 و l_2 پارامترهای روانگرایی، k_h و k_v ضرائب قائم و افقی نفوذپذیری، e نسبت تخلخل خاک و ϑ ضریب پواسون خاک است.

بارگذاری وارده به نمونه از طریق معرفی یک سری زمانی و اعمال آن به سر شمع در تراز $m + 10$ انجام می‌شود. شکل (۴-۶) بیان کننده سری زمانی اعمالی به نمونه F250 می‌باشد. در این سری زمانی، زمان رسیدن بار از مقدار صفر به مقدار بیشینه $1/5$ s و زمان حذف بار $0/3$ s می‌باشد تا بتوان شرایط ضربه را به طور دقیق شبیه سازی کرد. سری زمانی تعریف شده برای دو نمونه دیگر نیز مشابه

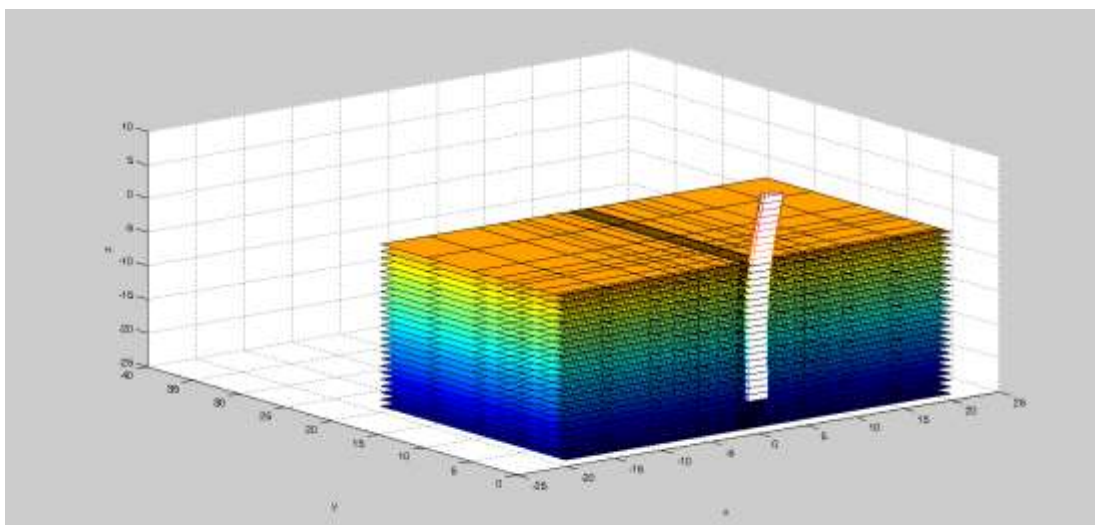
نمونه F250 می‌باشد با این تفاوت که مقدار بیشینه آن متفاوت است.



شکل ۴-۶ نمودار بار وارده به نمونه F250

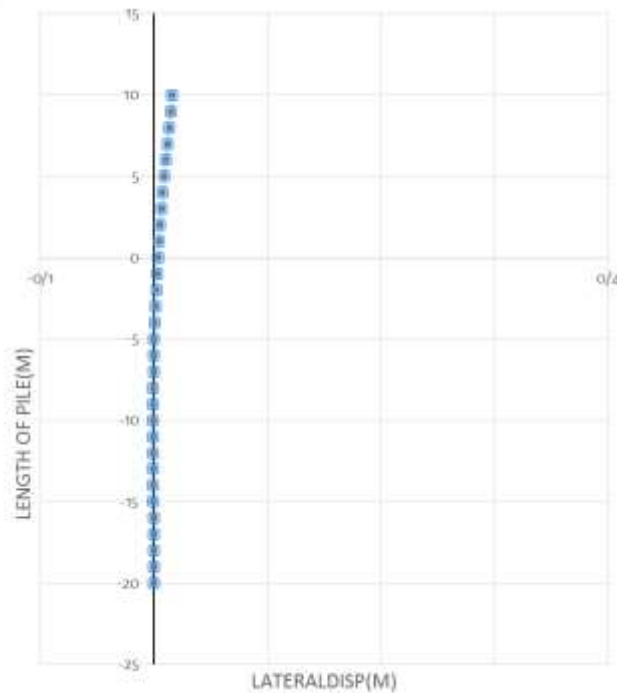
۴-۵-۱-۱- جابه‌جایی افقی

با اعمال بارگذاری بیان شده در سر شمع در تراز $+10\text{ m}$ تحلیل صورت پذیرفته و نتایج به صورت زیر حاصل می‌شود. شکل (۴-۷) بیانگر حالت تغییر شکل سه بعدی شمع در نمونه F250 می‌باشد. این تغییر شکل حاصل از رسم خروجی‌های بدست آمده در نرم افزار Matlab می‌باشد. در این شکل بدلیل عمق زیاد نمونه و عدم تغییر مکان در لایه‌های زیرین، فقط تا عمق 25m رسم صورت گرفت. و از سوی دیگر به دلیل تقارن نمونه نسبت به صفحه $y=0$ فقط نیمه نمونه رسم می‌شود.



شکل ۴-۷ تغییر شکل سه بعدی نمونه F250 با 100 برابر نمودن مقیاس جابه‌جایی افقی

تغییر شکل افقی شمع برای مدل F250 در فضای دو بعدی xz در شکل (۸-۴) رسم شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که جابه‌جایی سر شمع در تراز +۱۰ m برابر با ۱۶ mm می‌باشد و در تراز ۰/۰ m برابر با ۳,۵ mm می‌باشد. این جابه‌جایی تا عمق ۵ m ادامه دارد و در این عمق به صفر می‌رسد.

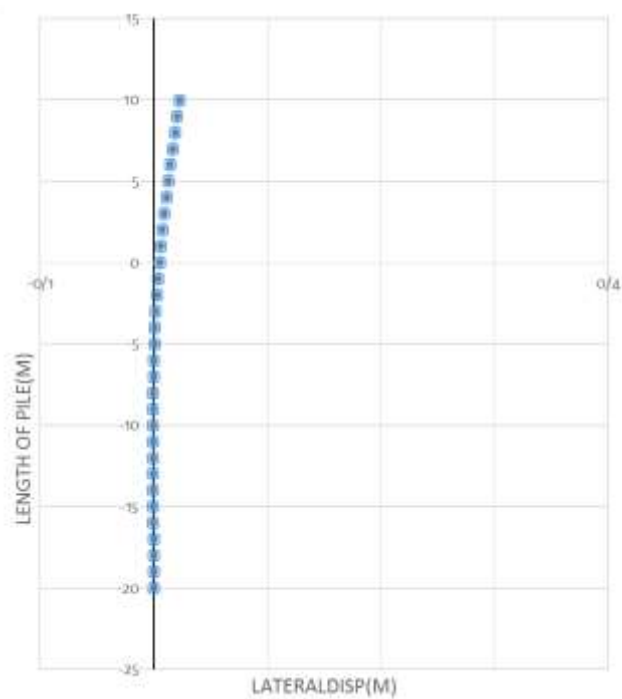


شکل ۸-۴ منحنی تغییر شکل نمونه F250

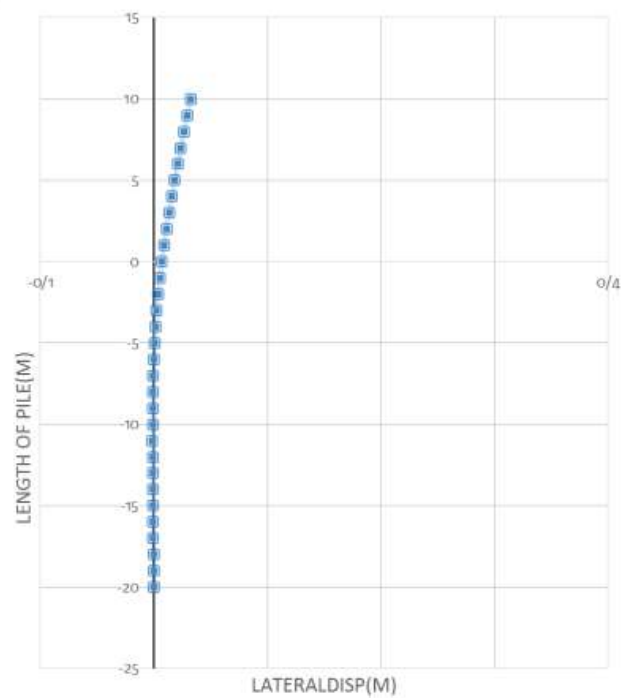
تغییر شکل افقی شمع برای مدل F350 در فضای دو بعدی xz در شکل (۹-۴) رسم شده است. در این نمودار نیز مشاهده می‌شود که جابه‌جایی سر شمع در تراز +۱۰ m برابر با ۲۲/۷ mm می‌باشد. این مقدار در تراز ۰/۰ m برابر با ۵ mm می‌باشد. تغییر شکل شمع تا عمق ۵ m ادامه داشته و در این عمق حدوداً برابر با صفر می‌شود.

تغییر شکل افقی شمع برای مدل F500 در فضای دو بعدی xz در شکل (۱۰-۴) رسم شده است. در این نمودار نیز مشاهده می‌شود که جابه‌جایی سر شمع در تراز +۱۰ m برابر با ۳۲/۳ mm می‌باشد. این مقدار در تراز ۰/۰ m برابر با ۷/۱ mm می‌باشد. تغییر شکل شمع تا عمق ۵ m ادامه داشته و در

این عمق حدودا برابر با صفر می شود.



شکل ۹-۴ منحنی تغییر شکل نمونه F350



شکل ۱۰-۴ منحنی تغییر شکل نمونه F500

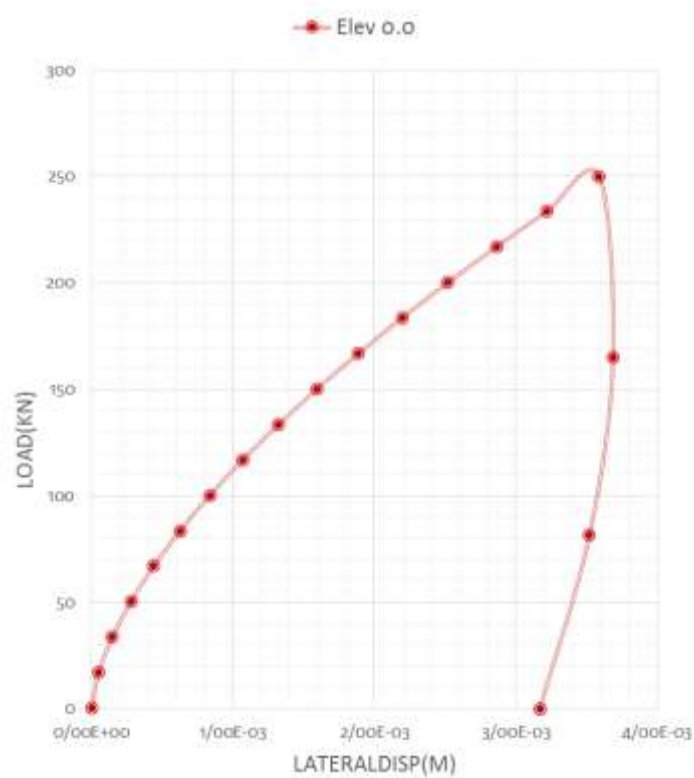
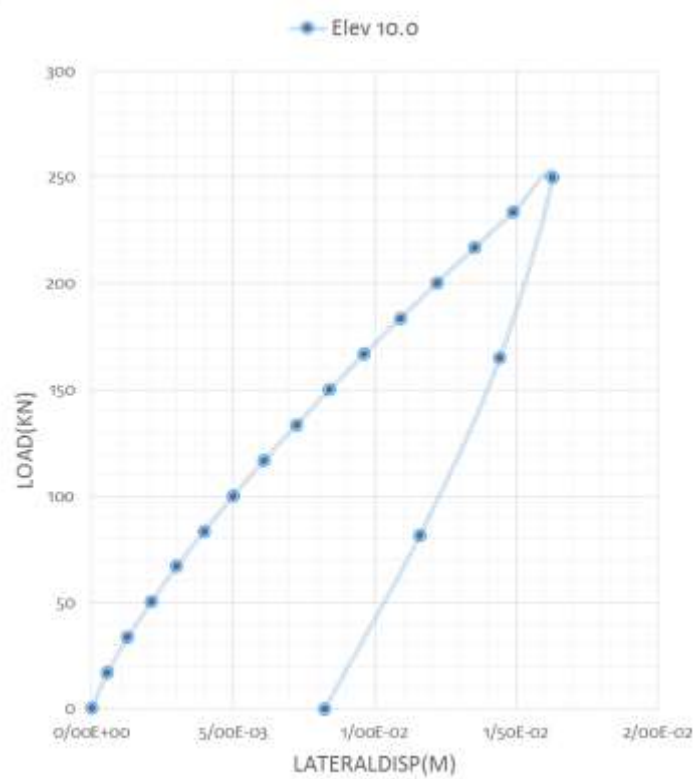
با توجه به نتایج بدست آمده با افزایش میزان بار جابه‌جایی شمع افزایش یافته به طوری‌که با افزایش ۱۰۰٪ در میزان بار، جابه‌جایی سر شمع در حدود ۹۸٪ افزایش می‌یابد. از سوی دیگر افزایش بار تاثیر چندانی در عمق جابه‌جایی شمع ندارد و در هر سه حالت شمع از تراز ۵ m- تا انتها تغییر شکل چندانی ندارد.

۴-۵-۱-۲- منحنی p-y

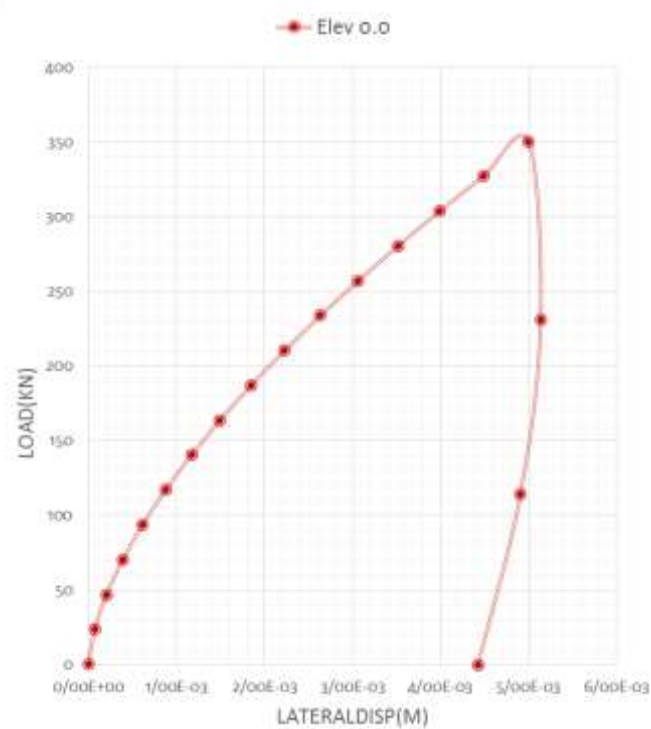
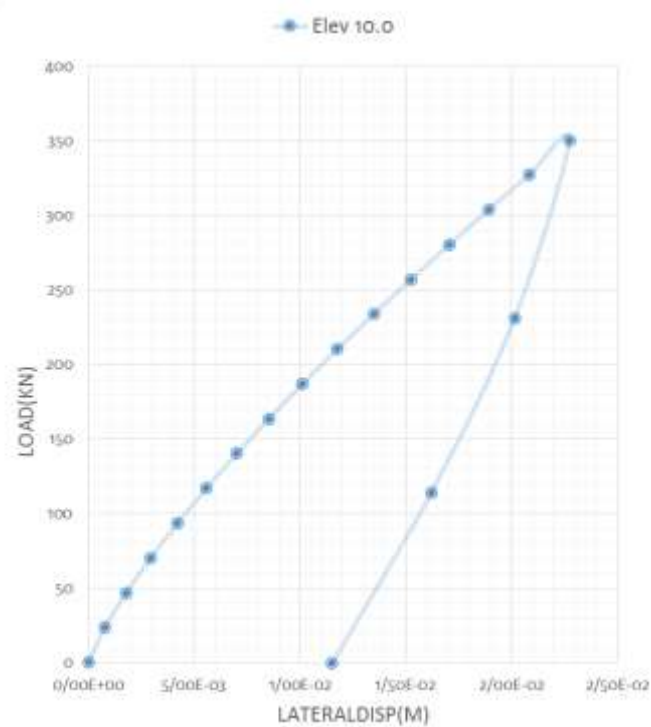
منحنی p-y دربرگیرنده جابه‌جایی افقی سر شمع در محل برخورد کشتی در ترازهای ۱۰ m+ و ۰/۰ می‌باشد. هدف از رسم p-y در دو تراز ۱۰ m+ و ۰/۰ m بررسی تغییرات منحنی p-y در شمع و خاک می‌باشد. به عبارت دیگر منحنی p-y در تراز ۱۰ m+ برای بررسی تغییرات بار-مکان در شمع و در تراز ۰/۰ m به منظور بررسی این تغییرات در سطح خاک است.

شکل (۴-۱۱) بیان کننده منحنی p-y در نمونه F250 در دو تراز بیان شده می‌باشد. همان طور که از منحنی مشخص می‌شود این منحنی در ۱/۵ s ابتدایی با افزایش بار، افزایش می‌یابد و در ۰/۳ s بعدی با حذف بار کاهش می‌یابد. میزان تغییر مکان افقی در تراز ۱۰ m+ در حالت بیشینه بار به ۱۶ mm می‌رسد و با حذف بار تا میزان ۸ mm کاهش می‌یابد. میزان تغییر مکان افقی در تراز ۰/۰ m نیز در حالت بیشینه بار به ۳/۲۲ mm می‌رسد و با حذف بار تا میزان ۳/۱۷ mm کاهش می‌یابد. لذا مشاهده می‌شود که با باربرداری کامل باز هم تغییر شکل ماندگاری در نمونه مشاهده خواهد شد. این تغییر شکل ماندگار را می‌توان به دلیل الاستیک بودن ماده شمع به خاک مربوط دانست.

شکل (۴-۱۲) بیان کننده منحنی p-y در نمونه F350 می‌باشد. میزان تغییر مکان در تراز ۱۰ m+ در حالت بیشینه بار به ۲۲/۷ mm می‌رسد و با حذف بار تا میزان ۱۱/۵ mm کاهش می‌یابد. میزان تغییر مکان در تراز ۰/۰ m نیز در حالت بیشینه بار به ۵ mm می‌رسد و با حذف بار تا میزان ۴/۴۳ mm کاهش می‌یابد.



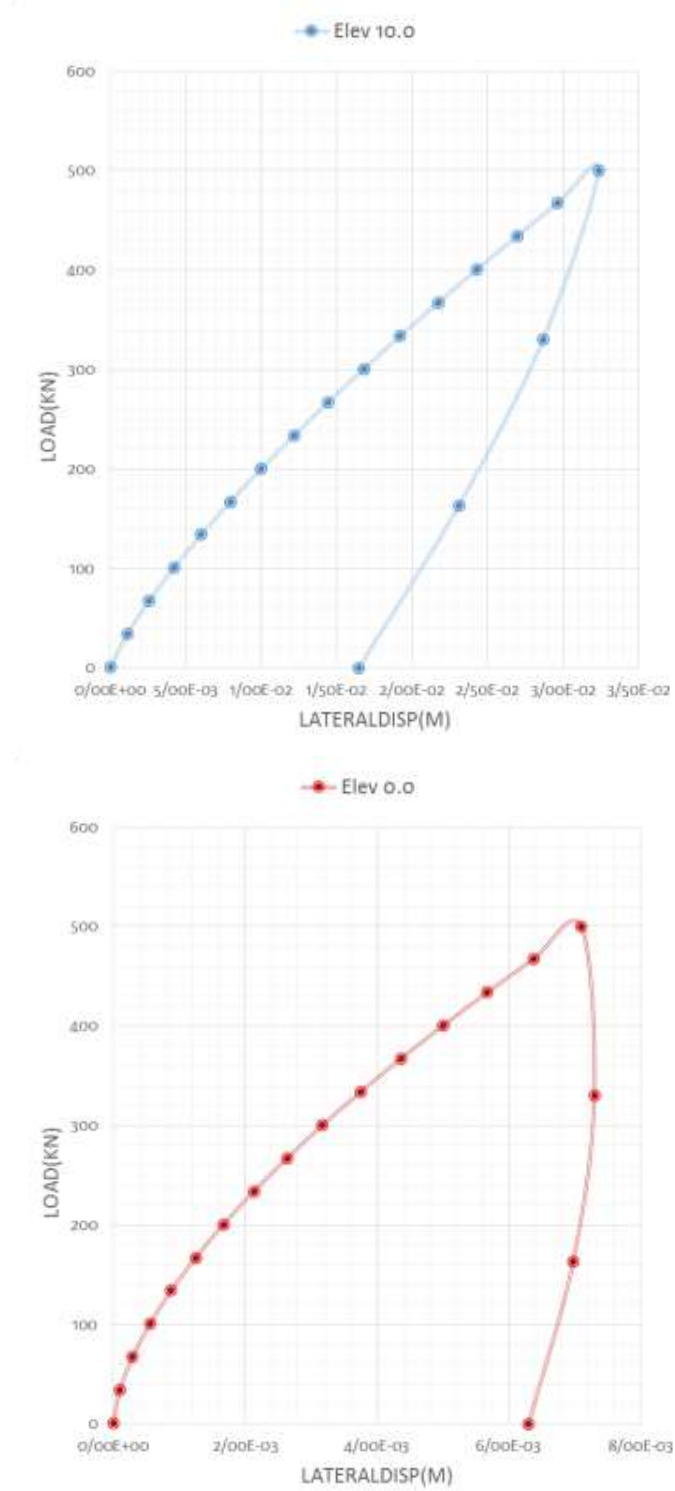
شکل ۱۱-۴ منحنی p-y نمونه F250 در تراز ۰٪ و ۱۰٪



شکل ۴-۱۲ منحنی p-y نمونه F350 در تراز ۰/۰ و ۱۰+

شکل (۴-۱۳) بیان کننده منحنی p-y در نمونه F500 می باشد. میزان تغییر مکان افقی در تراز ۱۰ m در حالت بیشینه بار به ۳۲/۳ mm می رسد و با حذف بار تا میزان ۱۶/۴ mm کاهش می یابد.

میزان تغییر مکان افقی در تراز $+0.0\text{ m}$ نیز در حالت پیشینه بار به $7/1\text{ mm}$ می‌رسد و با حذف بار تا میزان $6/3\text{ mm}$ کاهش می‌یابد.



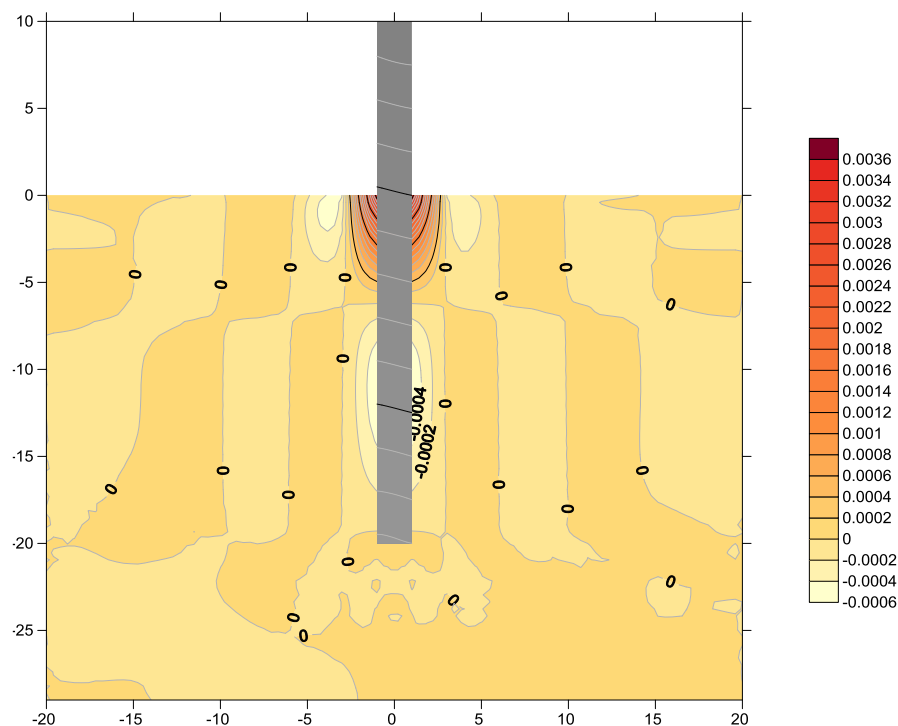
شکل ۴-۱۳ منحنی p-y نمونه F500 در تراز $+0.0$ و -1.0

همانطور که از نمودار مشخص می‌شود با افزایش میزان بار، تغییر مکان رفته رفته بیشتر می‌شود و با باربرداری تغییر مکان کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با باربرداری کامل باز هم مقداری تغییر شکل در شمع و خاک باقی می‌ماند که این تغییر شکل باقی مانده حاصل از تغییر شکل پلاستیک خاک می‌باشد. این تغییر شکل ماندگار در بارگذاری چرخه‌ای نقش مهمی دارد و باید در طراحی‌ها در نظر گرفته شود.

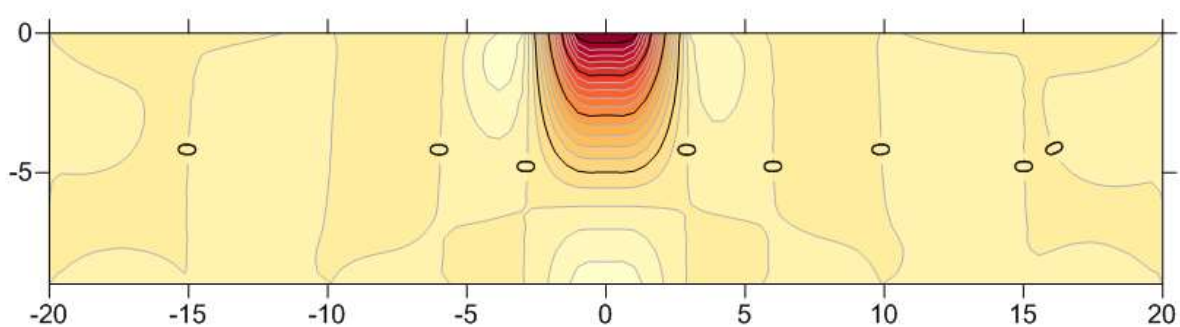
۴-۵-۱-۳- جابه‌جایی افقی خاک

اشکال جابه‌جایی افقی بیان کننده جابه‌جایی افقی در لایه‌های مختلف خاک می‌باشد. این جابه‌جایی‌ها به ازای بارهای مختلف در صفحه $y=0$ و $z=0$ رسم شده‌اند.

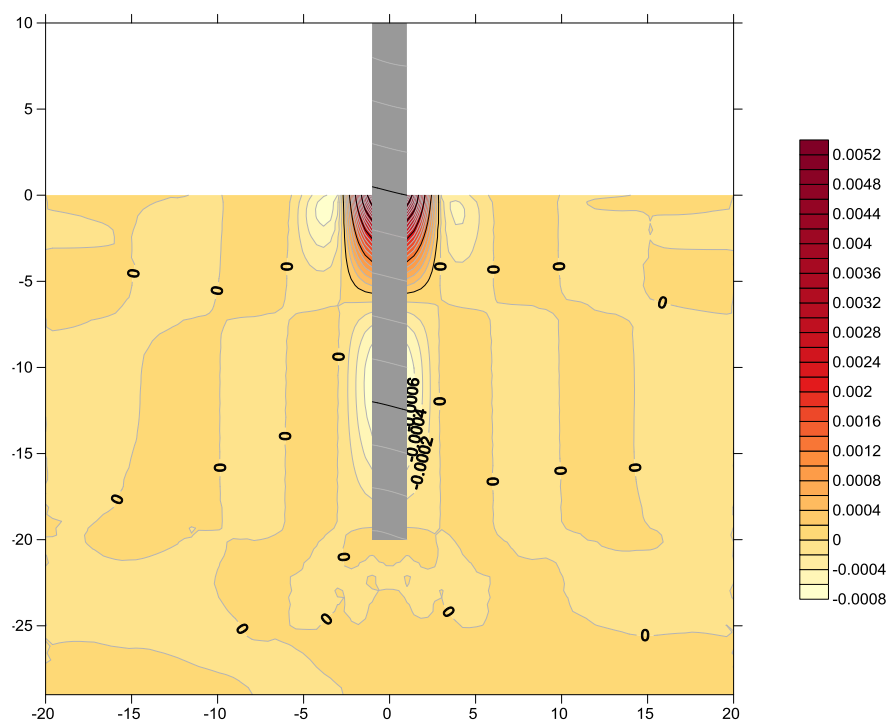
تغییر شکل افقی خاک در صفحه $y=0$ برای خاک در بارگذاری‌های مختلف در شکل (۴-۱۴) تا (۴-۱۹) آورده شده است. همچنین با بزرگنمایی ناحیه تغییر شکل داده، سعی به بررسی بیشتر جزییات پرداخته شده است.



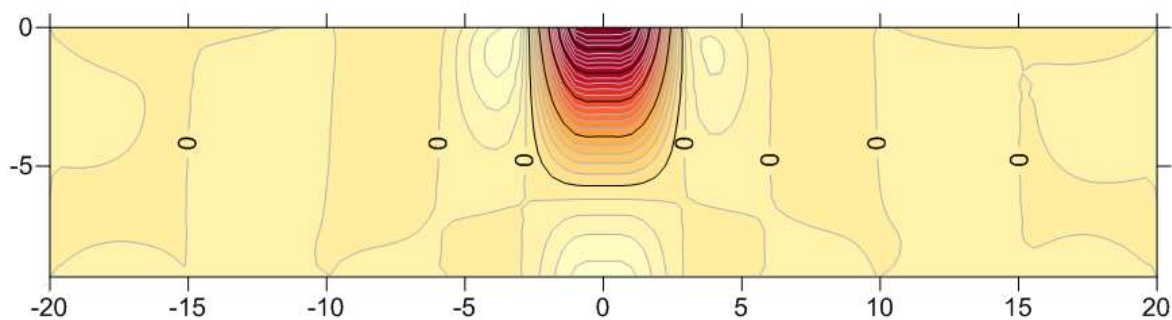
شکل ۴-۱۴ جابه‌جایی افقی نمونه F250 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)



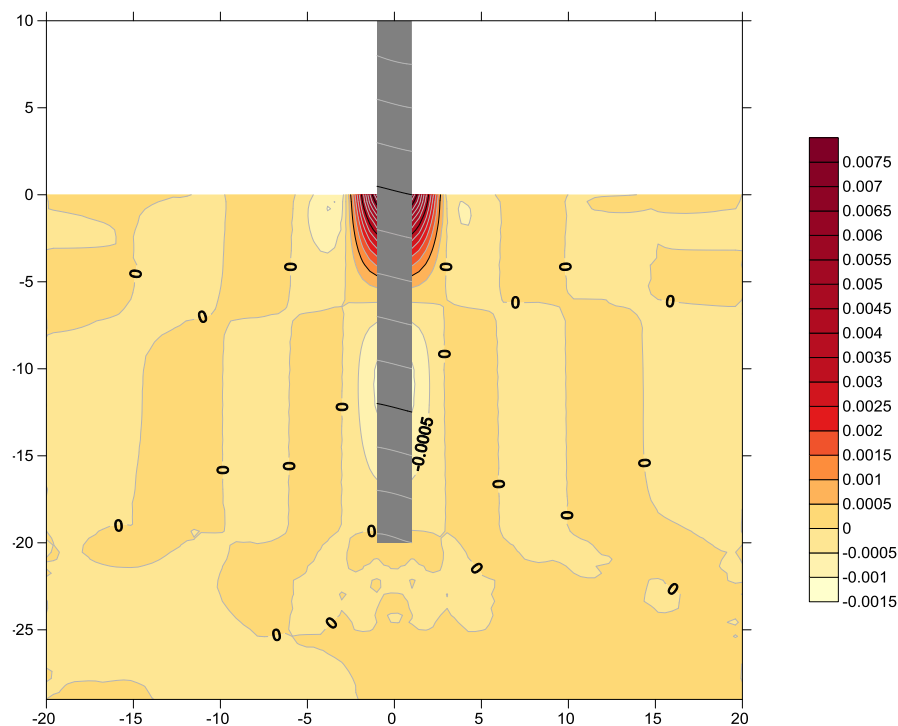
شکل ۱۵-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه F250 در صفحه $y = 0$ (بر حسب متر)



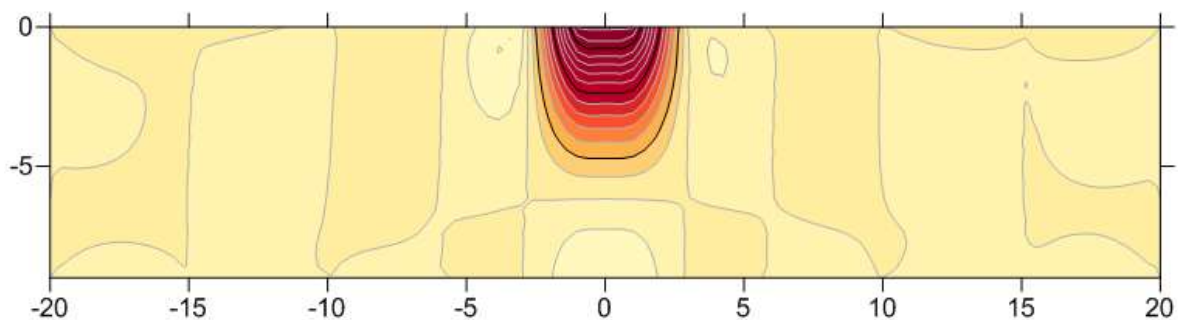
شکل ۱۶-۴ جابه‌جایی افقی نمونه F350 در صفحه $y = 0$ (بر حسب متر)



شکل ۱۷-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه F350 در صفحه $y = 0$ (بر حسب متر)



شکل ۴-۱۸ جابه‌جایی افقی نمونه F500 در صفحه $y = 0$ (بر حسب متر)



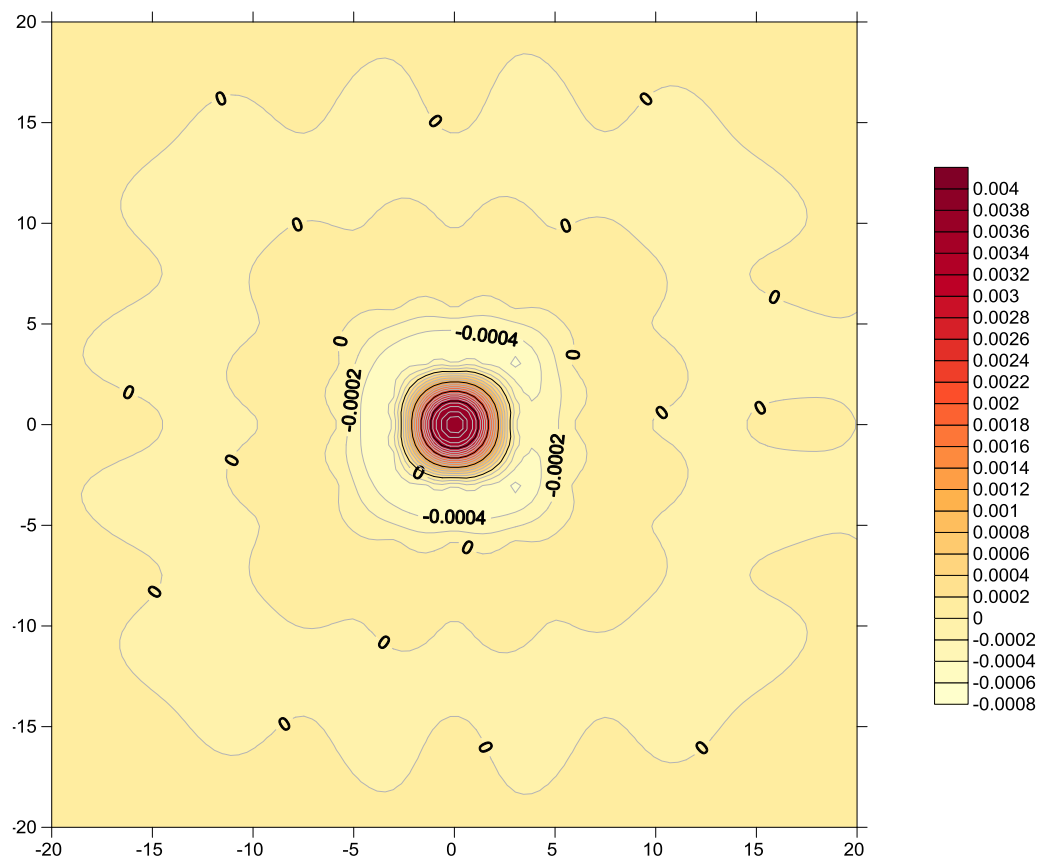
شکل ۴-۱۹ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه F500 در صفحه $y = 0$ (بر حسب متر)

همانطور که مشخص است با افزایش میزان بار ناحیه قرمز که بیان کننده تغییر مکان افقی است به تدریج بزرگتر می‌شود. از سوی دیگر محدوده تغییر شکل گسترش چشم‌گیری ندارد بلکه فقط تغییر در رنگ محدوده به سمت رنگ قرمز مشاهده می‌شود که نشان دهنده افزایش تغییر مکان در این ناحیه می‌باشد.

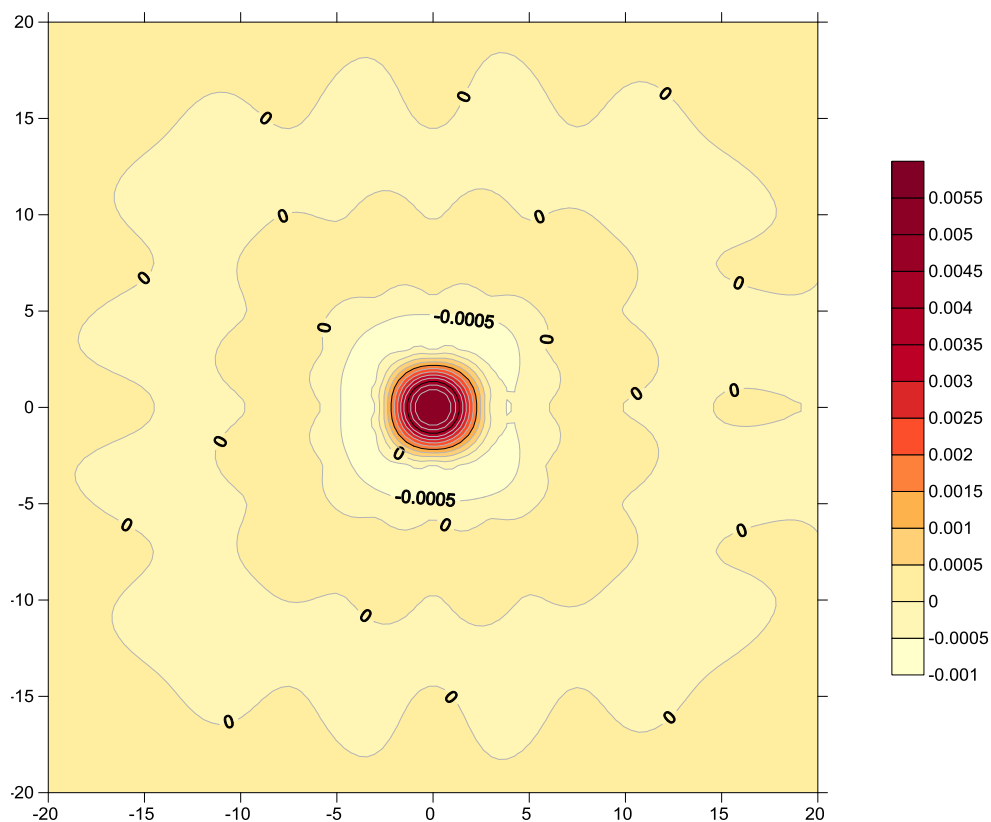
با بررسی نتایج روشن می‌شود که با افزایش میزان بار ناحیه تغییر شکل یافته تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد و بلکه فقط میزان تغییر شکل در این ناحیه بیشتر می‌شود. از سوی دیگر تغییر شکل تا

عمق ۵ الی ۶ متری خاک قابل ملاحظه است و بعد از آن ناچیز است.

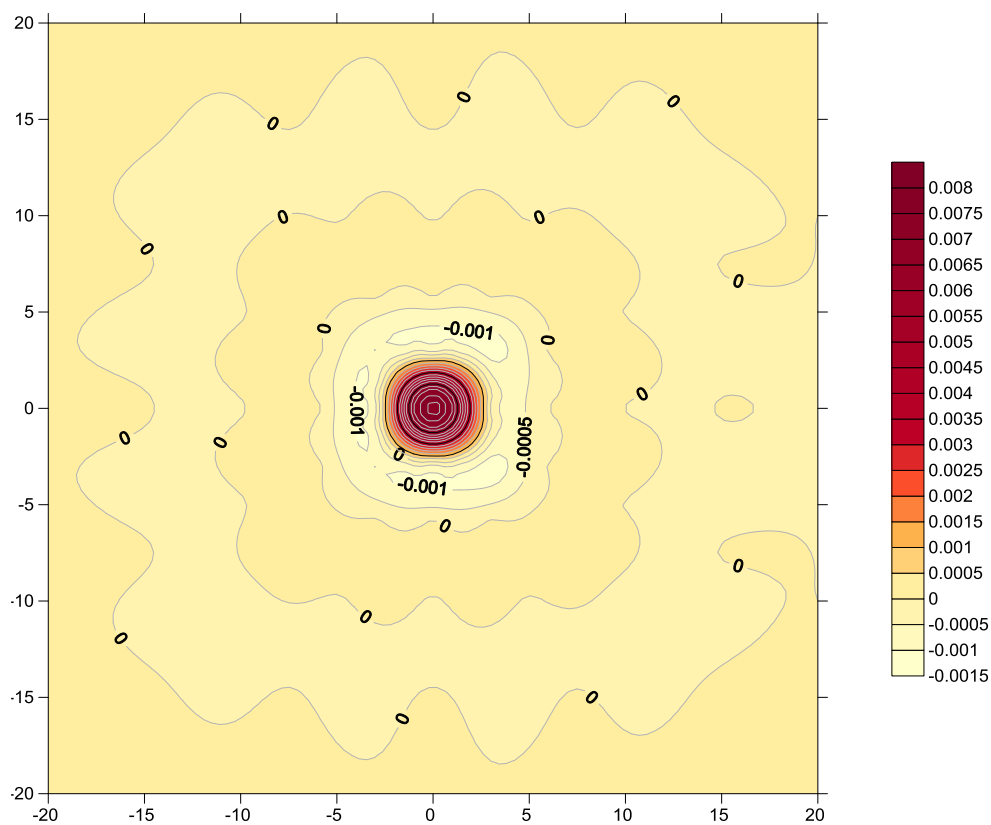
تغییر شکل افقی خاک در صفحه $z=0$ برای خاک در بارگذاری‌های مختلف در شکل (۴-۲۰) تا (۴-۲۲) آورده شده است. هدف از رسم این شکل‌ها بررسی نحوه گسترش تغییر شکل در صفحه افقی می‌باشد. بر طبق این شکل‌ها نیز، با افزایش میزان بار در مدل F250 و F350 و مدل F500 میزان تغییر مکان یافته افزایش یافته در حالی که محدوده کل تغییر مکان یافته تغییر ناچیزی از خود نشان می‌دهد. ناحیه تغییر شکل داده دارای فاصله مناسب از جداره می‌باشد و لذا صلب بودن جوانب محیط نمونه در نتایج خللی ایجاد نمی‌کند.



شکل ۴-۲۰ جابه‌جایی افقی نمونه F250 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر)



شکل ۴-۲۱ جابه‌جایی افقی نمونه F350 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر)



شکل ۴-۲۲ جابه‌جایی افقی نمونه F500 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر)

در نتیجه با بررسی میزان تغییر شکل در صفحه $z=0$ مشخص می‌گردد تغییر شکل در این صفحه با تغییر بار دچار تغییر قابل ملاحظه ای در سطح تغییر شکل یافته نمی‌شود ولی میزان این تغییر شکل به ازای بارهای مختلف افزایش قابل توجهی می‌یابد. از سوی دیگر با توجه با این که ناحیه تغییر شکل یافته فاصله مناسبی با جوانب و کف محیط نمونه دارند این امر پدیدار می‌گردد که ابعاد محیط نمونه به درستی انتخاب شده اند.

۴-۵-۲- تاثیر تغییرات تراکم نسبی خاک

این گروه که با نماد Dr معرفی می‌گردد و شامل شمع‌هایی با بارگذاری 500 kN می‌باشند که با ۳ تراکم نسبی مختلف خاک تحلیل می‌شوند. خصوصیات این گروه در جدول (۴-۴) آورده شده است. در این نمونه‌ها سعی بر تغییر تراکم نسبی خاک و بررسی اثر آن بر نتایج می‌باشد لذا جز تراکم سایر پارامترها در نمونه‌ها ثابت می‌باشند.

جدول ۴-۴ خصوصیات نمونه‌های بخش تغییرات تراکم خاک

اسم مدل	تراکم نسبی	قطر شمع (m)	میزان بار (kN)	نوع بارگذاری
Dr30	۰/۳	۲	۵۰۰	دینامیکی-ضربه‌ای
Dr50	۰/۵	۲	۵۰۰	دینامیکی-ضربه‌ای
Dr75	۰/۷۵	۲	۵۰۰	دینامیکی-ضربه‌ای

خصوصیات خاکهای مدل شده در این گروه به صورت جدول (۴-۵) می‌باشد.

جدول ۴-۵ خصوصیات خاک بخش تغییرات تراکم خاک

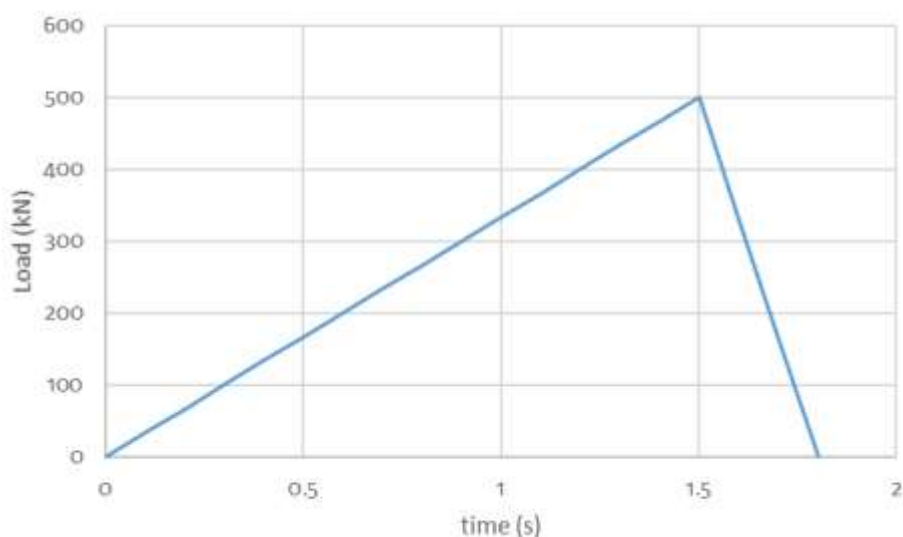
نماد	فرمول	$Dr=0/3$	$Dr=0/5$	$Dr=0/75$
$\rho \left(\frac{\text{ton}}{\text{m}^3} \right)$	$2.11(D_r)^{0.1567}$	۱/۷۴۷	۱/۸۹۳	۲/۰۱۷

۱۰۲۵۹۴/۳۹۲	۷۷۰۲۱/۳۳۵	۵۷۰۶۹/۱۵۳	$10500 \frac{(2.17 - e)^2}{1 + e} p_r^{0.4}$	$G_{max}(kPa)$
۲۲۲۲۸۷/۸۵	۱۶۶۸۹۷/۵۹	۱۲۳۶۴۹/۸۳	$G_r \frac{2(1 + \vartheta)}{3(1 - 2\vartheta)}$	$B_{max}(kPa)$
۳۷/۱۵	۳۳/۱۰	۲۹/۸۶	$16.2D_r + 25$	$\varphi(degree)$
۳۷/۱۵	۳۳/۱۰	۲۹/۸۶	$16.2D_r + 25$	$\varphi_{PT}(degree)$
۸۰	۸۰	۸۰	Constant	$p_r(kPa)$
۰/۱	۰/۱	۰/۱	Constant	γ_{max}
۰/۵	۰/۵	۰/۵	Constant	N
۰/۰۴۳	۰/۰۷۷	۰/۱۵۹	$0.0288D_r^{-1.4172}$	c
۰/۶۱۵	۰/۳۲۸	۰/۰۹۸۷	$1.147D_r - 0.2454 \geq 0$	d_1
۳/۵۸	۱/۷۶۶	۰/۳۷۱۹	$6.9686D_r - 1.7187 \geq 0$	d_2
۵/۸۸۷	۱۰	۱۰	$10 \quad (D_r < 65\%)$ $-35.484D_r + 32.5 \quad (D_r \geq 65\%)$	l_1
۰/۰۰۳۲۳	۰/۰۰۹۴۷	۰/۰۱۷۳	$l_2 = -0.0154LnD_r - 0.0012$	l_2
۱	۱	۱	$1 \quad (D_r \leq 85\%)$ $0 \quad (D_r > 85\%)$	l_3
۰/۰۰۰۰۳۶۴۶	۰/۰۰۰۰۵۹۸	۰/۰۰۰۰۸۸۲	-	$K_h=K_v(m/s)$
۰/۵۵	۰/۷	۰/۸۵	-	e
۰/۳	۰/۳	۰/۳	-	ϑ

در جدول (۵-۴) ρ چگالی خاک، p_r فشار همه جانبه مرجع، G_{max} حداکثر مدول برشی در

فشار p_r ، B_{max} ماکزیمم مدول بالک در فشار p_r ، زاویه شکست، φ_{PT} زاویه فاز انتقال یا مرز میان اتساع و انقباض، N ضریب وابسته به فشار، c پارامتر انقباض، d_1 و d_2 پارامترهای اتساع، l_1 و l_3 پارامترهای روانگرایی، k_h و k_v ضرائب قائم و افقی نفوذپذیری، e نسبت تخلخل خاک و θ ضریب پواسون خاک است.

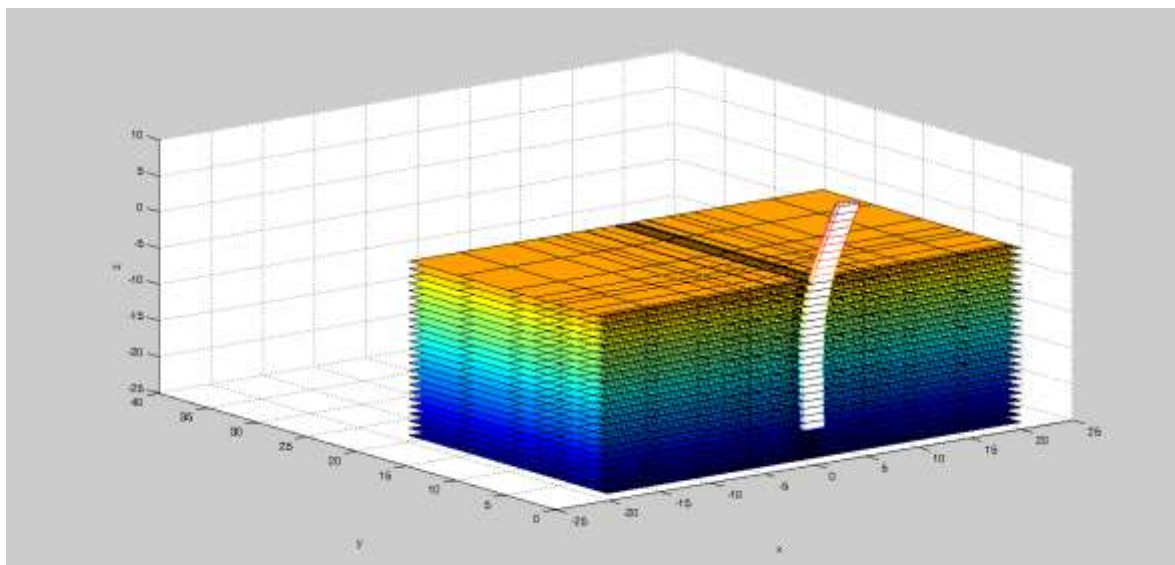
در اینجا نیز بارگذاری نمونه از طریق معرفی یک سری زمانی و اعمال آن به سر شمع در تراز m +۱۰ انجام می‌شود. شکل (۴-۲۳) بیان کننده سری زمانی اعمالی به این نمونه‌ها می‌باشد. در این سری زمانی، زمان رسیدن بار از مقدار صفر به مقدار بیشینه $1/5$ s و زمان حذف بار $3/0$ s می‌باشد.



شکل ۴-۲۳ نمودار بار افقی وارده به نمونه Dr30

۴-۵-۲-۱- جابه‌جایی افقی

با اعمال بار بیان شده در سر شمع در تراز +۱۰، تحلیل انجام شده و نتایج زیر حاصل می‌شود. شکل (۴-۲۴) بیانگر حالت تغییر شکل سه بعدی شمع در نمونه Dr30 می‌باشد.

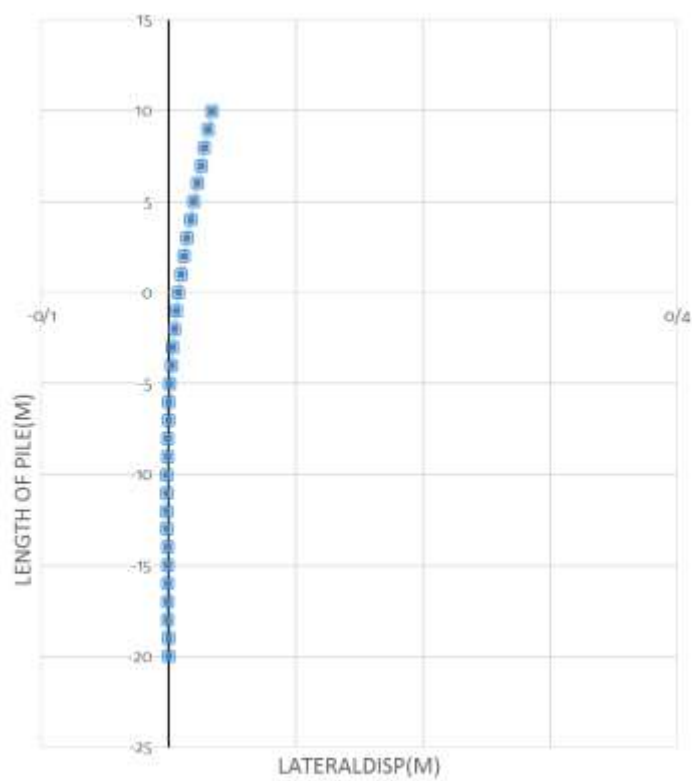


شکل ۴-۲۴ تغییر شکل سه بعدی نمونه Dr30 با ۱۰۰ برابر نمودن مقیاس جابه‌جایی افقی

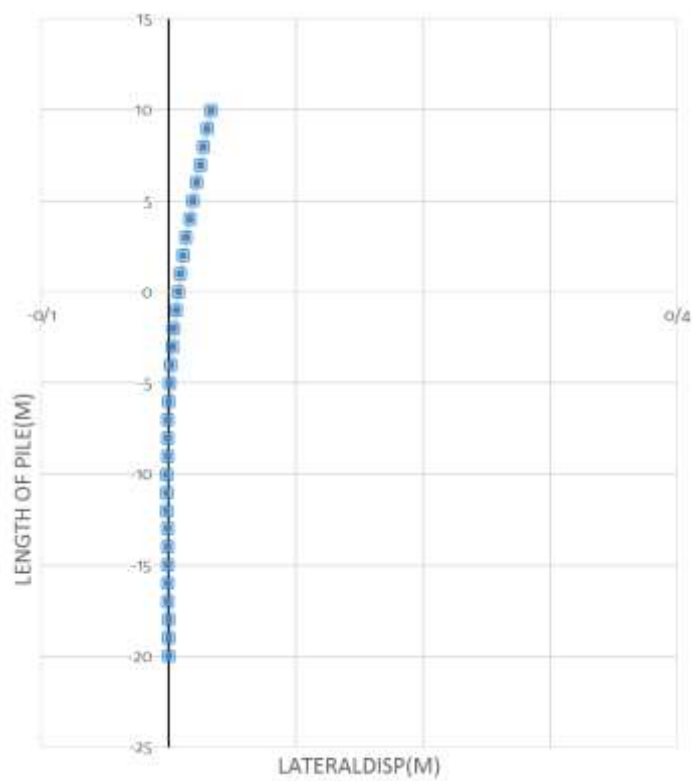
تغییر شکل افقی شمع برای مدل Dr30 در فضای دو بعدی xz در شکل (۴-۲۵) رسم شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که جابه‌جایی سر شمع در تراز $+10\text{ m}$ برابر با 34 mm می‌باشد. این مقدار در تراز $0/0\text{ m}$ برابر با 8 mm می‌باشد. تغییر شکل شمع تا عمق 6 m ادامه داشته و در این عمق برابر با صفر می‌شود.

تغییر شکل افقی شمع برای مدل Dr50 در فضای دو بعدی xz در شکل (۴-۲۶) رسم شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که جابه‌جایی سر شمع در تراز $+10\text{ m}$ برابر با 33 mm می‌باشد. این مقدار در تراز $0/0\text{ m}$ برابر با $7/5\text{ mm}$ می‌باشد. تغییر شکل شمع تا عمق 6 m ادامه داشته و در این عمق برابر با صفر می‌شود.

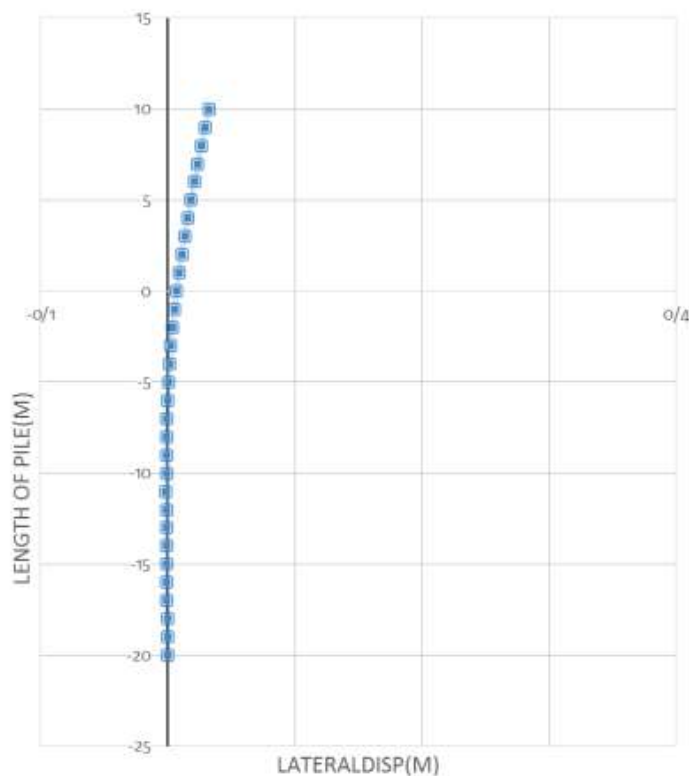
تغییر شکل افقی شمع برای مدل Dr75 در فضای دو بعدی xz در شکل (۴-۲۷) رسم شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که سر شمع در تراز $+10\text{ m}$ برابر با 32 mm می‌باشد. این مقدار در تراز $0/0\text{ m}$ برابر با $7/1\text{ mm}$ می‌باشد. تغییر شکل شمع تا عمق 5 m ادامه داشته و در این عمق برابر با صفر می‌شود.



شکل ۴-۲۵ منحنی تغییر شکل نمونه Dr30



شکل ۴-۲۶ منحنی تغییر شکل نمونه Dr50



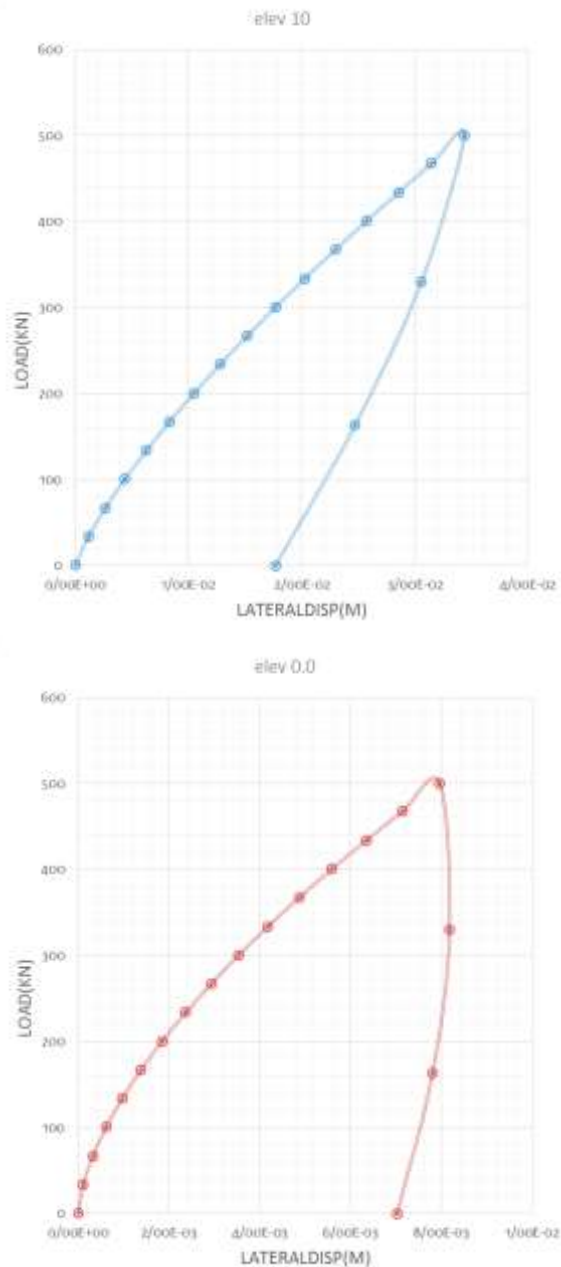
شکل ۴-۲۷ منحنی تغییر شکل نمونه Dr75

با مقایسه نتایج بدست آمده واضح است که با افزایش تراکم نسبی خاک جابه‌جایی کاهش می‌یابد ولی این کاهش مقدار قابل توجهی ندارد به طوری که با افزایش تراکم نسبی از ۰/۳ به ۰/۷۵ تغییر مکان افقی سرشمع تنها به میزان ۲mm کاهش می‌یابد. با بررسی نمودارها مشخص می‌گردد که افزایش تراکم نسبی باعث کاهش عمق تغییر مکان یافته می‌شود به نحوی که عمق تغییر مکان یافته در نمونه Dr30 برابر با ۶m و در نمونه Dr75 حدوداً برابر با ۵ m می‌باشد. این تغییرات را می‌توان به کاهش نسیت تخلخل، افزایش مدول برشی و افزایش مدول بالک مرتبط دانست که در اثر افزایش تراکم بوجود می‌آیند.

۴-۵-۲-۲- منحنی p-y

در این بخش منحنی p-y برای ترازهای ۱۰ m و ۰/۰ m رسم می‌شود تا اثر تغییر تراکم نسبی خاک مشخص گردد.

شکل (۴-۲۸) بیان کننده منحنی p-y در نمونه Dr30 در دو تراز بیان شده می باشد. میزان تغییر مکان افقی در تراز +۱۰ m در حالت بیشینه بار به ۳۴/۴ mm می رسد و با حذف بار تا میزان ۱۷/۷ mm کاهش می یابد. میزان تغییر مکان در تراز +۰/۰ m نیز در حالت بیشینه بار به ۷/۹۶ mm می رسد و با حذف بار تا میزان ۷/۰۲ mm کاهش می یابد.



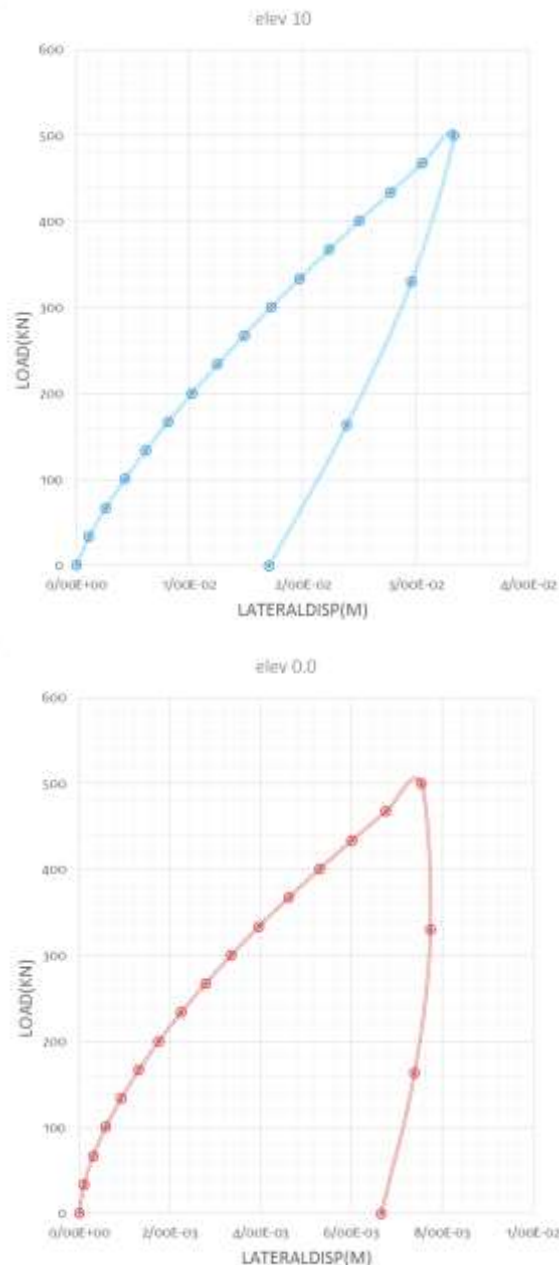
شکل ۴-۲۸ منحنی p-y نمونه Dr30 در تراز +۰/۰ و +۱۰

شکل (۴-۲۹) بیان کننده منحنی p-y در نمونه Dr50 در دو تراز بیان شده می باشد. میزان تغییر

مکان در تراز +۱۰ m در حالت بیشینه بار به ۳۳/۴ mm می رسد و با حذف بار تا میزان ۱۷ mm

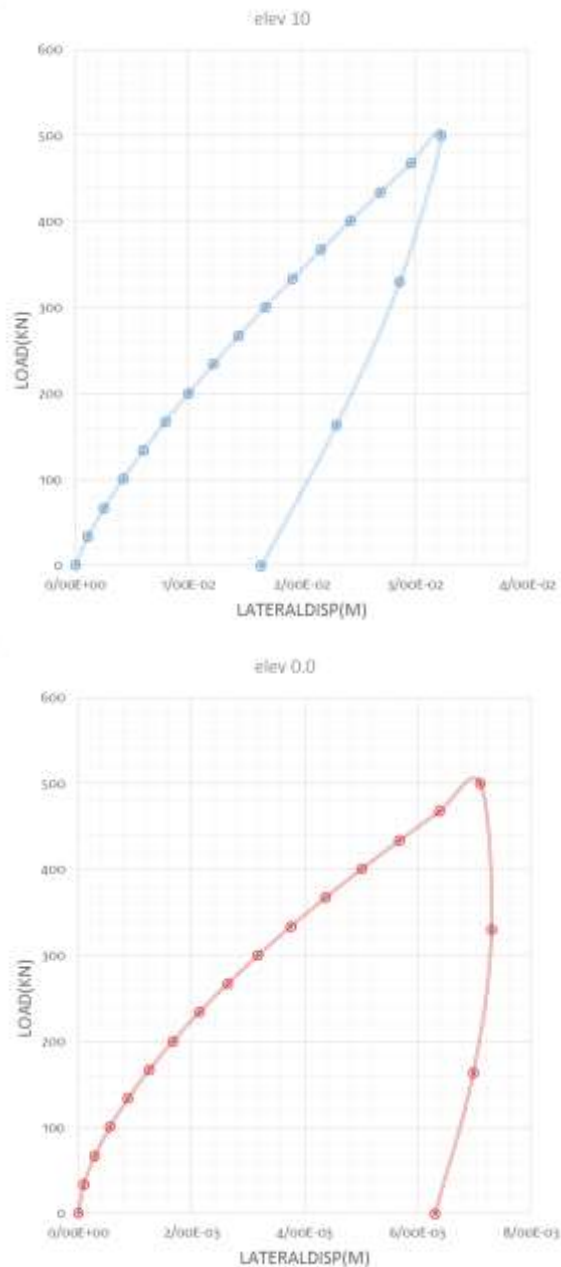
کاهش می یابد. میزان تغییر مکان در تراز ۰/۰ m نیز در حالت بیشینه بار به ۷/۵۳ mm می رسد و با

حذف بار تا میزان ۶/۶۴ mm کاهش می یابد.



شکل ۴-۲۹ منحنی p-y نمونه Dr50 در تراز ۰/۰ و +۱۰

شکل (۳۰-۴) بیان کننده منحنی p-y در نمونه Dr75 در دو تراز بیان شده می باشد. میزان تغییر مکان در تراز +۱۰m در حالت بیشینه بار به ۳۲/۳ mm می رسد و با حذف بار تا میزان ۱۶/۴ mm کاهش می یابد. میزان تغییر مکان در تراز +۰/۰m نیز در حالت بیشینه بار به ۷/۱ mm می رسد و با حذف بار تا میزان ۶/۳ mm کاهش می یابد.



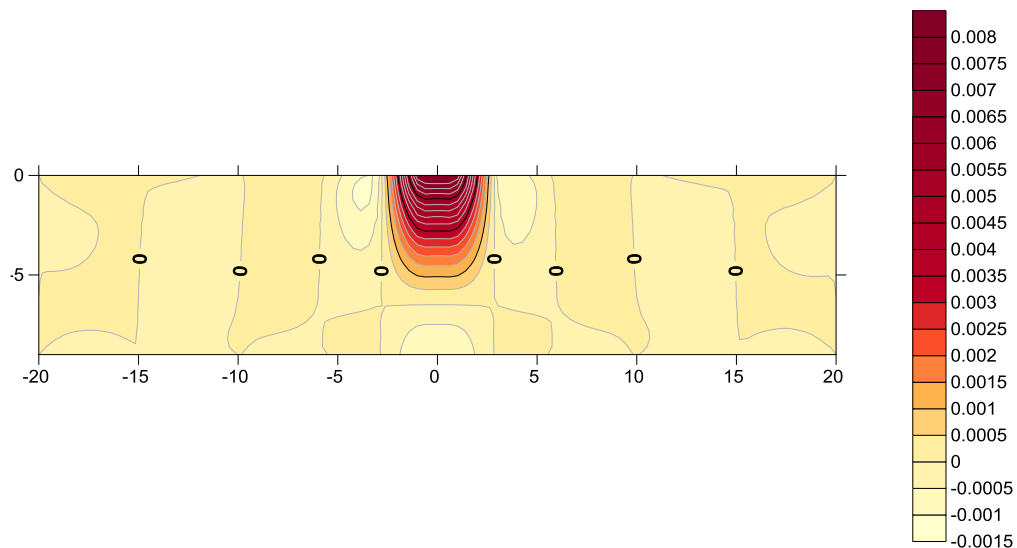
شکل ۳۰-۴ منحنی p-y نمونه Dr75 در تراز +۱۰ و +۰/۰

از مقایسه نمودارها این نتیجه پدیدار می‌گردد که با افزایش میزان تراکم نسبی میزان تغییر مکان کاهش یافته و میزان تغییر شکل ماندگار نیز کاهش می‌یابد. از سوی دیگر روشن می‌گردد که در بارهای تا مرز ۲۰۰ kN تغییر شکل مستقل از میزان تراکم می‌باشد.

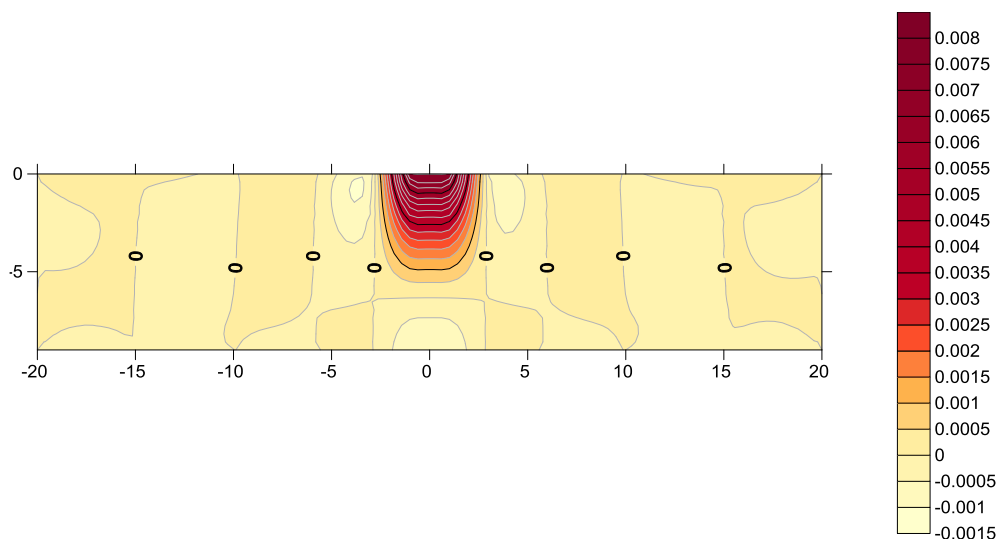
۴-۵-۲-۳- جابه‌جایی افقی خاک

جابه‌جایی افقی خاک در صفحه $y=0$ برای ناحیه تغییر شکل یافته با بزرگنمایی در شکل (۴-۳۱)

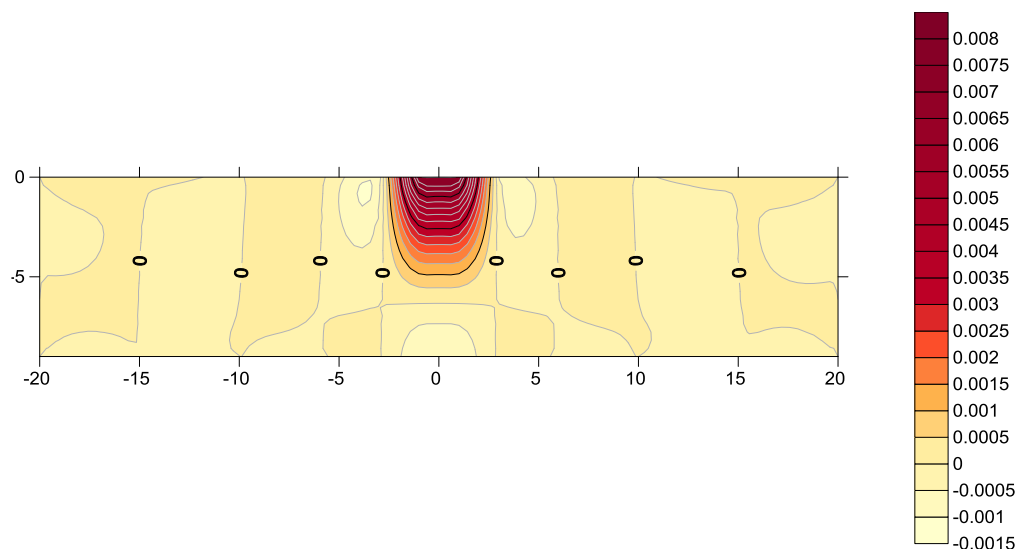
تا (۴-۳۳) آورده شده است.



شکل ۴-۳۱ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه Dr30 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)



شکل ۴-۳۲ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه Dr50 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)



شکل ۴-۳۳ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه Dr75 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)

همانطور که مشخص است با افزایش میزان تراکم نسبی ناحیه قرمز رنگ که بیان کننده تغییر مکان افقی است به تدریج کوچکتر می شود. از سوی دیگر محدوده تغییر شکل گسترش چشم گیری ندارد بلکه فقط تغییر در رنگ محدوده به سمت قرمز روشن مشاهده می شود که نشان دهنده کاهش تغییر مکان در این ناحیه می باشد.

با بررسی نتایج مشخص می گردد که افزایش تراکم نسبی تاثیر چندانی در جابه جایی ایجاد نمی کند و ناحیه تغییر شکل یافته نیز تغییر ناچیزی دارد و با افزایش تراکم نسبی تنها کمی میزان تغییر مکان در این محدوده کاهش می یابد.

۴-۵-۳- تاثیر تغییرات قطر شمع

این گروه که با نماد D معرفی می گردند شامل دو شمع با بارگذاری 500 kN و قطر متفاوت می باشد. خصوصیات این گروه در جدول (۴-۶) آورده شده است. در این بخش به منظور بررسی اثر قطر شمع بر رفتار آن، در نمونه ها فقط مقدار قطر تغییر می کند و سایر پارامترها ثابت می ماند.

خصوصیات خاکهای مدل شده در این گروه به صورت جدول (۴-۳) در بخش تغییرات بار آورده

شده است. نمودار بار وارده به این نمونه‌ها نیز مطابق شکل (۴-۲۳) در بخش تغییرات تراکم نسبی آورده شده است.

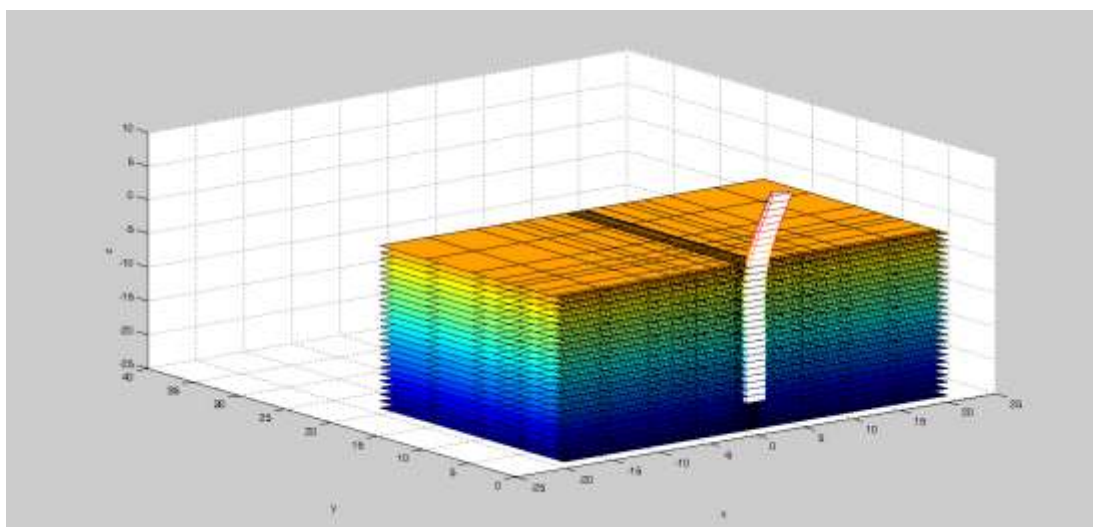
جدول ۴-۶ خصوصیات نمونه‌های بخش تغییرات قطر شمع

اسم مدل	تراکم نسبی	قطر شمع (m)	میزان بار (kN)	نوع بارگذاری
D1	۰/۷۵	۱	۵۰۰	دینامیکی-ضربه‌ای
D2	۰/۷۵	۲	۵۰۰	دینامیکی-ضربه‌ای

۴-۵-۳-۱- جابه‌جایی افقی

با اعمال بار بیان شده در سر شمع در تراز ۱۰ m+، تحلیل صورت پذیرفته و نتایج به صورت زیر حاصل می‌شود.

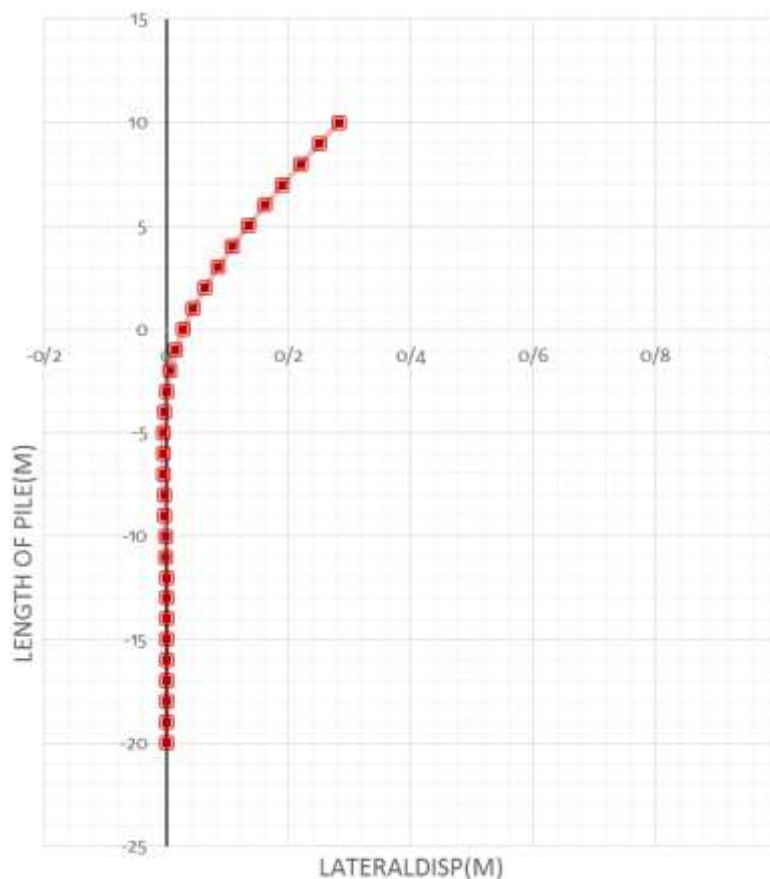
شکل (۴-۳۴) بیانگر حالت تغییر شکل سه بعدی شمع در نمونه D1 می‌باشد. این تغییر شکل حاصل از رسم خروجی‌های بدست آمده در نرم افزار متلب می‌باشد. در این نمودار تغییر مکان افقی به منظور وضوح نمایش ده برابر می‌شوند.



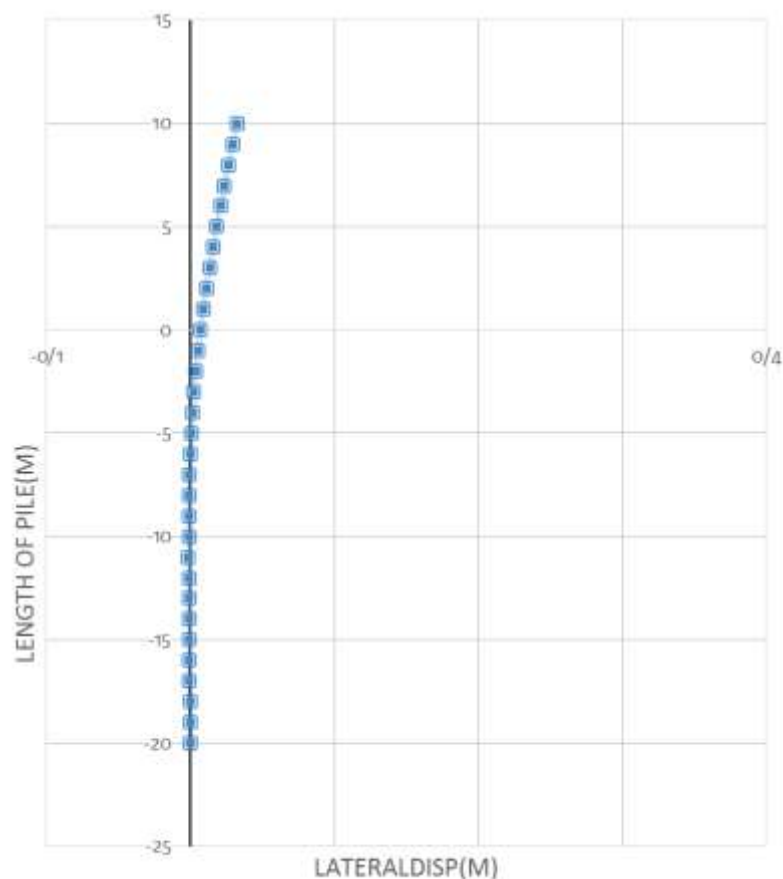
شکل ۴-۳۴ تغییر شکل سه بعدی نمونه D1 با ۱۰ برابر نمودن مقیاس جابه‌جایی افقی

تغییر شکل افقی شمع برای مدل D1 در فضای دو بعدی xz در شکل (۳۵-۴) رسم شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که سر شمع در تراز $+10\text{ m}$ برابر با 282 mm می‌باشد. این مقدار در تراز $0/0\text{ m}$ برابر با $28/1\text{ mm}$ می‌باشد. تغییر شکل شمع تا عمق 3 m ادامه داشته و در این عمق برابر با صفر می‌شود.

تغییر شکل افقی شمع برای مدل D2 در فضای دو بعدی xz در شکل (۳۶-۴) رسم شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که سر شمع در تراز $+10\text{ m}$ برابر با $32/3\text{ mm}$ می‌باشد. این مقدار در تراز $0/0\text{ m}$ برابر با $7/1\text{ mm}$ می‌باشد. تغییر شکل شمع تا عمق 6 m ادامه داشته و در این عمق برابر با صفر می‌شود.



شکل ۳۵-۴ منحنی تغییر شکل نمونه D1



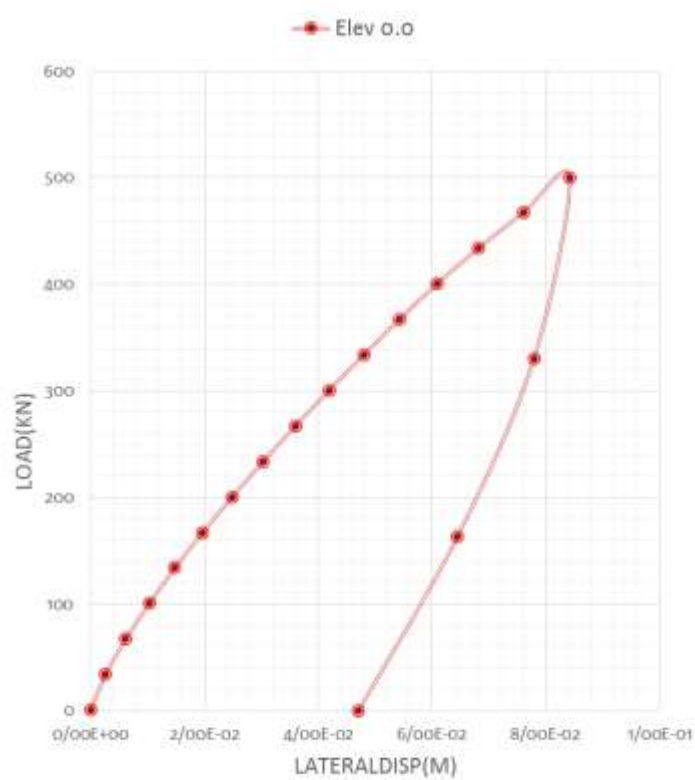
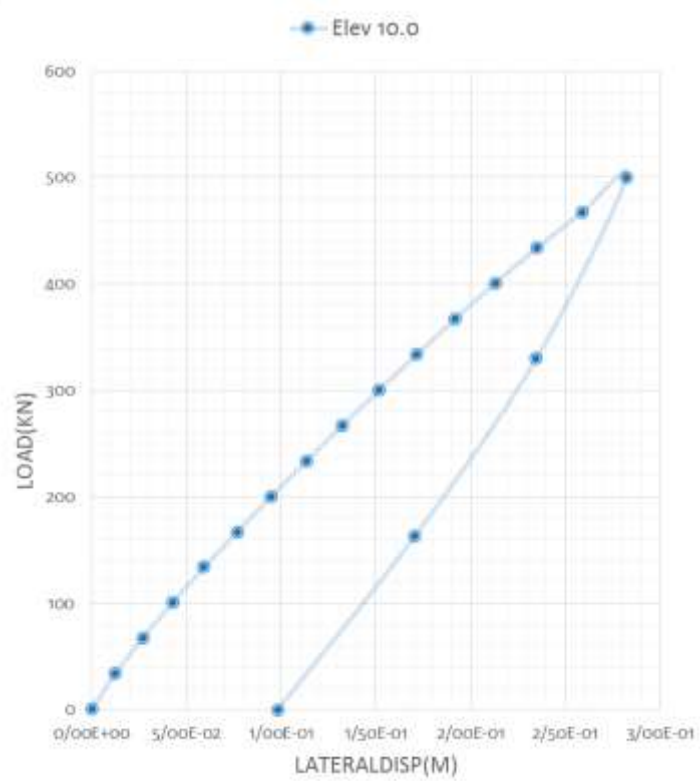
شکل ۴-۳۶ منحنی تغییر شکل نمونه D2

با مشاهده نتایج مشخص می‌گردد که با تغییر قطر از ۲ به ۱ تغییرات قابل توجهی در جابه‌جایی روی می‌دهد و جابه‌جایی سر شمع از حدود $3/2$ cm به $28/2$ cm تغییر می‌کند. از سوی دیگر با کاهش قطر میزان تغییر شکل‌ها در خاک افزایش ولی عمق تغییر شکل یافته از ۶ به حدود ۳ کاهش می‌یابد.

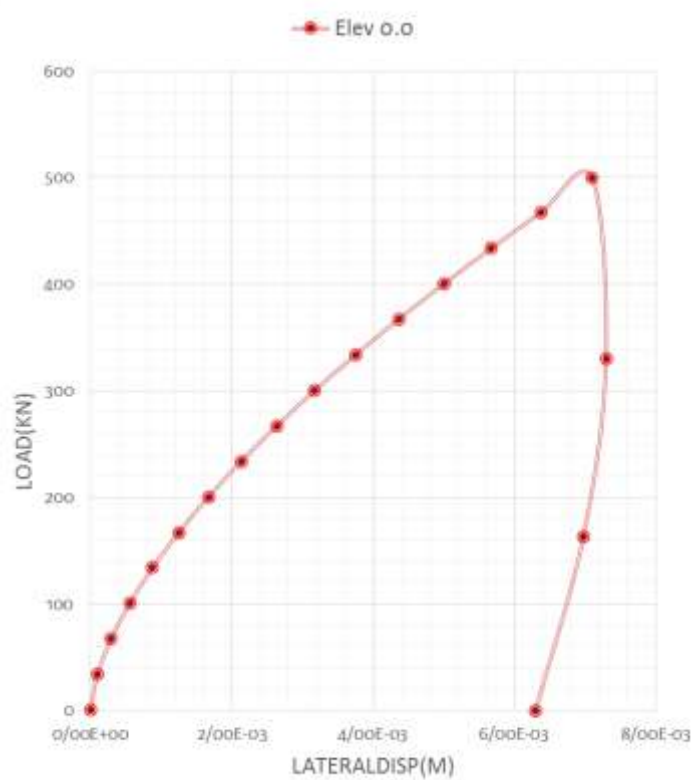
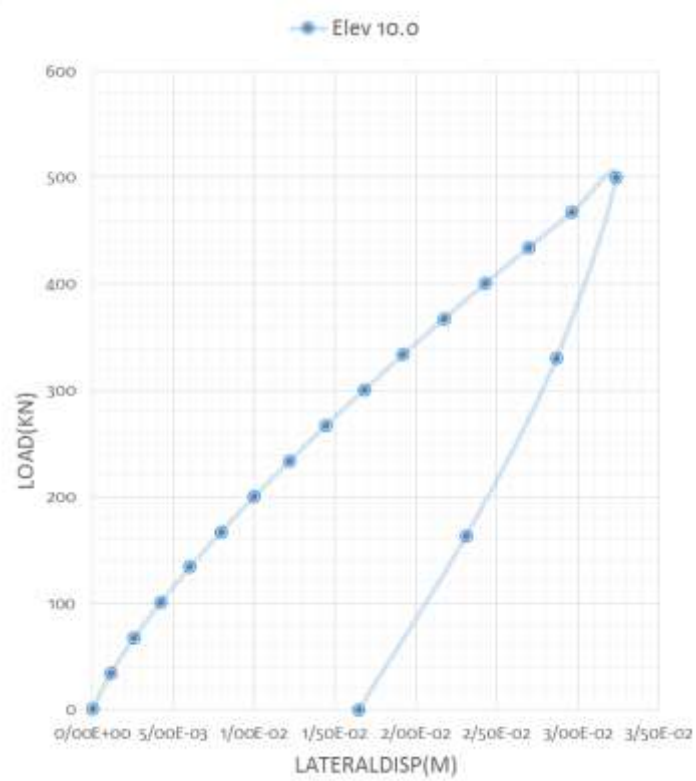
۴-۵-۳-۲- منحنی p-y

در این بخش منحنی p-y برای ترازهای ۱۰ m و ۰/۰ رسم می‌شود.

با مشاهده نتایج این بخش مشخص می‌گردد که با کاهش قطر تغییر شکل ماندگار در خاک و سر شمع بیشتر شده است.



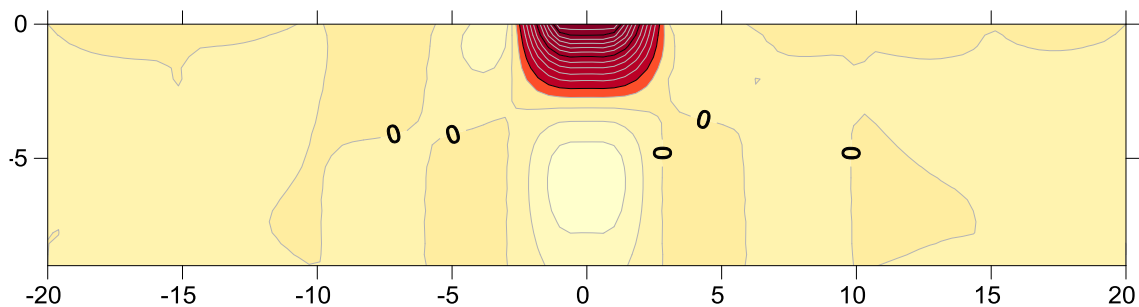
شکل ۳۷-۴ منحنی p-y نمونه D1 در تراز +۰/۰ و +۱۰



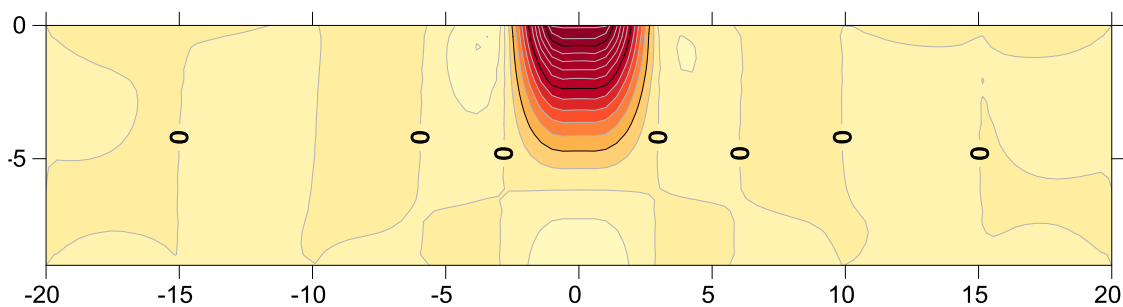
شکل ۳۸-۴ منحنی p-y نمونه D2 در تراز +۰/۰ و +۱۰

۴-۵-۳- جابه‌جایی افقی خاک

جابه‌جایی افقی خاک در صفحه $y=0$ برای ناحیه تغییر شکل یافته با بزرگنمایی در شکل (۴-۳۹) و (۴-۴۰) آورده شده است.



شکل ۳۹-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه D1 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)



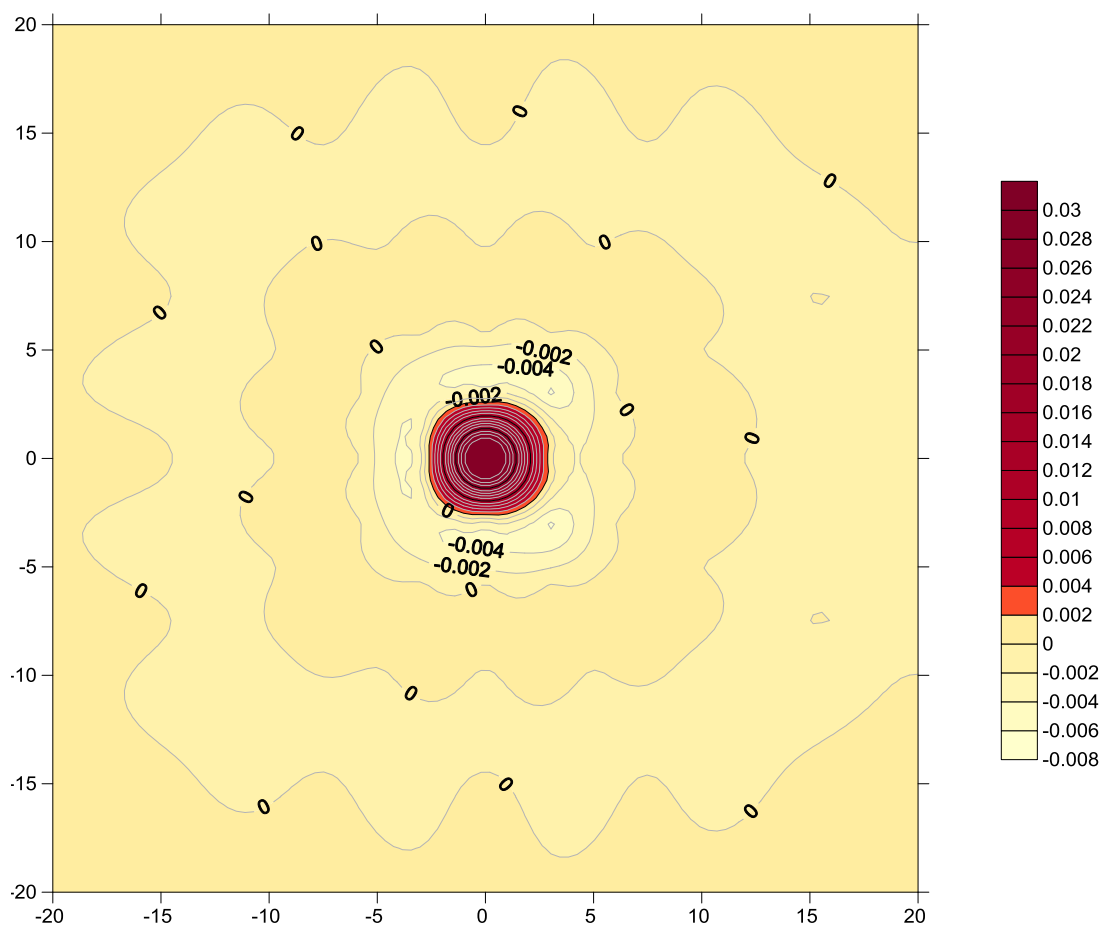
شکل ۴۰-۴ بزرگنمایی محدوده تغییر مکان یافته نمونه D2 در صفحه $y=0$ (بر حسب متر)

همانطور که مشخص است با افزایش قطر ناحیه قرمز که بیان کننده تغییر مکان افقی است در عمق گسترش می‌یابد. در نمونه D1 میزان تغییر مکان بزرگ ولی در عمق ۳ m این تغییرات به صفر می‌رسد. در نمونه D2 میزان تغییر مکان کوچک و در عمق ۶ m به صفر می‌رسد.

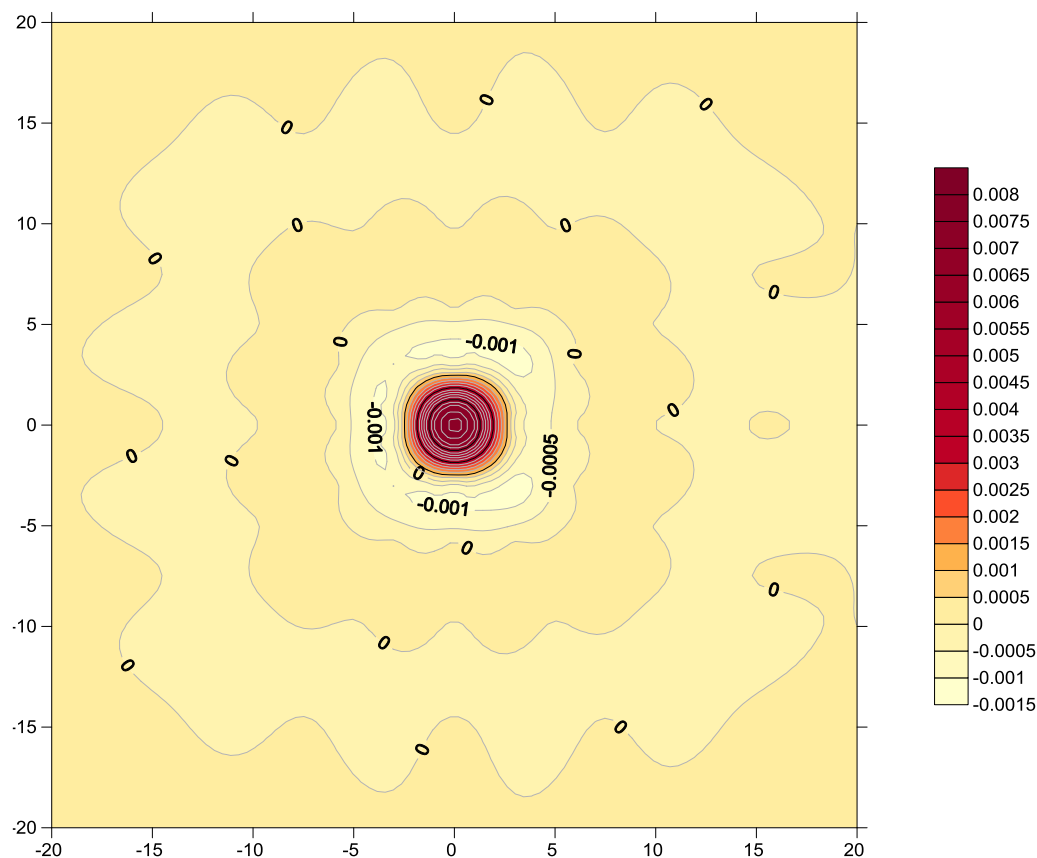
در نتیجه از مقایسه دو شکل جابه‌جایی افقی مشخص می‌گردد که با کاهش قطر شمع عمق کمتری از خاک تحت اثر تغییر شکل قرار می‌گیرد ولی میزان تغییر مکان افزایش می‌یابد، به صورتی که تغییر شکل بیشینه از حدود ۷/۱ mm در خاک با نمونه D2 به میزان ۲۸ mm در خاک با نمونه D1 افزایش می‌یابد.

تغییر شکل افقی خاک در صفحه $z=0$ برای نمونه‌های D1 و D2 در شکل (۴-۴۱) و (۴-۴۲) آورده شده است. بر طبق این شکل‌ها، با افزایش قطر از مدل D1 به مدل D2 میزان محدوده تغییر مکان یافته با رنگ قرمز کاهش یافته در حالی که محدوده کل تغییر مکان یافته نیز کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر شمع با قطر کوچکتر میزان تغییر مکان بیشتر و مساحت تغییر مکان یافته بیشتری را ایجاد می‌کند. در این نمونه‌ها نیز ناحیه تغییر شکل داده دارای فاصله مناسب از جداره می‌باشد و گیردار بودن جوانب در نتایج خللی ایجاد نمی‌کند.

از مقایسه تغییر شکل در صفحه $z=0$ روشن است که در نمونه D1 ناحیه تغییر شکل یافته وسعت بیشتری دارد و میزان تغییر شکل نیز بیشتر است لذا کاهش قطر عمق کمتر ولی سطح بیشتری از خاک را درگیر تغییر مکان می‌نماید.



شکل ۴-۴۱ جابه‌جایی افقی نمونه D1 در صفحه $z=0$ (بر حسب متر)

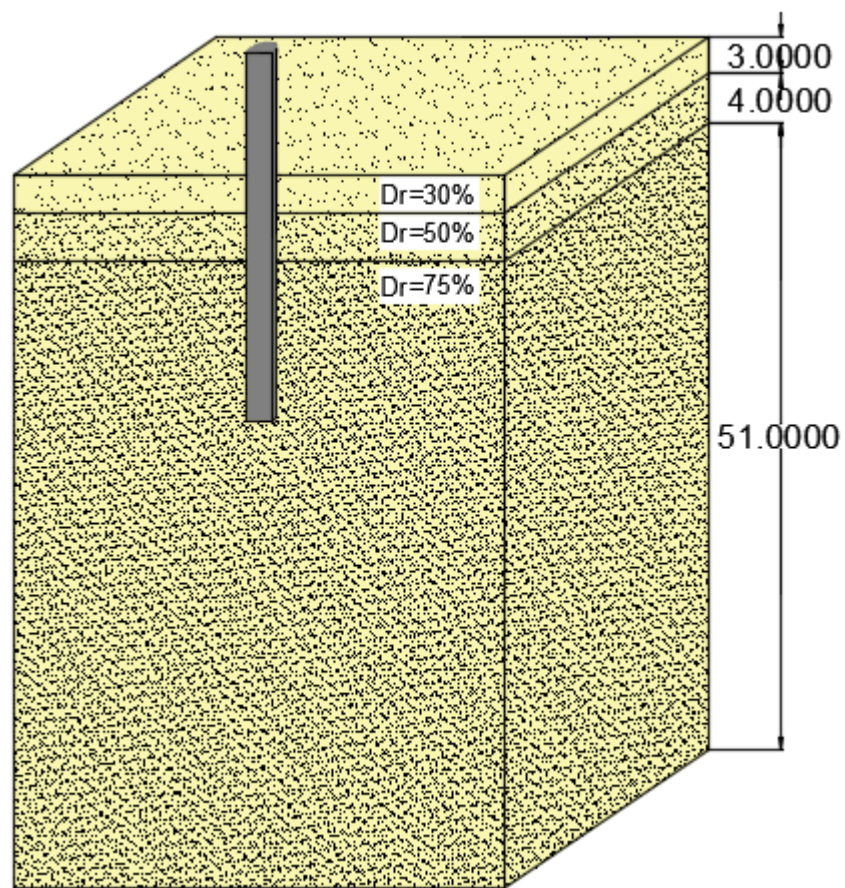


شکل ۴-۴۲ جابه‌جایی افقی نمونه D2 در صفحه $Z = 0$ (بر حسب متر)

۴-۵-۴- بررسی نمونه با خاک چند لایه

این نمونه شامل شمع با بارگذاری 500 kN و قطر 2 m می‌باشد که در ۳ لایه خاک با تراکم مختلف جایگذاری شده است. خصوصیات این نمونه در جدول (۴-۷) آورده شده است.

خصوصیات خاک مدل شده در این نمونه به صورت جدول (۴-۵) در بخش تغییرات تراکم نسبی آورده شده‌اند. نمودار بار وارده به این نمونه نیز مطابق شکل (۴-۲۳) در بخش تغییرات تراکم نسبی آورده شده است.



شکل ۴-۴ لایه بندی خاک در نمونه با ۳ لایه خاک

جدول ۴-۷ خصوصیات نمونه بخش خاک چند لایه

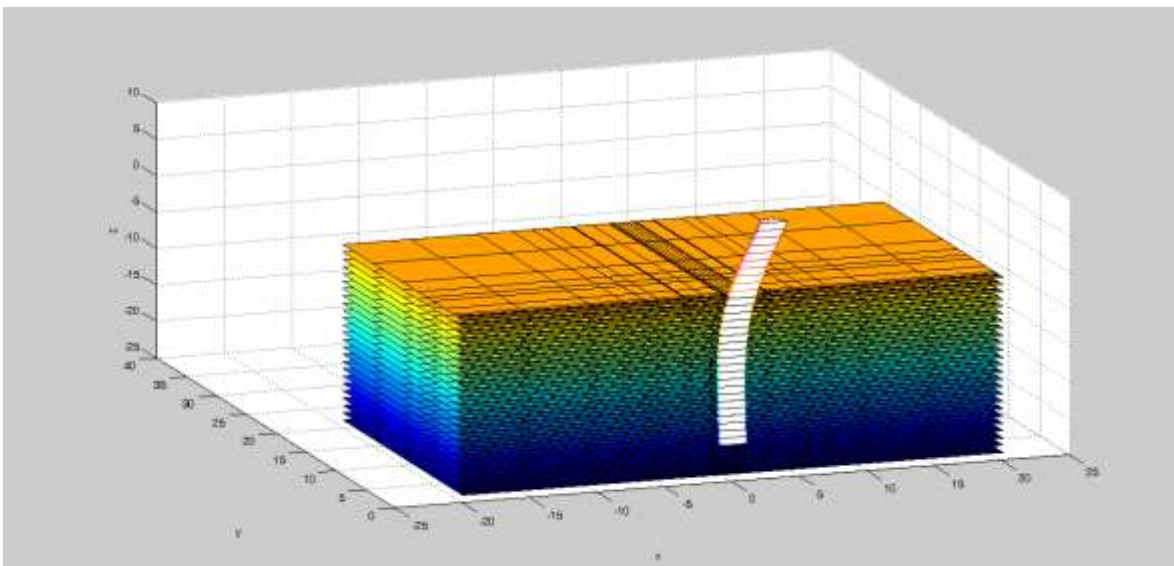
اسم لایه	تراکم نسبی	عمق لایه (m)	وضعیت رطوبت	نوع بارگذاری
L30	۰/۳	۳	اشباع	دینامیکی-ضربه‌ای
L50	۰/۵	۴	اشباع	دینامیکی-ضربه‌ای
L75	۰/۷۵	۵۱	اشباع	دینامیکی-ضربه‌ای

۴-۵-۴-۱- جابه‌جایی افقی

با اعمال بار بیان شده در سر شمع در تراز $m + 10$ ، تحلیل صورت پذیرفته و نتایج به صورت زیر

حاصل می‌شود.

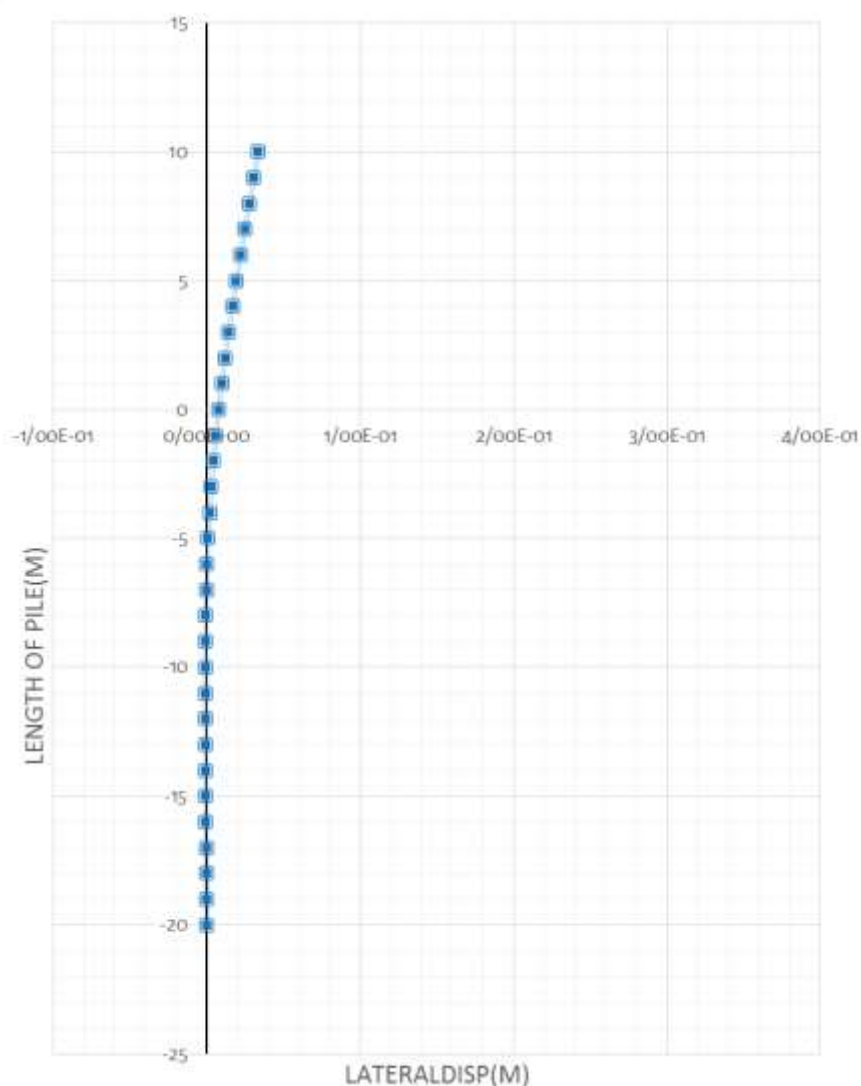
شکل (۴-۴۴) بیانگر حالت تغییر شکل سه بعدی شمع در این نمونه می‌باشد. این تغییر شکل حاصل از رسم خروجی‌های بدست آمده در نرم افزار متلب می‌باشد. در این نمودار تغییر مکان افقی به منظور وضوح نمایش صد برابر می‌شوند.



شکل ۴-۴۴ تغییر شکل سه بعدی نمونه با ۳ لایه خاک با ۱۰۰ برابر نمودن مقیاس جابه‌جایی افقی

تغییر شکل افقی شمع برای این نمونه در فضای دو بعدی xz در شکل (۴-۴۵) رسم شده است. در این نمودار مشاهده می‌شود که جابه‌جایی افقی سر شمع در تراز ۱۰ m + برابر با ۳۳/۷ mm می‌باشد. این مقدار در تراز ۰/۰ m برابر با ۷/۶۹ mm می‌باشد. از سوی دیگر تغییر شکل شمع در عمق ۵ m برابر با صفر می‌شود.

از بررسی این نمودار با نمودارهای خاک تک لایه این نتیجه حاصل می‌گردد که با لایه بندی خاک از سست به خاک متراکم، میزان جابه‌جایی به جابه‌جایی نمونه Dr30 بسیار نزدیک است که می‌تواند این نتیجه را در پی داشته باشد که لایه‌های سطحی تا تراز ۵ m - که تراز تغییر شکل شمع است تاثیر بسزایی در تغییر مکان شمع دارد.

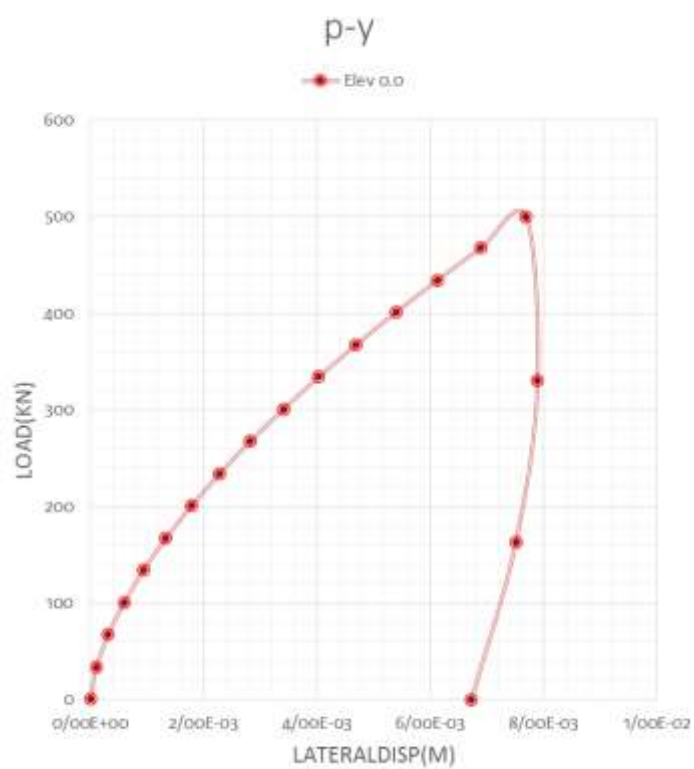
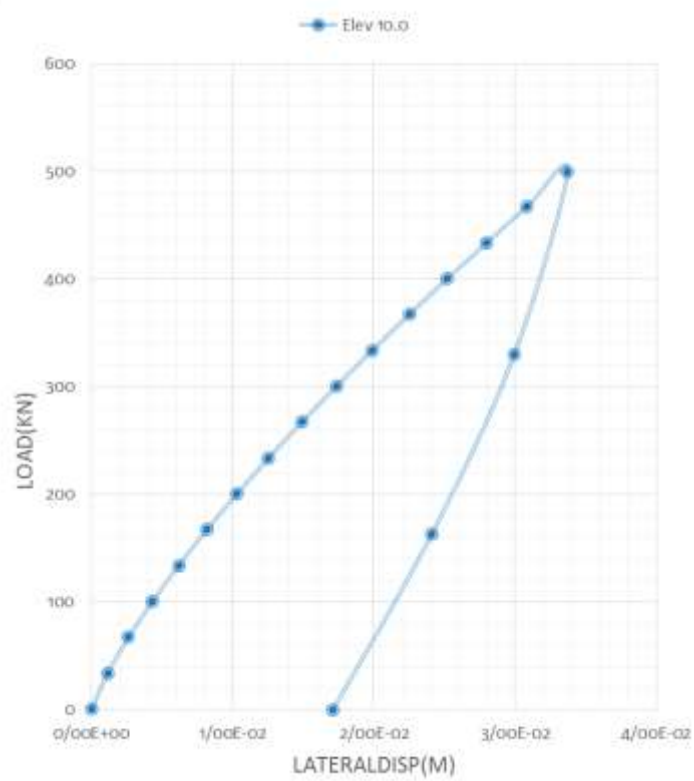


شکل ۴-۴۵ منحنی تغییر شکل نمونه خاک ۳ لایه

۴-۵-۴-۲- منحنی p-y

در این بخش منحنی p-y برای ترازهای ۱۰ m و ۰/۰ رسم می‌شود.

با مقایسه منحنی p-y این نمونه و نمونه Dr30 مشخص می‌گردد شباهت معناداری بین این دو می‌باشد که این نتیجه را بیان می‌نماید که تغییرات p-y نیز وابسته به لایه‌های سطحی خاک و به خصوص لایه‌ها سطحی تا عمق تغییر شکل یافته شمع دارند و یا به عبارت دیگر رفتار خاک در تغییر شکل شمع بیشتر تابع خاک تا عمقی است که شمع تغییر مکان از خود نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴۶ منحنی p-y نمونه خاک ۳ لایه در تراز ۰/۰ و ۱۰/۰

۴-۵-۵- بررسی اثر بارگذاری چرخه‌ای

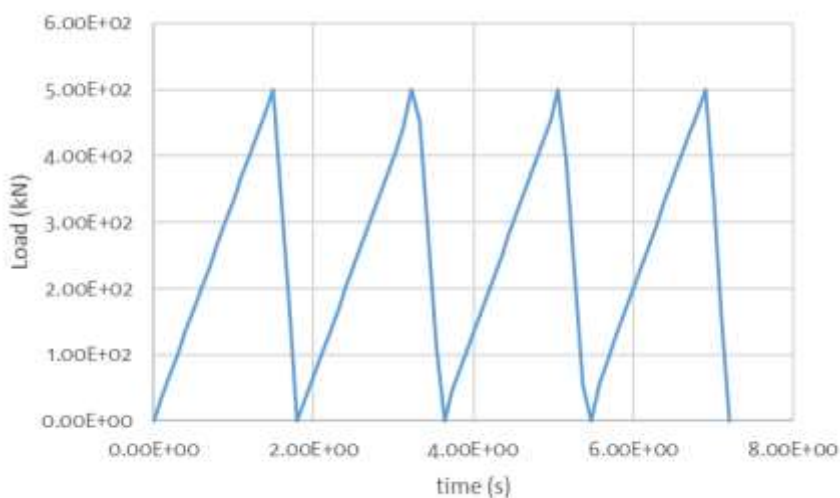
این نمونه شامل شمع با بارگذاری ۵۰۰ kN و قطر ۲ m می‌باشد که بارگذاری از نوع چرخه‌ای است. خصوصیات این نمونه در جدول (۴-۸) آورده شده است.

جدول ۴-۸ خصوصیات نمونه بخش بارگذاری چرخه‌ای

اسم مدل	تراکم نسبی	قطر شمع (m)	تعداد چرخه	نوع بارگذاری
C500	۰/۷۵	۲	۴	دینامیکی-چرخه‌ای

این مدل بارگذاری از نوع دینامیکی با دوره تناوب است. بار وارده به نمونه از طریق معرفی یک سری زمانی و اعمال آن به سر شمع در تراز ۱۰ m صورت می‌پذیرد.

شکل (۴-۴۷) بیان کننده سری زمانی اعمالی به نمونه C500 می‌باشد. در این سری زمانی، زمان رسیدن بار از مقدار صفر به مقدار بیشینه ۱/۵ s و زمان حذف بار ۰/۳ s می‌باشد و دوره تناوب بارگذاری ۱/۸ s می‌باشد. بارگذاری در ۴ چرخه انجام می‌شود و کل زمان بارگذاری ۷/۲ s می‌باشد. هدف از این تعداد چرخه بررسی میزان تغییرات تغییر شکل ماندگار در خاک است.



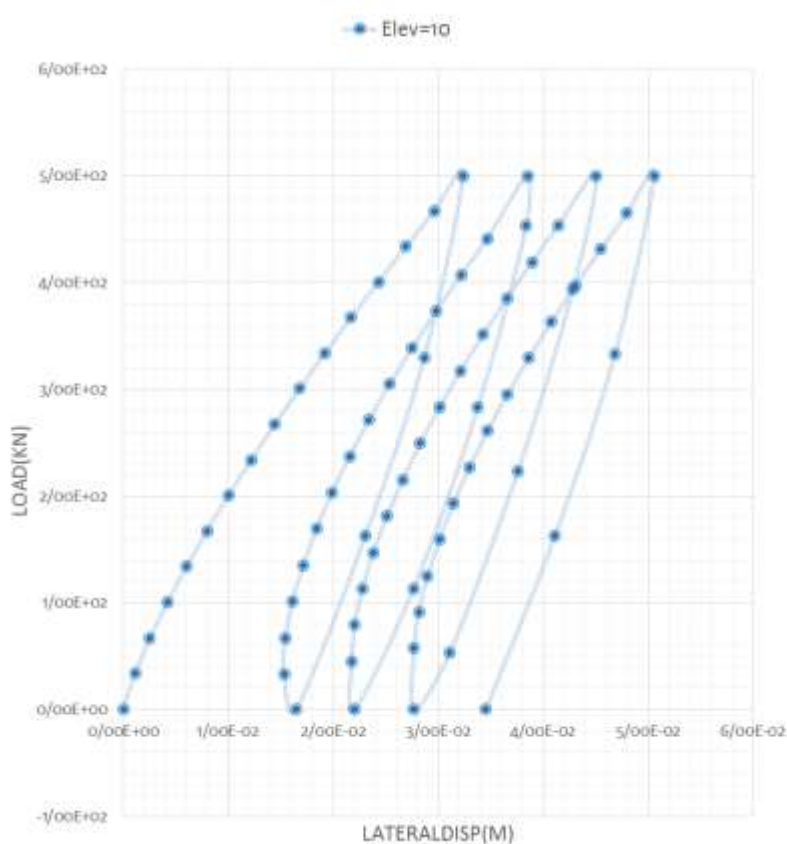
شکل ۴-۴۷ نمودار بار افقی وارده به نمونه C500

۴-۵-۵-۱- منحنی p-y

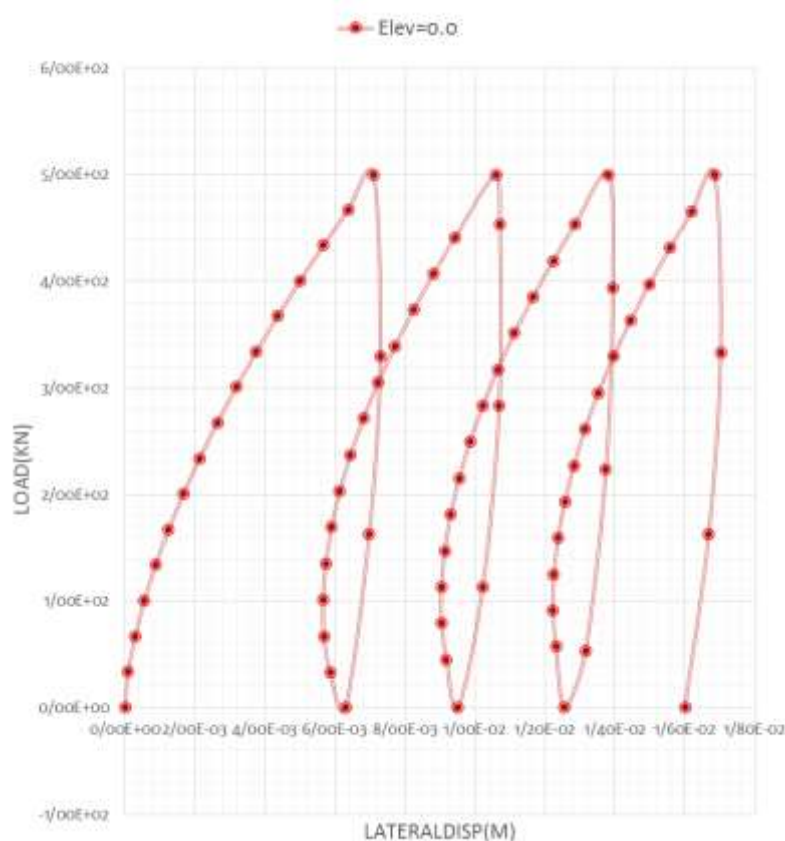
در این بخش منحنی p-y برای ترازهای +۱۰ m و ۰/۰ m رسم می‌شود. شکل (۴۸-۴) و (۴۹) بیان کننده منحنی p-y در نمونه C500 می‌باشد.

میزان تغییر مکان افقی در تراز +۱۰ m در حالت بیشینه بار به ترتیب از چرخه ۱ تا ۴ برابر با ۳۲/۳mm، ۳۸/۵، ۴۵ و ۵۰/۶ می‌باشد و با حذف بار به ترتیب به مقادیر ۲۷/۷، ۲۲، ۱۶/۴ mm و ۳۴/۵ کاهش می‌یابد.

میزان تغییر مکان در تراز ۰/۰ m در حالت بیشینه بار به ترتیب از چرخه ۱ تا ۴ برابر با ۷/۱mm، ۱۰/۶، ۱۳/۸ و ۱۶/۸ می‌باشد و با حذف بار به ترتیب به مقادیر ۶/۲mm، ۹/۵، ۱۲/۵ و ۱۶ کاهش می‌یابد.



شکل ۴۸-۴ منحنی p-y نمونه C500 در تراز +۱۰



شکل ۴-۴۹ منحنی p-y نمونه C500 در تراز ۰/۰+

برطبق منحنی‌های رسم شده میزان تغییر شکل ماندگار در هر چرخه میزان قابل توجهی بوده و لذا اهمیت بارگذاری چرخه‌ای را نشان می‌دهد. میزان تغییر شکل ماندگار در تراز ۰/۰ m در چرخه اول برابر با ۰/۰۰۷۱ mm و در چرخه‌های ۳،۲ و ۴ در حدود ۴/۲ mm و می‌باشد لذا تغییر شکل ماندگار در چرخه‌های ۳،۲ و ۴ کاهش چشم گیری نسبت به چرخه ابتدایی دارند. از سوی دیگر کاهش قابل ملاحظه‌ای در تغییر شکل ماندگار در چرخه‌های ۳،۲ و ۴ دیده نمی‌شود. لذا در محل‌هایی که تحت بارگذاری پی در پی قرار می‌گیرند لحاظ نمودن اثر چرخه بارگذاری بسیار مهم می‌باشد.

۴-۵-۶- بررسی اثر بار رفت و برگشتی

این نمونه شامل شمع به قطر ۲ m با بارگذاری دینامیکی رفت و برگشتی به میزان ۵۰۰ kN می‌باشد. خصوصیات این نمونه در جدول (۴-۹) آورده شده است.

جدول ۹-۴ خصوصیات نمونه بخش بارگذاری رفت و برگشتی

اسم مدل	تراکم نسبی	قطر شمع (m)	تعداد کشش و فشار	نوع بارگذاری
P500	۰/۷۵	۲	۵/۵	دینامیکی-رفت و برگشتی

این مدل بارگذاری از نوع دینامیکی با دوره تناوب است. بار وارده به نمونه از طریق معرفی یک

سری زمانی و اعمال آن به سر شمع در تراز ۱۰+ صورت می‌پذیرد.

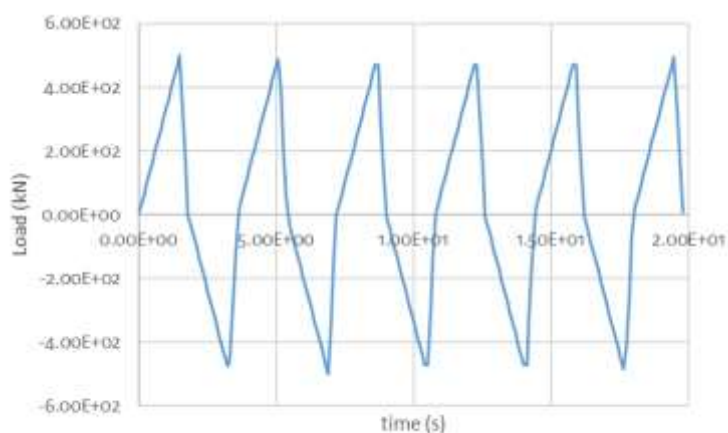
شکل (۴-۵۰) بیان کننده سری زمانی اعمالی به نمونه P500 می‌باشد. در این سری زمانی، زمان

رسیدن بار از مقدار صفر به مقدار بیشینه مثبت $1/5$ s و زمان حذف بار $0/3$ s می‌باشد سپس زمان

رسیدن بار از مقدار صفر به مقدار بیشینه منفی $1/5$ s و زمان حذف بار $0/3$ s می‌باشد. دوره تناوب

بارگذاری $3/6$ s می‌باشد. بارگذاری در $5/5$ دوره انجام می‌شود که در نتیجه کل زمان بارگذاری

$19/8$ s می‌باشد.



شکل ۴-۵۰ نمودار بار افقی وارده به نمونه P500

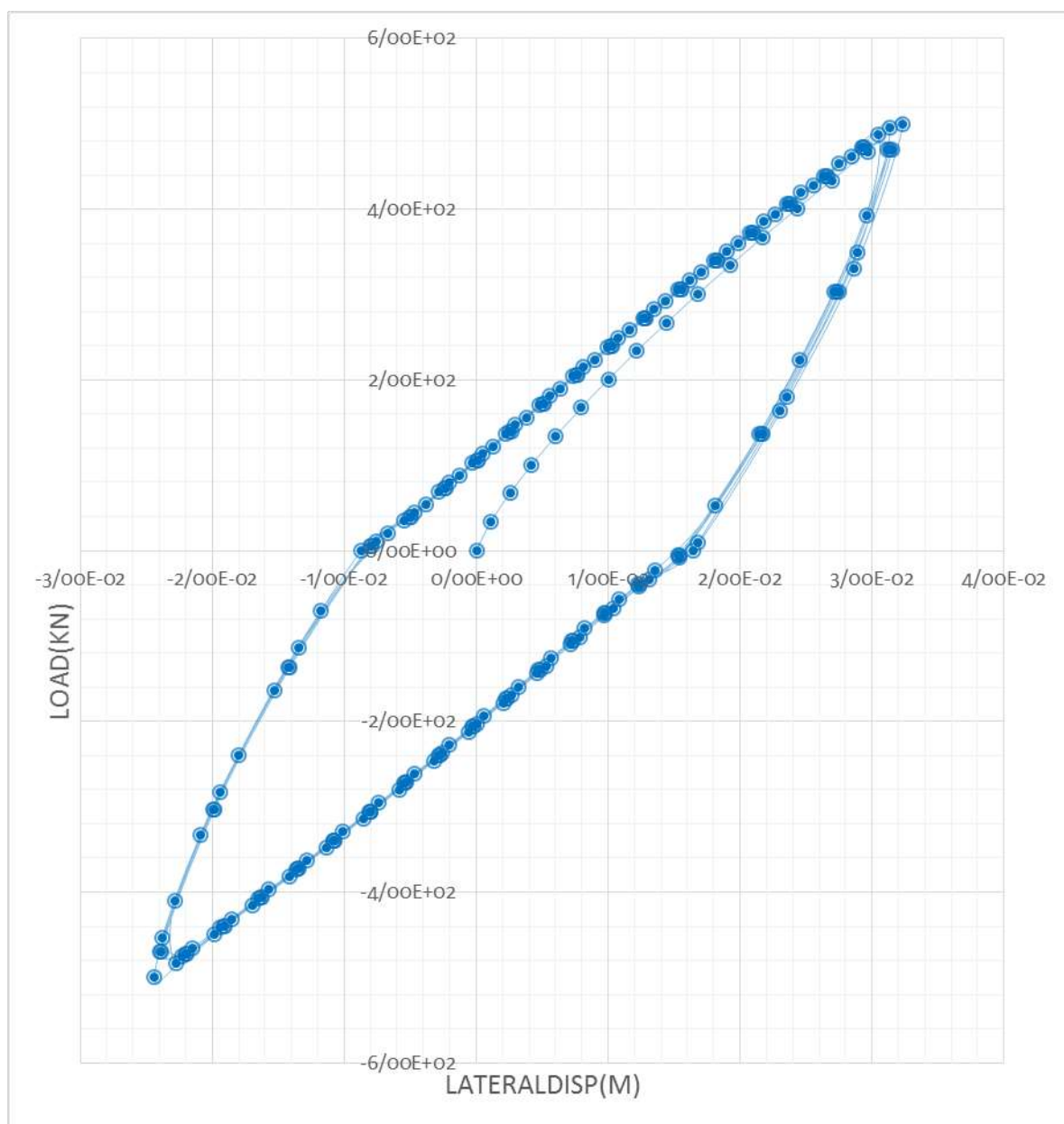
۴-۵-۶-۱- منحنی p-y

در این بخش منحنی p-y برای ترازهای 10 m و $0/0$ m رسم می‌شود تا اثر بارگذاری رفت و

برگشتی مشخص گردد. شکل (۴-۵۱) و (۴-۵۲) بیان کننده منحنی p-y در نمونه P500 می‌باشد. در

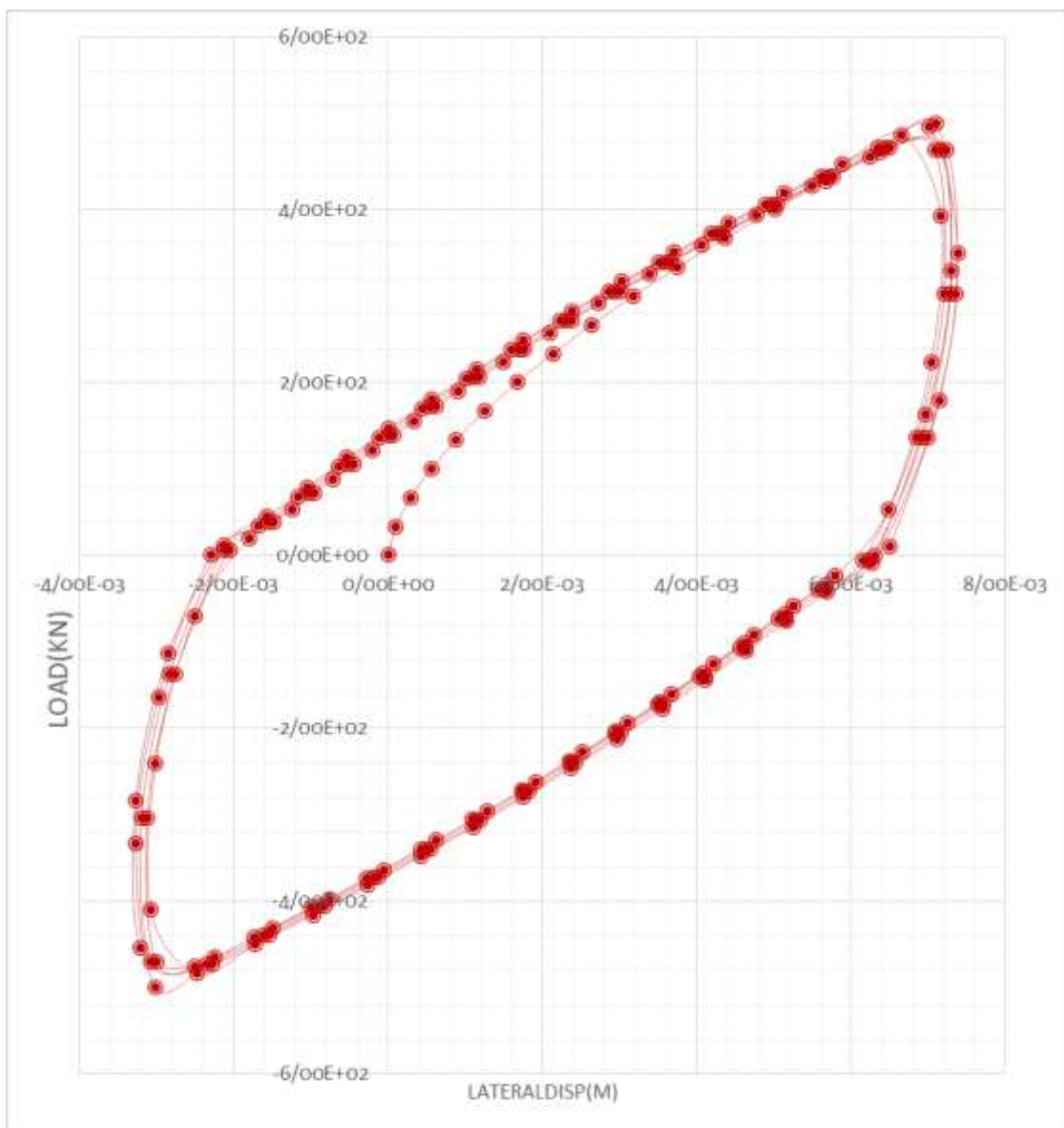
این شکل‌ها با بارگذاری‌های پیاپی نمودارها به حرکت به سمت محور افقی و یا پهن شدن بر روی آن

گرایش دارند.



شکل ۴-۵۱ منحنی p-y نمونه P500 در تراز +۱۰

از شواهد ارائه شده در این منحنی ها روشن است که با اعمال بار فشاری و کششی پی در پی منحنی ها گرایش به خوابیدگی روی محور افقی نشان می دهند که نشان دهنده له شدگی خاک و تغییر شکل ماندگار در آن در اثر بارگذاری است، از این رو بارگذاری رفت و برگشتی نیز اثر مخرب قابل ملاحظه ای روی خاک می گذارند که در طراحی ها باید لحاظ شوند.



شکل ۴-۵۲ منحنی p-y نمونه P500 در تراز +۰/۰

فصل پنجم

نتایج و پیشنهادها

۵- نتایج و پیشنهادها

۵-۱- مقدمه

در این بخش با توجه به مباحث فصل‌های گذشته، به جمع بندی نتایج کلی پرداخته می‌شود. در پایان نیز پیشنهادات برای مطالعات آتی معرفی می‌گردند.

۵-۲- نتیجه گیری

- با افزایش میزان بار و ثابت ماندن سایر پارامترها، تغییر مکان افقی رفته رفته بیشتر می‌شود و با باربرداری تغییر مکان کاهش می‌یابد ولی با باربرداری کامل باز هم مقداری تغییر شکل در شمع و خاک باقی می‌ماند که این تغییر شکل باقی مانده حاصل از تغییر شکل پلاستیک خاک می‌باشد.
- با بررسی نتایج روشن می‌شود که با افزایش بار و ثابت ماندن سایر پارامترها ناحیه تغییر شکل یافته تغییر قابل ملاحظه‌ای ندارد، بلکه فقط میزان تغییر شکل در این ناحیه بیشتر می‌شود. از سوی دیگر تغییر شکل تا عمق ۵ الی ۶ متری خاک قابل ملاحظه است و بعد از آن ناچیز است.
- با بررسی تغییر مکان افقی در صفحه $z = 0$ نیز مشخص می‌گردد تغییر شکل در این صفحه نیز با تغییر بار دچار تغییر قابل ملاحظه‌ای در سطح تغییر مکان یافته نمی‌شود ولی میزان این تغییر مکان به ازای بارهای مختلف افزایش قابل توجهی می‌یابد. از سوی دیگر با توجه با این که ناحیه تغییر شکل یافته فاصله مناسبی با جوانب و کف محیط نمونه دارند این امر پدیدار می‌گردد که ابعاد محیط نمونه به درستی انتخاب شده اند.
- با مقایسه نتایج بدست آمده واضح است که با افزایش تراکم نسبی خاک و ثابت ماندن سایر

پارامترها، جابه‌جایی افقی خاک کاهش می‌یابد ولی این کاهش مقدار قابل توجهی ندارد به طوری که با افزایش تراکم نسبی از $0/3$ به $0/75$ تغییر در میزان جابه‌جایی افقی سرشمع تنها به مقدار 2mm می‌باشد. از سوی دیگر افزایش تراکم باعث کاهش عمق تغییر مکان یافته می‌شود.

- با افزایش تراکم نسبی خاک و ثابت ماندن سایر پارامترها، میزان تغییر شکل ماندگار در خاک و شمع کاهش می‌یابد. از سوی دیگر روشن می‌گردد که در بارهای تا مرز 200kN تغییر شکل مستقل از میزان تراکم نسبی خاک می‌باشد.

- با بررسی نتایج مشخص می‌گردد که افزایش تراکم نسبی خاک تاثیر چندانی در جابه‌جایی افقی ایجاد نمی‌کند و ناحیه تغییر شکل یافته نیز تغییر ناچیزی دارد و با افزایش تراکم تنها کمی میزان تغییر مکان در این محدوده کاهش می‌یابد.

- با مشاهده نتایج مشخص می‌گردد با تغییر قطر شمع تغییرات زیادی در میزان تغییر مکان جانبی ایجاد می‌شود به صورتی که با تغییر قطر از 2 به 1 تغییرات قابل توجهی در جابه‌جایی افقی روی می‌دهد و جابه‌جایی سر شمع از حدود $3/2\text{ cm}$ به $28/2\text{ cm}$ تغییر می‌کند. از سوی دیگر با کاهش قطر میزان تغییر شکل‌ها در خاک افزایش ولی عمق تغییر شکل کاهش می‌یابد به طوری که با تغییر قطر از 2 به 1 میزان عمق تغییر شکل یافته از 6 به حدود 3 کاهش می‌یابد.

- با کاهش قطر و ثابت ماندن سایر پارامترها، تغییر شکل ماندگار در خاک و سر شمع بیشتر می‌شود.

- با کاهش قطر شمع عمق کمتری از خاک تحت اثر تغییر مکان افقی قرار می‌گیرد ولی میزان تغییر مکان افقی افزایش می‌یابد، به صورتی که تغییر مکان افقی بیشینه از حدود $0/71\text{ cm}$ در

خاک با نمونه D2 به میزان $2/8 \text{ cm}$ در خاک با نمونه D1 افزایش می‌یابد.

- با بررسی تغییر مکان خاک در صفحه افقی مشخص می‌گردد که کاهش قطر، باعث افزایش سطح تغییر مکان یافته می‌شود.
- با لایه بندی خاک از سست به خاک متراکم، میزان جابه‌جایی نمونه با سه لایه خاک به جابه‌جایی نمونه با خاک سست بسیار نزدیک است که می‌تواند این نتیجه را در پی داشته باشد که لایه‌های سطحی تا ترازى که تغییر شکل شمع محسوس است، تاثیر بسزایی در تغییر مکان شمع دارد.
- تغییرات $p-y$ نیز وابسته به لایه‌های سطحی خاک و به خصوص لایه‌ها تا عمق تغییر شکل یافته شمع دارند یا به عبارت دیگر رفتار خاک در تغییر شکل شمع بیشتر تابع خاک تا عمقی است که شمع تغییر مکان افقی از خود نشان می‌دهد.
- در بارگذاری چرخه‌ای میزان تغییر شکل ماندگار در تراز $0/0 \text{ m}$ در چرخه اول برابر با $7/1 \text{ mm}$ و در چرخه‌های ۳،۲ و ۴ در حدود $4/2 \text{ mm}$ و می‌باشد لذا تغییر شکل ماندگار در چرخه‌های ۳،۲ و ۴ کاهش چشم‌گیری نسبت به چرخه ابتدایی دارند. لذا در محل‌هایی که تحت بارگذاری پی در پی قرار می‌گیرند لحاظ نمودن اثر چرخه بارگذاری بسیار مهم می‌باشد.
- در بارگذاری رفت و برگشتی، با اعمال بار فشاری و کششی پی‌درپی منحنی $p-y$ گرایش به خوابیدگی روی محور افقی نشان می‌دهند که نشان دهنده تخریب شدن خاک و یا تغییر شکل ماندگار در آن در اثر بارگذاری است، از این رو بارگذاری رفت و برگشتی نیز اثر مخرب قابل ملاحظه‌ای روی خاک می‌گذارند که در طراحی‌ها باید لحاظ شوند.

۵-۳- پیشنهاد برای مطالعات آتی

با توجه به نوین بودن کاربرد نرم افزار مورد استفاده در زمینه ژئوتکنیک لذا ایده و جای کار فراوانی در این خصوص وجود دارد. در ادامه سعی می شود ایده هایی در خصوص گسترش مطالعات در ادامه این پژوهش مطرح گردد.

پیشنهادهای برای مطالعات آینده:

- انجام پژوهش مشابه بر روی گروه شمع قائم، شمع مایل و گروه شمع مایل
 - انجام پژوهش بر روی گروه شمع متشکل از شمع مایل و قائم
 - انجام پژوهش بر روی گروه ریز شمع
 - بررسی اثر شکل مقاطع شمع بر روی رفتار شمع
 - بررسی اثر زلزله بر روی رفتار شمع
 - بررسی اثر اشباع یا غیر اشباع بودن خاک در رفتار شمع
 - انجام پژوهش بر روی خاک رس و ترکیب رس و ماسه
 - انجام پژوهش با مدل فنر $p-y$ و ارائه تفاوت ها با روش به کار برده شده در پژوهش
- حال حاضر

پیوست ۱

محاسبه بار

در پهلویی شناورها بار از بدنه کشتی به ضربه گیر و از آنجا به اسکله و شمع منتقل می شود. ضربه گیرها یا فندرها در سازه های دریایی، لایه میانی مورد نیاز بین شناور پهلویی و سازه اسکله را بوجود می آورند، بنابراین عملکرد اصلی فندر، تبدیل ضربه و انرژی ناشی از پهلویی شناور به عکس-العمل قابل تحمل توسط شناور و سازه اسکله می باشد. طراحی مناسب سیستم فندر باید به گونه ای باشد که شناور پهلویی گیرنده به آرامی متوقف شده و پهلویی بدون ایجاد صدمه به شناور و اسکله همراه باشد.

در گذشته طراحی اسکله و سیستم فندر به این صورت بود که طراحی اسکله به طور مستقل و سپس فندر به طور مستقل طراحی می شد. روش صحیح امروزی طراحی سیستم فندر و اسکله به طور همزمان و وابسته به یکدیگر می باشد. در انتخاب سیستم و نوع فندر باید معیارهای زیر در نظر گرفته شوند:

- ۱- سیستم فندر باید ظرفیت جذب انرژی کافی را داشته باشد.
- ۲- عکس العمل ناشی از سیستم فندرها، نباید از ظرفیت باربری سازه اسکله بیشتر باشد.
- ۳- مقدار فشار سطحی ناشی از سیستم فندر نباید از ظرفیت بدنه شناور بیشتر باشد.
- ۴- هزینه های زمان ساخت و هزینه های تعمیرات و نگهداری باید در طراحی سیستم فندر و سازه اسکله در نظر گرفته شود.

انرژی پهلویی

انرژی جنبشی پهلویی شناور که باید توسط سیستم فندر در شرایط عادی جذب شود از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$E_f = 0.5.M_D.V_B^2.C_M.C_E.C_C.C_S \quad (\text{پ ۱-۱})$$

در رابطه (پ ۱-۱) E_f انرژی جنبشی شناور در شرایط عادی که باید توسط فنر جذب شود، M_D جرم شناور، V_B مولفه سرعت پهلوگیری در راستای عمود بر امتداد اسکله، C_M ضریب جرم، C_E ضریب خروج از مرکزیت، C_C ضریب شکل اسکله و C_S ضریب نرمی می باشد.

در شرایط غیرعادی میزان انرژی پهلوگیری افزایش می یابد. این شرایط می تواند در اثر خطای انسانی، شرایط آب و هوا، خرابی تجهیزات و یا ترکیبی از این عوامل باشد.

میزان انرژی جذب شده در حالت غیرعادی:

$$E_A = F_s * E_f \quad (\text{پ ۱-۲})$$

در رابطه (پ ۱-۲) E_A انرژی پهلوگیری غیرعادی و F_s ضریب تشدید می باشد.

مقدار این ضریب توسط جدول (پ ۱-۱) تعیین می شود.

سرعت پهلوگیری

مولفه سرعت پهلوگیری در راستای عمود بر راستای اسکله در طراحی ها مورد استفاده قرار می گیرد. این سرعت به عواملی مثل صعوبت یا آسانی پهلوگیری، ابعاد شناور و وجود یا عدم وجود جریان دریایی بستگی دارد. براساس ضوابط آیین نامه، ۵ حالت برای پهلوگیری تعریف شده است، که در شکل (پ ۱-۱) و در جدول (پ ۱-۲)، سرعت پیشنهادی در شرایط مختلف ارائه شده است.

در شکل (پ ۱-۳):

a: پهلوگیری آسان - محافظت شده

b: پهلوگیری سخت - محافظت شده

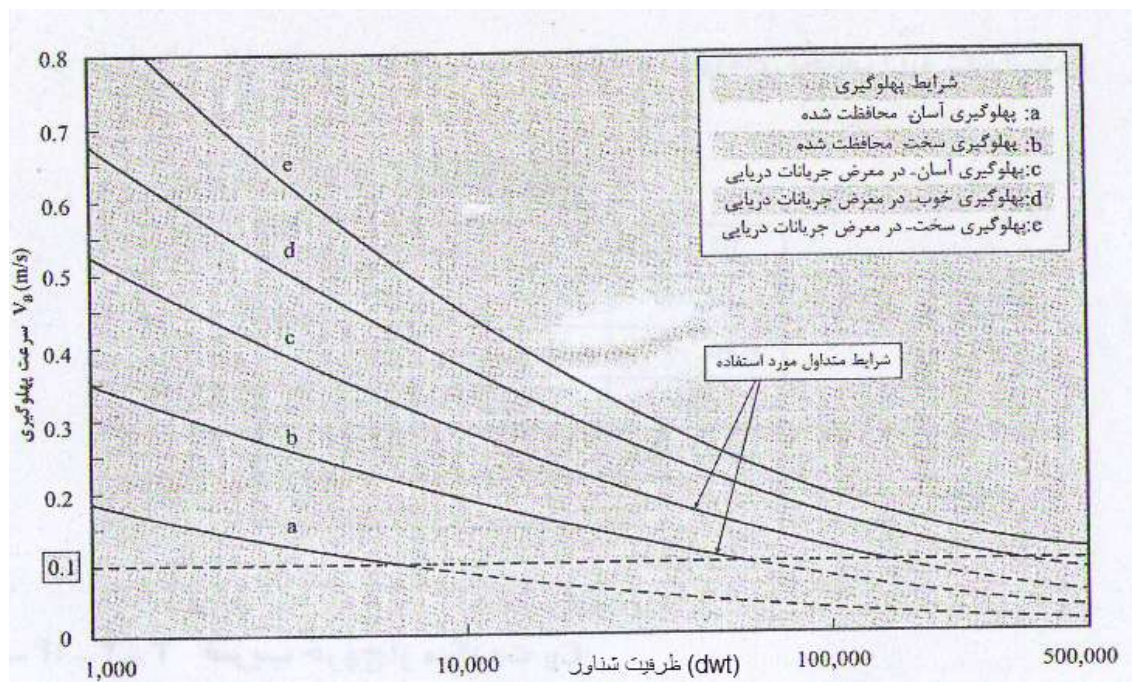
c: پهلوگیری آسان - در معرض جریانات دریایی

d: پهلوگیری خوب - در معرض جریانات دریایی

e: پهلوگیری سخت – در معرض جریان‌ات دریایی

جدول پ ۱-۱ ضریب تشدید در شرایط غیر عادی

ردیف	نوع شناور	ابعاد شناور	Fs
۱	تانکر، فله‌بر - عمومی	بزرگترین	۱/۲۵
		کوچکترین	۱/۷۵
۲	کانتینری	بزرگترین	۱/۵
		کوچکترین	۲
۳	کالاهای عمومی	-	۱/۷۵
۴	رو-رو، قایق	-	≥ 2
۵	یدک‌کش و ...	-	۲



شکل پ ۱-۱ پلان پهلوگیری

جدول پ ۱-۲ سرعت پهلوگیری شناورها

سرعت $V_B(m/s)$					ظرفیت شناور
e	d	c	b	a	DWT
0.865	0.669	0.517	0.343	0.179	1,000
0.726	0.577	0.445	0.296	0.151	2,000
0.649	0.524	0.404	0.269	0.136	3,000
0.597	0.487	0.374	0.250	0.125	4,000
0.558	0.459	0.352	0.236	0.117	5,000
0.448	0.377	0.287	0.192	0.094	10,000
0.355	0.303	0.228	0.153	0.074	20,000
0.308	0.264	0.198	0.133	0.064	30,000
0.279	0.239	0.178	0.119	0.057	40,000
0.258	0.221	0.164	0.110	0.052	50,000
0.201	0.171	0.126	0.083	0.039	100,000
0.158	0.131	0.095	0.062	0.028	200,000
0.137	0.111	0.080	0.052	0.022	300,000
0.124	0.099	0.071	0.045	0.019	400,000
0.115	0.090	0.064	0.041	0.017	500,000

ضریب جرم C_M

در هنگام حرکت شناور به سمت اسکله بخشی از آب همراه شناور به سمت اسکله حرکت می‌کند، در صورت توقف شناور در مقابل اسکله، آب به حرکت خود ادامه می‌دهد و باعث اعمال فشار به اسکله می‌گردد. این اثر با استفاده از تعریف ضریب جرم اضافی تعریف می‌شود.

در جدول (پ ۱-۳) مقادیر مربوط به C_M و در شکل (پ ۱-۲) پارامترهای مورد نیاز تعریف شده‌اند.

جدول پ ۱-۳ تعریف ضریب جرم C_M

واسکو کوستا (۱۹۶۴)	شیگرا اودا (۱۹۸۱)	پیانک (۲۰۰۲)
$C = 1 + \frac{2D}{B}$	$C = 1 + \frac{\pi D}{2 * C_B * B}$	$\frac{K_C}{D} \leq 0.1 \rightarrow C_M = 1.8$
		$0.1 \leq \frac{K_C}{D} \leq 0.5 \rightarrow C_M = 1.875 - 0.75 \left[\frac{K_C}{D} \right]$
		$\frac{K_C}{D} \geq 0.5 \rightarrow C_M = 1.5$

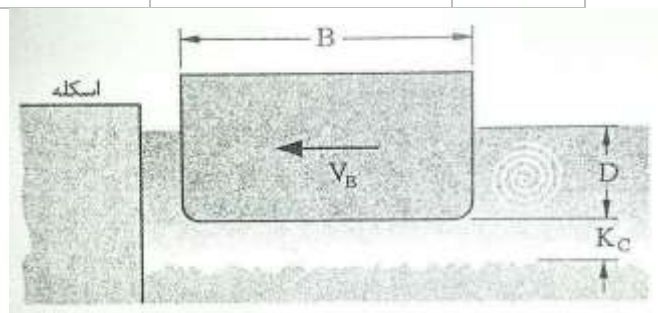
در جدول (پ ۳-۱)، از ضریب C_B استفاده شده است. این ضریب که ضریب قالبی گفته می‌شود تابعی از شکل بدنه شناور می‌باشد و با استفاده از جدول (پ ۴-۱) تعیین می‌شود.

ضریب خروج از مرکزیت

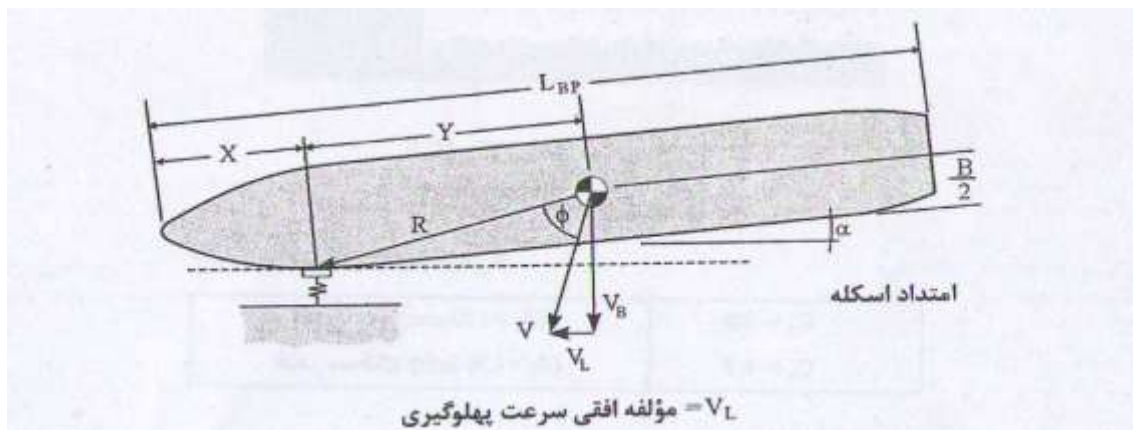
ضریب خروج از مرکزیت در بردارنده اثر چرخش شناور در حین پهلوگیری می‌باشد که باعث کاهش در مقدار انرژی پهلوگیری می‌شود. برای تعیین مقدار دقیق این ضریب، محل دقیق تماس شناور با فندر، زاویه و سرعت پهلوگیری مهم می‌باشند. در عمل مقدار CE بین $0/3$ تا 1 توصیه می‌شود.

جدول پ ۴-۱ ضریب قالبی C_B

ردیف	نوع شناور	ضریب قالبی
۱	کانتینری	$0/6-0/8$
۲	کالای عمومی و فله‌بر	$0/72-0/85$
۳	تانکرها	$0/85$
۴	قایق‌ها	$0/55-0/65$
۵	رو-رو	$0/7-0/8$



شکل پ ۲-۱ تعریف پارامترهای ضریب C_M



شکل پ ۳-۱ چرخش در حین پهلویی

برای حالت‌های خاص پهلویی، مقدار C_E به صورت زیر توصیه شده است.

- پهلویی در نقطه ۰/۲۵ طول ($X=L_{BP}/4$) $C_E=0/4-0/6$

- پهلویی در نقطه ۰/۳۳ طول ($X=L_{BP}/3$) $C_E=0/6-0/8$

- پهلویی در نقطه وسط طول ($X=L_{BP}/2$) $C_E=1$

در صورتی که مقدار زاویه θ ، کوچکتر از ۱۰ درجه باشد، مقدار $C_E=1$ خواهد بود.

ضریب شکل C_C

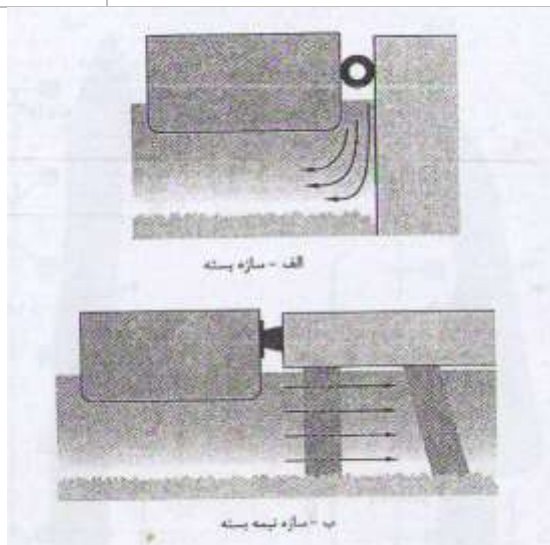
در اسکله‌های بسته، در هنگام پهلویی، آب بین اسکله و شناور باعث کاهش فشار وارده از شناور به اسکله می‌شود این اثر با ضریب C_C تعریف می‌گردد. در جدول (پ ۵-۱) مقادیر C_C و شکل (پ ۱-۴) اثر ضریب شکل معرفی شده‌اند.

ضریب نرمی

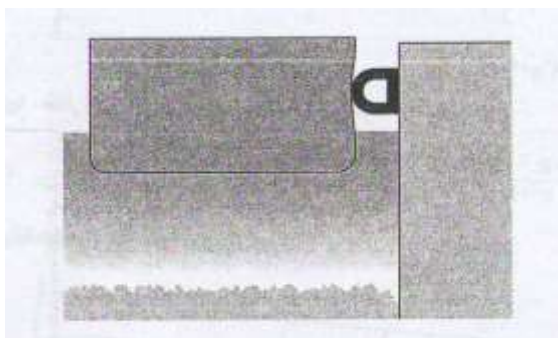
در صورتی که سختی فندر نسبت به بدنه شناور زیادتر باشد، بخشی از انرژی برخورد با تغییر شکل الاستیک بدنه مستهلک می‌شود. این اثر با استفاده از ضریب نرمی تعریف می‌شود. در شکل (پ ۵-۱) اثر ضریب نرمی و در جدول (پ ۶-۱) مقدار آن معرفی شده است.

جدول پ ۱-۵ مقادیر C_C

$C_C=1$	-اسکله‌های باز -زاویه پهلویی بیش از ۵ درجه -سرعت پهلویی بسیار پایین -عمق آزاد در زیر شناور
$C_C=0.9$	-اسکله بسته -زاویه پهلویی کمتر از ۵ درجه



شکل پ ۱-۴ اثر ضریب شکل



شکل پ ۱-۵ ضریب نرمی

جدول پ ۱-۶ ضریب نرمی

$C_s=1$	فندر نرم
$C_s=0.9$	فندر سخت

مقادیر فرض شده

مقادیر جدول (پ ۱-۷) با توجه به مثالی ذکر شده در (طاحونی و میرگلوی، ۱۳۸۸) انتخاب شده

اند.

جدول پ ۱-۷ مقادیر مفروض جهت محاسبه بار پهلویی

ظرفیت شناور (kN)	MD(kN)	CM	CE	CC	CS	V(m/s)	Ef(kN.m)
۱۰۰۰۰	۱۵۸۵۰	۲/۰۵۱	۰/۵	۱	۱	۰/۲۵	۵۲

منحنی عملکرد ضربه گیر

با توجه به انرژی بدست آمده از رابطه (پ ۱-۱) و با انتخاب ضربه گیر مناسب، میزان بار وارده به

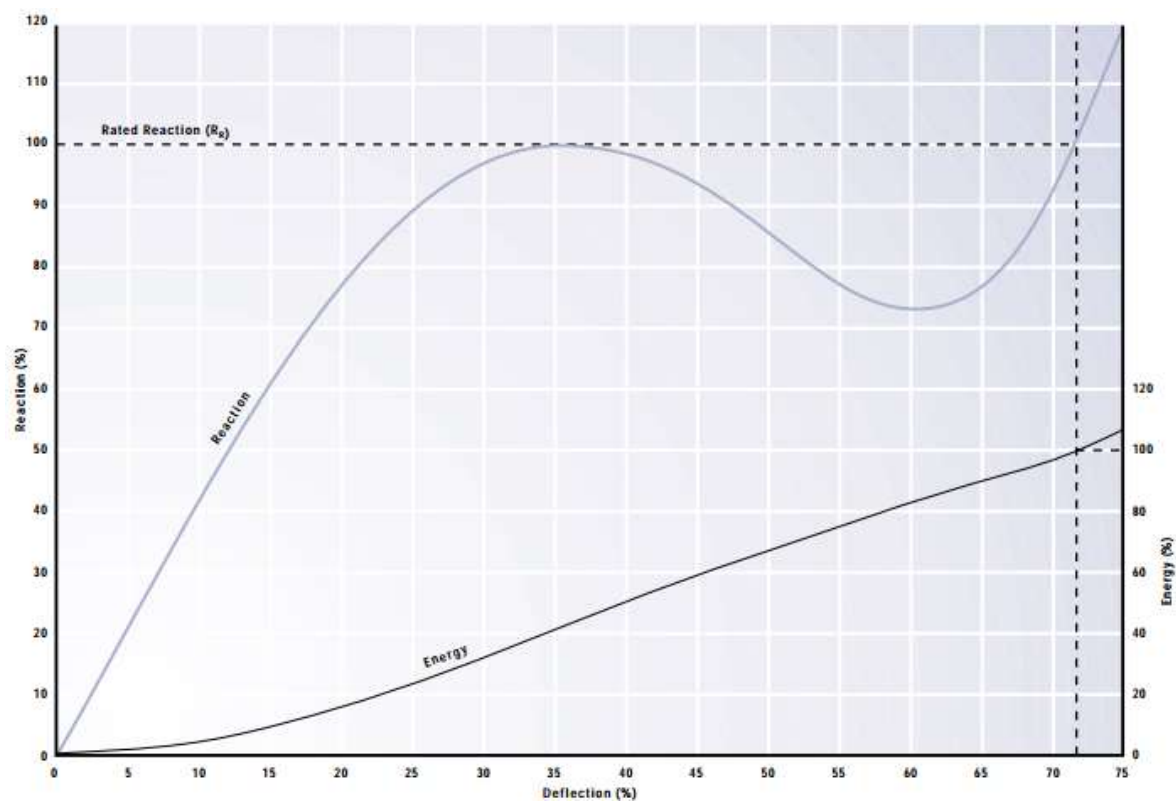
شمع و ضربه گیر بر طبق منحنی عملکرد ضربه گیر بدست می آید.

منحنی عملکرد ضربه گیر توسط شرکت سازنده ضربه گیر ارائه می شود. با انتخاب ضربه گیر

supercone منحنی عملکرد آن توسط شرکت FENTEK ارائه شده است. منحنی عملکرد ضربه گیر

supercone در شکل (پ ۱-۶) ارائه شده است.

با توجه به میزان انرژی وارده و ضربه گیر انتخابی میزان بار وارده برابر با ۱۰۰ kN محاسبه می شود.



شکل پ ۱-۶ منحنی عملکرد ضربه گیر

منابع

- API. (2000), American Petroleum Institute, API. User Manual Program PYGMY, The University of Western Australia, Department of Civil and Resource Engineering.
- British Standard BS 6349 (1994), part4, Code of practice for Design of fendering and mooring, London, BSI.
- Boominthan A. and Ayothiraman R. (2007) "An Experimental Study on Static and Dynamic Bending Behavior of Pile in Soft Clay" **J. of .Geotechnical and Geological Engineering.**, Springer, 25, pp. **177-189**.
- Briaud J. L. and Little R. L. (1988) "Full Scale Cyclic Lateral Load Tests on Six Single Piles in sand". Miscellaneous Paper, Geotechnical Division, Texas University, College Station, Texas, USA, pp. 27-88.
- Broms B. (1964a) "The Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils " **J. of . Soil Mech. Found.**, Div. ASCE, Vol. 90, No. SM2, pp. **27-63**.
- Broms B. (1964a) "The Lateral Resistance of Piles in Cohesiveless Soils " **J. of .Soil Mech. Found.**, Div. ASCE, Vol. 90, No. SM2, pp. **63-78**.
- Giannakos S, Gerolymos N. (2012) "Cyclic Lateral Response of Piles in Dry Sand: Finite element Modeling and Validation" **J. of .Computer and Geotechnics**, ASCE, Vol. 44, pp. **116-131**.
- International Navigation Association, PIANC(2002), Guidelines for the Design of Fenders systems 2002, Report of Working Group 33.
- Kuhlemeyer R. L. (1979) "Vibration of Piles" **J. of .Geotechnical Engineering.**, Div, ASCE, Vol. 105, pp. **273-287**.
- LeBlanc C. Houlsby G. and Byrne B. (2010a) "Response of Stiff Piles to Long-Term Cyclic Lateral Load" **J. of .Geotechnique** **60.**, No. 9, pp. **79-90**.
- LeBlanc C. Houlsby G. and Byrne B. (2010b) "Response of Stiff Piles to Random

Tow-way Lateral Load” **J. of .Geotechnique 60.**, No. 9, pp. 751-721.

Lee J. Choi C. and Jang Y. A. (2012) “Cyclic Lateral System for Measuring Lateral Behavior for Offshore Wind Energy Foundation” Ministry of Knowledge Economy, Republic of Korea.

Long J. and Vanneste G. (1994) “Effects of Cyclic Lateral Loads on Piles in Sand”, **J. of .Geotechnical and Geoenvironmental Engineering.**, ASCE, Vol. 120, No. 1, pp. 225-244.

Marine Fender Systems, FENTEK(2000), Marine System GmbH, Catalog, Germany.

Matlock H. (1970) “Correlation for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay” **J. of .Offshore Technology Conference.**, Houston, TX, No. OTC 1204, pp. 91-97.

Matlock H. and Reese L. C. (1960) “Generalized Solution for Laterally Loaded Piles”, **J. of .Geotechnical Engineering.**, ASCE, Vol. 86, No. SM5, pp. 63-91.

McClelland B. and Focht J. A. (1958) “Soil Modulus for Laterally Loaded Piles”, **Transactions** of ASCE, Vol. 123, pp. 1049-1086.

Meymand P.J. “Shaking Table Scale Model Test of Nonlinear Soil-Pile-Superstructure Interaction in Soft Clay”.Doctor of Philosophy, University of California, Berkeley; 1998.

O’Neil M. W. and Murchinson J. M. (1983) “An Evaluation of p-y Relationships in Sands”, Research Rep, Department of Civil Engineering, University of Houston, TX No. GT-DF02-83.

Openseeswiki. (n.d.). http://opensees.berkeley.edu/wiki/index.php/Main_Page.

Plaxis. (2002), Finit Element Package for Analysis of Geotechnical Structures, Delf, Netherland.

Poulos H.G. Davise E. H. (1980) “Pile Foundation Analysis and Design”, John Wiley and Sons, New York, NY.

Randolph M.F. (1981) "The Response of Flexible Piles to Lateral Loading", **J. of Geotechnique.**, Vol. 31(2), pp. 247-252.

Reese L. Cox W. and Koop F. (1974) "Analysis of Laterally Loaded Piles in Sand", Proc. VI Annual Offshore Technology Conference, Huston, Texas 2 (OTC 2080), pp. 473-485.

Reese L. Impe W. F. (1974) "Single Piles and Pile Groups under Lateral Loading ", A. A. Balkema.

Reese L. Matlock H. (1958) "Nondimensional Solutions for Laterally Loaded Piles with Soil Modulus Assumed Proportional to Depth", 8th Texas Conf. on Soil Mechanics and Foundations Engineering, Austin, TX.

Terzaghi K. (1955) "Evaluation of Coefficeint of Subgrade Reaction" **J. of Geotechnique.**, Vol. 5, pp. 297-326.

Trochanis A. M. Bielak J. and Christiano P. (1988) "A Three-Dimensional Nonlinear Study of Piles Loading to the Development of a simplifide Model" Geotechnical Report, Grant No. ECE86/1060, Carnigie Mellon University, Pittsburg, PA, USA.

Wright M. and Wright S. G. (1973) "Lateral Soil Resistance-Displacement Relationship for Pile Foundations in Soft Clays." Proceeding of Offshore Technology Confrence, Houston, Texas, II(OTC 1893), 663-678.

Yang Z. (2000) PhD dissertation, "Numerical modeling of earthquake site response including dilation and liquefaction" Civil Engineering and Engineering Mechanics. Depart. Columbia University, New York.

Yong-wei C. Xian-qun L. and Hen-jun D. (2010) "Free Field Analysis of Liquefiable Soils", EJGE. vol 15.

امیری ع، (۱۳۸۴) ، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تحلیل عددی شمع تحت بار جانبی سیکی در خاک های چسبنده"، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران.

بدایت ه، (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی عددی رفتار شمع در خاک رس تحت اثر بار

جانبی"، دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

حق پرست م، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تحلیل عددی رفتار شمع تحت اثر بار جانبی"،

دانشکده مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران.

رنجی م، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی رفتار شمع‌ها تحت بارگذاری کشش کج"،

دانشکده مهندسی، دانشگاه یزد، یزد.

صدرنژاد س، (۱۳۸۴) "مبانی روش اجزاء محدود در دینامیک سازه‌ها" چاپ دوم، نشر تهران،

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران.

طاحونی ش. و میرگلوی بیات م، (۱۳۸۸) "مهندسی سواحل و بنادر" چاپ اول، نشر علم و

ادب، تهران.

فاخر ع، (۱۳۹۲) "مهندسی پی پیشرفته" چاپ دوم، نشر دانشگاه تهران، تهران.

هنرور صدیقیان ب، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی رفتار شمع تحت بارگذاری

جانبی چرخه‌ای در ماسه"، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.

Abstract

Piles are one kind of deep foundations which are being used in the cases when soil layers of the surface of earth don't have the ability to bear the existing loads. These slender elements are being used in the vertical and lateral manners and their duty is transferring the loads to the soil layers of the earth farther down from the surface. In conventional projects like buildings, in the case of using pile, it's axial bearing plays the main role while it's lateral bearing is just checked for transient lateral load like earthquake. But in many projects like Coastal and offshore structures, lateral load in Structural Design has important role, so pile response to lateral loading has particular importance.

In order to study the pile under lateral load, different methods have been proposed by researchers till this moment. Two of the most popular analytical methods which have been proposed till now are Broms method and bed reaction method. Because of the complexity of these methods, all of them have simplifying assumptions and many of the parameters that have less importance are eliminated because of importance of several effective parameters. These limitations caused that the researchers turn to use the softwares for analysis of the pile under lateral load.

In this research, at first some studies have been performed on past activities in the field of the pile that is under lateral load. Studies of past activities are consist of numerical and analytical methods that are introduced for analysis of pile and for presenting shortcomings of these methods. Then the pile that is under dynamic lateral load has been modeled numerically and the effect of different parameters on it's behavior has been measured.

In numerical modeling, samples have been categorized into 4 groups. At first the pile has been modeled under impact dynamic lateral load which in this case, load quantity, relative density of soil and pile's diameter have been changed respectively. Then a sample with several soil layers with various relative desity and samples which were under cyclic dynamic load and reciprocating dynamic load have been made. at last modeled samples have been checked and have been compared in terms of deformation of pile, P-Y curve and soil deformation.

Keywords : pile, lateral load, dynamic load, impact, finite elements method, Opensees®



Shahrood University of Technology
Faculty of Civil Engineering
M.Sc.Thesis Geotechnical Engineering

Numerical modeling of pile Behavior under dynamic lateral loading

By : Seyed Mohsen Nabati

Supervisor
Dr. R. Naderi

January 2017