٣٣٨٦ /١١/ ١٨

٤٦٥١٩

مجتمع فنی و مهندسی

دانشکده عمران

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

مهندسی عمران- مکانیک خاک وپی

طراحی بهینه پی های متکی بر شمع با استفاده از الگوریتم ژنتیک

۱۳۸۶/۱۷/۲۸

استاد راهنما: دکتر رضا پورحسینی

استاد مشاور: دکتر حسینعلی رحیمی

پژوهش و نگارش: مصطفی جعفرپیشه

بهمن ماه ۱۳۸۵

٤٦٥١٩

سپاس

سپاس بی‌پایان خدای را که هرچه دانایی ست اوست و هرچه نـادانی سـت از ماسـت و درود بسیار بر پیامبر او که داناترین و راستگوترین انسان‌هاست و ارادت بی‌حـد بـه جانشـینان رسـول کـه دروازه‌ی شهر دانش اویند.

خدای را سپاس می‌گویم که این پایان‌نامه پس از سالی به جایی رسید که دست‌کم خود از آن راضیم تا در نظر دیگران چه آید. در نگارش آن کوشیده‌ام ایجاز را تابدانجا کـه مخـل معنـی نباشـد رعایت کنم و از منابع جز اشاراتی که مشخصاً مربوط به موضوع است بیشـتر نیـاورده‌ام. امیـد اسـت اندکی که آورده‌ام به یک بار خواندن بیرزد.

جادارد از راهنمایی‌های اساتید ارجمند دکتر پورحسینی و دکتر رحیمی تشکر کنم.

این پایان نامه را به پدر و مادرم و برادرم تقدیم می‌کنم.

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

صورتجلسه دفاعیه پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی خانم / آقای **مصطفی جعفرپیشه**

دانشجوی کارشناسی ارشد مجتمع فنی مهندسی دانشگاه یزد، دررشته/ گرایش : عمران- خاک و پی

تحت عنوان: « **طراحی بهینه پی های متکی بر شمع با استفاده از الگوریتم ژنتیک** »

وتعداد واحد: ۶ درتاریخ ۱۳۸۵ / ۱۲ / ۱۶

باحضور اعضای هیات داوران متشکل از :	نام ونام خانوادگی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر رضا پورحسینی	
۲- استاد مشاور	دکتر حسینعلی رحیمی	
۳-داورخارج از گروه	دکتر احمد صادقیه	
۴-داور داخل گروه	دکتر کاظم برخورداری	

تشکیل گردید و پس از ارزیابی پایان نامه توسط هیات داوران، بادرجه عالی و نمره

به عدد ۱۹/۵ به حروف نوزده و نیم مورد تصویب قرارگرفت.

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام ونام خانوادگی: دکتر سید محمد بزرگ

امضاء:

فهرست مطالب

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کاربرد پی متکی بر شمع ۳

۱-۳- اهداف پایان‌نامه ۳

۱-۴- روش انجام کار ۳

۱-۵- ساختار و تعریف فصول پایان‌نامه ۴

فصل دوم

روش‌های تحلیل پی متکی بر شمع

۲-۱-۱- تاریخچه تحلیل پی متکی بر شمع ۶

۲-۱-۲- نشست تک شمع تحت بار قائم ۷

۲-۱-۳- اندرکنش شمع‌ها بایکدیگر ۱۱

۲-۱-۳-۱- اندرکنش بین شمع‌های صلب مشابه ۱۱

۲-۱-۳-۲- تحلیل گروه شمع صلب ۱۳

۲-۱-۳-۲- تحلیل گروه شمع قابل انعطاف ۱۴

۲-۱-۳-۴- گروه شمع قابل تراکم در خاک همگن ۱۵

۲-۱-۳-۵- شمع‌های تراکم‌پذیر در خاک غیرهمگن ۱۶

۲-۱-۳-۶- تحلیل گروه شمع قابل تراکم در خاک غیر همگن ۱۷

۲-۱-۳-۷- ماتریس سختی گروه شمع ۲۱

۲-۱-۴- روش هیبرید ۲۵
۲-۱-۴-۱- حساب تغییرات ۲۶
۲-۲- بهینه سازی پی – شمع ۲۹
۲-۲-۱- طراحی بهینه با استفاده از مطالعات پارامتری ۳۰
۲-۲-۱-۱- آزمایش روی نمونه‌های مدل ۳۰
۲-۲-۱-۲- روش تحلیلی و عددی ۳۱
۲-۲-۲- بهینه‌سازی ریاضی ۳۶

فصل سوم

نحوه‌ی مدل سازی

۳-۱- مقدمه ۴۲
۳-۲- صفحه‌ی المان محدود ۴۲
۳-۲- سرهم‌سازی ۴۵
۳-۳- حل دستگاه ۴۶
۳-۴- ایجاد شرایط مرزی ۴۶
۳-۵- صحت‌سنجی نتایج ۴۶
۳-۶- سختی خاک و گروه شمع ۵۱
۳-۶-۱- اندر کنش المان‌های خاک بر یکدیگر ۵۱
۳-۶-۲- سختی گروه شمع ۵۲
۳-۷- معکوس کردن ماتریس نرمی ۵۳
۳-۸- اضافه کردن ماتریس سختی خاک وشمع به سختی صفحه‌ی المان محدود ۵۴
۳-۹- حل دستگاه ۵۴

۳-۱۰- مدل‌سازی نمونه‌هایی برای صحت‌سنجی ۵۵
۳-۱۱- نتیجه‌گیری ۷۲

فصل چهارم

الگوریتم ژنتیک

۴-۱-۱- الگوریتم ژنتیک در بهینه‌سازی ۵۹
۴-۱-۲- تاریخچه الگوریتم ژنتیک ۵۹
۴-۱-۳- فلسفه‌ی الگوریتم ژنتیک ۶۰
۴-۲- تعاریف ۶۱
۴-۲-۱- کروموزوم ۶۱
۴-۲-۲- اندازه‌ی جمعیت ۶۲
۴-۲-۳- تابع برازندگی ۶۲
۴-۳- عملگرهای الگوریتم ژنتیک ۶۳
۴-۳-۱- انتخاب ۶۳
۴-۳-۱-۱-روش‌های انتخاب ۶۴
۴-۳-۱-۱-۱- چرخ گردان ۶۴
۴-۳-۱-۱-۲- رتبه بندی ۶۵
۴-۳-۱-۱-۳- روش رقابتی ۶۵
۴-۳-۲- ادغام(پیوند، تقاطع) ۶۶
۴-۳-۳- جهش ۶۷

۴-۴- معیارهای همگرای و توقف الگوریتم ۶۸
۴-۵- ویژگی‌ها الگوریتم ژنتیک ۷۱
۴-۵-۱- امتیازات الگوریتم ژنتیک ۷۱
۴-۵-۲- عیوب الگوریتم ژنتیک ۷۱
۴-۶- نتیجه‌گیری ۷۲

فصل پنجم

نتایج تحلیل

۵-۱- مقدمه ۷۴
۵-۲- معرفی مسائل ۷۵
۵-۳- مطالعه‌ی پارامتری ۷۹
۵-۴ - نتیجه گیری ۸۰
۵--۵ پیشنهادها ۸۰
چکیده انگلیسی
منابع

چکیده

در این پایان‌نامه پی‌ها متکی بر شمع به گروه شمع‌هایی اطلاق می‌شود که کلاهک نقش عمده‌ای در باربری داشته، به هیچ وجه صرف‌نظر کردن از سختی بستر در برابر گروه شمع معقول نباشد. این پی‌ها ممکن است در مواردی هم که پی سطحی ظرفیت باربری لازم را دارد ولی نشست‌ها نسبی و متوسط مفرطی در آنها پدید می‌آید استفاده شود.

پی متکی بر شمع علاوه بر تأمین ظرفیت باربری برای محدود کردن نشست‌های مفرط نیز به‌کار می‌رود. در این بین نشست‌های نسبی که تأثیرات بسیاری بر سازه‌ی فوقانی دارد اهمیت بیشتری دارد و محل شمع‌ها نقش بسزایی بر نشست‌های نسبی دارد. بهینه‌سازی به دوروش شهودی و روش‌های بهینه‌سازی ریاضی تعیین می‌شود. روش اول مبتنی بر آزمایش روی نمونه‌های مدل یا مطالعات پارامتری تحلیلی یا عددی است که در این بین به شکل فشار تماسی خاک بستر نیز توجه‌شده‌است. در روش ریاضی با استفاده از یکی از روش‌های بهینه سازی، محل شمع‌ها یا دیگر متغیرهای مانند قطر یا طول شمع‌ها تعیین می‌شود.

هدف این پایان نامه نیز ارائه راه‌کاری برای طراحی بهینه‌ی پی متکی بر شمع است. تابع هدف کاهش نشست‌های نسبی است و متغیر اصلی محل شمع‌ها و به عبارتی چینش آنهاست بنابر این هدف نهایی بدست آوردن بهترین چینش شمع‌ها در سطح پی است به شکلی که کمترین نشست نسبی روی دهد.

بدین منظور از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده شده است و چون در این روش بهینه سازی به چندین هزار بار تحلیل مدل نیاز است برنامه‌ای برای تحلیل این شالوده‌ها به زبان برنامه نویسی دلفی نوشته شد و با استفاده از الگوریتم ژنتیک که آن هم به همین زبان نوشته شد در چند نمونه محل بهینه‌ی شمع‌ها مشخص شد.

برای تحلیل پی روش پیوندی یا هیبرید به‌کار رفت در این روش دال درسطح به روش اجزای محدود و با المان‌های دوبعدی و خاک و شمع‌ها به روش تجلیلی مدل می‌شود خاک الاستیک و غیر همگن است که با افزایش عمق مدول برشی افزایش می‌یابد سختی خاک و شمع‌ها به ماتریس سختی صفحه اضافه شده دستگاه حل می‌شود. اتصال شمع به دال به صورت مفصلی است.

نتایج به دست آمده نشان داد در بارگذاری هسته‌ی مرکزی شمع‌ها به شکل محسوسی به مرکز پی متمرکز می‌شوند این مسئله با مطالعات پارامتری در آزمایش روی نمونه‌های مدل و تحلیل‌های عددی مطابقت دارد. در بارگذاری یکنواخت نیز شمع‌ها بین لبه و مرکز پی تقسیم می‌شوند. مطالعه‌ی پارمتری نیز نشان داد عاملی مانند سختی خاک و ضخامت دال و سختی شمع‌ها نقش عمده ای در محل شمع‌ها دارد.

فصل اول

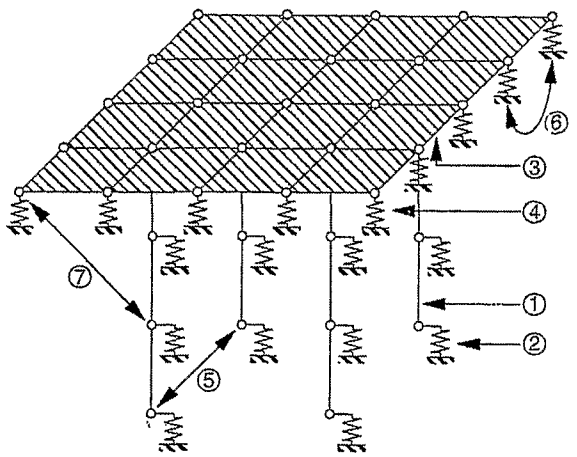
کلیات

۱-۱- مقدمه

درسال‌های اخیر استفاده از پی متکی بر شمع به‌ویژه در مورد ساختمان‌های بلند روبه فزونی است به همین دلیل راه‌بردهای طراحی بهینه به منظور ساخت ساختمان‌های اقتصادی بیش از پیش مورد توجه است. طراحی بهینه به کمترین هزینه‌ی اجرای شالوده و روسازه که ضرایب اطمینان را تأمین می‌کند توجه دارد.

مهمترین عامل مطرح در طراحی پی متکی بر شمع نشست‌های نسبی است که علاوه بر ایجاد تنش‌های اضافی در روسازه باعث اختلال در تأسیسات ساختمان می‌شود. از عوامل دیگر به لنگر خمشی پی سطحی(سر شمع) می‌توان اشاره کرد.

پی متکی بر شمع یک مسئله‌ی سه بعدی و شامل اجزایی ست که با یکدیگر در اندرکنش‌اند و به ترتیبی که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است عبارتند از: ۱- شمع ۲- عکس‌العمل خاک در نوک شمع ۳- پی سطحی ۴- عکس‌العمل بستر پی سطحی ۵- اندرکنش شمع‌ها با یکدیگر ۶- اندرکنش المان‌های بستر بایکدیگر ۷- اندرکنش شمع با خاک بستر و به این ترتیب در این مسئله چهار اندرکنش وجود دارد.



شکل ۱-۱ المان ها و اندرکنش های موجود در پی متکی بر شمع

در روش‌های سنتی طراحی گروه شمع اگرچه خاک در تماس با سطح زیر پی می‌بود فرض می‌شد تمامی بارهای قائم را شمع‌ها تحمل‌می‌کنند. این روش محافظه‌کارانه به دلیل دانش اندک در مورد اندرکنش شمع با خاک سطحی اتخاذ می‌شد. در دودهه‌ی اخیر این نظریه تقویت شده‌است که پی سطحی[1] یا کلاهک[2] نقش عمده‌ای در باربری و انتقال نیرو به خاک دارد.

۱-۲- کاربرد پی متکی بر شمع

پی متکی بر شمع برای سازهای بلند و در مواردی که بارگذاری باعث نشست‌های مفرط می‌شود به کارمی‌رود هرچند ممکن است پی بدون شمع نیز ظرفیت باربری لازم را تأمین کند.

۱-۳- اهداف پایان‌نامه

هدف این پایان نامه ارائه راه‌کاری برای طراحی بهینه‌ی پی متکی بر شمع است. تابع هدف کاهش نشست‌های نسبی است و متغیر اصلی محل شمع‌ها و به عبارتی چینش آنهاست بنابر این هدف نهایی بدست آوردن بهتری چینش شمع‌ها در سطح پی است به شکلی که کمترین نشست نسبی روی دهد.

۱-۴- روش انجام کار

چنانچه در فصل چهارم توضیح داده‌می‌شود در الگوریتم ژنتیک در هربار بهینه‌سازی به چند هزار بار تحلیل مدل نیاز است که هربار الگوریتم باتوجه به تابع هدف متغیرهای طراحی یا به عبارت دیگر ورودی‌های تحلیل را تغییر می‌دهد و طبیعی است که تغییر ورودی‌ها به صورت

---

[1] Raft

[2] Cap

دستی در یک نرم افزار امکان ندارد بنابراین به‌جای استفاده از نرم‌افزار برنامه‌ی اجزای محدود به زبان برنامه نویسی دلفی۷ (Delphi) نوشته شد و با برنامه‌ی الگوریتم ژنتیک که آن نیز بوسیله‌ی نگارنده نوشته شده محل تعداد مشخصی شمع با قطر و طول ثابت در پی تعیین شده است.

حسن دلفی در برابر دیگر زبان‌های برنامه نویسی دیگر یکی شیئ گرا بودن آن و درنتیجه امکانات فراوان آن است و در مقایسه با دیگر زبان‌های شیئ‌گرای دیگر دلفی مقبولیت بالایی نزد برنامه نویسان دارد و امکان استفاده‌ی تجاری در آینده برای برنامه‌ی که به این زبان نوشته شده است بیشتر فراهم است.

۱-۵- ساختار و تعریف فصول پایان‌نامه

این پایان‌نامه شامل پنج فصل است در فصل اول کلیات موضوع بیان شد در فصل دوم تاریخچه‌ی روش‌های طراحی پی متکی بر شمع و بهینه‌سازی آن مورد بحث قرار می‌گیرد در فصل سوم نحوه‌ی مدل سازی پی متکی بر شمع و جزئیات برنامه‌ی نوشته شده توضیح داده شده و در فصل چهارم کلیاتی در مورد روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک آمده است. فصل پنجم به ارائه‌ی نتایج و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آتی اختصاص دارد.

فصل دوم

روش‌های تحلیل

پی متکی بر شمع

۲-۱- مقدمه

در این فصل پس از مروری بر تاریخچه‌ی تحلیل پی متکی بر شمع، روش‌های بهینه‌سازی طرح این شالوده‌ها بیان می‌شود.

۲-۱-۱- تاریخچه تحلیل پی متکی بر شمع

شالوده‌های شمع‌دار را در ابتدا Davis و Poulos در (۱۹۷۲) مطرح کردند و پس از آنان محققان دیگر مانند Hain و Lee (۱۹۷۸) و Randolph و Worth (۱۹۷۹) و Chow (۱۹۹۱) بدان پرداختند. [۱۵] این تحقیقات شامل روش‌های تحلیلی و عددی و آزمایشگاهی می‌شود.

در روش‌های تحلیلی عمدتاً عامل اندرکنش بین شمع‌ها بدست آمده و بر اساس فاصله شمع در گروه شمع‌های منظم کاهش سختی گروه در اثر اندرکنش شمع‌ها بریکدیگر مشخص شده‌است. عامل اندرکنش به صورت تأثیر تک‌تک شمع‌ها بر یکدیگر نیز بیان شده است که در همین فصل بدان خواهیم پرداخت.

از جمله روش‌های عددی روش المان مرزی است که در بسیاری از مسائل اندرکنش خاک و سازه به کار رفته است. در مورد گروه شمع نیز Buterfield و Banerjee (۱۹۷۱) برای پی‌های صلب این روش را به‌کاربرند و تاکنون نیز تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام شده است ازجمله می‌توان به Kücükarslan و Banerjee (۲۰۰۴) اشاره کرد که رفتار غیر خطی خاک را در گروه شمع به روش المان مرزی بررسی کرده اند.

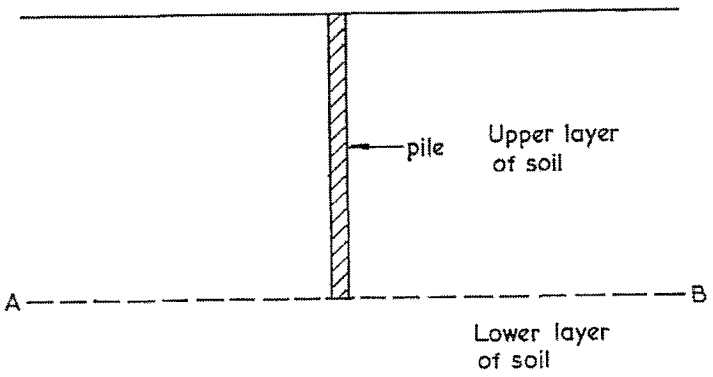
حسن روش المان مرزی زمان اندک تحلیل و عیب آن پیچیده بودن روابط است در مقایسه با آن روش اجزای محدود ساده‌تر ولی در مسائل سه بعدی بسیار وقت‌گیرتر است. با افزایش سرعت کامپیوترها در ده‌ی اخیر تحقیقات بسیاری به روش اجزای محدود انجام شده و امروزه مدل کردن خاک و پی و روسازه همراه هم و در حالت غیر خطی و حتی در بارگذاری دینامیکی به امری معمول تبدیل شده است از جمله می‌توان به Oliver و Randolph (۲۰۰۴) [۱۷] اشاره کرد که با

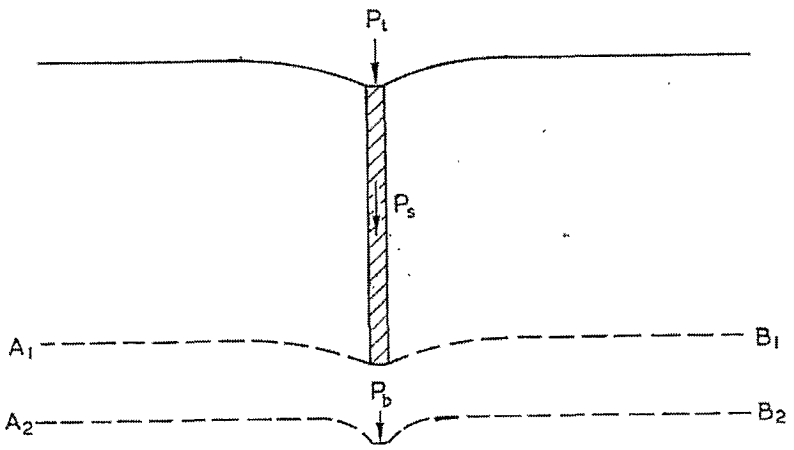
استفاده از نرم افزار ABAQUS خاک اطراف پی متکی بر شمع را به صورت کشسان – خمیری مدل‌کرده است.

از آنجا که موضوع این پایان نامه بررسی رفتار گروه شمع نیست و به بهینه سازی آن توجه دارد در ادامه تنها به روش‌های تحلیلی که در برنامه نویسی به کار رفته است اشاره می‌شود.

۲-۱-۲- نشست تک شمع تحت بار قائم

Randolph در سال (۱۹۷۹)روشی برای تحلیل تک شمع تحت بار قائم ارائه نمود که در اینجا چکیده‌ای از آن بیان می‌شود. وی خاک را به صورت الاستیک و غیر همگن درنظرگرفت و با دو متغیر ضریب برشی (G) که با عمق به‌صورت خطی افزایش می‌یابد و نسبت پواسون (ν) تعریف نمود. همانطور که در شکل ۲ – ۱ مشاهده می‌شود خاک در تراز نوک شمع به دولایه تقسیم شده‌است. درابتدا فرض‌می‌شود خاکی که بالای خط AB قراردارد فقط با تنشی که از جداره‌ی شمع منتقل می‌شود جابجامی‌شود و لایه‌ی زیرین دراثر تنشی که از نوک شمع منتقل می‌شود. در این فرض باید تغییراتی اعمال شود تا اثر اندرکنش این دولایه نیز درنظر گرفته شود. اندرکنش باعث‌می‌شود تغییر شکل لایه‌ی بالایی به شعاع r_m از محور شمع محدود شود و مقدار آن نشانگر میزان اندرکنش این دولایه‌ی (فرضی) خاک است.





شکل(۲-۱): شکل اولیه و تغییر یافته‌ی دو لایه‌ی خاک فرضی در روش Randolph

از تعادل نیروها در جهت قائم برای لایه‌ی فوقانی چنین برمی‌آید که جابجایی‌ها از محور شمع به‌صورت نمایی کاهش‌می‌یابد که معادله‌ی ۲- ۱بیانگر تغییرات جابجایی w است بر حسب تنش برشی در محور شمع (τ_0) و شعاع شمع(r_0) و شعاع تأثیر شمع[1] (r_m).

$$w(r) = \frac{\tau_0 r_0}{G} \ln\left(\frac{r_m}{r}\right) \qquad r_0 \le r \le r_m \qquad (۲-۱)$$

$$w(r) = 0 \qquad r > r_m$$

[1] Limiting Radius of Influence of the Pile

طبق این معادله جابجایی محور شمع(w_s) که در فاصله‌ی $r = r_0$ قرار دارد برابر است با

$$w_s = \zeta \frac{\tau_0 r_0}{G} \qquad (۲-۲)$$

$$\zeta = \ln\left(\frac{r_m}{r_0}\right)$$

ازطرف دیگر در لایه‌ی زیرین، پایه‌ی شمع مانند پانچ صلب عمل کرده جابجایی نوک شمع با حل بوسینسک[1] به‌قرار زیر است.

$$w_b = \frac{P_b(1-\upsilon)}{4 r_0 G} \qquad (۲-۳)$$

در فواصل دور از شمع بارگذاری مانند بار نقطه‌ای خواهد بود و نشست در اطراف بار طبق معادله‌ی ۲-۴ کاهش می‌یابد.

$$w(r) = \frac{P_b(1-\upsilon)}{2\pi\, r\, G} \qquad (۲-۴)$$

نسبت جابجایی اطراف به نوک شمع برابر است با

$$\frac{w(r)}{w_b} = \frac{2}{\pi}\frac{r_0}{r} \qquad (۲-۵)$$

و بنابر این نشست خاک در فواصل دور برحسب جابجایی نوک شمع به شکل معادله‌ی ۲-۶ بیان می‌شود.

$$w(r) = w_b c \frac{r_0}{r} \qquad (۲-۶)$$

که $C=2/\pi$ است. مقایسه‌ی منحنی به‌دست آمده از این معادله با جابجایی پانچ صلب (شکل ۲-۲) نشان می‌دهد در فواصل دورتر از دو برابر شعاع شمع انطباق خوبی وجود دارد.

نشست شمع‌های صلب برابر نشست نوک آنهاست و کرنش برشی در خاک مجاور میله‌ی شمع با عمق ثابت است بنابراین تنش برشی (τ_0) با ضریب برشی G متناسب است و در

[1] Boussinesq Solution

خاک‌هایی که سختی با عمق به‌صورت خطی تغییر می‌کند درجه‌ی همگنی به‌صورت زیر تعریف‌می‌شود.

$$\rho = G_{l/2} / G_l \qquad (۲-۷)$$

$G_{l/2}$ ضریب برشی در عمق یک دوم و G_l در عمق نوک شمع است. بنابراین باری که از جداره‌ی شمع به خاک منتقل می‌شود با استفاده از معادله‌ی ۲-۲ چنین خواهد بود.

$$P_s = 2\pi r_0 l(\tau_0)_{av} = 2\pi l \frac{w_s}{\zeta} G_{l/2} = \frac{2\pi}{\zeta} l w_s \rho G_l \qquad (۲-۸)$$

بدین ترتیب روی هم‌رفته نسبت بار به نشست برای شمع صلب را چنین می‌توان نوشت.

$$\frac{P_t}{G_l r_0 w_t} = \frac{P_b}{G_l r_0 w_b} + \frac{P_s}{G_l r_0 w_0} = \frac{4}{1-\nu} + \frac{2\pi\rho}{\zeta} \frac{l}{r_0} \qquad (۲-۹)$$

این معادله با نتایج به‌دست آمد از روش اجزای محدود و معالات انتگرال[1] انطباق خوبی دارد و براساس این نتایج مقدار مناسب r_m چنین به دست‌می‌آید.

$$r_m = 2.5\rho l(1-\nu) \qquad (۲-۱۰)$$

همانطور که در شکل ۲ – ۲ مشخص است نتایج به‌دست آمده از این معادله برای تک شمع با روش معالات انتگرال به‌خوبی انطباق دارد مخصوصاً برای شمع‌ها با نسبت لاغری[2] l/r_0 زیاد این امر مشهودتر است.

---

[1] Integral Equation

[2] Slenderness Ratio