**دانشکده مهندسی عمران**

# بررسی عددی رفتار شمع تحت بار دینامیکی زلزله

**نگارش**

**علیرضا بیرانوند**

**استاد راهنما : دکتر سعید غفار پور جهرمی**

**استاد مشاور:دکتر محمد علی ارجمند**

**پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**

**در رشته مهندسی عمران**

**بهمن ۱۳۹۲**

**باسمه تعالی**

# تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب **علیرضا بیرانوند** متعهد می شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه/رساله حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن ها استفاده شده است، مطابق مقررات، ارجاع و در فهرست منابع و مآخذ ذکر گردیده است .این پایان نامه/رساله قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارایه نشده است .در صورت اثبات تخلف (در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی است.

نام و نام خانوادگی دانشجو

امضاء

**دانشکده مهندسی عمران**

# بررسی عددی رفتار شمع تحت بار دینامیکی زلزله

**نگارش**

**علیرضا بیرانوند**

**استاد راهنما : دکتر سعید غفار پور جهرمی**

**استاد مشاور:دکتر محمد علی ارجمند**

**پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد**

**در رشته مهندسی عمران**

**بهمن ۱۳۹۲**

**تقدیم:**

**به همه کسانی که می دانند ، و همه کسانی که می دانستند؛ از کجایند، در کجایند و به کجایند.**

**تشکر و قدر دانی:**

سپاس خدا را که حمد را بهای نعمتش قرار داد. خداوند متعادل را سپاسگزارم که توفیق عطا فرمود که این مقطع تحصیلی را با موفقیت به پایان رسانم . برخود لازم می دانم که از استاد گرامی جناب آقای دکترسعید غفار پور جهرمی که راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند ؛ و راهنمایی های ارزشمندی جهت انجام این تحقیق ارائه نمودند؛ متشکرم و از استاد گرامی جناب آقای دکتر محمد علی ارجمند که سمت مشاور این پایان نامه را بر عهده داشتند وهمکاری خوبی جهت دفاع داشتند ؛ تشکر می کنم و استاتید گرامی آقایان دکتر علی اکبر حشمتی ودکتر محمد صادق طاهر طلوع که داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند؛و راهنمایی های ارزشمند و مفیدی ارائه نمودند صمیمانه تشکر می کنم و از خداوند منان توفیق روز افزون برای اساتید گرامی آرزومندم .

از اساتید گرامی آقایان دکتر سعید غفار پور جهرمی ؛دکتر محمد علی ارجمند ، دکتر ابوالفضل سلطانی ؛دکتر علی اکبر حشمتی؛ دکتر رضا ملاپور؛ دکترمحمودرضا عبدی؛دکتر فرزین کلانتری ؛دکتر محسن صابری ماهانی واستاد غلامرضا کارگریان مروستی که درس های این دوره تدریس نمودند متشکرم .

از دوستان گرامی ام که اولین ورودی های رشته ارشد خاک پی دانشگاه بودند؛ آقایان مجتبی واحدی ،علی صابری،مرتضی استوار ،عبدالله حسینی ، یعقوبی ،راهنما ،بهلکه ،شاه جوان، زمانی متشکرم.

# چکیده

اگر ظرفیت بار بری خاک برای استفاده از پی های سطحی مناسب نباشد؛یا وجود خاک رس قابل تورم و خاک های فروریزشی در سطح زمین باشند و همچنین مقابله با نیروی برکنش پی های گسترده در زیر آب از شمع‌ها استفاده می‌شود. در واقع کار برد شمع‌ها به عنوان پی در سازه‌های بنا شده در خاک با ظرفیت بار بری کم؛ انتقال بارهای سازه‌ای به لایه‌های زیرین خاک که دارای مقاومت باربری مناسب هستند می باشد. همچنین از شمع ها برای کاهش نشست استفاده می شود. بررسی پارامتر های شمع وخاک تحت بار دینامیکی زلزله ؛ و تعیین روش‌هایی برای بررسی و محاسبه تنش‌ها و تغییر مکان‌ها در شمع از اهمیت بالایی بر خوردار است. با توجه به امکانات نرم افزاری موجود، انجام بررسی‌های جدید و دامنه دار در زمینه تأثیر تغییر شرایط محیطی در اطراف شمع‌ها بر رفتار متقابل خاک – شمع تحت بار دینامیکی زلزله، رو به افزایش است. در این تحقیق ابتدا به بررسی چگونگی اندرکنش بین خاک و شمع و روش‌های مورد استفاده در این نوع از ارزیابی مورد بحث قرار گرفته است. بررسی رفتار خاک – شمع تحت بار زلزله و مسائل ژئوتکنیکی مرتبط با آن با استفاده از نرم افزار تفاضل محدود فلک سه بعدی پرداخته شد. رفتاردینامیکی با استفاده از چند نوع شتاب نگاشت ورودی برسنگ بستر جهت بررسی عوامل مؤثر در اندرکنش خاک وشمع باستفاده ازمدل الاستیک؛ موهر-کولمب خاک انجام شد. نیروی برشی و لنگر خمشی ماکزیمم وارد بر شمع در حالات مختلف مدل‌سازی باهم مقایسه شده اند. براساس نتایج بدست آمده، با افزایش قطر شمع جابجایی جانبی شمع تحت با زلزله کاهش می یابد. در خاک رس نرم با افزایش ارتفاع آب از سختی خاک به شدت کاهش می یابد ؛تفاوت سختی لایه‌های خاک تأثیر بسزایی در اندرکنش خاک – شمع دارد. هرچه نسبت مدول الاستیسیته شمع به خاک بیشتر باشد؛ گشتاور ایجاد شده در طول شمع بیشتر است.این مساله در طراحی بهینه ابعاد شمع اثر مستقیم دارد. افزایش طول شمع به صورت محسوسی باعث کاهش حداکثر تغییر شکل‌های جانبی شمع می‌گردد. فرکانس تحریک ورودی؛ چسبندگی خاک ؛ مدول الاستیسیته خاک ؛طول شمع و قطر شمع پارامترهای تاثیر گذار بر پاسخ لرزه ای شمع هستند.لذا این پارامترها در هنگام طراحی شمع‌ها از اهمیت بیشتری بر خوردار هستند.



**کلمات کلیدی:** تحلیل دینامیکی، رفتار خاک – شمع، بار زلزله.

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


۱-۱- مقدمه: ..... ۲
۱-۲- بیان مسئله: ..... ۳
۱-۳- سوالات تحقیق: ..... ۵
۱-۴- فرضیه‌های تحقیق: ..... ٦
۱-۵- اهمیت و ضرورت تحقیق: ..... ٦
۱-۶- روش تحقیق: ..... ۷
۱-۷- اهداف تحقیق: ..... ۷
۱-۸- زمینه تحقیق ..... ۸
۱-۸-۱- تعریف و موارد کاربرد شمع ..... ۸
۱-۸-۲- پیشینه روش‌های طراحی شمع در برابر بارهای جانبی ..... ۹
۱-۸-۳- اهداف بررسی اندر کنش خاک-شمع ..... ۱۲
۱-۹- پاسخ شمع‌های موجود در مقابل نیروی زلزله ..... ۱۲
۱-۱۰- پیش فرض ها: ..... ۱٦
۱-۱۱- ساختار پایان نامه ..... ۱٦
۲-۱- پیش زمینه بررسی اندر کنش خاک – شمع ..... ۱۹
۲-۲- شیوه‌های اولیه و الگوهای طبقه بندی اندرکنش خاک – شمع ..... ۲۱
۲-۲-۱- بررسی انواع اندرکنش خاک – شمع ..... ۲۱
۲-۲-۲- روش تحلیل اندرکنش خاک – شمع – سازه ..... ۲۱
۲-۲-۳- فرایند تحلیل اندرکنش خاک – شمع – سازه برای طراحی ..... ۲۲
۲-۲-۳-۱- اندر کنش جنبشی ..... ۲٤
۲-۲-۳-۲- اندرکنش اینرسی ..... ۲۵
۲-۳- الگوهای تحلیل و فرضیات متداول در بررسی اندرکنش خاک – شمع ..... ۲٦
۲-۳-۱- ابزار آنالیز عددی ..... ۲٦
۲-۳-۲- روش اجزاء محدود برای حل مسائل اندرکنش خاک – شمع – سازه ..... ۲۷
۲-۳-۲-۱- کاربرد روش اجزاء محدود برای مسائل اندرکنش خاک – شمع – سازه ..... ۲۷
۲-۳-۲-۲- شرایط مرزی ..... ۲۷
۲-۳-۲-۲-۱- المان کلوین ..... ۲۸
۲-۳-۲-۲-۲- المان ویسکوز ..... ۲۹
۲-۳-۲-۲-۳- المان‌های نامتناهی ..... ۲۹
۲-۳-۲-۳- مرز مشترک خاک – شمع ..... ۳۰
۲-۳-۲-۴- بارگذاری ..... ۳۰
۲-۳-۲-۵- رفتار ساختاری خاک ..... ۳۱

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


۲-۳-۲-۶- مروری بر تحقیقات انجام شده به روش المان محدود ۳۱
۲-۳-۳- روش تفاضل محدود صریح ۳۸
۲-۴- خلاصه فصل دوم ۴۰
۳-۱- مقدمه ۴۲
۳-۲- بررسی نرم افزار فلک سه بعدی ۴۲
۳-۲-۱- معرفی نرم افزار ۴۲
۳-۲-۲- حوزه کاربرد برنامه ۴۳
۳-۲-۳- توضیح اصطلاحات ۴۳
۳-۳- مراحل مدل سازی خاک در نرم افزار فلک سه بعدی ۴۴
۳-۳-۱- مدلسازی هندسه و شرایط مرزی ۴۴
۳-۳-۲- تعریف خصوصیات خاک ۴۵
۳-۳-۲-۱- مدل رفتاری الاستیک ۴۶
۳-۳-۲-۲- مدل رفتاری موهر- کولمب ۴۷
۳-۳-۲-۲-۱- مؤلفه‌های تنش و کرنش تعمیم یافته ۴۷
۳-۳-۲-۲-۲- قانون الاستیک افزایشی ۴۷
۳-۳-۲-۲-۳- ترکیب معیار گسیختگی و قانون جریان ۴۸
۳-۳-۲-۲-۴- تصحیح های خمیری ۵۰
۳-۳-۲-۲-۵- روش‌های اجراء محدود ۵۲
۳-۳-۳- اعمال تنش‌های اولیه ۵۳
۳-۴- مراحل مدل‌سازی المان سازه‌ای شمع در نرم افزار فلک سه بعدی ۵۳
۳-۴-۱- المان سازه‌ای شمع در نرم افزار ۵۳
۳-۴-۱-۱- رفتار فنرهای اتصالی برشی ۵۵
۳-۴-۱-۲- رفتار فنرهای اتصالی عمودی ۵۶
۳-۴-۲- فنرهای اتصالی و آنالیز حساسیت ۵۷
۳-۵- تحلیل دینامیکی در نرم افزار فلک سه بعدی ۵۹
۳-۵-۱- مرزهای ساکن ۶۰
۳-۵-۲- میدان آزاد ۶۳
۳-۵-۳- میرایی ۶۶
۳-۶- بررسی صحت استاتیکی مدل ۶۷
۳-۷- خلاصه فصل سوم ۶۹

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


۴-۱- مقدمه ..... ۷۱
۴-۲- مرحله بارگذاری زلزله ..... ۷۱
۴-۲-۱- شاخصه‌های حرکت زمین ..... ۷۲
۴-۲-۲- حرکات تصحیح شده و تصحیح نشده ..... ۷۲
۴-۲-۳- تصحیح خط مبنا ..... ۷۲
۴-۲-۴- مشخص نمودن زمان مؤثر معادل ..... ۷۳
۴-۲-۵- تعیین سرعت افزایشی ..... ۷۳
۴-۲-۶- مفهوم طیف دامنه فوریه ..... ۷۳
۴-۳- صحت اعتبار مدل دینامیکی ..... ۷۴
۴-۳-۱- پارامترها و ابعاد مدل ..... ۷۴
۴-۳-۲- شتاب نگاشت‌های مورد استفاده ..... ۷۶
۴-۴- تحلیل تغییرات پروفیل خاک ..... ۷۶
۴-۴-۱- پارامترها و ابعاد مدل ..... ۷۶
۴-۴-۲- مرحله مدل سازی ..... ۷۷
۴-۴-۳- بررسی نتایج حاصل از مدل سازی ..... ۸۰
۴-۴-۳-۱- مقایسه طیف پاسخ و طیف فوریه میدان آزاد و سرشمع چهار حالت مدل‌سازی ..... ۸۰
۴-۴-۳-۲- مقایسه نیروی برشی و لنگر تولید شده در شمع تحت چهار حالت مدل سازی ..... ۸۱
۴-۴-۳-۳- مقایسه جابجایی شمع تحت چهار حالت مدل سازی ..... ۸۳
۴-۵- نحوه مدل سازی ..... ۸۳
۴-۶- شتاب نگاشت مورد استفاده در این تحقیق ..... ۸۶
۴-۷- مقایسه نیروی برشی و لنگر تولید شده در شمع تحت چهار حالت مدل سازی ..... ۸۶
۴-۸- خلاصه فصل چهارم ..... ۸۸
۵-۱- مقدمه ..... ۹۰
۵-۲- بررسی پارامترهای موثر ..... ۹۰
۵-۲- ۱- تاثیر نسبت سختی شمع به خاک: ..... ۹۲
۵-۲-۲- اثر سختی شمع ..... ۹۳
۵-۲-۳- تاثیر طول شمع بر گشتاور حداکثر: ..... ۹۳
۵-۲-۴- تاثیر قطر شمع بر گشتاور حداکثر ..... ۹۴
۵-۲-۵- تاثیر طول شمع بر برش حداکثر: ..... ۹۵
۵- ۲-۶- اثر طول شمع در مقابل جابجایی سر شمع ..... ۹۶
۵-۲-۷- اثر قطر شمع در مقابل جابجایی سر شمع ..... ۹۶

# فهرست مطالب

**عنوان** **صفحه**


۵-۲-۸- اثر فرکانس ارتعاش:..... ۹۷
۵-۳- تأثیر فرکانس تحریک ورودی بر تغییرشکل‌های جانبی شمع ..... ۹۷
۵-۴- لنگرهای خمشی وارده بر شمع ..... ۹۸
۵-۵- تأثیرگیر داری سر شمع بر مقادیر لنگر خمشی وارده به شمع ..... ۹۸
۵-۶- تأثیر فرکانس تحریک ورودی بر نیروهای وارده برشمع ..... ۹۸
۵-۷- مقایسه نتایج بدست آمده با تحقیقات گذشته..... ۹۹
۵-۸- خلاصه فصل پنجم ..... ۱۰۰
۶- ۱مقدمه:..... ۱۰۲
۶-۲- نتایج تحقیق: ..... ۱۰۲
۶-۲-۱- نتایج تاثیر پارامترهای خاک و شمع ..... ۱۰۲
۶-۳- پیشنهادها برای تحقیق های آینده : ..... ۱۰۳
منابع و مآخذفارسی..... ۱۰۵
. منابع و مآخذانگلیسی : ..... ۱۰۵

# فهرست جد ول ها

**عنوان** **صفحه**


جدول ۳-۱- خصوصیات مورد نیاز برای مدل‌سازی شمع ها ..... ۵۵
جدول ۳-۲- محدوده خصوصیات فنرهای اتصالی در تحلیل ها ..... ۵۹
جدول ۳-۳- مشخصات خاک رس بکار گرفته شده در تحلیل ..... ٦٧
جدول ۳-۴- مشخصات شمع بکار رفته در تحلیل ها ..... ٦٧
جدول ۴-۱- مشخصات خاک های مورد استفاده ..... ٧٤
جدول ۴-۲- مشخصات شمع ..... ٧٤
جدول ۴-۳- مشخصات فنرهای اتصالی نرمال و برشی شمع ..... ٧٥
جدول ۴-۴- لنگر بیشینه شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر ..... ٨١
جدول ۴-۵- نیروی بیشینه شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر ..... ٨٢
جدول۴-۶ مشخصات محیط اشباع ..... ٨٤
جدول ۴-۷- لنگر بیشینه شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر ..... ٨٦
جدول ۴-۸ نیروی بیشینه شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر ..... ٨٧
جدول ۵-۱ مشخصات خاک ..... ٩٣

# فهرست شکل ها

**عنوان** **صفحه**


شکل ۱-۱- مدل اندرکنش شمع و خاک نوگامی در سال ۱۹۸۸ تیر روی فونداسیون وینکلر [۲۲]..... ۱۱
شکل ۱-۲- حالت‌های خرابی فونداسیون گروه شمع تحت نیروی زلزله [۲۲]..... ۱۴
شکل ۱-۳ الگوی خرابی در شمع تحت نیروی زلزله [۲۴]..... ۱۴
شکل ۲-۱- طرح ساده مسائل اندرکنش خاک – شمع – سازه ت [۶]..... ۲۳
شکل ۲-۲- نظریه بر هم نهی برای مسائل توسط گازتاس و میلوناکیس در سال ۱۹۹۸
[۶]..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
شکل ۲-۳- مدل شبه سه بعدی پاسخ شمع – خاک ارائه شده توسط وو در سال ۱۹۹۷ [۶]..... ۳۳
شکل ۲-۴- طرح کلی سازه و پی شمعی بوسیله کای و همکارانش در سال ۲۰۰۰ [۶]..... ۳۴
شکل ۲-۵ مدل شمع- خاک برای رس [۲۰]..... ۳۵
شکل ۳-۱- مش بندی در نظر گرفته شده برای محیط خاک..... ۴۶
شکل ۳-۲ معیار گسیختگی موهر کولمب برنامه‌های تفاضل محدود [۱۱]..... ۴۹
شکل ۳-۳- حوزه‌های مدل مورکولمب مورد استفاده در تعریف قانون جریان [۱۱]..... ۵۰
شکل ۳-۴- سیستم مختصات محلی در یک ریز شمع [۱۱]..... ۵۵
شکل ۳-۵- ویژگیهای فنر اتصالی برشی [۱۱]..... ۵۶
شکل ۳-۶- سیستم مختصات محلی در یک ریز شمع [۱۱]..... ۵۷
شکل ۳-۷- ویژگیهای فنر اتصالی عمودی [۱۱]..... ۵۸
شکل ۳-۸- بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی مناسب در فلک سه بعدی [۱۱]..... ۶۳
شکل ۳-۹- بارگذاری دینامیکی و شرایط مرزی مناسب در فلک سه بعدی [۱۱]..... ۶۳
شکل ۳-۱۰- مدلی از تحلیل ارتعاشی و آرایش میدان آزاد برگرفته از راهنمای فلک سه بعدی [۱۱]..... ۶۵
شکل ۳-۱۱ تغییرات ضریب میرایی بحرانی نرمالیزه شده با فرکانس زاویه‌ای
[۱۱]..... ۶۶۶
شکل ۴-۱ مدل خاک و شمع برای خاک یک لایه..... ۷۶
شکل۴-۲ شمع در خاک لایه ای و اثر نیروی سینماتیکی در مرز دو لایه [۲۸]..... ۷۷
شکل ۴-۳ نمونه‌ای نمودار نیروی نامتعادل پس ازمرحله تعادل استاتیکی..... ۷۹
شکل ۴-۴ نمونه‌ای از کانتور تنش ZZ پس از تعادل استاتیکی..... ۷۹
شکل ۴-۵ نمونه‌ای از نمودار نیروی نامتعادل پس ازمرحله تعادل استاتیکی محیط خاک – شمع..... ۸۰
شکل ۴-۶ لنگر بیشینه شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ
بستر..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
شکل ۴-۷- نیروی بیشینه شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر..... ۸۳
شکل۴-۸ نمونه‌ای از مدل خاک و شمع برای خاک با سطح ایستابی ..... ۸۵
شکل ۴-۹ لنگر بیشینه شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر..... ۸۳

فهرست شکل ها

عنوان صفحه

**شکل٤-** ۱۰نیروی بیشینه شمع در ارتفاع‌های مختلف از سنگ بستر.....۸۸
شکل۵-۱ محیط مدل شده خاک در حضور شمع با المان سازه ای.....۹۱
شکل ۵-۲- اثر طول شمع بر
گشتاور..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
شکل ۵-۳- اثر قطر شمع بر
گشتاور..... **ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.**
شکل ۵-۴ اثر طول شمع بر برش حداکثر.....۹۵
شکل ۵-۵ اثر طول شمع بر جابجایی سر شمع.....۹۶.
شکل ۵-۶ اثر قطر شمع بر جابجایی سر
شمع۹۵.....۹۷

# فصل اول:

# پیش گفتار؛ بیان مسئله و

# کلیات تحقیق

## ۱-۱- مقدمه:

هرگاه خاک زیرین سازه واقع بر پی‌های سطحی برای تحمل وزن بنا ضعیف باشد، می‌بایست عمق پی را افزایش داد تا به خاک مناسب رسید. شمع ها همانند ستون هایی که در خاک دفن می‌شوند، وظیفه انتقال نیروهای وارده به لایه‌های مقاوم زیرین را دارند.

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

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

در واقع یک سازه نمی تواند قوی باشد مگر آنکه اتصالاتش قوی باشد. اگرچه این بیان شاید اطلاق به اجزای تشکیل دهنده یک سازه بشود لیکن می‌تواند به اتصال سازه و خاکی که آن را تحمل می‌کند نیز تعمیم داده شود. اگر به بناهای قدیمی و تاریخی بنگریم می‌بینیم که سازندگان به خوبی دریافته بودند که شالوده‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند و عدم کفایت مقاومت آنها می‌تواند منجربه خرابی ساختمان‌ها شود. امروزه این اهمیت بیش از پیش با توجه به موارد زیرعظمت یافته است.

الف- توسعه کشورها در زمینه صنایع، حمل و نقل، ... و درنتیجه نیاز به سازه‌های سنگین‌تر و ظریف تر

ب- کمبود زمین مساعد و مرغوب از نظر فنی و مقاومت

پ-افزایش نیازهای طبیعی بشر

ت- وجود دانش فنی در زمینه شناخت حوادث غیرمترقبه از جمله زلزله.

کاربرد اصلی پی‌های عمیق در تحمل بارهای قائم می‌باشد. لیکن هر سازه‌ای بطور اجتناب ناپذیر تحت اثر بارهای افقی می‌باشد. این بار افقی می‌تواند ناشی از باد، فشار زمین، نیروی زلزله، نیروی امواج دریا و یا پهلو گرفتن کشتی در اسکله‌های دریایی باشد. در بعضی سازه‌ها مقدار این بارها در مقایسه با بارهای قائم ناچیز بوده و قابل صرفنظر کردن است، ولیکن در بعضی موارد همانند اسکله‌ها و سازه‌های بندری که در آنها نیروهای افقی از طریق برخورد کشتی‌ها و پهلوگیری آنها و یا در اثر باد و امواج دریا بوجود می‌آیند، شمعها تحت اثر بارهای جانبی قابل توجهی قرار می‌گیرند. همچنین در سازه‌های نگهبان متکی بر شمعها و سازه‌های واقع در مناطق زلزله خیز نیز شمع‌ها تحت نیروهای افقی قابل ملاحظه‌ای قرار دارند.

بارهای محوری صرفاً تغییر مکانی به موازات محور شمع ایجاد می‌کنند (سیستم یک بعدی). در حالیکه بارهای جانبی می‌توانند در هر جهتی باعث ایجاد تغییر مکان شوند. در صورتیکه سطح مقطع شمع به صورت دایره‌ای نباشد سیستم شمع- خاک تحت اثر بار جانبی به یک مسئله سه بعدی تبدیل می‌شود.

## ۱-۲- بیان مسئله:

درصورت مناسب نبودن ظرفیت بار بری زمین برای استفاده ازشالوده‌های سطحی نظیر وجودخاک قابل تورم ویا ماسه بادی در سطح زمین وهمچنین مقابله با نیروی برکنش[1] روی شالوده‌های گسترده در زیر آب ازشمع‌ها استفاده می‌شود. در واقع کاربرداصلی شمع‌ها به عنوان پی در سازه‌های بنا شده در خاک نرم انتقال بارهای سازه‌ای به لایه‌های زیرین خاک که دارای مقاومت بار بری مناسب برای بر آورد نیازهای مهندسی می‌باشد.

بررسی رفتار دینامیکی سازه‌هایی که تحت بارهای بالقوه زلزله قرار دارند و تعیین روش‌هایی برای بررسی و محاسبه تنش‌ها و تغییر مکان‌ها و... از اهمیت بالایی بر خوردار است.

در بحث طراحی ایمن و اقتصادی شالوده‌ای عمیق برای انواع سازه‌ها موارد متعددی بر رفتار و پاسخ شمع تحت بار دینامیکی لرزه ای تاثیر گذار هستند این موارد را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد. هندسی (ابعاد و اندازه شمع –خاک و روش مش بندی) و مشخصات مواد (مدول‌های برشی و الاستیسیته ی خاک) و مشخصات بار وارده (فرکانس بار گذاری –شدت و طول مدت تحریک زلزله)

[1]-uplift

بررسی تاثیرات اشاره شده و میزان اهمیت تاثیر هر یک در پاسخ نهایی شمع (نیرو – جابجایی نهایی) می‌تواند مهندس طراح را برای طراحی بهتر یاری کند.

در زلزله‌های سال‌های گذشته تعداد زیادی از شمع‌ها و ساختمان‌های دارای پی شمعی آسیب دیدند که در نمونه‌های کمی از این خرابی‌ها اطلاعات قابل استفاده به ثبت رسیده است . حالت‌های خاص خرابی و گسیختگی در خاک و شمع به وقوع پیوسته است. که به نظر می‌رسد که باید خاصیت غیر خطی بودن مواد در طراحی فونداسیون در نظر گرفته شود . به طور کلی میزان جابجایی و ظرفیت باربری شمع مهمترین مشخصه یک شمع هستند تحقیقات گسترده‌ای در زمینه رفتار شمع در برابر بارهای جانبی صورت گرفته است. در گذشته در طراحی شمع در برابربارهای جانبی از روش تجربی استفاده می‌شد. که بر نتایج آزمایشات با مقیاس کامل ، مبتنی بود. در سال های اخیر اهمیت فراوان این موضوع از لحاظ مهندسی منجر به گسترش روش‌های تئوری و نیمه تئوری برای پیش بینی تغییر مکان‌های جانبی شمع شده است.

طراحی فونداسیون‌های شمعی برای پایداری در برابر بارهای جانبی که در اثر باد ؛امواج دریا؛ماشین‌ها و زلزله ایجاد می‌شود عمدتا نیاز مند محدود نمودن انحراف ما کزیمم شمع برای مقادیر کوچک می‌باشد. ظرفیت جانبی نهایی بیشتر بر مبنای معیار طراحی برای پی‌های شمعی است.در نتیجه تحلیل مهندسی دقیق تغییر شکل‌های جانبی شمع تحت بارهای اعمالی استاتیکی و دینامیکی پیش بینی شده مرحله‌ای بحرانی برای طراحی فونداسیون می‌باشد.

با گسترش روز افزون نرم افزارهای جدید آنالیز دینامیکی و سهولت و سرعت بیشتر در تحلیل دینامیکی سازه‌ها تحت تاثیر شتاب نگاشت‌های لرزه‌ای که منجر به مدل‌سازی واقع گرایانه‌تر و شرایط محیطی دقیق‌تر شده اند.

برای انتقال بار سازه‌ها خاک معمولا از گروه شمع استفاد می‌شود.در بالای گروه شمع یک کلاهک شمع یک پارچه احداث می‌شود که می‌تواند روی سطح زمین و یا بالاتر از سطح زمین قرار گیرد. وقتی یک گروه شمع تحت تاثیر نیروی دینامیکی واقع می‌شوند هر شمع در گروه همانند یک منبع ارتعاشی خود باعث ارتعاش دیگر شمع‌ها می‌شود. بالتبع جابجایی یک شمع باعث جابجایی دیگر شمع‌های اطراف خودمی گردد. تحت این شرایط دینامیکی اتلاف انرژی در امواج رخ داده که ناشی از میرایی‌های مادی مصالح وهمچنین میرایی هندسی می‌باشد در ضمن بررسی‌ها اثر با اهمیت‌تر میرایی هندسی نسبت به میرایی مصالح نشان داده خواهدشد.

تحلیل عکس العمل دینامیکی سازه‌هایی که تحت بارهای بالقوه زلزله در پایه خود قرار دارند و تعیین روش‌هایی برای محاسبه تنش‌ها و تغییر مکان‌ها از اهمیت بسیاری برخوردارند. در حالت کلی سازه با خاک اطراف خود در حال بر هم کنش است و بنابراین تأثیر متقابل سازه و خاک پیرامون آن

در خلال تحریک زلزله باید در نظر گرفته شود. خاک دارای قلمرو نامحدودی است که شرایط انتشار امواج را در آن باید در مدل دینامیکی به حساب آورده شود. خلاصه کردن نیازهای کلی، حالت‌های بحرانی و روش‌های تحلیل عکس العمل دینامیکی بایستی هم در دینامیک سازه و هم در دینامیک خاک بحساب آورده شوند.

در این پژوهش سعی می‌شودبا استفاده از روش تفاضل محدود رفتار شمع تحت بار دینامیکی زلزله بررسی شود.و به بررسی رفتار شمع و خاک رس پیرامون آن تحت بار زلزله با استفاده از روش های عددی تفاضل محدود و نرم افزار[1] پرداخته می‌شود. در این تحقیق دامنه پاسخ سر شمع نسبت به دامنه پاسخ خاک میدان آزاد که در واقع بیان کننده اندرکنش دینامیکی شمع و خاک می‌باشد را با دو مدل رفتاری الاستیک والاستوپلاستیک بدست آورده و نیروی برشی و لنگر خمشی ایجاد شده در حین زلزله را برای این مدل های رفتاری با یکدیگر مقایسه خواهیم نمود. و همچنین تاثیر عوامل؛اثر هندسی –اثر سختی محوری شمع–اثر سختی خمشی شمع–اثر عمق مدفون شمع–اثر اتصال گیر دار–اتصال مفصلی تحت باردینامیکی زلزله با استفاد از طیف زلزله و تا ثیر آب در خاک؛ بر رفتار شمع تحت بار زلزله مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

پیشرفت چشمگیر فن آوری رایانه‌ای این امکان را فراهم کرده است که بتوان رفتار شمع‌ها را توسط روش‌های عددی ارزیابی کرد این روش ها می‌توانند بسیاری از محدودیت‌های موجود در سایر روش‌ها را مرتفع سازند.

## ۱-۳- سوالات تحقیق:

در این تحقیق سعی خواهد شد. تا به سولات زیر پاسخ داده شود.

۱- آیا افزایش دامنه‌های ماکزیمم شتاب زلزله موجب کاهش میرایی خاک می‌شود؟

۲- آیا افزایش طول شمع بر ممان‌های ایجاد شده تاثیر گذار است؟

۳- آیا افزایش قطر شمع بر روی ممان‌های ایجاد شده تاثیر گذار است؟

۴- آیا سختی شمع نسبت به خاک تاثیر گذاری زیادی دارد؟

۵- آیا مقاومت اتصال گیر دار در برابر بار دینامیکی زلزله نسبت به اتصال مفصلی بیشتر است؟

۶- آیا افزایش سختی محوری شمع باعث افزایش مقاومت در برابر نیروی دینامیکی زلزله می‌شود؟

۷- آیا افزایش سختی خمشی شمع باعث افزایش مقاومت در برابر نیروی دینامیکی زلزله می‌شود؟

[1]- FLAC 3D

۸- حضور آب در خاک، چه تأثیری بر رفتار شمع و محیط اطراف شمع دارد؟

### ۱-٤- فرضیه‌های تحقیق:

فرضیه های تحقیق به اختصار به شرح ذیل می باشند.

۱- افزایش دامنه‌های ماکزیمم شتاب زلزله موجب کاهش میرایی خاک می‌شود.

۲- افزایش طول شمع بر ممان‌های ایجاد شده تاثیر گذار است.

۳- افزایش قطر شمع بر روی ممان‌های ایجاد شده تاثیر گذار است.

۴- سختی شمع نسبت به خاک تاثیر گذاری زیادی دارد.

۵- مقاومت اتصال گیر دار در برابر بار دینامیکی زلزله نسبت به اتصال مفصلی بیشتر است.

۶- افزایش سختی محوری شمع باعث افزایش مقاومت در برابر نیروی دینامیکی زلزله می‌شود.

۷- افزایش سختی خمشی شمع باعث افزایش مقاومت در برابر نیروی دینامیکی زلزله می‌شود.

۸-حضور آب در خاک، بر رفتار شمع و محیط اطراف شمع تاثیر دارد.

### ۱-۵- اهمیت و ضرورت تحقیق:

با روی کار آمدن نرم افزارهای جدید آنالیز دینامیکی و سهولت و سرعت بیشتر در تحلیل دینامیکی سازه‌ها تحت تأثیر شتاب نگاشت های لرزه‌ای که منجر به مدل سازی‌های واقع گرایانه‌تر و شرایط محیطی دقیق تر شده اند، تحقیقات بسیاری در زمینه تأثیر تغییر عوامل مختلف بر روی انواع سازه و شرایط محیط پیرامونی و اندرکنش خاک – سازه از دیدگاه‌های مختلف مهندسی عمران، اعم از ژئوتکنیک، مهندسی سازه، مهندسی زلزله یا تلفیقی از آنها انجام گرفته است. در تحقیقات انجام شده در زمینه آنالیز دینامیکی شمع ها، تأثیرات عواملی چون در نظر گرفتن مدل خاک پلاستیک، تغییر سختی خاک به صورت خطی یا تغییر فرکانس ارتعاش محیط بررسی شده است. نتایج حاصل از بررسی هر کدام از این عوامل، تأثیرات قابل توجهی در زمینه طراحی بهینه شمع‌ها و اصلاح پی‌های شمعی در برابر بارهای جانبی ناشی از زلزله داشته است.

با توجه به امکانات نرم افزاری موجود جهت انجام بررسی‌های جدید و دامنه دار در زمینه تأثیر تغییر شرایط محیطی در اطراف شمع‌ها بر رفتار متقابل خاک – شمع، لزوم بررسی تأثیر تغییر پروفیل خاک پیرامون شمع از آن جهت که شرایط واقع بینانه تری را از طبیعت خاک ارائه می‌دهد و همچنین میزان تأثیر فصل مشترک جدایی دو لایه خاک مختلف می‌تواند روی پایداری شمع در این نقاط بحرانی تأثیر گذار باشد، از اهمیت بسزایی برخوردار خواهد بود. در سازه‌های مختلف مستقر بر روی خاک‌های مسأله داری مانند رس، همواره حضور آب باعث کاهش قابل ملاحظه سختی آن می شود. تأثیرات مهلکی بر این سازه داشته است، که لزوم انجام آنالیزهای دینامیکی همراه با آب حفره‌ای را

به اثبات می‌رساند. در بررسی رفتار شمع‌ها نیز در صورت امکان انجام چنین تحلیلی توسط نرم افزارهای موجود، نتایج بدست آمده می‌تواند تا حد قابل توجهی در شناخت عملکرد شمع‌ها در محیط های اشباع یا دارای تراز آب زیرزمینی، تأثیر گذار بوده و آگاهی طراحان را نسبت به چنین محیط‌هایی افزایش دهد و منجر به طراحی ایمن تری برای شمع‌های مورد لزوم، بخصوص عملکرد آنها در زمان وقوع زلزله گردد.

## ۱-٦- روش تحقیق:

پیشرفت چشمگیر فن آوری رایانه ای این امکان را فراهم کرده که بتوان رفتار شمع ها را توسط روشهای عددی مانند (المانهای محدود و تفاضلهای محدود) ارزیابی کرد. در این روش ها می توان بسیاری از محدودیت‌های موجود در سایر روشها را مرتفع کرد .در سازه‌هایی که متکی به شمع هستند. در زلزله‌های اخیرآسیب دیده اند با روی کار آمدن نرم افزارهای جدید ضرورت دارد تجزیه وتحلیل و آنالیز دینامیکی شمع‌های این گونه سازه‌ها با مدل‌های واقع گرایانه تر و شرایط محیطی دقیق‌تر مورد بررسی قرار گیرد.

نرم افزار فلک سه بعدی[1] برای انجام آنالیزهای استاتیکی، شبه استاتیکی و دینامیکی از روش تفاضل محدود صریح استفاده می‌کند که نرم افزار نسبتا جامعی در زمینه‌های مختلف ژئوتکنیک می‌باشد و نیازهای مختلف طراحان و محققان را در این راستا برآورده می‌سازد. علت استفاده از نرم افزار با قابلیت مدل‌سازی سه بعدی، احساس نیاز به بررسی دقیق‌تر و واقع بینانه‌تر از محیط خاک در بحث اندرکنش خاک – شمع است که از اهداف ایجاد چنین نرم افزارهایی می‌باشد. برای بررسی صحت اعتبار مدل‌سازی با این نرم افزار، از مدل تک لایه با رفتارالاستیک و پلاستیک استفاده می‌شود که با وارد کردن شمع به محیط و به تعادل رسیدن مدل، بار جانبی به سرشمع مدل اعمال می‌گردد و آنالیز انجام می‌شود که نتایج بدست آمده تا میزان بسیار خوبی با تحقیقات انجام شده بر روی این مدل سازگاری دارد.[2]

## ۱-۷- اهداف تحقیق:

مهمترین هدف این پژوهش این است که با استفاده از روش‌های عددی رفتار شمع تحت بار دینامیکی زلزله را ارزیابی کند و پارامترهای خاک از قبیل ؛مدول الاستیسیته خاک؛ نسبت پواسون؛ چسبندگی و پارامترهای شمع از قبیل ؛ مدول الاستیسیته ؛قطر شمع،طول شمع، اثرصلبیت کلاهک

[1] -FLAC 3D

[2] – شرح کامل عملیات در فصل ۳ در دسترس می باشد.