

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی  
دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد عمران  
گرایش مهندسی خاک و پی

**عنوان :**

**تحلیل رفتار شمع تحت پیچش**

استاد راهنما:

دکتر محمود قضاوی

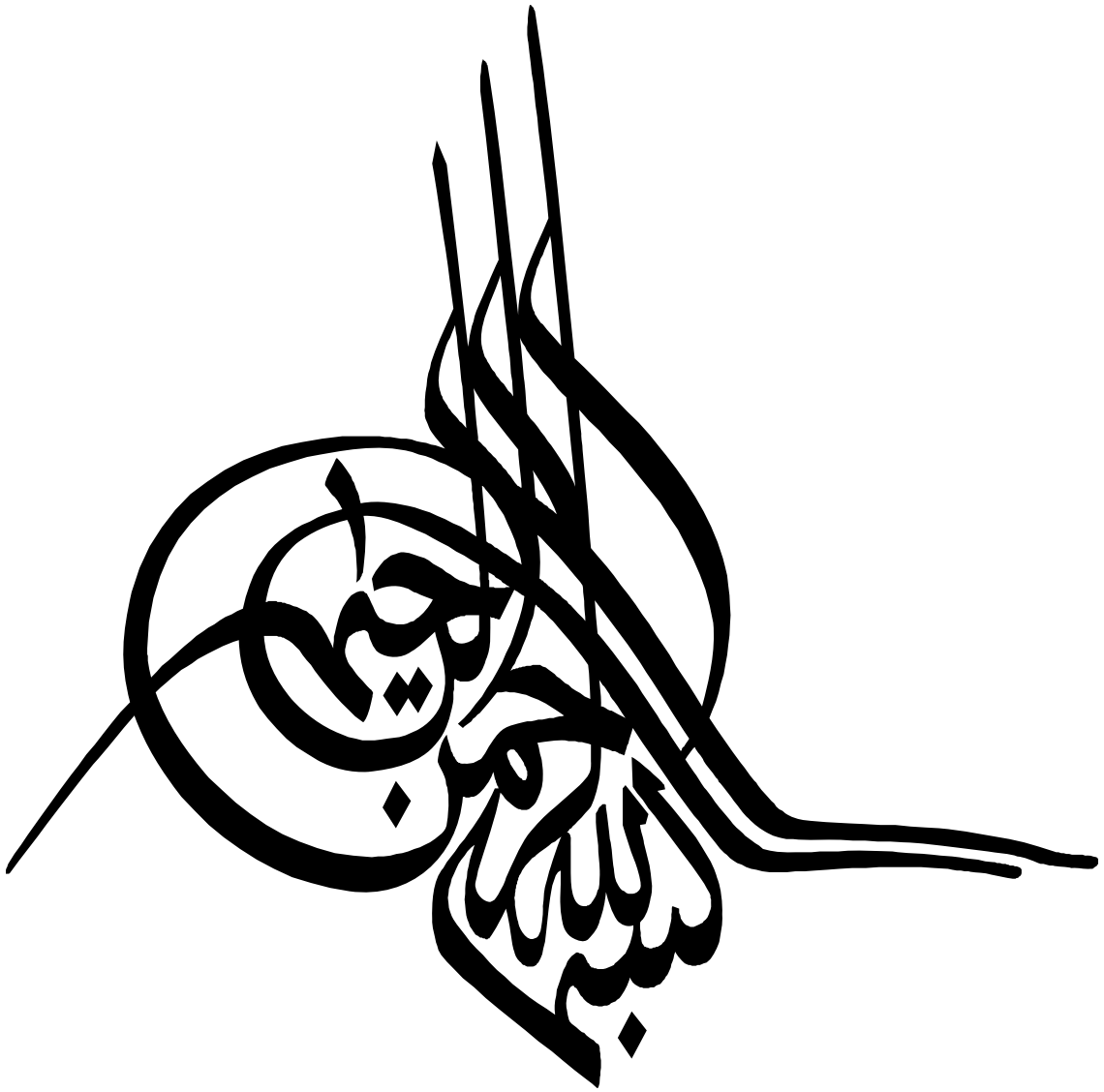
نگارش:

بیبا آستانه اصل

شماره دانشجویی :

۸۸۰۱۵۵۴

مرداد ۱۳۹۰



تقدیم به پدر و مادر عزیزم که موفقیتهم را مدیون آنها هستم.

## تقدیر و تشکر

در اینجا لازم می‌دانم از زحمات بی‌شائبه و جبران‌ناپذیر استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر قضاوی که با صبر و شکیبایی اینجانب را در تمامی زمینه‌های علمی راهنمایی کرده‌اند، نهایت تشکر و قدردانی را بنمایم.

## چکیده

با توجه به کاربرد وسیع پی‌های عمیق در سازه‌ها خصوصاً سازه‌های ساحلی، نیاز به دانش درباره رفتار شمع در مقابل انواع بارهای وارده اعم از بار محوری، بار جانبی و بار پیچشی اهمیت می‌یابد. در صورتیکه بار جانبی وارده به سازه دارای خروج از مرکزیت باشد، نیروی وارده ایجاد کوپل پیچشی می‌کند. با توجه به اینکه وارد شدن نیروی جانبی خارج از مرکز معمولاً دائمی نبوده و بصورت تصادفی به سازه وارد می‌گردد، مطالعات در مورد این نوع بارگذاری بسیار کمتر از سایر بارگذاری‌ها می‌باشد.

این پایان‌نامه بر رفتار شمع تحت پیچش در حالت الاستیک و الاستوپلاستیک تمرکز کرده و سعی بر آن دارد تا یک روش کلی، ساده و قابل اعتماد برای تحلیل آن ارائه دهد. روش ارائه شده در این پژوهش، گسترش روش تحلیلی قطعه به قطعه (SSM)، که برای اولین بار توسط Ghazavi & Ahmadi [۴] برای شمع تحت بار قائم در حالت الاستیک ارائه شده‌است، در حالت الاستیک و الاستوپلاستیک برای شمع تحت پیچش مدفون در خاک لایه‌ای است. در این روش شمع با توجه به پروفیل خاک اطراف به یکسری قطعات تقسیم می‌گردد. معادلات حاکم بر روی قطعات اعمال می‌گردد و با توجه به شرایط مرزی، شمع بصورت قطعه به قطعه تحت یک پروسه تکراری تحلیل می‌گردد.

در ادامه، برای اطمینان از صحت و دقت روش ارائه شده، نتایج حاصل از تحلیل با SSM با نتایج سایر روش‌های تحلیلی و نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد. در نهایت در نرم‌افزار عددی FLAC شمع و خاک اطراف در حالت تک‌لایه و لایه‌ای در حالت الاستیک و الاستوپلاستیک مدل‌سازی گشته و صحت نتایج بررسی می‌گردد. بعد از صحت‌سنجی، مطالعات پارامتریک برای خاک لایه‌ای ارائه می‌شود.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و کلیات ..... Error! Bookmark not defined.

۱-۱-مقدمه ..... Error! Bookmark not defined.

۱-۲-اهداف پایان نامه ..... Error! Bookmark not defined.

۱-۳-روش انجام پژوهش ..... Error! Bookmark not defined.

۱-۴-ساختار پایان نامه ..... Error! Bookmark not defined.

فصل دوم : مروری بر ادبیات فنی موضوع ..... Error! Bookmark not defined.

۱-۲-مقدمه ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۲-تعریف مسئله ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۳-اهمیت موضوع ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۴-مروری بر تست‌های پیچشی شمع ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۴-۱-تست آزمایشگاهی Poulos (۱۹۷۵) [۱۳] ..... 5

۲-۴-۲-تست صحرایی Stoll (۱۹۷۲) [۱۵] ..... 8

۲-۵-مروری بر روشهای تحلیلی ارائه شده برای خاک تک‌لایه ..... Error! Bookmark not

defined.

۲-۵-۱-روش تحلیلی Poulos (۱۹۷۵) [۱۳] ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۵-۱-۱-راه‌حل‌های پارامتریک ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۵-۱-۲-صحت‌سنجی ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۵-۲-روش تحلیلی Randolph (۱۹۸۱) [۱۴] ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۵-۲-۱-خاک همگن ..... Error! Bookmark not defined.

۲-۵-۲-۲-خاک غیرهمگن ..... 17

**Error! Bookmark not defined.** ... (۱۹۷۲) Stoll صحت سنجی با تست ۳-۲-۵-۲

19..... [۵] (۱۹۹۶) Guo & Randolph روش تحلیلی ۳-۵-۲

**Error! Bookmark not defined.** ..... صحت سنجی ۱-۳-۵-۲

**Error! Bookmark not** ..... مروری بر روشهای تحلیلی ارائه شده برای خاک دولایه ۶-۲

**defined.**

**Error! Bookmark not defined.** ..... [۳] (۱۹۸۵) Chow روش تحلیلی ۱-۶-۲

**Error! Bookmark not defined.** ..... صحت آنالیز ۱-۱-۶-۲

**Error! Bookmark not** ..... [۷] (۱۹۸۸) Hache & Valsangkar روش تحلیلی ۲-۶-۲

**defined.**

**Error! Bookmark not defined.** ..... لایه های همگن ۱-۲-۶-۲

**Error! Bookmark not defined.** ..... لایه های غیر همگن ۲-۲-۶-۲

27..... نتایج ۳-۲-۶-۲

**Error! Bookmark not defined.** .. [۶] (۲۰۰۷) Guo و همکاران روش تحلیلی ۳-۶-۲

29..... حل معادله ۱-۳-۶-۲

**Error! Bookmark not defined.** ..... [۱۶] (۲۰۱۰) Zhang روش تحلیلی ۴-۶-۲

**Error! Bookmark not defined.** ..... صحت سنجی ۱-۴-۶-۲

**Error! Bookmark not defined.** ..... خلاصه و جمع بندی فصل دوم ۷-۲

**Error! Bookmark not defined.** فصل سوم : روش قطعه به قطعه در حالت الاستیک

**Error! Bookmark not defined.** ..... مقدمه ۱-۳

**Error! Bookmark not defined.** ..... تحلیل الاستیک به روش SSM ۲-۳

۳-۳-مقایسه نتایج SSM با نتایج سایر روشهای موجود در خاک تک لایه . **Error! Bookmark**

**not defined.**

۳-۳-۱-مقایسه نتایج برای خاک همگن..... **Error! Bookmark not defined.**

۳-۳-۲-مقایسه نتایج برای خاک ناهمگن..... **Error! Bookmark not defined.**

۳-۴-مقایسه نتایج SSM با نتایج سایر روشهای موجود در خاک لایه ای در حالت الاستیک **Error!**

**Bookmark not defined.**

۳-۴-۱-مقایسه نتایج برای خاک دولایه همگن..... **Error! Bookmark not defined.**

۳-۴-۲-مقایسه نتایج برای خاک دولایه ناهمگن..... **Error! Bookmark not defined.**

۳-۵-مقایسه نتایج حاصل از تست شمع با SSM..... **Error! Bookmark not defined.**

۳-۵-۱-مقایسه نتایج تستهای آزمایشگاهی Poulos (۱۹۷۵) با SSM .. **Error! Bookmark**

**not defined.**

۳-۵-۲-مقایسه نتایج تستهای صحرایی Stoll (۱۹۷۲) با SSM ... **Error! Bookmark not**

**defined.**

۳-۶-مطالعه پارامتریک SSM در خاک لایه‌ای .....59.....

۳-۶-۱-خاک تک لایه .....59.....

۳-۶-۲-خاک دو لایه ..... **Error! Bookmark not defined.**

۳-۶-۳-خاک پنج لایه ..... **Error! Bookmark not defined.**

۳-۷-خلاصه و جمع‌بندی فصل سوم ..... **Error! Bookmark not defined.**

فصل چهارم : روش قطعه به قطعه در حالت الاستوپلاستیک .....69.....

۴-۱-مقدمه .....69.....

۴-۲-ملاک گسیختگی و ظرفیت نهایی پیچشی شمع .....69.....

۴-۲-۱-مقاومت نهایی جداری .....69.....



- Error! Bookmark not defined.** ..... ۱-۱-۲-۴ خاک دانه ای
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۲-۱-۲-۴ خاک چسبنده
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۲-۲-۴ مقاومت نهایی نوک
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۳-۴ گسترش SSM در حالت الاستوپلاستیک
- ۴-۴-۴ مقایسه نتایج SSM با نتایج سایر روشهای موجود در حالت الاستوپلاستیک ..... 79
- ۱-۴-۴-۴ مقایسه نتایج برای خاک همگن ..... 79
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۲-۴-۴ مقایسه نتایج برای خاک ناهمگن
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۴-۴ مقایسه نتایج SSM با نتایج تستهای موجود
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۱-۵-۴ مقایسه با نتایج تست Poulos (۱۹۷۵)
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۲-۵-۴ مقایسه با نتایج تست Stoll (۱۹۷۲)
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۶-۴-۴ مطالعات پارامتریک SSM در حالت الاستوپلاستیک
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۱-۶-۴ مطالعات پارامتریک در خاک تک لایه
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۱-۱-۶-۴ بررسی ظرفیت پیچشی نوک، جداره و کل شمع
- defined.**
- ۲-۱-۶-۴ بررسی تنش برشی جداری در عمق ..... 89
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۳-۱-۶-۴ تأثیر مدول برشی ( $G$ ) بر روی ظرفیت باربری
- defined.**
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۴-۱-۶-۴ بررسی تغییرات باربری شمع ته پهن
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۲-۶-۴ مطالعات پارامتریک در خاک دولایه
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۱-۲-۶-۴ تأثیر مدول برشی ( $G$ ) بر روی ظرفیت پیچشی
- defined.**
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۲-۲-۶-۴ تأثیر زاویه اصطکاک ( $\phi$ ) بر روی ظرفیت پیچشی ..
- defined.**

**Error!** ۴-۶-۲-۳- تأثیر ترتیب لایه های دانه ای و چسبنده بر روی ظرفیت پیچشی .....

**Bookmark not defined.**

۴-۶-۳- مطالعه پارامتریک برای خاک پنج لایه با استفاده از SSM در حالت الاستوپلاستیک

**Error! Bookmark not defined.** .....

**Error! Bookmark not defined.** .....۷- خلاصه و جمع بندی فصل چهارم

**Error! Bookmark not defined.** ..... فصل پنجم : مطالعات عددی با نرم افزار FLAC

**Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۱- مقدمه

**Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۲- مطالعات عددی در حالت الاستیک

**Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۲-۱- مدل سازی

**Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۲-۲- مقایسه نتایج عددی با نتایج تحلیلی

**Error! Bookmark not defined.** ... ۵-۲-۲-۱- مقایسه نتایج در حالت خاک تک لایه

**Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۲-۲-۲- مقایسه نتایج در حالت خاک دولایه

**Error! Bookmark not defined.** .. ۵-۲-۲-۳- مقایسه نتایج در حالت خاک پنج لایه

**Error! Bookmark not defined.** .. ۵-۲-۳- مقایسه نتایج عددی با تست صحرایی Stoll

**Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۳- مطالعات عددی در حالت الاستوپلاستیک

**Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۳-۱- مدل سازی

**Error! Bookmark not defined.** ..... ۵-۳-۲- مقایسه نتایج عددی با نتایج تحلیلی

**Error! Bookmark not defined.** .. ۵-۳-۱- مقایسه نتایج در حالت خاک تک لایه

**Error! Bookmark not defined.** ... ۵-۳-۲- مقایسه نتایج در حالت خاک لایه ای

**Error! Bookmark not defined.** ۱.....۴-۵- خلاصه و جمع بندی فصل پنجم

**Error! Bookmark not defined.** ..... فصل ششم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

- Error! Bookmark not defined.** ..... ۱-۶ خلاصه
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۲-۶ نتیجه گیری
- Error! Bookmark not defined.** ..... ۳-۶ ارائه پیشنهادات
- Error! Bookmark not defined.** ..... منابع و مأخذ

### فهرست اشکال

- Error! Bookmark not defined.** ..... شکل ۱-۲- پیچش شمع تحت بارگذاری جانبی خارج از مرکز
- defined.**
- Error!** ..... شکل ۲-۲ - منحنی گشتاورپیچشی-زاویه پیچشی چهار تست Poulos (۱۹۷۵) [۱۳] .....
- Bookmark not defined.**
- Error! Bookmark not defined.** ..... شکل ۲-۳- پروفیل خاک تحت تست A3 [۱۵] .....
- Error! Bookmark not defined.** ..... شکل ۲-۴- پروفیل خاک تحت تست V4 [۱۵] .....
- Error!** ..... شکل ۲-۵- رفتار لنگر پیچشی و پیچش شمع (a) شمع A3 (b) شمع V4 [۱۵] .....
- Bookmark not defined.**
- شکل ۲-۶- مشخصات مسئله- (a) مشخصات هندسی شمع (b) المان بندی شمع (c) جزئیات المان
- Error! Bookmark not defined.** ..... سطحی شمع [۱۳] .....
- شکل ۲-۷ - منحنی های ضریب تاثیر دوران -سختی پیچشی شمع، در خاک همگن برای نسبت های
- Error! Bookmark not defined.** ..... لاغری مختلف [۱۳] .....

شکل ۲-۸ - منحنی  $F_\phi - \frac{T}{T_U}$  در خاک همگن برای  $K_T$  های مختلف [۱۳] **Error! Bookmark**

**not defined.**

شکل ۲-۹ - منحنی های ضریب تاثیر دوران - سختی پیچش شمع در خاک با مدول برشی متغیر

خطی از افزایش به صورت خطی با عمق [۱۳] ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۱۰ - منحنی  $F_\phi - \frac{T}{T_U}$  ، برای خاک با مدول برشی متغیر خطی در عمق [۱۱] .... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۱۱ - مقایسه نتایج تست آزمایشگاهی و تحلیلی Poulos (۱۹۷۵) [۱۳] ..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۱۲ - امان خاک در مختصات قطبی [۱۴] ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۳ - نمودار ضریب صلبیت پیچشی-نسبت صلبیت، برای خاک همگن [۱۴] ..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۴ - نمودار ضریب صلبیت پیچشی-نسبت صلبیت، برای خاک با مدول برشی متناسب با

عمق [۱۴] ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۱۵ - منحنی لنگر پیچشی\_ زاویه پیچش، برای شمع A3 , V4 [۱۴] **Error! Bookmark**

**not defined.**

شکل ۲-۱۶ - مقایسه نتایج Guo & Randolph (۱۹۹۶) با نتایج Poulos (۱۹۷۵) برای خاک همگن و

ناهمگن در حالت الاستیک [۵] ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۱۷ - مقایسه نتایج Guo & Randolph (۱۹۹۶) با نتایج Poulos (۱۹۷۵) برای خاک (a)

همگن و (b) ناهمگن در حالت الاستوپلاستیک [۵] ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۱۸ - نمودارهای تغییرات فاکتور لغزش در مقابل گشتاور وارده به گشتاور نهایی [۵] **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۱۹-مدل المانهای مجزا برای پاسخ پیچشی شمع [۳] ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۲۰-مقایسه نتایج در خاک دولایه برای  $l/r_0=50$  و  $G_p/G_2=1000$  [۳] ..... **Error!**  
**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۲۱ (a) شمع در خاک دو لایه ای همگن (b) شمع در خاک دو لایه ای غیر همگن [۷]

..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۲۲- ضریب تاثیر برای خاک دو لایه ای همگن [۷] ..... **Error! Bookmark not**  
**defined.**

شکل ۲-۲۳- ضریب تاثیر برای خاک دو لایه ای غیرهمگن [۷] ..... **Error! Bookmark not**  
**defined.**

شکل ۲-۲۴-مقایسه نتایج حاصل از راه حل نوع A و B با نتایج Chow (۱۹۸۵) [۶] ..... **Error!**  
**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۲۵- نتایج حاصل از راه حل نوع A و نوع B به ازای توانهای نمایی ۰ و ۰.۵ و ۱ [۶] .. **Error!**  
**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۲۶-نتایج حاصل از راه حل نوع A و B برای خاک تک لایه [۶] .... **Error! Bookmark**  
**not defined.**

شکل ۲-۲۷ (a) سیستم خاک-شمع (b) سیستم مختصات و اجزای جابجایی (c) گشتاور پیچشی

(z) روی بدنه در عمق [۱۶] ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۲۸-مقایسه نتایج با سایر روشهای تحلیلی در خاک تک لایه همگن [۱۶] ..... **Error!**  
**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۲۹-مقایسه نتایج با سایر روشهای تحلیلی در خاک تک لایه نا همگن [۱۶] ..... **Error!**  
**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۳۰-مقایسه نتایج با سایر روشهای تحلیلی در خاک دولایه همگن [۱۶] ..... **Error!**  
**Bookmark not defined.**

شکل ۲-۳۱- تنش گسیختگی در عمق (a) برای A3 (b) برای V4 [۱۶] ... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۲-۳۲- مقایسه نتایج الاستیک و الاستوپلاستیک با نتایج تست صحرایی Stoll (۱۹۷۲) [۱۶]

**Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۳-۱- شمع تقسیم شده به قطعات در روش SSM .. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۲- نحوه تخصیص مدول برشی به قطعه مورد نظر **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۳- فلوجارت برنامه در حالت الاستیک ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۴- مقایسه نتایج SSM و Randolph (۱۹۸۱) در خاک تک لایه همگن ..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۳-۵- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل با SSM با نتایج روشهای Poulos (۱۹۷۵).

Guo&Randolph (۱۹۹۶)، Hache&Valsangkar (۱۹۸۸) و Zhang (۲۰۱۰) برای خاک تک لایه

همگن ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۶- مقایسه نتایج SSM و Randolph (۱۹۸۱) در خاک تک لایه ناهمگن ..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۳-۷- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل با SSM با نتایج روشهای Poulos (۱۹۷۵).

Guo&Randolph (۱۹۹۶)، Hache&Valsangkar (۱۹۸۸) و Zhang (۲۰۱۰) برای خاک تک لایه

ناهمگن ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۸- مقایسه نتایج حاصل از SSM و نتایج روش Guo & Randolph (۱۹۹۶) برای خاک تک-

لایه با مدول برشی متغیر نمایی در عمق ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۹- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل SSM و روش Guo و همکاران (۲۰۰۷) برای خاک تک-لایه

ناهمگن با مدول برشی متغیر نمایی در عمق ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱۰-مقایسه نتایج حاصل از SSM با نتایج روشهای Chow (۱۹۸۵)، Hache&Valsangkar

Guo و همکاران (۲۰۰۷) و Zhang (۲۰۱۰) برای خاک دولایه همگن ..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱۱-مقایسه نتایج حاصل از تحلیل با SSM با روش Guo و همکاران (۲۰۰۷) در خاک دولایه

ناهمگن ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱۲-مقایسه نتایج تست Poulos (۱۹۷۵) و نتایج حاصل از تحلیل داده های تست با SSM

در حالت الاستیک ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱۳-لایه بندی پروفیل خاک تست A3 Stoll (۱۹۷۲) ..... **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل ۳-۱۴-مقایسه نتایج تست Stoll (۱۹۷۲) روی شمع A3 و نتایج SSM در حالت الاستیک

..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱۵-لایه بندی پروفیل خاک تست V4 Stoll (۱۹۷۲) ..... **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل ۳-۱۶-مقایسه نتایج تست Stoll (۱۹۷۲) روی شمع V4 و نتایج SSM در حالت الاستیک

..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱۷-تغییر تنش برشی جداری خاک در عمق تحت مقادیر مختلف لنگر پیچشی **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱۸-شمع تکی در خاک دو لایه ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۱۹-مقایسه نتایج حاصل از تحلیل با SSM برای خاک دولایه در دو حالت:  $G_{s1}/G_{s2} = 0.25$  و

$G_{s1}/G_{s2} = 4$  ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۲۰-بررسی رفتار انتقال بار در طول جداره شمع تکی با نسبت لاغری  $L/t=20$  در خاک دو

لایه با استفاده از SSM در دو حالت:  $G_{s1}/G_{s2} = 0.25$  و  $G_{s1}/G_{s2} = 4$  **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل ۳-۲۱- بررسی رفتار انتقال بار در طول جداره شمع تکی با نسبت لاغری  $L/r=40$  در خاک دو

لایه با استفاده از SSM در دو حالت:  $G_{s1}/G_{s2} = 0.25$  و  $G_{s1}/G_{s2} = 4$  **Error! Bookmark not defined.**

**defined.**

شکل ۳-۲۲- یک شمع تکی در خاک پنج لایه ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۲۳- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل SSM برای دو حالت لایه ای و تک لایه معادل با فرضیات

مورد اول برای  $G_p/G_{s \min}=2000$  ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۲۴- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل SSM برای دو حالت لایه ای و تک لایه معادل با فرضیات

مورد دوم برای  $G_p/G_{s \min}=2000$  ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۲۵- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل SSM برای دو حالت لایه ای و تک لایه معادل با فرضیات

مورد اول برای  $G_p/G_{s \min}=20000$  ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۳-۲۶- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل SSM برای دو حالت لایه ای و تک لایه معادل با فرضیات

مورد دوم برای  $G_p/G_{s \min}=20000$  ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱- حالات مختلف توزیع تنش برشی در نوک شمع هنگام گسیختگی ..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲- شمع المان بندی شده در خاک لایه ای ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۳- نحوه تخصیص تنش گسیختگی نهایی به قطعه مورد نظر .. **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل ۴-۴- فلوچارت برنامه برای حالت الاستوپلاستیک ... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۵- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل SSM با نتایج روش Poulos (۱۹۷۵) و Guo & Randolph

(۱۹۹۶) برای خاک همگن ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۶- مقایسه نتایج حاصل از تحلیل SSM با نتایج روش Poulos (۱۹۷۵) و Guo & Randolph

(۱۹۹۶) برای خاک ناهمگن ..... **Error! Bookmark not defined.**



شکل ۴-۷-مقایسه نتایج حاصل از SSM با نتایج روش Guo&Randolph (۱۹۹۶) در خاک با مدول

**Error! Bookmark not defined.** ..... n=0.25 برای تنش گسیختگی متغیر نمایی در عمق برای  
**defined.**

شکل ۴-۸-مقایسه نتایج حاصل از SSM با نتایج روش Guo&Randolph (۱۹۹۶) در خاک با مدول

**Error! Bookmark not defined.** ..... n=0.5 برای تنش گسیختگی متغیر نمایی در عمق برای  
**defined.**

شکل ۴-۹-مقایسه نتایج حاصل از SSM با نتایج روش Guo&Randolph (۱۹۹۶) در خاک با مدول

**Error! Bookmark not defined.** ..... n=0.75 برای تنش گسیختگی متغیر نمایی در عمق برای  
**defined.**

**Error! Bookmark not defined.** ... SSM با نتایج تحلیلی Poulos (۱۹۷۵) تست  
**not defined.**

**Error!** ..... A3 شمع برای تست Stoll با نتایج حاصل از تحلیل SSM  
**Bookmark not defined.**

**Error!** ..... V4 شمع برای تست Stoll با نتایج حاصل از تحلیل SSM  
**Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۳-منحنی گشتاورپیچشی-زاویه پیچشی به تفکیک برای کل، جداره و کف شمع برای خاک

**Error! Bookmark not defined.** ..... دانه ای

شکل ۴-۱۴-منحنی گشتاورپیچشی-زاویه پیچشی به تفکیک برای کل، جداره و کف شمع برای خاک

**Error! Bookmark not defined.** ..... چسبنده

**Error! Bookmark not defined.** ..... تنش برشی جداری در عمق برای خاک دانه ای همگن  
**not defined.**

**Error!** ..... تنش برشی جداری در عمق برای خاک چسبنده همگن  
**Bookmark not defined.**

شکل ۴-۱۷- بررسی مقاومت پیچشی در دو حالت بستر سست و بستر مقاوم برای خاک دانه ای

**Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۱۸- بررسی مقاومت پیچشی در دو حالت بستر سست و بستر مقاوم برای خاک چسبنده

**Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۱۹- دونوع شمع مورد بررسی در مطالعات پارامتریک شمع ته پهن  
**Error! Bookmark not defined.**

شکل ۴-۲۰- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کل در دو حالت مقطع یکنواخت و ته پهن برای

خاک دانه ای **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۱- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کف در دو حالت مقطع یکنواخت و ته پهن برای

خاک دانه ای **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۲- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کل در دو حالت مقطع یکنواخت و ته پهن برای

خاک چسبنده **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۳- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کف در دو حالت مقطع یکنواخت و ته پهن برای

خاک چسبنده **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۴- شمع تکی مدفون در خاک دولایه **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۵- حالت کلی منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی حاصل از تحلیل الاستوپلاستیک در

خاک دولایه **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۶- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کل حاصل از تحلیل در دو حالت  $G_1/G_2=0.1$  و

$G_1/G_2=10$  برای خاک دانه ای **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۷- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی جداره حاصل از تحلیل در دو حالت  $G_1/G_2=0.1$  و

$G_1/G_2=10$  برای خاک دانه ای **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۸- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کف حاصل از تحلیل در دو حالت  $G_1/G_2=0.1$  و

$G_1/G_2=10$  برای خاک دانه ای **Error! Bookmark not defined.** .....

شکل ۴-۲۹- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کل حاصل از تحلیل در دو حالت  $G_1/G_2=0.1$  و

**Error! Bookmark not defined.** ..... برای خاک چسبنده  $G_1/G_2=10$

شکل ۴-۳۰- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی جداره حاصل از تحلیل در دو حالت  $G_1/G_2=0.1$  و

**Error! Bookmark not defined.** ..... برای خاک چسبنده  $G_1/G_2=10$

شکل ۴-۳۱- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کف حاصل از تحلیل در دو حالت  $G_1/G_2=0.1$  و

**Error! Bookmark not defined.** ..... برای خاک چسبنده  $G_1/G_2=10$

شکل ۴-۳۲- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کل حاصل از تحلیل برای دو حالت نسبت زاویه

**Error! Bookmark not defined.** ..... اصطکاک لایه اول به دوم  $۲:۳$  و  $۳:۲$

شکل ۴-۳۳- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی جداره حاصل از تحلیل برای دو حالت نسبت زاویه

**Error! Bookmark not defined.** ..... اصطکاک لایه اول به دوم  $۲:۳$  و  $۳:۲$

شکل ۴-۳۴- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کف حاصل از تحلیل برای دو حالت نسبت زاویه

**Error! Bookmark not defined.** ..... اصطکاک لایه اول به دوم  $۲:۳$  و  $۳:۲$

**Error!** ..... شکل ۴-۳۵- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کل حاصل از تحلیل برای دو حالت .....

**Bookmark not defined.**

**Error!** شکل ۴-۳۶- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی جداره حاصل از تحلیل برای دو حالت ...

**Bookmark not defined.**

**Error!** شکل ۴-۳۷- منحنی گشتاور پیچشی-زاویه پیچشی کف حاصل از تحلیل برای دو حالت .....

**Bookmark not defined.**

**Error! Bookmark not defined.** ..... شکل ۴-۳۸- شمع تکی مدفون در خاک پنج لایه

**Error! Bookmark not** شکل ۴-۳۹- مقایسه نتایج حاصله در خاک پنج لایه و تک لایه معادل

**defined.**

**Error! Bookmark not defined.** ..... شکل ۵-۱- شبکه بندی مدل

**Error! Bookmark not defined.** ..... شکل ۵-۲- نمایش جداگانه شمع و محیط خاک

شکل ۵-۳-برش مقطعی مدل در حالت نمایش جداگانه شمع و محیط خاک ..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۵-۴-مقایسه نتایج عددی و تحلیلی در حالت خاک تک لایه .... **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل ۵-۵-مقایسه نتایج عددی و تحلیلی در حالت خاک دولایه ..... **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل ۵-۶-مقایسه نتایج عددی و تحلیلی SSM در حالت پنج لایه ... **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل ۵-۷-مقایسه نتایج عددی و تحلیلی SSM تست Stoll (۱۹۷۲) شمع A3 ..... **Error!**

**Bookmark not defined.**

شکل ۵-۸-مقایسه نتایج عددی و تحلیلی SSM تست Stoll شمع V4 **Error! Bookmark not**

**defined.**

شکل ۵-۹-شبکه بندی اولیه شمع و محیط خاک ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۰-برش مقطعی از شبکه بندی اولیه ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۱-شبکه بندی نهایی در حالت الاستوپلاستیک. **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۲-مقایسه نتایج تحلیل عددی با نتایج روشهای SSM، Poulos (۱۹۷۵) و Guo &

Randolph (۱۹۹۶) در خاک تک لایه ..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۳-مقایسه نتایج حاصل از تحلیل عددی برای خاک پنج لایه و خاک تک لایه معادل

..... **Error! Bookmark not defined.**

شکل ۵-۱۴-مقایسه نتایج حاصل از تحلیل عددی و SSM برای خاک پنج لایه و خاک تک لایه

معادل ..... **Error! Bookmark not defined.**