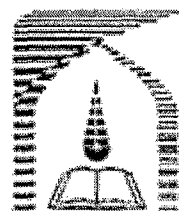


بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه تربیت مدرس

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی عمران - گرایش سازه

## طراحی بهینه پی گسترده با استفاده از بهینه سازی توپولوژیک

فاطمه زاهدی تجریشی

استاد راهنما:

دکتر حمید محرمی



۱۳۸۷ / ۷ / ۱۷

بهار ۱۳۸۷

۹۹.۷۵



بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

خانم فاطمه زاهدی پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان طراحی بهینه پی ساختمان به روش بهینه سازی توپولوژی در تاریخ ۱۳۸۷/۳/۵ ارائه کردند.  
اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - سازه پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر حمید محرمی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر علی اکبر آقا کوچک	استاد	
استاد ناظر	دکتر سید شهاب الدین یثربی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر بهروز حسینی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر علی اکبر آقا کوچک	استاد	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تایید است.

امضای استاد راهنما

۹۹۰۷۴

## دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت

مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

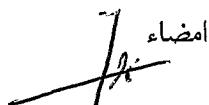
ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می‌شود.

نام و نام خانوادگی: فاطمه زاهدی تجربی

امضاء  


## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد نگارنده در رشته عمران - سازه است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای دکتر حمید محرمی از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب فاطمه زاهدی تجربی دانشجوی رشته عمران - گرایش سازه مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: فاطمه زاهدی تجربی

تاریخ و امضا: ۱۳۸۷/۳/۵

تقدیم به پدر و مادر عزیزه

به فاطمه مهربانی های بی دریغ

و

برای همسره

همراه صبور من

بسم الله الرحمن الرحيم  
تبارک الذی نزل الفرقان علی عبده

تشکر و قدر دانی

سپاس پروردگار را که فرصت داد به بنده اش تا در راه علم آموزی گام بردارد و در این راه از چراغ های هدایت بزرگوارانی نور گیرد که هیچ گاه خاموش نخواهند شد.

از استاد فرهیخته جناب آقای دکتر حمید محرمی که در تمام مراحل این پایان نامه، این جانب را از راهنمایی های ارزنده و هوشمندانه خود بهره مند ساختند و صبر و تواضعشان همواره در خاطر من خواهد ماند، تشکر و قدر دانی میکنم. از اساتید محترم آقایان پروفسور علی اکبر آقاچوچک، دکتر سید شهاب الدین یشربی و دکتر بهروز حسنی که با نظرات ارزنده خود موجب ارتقا این تحقیق شدند، سپاسگزاری می نمایم.

از آقای دکتر چنگیز غیرتمند که بی حساب و سخاوتمندانه دانسته های خود را در اختیارم گذاشتند و همواره پاسخگوی مشکلاتم بودند، سپاسگزارم.

از آقای دکتر جلالی، استاد ارجمند و گرامی که همواره مشوق این جانب در تمام مراحل این پایان نامه بودند، صمیمانه تشکر می کنم.

و در پایان از آقایان مهندس ورمزیاری، مریخی، سهرابی، هدایتی و دیگر بزرگوارانی که در طول تحصیل در این دانشگاه مرا یاری نمودند کمال تشکر را دارم.

فاطمه زاهدی تجریشی

بهار ۱۳۸۷

## چکیده:

در این پایان نامه طراحی بهینه پی با استفاده همزمان از بهینه سازی توپولوژیک و ابعادی مورد بررسی قرار گرفته است. مدل مورد استفاده از المان های صفحه ای برای پی گسترده، المان های حجمی برای خاک و المان های فشاری برای اتصال خاک و پی تشکیل شده است. تحلیل و طراحی به صورت الاستیک و سه بعدی تحت یک بارگذاری معین انجام می گیرد. با توجه به وابستگی تعداد متغیرهای طراحی به تعداد المان های محدود در فضای طراحی که عموماً زیاد می باشند، استفاده از روش های کلاسیک در بهینه سازی توپولوژیک سازه ها غیر عملی است. از این رو در این تحقیق از روشی نوین برای ایجاد توپولوژی بهینه استفاده می شود که ایده اصلی آن بر مبنای کارایی المان های واسط بین خاک و پی در انتقال نیروهای فشاری به خاک می باشد. این الگوریتم جدید المان هایی از پی که بدون فشار یا تحت فشار اندک قرار دارند را حذف می کند. بهینه سازی کلی از دو فاز مجزای بهینه سازی توپولوژیک و بهینه سازی ابعادی تشکیل شده است. بهینه سازی ابعادی شامل تعیین ضخامت و درصد آرماتورهای خمشی بهینه پی می باشد. پروسه بهینه سازی ابعادی و توپولوژی متعاقباً تکرار می شود تا دیگر پیشرفتی در بهینه سازی صورت نگیرد. کارایی روش پیشنهادی و برنامه نوشته شده در این پایان نامه با حل چهار مثال عددی مورد بررسی قرار گرفته است.

## کلید واژگان:

طراحی پی، بهینه سازی توپولوژیک، جهات قابل قبول، المان های واسط فشاری



## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### فصل اول: مقدمه و مطالعات انجام شده

- ۱-۱ زمینه تحقیق ..... ۲
- ۲-۱ ضرورت تحقیق ..... ۳
- ۳-۱ سوالات تحقیق ..... ۴
- ۴-۱ شیوه تحقیق ..... ۴
- الف) مطالعه و انتخاب مدل تحلیلی خاک: ..... ۴
- ب) بهینه سازی پی با الگوریتم مناسب: ..... ۵
- ج) تهیه برنامه کامپیوتری طراحی بهینه پی: ..... ۶
- ۵-۱ خلاصه فصول پایان نامه ..... ۶
- ۶-۱ فرضیات تحقیق ..... ۷
- ۷-۱ جمع بندی فصل اول ..... ۸

### فصل دوم: مروری بر مطالعات قبلی

- ۱-۲ مقدمه ..... ۱۰
- ۲-۲ تاریخچه تحقیقات ..... ۱۴
- ۱-۲-۲ تحقیقات انجام گرفته در مورد مدل سیستم خاک + پی ..... ۱۵

۱۶	۱-۱-۲-۲ مدل کردن رفتار خاک
۲۰	۲-۱-۲-۲ مدل کردن محیط خاک
۲۱	۳-۱-۲-۲ روش تحلیل سیستم (خاک + پی)
۲۱	۱-۳-۱-۲-۲ روش اجزای محدود
۲۱	۲-۳-۱-۲-۲ تلفیق روش اجزای محدود و اجزای مرزی
۲۲	۳-۳-۱-۲-۲ تلفیق روش اجزای محدود و نامحدود
۲۲	۲-۲-۲ تحقیقات انجام گرفته در مورد بهینه سازی پی
۲۲	۱-۲-۲-۲ بهینه سازی
۲۳	۲-۲-۲-۲ تاریخچه بهینه سازی
۲۴	۳-۲-۲-۲ بهینه سازی مدرن
۲۵	۴-۲-۲-۲ بهینه سازی پی
۲۹	۳-۲-۲ تحقیقات انجام گرفته در مورد بهینه سازی توپولوژی
۲۹	۱-۳-۲-۲ توپولوژی
۳۰	۲-۳-۲-۲ بهینه سازی توپولوژیک
۳۲	۳-۳-۲-۲ مدل های مواد بهینه سازی توپولوژیک
۳۳	۳-۲ جمع بندی فصل دوم

### فصل سوم: تهیه برنامه تحلیل سازه با روش اجزای محدود

۳۶	۱-۳ مقدمه
۳۶	۲-۳ مدل اجزا محدود سازه
۳۸	۱-۲-۳ المان صفحه ای مستطیلی
۴۰	۲-۲-۳ المان واسط بین خاک و پی
۴۱	۳-۲-۳ المان آجری هشت گرهی
۴۴	۳-۳ تحلیل سازه ها با عناصر خرابایی فاقد ظرفیت کششی
۵۰	۴-۳ جمع بندی

## فصل چهارم: فرمول بندی طراحی جهت استفاده در بهینه سازی

۵۲.....	۱-۴ مقدمه
۵۲.....	۲-۴ فرضیات و استانداردهای طراحی
۵۴.....	۳-۴ مسئله بهینه سازی
۵۴.....	۱-۳-۴ متغیرهای طراحی
۵۵.....	۲-۳-۴ تابع هدف
۵۶.....	۳-۳-۴ قیدها
۵۷.....	۱-۳-۳-۴ قید لنگر خمشی در پی
۵۸.....	۲-۳-۳-۴ قید نیروی برشی در پی
۵۹.....	۳-۳-۳-۴ قید تنش فشاری زیر پی
۶۰.....	۴-۴ شکل کلی مسئله بهینه سازی
۶۱.....	۵-۴ فرمول بندی مسئله و محاسبه حساسیت ها
۶۶.....	۱-۵-۴ حساسیت تغییر مکان ها
۶۷.....	۲-۵-۴ حساسیت نیروهای داخلی
۶۷.....	۳-۵-۴ حساسیت قیدهای تنش
۶۸.....	۱-۳-۵-۴ حساسیت قید لنگر خمشی پی
۶۸.....	۲-۳-۵-۴ حساسیت قید نیروی برشی پی
۶۸.....	۳-۳-۵-۴ حساسیت قید تنش وارد بر خاک (تنش زیر پی)
۶۹.....	۶-۴ خلاصه

## فصل پنجم: روش حل مسئله بهینه سازی در تحقیق حاضر

۷۱.....	۱-۵ مقدمه
۷۱.....	۲-۵ الگوریتم بهینه سازی
۷۳.....	۱-۲-۵ روش تعیین توپولوژی بهینه
۷۵.....	۲-۲-۵ روش حل مسئله بهینه سازی استاندارد
۷۵.....	۱-۲-۲-۵ روش جهات قابل قبول
۷۸.....	۱-۱-۲-۲-۵ روش محاسبه جهت امکان پذیر مفید
۸۰.....	۲-۱-۲-۲-۵ تعیین طول گام مناسب
۸۲.....	۳-۱-۲-۲-۵ معیار همگرایی
۸۳.....	۲-۲-۲-۵ استفاده از روابط طراحی
۸۴.....	۳-۵ خلاصه

## فصل ششم: تهیه و بکارگیری برنامه تحلیل و بهینه سازی

۸۶.....	۱-۶ مقدمه
۸۷.....	۲-۶ فرضیات اصلی در مثال های حل شده
۸۹.....	۳-۶ شرح جزئیات مثال های حل شده
۹۰.....	۱-۳-۶ مثال ۱
۹۳.....	۲-۳-۶ مثال ۲
۹۵.....	۳-۳-۶ مثال ۳
۹۷.....	۴-۳-۶ مثال ۴
۹۹.....	۴-۶ کنترل صحت برنامه

۵-۶ جمع بندی فصل ششم ..... ۱۰۰

### فصل هفتم: جمع بندی، نتیجه گیری و پیشنهادات

۱-۷ مقدمه ..... ۱۰۵

۲-۷ جمع بندی از بخش های مختلف مطالعات ..... ۱۰۵

۱-۲-۷ جمع بندی مرور مطالعات گذشته ..... ۱۰۵

۲-۲-۷ جمع بندی فرمول بندی طراحی جهت استفاده در بهینه سازی ..... ۱۰۶

۳-۲-۷ جمع بندی روش های مورد استفاده برای حل مسئله بهینه سازی ..... ۱۰۷

۴-۲-۷ جمع بندی روش تحلیل سازه در تحقیق حاضر ..... ۱۰۷

۵-۲-۷ جمع بندی نتایج مثال های حل شده در این تحقیق ..... ۱۰۹

۳-۷ نتیجه گیری کلی از این تحقیق ..... ۱۰۹

۴-۷ پیشنهاداتی برای مطالعات آتی ..... ۱۱۰

۵-۷ خلاصه ..... ۱۱۱

منابع ..... ۱۱۲

## فهرست جداول

۱۹	جدول (۱-۲) مدول های برشی و الاستیسیته خاک در محل پی برج میلاد .....
۸۷	جدول (۱-۶) مشخصات مصالح مصرفی .....
۸۹	جدول (۲-۶) مشخصات بارگذاری پی .....
۹۱	جدول (۳-۶) مراحل بهینه سازی پی مثال ۱ .....
۹۳	جدول (۴-۶) مراحل بهینه سازی پی مثال ۲ .....
۹۶	جدول (۵-۶) مراحل بهینه سازی پی مثال ۳ .....
۹۸	جدول (۶-۶) مراحل بهینه سازی پی مثال ۴ .....
۱۰۰	جدول (۷-۶) مقایسه نتایج SAP و مثال ۳ .....
۱۰۰	جدول (۸-۶) نتایج مثال ها .....

## فهرست اشکال

- شکل (۱-۲) نمودار تنش-نشست خاک بر اساس آزمایش بارگذاری صفحه ای. . . . . ۱۶
- شکل (۲-۲) رفتار خاک به صورت الاستیک کامل. . . . . ۱۷
- شکل (۳-۲) رفتار خاک به صورت الاستو پلاستیک با سخت شوندگی. . . . . ۱۷
- شکل (۴-۲) مدل وینکلر برای مدل کردن محیط خاک. . . . . ۲۰
- شکل (۵-۲) مدل پی ماشین در حال ارتعاش. . . . . ۲۷
- شکل (۶-۲) بهینه سازی پی مرتفع توسط آرورا و همکارانش. . . . . ۲۹
- شکل (۷-۲) دو سازه با توپولوژی متفاوت و هندسه یکسان. . . . . ۳۰
- شکل (۸-۲) دو سازه با هندسه متفاوت و توپولوژی یکسان. . . . . ۳۰
- شکل (۱-۳) المان صفحه ای خمشی با دوازده درجه آزادی. . . . . ۳۸
- شکل (۲-۳) المان Gap سه بعدی با شش درجه آزادی. . . . . ۴۰
- شکل (۳-۳) المان آجری با ۲۴ درجه آزادی برای مدل کردن محیط پیوسته خاک. . . . . ۴۱
- شکل (۴-۳) مدل اسکای لاین. . . . . ۴۴
- شکل (۵-۳) سازه با عناصر خرپایی فاقد ظرفیت کششی. . . . . ۴۷
- شکل (۱-۵) المان های واسط و نحوه اتصال آن ها به المان های پی. . . . . ۷۴
- شکل (۲-۵) توپولوژی بهینه پی. . . . . ۷۵
- شکل (۳-۵) جهت امکان پذیر. . . . . ۷۸
- شکل (۴-۵) اثر انتخاب یک طول گام دلخواه. . . . . ۸۱
- شکل (۱-۶) پلان پی گسترده. . . . . ۸۸
- شکل (۲-۶) مدل اجزای محدود پی گسترده مورد نظر در مختصات سه بعدی. . . . . ۸۸
- شکل (۳-۶) المان بندی پی گسترده مثال ۱. . . . . ۹۱
- شکل (۴-۶) توپولوژی بهینه پی مثال ۱. . . . . ۹۲
- شکل (۵-۶) المان بندی پی گسترده مثال ۲. . . . . ۹۳
- شکل (۶-۶) توپولوژی بهینه پی مثال ۲. . . . . ۹۴
- شکل (۷-۶) توپولوژی بهینه پی مثال ۳. . . . . ۹۶
- شکل (۸-۶) توپولوژی بهینه پی مثال ۴. . . . . ۹۸
- شکل (۹-۶) مدل سه بعدی SAP. . . . . ۹۹

## فصل اول

### مقدمه و مطالعات انجام شده



## ۱-۱-زمینه تحقیق

یک سازه از اجزای مختلفی که هر کدام دارای وظایف متفاوتی هستند، تشکیل شده و هزینه کل سازه مجموع هزینه های اجزای آن می باشد. یکی از قسمت های مهم و اساسی یک سازه پی آن است. وظیفه اصلی پی تحمل نیروهای وارد از سازه و انتقال این نیروها به خاک است به گونه ای که تنش زیر پی از تنش مجاز خاک تجاوز نکند. هم چنین وظیفه مهم دیگر پی کنترل نشست کل سازه خصوصا نشست نسبی آن می باشد. نشست نسبی باعث ایجاد تنش های اضافی، ترک و حتی شکست در روسازه و پی می گردد و نباید مقدار آن از حد مجاز بیشتر شود. به صورت معمول طراحی پی بر مبنای پارامترهای تنش و تغییر مکان انجام می گیرد و معمولا هزینه در طراحی و انتخاب ابعاد آن به صورت سیستماتیک دخالت داده نمی شود. باید خاطر نشان ساخت که هزینه پی در مقایسه با هزینه تمام شده سازه می تواند قابل توجه باشد و مقدار آن بسته به نوع سازه و پی متغیر می باشد. بنابراین برای کم کردن هزینه کل یک سازه لازم است که هزینه پی آن به حداقل مقدار کاهش یابد.

در طراحی پی متغیرهای زیادی دخالت دارند و ترکیب های مختلفی از این متغیرها می توانند ضوابط تنش و نشست را ارضا نمایند. یعنی برای یک سازه معین، می توان پی های مختلفی را طرح نمود که در تمام آن ها تنش زیر پی از تنش مجاز خاک و نشست نسبی پی نیز از حد مجاز کمتر باشد. اگر از بعد دیگر به مسئله نگاه شود می توان آن را یک مسئله که چند جواب دارد در نظر

گرفت. در چنین مسائلی است که بحث بهینه سازی مطرح می شود. با توجه به مطالب ذکر شده می توان با استفاده از روش های بهینه سازی پی را چنان طرح کرد که هم هزینه آن حداقل بوده و هم شرایط نشست و تنش و... ارضا شوند. اهمیت طراحی پی زمانی آشکار می شود که تاثیر آن بر روی هزینه تمام شده سازه مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش طراحی بهینه کل پی با در نظر گرفتن اندرکنش پی و خاک انجام می شود.

## ۱-۲ ضرورت تحقیق

برای تحلیل پی ها از فرض های ساده کننده ای استفاده می شود که عموماً منجر به نتایج تقریبی در تحلیل پی ها می شوند. این فرضیات عمدتاً در پیش بینی رفتار خاک و رفتار خود پی، شامل انعطاف پذیری پی و سختی پی، به کار برده می شوند و مستقیماً در نتایج تحلیل پی موثر می باشند. از آن جایی که بهینه سازی نمی تواند بر مبنای ساده سازی های زیاد، که هزینه را بالا می برد و یا بر رفتار غیر صحیحی که اصل بهینه سازی را زیر سوال می برد بنا شود، ضروری است که مدل سازی پی و خاک به صورت صحیح انجام شود و سپس با استفاده از روش بهینه سازی مناسب مدل ساخته شده تحلیل و طراحی گردد.

با توجه به مطالب ذکر شده و با توجه به این که هزینه پی می تواند بخش قابل توجهی از هزینه یک سازه را شامل گردد و با توجه به این که تا کنون بر روی بهینه سازی توام توپولوژیک و ابعادی پی تمرکز خاصی نشده است، انجام این پژوهش ضرورت یافت.

### ۳-۱ سوالات تحقیق

در این پژوهش سعی شده است تا با پاسخگویی به سوالات زیر، طراحی پی های گسترده انعطاف پذیر با در نظر گیری اندرکنش پی و خاک به صورت بهینه انجام شود تا در نهایت شکل بهینه پی با ضخامت و آرماتورهای بهینه یافت شود.

الف) روش مناسب مدل سازی محیط خاک زیر پی برای بهینه سازی به چه صورت می تواند باشد؟

ب) برای بهینه سازی پی از چه الگوریتمی باید استفاده شود؟

### ۴-۱ شیوه تحقیق

روش انجام تحقیق در این پژوهش شامل مراحل زیر بوده است:

- مطالعه و انتخاب مدل تحلیلی خاک
- مطالعه و انتخاب مدل اندرکنشی خاک و پی
- بهینه سازی پی با الگوریتم مناسب
- تهیه برنامه کامپیوتری که پی بهینه را طراحی نماید.

#### الف) مطالعه و انتخاب مدل تحلیلی خاک:

از آن جا که خاک (به عنوان بخشی از سیستم مورد تحلیل در این تحقیق) یک محیط پیوسته نیم بی نهایت است، نحوه مدل کردن محیط خاک و رفتار خاک ( رابطه بین نیرو - تغییر مکان خاک ) در نتایج تحلیل موثر می باشد. به همین دلیل در اولین مرحله از این تحقیق، در مورد نحوه مدل کردن محیط خاک و مدل کردن رفتار خاک مطالعه شده است و از بین مدل های موجود، بهترین مدل که تطابق بیشتری با واقعیت داشته انتخاب و مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق محیط خاک با استفاده از مدل اجزای محدود به صورت یک محیط پیوسته نیم بی نهایت مدل شده است.

در مورد مدل رفتار خاک باید اشاره شود که رفتار خاک حتی به ازای کرنش های کوچک، الاستیک و برگشت پذیر نمی باشد. لیکن در خاک های سخت می توان رفتار خاک را برای سادگی به صورت خطی در نظر گرفت. برای مثال پهلوان [۱] در سال ۱۳۸۱ نشست خاک زیر پی برج میلاد را با تحلیل خطی و هم چنین الاستوپلاستیک محاسبه کرده و نشان داده است که نتایج حاصل از دو روش تفاوت چندانی با هم ندارند. این محاسبات از آن نظر ارزش دارد که پهلوان نتایج آن را با اندازه گیری های محلی نشست برج میلاد مقایسه کرده و تطابق خوبی به دست آورده است. با توجه به مطالب فوق، در این تحقیق رفتار خاک به صورت خطی در نظر گرفته شده است.

#### ب) بهینه سازی پی با الگوریتم مناسب:

روش کار بهینه سازی بدین صورت است که ابتدا با هندسه و مقادیر اولیه متغیرها، سیستم شامل خاک و پی تحلیل می شود. در انجام این تحلیل، اتصال پی به خاک توسط المان های واسط که تنها قادر به تحمل نیروی فشاری هستند، ممکن می گردد. پس از انجام تحلیل نیروهای اعضا به دست آمده و با مقادیر مجاز مقایسه می گردد تا قیود فعال مسئله شناسایی گردند. پس از آن با توجه به الگوریتم بهینه سازی حرکت به سوی طرح بهینه پی شناسایی می شود و مقادیر جدیدی برای متغیرها شامل ضخامت پی و سطح مقطع آرماتورها به دست می آید. سپس برای این مقادیر المان های واسط واجد شرایط حذف شدن شناسایی شده (المان های فاقد فشار یا کم فشار) و این المان ها به همراه المان های پی مربوط به آن حذف می گردند. سپس مسئله دوباره با این هندسه و متغیرهای جدید تحلیل و طراحی بهینه می گردد و تابع هدف که همان هزینه است، محاسبه می گردد. این روند تکراری تا آن جا ادامه می یابد که تابع هدف با حذف دسته ای از المان ها کاهش نیابد و در نتیجه جواب های مرحله قبل به عنوان جواب های نهایی انتخاب می گردد. الگوریتمی که در این مسئله از آن استفاده شده است، روش "جهت های قابل قبول" می باشد.